

واژگان کلیدی: آزمون من-کندال، همبستگی آماری، تغییر اقلیم، اسپیرمن، شهرستان قوچان

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بلندمدت متغیرهای اقلیمی در منطقه قوچان

## مقدمه

در قرن بیست‌ویکم، تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های جوامع انسانی مطرح شده و به‌عنوان تهدیدی برای تأمین نیازهای اساسی و رفاه مردم شناخته می‌شود. یکی از ارکان کلیدی در مطالعات تغییر اقلیم، تغییر الگوی بارش است؛ گزارش‌ها نشان می‌دهد از اواخر قرن بیستم بارش متوسط جهانی به میزان تقریباً دو درصد افزایش یافته است [۴۲]. نوسان پارامترهای اقلیمی به‌ویژه دما و بارش، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز اثرگذار است، چراکه تغییرات بلندمدت این پارامترها می‌تواند چرخه هیدرولوژی را دگرگون کند، منابع آب بالادست حوزه‌ها را تغییر دهد و به افزایش احتمال وقوع رویدادهای حدی مانند سیل و خشک‌سالی و در نتیجه تحول اکوسیستم‌های وابسته به آب بینجامد [۲۶ و ۶]. تغییرات آب و هوایی فرایندی آهسته اما مستمر است که در بازه‌های زمانی مختلف پارامترهای هیدرولوژیکی، اقلیمی و هواشناسی را در سطح جهان تغییر می‌دهد [۷]. از این رو، نه تنها بررسی روندهای زمانی پارامترهای هیدرولوژیک در گذشته اهمیت دارد، بلکه پیش‌بینی آثار تغییر اقلیم بر این پارامترها در آینده نیز برای برنامه‌ریزی دقیق و مقابله با پیامدهای منفی ضروری است، به‌ویژه در مناطقی که پیش‌تر مورد بهره‌برداری گسترده قرار گرفته‌اند [۴۳].

شواهد علمی نشان می‌دهد دمای هوای سطح زمین طی قرن گذشته بین حدود ۰/۶ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و این تغییرات با تغییرات چرخه هیدرولوژیک همراه بوده است [۴۰]. دما یکی از شاخص‌های اصلی در پژوهش‌های اقلیمی است و در تعیین نقش سایر عناصر اقلیمی نقش محوری دارد؛ تحلیل‌ها حاکی از آن است که در صورت ادامه روند فعلی فعالیت‌های انسانی، دمای متوسط سالانه تا سال ۲۱۰۰ ممکن است در حدود دو درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، لذا شناخت رفتار دما در بُعد مکان و زمان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است [۳۷، ۱۸ و ۹]. گرمایش زمین نقشه فضایی بارش و جریان آب‌های سطحی را دگرگون کرده است؛ به‌طور کلی گزارش‌ها از افزایش بارش در نواحی شمالی و میانی کره زمین و تشدید کمبود بارش در نواحی جنوبی حکایت دارند که این جابجایی فضایی احتمال رویدادهای حدی اقلیمی مانند سیل و خشک‌سالی را افزایش می‌دهد [۳۶]. افزایش تبخیر نیز می‌تواند

کاکا شاهی<sup>۱</sup>، احسان شاد<sup>۲\*</sup>، پرستو کریمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۶

DOI: / 10.22034/WMI.2025.2067040.1122

## چکیده

هدف اصلی این پژوهش، پایش و ارزیابی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی (شامل دمای حداکثر، حداقل و میانگین، رطوبت نسبی حداکثر، حداقل و میانگین، بارش، و تبخیر) در مقیاس سالانه طی بازه زمانی سی‌ساله (۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲) در شهرستان قوچان است. برای دستیابی به این هدف، از آزمون‌های من-کندال، تخمین‌گر شیب سن و آزمون اسپیرمن استفاده شد. هم‌چنین، اثرات آینده تغییر اقلیم بر این پارامترها با به‌کارگیری مدل SDSM 6.1 و سناریوهای RCP بر اساس گزارش ششم IPCC در سه بازه زمانی ۲۵ ساله ارزیابی گردید. نتایج روندیابی نشان داد که روش‌های من-کندال و اسپیرمن نتایج مشابهی ارائه می‌دهند. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که دمای حداکثر با مقدار  $(Z=0/952)$  و شیب سن مثبت، روند افزایشی غیرمعنی‌دار دارد. در مقابل، دمای حداقل  $(Z=-2/58, p=0/01)$  و میانگین  $(Z=-2/77, p=0/006)$  روند کاهشی معنی‌دار نشان دادند. رطوبت نسبی میانگین با  $(Z=2/85, p=0/004)$  روند افزایشی معنادار دارد، در حالی که تبخیر  $(Z=1/135, p=0/256)$  و بارش ۲۴ ساعته  $(Z=0/69, p=0/486)$  روند معناداری نشان نمی‌دهند. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در راستای برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینه و کارآمد منابع طبیعی و تعدیل اثرات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی استفاده کرد.

۱- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نویسنده مسئول،

Email: ehsanshad1991@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

موجب کاهش آب در مخازن سطحی از جمله رودخانه‌ها و دریاچه‌ها شود و بدین ترتیب بر کشاورزی، اکوسیستم‌ها و فرآیندهای اقلیمی اثرات منفی برجای گذارد. بارش به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب در حوزه‌های آبخیز نقش حیاتی در پایداری جریان رودخانه‌ها، رشد پوشش گیاهی و تنوع زیستی دارد و اثر قابل‌توجهی بر الگوهای اقلیمی و زیست‌محیطی دارد. از سال ۱۹۹۵، پروژه CMIP به‌عنوان یک چارچوب بین‌المللی برای توسعه مدل‌های اقلیمی و گردآوری پیش‌بینی‌ها شکل گرفت و به‌عنوان ابزاری کلیدی برای تولید سناریوها و داده‌های مورد استفاده در گزارش‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) شناخته شده است؛ فازهای پیشرفته‌تر این پروژه مانند CMIP6 پیش‌بینی‌های دقیق‌تر و قابل‌اعتمادی را فراهم می‌کنند (۱۱ و ۳۲). مدل‌های جهانی گردش عمومی جو (GCMs) برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در مقیاس کلان مفید هستند، اما محدودیت آن‌ها در نمایش شرایط محلی ایجاب می‌کند از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده شود؛ در این راستا، مدل‌های آماری ریزمقیاس مانند SDSM با برقراری روابط تجربی بین پیش‌بینی‌های مقیاس بزرگ و مشاهدات محلی، برای تولید پیش‌بینی‌های منطقه‌ای و محلی به کار گرفته می‌شوند [۴۱].

تحلیل سری‌های زمانی که مجموعه‌ای از داده‌ها با فواصل زمانی یکنواخت را شامل می‌شود (روزانه، هفتگی، ماهانه یا سالانه)، در تصمیم‌گیری‌های هیدرولوژیک و سامانه‌های عملیاتی اهمیت دارد و روش‌های ناپارامتری برای آزمون روند در متغیرهای اقلیمی کاربرد فراوان می‌یابند [۴۵]. مطالعات منطقه‌ای و بین‌المللی متعدد با استفاده از آزمون‌هایی مانند من-کندال و ضریب همبستگی اسپیرمن روندهای دما و بارش را بررسی کرده‌اند؛ به‌عنوان مثال، کومار و جین [۲۹] با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن، تغییرات بارش در مناطق مختلف هند را طی بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ تحلیل کردند و نشان دادند که در برخی مناطق شمالی هند بارش سالانه با کاهش حدود ۵ درصد مواجه شده، در حالی که در مناطق جنوبی افزایش اندک بارش مشاهده شده است که این الگوها بر مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی تأثیرگذار بوده است. در سطح بین‌المللی، طبری و همکاران [۴۴] با استفاده از آزمون من-کندال روند دما و بارش در منطقه خاورمیانه را برای دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۸ بررسی کردند؛ نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار دمای متوسط سالانه در بسیاری از مناطق و روند بارش کاهشی یا بدون تغییر در برخی نواحی بود. در ادامه، احمد و چوی [۴] با کاربرد من-کندال و اسپیرمن تغییرات اقلیمی در شبه‌جزیره کره (۱۹۹۰-۲۰۲۲) را گزارش کردند و به افزایش میانگین دمای سالانه و کاهش روزهای بارانی اشاره نمودند. ژانگ و همکاران [۴۸] در حوضه یانگ‌تسه افزایش معنی‌دار دما و کاهش بارش و ارتباط آن با تشدید خشک‌سالی را گزارش کردند. مطالعاتی مانند گادیکری و همکاران [۱۷] در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک روندهای افزایشی فصلی دما و بارش را نشان داده‌اند. در ایران، احمدی و رادمنش [۳] افزایش دما را در ۶۱ درصد ایستگاه‌ها

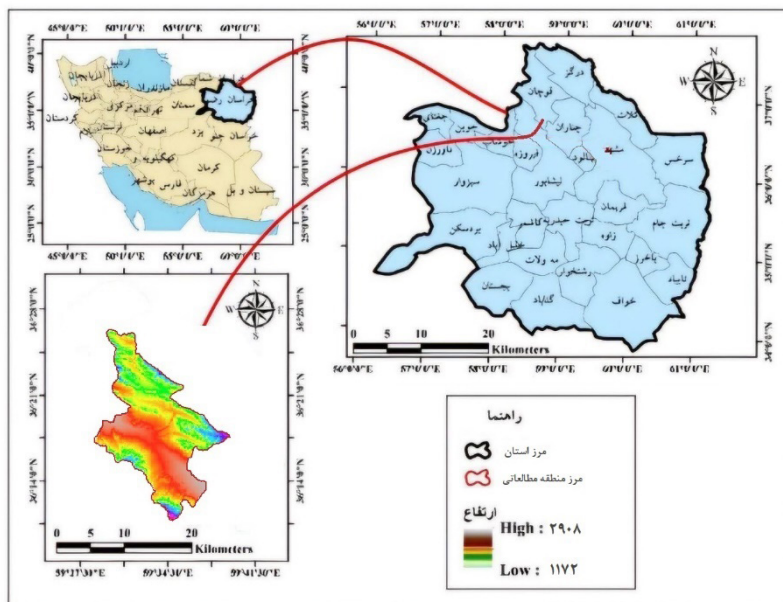
گزارش کردند؛ خواجه‌امیری خالدی و همکاران [۲۸] در چابهار نوسان کوتاه‌مدت بارش و افزایش دما در تمام فصول را یافتند و وفاخواه و همکاران [۴۶] کاهش بارش و اثر سدها بر کاهش دبی سالانه را تأیید نمودند. با وجود تنوع مطالعات، پژوهش حاضر از چند جهت متمایز است: اول، تمرکز بر تحلیل تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی شهرستان قوچان که در بسیاری از بررسی‌های پیشین کم‌تر مورد توجه بوده است؛ دوم، استفاده از مدل ریزمقیاس SDSM برای شبیه‌سازی سه بازه زمانی آینده که به دقت بخشی نتایج در سطوح محلی کمک می‌کند؛ و سوم، تلفیق روش‌های آماری و مدل‌سازی همراه با اعتبارسنجی با داده‌های محلی مشاهداتی که دقت و کاربردپذیری نتایج را افزایش می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان قوچان در استان خراسان رضوی و در فاصله ۱۳۰ کیلومتری از شهر مشهد و بین مدار جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است [۲۳]. با توجه به ارتفاع ۱۳۵۰ متری از سطح دریا و شرایط کوهستانی منطقه، قوچان دارای آب و هوایی سرد و معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است [۴۹]. مقدار شاخص خشکی دومارتن در منطقه مورد مطالعه ۱۳/۶ می‌باشد و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اقلیم شهرستان قوچان نیمه‌خشک سرد است. محدوده مورد مطالعه، با وسعت ۱۸۷۳ کیلومتر مربع در بخش کوهستانی و سردسیر قرار داشته که از سمت شمال به درگز و کشور ترکمنستان و از جنوب به نیشابور و از شرق به چناران و از غرب به فاروج منتهی می‌شود. حداقل دما، حداکثر دما و میانگین دما در شهرستان قوچان به ترتیب ۲۵، ۳۸ و ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. بارندگی سالیانه این شهرستان ۲۹۶ میلی‌متر و دوره خشکی ۱۵۴ روز است. ارتفاع شهرستان قوچان از سطح دریا ۱۳۵۰ متر و تعداد روزهای یخبندان ۱۲۰ روز است [۱۰].

در این پژوهش روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین و رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل، رطوبت نسبی میانگین، تبخیر و بارش در مقیاس سالانه در بازه زمانی سی‌ساله (۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲) در ایستگاه شهرستان قوچان مورد بررسی قرار گرفته است. بازه زمانی ۲۰۲۲-۱۹۹۲ برای تحلیل روند پارامترهای اقلیمی بر اساس داده‌های تاریخی موجود ایستگاه قوچان انتخاب گردید، در حالی که دوره پایه مدل‌ها (۲۰۱۴-۱۹۷۹) برای کالیبراسیون و مقایسه با مشاهدات استفاده شد تا دقت شبیه‌سازی‌های آینده تضمین شود و تفاوت بازه‌ها توجه‌پذیر باشد. علت انتخاب پارامترهای اقلیمی مذکور نیز اهمیت آن‌ها در پایش و ارزیابی تغییرات اقلیمی است. داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری قوچان از شرکت مدیریت منابع آب ایران و داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیدند. به



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان قوچان در استان خراسان رضوی و ایران

جدول ۱: معیارهای آماری متغیرها مورد استفاده ایستگاه قوچان

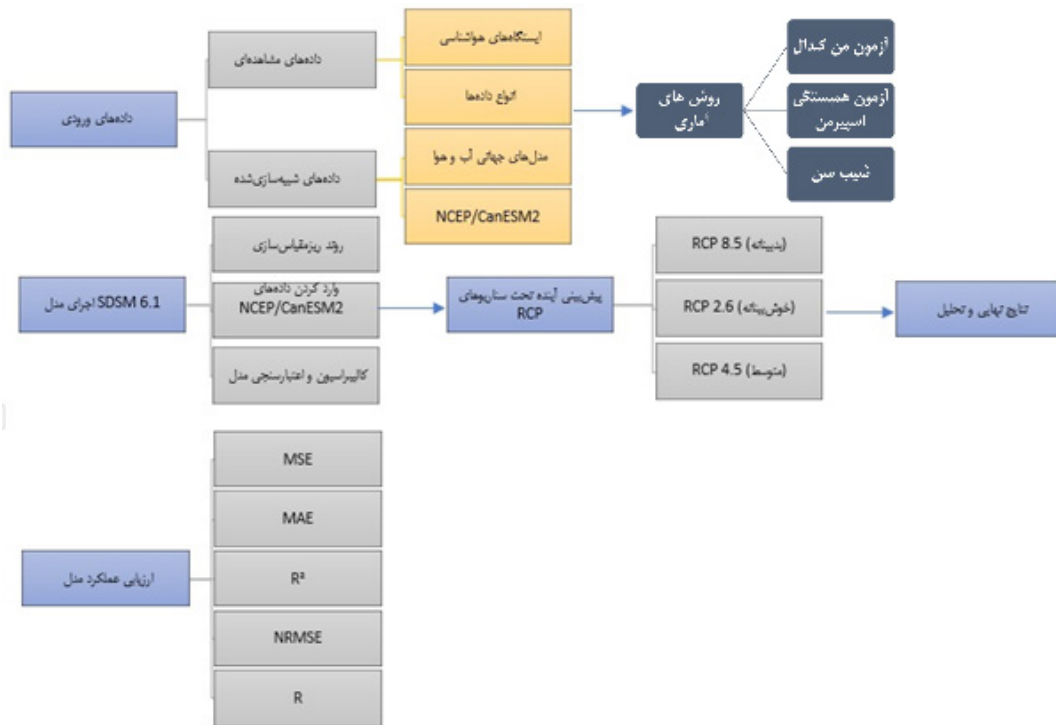
متغیر	توضیحات	دوره زمانی
tm	میانگین دما (mean temperature)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
tmax	حداکثر دما (max temperature)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
tmin	حداقل دما (min temperature)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
um	میانگین رطوبت نسبی (mean relative humidity)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
umax	حداکثر رطوبت نسبی (max relative humidity)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
umin	حداقل رطوبت نسبی (min relative humidity)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
evt	تبخیر (evaporation)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲
rr24	بارش ۲۴ ساعته (24-hour rainfall)	۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

نسبی حداقل، رطوبت نسبی میانگین، تبخیر و بارش جمع‌آوری و سپس از نظر کیفیت کنترل شدند. روندهای موجود در سری‌های زمانی با استفاده از آزمون‌های مان-کندال و اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفت [۵۰]. از دلایل انتخاب آزمون‌های مان-کندال و اسپیرمن برای بررسی روند متغیرهای اقلیمی می‌توان به ناپارامتری بودن آزمون‌ها، قدرت آماری مناسب، سادگی و سهولت استفاده و انعطاف‌پذیری اشاره نمود. در مرحله بعد، داده‌های مدل پیش‌بینی کننده CanESM2 و متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس NCEP برای پیش‌بینی وضعیت جو در دوره‌های آینده از پایگاه داده تغییر اقلیم کانادا استخراج شدند. سپس، با استفاده از نرم‌افزار SDSM6.1، عملیات ریزمقیاس‌نمایی انجام گرفت. در نهایت، بر اساس داده‌های ارائه‌شده به مدل، واسنجی و اعتبارسنجی صورت گرفت و تغییرات آبی بر اساس سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سه بازه زمانی ۲۵ ساله پیش‌بینی شد [۵۱]. مراحل مختلف روش‌شناسی تحقیق در شکل ۲ ارائه‌شده است.

همین منظور، در مرحله اول، داده‌های ایستگاه‌ها آماده‌سازی و از نظر کیفیت کنترل شدند. این کنترل کیفیت شامل اطمینان از عدم وجود مقادیر منفی برای بارش، بررسی اینکه دمای کمینه همراه کم‌تر از دمای بیشینه آن باشد، حذف مقادیر غیرعادی یا نادرست و جلوگیری از وجود کاراکترهای غیر عددی در فایل بود. در برخی موارد که اطلاعات ناقص بودند، داده‌ها بر اساس اطلاعات موجود بازسازی شدند [۶]. در نهایت، برای بررسی صحت همگنی اطلاعات تجربی، از توزیع‌های آماری منتخب و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای سنجش نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. اجرای این آزمون در نرم‌افزار SPSS 16 نشان داد که داده‌های موجود همگن هستند. در این تحقیق، سطح معناداری برای آزمون پینج درصد تعیین شده است.

#### روش پژوهش

در این مطالعه، داده‌های مربوط به پارامترهای اقلیمی شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین، رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت



شکل ۲: نمودار جریان تحقیق

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که در آن،  $n$  تعداد کل مشاهدات سری زمانی است؛  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $j$ ام و  $k$ ام. تابع علامت  $\text{sgn}$  نیز به صورت زیر محاسبه شد [۲۴]:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

$m$ : نشان‌دهنده تعداد دسته‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

$t$ : مشاهدات بسته  $t$ ام و آماره  $Z$  با استفاده از فرمول زیر به دست آمد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر پذیرفته می‌شود اگر شرط زیر برقرار باشد.

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (5)$$

### آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann-Kendall)

تحلیل روند و تشخیص نقاط تغییر در پارامترهای اقلیمی، اطلاعات ارزشمندی را برای درک فیزیکی تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند. آزمون من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه گردید. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر فرین که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود اشاره نمود [۲۷]. آزمون من-کندال، یکی از آزمون‌های غیرپارامتریک در تحلیل روند سری‌های زمانی است. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون نیز بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت، در مورد پذیرش یا رد فرض صفر، تصمیم‌گیری می‌نماید. فرض صفر این آزمون، به مفهوم تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها بوده و فرض یک (رد فرض صفر)، به مفهوم وجود روند در سری داده‌ها است [۴۶]. داده‌ها بر اساس زمان رتبه‌بندی می‌شوند و سپس هر نقطه داده به صورت یک نقطه داده مرجع در نظر گرفته می‌شود و با تمام نقاط داده‌ای که در زمان دنبال می‌شوند مقایسه می‌شود. داده‌های سری زمانی مورد استفاده در این مطالعه بیش‌تر از مقادیر چولگی است. مراحل انجام آزمون من کندال به صورت زیر است [۵۰]. ابتدا محاسبه اختلاف بین یکایک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و محاسبه پارامتر  $S$ :

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای این آزمون ۵ درصد در نظر گرفته شده است و  $Z\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

تعیین بزرگی روند توسط آزمون تخمین گر شیب سن

در آزمون من- کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه گردید:

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \mid \forall j > i \right] \quad (6)$$

$X_j$ : آمین داده مشاهداتی  $X_i$ : آمین داده مشاهداتی مقادیر  $\beta$  مثبت (منفی) نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهش) در سری داده‌ها است.

آزمون همبستگی اسپیرمن

آزمون همبستگی اسپیرمن یکی از روش‌های ناپارامتریک آماری است که برای سنجش شدت و جهت رابطه بین دو متغیر به کار می‌رود. این آزمون که توسط چارلز اسپیرمن ابداع شده، برخلاف روش‌های پارامتریک نیازی به نرمال بودن داده‌ها ندارد و برای داده‌های رتبه‌ای یا داده‌هایی که به رتبه تبدیل شده‌اند مناسب است. مزیت مهم آن نسبت به همبستگی پیرسون این است که وجود داده‌های پرت تأثیر محسوسی بر نتیجه ندارد، زیرا تنها رتبه داده‌ها در محاسبه دخالت دارد [۱۵]. در این روش، ابتدا مقادیر هر متغیر بر اساس اندازه‌شان رتبه‌بندی می‌شوند و سپس اختلاف رتبه‌های هر زوج داده ( $d_i$ ) محاسبه می‌شود. مقدار ضریب همبستگی رتبه‌ای ( $r_s$ ) با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۵]:

مقادیر  $X_i$  از  $X$  و  $Y_i$  از  $Y$  رتبه‌بندی می‌گردد. سپس مقادیر  $d_i = X_i - Y_i$  محاسبه شد.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n[n^2 - 1]} \quad (7)$$

به دست می‌آید.

این آزمون از سال ۱۹۶۶ توسط سازمان جهانی هواشناسی برای تحلیل روندهای اقلیمی توصیه شده است. در ارزیابی معنی‌داری، فرض صفر بیانگر عدم وجود رابطه و فرض مقابل بیانگر وجود رابطه معنی‌دار بین متغیرهاست. آماره آزمون اسپیرمن از رابطه [۱۳]

$$t_0 = \frac{T_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-T_s^2}} \quad (8)$$

محاسبه شده و از توزیع  $t$  با  $N-2$  درجه آزادی تبعیت می‌کند. در نهایت، آزمون اسپیرمن ابزاری مؤثر برای بررسی همبستگی بین دو متغیر مستقل از توزیع داده‌ها محسوب می‌شود.

مدل‌سازی اقلیمی و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای

در این مطالعه، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی در شهرستان

قوچان، از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM 6.1 استفاده شد. برای این منظور، ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی قوچان جمع‌آوری و کنترل کیفیت شدند. سپس، با استفاده از مدل SDSM، روابط آماری بین متغیرهای مقیاس بزرگ (پیش‌بینی کننده) و متغیرهای منطقه‌ای (متغیر دما متوسط و بارش) در دوره پایه (۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴) و دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی شبیه‌سازی شد. مدل SDSM 6.1 با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه، روابط آماری بین متغیرهای مقیاس بزرگ (مانند فشار هوا، دما و بارش) و متغیرهای منطقه‌ای (مانند ارتفاع، عرض جغرافیایی و شیب) را تعیین می‌کند. این روابط با استفاده از داده‌های ایستگاه شاهد و خروجی مدل گردش عمومی جو (GCM) در یک دوره زمانی مشابه تولید می‌شوند. قبل از انجام شبیه‌سازی، داده‌ها و مدل‌های گردش عمومی جو نرمال‌سازی شدند. در این فرآیند، میانگین و انحراف استاندارد داده‌ها در دوره موردنظر محاسبه و از داده‌ها کسر شد. سپس، داده‌ها به دو گروه اصلی تقسیم شدند: داده‌های مدل گردش عمومی جو و داده‌های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی. در این مطالعه، از داده‌های مدل پیش‌بینی کننده CanESM2 که به دلیل عملکرد برتر آن در شبیه‌سازی اقلیم جهانی، مشارکت در پروژه CMIP5 برای مقایسه بین مدلی و دسترسی آسان و رایگان به داده‌های باکیفیت بالا از طریق سایت تغییر اقلیم کانادا انتخاب شده است و متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس NCEP برای پیش‌بینی وضعیت جو طی دوره‌های آینده استفاده شد. داده‌های NCEP بر اساس سناریوهای طراحی شده در دوره پایه ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ میلادی از سایت تغییر اقلیم کانادا دریافت شدند. متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش شامل  $p500$ ،  $mslp$  و  $temp$  می‌باشد. در مطالعه حاضر از نرم‌افزار SDSM 6.1 استفاده شده است. سناریوهای RCP<sup>۱</sup> در گزارش پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) معرفی شده‌اند. این سناریوها، مقادیر مختلفی از تراکم گازهای گلخانه‌ای را در سال ۲۱۰۰ میلادی پیش‌بینی می‌کنند. نام‌گذاری این سناریوها بر اساس نرخ تشعشع خورشیدی در سال ۲۱۰۰ انجام می‌شود و به ترتیب RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.0 و RCP 8.5 نام‌گذاری شده‌اند. در پژوهش حاضر از سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در منطقه موردنظر استفاده می‌کند. برای ارزیابی عملکرد مدل SDSM، از پنج شاخص آماری زیر استفاده شد:

۱- ضریب تعیین ( $R^2$ ):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2}} \quad (9)$$

۲- مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSE):

داد، درحالی که دمای میانگین (۰/۳۴۷-) و دمای حداقل (۰/۳۲۹-) دارای همبستگی منفی و قابل توجه بودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در ۳۰ سال گذشته، رطوبت نسبی و تبخیر در شهرستان قوچان روند صعودی داشته‌اند، درحالی که بارش در این دوره فاقد روند معنی‌دار بوده است. همچنین، دمای میانگین و دمای حداقل در حال کاهش و دمای حداکثر در حال افزایش و رطوبت نسبی میانگین بیش‌ترین ارتباط و بارش کم‌ترین ارتباط را با سایر پارامترها نشان می‌دهد. شکل ۳ نحوه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه را در دوره زمانی ۳۰ ساله در شهرستان قوچان با استفاده از روش من - کندال نشان می‌دهد.

ارزیابی میزان دقت و کارایی مدل در شبیه‌سازی متغیرهای دما میانگین و بارش  
روند صعودی دما در شهرستان قوچان می‌تواند زمینه‌ساز تغییر در الگوی بارش و جریان گردد و وقایع حدی مانند خشک‌سالی و سیل را افزایش دهد. افزایش دما سبب افزایش تبخیر و رطوبت نسبی هوا می‌شود و از آنجایی که رطوبت نسبی و بارش تابعی از یکدیگر هستند، می‌توان افزایش بارندگی سالیانه را متصور شد. نتایج دما با مطالعات الهی گل [۱۴] در شمال شرق ایران، اسدی و حیدری [۸] در ایستگاه همدید شیراز و سبزی پرور و همکاران [۳۹] در مناطق خشک و نیمه‌خشک همخوانی دارد. روند تبخیر در قوچان معنی‌دار و صعودی است و با افزایش دما و کاهش بارش، منطقه به سمت خشکی پیش می‌رود. نتایج تبخیر با پژوهش ابلاغیان [۱] در ایران مطابقت دارد. بررسی روند بارش نشان داد این پارامتر نوساناتی داشته اما فاقد روند معنی‌دار است که با مطالعات اسدی و حیدری همخوانی دارد. روند افزایشی دمای بیشینه و بی‌نظمی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های میانه همخوانی خوبی دارد [۳۴]. در این مطالعه، از مدل SDSM 6.1 برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی قوچان استفاده شد. ارزیابی عملکرد مدل از طریق مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی انجام گرفت و انطباق قابل

$$RMSE = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (10)$$

۳- میانگین مطلق خطا (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (11)$$

۴- میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (12)$$

۵- ضریب همبستگی (R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}][Y_i - \bar{Y}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \bar{Y}]^2}} \quad (13)$$

R = ۱ نشان‌دهنده همبستگی مثبت کامل و R = -۱ نشان‌دهنده همبستگی منفی کامل است. همچنین R = ۰ نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی بین دو متغیر است.

## نتایج و بحث

### آزمون ناپارامتری من کندال و تخمین گر شیب سن

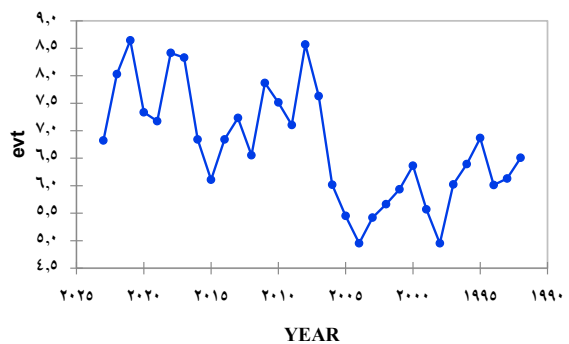
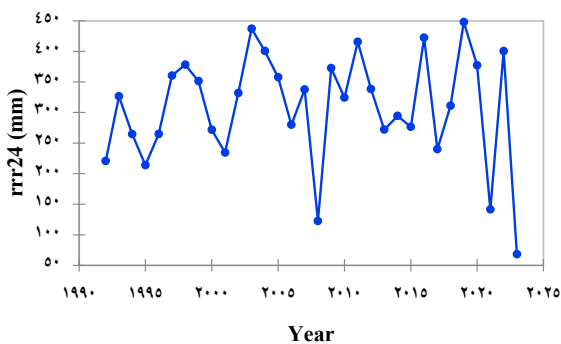
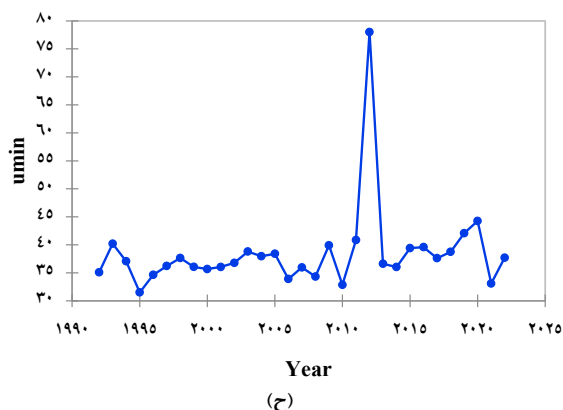
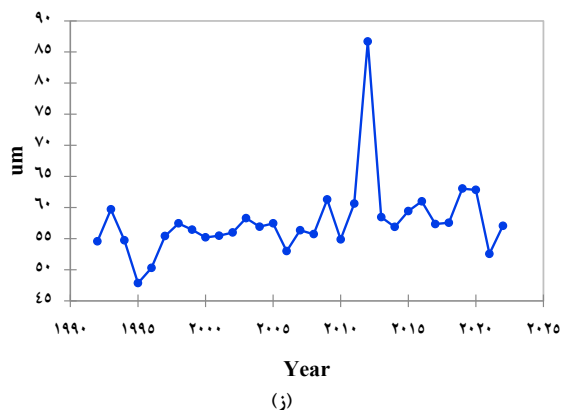
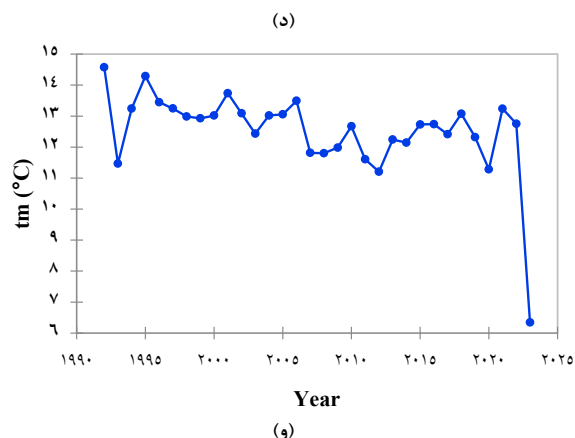
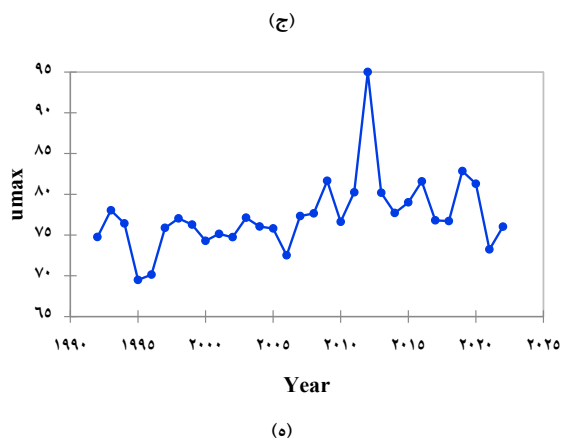
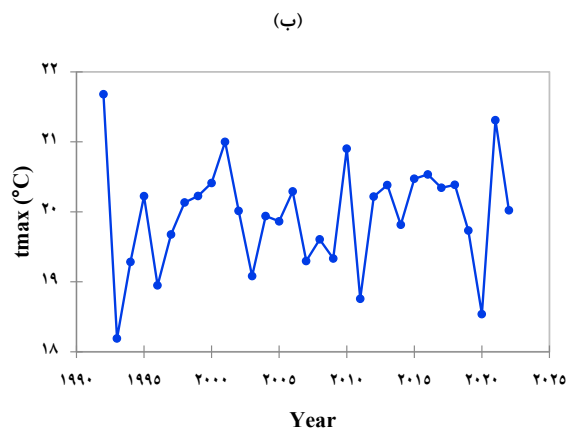
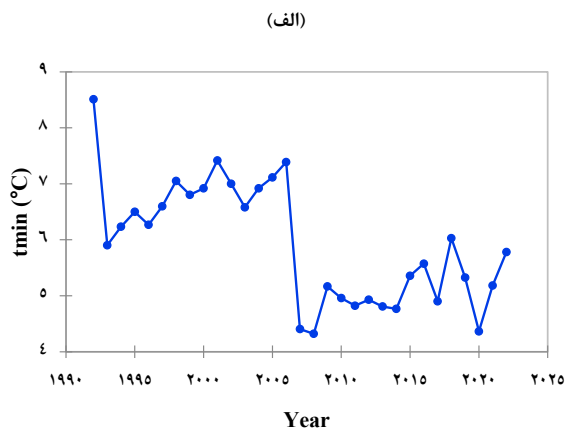
نتایج آشکارسازی روند هشت پارامتر اقلیمی مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج آزمون من-کندال نشان داد که رطوبت نسبی حداکثر و میانگین با سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند صعودی معنادار و همبستگی متوسط بودند، درحالی که رطوبت نسبی حداقل روند معناداری نداشت. دمای میانگین و دمای حداقل روندی نزولی و معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان دادند، در مقابل دمای حداکثر فاقد روند معنی‌دار بود. همچنین تبخیر اگرچه روندی افزایشی دارد، اما از نظر آماری معنادار نیست. نتایج مربوط به بارش ۲۴ ساعته نیز بیانگر نبود روند معنادار و همبستگی ضعیف است. در میان پارامترها، رطوبت نسبی میانگین بیش‌ترین همبستگی (۰/۳۶۳) و بارش ۲۴ ساعته کم‌ترین همبستگی (۰/۰۸۹) را نشان

جدول ۲: نتایج آزمون همبستگی من - کندال و شیب سن در مقیاس زمانی سالانه و دوره زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲

پارامتر	Z آماره	S آماره	Kendall's tau	p-value (Two tailed)	سطح معناداری	شیب سن
دمای حداکثر	۰/۹۵۲	۵۷	۰/۱۲۳	۰/۳۴۱	غیر معنادار	۰/۰۱۴
دمای حداقل	-۲/۵۸	-۱۵۳	-۰/۳۲۹	* ۰/۰۱۰	معنادار در سطح ۰/۰۱	۰/۰۷۱
دمای میانگین	-۲/۷۷	-۱۷۲	-۰/۳۴۷	* ۰/۰۰۶	معنادار در سطح ۰/۰۱	۰-/۰۴۹
رطوبت نسبی حداکثر	۲/۶۱	۱۵۵	۰/۳۳۳	* ۰/۰۰۹	معنادار در سطح ۰/۰۱	۰/۱۸۱
رطوبت نسبی حداقل	۱/۸۷	۱۱۱	۰/۲۳۹	۰/۰۶۲	غیر معنادار	۰/۱۲
رطوبت نسبی میانگین	۲/۸۵	۱۶۹	۰/۳۶۳	* ۰/۰۰۴	معنادار در سطح ۰/۰۱	۰/۱۸۱
تبخیر	۱/۱۳۵	۱۶۰	۰/۳۲۳	۰/۲۵۶	غیر معنادار	۰/۰۶۷
بارش ۲۴ ساعته	۰/۶۹	۴۴	۰/۰۸۹	۰/۴۸۶	غیر معنادار	۱/۱۹

※ معنادار در سطح ۰/۰۱



شکل ۳: الف) روند تغییرات دمای حداقل (ب) روند تغییرات دمای حداکثر (ج) روند تغییرات رطوبت نسبی حداکثر (د) روند تغییرات دمای میانگین (ه) روند تغییرات رطوبت نسبی میانگین (و) روند تغییرات رطوبت نسبی حداقل (ز) روند تغییرات بارش ۲۴ ساعته (ح) روند تغییرات تبخیر

قبولی نشان داد. جدول ۳ معیارهای آماری مانند ضریب همبستگی، میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا را برای این مقایسه ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر این معیارها نشان‌دهنده انطباق مناسب بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده است. شکل ۴ نیز میانگین ماهانه بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در دوره‌های پایه و آینده نشان می‌دهند. در این شکل‌ها نیز مشاهده می‌شود که اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بسیار ناچیز است. نتایج صحت سنجی نشان می‌دهد که مدل SDSM 6.1 از دقت و توانایی بالایی در شبیه‌سازی تغییرات بارش و دما در شهرستان قوچان برخوردار است؛ بنابراین می‌توان از داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در این منطقه در بازه‌های زمانی بلندمدت آینده استفاده کرد.

جدول ۳: صحت‌سنجی متغیرهای اقلیمی دمای میانگین و بارش

ایستگاه مورد مطالعه	دمای متوسط	بارش
	R=0.98	R=0.989
ایستگاه هواشناسی قوچان	R <sup>2</sup> =0.96	R <sup>2</sup> =0.98
	RMSE=1.854	RMSE=0.756
	MSE=3.436	MSE=0.571

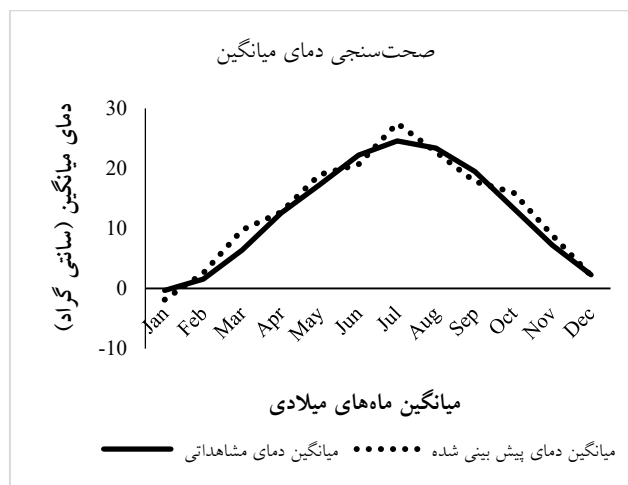
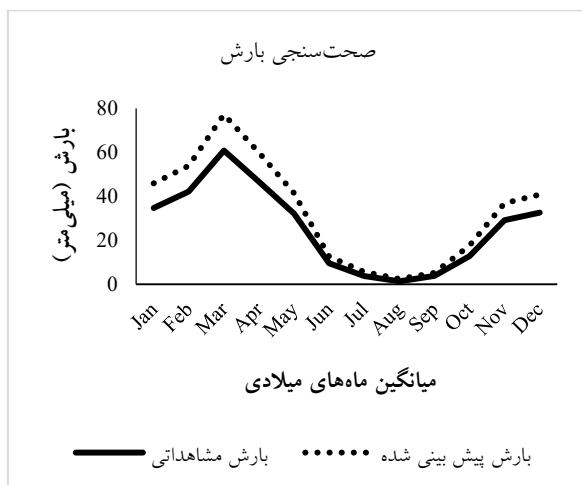
#### نتایج پیش‌بینی بارش و دما در سناریوهای آینده

در این پژوهش، ابتدا دقت مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش و دما در مقیاس ریز مورد بررسی قرار گرفت و پس از تأیید صحت آن، از این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات آینده بارش و دما در ایستگاه قوچان استفاده شد. برای این منظور، سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 که سطوح مختلف گرمایش جهانی را نشان می‌دهند، در نظر گرفته شد و تغییرات دما و بارش در سه بازه

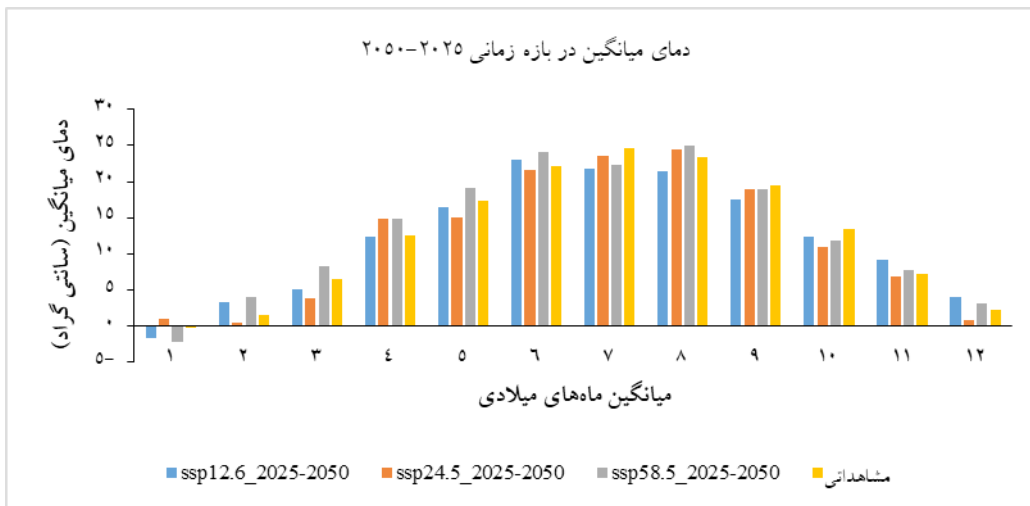
زمانی ۲۵ ساله شامل آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها در ادامه متن ارائه شده و می‌توان از آن‌ها برای برنامه‌ریزی‌های مربوط به منابع آب، کشاورزی و سایر بخش‌های حساس به آب‌وهوا در منطقه استفاده کرد. از نظر اثرات اقلیمی، افزایش دما می‌تواند منجر به کاهش بازده گندم (به‌ویژه در کشت دیم) تا ۱۴-۱۰ درصد به دلیل استرس حرارتی و کوتاه شدن دوره رشد شود، در حالی که تغییرات بارش ممکن است خشک‌سالی را افزایش دهد و نیاز به آب آبیاری را در شمال شرق ایران تا ۱۶-۸ درصد بالا ببرد [۵۲]. از منظر مدیریتی، توصیه می‌شود کشاورزان از ارقام گندم مقاوم به حرارت و خشکی استفاده کنند، تاریخ کاشت را تنظیم نمایند و سیاست‌های کاهش مصرف آب مانند سهمیه‌بندی را اجرا کنند تا پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی حفظ شود؛ این سیاست‌ها می‌توانند مصرف آب را کاهش دهند و الگوی کشت را به سمت محصولات کم‌آب‌بر تغییر دهند [۵۳].

#### دمای ماهانه

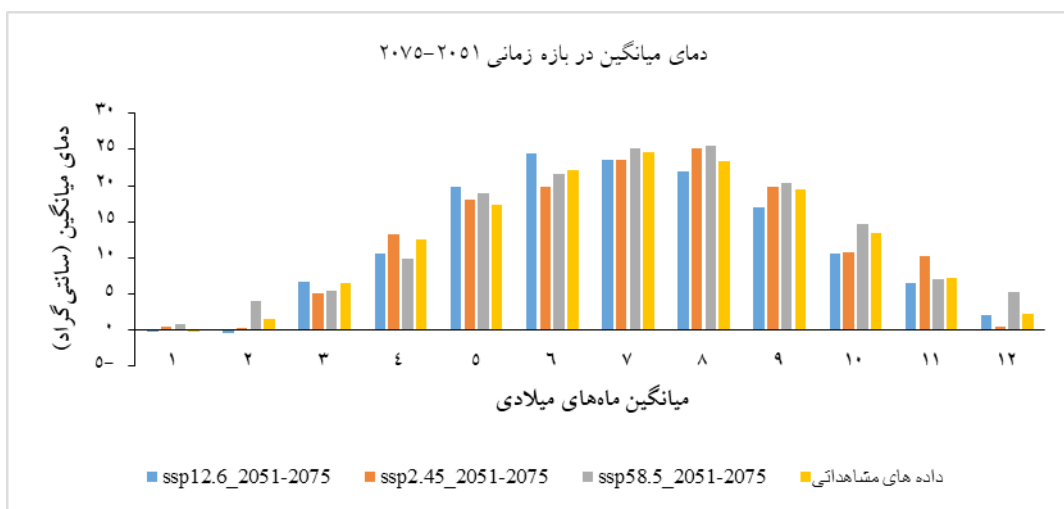
نتایج شبیه‌سازی دمای متوسط ماهانه در بازه‌های زمانی ۲۵ ساله آتی نسبت به دوره زمانی پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴ میلادی)، تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه قوچان در شکل‌های ۵ الی ۷ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 دمای متوسط ماهانه به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد و تحت سناریو RCP8.5 دمای میانگین شهرستان قوچان ۲۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد که این امر به دلیل ماهیت سناریوی یادشده است که بالاترین مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز بالاترین مقدار پرتوهای خورشیدی در این سناریو در نظر گرفته شده است. نتایج حاصله با تحقیقات [۴۱، ۳۳، ۳۲، ۳۱ و ۴۷] همخوانی دارد.



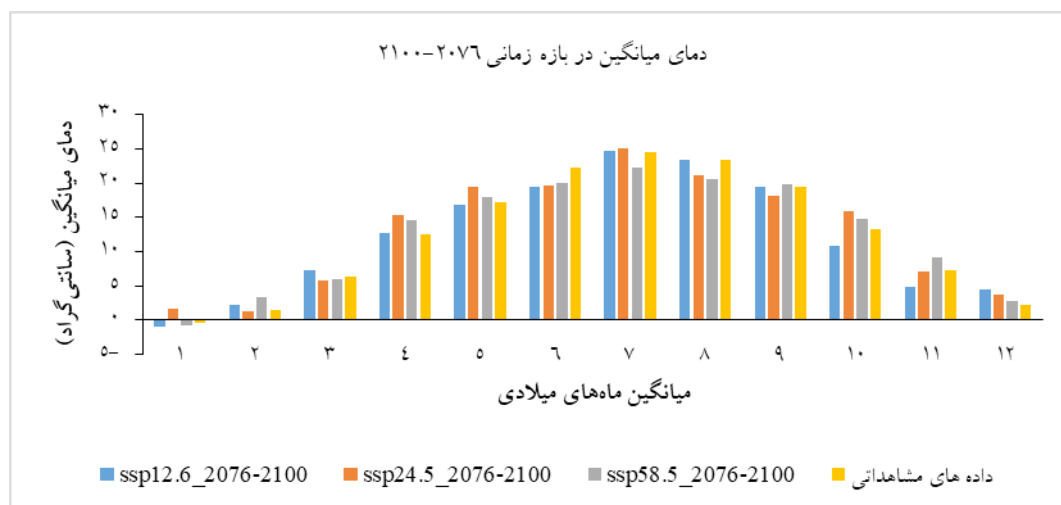
شکل ۴: صحت‌سنجی مدل SDSM تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ایستگاه قوچان در پایه زمانی ۱۹۷۹ الی ۲۰۱۴



شکل ۵: دمای میانگین پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۵ میلادی



شکل ۶: دمای میانگین پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۰۱-۲۰۷۵ میلادی

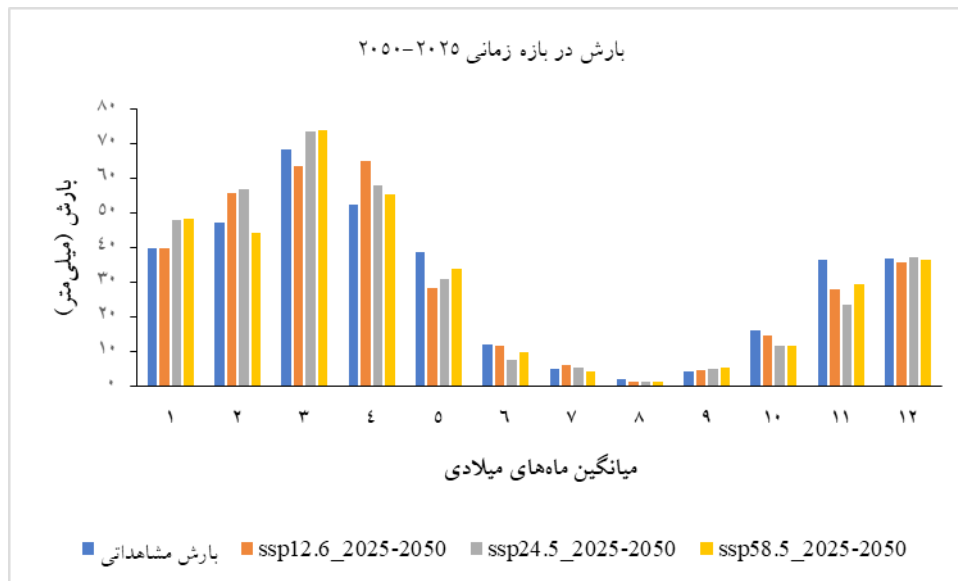


شکل ۷: دمای میانگین پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۰۶-۲۱۰۰ میلادی

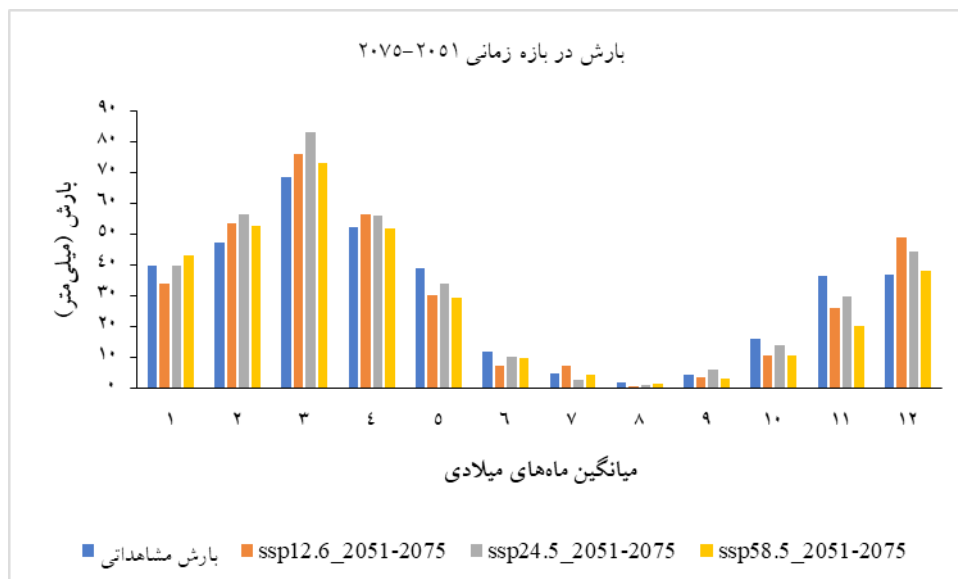
### میانگین بارش ماهانه

نتایج شبیه‌سازی بارش ماهانه در بازه‌های زمانی ۲۵ ساله ۲۰۲۶-۲۰۵۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ میلادی تحت تأثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه قوچان در شکل ۸ الی ۱۰ آورده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشانگر افزایش بارش ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۴)

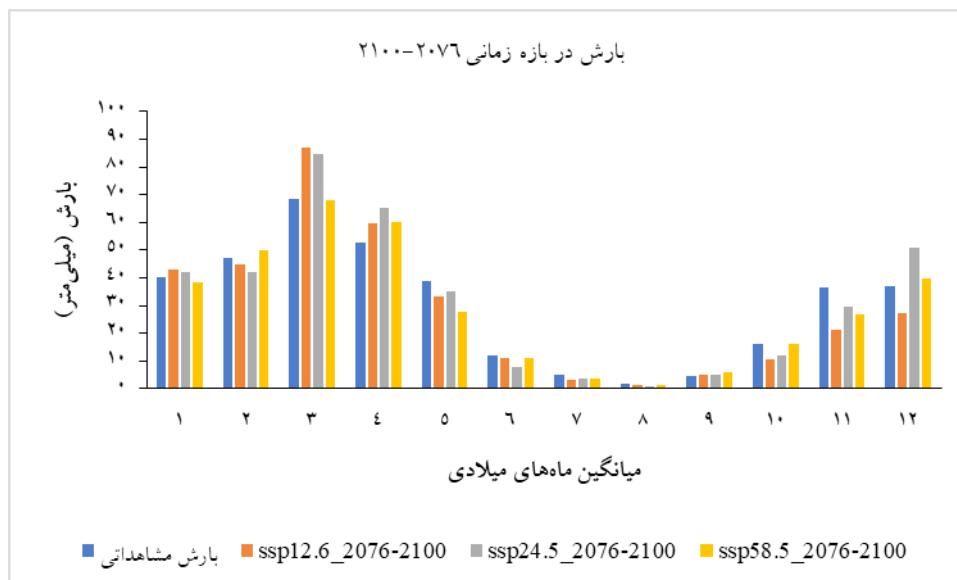
میلادی) است. به‌طور مثال نتایج نشان‌دهنده آن است که در بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ میلادی شکل (۹) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بارش ماهانه در ایستگاه قوچان به ترتیب ۵/۵، ۱۲/۸ و ۹/۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد؛ که نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات [۱۱، ۱۶، ۳۸] مطابقت دارد.



شکل ۸: بارش پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۲۵-۲۰۵۰ میلادی



شکل ۹: بارش پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۷۵-۲۰۵۱ میلادی



شکل ۱۰: بارش پیش‌بینی شده ایستگاه قوچان در بازه ۲۰۱۰-۲۰۷۶ میلادی

دقیق و سازگار با تغییرات اقلیمی ضروری است. اقدامات پیشنهادی شامل تدوین تقویم زراعی جدید، ایجاد زیرساخت‌های ذخیره‌سازی و بهره‌برداری بهینه از آب و برنامه‌ریزی برای مدیریت وقایع حدی نظیر سیل و خشک‌سالی است. علاوه بر این، یافته‌های این تحقیق می‌تواند مبنای سیاست‌گذاری‌های منطقه‌ای و محلی برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم و استفاده از فرصت‌های آن باشد. این نتایج، با تأکید بر اهمیت برنامه‌ریزی تطبیقی و مدیریت پایدار منابع، ابزاری ارزشمند برای تصمیم‌گیران در راستای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و بهره‌گیری از ظرفیت‌های منطقه فراهم می‌کند.

#### منابع

1. Abalaghian, A., Akhundali, A. M., Radmanesh, F., and Zarei, H. 2019. Investigation of trends in temperature, precipitation, and relative humidity in Iran. [Journal details not provided in the original reference] (In Persian).
2. Adib Taleghani, D., and Khoshmanesh, B. 2019. Investigation of trends in precipitation, evapotranspiration, and discharge in the Kan watershed with respect to climate change. *Environment and Sustainable Development*, 4(66), 1-18. (In Persian).
3. Ahmadi, F., and Radmanesh, F. 2014. Investigation of trends in monthly and annual average temperature changes in the northern half of the country over the past half-century. *Journal of Water and Soil*, 28(4), 855-865. (In Persian).
4. Ahmad, I., and Choi, M. 2024. Assessing climate change trends in the Korean Peninsula using

#### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد متغیرهای دمای حداقل و میانگین، رطوبت نسبی حداکثر و میانگین دارای روند معنی‌دار است، اما متغیرهای دمای حداکثر، رطوبت نسبی حداقل، بارش و تبخیر روند معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین بررسی تغییرات شیب سن در پژوهش حاضر نشان داد اکثر پارامترها دارای شیب تغییرات افزایشی مثبت بوده است. نتایج شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی نشان داد تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 دمای متوسط ماهانه به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد و تحت سناریو RCP8.5 دمای میانگین شهرستان قوچان ۲۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد. هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده افزایش بارش ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴ میلادی) است، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بارش ماهانه در ایستگاه قوچان به ترتیب ۵/۵، ۱۲/۸ و ۹/۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. تغییرات دما می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر الگوی بارش داشته باشد و باعث بروز بی‌نظمی در رفتار بارش گردد. افزایش دمای حداقل و تبخیر، همراه با کاهش دمای میانگین، نشان‌دهنده خطر کاهش منابع آبی سطحی و زیرزمینی در منطقه است. این مسئله می‌تواند به افزایش فشار بر بخش کشاورزی و کاهش تولید محصولات زراعی منجر شود. از سوی دیگر، افزایش پیش‌بینی شده بارش ماهانه، فرصت‌هایی را برای بهبود ذخایر آبی و کاهش اثرات خشک‌سالی فراهم می‌کند؛ هرچند این تغییرات ممکن است با نوسانات شدید اقلیمی و وقایع حدی مانند سیل همراه باشد. محدودیت‌های پژوهش، مانند وابستگی به داده‌های محلی با دقت محدود و فرضیات مدل SDSM، ممکن است دقت نتایج را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از مدل‌های اقلیمی ترکیبی با وضوح بالاتر و تحلیل‌های چندجانبه بهره‌گیری شود. این پژوهش نشان می‌دهد که برای مدیریت منابع طبیعی در شهرستان قوچان، برنامه‌ریزی‌های

(In Persian).

13. Choubin, B., Malekian, A., and Gharechahi, HR. 2022. Examination of the temporal changes in the groundwater table in a dry ecosystem (Case study: Aspas Plain aquifer). *Desert Ecosystem Engineering*, 1(1), 39-50. (In Persian).

14. Elahi Gol, A. 2012. Study of temporal changes in some climatic elements in northeastern Iran (case study: North Khorasan and Razavi Khorasan provinces). *Nivar*, 37(80-81), 23-34. (In Persian).

15. Esmaeili, R., Habibi Nokhandan, M., and Fallah Ghalhari, G. A. 2010. Assessment of changes in the length of the growing season and frost due to climatic fluctuations: A case study of Razavi Khorasan. *Journal of Physical Geography Research*, 42(73), 69-82. (In Persian).

16. Fallah Ghalhari, G. A., Yousefi, H., Hosseinzadeh, A., Alimoradi, M., and Rihani, E. 2019. Assessment of climate change at Bojnurd station from 2016 to 2050 using LARS-WG and SDSM downscaling models. *Ecologyhydrology*, 6(1), 99-109 (In Persian).

17. Gaddikeri, V., Sarangi, A., Singh, DK., Jatav, MS., Rajput, J., and Kushwaha, NL. 2024. Trend and change-point analyses of meteorological variables using Mann-Kendall family tests and innovative trend assessment techniques in New Bhubania command (India). *Journal of Water and Climate Change*, 15(5), 2033-2058.

18. Gavrilo, MB., Tošić, I., Marković, SB., Unkašević, M., and Petrović P. 2016. Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Időjárás*, 120(2), 183-198.

19. Ghahari, G., Gandomkar, A., Najafpour, B., and Najabat, M. 2015. Investigation of temperature trend changes at Shiraz synoptic station using the Mann-Kendall statistical method. *Physical Geography*, 8(27), 105-118. (In Persian).

20. Gharekhani, A., and Ghahraman, N. 2010. Investigation of seasonal and annual trends in relative humidity and dew point in various climatic samples in Iran. *Journal of Water and Soil*, 24(4), [page numbers not provided]. (In Persian).

Mann-Kendall and Spearman's rho tests. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 245.

5. Ahmed, IA., Salam, R., Naikoo, MW., Rahman, A., Praveen, B., Hoai., PN., and Elkhrachy, I. 2022. Evaluating the variability in long-term rainfall over India with advanced statistical techniques. *Acta Geophysica*, 70(2), 801-818.

6. Akbari Azirani, T., Ghaffari, H., and Gholipour, J. 2022. Trend analysis and detection of seasonal changes in climatic variables of temperature and precipitation in the mountainous region of the Qareh Qum watershed. *Geographical Studies of Mountainous Regions*, 3(1), 41-54. (In Persian).

7. Al Balasmeh, O., Babbar, R., and Karmaker T. 2019. Trend analysis and ARIMA modeling for forecasting precipitation pattern in Wadi Shueib catchment area in Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(2), 27.

8. Asadi, A., and Heidari, A. 2011. Analysis of temperature and precipitation series changes in Shiraz during the period 1951-2005. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 22(1), 137-152. (In Persian).

9. Asakereh, H., and Shadman, H. 2016. Statistical analysis of changes in the frequency and temperature of hot days in Iran. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, 25(100), 147-156. (In Persian).

10. Asghari Saraskanrud, S., Ghaleh, E., Ardeshirpi, A. A., and Omidifar, M. 2020. Prediction of land use changes in Quchan city for 2030 using the CA-Markov method. *Regional Planning*, 10(40), 177-194. (In Persian).

11. Babaeian, I., Modirian, R., Khazanadari, L., Karimian, M., Kuzehgaran, S., Kuh, M., Falamarzi, Y., and Malbusi, S. 2023. Precipitation outlook for Iran in the 21st century using statistical downscaling of selected CMIP6 model outputs by the CMHyd software. *Physics of the Earth and Space*, 49(2), 431-449. (In Persian).

12. Behroozi, A., Nazemalsadat, S. M. J., and Pishvaei, M. R. 2023. Evaluation of precipitation trend changes in the long-term time series of Shiraz. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 19-32.

30. Maroufnejad, A., and Ghasemi, S. 2017. Temperature trend analysis using the Mann-Kendall method (case study: four counties of Chaharmahal and Bakhtiari province). *Environmental Planning Quarterly*, 10(37), 149-166. (In Persian).
31. Masah Bavani, A. R., Ghasemzadeh, S., Roozbahani, A., and Rajaei, F. 2021. Climate change prediction using an ensemble approach of multiple models in the Qareh Su watershed. *Ecohydrology*, 8(4), 1189-1197. (In Persian).
32. Mianabadi, A., Bateni, M. M., and Mohammadi, S. 2023. Projection of changes in precipitation and temperature distribution using bias-corrected simulations of climate models from the Sixth Report (case study: Kerman synoptic station). *Climate Change Research*, 4(14), 65-84. (In Persian).
33. Mojarlu, F., Fazl Oli, R., and Emadi, A. R. 2019. Application of the IHACRES model to assess the effects of climate change on the discharge of the Tajen watershed. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(1), 129-141. (In Persian).
34. Naseri, E., Masah Bavani, A. R., and Saadi, T. 2021. Detection of changes in seasonal fluctuations of climatic variables and attribution to climate change (study area: southern slopes of Central Alborz). *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 8(1), 93-110. (In Persian).
35. Poursoltani, M. R., and Ghaemi Moghadam, M. 2014. Physiography and geomorphology of the Tabarak Dam watershed located north of Quchan and its impact on sediment type. *Journal of Applied Geology Research (New Findings in Applied Geology)*, 8(15). (In Persian).
36. Rashidi Ghaneh, M., Motavalli, S., Janbaz Ghobadi, G., and Kuh, M. 2023. Evaluation of the performance of three statistical downscaling methods for temperature and precipitation outputs of CMIP6 models in the Kashafrud watershed. *Climate Research*, 2023(53), 117-132. (In Persian).
37. Rezvian, F., Izadyar, S., and Aghapanah, B. 2015. Factors causing climate change, global warming, and its effects. *Second International Conference on Environmental Engineering*, Tehran, Center for
21. Gheisouri, M., Kalehhouei, M., Saberi, A., and Mohammadi, P. 2022. Application of ARIMA time series models in forecasting meteorological drought in Tehran province. *Watershed Management Extension and Development*, 10(36), 60-70. (In Persian).
22. Gupta, V., Singh, V., and Jain, MK. 2020. Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, 590, 125422.
23. Helmi, M., Zeraati, NS., Amirabadizadeh, M., and Yaghoobzadeh, M. 2023. Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN methods in downscaling of temperature and precipitation for two different climates (In Persian).
24. Imani, S., Dinpashoh, Y., Asadi, E., and Fakheri-Fard, A. 2024. Assessing the impact of climate change by using Mann-Kendall, Pettitt and statistical downscaling model (case study: Tabriz station). *Acta Geophysica*, 1-33.
25. Kalehhouei, M., Kavian, A., Gholami, L., and Jafarian, Z. 2017. Affectability of runoff and sediment production to different levels of canola straw mulch cover in small laboratory plots. *Watershed Management Extension and Development*, 5(19), 19-25. (In Persian).
26. Kalehhouei, M., Kavian, A., Shahedi, K., and Soltani, M. 2018. Zoning of drought in the Caspian plain using SPI and ZCI indices. *Watershed Management Extension and Development*, 6(20), 45-54. (In Persian).
27. Karami, M., Zandi, R., Asadi, M., and Taheri Ghasemabadi, J. 2018. Investigation of climatic parameter trends in Mashhad using statistical tests over a time period. *New Research in Human Sciences*, 8, 153-168. (In Persian).
28. Khajeh Amiri Khalidi, C., and Salari Fanudi, M. R. 2016. Investigation of seasonal and annual temperature and precipitation trends in Chabahar. *First International Conference on Climate Change*, Tehran, Permanent Secretariat of the Conference. (In Persian).
29. Kumar, R., and Jain, S. K. 2023. Spatio-temporal trends in precipitation over India: A non-parametric approach. *Climate Dynamics*, 60(4), 1123-1138.

47. Yousefi, H., Amini, L., Ghasemi, L., and Amraei, N. 2018. Evaluation of the efficiency of the statistical downscaling model (SDSM) in simulating and predicting climatic parameters (case study: Karaj synoptic station). *Ecohydrology*, 5(3), 957-968. (In Persian).
48. Zhang, Q., Xu, C. Y., and Chen, X. 2022. Climate change impacts on the hydrology of the Yangtze River Basin: A Mann-Kendall trend analysis. *Water Resources Research*, 58(5), e2021WR031245.
49. Jahedi Pour, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2016. Botanical Criteria of Baharkish Rangeland in Quchan, Khorasan Razavi Province, IRAN. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 20. (In Persian).
50. Pandey, V., Pandey, P. K., Chakma, B., and Ranjan, P. 2024. Influence of short-and long-term persistence on identification of rainfall temporal trends using different versions of the Mann-Kendall test in Mizoram, Northeast India. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(7), 10359-10378.
51. Dafouf, S., Lahrach, A., Tabyaoui, H., and Benaabidate, L. 2025. Future Evolutions of Precipitation and Temperature Using the Statistical Downscaling Model (SDSM), Case of the Guir and the Ziz Watershed, Morocco. *Earth*, 6(1), 4.
52. Heydari, N., and Taran, F. 2025. Effect of climate change on wheat yield and water productivity in Iran and the world. *Iranian Journal of Environmental Engineering*, Advance online publication. <https://doi.org/10.11648/j.ijee.2025>
53. Kazemi-nejad, R., Rezaee, A., Joolaie, R. 2022. Investigating the effects of water resources consumption reduction policies on agricultural sustainability in different climates in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26(4), 1007-1032.
- Achieving Sustainable Development. (In Persian).
38. Roshani, A., and Hamidi, M. 2021. Prediction of the effects of climate change scenarios on temperature and precipitation based on CMIP6 models (case study: Sari station). *Water and Irrigation Management*, 11(4), 781-795. (In Persian).
39. Sabziparvar, A. A., Seif, Z., and Ghiyami, F. 2013. Temperature trend analysis in some stations of arid and semi-arid regions of Iran. *Geography and Development*, 11(30), 117-138. (In Persian).
40. Safari, B. 2012. Trend analysis of the mean annual temperature in Rwanda during the last fifty two years. *Journal of Environmental Protection*, 3(6), 538.
41. Shahi Nejad, B., Kakavand, A., Younesi, H., and Yousefi, H. 2022. Downscaling of precipitation and temperature variables using the CanESM2 model under RCP scenarios (case study: Harroud River, Lorestan). *Ecohydrology*, 9(3), 657-673. (In Persian).
42. Sharma, S., and Sing, P.K. 2017. Long term spatiotemporal variability in rainfall trends over the state of Jharkhand, India. *Climate*, 5(1), 18.
43. Sun, M., and Kim G. 2016. Quantitative monthly precipitation forecasting using cyclostationary empirical orthogonal function and canonical correlation analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(1), 1-13.
44. Tabari, H., Willems, P., and Talaei, P.H. 2021. Trend analysis of temperature and precipitation in the Middle East using non-parametric methods. *Journal of Hydrology*, 603, 126987.
45. Taheri Tizro, A., Ghashghaie, M., Georgiou, P., and Voudouris K. 2014. Time series analysis of water quality parameters. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 1(1), 40-50.
46. Vafakhah, M., Zabihi Silabi, M., Modaresi Tabatabaei, S., Sarvi Sadrabad, H., Shafiei Bafti, A., Ghaderi Dehkordi, N., Riahi, M. R., and Ghiassi, S. S. 2023. Trend analysis of average annual discharge in Iran. *Watershed Engineering and Management*, 15(2), 314-327. (In Persian).



## Abstract

## Assessment and Prediction of Long-Term Changes in Climatic Variables in the Quchan Region

K. Shahedi<sup>1</sup>, E. shad<sup>2</sup> and K. Karimi<sup>3</sup>

Received: 2025/07/26 Accepted: 2025/12/07

The main objective of this study is to monitor and evaluate the trends of climatic parameters—including maximum, minimum, and mean temperature; maximum, minimum, and mean relative humidity; precipitation; and evaporation—on an annual scale over a 30-year period (1992–2022) in Quchan County. To achieve this objective, the Mann–Kendall trend test, Sen’s slope estimator, and Spearman’s rank correlation test were employed. In addition, the future impacts of climate change on these parameters were assessed using the SDSM 6.1 model and RCP scenarios based on the Sixth Assessment Report (AR6) of the IPCC, across three 25-year time periods. The trend analysis results indicated that the Mann–Kendall and Spearman methods produced consistent outcomes. The Mann–Kendall test revealed that maximum temperature showed a non-significant increasing trend ( $Z = 0.952$ ) with a positive Sen’s slope. In contrast, minimum temperature ( $Z = -2.58$ ,  $p = 0.01$ ) and mean temperature ( $Z = -2.77$ ,  $p = 0.006$ ) exhibited significant decreasing trends. Mean relative humidity demonstrated a significant upward trend ( $Z = 2.85$ ,  $p = 0.004$ ), whereas evaporation ( $Z = 1.135$ ,  $p = 0.256$ ) and 24-hour precipitation ( $Z = 0.69$ ,  $p = 0.486$ ) showed no statistically significant trends. The findings of this research can be utilized to support effective planning for sustainable natural resource management and to mitigate the adverse impacts of climate change in the study area.

**Keywords:** Mann-Kendall test, Statistical correlation, climate change, Spearman, Qochan city

1. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

2. Watershed PhD student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Corresponding Author, Email: ehsanshad1991@gmail.com

3. Watershed PhD student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.