

مقاله پژوهشی

بسط منحنی‌های IDF تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و تخمین دبی بیشینه سیلاب در حوضه درکه تهران (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد)

مرضیه خالقی میبدی^۱، حجت کرمی^{۲*}، خسرو حسینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان.

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hkarami@semnan.ac.ir

چکیده

در پژوهش حاضر، منحنی‌های IDF ایستگاه‌های همید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد واقع در تهران برای دوره تاریخی (۱۹۹۱-۲۰۱۵) با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال استخراج گردید. بر اساس ریز مقیاس نمایی انجام شده، پیش‌بینی بارش تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای یک دوره ۸۵ ساله شامل ۵ دوره (۱۵ ساله) و یک دوره (۱۰ ساله) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۱۰۰ انجام شد. با مقایسه منحنی‌های IDF به دست آمده معلوم شد که برای دوره بازگشت ۵۰ سال شدت بارش در ایستگاه‌های همید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد تحت سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره پایه به ترتیب به اندازه ۴۵/۶۶، ۵۴/۴۹ و ۳۱/۷۴ درصد افزایش یافته است. این رقم برای سناریوی RCP4.5 به ترتیب معادل ۴۰/۸۹، ۶۱/۵ و ۴۳/۹ درصد و برای سناریوی RCP8.5 معادل ۶۵/۷۷، ۶۶/۱۲ و ۴۸/۶ درصد می‌باشد. با استفاده از منحنی‌های IDF استخراج شده برای ایستگاه‌های منتخب مقدار حداکثر دبی سیلاب با سناریوهای مختلف در خروجی حوضه آبریز درکه با روش استدلالی محاسبه شد. دبی بیشینه با به کارگیری رابطه منطقی، تحت تأثیر تغییر اقلیم با دبی دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای دوره بازگشت ۵۰ سال دبی بیشینه بر اساس شدت بارش به دست آمده در ایستگاه شمیران با افزایش حداقل ۴۰/۸۹ درصد و حداکثر ۶۵/۷۷ درصد تحت تأثیر سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دبی بیشینه دوره پایه مواجه است. با توجه به شدت بارش محاسبه شده در ایستگاه ژئوفیزیک مقدار حداکثر دبی سیلاب با سناریوی RCP2.6 حدود ۵۴ درصد و با سناریوی RCP8.5 حدود ۶۶ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. در نهایت با مقایسه دبی بیشینه تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی و دبی بیشینه دوره پایه (محاسبه شده بر اساس شدت بارش) در ایستگاه مهرآباد نیز مشخص شد، حداقل افزایش دبی بیشینه مربوط به سناریوی RCP2.6 به میزان ۳۱/۷۴ درصد و حداکثر میزان افزایش تحت تأثیر سناریوی RCP8.5 به میزان ۴۸/۶۱ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دبی بیشینه سیلاب، رابطه منطقی، سیلاب، منحنی‌های IDF

Extension of IDF Curves under Different Scenarios of Climate Change and Estimation of Maximum Flood Discharge in Darkeh Basin in Tehran (Case study: Shemiran, Geophysics and Mehrabad Synoptic Stations)

M Khaleghi Meybodi¹, Ht Karami^{2*}, Kh Hosseini²

Received: September 2, 2021

Accepted: April 25, 2022

1-MSc. Student, Graduate of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

*Corresponding Author, Email: hkarami@semnan.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Intensity-duration-frequency (IDF) curve is one of the most common tools used in water resources management (Bernard 1932). In this regard, obtaining IDF curves plays an important role in designing of hydraulic structures such as dams and water transfer canals. Intensity, duration and frequency of precipitation are changed according to the change in the hydrological cycle and the increase of greenhouse gases. The optimal designs of surface runoff systems extremely rely on IDF rainfall curves (Liew, et al. 2014). Since rainfall characteristics are often used for designing hydraulic structures, it is necessary to review and update rainfall characteristics such as the IDF curve for the future climate scenarios (De Paola, et al. 2014). Climate change affects the intensity and frequency of rainfall as well as runoff in future periods. According to the studies conducted in the western reversible flood basin, the amount of runoff and maximum flows and the probability of flooding will increase significantly in the future time horizon, (Binesh, et al. 2018). As well, it is necessary to define the flood peak thresholds in order to determine the discharge values for different return periods, for which it is necessary to determine the maximum precipitation values with a certain intensity and continuity for future periods (Van, et al. 2020). According to the researches, it seems that the effect of climate change on marginal currents in urban basins has been less considered. Therefore, in the present study, using the SDSM model outputs according to the fifth report, intensity- duration-frequency (IDF) curves under the influence of climate change scenarios were extracted for Shemiran, Geophysics and Mehrabad synoptic stations located in Tehran province with different return periods in order to better evaluate the role of climate change on the intensity of rainfall and floods in the basin and to consider the necessary measures in accordance with the conditions ahead.

Methodology

The data of historical storms of meteorological stations is used to obtain the intensity-duration-frequency curves. In the present study, IDF curves of Shemiran, Geophysics and Mehrabad synoptic stations located in Tehran province influenced by climate change of the historical period (1991-2015) with 2, 5, 10-, 25-, 50- and 100-year return periods were extracted. SDSM software version 5.3 has been used for downscaling. Based on the following downscaling, precipitation forecasting was performed under three scenarios: RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 for 5 periods of 15 years and a period of 10 years from 2016 to 2100. The SCS method has been used to calculate the concentration time in this study. Three criteria of correlation (r), Nash Sutcliffe coefficient (NSE) and Bias were used to

evaluate the efficiency of SDSM model. The proposed method of the US Soil Conservation Organization is based on the proposal of the World Meteorological Organization (WMO) about the temporal distribution pattern of storms. The amount and intensity of precipitation in each return period is calculated by means of this temporal distribution pattern. 6-hour precipitation was obtained under RCP scenarios for different return periods using the hero relationship.

Findings

In this study, forecasts for the next 50 years indicate that the rainfall will decrease by 16.55% and 14.36% at Shemiran station according to the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. Compared to the observational state; however, precipitation will increase by 45.24% based on the RCP4.5 scenarios. At the Geophysics station, the annual rainfall will decrease by 25.12 and 16.8 percent based on the scenarios of RCP2.6 and RCP8.5, but it will increase by 20.61 percent based on the RCP4.5. The precipitation at Mehrabad station will decrease in all scenarios. The precipitation at Mehrabad station will decrease by 11.038, 10.6 and 5.75, respectively under the scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5.

Conclusion

In the present study, it is found that the rainfall intensity by comparing the obtained IDF curves in Shemiran, Geophysics and Mehrabad synoptic stations under RCP2.6 scenario has dramatically increased by 45.66, 54.49 and 31.74 percent in comparison to the base period for the return period of 50 years. RCP4.5 scenario contains 40.89, 61.5 and 43.9% and RCP8.5 scenario contains 65.77, 66.12 and 48.6 percent. Finally, using the extracted IDF curves for Shemiran, Geophysics and Mehrabad synoptic stations, the maximum flow influenced by climate change was compared with the base flow. The results show that the maximum discharge is increasing. According to the results, the maximum flow rate based on the rainfall intensity obtained at Shemiran station increased by at least 40.89% and at most 65.77% under the influence of RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the return period of 50 years compared to the maximum of base flow. According to the intensity of precipitation calculated at the geophysics station, the maximum flood discharge increased by about 54% with the RCP2.6 scenario and about 66% with the RCP8.5 scenario compared to the base period. Finally, by comparing the maximum discharge under the influence of climatic scenarios and the maximum of base flow (based on calculated by rainfall intensity) at Mehrabad station, it was determined that the minimum increase of the maximum of base flow is related to RCP2.6 scenario was 31.74% and the maximum increase was related to RCP8.5 scenario which is 48.61%

Keywords: Climate change, Flood, IDF curves, Maximum flood discharge, Rational relationship

مقدمه

طراحی سازه‌های آبی برای سناریوهای اقلیمی آینده ضروری است (دپائولا و همکاران ۲۰۱۴). ادیب و غفاری‌راد (۲۰۱۹) تغییرات منحنی‌های IDF ایستگاه باغملک در جنوب غربی ایران را مورد ارزیابی قرار دادند، سپس با استفاده از نرم‌افزارهای گردش عمومی جو مدل HadCM3 داده‌های بارش برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۵۰) را بر اساس سناریوهای A1B، B1 و A2 آماده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که به

در دنیا روابط مختلفی برای تخمین شدت بارش بازای مدت دوام معلوم ارائه شده است (برنارد ۱۹۳۲). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مولفه‌های مختلف چرخه آب در طبیعت را تحت تأثیر قرار داده که به دنبال آن شکل منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی ایستگاه‌ها نیز تغییر می‌کند. طرح‌های بهینه سامانه‌های رواناب سطحی تا حد زیادی به منحنی‌های IDF بارندگی وابسته هستند (لیو و همکاران ۲۰۱۴). بررسی منحنی IDF جهت

اقلیم) بیانگر افزایش فراوانی و بزرگی سیلاب‌ها می‌باشد که این امر نشان‌دهنده اهمیت پیش‌بینی بارش حداکثر با دوره‌های بازگشت مختلف است (مزین و همکاران ۲۰۱۵). افزایش دانش شهروندان در خصوص عوامل منجر به سیل و پارامترهای خطر آن، می‌تواند در کنترل مخاطرات سیل مؤثر باشد (سی و همکاران ۲۰۱۹). بررسی‌های انجام شده در حوضه سیل برگردان غرب نشان داد که در افق زمانی آینده، میزان رواناب و جریان‌های حداکثر افزایش می‌یابد و احتمال وقوع سیل با افزایش چشمگیری مواجه خواهد بود (بینش و همکاران ۲۰۱۸). جهت برآورد مقادیر دبی برای دوره‌های بازگشت مختلف، تعیین مقادیر حداکثر بارش با شدت و تداوم مشخص برای دوره‌های آینده ضروری می‌باشد (ون و همکاران ۲۰۲۰). بدین منظور، می‌توان از مدل‌های گردش عمومی استفاده نمود. از آنجائیکه شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی به طور کامل و با تفکیک مکانی جزئی امکان‌پذیر نیست، بنابراین جهت حل این مشکل از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به منظور تبدیل خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی به متغیرهایی در مقیاس محلی استفاده می‌شود (ویلی و هریس ۲۰۰۶). به منظور سنجش اثرات محلی تغییر اقلیم، مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)^۱ توسط ویلی و داوسون در سال ۲۰۰۲ توسعه یافت (ویلی و همکاران ۲۰۰۲). نرم‌افزار SDSM متغیرهای محلی را بسته به متغیرهای جوی در مقیاس بزرگ مدل می‌کند (خزایی و همکاران ۲۰۲۰). مقایسه مدل‌های غیرخطی بر مبنای ماشین‌های یادگیری ترکیبی و مدل SDSM در تعیین بارش، نشان داد که مدل SDSM از دقت کمتری برخوردار است (انارکی و همکاران ۲۰۲۰). مطالعات

سویینت و هاینریش نشان داد که مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری از دقت بیشتری در شبیه‌سازی متغیرهای دما نسبت به متغیرهای بارش برخوردار است (سویینت و

دلیل افزایش دی‌اکسید کربن و اثرات گازهای گلخانه‌ای در این سناریوها، شدت بارندگی برای دوره‌های بازگشت کمتر از ۲/۳۳ سال افزایش، در حالی که برای دوره‌های بازگشت بیش از ۲/۳۳ سال کاهش می‌یابد. تغییرات اقلیمی بر طبیعت و رفتار احتمالی پدیده‌های حدی آب و هوایی در طول زمان تأثیر می‌گذارد. برای حفظ قابلیت اطمینان طراحی‌های زیرساختی، منحنی‌های IDF که با زمان دچار تغییر می‌شوند، باید جایگزین منحنی‌های ثابت IDF گردند (سرحدی و سولیس ۲۰۱۷). وو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از یک روش آماری-دینامیکی، مطالعه‌ای در زمینه ساخت منحنی IDF کوتاه‌مدت و تعیین تنوع در شدت بارندگی برای دوره‌های بازگشت مختلف تحت تأثیر تغییرات آب و هوا انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به آب و هوای پایه، افزایش قابل توجهی در شدت بارش کوتاه‌مدت در آینده وجود دارد که نشان‌دهنده احتمال وقوع سیل شدید در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، این نتایج ممکن است برای مدیریت و برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها مفید باشد. برای مثال؛ در برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سدها که میزان رواناب ورودی به مخازن در آن نقش دارد، موضوع تغییر اقلیم به عنوان یکی از موارد مؤثر شناخته شده است (خان و همکاران ۲۰۰۶). تغییرات شرایط آب و هوایی، استفاده از داده‌های تاریخی جهت توسعه منحنی‌های IDF در آینده را غیرقابل توجیه می‌کند. بنابراین جهت به روزرسانی منحنی‌های IDF تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، از روش‌های گوناگونی استفاده می‌گردد (سیمونویچ و همکاران ۲۰۱۶). عبدالله و همکاران (۲۰۱۸) با توجه به تحلیل دوره بازگشت در حوضه‌ای واقع در مالزی دریافتند که بارش‌های چند روزه بیشتر از حوادث یک روزه رخ می‌دهد. در اثر تغییر اقلیم و گسترش فعالیت‌های انسانی، روند وقوع سیل تحت تأثیر قرار گرفته است (یانگ و همکاران ۲۰۱۹). گزارش IPCC^۱ (هیأت بین‌الدول تغییر

¹ Statistical Downscaling Model

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

مواد و روش‌ها

مشخصات ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور تهیه منحنی‌های IDF از اطلاعات مربوط به بارش روزانه این سه ایستگاه از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ استفاده گردید. به منظور بررسی دبی بیشینه یکی از زیرحوضه‌های مربوط به حوضه درکه واقع در استان تهران، با مساحت ۴۰/۱ هکتار استفاده گردید. ایستگاه هیدرومتری هفت حوض درکه در موقعیتی با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی واقع شده است. حوضه آبریز رودخانه درکه از شمال به زیرحوضه‌های شهرستانک و زیرحوضه آهار و از غرب به زیرحوضه رودخانه فرحزاد و از شرق به حوضه آبریز رودخانه دربند محدود می‌گردد. این رودخانه پس از عبور از منطقه درکه و زندان اوین در امتداد بزرگراه چمران از میان شهر تهران عبور کرده و بعد از پیوستن به سیل برگردان غرب، به رودخانه کن می‌پیوندد.

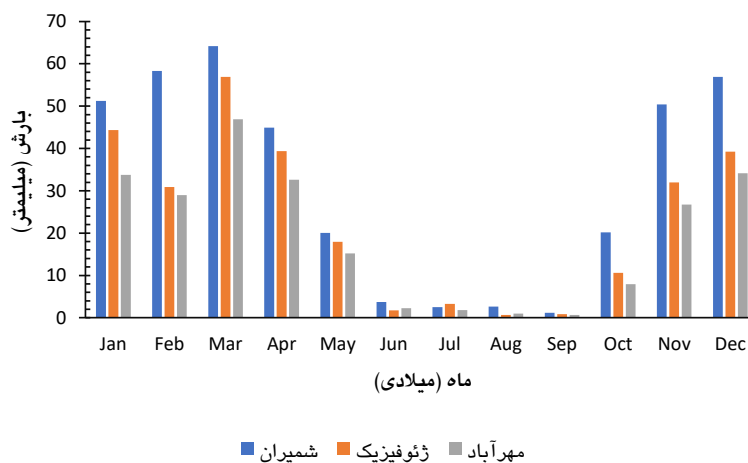
هاینریش (۲۰۱۱). انارکی و همکاران (۲۰۲۱) میزان بارش در حوضه کارون ۳ را با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ پیش‌بینی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان بارش تحت سناریوهای اقلیمی مذکور در افق‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. یا توجه به تحقیقات صورت گرفته به نظر می‌رسد تأثیر تغییر اقلیم بر جریان‌های حدی در حوضه‌های شهری کمتر مورد توجه واقع شده است. بنابراین در تحقیق حاضر برای نخستین بار با به کارگیری از خروجی‌های مدل SDSM طبق گزارش پنجم، بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم مختلف و با به کارگیری از رابطه ارائه شده توسط قهرمان (۲۰۰۴)، منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی (IDF)، برای ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد واقع در استان تهران با دوره‌های بازگشت مختلف استخراج گردید تا نقش تغییر اقلیم بر شدت بارش و سیلاب زیرحوضه مورد نظر بهتر ارزیابی گردیده و متناسب با شرایط پیش رو، تمهیدات لازم اندیشیده شود. بنابراین هدف از این پژوهش رسم منحنی‌های IDF تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات آماری ایستگاه‌های همدید در مطالعه حاضر.

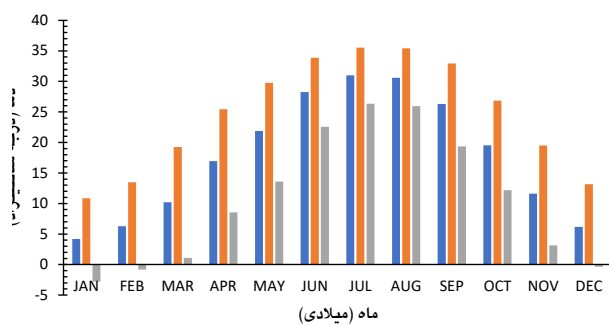
نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	\bar{P} (mm)	P_{24} (mm)	T_{ave} (°C)
شمیران	۳۵°-۳۹'	۵۱°-۲۹'	۱۵۴۹	۳۷۶/۲۲	۳۰/۴۶۸	۱۵/۷۱
ژئوفیزیک	۳۵°-۴۴'	۵۱°-۲۳'	۱۴۱۵	۲۷۲/۷۱	۲۴/۲۱۲	۱۷/۹۷
مهرآباد	۳۵°-۴۱'	۵۱°-۱۹'	۱۱۹۱	۲۲۵/۹۸	۲۳/۶۷	۱۸/۲۴

\bar{P} بیانگر متوسط بارش سالانه، P_{24} بیانگر متوسط بارش ۲۴ ساعته و T_{ave} نشانگر دمای میانگین می‌باشد.

در شکل ۱ هیستوگرام میانگین بارش ماهانه برای هر سه ایستگاه نشان داده شده است. در شکل ۲ الگوی میانگین دما، حداکثر دما و حداقل دمای ماهانه برای سه ایستگاه منتخب نشان داده است.

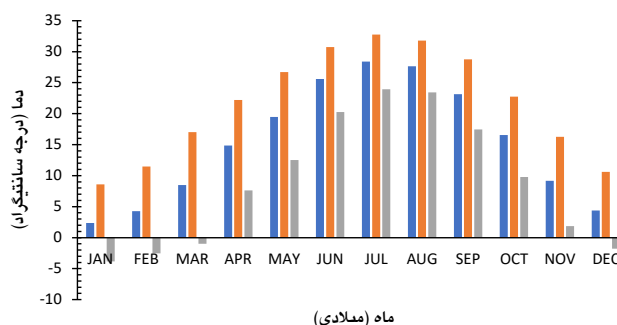


شکل ۱- هیستوگرام بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۵).



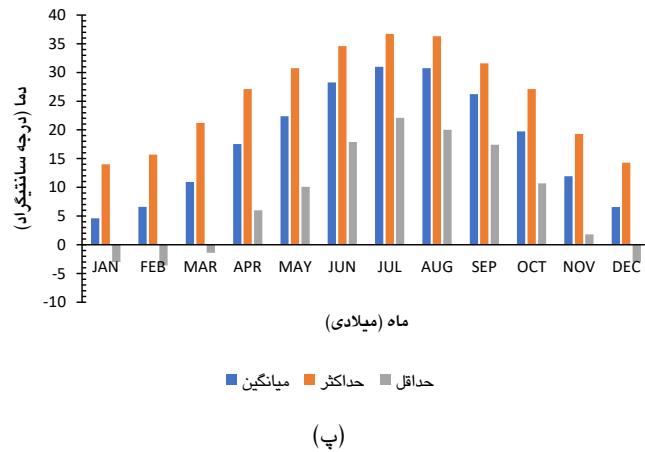
■ میانگین ■ حداکثر ■ حداقل

(ب)

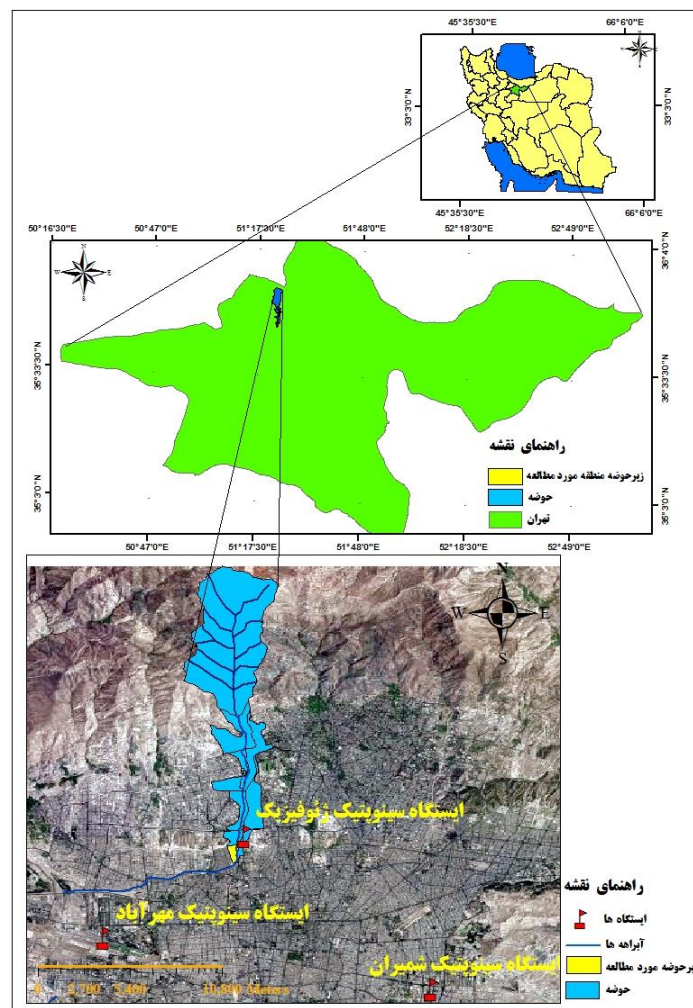


■ میانگین ■ حداکثر ■ حداقل

(الف)



شکل ۲- میانگین دمای ماهانه، حداکثر دما و حداقل دمای ماهانه ایستگاه همدید شمیران (الف)، ایستگاه همدید ژئوفیزیک (ب) و ایستگاه همدید مهرآباد (پ) در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۱).



شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه درکه) و ایستگاه‌های همدید مورد استفاده.

بازگشت محاسبه می‌شود. با استفاده از رابطه قهرمان (۲۰۰۴) مقادیر بارش با تداوم ۶ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال برای شرایط موجود و شرایط تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه شد. دوره بازگشت‌های مذکور بر اساس منابع موجود انتخاب گردید (صفوی و همکاران ۲۰۱۹). قهرمان (۲۰۰۴) برای محاسبه میزان بارندگی با تداوم ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت رابطه زیر را ارائه داد که در این مطالعه از آن‌ها استفاده شد:

$$P_T^f = (0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)) \quad [1]$$

$$(0.371 + 0.6184t^{0.4484})P_{10}^{60} \quad [2]$$

$$P_{10}^{60} = 2.2598 \times P_{24}^{1.1374} \bar{P}^{-0.3072} \quad [2]$$

در روابط فوق، P_T^f عمق بارش t ساعته با دوره بازگشت T ساله (میلیمتر)، P_{10}^{60} بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله (میلیمتر)، t تداوم بارش (ساعت)، T دوره بازگشت، P_{24} متوسط بارش حداکثر ۲۴ ساعته (میلیمتر) و \bar{P} متوسط بارش سالانه (میلیمتر) می‌باشد (علیزاده ۲۰۰۶). در مطالعه حاضر مقادیر P_{24} و \bar{P} برای هر سه ایستگاه مورد بررسی تحت سناریوهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر \bar{P} و P_{24} برای سه ایستگاه همدید منتخب تحت سناریوهای اقلیمی مختلف.

$P_{24} (mm)$			$\bar{P} (mm)$			ایستگاه
RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
۴۲/۸۲	۴۱/۶۶	۴۸/۵۱	۳۹۰/۰۵	۳۹۲/۴۳	۴۰۶/۳۵	شمیران
۳۶/۵۱	۳۷/۸۱	۳۹/۱۸	۳۰۲/۸۸	۲۹۸/۵۰	۳۱۰/۸۰	ژئوفیزیک
۳۰/۲۸	۳۳/۲۱	۳۴/۶۶	۲۲۸/۹۹	۲۴۲/۰۸	۲۵۵/۳۲	مهرآباد

در شکل ۳ موقعیت قرارگیری حوضه درکه در مجاورت ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد، یکی از زیرحوضه‌ها که در شکل نیز مشخص شده است، مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهش حاضر داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد، در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به‌منظور ریز مقیاس‌نمایی بارش با استفاده از مدل CanESM2 از نرم‌افزار SDSM با نسخه 5.3 استفاده شد. عمق بارش ۶ ساعته تحت سناریوهای RCP برای دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از رابطه ارائه شده توسط قهرمان (۲۰۰۴) به‌دست آمد. مدل SDSM موجب آسان شدن توسعه سریع سناریوهای اقلیمی متعدد تحت تأثیر شرایط اقلیمی می‌شود. مدل SDSM دارای هفت گام است. این گام‌ها به‌ترتیب شامل کنترل کیفی داده‌ها، غربالگری متغیرها، واسنجی، تولید داده، تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهداتی و ریزمقیاس‌شده، تحلیل فراوانی و تولید سناریو هستند (ویلی و همکاران ۲۰۰۲). روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) بر اساس پیشنهاد سازمان جهانی هواشناسی (WMO)^۱ برای الگوی توزیع زمانی رگبار است. با استفاده از این الگوی توزیع زمانی رگبار مقدار و شدت بارش در هر دوره

¹ World Meteorological Organization

تمرکز حوضه از معادله ۵ محاسبه گردید (علیزاده ۲۰۰۶).

معیارهای ارزیابی مورد استفاده

به منظور ارزیابی کارایی مدل SDSM از سه معیار ضریب همبستگی (r)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) و Bias استفاده گردید. r نشان دهنده همبستگی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌باشد. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر همبستگی بالاتر می‌باشد. دامنه تغییرات ضریب NSE از منفی بی‌نهایت تا یک است. بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که این ضریب برابر با یک گردد. مقدار Bias بهتر است تا یک چهارم ($Bias = \pm 25\%$) مقدار کل باشد (زینک و همکاران ۲۰۱۸). روابط مربوط به این ضرایب در جدول ۳ ارائه و مقادیر آنها در جدول ۴ محاسبه شده است.

یکی از روشهای محاسبه زمان تمرکز، روش پیشنهادی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (SCS) می‌باشد. در پژوهش حاضر از روش SCS استفاده گردید. در روش SCS ابتدا زمان تاخیر بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد (علیزاده ۲۰۰۶).

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad [۳]$$

که در آن t_{lag} زمان تاخیر (فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج هیدروگراف) (ساعت)، L طول رودخانه اصلی بر حسب فوت، y متوسط شیب حوضه (درصد) و S نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (اینچ) است که بر اساس رابطه ۴ به دست آمد (علیزاده ۲۰۰۶).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

در رابطه فوق CN نمایه خصوصیات حوضه از لحاظ نفوذپذیری می‌باشد. پس از محاسبه t_{lag} زمان

$$t_c = 1.67(t_{lag}) \quad [۴]$$

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مورد استفاده در مطالعه حاضر.

ردیف	معیار ارزیابی	منبع
۱	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \times (S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \times (S_i - \bar{S})^2]^{0.5}}$	(موریاسی و همکاران ۲۰۰۷)
۲	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	(موریاسی و همکاران ۲۰۰۷)
۳	$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \times 100$	(موریاسی و همکاران ۲۰۰۷)

مساوی زمان تمرکز حوضه و شدت بارش ثابت فرض شود، با فرض اینکه بارندگی کل مساحت حوضه A را در برگیرد، حداکثر دبی رواناب به صورت زیر محاسبه می‌شود (علیزاده ۲۰۰۶):

$$Q = \frac{1}{36} CiA \quad [6]$$

Q : حداکثر دبی رواناب ($m^3 s^{-1}$)

C : ضریب رواناب (بدون بعد) که در این مطالعه معادل ۰/۵ در نظر گرفته شد.

i : شدت بارش ($cm hr^{-1}$)

A : مساحت حوضه (ha)

ضریب همبستگی و کمترین واریانس خطا باشند برای پیش‌بینی انتخاب می‌گردند. نتایج به‌دست آمده از SDSM بر اساس گزارش پنجم برای دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۱)، به‌منظور ارزیابی کارایی مدل برای متغیر بارش در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی کارایی مدل SDSM برای متغیر بارش (دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۹۱).

ایستگاه	r	NSE	Bias (%)
شمیران	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵	-۲/۹۳۸
ژئوفیزیک	۰/۹۹۵	۰/۹۸	-۶/۲۲۷
مهرآباد	۰/۹۹۲	۰/۹۸۲	-۱/۵۶

قبول می‌باشد (موریاسی و همکاران ۲۰۰۷). در پژوهش حاضر، حاصل مقادیر NSE برای پارامتر بارش برای هر سه ایستگاه بالای ۰/۹ به‌دست آمد. کمترین مقدار NSE مربوط به پارامتر بارش در ایستگاه ژئوفیزیک با مقدار ۰/۹۸ می‌باشد. شاخص Bias بر حسب درصد بیان

در روابط فوق O_i بیانگر داده‌های مشاهداتی، S_i داده‌های پیش‌بینی شده، \bar{O} میانگین داده‌های مشاهداتی و \bar{S} میانگین داده‌های پیش‌بینی شده می‌باشد (موریاسی و همکاران ۲۰۰۷).

پس از بررسی نتایج حاصل از SDSM و استخراج منحنی‌های IDF، حداکثر دبی زیرحوضه مورد نظر با استفاده از رابطه منطقی (رابطه ۶) و نتایج حاصل از IDF ایستگاه‌های همدید مورد نظر محاسبه گردید. حداکثر دبی رواناب زمانی روی می‌دهد که مدت زمان بارش برابر با زمان تمرکز حوضه لحاظ شود (علیزاده ۲۰۰۶). در صورتی که تداوم بارش بزرگتر یا

نتایج و بحث

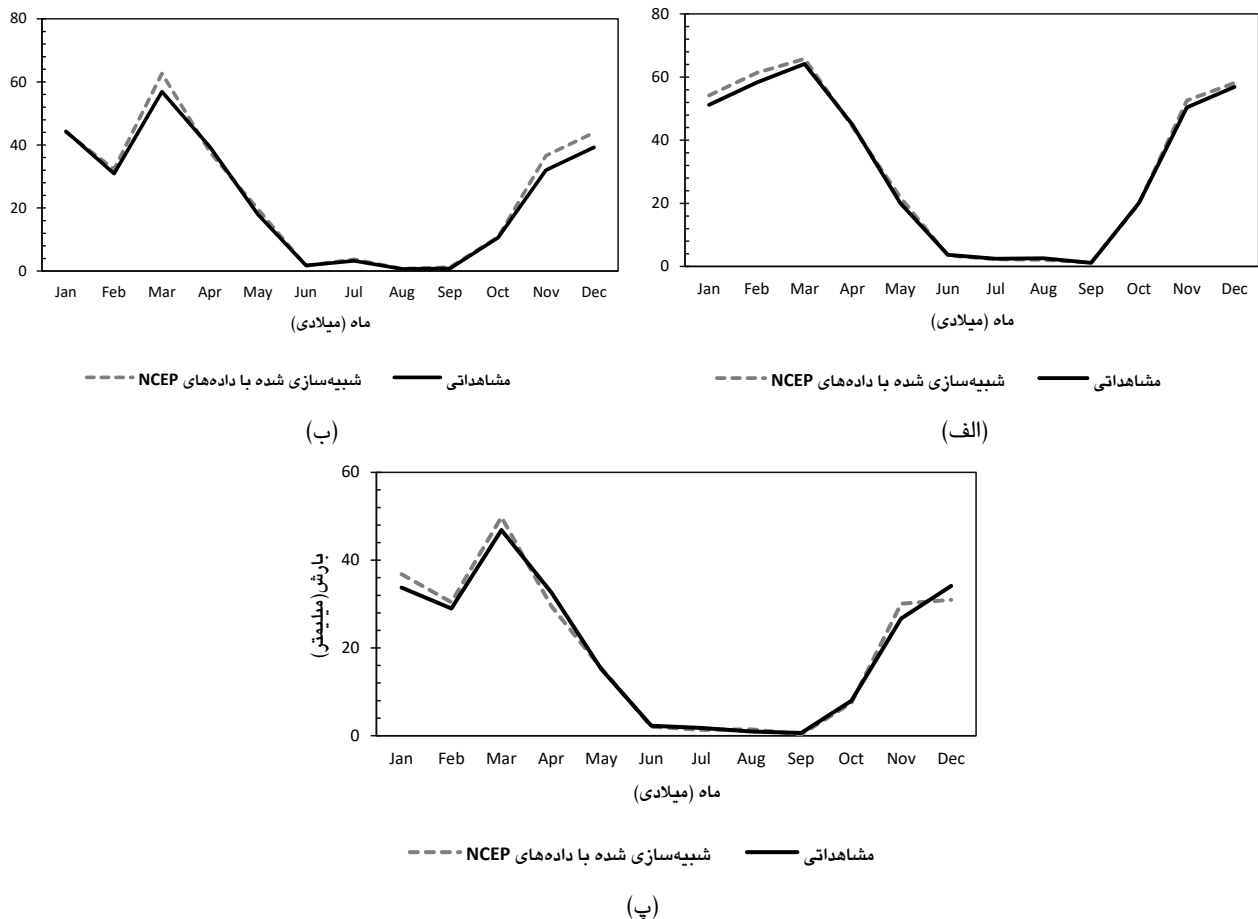
متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری می‌باشد. این متغیرها به عنوان متغیر مستقل (پیش‌بینی‌کننده) وارد مدل می‌گردند. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده با متغیرهای پیش‌بینی‌شونده روابط گوناگونی تشکیل می‌دهند. متغیرهایی که دارای بیشترین

با بررسی نتایج مشخص شد، شاخص r برای پارامتر بارش در هر سه ایستگاه شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد بالای ۰/۹۹ به‌دست آمده است. کمترین مقدار r مربوط به بارش ایستگاه مهرآباد می‌باشد که برابر با ۰/۹۹۲ است. مقادیر بالای ۰/۵ برای شاخص NSE قابل

می‌شود. برای پارامتر بارش محدوده‌ای برای میزان این خطا مطرح نشده است. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به پارامتر بارش در ایستگاه ژئوفیزیک است که

برابر با ۶٪ می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی میانگین ماهانه بارش در شکل ۴ به صورت گرافیکی ارائه گردیده است.



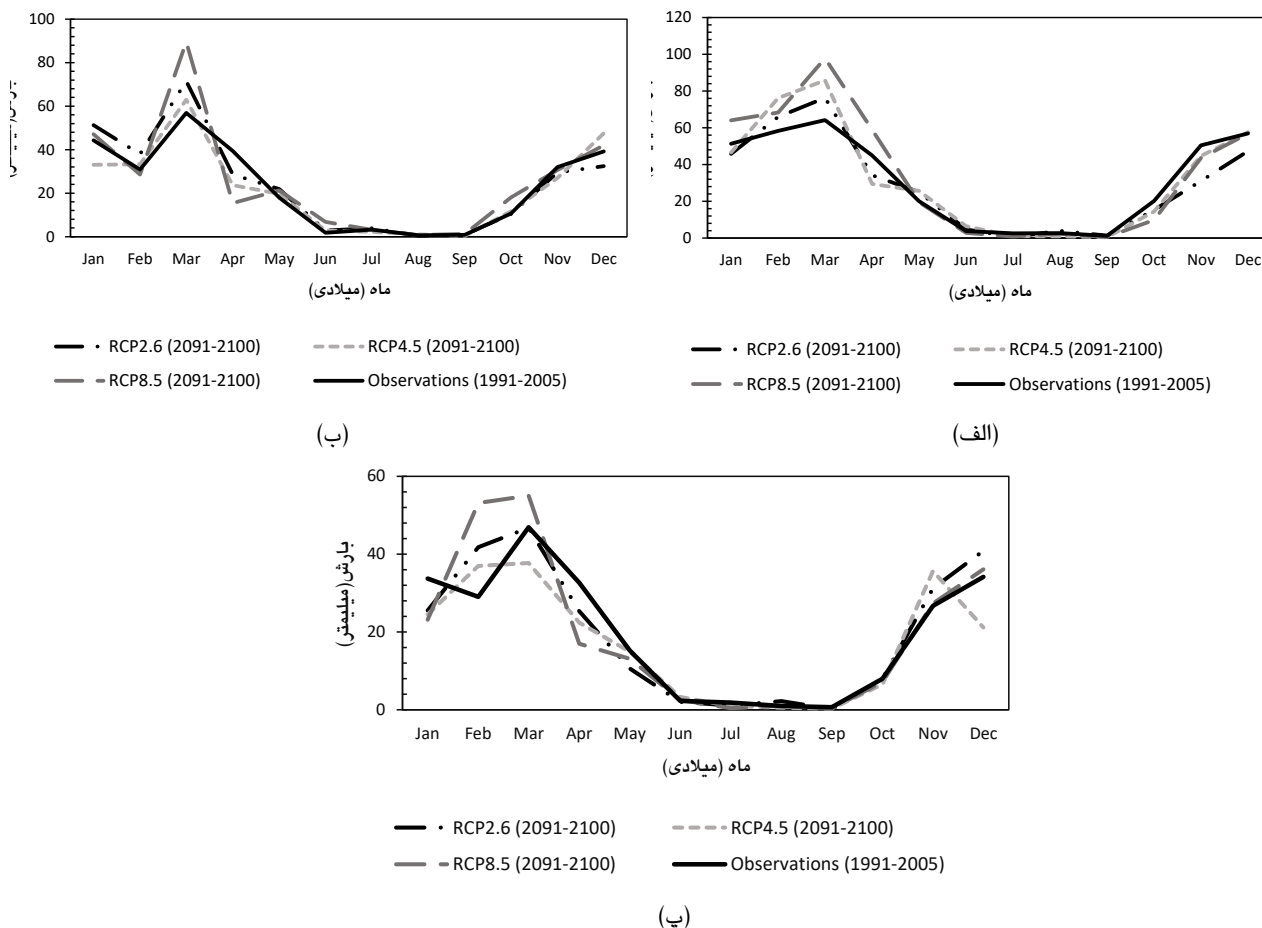
شکل ۴- میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه همدید شمیران (الف)، ایستگاه همدید ژئوفیزیک (ب) و ایستگاه همدید مهرآباد (پ).

بارش مربوط به ایستگاه شمیران و ضعیف‌ترین نتایج برای پارامتر بارش مربوط به ایستگاه مهرآباد می‌باشد. در شکل ۵ به صورت گرافیکی نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی برای پارامتر بارش در ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد برای دوره ۲۱۰۰-

با توجه به نمودارها و نتایج ارائه شده، می‌توان دریافت که شبیه‌سازی با داده‌های NCEP با دقت زیادی انجام شده است. همچنین نتایج حاکی از اختلاف ناچیز میان داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار SDSM می‌باشد. بر اساس شاخص همبستگی (r) بهترین نتایج شبیه‌سازی برای پارامتر

۲۰۹۱ با داده‌های مشاهداتی از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۰۵

به صورت ماهانه مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۵- مقایسه نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی در دوره آماری ۲۰۹۱-۲۱۰۰ با داده‌های مشاهداتی به صورت ماهانه برای پارامتر بارش در ایستگاه شمیران (الف)، ایستگاه ژئوفیزیک (ب) و ایستگاه مهرآباد (پ).

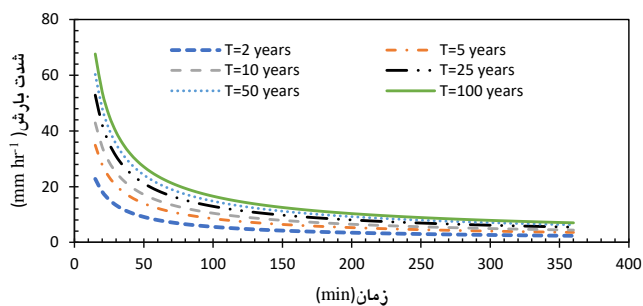
۱۳/۶۲ درصد افزایش، در بهار ۳۶/۴۲ درصد افزایش، در تابستان ۳۳/۷۴ درصد کاهش و در پاییز ۲۴/۹۲ درصد کاهش پیدا می‌کند. در دوره ۲۰۹۱-۲۱۰۰ در ایستگاه ژئوفیزیک تحت سناریوهای RCP2.6 بارش در فصل زمستان به میزان ۶/۳ درصد افزایش، در فصل بهار ۶/۷ درصد افزایش، در فصل تابستان ۲۴/۳ درصد افزایش و نهایتاً در فصل پاییز ۶/۰۳ درصد کاهش می‌یابد. طبق سناریو RCP4.5 در زمستان بارش ۰/۵۸ درصد کاهش، در بهار ۶/۹ درصد کاهش، در تابستان ۶/۷۵ درصد افزایش و در پاییز ۱۰/۰۸۳ درصد کاهش

با توجه به شکل ۵، در دوره ۲۰۹۱-۲۱۰۰ در ایستگاه شمیران نسبت به حالت مشاهداتی تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6 بارش در فصل زمستان به میزان ۴/۴۵ درصد کاهش، در فصل بهار ۴/۹۵ درصد افزایش، در فصل تابستان ۳/۳۳ درصد کاهش و نهایتاً در فصل پاییز ۳۳/۷۶ درصد کاهش می‌یابد. طبق سناریو RCP4.5 در زمستان بارش ۸/۳ درصد افزایش، در بهار ۸/۹۹ درصد افزایش، در تابستان ۶/۲۶ درصد کاهش و در پاییز ۱۷/۰۸۳ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مشخص شد، بارش در زمستان

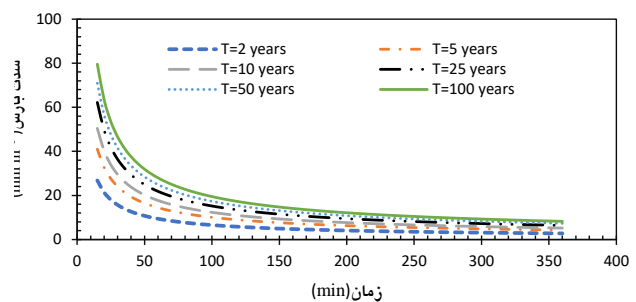
برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ احتمال کاهش بارندگی وجود دارد. در پژوهش حاضر نیز مشخص شد برای ۵۰ سال آینده، بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بارش در ایستگاه مهرآباد به ترتیب به میزان ۱۱/۰۳۸، ۱۰/۶ و ۵/۷۵ درصد کاهش می‌یابد در حالی که در دوره (۲۰۱۶-۲۱۰۰) در ایستگاه مهرآباد متوسط بارش سالانه تحت تأثیر سناریو RCP2.6 از ۲۲۵/۹۸ به ۲۲۸/۹۹ با میزان ۱/۳۳ درصد افزایش مواجه خواهد بود.

در شکل‌های ۶ و ۷ منحنی‌های IDF برای ایستگاه‌های مختلف با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال با استفاده از خروجی‌های بارش مدل SDSM تحت سناریوهای فوق‌الذکر و منحنی‌های IDF مشاهداتی مقایسه شده‌اند. برای این منظور از رابطه ۱ و ۲ و جدول ۱ و ۲ استفاده گردید. شدت بارش با تداوم‌های ۱۵ تا ۳۶۰ دقیقه در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردید.

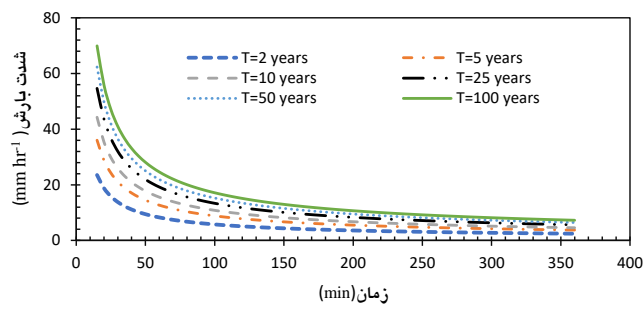
خواهد یافت. همچنین تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مشخص شد، بارش در زمستان ۲/۷۹ درصد افزایش، در بهار ۱۰/۵۲ درصد افزایش، در تابستان ۸۹/۲۷ درصد افزایش و در پاییز ۱۵/۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. در دوره ۲۰۹۱-۲۱۰۰ در ایستگاه مهرآباد تحت سناریوهای RCP2.6 بارش در فصل زمستان به میزان ۱۱/۶۲ درصد افزایش، در فصل بهار ۱۲/۷۳ درصد کاهش، در فصل تابستان ۴/۵۱ درصد افزایش و نهایتاً در فصل پاییز ۱۱/۲۳ درصد افزایش می‌یابد. طبق سناریو RCP4.5 در زمستان بارش ۱۴/۷۵ درصد کاهش، در بهار ۲۰/۸۳ درصد کاهش، در تابستان ۶/۷۲ درصد کاهش و در پاییز ۲۰/۰۴ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مشخص شد، بارش در زمستان ۱۶/۰۱ درصد افزایش، در بهار ۱۰/۱۹ درصد کاهش، در تابستان ۲۱/۷ درصد کاهش و در پاییز ۱/۴۴ درصد کاهش پیدا می‌کند. در مطالعه‌ای که در ایستگاه مهرآباد با استفاده از مدل SDSM توسط احمدآبادی و صدیقی‌فر (۲۰۱۹) انجام شد، ضمن تایید کارایی مدل SDSM در پیش‌بینی اقلیمی، مشخص شد



(ب)

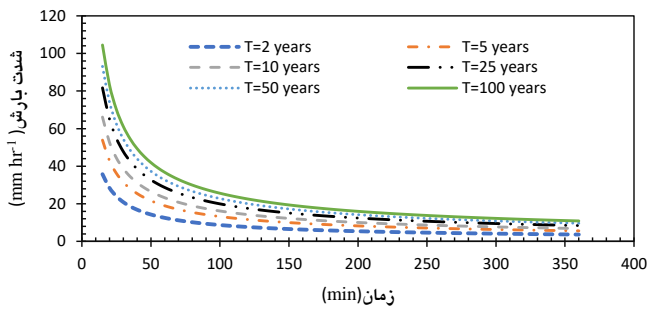


(الف)

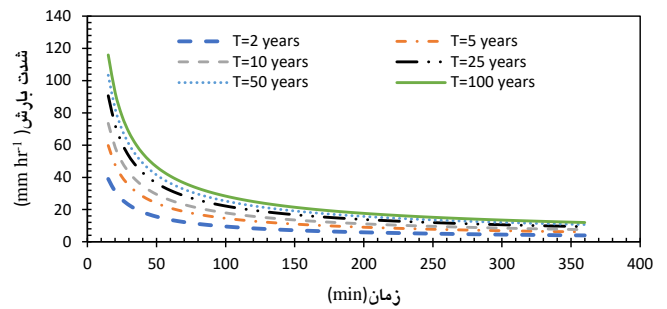


(پ)

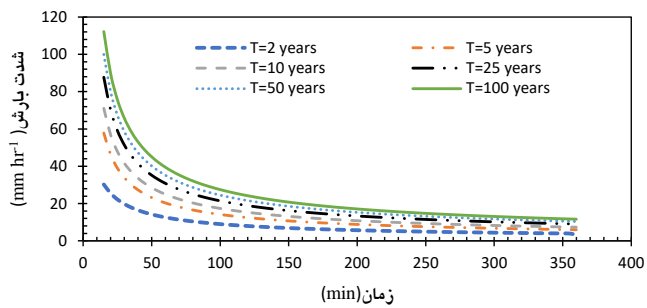
شکل ۶- منحنی های IDF داده های مشاهداتی در دوره (۲۰۱۵-۱۹۹۱) ایستگاه همدید شمیران (الف)، ایستگاه همدید ژئوفیزیک (ب) و ایستگاه همدید مهرآباد (پ).



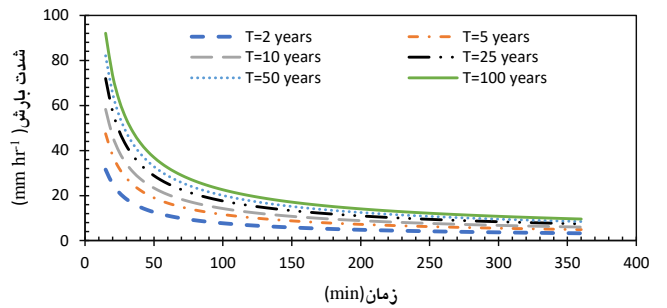
(ب)



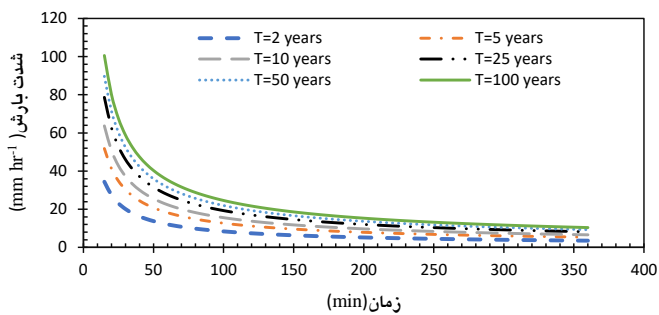
(الف)



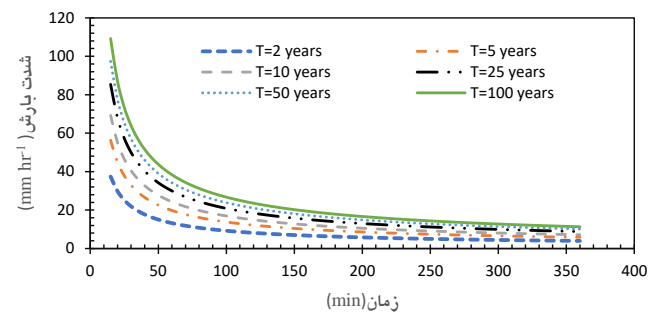
(ت)



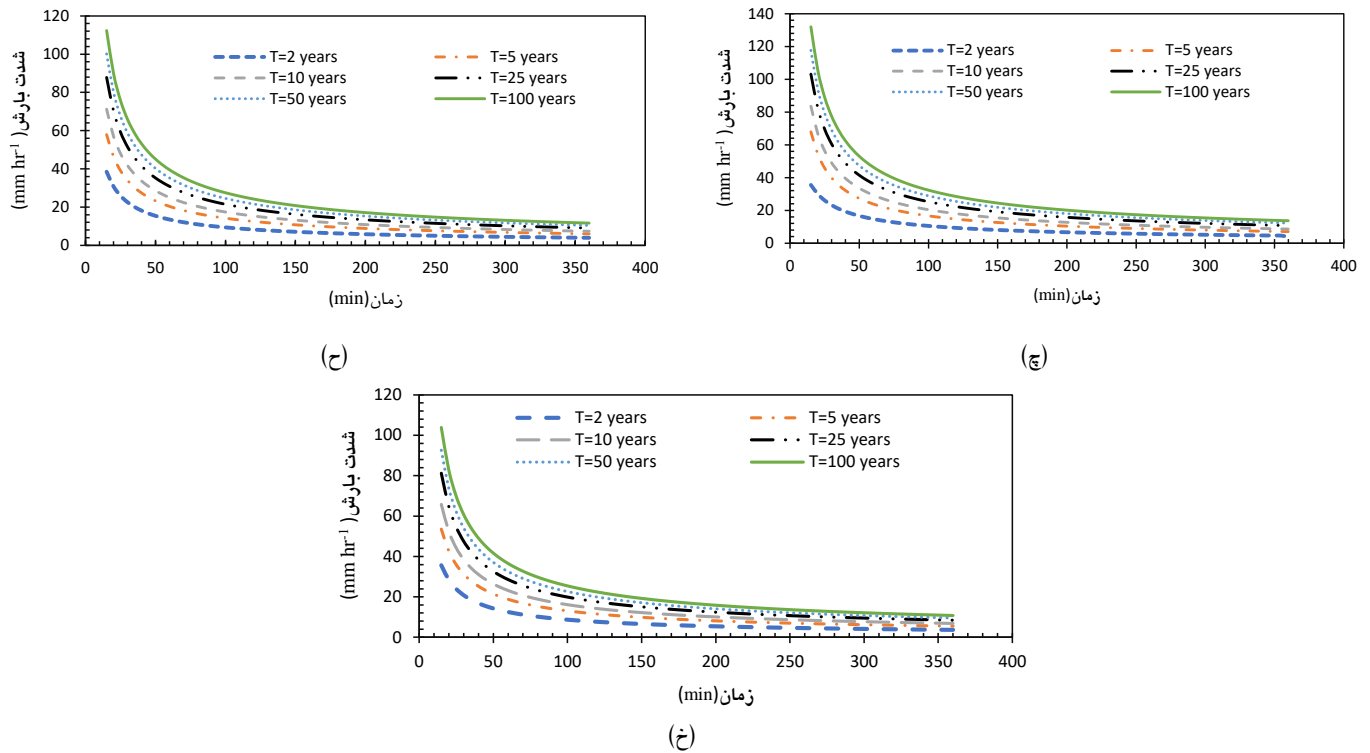
(پ)



(ج)



(ث)



شکل ۷- منحنی های IDF حاصل از نتایج سناریوهای اقلیمی در دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۶)، سناریو RCP2.6 (شمیران الف)، ژئوفیزیک (ب) و مهرآباد (پ)، سناریو RCP4.5 (شمیران ت)، ژئوفیزیک (ث) و مهرآباد (ج) و سناریو RCP8.5 (شمیران چ)، ژئوفیزیک (ح) و مهرآباد (خ).

همانطور که در نمودارهای رسم شده در شکل ۶ و ۷ مشخص است، شدت بارش تحت سناریوهای اقلیمی نسبت به حالت مشاهداتی افزایش می یابد. با توجه به جدول ۵ در ایستگاه شمیران کمترین میزان تغییرات برای شدت بارش با تداوم ۶ ساعت مربوط به سناریو RCP4.5 و بیشترین میزان تغییرات مربوط به سناریو RCP8.5 نسبت به داده های مشاهداتی می باشد. در ایستگاه های ژئوفیزیک و مهرآباد کمترین میزان تغییرات مربوط به سناریو RCP2.6 و بیشترین میزان تغییرات مربوط به سناریو RCP8.5 است. بنابراین شدت بارش در حالت مشاهداتی با شدت بارش حاصل از سناریوهای مذکور برای ایستگاه های مورد نظر بررسی می گردد. برای دوره بازگشت ۵۰ سال، در ایستگاه

همدید شمیران تحت تأثیر سناریو RCP4.5 شدت بارش به میزان ۴۰/۸۹ درصد و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 به میزان ۶۵/۷۷ درصد افزایش می یابد. در ایستگاه همدید ژئوفیزیک و مهرآباد تحت تأثیر سناریو RCP2.6 شدت بارش به ترتیب ۵۴/۴۹ و ۳۱/۷۴ درصد و تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب ۶۶/۱۲ و ۴۸/۶ درصد افزایش خواهد یافت. همانطور که مشخص است، بیشترین تأثیر ناشی از سناریو RCP8.5 در ایستگاه همدید ژئوفیزیک با افزایش ۶۶/۱۲ درصد، می باشد. بر اساس مطالعه ای که توسط حبیب نژاد و شکوهی (۲۰۲۰) در تهران انجام شد، با بررسی منحنی های IDF مشخص شد در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۰ مقدار و شدت بارش در یک دوره بازگشت معین با افزایش مواجه خواهد بود. با توجه به نتایج به دست

حاضر برای محاسبه زمان تمرکز از روش SCS بر اساس مطالعات پیشین و گزارش شرکت مشاور ری آب استفاده شده است. بر اساس دستورالعمل‌های موجود در نشریه شماره ۳-۱۱۸ (مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب شهری)، برای سیلاب برون شهری دوره بازگشت ۵۰ سال مد نظر قرار می‌گیرد. لذا در این تحقیق سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال دقیق‌تر تحلیل شده است. در جدول ۵ درصد تغییرات برای سناریوهای مختلف در محاسبه شدت بارش، نسبت به داده‌های مشاهداتی برآورد شده است.

آمده، می‌توان دریافت که در پژوهش حاضر نیز شدت بارش در دوره‌های بازگشت مختلف افزایش می‌یابد.

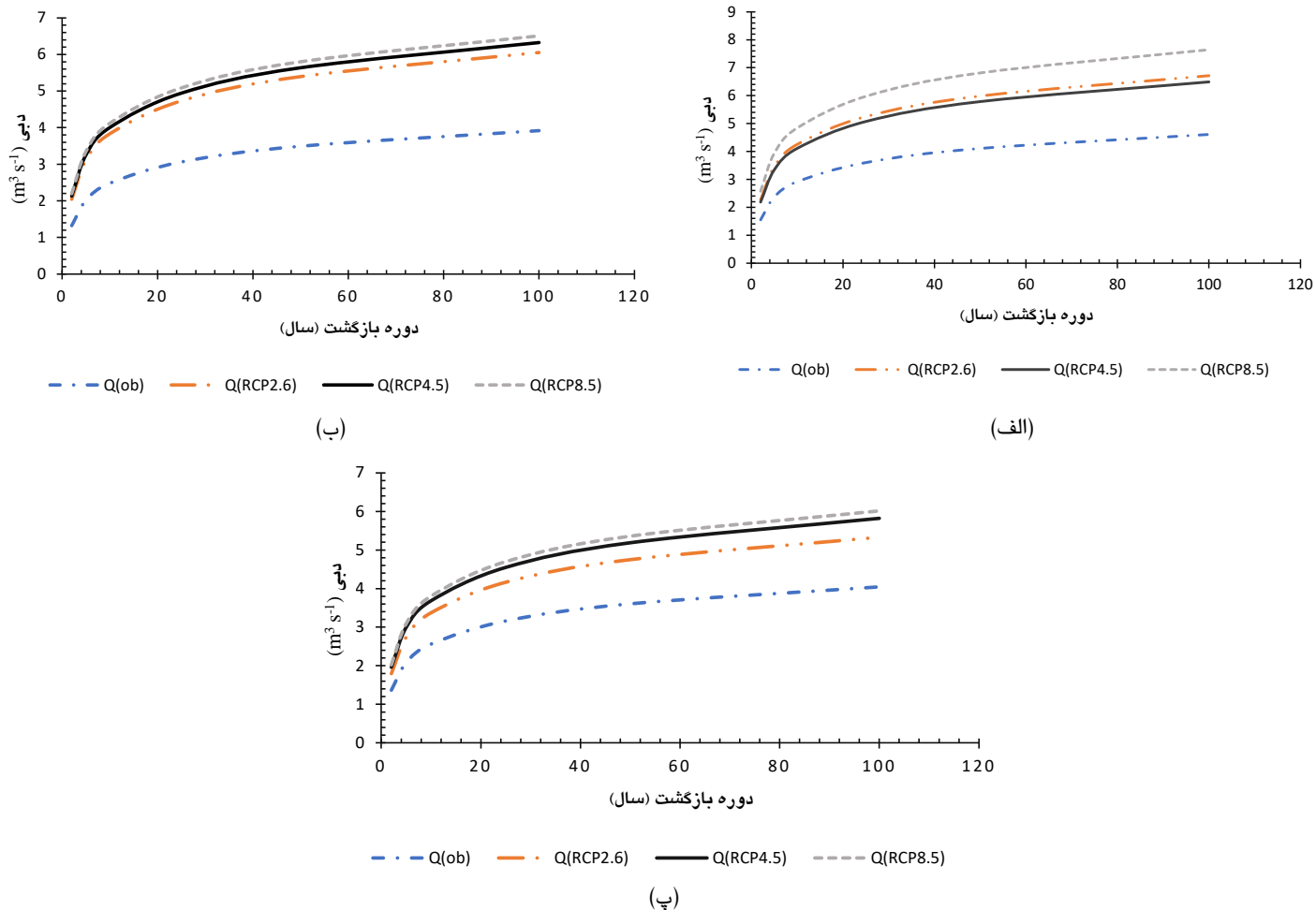
پس از بررسی منحنی‌های IDF به‌دست آمده، برای محاسبه دبی بیشینه زیرحوضه مورد نظر با مساحت $40/108$ هکتار، ارتفاع 1357 متر، شیب اراضی $10/73$ درصد و زمان تمرکز $14/28$ دقیقه از معادله ۶ و منحنی‌های IDF ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد استفاده گردید. برای محاسبه زمان تمرکز روابط مختلفی وجود دارد. براساس مطالعات قبلی، رابطه SCS رابطه جامع‌تری برای محاسبه زمان تمرکز می‌باشد (میرزایی و رئوف ۲۰۱۵). در پژوهش

جدول ۵- درصد تغییرات شدت بارش با تداوم ۶ ساعت نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی نسبت به داده‌های مشاهداتی.

درصد تغییرات			ایستگاه
RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
+۵۰/۱۷	+۴۵/۲۶	+۷۰/۹	شمیران
+۵۰/۴۹	+۶۱/۵	+۶۶/۱۲	ژئوفیزیک
+۳۱/۷۴	+۴۳/۹	+۴۸/۶	مهرآباد

برای حالتی که از IDF داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مذکور استفاده گردید با نتایج حاصل از سناریوهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت که در شکل ۸ ترسیم شده است.

بنابراین با توجه به منحنی‌های IDF به‌دست آمده برای ایستگاه‌های همدید شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد، دبی بیشینه زیر حوضه‌ای با مساحت $40/10847$ هکتار با استفاده از فرمول تجربی ۶، برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه گردید و نتایج



شکل ۸- مقایسه دبی بیشینه زیرحوضه مورد نظر در دوره بازگشت‌های مختلف در دوره مشاهداتی و آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه همدید شمیران (الف)، ایستگاه همدید ژئوفیزیک (ب) و ایستگاه همدید مهرآباد (پ).

نتیجه‌گیری کلی

پیش‌بینی‌ها برای ۵۰ سال آینده حاکی از آن است که در ایستگاه شمیران طبق سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب بارش ۱۶/۵۵ و ۱۴/۳۶ درصد نسبت به حالت مشاهداتی کاهش می‌یابد طبق سناریوی RCP4.5 به میزان ۴۵/۲۴ درصد بارش افزایش می‌یابد. در ایستگاه ژئوفیزیک بر اساس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 بارش سالانه ۲۵/۱۲ و ۱۶/۸ درصد کاهش و طبق RCP4.5 به میزان ۲۰/۶۱ درصد افزایش خواهد

با توجه به شکل ۸ برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، دبی بیشینه در حوضه مورد بررسی با استفاده از اطلاعات بارش ایستگاه شمیران، ایستگاه ژئوفیزیک و ایستگاه مهرآباد تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت. بر اساس مطالعه‌ای که توسط بینش و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه آبریز غرب تهران انجام شد، مشخص شد در افق زمانی ۲۰۹۰ دبی حوضه آبریز نسبت به دوره پایه حدود ۵۶ درصد افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد.

دوره بازگشت ۵۰ سال، دبی بیشینه بر اساس شدت بارش به دست آمده در ایستگاه شمیران تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۴۵/۶۶، ۴۰/۸۹ و ۶۵/۷۷ درصد نسبت به دوره پایه افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شدت بارش محاسبه شده در ایستگاه ژئوفیزیک نیز تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۵۴/۴۹، ۶۱/۵۱ و ۶۶/۱۲ درصد دبی بیشینه افزایش می‌یابد. در نهایت با مقایسه دبی بیشینه تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی و دبی بیشینه دوره پایه بر اساس شدت بارش برآورد شده در ایستگاه مهرآباد مشخص شد، تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۳۱/۷۴، ۴۳/۹ و ۴۸/۶۱ درصد افزایش خواهد یافت. تغییر اقلیم در طراحی سازه‌های هیدرولیکی مؤثر می‌باشد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش علاوه بر تاکید بر اهمیت تأثیر تغییر اقلیم، بیانگر کاربرد آن در طراحی سازه‌ها، مدیریت و سیاست‌های آبی می‌باشد.

یافت. طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نیز بارش در ایستگاه مهرآباد به ترتیب به میزان ۱۱/۰۳۸، ۱۰/۶ و ۵/۷۵ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص شد که متوسط بارش سالانه داده‌های مشاهداتی ایستگاه همدید ژئوفیزیک (۲۰۱۵-۱۹۹۱) با مقدار ۲۷۲/۷۱ میلیمتر در مقایسه با متوسط بارش سالانه در دوره آبی (۲۰۱۶-۲۱۰۰) تحت سناریو RCP2.6 با مقدار ۳۰۲/۸۸۴۸ میلیمتر، با افزایش ۱۱/۰۶۴۷ درصدی همراه است. شدت بارش با دوره بازگشت ۵۰ سال نیز در این ایستگاه تحت تأثیر سناریو RCP2.6 نسبت به دوره پایه با افزایش ۵۴/۴۹ درصدی مواجه است. در ایستگاه مهرآباد و شمیران نیز با افزایش متوسط بارش سالانه به ترتیب تحت تأثیر سناریو RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب از ۲۲۵/۹۸ به ۲۲۸/۹۹ و از ۳۷۶/۲۲ به ۳۹۲/۴۳ با میزان ۱/۳۳ و ۴/۳۰۸ درصد افزایش و همچنین افزایش شدت بارش رو به رو خواهد شد. همچنین با توجه به شکل ۸ برای

منابع مورد استفاده

- Abdullah J, Muhammad NS, Julien PY, Ariffin J and Shafie A, 2018. Flood flow simulations and return period calculation for the Kota Tinggi watershed, Malaysia. *Journal of Flood Risk Management* 11:766-782.
- Adib A and Ghafari Rad S, 2019. Development of a new integrated method for generation IDF curves based on three climatic changes scenarios. *Scientia Iranica* 26:742-751.
- Ahmadabadi A and Sedighifar Z, 2019. Prediction of climate change induced hydrogeomorphology by using SDSM in can watershed. *Journal of Geographical Sciences* 18:103-114. (In Persian with English abstract)
- Alizadeh A, 2006. Principles of Applied Hydrology. Pp. 1-811. Astan Quds Razavi Publications, 29th edition. (In Persian)
- Anaraki MV, Farzin S, Mousavi SF and Karami H, 2021. Application of hybrid least square support vector machine-whale optimization algorithm (LSSVM-WOA) for downscaling and prediction of precipitation under climate change (Case Study: Karun3 Basin). *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 11:253-271. (In Persian with English abstract)
- Anaraki MV, Mousavi SF, Farzin S and Karami H, 2020. Introducing a nonlinear model based on hybrid machine learning for modeling and prediction of precipitation and comparison with SDSM method (Case study: Shahrekord, Barez, and Yasuj). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51:325-339. (In Persian with English abstract)
- Bernard MM, 1932. Formulas for rainfall intensities of long duration. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 96:592-606.
- Binesh N, Niksokhan MH and Sarang A, 2018. A study of rainfall and urban runoff flow regime under future climate condition (Case study: West Flood-Diversion Catchment in Tehran). *Amirkabir Journal of Civil Engineering* 50:815-826. (In Persian with English abstract)

- De Paola F, Giugni M, Elena Topa M and Bucchignani E, 2014. Intensity-duration-frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. SpringerPlus 3:1-18.
- Ghahraman B and Abkhezh H, 2004. Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. *Journal of Water and Soil Science* 8:1-14. (In Persian with English abstract)
- Habibnejad R and Shokoohi A, 2020. Evaluating intensity, duration and frequency of short duration rainfalls using a regional climate change model (Case study: Tehran). *Iran-Water Resources Research* 15:412-424. (In Persian with English abstract)
- Khan MS, Coulibaly P and Dibike Y, 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology* 319:357-382.
- Khazaei MR, Zahabiyoun B and Hasirchian M, 2020. Comparison of IWG and SDSM weather generators for climate change impact assessment. *Theoretical and Applied Climatology* 140:859-870.
- Liew SC, Raghavan SV and Liong SY, 2014. How to construct future IDF curves, under changing climate, for sites with scarce rainfall records? *Hydrological Processes* 28:3276-3287.
- Mirzayi S and Raof M, 2015. Comparing experimental methods and analyzing flood hydrograph in estimating time of concentration, (Case study: Atashgah Watershed, Ardabil Province). *Journal of Watershed Engineering and Management* 6:407-414. (In Persian with English abstract)
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD and Veith TL, 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50:885-900.
- Mozayyan M, Akhoond Ali AM, Massah Bavani AR, Radmanesh F and Zohrabi N, 2015. The impact of climate change in low flows (Case study: Sepid Dasht Sezar). *Irrigation Sciences and Engineering* 38:1-19. (In Persian with English abstract)
- Safavi HR, Dadjou SH and Naeimi G, 2019. Extraction of intensity-duration-frequency (IDF) curves under climate change. (Case study: Isfahan Synoptic Station). *Iran-Water Resources Research* 15:217-227. (In Persian with English abstract)
- Sarhadi A and Soulis ED, 2017. Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate. *Geophysical Research Letters* 44:2454-2463.
- Simonovic SP, Schardong A, Sandink D and Srivastav R, 2016. A web-based tool for the development of intensity duration frequency curves under changing climate. *Environmental Modelling & Software* 81:136-153.
- Souvignet M and Heinrich J, 2011. Statistical downscaling in the arid central Andes: uncertainty analysis of multi-model simulated temperature and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology* 106:229-244.
- Sy B, Frischknecht C, Dao H, Consuegra D and Giuliani G, 2019. Flood hazard assessment and the role of citizen science. *Journal of Flood Risk Management* 12:12505-12519.
- Van Campenhout J, Houbrechts G, Peeters A and Petit F, 2020. Return period of characteristic discharges from the comparison between partial duration and annual series, application to the Walloon Rivers (Belgium). *Journal of Water* 12:792-825.
- Vu MT, Raghavan SV, Liu J and Liong S, 2018. Constructing short-duration IDF curves using coupled dynamical–statistical approach to assess climate change impacts. *International Journal of Climatology* 38:2662-2671.
- Wilby RL, Dawson CW and Barrow EM, 2002. SDSM — a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software* 17:145-157.
- Wilby RL and Harris I, 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 42:1-10.
- Xing W, Wang W, Shao Q and Ding Y, 2018. Estimating net irrigation requirements of winter wheat across central-eastern China under present and future climate scenarios. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 144:05018005.
- Yang L, Li J, Sun H, Guo Y and Engel BA, 2019. Calculation of nonstationary flood return period considering historical extraordinary flood events. *Journal of Flood Risk Management* 12:12453-12463.