

ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی بارندگی در بخش مرکزی

استان اردبیل

رقیه اسکندری^۱، اباذر اسمعلی‌عوری^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳، سپیده چوبه^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،

ایران

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: esmaliouri@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۷

چکیده

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی بارندگی در بخش مرکزی استان اردبیل است. در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تغییرات، ۱۱ شاخص حدی اقلیمی در یک دوره ۴۰ ساله انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا داده‌های مورد نیاز تهیه و پس از مرتب سازی، مقادیر مربوط به شاخص‌های مورد نظر با استفاده از فرمول نویسی در نرم‌افزار Excel محاسبه شدند. روند تغییرات زمانی شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار ProUCL و تغییرات مکانی شاخص‌ها نیز توسط نرم‌افزار GIS بررسی شد. به‌طور کلی تغییرات شاخص‌های حدی بارندگی در همه ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است، اما در ایستگاه هیر معنی‌دار است. براساس نتایج درون‌یابی، شاخص‌های حداکثر بارش ماهانه یک‌روزه، حداکثر بارش ماهانه ۵ روزه و مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی در بخش مرکزی و غربی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تغییرات را نشان می‌دهند. شاخص‌های شدت بارش خام، مجموع بارش سالانه در ۹۵ درصد روزهای بارانی در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی استان اردبیل بیش‌ترین مقدار و در بخش شرقی منطقه کم‌ترین مقدار را نشان می‌دهد. شاخص‌های تعداد روزهای دارای بارش ۱۰ میلی‌متر یا بیش‌تر، تعداد روزهای دارای بارش ۲۰ میلی‌متر یا بیش‌تر و مجموع بارش سالانه در ۹۹ درصد روزهای بارانی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را در شرق و شمالی-غربی منطقه نشان داد. شاخص‌های طول دوره مرطوب و Rnnmm بیش‌ترین مقادیر را در بخش‌های غربی و شرقی و کم‌ترین مقادیر را در بخش مرکزی استان نشان می‌دهد. در مجموع می‌توان گفت که ارزیابی تغییرات شاخص‌های حدی می‌تواند راهنمایی در ارزیابی تغییرات اقلیمی و نیز اثرات منفی ناشی از آن بر وضعیت هیدرولوژی باشد.

کلمات کلیدی

"شاخص‌های حدی"، "روند"، "تغییر اقلیم"، "روزهای بارانی"

۱- مقدمه

یکی از متغیرهای مهم اقلیمی سبب بروز تغییراتی در الگوی زمانی و مکانی پدیده‌های اقلیمی و وقوع خشکسالی، سیلاب، طوفان و موج‌های گرما می‌شود. اثرات مخرب تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش فراوانی یا شدت نمایه‌های حدی آب و هوایی و وقایع اقلیمی است (رحیمیانی ایرانی‌شاهی، و همکاران ۱۴۰۱؛ Zhai and Pan, ۲۰۰۳). اگرچه وقایع حدی، به ندرت رخ می‌دهند اما تأثیر مستقیمی بر جوامع و کشورها در مناطق آسیب‌پذیر دارند. برخی محققان اذعان داشته‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع فرآیندهای چرخه آب کمک نموده که خود منشاء بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Andreadis and Lettenmaier, ۲۰۰۶). اثرات اجتماعی و محیط‌زیستی رویدادهای حدی

تغییر اقلیم و پیامدهای آن به تهدیدی برای کره زمین، محیط زیست طبیعی و انسان‌ساخت تبدیل شده و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، گرمایش زمین را به دنبال دارد (محسنی ساروی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Soltani et al., ۲۰۱۶). در دهه‌های اخیر مقدار دی‌اکسیدکربن در اتمسفر افزایش یافته و این عامل سبب تغییر پارامترهای اقلیمی مانند دما و بارش شده است (آقابگی و همکاران، ۱۳۹۸). بارش یکی از عوامل مهم در مدیریت انواع پروژه‌های کشاورزی و صنعتی است که تغییرات الگوی پراکنش و میزان آن به‌ویژه روند کاهشی آن می‌تواند در تعیین زمان کشت محصولات و برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب نقش داشته باشد (دادده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Leta et al., ۲۰۱۶). دما به‌عنوان

شاخص‌های روزهای مرطوب متوالی و مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب بوده است. هم‌چنین این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر بارز عامل جغرافیایی نسبت به عامل ارتفاع است. دالایی و همکاران (۱۳۹۴) روند تغییرات دما و بارش در ۶ ایستگاه هواشناسی ایران را طی دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۷۱ با استفاده از شاخص‌های آستانه‌ای، و آزمون ناپارامتریک من‌کنندال ارزیابی نمودند. نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین دما، فراوانی نمایه‌های حدی گرمایش و کاهش نمایه‌های سرمای هوا بود. زنگنه و همکاران (۱۳۹۶) مدل‌سازی و روندیابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه را انجام دادند. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده افزایش رویدادهای حدی دما و بارش از جمله افزایش روند روزهای گرم، روزهای خیلی مرطوب و روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های منتخب واقع در غرب و شرق حوضه، و افزایش روند روزهای یخبندان و کاهش روند روزهای گرم، روزهای خیلی مرطوب و روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های منتخب واقع در جنوب حوضه است. بینش و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی حوزه سیل‌برگردان غرب تهران را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل بارش‌های حدی حوزه نشان‌دهنده افزایش مقدار و شدت بارش‌های حداکثر سالانه برای یک دوره بازگشت معین است. هم‌چنین فراوانی و احتمال وقوع بارش‌های حدی حوزه با افزایش قلیل توجهی همراه بوده است. روزبه‌کوهشاهی و همکاران (۱۳۹۷) شاخص‌های حدی بارش در استان مازندران را با ۸ شاخص بارش در ۱۰ ایستگاه بررسی نمودند و مشخص شد که روند شاخص طول دوره خشک (CDD) افزایش یافته و شاخص‌های رطوبت و طول دوره مرطوب (R^{9p}) (CDW) روند کاهشی داشته‌اند. Manton و همکاران (۲۰۰۱) روند رو به رشد دما و بارندگی‌های شدید روزانه را در آسیای جنوب شرقی و اقیانوس آرام بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که در تمام ایستگاه‌ها فراوانی وقایع حدی افزایش یافته است و در غرب منطقه، فراوانی شب‌های گرم و در شرق فرکانس روزهای گرم بیش‌تر شده است. Nandintsetseg و همکاران (۲۰۰۷) روند بارندگی و دماهای حدی را در اطراف دریاچه مونگولیا مطالعه نمودند و نتایج نشان داد که روزها و شب‌های گرم افزایش یافته است. Martinez و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی روند دماهای کمینه و بیشینه کاتالونیا را طی بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۷۵ نتیجه گرفتند که افزایش ۰/۵ درجه سلسیوس دمای بیشینه و کمینه سالانه در فصل بهار و تابستان و ۰/۷ درجه سلسیوس در فصل زمستان اتفاق افتاده و

در مقیاس محلی قابل توجه بوده و می‌تواند بخش‌ها و مناطق خاصی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. از دیدگاه آماری، رویدادهای حدی اقلیمی تغییر در میانگین و انحراف معیار عنصر اقلیمی دما سبب تغییرات زیادی در فراوانی و احتمال مقادیر حدی مرتبط با آن‌ها، از جمله تعداد روزهای یخبندان، شب‌ها و روزهای سرد و گرم و طول دوره رویش می‌شود. تغییرات اقلیمی باعث تشدید چرخه هیدرولوژیکی شده و موجب تغییر میزان تبخیر و تعرق و للگوی بارش می‌شود. تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشکسالی‌های و تداوم آن‌ها شده و هم‌چنین این تغییر باعث ناپایداری توزیع بارش می‌شود و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی، تغییر در مقادیر حدی بارندگی نسبت به مقادیر گذشته آن نیز از دیگر پیامدهای تغییر اقلیم است که به معنای افزایش شدت تغییرات حدی بارش در سال‌های خشک یا مرطوب است. میزان تغییرپذیری رخدادهای حدی بارش دارای دامنه و لترات بیش‌تر و هم‌چنین پیامدهای مهم‌تری است (مظفری و شفیع، ۱۳۹۵). بارندگی و دما دو عامل اثرگذار بر بسیاری از فرآیندهای مرتبط با مدیریت منابع آب هستند که تغییر در رول‌ناب و نیاز آبی محصولات کشاورزی از مهم‌ترین آن‌ها است (Raghavan, ۲۰۱۷). محمدی و تقوی (۱۳۸۴) روند تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران را مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج به دست آمده نشان‌دهنده روند کاهشی محسوس در شاخص‌های حدی سرد و روند افزایشی برای دمای متوسط است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان هرمزگان میانگین‌های فصلی و سالانه دما و بارش به همراه مقادیر حدی آن‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند، نتایج حاصل از این بررسی تشدید گرمایش و کاهش بارش به همراه افزایش نوسانات شدید بارش و مقادیر حدی دما بوده است. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی را در استان خراسان رضوی مطالعه نمود و نتیجه گرفت که تعداد روزهای یخبندان کاهش یافته است و دوره‌های سرد و تعداد روزهای آفتابی، شب‌های حاره‌ای و نیز طول دوره گرم افزایش شده است. هم‌چنین شاخص‌های حدی بارش با نوسان بیش‌تر و شیب کاهشی کم‌تر در منطقه قلیل مشاهده بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) شاخص‌های حدی بارش در خراسان را به‌منظور آشکارسازی تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان‌دهنده بیش‌ترین درصد کاهشی در

بیش تر از جنوب چین است و میانگین شاخص های حدی بارش (هفت مورد از ۱۰ شاخص حدی بارش) در محدوده انحراف استاندارد قرار گرفته است. لزوم مطالعه اثرات تغییر اقلیم و نیاز برنامه ریزان کشورها به ارزیابی و پیش بینی اقلیم در بخش های مختلف اقتصادی و اجتماعی را بیش از پیش نمایان می سازد. استان اردبیل، همواره با نوسانات بارندگی و کمبود آب مواجه بوده است لذا در پژوهش حاضر، ضمن ارزیابی همبستگی میان شاخص های حدی بارش، روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص های حدی اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

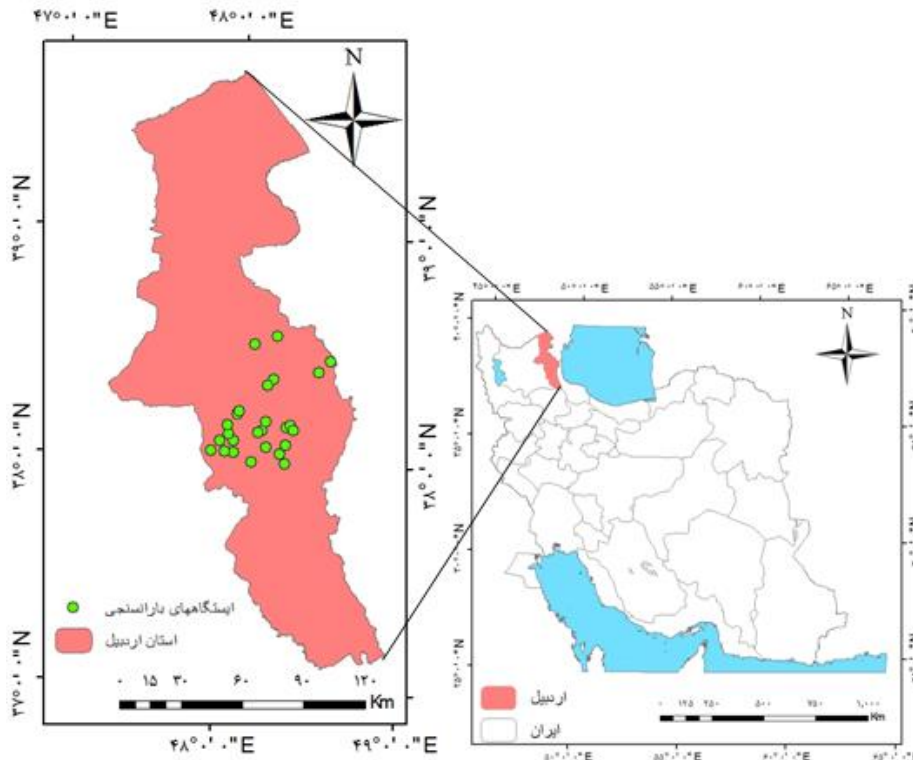
۲- مواد و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی آن استان اردبیل در شمال غرب ایران قرار گرفته است و از شمال با جمهوری آذربایجان از شرق با استان گیلان از جنوب با استان زنجان و از غرب به استان آذربایجان شرقی محدود شده است (شکل ۱). نوع ناهمواری ها در استان اردبیل شامل دشت ها و کوهستان ها در ترکیبی هماهنگ با همجواری دریای خزر بوده و گستردگی زیاد در جهت شمال جنوب در عرض جغرافیایی باعث ایجاد تنوع آب و هوایی زیادی به استان اردبیل شده است. حدود دو سوم استان دارای توپوگرافی کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل می دهند. به طور ی که شمال استان (مغان) با ارتفاع کم، دارای آب و هوای نسبتاً گرم و مناطق مرکزی و جنوبی دارای آب و هوای کوهستانی سرد هستند. میزان بارش جوی در استان به طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی متر در نوسان است (مهروی و همکاران، ۱۳۹۶). دو فصل بهار و زمستان، فصل های بارندگی منطقه هستند و بیش ترین بارندگی ها در بهار اتفاق می افتد. در این پژوهش برای بررسی تغییرات شاخص های حدی اقلیمی بارندگی ۲۶ ایستگاه از ایستگاه های استان اردبیل انتخاب شد که مشخصات آن ها در جدول ۱ ارائه شده است.

کاهش ۰/۵- درجه سانتیگراد در فصل پاییز در هر دهه روی داده است. Chieh-Kao و Ganguly (۲۰۱۱) با مطالعه شدت، مدت، و فراوانی بارش های حدی مرتبط با سناریوهای گرمایش جهانی، افزایش شدید بارش های حدی در مقیاس جهانی را پیش بینی نمودند. Panda و همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی روند تغییرات شاخص های بارش پایه و حدی در کشور هند در دوره های ۱۹۴۰-۱۹۰۱ و ۲۰۰۴-۱۹۶۱ بیان نمودند که روند بارش بیش تر تحت تأثیر درجه حرارت سطحی دریاچه های گرمسیری هند نسبت به شاخص نوسان جنوبی قرار گرفته است. Agnihotri و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه هند و شمال غرب هیمالیا با مطالعه عوامل فاجعه بار طبیعی ناشی از وقوع بارندگی شدید به این نتیجه رسیدند که میزان بارش های حدی در اثر تغییر اقلیم افزایش یافته است. Halimatou و همکاران (۲۰۱۷) تغییر روند بارندگی روزانه و دماهای حدی را در دو بخش سگو^۱ و بلاماکو در مالی مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند که شاخص های روزها و شب های سرد روند کاهشی و شاخص شب ها و روزهای گرم روند افزایشی دارند، در حالی که در بلاماکو^۲ حد های دمایی روند معنی داری ندارند. هم چنین در بخش سگو شاخص های بارندگی (روزهای مداوم مرطوب و به شدت مرطوب) روند کاهشی معنی داری دارند. Sein و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی روند تغییرات در شاخص های حدی دما و بارش در میانمار دریافتند که دمای روزها و شب ها افزایش یافته است و شاخص های حدی درجه حرارت روزهای گرم و شب های گرم افزایش یافته است. Nkemelang و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود نتیجه گرفتند که روند معنی داری در کاهش میانگین بارش و افزایش طول دوره خشک وجود دارد. Sun و Yin (۲۰۱۹) ویژگی های دما و بارش شدید بر اساس شاخص های ETCCDI را در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش دما در شمال چین

^۲ - Bamako

^۱ - Segou



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در بخش مرکزی استان اردبیل
جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در پژوهش حاضر

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
۱	ابریکوه	۴۸/۰۶	۳۸/۲۲	۱۴	سئین	۴۸/۰۱	۳۸/۱۲
۲	آبی بیگلو	۴۸/۳۳	۳۸/۱۷	۱۵	شمس آباد	۴۸/۱۶	۳۸/۰۰
۳	آتشگاه	۴۸/۰۳	۳۸/۱۲	۱۶	شمشیرخانی	۴۸/۰۰	۳۸/۱۶
۴	اردبیل	۴۸/۱۷	۳۸/۱۳	۱۷	کوزه تیراقی	۴۸/۲۲	۳۸/۰۷
۵	آلادیزگه	۴۸/۳۵	۳۷/۱۷	۱۸	گیلانده	۴۸/۲۱	۳۸/۱۸
۶	بقرآباد	۴۸/۳۳	۳۸/۰۸	۱۹	لای	۴۷/۵۴	۳۸/۰۶
۷	پل الماس	۴۸/۱۱	۳۸/۰۹	۲۰	نمین	۴۸/۲۸	۳۸/۲۵
۸	تک بلاغ	۴۷/۵۳	۳۸/۰۱	۲۱	نیارق	۴۸/۳۸	۳۸/۱۶
۹	توتونسین	۴۸/۰۷	۳۷/۵۳	۲۲	نیر	۴۸/۰۱	۳۸/۰۲
۱۰	خوش آباد	۴۸/۲۱	۳۸/۳۴	۲۳	نئور	۴۸/۳۴	۳۷/۵۹
۱۱	سامیان	۴۸/۱۴	۳۸/۲۲	۲۴	هل آباد	۴۸/۲۵	۳۷/۵۶
۱۲	سرعین	۴۸/۰۴	۳۸/۰۹	۲۵	هیر	۴۸/۳۰	۳۸/۰۵
۱۳	سیاه پوش	۴۸/۱۳	۳۷/۵۲	۲۶	یامچی علیا	۴۸/۰۲	۳۸/۰۲

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش به منظور ارزیابی تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی در طول دوره آماری ۴۰ ساله از داده‌های آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل استفاده شده است. بعد از مرتب‌سازی داده‌های آماری روزانه در دسترس و انتخاب دوره آماری ۴۰ ساله، ۲۶ ایستگاه برای انجام پژوهش حاضر انتخاب شدند. سپس شاخص‌ها در نرم‌افزار Excel محاسبه شدند که در ادامه

جزئیات آن ارائه شده است.

شاخص‌های حدی اقلیمی

در پژوهش حاضر برای ارزیابی شاخص‌های حدی اقلیمی بارندگی، ۱۱ شاخص انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت (پورلخاخص و همکاران، ۱۴۰۱؛ Panda و همکاران، ۲۰۱۶ و CLIVAR، ۲۰۰۱). ویژگی‌های شاخص‌های حدی اقلیمی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- شاخص‌های حدی اقلیمی مورد استفاده در پژوهش حاضر

ردیف	شاخص	معرفی شاخص
۱	Rx1day	حداکثر بارش ماهانه یک روزه (Monthly maximum 1-day precipitation)
۲	Rx5day	حداکثر بارندگی ماهانه ۵ روزه
۳	SDII	شاخص شدت بارش خام
۴	R10mm	تعداد روزهایی با بارش مساوی یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر
۵	R20mm	تعداد روزهایی با بارش مساوی یا بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر
۶	Rnnmm	تعداد روزهایی با Rnnmm میلی‌متر nn بارش بیش از آستانه است.
۷	CDD	حداکثر طول دوره خشک
۸	CWD	حداکثر طول دوره مرطوب
۹	R95pTOT	مجموع بارش سالانه در ۹۵ درصد روزهای بارانی (مرطوب) (Annual total PRCP when RR > 95p)
۱۰	R99pTOT	مجموع بارش سالانه در ۹۹ درصد روزهای بارانی (مرطوب) (Annual total PRCP when RR > 99p)
۱۱	PRCPTOT	مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی (مرطوب) (Annual total precipitation in wet days)

$$RR_{ij} < 1mm \quad (7)$$

CDW: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. شمارش بیش‌ترین تعداد روزهای متوالی که در آن بارندگی اتفاق افتاده است برابر است با:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (8)$$

$R95pTOT$: اگر RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (بارش بیش‌تر از ۱ میلی‌متر) در دوره j و RR_{wn95} صدک ۹۵ام بارش روزهای مرطوب در دوره مینا باشد، و W تعداد روزهای مرطوب در دوره مینا باشد، به‌صورت رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95} \quad (9)$$

$R99pTOT$: اگر RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (بارش بیش‌تر از ۱ میلی‌متر) در دوره j و RR_{wn99} صدک ۹۹ام بارش روزهای مرطوب در دوره مینا باشد، و W تعداد روزهای مرطوب در دوره مینا باشد. رابطه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99} \quad (10)$$

PRCPTOT: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد، و I تعداد روزها را در j نشان دهد، رابطه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (11)$$

محاسبه شاخص‌های حدی اقلیمی

$Rx1day$: اگر RR_{ij} میزان بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. حداکثر مقدار ۱ روزه برای دوره j عبارت است از:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (1)$$

$Rx5day$: اگر مقدار RR_{kj} برای فاصله ۵ روزه با پایان دوره k ، در دوره j باشد. حداکثر مقدار ۵ روزه برای دوره j عبارت است از:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (2)$$

SDII: اگر RR_{wj} مقدار بارندگی روزانه در روزهای مرطوب، ($RR \geq 1mm$) در دوره w باشد، و W نشان‌دهنده تعداد روزهای مرطوب در j باشد. شاخص مذکور بر اساس رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (3)$$

$R10mm$: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. شمارش تعداد روزهایی با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر برابر است با:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad (4)$$

$R20mm$: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. شمارش تعداد روزهایی با بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر برابر است با:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad (5)$$

Rnnmm: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. (nn آستانه تعریف شده توسط کاربر است)، که با رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$RR_{ij} \geq nmm \quad (6)$$

CDD: اگر RR_{ij} مقدار بارندگی روزانه در روز i در دوره j باشد. شاخص مذکور با رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

که در آن، n : تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m : تعداد سری‌هایی که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد، t : نشان‌دهنده فراوانی داده‌ها با ارزش یکسان است. گام سوم) استخراج آماره Z :

$$s > \cdot if$$

$$s = \cdot ifz = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} \\ \cdot \\ \frac{s+1}{\sqrt{var(s)}} \end{cases} \quad (16)$$

$$s < \cdot if$$

گام چهارم) آزمون فرض: فرض صفر بر نبود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. به بیان دیگر Z از نظر آماری معنی‌دار نیست. زمانی این فرض تایید می‌شود که $-z_{\alpha/2} < |Z| < z_{\alpha/2}$ باشد. که در آن، α : سطح معنی‌داری لنتخلبی برای آزمون، $z_{\alpha/2}$: لنتحرف نرمال استاندارد است. اگر آماره Z کوچکتر از صفر (منفی) باشد، روند سری زمانی نمایه نزولی و در صورتی که Z بزرگتر از صفر (مثبت) باشد، روند سری صعودی خواهد بود.

تعیین تغییرات مکانی شاخص‌های حدی روش‌های متعددی برای برآورد تغییرات مکانی متغیرها وجود دارد. تفاوت این روش‌ها به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مجهول داده می‌شود. در این پژوهش از روش وزن‌دهی عکس فاصله استفاده شد که در این روش مقادیر نقاط مجهول را از طریق میانگین وزنی داده‌های مشاهده‌ای با نقاط همسان برآورد می‌کند (حیکم‌زاده و اسفندیاری، ۱۳۹۵). روش معین عکس فاصله از رابطه زیر محاسبه می‌شود (روشنی و همکاران، ۱۳۹۹):

$$\lambda_i = \frac{Di - \alpha}{\sum_{i=1}^i Di - \alpha} \quad (17)$$

در رابطه فوق، λ_i وزن ایستگاه i ام، Di فاصله ایستگاه i ام، تا نقطه مجهول و α توان وزن‌دهی هستند.

۳- نتایج

در این بخش نتایج حاصل از محاسبات مربوط همبستگی شاخص‌های حدی، روند تغییرات زمانی و نیز تغییرات مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی مورد مطالعه، ارائه شده است.

روند تغییرات زمانی شاخص‌های حدی اقلیمی ارزیابی وجود روند زمانی در داده‌های یک ایستگاه یکی از جنبه‌های مهم سری زمانی به‌شمار می‌آید. در این راستا معمولاً از روش‌های ناپارامتری به‌دلیل عدم نیاز به پیش‌فرض‌های آماری استفاده می‌شود (Nandintsetseg و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش از نرم‌افزار ProUCL برای ارزیابی وجود روند در داده‌ها استفاده شد. در نرم‌افزار ProUCL روش‌های آماری و برآوردهای قابل اعتماد از پارامترهای سری زمانی از جمله حد اطمینان بالا (UCL^1)، حد آستانه بالا (UTL^2) و حد پیش‌بینی بالا (UPL^3) وجود دارد. در این پژوهش برای بررسی روند تغییر شاخص‌های حدی اقلیمی از روش Man-Kendal در لین نرم‌افزار استفاده شد. آزمون ناپارامتریک من-کندال قابلیت برآزش بر روی یک سری زمانی غیرنرمال که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کند، را دارا است. هم‌چنین این آزمون تأثیرپذیری ناچیزی از مقادیر حدی موجود در سری‌های زمانی دارد. در این آزمون از فرض صفر و یک استفاده می‌شود که فرض صفر دال بر تصادفی بودن و عدم روند در سری داده‌ها و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل انجام این آزمون به‌صورت زیر است (دارند، ۱۳۹۲):

گام اول) محاسبه تابع علامت و استخراج پارامتر S :
 ۱) استخراج پارامتر S :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sgn}(x_j - x_k) \quad (12)$$

N تعداد مشاهدات سری و x_k و x_j به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری است.
 ۲) محاسبه تابع علامت:

$$\begin{aligned} (x_j - x_k) > \cdot if \\ (x_j - x_k) = \end{aligned} \quad (13)$$

$$if \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 \\ \cdot \\ -1 \end{cases}$$

$$(x_j - x_k) < \cdot if$$

گام دوم) محاسبه واریانس با یکی از دو رابطه زیر:

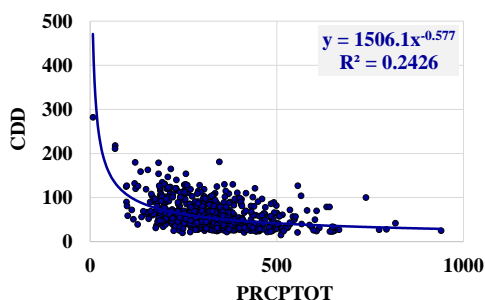
$$\begin{aligned} var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5) \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i)}{18} \quad (1) \\ &= \frac{18}{18} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} > 1 \cdot \\ var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad if \quad n < 1 \cdot \quad (5) \end{aligned}$$

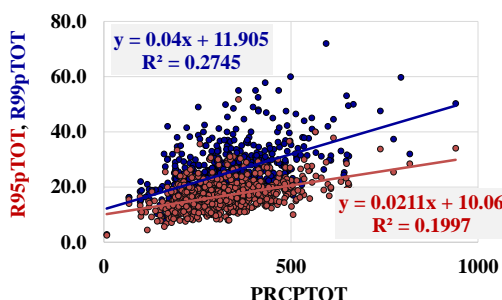
^۱- Upper Prediction Limit

^۱- Upper Confidence Limit

^۲- Upper Tolerance Limit



شکل ۴- همبستگی میان مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی با حداکثر طول دوره‌های بدون بارش
رابطه میان مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی و حداکثر طول دوره‌های بدون بارش معکوس است (ضریب تبیین، ۰/۲۴)، قابل ذکر است که با افزایش تعداد روزهای بارانی، از طول دوره‌های بدون بارش کاسته خواهد شد.



شکل ۵- همبستگی میان مجموع بارش سالانه در ۹۵ و ۹۹ درصد روزهای بارانی با مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی

بر اساس نتایج، رابطه میان مجموع بارش سالانه در ۹۵ و ۹۹ درصد روزهای بارانی با مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۱۹ و ۰/۲۴ از نوع مثبت (مستقیم) است.

نتایج آزمون من-کندال

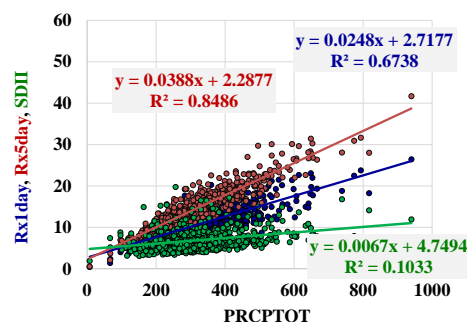
نتایج مربوط به تحلیل روند با استفاده از آزمون من کندال در ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال در تحلیل روند شاخصهای حدی اقلیمی در ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه

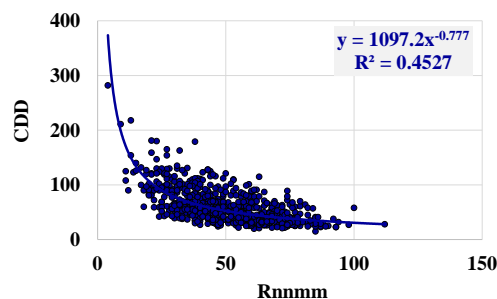
شاخص	ابریکوه	اردبیل	آبی‌یگلو	آتشگاه	الادیزکه	بقرآباد	پل‌الماس	تک‌بلاغ	خوش‌آباد
Rx ¹ day	کاهشی**	افزایشی**	افزایشی	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*
Rx ⁵ day	کاهشی*	افزایشی**	افزایشی	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*	کاهشی
SDII	کاهشی**	کاهشی**	کاهشی	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*	کاهشی**
R ¹ 0mm	کاهشی**	کاهشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی*	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*	کاهشی
R ² 0mm	کاهشی**	کاهشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*	کاهشی*
Rnnmm	کاهشی*	افزایشی*	افزایشی**	افزایشی	کاهشی	کاهشی*	افزایشی**	کاهشی	افزایشی
CDD	-	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی*	افزایشی	افزایشی
CDW	کاهشی	کاهشی	افزایشی**	افزایشی	کاهشی*	کاهشی	افزایشی**	کاهشی	کاهشی
R ⁹⁵ pTOT	کاهشی*	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی	کاهشی*
R ⁹⁹ pTOT	کاهشی*	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی	کاهشی*
PRCPTOT	کاهشی**	افزایشی	افزایشی**	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*	کاهشی

جدول ۴- نتایج آزمون من-کندال در تحلیل روند شاخصهای حدی اقلیمی در ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه

شاخص	سامیان	سرعین	سیاه‌پوش	سئین	شمس‌آباد	شمشیرخانی	کوزه‌تیرافی	گیلانده
------	--------	-------	----------	------	----------	-----------	-------------	---------



شکل ۲- همبستگی میان حداکثر بارش ماهانه یک روزه، پنج روزه و شاخص شدت خام بارش با مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی بر اساس نتایج، رابطه میان حداکثر بارش ماهانه یک روزه (ضریب تبیین، ۰/۶۷)، حداکثر بارش ماهانه پنج روزه (ضریب تبیین، ۰/۸۴) و شاخص شدت بارش خام (ضریب تبیین، ۰/۱۰) با مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی مثبت است.



شکل ۳- همبستگی میان بارش بیش از آستانه با حداکثر طول دوره‌های بدون بارش

رابطه میان تعداد روزهایی با بارش بیش از آستانه (۱ میلی‌متر) و حداکثر طول دوره‌های بدون بارش معکوس است (ضریب تبیین، ۰/۴۵).

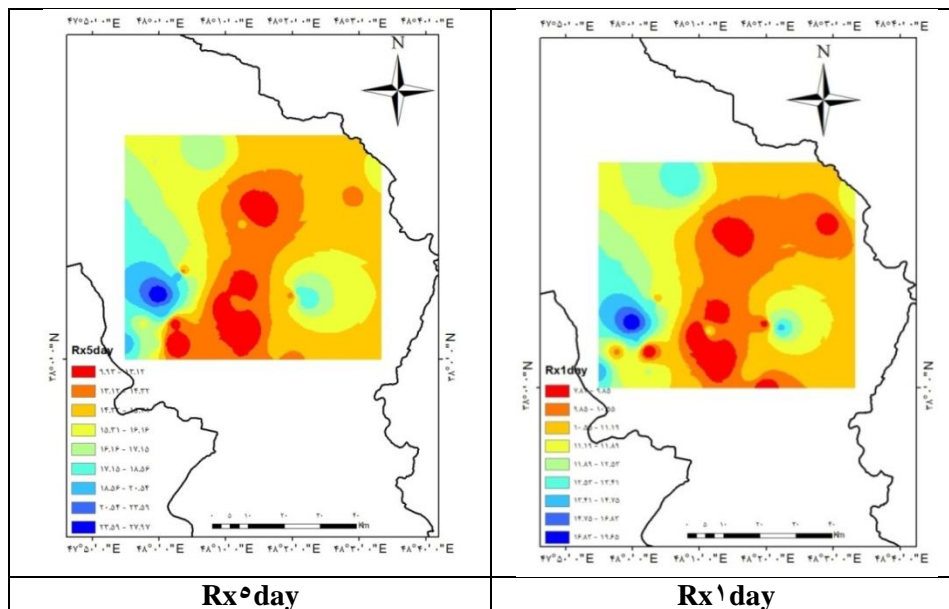
Rx ¹ day	کاهشی	افزایشی*	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	کاهشی
Rx ⁵ day	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	افزایشی*	کاهشی	کاهشی
SDII	کاهشی	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی	کاهشی**
R ¹⁰ mm	کاهشی	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی	کاهشی**
R ²⁰ mm	کاهشی	افزایشی*	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	افزایشی*	کاهشی	کاهشی
Rnnmm	افزایشی**	افزایشی**	کاهشی	افزایشی*	کاهشی**	افزایشی*	افزایشی**	کاهشی
CDD	کاهشی*	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی*	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی	کاهشی
CDW	افزایشی*	افزایشی**	افزایشی*	کاهشی*	افزایشی**	افزایشی*	افزایشی*	افزایشی*
R ⁹⁵ pTOT	کاهشی**	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی*
R ⁹⁹ pTOT	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	کاهشی	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	کاهشی
PRCPTOT	افزایشی*	افزایشی*	افزایشی*	افزایشی*	افزایشی**	افزایشی**	افزایشی*	افزایشی*

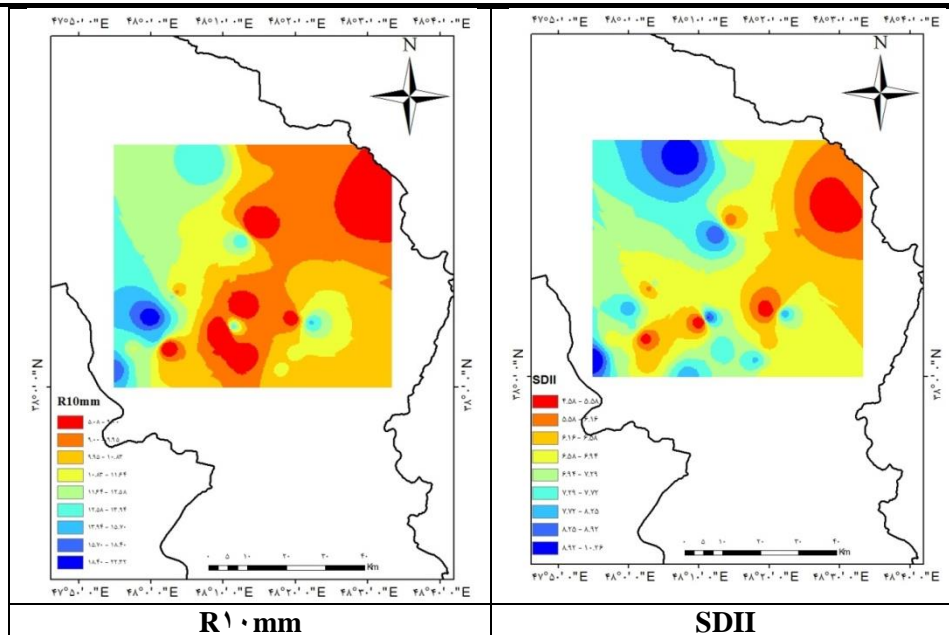
جدول ۵- نتایج آزمون من-کندال در تحلیل روند شاخصهای حدی اقلیمی در ایستگاههای بارانسنجی مورد مطالعه

شاخص	لای	نمین	نیارق	نیر	ننور	هلآباد	هیر	یامچی
Rx ¹ day	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	افزایشی*	افزایشی*
Rx ⁵ day	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	افزایشی**	کاهشی*	افزایشی**	افزایشی*
SDII	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی**	کاهشی**	افزایشی*	کاهشی**	کاهشی
R ¹⁰ mm	افزایشی*	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	افزایشی*	کاهشی**	افزایشی*	افزایشی*
R ²⁰ mm	-	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	کاهشی*	کاهشی	کاهشی	افزایشی**
Rnnmm	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	افزایشی**	افزایشی**	کاهشی	افزایشی**	افزایشی**
CDD	کاهشی	-	کاهشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	کاهشی**	کاهشی*
CDW	افزایشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی*	افزایشی**	کاهشی	افزایشی**	افزایشی*
R ⁹⁵ pTOT	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی**	کاهشی**	کاهشی	کاهشی**	کاهشی
R ⁹⁹ pTOT	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی*	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	کاهشی
PRCPTOT	افزایشی	کاهشی**	کاهشی	کاهشی	افزایشی*	کاهشی	افزایشی**	افزایشی**

مطالعه در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه شده است.

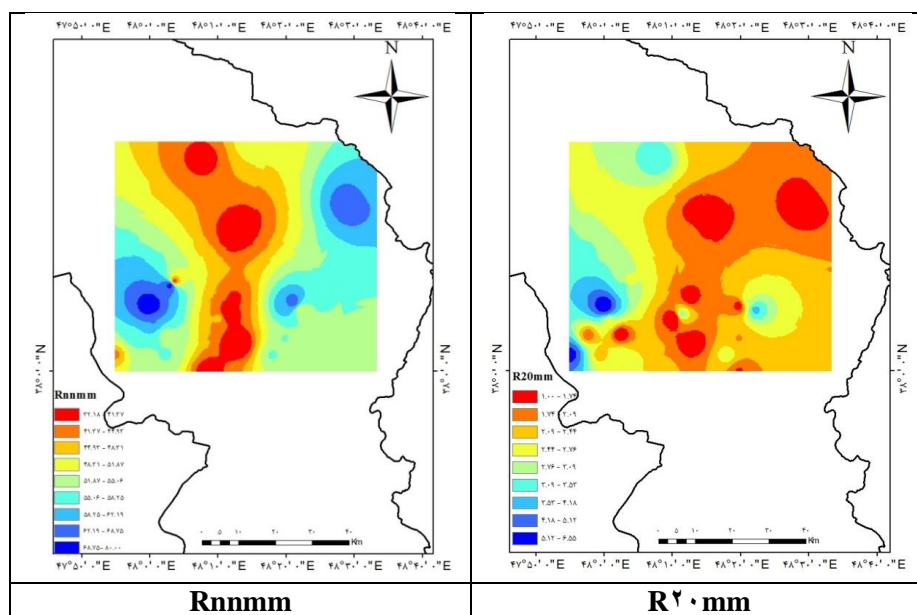
نقشه‌های درون‌یابی شاخص‌های حدی اقلیمی
نقشه‌های درون‌یابی شاخص‌های حدی اقلیمی مورد

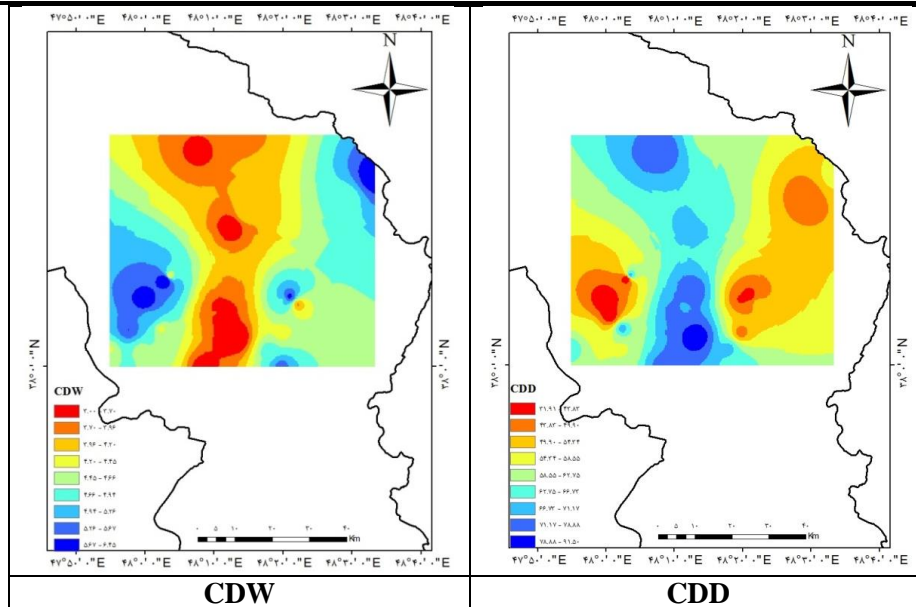




شکل ۶- تغییرات مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

شاخص‌های حداکثر بارش ماهانه یک‌روزه و حداکثر بارش ماهانه ۵ روزه و تعداد روزهایی با بارش بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر در بخش مرکزی کم‌ترین مقدار هستند.

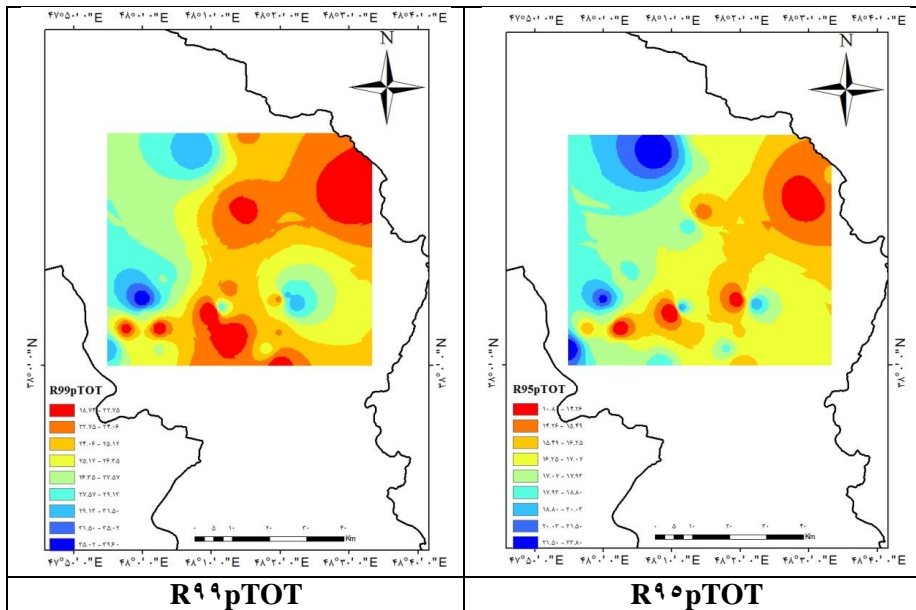


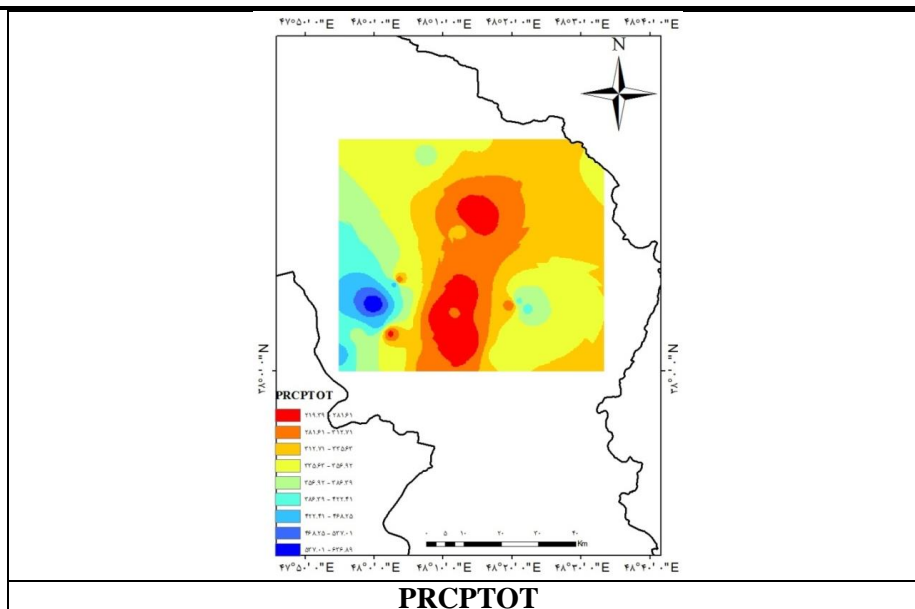


شکل ۷- تغییرات مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

نیز به‌گونه‌ای است که بیش‌ترین طول دوره مرطوب به ایستگاه‌های واقع در مسیر بارندگی‌های ناشی از رطوبت ورودی از طرف دریای خزر و استان گیلان است و این تاثیر افزایش دوره مرطوب در ایستگاه‌های دامنه‌های سبلان نیز به وضوح قابل مشاهده است.

مقادیر بالای شاخص تعداد روزهایی با بارش بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر مربوط به دامنه‌های سبلان است. قابل ذکر است که حداکثر طول دوره خشک در بخش‌های میانی بیش‌تر از مناطق مشرف با شمال و نیز دامنه‌های سبلان است. الگوی توزیع مکانی شاخص حداکثر دوره مرطوب





شکل ۸- تغییرات مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است. شاخص مجموع بارش سالانه در ۹۵ و ۹۹ درصد روزهای بارانی (R^{۹۵}pTOT و R^{۹۹}pTOT) نیز در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. شاخص مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی (PRCPTOT) در برخی ایستگاه‌ها افزایشی و در برخی دیگر کاهشی معنی‌دار بوده است. در این راستا، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) به کاهش بارش و افزایش نوسانات شدید بارش و مقادیر حدی دما را در داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان هرمزگان گزارش نموده‌اند. همچنین احمدی و همکاران (۱۳۹۴) به کاهش شاخص‌های روزهای مرطوب متوالی و مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب اشاره نموده‌اند. همچنین Agnihotri و همکاران (۲۰۱۷) افزایش میزان بارش‌های حدی در اثر تغییر اقلیم را در منطقه هند و شمال غرب هیمالیا گزارش نموده‌اند. علاوه بر این، Nkemelang و همکاران (۲۰۱۸) کاهش روند معنی‌داری در میانگین بارش و افزایش طول دوره خشک را گزارش داده‌اند. باید اشاره شود که روند تغییرات شاخص‌های حدی در مناطق مختلف بر اساس شرایط اقلیمی متفاوت خواهد بود، اما در اکثر مناطق تغییرات شاخص‌های حدی به‌گونه‌ای است که به سمت تشدید وقایع حدی شده است. همچنین نتایج تغییرات مکانی شاخص‌ها نشان داد که کم‌ترین مقدار مربوط به بیش‌تر شاخص‌ها در ایستگاه‌های واقع در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است و بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های حدی بارش در ایستگاه‌های واقع در بخش غربی است. یکی از آثار مهم تغییر اقلیم، تغییر رژیم بارش و الگوی وقوع بارش در آینده است. در بسیاری از موارد

شاخص مجموع بارش سالانه در ۹۵ و ۹۹ درصد روزهای بارانی در بخش‌های شمالی و جنوب شرقی دارای بیش‌ترین مقدار و از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های حدی بارش در بخش مرکزی استان اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش از ۱۱ شاخص حدی بارندگی به‌منظور تعیین تغییرات اقلیمی در منطقه استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش به‌صورت زیر است. شاخص حداکثر بارش ماهانه یک روزه (Rx¹day) در ایستگاه‌های ابرکوه، آلاذیزگه، پل الماس، خوش‌آباد و نمین روند کاهشی معنی‌دار، و در ایستگاه‌های اردبیل و سرعین روند افزایشی معنی‌داری را نشان دادند. شاخص حداکثر بارش ماهانه پنج روزه (Rx^۵day) در ایستگاه‌های ابرکوه، آلاذیزگه، پل الماس، تک‌بلاغ، نمین و هل‌آباد دارای روند کاهشی معنی‌دار، و در ایستگاه‌های اردبیل، سرعین، نئور و هیر دارای روند افزایشی معنی‌داری است. شاخص شدت بارش خام (SDII) در ایستگاه‌های ابرکوه، اردبیل، آلاذیزگه، پل الماس، تک‌بلاغ، خوش‌آباد، سیاه‌پوش، کوزه‌تپراقی، گیلانده، نمین، نیر، نئور و هیر دارای روند کاهشی معنی‌داری است. شاخص تعداد روزهای با بارش ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر یا بیش‌تر (R^{۱۰}mm) در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه از روند کاهشی معنی‌دار پیروی نمود. این در حالی است که در مورد شاخص تعداد روزهای با بارش ۱mm (یک میلی‌متر یا بیش‌تر (R¹mm)) در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار مشاهده شد. شاخص طول دوره خشک (CDD) رو به کاهش و شاخص طول دوره مرطوب (CDW) افزایش معنی‌داری در اکثر

متعدد، دچار دگرگونی‌های زیادی شده است. با توجه به رخداد سیلاب‌های شدید تحت اثر وقایع حدی بارش، بررسی تغییرات روند این وقایع در سالیان گذشته و نیز پیش‌بینی آن در آینده، در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و حوادث طبیعی ناشی از این بارش‌ها موثر خواهد بود. در مجموع می‌توان گفت که تحلیل شاخص‌های مرتبط با وقایع حدی می‌تواند تکمیل‌کننده نتایج ارزیابی مقادیر میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی باشد.

تغییر در ویژگی‌های بارش و رخداد‌های حدی ممکن است از روند کلی کاهش بارش تبعیت نکند. پیش‌بینی تغییر در وقایع حدی اقلیمی برای اتخاذ تدابیر مقابله با آثار زیانبار تغییر اقلیم ضروری است. به‌طور کلی ارزیابی‌های مکانی تغییر در وقوع و روند شاخص‌های حدی اقلیمی می‌تواند در شناسایی نشانه‌های تغییر اقلیم کمک نماید. روند غالب افزایشی تغییرات بارش‌های حدی می‌تواند سهم قابل توجهی در تشدید احتمال رخداد سیلاب داشته باشند. وقایع بارش حدی در سال‌های اخیر تحت تاثیر عوامل منابع

- احمدی، م.، لشکری، ح.، آزادی، م.، کیخسروی، ق. ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. پژوهش‌های دانش زمین، ۶(۲۳): ۳۴-۵۲.
- آقابگی، ن.، اسمعیلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، گلشن، م.، ۱۳۹۸. اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل هیدرولوژیکی IHACRES در برخی از حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۲): ۱۷۸-۱۸۹.
- بینش، ن.، نیک‌سخن، م.ح.، سارنگ، ا. ۱۳۹۷. تحلیل تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی حوزه سیلبرگردان غرب تهران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۷): ۲۲۶-۲۳۴.
- پورالخاص، م.، اسمعیلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، حزباوی، ز.، شیری، م. (۱۴۰۱). شاخص‌ها و مؤلفه‌های ارزیابی نوسانات و تغییرات اقلیمی. دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲(۱): ۸۵-۹۱.
- حجازی‌زاده، ز.، اکبری، م.، ساسانی‌پور، ف.، حسینی، ع.ر.، محمدی، ن. ۱۴۰۱. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل آسا در استان تهران. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۲): ۸۷-۱۰۵.
- دادده، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، قربانی، ا. ۱۳۹۹. تعیین فصلی‌بودن بارندگی ماهیانه با استفاده از روش Markham در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل. برنامه‌ریزی فضایی، ۱۰(۱): ۴۲-۲۹.
- دارند، م.، ۱۳۹۳. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱(۲): ۱-۲۹.
- دالایی، ح.، فرج‌زاده اصل، م.، گندم‌کار، ا.، نامی، م. ۱۳۹۴. امنیت آب و هوایی ایران بر حسب شاخص‌های حدی دما (۱۹۸۱-۲۰۱۰). جغرافیا، ۱۳(۴۶): ۱۳۷-۱۵۴.
- رحیم‌زاده، ف.، هدایت‌دزفولی، ا.، پوراصغریان، آ. ۱۳۹۰. ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان، جغرافیا و توسعه، ۲۱(۲۱): ۹۷-۱۱۶.
- رحیمیانی‌ایرانشاهی، ح.، مرادی، ح.ر.، جلیلی، خ. ۱۴۰۱. روند تغییرات بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۲): ۱-۱۲.
- روزبه‌کوهشاهی، س.، شاهی، ک.، علیپور، ا. ۱۳۹۷. بررسی شاخص‌های حدی بارش به‌عنوان نشانه تغییر اقلیم در استان مازندران. هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبخیز باران. تهران.
- روشنی، ح.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، ذبیحی، م.، ۱۳۹۹. تغییرات مکانی و زمانی الگوی وقوع بارش با استفاده از شاخص‌های PCI و SI در استان گلستان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۴): ۱۸۷-۲۰۴.
- زنگنه، س.، ع.م.، خورشید دوست و ع.ا. رسولی. ۱۳۹۷. مدل‌سازی و روندیابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۶): ۱۷۵-۱۹۴.
- عرفانیان، م.، انصاری، ح.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۴): ۸۱۷-۸۲۵.
- محسنی‌ساروی، م.، صالح‌پور جم، ا.، بذرافشان، ج.، خلیقی‌سیگارودی، س. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آبی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: شمال غربی ایران)، منابع طبیعی ایران، ۷(۴): ۵۳۷-۵۴۸.
- محمدی، ح.، تقوی، ف. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۳: ۱۵۱-۱۷۲.

- مظفری، غ.ع. شفیع، ش. ۱۳۹۵. واکاوی زمانی - مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران. فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین. ۷۷-۹۴: (۵۲)۱۳
- مه‌ری، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا. قربانی، ا. ۱۳۹۶. تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳): ۶۲۳-۶۳۴.
- نصیری خیابوی، ع.، فرجی، ع.، مصطفی‌زاده، ر. (۱۳۹۸). پاسخ دبی جریان به تغییرات بارندگی با استفاده از شاخص الاستیسیته اقلیمی در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۱): ۱-۲۲.
- Agnihotri, R., Dimri, A.P., Joshi, H.M., Verma, N.K., Sharma, C., Singh, J., Sundriyal, Y.P. ۲۰۱۷. Assessing operative natural and anthropogenic forcing factors from long-term climate time series of Uttarakhand (India) in the backdrop of recurring extreme rainfall events over northwest Himalaya. *Geomorphology*, ۲۸۴: ۳۱-۴۰.
- Andreadis, K.M., Lettenmaier D.P. ۲۰۰۶. Trends in ۲۰th century drought over the continental United States, *Geophysical Research Letters*, ۳۳: L۱۰۴۰۳.
- Chieh-Kao, S., Ganguly, A.R. ۲۰۱۱. Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under ۲۱st-century warming scenarios, *Journal of Geophysical Research*, ۱۱۶, D۱۶۱۱۹.
- Halimatou, A.T., Kalifa, T., Kyei-Baffour, N. ۲۰۱۷. Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Segou in Mali from ۱۹۶۱-۲۰۱۴. *Weather and Climate Extremes*. ۱۸. ۸-۱۶
- International CLIVAR Project Office (۲۰۰۱) Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs ۱۹۹۸-۲۰۰۱ (ICPO Publication Series, ۴۸) Southampton, UK. International CLIVAR Project Office ۱۴۴pp.
- Leta, O.T. ۲۰۱۶. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. ۸, ۱۸۲-۱۹۷.
- Manton, M.J., Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Hennessy, K.J., Nicholls, N., Chambers, L.E., Collins, D.A., Daw, G., Finet, A., Gunawan, D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T.S., Lefale, P., Leyu, C.H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C.M., Ahalad, J., Plummer, N., Salinger, M.J., Suppiah, R., Tran, V.L., Trewin, B., Tibig I. and Yee, D. ۲۰۰۱. Trends in Extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: ۱۹۶۱-۱۹۹۸. *International Journal of Climatology*. ۲۱. ۲۶۹-۲۸۴.
- Martinez, M.D., Serra, C., Burgueno, A., Lana, X. ۲۰۱۰. Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period ۱۹۷۵-۲۰۰۴, *Int. J. Clim.* ۳۰: ۲۶۷-۲۹۰.
- Nandintsetseg, B., Greene, J.S., Goulden, C.E. ۲۰۰۷. Trends in Extreme Daily Precipitation and Temperature Near Lake Hovsgol. Mongolia, *International Journal of Climatology*, ۲۷: ۳۴۱-۳۴۷.
- Nkemelang, T., New, M.G., Zaroug, M. ۲۰۱۸. Temperature and precipitation extremes under current, ۱,۵°C and ۲,۰°C global warming above pre-industrial levels over Botswana, and implications for climate change vulnerability. *Environmental Research Letters*. ۱۳, ۰۶۵۰۱۶
- Panda, D.K., Panigrahi, P., Mohanty, S., Mohanty, R.K., Sethi, R.R. ۲۰۱۶. The ۲۰th century transitions in basic and extreme monsoon rainfall indices in India: Comparison of the ETCCDI indices, *Atmospheric Research* ۱۸۱: ۲۲۰-۲۳۵.
- Panda, K., Panigrahi, P., Mohanty, S., Mohanty, R.K., Sethi, R.R. ۲۰۱۶. The ۲۰th century transitions in basic and extreme monsoon rainfall indices in India: Comparison of the ETCCDI indices. *Atmospheric Research*. ۱۸۱. ۲۲۰-۲۳۵
- Raghavan, S.V. ۲۰۱۷. Ensemble climate projections of mean and extreme rainfall over Vietnam. *Global and Planetary Change*. ۱۴۸, ۹۶-۱۰۴
- Sein, K.K., Chidhaisong, A., Oo, K.L. ۲۰۱۸. Observed Trends and Changes in Temperature and Precipitation Extreme Indices over Myanmar. *Atmosphere* ۲۰۱۸, ۹, ۴۷۷.
- Soltani, M., ۲۰۱۶. Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, ۱۲۶: ۷۷۵-۷۹۵.
- Yin, S., Sun, Y. ۲۰۱۹. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in ۲۰۱۷ based on ETCCDI indices. *Advances in Climate Change Research*. ۹(۴): ۲۱۸-۲۲۶
- Zhai, P., Pan, X. (۲۰۰۳). Trends in temperature extremes during ۱۹۵۱-۱۹۹۹ in China. *Geophysical Research Letters*, ۳۰.

Assessment of temporal and spatial variations of precipitation climate extreme indexes in the central part of Ardabil province

Rogayah Esgandari^۱, Abazar Esmaliouri^{۱*}, Raof Mostafazadeh^۲, Sepideh Choobeh^۳

^۱ M.Sc in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^{۲*} Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^۳ Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^۴ Ph.D student in Watershed Management Science and Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

(Corresponding Author: esmaliouri@uma.ac.ir)

Abstract

Objective: Climate change and its consequences have become a threat to the planet, the natural and man-made environment, and it leads to an increase in greenhouse gas emissions, global warming. In recent decades, the amount of carbon dioxide in the atmosphere has increased, and this factor of climate change, such as temperature, has decreased. One of the effective factors in the management of agricultural and industrial projects is that changing the pattern of distribution and its amount, especially its decreasing trend, can play important role in determining the time of crop cultivation and water resources planning. Temperature as one of the important climatic factors, causes changes in the temporal and mechanical pattern of climatic phenomena and droughts, floods, storms and heat waves. Destructive climate change is due to a great increase or intensity of extreme weather phenomena and climatic events. In fact, extreme events rarely occur, but they have a direct impact on communities and vulnerable areas. Studies have proved that climate change is driven by simultaneous increases in evapotranspiration and changes, contributing to water cycle processes. Social and environmental impacts of extreme events are locally significant as a result and can severely affect specific sectors and locations. From a statistical point of view, climatic events, changes in the average limit and deviation of climatic indicators alters the occurrence probability of number of frost days, cold and hot days and nights, and the length of the growing season. Climate change intensify the hydrological cycle and change the amount of evaporation and transpiration and the pattern of precipitation. Climate change and global warming increase droughts and their continuation, and this change also causes uneven distribution and affects water resources. The purpose of this study was to evaluate the temporal and spatial variations of climatic rainfall indices in the central part of Ardabil province.

Method: In this study, ۱۱ climatic extreme indices were selected and evaluated in a ۴۰-year period (۱۹۷۳-۲۰۱۴) to evaluate changes. At first, the required data were prepared and after processing, the values of the indices were calculated using Excel software, then the temporal trend of the indices was analyzed by ProUCL software. Evaluating the existence of a trend in the time series data is one of the important aspects of time series. In this regard, non-parametric methods are usually used due to the lack of statistical assumptions. In this research, the Man-Kendal method was used to investigate the changing process of climatic extreme indices. The non-parametric Mann-Kendall test has the ability to adopt with non-normal time series that does not follow a specific distribution. Also, this test has a small influence of the outlier values in the time series. Regarding the spatial interpolations, there are several methods to estimate the spatial changes of variables. The difference between these methods is the way of calculating the weight that is given to the observed points around the unknown point. In this research, the inverse distance weighting method was used, which estimates the values of unknown points through the weighted average of observational data with identical points.

Results: In general, the changes in rainfall extreme indices have a decreasing trend in all stations, but it is significant in Hir station. Based on the results of interpolation maps, the indicators of maximum ۱-day monthly rainfall, maximum ۲-day monthly rainfall and total annual rainfall on rainy days in the central and western parts show the least and most values, respectively. Raw rainfall intensity indicators, total annual rainfall in ۹۰% of rainy days in the northern, southern and western parts of Ardabil province show the most values and in the eastern part of the region the least values. The indicators of the number of days with rainfall of ۱۰ mm or more, the number of days with rainfall of ۲۰ mm or more and the total annual rainfall in ۹۹ percent of rainy days showed the least and most changes in the east and north-west of the region, respectively. The indicators of wet period length and Rnnmm indices show the most values in the western and eastern parts and the least values in the central part of the province. The high values of number of rainy days index with more than ۲۰ mm precipitation are related to Sablan slopes. It should be noted that the maximum length of the dry season is longer in the middle parts than in the areas of

Musharraf and the north, as well as in the slopes of Sablan. The spatial distribution pattern of the maximum wet period index is also such that the maximum length of the wet period is in the stations located on the path of rainfall caused by the incoming moisture from the Caspian Sea and Gilan province, and this effect of the increase of the wet period is also clearly visible in the stations of Sablan slopes.

Conclusions: According to the findings of the study, the least changes in precipitation extreme indices occurred in central stations and the highest values in precipitation extreme indices occurred in stations located in western part of the study area. Overall, it can be said that assessing changes in extreme indices can be a guide in assessing climate change and its negative effects on soil and water conditions. It should be noted that the changes in extreme indicators in different regions will be different based on climatic conditions, but in most areas, the changes in extreme indicators are such that extreme events are intensified. One of the important effects of climate change is changing the rainfall regime and the pattern in the future. In many cases, changes in precipitation characteristics and extreme events may not follow the general trend of precipitation reduction. Spatial evaluations of changes in the occurrence and trend of extreme climatic indicators can help in identifying the signs of climate change. The dominant trend of increasing changes in rainfall extremes can have a significant contribution in intensifying the flood occurrence. The extreme rainfall events have undergone many changes in recent years under the influence of many factors. Considering the occurrence of severe floods under the effect of extreme rainfall events, examining the changes in the trend of these events in the past years and predicting them in the future will be effective in planning and managing water resources and natural disasters caused by these events. Forecasting changes in climatic extreme events is necessary to take effective considerations to deal with the harmful effects of climate change. In general, it can be said that the analysis of indicators related to extreme events can complement the results of evaluating the annual average values of climatic variables.

Keywords: “Extreme indices”, “Trend”, “Climate change”, “Rainy days”