

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شدت و بزرگی سیلاب در دوره‌های آتی

حسن علی‌پور، علی سلاجقه، علیرضا مقدم‌نیا، شهرام خلیقی سیگارودی و مجتبی نساچی زواره

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۱۴-۶۰۱

Vol. 7(4), Winter 2021, 601-614

DOI: 10.22034/JEWE.2021.272475.1513

**Assessing the Effects of Climate Change on the
Intensity and Magnitude of Floods in Future
Periods**

Alipour, H., Salajgeh, A., Moghaddamnia, A.,
Khalighi Sigaroudi, S. and Nassajizavareh, M.



www.jewe.ir

OPEN  ACCESS

ارجاع به این مقاله:

علی‌پور، ح.، سلاجقه، ع.، مقدم‌نیا، ع.، خلیقی سیگارودی، ش. و نساچی‌زواره، م. (۱۴۰۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شدت و بزرگی سیلاب در دوره‌های آتی. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۶۱۴-۶۰۱.

Citing this paper: Alipour, H., Salajgeh, A., Moghaddamnia, A., Khalighi Sigaroudi, S. and Nassajizavareh, M. (2021) Assessing the effects of climate change on the intensity and magnitude of floods in future periods. Environ. Water Eng., 7(4), 601-614. DOI: 10.22034/JEWE.2021.272475.1513

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شدت و بزرگی سیلاب در دوره‌های آتی

حسن علی‌پور^۱، علی سلاجقه^{۲*}، علیرضا مقدم‌نیا^۳، شهرام خلیقی سیگارودی^۴ ومجتبی نساجی‌زواره^۴^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران^۲ استاد، گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران^۳ دانشیار، گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران^۴ استادیار، گروه منابع طبیعی، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: salajegh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۳/۱۸]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۲/۱۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۱/۲۰]

چکیده

هدف این پژوهش بررسی روند متغیرهای هیدرو-اقلیمی، آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم و ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی طی دوره‌های آتی و ارزیابی شدت و بزرگی سیلاب‌های آتی بود. ابتدا روند متغیرهای هیدرواقلیمی در استان تهران با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن بررسی شد. سپس داده‌های خروجی دماهای حداکثر و حداقل و بارش مدل گردش عمومی CANESM2 تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از مدل SDSM 4.2.9 ریزمقیاس شدند. در ادامه نیز از مدل HEC-HMS جهت بررسی شدت و بزرگی وقایع طی دوره‌های آتی در حوزه آبخیز امامه استفاده شد. نتایج نشان داد که ۲۰/۸ و ۱۴/۶٪ از سری‌های دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره پایه روند افزایشی معنی‌دار داشتند. در صورتی که ۵/۵٪ از سری‌های زمانی بارش دارای روند افزایشی معنی‌دار بود. بنابراین بارش ماهانه طی دوره مشاهداتی همانند دوره‌های آتی، روند مشخصی نداشته، در بعضی ماه‌ها روند افزایشی و در بعضی از ماه‌ها روند کاهشی نشان داد. اما دماهای حداکثر و حداقل طی دوره‌های آتی دارای روند افزایشی بودند. مقادیر حجم و دبی اوج سیلاب‌های شبیه‌سازی‌شده تحت عنوان شدیدترین وقایع در هر دوره از نظر بزرگی برای دوره‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی کمتر بود. مقایسه شدیدترین وقایع با یکدیگر در دوره‌های مختلف بیانگر افزایش حجم و بزرگی سیلاب در سناریوی RCP2.6 نسبت به RCP8.5 بود. بنابراین، در شرایط تغییر اقلیم، انتظار می‌رود تعداد سیل‌ها و قدرت تخریب آن‌ها افزایش یافته و توصیه می‌شود مدیران و برنامه‌ریزان به‌خصوص در حوضه‌های شهری به این امر توجه نمایند.

واژه‌های کلیدی: حوضه امامه؛ ریزمقیاس نمایی؛ مدل‌سازی بارش-رواناب؛ مدل CANESM2؛ SDSM

۱-مقدمه

ایستگاه‌ها معنی‌دار است، در حالی که در مورد جریان‌های حداقل و سیل این نسبت بالاتر است. Ashofteh and Massah Bavani (2010) پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر در حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی با کاربرد مدل HadCM3 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش دما به میزان ۱/۵ تا ۴ °C و تغییرات ۳۰ تا ۴۰٪ بارندگی دوره (۲۰۴۰-۲۰۶۹) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) وجود دارد. et al. Hejazizadeh (2012) اثرات تغییر اقلیم بر هیدروگراف سیلاب در دوره‌های آتی در حوزه آبخیز بختیاری مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از استخراج بارش‌های حدی در دوره آتی، نشان از کاهش بارش و افزایش شدت بارش‌های حدی و در پی آن افزایش وقوع سیلاب در دوره آتی داشته است. در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل SWAT به تغییرات رژیم رودخانه گاماسیاب تحت سناریوهای تغییر اقلیم پرداخته شد. نتایج نشان داد رژیم جریان رودخانه تحت سناریوهای مختلف در دور آتی تغییر خواهد کرد. شدت این تغییرات در آینده نزدیک کم و هرچه به سمت پایان قرن حاضر پیش رویم بیشتر خواهد شد (Zare Zadeh et al. 2018). Dibike and Coulibaly (2005) اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم را در حوضه ساگونوی^۱ در شمال ایالت کبک^۲ کانادا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از مقادیر دما و بارش ریزمقیاس شده در مدل‌های بارش-رواناب دریافتند که روندی افزایشی در مقادیر سالانه جریان رودخانه و همچنین، جریان ورودی به مخزن در دبی-های حداکثر بهاری زودهنگام نیز وجود داشته است. Akhtar et al. (2008) تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه هندوکش-کاراکوروم^۳ واقع در هیمالیا را بررسی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در حوضه مورد نظر، دما و بارش تا پایان قرن بیست و یکم افزایش پیدا خواهد کرد. در نتیجه، میزان رواناب و شدت سیلاب نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و افزایش

تغییر اقلیم، نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است که در حال حاضر روند گرم شدن کره زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند. تغییرات اقلیمی دوره‌ای است و نوسانات و انحراف متغیرهای اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند و در دوره‌های زمانی مختلف، می‌تواند رخ دهد (Maslin 2010; 2014). این پدیده که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز دی‌اکسید کربن در جو می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارش، میزان رواناب، سرعت باد، تابش خورشیدی و دمای هوا می‌شود.

فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز مانند رواناب، میزان رسوب، فرسایش، تبخیر و تعرق تحت تأثیر تغییر اقلیم، مشخصات فیزیکی حوضه (مانند توپوگرافی، خاک و پوشش گیاهی) و فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرند. گرمایش جهانی هوا و تغییرات اقلیمی ضرورت مطالعه این فرآیندها را بیشتر آشکار می‌سازد. یکی از مهم‌ترین پتانسیل‌های تغییر اقلیم، تغییر چرخه هیدرولوژی و رژیم جریان رودخانه در حوزه‌های آبخیز می‌باشد. تغییر در شدت سیل و خشک‌سالی به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم مورد توجه مدیران و جوامع علمی قرار گرفته است. تمرکز اصلی پژوهش‌ها در این زمینه روی واکنش دبی جریان حوزه‌های آبخیز نسبت به تغییرات اقلیمی و تغییر پوشش گیاهی توسط انسان است. در سال‌های اخیر گرمایش جهانی هوا چرخه هیدرولوژی جهانی را تحت تأثیر قرار داده است. تعدادی از مطالعات، اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسان را روی دبی رودخانه بررسی کرده‌اند. اغلب مطالعات از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌کنند. این مدل‌ها پاسخ فرآیندهای رواناب نسبت به تغییرات اقلیمی ساخته دست بشر و سناریوهای مختلف را تجزیه و تحلیل می‌نمایند (Nassaji Zavareh et al. 2015).

ارزیابی تغییرات احتمالی وقایع حدی در دوره‌های آتی از مهم‌ترین مسائل عملی در زمینه ریسک هیدرولوژیکی و مهندسی طراحی می‌باشد (Liu et al. 2015). پژوهش‌های متعددی در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر شدت و بزرگی سیلاب در جهان انجام شده است. (Dodangeh et al. 2010) به بررسی اثر اقلیم بر روی روند مقادیر حدی جریان در حوضه آبخیز سد سفیدرود پرداختند و نشان دادند که روند مجموع بارش سالانه و بارش حداکثر ۲۴ hr در تعداد کمی از

¹Saguenoy²Quebec³Hindukush- Karakorum

پوشش بخش‌هایی از چهار حوزه سفیدرود، ساحلی خزر، دریاچه نمک و کویر مرکزی قرار می‌گیرد. حوزه معرف امامه یکی از ۸ زیر حوزه سد لتیان است که پس از آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در سطح استان، ارزیابی شدت و بزرگی سیلاب‌ها در این زیر حوزه انجام شد. استان تهران از نظر آب‌وهوایی، غیر از نواحی کوهستانی شمالی که اندکی مرطوب و معتدل است، کلاً گرم و خشک است. دمای حداکثر در استان تهران $39/4^{\circ}\text{C}$ و دمای حداقل آن $7/4^{\circ}\text{C}$ می‌باشد و متوسط میزان بارندگی در سطح استان 269 mm در طول سال اندازه‌گیری شده است (Sharifi et al. 2013).

در این پژوهش از داده‌های روزانه و ماهانه ۴ ایستگاه سینوپتیک (آبعلی، ژئوفیزیک، شمیران و فرودگاه مهرآباد)، ۲ ایستگاه باران‌سنجی (باغ-تنگه و کمرخانی) و ایستگاه آب‌سنجی (کمرخانی) که از سازمان هواشناسی کشور و شرکت آب منطقه‌ای تهیه‌شده استفاده گردید. بعد از تعیین طول دوره آماری ایستگاه‌های موردنظر، با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها اقدام به بازسازی نواقص آماری شد. نام و مختصات ایستگاه‌های موردنظر و طول دوره آماری در جدول (۱) ارائه‌شده است. همچنین، در شکل (۱) موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه آمده است.

پیدا خواهد نمود. (Zhang et al. 2011) اثرات تغییرپذیری اقلیم و فعالیت‌های انسانی روی دبی رودخانه در شمال شرقی چین را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش همه ایستگاه‌های آب‌سنجی روند کاهش دبی سالانه را نشان دادند. جهش در دبی سالانه حوزه رودخانه هون در حدود سال ۱۹۷۸ و در حوزه رودخانه تیزی در حدود سال ۱۹۹۸ به وقوع پیوسته بود. (Maghsood et al. 2019) اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی سیل تحت سناریوهای گزارش پنجم در شمال ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان بارش سالانه در آینده نزدیک، بیش از ۲۰٪ افزایش می‌یابد و این افزایش به احتمال زیاد منجر به افزایش جریان دبی اوج خواهد شد. هدف این پژوهش بررسی روند متغیرهای هیدرو-اقلیمی، آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم و ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی طی دوره‌های آتی در استان تهران می‌باشد و در ادامه با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده در دوره‌های آتی شدت و بزرگی سیلاب‌های آتی در حوزه معرف امامه بررسی خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

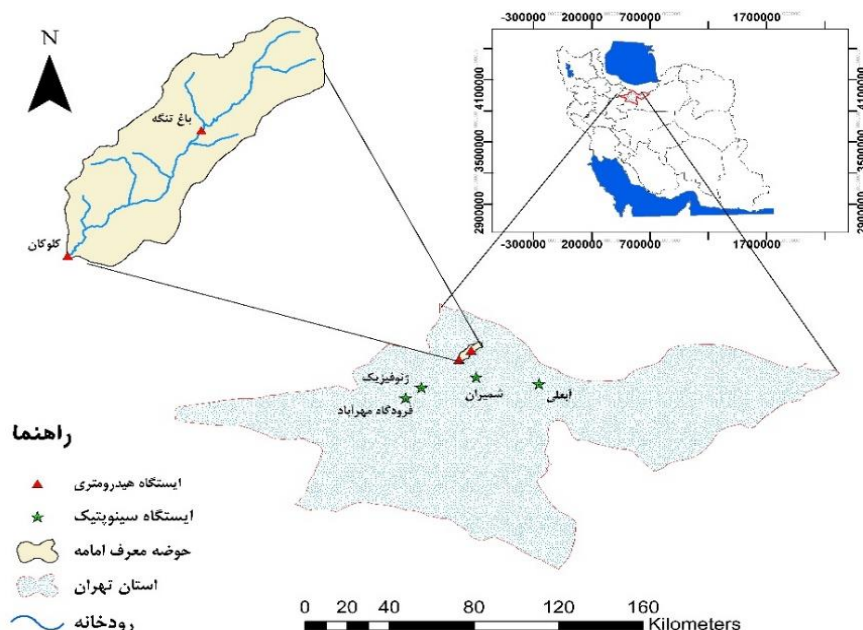
استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود $12,981\text{ km}^2$ ، بین 34° تا $36,5^{\circ}$ عرض شمالی و 50° تا 53° طول شرقی واقع شده است. این استان تحت

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان تهران و حوزه آبخیز امامه

Table 1 Information of the studied stations in Tehran province and Emameh watershed

Sl No.	Station	Longitude	latitude	Length of The Statistical Period	Precipitation Statistics	Statistics of discharge
1	Abali	52-51	45-35	1986-2017	✓	
2	Geophysic	22-51	44-35	1991-2017	✓	
3	Shemiran	28-51	47-35	1991-2017	✓	
4	Tehran (Mehrabad)	17-51	41-35	1961-2017	✓	
5	Baghtangeh	32-51	35-52	1999-2017	✓	✓
6	Kamarkhani	34-51	35-54	1991-2017	✓	

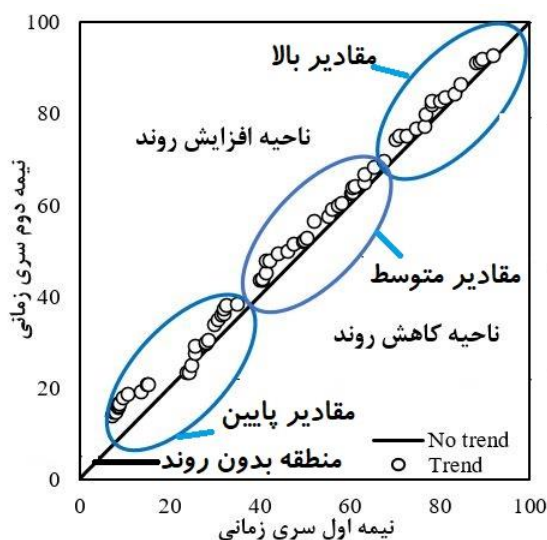
✓ نشان‌دهنده نوع آمار استفاده‌شده از ایستگاه موردنظر می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان تهران و حوزه آبخیز امامه

Fig. 1 Location of the studied stations in Tehran province and Emameh watershed

تقسیم می‌شود و هر دو زیر سری به‌طور جداگانه به ترتیب صعودی مرتب می‌شود. نیمه اول سری زمانی روی محور X ، و نیمه دوم سری زمانی بر روی محور Y واقع می‌گردد. شکل (۲) این روش را در دستگاه مختصات دکارتی به‌وضوح نشان می‌دهد (Alipour and Malekian 2018; Sen 2014).



شکل ۲- مناطق کاهشی، افزایشی و بدون روند (Sen 2012)

Fig. 2 Decreasing, increasing and no trend areas (Sen 2012)

با توجه به شکل (۲) داده‌های مورد بررسی روی خط ایده‌آل ۱:۱، هیچ روندی ندارند. ولی داده‌های مثلث بالای خط ایده‌آل (خط ۴۵°) دارای روند افزایشی و داده‌های مثلث پایین‌تر از خط ۱:۱ نشانگر روند کاهشی می‌باشند (Sen 2012).

۲-۲- بررسی روند پارامترهای هیدرو-اقلیمی

در این پژوهش، از دو آزمون غیرپارامتری من-کندال و آزمون روند سن (ITA)^۱ جهت آشکارسازی روند متغیرهای هیدرو-اقلیم استفاده شد. در ادامه به شرح هر یک از این روش‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۲-۱- آزمون من-کندال

آزمون ناپارامتریک من-کندال^۲ ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور گسترده در مباحث هیدرولوژیکی و هواشناسی کاربرد دارد و یکی از روش‌های مهم برای تحلیل روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. این آزمون معمولاً برای شناسایی روند در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی به کار می‌رود (Partal and Kahya 2006). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این روش به‌صورت زیر می‌باشد (Ansari et al. 2016).

۲-۲-۲- آزمون ITA

در آزمون ITA ابداعی که برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ توسط سن ارائه شد، سری‌های زمانی به دو قسمت مساوی

^۱Innovative Trend Analysis

^۲Mann-Kendall

هزینه و زمان کم استفاده از روش‌های آماری نسبت به روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی استفاده است (Dastranj et al 2012). در این مطالعه جهت ریزمقیاس نمایی متغیر بارش از مدل گردش عمومی CanESM2 تحت دو سناریوی تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5 و مدل رگرسیون چندگانه خطی SDSM4.2.9 که خود یک روش آماری بوده، استفاده شده است (جدول ۲). همچنین داده‌های تاریخی چهار ایستگاه سینوپتیک و داده‌های مدل جهانی آب‌وهوا از CanESM2 تحت RCP های RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره‌های نزدیک (۲۰۵۵-۲۰۱۱) و دوره (۲۰۱۰-۲۰۵۶) مورد استفاده قرار گرفت. پس از کالیبراسیون و اعتبارسنجی SDSM، بارش‌های دوره‌های آتی به‌طور جداگانه برای هر دو سناریو RCPs پیش‌بینی شد.

جدول ۲- ویژگی RCP های مورد استفاده در پژوهش

Table 2 Features of RCPs used in this research

Scenarios	Description	Global Warming until 2100
RCP2.6	Peak in radiative forcing at $\sim 3 \text{ W m}^2$ before 2100 and then decline	1.0 (0.3-1.7) °C
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W m^2 by 2100 year	3.7 (2.6-4.8) °C

تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه‌های فوریه، مارس و ژوئن روند کاهشی و در ماه‌های ژانویه، آگوست و نوامبر روند افزایشی را نشان دادند. لذا روند تغییرات بارش هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی دارای تغییرات مشخصی در طی دوره‌های گذشته نبوده و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به متغیرهای دیگر دشوار می‌باشد. پژوهش‌های بررسی روند در کشور در بیش‌تر موارد نشان داده است که روند تغییرات از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند (Hojjam et al. 2008) و Fataheian et al. (2015) که مطابق نتایج این پژوهش می‌باشد.

مطابق آزمون من-کندال در ایستگاه مهرآباد روند دمای حداکثر در همه ایستگاه‌ها به‌جز ماه‌های مارس، می، جولای و دسامبر افزایشی بود (جدول ۴). درواقع می‌توان بیان داشت که دمای حداکثر تنها در ۲٪ ماه‌ها روند منفی داشته است. درحالی‌که دمای حداقل طی این آزمون در ۴٪ ماه‌ها روند منفی نشان داد. با توجه به دمای حداکثر و حداقل بیش‌ترین روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵٪ در ماه فوریه رخ داده است. بنابراین، نتایج تحلیل روند دما نشان داد که ۱۰ سری از ۴۸ سری زمانی دمای حداکثر و ۷ سری از ۴۸ سری زمانی دمای حداقل روند افزایشی معنی‌دار را در سطح

بنابراین روند‌های با مقدار کم، متوسط و زیاد هر یک از سری‌های زمانی مهندسی هواشناسی یا هیدرولوژی به‌وسیله این روش می‌تواند به‌طور واضح شناسایی شود (Kisi 2015; Tosunoglu and Kisi 2016).

۲-۳- ریزمقیاس نمایی و سناریوهای انتشار

داده‌های GCM معمولاً در شبکه‌هایی به اضلاع ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر اندازه‌گیری می‌شود. برای تبدیل این اطلاعات به مقیاس‌های کاربردی در سطح حوزه آبخیز یا منطقه، از روش‌های ریزمقیاس نمایی استفاده می‌شود. این روش‌ها در حالت کلی به دو روش دینامیکی و آماری تقسیم می‌گردد. روش‌های آماری با هدف توسعه روابط بین متغیرهای اقلیمی منطقه‌ای و شناسایی روابط بین سامانه‌ها از روی داده‌های مشاهداتی توسعه داده شده‌اند. با توجه به محاسبات ساده،

۲-۴- شبیه‌سازی سیلاب

در این پژوهش برای شبیه‌سازی سیلاب حوزه آبخیز امامه از مدل HMS-HEC استفاده شد. در این مدل عوامل شبیه‌سازی حوزه شامل مساحت، مؤلفه‌های نوع تابع بارش به رواناب، دبی پایه رودخانه و روش روندیابی تعریف شدند. سپس در مدل HMS-HEC از روش SCS برای محاسبه نفوذ، روش هیدروگراف واحد کلارک در تبدیل بارش به رواناب و روش ماسکینگام برای روندیابی سیل در رودخانه مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور سادگی و دقت بیشتر مدل، جریان پایه به‌صورت یک مقدار ثابت از هیدروگراف سیل کسر شد. بنابراین سیلاب‌های منتخب بدون جریان پایه شبیه‌سازی گردیدند.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بررسی روند پارامترهای هیدرو-اقلیمی

به‌منظور آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در استان تهران از آزمون‌های آماری من-کندال و آزمون روند سن (ITA) جهت تحلیل روند متغیرهای اقلیمی استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که از ۷۲ سری داده بارش ماهانه ۳۰ سری روند کاهشی، ۳۷ سری هم دارای روند افزایشی و ۵ سری آن بدون روند هستند (جدول ۳).

۵٪ در طی دوره‌های مشاهداتی نشان دادند. بنابراین افزایش معنی‌دار دمای حداکثر و حداقل در طی دوره‌های گذشته که با نتایج Fataheian et al. (2015) همخوانی دارد، می‌تواند تأثیر زیادی بر روی تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت خاک، وقوع و تشدید خشک‌سالی‌های مختلف اعم از هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی منطقه داشته باشد.

جدول ۳- نتایج تحلیل روند تغییرات متغیر بارش با استفاده از آزمون من- کندال

Table 3 Results of the analysis of the trend of changes in precipitation variables using Mann-Kendall test

Precipitation (mm)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Abali	1.33	-0.94	-0.55	-0.16	-0.81	-1.04	0.00	0.53	0.72	-0.42	0.49	0.49
Geophysic	1.88	-0.49	-0.69	0.1	-0.1	-1.49	1.69	0.81	0.37	-0.1	1.29	0.99
Shemiran	1.29	-0.69	-0.69	0.00	-0.4	-2.28	1.3	0.67	-0.22	0.00	0.79	1.19
Tehran (Mehrabad)	0.75	-0.22	-2.01	0.24	0.37	-0.69	1.13	0.37	-0.75	0.39	0.88	1.12
Baghtangeh	2.3*	-1.7	-1.42	0.00	-0.99	-1.42	0.33	0.71	-0.78	1.65	2.02*	0.22
Kamarkhani	2.38*	-0.89	-0.79	1.19	0.00	-0.3	0.55	0.4	0.8	-1.3	0.2	-2.48

جدول ۴- نتایج تحلیل روند تغییرات متغیرهای دمای حداقل و دمای حداکثر با استفاده از آزمون من- کندال

Table 4 Results of trend analysis of changes in minimum and maximum temperature variables using Mann-Kendall test

Tmax(°C)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Abali	2.31*	2.14*	2.73**	1.6	0.46	1.2	1.59	2.84**	1.83	2.21*	0.72	0.97
Geophysic	1.09	2.53*	1.14	0.15	0.75	2.06*	0.9	0.99	0.85	1.09	1.04	1.14
Shemiran	1.73	2.33*	1.09	0.65	0.64	1.85	0.84	1.49	1.79	1.9	1.49	1.14
Tehran (Mehrabad)	1.46	0.45	-0.73	2.34*	-0.18	1.02	-0.74	2.25*	0.84	0.92	0.86	-0.58
(°C)Tmin	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Abali	0.91	0.16	2.31*	0.55	0.33	-1.63	-0.62	0.13	1.14	0.68	0.39	1.43
Geophysic	0.64	0.94	1.68	1.19	1.24	0.66	0.00	0.45	-0.35	-1.39	-1.34	-0.25
Shemiran	0.66	1.04	1.24	-0.35	1.19	-0.64	-0.80	0.00	1.54	0.7	0.69	0.84
Tehran (Mehrabad)	2.34*	1.48	0.42	1.47	1.56	1.33	1.19	2.47**	2.57*	3.48**	3.15**	2.13*

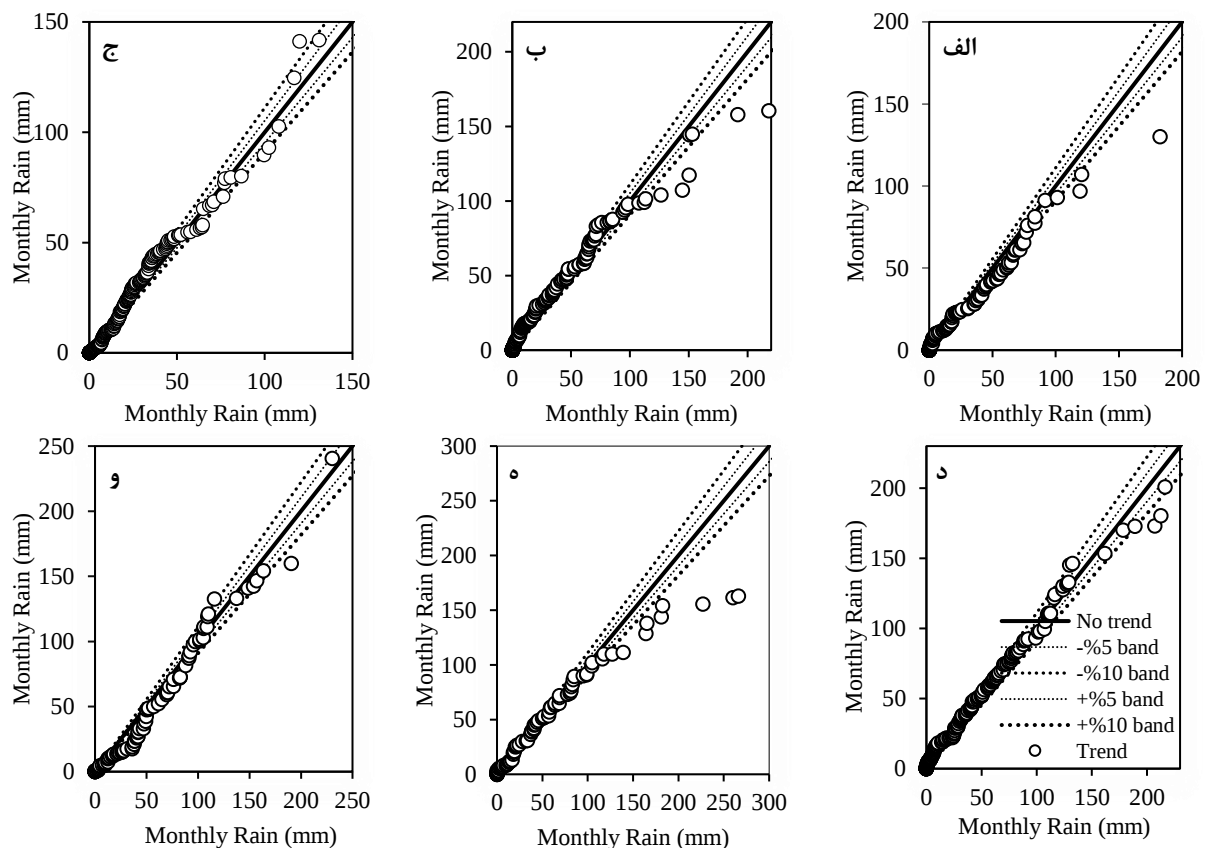
* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱٪

نتایج حاصل از روش سن برای تحلیل روند بارش برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۳) ارائه شد، همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه کلکان در مقادیر کم بارش هیچ روندی را نشان ندادند در حالی که در ایستگاه کلکان برای مقادیر کم روند نزولی را نشان داد. همچنین ایستگاه‌های امامه و شمیران برای مقادیر متوسط و زیاد روند کاهشی ولی ایستگاه کلکان روند افزایشی را برای مقادیر متوسط نشان داد. لازم به ذکر است ایستگاه‌های آبعلی و ژئوفیزیک همانند ایستگاه‌های شمیران و امامه در مقادیر بالا دارای روند کاهشی و در سطح ۵٪ هم معنی‌دار بوده است. ایستگاه فرودگاه مهرآباد هم برای مقادیر زیاد روند افزایشی را نشان داد.

آزمون روند سن در ایستگاه آبعلی برای مقادیر کم و متوسط دمای حداکثر روند خاصی را نشان نداد ولی برای مقادیر متوسط به بالا (بیش‌تر از ۱۰°C) با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ روند افزایشی جزئی را نشان داد. این آزمون در ایستگاه‌های ژئوفیزیک و شمیران همانند ایستگاه آبعلی برای مقادیر کم دمای حداکثر هیچ روندی را نشان ندادند. در حالی که برای مقادیر متوسط به بالا در برخی مقادیر روند افزایشی را نشان دادند. همچنین نتایج حاصل از آزمون سن برای داده‌های ماهانه دمای حداکثر ایستگاه فرودگاه مهرآباد نشان داد که دمای حداکثر در این ایستگاه در مقادیر کم (بیش‌تر از ۱۵°C) با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ دارای روند افزایشی بوده است. در حالی که برای مقادیر متوسط و بالا این آزمون با توجه به باندهای ذکر شده هیچ‌گونه روندی را نشان ندادند (شکل ۴).

نتایج حاصل از روش سن برای تحلیل روند بارش برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۳) ارائه شد، همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه کلکان در مقادیر کم بارش هیچ روندی را نشان ندادند در حالی که در ایستگاه کلکان برای مقادیر کم روند نزولی را نشان داد. همچنین ایستگاه‌های امامه و شمیران برای مقادیر متوسط و زیاد روند کاهشی ولی ایستگاه کلکان روند افزایشی را برای مقادیر متوسط نشان داد. لازم به ذکر است ایستگاه‌های آبعلی و ژئوفیزیک همانند ایستگاه‌های شمیران و امامه در مقادیر بالا دارای روند کاهشی و در سطح ۵٪ هم معنی‌دار بوده است. ایستگاه فرودگاه مهرآباد هم برای مقادیر زیاد روند افزایشی را نشان داد.

آزمون روند سن در ایستگاه آبعلی برای مقادیر کم و متوسط دمای حداکثر روند خاصی را نشان نداد ولی برای مقادیر متوسط به بالا (بیش‌تر از ۱۰°C) با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ روند افزایشی جزئی را نشان داد. این آزمون در ایستگاه‌های ژئوفیزیک و شمیران همانند ایستگاه آبعلی برای مقادیر کم دمای حداکثر هیچ روندی را نشان ندادند. در حالی که برای مقادیر متوسط به بالا در برخی مقادیر روند افزایشی را نشان دادند. همچنین نتایج حاصل از آزمون سن برای داده‌های ماهانه دمای حداکثر ایستگاه فرودگاه مهرآباد نشان داد که دمای حداکثر در این ایستگاه در مقادیر کم (بیش‌تر از ۱۵°C) با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ دارای روند افزایشی بوده است. در حالی که برای مقادیر متوسط و بالا این آزمون با توجه به باندهای ذکر شده هیچ‌گونه روندی را نشان ندادند (شکل ۴).



شکل ۳- روند تغییرات بارش بر اساس آزمون روند سن (۲۰۱۲) طی دوره‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های الف) ژئوفیزیک، ب) شمیران، ج) فرودگاه مهرآباد، د) آبعلی، ه) امامه و و) کلکان

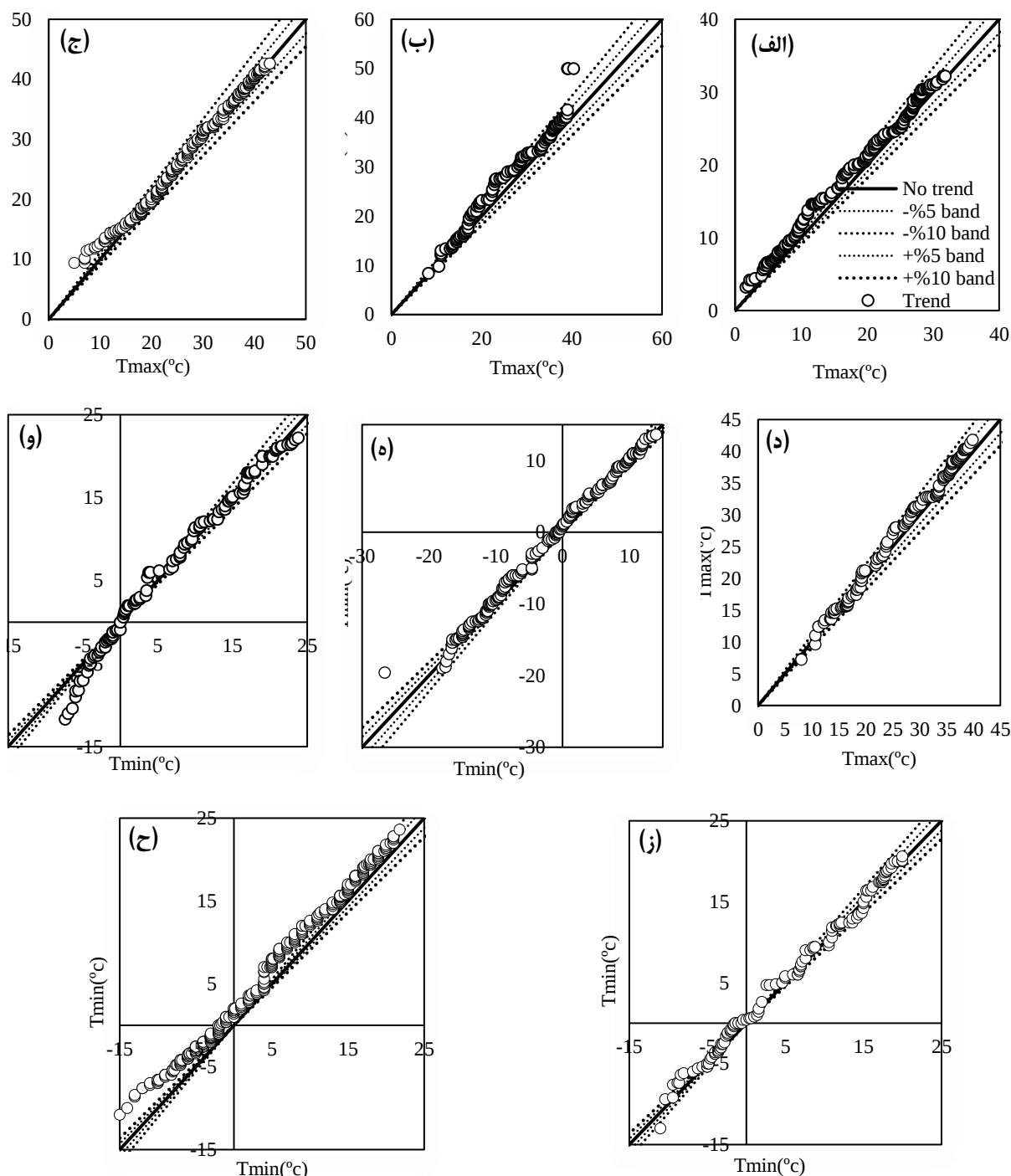
Fig. 3 Trend of precipitation changes based on Sen test (2012) during observational periods In stations a) Geophysics, b) Shemiran, c) Mehrabad airport, d) Abali, e) Emameh and c) Klukan

مقادیر حدود 5°C روندی را نشان نداد (شکل ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای داده‌ها حدی روند مثبت یا منفی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید.

۳-۲- ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی

در این بخش بعد از آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم طی دوره پایه، ریزمقیاس نمایی مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از مدل SDSM4.2.9 صورت گرفت. بدین منظور جهت پیش‌بینی و ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های آبعلی، ژئوفیزیک، شمیران و فرودگاه مهرآباد تهران و داده‌های بارش ایستگاه کلکان (کمرخانی) واقع در استان تهران که از لحاظ آماری داده کافی داشتند، استفاده شده است.

مقدار دمای حداقل در ایستگاه آبعلی، در همه مقادیر به‌جز در یک مورد هیچ‌گونه روندی را نشان نداد. در حالی که ایستگاه ژئوفیزیک برای مقادیر کم (بیش‌تر از -5°C) روند کاهشی معنی‌دار و یکنواختی را با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ نشان داد ولی برای مقادیر متوسط و متوسط به بالا در برخی مقادیر روند افزایشی و در برخی هم هیچ روندی را نشان ندادند. ایستگاه شمیران برای مقادیر کم و متوسط (بیش‌تر از 15°C) در برخی مقادیر روند مثبت و در برخی هم مانند ایستگاه ژئوفیزیک روند خاصی را نشان نداد. همچنین لازم به ذکر است ایستگاه شمیران برای مقادیر بالا هیچ روندی نداشت. مقدار دمای حداقل در ایستگاه فرودگاه مهرآباد در همه مقادیر به‌جز در مقادیر 5°C روند افزایشی یکنواختی را با توجه به باندهای ۵ و ۱۰٪ نشان داد. در ضمن این ایستگاه برای



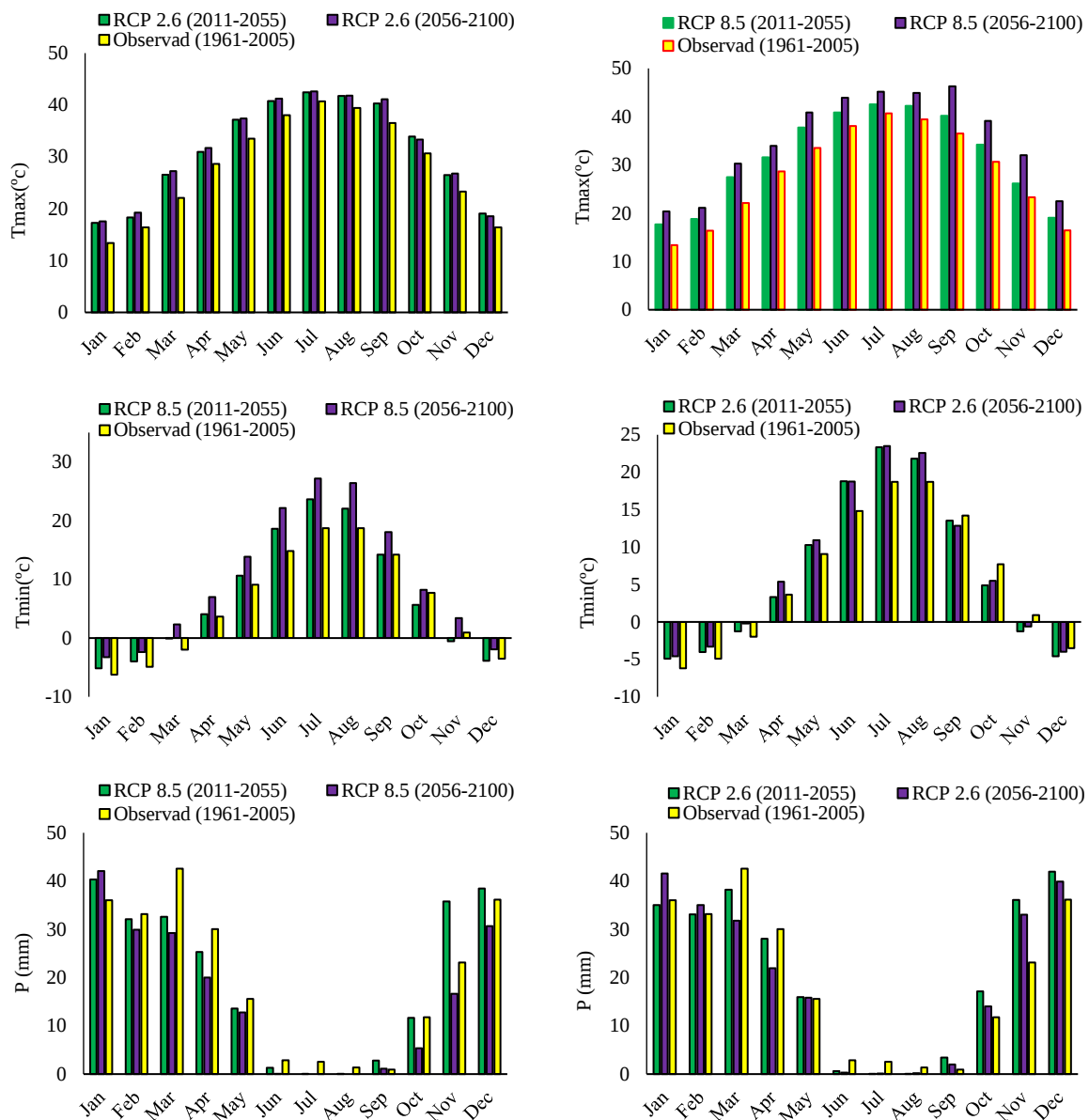
شکل ۴- روند تغییرات دمای حداکثر در ایستگاه‌های الف) آبدلی، ب) ژئوفیزیک، ج) فرودگاه مهرآباد و د) شمیران و دمای حداقل در ایستگاه‌های ه) آبدلی، و) ژئوفیزیک، ز) فرودگاه مهرآباد و ح) شمیران بر اساس آزمون روند سن (۲۰۱۲) طی دوره‌های مشاهداتی Fig. 4 Trend of changes in maximum temperature At stations a) Abali, b) Geophysics, c) Mehrabad Airport and d) Shemiran and minimum temperature In stations e) Abali, c) Geophysics, g) Mehrabad Airport and h) Shemiran based on Sen test (2012) during observational periods

بیش‌تر می‌شود. Massah Bavani and Morid (2005) و Dastranj (2012) در تحقیقات خود به این امر اشاره کرده بودند، همچنین میزان افزایش دما در دوره آبی دور (۲۰۱۰-۲۰۵۶) نسبت به دوره آبی نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۵۵) بیشتر می‌باشد. نتایج پیش‌بینی بارش ماهانه برای دوره‌های آبی نیز

پیش‌بینی دمای حداکثر و دمای حداقل طی دوره‌های آبی (۲۰۱۱-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای انتشار در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که این متغیرها در طی دوره‌های آبی افزایش خواهند یافت، به‌طوری‌که میزان افزایش از سناریوی RCP2.6 به RCP8.5

Dastranj (2012) بارش کاهش خواهد یافت که با نتایج همخوانی ندارد.

نشان داد که بارش روند مشخصی نداشته و در بعضی ماهها بارش افزایش و در بعضی از ماهها کاهش خواهد یافت. در بیشتر موارد نتایج بارش نشان داد که در طی دوره‌های آتی



شکل ۵- مقایسه میانگین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده پارامترهای اقلیمی تحت سناریوهای انتشار در ایستگاه منتخب (فرودگاه مهرآباد)

Fig. 5 Comparison of average observed and predicted values of climatic parameters under emission scenarios at the selected station (Mehrabad Airport)

در اینجا به عنوان نمونه خروجی سناریوهای انتشار طی دوره‌های آتی و دوره مشاهداتی ایستگاه فرودگاه مهرآباد در شکل (۵) ارائه شده است. بیشترین افزایش دمای ماکزیمم تحت سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی در ماه ژانویه خواهد بود. در صورتی که بیشترین افزایش دمای کمینه طی دوره‌های آتی در ماه مارس بود. بیشترین افزایش و کاهش بارش تحت سناریوهای انتشار طی دوره‌های آتی به ترتیب در ماه‌های سپتامبر و جولای اتفاق خواهد افتاد. ضمن اینکه بیشترین میزان افزایش بارش با ۲۷۰٪ در ماه سپتامبر برای سناریوی RCP 2.6 و در دوره نزدیک خواهد بود. بارش ماهانه تحت سناریوی RCP 2.6 در ۷ ماه کاهشی و در ۵ ماه افزایشی خواهد بود. در حالی که طی سناریوی RCP 8.5 بارش ماهانه، ۸ ماه کاهش و ۴ ماه افزایش را نشان داد.

در اینجا به عنوان نمونه خروجی سناریوهای انتشار طی دوره‌های آتی و دوره مشاهداتی ایستگاه فرودگاه مهرآباد در شکل (۵) ارائه شده است. بیشترین افزایش دمای ماکزیمم تحت سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی در ماه ژانویه خواهد بود. در صورتی که بیشترین افزایش دمای کمینه طی دوره‌های آتی در ماه مارس بود. بیشترین افزایش و کاهش بارش تحت سناریوهای انتشار طی دوره‌های آتی به ترتیب در ماه‌های سپتامبر و جولای اتفاق خواهد افتاد. ضمن اینکه بیشترین میزان افزایش بارش با ۲۷۰٪ در ماه سپتامبر برای سناریوی RCP 2.6 و در دوره نزدیک خواهد بود. بارش ماهانه تحت سناریوی RCP 2.6 در ۷ ماه کاهشی و در ۵ ماه افزایشی خواهد بود. در حالی که طی سناریوی RCP 8.5 بارش ماهانه، ۸ ماه کاهش و ۴ ماه افزایش را نشان داد.

۳-۳- واسنجی مدل HEC-HMS

تحلیل حساسیت استفاده شد. به منظور تحلیل حساسیت متغیرهای شماره منحنی (CN) و زمان تأخیر بررسی قرار گرفت. مدل حساسیت بیشتری را نسبت به تغییرات CN نشان داد. پس از اجرای مدل برای وقایع مختلف، جهت حصول نتیجه بهتر، مدل بر اساس متغیر CN واسنجی شد (جدول ۵). سپس با توجه به هیدروگراف مشاهداتی هر کدام از واقعه‌ها در ایستگاه مربوطه، بهینه‌سازی صورت گرفت.

انتخاب واقعه‌های شدید و فراگیر براساس نتایج بررسی‌های قبلی و همچنین دبی‌های سیلابی روزانه و حداکثر بارش‌های روزانه بر پایه میانگین حسابی بارش در ایستگاه کمرخانی (کلوکان) طی دوره آماری (۱۹۹۹-۲۰۱۷) انجام شد. درنهایت با تطابق رویدادهای سیل تعداد ۸ واقعه انتخاب شدند که تعداد سه از این رویدادها برای اعتبارسنجی و

جدول ۵- نتایج ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS برای رویدادهای سیل مورد مطالعه

Table 5 Results of performance evaluation of HEC-HMS model for the studied flood events

Nash-Sutcliffe coefficient		RMSE		Model objective function
peak discharge (m ³ /s)		peak discharge (m ³ /s)		
sim	obs	sim	obs	
-0.71	-1.50	0.8	0.9	2010.02.04-2010.02.06
0.17	-0.36	0.8	1.0	2010.04.29-2010.04.30
-0.13	-0.88	0.6	0.8	2011.04.15-2011.04.17
-1.27	-2.02	1.2	1.4	2011.08.28-2011.08.29
0.17	0.00	0.4	0.5	2012.04.13-2012.04.15
0.59	0.31	0.6	0.7	2013.08.10-2013.08.11

شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و در ۳ دوره مجزا (۲۰۳۰-۲۰۱۶)، (۲۰۴۵-۲۰۳۱) و (۲۰۶۰-۲۰۴۶) مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۳- شبیه‌سازی سیلاب در دوره‌های آتی

برای شبیه‌سازی سیلاب حوضه معرف امامه در دوره‌های آتی ابتدا با توجه به قابلیت مدل SDSM در تولید داده‌های روزانه، تولید این داده‌ها برای همه ایستگاه‌های مورد نظر در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. بعد از تولید داده‌های روزانه، بارش در ایستگاه فوق‌الذکر در همه دوره‌های مورد مطالعه به صورت نزولی مرتب شد. سپس با توجه به میزان میانگین بارش روزانه برای هر دوره، شدیدترین وقایع که بیشترین بزرگی را نسبت به واقعه‌های دیگر داشتند، انتخاب گردید. درنهایت همه این وقایع به مدل HEC-HMS معرفی و شبیه‌سازی گردید. قابل ذکر است که داده‌های

۴-۳- شدیدترین وقایع

به منظور بررسی سیلاب‌ها از نظر بزرگی، شدیدترین وقایع در هر دوره تحت سناریوهای انتشار استخراج شد. جدول (۶) شدیدترین واقعه‌ها را در دوره‌های مورد مطالعه با توجه به RCP2.6 و RCP8.5 نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۶) شدیدترین واقعه در بین دوره‌ها مربوط به دوره اول سناریوی RCP8.5 با میزان بارش ۹۴/۶۹ mm می‌باشد.

جدول ۶- شدیدترین واقعه در هر دوره از نظر بزرگی تحت سناریوهای انتشار

Table 6 The most severe event in each period in terms of magnitude under emission scenarios

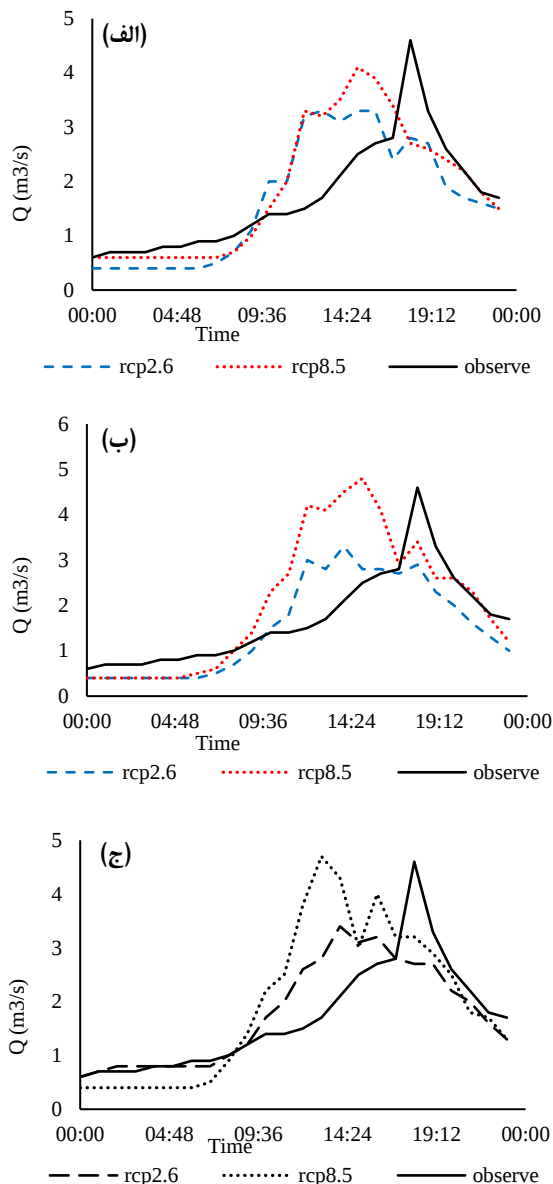
Heaviest Rainfall (mm)	Date of Occurrence	Period	Emission Scenarios
68.98	12/1/2025	First period (2016-2030)	RCP2.6
78.13	05/02/2035	Second period (2031-2045)	
75.68	25/11/2051	Third period (2046-2060)	
94.69	23/01/2024	First period (2016-2030)	RCP8.5
91.69	29/01/2041	Second period (2031-2045)	
81.09	30/01/2049	Third period (2046-2060)	

سیلاب حاصل از شبیه‌سازی شدیدترین سیلاب‌ها در دوره‌های آتی با دوره مشاهداتی در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به RCP2.6 مقادیر حجم سیلاب در دوره اول کمترین مقدار را داشته است. در حالی که دوره‌های دوم و سوم تحت این سناریو مقادیر حجم سیلاب زیاد و نزدیک به مقادیر حجم

نتایج حاصل از شبیه‌سازی شدیدترین سیلاب‌ها در دوره‌های آتی با دوره مشاهداتی در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به RCP2.6 مقادیر حجم سیلاب در دوره اول کمترین مقدار را داشته است. در حالی که دوره‌های دوم و سوم تحت این سناریو مقادیر حجم سیلاب زیاد و نزدیک به مقادیر حجم

شبیه‌سازی شده نسبت به دبی اوج سیل مشاهداتی دارای مقادیر بیش‌تری می‌باشند.

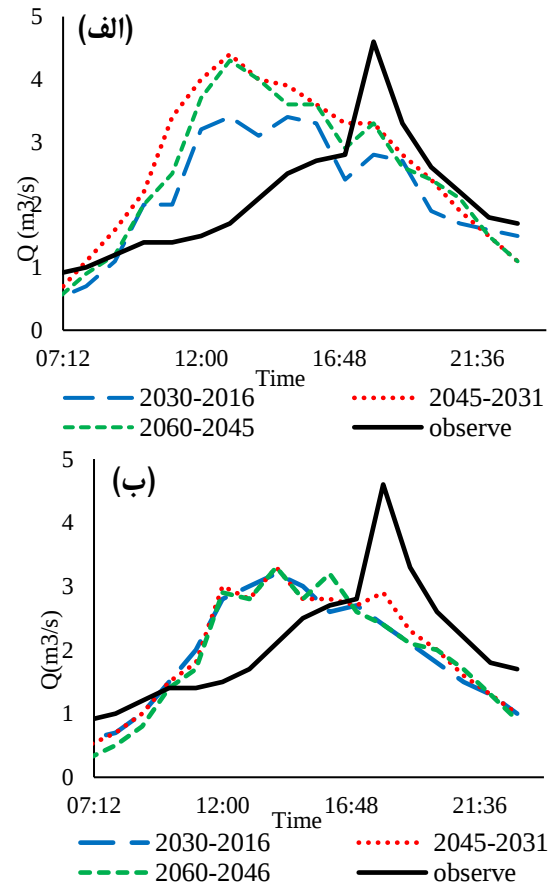
انتشار طی دوره‌های آبی نسبت به سیل مشاهداتی کمتر بوده است.



شکل ۷- نتایج شبیه‌سازی شدیدترین واقعه‌ها در دوره‌های آبی تحت سناریوهای انتشار در (الف) دوره اول، (ب) دوره دوم و (ج) دوره سوم

Fig.7 Simulation results of the most severe events in future periods under emission scenarios in a) the first period, b) the second period and c) the third period

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان بیان داشت که افزایش دما در فصل زمستان سبب ذوب برف و یخچال‌های کوچک یخی در مناطق کوهستانی می‌گردد و روشن است که به علت فرصت تماس زیاد برف با خاک، نفوذ آب به خاک از طریق ذوب برف بیشتر از آب باران است



شکل ۶- نتایج شبیه‌سازی سیلاب حاصل از شدیدترین بارش‌ها در دوره‌های آبی با دوره مشاهداتی تحت سناریوهای انتشار (الف) RCP2.6 و (ب) RCP8.5

Fig. 6 Flood simulation results from the heaviest rainfall in future periods with an observational period under emission scenarios a) RCP2.6 and b) RCP8.5

۳-۷- مقایسه شدیدترین وقایع در دوره‌های مختلف

تحت سناریوهای انتشار

شکل (۷) نتایج شبیه‌سازی شدیدترین واقعه‌ها را در دوره‌های آبی تحت سناریوهای انتشار نشان می‌دهد. با توجه به شکل ذکر شده می‌توان بیان کرد که واقعه‌های شبیه‌سازی شده در دوره‌های آبی تحت سناریو RCP2.6 از نظر مقادیر حجم سیلاب و بزرگی نسبت به سناریوی RCP8.5 کمتر می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که دبی اوج واقعه‌های شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مورد بررسی در دوره اول نسبت به دبی اوج سیل مشاهداتی مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. در حالی که در دوره‌های دوم و سوم تحت سناریوی RCP8.5 برخلاف RCP2.6 دبی اوج

سیلاب و دبی اوج سیلاب‌های شبیه‌سازی شده طی دوره‌های آبی نسبت به مقادیر آنها در دوره مشاهداتی کمتر بوده است.

قابل ذکر است که دبی اوج واقعه‌های شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره اول نسبت به مقادیر مشاهداتی آنها به ترتیب با ۱۰/۶٪ و ۲۳/۴٪ کمتر می‌باشد. درحالی‌که در دوره‌های دوم و سوم تحت سناریوی RCP8.5 برخلاف RCP2.6 دبی اوج شبیه‌سازی شده نسبت به دبی اوج سیل مشاهداتی دارای مقادیر بیش‌تری می‌باشند.

بنابراین افزایش دمای ایستگاه‌های موردنظر در استان تهران علل مختلفی شامل افزایش گازهای گلخانه‌ای، تبدیل کاربری اراضی مختلف و غیره می‌تواند داشته باشد. بنابراین همان‌طور که نتایج نشان داد با افزایش دما تعداد سیل‌ها و قدرت ویران‌کننده آن‌ها در آینده احتمالاً افزایش خواهد یافت و بایستی مدیران و برنامه‌ریزان بخصوص در حوضه‌های شهری به این امر توجه نمایند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها مورد استفاده در این پژوهش، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

در نهایت با کاهش برف در یک منطقه، منجر به کاهش منابع آب زیرزمینی می‌گردد (Sen 2012).

۴- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج این پژوهش به صورت زیر قابل بیان است:

۱- دمای حداکثر و حداقل همه ایستگاه‌ها به ترتیب در ۲۰/۸۳٪ و ۱۴/۵۸٪ از سری‌ها در سطح معنی‌داری ۵٪ افزایش نشان داد. بیش‌ترین روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵٪ در فصل زمستان مشاهده شد.

۲- تنها ۵/۶٪ از سری‌های زمانی بارش در سطح معنی‌داری ۵٪ افزایشی می‌باشد. بنابراین روند تغییرات بارش هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی تغییرات مشخصی در طی دوره‌های گذشته نداشته است.

۳- دمای حداکثر و حداقل تحت سناریوهای انتشار نسبت به دوره پایه افزایش خواهند یافت، و میزان افزایش از سناریوی RCP2.6 به RCP8.5 شدیدتر خواهد بود. اما نتایج پیش‌بینی بارش ماهانه برای دوره‌های آبی همانند دوره مشاهداتی بیانگر روند نامشخص آن می‌باشد.

۴- شدیدترین وقایع در هر دوره از نظر بزرگی تحت سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 نشان داد که مقادیر حجم

References

- Akhtar, M., Ahmad, N. and Booi, M. J. (2008). The impact of climate change on the water resources of Hindukush-Karakorum-Himalaya region under different glacier coverage scenarios. *J. Hydrol.*, 355(1-4), 148-163.
- Alipour, H. and Malekian, A. (2017). Analyzing of trend changes in the frost threshold (Case Study: Northwest of Iran). *Nat. Environ. Hazard.*, 7 (17), 69-82 [In Persian].
- Ansari, M., Noori, G. and Fotoohi, S. (2016). Investigation of temperature, precipitation and flow changes using non-parametric Mann-Kendall test (Case study: Kajo river basin of Sistan and Baluchestan province). *J. Watershed Manage.*, 7(14), 152-158 [In Persian].
- Ashofteh, P. and Massah Bavani, A. (2010). The impact of climate change on maximum discharge: case study, Aidoghmoush Basin, East Azerbaijan. *J. Water Soil Sci.*, 14(53), 28-38 [In Persian].
- Dastrang, A. (2012). Prediction of temperature and precipitation using general circulation models of climate simulation atmosphere (study area of the northern provinces of the country). Master Dissertation, University of Tehran, Karaj, Iran. 150 p [In Persian].
- Dibike, Y. B. and Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *J. Hydrol.*, 307(1-4), 145-163.
- Dodangeh, I., Soltani, S. and Sarhaddi, A. (2010). Study of the trend of flow limit values (minimum flow and flood) in the Sefidrud dam watershed. *J. Water Soil Sci.*, 15(58), 215-229 [In Persian].
- Fathian, F., Morid, S. and Kahya, E. (2015). Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theor. Appl. Climat.*, 119(3-4), 443-464.

- Hejazizadeh, Z., Fattahi, A., Massah Bavani, A. and Naserzadeh, M. (2012). Consider impact of climate changes on floods by using the atmospheric circulation model (AOGCM). *Geogr.*, 10(34), 5-24 [In Persian].
- Hojjam, S., Khoshkhar, Y. and Shamsodinvand, Y. (2008). Analysis of the trend of seasonal and annual rainfall changes in some selected stations in the central part of Iran using unchanged methods. *Geogra. Res.*, 40 (64), 157-168. [In Persian].
- Kendall, M.G., (1975). *Rank Correlation Methods*; Griffin: London, UK.
- Kisi, O. (2015). An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. *J. Hydrol.*, 527, 1123- 1129.
- Liu, P., Li, L., Guo, S., Xiong, L., Zhang, W., Zhang, J. and Xu, C. Y. (2015). Optimal design of seasonal flood limited water levels and its application for the Three Gorges Reservoir. *J. Hydrol.*, 527, 1045-1053.
- Maghsood, F. F., Moradi, H., Bavani, M., Reza, A., Panahi, M., Berndtsson, R. and Hashemi, H. (2019). Climate change impact on flood frequency and source area in northern Iran under CMIP5 Scenarios. *Water*, 11(2), 273.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econom.*, 13, 245-259.
- Maslin, M. (2014). *Climate Change: A Very Short Introduction* (Third edition), Oxford Press, 200pp.
- Massah Bavani, A. and Morid, S. (2005). The effects of climate change on water resources and agricultural production Case study: Zayandehrud basin of Isfahan. *Iran. Water Resour. Res.*, 1(1), 40-47 [In Persian].
- Nassaji Zavareh, M., Khorshid Dost, A. M., Rasoli, A. A. and Salajegheh, A. (2014). Investigation of discharge trend of Kasilian river. *Iran. Watershed Manage. Assoc.*, 24(8), 1-8 [In Persian].
- Partal, T. and Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrol. Process. Int. J.*, 20(9), 2011-2026.
- Pierrehumbert, R. T. (2010). *Principles of planetary climate*. Cambridge University Press.
- Sen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *J. Hydrol. Eng.*, 17(9), 1042-1046.
- Sen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *J. Hydrol. Eng.*, 19(3), 635-642.
- Sharifi, A., Din Paghoh, Y., Fakheri Fard, A. and Moghaddam Nia, A. (2013). Optimal combination of variables for simulation of runoff in Imameh watershed using gamma test. *Water Soil Know.*, 23(4), 59-72 [In Persian].
- Tosunoglu, F. and Kisi, O. (2016). Trend Analysis of maximum hydrologic drought variables using Mann-Kendall and Şen's innovative trend method. *River Res. Appl.*, 33(4), 597-610. DOI: 10.1002/rra.3106.
- Zare Zadeh, Sh., Khorani, A., Bazrafshan, J. and Bazrafshan, O. (2018) Gamasiab river flow regime changes under climate change scenarios. *J. Environ. Sci.*, 4(44), 587-602 [In Persian].
- Zhang, Y., Guan, D., Jin, C., Wang, A., Wu, J. and Yuan, F. (2011). Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in northeast China. *J. Hydrol.*, 410(3-4), 239-247.

Research Paper

Assessing the Effects of Climate Change on the Intensity and Magnitude of Floods in Future Periods

Hassan Alipour¹, Ali Salajegh^{*2}, Alireza Moghaddamnia³, Shahram Khalighi Sigaroudi³ and Mojtaba Nassajizavareh⁴

¹M.Sc. Student, Department of Arid and Mountain Reclamation Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²Professor, Department of Arid and Mountain Reclamation Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³Assoc. Professor, Department of Arid and Mountain Reclamation Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴Assist. Professor, Institute of Agricultural Education & Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

***Corresponding author:** salajegh@ut.ac.ir

Received: February 03, 2021

Revised: May 04, 2021

Accepted: June 08, 2021

Abstract

The purpose of this study was to investigate the trend of hydro-climatic variables, detect the occurrence of climate change and subscale the climatic variables during future periods and evaluate the intensity and magnitude of future floods. The trend of hydroclimatic variables was first investigated using Mann-Kendall and Sen tests. Then, the output data of maximum temperature, minimum temperature and precipitation of CANESM2 general circulation model were sub-scaled under RCP2.6 and RCP8.5 climate change scenarios using SDSM 4.2.9 model. Later, HEC-HMS model was used to evaluate the intensity and magnitude of events in the Emameh watershed in future periods. The results showed that 20.8 and 14.6% of the maximum temperature and minimum temperature series had a significant upward trend. While 5.5% of the rainfall time series had a significant upward trend. Therefore, unlike the temperature variable, the monthly precipitation variable did not have a definite trend during the observation period as in future periods, in some months it showed an increasing trend and, in some months, it showed a decreasing trend. However, the maximum and minimum temperatures under the diffusion scenarios increased in the following periods. The peak flow and volume of the simulated floods, under the most severe events in each period, was significantly smaller for future periods than for the observation period. Comparison of the most severe events with each other in different periods showed an increase in the volume and magnitude of the flood in the RCP2.6 scenario compared with RCP8.5. Therefore, in the context of climate change, the number of floods and their destructive power has increased and managers and planners are recommended to pay attention to this, especially in urban areas.

Keywords: CANESM2 Model; Emameh Watershed; Rainfall-Runoff Modeling, SDSM; Sub-Scaling