



Study of precipitation trends in the eastern half of Iran using ETCCDI indices and the impact of temperature on RX1day

Afroogh, B.¹ | Babaeian, I.²  | Mofidi, A.³ 

1. Department of Geography, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2. Associate Professor of Climatology, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences (RIMAS), Climate Research Institute, Mashhad, Iran.

3 Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Corresponding Author E-mail: i.babaeian@gmail.com

(Received: 18 Mar 2025, Revised: 28 Jul 2025, Accepted: 09 Sep 2025, Published online: 09 Sep 2025)

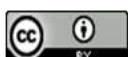
Abstract

Nowadays, extreme climatic events, including extreme precipitation, have increased as a result of climate change. Due to the severe damages and losses they cause, studying these events has become increasingly important. The main objective of this research is to examine the trends and changes in extreme precipitation at 13 synoptic stations located in the eastern part of Iran during the period of 1977-2024 and to assess the impact of temperature on the maximum Rx1day precipitation. For this purpose, daily precipitation and temperature data from selected synoptic stations were obtained from the IR of Iranian Meteorological Organization (IRIMO). Using the RclimDex software, 11 extreme precipitation indices defined by the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) were analyzed. Additionally, the effect of Global Warming in regional scale on the maximum 24-hour precipitation (RX1day) was determined based on the Clausius-Clapeyron equation. The analysis was conducted in two phases: First, the trends and significance of the 11 indices for the entire period were examined. Then, to detect changes during the recent period (2001-2024), each of the indices from this period was compared with the base period (1977-2000). The results showed an overall decreasing trend in all indices except for the Consecutive Dry Days (CDD). Despite the decreasing trends, the average of the extreme indices during the recent normal period increased compared to the base period in all indices except for annual total precipitation (PRCPTOT) and consecutive wet days (CWD). According to the Clausius-Clapeyron equation, for every one degree Celsius increase in temperature, the threshold for extreme precipitation increases by approximately 7%, and in eastern Iran, this increase was estimated at 1.2% for the maximum one-day precipitation (Rx1day). However, considering the heavy rainfall of spring 2024 (not part of the current study period), this increase was estimated at 14.1%. Regardless of the level of significance, most stations showed a decreasing trend in extreme indices, but the absolute maximum value in the recent normal period increased compared to the base normal period. The findings of this research can be utilized for long-term planning in areas such as climate adaptation, water resources management, agriculture, and disaster risk management related to weather and climate.

Keywords: Climate change, extreme events, Clausius-Clapeyron equation, Eastern Iran, RclimDex

Cite this article: Afroogh, B., Babaeian, I. and mofidi, A. (2025). Study of precipitation trends in the eastern half of the Iran using ETCCDI indices and the impact of temperature on RX1day. Journal of the Nivar, 49(130-131), 62-78. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.513157.1329>

E-mail: (1) behnooshafroogh289@gmail.com (1) abbasmofidi@um.ac.ir



مطالعه فرین‌های بارشی نیمه شرقی کشور در دوره ۱۹۷۷-۲۰۲۴ و تاثیر دما بر حداکثر بارش یک روزه

بهنوش افروغ^۱ | ایمان بابائیان^۲ | عباس مفیدی^۳

۱. کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. دانشیار اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد.
۳. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

رایانامه نویسنده مسئول: i.babaeian@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸)

چکیده

امروزه رخدادهای فرین اقلیمی در نتیجه تغییر اقلیم افزایش یافته است که به دلیل خسارات و آسیب‌های جانی و مالی گسترده، مطالعه آن‌ها مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. هدف پژوهش حاضر، بررسی روند فرین‌های بارشی در ۱۳ ایستگاه همدیدی واقع در نیمه شرقی ایران طی دوره آماری ۱۹۷۷-۲۰۲۴ و تأثیر دما بر حداکثر بارش یک‌روزه است. برای این منظور، داده‌های بارش و دمای روزانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شدند. با استفاده از نرم‌افزار RclimDex، ۱۱ شاخص فرین بارشی مشخص شده توسط کارگروه تخصصی آشکارسازی و شاخص‌های تغییر اقلیم (ETCCDI)، مورد بررسی قرار گرفتند و شیب خط روند آن‌ها محاسبه شد. علاوه بر آن، تأثیر افزایش دما بر بیشینه بارش یک روزه طبق معادله کلاسیوس-کلاپیرون مشخص شد. نتایج نشان داد که شیب خط روند حداکثر بارش یک روزه (RX1day) تنها در ایستگاه چابهار معنادار است که مقدار آن از ۷۳ م.م. در دوره پایه (۱۹۷۷-۲۰۰۰) به ۱۰۷ م.م. در دوره اخیر (۲۰۲۴-۲۰۱۲) افزایش یافته است. شیب خط روند حداکثر بارش پنج روزه (RX5day) در هیچ ایستگاهی معنادار نشد. همچنین شیب خط روند نمایه ساده شدت روزانه (SDII) تنها در ایستگاه چابهار معنادار است، ولی در ۶۹ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار این شاخص در دوره اخیر بیش از دوره پایه است. بطور میانگین تعداد روزهای با بارش حداکثر ۱۰، ۲۰، و ۳۰ م.م. (R30mm و R20mm، R10mm) در دوره اخیر نسبت به دوره پایه افزایش یافته است ولی تغییرات شیب خط روند آنها در هیچ ایستگاهی معنادار نشد. کاهش شیب خط روند حداکثر روزهای متوالی خشک (CDD) در ایستگاه طبس معنادار و تغییرات در سایر ایستگاهها معنادار نبودند. با این حال، میانگین تعداد روزهای خشک در دوره اخیر ۲۷۰ روز بوده است که حدود ۴/۵ روز بیشتر از دوره پایه است. شاخص روزهای متوالی تر (CWD) در ۱۰ ایستگاه کاهشی برآورد شد ولی شیب خط روند هیچیک از آنها معنادار نبودند. افزایش شیب خط روند شاخص روزهای خیلی تر (R95p) و فوق‌العاده تر (R99p) تنها در ایستگاه چابهار معنادار تشخیص داده شد و در سایر ایستگاهها تغییرات معنادار نبودند. کاهش شیب خط روند شاخص مجموع سالانه بارش روزهای تر (PRCPTOT) در ایستگاههای بیرجند، کرمان، مشهد، سبزوار، زابل و تربت حیدریه معنادار و تغییرات در سایر ایستگاهها معنادار نبودند. اگرچه مطابق معادله کلاسیوس-کلاپیرون، به ازای هر یک درجه سلسیوس افزایش دما، مقدار آستانه بارش‌های فرین حدود ۷ درصد افزایش می‌یابد اما این شاخص برای شرق کشور در دوره ۱۹۷۷-۲۰۲۴ برای بیشینه بارش‌های یک‌روزه 2/1 (Rx1day) درصد برآورد شد. نتایج نشان داد که اگرچه در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه شیب خط روند شاخص‌های فرین کاهشی است ولی بیشینه مطلق آن‌ها در دوره اخیر افزایش یافته است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در حوزه سازگاری با تغییر اقلیم در بخش‌های منابع آب، کشاورزی و مدیریت مخاطرات جوی و اقلیمی مورداستفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، رخدادهای فرین، معادله کلاسیوس-کلاپیرون، شرق ایران، RclimDex

استناد: افروغ، بهنوش، بابائیان، ایمان و مفیدی، عباس. (۱۴۰۴). مطالعه فرین‌های بارشی نیمه شرقی کشور در دوره ۱۹۷۷-۲۰۲۴ و تاثیر دما بر حداکثر بارش یک روزه. مجله

نیوار، ۴۷(۱۳۱-۱۳۰)، ۷۸-۶۲. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.513157.1329>

رایانامه: (۱) abbasmofidi@um.ac.ir (۱) behnooshafroogh289@gmail.com



۱. مقدمه

مخاطرات طبیعی حوادثی مانند زلزله، فوران آتشفشان، رانش زمین، سیل و خشکسالی که به طور ناگهانی و غیرمنتظره رخ می دهند، طبق آمارها مسئول حدود ۹۰ درصد از مرگ و میرها می باشند، به طور مثال از سال ۱۹۶۷ تا ۱۹۹۶ حدود ۳ میلیون انسان در اثر این مخاطرات جان خود را از دست داده اند که بیشترین سهم مربوط به خاورمیانه است (رضائیان، ۱۳۸۷؛ محبی فر و همکاران، ۱۳۸۷). بانک جهانی^۱ تغییر اقلیم را تغییرات الگوهای آب و هوای کره زمین در طی چندین دهه در مقیاس محلی، منطقه ای و جهانی تعریف می کند. تغییر اقلیم به علت افزایش انتشار گازهای گلخانه ای و تغییر کاربری اراضی ایجاد می شود. بالا آمدن سطح آب دریاها و اقیانوس ها به واسطه آب شدن یخ های قطبی، انبساط حرارتی آب اقیانوس ها و افزایش فرین های اقلیمی از پیامدهای این تغییرات است (CDPC, 2017). فرین ها رویدادهای غیرمنتظره مانند توفان، سیل، خشکسالی و... هستند که از یک آستانه از قبل تعریف شده عبور می کنند (Moreira et al., 2023).

یکی از مهم ترین این فرین های اقلیمی، بارش های سنگین است. برخی از محققین فرین های بارشی را بر اساس یک آستانه مشخص بررسی می کنند که مقدار آن برای هر منطقه و کشور متفاوت است: مثلاً در فرانسه ۲۰ میلی متر، صربستان ۱۳۰ میلی متر، شانگهای در یانگ تسه منطقه غربی ۷۰ میلی متر، مناطق ساحلی ۷۵ و مرکز آن ۸۰ میلی متر و سئول ۷۵ میلی متر در نظر گرفته است (Anđelković et al., 2018; Mizrahi, 2000; Wang et al., 2006; Yin & Zhang, 2015). علاوه بر این، آستانه بارش های فرین بر حسب صدک نیز بیان می شود، مانند صدک ۹۵ یا ۹۹ (Tang et al., 2021). از پیامدهای بارش فرین می توان به سیل، کاهش نرخ اقتصادی و آسیب رسیدن به محصولات کشاورزی اشاره کرد (Gimeno et al., 2022). با آغاز

گرمایش جهانی، حدود ۳۰ درصد آستانه بارش های فرین افزایش یافته و در حال حاضر ۴ برابر گذشته است (World Weather Attribution., 2023). بررسی ۶۰ سال گذشته نشان می دهد که در مناطق خشک بیشترین رویدادهای بارش فرین رخ داده است و انتظار می رود در آینده در این مناطق دو برابر شده و به دنبال آن رخدادهای سیل افزایش یابد (Donat et al., 2016). افزایش دما با افزایش بارش های فرین ارتباط دارد. از دیدگاه ترمودینامیکی، جو گرم تر باعث بارش سنگین تر می شود، زیرا تبخیر بیشتری صورت می گیرد و هوا رطوبت بیشتری در خود نگه می دارد. بر اساس معادله کلاسیوس-کلاپیرون و بطور نظری، به ازای هر یک درجه افزایش دما، ظرفیت هوا برای نگهداشت رطوبت ۷ درصد افزایش می یابد؛ در نتیجه جو گرم تر رطوبت بیشتری دارد و باعث بارش های سنگین تری می شود (Donat et al., 2022; Gimeno et al., 2016)، با این حال ظرفیت نگهداشت تجربی در مناطق مختلف متفاوت است.

در خصوص بارش های فرین در سطح بین المللی پژوهش های زیادی انجام شده است، به عنوان مثال (Brooks & Stensrud, 2000) با بررسی بارش فرین ساعتی در آمریکا بیان داشتند که این رخداد از یک چرخه فصلی برخوردار است که از خلیج مکزیک شروع و در فصل تابستان به ایالت های میانه غربی می رسد. (Trenberth, 2011) تأثیر تغییر اقلیم بر بارش های فرین را بررسی کرد و یافته های او رابطه کلاسیوس-کلاپیرون را تأیید کرد. (Marelle et al., 2020) با بررسی تأثیر افزایش شهرنشینی در چهار کلان شهر دنیا بر بارش فرین نتیجه گرفتند که رشد شهرنشینی باعث افزایش بارش فرین ساعتی در مقایسه با بارش روزانه شده و حتی باعث سنگین ترین رخدادها می شود. (Tang et al., 2021) در پژوهش خود نشان دادند که ۷۰ درصد بارش های

¹ worldbank

همبستگی دارد. بیشترین همبستگی مثبت میان سیل و شاخص PRCPTOT، گردباد و شاخص R20mm مشاهده شد. (Olmo et al., 2024) با بررسی روند دما و بارش فرین در اسپانیا مشخص کردند که رخداد دمای شبانه نسبت به روزانه (در فصل و درصد) تفاوت چشمگیر داشت و بارش‌های فرین در فصل پاییز این منطقه به اوج خود می‌رسد. که نشان‌دهنده تغییر الگوی بارش‌های فرین در اسپانیا است. علاوه بر مطالعات در سطوح بین‌المللی، پژوهش‌هایی در زمینه رخداد‌های بارش فرین در ایران نیز انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعات رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. آن‌ها با بررسی تأثیر گرمایش جهانی دریافتند که در اکثر نقاط ایران مجموع بارش سالانه روند منفی و شاخص نمایه شدت بارش روند مثبت داشت. منتظری (۱۳۸۸) با بررسی توزیع مکانی و زمانی بارش فرین بیان داشتند که یکی از عوامل اصلی ایجاد بارش‌های فرین توده‌هوای غربی است که هم‌زمان با اوج فعالیت این توده‌هوا در چهار ماه دسامبر، ژانویه، مارس و فوریه این رخداد بیشتر می‌شود. همچنین جنوب شرق ایران بیشتر در معرض این رخداد قرار دارد. عساکره (۱۳۹۱) دریافت که بارش فرین در زنجان رو به کاهش است. آن‌ها با بررسی زمانی و مکانی بارش فرین در شمال غرب دریافتند که در ۲۰ درصد منطقه کاهش معنادار و در ۳۰ درصد کاهش قابل توجه بوده و روندی نزدیک به معناداری دارد و فصل بهار و تابستان به ترتیب بیشترین و کمترین زمان وقوع این رویداد است. کوزه‌گران و بایگی (۱۳۹۴) تأیید کردند که در شمال شرق روزهای گرم رو به افزایش و روزهای سرد رو به کاهش است و بارش فرین در همه ایستگاه‌ها روند نزولی دارد. قلی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که در خراسان رضوی شاخص‌های شدت و فراوانی بارش فرین رو به افزایش است و شاخص‌های مدت رو به کاهش است. (Vaghefi et al., 2019) با پیش‌نگری بارش‌های فرین در ایران نشان دادند که دوره‌های خشک و طولانی مدت افزایش می‌یابد، در نتیجه بارش با شدت بیشتر و

فرین این محدوده به خاطر موسمی تابستانه آسیای شرقی و سیکلون‌های استوایی است. (Wang et al., 2022) به بررسی روند بارش‌های فرین در چین پرداختند؛ یافته‌های آن‌ها حاکی از آن است که از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۱ این رخداد ۲ برابر شده و همچنین شدت و فراوانی و آسیب‌های ناشی از آن هم افزایش یافته است. (Zhan & Ren, 2023) با استفاده از داده‌های ۶۰ ایستگاه برای طول دوره آماری ۱۲۰ ساله، روند بارش فرین در چین را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در شمال چین روند این رخداد رو به کاهش ولی در جنوب رو به افزایش است. همچنین الگوی تغییرات بارش فرین در ۵۰ سال اول دوره مطالعاتی نسبت به ۷۰ سال بعد تفاوت چشمگیری داشت. (Rahman et al., 2023) بیان داشتند که روند بارش فرین در جنوب شرق آمریکا رو به افزایش است و ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست اوج وقوع این رخدادها است. (Kalita et al., 2023) با بررسی روند بارش فرین در چراپونچی دریافتند که روند بارش‌های فرین در این منطقه معنادار است و روزهای خشک با بارش کم رو به افزایش و روزهای مرطوب رو به کاهش است. (Lhamo et al., 2023) طی بررسی روند بارش فرین در چهار ایستگاه بوتان دریافتند که در یک ایستگاه بارش کم اما شدیدتر و سنگین‌تر و در سه ایستگاه دیگر بارش ضعیف اما مداوم است و مجموع بارش سالانه در هر چهار ایستگاه افزایش یافته است. (Yanfatriani et al., 2024) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص‌های بارش فرین در شهر پادانگ طی دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ نشان دادند که شاخص‌های R1m، R10mm، R20mm، CWD و PRCPTOT دارای روندی افزایشی هستند. همچنین، مخاطرات طبیعی از جمله سیل، رانش زمین و گردباد، به‌ویژه دور پیوند نوسان مادن-جولیان (MJO) با برخی از این شاخص‌ها ارتباط معنی‌داری دارند؛ به‌طوری‌که سیل و شاخص مادن جولیان با شاخص‌های R1mm، R10mm، R20mm، CWD و PRCPTOT، رانش زمین با R10mm و CWD و گردباد با R1mm و CWD

TRMM کمترین میزان برآورد بارش فرین و PDIR عملکرد ضعیف و غیرقابل قبولی داشتند. در نتیجه بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از پژوهش‌ها در حوزه تغییر اقلیم و رخدادهای بارش فرین عمدتاً بر دیگر مناطق ایران متمرکز بوده‌اند و نیمه شرقی کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، بررسی اثر دما بر حداکثر بارش‌های یک‌روزه، به‌ویژه در این منطقه، تاکنون انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر باهدف پر کردن این خلأ علمی، برای نخستین بار به تحلیل روندهای زمانی بارش‌های حدی، مقایسه ویژگی‌های آن‌ها و ارزیابی ارتباط دما بر حداکثر بارش روزانه در نیمه شرقی ایران می‌پردازد.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

نیمه شرقی ایران شامل شش استان (خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان) با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که کم‌بارشی از ویژگی‌های اصلی این ناحیه به شمار می‌رود. منبع بارش‌های این منطقه عمدتاً توسط جریان‌های هوای غربی در فصل سرد سال و برای جنوب شرق (استان سیستان و بلوچستان) توسط توده‌های موسمی هند در تابستان تأمین می‌شود. در این پژوهش داده‌های ۱۳ ایستگاه همدید این منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول و شکل ۱). داده‌های مورد استفاده شامل مقادیر روزانه بارش برای تمامی شاخص‌ها و دمای میانگین تنها برای محاسبه تأثیر آن بر شاخص حداکثر بارش یک‌روزه (RX1day) در مقیاس روزانه طی دوره آماری مشترک ۱۹۷۷-۲۰۲۴ بوده است.

سنگین‌تر رخ می‌دهند. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) تأیید کردند که به لحاظ زمانی در غرب ایران فراوانی بارش‌ها رو به کاهش است و از نظر مکانی غرب این منطقه، ناحیه بیشینه وقوع این رویداد است. (Halabian & Keikhosravi, 2020) استدلالات کردند که در اکثر مناطق ایران شدت بارش‌های فرین رو به افزایش است و حداکثر بارش یک و پنج‌روزه رو به کاهش است. افروشه و همکاران (۱۴۰۰) دریافتند که بارش‌های فرین در دوره اخیر نسبت به دوره‌های گذشته در غرب افزایش یافته است. قلی پور و همکاران (۱۴۰۰) نتیجه گرفتند که در خراسان جنوبی تغییر اقلیم باعث کاهش مجموع بارش سالانه، تعداد روزهای با حداکثر بارش ۱۰ میلی‌متر، حداکثر بارش یک و پنج‌روزه شده است. بیجندی و همکاران (۱۴۰۰) در پی بررسی توزیع زمانی بارش‌های فرین کشور نتیجه گرفتند که شاخص شدت بارش روند افزایشی معنادار و ماه مارس زمان بیشترین وقوع این رخداد است. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشینه این بارش‌ها در گنبد کاووس و کمینه آن در سبزوار است. زرین و داداشی (۱۴۰۰) بیان داشتند که ایران در آینده با افزایش فراوانی این رخداد روبه‌رو می‌شود. نجفی و اکبری مقدم (۱۴۰۱) داده‌های چهار پایگاه شامل PDIR(PERSIANN-Dynamic ERA5(ECMWF Reanalysis ,Infrared-Rain rate) TRMM(Tropical Rainfall ,version-5) GPM(Global و Measuring Mission) , Precipitation Measurement) برای بارش فرین مقایسه کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند که برای بارش فرین بهترین پایگاه داده CPM و بارش روزانه ERA5 است و پایگاه



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در نیمه شرقی ایران

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (m)
مشهد	۵۹° ۳۸'	۳۶° ۱۶'	۹۹۰
طبس	۵۶° ۹۵'	۳۳° ۶۰'	۷۱۱
تربت‌حیدریه	۵۹° ۱۳'	۳۵° ۱۶'	۱۴۵۱
سبزوار	۵۷° ۴۳'	۳۶° ۱۲'	۹۷۸
بیرجند	۵۹° ۱۲'	۳۲° ۵۲'	۱۴۹۱
ایرانشهر	۶۰° ۴۲'	۲۷° ۱۲'	۵۹۱
چابهار	۶۰° ۳۷'	۲۵° ۱۷'	۸۰
زابل	۶۱° ۲۹'	۳۱° ۱۳'	۴۸۹
زاهدان	۶۰° ۵۳'	۲۹° ۲۸'	۱۳۷۰
کرمان	۵۶° ۵۸'	۳۰° ۱۵'	۱۷۵۴
بم	۵۸° ۲۱'	۲۶° ۹'	۱۰۶۷
یزد	۲۴° ۵۴'	۵۴° ۳۱'	۱۲۳۰
بجنورد	۱۶° ۵۷'	۲۸° ۳۷'	۱۱۱۲

پایه (۱۹۷۷-۲۰۰۰) و دوره اخیر (۲۰۰۱-۲۰۲۴)، مقادیر فرین‌های بارشی برای هر یک از دو دوره مذکور استخراج شدند تا تغییرات احتمالی در فرین‌ها در دوره اخیر (۲۰۲۴-۲۰۰۱) نسبت به دوره پایه مشخص شوند. علاوه بر موارد فوق تأثیر افزایش دمای رخ داده در هر یک از ایستگاه‌ها بر حداکثر بارش یک‌روزه (R_{x1day}) نیز مطالعه شد. ۱۱ شاخص بارشی کارگروه ETCCDI با استفاده از بسته نرم‌افزاری Rclimdex1.3 تحت پلتفرم R استخراج شدند. در این نرم‌افزار فرآیند کنترل کیفی داده‌ها به‌طور خودکار انجام می‌شود. به‌عنوان مثال خلأهای آماری با عدد ۹۹.۹- کدگذاری می‌شود. همچنین در هنگام اجرای نرم‌افزار فوق آستانه‌های اقلیمی بارش و دما توسط نرم‌افزار اخذ می‌شود و در صورتی که داده‌های ثبت‌شده خارج از آستانه اقلیمی

۲-۲. روش پژوهش

در این مطالعه ۱۱ شاخص فرین بارشی تعیین شده از سوی کارگروه ETCCDI برای استان‌های محور شرقی کشور (سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، خراسان جنوبی، خراسان رضوی و خراسان شمالی) محاسبه شدند. در ابتدا داده‌ها مورد کنترل کیفی قرار گرفتند و همگنی آنها با استفاده از نرم‌افزار RHtestsV4 بررسی شدند و ناهمگنی‌های تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار RHtestsV4 از دیدگاه اقلیمی برای تأیید یارد آنها بررسی شد. در این مرحله از یافته‌های سایر محققین نیز برای تحلیل همگنی داده‌ها استفاده شد. سپس شیب خط روند و معناداری آنها در دوره ۴۸ ساله ۲۰۲۴-۱۹۷۷ برای همه ایستگاه‌ها برآورد شد. سپس با تقسیم کل دوره آماری در دسترس به دو نیمه ۲۴ ساله به‌صورت دوره

کره زمین متفاوت است. معادله کلاسیوس-کلاپیرون به صورت زیر است که در آن فشار بخار اشباع، T دمای مطلق بر حسب کلونین، L ، گرمای نهان تبخیر و R ثابت گازها برای بخار آب است (Pall et al., 2007; Held and Soden, 2006).

$$\frac{d \ln e_s}{dT} = \frac{L}{RT^2}$$

در جدول ۲ تعاریف، واحد و روش محاسبه شاخص‌های بارشی مورد استفاده در این پژوهش که قبلاً توسط (Felix et al., 2021; Quan et al., 2021) ارائه شده است، درج شده است.

تعریف شده باشند عدد یاد شده را خطا در نظر گرفته که بایستی توسط کاربر اصلاح شود. در ضمن این نرم‌افزار در روزهایی که دمای حداکثر کمتر از دمای حداقل باشد پیام خطا برای اصلاح می‌دهد. برای تجزیه و تحلیل روند و معناداری آن‌ها از آزمون من-کندال و شیب خط سن استفاده شد. برای بررسی میزان تطابق افزایش حداکثر بارش یک‌روزه با معادله کلاسیوس-کلاپیرون، حداکثر بارش $Rx1day$ دوره اخیر با مقدار آن در دوره نرمال پایه مقایسه شد. طبق معادله کلاسیوس-کلاپیرون هر یک درجه افزایش دما به طور نظری موجب افزایش حدود ۷ درصدی در محتوای رطوبتی جو می‌شود که به صورت افزایش در آستانه بارش‌های سنگین بروز می‌کند؛ باین حال، مقدار تجربی آن در مناطق مختلف

جدول ۲- فهرست شاخص‌های ETCCDI سازمان جهانی هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه

روش محاسبه	تعریف	نوع / واحد	شاخص	طبقه‌بندی
$PRCPTOT = \sum_{j=1}^1 RR_{ij}$	مجموع بارش سالانه در روزهای با بارش حداقل ۱ م.م.	بارش (م.م)	PRCPTOT	شاخص شدت بارش
$SDRR_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$	میانگین بارش روزانه روزهای تر با بارش حداقل ۱ م.م.	شدت بارش (م.م) بر (روز)	SDII	
$RX1day_i = \max(RR_{ij})$	حداکثر بارش یک‌روزه	بارش (م.م)	RX1day	
$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$	حداکثر بارش پنج‌روزه	بارش (م.م)	RX5day	
$RR_{wj} > RR_{wn95}$	مجموع بارش سالانه در روزهایی که بارش آن از صدک ۹۵ بیشتر است.	بارش (م.م)	R95p	
$RR_{wj} > RR_{wn99}$	مجموع بارش سالانه در روزهایی که بارش آن از صدک ۹۹ بیشتر است.	بارش (م.م)	R99p	
$RR_{ij} \geq 10mm$	تعداد روزهای سال با بارش بیشتر و مساوی ۱۰ م.م.	تعداد (روز)	R10mm	شاخص فراوانی بارش
$RR_{ij} \geq 20mm$	تعداد روزهای سال با بارش بیشتر و مساوی ۲۰ م.م.	تعداد (روز)	R20mm	
$RR_{ij} \geq 30mm$	تعداد روزهای سال با بارش بیشتر و مساوی ۳۰ م.م.	تعداد (روز)	R30mm	
$RR_{ij} < 1mm$	حداکثر تعداد روزهای متوالی بی‌بارش یا با بارش کمتر از ۱ م.م.	روز	CDD	شاخص مدت بارش
$RR_{ij} \geq 1mm$	حداکثر تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیش از ۱ م.م.	روز	CWD	

۳. نتایج و بحث

تشخیص داده نشده اند، لذا با توجه به پوشش به نسبت مناسب دوره مطالعاتی فوق با پژوهش حاضر می‌توان سری بارش ۱۳ ایستگاه مطالعاتی پژوهش حاضر را همگن در نظر گرفت. در عین حال، در مطالعه حاضر از نرم‌افزار RHtestsV4 برای بررسی همگنی داده‌ها استفاده شد که بر اساس آن، سری بارش روزانه در ایستگاه‌های ایرانشهر و زابل در سطح اطمینان ۹۵٪ ناهمگن تشخیص داده شد. با توجه به اینکه بارش یک متغیر ناپیوسته است، نقاط شکست ارائه شده توسط نرم‌افزار بایستی مورد بررسی بیشتری قرار گیرند، بر این اساس سری‌های بارش تک‌تک روزها در دو ایستگاه فوق، به ویژه در محدوده زمانی وقوع نقطه شکست، از نظر اقلیمی چک شده و بصورت میدانی بررسی شدند و با توجه به توضیحات ارائه شده در جدول ۳، تغییری در مقادیر روزانه بارش ثبت شده در ایستگاهها داده نشد.

در این بخش نتایج هر یک از شاخص‌های فرین با استفاده از پکیج RclimDex به صورت بررسی خط روند آن‌ها در دوره مشترک ۱۹۷۷-۲۰۲۴ (جدول ۳) آورده شده است. برای تمامی شاخص‌ها نمودار شیب سن ترسیم شد، اما به دلیل تعداد زیاد نمودارها، به عنوان نمونه فقط شاخص SDII ارائه گردید (شکل ۳). نوع روندها در رده بندی متفاوت به صورت نقشه نیز در شکل ۲ ارائه شد. همچنین مقایسه شاخص‌های حدی دوره اخیر (۲۰۲۴-۲۰۰۱) با دوره پایه (۱۹۷۷-۲۰۰۰) برای همه شاخص‌ها مقایسه شد و در پایان تأثیر دما بر حداکثر بارش یک‌روزه ارائه شده است.

بر اساس مطالعه رحم‌دل و همکاران (۱۴۰۰) و Javanshiri and Rahmdel (2024) از بین ۱۳۴ ایستگاه هواشناسی کشور در دو دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۸ و ۲۰۲۰-۱۹۸۱ هیچ یک از سری‌های روزانه بارش ایستگاههای شرق کشور ناهمگن

جدول ۳- مشخصات شکست در سری داده‌های بارش

ایستگاه	تاریخ شکست	توضیح
زابل	۲۰۱۹/۲/۱۸	در این تاریخ در ایستگاه زابل ۰.۳ م.م. و در ایستگاههای مجاور بین صفر تا ۲.۳ بارش رخ داده است.
ایرانشهر	۱۹۹۰/۲/۲۰	در این تاریخ در ایستگاه ایرانشهر ۷ م.م. و در ایستگاههای مجاور بین صفر تا ۲ م.م. رخ داده است.

معنادار است و در سایر ایستگاهها اعم از افزایشی یا کاهش می‌تواند نیستند؛ با این حال بیشینه این شاخص در کل ایستگاههای منطقه در دوره اخیر ۱۰۷ م.م. است که نسبت به دوره پایه ۳۴ م.م. افزایش را نشان می‌دهد. در خصوص این شاخص چند نکته قابل توجه دیده شد، اول اینکه حداکثر شیب خط روند منفی در ایستگاه تربت‌حیدریه و حداکثر

۳-۱. روند شاخص‌های فرین

۱- حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day)

روند حداکثر بارش یک‌روزه در ایستگاه‌های بم، بیرجند، بجنورد، یزد، کرمان، مشهد، طبس، تربت‌حیدریه، سبزوار و زابل کاهش و در ایستگاه‌های چابهار، زاهدان و ایرانشهر افزایشی است، ولی تنها ایستگاه چابهار در سطح ۰.۰۵ درصد

ایستگاه‌ها در دوره اخیر افزایش داشت. در شکل ۳ روند این شاخص برای تمامی ایستگاه‌ها به‌عنوان نمونه آورده شده است.

۴- روزهای با بارش بیش از ۱۰ م.م. (R10mm)
شاخص تعداد روزهای بارش با حداکثر ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه ایرانشهر روند افزایشی و بقیه ایستگاه‌ها روند کاهش نشان داد. ایستگاه مشهد با روند کاهش در سطح ۰.۰۵ معناداری بوده است. با مقایسه تعداد روزهای با بارش ۱۰ م.م. یا بیشتر در دوره اخیر نسبت به دوره پایه مشخص شد که در ایستگاه چابهار شاخص R10mm از ۴ به ۱۰ روز در دوره اخیر افزایش یافته است و در بقیه ایستگاه‌ها تغییرات محسوسی نداشتند.

۵- روزهای با بارش بیش از ۲۰ م.م. (R20mm)
شاخص تعداد روزهای با بارش ۲۰ میلی‌متر یا بیشتر، از در ایستگاه‌های چابهار ایرانشهر و زاهدان روند افزایشی و بجز در حالت ایستا داشت و بقیه ایستگاه‌ها روند کاهش مشاهده شد. در ایستگاه‌های بیرجند، تربت‌حیدریه و کرمان روند کاهش و در ایستگاه زاهدان روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنادار بودند. مقایسه مقدار بیشینه این شاخص در دوره اخیر نسبت به پایه افزایش حدود نیم روز در دوره اخیر را نشان داد، بطوریکه در ایستگاه چابهار از ۱۱ به ۱۵ روز افزایش داشت.

۶- روزهای با بارش بیش از ۳۰ م.م. (R30mm)
شاخص تعداد روزهای با بارش حداکثر ۳۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های کرمان و تربت‌حیدریه کاهش و در ایستگاه چابهار افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها حالت ایستا را نشان داد. در سطح ۰/۰۵، روندها در هیچ ایستگاهی معنادار نبودند. با بررسی مقادیر در دوره اخیر نسبت به دوره پایه افزایش ۵۰ درصدی شاخص فوق در استان‌های شرقی کشور مشاهده شد.

۷- حداکثر روزهای متوالی خشک (CDD)
برای این شاخص در ایستگاه‌های چابهار، کرمان، سبزواری، تربت‌حیدریه، زابل و زاهدان روند افزایشی و در بقیه

شیب مثبت در ایستگاه چابهار مشاهده شد. نکته دوم اینکه، با مقایسه مقدار این شاخص در دو دوره اخیر (۲۰۲۴-۲۰۰۱) با مقدار آن در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۷)، مشخص شد که شاخص فوق‌الذکر در ۱۰ ایستگاه کاهش و در ۳ ایستگاه افزایش یافته است که افزایش‌ها همگی در استان سیستان و بلوچستان و در مجاورت پهنه‌های آبی جنوب قرار دارند. مطالعات نشان می‌دهد که گرمایش جهانی موجب افزایش بارش‌های حدی در شمال اقیانوس هند و کشورهای حاشیه دریای عمان خواهد شد (Babaeian, and IPCC, 2024). در شکل ۴ مقدار تغییرات این شاخص در دو دوره به‌عنوان نمونه آورده شده است.

۲- حداکثر بارش پنج‌روزه (Rx5day)
روند حداکثر بارش پنج‌روزه در ایستگاه‌های بیرجند، بم، کرمان، مشهد، سبزواری، تربت‌حیدریه، یزد، طبس، زابل و کاهش و در ایستگاه‌های ایرانشهر، زاهدان، بجنورد و چابهار افزایشی مشاهده شد که روندها در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های فوق در سطح ۰.۰۵ معنادار نبود (جدول ۳). این شاخص تأثیر توده‌هواهای باران‌زا و ناپایداری آن‌ها طی چند روز را نشان می‌دهد و کاهش روند این شاخص در بارش‌های فرین به‌شدت از تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۶). افزایش این شاخص نشان‌دهنده طولانی شدن طول دوره ناپایداری‌های چندروزه است. با مقایسه این شاخص در دو دوره اخیر با مقدار آن در دوره پایه مشخص شد که در ۶۱/۵ درصد از ایستگاه‌ها این شاخص طی دوره اخیر نسبت به پایه افزایش داشته است. در شکل ۵ مقدار تغییرات این شاخص در دو دوره به‌عنوان نمونه آورده شده است.

۳- نمایه ساده شدت روزانه (SDII)
این شاخص در ایستگاه‌های کرمان، بیرجند، چابهار، زاهدان، بم، بجنورد، مشهد و ایرانشهر روند افزایشی، در طبس، تربت‌حیدریه، سبزواری، زابل و یزد روند کاهش که از بین ایستگاه‌های فوق روند افزایشی معناداری در سطح ۰/۰۵ در چابهار مشاهده شد. به‌طور کلی این شاخص در ۶۹ درصد از

داد. در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، بیرجند و کرمان روند کاهشی و در چابهار روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنادار بودند. هرچند که نمودارها روند کاهشی را در اکثر ایستگاه‌ها نشان دادند ولی با مقایسه مقادیر این شاخص در دوره اخیر در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مشخص شد که مقدار این شاخص از ۲۰۰ به ۲۷۰ م.م افزایش یافته است.

۱۰- روزهای فوق‌العاده تر (R99p)

شاخص روزهای فوق‌العاده تر گویای روند افزایشی در ایستگاه‌های زاهدان، چابهار و ایرانشهر و روند کاهشی در بقیه ایستگاه‌ها است. در ایستگاه بیرجند روند کاهشی و در چابهار روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. باین حال، بررسی مقدار شاخص فوق در دوره اخیر نسبت به دوره پایه بیانگر بیشینه جدید ۱۵۰ م.م. در دوره اخیر در منطقه (ایستگاه چابهار) است. در حالیکه در دوره پایه بیشینه منطقه ۷۵ م.م. بوده است.

۱۱- مجموع سالانه بارش روزهای تر (PRCPTOT)

PRCPTOT عبارت است از مجموع بارش سالانه در روزهای با بارش برابر یا بیشتر از ۱ میلی‌متر که اختلاف چندانی با بارش سالانه ندارد. بررسی این شاخص گویای روند افزایشی در ایستگاه چابهار و کاهشی در بقیه ایستگاه‌ها بود که در ایستگاه‌های بیرجند و کرمان، مشهد، سبزوار، زابل و تربت‌حیدریه روندهای کاهشی در سطح ۰/۰۵ معنادار بودند.

ایستگاه‌ها روند کاهشی بودند. در ایستگاه طبس روند کاهشی در سطح ۰/۰۵ معنادار تشخیص داده شد. با مقایسه مقادیر این شاخص، مشخص شد که میانگین تعداد روزهای خشک در دوره اخیر ۲۷۰ و در دوره پایه ۲۶۶ روز بوده است که نشان‌دهنده افزایش حدود ۴/۵ روز (معادل ۱/۶۷ درصد) در دوره اخیر است. شاخص تعداد روزهای خشک متوالی یک شاخص قابل‌اعتماد از احتمال کمبود آب برای سیستم‌های کشاورزی است (Mekonnen et al., 2024).

۸- روزهای متوالی تر (CWD)

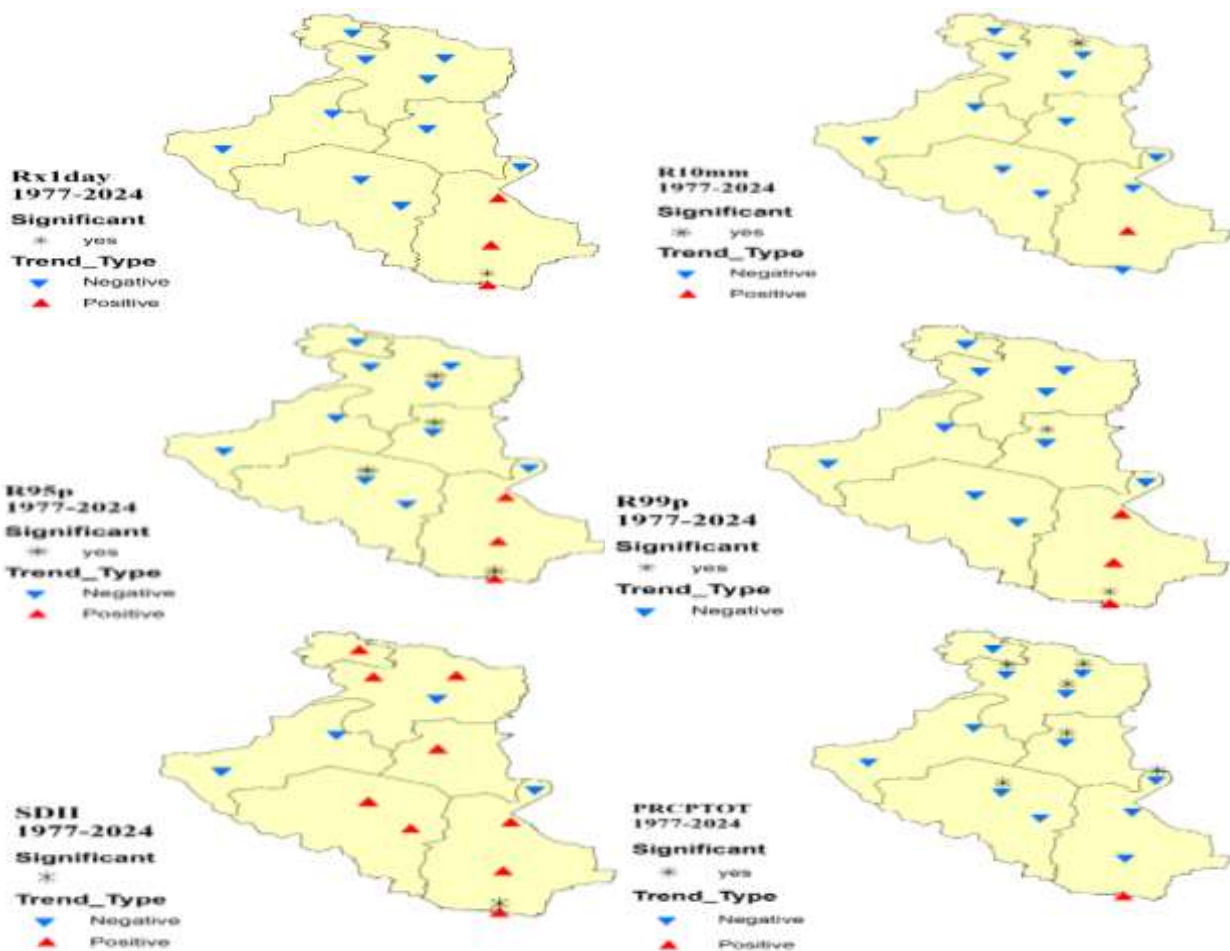
شاخص روزهای متوالی تر به وقوع بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر اشاره دارد. در صورت روند افزایشی این شاخص و کاهشی CDD نشان‌دهنده افزایش روزهای مرطوب است و بیان می‌کند که بارش روزهای متوالی در چه ایستگاه‌هایی افزایش یافته است (Wubaye et al., 2023). روند این شاخص در ده ایستگاه از کل ۱۳ ایستگاه کاهشی، در طبس ایستا و در دو ایستگاه بجنورد و ایرانشهر افزایشی بوده است. روندها در هیچ ایستگاهی در سطح ۰/۰۵ معنادار نبودند. با بررسی و مقایسه تعداد روزهای تر، مشخص شد که مقدار آن در دوره اخیر ۵/۷ روز است که حدود ۷/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

۹- روزهای خیلی تر (R95p)

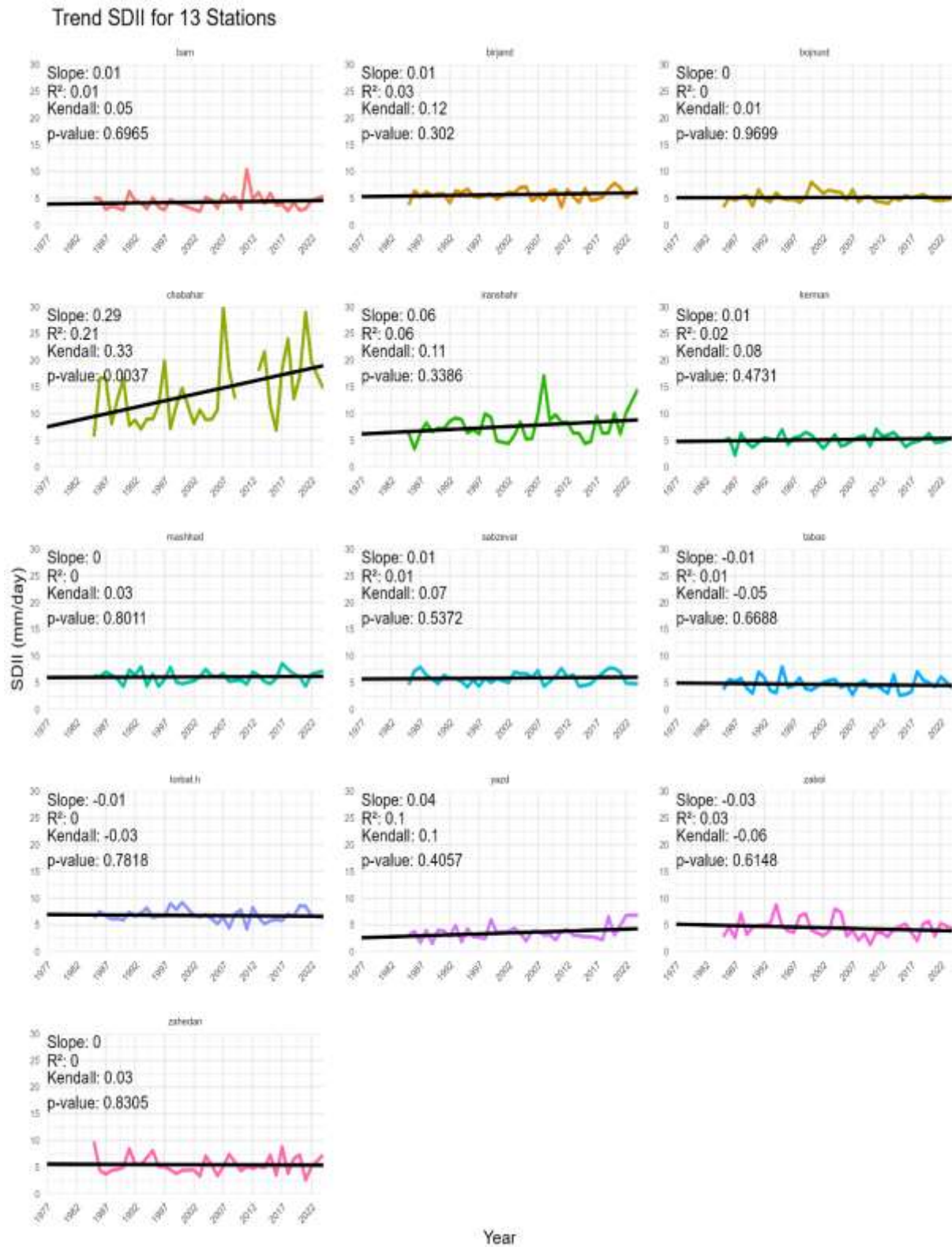
شاخص روزهای خیلی تر در ایستگاه‌های زاهدان، ایرانشهر و چابهار روند افزایشی و در بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی را نشان

جدول ۴- شیب سن شاخص‌های فرین بر حسب میزان آن بر دهه. روندهای در سطح معناداری ۰/۰۵ به روش من- کندال با * مشخص شده‌اند.

شاخص / ایستگاه	CDD (days/decade)	CWD (days/decade)	Prcptot (mm/decade)	R10mm (days/decade)	R20mm (days/decade)	R30mm (days/decade)	R95p (mm/decade)	R99p (mm/decade)	Rx1day (mm/decade)	Rx5day (mm/decade)	SDII (mm/day/decade)
بیم	-0.021	-0.002	-0.376	-0.014	-0.006	0	-0.159	-0.023	-0.058	-0.06	0.004
بیرجند	-0.044	*-0.018	*-1.588	-0.014	*-0.019	0	*-0.57	*-0.381	-0.159	-0.211	0.007
بجنورد	-0.113	0.001	-1.425	-0.045	0	0	-0.184	-0.246	-0.063	0.02	0.004
جابه‌ار	0.154	-0.021	0.259	-0.024	0.021	0.01	*1.171	*0.923	*0.776	0.651	*0.267
ایرانشهر	-0.842	0.001	-0.397	0.001	0.007	0	0.168	0.208	0.102	0.222	0.047
کرمان	0.293	-0.016	*-1.22	-0.015	*-0.019	-0.01	*-0.726	-0.226	-0.159	-0.244	0.002
مشهد	-0.095	-0.005	*-1.678	*-0.087	-0.013	0	-0.214	-0.154	-0.064	-0.213	0.004
سبزوار	0.029	-0.009	*-1.227	-0.034	-0.008	0	-0.274	-0.157	-0.131	-0.204	0.007
طیس	*-1.738	0	-0.825	-0.029	-0.01	0	-0.181	-0.088	-0.066	-0.013	-0.009
تربت حیدریه	0.019	-0.022	*-2.003	-0.051	*-0.032	-0.02	*-0.932	-0.44	-0.19	-0.239	-0.001
یزد	-0.279	-0.004	-0.517	-0.016	-0.002	0	-0.172	-0.139	-0.087	-0.049	-0.002
زابل	0.08	-0.009	*-0.616	-0.016	-0.011	0	-0.274	-0.202	-0.111	-0.234	-0.022
زاهدان	0.88	-0.009	-0.134	-0.011	*0.011	0	0.277	0.216	0.1	0.125	0.031



شکل ۲- روند خطی شاخص‌های فرین بارشی طی دوره ۱۹۷۷-۲۰۲۴. مثلث‌ها رو به بالا و پایین به ترتیب بیانگر روند افزایشی و کاهش‌ی علامت ستاره معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد ایستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- سری زمانی و شیب سن شاخص SDII برای ۱۳ ایستگاه سینوپتیک نیمه شرقی ایران طی دوره ۱۹۷۷-۲۰۲۴.

- changes across Iran. *Natural Environmental Hazards*, 9(23), 135–150.
7. (FA)Rahmdel, M., Sanaei-Nejad, H., Javanshiri, Z., & Mohammadian, A. (2021). Exploratory analysis and homogeneity assessment of temperature and precipitation time series in Iran (1989–2018). *Earth and Space Physics*, 47(2), 387–402.
 8. (FA)Zarrin, A., & Dadashi Rudbari, A. (2021). Analytical note: Impact of climate change on heavy rainfall in Iran using CMIP6 models. *Water and Sustainable Development*, 8(4), 119–124.
 9. (FA)Najafi, M., & Akbari Moghadam Sanai, S. (2022). Evaluating the efficiency of three datasets in estimating extreme precipitation time series in Iran. *Climate Change Research*, 3(11), 79–98.
 10. (FA)Gholipour, J., Mousavi Baygi, M., Babaeian, A., & Jabbari Noqabi, M. (2021). Trend analysis of extreme precipitation events in South Khorasan under global warming (1989–2018). *Climate Studies Research*, 46, 29–42.
 11. (FA)Gholipour, J., Mousavi Baygi, M., & Jabbari Noqabi, M. (2018). The impact of climate change on extreme rainfall trends in selected stations of Razavi Khorasan Province (1975–2013). *Geography and Environmental Hazards*, 7(27), 89–104.
 12. (FA)Kozehgaran, S., & Mousavi Baygi, M. (2015). Trend analysis of extreme climatic events in northeastern Iran. *Water and Soil (Agricultural Sciences)*, 29(3), 750–764.
 13. (FA)Mohammadi, H., Azizi, Q., Khosh Akhlagh, F., & Ranjbar, F. (2017). Trend analysis of daily extreme precipitation indices in Iran. *Natural Geography Research*, 49(1), 21–37.
 14. (FA)Montazeri, M. (2009). Spatiotemporal analysis of daily extreme precipitation in Iran. *Geography and Environmental Planning*, 2(20), 12–140.
 15. (EN)CDCP (Centers for Disease Control and Prevention). (2017). Extreme Rainfall and Drought. https://www.cdc.gov/climateandhealth/pubs/precip-final_508.pdf
 16. (EN)Center for Climate and Energy Solutions. (2018). C2ES. <https://www.c2es.org/content/extreme-precipitation-and-climate-change>
 17. (EN)Babaeian, I., Rezazadeh, P. (2018). On the relationship between Indian monsoon

مطالعه‌ای انجام نشده است، در نتیجه پژوهشی جهت مقایسه وجود نداشت. در عین حال، نتایج با یافته‌های پژوهش‌های انجام شده در سطح بین‌المللی هماهنگی نسبی دارد. با توجه به اینکه احتمالاً ضریب کلاسیوس-کلاپیرون برای اولین در کشور محاسبه می‌شود، پیشنهاد می‌شود این مطالعه بر روی کل کشور و همچنین با توجه به پیچیدگی رفتار بارش، با لحاظ بارش ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی کشور و در رخدادهای حداکثر بارش‌های با مدت زمان‌های کمتر (۱ و ۶ ساعته) انجام شود.

۵-سپاسگزاری:

از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده روزانه بارش و دمای ایستگاه‌های شرق کشور سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. (FA)MohibiFar, R., Tabibi, J., & Asafzadeh, S. (2008). Designing a disaster management structural model for Iran. *Health Management*, 11(33), 47–56.
2. (FA)Rezaeian, M. (2008). Poverty and natural disasters (Editorial). *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 7(3), 145–146.
3. (FA)Asakereh, H., Tarkarani, F., & Soltani, S. (2012). Spatiotemporal characteristics of extreme daily precipitation in northwestern Iran. *Iranian Water Resources Research*, 8(3), 39–53.
4. (FA)Asgari, A., Rahimzadeh, F., Mohammadian, N., & Fattahi, E. (2007). Trend analysis of extreme precipitation indices in Iran. *Iranian Water Resources Research*, 3(3), 42–55.
5. (FA)Beijandi, M., Daryabari, J., Ranjbar Saadatabadi, A., & Arbabi Sabzevari, A. (2021). Analysis of extreme precipitation events in northeastern Iran during 2001–2020. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 4(4), 284–300.
6. (FA)Hejazizadeh, Z., Halabian, A., Karbalaei Darei, A., & Towlabi Nejad, M. (2020). Investigation of extreme precipitation

- Atmos Phys 136, 16 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00703-024-01013-3>
- 28.(EN)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 .
 - 29.(EN)Lhamo, T., Chen, G., Dorji, S., Tamang, T. B., Wang, X., & Zhang, P. (2023). Trends in Extreme Precipitation Indices over Bhutan. *Atmosphere*, 14(7), 1154 .
 - 30.(EN)Marelle, L., Myhre, G., Steensen, B. M., Hodnebrog, Ø., Alterskjær, K., & Sillmann, J. (2020). Urbanization in megacities increases the frequency of extreme precipitation events far more than their intensity. *Environmental Research Letters*, 15(12), 124072 .
 - 31.(EN)Mekonnen, E. F., Assefa, M. A., & Ayele, A. G. (2024). Trends of Extreme Temperature and Rainfall Indices for Addis Ababa City, Ethiopia. *GSJ*, 12 (A)
 - 32.(EN)Mizrahi, F. (2000). Heavy daily precipitation distribution in east-central France and west European meteorological patterns. *Theoretical and Applied Climatology*, 66, 199-210 .
 - 33.(EN)Moreira, C. V. M., Costa, M. R. A. d., & Becker, V. (2023). Impacts of extreme precipitation events in water quality: a scientometric analysis in global scale. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 35, e17 .
 - 34.(EN)O’Gorman, P. A., & Schneider, T. (2010). The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. *Journal of climate*, 21(15), 3815-3832 .
 - 35.(EN)Olmo, M. E., Campos, D. A., Cos, P., Doblas-Reyes, F., Soret, A., & Margarida, S. (2024). Observed long-term changes in extreme temperature and precipitation indices in Spain (1951-2020). *Authorea Preprints* .
 - 36.(EN)Pall, P., Allen, M., & Stone, D. A. (2007). Testing the Clausius–Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO₂ warming. *Climate Dynamics*, 28, 351-36 .
 - 37.(EN)Papalexiou, S. M., & Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55(6), 4901-4914 .
 - 38.(EN)Quan, N. T., Khoi, D. N., Hoan, N. X., Phung, N. K., & Dang, T. D. (2021). Spatiotemporal trend analysis of precipitation withdrawal and Iran’s fall precipitation onset: *Theor Appl Climatol* 134, 95–105. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2260-0>
 - 18.(EN)Anđelković, G., Jovanović, S., Manojlović, S., Samardžić, I., Živković, L., Šabić, D., Gatarić, D., & Džinović, M. (2018). Extreme precipitation events in Serbia: defining the threshold criteria for emergency preparedness. *Atmosphere*, 9(5), 188 .
 - 19.(EN)Brooks, H. E., & Stensrud, D. J. (2000). Climatology of heavy rain events in the United States from hourly precipitation observations. *Monthly Weather Review*, 128(4), 1194-1201 .
 - 20.(EN)Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O’Gorman, P. A., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508-513 .
 - 21.(EN)Drobinski, P., Alonzo, B., Bastin, S., Silva, N. D., & Muller, C. (2016). Scaling of precipitation extremes with temperature in the French Mediterranean region: What explains the hook shape? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(7), 3100-3119 .
 - 22.(EN)Endo, N., Matsumoto, J., & Lwin, T. (2009). Trends in precipitation extremes over Southeast Asia. *Sola*, 5, 168-171 .
 - 23.(EN)Felix, M. L., Kim, Y.-k., Choi, M., Kim, J.-C., Do, X. K., Nguyen, T. H., & Jung, K. (2021). Detailed trend analysis of extreme climate indices in the Upper Geum River Basin. *Water*, 13(22), 3171 .
 - 24.(EN)Gimeno, L., Sorí, R., Vazquez, M., Stojanovic, M., Algarra, I., Eiras-Barca, J., Gimeno-Sotelo, L., & Nieto, R. (2022). Extreme precipitation events. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(6), e1611 .
 - 25.(EN)Halabian, A. H., & Keikhosravi Kiany, M. S. (2020). Evaluation of Variations in Extreme Precipitation Indices in Iran. *Spatial Planning*, 10 (4), ۲۴-۴۵ .
 - 26.(EN)Hardwick Jones, R., Westra, S., & Sharma, A. (2010). Observed relationships between extreme sub-daily precipitation, surface temperature, and relative humidity. *Geophysical Research Letters*, 37 (۲۲)
 - 27.(EN)Javanshiri, Z., Rahmdel, M. Climatological standard normals of IRAN, for the period 1981–2010 and 1991–2020: precipitation and temperature. *Meteorol*

- X. (2022). Spatiotemporal evolution patterns of contiguous extreme precipitation events across China from a 3D perspective. *Geophysical Research Letters*, 49(16), e2022GL098840 .
- 48.(EN)Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W. (2013). Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of climate*, 26(11), 3904-3918 .
- 49.(EN)Wubaye, G.B., Gashaw, T., Worqlul, A. W., Dile, Y. T., Taye, M. T., Hailelassie, A., Zaitchik, B., Birhan, D. A., Adgo, E., & Mohammed, J. A. (2023). Trends in rainfall and temperature extremes in Ethiopia: Station and agro-ecological zone levels of analysis. *Atmosphere*, 14(3), 483 .
- 50.(EN)Yanfatriani, E., Ramadhan, R., & Marzuki, M. (2024). Trends and correlations of extreme rainfall and hydrometeorological disasters in Padang from 2008 to 2020. *AIP Conference Proceedings* ,
- 51.(EN)Yao, J., Chen, Y., Chen, J., Zhao, Y., Tuoliewubieke, D., Li, J., Yang, L., & Mao, W. (2021). Intensification of extreme precipitation in arid Central Asia. *Journal of Hydrology*, 598, 125760 .
- 52.(EN)Yin, J., & Zhang, Q. (2015). A comparison of statistical methods for benchmarking the threshold of daily precipitation extremes in the Shanghai metropolitan area during 1981–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 601-607 .
- 53.(EN)Zhan, Y., & Ren, G. (2023). Change in mean and extreme precipitation in eastern China since 1901. *Climate research*, 91, 1-19 .
- extremes in Ho Chi Minh City, Vietnam during 1980–2017. *International Journal of Disaster Risk Science*, 12, 131-146 .
- 39.(EN)Rahman, M. S., Senkbeil, J. C., & Keellings, D. J. (2023). Spatial and temporal variability of extreme precipitation events in the Southeastern United States. *Atmosphere*, 14(8), 1301 .
- 40.(EN)Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3), 329-343 .
- 41.(EN)Held, I. M., Soden, B. J. (2006) Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J Climate* 19, 5686–5699.
- 42.(EN)Tang, Y., Huang, A., Wu, P., Huang, D., Xue, D., & Wu, Y. (2021). Drivers of summer extreme precipitation events over East China. *Geophysical Research Letters*, 48(11), e2021GL093670 .
- 43.(EN)Tian, Y., Yan, Z., & Li, Z. (2021). Spatial and Temporal Variations of Extreme Precipitation in Central Asia during 1982–2020. *Atmosphere*, 13(1), 60 .
- 44.(EN)Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate research*, 47(1-2), (123-138 .
- 45.(EN)Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific reports*, 9(1), 1464 .
- 46.(EN)Wang, B., Ding, Q., & Jhun, J. G. (2006). Trends in Seoul (1778–2004) summer precipitation. *Geophysical Research Letters*, 33 .(۱۵)
- 47.(EN)Wang, X., Luo, M., Wu, S., Ning, G., Liu, Z., Wang, S., Wang, P., Zhang, H., & Li,