



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مركز تحقیقات، آموزش و پژوهش کشاورزی

واکاوی تغییرات زمانی - مکانی شاخص‌های حدی بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایران

سپیده چوبه^۱، بهنوش فرخ‌زاده^{۲*}، ام‌البنین بذرافشان^۳، هانیه حسونند^۴

- ۱- دانش‌آموخته دکتری، آب‌نخرداری - آب، گروه مرتع و آب‌نخرداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۲- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
- ۳- استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
- ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب‌نخرداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

تغییر اقلیم موجب تغییر نمایه‌های حدی و افزایش شدت و فراوانی رخداد رویدادهای حدی اقلیمی می‌شود. بارش‌های سنگین در هنگام رخداد موجب آسیب گسترده به اقتصاد، محیط زیست و زندگی بشر می‌شود. براساس گزارش خطر جهانی سال ۲۰۱۹ که به وسیله انجمن اقتصاد جهانی (WEF) منتشر شده است، حوادث اقلیمی حدی (مانند بارش‌های حدی) و سازگار نبودن با تغییرات اقلیمی به عنوان خطرات برجسته در ارتباط با تأثیر بر محیط زیست و انسان شناخته شده‌اند. از این رو، در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین در ایران بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های بارش ۴۷ ایستگاه استفاده شد. در ابتدا، عملکرد مدل بررسی شد. سپس، داده‌های بارش با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG و با سناریوهای مختلف و برای دوره آینده، پیش‌بینی شد. برای ارزیابی شبیه‌سازی بارش‌های حدی به وسیله مدل نامبرده، افزون بر مقایسه گرافیکی داده‌های مشاهده شده و تولید شده هر ایستگاه در فرآیند صحت‌سنجی، شاخص‌های WS، RB، MD و میان داده‌های شاخص‌های حدی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده محاسبه شد. سرانجام روند بارش‌های سنگین با آزمون من-کندال بررسی شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir

استناد: چوبه، س.، فرخ‌زاده، ب.، بذرافشان، ا.، حسونند، ه. ۱۴۰۳. واکاوی تغییرات زمانی - مکانی شاخص‌های حدی بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایران. پژوهش‌های آب‌نخرداری، ۳۷ (۴): ۵۳-۳۴.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364521.1565

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲
پژوهش‌های آب‌نخرداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۵، زمستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۳۴ تا ۵۳

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ نشان داد که تغییرات سالانه ایستگاه‌های همدید، غیریکنواخت بود. بیشترین افزایش بارش سالانه در ایستگاه بم و با سناریوی SSP5-8.5 به اندازه ۵۹/۸۱٪ (۳۲/۳۲ میلی‌متر) بود و بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه کیش و با سناریوی SSP5-8.5 به اندازه ۱۱/۶۳٪ (۱۷/۲۳ میلی‌متر) بود. بر اساس نتایج پراکنش مکانی PRCPTOT بیشترین افزایش بارش سالانه در ایستگاه یاسوج و تحت سناریوی SSP1-2.6 بود. به طوری که در این ایستگاه بارش سالانه برای دوره آینده با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به ترتیب ۹۳۳/۴۹ و ۸۸۹/۳ میلی‌متر برآورد شد. همچنین، اندازه این شاخص در دوره پایه در این ایستگاه ۸۳۲/۱۹ میلی‌متر پیش‌بینی شد.

از سوی دیگر، بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه تبریز با سناریوی SSP5-8.5 به اندازه ۱۶۵/۱۱ میلی‌متر (۶۸٪) بود. نتایج بررسی تغییرات شاخص‌های حدی بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ در مقایسه با ۱۹۸۲-۲۰۲۲ نشان داد بیشترین تغییرات در مناطق شمال و غرب ایران بود که شدت این تغییرات به‌ویژه با سناریوی SSP5-8.5 بیشتر بود. بیشترین کاهش شاخص Rx1day، مربوط به ایستگاه مشهد با سناریوی SSP5-5.5 و ۳۷٪ بود. بیشترین روند افزایشی مربوط به ایستگاه زنجان با سناریوی RCP8.5 بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش‌های پرشماری در سراسر جهان نشان داده‌اند که تغییرات اقلیم منجر به تغییرات شاخص‌های حدی بارش می‌شود. این تغییرات شامل کاهش دامنه بارش و تغییر الگوی بارش است. در این راستا، نتایج این پژوهش نشان داد که روند شاخص‌های حدی، الگوی یکسانی نداشت و این روند در برخی ایستگاه‌های همدید افزایشی و در برخی دیگر کاهش می‌یافت. به‌طور کلی می‌توان گفت که شدت بارش در دوره آینده و با سناریوهای اقلیمی در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه‌شده افزایش خواهد یافت. بررسی دقیق رویدادهای حدی بارش و تأثیرات آنها بر برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری آینده در بخش‌های گوناگون ضروری است. از این رو، پیشنهاد می‌شود شبیه این پژوهش‌ها در آبخیزهای اصلی کشور در مقیاس کوچکتر و در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها با دیگر آزمون‌های تشخیصی روند انجام شود و نتایج آن با آزمون آماری من-کندال مقایسه شود.

واژگان کلیدی: ایران، بارش سنگین، ریزمقیاس‌نمایی، سناریوی اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو، CMIP6

مقدمه

پدیده دارد. تغییر اقلیم نشان‌دهنده تغییرات غیرعادی و ناهنجاری در اقلیم درون جو زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های گوناگون کره زمین می‌باشد (کمال و مساح‌بوانی ۲۰۱۰). بسیاری از پژوهش‌گران داخلی و خارجی به موضوع تغییر اقلیم توجه ویژه داشته و در پژوهش‌های پرشماری (پنولاس و همکاران ۲۰۱۷، هاریسون و همکاران ۲۰۱۹، واندرویل و بین تانجا ۲۰۲۱، خوبی و همکاران ۲۰۲۱، نیلین و همکاران ۲۰۲۲، چن و فورد ۲۰۲۳) عامل‌ها و آثار آن را بررسی کرده‌اند. در ایران لطفی‌راد و همکاران (۲۰۲۰)، اثر تغییر اقلیم بر روند بارش فصلی را بررسی کردند. این پژوهشگران، ۲۰ ایستگاه با اقلیم‌های گوناگون در دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۵ انتخاب کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که روند بارش در دوره ۲۰۵۴-۲۰۲۵ در فصل‌های گوناگون کاملاً متفاوت بود، به‌ویژه در فصل بهار با حذف ایستگاه‌های آبادان و شهرکرد، این روند نزولی بود. همچنین، در فصل زمستان بر خلاف افزایش بارش در ایستگاه‌های اهواز، تهران، یزد و سبزوار، تغییرات زیادی در دیگر ایستگاه‌ها مشاهده نشد. از سوی دیگر، نتایج در فصل تابستان متفاوت بود و با حذف ایستگاه تهران، روند پیش‌بینی‌ها افزایشی بود. علوی‌نیا و زارعی (۲۰۲۲) با استفاده از شاخص‌های

تغییر اقلیم یک پدیده طبیعی است که در توالی‌های زمانی بلندمدت رخ می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود رویدادهای شدید اقلیمی مانند موج‌های گرما، خشک‌سالی، سیل و آتش‌سوزی‌های جنگلی به دلیل افزایش دما افزایش یابند، در حالی که انتظار می‌رود دوره‌های سرما و برف کاهش یابند (IPCC ۲۰۱۹). فعالیت‌های بشری و گازهای گلخانه‌ای سبب تشدید این پدیده و تغییر بازه زمانی توالی تغییرات اقلیمی می‌شود (محمدملو و همکاران ۱۳۹۵). تغییر زمان بارش به دلیل نقش مهم در حیات و موجودیت بشر و دما که نوسان‌های آن با ناهنجاری‌های فراوانی در چرخه آب شناسی کره زمین همراه است، در تأمین آب مناطق خشک نقش بسیار مهمی دارند (هاریسون و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به این که بیش از ۱۱٪ مساحت ایران در منطقه خشک است، بارش به شکل سیل یا خشک‌سالی تأثیر زیادی بر تأمین آب منطقه خواهد داشت (خورشید دوست و قویدل رحیمی ۱۳۸۳). افزایش صنایع آلاینده و انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش دمای کره زمین شده است و این موضوع به نوبه خود بر وضعیت دیگر اجزای ساختارهای چرخه آب و هوایی تأثیرگذار است و موجب رخداد تغییراتی در اقلیم می‌شود که تفاوت‌های اساسی با روند طبیعی این

بود، با این حال بر اساس آزمون رتبه‌بندی ویلکاکسون، اندازه شاخص‌های بارندگی شدید تعیین شده برای دوره آینده به‌ویژه با سناریوی RCP8.5 با اندازه‌های مربوطه تعیین شده برای دوره مرجع تفاوت معنی‌داری داشتند. در جنوب شرقی آسیا، ژه و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات آینده شاخص‌های حدی بارش را با استفاده از مجموعه‌ای از ۱۵ مدل CMIP6 بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات بارندگی‌های شدید مرتبط با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در شبه جزیره هند و چین افزایش یافت. همچنین تغییرات تعداد روزهای بارندگی بسیار سنگین (R20mm) و شدت بارش روزانه نشان داد که چنین بارش‌های شدید محلی احتمالاً در مدت زمان کوتاهی رخ داده‌اند و احتمال بارش‌های شدیدتر نیز وجود دارد. کومارگوپال و همکاران (۲۰۲۲)، بارش‌های حدی ۴ شهر هند را تحت تأثیر تغییر اقلیم ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش بارش‌های شدید در سراسر شهرهای هند در تمام دوره‌های بازگشت بود. در بنگلادش توفیق‌عز و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های حدی بارش در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ تحت تأثیر تغییرات اقلیمی را بررسی کردند. نتایج در تمام ایستگاه‌های بررسی شده در این پژوهش نشان داد که روند روزهای خشک متوالی مثبت و افزایشی بود. درحالی‌که روند سالانه کل بارش در ۲۱ ایستگاه منفی بود. همچنین، بیشترین اندازه بارش ۱ روزه و اندازه بارش ۵ روزه در مناطق ساحلی در طول فصل باران‌های موسمی افزایش یافت و در زمستان در بیشتر مناطق بنگلادش، کاهش یافت. کوستا و همکاران (۲۰۲۳)، تغییرات شاخص‌های حدی بارش در قاره آمریکا با تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 بر اساس ریزمقیاس‌نمایی پویایی بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده افزایش طول دوره‌های خشک در بیشتر مناطق گرمسیری آمریکا (شمال شرق برزیل، کارائیب، شمال آمازون) و کاهش طول دوره‌های مرطوب در آمریکای مرکزی و آمازون بود. به‌طور کلی به‌جز دریای کارائیب، در دیگر مناطق فراوانی بارش‌های حدی افزایش یافت. عباس و همکاران (۲۰۲۳)، تغییرات شاخص‌های حدی بارش در جنوب آسیا را با استفاده از داده‌های گزارش ششم هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم IPCC بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش فراوانی و شدت شاخص‌های حدی بارش با سناریوی SSP5-8.5 در پایان قرن بیست و یکم بود. همچنین، توزیع مکانی شاخص‌های حدی بارش بیانگر افزایش بیشتر شاخص‌های حدی بارش در شرق آسیای جنوبی در مقایسه با قسمت غرب آن بود.

بارش‌های سنگین به‌دلیل اثرات ویرانگر و زیان‌بار نیاز به بررسی و مهار دارند، ایران نیز از آسیب بارش‌های سنگین مصون نیست. از سوی دیگر، به‌دلیل کافی نبودن بررسی بارش‌های سنگین در کشور و همچنین برنامه‌ریزی برای مهار بهتر این پدیده، در این پژوهش تلاش شد تا اثرات پدیده

حدی داده‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب شرق ایران روند تغییر اقلیم را تحلیل کردند. این پژوهشگران به‌منظور تشخیص رخداد یا نبودن رخداد تغییر اقلیم از داده‌های روزانه بارش و دما (شامل ۸ شاخص اقلیمی مربوط به بارش و ۲ شاخص مربوط به دما) ایستگاه‌های همدید زابل، زاهدان و ایرانشهر در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۶۶ استفاده کردند. همچنین، این پژوهشگران از آزمون‌های من-کندال و شیب‌سن برای تعیین روند و بزرگی روند استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که در بیشتر شاخص‌ها روند معنی‌داری نبود و پدیده تغییر اقلیم با تغییرات و نوسان‌های رخ داده در منطقه پژوهشی ارتباطی نداشت. در استان کردستان، حجازی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش را بر اساس سناریوهای واداشت تابشی بررسی کردند. آنها از داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دمای ۶ ایستگاه همدید در طول دوره آماری (۲۰۱۶-۱۹۹۰) استفاده کردند و تغییرات آنها را در دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) با استفاده از مدل جهانی HadGEM2 با دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 و ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG6 بررسی کردند. همچنین، این پژوهشگران برای بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی از ۲۷ شاخص مربوط به بارش و دما و نرم‌افزار Rclimindex استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که روند بارش‌های فرین در بیشتر ایستگاه‌ها منفی، کاهش و معنادار بود. ازسوی دیگر، نتایج بررسی چشم‌انداز تغییرات اقلیمی نیز نشان داد در دوره آینده اندازه بارش کاهش خواهد یافت. در چین، هونگ و ینگ (۲۰۱۹)، ویژگی‌های دما و بارش شدید سال ۲۰۱۷ را بر اساس شاخص‌های ETCCDI بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که افزایش دما در شمال چین بیشتر از جنوب چین بود و میانگین شاخص‌های حدی بارش در چین (۷ شاخص از ۱۰ شاخص حدی بارش) در سال ۲۰۱۷ در محدوده‌ای از انحراف استاندارد بود که نشان‌گر وضعیت عادی بارندگی حدی در سال ۲۰۱۷ بود. فتحیان و همکاران (۲۰۲۰)، تأثیر تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ بر تغییر اقلیم ارزیابی کردند. آنها از آزمون ناسنجه‌ای من-کندال و برآوردگر شیب‌سن برای بررسی روند داده‌های انتخاب شده استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد روند شاخص‌های گرم مانند تعداد روزهای گرم، افزایشی بود. نتایج بررسی شاخص‌های حدی بارش در بیشتر ایستگاه‌های انتخاب شده نشان داد که روند اندازه و شدت بارش کاهش بود ولی روند تعداد روزهای خشک متوالی (CDD) افزایشی بود. همچنین، مناطق غربی، شمالی و شمال غربی ایران بیشتر تحت تأثیر تغییر اقلیم بوده‌اند. گوپتا و همکاران (۲۰۲۰)، رویدادهای باران شدید در آبریز فوقانی آبخیز رود سیرمانی در هند را بررسی کردند. نتایج تجزیه و تحلیل روند مبتنی بر من-کندال به‌وسیله این پژوهشگران نشان داد که روند بیشتر شاخص‌های حدی بارش در حد ناچیزی افزایشی

جدول ۱- معرفی شاخص‌های حدی بارندگی.

Table 1- Introduction of extreme precipitation indices.

Unit	Description of the Index	Symbols
Day	The number of days in a month with precipitation greater than 10 mm.	R10mm
Day	The number of days in a month with precipitation greater than 20 mm.	R20mm
Day	The number of days in a month with precipitation greater than 25 mm.	R25mm
mm	Maximum daily precipitation.	RX1day
mm	Days with annual total precipitation exceeding the 95th percentile.	R95P
mm	Days with annual total precipitation exceeding the 99th percentile.	R99P
mm	Annual precipitation amount on wet days.	PRCPTOT

D: تعداد دسته‌ها با داده‌های مساوی برای گروه مشخصی از داده‌های یک ایستگاه در سال‌های گوناگون برای متغیر خاص است. در این پژوهش، S_{gk} با استفاده از رابطه ۴ بهنجار شد (پاندا و همکاران ۲۰۰۷).

$$S'_{gk} = S_{gk} - \text{sgn}(S_{gk}) \quad (۴)$$

در این پژوهش آزمون Z استاندارد شده با توزیع بهنجار استاندارد و با میانگین صفر و واریانس ۱، با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$Z_{gk} = \frac{S'_{gk}}{(V(S))^{1/2}} \quad (۵)$$

در این پژوهش، نبودن روند در سطح معنی‌داری α (فرض صفر) به شرط زیر پذیرفته شد.

$$-Z_{1-\alpha/2} < Z_{gk} < Z_{1+\alpha/2} \quad (۶)$$

تعیین روند مکانی داده‌ها

تغییرات مکانی تحت تأثیر عامل‌هایی مانند پستی‌بلندی، اقلیم و نوع پوشش است. در این پژوهش، رفتار مناطق جغرافیایی از نظر شاخص‌های محاسبه‌ای بررسی شد. روش‌های معمول میان‌یابی شامل سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و IDW است، که در این پژوهش بر اساس خطای کمتر روش در مقایسه با روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ، روش IDW استفاده شد. در روش نامبرده فرض بر این است که اندازه هم‌بستگی و تشابه میان همسایه‌ها یا فاصله میان آن‌ها متناسب است که می‌توان آن‌را به شکل تابعی با معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد. تعریف شعاع همسایگی و توان مربوط به تابع عکس فاصله از مسایل مهم در این روش به‌شمار می‌آید. در این روش در شرایطی که نقاط نمونه به اندازه کافی با پراکنش مناسب در سطوح مقیاس محلی باشد، استفاده می‌شوند که در این پژوهش با استفاده از رابطه ۷ مشخص شد (پورنومو

تعیین روند زمانی داده‌ها

به‌منظور بررسی روند زمانی داده‌ها از آزمون ناسنجه‌ای من-کندال استفاده شد. آزمون من-کندال نخست به‌وسیله من (۱۹۴۵) پیشنهاد شد. سپس، به‌وسیله کندال (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک گروه زمانی گسترش یافت. آزمون من-کندال، آزمونی ناسنجه‌ای رتبه‌ای است و در تحلیل روند گروه‌های آب‌شناختی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. از مزایای این روش قابل استفاده بودن آن برای انواع داده‌های تصادفی و ناقص است. در روش من-کندال اصلی داده‌های گروه زمانی n سال برای t ایستگاه جمع‌آوری می‌شود و هر داده به‌شکل X_{igk} نشان داده می‌شود. شاخص من-کندال برای گروه داده‌ها (S_{gk}) که مجموع علامت‌های تفاضل‌های متوالی مشاهده‌ای است، در این پژوهش به‌شکل رابطه ۱ تعیین شد (پاندا و همکاران ۲۰۰۷). در این شاخص $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بود و به‌شکل رابطه ۲ تعریف شد.

$$S_{gk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_{jgk} - X_{igk}), \forall 1 \leq i < j \leq n \quad (۱)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

I: نشانگر سال، g نشانگر ماه و k نشانگر ایستگاه است. اگر n بزرگ‌تر یا برابر ۱۰ باشد، توزیع آماره S تقریباً بهنجار خواهد بود (من و کندال ۱۹۷۵). در این پژوهش انحراف معیار با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$V(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \quad (۳)$$

جدول ۲- اندازه‌های شاخص‌های خطاسنجی میان اندازه‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره پایه.

Table 2- Relative bias (%) and mean differences between simulation-based and observation-based extreme indices during the baseline period.

Station	R99P(mm)		R95P(mm)		RX1day(mm)		Rnmm(day)		R20mm(day)		R10mm(day)		PRCPTOT (mm)	
	MDs	RB	MDs	RB	MDs	RB	MDs	RB	MDs	RB	MDs	RB	MDs	RB
Abadan	-2.46	0.24	0.00	-0.75	-20.68	-0.46	20.47	0.00	0.46	-0.27	0.49	-0.12	20.08	-0.14
Ahvaz	-2.85	0.14	0.00	0.19	-30.90	-0.86	-10.05	0.00	-1.15	0.43	-3.24	0.49	-68.78	0.35
Anzali	-69.62	0.36	-0.05	0.04	-1.02	-0.91	-19.69	1.00	-0.55	0.02	0.75	-0.02	45.42	-0.03
Arak	-19.72	0.24	-24.99	0.00	-6.69	-0.17	-2.63	0.87	-2.66	0.97	-2.87	0.32	-11.31	0.04
Ardebil	-10.70	0.22	-3.14	-0.50	-4.96	-0.17	0.03	0.18	-0.53	0.44	-0.61	0.09	-24.28	0.09
Babolsar	-42.53	-0.02	0.00	0.36	0.70	0.01	-77.33	0.00	-0.11	0.01	0.11	0.01	0.24	0.02
Bam	-0.99	0.00	0.00	0.06	-4.09	-0.22	0.03	-0.50	-0.18	1.17	-0.37	0.26	-12.45	0.24
Bandarabas	-3.14	0.00	0.00	-0.45	2.81	0.06	21.93	0.00	-0.13	0.05	-0.47	0.09	-8.95	0.06
Bandarlanghe	-19.46	0.00	0.03	-1.00	-4.96	-0.12	39.83	-1.00	-0.08	0.04	0.03	-0.01	-4.34	0.04
Birjand	1.86	-0.72	4.55	-0.07	-0.15	-0.01	0.00	0.00	-0.08	0.10	0.26	-0.06	2.86	-0.02
Bojnord	-31.54	0.60	-6.21	1.03	-2.77	-0.11	0.37	-0.93	-0.21	0.19	0.13	-0.02	-4.64	0.02
Boshehr	-17.16	0.22	-10.51	0.25	-2.35	-0.05	-2.63	0.00	-2.39	-0.09	-2.55	-0.02	0.68	-0.04
Esfahan	-29.42	0.29	-12.83	0.26	-12.68	-0.23	0.00	0.00	0.16	-0.03	-0.05	0.00	-5.36	0.01
Gorgan	8.60	0.85	-12.58	-0.15	0.81	0.03	0.03	-0.50	0.42	-0.19	1.63	-0.19	50.91	-0.17
Hamedan	-1.48	0.34	26.14	-0.01	-16.83	-0.23	0.00	0.00	0.03	0.00	0.94	0.05	6.89	0.01
Ilam	0.73	0.00	0.00	-0.02	-1.97	-0.07	0.00	0.00	0.08	-0.06	-0.32	0.10	-8.27	0.08
Iranshahr	0.52	0.77	-9.95	-0.11	-2.97	-0.14	-2.66	-1.00	-2.26	-0.44	-2.02	-0.20	7.65	-0.11
Jask	30.41	0.00	0.00	-0.50	-6.15	-0.14	0.00	0.16	-0.26	0.16	-0.55	0.16	-11.81	0.11
Karaj	-56.36	0.04	46.83	-0.15	-15.85	-0.56	1.39	0.00	5.61	0.07	0.42	-0.06	-7.01	0.03
Kashan	1.65	-0.35	1.51	-0.07	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	-0.14	-0.18	0.05	-3.43	0.03
Kerman	-1.94	-0.30	2.93	0.08	-0.30	-0.01	0.03	-0.50	-0.08	0.12	-0.03	0.01	-2.58	0.02
Kermanshah	-20.05	1.29	-33.88	0.21	-1.90	-0.04	0.00	0.00	0.08	-0.02	-0.11	0.01	-12.23	0.03
Koramabad	5.69	-0.11	-3.69	0.06	-6.42	-0.13	0.00	0.00	0.24	0.04	-0.46	-0.03	-1.42	0.00
Khoys	6.23	1.15	-15.26	-0.11	-2.06	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	-0.16	10.11	-0.04
Kish	-20.77	0.00	-7.49	0.58	-2.70	-0.06	0.00	0.00	0.61	-0.25	0.58	-0.13	11.11	-0.08
Mashhad	-24.11	0.00	-7.66	0.67	12.80	0.44	0.00	0.00	0.34	-0.14	-2.95	0.64	-100.71	0.68
Gazvin	21.27	-0.37	5.41	-0.30	1.18	0.04	0.00	0.00	0.03	-0.01	0.89	-0.09	7.51	-0.02
Gom	-11.10	1.15	-7.87	0.50	-2.08	-0.10	0.00	0.00	-0.19	0.33	0.05	-0.02	-5.45	0.04
Ramsar	-86.61	0.93	-109.10	0.19	-11.77	-0.07	0.00	0.00	-0.05	0.00	1.26	-0.04	-32.77	0.03
Rasht	28.91	0.26	-25.81	-0.09	3.20	0.04	0.00	0.00	1.13	-0.05	2.39	-0.06	60.66	-0.05
Sabzevar	-1.73	-0.49	6.83	0.05	-4.97	-0.18	0.00	0.00	-0.32	0.31	-0.13	0.02	-12.75	0.07
Saghez	43.69	-0.84	31.24	-0.40	1.03	0.03	-0.03	1.00	0.76	-0.17	0.71	-0.05	28.02	-0.06
Sanandaj	8.70	0.16	-3.28	-0.09	-0.81	-0.02	0.00	0.00	0.26	-0.07	1.03	-0.08	18.66	-0.05
Semnan	5.36	0.50	-0.98	-0.20	-1.48	-0.07	0.00	0.00	-0.18	0.35	0.05	-0.01	-1.77	0.01
Shahreford	-21.18	-0.22	3.90	0.33	-1.31	-0.03	0.00	0.00	0.24	-0.07	0.66	-0.06	9.32	-0.03
Shirood	10.00	-0.57	7.44	-0.31	-1.42	-0.06	0.00	0.00	-0.08	0.09	-0.08	0.02	-2.93	0.02
Shiraz	28.26	0.17	2.48	0.75	-1.42	-0.09	-0.03	-1.00	-0.35	-0.07	-0.62	-0.06	-18.68	-0.06
Tabas	-2.12	-0.67	4.28	0.11	-1.61	-0.10	0.08	-0.75	-0.08	0.30	0.21	-0.10	-3.50	0.05
Tabriz	-4.86	0.31	2.92	-0.12	-1.00	-0.04	0.00	0.00	-0.11	-0.12	-0.16	-0.02	-0.83	0.00
Tehran	6.19	0.55	10.07	0.14	0.44	0.09	0.03	0.33	0.13	0.08	-0.11	-0.02	4.69	0.02
Torbathedariye	-7.30	-0.30	6.78	0.16	-0.25	-0.10	0.03	-0.50	-0.61	0.29	-1.16	0.15	-34.55	0.15
Urmia	20.12	-0.60	15.14	-0.23	-2.60	-0.07	0.03	-0.50	-0.29	0.11	0.21	-0.02	-0.89	0.00
Yasoj	26.09	-0.53	17.35	-0.24	-1.06	-0.20	0.00	0.00	-0.26	0.02	-0.47	0.02	-56.05	0.07
Yazd	3.79	-0.09	3.35	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.02	0.11	0.12	-0.01	0.62	0.02
Zabool	-1.37	0.00	0.00	0.27	-0.15	-0.09	0.00	0.00	-0.08	0.33	0.03	-0.02	1.06	-0.02
Zahedan	11.45	0.00	0.00	-0.49	-0.25	-0.01	0.00	0.00	-0.03	0.08	0.18	-0.09	6.68	-0.10
Zanjan	-18.80	0.25	2.72	-0.30	-0.69	-0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	15.52	0.06

نتایج امتیاز ویلموت در همه شاخص‌ها به جز R95P، میان اندازه‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌شده تطابق خوبی را نشان داد که اندازه‌های WS آن‌ها برای کل منطقه بیش از ۰/۳ بود (۰/۳۱ تا ۱/۰۰)، در حالی که عمل کرد شاخص R95P در مقایسه با دیگر شاخص‌ها مطلوب نبود و فقط اندازه‌های WS مناسب (۰/۳۳ تا ۱/۰۰) در ۵ ایستگاه آبادان، اهواز، بندر انزلی، بابلسر و یزد از ۴۷ ایستگاه در منطقه مطالعه‌شده به دست آمد. افزون بر این، اندازه RB نشان داد که شاخص‌ها در بیشتر مناطق، کمتر از حد مشاهده‌شده، برآورد شده‌اند. بیشترین اندازه WS در ایستگاه یزد مربوط به شاخص‌های PRCPTOT، R20mm، R10mm، RX1day و R99P بود، در حالی که کمترین اندازه‌های WS به ترتیب در ایستگاه‌های قزوین، شیراز، آبادان، بوشهر و زنجان به دست آمد. بر اساس اندازه WS بیشترین تطابق میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده مربوط به شاخص PRCPTOT بود، در حالی که عمل کرد مدل در شاخص R95P مناسب نبود و کمترین اندازه WS در ایستگاه‌های اراک، بجنورد، بوشهر، ایلام، اصفهان، خرم‌آباد، یاسوج و زنجان به دست آمد. از این رو، این شاخص در ادامه بررسی‌ها حذف شد. نتایج مقایسه اندازه‌های RB در ایستگاه‌های گوناگون، نشان داد که بیشترین دقت مدل در شبیه‌سازی شاخص‌های حدی بارش در

ایستگاه‌های رشت، گرگان، ایرانشهر، سنج، سزد و زابل بود. اندازه‌های $RB \leq \pm 25\%$ نشان‌دهنده عمل کرد قابل قبول مدل است. از این رو، نتایج شاخص PRCPTOT نشان‌دهنده دقت زیاد مدل بود و در ۴۴ ایستگاه مدل دقت خوبی داشته است. همچنین، شبیه‌سازی شاخص R10mm در ۸۳٪ از ایستگاه‌های مطالعه‌شده قابل قبول بود. در حالی که شبیه‌سازی شاخص R95P فقط در یک سوم از ایستگاه‌ها قابل قبول بود. بر اساس نتایج شاخص PRCPTOT، بیشترین اندازه MD در ایستگاه مشهد به دست آمد، در حالی که کمترین اندازه‌های MD در ایستگاه بابلسر به دست آمد. بر اساس اندازه MD بیشترین تطابق میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده برای شاخص‌های R10mm و R20mm بود، در حالی که عمل کرد مدل در شاخص R95P و R99P مناسب نبود. باید توجه داشت که بر اساس نتایج جدول ۲ و شکل ۳ اندازه‌های زیاد WS همیشه نشان‌دهنده تفاوت کم میان شاخص‌های حدی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده نیست و در برخی ایستگاه‌ها به رغم اندازه‌های زیاد WS، اندازه‌های RB و MD کم بود. از این رو، عمل کرد مدل‌ها مناسب نبود. در مجموع اندازه‌های آماره‌های خطاسنجی نشان داد که مدل‌ها در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و پیش‌بینی شاخص‌های حدی بارش عمل کرد مناسبی داشتند. فرخزاده و همکاران

خواهد یافت. همچنین، ایستگاه‌هایی که بارش بیشتری داشتند (ایستگاه‌های رامسر و رشت) شیب کاهشی بیشتری نیز داشتند. از سوی دیگر، افزایش این شاخص نشان‌دهنده‌ی افزایش مجموع بارندگی سالانه در مقایسه با روزهای مرطوب است. بنابراین، مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌های اردبیل، بندرعباس، بندر لنگه، بیرجند، بجنورد، بوشهر، اصفهان، همدان، ایلام، ابرانشهر، جاسک، خرم‌آباد، کیش، مشهد، قم، سبزوار، شهرکرد، شاهرود، شیراز، یزد، زابل و زنجان افزایش خواهد یافت. همچنین، ایستگاه‌های یاسوج، خرم‌آباد و شیراز شیب افزایشی بیشتری داشتند. روندهای معنی‌دار افزایشی و کاهشی به‌ترتیب ۲۵/۵۳٪ و ۲۷/۶۶٪ از کل روندها را تشکیل دادند. دیگر شاخص‌ها نیز روندهای معنی‌دار داشتند، اما سهم آن‌ها کمتر از ۳۰٪ بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های جهان‌بخش اصل و همکاران (۲۰۱۵)، کوزه‌گران و موسوی‌بایگی (۲۰۱۵)، علوی‌نیا و همکاران (۲۰۲۲)، جوکار و همکاران (۲۰۲۱)، زند و همکاران (۲۰۲۳)، اسکندری و همکاران (۲۰۲۴)، فتحیان و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. در پژوهشی رحیم‌زاده (۲۰۰۶) تغییرات اندازه‌های حدی بارش در ایران را بررسی کرد. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که روند شاخص‌های بارش در کشور مانند دیگر نقاط دنیا از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند و این روند در برخی مناطق افزایشی و در برخی مناطق کاهشی بود و فاصله از منابع رطوبتی و موقعیت جغرافیایی از عامل‌های مؤثر بر تغییرات شاخص PRCPTOT بود.

(۲۰۱۸)، عسکری‌زاده و همکاران (۲۰۱۸)، گودرزی و چوبه (۲۰۱۹)، محمدی و همکاران (۲۰۱۷)، کاظمی‌راد و مدبری (۲۰۲۳) گزارش کردند که عمل‌کرد مدل LARS-WG در ریزمقیاس نمایی و شبیه‌سازی داده‌های بارش مناسب بوده است.

ارزیابی اندازه‌های شاخص‌های حدی در دوره‌ی پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۲)

اندازه‌های میانگین سالانه شاخص‌های حدی بارش و شیب میانگین روند زمانی هر شاخص در دوره‌ی پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۲) در ایستگاه‌های مطالعه‌شده در جدول ۳ آورده شده است. به‌طور کلی، روند بیشتر شاخص‌های حدی بارش در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه‌شده در دوره‌ی نامبرده کاهشی بود. شاخص PRCPTOT بیانگر اندازه‌ی سالانه‌ی بارش در روزهای تر است. از این‌رو، در این پژوهش کاهش این شاخص نشان‌دهنده‌ی کاهش مجموع بارندگی سالانه در مقایسه با روزهای مرطوب و خشک‌سالی بود. نتایج شاخص حدی PRCPTOT نشان داد که حدود ۵۰٪ از تغییرات این شاخص معنی‌دار بود. بر این اساس نیمی از ایستگاه‌های هم‌دید منتخب در دوره‌ی آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۲ با پدیده خشک‌سالی مواجه خواهند بود. بنابراین مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، اراک، بابلسر، بم، گرگان، کرج، کرمانشاه، خوی، رامسر، طیس، تبریز، تهران، تربت حیدریه، ارومیه، زاهدان، قزوین، سقز، سنندج، سمنان، کاشان، کرمان، کرمانشاه، رشت و بندر انزلی کاهش

جدول ۳- میانگین سالانه و روند شاخص‌های حدی بارش در ایستگاه‌های همدید ایران در دوره ۱۹۸۵-۲۰۲۲.

Table 3- Mean annual values of extreme precipitation indices and the corresponding averaged slope of trend at each station during the historical period of 1987-2022 in Iran.

Station	RX1day(mm)		Rnmm(day)		R99p(mm)		R20mm(day)		R10mm(day)		PRCPTOT (mm)	
	Slope	Mean	Slope	Mean	Slope	Mean	Slope	Mean	Slope	Mean	Slope	Mean
Abadan	-1.97	34.78	0.00	0.03	-2.61	10.56	-0.12	1.71	-0.09	4.15	-5.52	144.19
Ahvaz	3.78	17.45	0.00	0.03	-1.27	19.92	0.00	2.68	0.00	6.59	-0.27	197.03
Anzali	4.56	10.74	2.70	-49.92	2.70	51.49	3.32	-35.29	3.89	-25.74	4.55	825.89
Arak	0.03	35.72	0.00	6.42	1.52	66.37	0.03	2.78	0.03	9.05	-0.19	294.64
Ardebil	0.21	24.23	0.00	17.54	1.31	48.36	0.05	1.18	0.05	6.53	1.75	255.74
Babol	0.14	85.14	0.00	0.03	0.00	65.22	-0.16	14.16	0.11	28.32	-0.92	892.40
Bam	-0.30	14.58	0.00	0.00	-0.62	16.32	-0.03	0.16	-0.03	1.39	-0.38	51.33
Bandarabas	1.11	48.55	0.00	0.03	0.00	0.00	0.08	2.53	0.11	5.00	4.96	162.02
Bandarlengh	1.70	35.45	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	1.79	0.08	4.13	3.29	119.16
Birjand	0.08	21.19	0.00	6.33	0.00	26.81	0.00	0.76	0.03	4.58	0.28	145.45
Bojnord	0.07	23.29	0.00	10.28	0.00	30.74	0.00	1.11	0.05	6.16	1.01	235.33
Boshehr	0.16	48.84	0.00	23.00	0.16	40.74	0.08	1.37	0.05	4.79	1.71	240.37
Esfahan	1.44	43.39	2.22	44.03	1.81	113.37	-0.05	5.42	-0.05	15.63	0.76	490.21
Gorgan	-0.63	31.67	0.00	14.88	-0.95	56.09	-0.03	2.24	-0.16	8.55	-2.55	295.68
Hamedan	0.68	27.69	3.81	120.27	2.78	-2.67	3.03	14.89	10.96	528.37	0.27	72.57
Ilam	0.27	26.71	0.00	0.00	2.05	36.11	0.08	1.24	0.11	3.32	2.72	100.20
Iranshahr	0.05	18.50	0.00	6.87	0.00	25.46	0.00	-1.79	0.03	0.66	0.73	114.68
Jask	0.26	37.03	0.00	0.00	0.00	60.72	0.05	1.63	0.14	3.37	2.55	112.48
Karaj	-0.22	12.57	-1.78	66.36	0.00	0.03	-0.08	7.13	-0.08	7.13	-2.41	242.01
Kashan	-0.34	19.43	0.00	4.36	-0.46	24.30	0.00	0.58	-0.03	3.39	-0.88	120.93
Kerman	-0.35	21.00	-0.78	9.80	-0.78	24.32	-0.03	0.68	0.05	3.37	-0.37	120.04
Kermanshah	-0.19	43.55	0.00	26.31	-1.05	94.74	-0.05	4.71	-0.19	13.34	-4.95	407.32
Koramabad	3.48	44.59	2.70	30.69	2.70	96.03	2.78	3.95	2.97	12.92	10.84	459.60
Khoy	-0.56	25.89	-1.05	13.31	-1.29	58.62	-0.05	1.29	-0.05	7.45	-2.18	254.33
Kish	0.27	42.18	0.00	0.00	0.00	35.78	0.03	2.39	0.08	4.63	2.26	147.03
Mashhad	0.27	42.18	0.00	0.00	0.00	35.78	0.03	2.39	0.08	4.63	2.26	147.03
Gazvin	-0.12	29.09	0.00	14.77	-0.66	71.40	-0.03	2.26	-0.11	9.50	-2.54	301.23
Gom	3.19	13.73	2.70	1.24	3.19	15.89	2.70	-4.71	2.75	-2.05	5.10	122.23
Ramsar	-2.11	151.48	-4.81	117.25	-8.00	464.94	-0.16	16.13	-0.30	31.00	-8.51	1229.64
Rasht	-2.84	92.93	-8.67	98.80	-10.32	317.87	0.03	20.97	-0.05	40.50	-10.05	1300.42
Sabzevar	-0.20	10.04	0.00	34.08	0.00	0.03	0.00	5.97	-0.51	175.63	0.01	27.51
Saghez	-0.30	40.21	-1.05	37.20	-1.36	110.43	-0.05	4.58	-0.08	14.92	-3.65	446.74
Sanandaj	0.32	38.08	0.00	20.84	0.41	95.38	-0.03	3.82	-0.43	12.84	-5.50	377.61
Semnan	-0.16	20.98	0.00	1.98	0.00	26.68	0.00	0.53	-0.05	3.63	-1.38	128.71
Shahrkord	-0.19	38.47	0.00	17.55	-0.30	64.70	0.05	3.50	0.22	11.00	2.19	308.87
Shrood	-0.19	21.81	0.00	13.09	-0.46	32.21	0.00	0.84	-0.03	3.74	0.01	143.17
Shiraz	3.62	41.19	2.70	11.33	2.70	33.89	2.84	1.95	2.94	7.37	9.44	300.30
Tabas	0.06	14.32	0.00	6.41	0.39	18.54	0.00	0.26	0.00	2.03	-0.29	75.91
Tabriz	0.15	22.51	0.00	9.35	0.00	39.96	0.00	0.89	0.00	6.53	-2.17	242.87
Tehran	-0.12	26.30	0.00	18.46	-0.57	45.59	-0.03	1.58	-0.08	6.74	-2.21	226.71
Torbatydaric	-0.14	29.54	0.00	22.84	-0.70	44.84	-0.03	2.05	-0.05	7.95	-2.17	236.18
Urmia	-0.05	33.77	0.00	25.38	-0.58	86.40	-0.03	2.58	-0.03	9.37	-1.08	301.91
Yasoj	4.27	62.46	2.70	21.37	2.70	89.82	2.97	4.40	3.35	13.43	20.69	712.99
Yazd	1.08	13.82	0.00	0.00	1.30	12.97	0.03	0.16	0.03	1.13	1.31	49.57
Zabool	0.36	13.46	0.00	0.00	0.00	5.08	0.00	0.24	0.03	1.24	0.98	48.08
Zahedan	0.05	17.93	0.00	0.00	-0.81	23.22	0.00	0.34	-0.08	2.08	-1.27	70.27
Zanjan	3.24	-38.56	2.70	-9.52	3.73	33.51	2.73	-17.27	2.81	-12.64	7.94	188.66

ارزیابی تغییرات اندازه بارش

نتایج بارش شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های همدید کشور برای دوره مشاهده‌ای و دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۰) با سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در جدول ۴ آورده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات بارش سالانه در ایستگاه‌های همدید کشور بکناخت نبود (جدول ۴). در هر دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 بارش در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بندر انزلی، اردبیل، بابل، بام، بندر عباس، بندرلنگه، بیرجند، بوشهر، گرگان، همدان، ایرانشهر، جاسک، کرج، کرمان، مشهد، قزوین، سبزوار، سمنان، شاهرود، شیراز، طبس، تبریز، تهران، تربت حیدریه، یاسوج، یزد، زابل و زنجان افزایش یافت. در ایستگاه‌های اصفهان، خوی، رشت، سنندج و ارومیه بارش سالانه در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۲) و با هر دو سناریو کاهش یافت. نتایج سناریوهای

مختلف در ایستگاه‌های زاهدان، شهرکرد، سقز، رامسر، قم، کیش، کرمانشاه، خرم‌آباد، کاشان، ایلام، بجنورد و اراک متفاوت بود. همچنین، بیشترین افزایش بارش در ایستگاه بم و با سناریوی SSP5-8.5 و به اندازه ۵۹/۸۱٪ (۳۲/۳۲ میلی‌متر) و کمترین افزایش بارش در ایستگاه سقز و با سناریوی SSP1-2.6 و به اندازه ۰/۳۳٪ (۱۵/۰ میلی‌متر) بود، در حالی که بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه کیش و با سناریوی SSP5-8.5 و به اندازه ۱۱/۶۳٪ (۱۷/۲۳ میلی‌متر) و کمترین افزایش بارش در ایستگاه کاشان و با سناریوی SSP5-8.5 و به اندازه ۰/۵۵٪ (۰/۶۷ میلی‌متر) بود. نتایج پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اثر تغییر اقلیم بر بارش مناطق گوناگون و با سناریوهای متفاوت، متفاوت است (بذرافشان مقدم ۲۰۱۶، دولابیان ۲۰۱۷، توانگر و همکاران ۲۰۱۹).

جدول ۴- بارش سالانه مشاهده شده و شبیه سازی شده با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5.

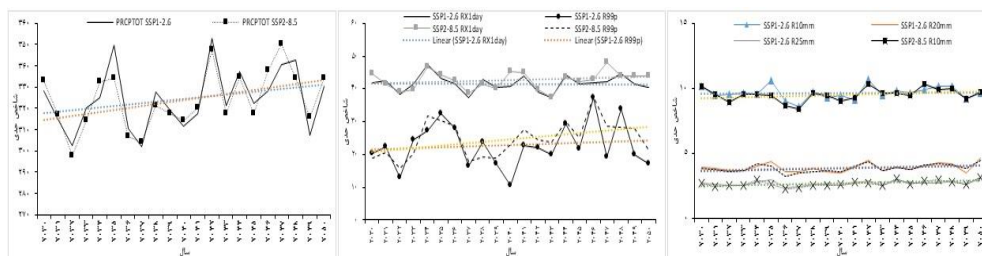
Table 4- Observed and simulated annual precipitation under SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios.

Station	Future Period		Base period	
	SSP5-8.5	SSP1-2.6	Simulated	Observed
Abadan	174.08	188.39	154	146.84
Ahvaz	169.29	154.83	150.25	146.84
Anzali	1671.97	1770.73	1689.36	1566.1
Arak	283.13	311.26	293.35	300.28
Ardebil	304.72	321.15	270.64	269.36
Babolsar	918.47	970.8	910.55	900.58
Bam	81.2	86.36	57.94	54.04
Bandarabas	213.95	245.25	152.61	163.82
Bandarlenghe	137.91	170.8	131.78	120.13
Birjand	153.48	160.09	144	150.49
Bojnord	227.78	247.75	256.59	246.65
Boshehr	318.4	314.37	261.78	250.19
Esfahan	517.58	570.8	522.25	500.55
Gorgan	236.23	252.59	279.05	231.39
Hamedan	510.13	579.71	540.67	550.62
Ilam	119.04	128.15	114.64	102.47
Iranshahr	108.29	114.73	122.63	119.66
Jask	120.04	130.37	103.51	113.31
Karaj	254.83	276.15	248.35	249.34
Kashan	121.5	136.84	125.49	122.17
Kerman	136.05	140.44	124.65	124.66
Kermanshah	394.88	436.29	428.41	402.4
Koramabad	448.43	500.86	474.26	476.53
Khoy	249.13	257.98	269.53	264.06
Kish	130.86	166.01	155.59	148.09
Mashhad	277.8	291.06	241.68	241.41
Gazvin	323.83	347.16	301.56	309.03
Gom	134.96	151.9	149.8	143.72
Ramsar	1193.21	1250.73	1311.32	1239.95
Rasht	1231.57	1300.01	1329.5	1309.27
Sabzevar	197.52	215.29	176.71	183
Saghez	404.7	453.6	468.15	453.45
Sanandaj	341.76	377.7	379.51	384.22
Semnan	144.68	161.3	131.3	118.75
Shahrekord	280.93	300.46	331.36	291.03
Shhrud	162.24	180.67	156.54	150.37
Shiraz	349.7	347.08	358.48	313.99
Tabas	83.81	86.87	85.19	79.85
Tabriz	274.31	292.18	266.81	253.63
Tehran	235.47	264.23	236.02	233.5
Torbathedariye	298.41	305.56	182.005	242.64
Urmia	283.7	309.31	317.78	309.81
Yasoj	887.95	931.61	753.49	781.87
Yazd	59.32	64.31	50.18	53.82
Zabool	52.5	58.05	53.11	51
Zahedan	68.62	76.91	75.28	73.6
Zanjan	299.92	325.39	308.15	265.77

بررسی شده برای منطقه مطالعه شده، روند افزایشی خواهند داشت. از آنجایی که این نمودار فقط روند کلی شاخص های حدی از ابتدا تا انتهای دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ را نشان می دهد، نمی تواند ابزار مناسبی برای بررسی و مقایسه شاخص های حدی در دوره پایه (۲۰۲۲-۱۹۸۵) و دوره آینده باشد. از این رو، میانگین هر شاخص محاسبه شد و سپس میانگین دوره ها برای هر ایستگاه همپدید منتخب بررسی شد.

تغییرات شاخص های حدی بارش در ایستگاه های همپدید ایران در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰

متغیرهای کمینه دما، بیشینه دما و بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ با استفاده از مدل LARS-WG برآورد شد و سپس برای محاسبه اندازه های بارش های حدی استفاده شد. تغییرات زمانی میانگین شاخص های حدی بارش در ایران در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۰) در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، در طول دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۰ هر شش شاخص حدی



شکل ۳- تغییرات زمانی شاخص های حدی بارش در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۰) در کل ایران.

Figure 3- Temporal variation of the spatially averaged extreme precipitation indices for Iran during the future period.

این پژوهش اندازه این شاخص در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ مقایسه با دوره ۲۰۲۲-۱۹۸۵ با هر دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در ایستگاه‌های بابلسر، بندرعباس، بندرلنگه، گرگان، ایلام، ابرانشهر، کرج، خرم‌آباد، قزوین، سمنان، شهرکرد، شیراز، تربت حیدریه، یاسوج، یزد و زنجان افزایش و در ایستگاه‌های اهواز، اردبیل، بم، بیرجند، بجنورد، بوشهر، همدان، کرمان، کرمانشاه، مشهد، قم، رامسر، سبزوار، سمنان، شاهرود، طبرستان، تبریز، تهران، ارومیه، زابل و زاهدان کاهش خواهد داشت. عمل‌کرد سناریوها در ایستگاه‌های بندرانزلی، اراک، اصفهان، جاسک، کاشان، خوی، کیش، رشت و سقز متفاوت بود. بیشترین افزایش شاخص R10mm در ایستگاه بندرانزلی و با سناریوی SSP5-8.5 بود. به طوری که در این ایستگاه اندازه R10mm برای دوره آینده با سناریوی SSP5-8.5 برابر با ۴۵/۷۵ محاسبه شد، در حالی که در دوره پایه این شاخص ۹/۰۵ میلی‌متر بود و به اندازه ۳۶/۵۲ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در حالی که بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه اهواز و با سناریوی SSP5-8.5 و به اندازه ۴۴/۶۶ میلی‌متر (۹۲٪) خواهد بود. نتایج نشان داد که بیشینه این شاخص در ایستگاه‌های آبخیز دریای خزر و کمینه آن در مناطق جنوب و شرق ایران بود. ایستگاه‌هایی که مجموع سالانه بارش بیشتری داشتند، کاهش بیشتری در شاخص R10mm نیز خواهند داشت (شکل ۴). بر اساس این یافته‌ها می‌توان گفت در ایران بارش‌های سنگین تحت شرایط تغییر اقلیم آینده افزایش خواهند داشت. نتایج این پژوهش با یافته‌های توانگر و همکاران (۲۰۱۹) و زرین و داداشی رودباری (۲۰۲۲) هم‌راستا است. جعفرزاده (۲۰۱۶) گزارش کرد که بیشترین کاهش شاخص R10mm تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه همدید بندرانزلی خواهد بود. در حالی که کوزه‌گران (۲۰۱۷) گزارش کرد کاهش اندازه شاخص R10mm با سناریوهای تغییر اقلیم در تربت حیدریه، بیرجند و طبرستان خواهد بود.

مقایسه شاخص R20mm در دوره پایه و آینده

نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد رخداد‌های حدی بیشتر از ۲۰ میلی‌متر با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5، در ایستگاه‌های اهواز، بندرانزلی، اراک، بجنورد، همدان، اصفهان، خوی و کیش کاهش یافت (شکل ۴). بیشترین کاهش اندازه شاخص در ایستگاه بندرانزلی و به اندازه ۸/۸۷٪ بود. فتحیان و همکاران (۲۰۲۰)، رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که ایستگاه‌های شمال ایران بیشترین کاهش شاخص R20mm را داشته‌اند. در ایستگاه‌های بابلسر، ایلام، کاشان و خرم‌آباد، عمل‌کرد سناریوهای تغییر اقلیم متفاوت بود. در پژوهشی عسگری‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند عمل‌کرد سناریوهای تغییر اقلیم در رابطه با شبیه‌سازی R20mm متفاوت بود. در حالی که در ایستگاه‌های آبادان، اردبیل، بم، بندرعباس، بندرلنگه، بیرجند، بوشهر، گرگان، ابرانشهر، جاسک، کرج، کرمان، کرمانشاه، مشهد، قزوین، قم، رامسر، رشت، سبزوار،

مقایسه شاخص PRCPTOT در دوره پایه و آینده

پراکنش مکانی مجموع بارش سالانه (PRCPTOT) مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده با سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در شکل ۴ نشان‌دهنده شده است. بر اساس نتایج هر دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5، اندازه بارش سالانه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ در ایستگاه‌های آبادان، اردبیل، بابلسر، بم، بندرعباس، بندرلنگه، بیرجند، بوشهر، گرگان، ابرانشهر، جاسک، کرمان، مشهد، قزوین، سبزوار، سمنان، شاهرود، شیراز، طبرستان، تربت حیدریه، یاسوج، یزد، زابل و زنجان افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر، با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 اندازه بارش سالانه در ایستگاه‌های اهواز، بجنورد، همدان، اصفهان، خوی، رامسر، رشت، سقز، سمنان، شهرکرد و ارومیه کاهش خواهد یافت. در دیگر ایستگاه‌های همدید بررسی‌شده عمل‌کرد سناریوها متفاوت بود. بیشترین افزایش بارش سالانه در ایستگاه ابرانشهر و با سناریوی SSP5-8.5 بود. به طوری که در این ایستگاه بارش سالانه برای دوره آینده با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱۲۵/۳۴ و ۵۰۵/۱۱ میلی‌متر برآورد شد. بارش سالانه ایستگاه ابرانشهر در دوره پایه ۱۰۰/۲۰ میلی‌متر بود و بارش سالانه به ترتیب ۲۵/۱۴ و ۴۰۴/۹۱ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در حالی که بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه تبریز و با سناریوی SSP5-8.5 و به اندازه ۱۶۵/۱۱ میلی‌متر (۶۸٪) خواهد بود. با توجه به شکل ۴، ایستگاه‌هایی که بارش بیشتری داشتند، شیب کاهشی بیشتری نیز داشتند. همچنین از نظر جغرافیایی، ایستگاه‌هایی که در بخش‌های کوه‌های زاگرس بودند در مقایسه با دیگر بخش‌های کشور، روند کاهشی شدیدتری داشتند. از این رو، می‌توان گفت که کاهش بارش سالانه در مناطق شمال و شمال‌غربی بیشتر از بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های محمدی و همکاران (۲۰۱۷)، عسگری‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) هم‌راستا است. در حالی که کوزه‌گران (۲۰۱۷)، کاظمی‌راد و مدبری (۲۰۲۳) گزارش کردند اندازه شاخص PRCPTOT با سناریوهای گوناگون در تربت حیدریه، بیرجند، طبرستان، قزوین و کردستان کاهش یافت.

مقایسه شاخص R10mm در دوره پایه و آینده

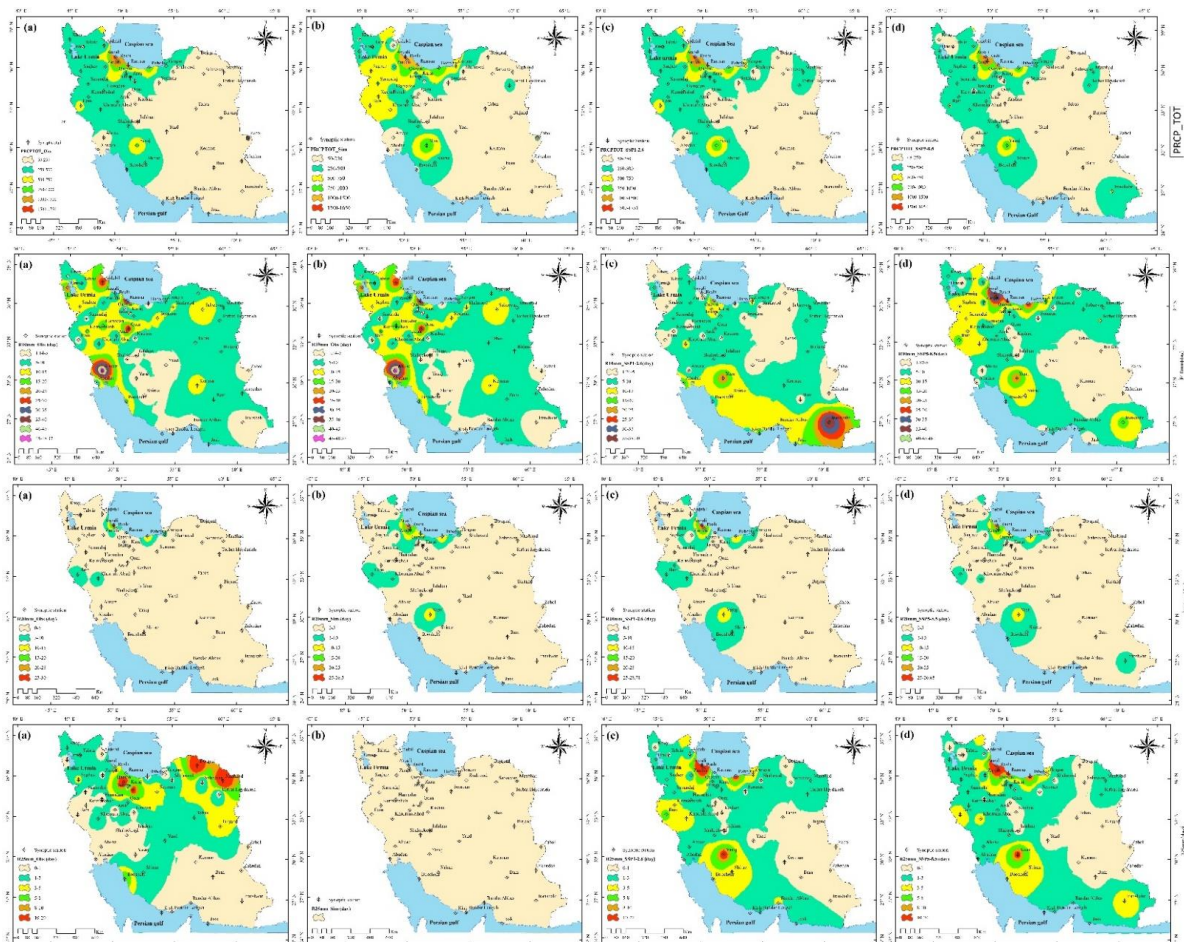
میانگین شاخص R10mm در دوره مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده با سناریوهای تغییر اقلیم محاسبه شد و سپس برای کل ایران پهنه‌بندی شد (شکل ۴). این شاخص نماد شاخص بارش سنگین بوده و افزایش آن بیان‌گر افزایش میزان بارش‌های سنگین است که می‌تواند موجب بروز سیل در منطقه شود. اندازه این شاخص با هر دو سناریو در ایستگاه‌های بابلسر، بندرعباس، بندرلنگه، گرگان، ایلام، ابرانشهر، کرج، خرم‌آباد، قزوین، سمنان، شهرکرد، شیراز، تربت حیدریه، یاسوج، یزد و زنجان افزایش یافت. بنابراین در این ایستگاه‌ها (۳۵٪) از ایستگاه‌های همدید منتخب) با افزایش بارش‌های سنگین مواجه هستند. بر اساس یافته‌های

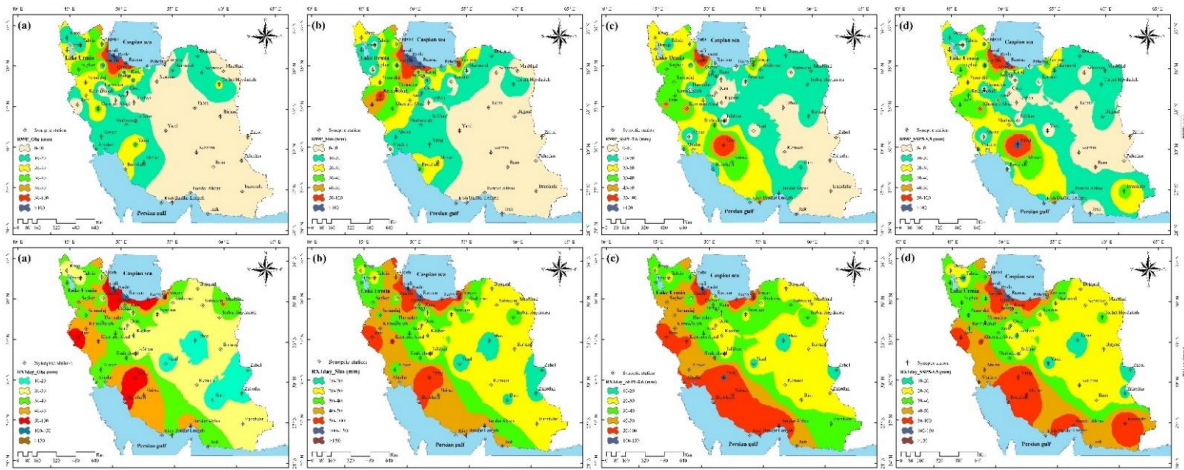
حدی بیشتر از ۲۵ میلی‌متر با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 کاهش یافت. بیشترین کاهش شاخص در ایستگاه بوشهر و ۹۵٪ خواهد بود. عمل‌کرد سناریوهای تغییر اقلیم فقط در ایستگاه رامسر متفاوت بود. همچنین، با سناریوی SSP1-2.6 کاهش ۹۴٪ شاخص R25mm و با سناریوی SSP2-8.5 افزایش ۱۵۷٪ این شاخص پیش‌بینی شد. در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بندرانزلی، اراک، اردبیل، بزم، بندرعباس، بندرلنگه، گرگان، همدان، ایلام، ایرانشهر، اصفهان، جاسک، کرج، کاشان، کرمان، کرمانشاه، خرم‌آباد، کیش، رشت، سبزوار، سنندج، شاهرود، طبرستان، تبریز، تهران، یزد، زاهدان و زابل (۶۴٪ ایستگاه‌های همدید) در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ بارش خیلی سنگین (بیشتر از ۲۵ میلی‌متر) افزایش خواهد یافت. افزایش بارش خیلی سنگین می‌تواند احتمال رخداد سیلاب‌های بزرگ را افزایش دهد. از این‌رو، ۶۴٪ از ایستگاه‌های همدید منتخب در معرض خطر سیل هستند و در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ اندازه شاخص R25mm این شمار از ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت.

سقز، سنندج، سمنان، شهرکرد، شاهرود، شیراز، طبس، تبریز، تهران، تربت حیدریه، ارومیه، یاسوج، یزد، زاهدان، زنجان و زابل (۷۴٪ ایستگاه‌های همدید) در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ بارش خیلی سنگین (بیشتر از ۲۰ میلی‌متر) افزایش خواهد یافت. افزایش بارش سنگین می‌تواند احتمال رخداد سیلاب را افزایش دهد. در نتیجه ۷۴٪ از ایستگاه‌های همدید منتخب با خطر سیل مواجه هستند. از سوی دیگر، حجازی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) نیز افزایش اندازه شاخص در ایستگاه‌های سقز و سنندج با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 را گزارش کردند.

مقایسه شاخص R25mm در دوره پایه و آینده

پراکنش مکانی مجموع بارش خیلی سنگین (بیشتر از ۲۵ میلی‌متر) مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره پایه و با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در شکل ۴ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این پژوهش در ایستگاه‌های بیرجند، بوشهر، بجنورد، خوی، مشهد، قزوین، قم، سقز، سمنان، شاهرود، طبس، تبریز، تهران، یزد، زابل و زاهدان تعداد رخداد‌های





شکل ۴- پراکنش مکانی شاخص‌های حدی بارش مشاهده‌شده (a) شبیه‌سازی‌شده (b)، با سناریوی SSP1-2.6 (c) و با سناریوی SSP5-8.5 (d).
 Figure 4- Spatial distribution of precipitation Extremes Indices observed (a), simulated (b), under SSP1-2.6 scenario (c) and under SSP5-8.5 scenario (d).

اراک، اردبیل، بم، بندرعباس، بندرلنگه، بیرجند، بجنورد، ایلام، ایرانشهر، گرگان، همدان، کاشان، خرم‌آباد، خوی، کیش، کرمانشاه، مشهد، سمنان، شاهرود، شیراز، یاسوج، یزد و زنجان افزایش یافت. براساس نتایج این پژوهش، اندازه این شاخص در ایستگاه‌های اهواز، بندرانزلی، بوشهر، اصفهان، جاسک، کرج، کرمان، قزوین، قم، رشت، سبزوار، سقز، طبس، تهران، تربت حیدریه، ارومیه، زابل و زاهدان شاخص R99P با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 کاهش یافت (شکل ۴). بیشترین کاهش اندازه شاخص R99P در ایستگاه رامسر و ۹۷٪ بود. در ایستگاه‌های آبادان، اراک، اردبیل، بم، بندرعباس، بندرلنگه، بیرجند، بجنورد، گرگان، همدان، ایلام، ایرانشهر، کاشان، کرمانشاه، خرم‌آباد، خوی، کیش، مشهد، سمنان، شهرکرد، شاهرود، شیراز، یاسوج، یزد و زنجان شاخص R99P با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 افزایش یافت. عمل کرد سناریوهای نامبرده در ایستگاه‌های بابلسر، رامسر و تبریز متفاوت بود.

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم، از مسائل مهم و چالش‌برانگیز پیش روی جامعه‌های بشری در قرن بیست و یکم است. با پیشرفت صنعت و افزایش فعالیت‌های انسانی، آثار تغییر اقلیم در سراسر جهان قابل مشاهده است. پژوهش‌های پرشمار نشان می‌دهند که تغییرات اقلیم در سراسر جهان منجر به تغییرات شاخص‌های حدی بارش می‌شود. این تغییرات شامل کاهش دامنه بارش و تغییر الگوی بارش هستند. با تغییر الگوی بارش، اندازه بارش‌های سنگین افزایش یافته و موجب رخداد سیلاب و خسارت‌های جدی و تغییرات در تعادل آب و هوا می‌شود. در گزارش پنجم IPCC در دوره ۲۱۰۰-۱۹۹۰ گزارش شده است که افزایش گرمایش جهانی موجب تغییر نمایه‌های حدی بارش، دما و افزایش شدت و فراوانی رخدادهای حدی مانند سیل و خشک‌سالی

مقایسه شاخص RX-1day در دوره پایه و آینده

شاخص RX1-day نشان‌دهنده بیشترین بارش ۲۴ ساعته است. هر چه این شاخص بیشتر باشد، شدت بارش نیز بیشتر خواهد بود. در این پژوهش، اندازه این شاخص در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، اردبیل، بم، بندرعباس، بندرلنگه، بیرجند، بوشهر، ایلام، ایرانشهر، جاسک، کرج، خرم‌آباد، خوی، کیش، قزوین، سبزوار، سمنان، شاهرود، شیراز، طبس، تربت حیدریه، یاسوج، یزد و زابل با سناریوهای SSP1-2.5 و SSP5-8.5 افزایش یافت. از این رو، می‌توان گفت شدت بارش در این ایستگاه‌ها در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۰) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۲) بیشتر خواهد بود. با افزایش شدت بارش، جذب و نگهداری آب در خاک کاهش یافته و جریان سطحی آب افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین بارش ۲۴ ساعته در دوره آینده و با سناریوی SSP5-8.5 در ایستگاه‌های بندرانزلی، اراک، بابلسر، بجنورد، گرگان، همدان، اصفهان، کاشان، کرمانشاه، مشهد، قم، رشت، سقز، سمنان، تبریز، تهران، ارومیه و زاهدان (۴۰٪ ایستگاه‌های همدید) کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش اندازه شاخص نامبرده با این سناریو در ایستگاه مشهد ۳۷٪ بود. در حالی که اندازه شاخص RX1-day ایستگاه‌های همدید بابلسر، همدان، اصفهان، کرمانشاه، مشهد و رامسر با سناریوی SSP1-2.5 کاهش یافت (شکل ۴). این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های سلطانی و همکاران (۲۰۱۶)، کتیرایی-بروجردی و همکاران (۲۰۱۹) و فتحیان و همکاران (۲۰۲۰) هم‌راستا است.

مقایسه شاخص R99P در دوره پایه و آینده

شاخص R99P، روزهای فوق‌العاده مرطوب را نشان می‌دهد. افزایش این شاخص بیان‌گر افزایش بارش‌های شدید و فوق‌العاده در مقایسه با میانگین بلندمدت در دوران پایه است. این شاخص با هر دو سناریوی اقلیمی در دوره آتی در ایستگاه‌های آبادان،

کوزه‌گران (۲۰۱۷)، علوی‌نیا و زارعی (۲۰۲۲)، کاظمی‌راد و مدیری (۲۰۲۳)، حجازی زاده و همکاران (۲۰۲۳)، رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۰۹)، علوی‌نیا و همکاران (۲۰۲۰) و فتحیان و همکاران (۲۰۲۰) هم‌راستا است.

در پایان می‌توان گفت پیش‌بینی روند افزایشی شاخص‌های بارش شدید، به‌ویژه شاخص‌های شدت و فراوانی رویدادهای حدی بارش نشان‌دهنده‌ی خطر بالقوه رخداد سیلاب‌های مکرر در مناطق گوناگون ایران است که تهدید جدی برای منابع آب، امنیت غذایی، سلامت انسان و فعالیت‌های زیست محیطی است. بنابراین، بررسی دقیق رویدادهای حدی بارش و تأثیرات آنها بر برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری آینده در بخش‌های گوناگون ضروری است. از این‌رو، انجام این گونه پژوهش‌ها در آبریزهای اصلی کشور در مقیاس کوچکتر و با تعداد ایستگاه‌های بیشتر و دیگر آزمون‌های تشخیص روند و مقایسه آن با نتایج آزمون آماری من-کندال پیشنهاد می‌شود. همچنین، پژوهش‌ها در دوره‌های آماری هماهنگ با فصل‌های رشد هر منطقه نیز انجام شود و از نتایج آن برای آگاهی و راهنمایی برنامه‌ریزان و کشاورزان برای کاهش خطر تولید محصولات کشاورزی در منطقه استفاده شود. در این پژوهش از سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 که خوش‌بینانه‌ترین و بدبینانه‌ترین حالت از وضعیت تغییر اقلیم را پیشنهاد می‌دهند، استفاده شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، دیگر سناریوهای تغییر اقلیم نیز بررسی شود تا بودن قطعیت مربوط به این سناریوها نیز مشخص شود.

شده است و بر زندگی انسان و موجودات زنده تأثیرگذار بوده است. بنابراین، امروزه ارزیابی سنجه‌های حدی بیشتر از بررسی میانگین متغیرهای اقلیمی ضرورت دارد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات شاخص‌های حدی بارش با سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در ایران و برای دوره ۱۹۸۵-۲۰۲۲ انجام شد. نتایج بارش شبیه‌سازی‌شده ایستگاه‌های همدید کشور برای دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۵-۲۰۲۲) و دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۰) با سناریوهای اقلیمی نشان داد که تغییرات بارش سالانه در ایستگاه‌های همدید کشور یکنواخت نیست و در برخی ایستگاه‌ها بارش سالانه در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۲۲) کاهش و در برخی دیگر افزایش خواهد داشت. همچنین به‌منظور بررسی روند نمایه‌های حدی بارش، ۷ شاخص حدی بارش بررسی شدند. نتایج این بررسی نشان داد که در دوره ۱۹۸۵-۲۰۲۲ در سطح کشور ایران روند مجموع بارش سالانه کاهشی و منفی بود و در ۳۰٪ ایستگاه‌های همدید بررسی‌شده این روند معنادار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه بارش در ایستگاه‌های پربارش و با بارش میانگین، به‌ویژه در بخش‌های شمالی کشور کاهش یافت. همچنین، پیش‌بینی شد که در دوره آینده اندازه شاخص‌های شدت بارش (R99P و RX-1day) در بیشتر ایستگاه‌های همدید بررسی‌شده افزایش خواهد یافت. توزیع مکانی تغییرات در شاخص‌های حدی بارش نیز نشان‌دهنده تغییرات بیشتر شمال و غرب کشور در مقایسه با مناطق جنوبی و مرکزی بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های رحیم‌زاده (۲۰۰۶)، محمدی و همکاران (۲۰۱۷)، عسکری زاده و همکاران (۲۰۱۸)،

- Abbas A, Bhatti AS, Ullah S, Ullah W, Was-eem M, Zhao C, Ali G. 2023. Projection of precipitation extremes over South Asia from CMIP6 GCMs. *Journal of Arid Land*, 15(3): 274-296. <https://doi.org/10.1007/s40333-023-0050-3>
- Alaei Taleghani M. 2003. *Geomorphology of Iran*. Ghoomes Publications. 416 p.
- Alavinia SH, Zarei M. 2021. Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology*, 41(s1): 2269-2289. <https://doi.org/10.1002/joc.6845>
- Alavinia SH, Zarei M. 2022. Climate change trends analysis using extreme indices of long-term precipitation and temperature in Southeast Iran. *Regional Planning*, 11(44): 119-134. (In Persian). <https://doi.org/10.30495/jzpm.2022.4059>
- Askarizadeh SM, Mozaffari G, Kohi M, Rezahipoor A. 2018. Variations in precipitation and temperature extreme values in Torbat-e-Hidariyh using the LARS-WG downscaling model during 2011-2030. *Geographic Thought*, 10(19): 60-80.
- Bazrafshan Moghaddam M. 2016. Evaluation of climate change's effect on precipitation and temperature in different parts of Iran. M.Sc. Thesis, Civil Engineering. Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, 122 p. (In Persian).
- Binesh N, Niksokhan MH, Sarang A. 2016. Precipitation trend analysis and determination of dry/wet years in Kan Watershed during recent years. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(14): 9-16. (In Persian).
- Chen L, Ford TW. 2023. Future changes in the transitions of monthly-to-seasonal precipitation extremes over the Midwest in Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 models. *International Journal of Climatology*, 43(1): 255-274. <https://doi.org/10.1002/joc.7756>
- Costa AA, Guimarães SO, Sales DC, das Chagas Vasconcelos Junior F, Marinho MWS, Pereira JMR, da Silva EM. 2023. Precipitation extremes over the tropical Americas under RCP4.5 and RCP8.5 climate change scenarios: Results from dynamical downscaling simulations. *International Journal of Climatology*, 43(2): 787-803. <https://doi.org/10.1002/joc.7828>
- Doolabian Sh. 2017. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature over different parts of Iran using RCP scenarios. M.Sc. Thesis, Civil Engineering, Shahrood University of Technology, 115 p. (In Persian).
- Esgandari R, Esmali Ouri A, Mostafazadeh R, Choobeh S. 2024. Assessment of temporal and spatial variations of precipitation climate extreme indices in the central part of Ardabil Province. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1): 8119-8133. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jess.2023.382713.1963>
- Ezaz GT, Zhang K, Li X, Shalehy MH, Hosain MA, Liu L. 2022. Spatiotemporal changes of precipitation extremes in Bangladesh during 1987-2017 and their connections with climate changes, climate oscillations, and monsoon dynamics.-*Global and Planetary Change*.208, 103712. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103712>
- Farrokhzadeh B, Choobeh S, Nouri H, Goodarzi M. 2018. Study of climate change and land use changes impacts on surface runoff: Balighlo Chai Watershed in Ardebil. *Watershed Engineering and Management*, 10(3): 318-331. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.107110.1165>

- Fathian F, Ghadami M, Haghghi P, Amini M, Naderi S, Ghaedi Z. 2020. Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 141:1119-1133. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2>
- Ge F, Zhu S, Luo H, Zhi X, Wang H. 2021. Future changes in precipitation extremes over Southeast Asia: insights from CMIP6 multi-model ensemble. *Environmental Research Letters* 16(2): 024013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd7ad>.
- Khorshidoost AM, Ghavidel Rahimi Y. 2004. Study of precipitation fluctuations, forecasting, and determination of wet and dry winter seasons in East Azerbaijan Province. *Geographical Research Journal*, 19(1): 25-36. (In Persian).
- Goodarzi M, Choobeh S. 2019. Assessment of downscaling methods in predicting climatic parameters under climate change status: A case study in Ardabil Synoptic Station. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(45): 63-69
- Goyal MK, Gupta AK, Jha S, Rakkasagi S, Jain V. 2022. Climate change impact on precipitation extremes over Indian cities: Non-stationary analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121685>
- Gupta S, Gupta A, Himanshu SK, Singh R. 2019. Analysis of the extreme precipitation events over upper catchment of Sabarmati River Basin in Western India using extreme precipitation indices. In *Advances in Water Resources Engineering and Management: Select Proceedings of TRACE*. Singapore: Springer Singapore, pp.103-111. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2_8
- Harrison PA, Dunford RW, Holman IP, Cojocar G, Madsen MS, Chen, PY, Sandars D. 2019. Differences between low-end and high-end climate change impacts in Europe across multiple sectors. *Regional Environmental Change*, (19):695-
- Hejazizadeh Z, Zarei S. 2023. Investigation of changes in temperature and precipitation indicators in Kurdistan Province based on radiation injection scenarios (RCP). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 23(69): 1-14. (In Persian). <https://doi.org/10.61186/jgs.23.69.1>
- Hong YIN, Ying SUN. 2019. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCC-DI indices. *Advances in Climate Change Research*, 15(4): 363 -373. <https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2018.164>
- Jafarzadeh A, Khashei-Siuki A, Shahidi A. 2016. Assessment of statistical downscaling methods LARS-WG & SDSM in forecasting climate parameter variation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4): 309-322. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwfs.2016.10385.2482>
- Jahanbakhsh Asl S, Mohammad Khorshidoost A, Din Pazhooh Y, Sarafroozeh F. 2015. Trend analysis and estimating return periods of extreme temperature and precipitation in Tabriz. *Geography and Planning*, 18(50): 107-133. (In Persian).
- Jowkar L, Panahi F, Sadatinejad SJ, Shaki-ba A. 2021. Precipitation extremes variability trend in Bakhtegan Catchment using agMERRA and station data. *Irrigation and Water Engineering*, 12(1): 364-381. (In Persian). <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.138351>
- Kamal A, Massah Bavani A. 2010. Climate change and variability impact on basin runoff with interference of two hydrology models uncertainty. *Water and Soil*, 24(5): 39-50. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.5283>
- Katiraie-Boroujerdy PS, Akbari Asanjan A, Chavoshian A, Hsu KL, Sorooshian

- S. 2019. Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. *International Journal of Climatology*, 39(8): 3505-3522. <https://doi.org/10.1002/joc.6035>
- Khazaei MR, Khazaei H, Saghafian B. 2020. Climate change impact on extreme precipitations in arid region of Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(9): 31-42. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jest.2021.40667.4508>
- Kazemi Rad L, Modaberi H. 2023. Evaluation of climatic parameters in even lake affected by climate change. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3): 6936-6942. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.332757.1890>
- Khoi DN, Trong Quan N, Thi Thao Nhi P, Nguyen VT. 2021. Impact of climate change on precipitation extremes over Ho Chi Minh City, Vietnam. *Water*, 13(2): 120-147. <https://doi.org/10.3390/w13020120>
- Kouzegaran S. 2017. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature over different parts of Iran using RCP scenarios. Ph.D. Thesis. Agrometeorology. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. 182 p. (In Persian).
- Kouzegaran S, Mousavi Baygi M. 2015. Investigation of meteorological extreme events in the North-East of Iran. *Water and Soil*, 29(3): 750-764. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.40845>
- Lotfi rad M, Ahmadian S, Adib A. 2020. The effect of climate change on the trend of seasonal precipitation in Iran. *National Conference on Building, Environment and Energy Management*. Ahvaz. August 5. 9 p. (In Persian).
- Mohammadi H, Azizi G, Khoshahklagh F, Ranjbar F. 2017. Analysis of daily precipitation extreme indices trend in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(1): 21-37. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2017.61577>
- Mohammadlo M, Haghizadeh A, Zeinivand H, Tahmasebi Pour N. 2017. Evaluation of climate change on temperature and precipitation trends in Barandozchay watershed, in the West Azerbaijan, using general circulation models (GCM). *Journal of Geographic Space*, 16(56):151-168.
- Moriasi DN, Gitau MW, Pai N, Daggupati P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6): 1763-1785.
- Neelin JD, Martinez-Villalobos C, Stechmann SF, Chen G, Norris JM, Lenderink G. 2022. Precipitation extremes and water vapor: Relationships in current climate and implications for climate change. *Current Climate Change Reports*, 8(1): 17-33. <https://doi.org/10.1007/s40641-021-00177-z>
- Panda DK, Mishra A, Jena SK, James BK, Kumar A. 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of Hydrology*, 343(3-4): 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.007>
- Peñuelas J, Ciais P, Canadell JG, Janssens IA, Fernández-Martínez M, Carnicer J, Sardans J. 2017. Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. *Nature Ecology and Evolution*, 1(10): 1438-1445. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0274-8>
- Purnomo H. 2018. Aplikasi metode interpolasi inverse distance weighting dalam penaksiran sumberdaya laterit nikel. *Journal Ilmiah Bidang Teknologi ANGKASA*, 10(1): 49-60.
- Rahimzadeh F. 2006. Investigating the changes in precipitation extremes indices in Iran. *Nivar*, 30(58-59): 7-20. (In Persian).
- Rahimzadeh F, Asgari A, Fattahi E. 2009. Variability of extreme temperature and

- precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3): 329-343.
- Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, Masson-Delmotte V, Pörtner HO, Roberts DC, Malley J. 2019. IPCC, 2019: Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 874 p.
- Soltani M, Laux P, Kunstmann H, Stan K, Sohrabi MM, Molanejad M, Martin MV. 2016. Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, pp. 775-795. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1609-5>
- Tavangar S, Moradi H, Massah Bavani AR. 2019. Climate change effect on the precipitation amount and intensity in the southern coast of the Caspian Sea. *Irrigation and Water Engineering*, 10(2):190-204. (In Persian). <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.100751>
- Van der Wiel K, Bintanja R. 2021. Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes. *Communications Earth and Environment*, 2(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>
- Zhao W, Zhong Y, Li Q, Li M, Liu J, Tang L. 2022. Comparison and correction of IDW based wind speed interpolation methods in urbanized Shenzhen. *Frontiers of Earth Science*, 16(3): 798-808. <https://doi.org/10.1007/s11707-021-0948-z>
- Zhang X, Aguilar E, Sensoy S, Melkonyan H, Tagiyeva U, Ahmed N, Wallis T. 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D22): 1-12. <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>
- Zhang M, Chen Y, Shen Y, Li B. 2019. Tracking climate change in central Asia through temperature and precipitation extremes. *Journal of Geographical Sciences*, pp. 3-28. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1581-6>
- Zand M, Miri M, Kousari M. 2023. Detection of climate change in Lorestan Province using climate extreme indices. *Watershed Engineering and Management*, 15(1): 27-41. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.354926.1905>
- Zarrin A, Dadashi-Roudbari A. 2022. Technical note: assessing the effect of climate change on heavy precipitation in Iran Based on a CMIP6 Ensemble model. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(4):119-124. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9>



Impact of Climate Change on Precipitation Extremes Indices over Iran

Sepideh Choobeh¹, Behnoush Farrokhzadeh², Ommolbanin Bazrafshan³, Haniyeh Hasanvand⁴

1- Ph.D. Graduated in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran

3- Professor, Department of Natural resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

4- M.Sc. Graduated in Watershed Management, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Climate change leads to changes in extreme climate indices, such as an increased intensity and frequency of extreme weather events. Heavy precipitation during these events can cause widespread damage to the economy, the environment and human life. According to the World Economic Forum's (WEF) Global Risks Report 2019, extreme climate events (such as heavy precipitation) and climate inadaptability are the greatest risks in terms of their impact on the environment and people. The purpose of this study was to examine the impact of climate change on heavy precipitations in the Iran.

Materials and Methods

Precipitation data from 47 stations was utilized in this study. First, the performance of the model was evaluated. LARS-WG software was employed to predict precipitation data with various scenarios for the future period. To evaluate the simulation of extreme precipitation using the aforementioned model, in addition to graphically comparing the observed and generated data of each station in the validation process, the RB, MD, and WS indices were calculated between the observed and simulated extreme index data. Finally, the Mann-Kendall test was utilized to examine the pattern of heavy precipitation events.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: h.behrawan@areeo.ac.ir

Citation: Behrawan, H., Yarahmadi, J., Abbasi, H.R. 2024. Identification and Monitoring of Sources of Dust and Dunes in the Jolfa, ShushQom and Gildar in the East Azarbaijan Province. *Watershed Management Research*. 37(3): 34-53.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.363055.1565

Received: 01 August 2023, **Received in revised form:** 04 October 2023, **Accepted:** 21 December 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 34-53.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



Results and Discussion

The simulation results for precipitation in the period 2030-2050 show that the synoptic stations will experience uneven annual fluctuations. The largest increase in annual precipitation was 59.81% (32.32 mm) at the Bam station and SSP5-8.5 scenario, and the largest decrease in annual precipitation was 11.63% (17.23 mm) at the Kish station and SSP5-8.5 scenario. According to the spatial distribution of PRCPTOT, the Yasouj station experienced the highest increase in annual precipitation under the SSP1-2.6 scenario. At this station, the annual precipitation for the future period was estimated to be 933.49 and 889.3 mm with the SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios respectively. Also, the magnitude of this indicator during the base period at this station was predicted to be 832.19 mm.

Furthermore, it was predicted that this indicator will be 832.19 mm during the base period at this station. The results of the study of changes in precipitation extreme indices in the period 2030-2050 compared to 1985-2022 showed that the greatest changes were in the northern and western regions of the Iran, and the severity of these changes was especially greater with the SSP5-8.5 scenario. The largest decrease in the Rx1day index was related to the Mashhad station with the SSP5-5.5 scenario, which was 37%. The highest increasing trend was related to the Zanzan station in the RCP8.5 scenario.

Conclusion and Suggestions

Numerous studies around the world have shown that climate change leads to changes in extreme precipitation. A decrease in precipitation intensity and a change in precipitation patterns are among these changes. According to the results of this study, the trend of extreme indices was not uniform, and it was increasing in some synoptic stations and decreasing in others. In general, precipitation intensity is expected to increase in the future and with climate scenarios in most of the studied stations. The impact of extreme precipitation events on future planning and policymaking in various sectors should be carefully examined. Therefore, it is suggested that similar studies be conducted in the country's main watersheds on a smaller scale and in a larger number of stations with other trend detection tests, and the results be compared with the Mann-Kendall statistical test.

Keywords: Atmospheric General Circulation Models, Climate Scenarios, CMIP6, Downscaling, Heavy Precipitation, Iran