نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال دوازدهم | شماره چهل و ششم | تابستان ۱۴۰۰
وصول: ۹۸/۱۱/۱۰ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۷
صص ۴۲-۲۹

بررسی روند رخدادهای حدی بارشی استان خراسان جنوبی در اثر گرمایش جهانی (بازه اقلیمی: ۱۹۸۹-۲۰۱۸)

جمیله قلی پور[۱]، سید محمد موسوی بایگی[*۲]، ایمان بابائیان[۳]، مهدی جباری نوقابی[۴]
۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- استاد هواشناسی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استادیار ، پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران
۴- استادیار ، گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

چکیده

تغییر اقلیم و روند افزایشی دمای کره زمین بر چگونگی رفتار رخدادهای حدی بارش و دما در مقیاس محلی و منطقه ای در اکثر نقاط کره زمین تاثیر گذاشته است. پاسخ این تاثیر، تغییراتی در فرکانس و شدت وقوع رخدادهای حدی بارشی در بیشتر مناطق دنیا است. به دلیل اثر مستقیم این رخداد ها بر منابع آبی کره زمین، مطالعه هر چه دقیق تر هر گونه تغییر رفتاری در این رخدادها در صدر اول مطالعات محققان علوم آب و هواشناسی قرار دارد. در این پژوهش داده های روزانه بارش ۶ ایستگاه سینوپتیک فعال در استان خراسان جنوبی برای دوره ۳۰ساله ۱۹۸۹-۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. داده های سری های زمانی بارش پس از کنترل کیفیت، از نظر همگنی و یافتن نقاط شکست احتمالی، مورد آزمون قرار گرفت. در ادامه ۱۱ شاخص حدی بارشی شامل ۶ شاخص شدتی و ۵ شاخص مدتی برای هریک از این ایستگاه ها محاسبه شد. سپس روندهای مشاهده شده در رخدادهای حدی بارشی تعیین شد و نهایتا برای بررسی تاثیر تغییر اقلیم، معناداری روند در شاخص ها به کمک آزمون من-کندال سنجیده شد. نتایج نشان داد در اکثر شاخص ها، روند کاهشی وجود دارد که مقدار این روند در شاخص های RX1day وRX5day (در بیرجند و نهبندان)، R30mm (فردوس و نهبندان)، R10mm (بیرجند، نهبندان و بشرویه) و PRCPTOT (برای تمامی ایستگاه ها)؛ از لحاظ آماری معنادار است. علی رغم کاهش برای R20mm، SDII و R95p (بجز بشرویه در برخی شاخص ها)؛ رفتار این شاخص ها در هیچ کدام از ایستگاه ها معنادار نیست و در سایر شاخص ها روند کاهشی معنادار فقط در یک ایستگاه مشاهده شده است. در مجموع با محاسبه روند رخدادهای حدی بارشی در ایستگاه‌های خراسان جنوبی، شاهد کاهش چشمگیر و معناداری در بارش سالانه در کل سطح استان و روزهایی با بارش بیشتر از ۱۰ میلی متر، بیشترین مقدار بارش ۱ روزه و نیز ۵ روزه در نیمه شرقی استان در اثر تغییر اقلیم هستیم که لزوم مدیریت و برنامه ریزی هر چه بیشتر در جهت استفاده بهینه از منابع آبی موجود را می طلبد.

کلید واژه‌ها: آزمون من-کندال، تغییر اقلیم، رخدادهای حدی بارشی، بارش سالانه، نقاط شکست.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۴۶۷۳۱۱
Email: mousavib@um.ac.ir

مقدمه

تمدن صنعتی در بسیاری از جهات برای انسان پیشرفت، رفاه، آسایش و راحتی به همراه آورده است اما برای محیط زیست جهانی نه تنها دستاوردی نداشته؛ بلکه به عاملی برای تخریب و برهم زدن نظم زمین تبدیل شده است. اکنون با گذشت بیش از ۴ دهه از حاکمیت صنعت بر جوامع بشر، تغییر اقلیم یا همان گرمایش جهانی به چالش و تهدیدی جدی برای محیط زیست کره زمین تبدیل شده که عمده ترین دلیل آن شدت یافتن فعالیت های صنعتی انسان است. افزایش دما، ذوب شدن یخ های قطبی، بالا آمدن سطح آب های آزاد و بی نظمی در پدیده های آب و هوایی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم است. افزایش دمای کره زمین و تغییر دیگر پارامترهای اقلیمی(در اثر فعالیت های انسانی و افزایش ورود گازهای گلخانه ای به جو)، تغییر اقلیم نام دارد (فاتحی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ لذا تغییر اقلیم هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین بلند مدت آب وهوایی یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی است(منصوری و همکاران، ۱۳۹۷). به همین دلیل امروزه تأثیر تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه ای، به طور گسترده ای در جهت حمایت از استراتژی های سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش آثار سوء این پدیده مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است (Jenkins ; Wise et al, 2014; et Harrison et al, 2019 ; Lowe et al, 2018 al, 2009).

افزایش گازهای گلخانه‌ای و تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می تواند تأثیرات منفی زیادی بر منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سامانه هایی که در کنش با اقلیم هستند؛ بگذارد (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹). آثار مخرب تغییر اقلیم برای بشر تا بدانجا ست که در بین ۱۰ عامل تهدیدآمیز بشر در قرن ۲۱، مقام اول را به خود اختصاص داده است (Carter et al, 2007).

در بین عناصر اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و نیز تأثیرات مستقیم و غیر مستقیمی که بر فعالیت های انسان دارند از اهمیت ویژه ای برخوردارند، به طوری که تقریباً بیشترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین بر روی این دو پارامتر متمرکز شده است (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲). طبق گزارش ها، تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی آب های سطحی در سطح جهان شده است به گونه ای که بارندگی و جریان های سطحی در عرض های جغرافیایی بالا و میانه بیشتر شده، در عرض های پایین کمتر شده و به همین دلیل احتمال مواجهه با رخدادهای حدی اقلیمی مانند بارش های سنگین و خشکسالی افزایش یافته است(Lane et al, 1999). از آنجا که این افزایش آثار زیانباری برای جوامع بشری در پی دارد، در سال‌های اخیر لزوم تحقیق در این زمینه در سطح جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است و امروزه این مساله به خوبی پذیرفته شده است که بدون توجه به این واقعیت که "اقلیم در حال تغییر است"، نمی‌توان برنامه ریزی واقع بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد (Hardy, 2003).

یک رخداد حدی یعنی وقوع پدیده ای که از دیدگاه آماری احتمال اتفاق افتادن آن خیلی کم بوده و دوره بازگشتی طولانی دارد. به عبارت دیگر رخدادهای حدی پدیده هایی هستند که از نظر فراوانی، تعداد وقوع کمی دارند اما شدت رخداد آن زیاد است و معمولا در هنگام وقوع اکوسیستم ها و زندگی انسان ها را با تغییرات و مشکلات جدی رو به رو می کند (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۳) و به طور متوسط احتمال وقوع این رویداد ها کمتر از ۵ ٪ است (Zhu and Toth, 2001). سناریوی‌های شبیه سازی اقلیم مبتنی بر مدل‌های گردش کلی جو (GCM) نشان می‌دهد که فرکانس وقوع رخدادهای حدی در بسیاری از مناطق بیشتر خواهد شد که باعث آثار فاجعه بار آب و هوایی در آینده‌ای نه چندان دور می‌شود (IPCC, 2007 & 2012). به دلیل اهمیت بسیار زیاد تاثیر تغییر اقلیم بر رفتار رخدادهای حدی، امروزه در بسیاری از مناطق دنیا مطالعات زیادی انجام شده و نیز در حال انجام است. مثلا پژوهش آسفاو و همکاران تغییرات در روند سری های زمانی بارش و دما در بخش‌های مرکزی شمال اتیوپی(زیر حوضه ولکا) را به کمک آزمون من–کندال انجام داد. نتایج نشان دهنده روند افزایشی معنادار در شاخص خشکسالی پالمر، دمای بیشینه و کمینه و کاهش معنادار در بارش است(Asfaw et al, 2018). مطالعه کگنهاف و همکاران در گرجستان برای ۲۴ شاخص حدی دما و بارش، نشان می دهد اکثر شاخص های حدی دمایی روند افزایشی معنادار و شاخص های بارشی روندهای

افزایشی یا کاهشی دارند(keggenhoff et al, 2014). جیانگ و همکاران شاخص‌های حدی دمایی در شمال و جنوب منطقه کوهستانی کیونلینگ کشور چین تحلیل کردند. نتایج آنها نشان داد که شاخص های دمایی سرد مثل TX10، TN10، ID، FD و CSDI روند کاهشی و نیز شاخص های دمایی گرم مثل TN90، TX90، SU، TR و WSDI روند افزایشی تحت تاثیر تغییر اقلیم دارند(Jiang et al, 2015). سان و همکاران نیز مطالعه ای برای تغییرات رخدادهای حدی بارشی و دمایی لوئس پلاتیو چین انجام دادند و تاثیر تغییر اقلیم را بر روند و معناداری روند برای ۱۲ شاخص حدی دما و ۱۰شاخص بارشی مورد مطالعه قرار دادند (Sun et al, 2016).

در ایران مطالعات در این زمینه محدود است که برخی از آنها عبارتند از مطالعه محمدی و تقوی(۱۳۸۴) برای شاخص های حدی دما و بارش ایستگاه تهران، که نتایج آنها حکایت از افزایش روند دمای حداکثر، حداقل و متوسط روزانه و نیز کاهش روند شاخص های حدی بارش با شیب بسیار کم است. تغییر در شاخص‌های حدی دمایی و بارشی استان خراسان رضوی در مطالعه‌ای توسط عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) نشان دهنده کاهش تعداد روزهای یخبندان، روزهای یخی و وقوع دوره‌های سرد و بالعکس افزایش تعداد روزهای آفتابی، شب‌های حاره‌ای و نیز طول دوره گرم است. هـم چنـین رخدادهای حدی بارشی با نوسان زیاد و عمدتاً با شیب کاهشی بسیار کمی در این منطقه دیده می‌شود. در مطالعه دیگری توسط قلی پور و همکاران (۱۳۹۷) برای همین استان در مورد شاخص های حدی بارشی، تغییرات چشمگیر و ناهمسان در اندازه و نوع روند شاخص(افزایشی یا کاهشی) با تغییر مکان ایستگاه نشان داده می‌شود. ورشاویان و همکاران (۱۳۸۸)، روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل و حداکثر و نیز میانگین روزانه بارش در چند نمونه اقلیمی ایران مورد مطالعه قرار دادند. نتایج روند در شاخص‌ها نشان داد که به طور کل اغلب ایستگاه ها روند افزایشی معنادار در مقادیر حدی دما به خصوص دمای حداقل از خود نشان می دهند. در سال ۱۳۹۴ مطالعه ای از کوزه گران و موسوی بایگی منتشر شد که در آن روند رخدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ۸ نقطه ایستگاهی انتخاب شد. نتایج کار نشان داد که شاخص‌های حدی دمایی گرم روند افزایشی دارند که این روند برای شاخصهایی مانند روزهای تابستانی، تعداد شب های حاره ای، روزها و شب های گرم معنادار بود. در حالی که شاخص های حدی سرد در دوره مورد مطالعه (۱۹۹۲-۲۰۱۲) روند کاهشی دارند که نشان دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادها و روزها و شبهای سرد است. روند کاهشی و منفی بارش در بررسی همه شاخص های بارش وجود داشت، هر چند تعداد کمی روند معنادار در طول دوره مورد مطالعه مشاهده شد. اخیرا نیز در مطالعه‌ای توسط عابدینی و همکاران (۱۳۹۸) روند رویدادهای اقلیمی حدی بارش و دما برای استان خراسان جنوبی برای سال های ۱۹۹۲-۲۰۱۶ مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این کار نشان دهنده روند افزایشی در رخدادهای حدی گرم و نیز روند کاهشی در رخدادهای حدی سرد در اکثر ایستگاه‌ها است. در این مطالعه بیان شده به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه ها، الگوی بارش منطقه ای مشخصی قابل ارائه نیست ولی در کلیه ایستگاه ها روند کاهش بارش مشاهده می شود.

آنچه از مطالعه منابع دنیا و ایران برمی آید، اهمیت زیاد مطالعه و بررسی روند و تغییر رفتار در شاخص های حدی – خصوصا شاخص های بارشی– برای تمام مناطق دنیاست. هدف اصلی مطالعه حال حاضر بررسی روند رخدادهای حدی بارشی استان خراسان جنوبی تحت تاثیر تغییر اقلیم است. استفاده از نتایج این مطالعه در بخش های مختلف مرتبط با تغییرات اقلیمی خصوصا مدیریت منابع آب، مدیریت سیلاب، کشاورزی و ... که مستقیما متأثر از این پدیده و تغییرات آن هستند، ضروری می نماید.

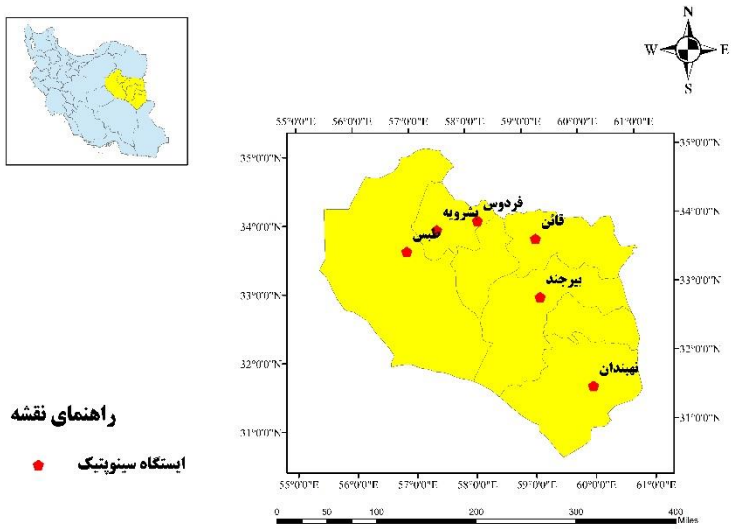
مواد و روش‌ها

داده ها و محدوده مورد مطالعه

برای انجام این مطالعه از داده های روزانه بارش ۶ ایستگاه سینوپتیک فعال در استان خراسان جنوبی؛ که دارای دوره زمانی بلندمدت(ضرورت وجود حداقل ۳۰ سال آماری جهت انجام مطالعات اقلیمی) بودند، برای سال های ۱۹۸۹-۲۰۱۸ استفاده شد. شکل (۱) موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه و جدول (۱) مشخصات جغرافیایی آن ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های سینوپتیک منتخب در استان خراسان جنوبی

نام و کد ایستگاه	عرض جغرافیایی (N°)	طول جغرافیایی (E°)	ارتفاع (m)
فردوس (۴۰۷۹۲)	34.0	58.2	1293
قائن (۴۰۷۹۳)	33.7	59.2	1432
بیرجند (۴۰۸۰۹)	32.9	59.2	1491
نهبندان (۴۰۸۲۷)	31.5	60.0	1211
بشرویه (۹۹۴۰۷)	33.9	57.5	885
طبس (۴۰۷۹۱)	33.6	56.9	711



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه های سینوپتیک منتخب در استان خراسان جنوبی.

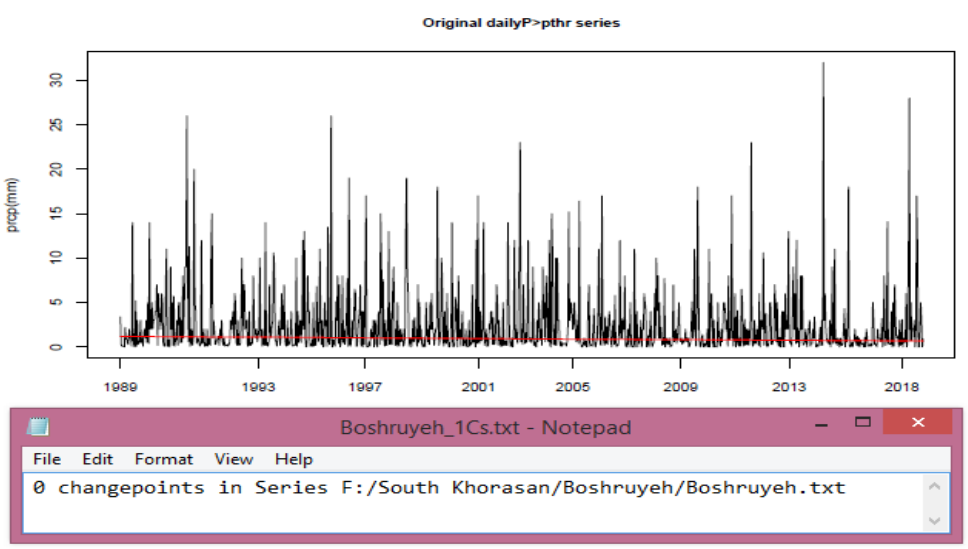
همگنی در داده‌های ایستگاه های منتخب

هر گاه در یک مطالعه محاسبه روند و معناداری آن در شاخص هایی مطرح باشد، باید قبل از هر گونه تحلیل و نتیجه گیری، همگنی و یکنواختی سری‌های زمانی بلند مدت داده‌ها مورد بررسی قرار گیرد (چنانچه این مهم صورت نگیرد و داده‌ها بصورت خام روند یابی شوند؛ پژوهش از اعتبار علمی کافی برخوردار نخواهد بود). داده هایی که مورد آزمون همگنی قرار می گیرند نیز باید کنترل کیفیت شوند. کنترل کیفیت داده های روزانه بارش شامل نبود عدد منفی برای بارش، کامل بودن تمامی روزهای یک ماه و نبود مثلا روز ۳۲ ام برای یک ماه، عدم وجود اعداد بسیار بزرگ و ... می باشد. در این مطالعه سری های زمانی ۳۰ ساله بارش برای هر ۶ ایستگاه کنترل کیفیت شدند. همچنین بررسی همگنی و نیز همگن سازی سری های زمانی ناهمگن، توسط بسته آماری RHtests-dlyPrcp در محیط نرم افزار آماری R صورت گرفت. این بسته که به طور خاص برای همگن کردن سری های زمانی بارش روزانه مورد استفاده قرار می گیرد، در ۱۴ آگوست ۲۰۱۳ بصورت آنلاین در اختیار عموم قرار گرفت و به کمک الگوریتمی موسوم به trans-PMFred و با استفاده از داده های حاصل از تبدیل باکس-کاکس، به طور ویژه برای داده های بدون سری مرجع بارش روزانه مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که داده‌های بارش دارای توزیع نرمال نیستند، استفاده از تبدیل باکس-کاکس ضروری است (Wang and Feng, 2013).

بارش روزانه تغییرات مکانی زیادی دارد به طوری که گاه مشاهده می‌شود در یک طرف شهر و یا حتی خیابان می تواند بارندگی وجود داشته باشد و در طرف دیگر نباشد. از دیگر سو سری مرجع مناسبی برای داده های بارش روزانه در اکثر نقاط دنیا و خصوصا منطقه مورد مطالعه این تحقیق وجود ندارد زیرا اندازه گیری های موازی و به فواصل برابر

انجام نمی شود. بنابراین بارش روزانه فرایندی پیوسته نیست و بعبارتی به صورت یک سری زمانی در حوزه زمان است. بنابراین اصطلاحا گفته می‌شود بارش پیوسته نیست. در اینگونه موارد در اولین برخورد با یک سری زمانی بارش روزانه باید نقاط شکست در این سری را از بین برد. بنابراین باید بررسی کنیم که آیا سری های زمانی همگن هستند و نقطه شکستی دارند یا خیر.

بسته نرم افزاری آماری RHtests-dlyPrcp سه تابع را برای تشخیص و رفع نقاط شکست غیر طبیعی(واقعی) در سری های بارش روزانه استفاده می‌کند؛ بدون اینکه از سری مرجعی استفاده کند (Wang and Feng, 2013). ابتدا همگنی در داده‌های هر کدام از ایستگاه‌ها توسط تابع FindU بررسی می‌شوند. پس از اعمال این تابع در همان مسیر دایرکتوری که داده وجود دارد، ۵ فایل ایجاد می شود. با دریافت خروجی فایل نوشتاری با پسوند *.mCs لیستی از نقاط شکست موجود در سری، به همراه تاریخ آن نشان داده می شود. اگر در این لیست با پیغام 0 changepoints in Series مواجه شدیم، یعنی سری زمانی داده‌های بارش همگن بوده و نقطه شکستی ندارد. اما اگر لیستی از نقاط شکست وجود داشت یعنی سری ناهمگن است و نقطه شکست های موجود در لیست که تاریخ وقوعشان را هم قید کرده، باید اصلاح شوند. اگر این نقاط شکست ناشی از هرگونه تغییر در موقعیت ایستگاه، ساعات دیدبانی، تغییر ابزارهای دیدبانی، دقت اندازه گیری ها و ... باشند؛ نقطه شکست هایی واقعی هستند که موجب ناهمگنی در سری شده اند و می بایست داده های سری زمانی را اصلاح و همگن کرد و سپس شاخص های حدی را برای این داده ها محاسبه کرد. این گام یک گام بسیار مهم در مطالعات مبتنی بر مطالعه رفتار رخدادهای حدی است که بعضا مشاهده شده در بسیاری از مطالعات بدان توجه نمی شود. بنابراین در قدم بعد سری های زمانی ۳۰ ساله روزانه بارش برای هر ۶ ایستگاه توسط بسته آماری RHtests-dlyPrcp مورد آزمون همگنی قرار گرفت. در میان داده‌های مورد مطالعه، تمامی ایستگاه‌ها از همان ابتدا همگن بودند و نقطه شکستی نداشتند. شکل ۲ پیغام عدم وجود نقطه شکست و نمودار سری زمانی همگن ایستگاه بشرویه را به عنوان مثال نشان می‌دهد.



شکل ۲- سری زمانی همگن بارش روزانه ایستگاه بشرویه و پیغام حاصل از اعمال توابع توسط بسته RHtests-dlyPrcp

محاسبه شاخص‌های حدی بارش روزانه

محاسبه مقادیر شاخص های حدی بارش به کمک بسته نرم افزاری RClimDex 1.1 در محیط R صورت گرفت. در این بسته لیستی از شاخص های حدی بارشی و دمایی وجود دارد که محقق بسته به هدف تحقیق خود می تواند هر کدام از آن ها را انتخاب کند. در این مطالعه ۱۱ شاخص حدی بارشی مورد تایید سازمان جهانی هواشناسی، برای

ایستگاه های منتخب خراسان جنوبی مورد محاسبه و مطالعه قرار گرفت.

شاخص های بارشی در دو دسته طبقه بندی می‌شوند. یک عده، شاخص های مبتنی بر شدت بارش و بر حسب واحد mm یا mm/days هستند و عده دیگر مبتنی بر مدت بارش(تعداد روز بارشی) و برحسب واحد days هستند. جدول ۲ شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه را معرفی می کند.

جدول ۲- مشخصات شاخص های بارشی محاسبه شده در این مطالعه

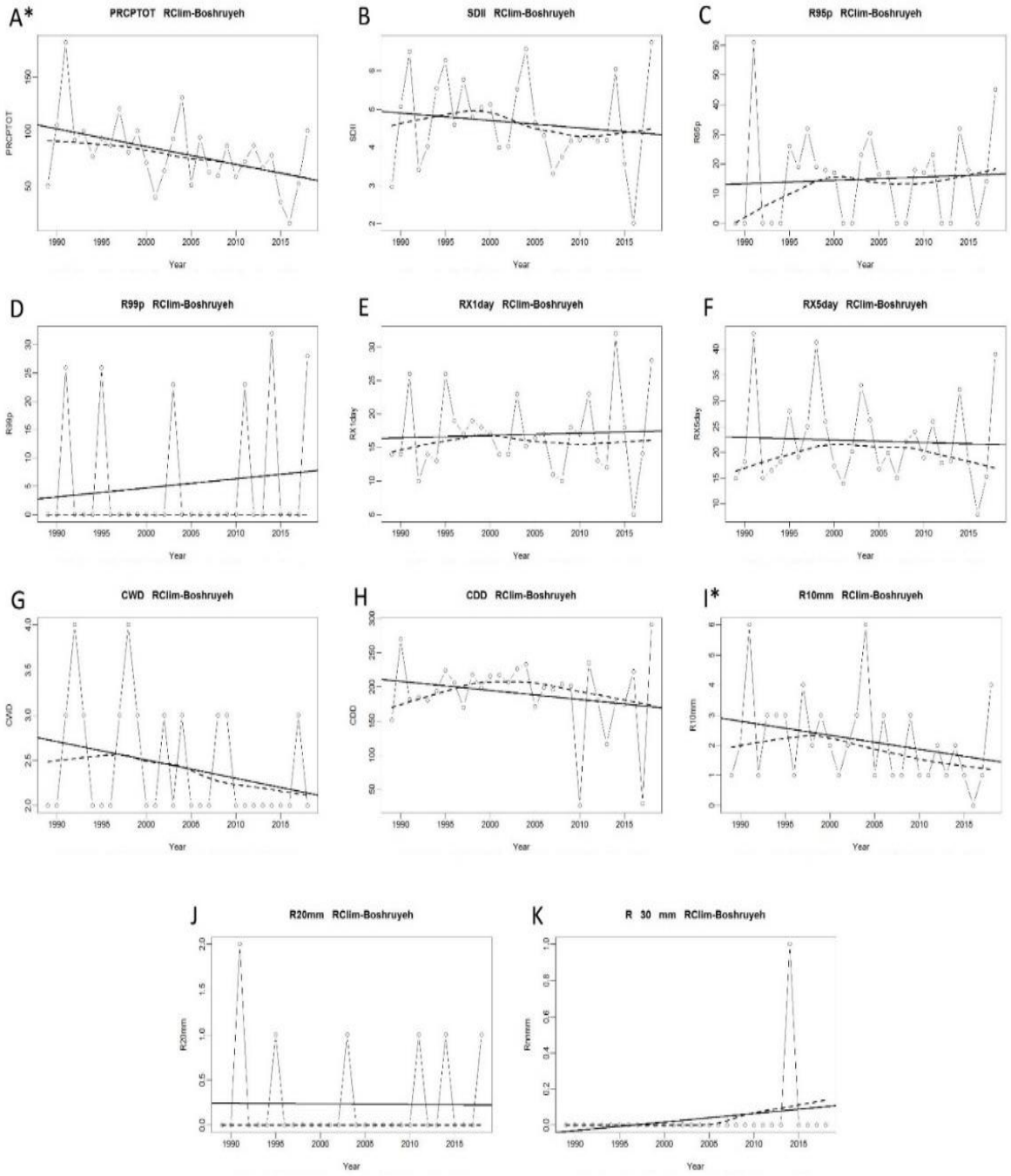
نام شاخص	نوع شاخص	تعریف شاخص	تشریح شاخص
PRCPTOT	شدت بارش	مجموع بارش سالانه	مجموع بارش‌های روزانه کل سال
SDII	شدت بارش	شدت ساده بارش روزانه	بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب
R99p **R95p**	شدت بارش	روز فوق العاده مرطوب روز خیلی مرطوب	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیشتر از صدک ۹۹ ام (۹۵ ام)
RX5day **RX1day**	شدت بارش	بیشترین مقدار بارش ۵ روزه بیشترین مقدار بارش ۱ روزه	ماکسیمم مقدار سالانه بارش ۵ روزه (۱ روزه)
CWD	تعداد روز بارش	روزهای تر متوالی	بیشترین تعداد روزهای تر متوالی
CDD	تعداد روز بارش	روزهای خشک متوالی	بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی
R10mm **R20mm** **R30mm**	تعداد روز بارش	تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی متر	تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱۰ میلی متر (۲۰ میلی متر/۳۰ میلی متر)

معناداری روند در شاخص‌های حدی بارشی

پس از محاسبه شاخص‌ها، مقدار روند در شاخص ها و نیز تهیه نمودارهای هر شاخص برای تمامی ایستگاه ها در دوره زمانی مورد مطالعه، نیاز به استفاده از یک آزمون آماری جهت تعیین معناداری آماری مقدار روند در شاخص مورد نظر می‌باشد. در این مطالعه از آزمون آماری ناپارامتری من- کندال استفاده شد. برای محاسبه معناداری روند به روش من- کندال، در این مطالعه از بسته نرم افزاری trend در محیط نرم افزار R استفاده شد. با توجه به سطح خطای آزمون‌ها -که برای این مطالعه حداکثر ۵ درصد در نظر گرفته شده است-، فرضیه صفر آزمون رد یا قبول می شود. در صورت رد نشدن فرض صفر، یعنی آماره آزمون بین ۱/۹۶+ و ۱/۹۶- قرار داشته و روند موجود در شاخص معنادار نیست و وقوع آن در اثر عوامل تصادفی(عواملی غیر از تغییر اقلیم) بوده است.

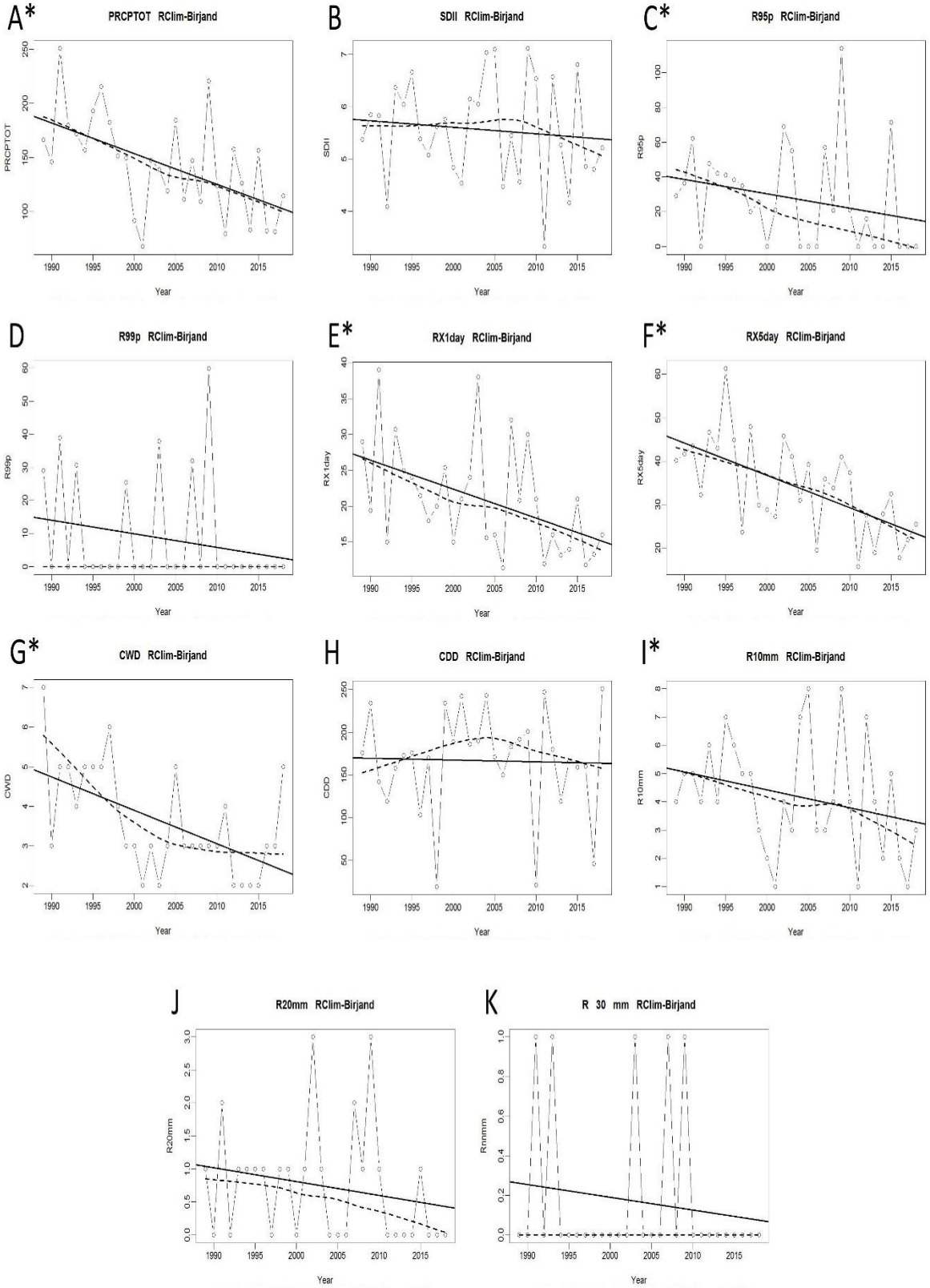
نتایج و بحث

در این مطالعه همگنی و یکنواختی ۶ ایستگاه سینوپتیک فعال استان خراسان جنوبی توسط بسته RHtests-dlyPrcp مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمودارها و مقادیر عددی روند در ۱۱ شاخص حدی بارشی شامل ۶ شاخص شدتی و ۵ شاخص مدتی برای هریک از این ایستگاه ها برای سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۱۸ ترسیم و محاسبه شد که در شکل ۳ و ۴ و ۵ به ترتیب شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه بشرویه، بیرجند و طبس را به عنوان چند نمونه مشاهده می‌کنیم. به کمک شکل ها، روندهای افزایشی یا کاهشی در هر شاخص قابل ملاحظه است اما با انجام آزمون آماری من- کندال بصورت دقیق و علمی مشخص می شود که می‌توان این روند را به عنوان روندی معنادار پذیرفت یا خیر. شرط معناداری روند در سطح خطای ۵ درصد، بزرگتر بودن مقدار آماره آزمون(Z) از ۱,۹۶+ و یا کوچکتر بودن از ۱,۹۶- است. در صورت وجود چنین مقادیر عددی می‌پذیریم که این عامل غیرتصادفی تغییر اقلیم است که موجب افزایش یا کاهش معنادار وقوع هر رخداد طی سال‌های اخیر شده است.

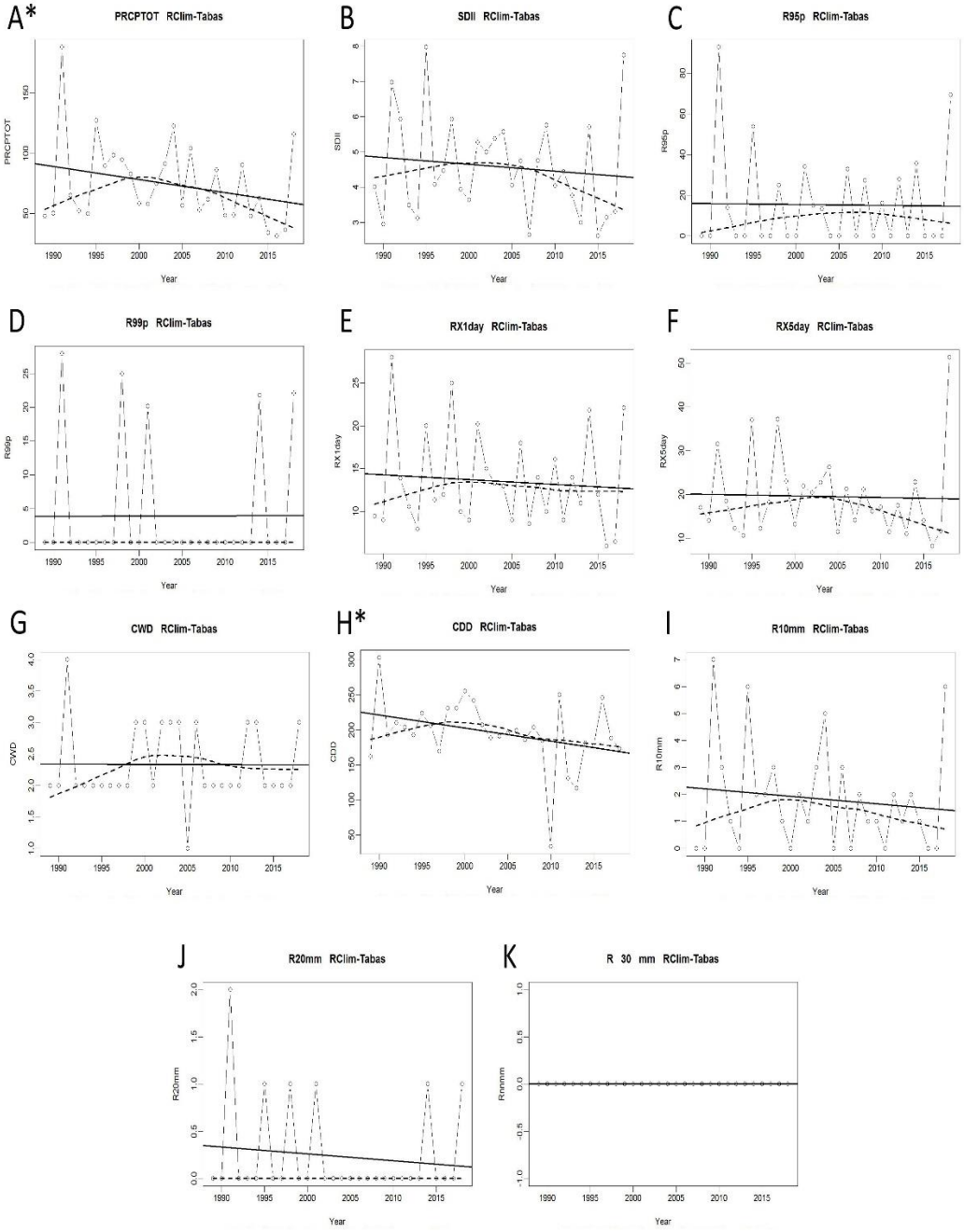


شکل ۳-- روند در شاخص های شدتی و مدتی محاسبه شده برای ایستگاه سینوپتیک بشرویه.

A: مجموع سالانه بارش(ستاره دار بودن نشان از معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است)، **B**: شدت ساده بارش روزانه، **C**: روز خیلی مرطوب، **D**: روز فوق العاده مرطوب، **E**: بیشترین مقدار بارش ۱ روزه، **F**:بیشترین مقدار بارش ۵ روزه، **G**: روزهای تر متوالی، **H**: روزهای خشک متوالی، **I**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۱۰ میلی متر(روند معنادار)، **J**:تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۲۰ میلی متر و **K**: تعداد روزهایی در سال با بارش بیشتر از ۳۰ میلی متر.



شکل ۱- روند در شاخص های حدی بارشی محاسبه شده برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند در مرکز استان (ستاره دار بودن نشان از معناداری روند شاخص در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).



شکل ۲- روند در شاخص های حدی بارشی محاسبه شده برای ایستگاه سینوپتیک طبس (ستاره دار بودن نشان از معناداری روند شاخص در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

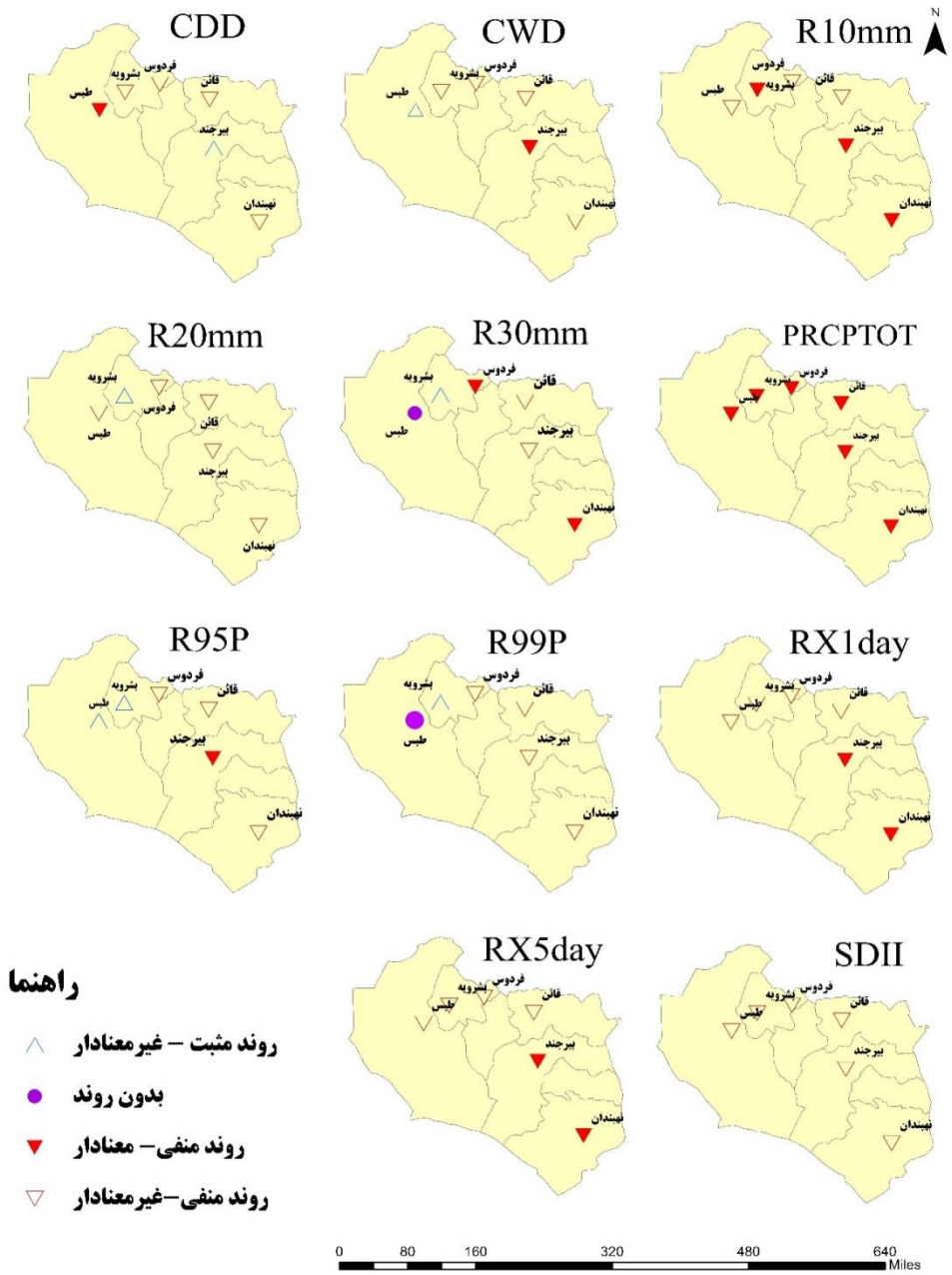
مثلاً در نمودار رخدادهای حدی بارشی مربوط به بشرویه (شکل ۳) مشاهده می شود که در تعداد روزهایی از سال که بارش بیشتر از ۱۰ میلیمتر داشته اند و نیز شاخص مجموع بارش سالانه، کاهش معناداری در اثر تغییر اقلیم به وقوع پیوسته است. در رخدادهای R20mm، R30mm، R95p و R99p روند در شاخص رفتاری افزایشی نشان می دهد که این مقدار کم است و از نظر آماری معنادار نیست و مابقی شاخص ها نیز روند منفی غیرمعناداری در این ایستگاه دارند.

شکل (۴) رفتار روند رخدادهای مرکز استان را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود در بیرجند تمام شاخص ها به غیر از CDD (تعداد روزهای خشک متوالی)، روند کاهشی دارند که مقدار این روند در شاخص های CWD، R10mm، PRCPTOT، R95p، Rx1day و

RX5day شدید و معنادار است و رفتار کاهش روند در این رخدادها به شدت متاثر از تغییر اقلیم است. طبس(شکل ۵) نیز تنوع زیادی در رفتار روند رخدادهای حدی بارشی نشان می دهد. در این ایستگاه رخدادهای R30mm و R99p روندی ندارند و رفتار رخدادهای CWD و R95p مثبت ولی غیرمعنادار است. سایر رخدادها روند کاهشی دارند که این روند کاهشی تنها در PRCPTOT و CDD از لحاظ آماری معنادار است. بنابراین در این ایستگاه نیز کاهش معنادار و شدیدی در مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای خشک متوالی تحت تاثیر تغییر اقلیم وجود دارد. جدول (۳) معناداری در روندهای افزایشی یا کاهشی برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه این تحقیق به همراه آماره عددی من-کندال نشان می دهد. همچنین در شکل شماره ۶ معناداری و نوع روند (افزایشی یا کاهشی) را در سطح کل و برای تمامی شاخص ها در سطح استان و در قالب یک تصویر مشاهده می کنیم.

جدول ۲- آماره های آزمون من-کندال شاخص‌های حدی بارشی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در استان خراسان جنوبی (خانه های زرد رنگ نشان دهنده معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است).

واحد	روز						میلی متر (یا میلیمتر بر روز)											
شاخص	CDD		CWD		R10mm		R20mm		R30mm		PRCPTOT		R95p		R99p		RX1day		RX5day		SDII	
ایستگاه	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value	Z	P value
بیرجند	۰,۳۵۶۵۳	۰,۷۲۱۴	۲,۶۱۲۵-	۰,۰۰۸۹۸۹	۱,۸۰۵۹-	۰,۰۷۰۹۳	۱,۴۶۷۳-	۰,۱۴۲۳	۰,۹۵۲۶-	۰,۳۴۰۸	۳,۰۲-	۰,۰۰۲۵۲۷	۲,۲۶۱۷-	۰,۰۲۳۷۱	۱,۰۶۵۹-	۰,۲۸۶۵	۲,۴۴۱-	۰,۰۱۴۶۵	۳,۲۸۲۷-	۰,۰۰۱۰۲۸	۰,۵۰۷۴۸-	۰,۶۱۱۸
فردوس	۰,۵۲۵۳۲-	۰,۵۹۹۴	۱,۳۹۴۴-	۰,۱۶۳۲	۱,۳۶۷۹-	۰,۱۷۱۳	۰,۹۶۲۷۹-	۰,۳۳۵۷	۱,۷۶۶۵-	۰,۰۷۷۳۲	۲,۶۲۶۶-	۰,۰۰۸۶۲۴	۱,۴۳۰۸-	۰,۱۵۲۵	۰,۸۸۸۷۴-	۰,۳۷۴۱	۱,۲۹۴۸-	۰,۱۹۵۴	۱,۵۵۶۹-	۰,۱۱۹۵	۱,۵۰۲۷-	۰,۱۳۲۹
نهبندان	۰,۰۳۹۵۲۱-	۰,۹۶۸۵	۱,۱۰۲۷-	۰,۲۷۰۲	۲,۲۴۵۸-	۰,۰۲۴۷۱	۱,۵۸۶۲-	۰,۱۱۲۷	۱,۹۹۳۸-	۰,۰۴۶۱۷	۲,۴۳۰۱-	۰,۰۱۵۱	۱,۴۷۳۱-	۰,۱۴۰۷	۰,۷۵۱۵۱-	۰,۴۵۲۳	۱,۷۶۵-	۰,۰۷۷۵۶	۱,۶۶۹۵-	۰,۰۹۵۰۲	۱,۰۲۷۵-	۰,۳۰۴۲
طبس	۲,۵۱۴۹-	۰,۰۱۱۹۱	۰,۸۹۴۷	۰,۱۳۲۴۲	۱,۱۱۷۴-	۰,۲۶۳۸	۰,۴۸۲۵۱-	۰,۶۲۹۴	۰	۱	۲,۰۰۷۱-	۰,۰۴۴۷۴	۰,۹۸۳۵	۰,۹۸۳۵	۰	۱	۰,۴۵۱۱۲-	۰,۶۵۱۹	۰,۹۷۵۵۹-	۰,۳۲۹۳	۰,۹۰۱۶-	۰,۳۶۷۳
بشرویه	۰,۶۹۴۲۹-	۰,۴۸۷۵	۰,۶۹۴۲۹-	۰,۴۸۷۵	۱,۹۹۹۵-	۰,۰۰۴۵۵۶	۰,۲۶۸۰۶	۰,۷۸۸۷	۱,۱۳۵۵	۰,۲۵۶۲	۲,۸۱۴۲-	۰,۰۰۴۸۹	۰,۱۹۳۶۵	۰,۹۸۴۵	۰,۴۷۹۹۹	۰,۶۳۱۲	۰,۰۵۶۵۳-	۰,۹۵۴۹	۰,۳۹۲۰۶-	۰,۶۹۳۵	۱,۳۵۴۵-	۰,۱۷۵۶
قاین	۰,۶۵۲۷۳-	۰,۵۱۳۹	۰,۱۰۴۶۲-	۰,۹۱۶۷	۱,۳۷۲۴-	۰,۱۶۹۹	۰,۹۷۶۳۷-	۰,۳۲۸۹	۰,۶۵۴۷۷-	۰,۵۱۲۶	۲,۳۵۱-	۰,۰۱۸۷۲	۱,۱۲۱۴-	۰,۲۶۲۱	۰,۲۴۹۳-	۰,۸۰۳۱	۰,۲۶۲۸۴-	۰,۷۹۲۷	۰,۴۵۰۲۷-	۰,۶۵۲۵	۰,۲۷۶۹۷-	۰,۷۸۱۸



شکل ۳- رفتار معناداری روند در رخدادهای حدی بارشی در سطح استان خراسان جنوبی در بازه ۱۹۸۹-۲۰۱۸

با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که تقریبا اکثر شاخص‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه روندی کاهشی دارند. شاخص مجموع بارندگی سالانه (PRCPTOT) در کل ایستگاه های استان با روندی کاهشی و معنادار رو به کاهش است و این بدان معناست که کل سطح استان در ۳۰ سال اخیر کاهش معناداری در مجموع بارندگی سالانه تحت تاثیر گرمایش جهانی مشاهده کرده اند. قابل به ذکر است که برخی از پژوهشگرانی که در مورد مسائل آب و هوایی مطالعه می‌کنند، معتقدند که این شاخص را نباید یک شاخص حدی بارشی نامگذاری کنیم چرا که مجموع بارندگی که در یک سال اتفاق می‌افتد نمی‌تواند یک رخداد حدی باشد. اما از آنجا که این شاخص نیز در لیست سازمان جهانی هواشناسی به عنوان یک رخداد حدی معرفی شده، در این مطالعه نیز به عنوان یک رخداد حدی بارشی در نظر

گرفته شده است. مقادیر عددی آماره های آزمون نیز نشان دهنده هر چه شدیدتر بودن روند کاهشی مجموع بارندگی سالانه نسبت به سایر شاخص ها در سطح استان خراسان جنوبی هستند.

پس از آن شاخص‌های R10mm، R30mm، Rx1day و RX5day بیشترین تعداد معناداری نزولی را در بین این ۶ ایستگاه دارا هستند. شاخص های CDD، CWD و R95p فقط در یک ایستگاه روند کاهشی معنادار دارند و رفتار سایر شاخص ها در هیچ کدام از ایستگاه ها معناداری که متاثر از تغییر اقلیم باشد، ندارد. ایستگاه های بیرجند و نهبندان که در نیمه جنوبی استان قرار دارند، بیشترین تعداد و نیز بزرگترین مقدار معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد را شاهد هستند که می توان نتیجه گرفت جنوب این استان از نظر تاثیر تغییر اقلیم بر روند رخدادهای حدی بارشی، بیشتر در معرض مخاطره قرار دارد. فردوس، طبس و بشرویه که مناطق شمالی استان را شامل می شوند علاوه بر مجموع بارش سالیانه، به ترتیب در تعداد روزهایی از سال که بارش بیش از ۳۰ میلی متر داشته اند R30mm، روزهای خشک متوالی CDD و نیز تعداد روزهای دارای بارشی بیش از ۱۰ میلیمتر روندی کاهش و معنادار دارند. رخدادهای حدی در قاین فقط در مجموع بارش سالانه از نوع کاهشی و معنادار است و تغییر اقلیم تاکنون نتوانسته است موجب اعمال اثر بر دیگر رخدادهای حدی بارشی این ایستگاه شود. علی رغم کاهش برای R20mm، SDII و R95p (بجز بشرویه که در۲ تای آن ها روند افزایشی غیر معنادار نشان می دهد)؛ رفتار این شاخص ها در هیچ کدام از ایستگاه ها معنادار و متاثر از تغییر اقلیم نیست. ایستگاه بشرویه بیشترین تعداد روند افزایشی در شاخص ها (البته از لحاظ آماری بی معنا) را داراست. شکل (۶) تصویر کامل و گویایی از وضعیت روند در ایستگاه های خراسان جنوبی را به نمایش می گذارد.

با مشاهده شکل (۶) نیز به راحتی مشخص می شود که در هیچکدام از ایستگاه روند صعودی که از نظر آماری معنادار باشد وجود ندارد. در تعداد اندکی از شاخص ها و در برخی ایستگاه ها روند افزایشی اندکی مشاهده می شود که در هیچ ایستگاهی رفتار آماری معناداری وجود ندارد. در کل سطح استان مجموع بارش سالانه روند کاهشی معنادار و شدیدی تحت تاثیر تغییر اقلیم مشاهده کرده است و در مناطقی چون بیرجند و نهبندان اکثر شاخص ها روند کاهشی شدید و معناداری را شاهد بوده اند. رفتار سایر شاخص ها در تمامی نقاط به راحتی از این شکل قابل مشاهده هستند.

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی موجب ناهماهنگی در توزیع مکانی بارندگی‌ها و تغییر رفتار رخدادهای حدی بارشی ایستگاه‌های خراسان جنوبی در ۳۰ سال اخیر شده است. عمده تغییرات در شاخص ها روند کاهشی را نشان می دهد که این روند کاهشی در برخی از شاخص ها معنادار است. بیشترین کاهش ها در شاخص های RX1day، RX5day (بیرجند و نهبندان)، R30mm (فردوس و نهبندان)، R10mm (بیرجند، نهبندان و بشرویه) و PRCPTOT (برای تمامی ایستگاه‌ها) مشاهده می‌شود. اگر داده های بارش دوره زمانی اخیر ایستگاه‌های بیرجند و نهبندان را به عنوان نماینده جنوب استان در نظر بگیریم، جنوب استان عمدتا با کاهش چشمگیر در روند اکثر شاخص ها مواجه است و بیشتر تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار گرفته است که لزوم بیشتر برنامه ریزی برای استفاده بهینه از منابع آب فعلی را می طلبد. مابقی شاخص ها یا معنادار نبودند(SDII، R99p و R20mm) و یا فقط در یک ایستگاه روند کاهشی معنادار داشتند. بنابراین برای این استان تنها می توان بخشی از تغییرات سوء رفتار رخدادهای حدی را متاثر از تغییر اقلیم دانست. تغییر اقلیمی که فعالیت های صنعتی بشر عامل وقوع آن بوده است. تعداد روزهایی از سال که بارشی بیشتر از ۲۰ میلی متر مشاهده کرده اند، مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیشتر از صدک ۹۹ ام و یا شاخص حدی نشان دهنده ی بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب در هیچ ایستگاهی تغییر معناداری که در اثر تغییر اقلیم بوده باشد، ندارد. نتایج این مطالعه در توافق کامل با مطالعه کوزه گران و همکاران(۱۳۹۴) ونیز عابدینی و همکاران(۱۳۹۸) برای این استان است. با توجه به تاثیر تغییرات اقلیمی رخدادهای حدی بارشی بر منابع آبی، استفاده از نتایج این مطالعه در بخش های مختلف مرتبط با

آن خصوصا مدیریت منابع آب، مدیریت سیلاب، کشاورزی و ... که مستقیما متأثر از این پدیده و تغییرات آن هستند، ضروری می نماید.

منابع

1. Abedini, E., Mousavi Baygi, M., Khashei Siuki, A & Selahvarzi, Y. (2020). Investigating the trend of extreme climatic events in South Khorasan province. Journal of Agricultural Meteorology Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter 2020, pp. 55-66.
2. Asfaw, A., Simane, B., Hassen, A & Bantider, A. (2018).Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia:A case study in Woleka sub-basin. Weather and Climate Extremes, 19: 29-41.
3. Carter, T. R., M. Hulme and M. Lal. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment IPCC Report, Chapter 3, 15-37.
4. Hardy, J.T. (2003). Climate Change: Causes, Effects, and Solutions. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P. DOI:10.1002/joc.1225.
5. Harrison, S., Mighall, T., Stainforth, D.A., Allen, P,. Macklin, M., Anderson, E., Knight, J., Mauquoy, D., Passmore, D., Rea, B., Spagnolo, M & Shannon, S. (2019). Uncertainty in geomorphological responses to climate change. Climatic Change, pp: 1-18, https://doi.org/10.1007/s10584-019-02520-8.
6. Erfanian M., Ansari H., Alizadeh A., Banayan Aval, M. (2015). Assessment of climatic extreme events variations in Khorasan Razavi Province. Iranian journal of irrigation and drainage, Volume 8, Number 4; Page(s) 817- 825.
7. Fatehi, I., Jabbarian Amiri, B., Mohammadzadeh, N. (2016). Downscaling the atmospheric general circulation model's data and its application in simulating the climatic parameters (Case study: Guilan province), Journal natural of environment, Volume 69, Number 1; Page(s) 143- 158.
8. Gholipour, J., Mousavi Baygi, S. M., & Jabbari Nooghabi, M. (2019). The Impact of Climate Change on Extreme Precipitation Events in Khorasan Razavi Province (Case study: 1975-2013). Geography and environmental hazards, 7(3), 104-89. https://doi.org/10.22067/geo.v7i3.67279.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 976.
10. Intergovernmental Panel on Climate Change, (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press, Cambridge, p. 582.
11. Jenkins G, Murphy J, Sexton D, Lowe J, Jones P (2009) UK Climate Projections. Briefing Report. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London.
12. Jiang, Ch. Mu, X. Wang, F. Zhao, G., 2015. Analysis of extreme temperature events in the Qinling Mountains and surrounding area during 1960-2012. Quaternary International xxx. 1-13.
13. Keggenhoff, I. Elizbarashvili, M. Amiri-Farahani, A. King, L. (2014): Trends in daily temperature and precipitation extreme sover Georgia, 1971–2010. Weather and Climate Extremes. 4:75–85.
14. Kouzegaran, S., & Mousavi Baygi, M. (2015). Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. Journal of Water and Soil, 29(3), 750-764. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.40845
15. Lane, M. E. Kirshen, P. H. and Vogel, R. M. (1999). Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag. 125: 194-204. DOI: 10.1.1.711.8987
16. Lowe J, Bernie D, Bett P, Bricheno L, Brown SJ, Calvert D, et al. (2018) UKCP18 Science Overview report, November 2018. Met Office Hadley Centre.
17. Mansouri A, Aminnejad B, Ahmadi H.(2018). Investigating the Effect of Climate Change on Inflow Runoff into the Karun-4 Dam Based on IPCC's Fourth and Fifth Report. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 22 (2) :345-359
18. Modaresi, F., Araghinejad, S., Ebrahimi, K., & Kholghi, M. K. (2010). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin. Journal of Water and Soil, 24(3). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3613
19. Mohammadi, H & Taghavi, F. (2007). Trend in temperature and precipitation extreme events in Tehran, Geographical research Quarterly, 23(1), 151-172.
20. Sun,W. Mu,X. Song,X. Wu,D. Cheng,F. Qiue,B. (2016): Changes in extreme

temperature and precipitation events in the Loess Plateau (China) during 1960–2013 under global warming. Atmospheric Research 168: 33–48.

21. Tabatabayi, S.A & Hosseyni, M. (2003). Investigation of climate change in Semnan city based on monthly precipitation and average monthly temperature parameters. Third Regional Conference on Climate Change, Meteorological Organization of Iran, University of Isfahan, COI: RCCC03_011.
22. Wang, X. L. and Y. Feng, published online August (2013): RHtests_dlyPrcp User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 17 pp
23. Wise RM, Fazey I, Smith MS, Park SE, Eakin HC, Van Garderen EA, Campbell B. (2014). Reconceptualising Adaptation to climate change as part of pathways of change and response. Glob Environ Chang 28:325–336.
24. Varshaviyan, V., Khalili, A., Ghahreman, N & Hejam, S. (2011). Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. Journal of the Earth and Space Physics, Volume:37 Issue: 1, Page: 169
25. Zhu, Y and Toth, Z. (2001): Extreme Weather Events and their Probabilistic Prediction by the NCEP Ensemble Forecast System, Proceedings of the symposium on Precipitation Extremes: Prediction, Impact, and Responses, Albuquerque, USA, 1-38.