



Investigating the effect of climate change on temperature, rainfall, and intensity-duration-frequency curves in dry areas (case study: Kashan Watershed)

Zahra Farahnakian¹, Reza Ghazavi^{2*}, Siamak Dokhani³, Ebrahim Omidvar⁴

¹ M.Sc. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

² Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract

Introduction

Analysis of the spatial and temporal trends of precipitation is pertinent for the future sustainable management of water resources. Urbanization and climate change affected local rainfall and intensity. As rainfall characteristics are often used to design urban drainage systems, so watershed modeling, and estimate of the flood properties, updating and reviewing rainfall characteristics is necessary. The Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves are a suitable tool to estimate the threshold values of precipitation in different return periods. IDF curves should be prepared based on the long-term rainfall statistics in each region and can change under the influence of climate change. These curves which indicate the frequency and maximum intensity of annual rainfall in the different return periods are suitable tools for planning and managing the water resources. IDF curves are broadly used for different purposes, such as the design of flood control and diversion structures in the cities. The main purpose of this research is to investigate the effect of climate change on temperature, precipitation, and IDF curves in the different return periods in an arid environment.

Materials and Methods

In this research, the effect of climate change on IDF curves was investigated in Kashan City as a dry region. Kashan city with an area of 9647 km² is located in the northern part of the Isfahan Province. In this study, RCP8.5, RCP4.5, and RCP2.6 scenarios (which are introduced as optimistic, intermediate, and pessimistic scenarios) reported in the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), were used to predict the impacts of climate change on temperature and precipitation changes. Then, IDF curves were calculated, evaluated, and compared for the basic (1993-2017) and future periods (2011-2070). To examine the impact of climate change on the rainfall intensity patterns, it is necessary to extract IDF curves in different climate conditions. Bell's method is a usual method for extraction of the IDF curves, which was promoted by Gharehman-Abkhezr in Iran. In this study, the latest promoted relationships developed were for the desert and southern regions (e.g; Nizar-Salfachgan, Kuhpayeh, Herat, and Jiroft basins in the central Provinces, Qom, Isfahan, Kerman, and Yazd) have been presented and used to extract IDF curves. To investigate the effects of climate change on IDF curves, first, the base period curves were extracted via rainfall data measured at the Kashan synoptic station. Then, using the new climate scenarios (RCP8.5, RCP4.5, and RCP2.6) and the output data of the LARS exponential microscale model, the IDF curves were extracted for different climate scenarios in the future (2011-2030), (2031-2050), and (2051-2070). Finally, the results of these curves were compared with the base period.

Results and Discussion

According to the results, for the base period, the precipitation and temperature data were predicated with an acceptable accuracy by the LARS model. The accuracy of the model has been higher in estimating the minimum and maximum temperature. the Nash and explanation coefficients for the maximum and minimum temperatures



were 0.99 and 0.99, respectively. While, the explanatory and Nash coefficients for precipitation data were 0.95 and 0.93, respectively. Based on the results, the rainfall intensity will have fewer changes compared to the base period for long-term duration rainfall compared to short-duration rainfall (less than four hr. The maximum changes are related to rainfalls with a duration of less than one hour, whereas the minimum changes are predicted for 24- hr rainfalls. For all studied scenarios, a significant difference ($P < 0.05$) was predicted between the average rainfall intensity of 0.17 to 24 hr in the region. As in the two-year return period and under the 2.6 scenario, rainfall intensity was increased from 10.75 to 30.54 mm hr⁻¹ for the duration time of 0.17 hr.

Conclusion

An increase in air temperature, decrease in rainfall, change in the rainfall pattern, decrease in river discharge, and increase in sudden floods, followed by an increase in soil erosion, and a decrease in the amount of agricultural products are the results of climate change. Therefore, the long-term analysis and monitoring of climatic conditions can be very effective for crisis management caused by climate changes such as floods and droughts. Based on the results, the effect of climate change on the intensity of short-term rainfall is greater than long-term duration rainfall, as the intensity of short-term rainfall will increase more than long-term rainfalls.

Keywords: Arid lands, Climate change, Downscaling, Ghahraman- Abkheyr Method, LARS WG model

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Kashan for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

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

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Zahra Farahnakian: Conceptualization, methodology. performing software/statistical analysis, writing-Original draft preparation; **Reza Ghazavi;** **Siamak Dokhani;** and **Ebrahim Omidvar:** Guidance, editing and revision of the article, control of the results

*Corresponding Author, E-mail: ghazavi@kashanu.ac.ir

Citation: Farahnakian, Z., Ghazavi, R., Dokhani, S., & Omidvar, E. (2024). Investigating the effect of climate change on temperature, rainfall, and intensity-duration-frequency curves in dry areas (Case study: Kashan watershed). *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2), 211- 226.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12570.1254

Received: 19 March 2023, Received in revised form: 26 April 2023, Accepted: 26 April 2023, Published online: 26 April 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp 211-226

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دما، بارندگی و منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاشان)

زهرا فرحناکیان^۱، رضا قضاوی^{۲*}، سیامک دخانی^۳، ابراهیم امیدوار^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
^۳ استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
^۴ دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) بر اساس شرایط اقلیمی در هر زمان، کارکرد مهمی در پیش‌بینی احتمالات آینده دارد و می‌تواند به اقدامات مناسب در مواجهه با تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی ناشی از آن منجر شود. هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در مناطق خشک است. به منظور انجام این مطالعه، تغییرات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کاشان با استفاده از مدل LARS WG برای سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۰ ریزمقیاس‌نمائی شد. سپس اثر این تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های IDF در ایستگاه سینوپتیک کاشان با استفاده از رابطه قهرمان-آبخضر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل LARS WG نشان داد که در سناریوی ۴/۵ برای هر سه دوره مقدار بارش سالانه در ایستگاه مورد مطالعه افزایشی خواهد بود و در بقیه سناریوها مقدار بارش کاهش یافته است. مقدار دمای حداقل سالانه و حداکثر سالانه نیز نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای مختلف ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه روندی افزایشی داشته است. به طوری که در مقیاس سالانه بیش‌ترین افزایش دمای حداقل و حداکثر سالانه تحت سناریوی ۸/۵ پیش‌بینی شده است. همچنین، شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های دو ساله تحت سناریوی ۲/۶ در همه دوره‌های آینده و تحت سناریوی ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه روندی کاهشی دارد، ولی در سایر دوره بازگشت‌های پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در پایه‌های زمانی ۰/۱۷، ۰/۳۳، ۰/۵، یک، دو، چهار، هشت، ۱۲ و ۲۴ ساعت روند افزایشی پیش‌بینی شده است. نتایج مقایسه منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی نشان داد که تغییرات اقلیمی باعث تغییر شکل منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی منطقه خواهد شد، به طوری که بین میانگین شدت‌های بارش با زمان پایه ۰/۱۷ تا ۲۴ ساعت در دوره پایه و شدت‌های محاسبه شده تحت سناریوهای مختلف تفاوت معنادار وجود دارد ($P < 0/01$). بر اساس نتایج حاصل، تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات بارش‌های کوتاه مدت بیش‌تر است؛ به طوری که شدت این بارش‌ها افزایش بیش‌تری نسبت به بارش‌های بلندمدت خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، روش قهرمان-آبخضر، مناطق خشک، مدل LARS WG

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: ghazavi@kashanu.ac.ir

استناد: فرحناکیان، زهرا، قضاوی، رضا، دخانی، سیامک، و امیدوار، ابراهیم (۱۴۰۳)، بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دما، بارندگی و منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاشان)، مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۲)، ۲۱۱-۲۲۶.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12570.1254

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۲۱۱ تا ۲۲۶

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی^۱ (IDF) ابزار مناسبی برای برآورد مقادیر حدی بارش در دوره بازگشت‌های مختلف هستند که بر اساس آمار طولانی مدت هر منطقه تهیه می‌شود و تحت تأثیر تغییرات اقلیمی می‌تواند تغییر کند (Mohammadlu et al., 2016). این منحنی‌ها یکی از ابزارهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است که نشان‌دهنده فراوانی و حداکثر شدت بارش سالانه به ازای تداوم‌های مختلف هستند (Cheng and Agha, 2014). این منحنی‌ها برای مقاصد مختلف و به‌خصوص برای طراحی سازه‌های کنترل و انحراف سیل در شهرها مورد استفاده بوده است و در استانداردهای مختلف برای مدیریت سیلاب شهری استفاده می‌شوند. مسأله مهمی که نیازمند توجهی ویژه برای ارزیابی درست ریسک مخاطرات ناشی از سیلاب‌های شهری در آینده است، در نظر گرفتن تغییرات شدت بارش‌های کوتاه مدت در اثر تغییر اقلیم است (Silva et al., 2021). لذا لازم است تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های IDF و در نتیجه بر مقادیر حدی سیلاب‌ها بررسی شود و بر اساس نتایج حاصل شبکه‌های زهکشی باز طراحی و یا اصلاح شود (Shokoohi, and Habibnejad, 2019).

بر اساس آخرین اطلاعات به‌دست آمده از هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۲، تا پایان قرن حاضر و تا ۵۰ سال آینده میانگین دمای جهان به‌ترتیب ۰/۶ تا ۲/۵ و ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. تغییرات اقلیمی ایجاد شده می‌تواند باعث تشدید وقایع حدی هیدرولوژیکی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها شود. از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، تأثیر بر پارامترهای هواشناسی و وضعیت هیدرولوژیکی حوزه‌های آبریز، مانند بارش، تعرق، تبخیر و دما است (Mirhosseini et al., 2013). تغییر در الگوی بارش‌ها تحت تأثیر اقلیم سبب تغییر در میزان و شدت رواناب‌ها خواهد شد و در نهایت باعث ایجاد تغییر در الگوی سیلاب‌ها می‌شود. منحنی IDF احتمال شدت و مدت بارندگی معینی را نشان می‌دهد که انتظار می‌رود در یک مکان خاص رخ دهد و استانداردهایی برای طراحی زیرساخت‌ها بر اساس منحنی‌های IDF تدوین شده است (Wolcott et al., 2010). در حال حاضر مهم‌ترین ابزار برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی است (Goodarzi et al., 2017). تاکنون سناریوهای مختلفی درباره تأثیر تغییرات اقلیمی آینده ارائه شده است که سناریوهای RCP از جدیدترین سناریوهایی است که در چهار حالت ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵

پیشنهاد شده است. ضعف عمده مدل‌های گردش عمومی جو قدرت تفکیک مکانی کم و عدم دخالت دادن اثر شرایط محلی نظیر توپوگرافی و پوشش گیاهی روی متغیرهای اتمسفری نظیر دما و بارش است. بنابراین، باید خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند (Prudhomme et al., 2002). مدل LARS-WG یکی از مدل‌های اقلیمی مورد استفاده جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی است که در عین سادگی به داده‌های ورودی کمی نیاز دارد و برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی و تولید داده‌های روزانه به‌صورت مصنوعی در ایستگاه‌های فاقد آمار در شرایط حال و آینده به‌کار می‌رود (Aghashahi et al., 2012). در این راستا، Nuri et al. (2014) با مقایسه دو مدل LARS و SDSM به این نتیجه رسیدند که مدل LARS در شبیه‌سازی داده‌های بارش دارای عملکرد مطلوب‌تری نسبت به مدل SDSM است. همچنین، مدل LARS ابزار قابل‌قبولی برای شبیه‌سازی رخداد‌های حدی بارش به‌عنوان یک ابزار مهم برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم استفاده می‌شود (Zoheyri et al., 2020).

منحنی‌های IDF می‌تواند با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط باران‌نگارهای ثابت تهیه شود (Rostami et al., 2012; Amiri et al., 2014; Bolouki et al., 2021). اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از مناطق کشور ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن کوتاه است و برای رفع این مشکل در بسیاری از موارد منحنی‌های IDF از بارندگی‌های ۲۴ ساعته و بر اساس روابط تجربی استحصال می‌شود (Aghjani, 2015; Bolouki et al., 2021). تاکنون مطالعات متعددی در مورد تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی انجام شده است (Sarwar, 2010). مقایسه منحنی‌های IDF در گذشته و آینده نشان داد که رویدادهای حدی بارش تحت تأثیر بارش باران‌های شدید است (Soltani et al., 2017). تاکنون بررسی‌های انجام شده در سطح جهان نشان می‌دهد که تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات دما، بارش و منحنی‌های IDF در مکان‌های مختلف جهان متفاوت است و در حال حاضر مطالعات کم‌تری در مورد این تغییرات در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان انجام شده است (Lee and Dang, 2020).

هدف از پژوهش حاضر، پیش‌بینی تغییرات الگوی ماهانه، فصلی و سالانه دمای حداقل و حداکثر بارش و الگوی شدت-مدت-فراوانی بارندگی‌ها تحت سناریوهای اقلیمی در حوزه آبخیز کاشان به‌عنوان یک منطقه خشک است. با در نظر گرفتن بحران منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و با توجه به اقلیم خشک منطقه مورد مطالعه، بررسی تأثیرات تغییر اقلیم و آثار

¹ Intensity-duration-frequency

² Intergovernmental panel on climate change

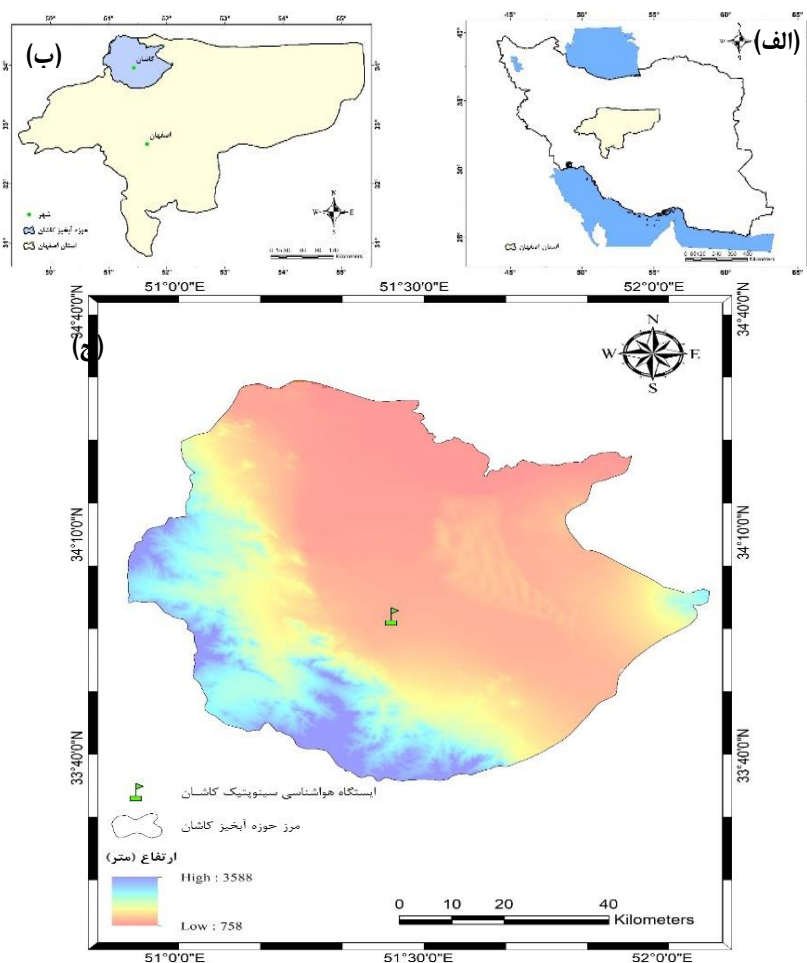
شمالی قرار دارد. این استان از شمال با استان اصفهان، از شرق با شهرستان آران و بیدگل، از جنوب با شهرستان‌های نطنز و برخوار و میمه از غرب با شهرستان‌های دلیجان (از استان مرکزی) و قم همسایه است (شکل ۱). بر اساس بررسی‌های آماری از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۲۰، میانگین سالانه بارش ۱۳۶/۵ میلی‌متر، میانگین حداقل رطوبت نسبی ۲۷، میانگین دمای ۱۹/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای هوا در سردترین (دی) و در گرم‌ترین (مرداد) ماه‌های سال به ترتیب ۴/۸ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد بوده و به‌طور متوسط تقریباً ۴۲ روز از سال یخبندان است.

احتمالی آن بر چرخه هیدرولوژیکی منطقه، تأثیرات قابل‌توجهی در مدیریت طولانی‌مدت منابع آبی کشور خواهد داشت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در شهرستان کاشان به‌عنوان یک منطقه خشک مورد بررسی قرار گرفت. این شهرستان با وسعت ۹۶۴۷ کیلومتر مربع و با ارتفاع متوسط ۹۸۲ متر از سطح دریا در مختصات جغرافیایی "۵۱°۲۷'۰۰" طول شرقی و "۳۳°۵۹'۳۰" عرض



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک کاشان در ایران (الف)، استان (ب) و حوزه آبخیز کاشان (ج)
Figure 1- Location of Kashan synoptic station in Iran (a), Province (b), and Kashan watershed (c)

RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 است که به‌عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه معرفی شده است. سپس منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی برای دوره‌های پایه و آینده محاسبه و ارزیابی شد. به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی، ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک کاشان شامل دمای حداقل، دمای حداکثر،

۲-۲- روش پژوهش

به‌منظور انجام این مطالعه، از نتایج گزارش ارزیابی پنجم (Fifth Assessment Report =AR5) هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) که در سال ۲۰۱۴ منتشر شد جهت پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات دما و بارش استفاده شد. در این گزارش سناریوهای انتشار دارای سه خط سیر با نام‌های

داده شده است. در این مطالعه، برای استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی از آخرین روابط ارتقاء داده شده توسط Ghahraman and Abkhezr (2004) استفاده شد. نظر به این که ارائه روابط مذکور بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی است، لذا در این مطالعه از رابطه (۶) ارائه شده برای مناطق کویری و جنوبی (حوزه‌های نيزار-سلفچگان، کوهپایه، هرات و جیرفت در استان‌های مرکزی، قم، اصفهان، کرمان و یزد)، استفاده شد (Yousefi Malekshah, 2019).

$$R_T^T = At^B [a_1 + a_2 \ln(T - a_3) R_{60}^{10}] \quad (5)$$

$$R_{60}^{10} = e^{-0/993} (R_{1440}^2)^{1/06} \quad (6)$$

در روابط فوق، R_T^T شدت بارندگی در مدت و دوره بازگشت مورد نظر، R_{60}^{10} شدت بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، R_{1440}^2 میانگین حداکثر باران روزانه، t دوره زمانی مورد نظر، T دوره بازگشت و A, B, a_1, a_2, a_3 ضریب‌های ثابت رابطه که بسته به مدت تداوم بارش مقادیر آن متفاوت هستند (جدول ۱). برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی، ابتدا منحنی‌های دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۳) بر اساس مقادیر بارش دمای حداقل و حداکثر اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک کاشان رسم شد. سپس با استفاده از سناریوهای اقلیمی جدید و داده‌های خروجی مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS WG، منحنی‌های IDF تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، آینده (۲۰۵۰-۲۰۳۱)، و آینده دور (۲۰۷۰-۲۰۵۱) تهیه و نتایج حاصل از منحنی‌ها با دوره پایه مقایسه شد.

جدول ۱- ضریب‌های رابطه قهرمان-آبخضر

(Ghahraman and Abkhezr, 2004)

Table 1- Coefficients of the equation of Ghaherman-Abkhezr (Ghahraman and Abkhezr, 2004)

مدت تداوم باران (ساعت)	$1 \geq$	$2 \geq$	$9 \leq$	$2 < t \leq 9$	$2 \geq$	> 2
A	0.13	0.14	0.16	0.20		
B	0.50	0.48	0.44	0.39		
a1					0.46	0.56
a2					0.24	0.19
a3					0.62	0.8

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دما و بارش

نتایج حاصل از بررسی ضریب‌های کارایی مدل LARS WG در پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل، این مدل داده‌های بارش و دما را با دقت قابل‌قبولی برای دوره پایه شبیه‌سازی کرده است (شکل ۲). دقت مدل در برآورد پارامترهای دمای حداقل و حداکثر بیشتر بوده

بارش و تابش روزانه در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۳ به‌عنوان دوره پایه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد و با استفاده از این مدل‌های گردش عمومی جو HadGEM2-ES تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی برای سال‌های (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، (۲۰۵۰-۲۰۳۱) و (۲۰۷۰-۲۰۵۱) به‌عنوان دوره هدف پیش‌بینی شد. مدل‌های SDSM و LARS از متداول‌ترین مدل‌ها در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط پژوهش‌گران مختلف، تفاوت معناداری بین نتایج این دو مدل در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده نشده است (Zoheyri et al., 2020). لذا برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی مدل عمومی جو تحت سه سناریوی اقلیمی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ در مطالعه حاضر از مدل LARS-WG استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG از شاخص‌های آماری ضریب تبیین، ضریب ناش-ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا طبق رابطه‌های (۱) تا (۴) استفاده شد. هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد نشان از همبستگی بالای داده‌های واقعی (مشاهده‌ای) و خروجی‌های مدل است.

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

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad (4)$$

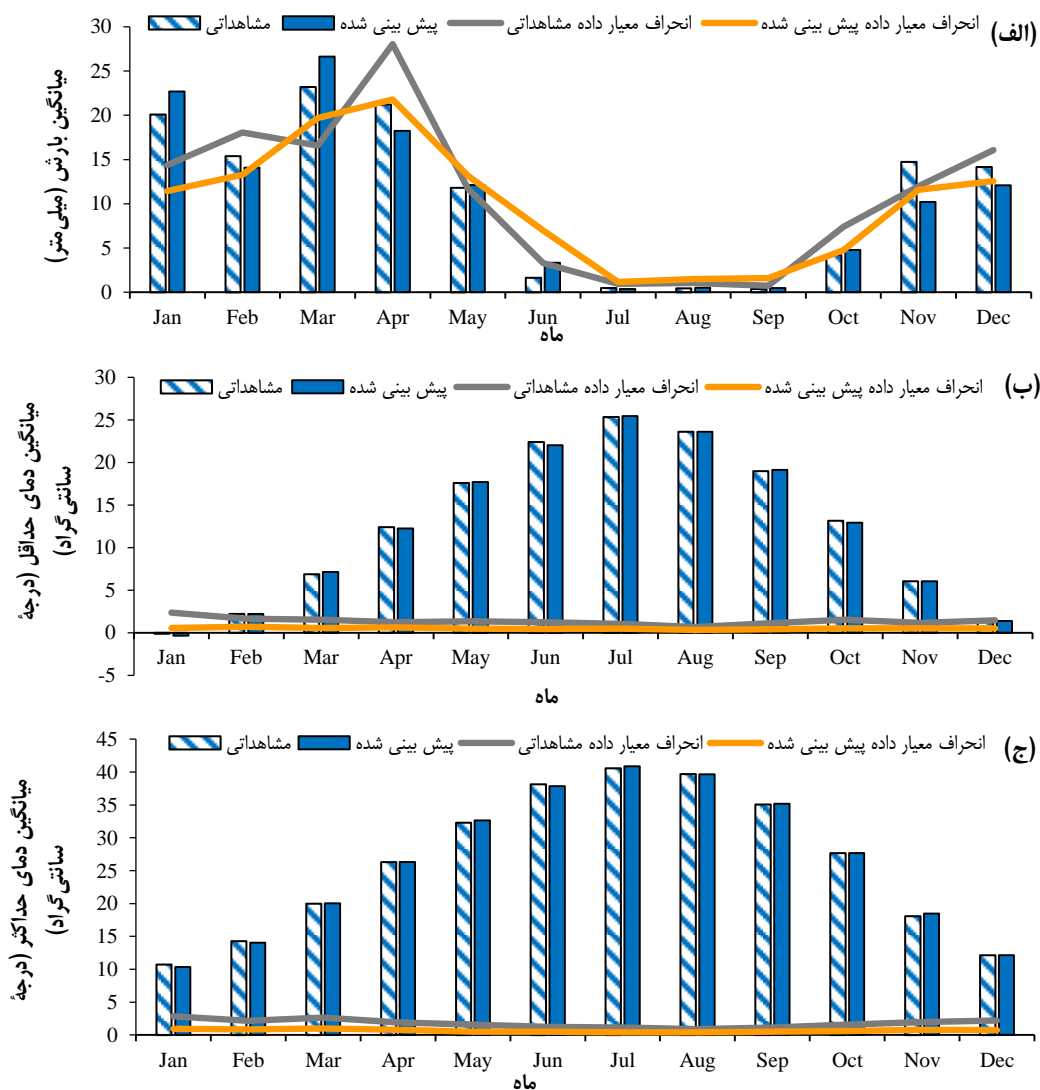
معیار NSE پیش‌بینی مدل را با کارایی میانگین‌های بلندمدت مقایسه می‌نماید و در بیش‌تر مطالعات مقادیر NS کم‌تر از ۰/۲ به‌عنوان پیش‌بینی ضعیف مدل و مقادیر NSE بیش‌تر از ۰/۸ به‌عنوان پیش‌بینی‌های نزدیک به عالی در نظر گرفته می‌شود. معیار مجذور میانگین مربعات خطا بیان‌گر میزان خطای مدل است که هر چقدر این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد بیان‌گر این است که مدل کارایی بهتری داشته است. معیار میانگین مطلق خطا بیان‌گر میزان خطای مدل است و هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد کارایی مدل بیش‌تر است. در روابط فوق O_i داده‌های مشاهده‌ای، S_i داده‌های برآورد شده، \bar{O} میانگین داده‌های مشاهده‌ای، \bar{S} میانگین داده‌های برآورد شده و n تعداد داده‌ها است. برای بررسی تغییرات الگوهای شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های مختلف لازم است منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در شرایط مختلف استخراج شود. یکی از روش‌های معمول جهت مطالعات منطقه‌ای شدت-مدت-فراوانی بارندگی‌ها، روش Bell بوده (رابطه ۵) که توسط Ghahraman and Abkhezr (2004) در ایران ارتقا

جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG

Table 2- The results of the performance evaluation of the LARS-WG model

NSE	MAE	RMSE	R ²	متغیر اقلیمی
0.99	0.11	0.15	0.99	دمای حداقل
0.99	0.24	0.27	0.99	دمای حداکثر
0.93	1.51	1.84	0.95	بارش
0.99	0.16	0.21	0.98	تابش خورشیدی

است. به طوری که ضریب‌های نش و تبیین برای دمای حداکثر و حداقل به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۰/۹۹ و برای داده‌های بارش به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۰/۹۳ به دست آمد (جدول ۲). در بسیاری از مطالعات انجام شده در سایر مناطق نیز دقت مدل برای شبیه‌سازی دما بیش‌تر از بارش نشان داده شده است (Sarwar et al., 2010; Meshkatee et al., 2010; Reddy et al., 2014; Nury and Alam, 2014).



شکل ۲- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG برای داده‌های بارش (الف)، دمای حداقل (ب) و دمای حداکثر (ج)
Figure 2- Comparison of observed and simulated data with the LARS-WG model for precipitation (A), minimum temperature (B), and maximum temperature (C) data

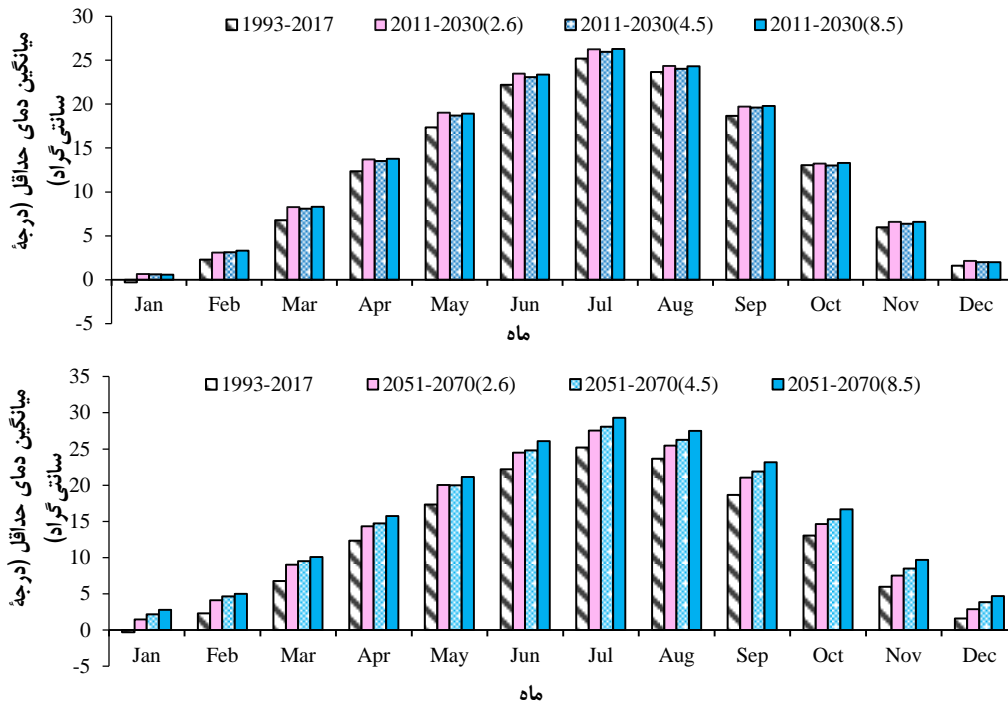
تحت سناریوهای مختلف و در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه نشان داد که میزان دمای حداقل در دوره پیش‌بینی (۲۰۱۷-۱۹۹۳) در تمام فصول سال و تحت همه سناریوها افزایشی پیش‌بینی شده است. در تمام فصول سال بیش‌ترین افزایش دمای حداقل تحت سناریوی ۸/۵ در دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و کم‌ترین افزایش تحت سناریوی ۴/۵ در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱

پس از اطمینان از دقت و کارایی مدل، داده‌های بارش، تحت سناریوهای مختلف برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی شد و در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج حاصل برای سناریوهای آینده نزدیک و آینده دور در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای دمای حداقل و حداکثر ایستگاه مورد مطالعه

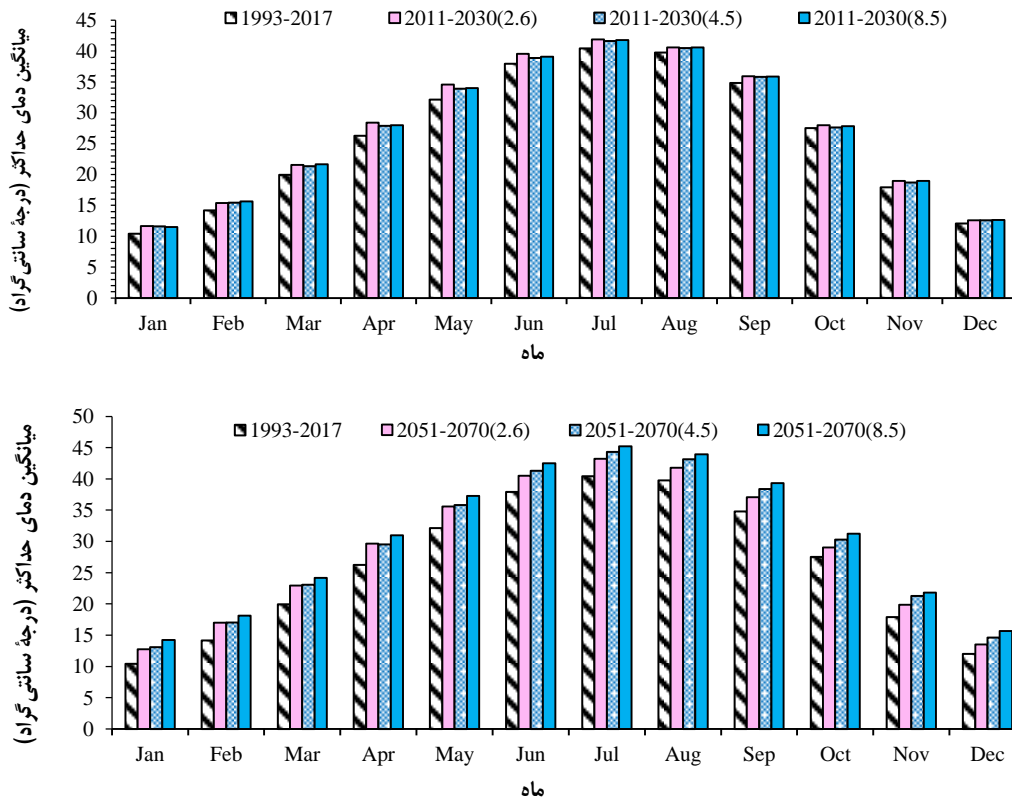
پاییز و زمستان میزان افزایش دما تحت سناریوی ۴/۵ به ترتیب ۶/۰۵، ۲/۴۲، ۲/۳۱ و ۸/۰۶ و تحت سناریوی ۸/۵ به ترتیب ۱۷/۹۲، ۱۱/۳۹، ۱۵/۰۸ و ۳۰/۹۴ درصد بوده است. در مقیاس سالانه نیز بیشترین افزایش دما تحت سناریوی ۸/۵ پیش‌بینی شده است به طوری که میانگین دمای سالانه از ۲۶/۱۳ در دوره پایه به ۳۰/۳۷ خواهد رسید. در مقیاس سالانه کمترین افزایش دما مربوط به سناریوی ۴/۵ است به طوری که افزایش دمایی معادل ۳/۹۶ درصد تحت این سناریو پیش‌بینی شده است. با توجه به این که دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله در مدیریت‌های مربوط به کارهای هیدرولیکی و آبخیزداری اهمیت بیشتری دارد (Yousefi Malekshah, 2019)، مقایسهٔ منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی دوره‌های پیش‌بینی شده با دورهٔ مشاهداتی در دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله در قالب شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل، در بارش‌های بلندمدت شدت بارش نسبت به دورهٔ پایه تغییرات کمتری خواهد داشت. ولی برای بارش‌های کوتاه‌مدت (کمتر از ۴ ساعت) شدت بارش تغییرات چشم‌گیری دارد و بیشترین تغییرات مربوط به بارش‌هایی با زمان کمتر از یک ساعت است، ولی کمترین تغییرات برای بارش‌های ۲۴ ساعته پیش‌بینی شده است. تغییر در شدت بارش‌های کوتاه‌مدت توسط پژوهش‌گران دیگری نیز در نقاط مختلف جهان گزارش شده است (Rostami et al., 2012; Mirhosseini, et al., 2013; Thanh and Dutto Aldo Remo, 2018; Sun et al., 2019; Ulrich et al., 2020).

پیش‌بینی شده است. به طوری که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان میزان افزایش دما تحت سناریوی ۴/۵ طی دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به ترتیب برابر با ۱۰/۴۸، ۲/۸۱، ۳/۴۱ و ۵۹/۵ درصد و تحت سناریوی ۸/۵ طی دورهٔ ۲۰۵۱-۲۰۷۰ به ترتیب برابر با ۲۸/۶۷، ۱۶/۵۸، ۳۱/۳۷ و ۲۴۸/۱۷ درصد بوده است (شکل ۳). در مقیاس سالانه نیز بیشترین افزایش دما تحت سناریوی ۸/۵ پیش‌بینی شده است. به طوری که میانگین دمای سالانه از ۱۲/۴۰ در دورهٔ پایه به ۱۵/۹۸ در دورهٔ ۲۰۵۱-۲۰۷۰ خواهد رسید. در سناریوی سالانه نیز کمترین افزایش دما مربوط به سناریوی ۴/۵ در دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۳۰ است، به طوری که افزایش دما معادل ۶/۲ درصد تحت این سناریو پیش‌بینی شده است. همچنین، میزان دمای حداکثر در دورهٔ پیش‌بینی در تمام فصول سال و تحت همهٔ سناریوهای اقلیمی افزایش پیدا کرده است (شکل ۴). در تمام فصول سال بیشترین افزایش تحت سناریوی ۸/۵ و کمترین افزایش تحت سناریوی ۴/۵ پیش‌بینی شده است. نتایج این مطالعه با نتایج بیشتر پژوهش‌گرانی که به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده در مناطق خشک اقدام کرده‌اند هم‌خوانی دارد (Zoheyri et al., 2020; Salahi and Fateminiya, 2017; Ajam Zadeh and Mollaeinia, 2016; Kamyar et al., 2018).

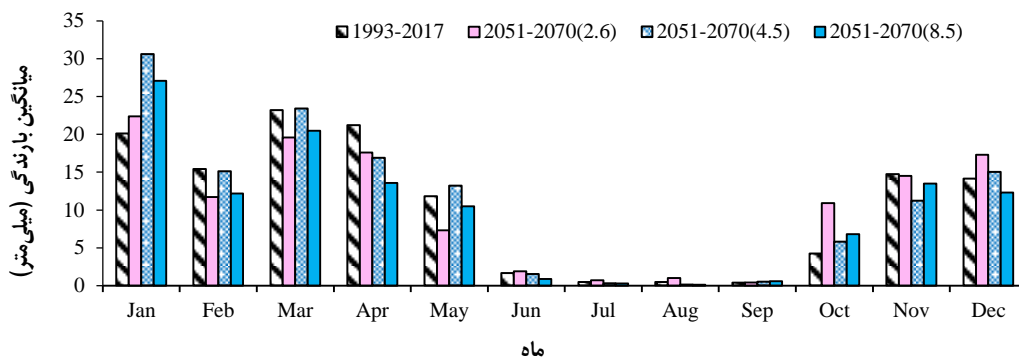
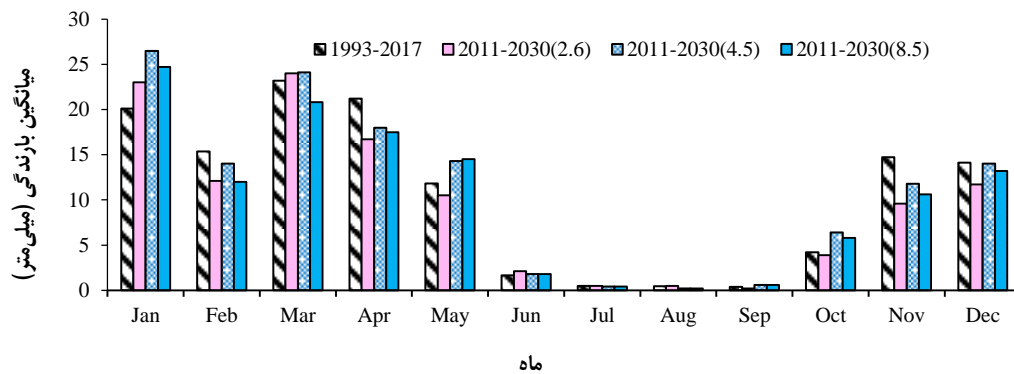
در مورد دمای حداکثر نیز روند افزایشی دما در همهٔ فصول و تحت همهٔ سناریوها قابل مشاهده است؛ به طوری که در تمام فصول سال بیشترین افزایش تحت سناریوی ۸/۵ در دورهٔ ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و کمترین افزایش تحت سناریوی ۴/۵ در دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. در فصل‌های بهار، تابستان،



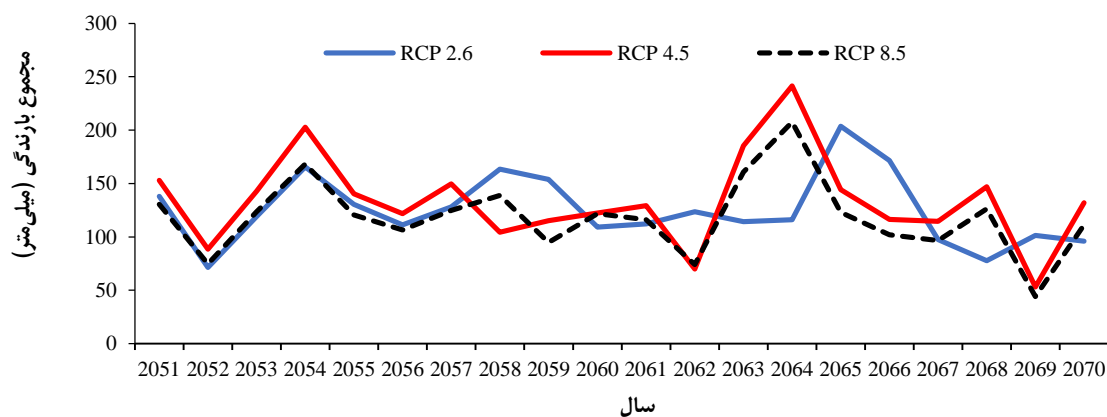
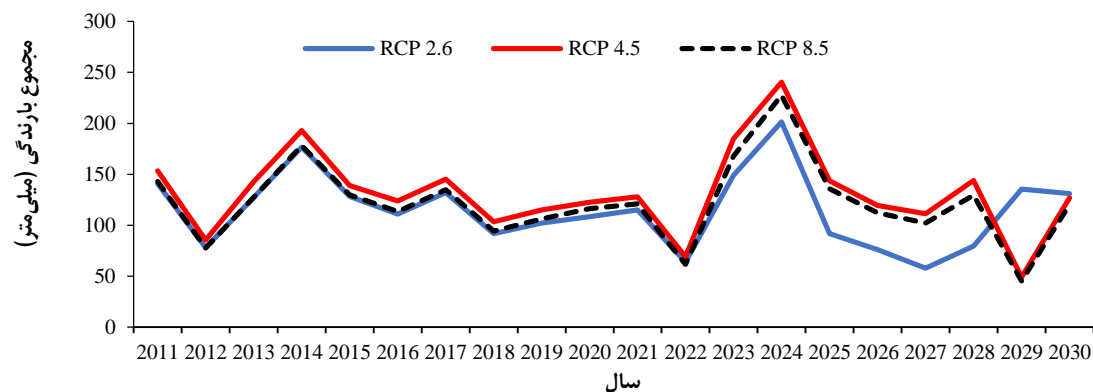
شکل ۳- مقایسه مقادیر میانگین دمای حداقل ماهانه (درجه سانتی‌گراد) در دوره پایه و سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آینده نزدیک و دور
 Figure 3- Comparison of average values of minimum monthly temperature (°C) in the base period and climate scenarios in the near and far future periods



شکل ۴- مقایسه مقادیر میانگین دمای حداکثر ماهانه (درجه سانتی‌گراد) در دوره پایه و سناریوهای اقلیمی
 Figure 4- Comparison of the average monthly maximum temperature values in terms of (°C) in the base period and climate scenarios



شکل ۵- تغییرات ماهانه، بارش (میلی متر) در دوره پایه و سناریوهای اقلیمی
Table 5- Monthly precipitation (mm) in the base period and climate scenarios



شکل ۶- مقایسه نتایج سناریوهای مختلف در پیش بینی بارش
Figure 6- Comparing the results of different scenarios in rainfall forecasting

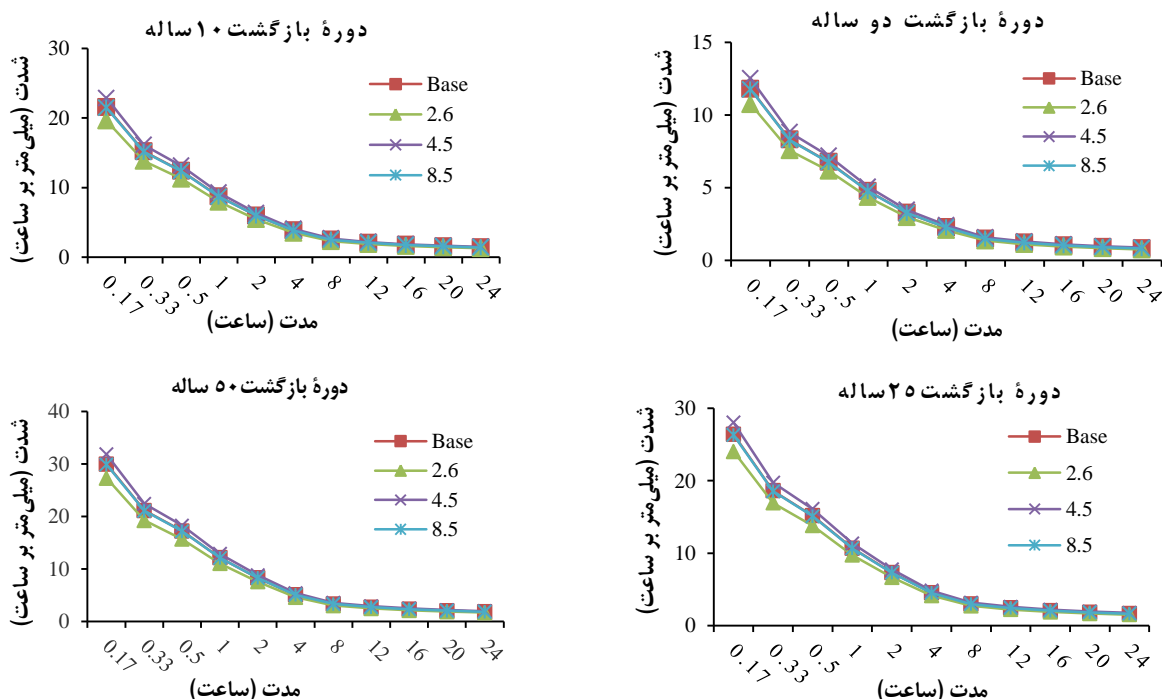
صد ساله خواهد رسید. همچنین، با مقایسه شدت بارش تحت سناریوی ۴/۵ در زمان یک ساعته طی دوره بازگشت‌های دو ساله و صد ساله روند صعودی با افزایش ۱/۸۴ برابری از مقدار ۵/۰۷ به مقدار ۱۴/۴۱ خواهد رسید. در زمان ۱۲ ساعته نیز تحت سناریوی ۸/۵ روندی افزایشی برابر ۱/۴۵ برابری (از مقدار ۱/۲۲ طی دوره بازگشت دو ساله به سه میلی‌متر طی دوره بازگشت ۱۰۰ ساله) می‌رسد (شکل‌های ۸، ۷ و ۹).

تغییرات شدت بارش در پایه‌های زمانی کوتاه‌مدت نسبت به زمان پایه در سناریوی ۴/۵ افزایشی و در سناریو ۲/۶ کاهش می‌یابد، ولی در همه سناریوها تفاوت معناداری بین میانگین شدت بارش‌های ۰/۱۷ تا ۲۴ ساعته در منطقه دیده می‌شود (جدول ۳). به طوری که در زمان ۰/۱۷ ساعت تحت سناریوی ۲/۶ در دوره بازگشت دو ساله با افزایش ۱/۸۴ درصد (از مقدار ۱۰/۷۵ به مقدار ۳۰/۵۴) تحت سناریوی ۲/۶ در دوره بازگشت

جدول ۳- نتایج آزمون t-test پارامتر شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف

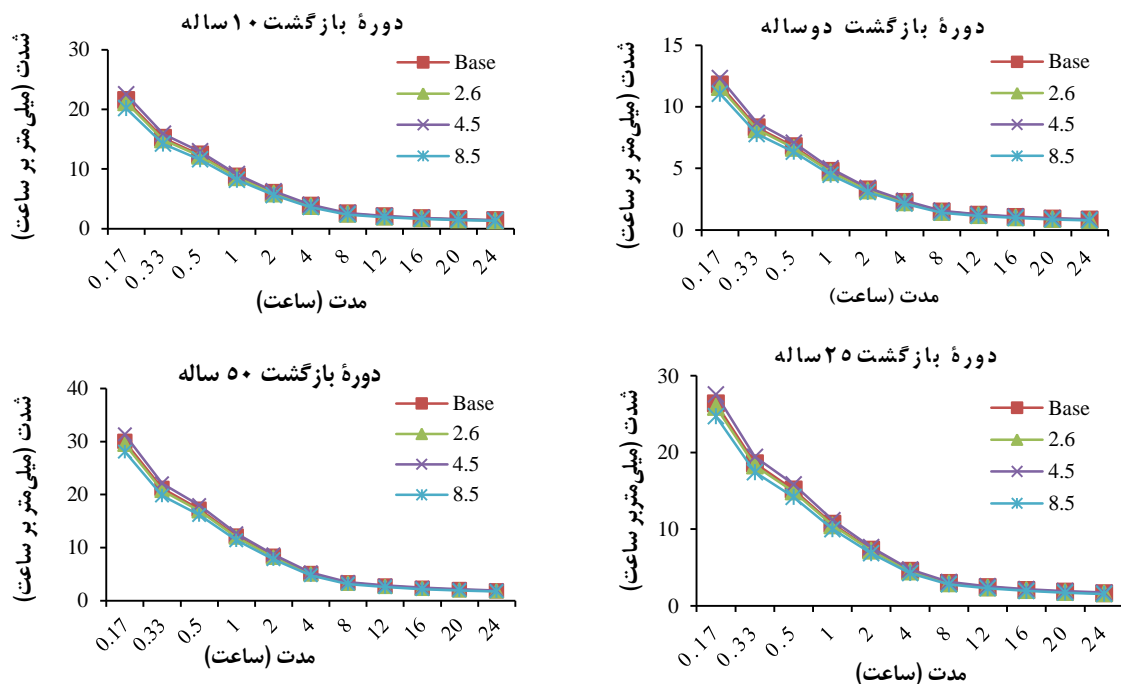
Table 3- The results of the t-test of the rainfall intensity parameter in the period of different returns

دوره بازگشت پنج ساله			دوره بازگشت دو ساله			دوره بازگشت
Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	آماره
0.006	0.150	0.496	0.006	0.999	0.328	Base - RCP2.6
0.006	0.101	0.335	0.005	0.067	0.222	Base - RCP4.5
0.010	0.007	0.023	0.010	0.004	0.014	Base - RCP8.5
دوره بازگشت 25 ساله			دوره بازگشت 10 ساله			دوره بازگشت
Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	آماره
0.007	0.225	0.745	0.006	0.183	0.608	Base - RCP2.6
0.007	0.152	0.505	0.006	0.124	0.410	Base - RCP4.5
0.005	0.009	0.029	0.007	0.008	0.026	Base - RCP8.5
دوره بازگشت 100 ساله			دوره بازگشت 50 ساله			دوره بازگشت
Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	Sig. (2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	آماره
0.007	0.286	0.948	0.007	0.256	0.848	Base - RCP2.6
0.007	0.195	0.646	0.007	0.174	0.576	Base - RCP4.5
0.007	0.012	0.039	0.012	0.011	0.037	Base - RCP8.5



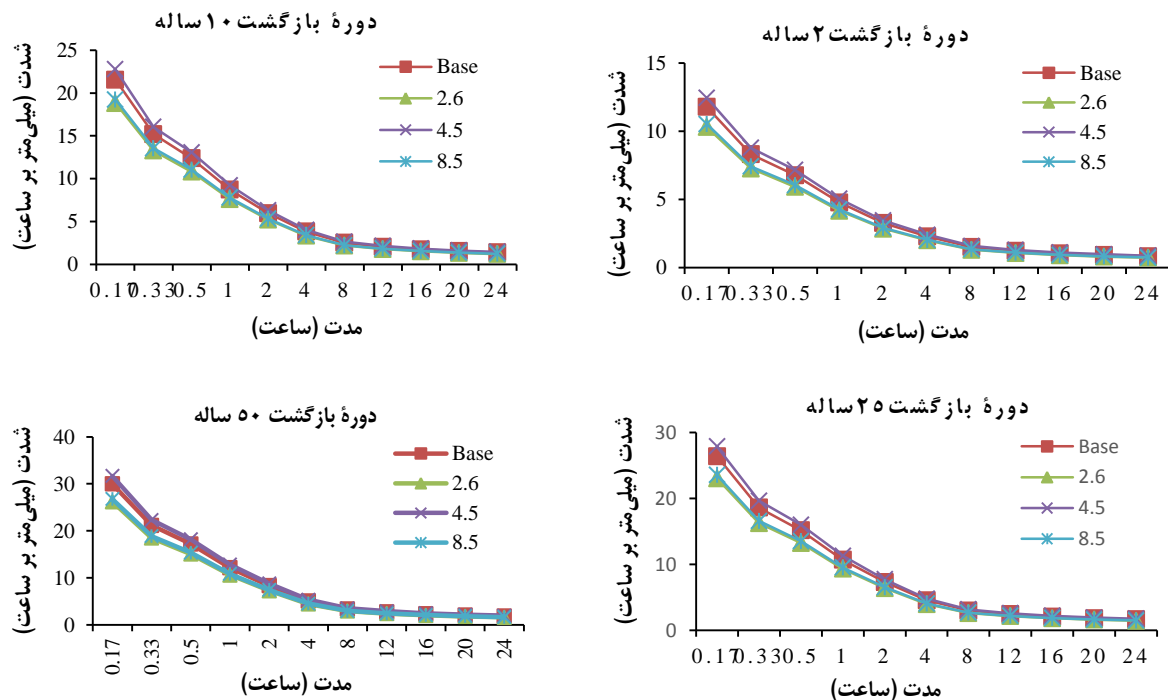
شکل ۷- مقایسه شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵، ۵۰ ساله دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۱۷) با دوره آینده نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۳۰)

Figure 7- Comparison of rainfall intensity in the period of two, 10, 25, and 50-year returns of the observation period (1993-2017) with the near future period (2011-2030)



شکل ۸- مقایسه شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵، ۵۰ ساله دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۱۷) با دوره آینده (۲۰۳۱-۲۰۵۰) (۲۰۳۱)

Figure 8- Comparison of rainfall intensity in the period of two, 10, 25, and 50 years of the observation period (1993-2017) with the future period (2031-2050)



شکل ۹- مقایسه شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵، ۵۰ ساله دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۱۷) با دوره آینده دور (۲۰۵۱-۲۰۷۰) (۲۰۷۰)

Figure 9- Comparison of rainfall intensity in the period of two, 10, 25, and 50-year returns of the observation period (1993-2017) with the distant future period (2051-2070)

۴- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم، واقعیتی انکارناپذیر و بزرگ‌ترین چالش قرن ۲۱ است. در قرن حاضر پدیده گرمایش زمین و تغییر اقلیم ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای تبعات زیان‌بار زیادی را در مناطق مختلف جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک آشکار می‌سازد. از جمله دستاوردهای تغییر اقلیم می‌توان به افزایش دمای هوا، کاهش بارندگی، تغییر الگوی بارندگی، کاهش میزان دبی رودخانه‌ها، افزایش سیلاب‌های ناگهانی و در پی آن افزایش فرسایش خاک و کاهش میزان محصولات کشاورزی اشاره کرد. از این‌رو تحلیل و پایش درازمدت شرایط اقلیمی می‌تواند در اقدامات مربوط به مدیریت بحران ناشی از تغییرات اقلیمی نظیر سیل و خشکسالی بسیار تأثیرگذار باشد. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم بیان داشته است که بر اثر فعالیت‌های صنعتی انسان و افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش جهانی امری اجتناب‌ناپذیر است. دما و بارش عناصر اصلی اقلیمی و کنترل‌کننده عوامل مهم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی کشور هستند. به همین جهت پژوهش‌های زیادی در خصوص پیش‌بینی اثرات این پدیده بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و منابع آب در حال انجام است.

در حال حاضر مدل LARS WG از معتبرترین ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی بوده که تولیدکننده داده‌های هواشناسی است و با فرض تغییر اقلیم و اثرات آن بر میزان بارش و دمای منطقه نتایج حاصل از ارزیابی مدل LARS WG نشان داد که تغییرات میانگین دمای حداقل سالانه تحت سناریوهای مختلف ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ در بازه‌های زمانی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱) روند صعودی را در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۳) دارند (از ۰/۷ تا ۲/۸ درصد). همچنین، تغییرات میانگین دمای حداکثر سالانه نشان داد که روند افزایشی را در مقایسه با دوره پایه دارند (از ۰/۵ تا ۱/۶ درصد). بررسی تغییرات بارندگی سالانه نشان می‌دهد هرچند بارندگی تحت سناریوی ۴/۵ در دوره‌های (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، (۲۰۵۰-۲۰۳۱) و (۲۰۷۰-۲۰۵۱) افزایش داشته است. افزایش دماهای حداکثر تحت سناریوهای بدبینانه در بسیاری از نقاط مرکزی ایران گزارش شده است. اما در مجموع بارندگی سالانه برای سایر سناریوها و در هر سه دوره کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که شدت بارندگی طی دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوی ۲/۶ در تمام دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله کاهش یافته است (۸/۹۷ درصد) و طبق سناریوی ۴/۵ در تمام دوره بازگشت‌ها روندی افزایشی داشته است (۶/۱۰ درصد) و طبق سناریوی ۸/۵ تغییرات چندانی دیده نمی‌شود به طوری که میزان تغییرات شدت بارش نسبت به دوره پایه کاهش یافته برابر با ۰/۳۶

درصد دارد. بر اساس بررسی‌های انجام شده نمی‌توان یک سناریو را به‌عنوان سناریوی محتمل برای آینده انتخاب کرد ولی بر اساس شواهد و تخریب‌های انجام شده در طبیعت، به نظر می‌رسد که راهی به‌جز حرکت به سمت سناریوهای خوش‌بینانه وجود ندارد.

نتایج اعمال سناریوهای ۴/۵ (۲۰۵۰-۲۰۳۱) و ۲/۶ (۲۰۷۰-۲۰۵۰) بر اقلیم منطقه نشان می‌دهد که میزان رطوبت و دما در این دوره‌ها افزایش خواهد داشت. به این موضوع باید در مدیریت الگوی کشت آینده از نظر زمانی و مکانی توجه شود. همچنین، طبق سایر سناریوها در دوره‌های (۲۰۷۰-۲۰۵۱) میزان دما افزایش اما میزان رطوبت کاهش پیدا خواهد کرد و در صورت تحقق شرایط این سناریوها الگوهای کشت آینده نیز نیازمند تغییر متناسب با کاهش رطوبت خواهند بود. بر طبق همه سناریوها میزان بارندگی فصلی در فصول بهار، تابستان و پاییز کاهش پیدا کرده است و بارندگی‌های زمستانه افزایش داشته است که این موضوع از نظر کشت محصولات نظیر گندم که کشت پاییزه و بهار دارند برای برنامه‌ریزی آینده حائز اهمیت است. نتایج اعمال سناریوهای مختلف بر شدت بارندگی نشان می‌دهد، در همه سناریوها روند تغییرات شدت بارندگی افزایشی خواهد بود. بنابراین، میزان ریسک سیل و احتمال وقوع وقایع حدی افزایش خواهد داشت. توجه به این موضوع در مدیریت سیل و بلایای طبیعی هیدرولوژی در آینده می‌تواند کارگشا باشد. بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های شدت-مدت-فروانی حاکی از افزایش شدت بارش‌های کوتاه‌مدت در آینده است. افزایش مدت بارش‌های کوتاه‌مدت می‌تواند باعث افزایش سیلاب‌های با دبی اوج بالا شود و با توجه به کاهش زمین نفوذ آب، تخریب و فرسایش خاک را نیز به همراه خواهد داشت.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد صورت گرفته است. نویسندگان از دانشگاه کاشان که موجبات تسهیل انجام این مطالعه را فراهم نموده است تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

قسمتی از اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. سایر داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

زهرا فرحناکیان: مفهوم سازی، انجام تحلیل های نرم افزاری / آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ رضا قضاوی، سیامک دخانی و ابراهیم امیدوار: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

منابع

آقاجانی، نوید، و کرمی، حجت (۱۳۹۴). استخراج منحنی های IDF از داده های روزانه بارش (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک مشهد). دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. doi:10.22131/sepehr.2022.699917

امیری، ابراهیم، صائبی، علیرضا، و آقایی، علی اصغر (۱۳۹۳). تعیین منحنی های شدت-مدت-فراوانی IDF در غرب، مرکز و شرق استان گیلان (مطالعه موردی: ایستگاه های آستارا، رشت، رامسر). دومین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست. بلوکی، هدی، فاضلی، مهدی، و شریف زاده، مهدی (۱۴۰۰). استخراج منحنی های شدت-مدت-فراوانی به کمک نظریه فرکتال و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر آن (مطالعه موردی: بوشهر). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۵۳(۱)، ۱۰۳-۱۱۳. doi:10.22034/jcee.2021.44701.2010

رستمی، امین، و خانجانی، سونا، دین پژوه، یعقوب، و محمدیان، پ (۱۳۹۱). استخراج مدل بل و تحلیل منحنی های شدت-مدت-فراوانی رگبارهای ایستگاه باران نگار ثابت کهیر در استان سیستان و بلوچستان. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. https://civilica.com/doc/335785

زهیری، زهره، قضاوی، رضا، امیدوار، ابراهیم، داودی راد، علی اکبر (۱۳۹۸). مقایسه مدل های ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM در پیش بینی تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای RCP. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۰(۴۰)، ۵۲-۳۹. http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1601-fa.html

شکوهری، علیرضا، و حبیب نژاد، رویا (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات شدت، مدت و دره بازگشت بارش های کوتاه مدت با استفاده از مدل تغییر اقلیم منطقه ای (مطالعه موردی: تهران). *تحقیقات منابع*

آب ایران، ۱۵(۴)، ۴۱۲-۴۲۴. doi:10.22108/21-36-36.2017.97830.0

1398.15.4.28.1

صلاحی، برومند، و فاطمی نیا، فخری السادات (۱۳۹۶). پیش بینی روند تغییرات یخبندان در ایستگاه هواشناسی کاشان. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۸(۳)، ۳۶-۲۱. doi:10.22108/21-36-36.2017.97830.0

عجم زاده، علی، و ملائی نیا، محمودرضا (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش جوی به وسیله نرم افزارهای SDSM و LARS-WG. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۲(۱)، ۹۵-۱۰۹. https://www.iwrr.ir/article-15651.html?lang=fa

قهرمان، بیژن، و آب خضر، حمیدرضا، (۱۳۸۳). اصلاح روابط شدت-مدت-فراوانی بارندگی در ایران. *علوم آب و خاک*، ۸(۲)، ۱-۱۴. doi:10.1001.1.24763594.1383.8.2.1.4

کامیار، اصغر، یزدان پناه، حجت الله، و موحدی. سعید (۱۳۹۷). ارزیابی دقت خروجی مدل های منطقه ای آب و هوا در ایران. *پژوهش های جغرافیایی طبیعی*، ۵۰(۱)، ۱۶۱-۱۷۶. doi:10.22059/jphgr.2018.237966.1007088

گودرزی، مسعود، صلاحی، برومند، و حسینی، اسعد (۱۳۹۷). چشم انداز آبی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی آماری (نمونه موردی: حوضه ی آبخیز دریاچه ی ارومیه). *فضای جغرافیایی*، ۱۸(۶۴)، ۴۱-۶۰. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1855-fa.html

مشکواتی، کرد جزی، بابائیان، ایمان (۱۳۹۱). بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۰(۱۳)، ۸۱-۹۶. http://jgs.khu.ac.ir/article-1-612-fa.html

یوسفی ملک شاه، محسن، قضاوی، رضا، ساداتی نژاد، سید جواد (۱۳۹۸). بررسی تأثیر تغییرات اقلیم آینده بر تغییرات دما، بارندگی و منحنی های شدت-مدت-فراوانی در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوضه تهران-کرج). *اکوهیدرولوژی*، ۶(۲)، ۴۳۱-۴۴۵. doi:10.22059/ije.2019.275072.1042

References

Aghashahi, M., Nicksokhan, M., & Tahmasebi, B. (2012). Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. Tehran University. Environment Faculty.

Aghjani, N., & Karami, H. (2015). Extraction of IDF curves from daily rainfall data (Case Study: Mashhad synoptic station). 10th International Congress on Civil Engineering, Tabriz, Iran, Pp. 1-7. [In Persian]

Ajam Zadeh, A., & Mollaeinia, M. (2016). Assessment of Impact of Climate Change on Firoozabad River Runoff with Downscaling of

Atmospheric Circulation Models Output by SDSM and LARS-WG Softwares. *Iran-Water Resources Research*, 12(1), 95-109. https://www.iwrr.ir/article_15651.html?lang=en. [In Persian]

Amiri, E., Saebi, A., & Aghbeyghi, A.A. (2014). Determining the intensity-duration-frequency curves of IDF in the west-central and east of Gilan province, a case study: Astara, Rasht, and Ramsar stations. The Second National Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Environment, Hamadan, Iran, Pp. 1-7. [In Persian]

- Bolouki, H., Fazeli, M., & Sharifzadeh, M. (2023). Extraction of Intensity-Duration-Frequency Curves Using Fractal Theory and Evaluation of Climate Change on it (Case Study: Busheh). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 53(1), 130-130. [In Persian]
- Cheng, L., & Agha, K.A. (2014). Nonstationary precipitation intensity-duration-frequency curves for infrastructure design in a changing climate. *Scientific Reports*, 4, 1-6. doi:10.1007/s10333-018-686-y
- Ghahraman, B., & Abkhezr, H. (2004). Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 8(2), 1-14. doi:10.1001.1.24763594.1383.8.2.1.4 [In Persian]
- Goodarzi, M., Salahi, B., & Hosseini, S.A. (2017). The future perspective of temperature and precipitation changes using the statistical microcirculation model (case example: Lake Urmia watershed). *Geographical Space*, 18(64), 41-60. <https://sid.ir/paper/91449/en> [In Persian]
- Kamyar, A., Yazdanpanah, H., & Movahedi, S. (2018). Accuracy evaluation of the outputs of regional climate models in Iran. *Physical Geography Research*, 50(1), 161-176. doi:10.22059/jphgr.2018.237966.1007088. [In Persian]
- Lee, S.K., & Dang, T.A. (2018). Predicting the water use-demand as a climate change adaptation strategy for rice planting crops in the long Xuyen quadrangle delta. *Paddy and Water Environment*, 17, 561-570. doi:10.3389/fpls.2017.01118
- Meshkatee, A.H., Kordjazi, M., & Babaeian, I. (2010). Investigation and evaluation of the Lares model in the simulation of meteorological data of Golestan province in the period of 1993-2007. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 10(13), 81-96. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-612-fa.html>
- Mirhosseini, G., Srivastava, P., & Stefanova, L. (2013). The impact of climate change on rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves in Alabama. *Regional Environmental Change*, 13(1), 33-25.
- Mohammadlu, M., Haqizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipur, N. (2016). Assessment of climate change impacts on trend changes of temperature & precipitation in Baranduzchai basin west Azarbaijan using AOGCM. *Journal of Geographical Space*, 56(16), 168-151.
- Nuri, A.Z., Farzaneh, M., & Espanayl, K. (2014). Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8, 838-225.
- Nury, A.H., Alam, M.J.B. (2014). Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for Temperature and Rainfall in NorthEastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1), 87-96.
- Prudhomme, C., Reynard, N., Crooks, S. (2002). Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?. *Hydrological Processes*, 16(6), 1137-1150. doi:10.1002/hyp.1054
- Reddy, K.S., Kumar, M., Maruthi, V., Umesha, B., Vijayalaxmi, A., Nageswar Rao, C.V.K. (2014). Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *Current Science*, 107(1), 54-62.
- Rostami, A., Khanjani, S., Dinjoh, Y., & Mohammadian, P. (2012). Derivation of the Bell model and analysis of the intensity-duration-frequency curves of rainstorms at baran nagar tashat Kehir station in Sistan and Baluchistan Province. The 3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management, Sari, Iran, Pp. 1-9. [In Persian]
- Salahi, B., & Fateminiya, F.S. (2017). Forecasting frost changes in the City of Kashan based on the simulation of general atmospheric circulation model. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 28(3), 21-36. doi:10.22108/gep.2017.97830.0 [In Persian]
- Sarwar, R., Irwin, S.E., King, L.M., Simonovic, S.P. (2010). Assessment of climatic vulnerability in the Upper Thames River basin: Downscaling with SDSM, Water Resources Research Report, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario. Report No.80;58 p.p.
- Shokoohi, A., & Habibnejad, R. (2019). Evaluating intensity, duration and frequency of short duration rainfalls using a regional climate change model (Case study: Tehran). *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 412-424. doi:10.1001.1.17352347.1398.15.4.28.1. [In Persian]
- Silva, D.F., Simonovic, S.P., Schardong, A., & Goldenfum, J.A. (2021). Assessment of non-stationary IDF curves under a changing climate: Case study of different climatic zones in Canada. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100870. doi:10.1016/j.ejrh.2021.100870
- Soltani, S., Helfi, R., Almasi, P., Modarres, R., (2017). Regionalization of rainfall intensity-duration-frequency using a simple scaling model. *Water Resources Management*, 31(13), 4253-4273.
- Sun, Y., Wendi, D., Kim, D.E., & Liong, S.Y. (2019). Deriving-intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall

- assimilated with remote sensing data. *Geoscience Letters*, 6(1), 1-12.
- Tien Thanh, N., & Dutto Aldo Remo, L. (2018). Projected changes of precipitation IDF curves for short duration under climate change in central Vietnam. *Hydrology*, 5(3), 33. doi:10.3390/hydrology5030033
- Ulrich, J., Jurado, O.E., Peter, M., Scheibel, M., & Rust, H.W. (2020). Estimating IDF curves
- Wolcott, S.B., Mroz, M., & Basile, J. (2010). Application of Northeast Regional Climate Center Research results for the purpose of evaluating and updating intensity-duration-frequency (IDF) Curves, Case Study: Rochester, New York. Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress, Kansas City, Missouri. <https://doi.org/10.1029/2007GL030749>
- Yousefi Malekshah, M., Ghazavi, R., & Sadatinejad, J. (2019). Investigation of climate change effect on temperature, rainfall and intensity-duration-frequency curves in arid areas (Case Study: Tehran-Karaj Basin). *Iranian journal of Ecohydrology*, 6(2), 431-445. doi: 10.22059/ije.2019.275072.1042. [In Persian]
- Zoheyri, Z., Ghazavi, R., Omidvar, E., & Davudi_Rad, A. (2020). Comparison of larswg and sdsm downscaling models for prediction temperature and precipitation changes under RCP scenarios. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 11(40), 39-52. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161517.html?lang=en