

Forecasting rainfall in different climatic regions of Iran using the LARS WG7 climate model

Marzieh Bagheri Khangahi¹, Aboutaleb Hazar Jaribi², Mohammad Ismaeil Kamali³,
Fatemeh Zamani⁴

1. Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Marzieh.Bagheri_s99@gau.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Hezarjaribi@gau.ac.ir
3. Department of Soil and Water Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan Province, Gorgan Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Gorgan, Iran. E-mail: Kamalipasha@yahoo.com
4. Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. E-mail: Zamani@nit.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 Nov 2024
Revised 28 Dec 2024
Accepted 05 Jan 2025
Published 25 Mar 2025

Keywords:
Climate Change,
SSP Scenarios,
Downscaling,
HadGems Model.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to evaluate the performance of the downscaling model LARS-WG7 in projecting precipitation across six major Iranian cities: Gorgan, Mashhad, Shiraz, Ahvaz, Kermanshah, and Urmia.

Method: For this purpose, precipitation data from the statistical period 1991-2020 were considered as the baseline. Subsequently, the model was employed to predict precipitation changes for three future periods (2021-2040, 2041-2060, and 2061-2080) under three climate scenarios of HadGEM3 (SSP585, SSP126, SSP245).

Results: The results indicate that precipitation under the climate scenarios is projected to be lower than the baseline in certain months of all future periods. However, the trend of mean annual precipitation generally shows an increase compared to the baseline. Exceptions were observed in Urmia, where precipitation exhibited a decreasing trend during 2021-2040 (under SSP126) and 2061-2080 (under SSP585), and in Mashhad, where a decreasing trend was detected during 2061-2080 (under SSP585).

Conclusion: The findings revealed that the largest percentage difference in precipitation (42.66%) between the baseline and future periods (under SSP585) occurred in Ahvaz, while the smallest difference (4.16%) was observed in Urmia. Overall, both monthly and annual precipitation trends varied across the future periods depending on the applied SSP scenarios.

Cite this article: Bagheri Khangahi M, Hazar Jaribi A, Kamali MI, Zamani F. Forecasting rainfall in different climatic regions of Iran using the LARS WG7 climate model. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(1): 27-38. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11744.1008>.



Introduction

Water resources, agriculture and environment are among the important factors affected by climate change. Therefore, it is more important to examine the process of changes in parameters such as temperature and precipitation to know the future climate in order to plan and make management decisions.

The purpose of this study is to evaluate the microscale model (LARS-WG7) in forecasting rainfall in the cities of Gorgan, Mashhad, Shiraz, Ahvaz, Kermanshah and Urmia.

Method

In this research, first, the daily rainfall information for the statistical period from 1991 to 2020 related to the synoptic stations of the studied cities was obtained from the National Meteorological Organization. Then, the LARS WG7 climate model was used in order to predict the precipitation of future periods.

After sorting the daily rainfall data of the study stations in the Notepad file and selecting the HadGem3 model and the SSP scenarios and future periods considered in LARS WG7, the software was implemented for the study stations. In the first step, the modeled data were compared with the observed data. In the next step, with the help of the base period data, the data of the future periods (2021-2040, 2041-2060, and 2061-2080) were produced under different scenarios (SSP126, SSP245, and SSP585), and finally, the changes in precipitation in the future periods compared to the base period were investigated.

Results

The results showed that the amount of rainfall under the climate scenarios in all future periods in some months of the year is less than the base period. The trend of changes in the average annual rainfall in future periods is increasing compared to the base period. But only in Urmia city, the future period of 2021-2040 (under the SSP126 scenario) and the future period of 2061-2080 (under the SSP585 scenario) compared to the base period showed a decreasing trend of rainfall.

In the city of Mashhad, the future period of 2061-2080 (under the SSP585 scenario) showed a decrease in rainfall compared to the base period. Also, the results indicated that the highest percentage of difference in rainfall amount (42.66%) between the base and future period (under SSP585 scenario) belongs to Ahvaz city.

The lowest percentage difference in rainfall amount (4.16%) between the base and future period (under SSP585 scenario) belongs to Urmia city. The trends of rainfall changes (monthly and yearly) in the future periods were variable under different SSP scenarios.

Conclusion

According to the obtained results, it was found that the climatic conditions in the coming periods will be significantly different from the current conditions and in the coming years, the studied cities will face more rainfall. Changing the precipitation pattern in the future in cities can be caused by atmospheric instability and global warming. With the increase in temperature, the polar ice melts and leads to the rise of the water level of the seas and rivers and finally leads to climate changes and increased rainfall.

The increasing trend of precipitation changes in the coming periods can lead to surface runoff and soil erosion in the future. Therefore, managing the crisis of urban floods in the coming years will be an important and necessary measure.

Also, managing the optimal use of water in the agricultural sector for rainfed crops, choosing the type of crop and paying attention to the crop calendar according to the amount of precipitation in different months of the year is more important than before.

Declarations

Ethical Approval

The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

Competing interests

Conflict of Interest – None

Availability of data and materials

Data will be made available on the request.

Authors Contributions

Marzieh Bagheri Khanghahi's conceived the original idea. She developed the theory and performed the calculations and supervised the findings of this work. Abutaleb Hazarjaribi and Mohammad Ismail Kamali confirmed the analytical methods. Abutaleb Hazarjaribi encouraged Marzieh Bagheri Khanghahi to investigate a specific aspect. Fatemeh Zamani collaborated with Marzieh Bagheri Khanghahi in the part related to the launch and implementation of the software model. All authors discussed the results. Marzieh Bagheri Khanghahi and Mohammad Ismail Kamali participated in the final manuscript.

Acknowledgements

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

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



پیش‌نمایی بارندگی مناطق مختلف آب و هوایی ایران با استفاده از مدل اقلیمی LARS WG7

مرضیه باقری خانقاهی^۱، ابوطالب هزارجریبی^۲، محمد اسماعیل کمالی^۳، فاطمه زمانی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Marzieh.Bagheri_s99@gau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Hezarjaribi@gau.ac.ir
۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Kamalipasha@yahoo.com
۴. گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. رایانامه: Zamani@nit.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: هدف از این مطالعه، ارزیابی مدل ریزمقیاس‌نمایی (LARS-WG7) در پیش‌نمایی بارندگی در شهرهای گرگان، مشهد، شیراز، اهواز، کرمانشاه و ارومیه می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷	روش: به‌همین منظور اطلاعات بارندگی در دوره آماری (۲۰۲۰-۱۹۹۱) به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. سپس برای پیش‌بینی تغییرات بارندگی در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت سه سناریوی HadGem3 (SSP245، SSP126، SSP585)، مدل به اجرا درآمد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸	یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهند که میزان بارندگی تحت سناریوهای اقلیمی در تمامی دوره‌های آتی در بعضی از ماه‌های سال کم‌تر از دوره پایه است. روند تغییرات میانگین بارندگی سالانه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایشی می‌باشد. اما فقط در شهر ارومیه، دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (تحت سناریوی SSP126) و دوره آتی ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (تحت سناریوی SSP585) نسبت به دوره پایه، روند کاهشی بارندگی را نشان داد. در شهر مشهد نیز دوره آتی ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (تحت سناریوی SSP585) نسبت به دوره پایه، روند کاهشی بارندگی را نشان داد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶	نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن بود که بیش‌ترین درصد اختلاف مقدار بارندگی (۴۲/۶۶ درصد) بین دوره پایه و آتی (تحت سناریوی SSP585) متعلق به شهر اهواز می‌باشد. کم‌ترین درصد اختلاف مقدار بارندگی (۴/۱۶ درصد) بین دوره پایه و آتی (تحت سناریوی SSP585) متعلق به شهر ارومیه می‌باشد. روند تغییرات بارندگی (ماهانه و سالانه) در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف SSP متغیر بود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵	
کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، سناریوهای SSP، ریزمقیاس‌نمایی، مدل HadGem3.	
استناد: باقری خانقاهی مرضیه، هزارجریبی ابوطالب، کمالی محمد اسماعیل، زمانی فاطمه. پیش‌نمایی بارندگی مناطق مختلف آب و هوایی ایران با استفاده از مدل اقلیمی LARS WG7. منابع آب و تغییر اقلیم. ۱۴۰۴؛ (۱): ۲۷-۳۸.	
https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11744.1008	



۱- مقدمه

۲۰۲۱ نشان دادند که براساس سناریوی RCP2.6، بارش افزایش یافت و براساس سایر سناریوها بارش در بیش‌تر ایستگاه‌ها کاهش یافت [۷]. تحقیقات نشان دادند که میانگین بارش سالانه‌الشر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد برای آینده دور و بین ۰/۳ تا ۱۶ درصد برای آینده نزدیک تحت سناریوی SSP کاهش خواهد داشت. هم‌چنین میانگین بارش سالانه خرم‌آباد بین ۱۲ تا ۲۴ درصد برای آینده دور و بین ۷ تا ۱۲ درصد برای آینده نزدیک تحت سناریوی SSP کاهش خواهد داشت [۸]. محققان اعلام کردند که بارش سالانه در آینده در تهران بین ۲۰ تا ۴۰ درصد و در یزد بین ۴۳ تا ۴۹ درصد افزایش می‌یابد؛ اما تغییرات در ماه‌های مختلف متفاوت است [۹]. در پژوهشی دیگر، به بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش‌های حدی با استفاده از مدل‌های CMIP6 در خاورمیانه و شمال آفریقا پرداخته شد. نتایج نشان دادند بارش‌های حدی در دوره‌های آینده براساس سناریوهای مختلف در منطقه مورد مطالعه افزایش خواهد یافت [۱۰]. مطالعات پیش‌بینی بارش تاکنون نشان داده که به‌طور کلی روند تغییرات بارش در دوره‌های زمانی آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوها و مدل‌های مختلف، متفاوت است. از آنجا که پژوهش‌های صورت‌گرفته در پیش‌نمایی پارامترهای اقلیمی تحت سناریوهای SSP از مدل HadGem3 (از سری مدل‌های فاز ششم) در نرم افزار LARS WG7 در برخی از شهرهای ایران صورت نگرفته است، بنابراین هدف از این پژوهش برآورد تغییرات بارندگی در سه دوره آتی ۲۰ ساله در شش منطقه اقلیمی مختلف (گرگان، مشهد، شیراز، اهواز، کرمانشاه و ارومیه) تحت سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 از مدل HadGem3 با استفاده از نسخه هفتم مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS WG می‌باشد.

تغییرات آب و هوایی می‌تواند به‌طور جدی بر بسیاری از جنبه‌های اساسی اقتصاد جهانی، از جمله منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، تولید انرژی و گردشگری اثر بگذارد [۱]. در همین راستا مؤسسه بین‌دولتی تغییرات اقلیمی^۱ (IPCC) در جدیدترین گزارش خود (گزارش ارزیابی ششم^۲) (AR6) به افزایش خطرپذیری طبیعی هم‌چون خشک‌سالی و سیلاب که ممکن است در نتیجه تغییرات اقلیمی ایجاد شود، اشاره کرده و هشدار داده است. هم‌چنین گزارش می‌دهد تغییرات اقلیمی اثرات محسوس‌تری بر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان دارد [۲]. از آنجایی که ایران دارای آب و هوای خشک است، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر میزان و الگوی بارش، دما، جریان آب و سایر متغیرهای اقلیمی داشته باشد [۳]. بنابراین، بررسی روند تغییرات پارامترهایی هم‌چون دما و بارش برای آگاهی از وضعیت اقلیم آینده برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی بیش از پیش حائز اهمیت می‌باشد. 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^۳ (GCM) می‌باشد [۴]. مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6)، نسخه‌های به‌روزشده و پیشرفته‌تر مدل‌های گردش عمومی (GCM) در راستای گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR6) می‌باشند. دوره تاریخی این مدل‌ها، ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۴ میلادی است. این مدل‌ها به‌همراه مجموعه جدیدی از سناریوهای تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای، در راستای مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی^۴ (SSP) در بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ میلادی منتشر گردیده‌اند [۵ و ۶].

نتایج پیش‌بینی تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی در دوره آماری ۲۰۴۰-

³- General Circulation Model

⁴- Shared Socioeconomic Pathways

¹- Intergovernmental Panel on Climate Change

²- Sixth Assessment Report

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، مناطق مطالعاتی براساس تنوع اقلیمی خشک (مشهد و اهواز)، نیمه‌خشک (شیراز، کرمانشاه و ارومیه) و مدیترانه‌ای (گرگان) انتخاب شدند. مشخصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای هریک از شهرها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه
(منبع: سازمان هواشناسی کشور)

Table 1. Characteristics of the studied synoptic stations
(Source: National Meteorological Organization)

Station	Longitude	Latitude	Height above sea level (meters)
Gorgan	54.43	36.84	133
Mashhad	59.54	36.32	1027
Shiraz	52.53	29.59	1519
Ahvaz	48.71	31.34	20
Kermanshah	47.07	34.32	1351
Urmia	45.07	37.55	1348

۲-۲- فرآیند ارزیابی دقت مدل و پیش‌نمایی بارش

در این پژوهش ابتدا اطلاعات بارش روزانه برای دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک شهرهای مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس به‌منظور پیش‌نمایی بارش دوره‌های آتی، از مدل اقلیمی LARS WG7 استفاده شد. هسته اصلی مدل LARS WG استفاده از زنجیره مارکوف می‌باشد که به‌طور مکرر از آن استفاده شده است. مبنای این مدل برای مدل‌سازی دوره‌های خشک و تر، بارندگی روزانه، سری‌های تابش و توزیع نیمه‌تجربی می‌باشد که دارای ۲۳ بازه است. برای یک روز مرطوب، مقدار بارش از روی یک توزیع نیمه‌تجربی برای هر ماه تعیین می‌شود و این انتخاب، مستقل از طول سری روزهای مرطوب و یا مقدار بارش در روزهای گذشته است [۱۱]. این مدل قادر است با داده‌های

مشاهداتی در حدود یک سال، داده‌های اقلیمی را پیش‌بینی کند، ولی برای این که مدل بتواند اقلیم درست‌تر و دقیق‌تری را پیش‌بینی کند، بهتر است که از داده‌های روزانه ۲۰ تا ۳۰ سال استفاده نمود [۱۲].

پس از مرتب‌سازی داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های مطالعاتی در فایل Notpad و انتخاب مدل HadGem3 و سناریوهای SSP و دوره‌های آتی مدنظر در LARS WG7، نرم‌افزار برای ایستگاه‌های مطالعاتی اجرا می‌شود. اولین مرحله برای تولید داده‌های جوی روزانه، واسنجی مدل است. به‌همین منظور در این مرحله داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌سازی‌شده، مقایسه می‌شوند و دقت مدل با شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، شاخص سازگاری (d) و مقدار نرمال‌شده میانگین مربعات خطا^۵ ($NRMSE$) ارزیابی می‌شود [۱۳ و ۱۴]. در روابط (۱) تا (۳) شاخص‌های نامبرده، O_i و P_i به‌ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و مدل‌سازی، (\bar{O}) و (\bar{P}) به‌ترتیب میانگین مقادیر مشاهده‌ای و مدل‌سازی و n تعداد مشاهدات است.

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

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n ((O_i - \bar{O}) + (P_i - \bar{P}))^2} \quad (2)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (3)$$

در مرحله بعد، به کمک داده‌های دوره پایه، داده‌های دوره‌های آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) تحت سناریوهای مختلف (SSP126، SSP245 و SSP585) تولید می‌شوند و در نهایت تغییرات بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

^۵- Normalized Root Mean Square Error

۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۲- نتایج پیش‌نمایی بارش ماهانه در مناطق مطالعاتی

تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 برای شهر گرگان در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که از نمودارها مشخص شد در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوهای SSP245 و SSP585)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های سپتامبر و اکتبر متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی می‌باشد.

به‌طور کلی در تمامی دوره‌ها بیش‌ترین مقدار بارندگی ماهانه در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب مربوط به ماه نوامبر از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (۸۹/۲۳۵ میلی‌متر)، ماه نوامبر از دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (۱۰۸/۴۶ میلی‌متر) و ماه فوریه از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (۱۰۳/۵۱۵ میلی‌متر) می‌باشد.

طی مطالعه‌ای در گرگان تحت سناریوهای SSP استفاده از مدل‌های گزارش ششم در نرم‌افزار CMHyd نشان داد که میانگین بارش ماهانه در حوضه قره‌سو گرگان در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در بعضی ماه‌ها دارای روند معنی‌داری است [۱۵].

۳-۱- نتایج ارزیابی دقت مدل در مناطق مطالعاتی

ارزیابی دقت مدل LARS WG7 در پیش‌نمایی بارندگی در شهرهای گرگان، مشهد، شیراز، اهواز، کرمانشاه و ارومیه طبق شاخص‌های آماری در جدول ۲ مشخص شده است. مقدار $NRMSE$ کم‌تر از ۳۰ درصد حاکی از خطای کم در شبیه‌سازی می‌باشد و بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده دقت بالا در مدل‌سازی در مناطق مطالعاتی است که مقادیر بالای R^2 و d (نزدیک به ۱)، دقت و توافق بالای مدل در شبیه‌سازی را تایید می‌کند.

جدول ۲- نتایج شاخص‌های آماری حاصل از مقایسه بین مقادیر بارندگی ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی مناطق مطالعاتی

Table 2. Results of statistical indicators from the comparison between observed and modeled monthly rainfall values of the study areas

Station	R^2	d	$NRMSE$ (%)
Gorgan	0.93	0.96	13.67
Mashhad	0.99	0.99	9.58
Shiraz	0.97	0.98	22.54
Ahvaz	0.99	0.99	10.84
Kermanshah	0.96	0.99	14.47
Urmia	0.92	0.98	17.52

در شکل ۱ نمودارهای مربوط به اطلاعات مقدار مجموع بارندگی ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی در مناطق مطالعاتی نمایش داده شده است.

نمودارها نشان می‌دهند که بین مقدار مجموع بارندگی ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی شده اختلاف زیادی وجود ندارد.

پژوهش حاضر نیز مانند پژوهش‌های گذشته، قابلیت بالای مدل LARS WG را در شبیه‌سازی به اثبات رساند.

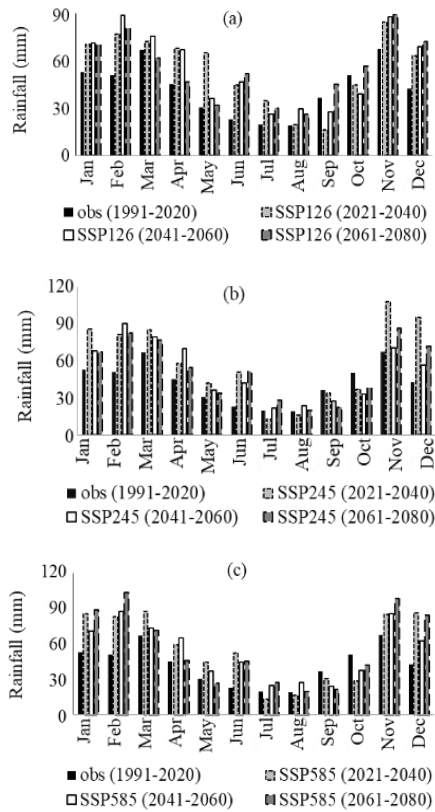


Figure 2. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Gorgan

شکل ۲- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (obs) و سه دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 در شهر گرگان

تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 برای شهر مشهد در شکل ۳ نشان داده شده است. توسط نمودارها مشخص شد که در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP126)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های فوریه، آوریل و سپتامبر متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی است. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP245)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، اگوست و اکتبر متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به سایر دوره‌های

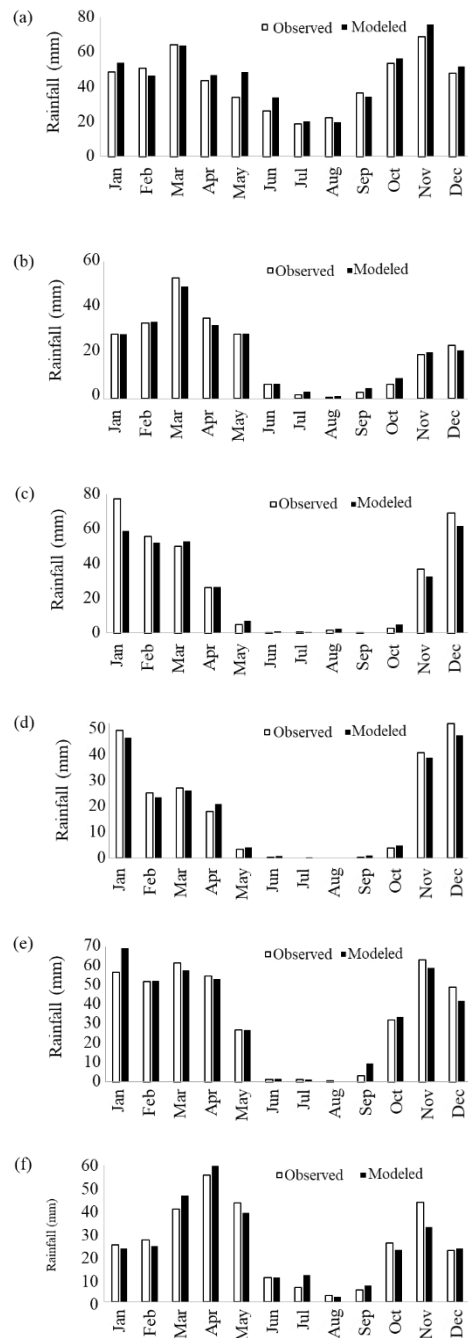


Figure 1. Observed and modeled monthly rainfall in six cities: (a) Gorgan, (b) Mashhad, (c) Shiraz, (d) Ahvaz, (e) Kermanshah, (f) Urmia

شکل ۱- مقدار بارندگی ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی شده در شش شهر (الف) گرگان، (ب) مشهد، (پ) شیراز، (ت) اهواز، (ث) کرمانشاه، (ج) ارومیه

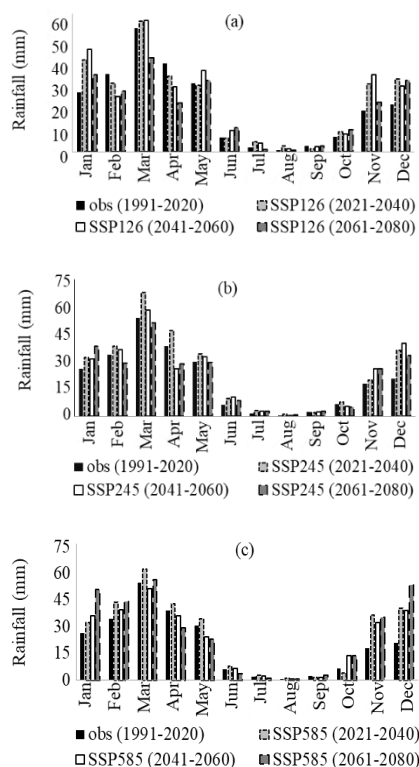


Figure 3. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Mashhad

شکل ۳- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (obs) و سه

دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب)

SSP245 و (پ) SSP585 در شهر مشهد

به طور کلی در تمامی دوره‌ها بیشترین مقدار بارندگی ماهانه در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب مربوط به ماه دسامبر از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (۱۲۱/۲۳ میلی‌متر)، ماه ژانویه از دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (۱۰۴/۹۴ میلی‌متر) و ماه ژانویه از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (۱۵۴/۴ میلی‌متر) می‌باشد. محققان طی مطالعه پیش‌بینی بارش تحت سناریوهای A_1B و A_2 از مدل HADCM3، روند افزایشی بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه را در شهر شیراز اعلام کردند [۱۷].

آتی می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP585)، بیشترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژولای، آگوست و نوامبر متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به سایر دوره‌های آتی است. به طور کلی در تمامی دوره‌ها بیشترین مقدار بارندگی ماهانه در ماه مارس بوده است که در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب مربوط به دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (۵۷/۳۱ میلی‌متر)، ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (۶۷/۵۷ میلی‌متر) و ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (۶۱/۱۵۵ میلی‌متر) می‌باشد. در پژوهشی در مشهد با استفاده از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM، اعلام شد که روند تغییرات بارش تحت سناریوی SSP585 در دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ افزایشی و در دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش‌ی است. همچنین روند تغییرات بارش تحت سناریوهای SSP126 و SSP370 در دوره اول معنی‌دار نبود، اما در دوره‌های بعدی تحت سناریوهای نامبرده به ترتیب روند افزایشی و کاهش‌ی داشت [۱۶].

شکل ۴ تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 را برای شهر شیراز نشان می‌دهد. توسط نمودارها مشخص شد که در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP126)، بیشترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های فوریه، ژولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر و دسامبر متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد. فقط در ماه ژانویه، بیشترین مقدار مجموع بارندگی متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) است.

متعلق به دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP585)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های ژانویه و فوریه متعلق به دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) می‌باشد. به‌طورکلی در تمامی دوره‌ها بیش‌ترین مقدار بارندگی ماهانه در ماه دسامبر بوده است که در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب مربوط به دوره‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (۶۳/۰۵ میلی‌متر)، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (۱۰۱/۵۳ میلی‌متر) و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ (۹۸/۳۹ میلی‌متر) می‌باشد. در پژوهشی با استفاده از مدل HadCM3 و SDSM به پیش‌بینی بارش در اهواز پرداخته شد که نتایج بیان‌گر افزایش بارش ماهانه تحت دو سناریوی A₂ و B₂ در آینده بود [۱۸].

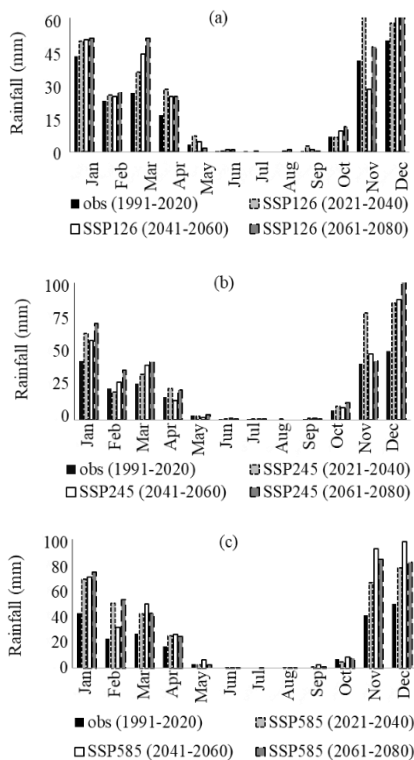


Figure 5. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Ahvaz

شکل ۵- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (obs) و سه دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 در شهر اهواز

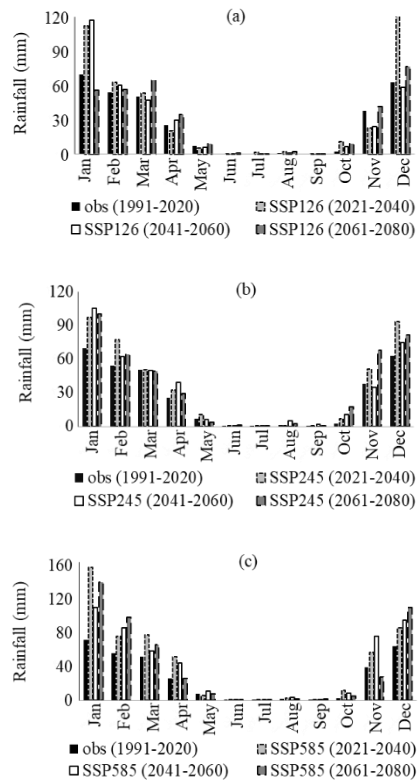


Figure 4. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Shiraz

شکل ۴- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (obs) و سه دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 در شهر شیراز

شکل ۵ تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 را برای شهر اهواز نشان می‌دهد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوهای SSP126)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های آوریل، می، سپتامبر و نوامبر متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در ماه‌های ژوئن و ژولای متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP245)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های آوریل، جولای، آگوست و نوامبر متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در ماه‌های ژوئن و سپتامبر متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و در سایر ماه‌ها

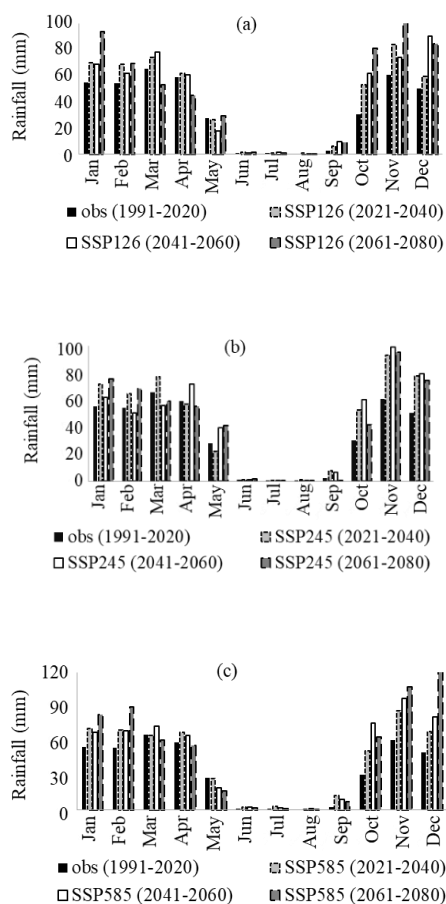


Figure 6. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Kermanshah

شکل ۶- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (Obs) و سه دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 در شهر کرمانشاه

در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوهای SSP126)، بیش‌ترین مقدار بارندگی در ماه فوریه متعلق به دوره پایه و در ماه‌های ژانویه و می متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP245)، بیش‌ترین مقدار بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه و سپتامبر متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP585)، بیش‌ترین مقدار مجموع

شکل ۶ تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 را برای شهر کرمانشاه نشان می‌دهد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP126)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه‌های آوریل، ژوئن و آگوست متعلق به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در ماه‌های مارس، ژولای، سپتامبر و دسامبر متعلق به دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP245)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه ژولای متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی می‌باشد. در مقایسه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوی SSP585)، بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی در ماه مارس متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی می‌باشد. به‌طور کلی در تمامی دوره‌ها بیش‌ترین مقدار بارندگی ماهانه در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب مربوط به ماه نوامبر از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (۱۱۹/۶۵ میلی‌متر)، ماه نوامبر از دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ (۹۹/۲۵۵ میلی‌متر) و ماه دسامبر از دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (۱۲۶/۸۸ میلی‌متر) می‌باشد. طی تحقیقی در کرمانشاه نشان داده شد که تحت سناریوهای RCP در نرم افزار LARS WG، بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت [۱۹].

تغییرات مقدار مجموع بارندگی ماهانه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و سه دوره آینده تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 برای شهر ارومیه در شکل ۷ نشان داده شده است.

۳-۳- نتایج پیش‌نمایی بارش سالانه در مناطق مطالعاتی

میانگین مقادیر بارندگی سالانه در دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۱) و دوره‌های آتی اول (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، آتی دوم (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و آتی سوم (۲۰۸۰-۲۰۶۱) برای مناطق مطالعاتی در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. به‌طور کلی روند تغییرات بارش سالانه میانگین دوره‌های آتی (اول، دوم و سوم) تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه اختلاف معنی‌داری دارد. همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، میانگین بارش در شهرهای گرگان، شیراز، اهواز و کرمانشاه، در تمامی دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. در شهر گرگان، میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به ترتیب ۲۳/۷۵، ۲۲/۸ و ۲۳/۵۸ درصد افزایش می‌یابد. در شهر شیراز، میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به ترتیب ۱۶/۲۴، ۲۳/۷۴ و ۳۶/۱۵ درصد افزایش می‌یابد. در شهر اهواز، میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به ترتیب ۲۱/۸۶، ۳۲/۸۵ و ۴۲/۶۶ درصد افزایش می‌یابد. در شهر کرمانشاه، میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به ترتیب ۲۴/۵۹، ۲۱/۷ و ۲۸/۲۳ درصد افزایش می‌یابد.

در شهر مشهد در دوره آتی سوم تحت سناریوی SSP126 (۲۲۹/۶۴ میلی‌متر)، میانگین بارندگی سالانه کم‌تر از دوره پایه (۲۳۷/۷۱ میلی‌متر) می‌باشد، اما به‌طور کلی میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به ترتیب ۸/۲۷، ۱۳/۸۹ و ۲۰/۰۱ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین در شهر ارومیه در دوره آتی اول تحت سناریوی SSP126 (۳۱۱/۰۲ میلی‌متر) و دوره آتی سوم تحت سناریوی SSP585 (۳۰۹/۸۳ میلی‌متر) میانگین بارندگی سالانه کم‌تر از دوره پایه (۳۱۴/۳۶ میلی‌متر) می‌باشد. اما

بارندگی در ماه فوریه و می متعلق به دوره پایه و در سایر ماه‌ها متعلق به دوره‌های آتی می‌باشد. به‌طور کلی در تمامی دوره‌ها بیش‌ترین مقدار بارندگی ماهانه در ماه آوریل و دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) بوده است که در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۷۱/۰۵۵ میلی‌متر، ۶۹/۰۲۵ میلی‌متر و ۹۸/۳۹ میلی‌متر می‌باشد. ابراهیمی و همکاران در مطالعه‌ای افزایش شدت بارش در ارومیه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP را گزارش کردند [۲۰].

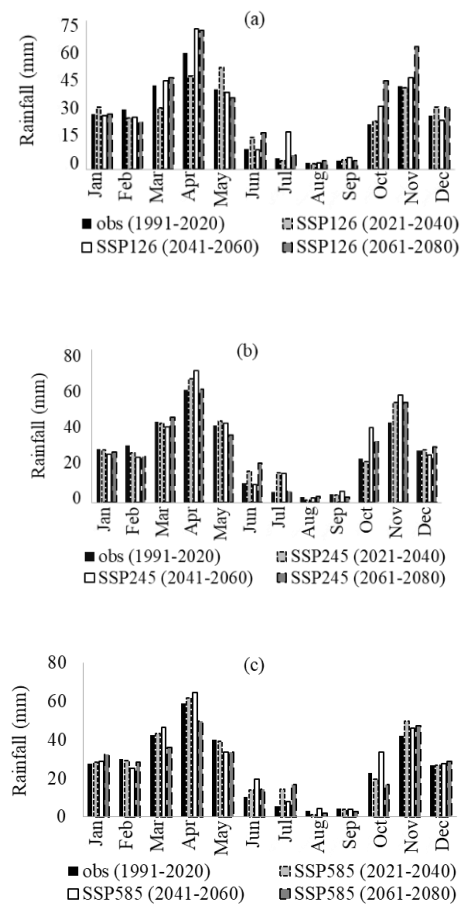


Figure 7. Changes in monthly rainfall in baseline period (obs) and three future 20-year periods under scenarios (a) SSP126, (b) SSP245 and (c) SSP585 in Urmia

شکل ۷- تغییرات مقدار بارندگی ماهانه دوره پایه (obs) و سه دوره آتی ۲۰ ساله تحت سناریوهای (الف) SSP126، (ب) SSP245 و (پ) SSP585 در شهر ارومیه

باشد. با افزایش دما، یخ‌های قطبی ذوب شده و منجر به بالا آمدن سطح آب دریاها و رودخانه‌ها و در نهایت منجر به تغییرات آب و هوایی و افزایش بارش باران می‌شود. روند افزایشی تغییرات بارش در دوره‌های آتی می‌تواند منجر به رواناب‌های سطحی و فرسایش خاک در آینده شود. بنابراین مدیریت بحران سیلاب‌های شهری در سال‌های آتی از اقدامات ضروری خواهد بود. مدیریت استفاده بهینه از آب در کشاورزی برای محصولات دیم، انتخاب نوع محصول و توجه به تقویم زراعی با توجه به میزان بارش در ماه‌های مختلف سال، بیشتر از قبل حائز اهمیت می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش از LARS-WG7 با سه سناریوی مختلف به پیش‌بینی بارندگی در سه دوره ۲۰ ساله در شش شهر با اقلیم‌های مختلف پرداخته شد. نتایج نشان دادند که LARS-WG7 در پیش‌بینی سناریوهای اقلیمی آینده عملکرد مناسبی داشته است و کارآمدی مدل با مقادیر بالای R^2 مشخص شد. روند تغییرات میانگین بارش ماهانه و میانگین بارش سالانه تحت سناریوهای مختلف SSP و دوره‌های آتی مختلف متغیر بود. اما مقایسه میانگین بارش ماهانه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوهای SSP) در شهرهای مورد مطالعه نشان داد که در بعضی ماه‌ها بیش‌ترین مقدار مجموع بارندگی ماهانه در دوره‌های آتی می‌باشد. هم‌چنین مقایسه میانگین بارش سالانه بین دوره پایه و دوره‌های آتی (تحت سناریوهای SSP) نشان داد که بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. اما در شهر مشهد میانگین بارش سالانه از ۲۳۷/۷۱ میلی‌متر در دوره پایه به ۲۲۹/۶۴ میلی‌متر در دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰) (تحت SSP126) خواهد رسید. در شهر ارومیه نیز میانگین بارش سالانه از ۳۱۴/۳۶ میلی‌متر در دوره پایه به ۳۱۱/۰۲۵ میلی‌متر در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) (تحت SSP126) و ۳۰۹/۸۳ میلی‌متر در دوره (۲۰۸۰-۲۰۶۱) (تحت SSP585) خواهد رسید. مدل LARS-WG7 چشم‌اندازی از تغییرات اقلیمی در مناطق مختلف ایران ارائه

به‌طور کلی میانگین بارش دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نسبت به میانگین بارش دوره پایه به‌ترتیب ۸/۹۷، ۸/۳۵ و ۴/۱۵۹ درصد افزایش می‌یابد.

جدول ۳- میانگین مقدار بارندگی سالانه (میلی‌متر) دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP در شهرهای گرگان، مشهد و شیراز

Table 3. Average annual rainfall (mm) for the base period and future periods under SSP scenarios in the cities of Gorgan, Mashhad, and Shiraz

Time period	Scenario	Gorgan	Mashhad	Shiraz
Baseline	-	505.69	237.71	313.86
First future period	SSP126	661.25	272.24	415.51
	SSP245	708.46	299.41	423.21
	SSP585	671.80	304.05	515.62
Second future period	SSP126	661.13	275.63	353.97
	SSP245	621.2	272.29	391.88
	SSP585	638.58	278.11	483.07
Third future period	SSP126	662.46	229.64	354.74
	SSP245	635.67	256.52	419.63
	SSP585	674.89	309.46	476.04

جدول ۴- میانگین مقدار بارندگی سالانه (میلی‌متر) دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP در شهرهای اهواز، کرمانشاه و ارومیه

Table 4. Average annual rainfall (mm) for the base period and future periods under SSP scenarios in the cities of Ahvaz, Kermanshah, and Urmia

Time period	Scenario	Ahvaz	Kermanshah	Urmia
Baseline period	-	210.09	409.34	314.36
First future period	SSP126	276.35	510.09	311.02
	SSP245	316.95	527.05	340.84
	SSP585	339.18	527.65	332.12
Second future period	SSP126	251.01	528.74	348.53
	SSP245	288.56	527.55	352.74
	SSP585	387.53	565.95	342.07
Third future period	SSP126	279.23	589.78	376.54
	SSP245	333.12	513.83	335.42
	SSP585	372.50	617.66	309.83

با توجه به نتایج مشخص شد که شرایط اقلیم تفاوت چشمگیری با شرایط کنونی خواهد داشت و در سال‌های آینده، شهرهای مطالعاتی با بارندگی بیش‌تری روبرو خواهند شد. تغییر الگوی بارش در دوره‌های آتی در شهرها، می‌تواند ناشی از ناپایداری جوی و گرم شدن کره زمین

کار نظارت داشت. ابوطالب هزارجریبی و محمد اسماعیل کمالی روش‌های تحلیلی را تأیید کردند. ابوطالب هزارجریبی، مرضیه باقری خانقاهی را به بررسی یک جنبه خاص تشویق نمود. فاطمه زمانی در بخش مربوط به راه‌اندازی و اجرای مدل نرم‌افزاری با مرضیه باقری خانقاهی همکاری کرد. تمامی نویسندگان درباره‌ی نتایج بحث کردند. مرضیه باقری خانقاهی و محمد اسماعیل کمالی در نگارش نهایی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش کمک‌هزینه خاصی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و

علمی سپاسگزاری می‌شود.

داد که می‌تواند برای مدیریت و برنامه‌ریزی مدیران بخش مربوطه کاربردی باشد. بنابراین به‌منظور سازگاری با تغییر اقلیم، مدیریت صحیح منابع آب سطحی و زیرزمینی، کنترل جریان آب رودخانه‌ها، سیلاب‌ها و فرسایش خاک ضرورت می‌یابد. هم‌چنین تقویم زراعی و الگوی کشت با توجه به بارندگی در ماه‌های مختلف در دوره‌های آبی که آب مصرفی گیاه را تأمین می‌کند، باید بیشتر توجه شود. پیشنهاد می‌شود بررسی تغییرات بارش و دما در آینده تحت سایر مدل‌ها و سایر سناریوهای SSP و نیز در مناطقی از کشور که مطالعه نشده‌اند، صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده است.

مشارکت نویسندگان

مرضیه باقری خانقاهی ایده‌ی اصلی را مطرح کرد. او نظریه را توسعه و محاسبات را انجام داد و بر یافته‌های این

References

- [1] Al-Kakey O, Al-Mukhtar M, Berhanu Sh, Dunger V. Assessing CFSR climate data for rainfall-runoff modeling over an ungauged basin between Iraq and Iran. *Kuwait Journal of Science*. 2023 Jul; 50(3): 405-414. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2022.12.004>.
- [2] Arias P, Bellouin N, Coppola E, Jones R, Krinner G, Marotzke J, Naik V, Palmer M, Plattner GK, Rogelj J, Rojas M. *Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; technical summary*.
- [3] Stocker T, editor. *Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press; 2014 Mar 24.
- [4] Zamani R, Akhond Ali AM, Roozbahani A. Evaluation of adaptation scenarios for climate change impacts on agricultural water allocation using fuzzy MCDM methods. *Water Resources Management*. 2020 Feb; 34: 1093-1110. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02486-8>.
- [5] Gidden MJ, Riahi K, Smith SJ, Fujimori Sh, Luderer G, Kriegler E, Van Vuuren DP, Van Den Berg M, Feng L, Klein D, Calvin K, Doelman JC, Frank S., Fricko O, Harmsen M, Hasegawa T, Havlik P, Hilaire J, Hoesly R, Horing J, Popp A, Stehfest E, Takahashi K. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: A dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific model development*. 2019 Apr 12; 12(4): 1443-1475. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>.
- [6] O'Neill BC, Kriegler E, Ebi KL, Kemp-Benedict E, Riahi K., Rothman DS, van Ruijven BJ, van Vuuren DP, Birkmann J, Kok K, Levy M, Solecki W. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways

- describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 2017 Jan; 42: 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.
- [7] Fakhimi S, Zeinali B, Bromand S. Forecasting the effects of climate change on precipitation in East Azarbaijan Province. *Journal of Environmental Sciences Studies*. 2024 May; 9(4): 9560-9576. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.421560.2157> [In Persian].
- [8] Iranshahi M, Ebrahimi B, Yousefi H, Moridi A. Investigating the effects of climate change on temperature and precipitation using neural networks and the sixth IPCC report (Case study: AI-Shatar and Khorramabad stations). *Water and Irrigation Management*. 2023 Jan 21; 12(4): 821-845. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.346796.1009> [In Persian].
- [9] Kazemi R, Khazaei MR. Prediction of future climate change in Tehran and Yazd under RCPs scenarios and using LARS-WG model. *Environmental Science and Technology*. 2022 Aug 23; 24(6): 31-44 [In Persian].
- [10] Hejazizadeh Z, Hosseini SA, Karbalaee A, Barabadi RP, Mousavi SM. Spatiotemporal variations in precipitation extremes based on CMIP6 models and Shared Socioeconomic Pathway (SSP) scenarios over MENA. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022 Oct 11; 15, 1601. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10887-9>.
- [11] Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM, Richardson CW. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*. 1998 Aug 14; 10(2): 95-107. <https://doi.org/10.3354/cr010095>.
- [12] Semenov MA, Barrow EM. LARS-WG: A stochastic weather generator for use in climate impact studies. Rothamsted Research: Hertfordshire, UK, 2002 Aug.
- [13] Izadi N, Amirabadizadeh M, Dastourani M. Investigating temperature changes in Tabas City in the future using the sixth climate change report. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*. 2023 Apr; 6(1): 1-14. <https://doi.org/10.22034/jmas.2023.415661.1210> [In Persian].
- [14] Koochi S, Azizian A, Mazandarani Zadeh H. The effects of climate change on drought conditions using fuzzy logic under SSP3 and SSP5 scenarios. *Iran-Water Resources Research*. 2022 Dec; 18(3): 1-17. <https://doi.org/10.1001/1.17352347.1401.18.3.1.3> [In Persian].
- [15] GhorbaniMinaei L, Mosaedi A, Zakerinia M, Kalbali E, Ghabaei Soogh M. Study of future climate change on the temperature and precipitation trends in Qarasu basin based on the CMIP6 models. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2024 May; 55(2): 245-268. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.369146.669613> [In Persian].
- [16] Sarabi M, Dastorani MT, Zarrin A. Investigating impact of future climate changes on temperature and precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*. 2020 Springer; 3(1): 63-83. <https://doi.org/10.22034/jmas.2021.278862.1129> [In Persian].
- [17] Jahangir MH, Jahanpanah M, Abolghasemi M. Drought forecasting for future periods using LARS-WG model (Case Study: Shiraz Station). *Environment and Water Engineering*. 2020 Apr; 6(1): 69-82. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.215515.1343> [In Persian].
- [18] Karimi S, Ghazanfarpour H, Pour mousa R, Jahani Babadi M. Predictive and analysis of probable heavy rainfall in Khuzestan Province using HadCM3 and SDSM. *Climate Change Research*. 2022 Nov; 3(11): 65-78. <https://doi.org/10.30488/ccr.2022.356661.1088> [In Persian].
- [19] Heshmati S, Ramezani Etedali H. Drought forecasting for future periods using LARS-WG model: The Case study of Kermanshah City. *Town And Country Planning*. 2021 Oct; 13(2): 647-669. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2021.332432.670263> [In Persian].
- [20] Ebrahimi N, Zarrin A, Mofidi A, Dadashi-Roudbari AA. Projected precipitation extremes in Lake Urmia Basin under climate change. *Journal of Water and Soil*. 2024 Dec-Jan; 37(5): 769-785. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81891.1270> [In Persian].