



آشکارسازی روند نمایه‌های حدی بارش با تحلیل فضایی - زمانی (مطالعه موردی: استان اردبیل)

پویا الله‌وردی^۱، یعقوب دین‌پژوه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر، وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی نسبت به دهه‌های گذشته افزایش یافته است. با هدف تحلیل فضایی - زمانی نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل، از داده‌های اقلیمی روزانه ایستگاه‌های همدید خلخال، اردبیل و پارس‌آباد در دوره آماری پایه ۱۹۹۳-۲۰۲۰ استفاده شد. نمایه‌های حدی با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimDex و روند تغییرات آن‌ها با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح‌شده و تخمین گر شیب سن محاسبه شد. نتایج نشان داد که در مرکز و جنوب استان اردبیل، هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش، روند افزایشی نداشتند و اکثر نمایه‌های حدی دارای روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) بودند. در شمال استان اردبیل (پارس‌آباد) بیشتر نمایه‌های حدی بارش دارای روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) بودند. روند نمایه‌های حدی روزهای خشک متوالی (CDD) و بارش در روزهای خیلی مرطوب (R95p) در کل استان اردبیل کاهشی (غیرمعنی‌دار) بود. بیشترین شیب کاهشی نمایه CDD با $-۰/۳۲$ روز در سال در پارس‌آباد و بیشترین شیب کاهشی نمایه R95p با $-۰/۸۷$ میلی‌متر بر سال در اردبیل بود. نمایه‌های حدی کمتر بارش یک‌روزه (Rx1day)، حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)، نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII) و بارش در روزهای شدیداً مرطوب (R99p) در شمال استان به ترتیب با شیب $+۰/۰۷$ میلی‌متر (بر سال)، $+۰/۰۷$ میلی‌متر (بر سال)، $+۰/۰۲$ میلی‌متر بر روز (بر سال) و $+۰/۱$ میلی‌متر (بر سال)، روند افزایشی داشتند. این نمایه‌ها در اردبیل و خلخال کاهشی یا بدون روند بودند. نمایه تعداد روزهای بارش سنگین (R10mm) در پارس‌آباد افزایشی ($+۰/۱$ روز بر سال)، در اردبیل کاهشی ($-۰/۰۷$ روز بر سال) و در خلخال بدون روند بود. روند تغییرات مجموع بارش سالانه در ایستگاه همدید خلخال و پارس‌آباد به ترتیب با شیب سن $+۰/۰۵$ و $+۱/۳۰$ میلی‌متر بر سال افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در ایستگاه همدید اردبیل با شیب سن $-۱/۴۱$ کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. به‌طور کلی، روند هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل (در سطح ۹۵٪)، معنی‌دار نبود. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در زمینه مدیریت رویدادهای حدی بارش از جمله سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، بارش، تغییر اقلیم، روند، رویداد حدی

مقدمه

اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وقوع، فراوانی و میزان بارش به عوامل زیادی بستگی دارد و برآورد آن همواره دارای پیچیدگی‌ها و چالش‌های فراوانی است (Sattari et al., 2024). نتایج تحقیقات حاکی از آن است که تغییر اقلیم، در برخی از مناطق افزایش و در برخی دیگر، کاهش بارش را به دنبال دارد (Allahverdipour et al., 2024). نکته مهم، توزیع بارش از لحاظ مکانی و زمانی و رویدادهای حدی آن در طول سال و

امروزه پیامدهای محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر کسی پوشیده نیست. بارش یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های هیدرولوژی و هواشناسی است. برآورد مقادیر آن در زمینه‌های مختلفی همچون کشاورزی، شرب، صنعت، بهداشت و محیط‌زیست از

^۲استاد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(dinpazhoh@tabrizu.ac.ir: *نویسنده مسئول)

^۱دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

خیلی سنگین (R20mm) و فوق سنگین (R50mm) بین ۱/۷۳-۰، ۳/۳۳-۲/۱۴ و ۱/۶۷-۱/۲۹ روز در دهه و حداکثر بارش یک روزه (Rx1d) و پنج روزه (Rx5d) به ترتیب از ۱۰/۱۰- تا ۳/۸۸ و ۲۱/۰۹- تا ۲۴/۶۹ میلی متر در دهه گزارش شد (Tan et al., 2019). نتایج تحلیل تغییرات نمایه های حدی اقلیمی در بالادست رودخانه گئوم^۲ در کره جنوبی در دوره ۱۹۸۸-۲۰۲۰ حاکی از افزایش شدت دما، شدت بارش، دوره های مرطوب و خشک متوالی و مدت گرما و کاهش مدت سرما بود. همچنین، فصل تابستان طولانی تر و تغییرات مقادیر بارش در مقیاس های فصلی و ماهانه این منطقه گزارش شد (Felix et al., 2021). نتایج بررسی تغییرات نمایه های حدی اقلیمی منطقه چراپونجی در هند در دوره ۱۹۷۹-۲۰۲۰ حاکی از افزایش معنی دار تعداد روزهای خشک متوالی، روزهای گرم و روزهای با بارش بسیار کم به ترتیب با ۵۴/۰، ۵۸/۱ و ۱۴/۰ روز در سال و روند کاهشی معنی دار در روزهای مرطوب متوالی با ۳۶/۰ روز در سال بود. همچنین، نمایه های مرتبط با حداکثر دمای روزانه بین ۰/۰۶ تا ۰/۰۷ درجه سانتی گراد در سال افزایش معنی دار داشت (Kalita et al., 2023). نتایج بررسی نمایه های حدی اقلیمی در تگزاس آمریکا، با استفاده از داده های دوره ۱۹۸۵-۲۰۰۵ و بسته نرم افزاری RCLIMDEX حاکی از وجود روند کاهشی در نمایه شب های سرد و روزهای سرد و روند افزایشی در نمایه شب های گرم و روزهای گرم بود (Tefera et al., 2024). در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه بررسی رویدادهای حدی اقلیمی انجام شده است. مثلاً در زنجان، تحلیل رویدادهای حدی اقلیمی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۱ نشان داد که دو توزیع آماری مقادیر کرانه ای تعمیم یافته و توزیع پرتوی تعمیم یافته همه سری های حدی زنجان را به نحو مطلوب برازش می دهند (Jahanbaksh Asl et al., 2013). مطابق نتایج بررسی و شناخت وردایی نمایه های فرین بارش و دما در ایستگاه همدید اردبیل، روند تمام نمایه های معنی دار بارش فرین اردبیل منفی بود. همچنین، کاهش رخداد دماهای فرین سرد و افزایش رخداد دماهای فرین گرم گزارش شد (Shokri, 2016). در حوضه دریاچه ارومیه، نتایج برآورد نمایه های حدی اقلیمی با

در مناطق مختلف است. رخداد متغیرهای اقلیمی بیشتر (یا کمتر) از یک حد آستانه در یک منطقه، به عنوان رویدادها یا نمایه های حدی اقلیمی شناخته می شوند (IPCC, 2013). بررسی نمایه های حدی اقلیمی و تحلیل تغییرات آن ها، برای توسعه راهبردهای مدیریتی و سازگاری با تغییرات اقلیمی ضروری است. در سال های اخیر، وقوع پدیده های حدی اقلیمی نسبت به گذشته افزایش یافته و رویدادهایی مثل طوفان ها، سهمگین تر و خشک سالی ها و یخبندان ها، شدیدتر شده است. بارش های حدی در دو سوم ایستگاه های مختلف دنیا تا سال ۲۰۱۸ روند افزایشی داشته و درصد ایستگاه های دارای روند افزایشی معنی دار، به میزان قابل توجهی بیشتر از آن است که به طور تصادفی برای قاره های مختلف مورد انتظار بوده است (Sun et al., 2021). این تغییرات بر وضعیت زندگی مردم، شرایط اکولوژیک، محیط زیست شهری و روستایی و امور کشاورزی، باغی و دامی نیز تأثیر گذاشته است. توسعه اقتصادی، پایداری منابع آب و سایر بخش های زندگی انسان، مستلزم تحلیل وقوع این رویدادها و میزان آمادگی در مدیریت تأثیر این قبیل پدیده ها است. رویدادهای حدی اقلیمی مانند سیل، دوره های طولانی روزهای داغ و یا روزهای با بارش های سنگین، پدیده هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب هستند و تغییر در شدت و مدت آن ها موجب ایجاد خسارت های زیان بار می شود. این رویدادها به مراتب بیشتر از تغییرات در میانگین های اقلیمی تأثیرگذار هستند (Wei et al., 2023). تاکنون تحقیقات مختلفی با موضوع تحلیل و بررسی رویدادهای حدی اقلیمی در سراسر دنیا انجام شده است. از مطالعات پیرامون بررسی رویدادهای حدی اقلیمی می توان پژوهش (Liu et al., 2019) در بنگلادش، Avila- Diaz et al. (2020) در برزیل، Aleshina et al. (2021) در روسیه، Shenoy et al. (2022) در آمریکا، Hamitouche et al. (2024) در الجزایر و Zhu et al. (2024) در چین را نام برد. نتایج بررسی تغییرات نمایه های حدی اقلیمی حوضه رودخانه مودا^۱ در مالزی در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۵ حاکی از روند کم در اکثر نمایه های اقلیمی سالانه بود. تغییرات تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm)، تعداد روزهای با بارش

^۲ Geum^۱ Muda

روند کاهشی بود که فقط در ایستگاه هیر معنی‌دار بود (Esgandari et al., 2024). در دشت مغان واقع در شمال استان اردبیل، افزایش بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تبخیرتغرق مرجع^۱ (ET_0) این منطقه به ترتیب از ۲۶۱، ۹/۹۵ °C، ۲۱/۱۲ °C و ۱۱۱۴ mm/year فعلی، به ۳۶۱، ۱۶/۰۴ °C، ۲۷/۶۸ °C و ۱۳۳۴ mm/year تحت سناریو بدبینانه تا انتهای قرن برآورد شد (Dinpashoh and Allahverdipour, in press). به‌طوری‌که از پیشینه پژوهش می‌توان استنباط کرد، تاکنون بررسی جامع نمایه‌های حدی اقلیمی بارش در استان اردبیل کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف پژوهش حاضر، برآورد نمایه‌های حدی بارش استان اردبیل در دوره ۱۹۹۳-۲۰۲۰ با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimDex و تحلیل فضایی - زمانی روند تغییرات آن‌ها با استفاده از آزمون تشخیص روند من - کندهال اصلاح‌شده و تخمین‌گر شیب سن است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان اردبیل است. این استان در شمال غربی ایران و مرز کشور جمهوری آذربایجان قرار دارد. باتوجه به گستردگی استان اردبیل در عرض‌های شمال تا جنوب و وجود پستی و بلندی‌ها، اقلیم متنوعی در مناطق مختلف آن وجود دارد. در شمال این استان، دشت مغان واقع شده است که به دلیل ارتفاع بسیار کم از سطح آب‌های آزاد، معمولاً آب‌وهوای گرم دارد. دامنه‌های کوه سبلان نیز مرکز تا جنوب این استان را فراگرفته و معمولاً آب‌وهوای سرد و کوهستانی بر این منطقه حاکم است. از طرفی، هم‌جواری با دریای خزر از سمت شرق، آب‌وهوای این استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. باتوجه به توپوگرافی و ویژگی‌های جغرافیایی خاص استان اردبیل، دمای هوا از شمال (دشت مغان) به جنوب (ارتفاعات کوه سبلان)، به تدریج کاهش می‌یابد و بر میزان بارش افزوده می‌شود. متوسط بارش سالانه از حدود ۲۶۱ میلی‌متر در شمال تا حدود ۳۶۴ میلی‌متر در جنوب استان متغیر است. متوسط دما نیز

استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimDex و روندیابی تغییرات آن‌ها در سه ایستگاه هم‌دید تبریز، ارومیه و تکاب در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰ حاکی از روند افزایشی در نمایه‌های روزهای گرم، روزهای با بارش سنگین و روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز و روند کاهشی آن‌ها در ایستگاه تکاب و روند افزایشی روزهای یخبندان فقط در ایستگاه تکاب بود (Khorshiddoust et al., 2018). بررسی روند تغییرات اقلیمی در شهر اردبیل در دوره ۱۹۷۷-۲۰۱۷ حاکی از افزایش کمینه‌های فرین طی فصول پاییز و زمستان بود و بیشینه‌های فرین در این فصول تغییرات محسوسی نداشت. در حالی که در فصل تابستان شرایط کاملاً برعکس بود. به‌طوری‌که کمینه‌های فرین تغییرات قابل توجهی نداشت و افزایش بیشینه‌های فرین در فصل تابستان گزارش شد (Zeinali and Khojasteh Gholami, 2019). در شمال شرق ایران، روند نمایه‌های حدی گرم افزایشی و نمایه‌های حدی سرد کاهشی گزارش شد که در چند ایستگاه معنی‌دار بود (Kouzegaran et al., 2021). ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران حاکی از روندی افزایشی شدت بارش روزانه (SDII) در بسیاری از بخش‌های ایران بود. همچنین در بسیاری از گستره‌های ایران به‌ویژه در بخش‌های غربی، کاهش نمایه روزهای مرطوب متوالی (CWD) گزارش شد (Halabian and Keikhosravi Kiany, 2021). در استان کردستان، مطابق نتایج بررسی تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۶، روند افزایشی در شاخص‌های حدی گرم گزارش شد که روند تعداد روزهای تابستانی و بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، معنی‌دار بود. همچنین در اغلب ایستگاه‌ها روند کاهشی در شاخص‌های حدی سرد و شاخص‌های بارش گزارش شد که روند تعداد روزهای سرد و شاخص‌های بارش در اکثر ایستگاه‌ها معنی‌دار بود (Hejazizadeh and Zarei, 2023). در استان لرستان، روند کاهشی مجموع بارش سالانه (غیر معنی‌دار) و روند افزایشی نمایه‌های حدی بارش (معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد در برخی از ایستگاه‌ها) در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۷ گزارش شد (Zand et al., 2023). بیشتر شاخص‌های حدی بارش در ایستگاه‌های بخش مرکزی استان اردبیل دارای

^۱ Reference Evapotranspiration

و پارس‌آباد در شمال استان با ارتفاع ۷۲ متر در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۳ استفاده شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی، نوع اقلیم بر اساس شاخص خشکی دومارتن و خلاصه مشخصات آماری داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های همدید منتخب در استان اردبیل

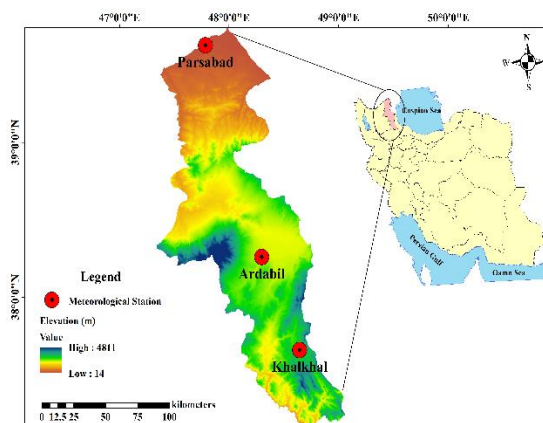
Table 1- Geographical location and climatic characteristics of selected synoptic stations in Ardabil province

Characteristics	Khalkhal	Ardabil	Parsabad
Altitude (m)	1797	1314	72
Longitude	48.54	48.33	47.78
Latitude	37.61	38.22	39.60
T _{mean} (°C)	9	10	15.5
Number of days with T _{mean} < 0 °C	66	47	6
Mean annual precipitation (mm)	364	272	261
Mean number of rainy days in a year	100	112	78
Climate type (De Martonne index)	Semi-arid	Semi-arid	Semi-arid

نمایه‌های حدی بارش

برای بررسی و تحلیل نمایه‌های حدی اقلیمی، پروژه مشترکی در چهارچوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی^۳ (WMO)، بین کمیسیون اقلیم‌شناسی^۴ (CCL)، تغییرپذیری و پیش‌بینی‌پذیری اقلیم^۵ (CLIVAR)، برنامه پژوهش‌های اقلیم جهانی^۶ (WCRP) و کارگروه تخصصی برآورد و پایش تغییرات اقلیمی و شاخص‌های اقلیمی^۷ (ETCCDMI) انجام شد. نتیجه این پروژه، تعاریف مشخص و روابطی است که برای نمایه‌های حدی اقلیمی ارائه شده است (Karl et al., 1999; Peterson et al., 2001). در این تحقیق، نمایه حدی اقلیمی مرتبط با بارش ارائه شده توسط ETCCDMI، در استان اردبیل در دوره ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۰ در مقیاس سالانه بررسی و تحلیل شد. برای محاسبه و برآورد

در شمال استان اردبیل حدود ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و در جنوب استان حدود ۹ درجه سانتی‌گراد است (یافته‌های پژوهش حاضر). شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Figure 1- The geographical location of the study area

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، ابتدا داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدید استان اردبیل از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. در هر مطالعه علمی که با استفاده از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی انجام می‌شود، صحت‌سنجی داده‌ها ضروری است و بدون اطمینان از صحت و کیفیت داده‌ها، نمی‌توان آن‌ها را برای استخراج نتایج به کار برد. بنابراین، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق ابتدا مورد بررسی آماری و صحت‌سنجی (تشخیص داده‌های پرت^۱ و بررسی همگنی^۲) قرار گرفت (Allahverdipour and Sattari, 2023). باتوجه به ماهیت پژوهش و اهمیت طول دوره آماری، توپوگرافی و پراکنش جغرافیایی در مطالعات اقلیمی، پس از کنترل کیفی داده‌ها، یک دوره مشترک ۲۸ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۰) در سه ایستگاه همدید خلخال، اردبیل و پارس‌آباد انتخاب شد. بنابراین، برای تحلیل نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل از داده‌های اقلیمی روزانه ایستگاه همدید خلخال در جنوب استان با ارتفاع ۱۷۹۷ متر، اردبیل در مرکز استان با ارتفاع ۱۳۱۴ متر

^۵ Climate Variability and Predictability

^۶ World Climate Research Programme

^۷ Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices

^۱ Outlier data

^۲ Homogeneity

^۳ World Meteorological Organization

^۴ Commission for Climatology

کندال توسط Mann (1945) ارائه و بعدها توسط Kendall (1948) توسعه داده شد. این روش در مطالعات دیگر نیز استفاده شده است (Dinpashoh and Babamiri, 2020; Sadeqi et al., 2022). روش محاسبه آزمون من - کندال در ادامه شرح داده شده است. اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد، آماره S از معادله ۱ محاسبه می‌شود.

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

که در آن، x_j و x_k به ترتیب، مقادیر داده z ام و k ام و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که با معادله ۲ تعریف شد.

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

در ادامه، مقدار $\text{Var}(s)$ (واریانس) از معادله ۳ محاسبه شد.

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

که t_i تعداد داده‌های مشابه در دسته i ام و P تعداد دسته‌های با مشاهدات یکسان است. در نهایت، آماره آزمون من - کندال که با نماد Z نشان داده می‌شود، از معادله ۴ به دست آمد.

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

مقدار مثبت Z به معنی روند صعودی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند نزولی در داده‌ها است. همچنین α سطح معنی‌داری است که برای این آزمون در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر (H_0) یعنی عدم وجود روند به شرطی پذیرفته می‌شود که مقدار قدرمطلق آماره Z محاسبه شده از معادله ۴ بزرگتر از Z مستخرج از جدول نرمال استاندارد به‌ازای احتمال کمتری $1-\alpha$ باشد. در غیر این صورت، فرض H_0 رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند تأیید می‌شود (Mann, 1945; Kendall, 1948). در پژوهش حاضر، روند در سطح معنی‌داری

نمایه‌های حدی، از بسته نرم‌افزاری RCLimDex (Zhang and Yang, 2004) در قالب زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. جدول ۲ مشخصات نمایه‌های حدی بارش مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نمایه‌های حدی بارش توصیه شده توسط ETCCDMI (Karl et al., 1999) و استفاده شده در پژوهش حاضر

Table 2- Extreme precipitation indices recommended by ETCCDMI (Karl et al., 1999) and used in the present study

Index	Definition	Unit
Rx1day	Max1day precipitation amount	mm
Rx5day	Max5day precipitation amount	mm
SDII	Annual total precipitation divided by the number of wet days in the years	mm/day
R10mm	Annual count of days when precipitation ≥ 10 mm	day
R20mm	Annual count of days when precipitation ≥ 20 mm	day
CDD	Maximum number of consecutive days with rainfall < 1 mm	day
CWD	Maximum number of consecutive days with rainfall ≥ 1 mm	day
R95p	Total daily precipitation is more than 95th percentile	mm
R99p	Total daily precipitation is more than 99th percentile	mm

آزمون روند با روش من - کندال اصلاح شده

هدف از آزمون روند، تشخیص وجود یا عدم وجود سیر یکنواخت^۱ صعودی یا نزولی در سری داده‌ها است. در روش‌های پارامتری فرضیات اولیه‌ای مانند نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن سری مشاهدات متغیرها وجود دارد. ولی این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی معتبر نیستند، بنابراین، از روش‌های ناپارامتری که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارند، استفاده شد. روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری جهت بررسی روند، حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند و نیز آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌های زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند داده‌ها استفاده کرد (Singla et al., 2023). آزمون تشخیص روند ناپارامتری من -

^۱ Monotonic

که β برآوردگر شیب خط روند و x_i و x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام در سری داده‌های موردنظر هستند. مقدار مثبت β نشان‌دهنده شیب افزایشی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده شیب کاهشی در سری داده‌ها است (Sen, 1968).

تغییرات فضایی نمایه‌های حدی

تاکنون روش‌های مختلفی برای تحلیل فضایی توسط محققان مختلف ارائه شده است. تفاوت این روش‌ها در نحوه محاسبه وزن نقاط معلوم در اطراف نقطه مجهول است. در این پژوهش برای درونیابی و تحلیل تغییرات فضایی نمایه‌های حدی بارش استان اردبیل، از روش وزن‌دهی عکس فاصله^۲ (IDW) استفاده شد. روش IDW برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم اندک باشد یا پراکنش یکسانی نداشته باشد، مناسب است. فرضیه اصلی این روش بر مشابهت بیشتر نقاط نزدیک به هم نسبت به نقاط دورتر استوار است. در این روش، مقادیر نقاط مجهول از میانگین وزنی داده‌های مربوط به نقاط معلوم برآورد می‌شود که البته با افزایش فاصله از نقطه معلوم، وزن آن نیز کمتر می‌شود. مقادیر این وزن‌ها (λ_i) از معادله ۹ به دست آمد (Ghahroudi Tali, 2005).

$$\lambda_i = \frac{D_i - \alpha}{\sum_{i=1}^n D_i - \alpha} \quad (9)$$

که λ_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله نقطه معلوم i ام تا نقطه مجهول و α توان وزن‌دهی است. پس از محاسبه وزن‌ها (λ_i)، مقدار تخمین‌زده شده برای نقطه مجهول از معادله ۱۰ حاصل می‌شود (Ghahroudi Tali, 2005).

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (10)$$

که λ_i و $Z(S_i)$ به ترتیب وزن اختصاص داده شده و مقدار مشاهداتی در نقاط معلوم است. N تعداد نقاط معلوم در اطراف نقطه مجهول و $Z(S_0)$ مقدار تخمین‌زده شده برای نقطه مجهول S_0 است (Ghahroudi Tali, 2005).

نتایج و بحث

شکل ۲ توزیع فضایی نمایه‌های حدی بارش استان اردبیل را در دوره ۱۹۹۳-۲۰۲۰ نشان می‌دهد. مقدار نمایه‌های

پنج درصد مورد آزمون واقع شد. در مطالعات مربوط به روند، وجود ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار می‌تواند منجر به نتایج گمراه‌کننده شود. بنابراین، به منظور حذف اثرات ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی، از آزمون من - کندال اصلاح‌شده (Hamed and Rao, 1998) استفاده شد. طبق این روش، ابتدا ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام (r_k) از معادله ۵ به دست آمد.

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها و k مرتبه تأخیر است. اگر شرط $\frac{1-Z_{1-\alpha/2}\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+Z_{1-\alpha/2}\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ برقرار بود، آن‌گاه سری داده‌ها در سطح α مستقل فرض شده و محاسبات با همان روش اولیه من - کندال (معادله‌های ۴-۱) انجام می‌شد. اما اگر مقدار ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام خارج از دو حد شرط قبل بود، آن‌گاه ابتدا واریانس اصلاح‌شده که با نماد $\text{Var}(s)^*$ نشان داده می‌شود، از معادله ۶ محاسبه شد (Hamed and Rao, 1998).

$$\text{Var}(s)^* = \text{Var}(s) \times \frac{n}{n^*} \quad (6)$$

که نسبت $\frac{n}{n^*}$ از معادله ۷ به دست آمد (Hamed and Rao, 1998).

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{k=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_k \quad (7)$$

که r_k ضریب خودهمبستگی با تأخیر i است. مقدار $\text{Var}(s)^*$ محاسبه‌شده به جای $\text{Var}(s)$ در معادله ۴ قرار داده شده و آماره Z محاسبه شد. آنگاه، معنی‌داری روند مورد آزمون قرار گرفت.

شیب روند با روش تخمین‌گر سن

در این پژوهش برای برآورد مقدار شیب روند تغییرات نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل، از روش ناپارامتری تخمین‌گر شیب روند سن^۱ استفاده شد. بدین منظور، مقدار آن با β نشان داده شد و از معادله ۸ برآورد شد (Sen, 1968).

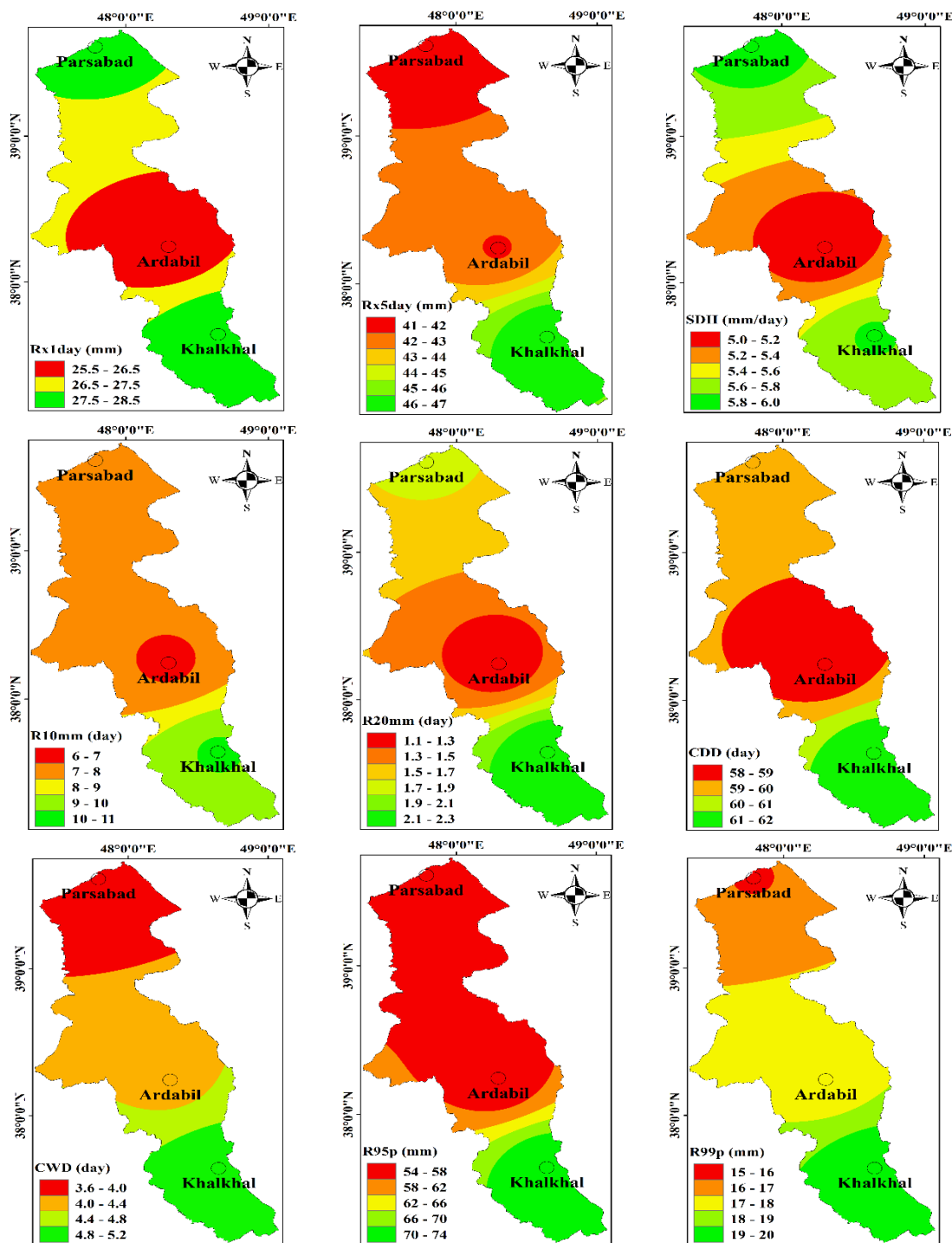
$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad (j > i) \quad (8)$$

^۲ Inverse Distance Weighting

^۱ Sen

استان تا حدود ۴۶-۴۷ میلی‌متر در جنوب استان متغیر است. نمایه CWD به معنی تعداد روزهای مرطوب متوالی، در شمال استان اردبیل بین ۶-۳/۴ روز، در مرکز استان بین ۸/۴-۴ روز و در جنوب این استان بین ۸/۲-۴/۵ روز است.

حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)، تعداد روزهای مرطوب متوالی (CWD)، بارش در روزهای خیلی مرطوب (R95p) و بارش در روزهای شدیداً مرطوب (R99p) به تدریج از شمال به سمت جنوب استان اردبیل افزایش می‌یابد. نمایه Rx5day از حدود ۴۱-۴۲ میلی‌متر در دشت مغان با ارتفاع کم در شمال



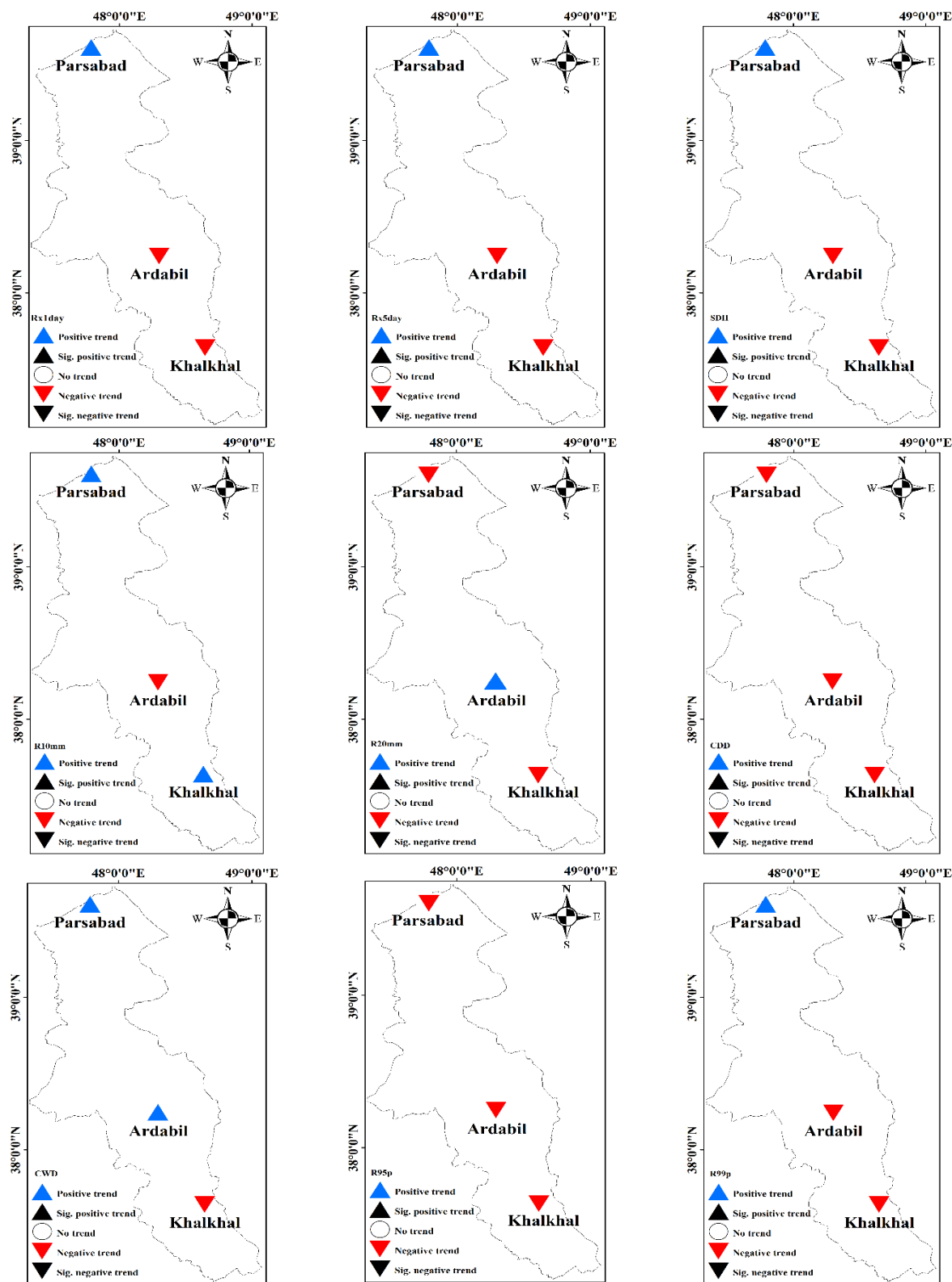
شکل ۲- توزیع فضایی نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل

Figure 2- Spatial distribution of extreme precipitation indices in Ardabil province

روزهای سال بارانی است، هرچند که میزان بارش کم باشد. حتی در برخی از روزهای تابستان نیز که معمولاً در شمال استان اردبیل بارشی رخ نمی‌دهد، در بخش‌های جنوبی، هرچند به میزان کم، بارش اتفاق می‌افتد. در نتیجه، نمایه CDD در جنوب استان نسبت به بخش‌های شمالی، بیشتر است. میانگین نمایه حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day) در کل استان تقریباً یکسان و در حدود ۲۵-۲۸ میلی‌متر متغیر است. پراکندگی فضایی نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII) که نسبت مجموع بارش سالانه بر تعداد روزهای با بارش بیشتر از یک میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد، از حدود ۵/۸-۶ میلی‌متر بر روز تا حدود ۵/۲-۵ میلی‌متر بر روز در سطح استان متغیر است. شکل ۳ روند تغییرات فضایی نمایه‌های حدی بارش استان اردبیل در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۳ را نشان می‌دهد. در مرکز و جنوب استان اردبیل، هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش، روند افزایشی ندارند و اکثر نمایه‌های حدی دارای روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) هستند. در شمال استان اردبیل که دشت مغان را شامل می‌شود، برخلاف بخش‌های مرکزی و جنوبی استان، بیشتر نمایه‌های حدی بارش روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) دارند و فقط در ۳ نمایه از بین ۹ نمایه حدی بارش، روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) مشاهده می‌شود. البته روند هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش در کل استان اردبیل، معنی‌دار نیست ($P < 0.05$). در استان مازندران نیز برای اغلب نمایه‌های حدی بارش، روند غیرمعنی‌دار گزارش شده است (Norooz-valashedi et al., 2024). روند نمایه‌های حدی بارش شامل CDD و R95p در کل استان اردبیل کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. نمایه‌های Rx1day، SDII، Rx5day و R99p در شمال استان اردبیل روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در مرکز تا جنوب استان روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) دارند. روند نمایه R10mm در بخش‌های مرکزی استان کاهشی (غیرمعنی‌دار) بوده و در شمال و جنوب استان شاهد روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) است. در حالی که روند نمایه R20mm برعکس آن بوده و در مرکز استان افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در شمال و جنوب استان کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. در چنین مناطقی انجام اقدامات

نمایه R95p نشان‌دهنده مجموع بارش سالانه حاصل از مقدار بارش روزانه بیشتر از صدک ۹۵ بارش طی دوره پایه است. مقدار این نمایه در بخش اعظم استان از شمال تا مرکز بین ۵۴-۶۲ میلی‌متر است و در بخش‌های جنوبی استان تا ۷۴ میلی‌متر نیز می‌رسد. کمترین مقدار نمایه بارش در روزهای شدیداً مرطوب (R99p)، نشان‌دهنده مجموع بارش سالانه حاصل از مقدار بارش روزانه بیشتر از صدک ۹۹ بارش طی دوره پایه، در شمال استان در حدود ۱۵-۱۷ میلی‌متر است. مقدار این نمایه در مرکز استان بین ۱۷-۱۹ میلی‌متر و در جنوب استان تا ۲۰ میلی‌متر نیز متغیر است. نمایه‌های R10mm و R20mm که به‌ترتیب تعداد روزهای با بارش سنگین به‌معنی روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر و تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، به‌معنی روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهند، در شمال تا مرکز استان اردبیل کمترین و در بخش‌های جنوبی این استان بیشترین مقدار را دارند. بدین معنی که در بخش‌های جنوبی استان اردبیل، تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر، بیشتر از سایر مناطق استان رخ می‌دهد. این موضوع باتوجه به توپوگرافی منطقه، ارتفاع آن و نزدیکی به دریای خزر که به‌عنوان منبع رطوبتی است و امواج خزری موجب تأمین رطوبت برای بارش می‌شود، منطقی است. با توجه به شکل ۲، فراوانی نمایه R10mm در بخش زیادی از مرکز تا شمال استان حدود ۷-۸ روز، در بخش‌های از مرکز استان حدود ۶-۷ روز و از مرکز تا جنوب استان بین ۸-۱۱ روز در سال متغیر است. فراوانی نمایه R20mm نیز در بخش مرکزی استان اردبیل بین ۱/۳-۱/۱ روز و در بخش شمالی بین ۱/۹-۱/۳ روز در سال متغیر است. در حالی که فراوانی این نمایه در جنوب استان به ۲/۳ روز در سال نیز می‌رسد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که نمایه CDD که روزهای خشک متوالی به‌معنی بیشترین تعداد روزهای با بارش کمتر از یک میلی‌متر در روز است، در بخش‌های جنوبی استان اردبیل نسبت به سایر مناطق این استان بیشترین مقدار را دارد. این امر می‌تواند به‌خاطر توزیع زمانی بارش در روزهای مختلف سال باشد. بدین معنی که جنوب استان در اکثر

پیشگیرانه در راستای مقابله با ریسک سیلاب‌های مخرب و کنترل آب‌های سطحی ضروری است.



شکل ۳- روند تغییرات فضایی نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل

Figure 3- Spatial changes trend of the extreme precipitation indices in Ardabil province

افزایش روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین در حوضه دریاچه ارومیه در آینده نزدیک برآورد شده است (Ebrahimi et al., 2023). روند نمایه CWD فقط در جنوب استان اردبیل افزایشی (غیرمعنی‌دار) است، ولی روند آن در بخش‌های مرکزی تا شمالی استان کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. در جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون آماری من - کندال اصلاح‌شده و تخمین‌گر شیب سن بر روی سری زمانی نمایه‌های حدی بارش استان اردبیل ارائه شده است. با توجه به این جدول، روند نمایه‌های حدی بارش شامل نمایه‌های CDD و R95p در همه ایستگاه‌های همدید استان اردبیل کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. بیشترین شیب کاهشی در نمایه CDD با -0.32 روز (در سال) مربوط به ایستگاه پارس‌آباد در شمال استان (دشت مغان) و کمترین شیب کاهشی با -0.06 روز (در سال) مربوط به ایستگاه خلخال در جنوب استان است. روند کاهشی در نمایه CDD که روزهای خشک متوالی به معنی بیشترین تعداد روزهای با بارش کمتر از یک میلی‌متر در سال است، به‌تدریج از بخش‌های شمالی به سمت بخش‌های جنوبی استان افزایش می‌یابد. می‌توان استنباط کرد که احتمالاً فراوانی روزهای با بارش کمتر از یک میلی‌متر در بخش‌های مختلف استان اردبیل در آینده کمتر خواهد شد. این امر، توزیع زمانی بارش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. درنتیجه، میزان بارش در روزهای دیگر تجمع می‌شود. باتوجه‌به این موضوع، مدیریت آب‌های سطحی در مناطق مختلف استان اردبیل باید مورد توجه قرار گیرد. در نمایه R95p، تندترین شیب کاهشی (غیرمعنی‌دار) با -0.87 میلی‌متر (بر سال) در ایستگاه اردبیل و کندترین شیب کاهشی (غیرمعنی‌دار) با -0.22 میلی‌متر (بر سال) در ایستگاه پارس‌آباد مشاهده می‌شود. نمایه‌های SDII، Rx5day، Rx1day و R99p در ایستگاه همدید پارس‌آباد در شمال استان اردبیل به‌ترتیب، با شیب سن $+0.07$ میلی‌متر (بر سال)، $+0.07$ میلی‌متر (بر سال)، $+0.02$ میلی‌متر بر روز (بر سال) و $+0.1$ میلی‌متر (بر سال)، روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) دارند. در ایستگاه‌های همدید اردبیل و خلخال، شیب روند نمایه Rx1day به ترتیب -0.11 و -0.1 میلی‌متر (بر سال) و شیب روند نمایه Rx5day به‌ترتیب، -0.41 و -0.50 میلی‌متر (بر سال) است. در هر دو ایستگاه اردبیل و خلخال شیب روند نمایه SDII در حدود -0.01 میلی‌متر بر روز (بر سال) و شیب

نمایه R99p حدود صفر است (جدول ۳). افزایش شدت بارش روزانه (SDII) در بخش‌های بزرگی از حوضه دریاچه ارومیه گزارش شده است (Ebrahimi et al., 2023). مطابق جدول ۳ مشاهده می‌شود که نمایه تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm) به‌معنی روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از 10 میلی‌متر، در ایستگاه همدید پارس‌آباد در دشت مغان با شیب سن 0.1 روز بر سال روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) دارد. بنابراین، به‌تدریج بر تعداد روزهای با بارش سنگین افزوده خواهد شد. درنتیجه، احتمال وقوع سیلاب‌ها و رویدادهای خسارت‌بار حاصل از بارش‌های سنگین در آینده افزایش خواهد یافت. برای جلوگیری از آسیب‌های احتمالی در بخش شهری و روستایی، در حوزه مدیریت شهری، امور زراعی و باغی و همچنین دامداری و دامپروری که عمده فعالیت‌های این بخش از استان را تشکیل می‌دهند، باید اقدامات پیشگیرانه مدنظر قرار گیرد. نمایه R10mm در ایستگاه همدید اردبیل در مرکز استان روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) دارد که شیب سن آن -0.07 روز بر سال است. شیب سن این نمایه در ایستگاه خلخال صفر است. بنابراین، در بخش‌های مرکزی و جنوبی استان اردبیل تغییرات قابل‌توجهی از لحاظ بارش سنگین رخ نخواهد داد. درنتیجه، رخداد‌های حاصل از اینگونه بارش‌ها، همچون وقایع سیلابی یا خشکسالی‌های گسترده که متفاوت با شرایط گذشته باشد، در این مناطق احتمال رخداد کمی دارد. با توجه به جدول ۳ شیب سن روند تغییرات نمایه‌های R20mm و CWD در همه ایستگاه‌های همدید استان اردبیل صفر است. بنابراین، در سطح استان اردبیل تغییری در بارش‌های خیلی سنگین و همچنین روزهای مرطوب متوالی در سال‌های آتی انتظار نمی‌رود. روند تغییرات مجموع بارش سالانه در ایستگاه همدید خلخال و پارس‌آباد به‌ترتیب با شیب سن 0.05 و 0.30 میلی‌متر بر سال افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در ایستگاه همدید اردبیل با شیب سن -0.41 میلی‌متر (بر سال) کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. به‌طورکلی، نتایج آزمون معنی‌داری روند تغییرات نمایه‌های حدی بارش در همه ایستگاه‌های همدید استان اردبیل، حاکی از آن است که هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش روند تغییرات معنی‌داری ندارند ($P < 0.05$). در تحقیقات متعددی برای مناطق مختلف کشور نیز معنی‌دار نبودن روند منفی یا مثبت بارش گزارش شده است

(Khalili et al., 2016; Nazeri Tahrudi et al., 2017;) ماهیت پیچیده بارش از یک سو و تنوع جغرافیایی ایران، از دیگر سو مرتبط است (Zand et al., 2023).

جدول ۳- مقادیر آماره آزمون من - کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن در ارزیابی روند تغییرات نمایه‌های حدی بارش استان

اردبیل

Table 3- The values of modified Mann-Kendall test and Sen's slope estimator in evaluating the trend of changes in the extreme precipitation indices in Ardabil province

Indices	Khalkhal		Ardabil		Parsabad	
	Mann-Kendall's Z	Sen's slope	Mann-Kendall's Z	Sen's slope	Mann-Kendall's Z	Sen's slope
Rx1day	-0.59	-0.10	-0.59	-0.11	0.18	0.07
Rx5day	-1.54	-0.50	-1.52	-0.41	0.38	0.07
SDII	-0.66	-0.01	-0.75	-0.01	0.61	0.02
R10mm	0.08	0	-1.39	-0.07	1.40	0.10
R20mm	-1.36	0	0.21	0	-0.74	0
CDD	-0.10	-0.06	-0.48	-0.22	-0.71	-0.32
CWD	-1.05	0	0.27	0	0.46	0
R95p	-0.38	-0.46	-1.07	-0.87	-0.44	-0.22
R99p	-0.21	0	-0.65	0	0.10	0
Precipitation (total)	0.02	0.05	-1.07	-1.41	0.65	1.30

* Indicates significance at the 5% level

و باید به این مسئله توجه داشت. با پیش‌بینی و برآورد جریان حاصل از بارش‌های سنگین در مناطقی که در معرض چنین بارش‌هایی هستند، علاوه بر مدیریت بهره‌برداری از منابع آب، می‌توان حوادث طبیعی نظیر سیل و خشکسالی را نیز پیش‌بینی و مهار کرد (Mohammadi and Allahverdi, 2024). نمایه روزهای خشک متوالی (CDD) در بخش‌های جنوبی استان بیشترین مقدار را دارد. این امر می‌تواند به‌خاطر توزیع زمانی بارش در روزهای مختلف سال در این مناطق باشد. پراکندگی فضایی نمایه ساده شدت بارش روزانه (SDII) و حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day) در استان تقریباً یکسان است. از دیدگاه روند تغییرات، در مرکز و جنوب استان اردبیل هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش روند افزایشی ندارند و اکثر نمایه‌های حدی دارای روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) هستند. در شمال استان (دشت مغان)، بیشتر نمایه‌های حدی بارش روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) دارند. روند نمایه‌های CDD و R95p در کل استان اردبیل کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. بیشترین شیب کاهشی نمایه CDD در شمال استان و کمترین شیب کاهشی در جنوب استان است. روند کاهشی نمایه CDD به‌تدریج از بخش‌های شمالی به سمت بخش‌های جنوبی استان افزایش می‌یابد. این امر توزیع زمانی بارش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. باتوجه‌به این موضوع، مدیریت آب‌های سطحی در مناطق مختلف استان باید موردتوجه قرار گیرد. بیشترین شیب کاهشی نمایه R95p در مرکز

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به تحلیل فضایی - زمانی نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل پرداخته شد. از داده‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه همدید خلخال در جنوب، اردبیل در مرکز و پارس‌آباد در شمال استان اردبیل در دوره آماری مشترک ۱۹۹۳-۲۰۲۰ استفاده شد. برای برآورد نمایه‌های حدی از بسته نرم‌افزاری RCLIMDEX در قالب زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. برآورد روند تغییرات نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن انجام شد. مطابق نتایج، نمایه‌های حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)، روزهای مرطوب متوالی (CWD)، بارش در روزهای خیلی مرطوب (R95p) و بارش در روزهای شدیداً مرطوب (R99p) به‌تدریج از دشت مغان در شمال استان اردبیل با ارتفاع کم، تا جنوب استان با ارتفاع زیاد، افزایشی است. نمایه‌های تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm) و تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین (R20mm) در شمال تا مرکز استان اردبیل کمترین و در بخش‌های جنوبی این استان بیشترین تعداد را دارند. رخداد روزهای همراه با بارش سنگین از جمله شایع‌ترین مخاطرات اقلیمی و هیدرولوژیکی در ایران محسوب می‌شود (Zarrin Dadashi-Roudbari, 2022). بنابراین، فراوانی بالای نمایه‌های بارش سنگین (R10mm) و خیلی سنگین (R20mm) در بخش‌های جنوبی استان اردبیل، از دیدگاه ریسک سیلاب و مدیریت آب‌های سطحی تهدید جدی بوده

محترم این مقاله به خاطر ارائه نکات ارزشمند که موجب بهبود کیفیت مقاله شد، قدردانی می‌شود.

منابع

- Aleshina, M.A., Semenov, V.A., Chernokulsky, A.V. 2021. A link between surface air temperature and extreme precipitation over Russia from station and reanalysis data. *Environmental Research Letters*, 16(10), 105004.
- Allahverdipour, P., Sattari, M.T. 2023. Comparing the performance of the multiple linear regression classic method and modern data mining methods in annual rainfall modeling (Case study: Ahvaz city). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 125–142. (In Farsi)
- Allahverdipour, P., Dinpashoh, Y. (in press). Modeling the rainfall–runoff of Ajichai basin using intelligent models. *Watershed Engineering and Management*, in press. (In Farsi)
- Allahverdipour, P., Ghorbani, M.A., Asadi, E. 2024. Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(3), 95–112. (In Farsi)
- Avila–Díaz, A., Abrahão, G., Justino, F., Torres, R., Wilson, A. 2020. Extreme climate indices in Brazil, evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution. *Climate Dynamics*, 54(11), 5065–5088.
- Dinpashoh, Y., Allahverdipour, P. (in press). Monitoring and predicting the changes in reference crop evapotranspiration of Moghan plain according to CMIP6 of IPCC. *Environment and Water Engineering*, in press. (In Farsi)
- Dinpashoh, Y., Babamiri, O. 2020. Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1–16.
- Dinpashoh, Y., Sedighpour, R. 2019. Trends analysis of five important daily rainfall characteristics at Urmia Lake basin. *Iranian Water Researches Journal*, 13(4), 63–72. (In Farsi).
- Ebrahimi, N., Zarrin, A., Mofidi, A., Dadashi–Roudbari, A.A. 2023. Projected precipitation extremes in Lake Urmia basin under climate change. *Journal of Water and Soil*, 37(5), 769–785. (In Farsi)
- Esgandari, R., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., Choobeh, S. 2024. Assessment of temporal and spatial variations of precipitation climate extreme indexes in the central part of Ardabil province. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1), 8119–8133. (In Farsi)
- Ghahroudi Tali, M. 2005. Geographic Information System in a 3D GIS environment. Academic

استان و کمترین آن در شمال استان مشاهده می‌شود. نمایه‌های R_{99p} و $SDII$ ، R_{x5day} ، R_{x1day} در شمال استان اردبیل روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در مرکز تا جنوب استان روند کاهشی (غیرمعنی‌دار) دارند. روندی افزایشی نمایه $SDII$ در بسیاری از بخش‌های ایران گزارش شده است (Halabian and Keikhosravi Kiany, 2021). روند نمایه R_{10mm} در بخش‌های مرکزی استان کاهشی (غیرمعنی‌دار) و در شمال تا جنوب استان افزایشی (غیرمعنی‌دار) است. نتایج مطالعه (Shokri 2016) نیز نشان‌دهنده روند منفی در تمام نمایه‌های معنی‌دار بارش فرین در ایستگاه همدید اردبیل بود. شیب سن روند تغییرات نمایه‌های R_{20mm} و CWD در همه ایستگاه‌های همدید استان اردبیل صفر است. روند تغییرات مجموع بارش سالانه در ایستگاه همدید خلخال و پارس‌آباد به ترتیب با شیب سن $0/05$ و $1/30$ میلی‌متر بر سال افزایشی (غیرمعنی‌دار) و در ایستگاه همدید اردبیل با شیب سن $1/41$ - کاهشی (غیرمعنی‌دار) است. به‌طورکلی، روند هیچ‌کدام از نمایه‌های حدی بارش در استان اردبیل معنی‌دار نیست (در سطح 95%). ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران حاکی از روندی افزایشی شدت بارش روزانه ($SDII$) در بسیاری از بخش‌های ایران بود. همچنین در بسیاری از گستره‌های ایران به‌ویژه در بخش‌های غربی، کاهش نمایه روزهای مرطوب متوالی (CWD) گزارش شد (Halabian and Keikhosravi Kiany, 2021). با در نظر گرفتن وقوع خشکسالی‌های مداوم و تغییرات اقلیمی که منجر به کاهش منابع آبی در دهه‌های اخیر شده است، برآورد میزان بارش‌های شدید از دیدگاه استحصال آب‌های سطحی جهت مدیریت منابع آب کاربردی است. ازطرفی، برآورد و آگاهی از توزیع بارش‌های حدی که می‌توانند منجر به سیلاب‌های مخرب شوند، از دیدگاه مدیریت ریسک و طراحی شبکه دفع آب‌های سطحی و جمع‌آوری آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Allahverdipour and Dinpashoh, in press). نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در مدیریت شهری و روستایی و امور زراعی و باغی مفید واقع شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از سازمان هواشناسی کشور به‌خاطر ارائه داده‌های موردنیاز صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از داوران

- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.
- Mohammadi, M., Allahverdipour, P. 2024. Uncertainty analysis of artificial neural network (ANN) and support vector machine (SVM) models in predicting Monthly River flow (Case study: Ghezelozan river). *Water and Soil Management and Modelling*, 4(2), 311–326. (In Farsi)
- Nazeri Tahrudi, M., Ahmadi, F., Khalili, K. 2017. Evaluation the trend and trend chang point of Urmia Lake basin precipitation. *Water and Soil*, 31(2), 644–659. (In Farsi)
- Norooz-valashedi, R., Bararkhanpour Ahmadi, S., Bahrami-Pichaghchi, H., Mazloom Babanari, S., Vatanparast, F., Esfandiari, F. 2024. Investigation of precipitation-based indices in the Mazandaran region under climate scenarios of the sixth report. *J Watershed Manage Res.* 15(1), 131–146. (In Farsi)
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. Geneva, World Meteorological Organization.
- Sadeqi, A., Tabari, H., Dinpashoh, Y. 2022. Spatio-temporal analysis of heating and cooling degree-days over Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 869–891.
- Sattari, M.T., Bagheri, R., Shirini, K., Allahverdipour, P. 2024. Modeling daily and monthly rainfall in Tabriz using ensemble learning models and decision tree regression. *Climate Change Research*, 5(18), 31–48. (In Farsi)
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379–1389.
- Shokri, B. 2016. Understanding the evolution of precipitation and temperature indices in Ardabil province during recent decades, Ph. D Thesis, University of Mohagheg Ardabili. (In Farsi)
- Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., Alexander, L.V. 2021. A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. *Journal of Climate*, 34(1), 243–258.
- Tefera, G.W., Ray, R.L., Wootten, A.M. 2024. Evaluation of statistical downscaling techniques and projection of climate extremes in central Texas, USA. *Weather and Climate Extremes*, 43, 100637.
- Wei, L., Xin, X., Li, Q., Wu, Y., Tang, H., Li, Y., Yang, B. 2023. Simulation and projection of climate extremes in China by multiple coupled model intercomparison project phase 6 models. *International Journal of Climatology*, 43(1), 219–239.
- Center for Education, Culture, and Research (ACECR), Alborz Branch, 298p. (In Farsi)
- Halabian, A. H., Keikhosravi Kiany, M. S. 2020. Evaluation of Variations in Extreme Precipitation Indices in Iran. *Spatial Planning*, 10(4), 24–45. (In Farsi)
- Hamed, K.H., Rao, A.R. 1998. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1–4), 182–196.
- Hamitouche, Y., Zeroual, A., Meddi, M., Assani, A.A., Alkama, R., Şen, Z., Zhang, X. 2024. Projected changes in extreme precipitation patterns across Algerian sub-regions. *Water*, 16(10), 1353.
- Hejazizadeh, Z., Zarei, S. 2023. Investigation of changes of temperature and rainfall indicators in Kurdistan province based on radiation injection scenarios (RCP). *Applied Research in Geographical Sciences*, 23(69), 1–14. (In Farsi).
- IPCC. 2013. Climate change 2013, the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Jahanbaksh Asl, S., Khorshiddoust, A.M., Dinpashoh, Y., Sarafrouzeh, F. 2013. Frequency analysis of climate extreme events in Zanjan, Iran. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27, 1637–1650.
- Kalita, R., Kalita, D., Saxena, A. 2023. Trends in extreme climate indices in Cherrapunji for the period 1979 to 2020. *Journal of Earth System Science*, 132(2), 74.
- Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A. 1999. CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. *Weather and Climate Extremes*. Springer, Dordrecht.
- Kendall, M.G. 1948. Rank correlation methods. London, Charles Griffin.
- Khalili, K., Tahoudi, M.N., Mirabbasi, R., Ahmadi, F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30, 1205–1221. (In Farsi)
- Khorshiddoust, A.M., Rasouli, A.A., Zangeneh, S. 2018. Modeling of trends of temperature and precipitation extreme indices in Urmia Lake basin. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16), 175–194. (In Farsi)
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Babaeian, I. 2021. Temperature extreme indices projection based on RCP scenarios in northeast of Iran. *Water and Soil*, 34(6), 1351–1366. (In Farsi)
- Liu, C., Li, Y., Ji, X., Luo, X., Zhu, M. 2019. Observed changes in temperature and precipitation extremes over the Yarlung Tsangpo River basin during 1970–2017. *Atmosphere*, 10(12), 815.

- different seasons in Ardabil. International Conference on Climate Change, Consequences, Adaptation and Adjustment, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Zhang, X., Yang, F. 2004. RClimDex (1.0) user manual. Climate Research Branch Environment Canada, 22, 13–14.
- Zhu, R., Wu, X., Zhang, W., He, J., Qin, Y., Li, Z., Shen, Y. 2024. Seasonally extreme temperature events accelerate in arid northwestern China during 1979–2018. *Atmospheric Research*, 300, 107230.
- 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 Farsi)
- Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A. 2022. Spatiotemporal variability, trend, and change-point of precipitation extremes and their contribution to the total precipitation in Iran. *Pure and Applied Geophysics*, 179(8), 2923–2944.
- Zeinali, B., Khojasteh Gholami, V. 2019. Studying the trend of changes in temperature extremes, average temperature, and precipitation during



Detection of extreme precipitation indices trend with spatio-temporal analysis (Case study: Ardabil Province)

P. Allahverdipour^۱, Y. Dinpashoh^{*۲}

Received: 31/10/2024

Accepted: 15/12/2024

Abstract

In recent years, climate extreme events have increased compared to the past decades. The aim of this study was spatio-temporal analysis of extreme precipitation indices in Ardabil province, using the daily precipitation data of several stations namely Khalkhal, Ardabil, and Parsabad during the baseline period of 1993-2020. Extreme precipitation indices were calculated using the RCLimDex software package and their trend were calculated based on the Mann-Kendall test and the Sen's slope estimator. The results showed no increasing trend in extreme precipitation indices in the central and southern regions of Ardabil province, most of the extreme indices had a non-significant decreasing trend. In the northern station of Parsabad, most of the indices had a non-significant increasing trend. Considering the entire province, the trend of the CDD and R95p extreme indices was decreasing (non-significant). The highest decreasing slope of the CDD index with -0.32 days per year, was observed in Parsabad and the highest decreasing slope of the R95p index with -0.87 mm per year, was in observed in Ardabil. In the north of the province, the Rx1day, Rx5day, SDII, and R99p indices were increasing with a slope of +0.07 mm, +0.07 mm, +0.02 mm, and 0.1 mm (per year), respectively. In Ardabil and Khalkhal stations, no significant or a slight decreasing trend was observed. The R10mm index was increasing in Parsabad (0.1 days per year), decreasing in Ardabil (0.07 days per year), while its trend in Khalkhal was non-significant. The trend of changes in total annual precipitation for Khalkhal and Parsabad stations was increasing (non-significant) with a slope of 0.05 and 1.30 mm per year, respectively, and decreasing (non-significant) in Ardabil station with a slope of -1.41 mm. year-1. In general, none of the extreme precipitation indices in Ardabil province showed significant trend (at the 95% level). The results of the current study can be used in of extreme precipitation events, such as floods and droughts management.

Keywords: Ardabil, Precipitation, Climate Change, Trend, Extreme Event



^۱ Ph. D. Student in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^۲ Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(*Corresponding Author Email Address: dinpazhoh@tabrizu.ac.ir)