

Research Paper



## Assessing the Impacts of Global Climate Change on Climate Elements of Temperature and Precipitation in Disparate Climatic Zones of Iran Using RCP Scenarios



Ali Mohammad Khorshid Dost<sup>1\*</sup>, Majid Rezaei Banafsheh<sup>2</sup>, Hashem Rostamzadeh<sup>3</sup>, Yousef Zarei<sup>4</sup>



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/GP.2023.10791

**Reference to this article:** Khorshid Dost, A; Rezaei, M; Rostamzadeh, H; Zarei, Y; Assessing the Impacts of Global Climate Change on Climate Elements of Temperature and Precipitation in Disparate Climatic Zones of Iran Using RCP Scenarios. *Geography and Planning*, 27(83): 63-71.

### Keywords

Climate Change, Iran, CanESM2, Temperature and Precipitation

Received: 2019/11/27

Accepted: 2020/01/15

Available: 2023/05/21

### ABSTRACT

Climate change is one of the main problems on Earth today, so predicting these changes in the future and their impacts on water resources, the natural environment, agriculture, and environmental, economic and social impacts is of particular importance. Therefore, in the present study, the effects of global climate change on different climatic regions of the country were studied in 12 climatic regions. In this study, NCEP data and climatic elements of precipitation, maximum and minimum temperature were used for statistical downscaling with SDSM model. And using the CanEMS2 model output under RCP scenarios for the three statistical periods of 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2099 annual climate change data were obtained. Correlation coefficient, determination coefficient and error indexes of RMSE, MSE and MAD were used to evaluate the performance of the model. However, the results showed that the accuracy of the model was different at different stations. In this way, each model performs better than rainfall in simulating minimum and maximum temperatures. The annual long-run results also show that precipitation will decrease in all climates studied in the coming decades, with the largest decrease occurring in semi-warm (35%) and very humid and temperate (32%) desert areas. But minimum and maximum temperature variations will be different in different climatic regions so that under RCP scenarios during all statistical periods at Sabzevar and Tabas stations minimum temperature changes will decrease but in other climatic regions the trend of minimum and maximum temperatures will be incremental. The highest minimum and maximum temperature increases based on RCP scenarios under RCP8.5 scenario during the period 2071-2099 in the cold mountain climatic region will be 3.03, 4.27 ° C, respectively.

\* Corresponding Author: Ali Mohammad Khorshid Dost

E-mail: [khoshiddoust@gmail.com](mailto:khoshiddoust@gmail.com)

1. Professor of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Assistant Professor of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. PhD Student of Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

## Extended Abstract

### Introduction

Climate change is one of the main problems of the planet today, so predicting these changes in the future and their effects on water resources, natural environment, agriculture and environmental, economic and social effects are of special importance. For this reason, in the present study, the effects of global climate change on different climatic regions of the country were investigated in 12 climatic regions. In this research, NCEP data and climatic elements of precipitation, maximum and minimum temperature in the base period (1961-2005) were used for statistical exponential micro-scale with the SDSM model; And using the output of CanEMS2 model under RCP scenarios for three statistical periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2099, the annual changes of climatic elements were obtained. To evaluate the performance of the model, the correlation coefficient, determination coefficient and error measurement indices RMSE, MSE and MAD were used and the results showed that the SDSM model has a good performance for generating climate elements. However, the obtained results showed that the accuracy of the model is different in different stations. Thus, each model has a good performance in simulating the minimum and maximum temperature compared to precipitation. The review of sources shows that in Iran, good studies have been done in the field of climate change and predicting Iran's future climate with climate models; However, due to the fact that RCP scenarios are among the new IPCC scenarios, no comprehensive studies have been conducted in this field in the country, so this research is carried out considering the radiative forcing scenarios due to the newness of these scenarios.

### Methods

The current research was conducted on 13 synoptic stations of the country, each of the representative synoptic stations is a sub-climatic region in this research, however, due to the location of the semi-arid cold sub-region in two parts of the country (north-west and north-east) of this The area of two synoptic stations was studied. The climatic zones used in this study are based on the research of Heydari and Alijani (1378: 18), who divided Iran's climate into 6 zones and 12 sub-zones using 49 climate parameters. By applying SDSM downscaling method, It is a multivariate regression model for generating meteorological data using microscale statistical exponential techniques (Wilks, 1992; Wilks, Whibley, 1999: 75). The basis of which is the use of a combination of regression methods and the production of artificial weather data for exponential downscaling. This model is one of the most widely used exponential micro-scale statistical tools that has many applications in the fields of climatology, hydrology, geography and environment (Wibley and Harris, 2006: 3).

The SDSM model creates correlation, partial correlation, and cross-correlation tests between the predictor variables and the predicted variable (generally precipitation and temperature). With the help of these tests, independent variables (predictors) that have a good correlation with dependent variables (predictors) are selected as future climate predictors. SDSM model input data are divided into two general categories.

- 1- Observational data according to the required output type (rainfall, minimum temperature, maximum temperature, sunny hours, etc.) These data were entered into the model on a daily basis and in the TEXT file.
- 2- Large scale data (predictors) of NCEP and GCM models (in this research CanESM2 model data) obtained from the nearest global network related to the study area.

In order to verify and evaluate the model in each research, for each station and parameter, a series of performance indicators of the error measurement model is needed; In this research, the root mean square error (RMSE), mean square error (MSE), mean absolute error (MAE) and also the determination coefficient ( ) of the correlation coefficient have been used.

### Findings and Results

After evaluating the SDSM model and ensuring the model's ability to produce and simulate climate elements in the future using the output of the CanESM2 model under RCP2.6 (optimistic), RCP4.5 (moderate) and RCP8.5 (pessimistic) scenarios, proceed to Data was generated in the periods of 2071-2099, 2041-2070 and 2011-2040. The results of this section are shown in Figure (2). As can be seen, except for Sabzevar and Tabas station, in the rest of the stations, under all three RCP scenarios, the minimum temperature element will increase in the coming periods. The synoptic stations of Mashhad and Shiraz will also experience a decrease in minimum temperature under the RCP2.6 scenario in the first study period (2011-2040). The highest minimum temperature increase in the country (13 studied stations) under the RCP8.5 scenario in the period of 2071-2099 in Shahrekord, Khoi, Kermanshah will be 3.07, 2.96 and 2.95 centigrade, respectively.

## Discussion and Conclusion

In this research, the SDSM model has been used for statistical exponential micro-scale and for simulating and generating data of climatic elements in future periods from the outputs of the CanESM2 model. Precipitation, maximum and minimum temperature are climatic elements that were simulated in the present research for 13 synoptic stations, each of which represents a climatic region. In general, the results showed that the minimum and maximum temperature data have a better correlation with the observational data compared to the rainfall data, this is because the variability of temperature is less compared to rainfall, so to increase the correlation between rainfall and observational data in this research, The fourth root of the rainfall data was used, among the researches that used the fourth root of the rainfall data, Al-Mukhtar and Qasim (2019) can be mentioned. The results showed that precipitation will decrease in all synoptic stations under the RCP scenarios, and in most stations, the greatest decrease in precipitation will be under the RCP8.5 scenario in the statistical period of 2071-2099. So that the greatest reduction of precipitation will happen in the synoptic stations of Tabas and Bandar Anzali and the climatic regions of the interior semi-hot and very humid and moderate Caspian desert. Also, the hot mountainous climatic region (Shiraz) will experience less rainfall than other climatic regions. The results of the present research are in line with the studies of Rezai Banafsheh et al. (2014) and Asakereh and Akbarzadeh (2015), while they are different from the results of Golmohamadi and Massah Bowani (2015) who studied the changes in precipitation in the period of 2040-2069. . The results of the simulation of the minimum temperature with RCP scenarios showed that except for Sabzevar station (hot semi-arid climate region) and Tabas (inland semi-hot desert climate region) in the rest of the climate regions under all three RCP scenarios, the minimum temperature element will increase in the coming periods. The synoptic stations of Mashhad (semi-arid climatic zone B1 of the eastern sector) and Shiraz (warm mountainous climatic zone C3) will also experience a decrease in minimum temperature under the RCP2.6 scenario in the first study period (2011-2040). The highest increase in the minimum temperature in the country (13 studied stations) under the RCP8.5 scenario in the period of 2071-2099 in Shahrekord (cold mountainous climate region) will be 3.07 centigrade. The decrease in the minimum temperature in Sabzevar and Tabas stations can have different reasons, the most important of which is the decrease in precipitation and the decrease in atmospheric humidity and consequently the decrease in cloud cover. The average annual changes of the maximum temperature in different synoptic stations are different, so that according to the RCP scenarios, the synoptic stations of Shahrekord (cold mountainous) and Bandar Anzali (very humid and moderate) experience the greatest increase. The highest increase in the mentioned stations under the RCP8.5 scenario will be 4.35 degrees Celsius at the Anzali station and 4.27 degrees Celsius at the Shahrekord station. Also, the results showed that during the studied periods, the minimum and maximum temperature will have an increasing trend from the first period to the third period, the main reason of which is the increase of greenhouse gases in the second period (2041-2070) and the third period (2071-2099). The trend of precipitation from the first studied period to the third period will have a decreasing trend. The results of the research on temperature changes are consistent with most of the studies conducted in different regions of the country, including Abbasnia et al. (2016), Ghavidel et al. (2017) who mentioned the role of carbon dioxide in temperature fluctuations and possible climate changes in Iran.

## References

- Abbasnia, M; T. Tavousi and M. Khosravi (2016) Assessment of Future Changes in the Maximum Temperature at Selected Stations in Iran Based on HADCM3 and CGCM3 Models, *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.* 54: 371-377.
- Aghashahi, Mohsen; Ardestani, Mojtaba; Nik Sokhon, Mohammad Hassan; Tahmasabi, Beheshneh (2013) Introduction of LARS-WG and SDSM models for exponential micro-scale of environmental parameters in climate change studies, 6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, p. 10.
- Al-Mukhtar, Mustafa; Mariam, Qasim (2019) Future prediction of precipitation and temperature in Iraq using the statistical downscaling models. *Arabian Journal of Geosciences*. Pp 1-16.
- Asakereh, Hossein; Akbarzadeh, Younes (2016): Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2100) using statistical exponential microscale (SDSM) and output of CanESM2 model, *Geography and Environmental Hazards Journal*. 21, pp. 174-153.
- Asakereh, Hossein; Seyyed Abolfazl Masoudian; Fatemeh Tarkarani (1400): A decadal survey of Iran's annual rainfall during the last four decades (1355-1394), *Geography and Planning Journal*, Volume 25, Number 76, July, Pages 187-202.
- Asakreh, Hossein (2006) *Climate Change*, first edition, Zanjan, Zanjan University Press, 234 p.
- Azizi, Qasim; Ahmadi, Mohammad; Kardavani, Parviz (2018): Prospects of future air temperature changes based on CMIP5 models and RCP radiative forcing scenarios (case study: selected stations of Ilam Province, *Physical Geography Quarterly*. No. 43, pp. 71-88.

- Ghavidel Rahimi, Yusef; Manouchehr Farajzadeh Asal, Masoud Salehian (2017): Analysis of the role of carbon dioxide gas in the seasonal maximum temperature fluctuations of Iran, *Journal of Geography and Planning*, 22(63): 203-223.
- Golmohamadi, Maryam; Massah Bowani, Alireza (2018): Investigation of changes in intensity and recovery period of drought in Qarasu basin in future periods under the influence of climate change, *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*. No. 2, pp. 326-315.
- Goudarzi, Massoud; Salahi, Broumand, Hosseini, Asad (2014): Evaluation of the performance of LARS-WG and SDSM microscale models in simulating climate changes in the Urmia Lake catchment, *Iranian Journal of Environmental Sciences and Watershed Management*, No. 31, pp. 11-23.
- Heydari, Hassan; Alijani, Bahloul (1378): Climatic classification of Iran using multivariate statistical techniques, *Geographical Researches*, 37th issue, pp. 57-74.
- Hosseini, Seyed Asaad, (2014) Investigating the effects of climate change on changes in surface water runoff in the Urmia Lake catchment, supervisor: Broumand Salahi, co-supervisor: Masoud Gudarzi.
- IPCC (2013) climate change (2013) The physical basis. Contribution of working group I to the fifth Assessment Report of the International Panel on Climate Change, Stocker, T.F.D; Qin, G. k. Plattner, M; Tignor, S.K.; Allen, J; Boschung, A; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- IPCC. 2001. Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Editors: J. T. Houghton; Y. Ding; D. J. Griggs; M. Noguer; P. J. Van der Linden; X. Dai; K. Maskell and C. A. Johnson.
- Jason. P. E. (2009): 21st century Climate Change in the Middle East. *Climate Change*. Vol 92, pp 417-432.
- Jiaxu, Liu; Sujing, Chen; Lijuan, Li; Jiuyi, Li (2017) Statistical Downscaling and Projection of Future Air Temperature Changes in Yunnan Province, China; *Advances in Meteorology*, Article ID 2175904; 11 pages.
- Kilisby, C.G.; Jones, P.D.; Burton, A.C; Fowler, H.J.; Harpham, C; James, P; Smith, A; Wilby, R.L. (2007) A daily weather generator for use in climate change studies; *Environmental Modeling and Software*, 22: 1705-1719.
- Mohammad Khorshiddoust, Ali; Sari Sarraf, Behrouz; Ghermez Cheshmeh, Bagher; Jafarzadeh, Fatemeh (2016): Estimating and analyzing the future amounts of precipitation in the Caspian region using atmospheric general circulation models, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. No. 47, pp. 226-213.
- Mozaffari, Gholam Ali (2013): Investigating the trend of the beginning and ending date of precipitation thresholds of 0.1 and 5 mm in selected stations of Iran, *Journal of Geography and Planning*, 16(39): 129-150.
- Osman, Y; Al-Ansari, N; Abdellatif, M; Aljawad, S.B, Knutsson, S (2013) Expected Future precipitation in central Iraq using LARS-WG stochastic weather generator
- Rezaei, Maryam; Nahtani, Mohammad; Moghadamnia, Alireza; Abkar, Alijan; Rezaei, Masoumeh (2013) Investigating the performance of statistical micro-scale exponential model in rainfall forecasting in two arid and super-arid climates; *Water Journal*. Volume 28, Number 4, October 2013, pp. 836-845.
- Rezaei Banafsheh, Majid; Jalali Ansaroodi, Tahereh; Zarghami, Mehdi; Asghari Moghadam, Asghar (2014): Investigating the impact of climate change on the underground water level of the Tasuj catchment basin using the statistical microscale exponential method, *Water Resources Research*, No. 2, pp. 106-116.
- Samadi, Sinai; Mohammad Khorshiddoust, Ali; Habibi Nokhandan, Ali Mohammad; Zabol Abbasi, Fatemeh (2019) Application of SDSM model for representative micro-scale of GCM data of precipitation and temperature, case study: station climate forecasts in Iran, *Geographical Researches*; pp. 57-68.
- Sayyari, Nasreen; Alizadeh, Amin; Banayan Awal, Mohammad; Farid Hosseini, Alireza; Hesami Kermani, Massoud Reza (2017) Comparison of two atmospheric general circulation models (CGCM2 and HadCM3) in predicting climatic parameters and water needs of plants under climate change (case study: Kashaf Roud basin), *Water and Soil Journal*. 25(3): 925-912.

## مقاله پژوهشی



## ارزیابی اثرات تغییرات جهانی اقلیم بر عناصر اقلیمی دما و بارش در نواحی مختلف آب و هوایی ایران با استفاده از سناریوهای RCP



علی محمد خورشید دوست<sup>۱\*</sup>، مجید رضایی بنفشه<sup>۲</sup>، هاشم رستم زاده<sup>۳</sup>، یوسف زارعی<sup>۴</sup>



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت کامانز قابل استفاده است.



**ارجاع به این مقاله:** خورشید دوست، علی محمد؛ رضایی بنفشه، مجید؛ رستم زاده، هاشم؛ زارعی، یوسف؛ ارزیابی اثرات تغییرات جهانی اقلیم بر عناصر اقلیمی دما و بارش در نواحی مختلف آب و هوایی ایران با استفاده از سناریوهای RCP، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷(۸۳): ۶۳-۷۱.

DOI: 10.22034/GP.2023.10791



## چکیده

تغییرات اقلیمی یکی از اصلی‌ترین معضل‌گره زمین در عصر حاضر است بنابراین پیش‌بینی این تغییرات در آینده و اثرات آن بر منابع آب، محیط طبیعی، کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل در پژوهش حاضر اثرات تغییر اقلیم جهانی بر نواحی مختلف آب‌وهوایی کشور در نواحی ۱۲ گانه اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از داده‌های NCEP و عناصر اقلیمی بارش، دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) برای ریزمقیاس نمایی آماری با مدل SDSM استفاده شد؛ و با استفاده از خروجی مدل CanEMS2 تحت سناریوهای RCP برای سه دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ تغییرات سالانه عناصر اقلیمی به دست آمد. برای ارزیابی عملکرد مدل از ضریب همبستگی، ضریب تعیین و شاخص‌های خطا سنجی RMSE، MSE و MAD استفاده شد و نتایج نشان داد که مدل SDSM عملکرد مناسبی برای تولید عناصر اقلیمی دارد. با این حال نتایج به دست آمده نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. بدین صورت که هر مدل در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه از عملکرد مناسبی نسبت به بارش برخوردار است. همچنین نتایج بلندمدت سالانه نشان داد که بارش در تمامی نواحی اقلیمی مورد مطالعه در دهه‌های آتی کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین کاهش در نواحی بیابانی نیمه گرم داخلی (۳۵ درصد) و خیلی مرطوب و معتدل (۳۲ درصد) اتفاق خواهد افتاد؛ اما تغییرات دمای کمینه و بیشینه در نواحی مختلف اقلیمی متفاوت خواهد بود به طوری که تحت سناریوهای RCP در طول تمام دوره آماری در ایستگاه سبزواری و طبس تغییرات کمینه دما کاهشی خواهد بود ولی در دیگر نواحی اقلیمی روند تغییر دمای کمینه و بیشینه افزایشی خواهد بود. بیشترین افزایش کمینه و بیشینه دما بر اساس سناریوهای RCP تحت سناریوی RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد به ترتیب با ۳/۰۳، ۴/۲۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

## کلیدواژه‌ها

تغییر اقلیم، ایران، CanESM2، دما و بارش

دریافت شده: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

پذیرفته شده: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

منتشر شده: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

\* نویسنده مسئول: علی محمد خورشید دوست

رایانامه: [khoshiddoust@gmail.com](mailto:khoshiddoust@gmail.com)

۱. استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز.

۲. استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز.

۳. استاد یار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز.

۴. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز.



## مقدمه

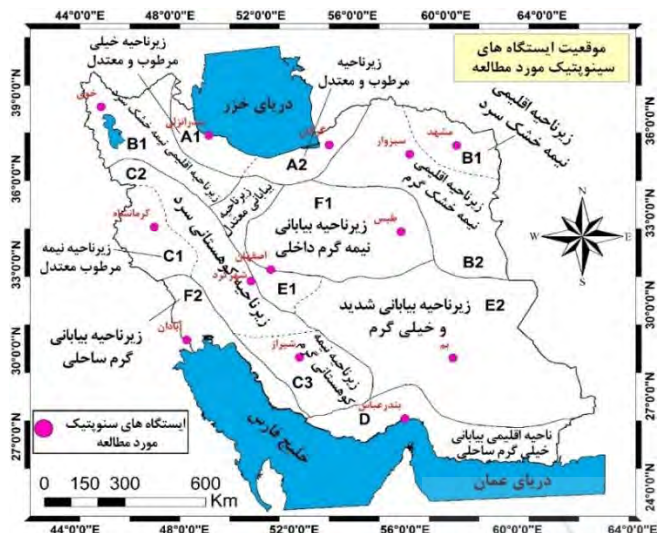
میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش می‌باشد، به طوری که بررسی‌های اخیر هیئت بین دول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> افزایش میانگین دمای جهانی را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کند (IPCC، ۲۰۰۱: ۷۷). همچنین IPCC در گزارش پنجم خود میزان افزایش دمای متوسط زمین را ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۱۳ گزارش کرده است (IPCC، ۲۰۱۳). تغییر اقلیم علاوه بر پوشش گیاهی، تولیدات کشاورزی و چرخه هیدرولوژی بر منابع آب قابل‌دسترس و وقوع خشک‌سالی و سیل نیز تأثیرگذار است. شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای اقلیم‌شناسی (نظیر دما، بارش، رطوبت، ...) و تأثیر آن‌ها بر بخش کشاورزی جهت مدیریت منابع آبی و کشاورزی ضروری می‌باشد (سبازی و همکاران، ۱۳۹۰، ۲۱۴)، بلکه به لحاظ برنامه‌ریزی اقتصادی، زراعی هیدرولوژیکی و ... از ارزش شایان توجهی برخوردار است (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۶). روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا  $GCM^2$  می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴، ۱۱۷). هرچند که این مدل‌ها در مقیاس فضای اتمسفری و قاره‌ای نتایج معنی‌دار را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما قادر نیستند تغییرات اقلیمی محلی را به نمایش بگذارند (شارما و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۵)؛ بنابراین ارزیابی تأثیر تغییرات در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد رویکرد اساسی همان تکنیک‌های ریزمقیاس گردانی هستند (ویبلی و همکاران، ۲۰۰۲: ۸۶). معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس گردانی آماری داده‌های  $GCM$  استفاده از روش‌های آماری است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل  $SDSM$  است. مدل  $SDSM$  از مدل‌های انتقالی آماری است (ویبلی و داوسون، ۲۰۰۷: ۷)؛ که به‌عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس‌نمایی در سطح جهان شناخته شده است. از تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

فیلیپ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۱۵) به بررسی تغییرات دما در شمال کانادا با استفاده از دو مدل گردش عمومی  $HadCm3$  و  $CGCM2$  تحت دو سناریوی  $A2$  و  $B2$  و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی  $SDSM$  پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ فصل زمستان نسبت به فصل تابستان و همچنین سناریوی  $A2$  نسبت به  $B2$  دمای بالاتری را پیش‌بینی می‌کند و مدل  $HadCm3$  نسبت به مدل  $CGCM2$  توانایی بالایی در تولید داده‌های شبیه‌سازی شده دارد. جیسون (۲۰۰۹: ۱۳) تغییر اقلیم در قرن ۲۱ م را در خاورمیانه مورد مطالعه قرارداد.

در این راستا ۱۸ مدل اقلیمی  $GCM$  ارائه شده در چهارمین گزارش IPCC تحت سناریو انتشار  $A2$  در پیش‌بینی دما و بارش استفاده شده است. مدل‌ها افزایش سراسری دما را ۴-۱ درجه برای اواسط قرن و ۴ درجه سانتی‌گراد برای اواخر قرن در منطقه خاورمیانه را پیش‌بینی می‌کنند. بارش نیز در ناحیه شرق مدیترانه، ترکیه، سوریه، شمال عراق، شمال ایران و قفقاز کاهش خواهد یافت. عثمان<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۳: ۱۲) بارش مناطق مرکزی عراق را بر اساس هفت مدل جهانی با استفاده از مدل  $LARS-WG$  ریزمقیاس‌نمایی کردند و نتایج حاصله نشان داد که دوره‌های دسامبر-فوریه و سپتامبر-نوامبر بارش از روند افزایشی برخوردار خواهد بود. چیماس<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳: ۱۴) عملکرد روش ریزمقیاس‌نمایی  $SDSM$  را روی روند داده‌های کمینه دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که تغییرات معنی‌دار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ خواهد داد. ویدیا و همکاران (۲۰۱۶: ۱۰) برای ریزمقیاس‌نمایی بارش، بیشینه و کمینه دما در حوضه رودخانه گوداواری در کشور هند، از مدل ریزمقیاس‌نمایی  $SDSM$  در دو مدل اقلیمی جهان  $CGCM3$  و  $HadCM3$  استفاده کردند در مدل  $CGCM3$  دو سناریو  $A1B$  و  $A2$  و در مدل  $HadCM3$  سناریوهای  $A2$  و  $B2$  به کار گرفتند. شبیه‌سازی این تحقیق که برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود نشان داد که دمای حداکثر در اکثر سناریوها افزایش داشته و بارش نیز در تمامی سناریوها داری روند افزایشی بوده است. جیاس<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷) داده‌های دما را در استان یونان چین ریزمقیاس گردانی کردند. همچنین تغییرات دما را تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از سناریوهای  $RCP$  تولید کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که تحت هر سه سناریو  $RCP$  استان یونان افزایش دما را تجربه خواهد کرد. بیشترین افزایش دما تحت سناریو  $RCP8.5$  خواهد بود. سعید و عطار (۲۰۱۸) پارامترهای اصلی اقلیم‌شناسی (دما و بارش) را در کشور پاکستان تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از خروجی ۲۲ مدل گردش عمومی جو بر پایه گزارش چهارم IPCC تحت سناریوهای  $A2$ ،  $A1b$  و  $B1$  مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که در ۶۶ درصد از مدل‌ها میزان بارش زمستانی تا ۱۰ درصد کاهش و دما در مناطق مرکزی و غربی ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و تغییرات دما و بارش در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان خواهد بود. المختار و قاسم (۲۰۱۹: ۱۴) تغییرات آینده دما و بارش کشور عراق را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کرده‌اند. در این راستا داده‌های مدل گردش عمومی جو ( $CanEMS2$ ) را با مدل آماری  $SDSM$  ریزمقیاس و واسنجی و صحت سنجی کردند. نتایج نشان داد که مدل  $SDSM$  عملکرد رضایت‌بخشی برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دارد. تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی و سناریوهای  $RCP$  روند افزایشی دمای حداقل و حداکثر و روند کاهش بارش را پیش‌بینی کردند و سناریو  $RCP8.5$  بیشترین افزایش دما و کاهش بارش را نشان داده است.

گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در استان کرمانشاه را در دوره‌های آتی مورد ارزیابی

مطالعه بر اساس پژوهش حیدری و علیجانی (۱۳۷۸: ۱۸) که اقلیم ایران را با استفاده از ۴۹ پارامتر اقلیمی به ۶ ناحیه و ۱۲ زیر ناحیه اقلیمی تقسیم کردند، می‌باشد. شکل ۱ ایستگاه‌های مورد مطالعه به همراه زیر ناحیه اقلیمی ایستگاه در آن قرار دارد را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور.

مدل ریزمقیاس نمایی آماری  $SDSM^1$ : یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای تولید داده‌های آب‌وهوایی به‌وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس نمایی آماری می‌باشد (ویلکس، ۱۹۹۲؛ ویلکس، ویبلی، ۱۹۹۹: ۷۵). که اساس آن استفاده از ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های آب‌وهوایی مصنوعی برای کوچک‌مقیاس نمایی می‌باشد. این مدل یکی از پرکاربردترین ابزار آماری ریزمقیاس نمایی می‌باشد که کاربردهای بسیاری در زمینه‌های اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی، جغرافیایی و زیست‌محیطی دارد (ویبلی و هاریس، ۲۰۰۶: ۳).  
مدل  $SDSM$  بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیر پیش‌بینی شونده (عموماً بارش و دما) اقدام به ایجاد آزمون همبستگی و همبستگی جزئی و همبستگی متقابل می‌کند. با کمک این آزمون‌ها، متغیرهای مستقلی (پیش‌بینی کننده‌ها) را که با متغیرهای وابسته (پیش‌بینی شونده‌ها) رابطه همبستگی خوبی داشته باشند، به‌عنوان پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی آینده انتخاب می‌کند (اقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). جدول ۱ لیست متغیرهای پیش‌بینی کننده  $NCEP$  را نشان می‌دهد که به‌عنوان یکی از ورودی‌های  $SDSM$  می‌باشد.

و مطالعه قراردادند. در این ارزیابی از مدل ریزمقیاس نمایی آماری  $SDSM$  برای ریزمقیاس کردن خروجی مدل گردش عمومی  $HadCM3$  تحت سناریوی  $A2$  استفاده شده است. مقایسه نتایج حاکی از این است که در حوضه قره‌سو در دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی شاهد افزایش بارش و به‌تبع، کاهش خشک‌سالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴: ۱) به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس نمایی آماری از مدل  $HADCM3$  و سناریوهای  $A2$ ،  $B1$ ،  $A1B$  استفاده کردند و جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های گردش مدل گردش عمومی جو، از مدل  $LARS-WG$  استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که هر سه سناریو بیشترین افزایش دما و بالاترین درصد کاهش بارش در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر اتفاق خواهد افتاد. عساکره و اکبر زاده (۱۳۹۶) تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز را طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۰ شبیه‌سازی کردند، آن‌ها در تحقیق خود از مدل ریزمقیاس نمایی آماری  $SDSM$  و خروجی مدل  $CanESM2$  و سناریوهای  $RCP$  استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که دما تحت هر سه سناریو افزایش می‌یابد، همچنین بارش به‌طور کلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش مواجه خواهد شد. عباس نیا و همکاران (۲۰۱۶) دمای حداکثر، هفت ایستگاه منتخب ایران را با استفاده از خروجی مدل  $CGCM3$  و مدل ریزمقیاس نمایی آماری بین سال‌های ۲۰۴۱ تا ۲۰۹۹ مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که سناریو  $B1$  بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی دمای حداکثر دارد. میانگین افزایش دما در ایستگاه‌های منتخب بین ۰/۳ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش تحت سناریو  $A2$  خواهد بود. عزیز و همکاران (۱۳۹۸) دمای هوای دوره آینده را با استفاده از مدل‌های  $CMIP5$  و سناریوهای واداشت تابشی ( $RCP$ ) در استان ایلام مطالعه کردند. نتایج حاصله نشان داد که مدل‌های  $CMIP5$  انطباق نسبتاً خوبی با داده‌های مشاهداتی دارند. همچنین از توانایی و عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی داده‌ها برخوردار هستند. بررسی منابع نشان می‌دهد که در ایران مطالعات خوبی در زمینه تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی اقلیم آینده ایران با مدل‌های اقلیمی انجام شده است؛ اما با توجه به اینکه سناریوهای واداشت تابشی ( $RCP$ ) از سناریوهای جدید  $IPCC$  می‌باشد، در این زمینه نیز مطالعات جامعی در کشور انجام نپذیرفته لذا این تحقیق با در نظر داشتن سناریوهای واداشت تابشی با توجه به جدید بودن این سناریوها انجام می‌شود.

## روش

### ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

پژوهش حاضر بر روی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک کشور انجام شده است که هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک نماینده، یک زیر ناحیه اقلیمی در این پژوهش است، با این حال به دلیل قرارگیری زیر ناحیه اقلیمی نیمه‌خشک سرد در دو بخش از کشور (شمال غرب و شمال شرق) از این ناحیه دو ایستگاه سینوپتیکی مورد مطالعه قرار گرفت. نواحی اقلیمی مورد استفاده در این

جدول ۱: لیست متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس NCEP

علامت	متغیر (مقیاس روزانه)	ردیف	علامت	متغیر (مقیاس روزانه)	ردیف
**th5	چرخندگی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۵	prec	بارش به میلی‌متر	۱
**zh	واگرایی در سطح زمین	۱۶	temp	متوسط دما	۲
**zh8	واگرایی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۷	mslp	میانگین فشار در تراز دریا	۳
**zh5	واگرایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	P850	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰	۴
**_z	چرخندگی در سطح زمین	۱۹	P500	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	۵
**_z8	چرخندگی در تراز ۸۵۰	۲۰	rhum	رطوبت نسبی در سطح زمین	۶
**_z5	چرخندگی در تراز ۵۰	۲۱	R850	رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۷
**_u	مؤلفه باد مداری در سطح زمین	۲۲	R500	رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۸
**_u8	مؤلفه باد مداری در تراز ۸۵۰	۲۳	shum	نم ویژه در سطح زمین	۹
**_u5	مؤلفه باد مداری در تراز ۵۰۰	۲۴	**_F	سرعت جریان هوا در سطح زمین	۱۰
**_v	نصف‌النهاری در سطح زمین	۲۵	**_f8	سرعت جریان هوا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۱
**_v8	نصف‌النهاری در تراز ۸۵۰	۲۶	**_f5	سرعت جریان هوا در سطح ۵۰ هکتوپاسکال	۱۲
**_v5	نصف‌النهاری در تراز ۵۰۰	۲۷	**th	جهت باد در سطح زمین	۱۳
		۲۸	**th8	جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۴

میانگین مربعات خطا  
معادله (۲)

میانگین مطلق خطا  
معادله (۳)

ضریب تعیین  
معادله (۴)

انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده (مستقل)

متغیرهای NCEP شامل متغیرهای اتمسفری است که از بین آن‌ها، متغیرهای مستقل پیش‌بینی کننده (پیش‌بینی کننده) انتخاب می‌شود. از آنجایی که متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، می‌تواند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی شونده داشته باشد لذا متغیرهایی حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند. یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری انتخاب متغیرهای غالبی است که در واسنجی، صحت سنجی و تولید داده‌های پیش‌بینی شونده در مدل از آن استفاده می‌شود. اهمیت این بخش ناشی از آن است که مشخصات مدل و نتایج مدل، تحت تأثیر مستقیم متغیرهای مستقل است. متغیرهای مستقل باید از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط بوده و از نظر آماری همبستگی بالایی را با آن‌ها داشته باشد (Abbasina et al, 2016).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این قسمت از پژوهش متغیرها NCEP که بیشتر همبستگی را با متغیرهای پیش‌بینی شونده (بارش، دمای کمینه و بیشینه) داشتن انتخاب شدند که متغیرهای سرعت نصف‌النهاری ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت مداری ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال و چرخندگی در ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشترین همبستگی را با داده‌های بارش و متغیرهای متوسط فشار در سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و متوسط دما در ارتفاع دو متری بیشترین همبستگی را با دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه دارند.

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

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Obs_i - For_{i1})^2$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum (X_o)^2 \sum (X_s)^2}}$$

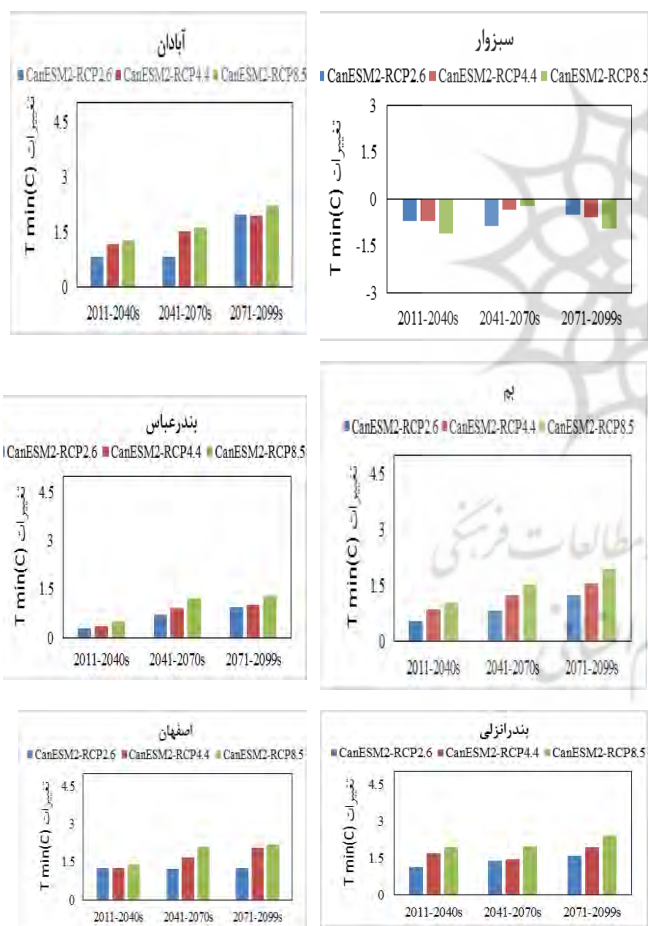


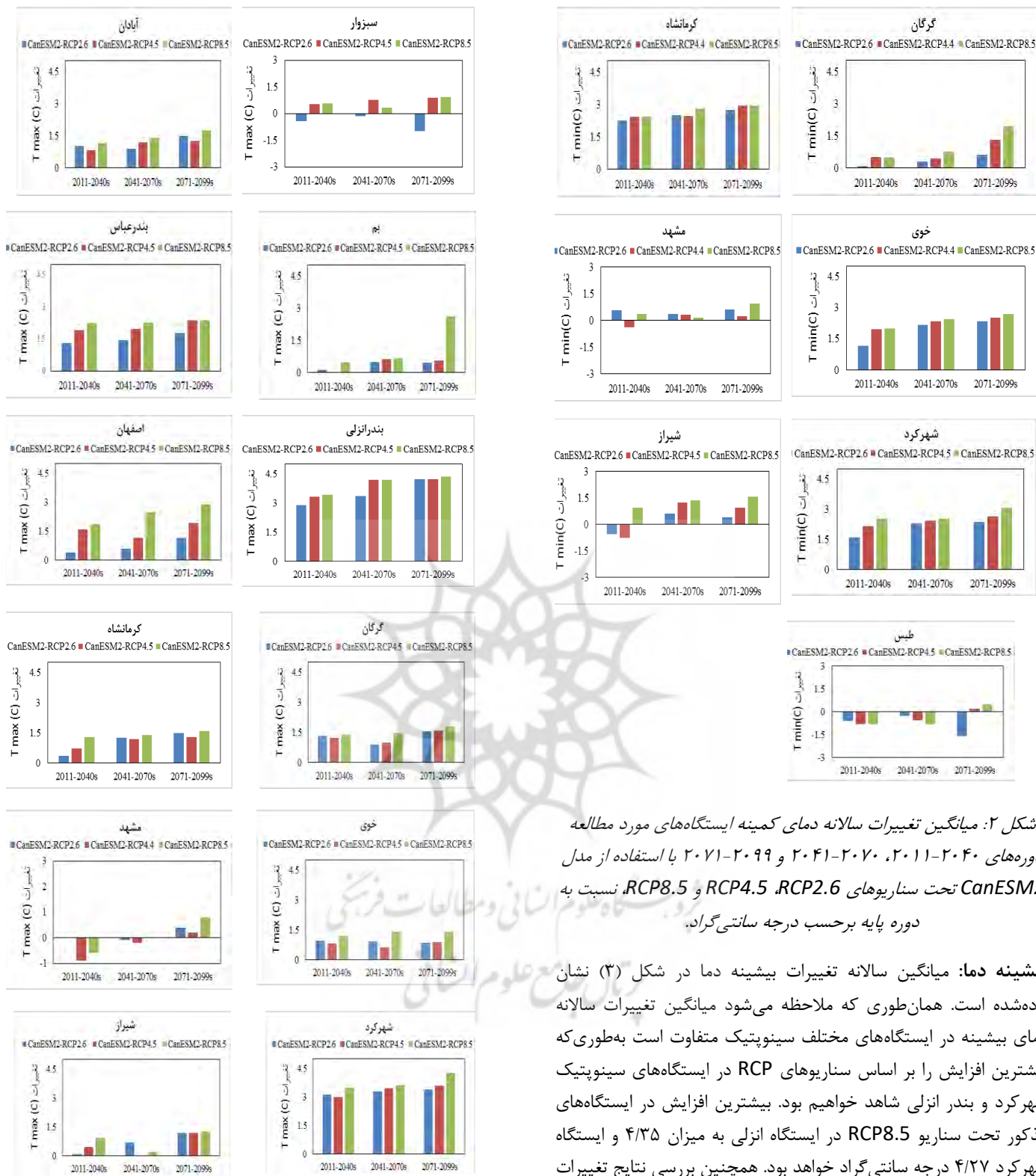
بررسی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آبی بر اساس سناریوهای RCP کمینه دما: پس از ارزیابی مدل SDSM و اطمینان از توانایی مدل در تولید و شبیه‌سازی عناصر اقلیمی در دوره آینده با استفاده از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6 (خوش‌بینانه)، RCP4.5 (حد متوسط) و RCP8.5 (بدبینانه) اقدام به تولید داده‌های در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۱، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۴۰-۲۰۱۱ شد. نتایج این بخش در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود به‌غیر از ایستگاه سبزوار و طبس در بقیه ایستگاه‌ها تحت هر سه سناریو RCP عنصر دمای کمینه در دوره‌های آبی افزایش خواهد یافت. ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و شیراز نیز تحت سناریو RCP2.6 در دوره اول مطالعاتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) کاهش دمای کمینه را تجربه خواهد کرد. بیشترین افزایش دمای کمینه در سطح کشور (۱۳ ایستگاه مورد مطالعه) نیز تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۱ در شهرکرد، خوی، کرمانشاه به ترتیب به میزان ۳/۰۷، ۲/۹۶ و ۲/۹۵ سانتی‌گراد خواهد بود.

ارزیابی عملکرد مدل‌های SDSM: برای ارزیابی عملکردهای مدل‌های sdsM مورد مطالعه در این پژوهش، در شبیه‌سازی متغیرهای بارش، دمای کمینه و بیشینه از ضریب همبستگی، ضریب تعیین، از اماره‌ها و معیارهای خطا سنجی، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه استفاده شده است. لذا داده‌های پارامترهای اقلیمی برای دوره تاریخی ۲۰۰۵-۱۹۹۱ با مدل ریزمقیاس نمایی SDSM شبیه‌سازی شد و معیارهای خطا سنجی برای آن‌ها محاسبه شد که نتایج آن به ترتیب در جداول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای مدل CanESM2 در پارامتر بارش، دمای بیشینه و کمینه

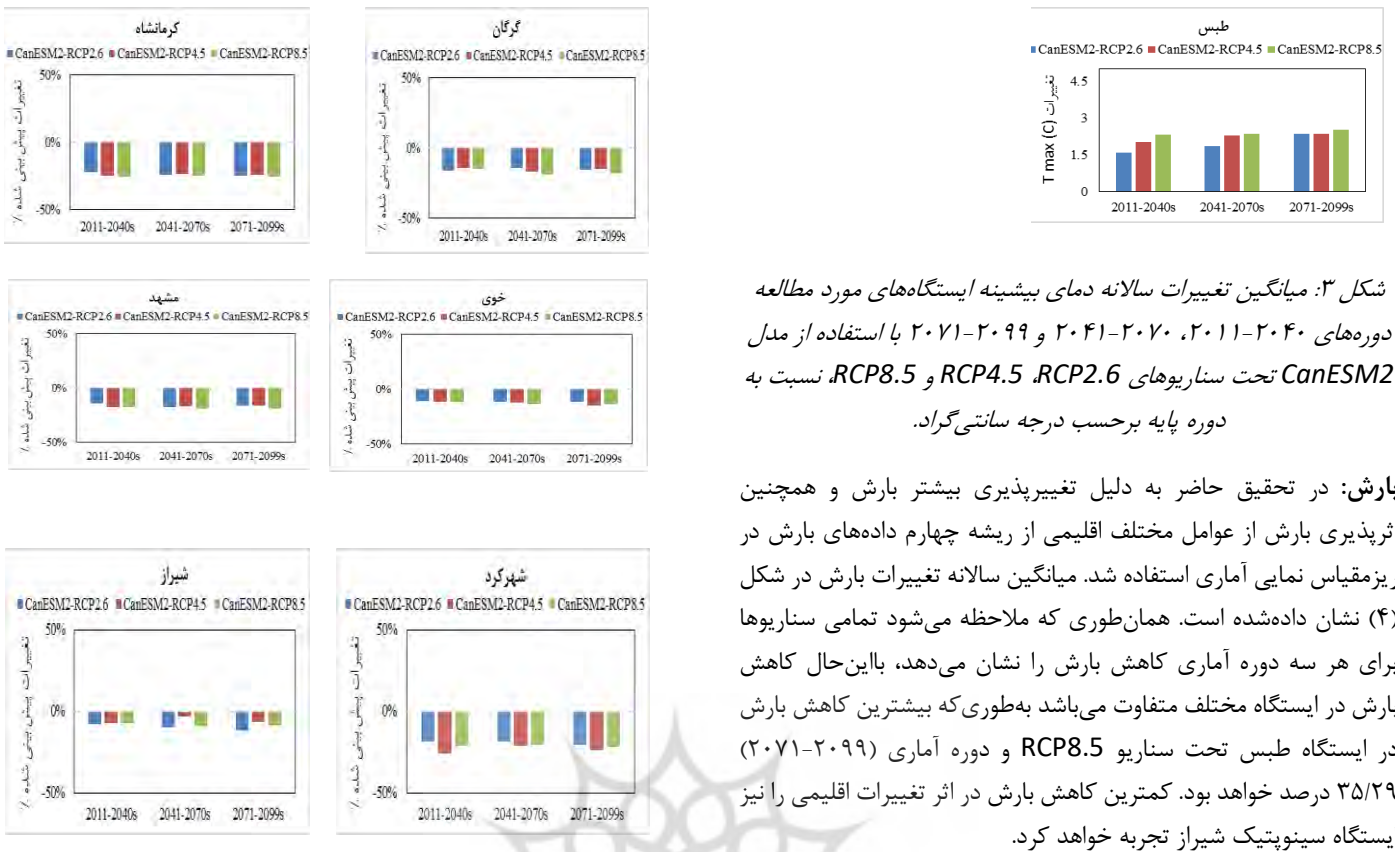
ردیف	ایستگاه	عنصر	R	R <sup>2</sup>	MAD	MSE	RMSE
۱	سبزوار	بارش	۹۵٪	۹۰٪	۰/۴۱	۰/۳	۰/۵۴
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۸۵	۱/۱۸	۱
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۲۵	۰/۱	۰/۳۲
۲	آبادان	بارش	۸۷٪	۸۴٪	۱/۷	۴/۸	۲/۲
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۸۵
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۸
۳	بم	بارش	۷۶٪	۷۵٪	۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۹۶
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۷۱
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۴۹
۴	بندرعباس	بارش	۸۳٪	۸۰٪	۳	۱۳	۳/۶۳
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۸۴
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۹۲
۵	بندرآنزلی	بارش	۹۹٪	۹۵٪	۰/۰۱	۴/۴	۰/۰۶
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۷۹
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۶۸
۶	اصفهان	بارش	۹۵٪	۹۳٪	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۷۳
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶	۰/۵۴	۰/۷۳
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۲۲
۷	گرگان	بارش	۹۹٪	۹۴٪	۱/۱	۱/۲۷	۱/۱۲
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۲۵	۰/۱	۰/۳۱
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۲۵
۸	کرمانشاه	بارش	۹۷٪	۹۴٪	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۷۹
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۵۱
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۸۶
۹	خوی	بارش	۹۷٪	۹۱٪	۰/۶۸	۱/۰۷	۱/۰۳
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۷۶	۰/۵	۰/۷۱
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۷۳
۱۰	مشهد	بارش	۸۵٪	۸۳٪	۳/۹	۴۱/۴۶	۶/۴۵
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۶۹
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۴	۰/۱	۰/۴۳
۱۱	شهرکرد	بارش	۸۸٪	۸۶٪	۱/۱۷	۴/۵۳	۲/۱۲
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۵۳
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۴۴
۱۲	شیراز	بارش	۹۳٪	۹۰٪	۱/۱۳	۲/۴	۱/۵۴
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۶۲
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۹۴
۱۳	طبس	بارش	۹۸٪	۹۶٪	۱/۴۲	۳	۱/۷۵
		دمای بیشینه	۹۹٪	۹۹٪	۰/۶۵	۰/۸۴	۰/۹۴
		دمای کمینه	۹۹٪	۹۹٪	۱/۲	۱/۱۶	۱/۴۷





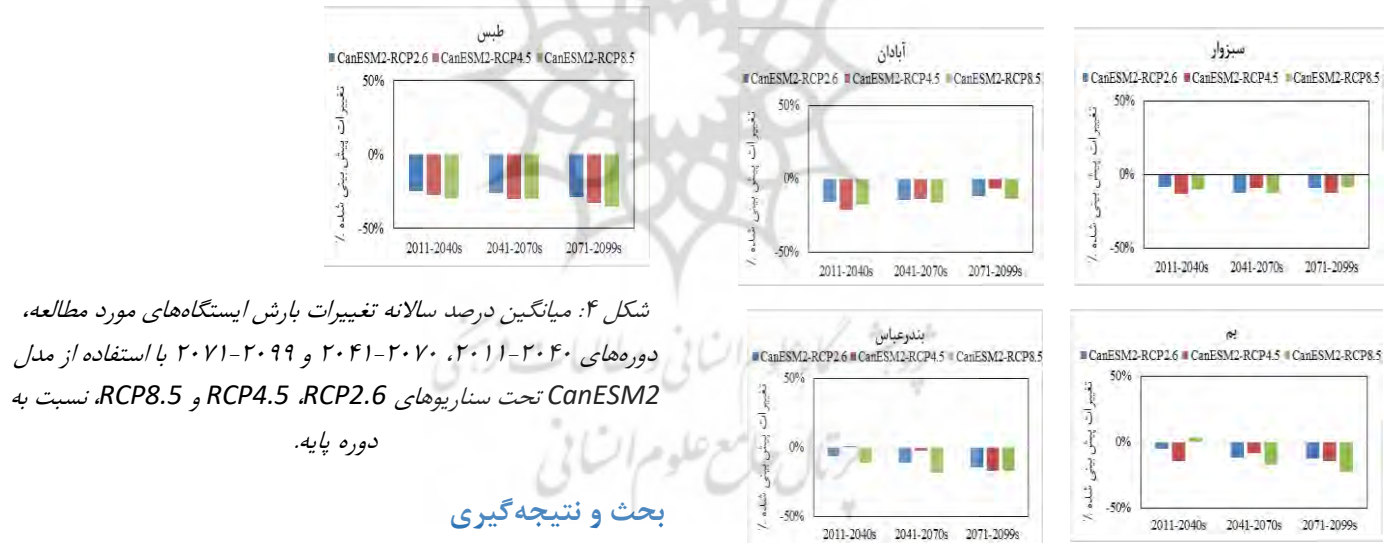
شکل ۲: میانگین تغییرات سالانه دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه برحسب درجه سانتی‌گراد.

**بیشینه دما:** میانگین سالانه تغییرات بیشینه دما در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود میانگین تغییرات سالانه دمای بیشینه در ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک متفاوت است به‌طوری‌که بیشترین افزایش را بر اساس سناریوهای RCP در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرکرد و بندر انزلی شاهد خواهیم بود. بیشترین افزایش در ایستگاه‌های مذکور تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه انزلی به میزان ۴/۳۵ و ایستگاه شهرکرد ۴/۲۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. همچنین بررسی نتایج تغییرات بیشینه دما در ایستگاه سبزواری و مشهد، نشان می‌دهد که بر اساس سناریو RCP2.6 در هر سه دوره آماری برای سبزواری و بر اساس سناریو RCP4.5 برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ دمای بیشینه نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.



شکل ۳: میانگین تغییرات سالانه دمای بیشینه ایستگاه‌های مورد مطالعه دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه برحسب درجه سانتی‌گراد.

بارش: در تحقیق حاضر به دلیل تغییرپذیری بیشتر بارش و همچنین اثرپذیری بارش از عوامل مختلف اقلیمی از ریشه چهارم داده‌های بارش در ریزمقیاس نمایی آماری استفاده شد. میانگین سالانه تغییرات بارش در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود تمامی سناریوها برای هر سه دوره آماری کاهش بارش را نشان می‌دهد، با این حال کاهش بارش در ایستگاه مختلف متفاوت می‌باشد به طوری که بیشترین کاهش بارش در ایستگاه طبس تحت سناریو RCP8.5 و دوره آماری (۲۰۷۱-۲۰۹۹) ۳۵/۲۹ درصد خواهد بود. کمترین کاهش بارش در اثر تغییرات اقلیمی را نیز ایستگاه سینوپتیک شیراز تجربه خواهد کرد.



شکل ۴: میانگین درصد تغییرات بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه.

### بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی آماری و برای شبیه‌سازی و تولید داده‌های عناصر اقلیمی در دوره‌های آتی از خروجی‌های مدل CanESM2 استفاده شده است. بارش، دمای بیشینه و کمینه از عناصر اقلیمی هستند که در تحقیق حاضر برای ۱۳ ایستگاه سینوپتیک که هر کدام نماینده یک ناحیه اقلیمی است، شبیه‌سازی شد. به‌طورکلی نتایج حاصله نشان داد که داده‌های دمای کمینه و بیشینه همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی در مقایسه با داده‌های بارندگی دارند. این به این علت است که تغییرپذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است، لذا برای افزایش همبستگی بین بارش و داده‌های مشاهداتی در این تحقیق از ریشه چهارم داده‌های بارندگی استفاده شد که از جمله تحقیقاتی که از ریشه چهارم داده‌های بارش استفاده کردند می‌توان به المختار و قاسم (۲۰۱۹) اشاره کرد. نتایج نشان



مذکور نشان می‌دهد که در کشور عراق و پاکستان نیز دما در دوره‌های آتی دارای روند افزایشی و بارش دارای روند کاهش خواهد بود.

روند نزولی میانگین بارش همراه با افزایش دما باعث افزایش تبخیر و ایجاد تغییراتی مهم در منابع آب و به تبع آن در میزان محصولات کشاورزی خواهد کرد. این مهم لزوم تغییرات برنامه‌ریزی را در بهره‌برداری از منابع آب و کشاورزی مشخص می‌کند. برنامه‌های آتی باید به گونه‌ای باشد که انطباق و سازگاری بیشتری با این تغییرات حاصل شود و مناطقی که بیشتر تحت تأثیر اقلیم جهانی هستند مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

## منابع

افشاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک سخن، محمدحسن؛ طهماسبی، بهشنه (۱۳۹۱) معرفی مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس نمایی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، ص ۱۰.

حسینی، سید اسعد، (۱۳۹۴) بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات روان آب سطحی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، استاد راهنما: برومند صلاحی، استاد مشاور: مسعود گودرزی.

حیدری، حسن؛ علیجانی، بهلول (۱۳۷۸): طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره سی و هفتم، صص ۷۴-۵۷.

رضایی بنفشه، مجید؛ جلالی عنصردی، طاهره؛ زرغامی، مهدی؛ اصغری مقدم، اصغر (۱۳۹۴): بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس نمایی آماری، تحقیقات منابع آب، شماره دوم، صص ۱۱۶-۱۰۶.

رضایی، مریم؛ نهنانی، محمد؛ مقدم نیا، علی‌رضا؛ آبکار، علیجان؛ رضایی، معصومه (۱۳۹۳) بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فرا خشک؛ نشریه آب‌و خاک. جلد ۲۸، شماره ۴، مهر- آبان ۱۳۹۳، صص ۸۴۵-۸۳۶.

سپاری، نسرین؛ عزیززاده، امین؛ بنایان اول، محمد؛ فرید حسینی، علیرضا؛ حسامی کرمانی، مسعود رضا (۱۳۹۰) مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (CGCM2 و HadCM3) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)، نشریه آب‌و خاک. جلد بیست و پنجم، شماره سوم، صص ۹۲۵-۹۱۲.

صمدی، سینا؛ محمد خورشید دوست، علی؛ حبیبی نوخندان، علی محمد؛ زابل عباسی، فاطمه (۱۳۹۰) به کارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM بارش و دما مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی؛ صص ۵۷-۶۸.

عزیزی، قاسم؛ احمدی، محمد؛ کردوانی، پرویز (۱۳۹۸): چشم‌انداز تغییرات دمای هوای دوره آینده بر اساس مدل‌های CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی RCP (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی. شماره ۴۳، صص ۸۸-۷۱).

عساکره، حسین (۱۳۸۶) تغییر اقلیم، چاپ اول، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان، صص ۲۳۴.

عساکره، حسین؛ اکبر زاده، یونس (۱۳۹۶): شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره بیست و یکم، صص ۱۷۴-۱۵۳.

عساکره، حسین؛ سیدابوالفضل مسعودیان؛ فاطمه ترکرانی (۱۴۰۰): بررسی وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۶، تیرماه، صفحه 202-187.

داد که بارش در کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک تحت سناریوهای RCP کاهش خواهد یافت که در اکثر ایستگاه‌ها بیشترین کاهش بارش تحت سناریو RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۷۱-۲۰۹۹ خواهد بود. به طوری که بیشترین کاهش بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک طبس و بندر انزلی و نواحی اقلیمی بیابانی نیمه گرم داخلی و خلیی مرطوب و معتدل خزری اتفاق خواهد افتاد. همچنین ناحیه اقلیمی کوهستانی گرم (شیراز) کمتر از دیگر نواحی اقلیمی کاهش بارش را تجربه خواهد کرد. نتایج تحقیق حاضر با مطالعات رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) و عساکره و اکبر زاده (۱۳۹۶) هم سو است در حالی که با نتایج گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) که در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تغییرات بارش را مطالعه کرده است اختلاف دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی کمینه دما با سناریوهای RCP نشان داد که به غیر از ایستگاه سبزوار (ناحیه اقلیمی نیمه خشک گرم) و طبس (ناحیه اقلیمی بیابانی نیمه گرم داخلی) در بقیه نواحی اقلیمی تحت هر سه سناریو RCP عنصر دمای کمینه در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت. ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد (ناحیه اقلیمی نیمه خشک B1 بخش شرقی) و شیراز (ناحیه اقلیمی کوهستانی گرم C3) نیز تحت سناریو RCP2.6 در دوره اول مطالعاتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) کاهش دمای کمینه را تجربه خواهد کرد. بیشترین افزایش دمای کمینه در سطح کشور (۱۳ ایستگاه مورد مطالعه) نیز تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در شهرکرد (ناحیه اقلیمی کوهستانی سرد)، به میزان ۳/۰۷ سانتی‌گراد خواهد بود. کاهش دمای کمینه در ایستگاه‌های سبزوار و طبس می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد که از مهم‌ترین آن‌ها کاهش بارش و کاهش رطوبت جو و به تبع کاهش ابرناکی آسمان باشد. میانگین تغییرات سالانه دمای بیشینه در ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک متفاوت است به طوری که بیشترین افزایش را بر اساس سناریوهای RCP ایستگاه‌های سینوپتیک شهرکرد (کوهستانی سرد) و بندر انزلی (خلیی مرطوب و معتدل) تجربه می‌کنند. بیشترین افزایش در ایستگاه‌های مذکور تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه انزلی به میزان ۴/۳۵ و ایستگاه شهرکرد ۴/۲۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در طول دوره‌های مورد مطالعه دمای کمینه، بیشینه از دوره اول به دوره سوم دارای روند افزایشی خواهد بود که دلیل اصلی آن افزایش بیشتر گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و دوره سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۱) می‌تواند باشد و روند بارش از دوره اول مورد مطالعه به دوره سوم دارای روند کاهش خواهد بود. نتایج تحقیق تغییرات دما با اکثر مطالعات انجام شده در مناطق مختلف کشور همخوانی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به عباس نیا و همکاران (۲۰۱۶)، محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، عساکره و همکاران (۱۴۰۰)، مظفری (۱۳۹۱)، و یا قویدل و همکاران (۱۳۹۷) در ارتباط با نقش دی اکسید کربن در نوسانات دمایی و تغییرات احتمالی آب و هوای ایران اشاره کرد.

در سطح خاورمیانه نیز تحقیقات مختلفی انجام شده است که عموماً مثل کشور ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند، که می‌توان به مطالعه المختار و قاسم ۲۰۱۹ (کشور عراق) و سعید و عطار ۲۰۱۸ (کشور پاکستان) و جیسون ۲۰۰۹ (خاورمیانه) که تغییرات دما و بارش را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند، پرداخت. مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات

- قوبدل رحیمی، یوسف؛ منوچهر فرج زاده اصل، مسعود صالحیان (۱۳۹۷): تحلیل نقش گاز دی اکسید کربن در نوسانات دمای حداکثر فصلی ایران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۲(۶۳): ۲۰۳-۲۲۳.
- گل محمدی، مریم؛ مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۰): بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، نشریه آب‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲، صص ۳۲۶-۳۱۵.
- گودرزی، مسعود؛ صلاحی، برومند حسینی، اسعد (۱۳۹۴): ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله علوم محیطی و آبخیزداری ایران، شماره سی یکم، صص ۱۱-۲۳.
- محمدخورشید دوست، علی؛ ساری صراف، بهروز؛ قرمز چشمه، باقر؛ جعفر زاده، فاطمه. (۱۳۹۶): برآورد و تحلیل مقادیر آبی بارش‌های نواحی خزری با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره چهل هفتم، صص ۲۱۳-۲۲۶.
- مظفری، غلامعلی (۱۳۹۱): بررسی روند تاریخ آغاز و خاتمه آستانه‌های بارش ۰/۱ و ۵ میلی‌متر در ایستگاه‌های منتخب ایران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۳۹): ۱۵۰-۱۲۹.
- Abbasina, M; T. Tavousi and M. Khosravi (2016) Assessment of Future changes in the Maximum Temperature at Selected Station in Iran Based on HADCM3 and CGCM3 Models, Asia- Pac. J. Atmos. Sci. 54: 371-377.
- Al- Mukhtar, Mustafa; Mariam, Qasim (2019) Future prediction of precipitation and temperature in Iraq using the statistical downscaling models. Arabian Journal of Geosciences. Pp 1-16.
- IPCC (2013) climate change (2013) The physical basis. Contribution of working group I to the fifth Assessment Report of the International Panel on Climate Change, Stocker, T.F.D; Qin, G. k. Plattner, M; Tignor, S.K; Allen, J; Boschung, A; Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom and New Yourk, NY, USA, 1535p.
- IPCC. 2001. Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Thrid Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Editors: J. T. Houghton; Y. Ding; D. J. Griggs; M. Noguer; P. J. Van der Linden; X. Dai; K. Maskell and C. A Johnson.
- Jason. P. E. (2009): 21<sup>st</sup> century Climate Change in the Middle East. Climate Change. Vol 92, pp 417-432.
- Jiaxu, Liu; Sujing, Chen; Lijuan, Li; Jiuyi, Li (2017) Statistical Downscaling and Projection of Future Air Temperature Changes in Yunnan Province, china; Advances in Meteorology, Article ID 2175904; 11 page.
- Kilisbury, C.G; Jones, P.D; Burton, A.C; Fowler, H.J; Harpham, C; James, P; Smith, A; Wilby, R.L. (2007) A daily Weather generator for use in Climate Change Studis; Environmental Modelling and Software, 22: 1705-1719.
- Osman, Y; Al-Ansari, N; Abdellatif, M; Aljawad, S.B, Knutsson, S (2013) Expected Future precioitation in central Iraq using LARS-WG stochastic weather generator, Engineering scientific research, 6: 948-959.
- Philippe, G; Yonas, B; Dibike, P (2007) temperature change signal in northern Canada: convergence of statistical downscaling results using two Driving GCM, International Journal of Climatology, 260: 161-175.
- Saeed, F. Athar, H. (2018): Assessment of simulated and projected Climate change in Pakestan using IPCC AR4-based AOGCMs. Theoretical and Applied Climatology. Vol 134, page 967-980.
- Sharma, D., Gupta, A. D., & Babel, M. S. (2007): Spatial Disaggregation of Bias-Ccorrected GCM Precipitation for Improved Hydrologic Simulation: Ping River Basin, Thailand. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 11(4), 1373-1390.
- Vidya R. Saraf; Dattatray G. REGulwar; (2016) assessment of climate cjanger for precipitation and temperature using statistical downscaling methods in upper Godavari River basin, India; Journal of water resource and protection, page 31- 45.
- Wilby, R. L., Dawson, W., C. (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.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. (2002): A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. Environmental Modelling & Software. 17: 147-159.
- Wilby, R.L; Dawson, C.W; Barrow, E.M (2002) SDSM a decision support tool for rthe assessment of regional climate change impacts, Environmental Modeling & Softwer, 17: 147-159.
- Wilby, R.L; harris, L (2006) A frame work for assessing uncertainties in climate change impact: low flow scenarios for the River thames, UK Water Reserch, 42: 10 p.
- Wilkes, D.S; Wilby, R.L (1999) THE WEWTHER GENERATION Game: a review of stochastic weather models, progress in Physical Geography, 23: 329-357.
- Wilks, D.S (1992) Adapting stochastic Weather generation algorithms for climate change studies, Climate Change, 22: 67-84.
- Wilks, D.s; (1999) Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator; Climate Research, 11: 125-136.