جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۲، دوره۶، شماره۱، صص۴۰۰-۳۷۹

آشکارسازی تغییرات اقلیم با استفاده از شاخصهای حدی بارش

(مطالعه موردی: شهرستان نجف آباد، استان اصفهان)

اسماعیل اسدی[۱]، عباس نصیران[۲]، حجت الله خدری غریب وند*[۳]، صالح کهیانی[٤]،

۱. دانشیار، عضو هیات علمی گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه شهرکرد

۲. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد علوم ومهندسی مرتع، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار، عضو هیات علمی گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه شهرکرد hkhedrig@gmail.com

٤. استادیار، عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

چکیده

رویدادهای اقلیم و آب و هوایی حدی در سالهای اخیر به دلیل تلفات جانی انسانی و افزایش تصاعدی هزینه های مرتبط با آنها، مورد توجه قرار گرفته اند. این رویدادها، تأثیرات عمیقی بر اقتصاد و معیشت بسیاری از مردم و مناطق جهان می‌گذارند. تشخیص این رویدادها از نظر شدت، مدت و فراوانی به منظور چارچوب بندی راهبردهای کاهش و سازگاری مقابله با اثرات ناشی از تغییر اقلیم بسیار حیاتی و ضروری است. هدف این تحقیق تحلیل روند تغییرات شاخص های حدی بارش جهت آشکارسازی وقوع تغییر اقلیم در شهرستان نجف آباد با استفاده از آمار ۲۰ ساله روزانه ایستگاه سینوپتیک نجف آباد از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ می باشد. بدین منظور برای بررسی روند تغییرات از شاخص‌های حدی بارش از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص‌های حدی بارش الگوهای متفاوتی از شدت، مدت و فراوانی بارش ارائه می‌دهند. شاخص‌های PRCPTOT، CDD، CWD، R10mm، R20mm، R95p، Rx5day و SDII روند کاهشی و شاخص‌های Rnn mm، R99p و Rx1day روند افزایشی دارند. ولی به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش، الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و کاملی قابل تشخیص نیست. بطور کلی، نتایج نشان داد بارش‌ها از روند منظمی تبعیت نمی کنند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌توانند در راستای مدیریت صحیح و مقابله با شرایط احتمالی، راهکارهایی مرتبط با رخدادهای حدی ارائه دهند. ضمن اینکه، ترکیب داده های هواشناسی طولانی مدت با ادراک جوامع محلی آسیب پذیر و متاثر از تغییر اقلیم، می‌تواند به عنوان الگویی برای مدیران در راستای تصمیم گیری خردمندانه و برنامه ریزی مناسب تر مدنظرقرارگیرد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص حدی، بارش، آشکارسازی، نجف آباد

DOI: 10.22034/GAHR.2023.379092.1787 شاپا الکترونیکی:645-3851

مقدمه

دوره های طولانی مدت سالانه یا فصلی مغیرهای اقلیمی همچون دماو بارندگی معمولا به عنوان شاخصی برای تغییرات اقلیمی کاربرد دارند (حسینی ۱۴۰۰). به عنوان یک تعریف، تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده شده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (تبرزرد ۱۳۹۷). به عبارت دیگر، تغییر اقلیم را می توان به عنوان تغییر در میانگین شرایط آب و هوایی یا تغییر در توزیع رویدادهای آب و هوایی نسبت به شرایط متوسط تعریف کرد. تغییر اقلیم به تغییراتی در شرایط اقلیمی اطلاق می‌شود که می‌توان آن را (مثلاً با استفاده از آزمونهای آماری) شناسایی کرد، با تغییر در میانگین یا تغییر در ویژگی‌های آن‌ها، که برای مدت زیادی (معمولاً چند دهه یا بیشتر) به طول می انجامد (پوترا و همکاران[1] ۲۰۱۹). تغییراقلیم یک مساله جهانی است که اخیرا مورد توجه سیاستمداران، برنامه‌ریزان، دست اندارکاران و بهره‌برداران منابع طبیعی قرارگرفته است. تغییر اقلیم بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط زیست همچون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری و حمل و نقل، بهداشت و سلامت موثر است (احمدی و همکاران ۱۳۹٤). پدیده تغییر اقلیمی جهانی تهدیدی جدی برای سلامت انسان، زیست‌بوم‌ها و خدمات مختلف مرتبط با آن‌ها و نظام‌های انسانی محسوب می‌شود (لیل فیلو و همکاران[2] ۲۰۲۲). افزایش دما، تغییر الگوهای بارش، افزایش سطح آب دریاها و افزایش سیل و خشک‌سالی از علائم تغییر اقلیم به رسمیت شناخته شده اند. علاوه براین، پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان تغییر می‌کنند که باید نحوه‌ی تغییرات آن‌ها براساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری احراز شوند.

تحقیقات تغییراقلیمی معمولاً بر میانگین‌های بلندمدت ماهانه یا فصلی، مانند دمای جهانی و مجموعه داده های بارش متمرکز است. این پایگاه داده، داده ها را با وضوح کافی ارائه نمی دهند و تبیین نمی کنند چگونه رویدادهای حدی تحت تأثیر تغییرپذیری اقلیمی قرار می‌گیرند (براون و همکاران[3] ۲۰۱۰). مقادیر آستانه‌ی حدی اقلیمی حداکثر و حداقل با توجه به فراوانی، شدت و دوره بازگشت اهمیت بسیار بیشتری نسبت به مقادیر متوسط اقلیمی دارند (هرمزی و همکاران، ۱۳۹۸).اخیرا تغییرات و روند در رویدادهای حدی اقلیمی مورد توجه تحقیقات علمی

[1] . Putra et al.
[2] . Leal Filho et al.
[3]. Brown et al.

و برنامه ریزی و سیاستگذاریهای کلان، قرار گرفته اند (استرلینگ و همکاران[1] ۲۰۰۰). رقومی سازی اخیرداده های متنی و تصاویر و در دسترس بودن سوابق روزانه با وضوح زیاد مطالعات را قادر ساخته است تا برتغییرات حدی اقلیمی متمرکز شوند (براون و همکاران ۲۰۱۰). بطوریکه، توجه به اثرات تغییرات اقلیم جهانی به طور تدریجی از ارزیابی الگوهای میانگین (اقلیمی) به ارزیابی روندهای حال و آینده رویدادهای حدی اقلیمی همچون گرم ترین روز سال، امواج گرما/سرما، رویدادهای بارندگی شدید یا بسیار سنگین، دوره های خشک یا مرطوب متوالی سوق پیدا کرده است (الیوا–دیاز و همکاران[3]، ۲۰۲۰).

اخیراً آب و هوای غیرعادی ناشی از تغییرات اقلیمی و درنتیجه وقوع مکرر آب و هوای حدی به عنوان یک موضوع مهم زیست محیطی تلقی و تبدیل شده است که در بحث سیاست‌های زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته است (کیم وهمکاران[4] ۲۰۱۰). بطورکلی، یک رویداد حدی اقلیمی به عنوان یک پدیده اقلیمی تعریف می شود که در ۳۰ سال گذشته مشاهده نشده است و ممکن است به دلیل تغییرات اقلیم و تغییرپذیری اقلیمی رخ داده باشد (کیم وهمکاران ۲۰۱۰). کمیته بین‌الدول تغییرات اقلیم[5] (IPCC)، الگویی از آب و هوای حدی که برای مدتی مانند یک فصل ادامه دارد و ممکن است منجر به اختلال در امنیت غذا و آب، بدتر شدن کیفیت هوا، افزایش بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین (ناقلزاد)، تشدید بیماری‌های مزمن، آسیب های زیست محیطی، خسارات جانی ومالی، استرس‌های سلامت روانی و خطرات آسیب کارگران شود، رویدادهای حدی اقلیمی و آب و هوایی تعریف کرده است (حسینی ۱۴۰۰؛ لیل فیلو و همکاران ۲۰۲۲).

تأثیر تغییراقلیم هنگامی که با رویدادهای حدی همراه باشد به‌ویژه جایی که جمعیت‌های آسیب‌پذیر یا دارایی‌های با ارزش بالا در معرض خطر هستند، به‌طورمحسوسی بیشتر است (براون وهمکاران ۲۰۱۰). رویدادهای حدی اقلیمی، تأثیرات عمیقی بر اقتصاد و معیشت بسیاری از مردم و مناطق جهان دارند (ماریگی و همکاران[6] ۲۰۱۶). بدون شک جامعه انسانی در برابر تغییر اقلیم حدی آسیب پذیراست؛ جمعیت و زیرساخت‌ها، در مناطقی که در معرض خطرات حدی همچون سیل، خسارت طوفان و گرما یا سرمای شدید هستند آسیب پذیرترند. علاوه براین،

[1] . Easterling et al.
[2] . Easterling et al.
[3] . Avila-Diaz et al.
[4] . Kim et al.
[5] . Intergovernmental Panel on Climate Change
[6] . Marigi et al.

تغییرات بهره برداری از چشم‌اندازها و زیرساخت‌های اجتماعی ازجمله ایجاد پتانسیل بیشتر برای اثرات فاجعه‌بار ناشی از تغییرات اقلیمی، همچون سیل و افزایش آلودگی ناشی از این رویدادها، اغلب آسیب‌پذیری را افزایش دهند (استرلینگ و همکاران[1] ۲۰۰۰). افزایش فزاینده خسارات و زیان های اقتصادی، همراه با افزایش مرگ و میر ناشی از این رخدادها، توجه را براین احتمال معطوف کرده است که فراوانی این رویدادها در حال افزایش است. یکی از مشکلات عمده در بررسی ثبت اقلیم برای تغییرات در مقادیرحدی فقدان داده‌های با کیفیت بالا و بلند مدت بوده است (استرلینگ و همکاران۲۰۰۰). با این وجود، اخیرا برخی از کشورها با توسعه تکنولوژیهای مرتبط به آن دست یافته اند. دراین راستا، گروه کاری آشکارسازی تغییراقلیم، سازمان هواشناسی جهانی و کمیته اقلیم شناسی و برنامه تحقیقاتی تغییرپذیری اقلیم و قابلیت پیش بینی شاخص های حدی اقلیمی را معرفی کرده و به کاربرده اند(حسینی ۱۴۰۰).

نمایه‌های حدی اقلیمی نه‌تنها نقش مهمی در تجزیه‌وتحلیل وقایع اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارند بلکه به مدل‌سازی اقلیمی تصمیم‌گیران در ارزیابی اثرات بخش‌های متنوع نیز کمک می‌کنند (میستری[2]، ۲۰۱۹). به منظور سازگاری و مقابله با تغییرات بارش و علل آن و بررسی اثرگذاری این تغییرات بر ابعاد محیطی شناسایی و آشکارسازی آن می تواند به دست‌اندرکاران و برنامه‌ریزان کمک کند تا در شرایط خاص بر مشکلات مدیریتی غلبه کنند (نساجی زواره و قرمز چشمه، ۱۳۹۸). آشکارسازی یک تغییر، به‌عنوان فرایندی تعریف می‌شود که در آن اقلیم یا یک سیستم تحت تأثیر اقلیم، به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که از لحاظ آماری به هر ترتیبی معنادار شود و برای آن تغییر دلیلی ارائه نگردد (هگرل و همکاران، ۲۰۱۰)؛ از آنجایی که رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهند تجزیه‌وتحلیل دماها و بارش‌های حدی ضروری است. مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که تغییر اندکی در دما یا بارش به‌عنوان پارامترهای مهم اقلیمی در یک منطقه به‌طور محسوسی سبب رخداد پدیده‌های حدی نظیر سیل، تگرگ، امواج گرمایی، طوفان‌های حاره‌ای و خشک‌سالی می‌شود. افزایش درجه حرارت از یک‌سو و کاهش احتمالی بارش از سوی دیگر، باعث به وجود آمدن شرایط پیچیده اقلیمی در هر منطقه می‌شود (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰).

1. Easterling et al.
2. Mistry et al.

بارش یکی از مؤلفه‌های حیاتی تغییر اقلیم است که مطالعات متعددی تغییرپذیری آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. بارش یکی از فاکتورهای بسیار مهم و مؤثر در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، دامداری و آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نظیر ایران محسوب می‌شود. تغییر طولانی مدت در بارندگی حدی براساس طیف وسیعی از شاخص ها و روش های تشخیص موضوع بررسی های گسترده ای بوده است. تغییرات بلندمدت شاخص‌های حدی بارندگی در مطالعات متعدد و ارزیابی‌های مختلف کمیته بین‌الدول تغییرات اقلیم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (سان و همکاران[1] ۲۰۲۱). در ادامه به برخی مطالعات که به آشکارسازی تغییرات اقلیم با استفاده از شاخصهای حدی بارش پرداخته اند اشاره می شود. در این میان، رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹٤) در پژوهشی به واکاوی رفتار بارش‌های حدی در ارتباط با عوامل موثر بر بارش در غرب و شمال غرب پرداختند. نتایج نشان دادند تنها در ایستگاه سنندج روند نمایه‌های حدی بارش افزایشی بوده است. گرچه برخی از نمایه‌ها در ایستگاه‌هایی محدود دارای روندی افزایش بودند.

کوهشاهی و همکاران (۱۳۹۷) شاخص‌های حدی بارش را به عنوان نشانه تغییر اقلیم در استان مازندران بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص‌های خشکی CDD در ۷۰ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی و در شاخص‌های رطوبت و بارش متوالی در نیمی از ایستگاه‌های روند کاهشی داشتند. نتایج حاصل از دوره ۲۱ ساله بیانگر آن بود که تقریباً ایستگاه‌هایی که در غرب استان قرار دارند دارای شیب افزایشی و ایستگاه‌های شرقی‌تر دارای شیب کاهشی در شاخص R10 بودند. محمدیاریان و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود به ناحیه‌بندی رژیم بارش‌های حدی ایران در دوره ۲۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد ۸ رژیم بارشی در ایران وجود دارد که رژیم‌های آذربایجانی و آذربایجان شمالی در نیمه نخست سال و سایر رژیم‌ها در نیمه دوم سال دارای بالاترین میزان بارش‌های حدی هستند. خزائی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی مناطق خشک ایران را بررسی نمودند. نتایج نشان داد در اغلب ایستگاه‌ها و تحت سناریوهای مختلف شدت بارش‌های حدی روزانه در آینده افزایش خواهد یافت؛ در حالی که بارش سالانه در آینده کاهش می‌یابد.

پیش از این، تحقیقات متعددی براساس میانگین آب و هوا در مناطق مختلف انجام شده است. علاوه براین، برخی از مناطق افزایش در رویدادهای حدی واضح بوده است، در حالی که در برخی دیگر به نظر می‌رسد روند کاهشی وجود داشته است. براین اساس افزایش توانایی برای پایش و تشخیص تغییرات و روندهای چند دهه ای، شروعی

[1] . Sun et al.

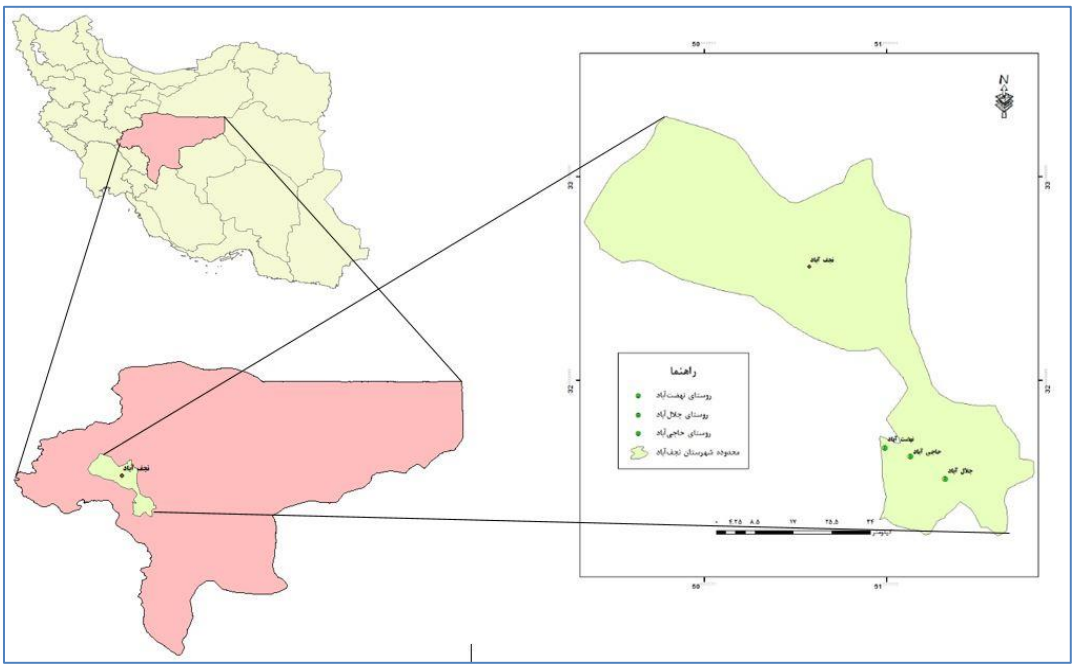
برای شناسایی هرگونه تغییر قابل مشاهده و درک منشاء آنها ضروری است (استرلینگ وهمکاران ۲۰۰۰). در این مطالعه، باتوجه به اهمیت تشخیص، آشکارسازی و مقابله و مواجهه با تغییراقلیم در مناطق مختلف، شاخص‌های حدی اقلیمی پیشنهادشده کمیته بین دول تغییرات اقلیم و تیم کارشناس تشخیص و شاخص‌های تغییراقلیم (ETCCDI)[1]برای بررسی تحلیل روند تغییرات شاخص های حدی اقلیمی (بارش) جهت آشکارسازی وقوع تغییر اقلیم در شهرستان نجف آباد از استان اصفهان استفاده شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

نجف‌آباد از ارتفاعات دالان‌کوه با ارتفاعی بالغ بر ۳۴۵۰ متر واقع در جنوب غربی و یا ۲۵/۱ کیلومتری جنوب شرقی دامنه شروع می‌شود و در جهت شرقی به طول ۸۱ کیلومتر تا حدود ۵/۲۱ کیلومتری غرب شهر اصفهان ادامه دارد. مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی با مساحت ۸۶۲/۷۷۹ کیلومترمربع است که در غرب استان واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۱۶۵۵ متر است که ۸۲ متر از سطح اصفهان بالاتر و حدود ۶۳۵ متر از سطح کوهستانی فریدن پایین‌تر است. از نظر توپوگرافی دشت وسیعی است که توسط رشته کوه‌های داخلی زاگرس متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی محدود شده است. از شمال به زیر حوضه علویجه و دهق، از جنوب زیرحوضه لنجانات، از شرق به فلاورجان، اصفهان و خمینی‌شهر و از غرب به زیرحوضه فریدن و داران محدود می‌شود (شکل ۱).

[1] . The Expert Team on Climate Change Detection and Indices



شکل ۱- محدوده منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت شهرستان نجف آباد در استان اصفهان و کشور

روش شناسی مطالعه

اساس و مبنای تراز و تعدیل آماری، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی است. مبنای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی طول دوره آماری است؛ یعنی ایستگاه‌هایی که دارای دوره آماری طولانی‌تری می‌باشند به‌عنوان ایستگاه موردمطالعه انتخاب می‌شوند. در این راستا، ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل کیفیت بالای داده‌های آن انتخاب می شوند که علاوه بر کیفیت، تنوع عناصر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک بیشتر است. به‌منظور انجام این پژوهش، ابتدا اطلاعات آب‌وهوایی ایستگاه‌های هواشناسی هم‌جوار استخراج گردید. در این مطالعه، از میان آمار و اطلاعات هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک شهرستان نجف‌آباد با ارتفاع از سطح دریا ۱۶۳۶ متر، در طی بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ داده های روزانه بارش از طریق سایت سازمان هواشناسی استخراج گردید و مورد بررسی قرار گرفتند تا روند کلی تغییرات اقلیمی (شاخص های حدی بارش) تحلیل گردد.

در تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری داده‌های حدی اقلیمی روش ناپارامتری از کاربرد وسیع‌تر و چشم‌گیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند. در این مطالعه از روش من– کندال به‌عنوان یک آزمون ناپارامتری در بررسی

داده‌ها استفاده شد. آزمون من – کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت(مزیدی و طوفانی ۱۴۰۰). این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش میتوان به مناسب بوده کاربردآن برای سری های زمانی فاقد هخوانی باتوزیع آماری خاصی اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (مزیدی و طوفانی ۱۴۰۰). این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. در این روش ابتدا آماره و به دنبال آن واریانس آماره استخراج می‌گردد، درصورتی‌که آماره مثبت باشد، سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می شود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در این مطالعه، پس از جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی موردنظر، کلیه داده‌ها در یک پایگاه اطلاعاتی در نرم‌افزار MAKESENs ثبت و روند دما و بارش در ماه‌های مشابه (مثلاً آوریل) استخراج می‌گردد. چنانچه سری زمانی دما، سیر صعودی و سری زمانی بارش، سیر نزولی داشته باشد، معنادار بودن روندها را مشخص می‌نماید. جهت اطمینان از صحت داده‌ها از آزمون همگنی داده‌ها استفاده می‌شود. تخمین قابل‌اعتماد رویدادهای حدی این امکان را فراهم می‌سازد که در زمان وقوع آن‌ها، مدیریت علمی آن‌ها امکان‌پذیر گردد و درنتیجه از شدت مشکلات کاسته شود (دالایی و همکاران، ۱۳۹۵).

آزمون دیگری که برای بررسی روند سری داده ها استفاده شد رگرسیون خطی تک مغیره است که کمیت های هواشناسی به عنوان متغیر مستقل و سال به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شود. ضریب متغیر مستقل احتمال معنی داری (P-Value) و سطح معنی داری متناظر با آن و ضریب تعیین (R-squered) بوسیله نرم افزارهای آماری بدست می آید. دراین روش نیز مقادیر معنی داری و سطح معنی داری متناظر برای شرط صفر عدم وجود روند در مقابل شرط یک وجود روند درنظر گرفته شده اند. نمایه های بارش در این مطالعه ۱۱ مورد بودند که کلیه تجزیه وتحلیلها با استفاده از نرم افزار RClimdex و MAKESENs و رسم نمودارها در محیط Excel 2019 انجام‌شده است.

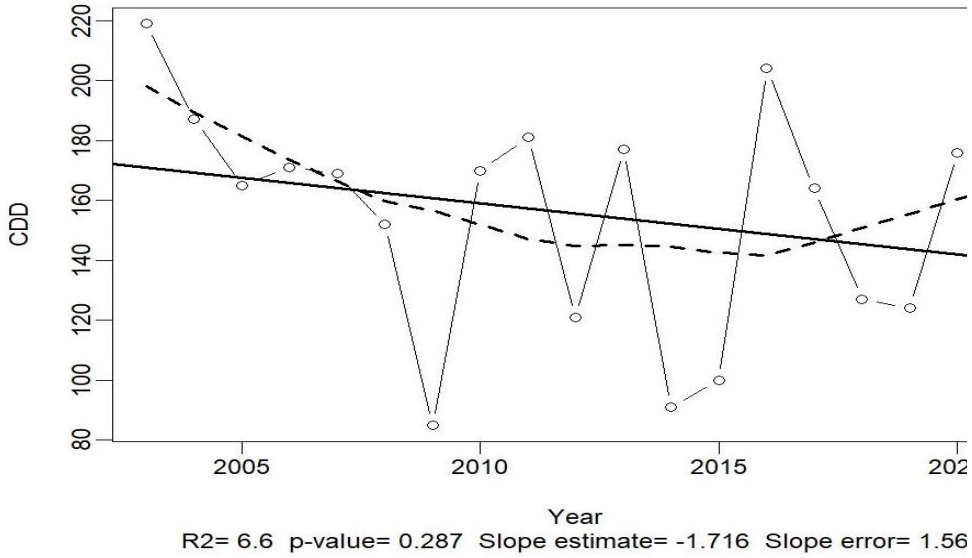
نتایج

شاخص‌های حدی بارش طراحی شده، الگوهای متفاوتی از شدت، مدت و فراوانی بارش ارائه می‌دهند. نتایج مربوط به شاخص‌های حدی بارش موردبررسی در تحقیق حاضر در جدول ۱ و شکل‌های ۲ تا ۱۲ ارایه شده است. شاخص‌های روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی متر باشد (CDD) و روزهای تر، بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر مساوی ۱ میلی متر باشد (CWD)، روند کاهشی داشته که هماهنگ با کاهش بارش در منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد، هیچ کدام از روند معناداری تبعیت نمی‌کنند. شاخص PRCPTOT مقدار سالانه بارش در روزهای تر می‌باشد. مقدار این شاخص دارای نوسان است و از سالی به سال دیگر متفاوت می‌باشد. در ایستگاه موردمطالعه این شاخص روند منفی داشت و میزان کاهش بارش در منطقه محسوس است ولی روند کاهشی برای این شاخص در سطح ۵ درصد معنادار نیست. در بررسی شاخص‌های بارش در منطقه موردمطالعه، بطور کلی روند کاهشی و منفی بارش مشاهده می‌شود. در بررسی شاخص حداکثر بارش ۱ روزه، (Rx1day) روند افزایشی ولی در سطح ۵ درصد معنادار نیست. حداکثر بارش ۵ روزه، میزان بارش ماهانه ۵ روز متوالی (Rx5day) در منطقه موردمطالعه، روند کاهشی داشت ولی این روند نیز در سطح ۵ درصد معنادار نشد. روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی متر (R10mm)، از روند معنادار منفی در سطح ۵ درصد پیروی می‌کند، فراوانی این شاخص در ایستگاه مورد بررسی پایین بوده و روند آن منفی و کاهشی می‌باشد.

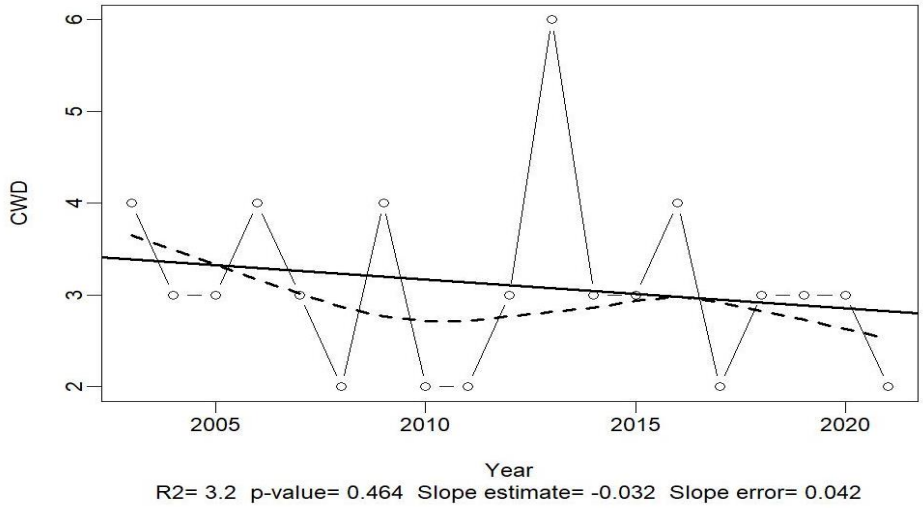
شاخص ساده شدت روزانه، شاخص بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب در سال (SDII)، روند کاهشی داشت و دارای روند کاهشی معنادار در سطح ۵ درصد می باشد. در بررسی شاخص روزهای خیلی تر، هنگامی که بارندگی کل سالانه بیشتر از صدک ۹۵ ام باشد (R95p)، روند کاهشی غیر معناداری مشاهده شد. شاخص روزهای بیش از اندازه تر، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک ۹۹ ام باشد (R99p) و شاخص‌های تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی متر (R20mm) و مساوی یا بیشتر از ۲۵ میلی متر (R25mm)، فراوانی شاخص‌ها در ایستگاه موردمطالعه پایین می‌باشد و در اغلب سال‌ها صفر بود. مقایسه پربارانترین و کم بارانترین سال‌ها نشان می‌دهد که دامنه نوسانات بارش از سالی به سال دیگر بسیار زیاد می‌باشد. در مجموع به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش، الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و کاملی قابل تشخیص نیست.

جدول۱- مقادیر شیب و P-Value برای شاخص‌های حدی بارش ، محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲.

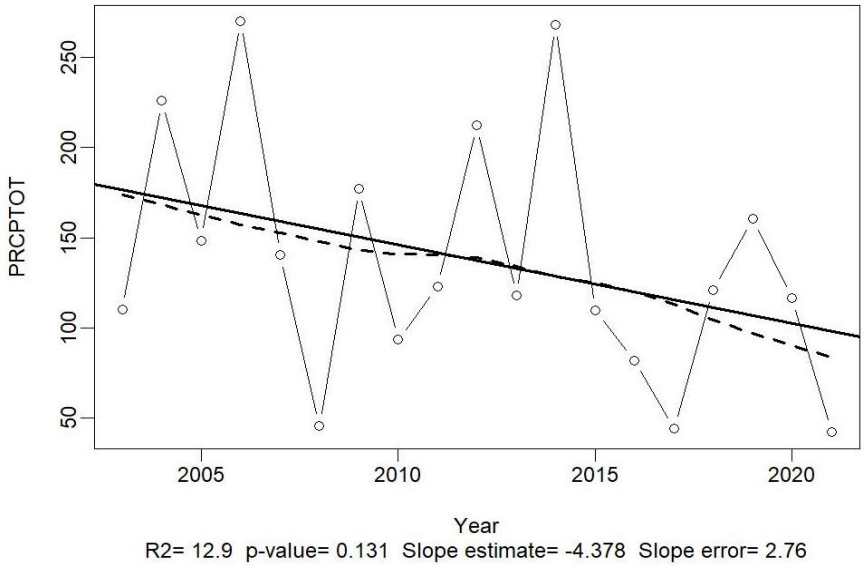
شاخص	Slope	P-Value
CDD	-۱/۱۷۶	۰/۲۸۷
CWD	-۰/۰۳۲	۰/۴۶۴
PRCPTOT	-۴/۳۷۸	۰/۱۳۱
R10mm	-۰/۲۲۵	۰/۰۱۲
R20mm	-۰/۰۴۰	۰/۴۴۲
Rnn mm	۰/۰۰۴	۰/۴۲۶
R95p	-۱/۰۹۲	۰/۵۶۴
R99p	۰/۵۲۵	۰/۶۷۵
Rx1day	۰/۰۶۰	۰/۹۳۱
Rx5day	-۰/۷۶۸	۰/۳۲۰
SDII	-۰/۱۱۶	۰/۰۸۰



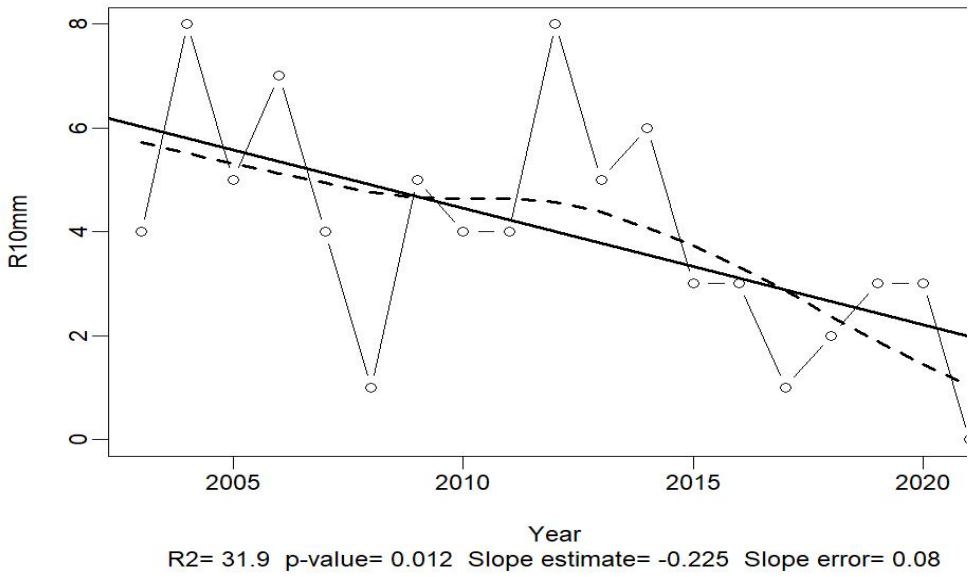
شکل ۲- نمودار شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه



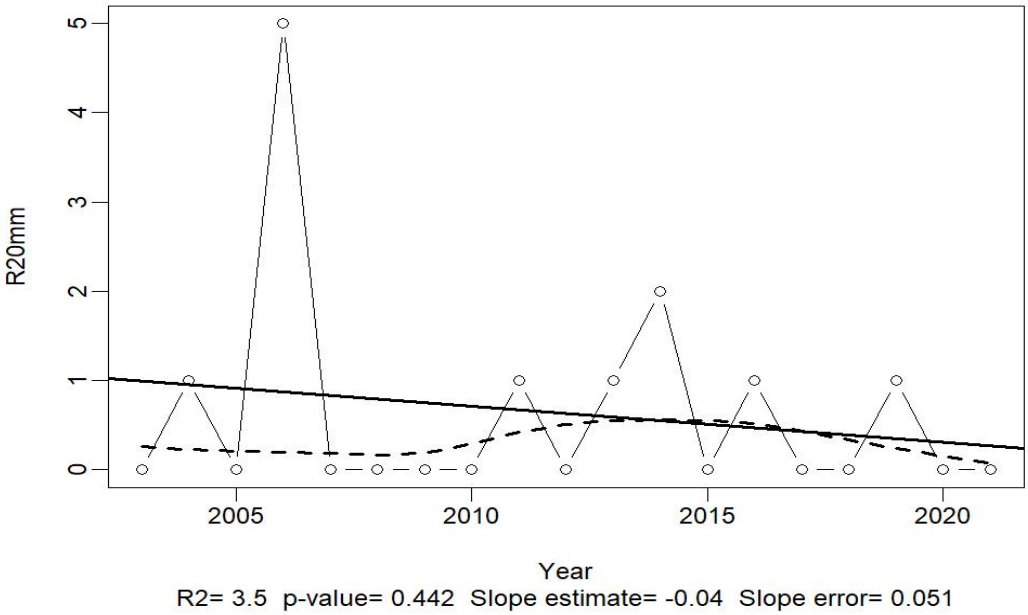
شکل ۳- نمودار شاخص روزهای تر متوالی (CWD) محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه



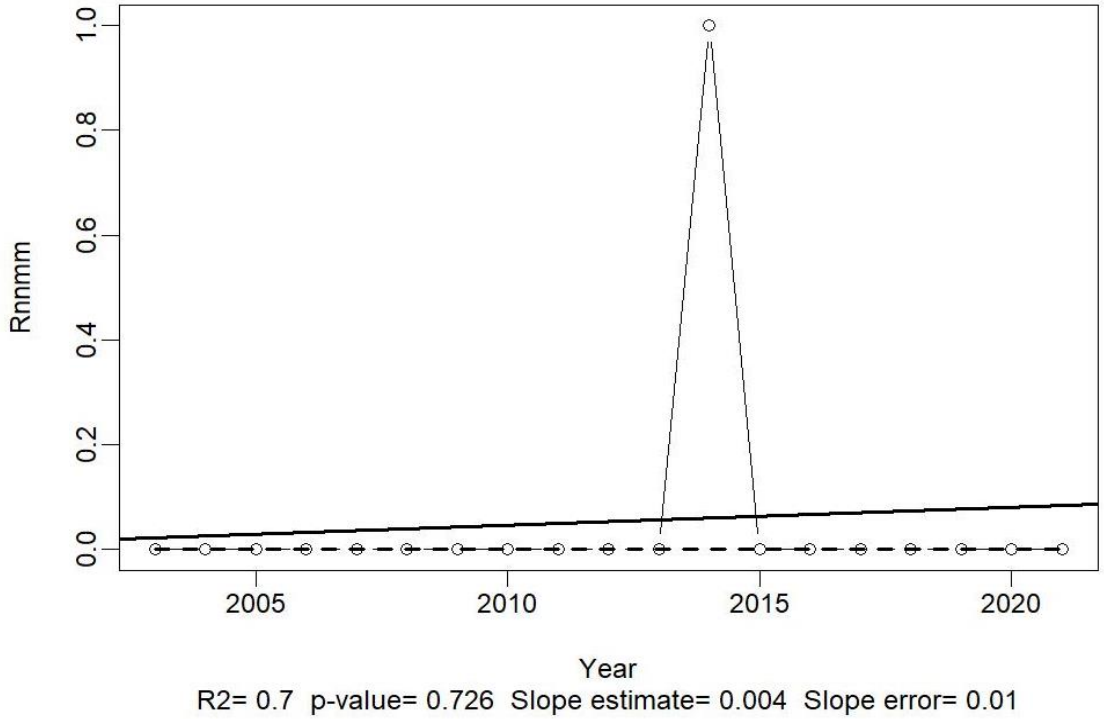
شکل ٤- نمودار شاخص مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه



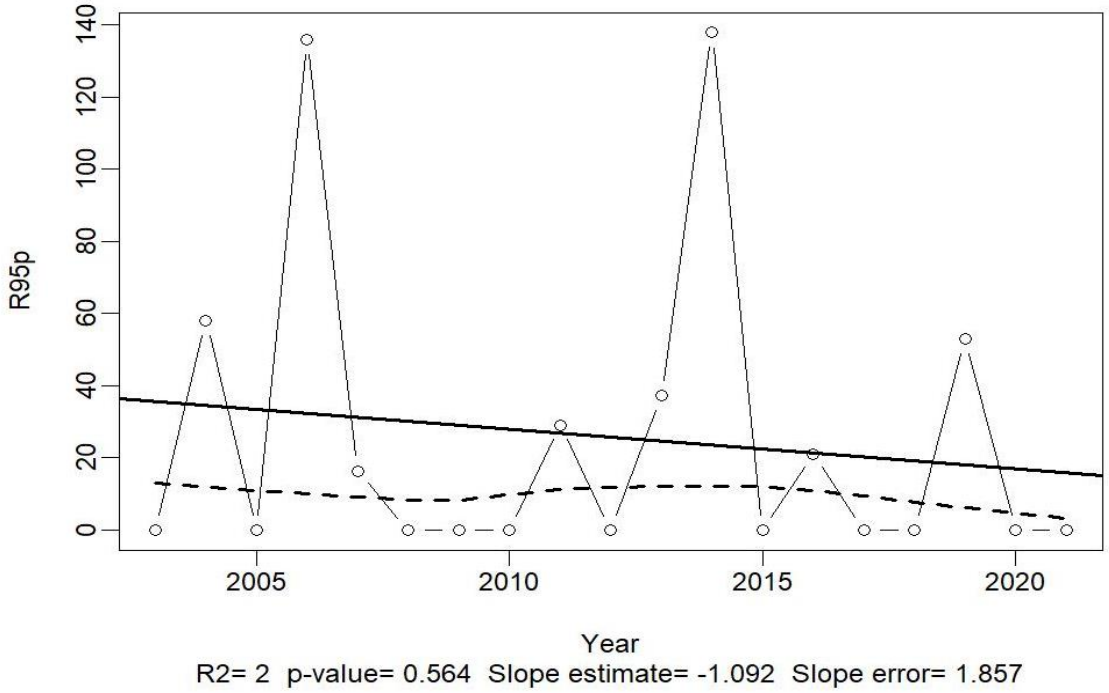
شکل ۵- نمودار شاخص تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm) محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲



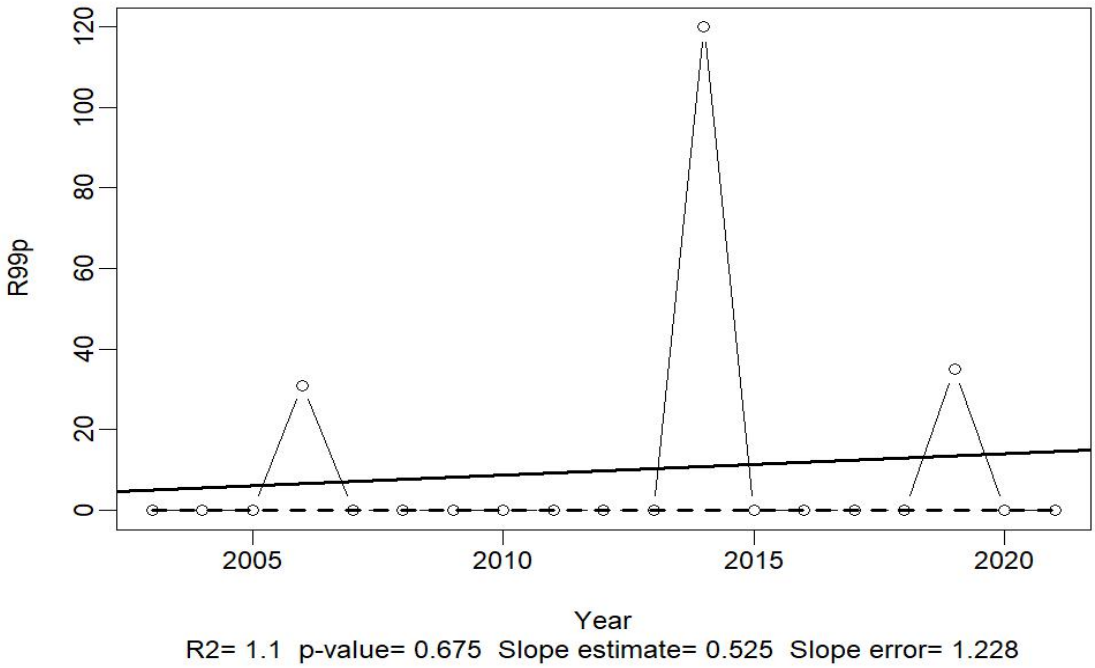
شکل ٦- نمودار شاخص تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین (R20mm) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه



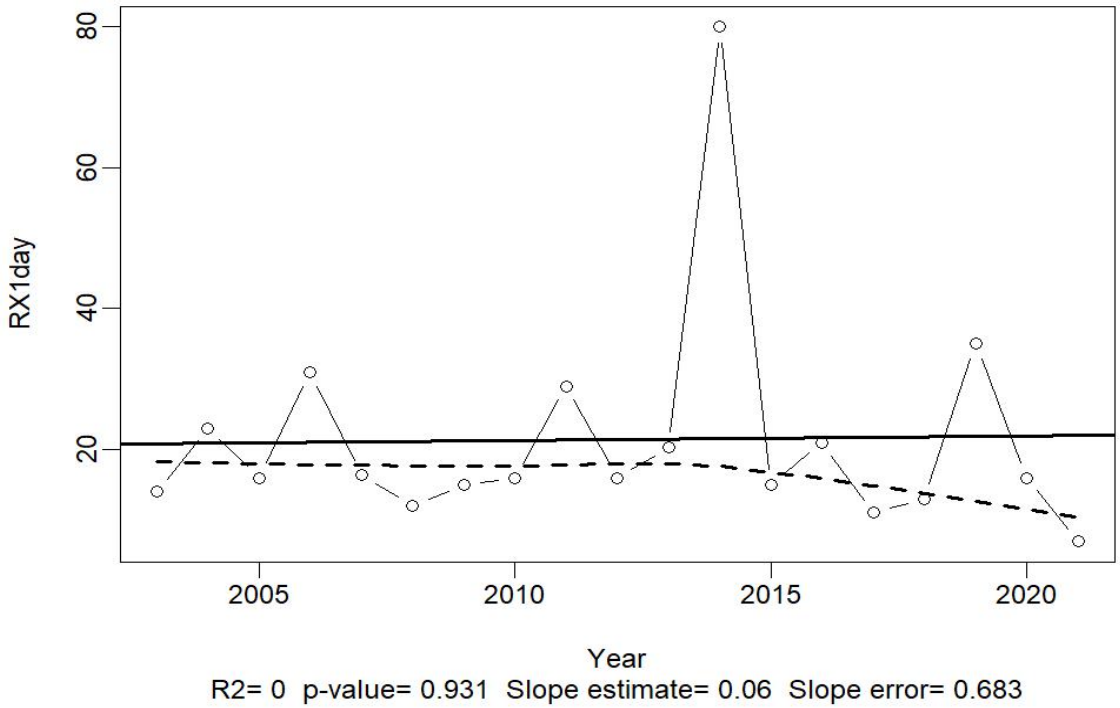
شکل ۷- نمودار شاخص روزهای با بارش بسیار سنگین (Rnn mm) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه



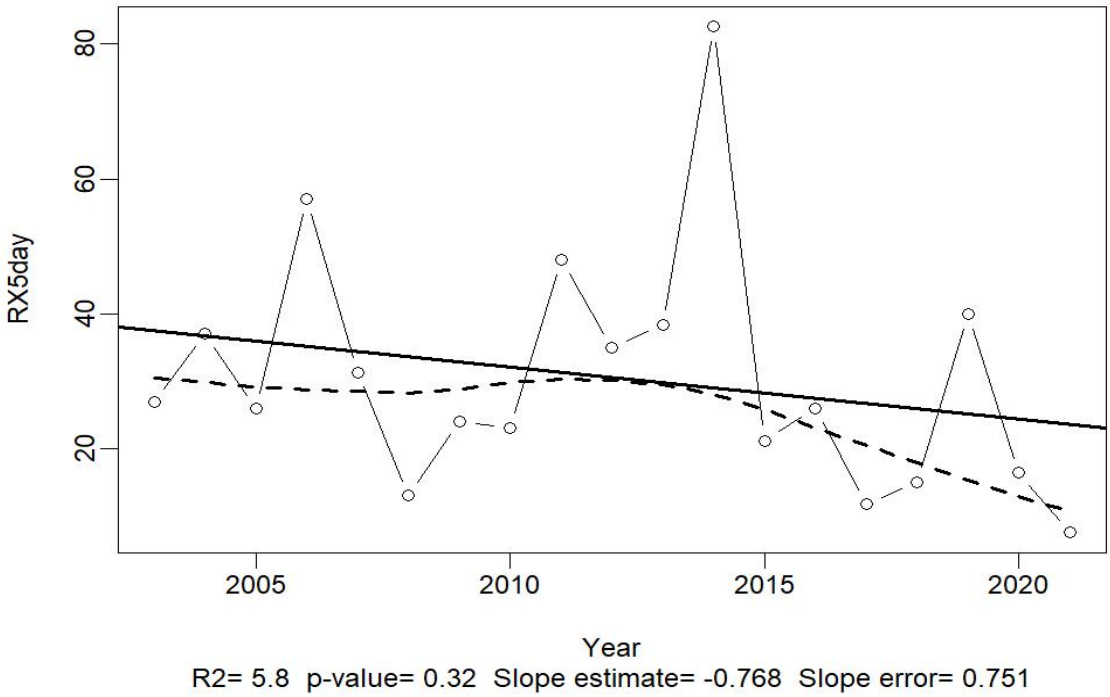
شکل ۸- نمودار شاخص روزهای خیلی تر (R95p) محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه



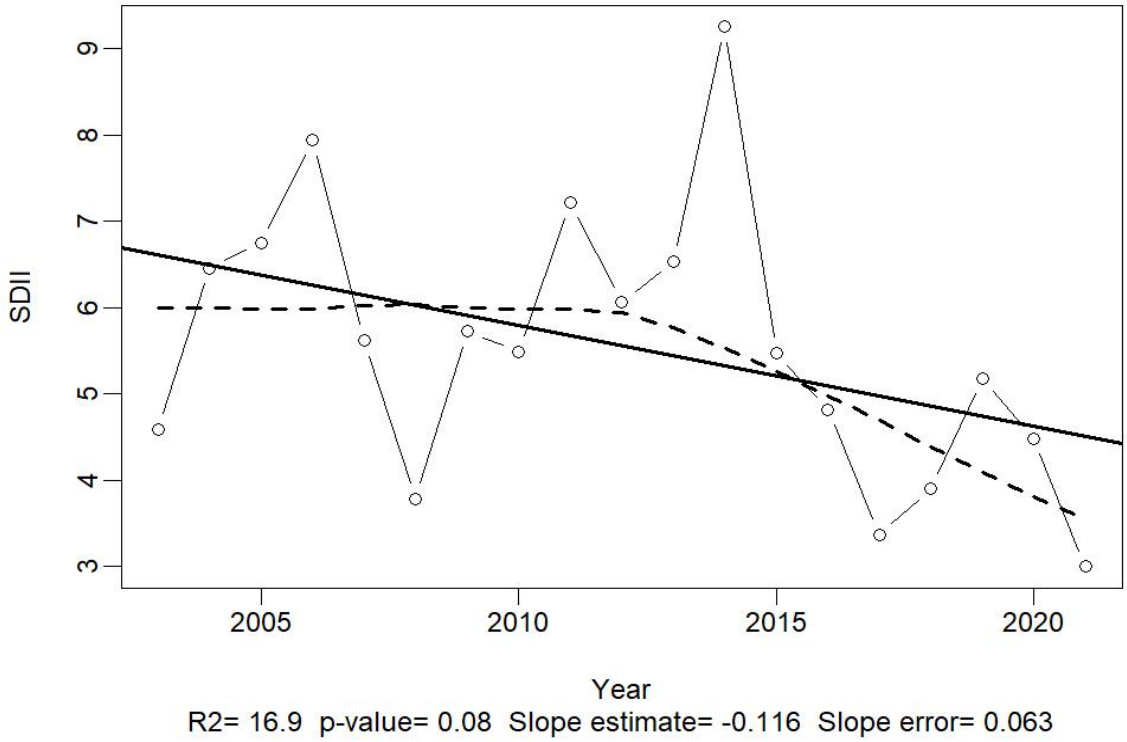
شکل ۹- نمودار شاخص روزهای بیش از اندازه تر (R99p) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه



شکل ۱۰- نمودار شاخص حداکثر بارش یک روزه (Rx1day) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه



شکل ۱۱- نمودار شاخص حداکثر بارش پنج روزه (Rx5day) در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه



شکل ۱۲- نمودار شاخص ساده شدت روزانه (SDII) محاسبه شده در دوره ۲۰ ساله منتهی به ۲۰۲۲ در منطقه موردمطالعه

بحث و نتیجه گیری

واکاوی رخدادهای فرین بارش، یکی از موضوعات مهم در اقلیم‌شناسی است. طبق نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات متعدد در مناطق زیادی از دنیا شدت بارش‌های حدی مشاهداتی افزایش‌یافته است و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز شدت و فراوانی بارش‌های حدی در بسیاری از نقاط دنیا افزایش یابد. شناسایی و آشکارسازی تغییرات بارش و یافتن علل این تغییرات و بررسی تأثیرات این تغییرات بر کلیه ابعاد محیطی از اقداماتی است که می‌تواند راهکارهایی در جهت سازگاری و مقابله با آن‌ها ارائه دهد. بطوریکه مدیران و برنامه‌ریزان بتوانند در چنین شرایطی بر مشکلات مدیریتی غلبه کنند. اثرهای تغییر اقلیم بر چرخه‌ی هیدرولوژی در شکل تغییرات سطح آب در منابع آب زیرزمینی، سفره‌ها، دریاچه‌ها و همچنین تغییر در توزیع مقادیر و زمان بارش‌ها و جریان رودخانه است (رجبی

و شعبانلو[1]، ۲۰۱۳). همچنین شدت و فراوانی رخدادهای فرین بارش در بخش‌های بزرگی از جهان تحت تأثیر اقلیم قرار می‌گیرد و ریسک افزایش سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها خودنمایی خواهد کرد (ضیا هاشمی و همکاران[2]، ۲۰۱۱).

در این مطالعه شاخص‌های حدی بارش بررسی شدند که نتایج حاکی از این امر است که به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش، الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و کاملی قابل‌تشخیص نیست ولی به‌طورکلی روند کاهشی و منفی بارش مشاهده می‌شود. شاخص ساده شدت روزانه، شاخص بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب در سال (SDII)، روند کاهشی داشته و دارای روند کاهشی معنادار در سطح ۵ درصد می باشد. شاخص PRCPTOT مقدار سالانه بارش در روزهای تر می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که مقدار آن دارای نوسان است و از سالی به سال دیگر متفاوت می‌باشد. در ایستگاه موردمطالعه این شاخص روند منفی داشت و میزان کاهش بارش در منطقه محسوس است ولی روند کاهشی برای این شاخص در سطح ۵ درصد معنادار نیست. بررسی سایر شاخص‌ها نیز نشان داد که بارش‌ها از روند منظمی تبعیت نمی کند و نامنظم است. علاوه براین، شاخص‌های مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT)، تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm) و شاخص ساده شدت روزانه (SDII) بیشترین درصد کاهشی نشان دادند.

قرارگرفتن در منطقه خشک بر نتایج بدست آمده از تحقیق و تغییرات و نوسانات زیاد تأثیر مستقیم دارد. عسگری و همکاران (۱۳۸٦) در مطالعه‌ای دریافتند هر سه روند مثبت، ایستا و منفی در سطح کشور به وقوع پیوسته است. همچنین در مناطقی مانند هرمزگان، اصفهان و تهران روند بیشتر شاخص‌ها مثبت بوده است که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند. به‌طورکلی نتایج به دست آمده از این تحقیق با سایر مطالعات انجام‌شده در سراسر جهان مبنی بر وجود روند در شاخص‌های حدی بارش و تفاوت در جهت روندها و تغییرات مکانی – زمانی مطابقت دارد. ازجمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات وارنر و همکاران[3] (۲۰۱۲)، گوپتا و همکاران[4] (۲۰۲۰)، آویلا و همکاران[5] (۲۰۱۹)، محمدی و همکاران (۱۳۹٦)، نصوحیان و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد.

[1] . Rajabi and Shabanlou
[2] . Zia Hashmi et al.
[3] . Warner et al.
[4] . Gupta et al.
[5] . Ávila et al.

بیشتر مطالعات صورت گرفته نشان از شیب منفی بارش‌های سالانه دارد. از سوی دیگر بارش‌های پراکنده و ضعیف و همچنین عدم وجود برنامه‌ریزی اصولی به منظور مدیریت منابع آب باعث ایجاد شرایط بحرانی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش و موارد مشابه می‌تواند راهکارهایی در راستای مدیریت صحیح و استفاده از سایر ظرفیت‌ها برای مقابله با شرایط ایجاد شده به دست‌اندرکاران و مدیران ارائه دهد.

منابع

احمدی م. لشکری ح. آزادی م و کیخسروی ق. ۱۳۹٤. **آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ**. پژوهش‌های دانش زمین. شماره ۲۳. صفحات ۳٤-۵۲.

اکبری مهری، صیاد وحیده. ۱٤۰۰. **تحلیل مطالعات تغییر اقلیم درایران**. پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۳۵ ،شمارهٔ۱ ،۳۷-۷٤.

تبرزرد فیروز. ۱۳۹۷. پیش بینی و ارزیابی تغییر اقلیم با تاکید بر سیستم اطلاعات جغرافیایی: مطالعه موردی استان کرمانشاه. مجله جغرافیا و روابط انسانی. دوره اول شماره ۲. صفحات ۲۰۵-۲۱۹

حسینی سید سلام. ۱٤۰۰. بررسی اقلیم شناسی سینوپتیک و تغییرات آب و هوایی سوزباد دشت زرینه اوباتو از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی. مجله جغرافیا و روابط انسانی. دوره چهارم شماره ۲. صفحات ۲۹۸-۳۱۸

خزائی محمد رضا، خزائی حدیث، ثقفی بهرام. ۱۳۹۹. **اثر تغییر اقلیم بر بارشهای حدی مناطق خشک ایران**. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۲۰، شماره ۹. ۳۱-٤۲.

دالایی ح. فرجزاده اصل م. گندم‌کار ا. و نامی م.ح. ۱۳۹٤. **امنیت آب و هوایی ایران بر حسب شاخص‌های حدی دما** (۲۰۱۰-۱۹۸۱). فصلنامه علمی- پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران. سال ۱۳. شماره ٤٦. صفحات ۱۳۵-۱۵٤.

رضایی بنفشه مجید، نجفی محممدسعید، تقی زاده حبیبه، آب خرابات شعیب. ۱۳۹٤. **واکاوی رفتار بارشهای حدی در ارتباط با عوامل مؤثر بر بارش در غرب و شمالغرب**. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سیزدهم. صفحات ۱۳۳-۱۵۳.

عسگری ا. رحیم‌زاده ف. محمدیان ن. و فتاحی ا. ۱۳۸٦. **تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران**. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۳. دوره۳.

محمدی ح. عزیزی ق. خوش اخلاق ف. و رنجبر ف. ۱۳۹٦. **تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران**. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ٤۹. شماره۱. صفحات ۲۱-۳۷.

محمدیاریان محترم، طاوسی تقی، خسروی محمود، حمیدیان پور محسن. **ناحیه بندی رژیم بارشهای حدی یا ران در دوره ۲۰ساله**. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. دوره ۳٤ ۲ ،شماره ۱. صفحات ۱۸۳-۱۹۲.

مزیدی احمد، طوفانی هاجر. ۱٤۰۰. **بررسی روند تغییرات دما و بارش ابستگاه همدید ارومیه به روش آماری من کندال**. **مجله جغرافیا و روابط انسانی. دوره چهارم شماره ۲. صفحات ۳۵۷-۳۷۰**

نساجی زواره مجتنبی، ۱۳۹۸. قرمز چشمه. باقر. **بررسی روند تغییرات شاخص های بارش و فرصت های مناسب برای استحصال آب باران (مطالعه موردی ناحیه خزر)**. هشتمین همایش سطوح آبگیر ایران. صفحات ۱-۱۱.

نصوحیان س. قبادی‌نیا م. طباطبایی س. ح. و خالقی ح. ۱۳۹۲. **بررسی اثر تغییر اقلیم روی دما و بارش در دشت‌های شهرکرد و بروجن**. اولین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. صفحات ۱-۱۰.

هرمزی هدایت الله، برنا رضا، ظهوریان منیژه. ۱۳۹۸. **بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دما در استان خوزستان**. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب. صفحات ۳۱۵-۳۳۳.

Ávila, Á., Guerrero, F.C., Escobar, Y.C., Justino, F., (2019). **Recent precipitation trends and floods in the Colombian Andes**, Water, Vol 2, No 11, 379 p.

Avila-Diaz, A., Abrahão, G., Justino, F., Torres, R., & Wilson, A. (2020). **Extreme climate indices in Brazil: evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution**. *Climate Dynamics*, *54*(11), 5065-5088.

Brown, P. J., Bradley, R. S., & Keimig, F. T. (2010). **Changes in extreme climate indices for the northeastern United States**, 1870–2005. *Journal of Climate*, *23*(24), 6555-6572.

Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S.K., Singh, R., (2020). **Analysis of the Extreme Rainfall Events Over Upper Catchment of Sabarmati River Basin in Western India Using Extreme Precipitation Indices**, In Advances in Water Resources Engineering and Management (pp 103-111): Springer.

Hegerl, G. C., and F. W. Zwiers .7000. **Use of models in detection and attribution of climate change. WIREs Climate Change**, 2, 520–59.

Kim, B. S., Yoon, Y. H., & Lee, H. D. (2011). **Analysis of changes in extreme weather events using extreme indices**. *Environmental Engineering Research*, *16*(3), 175-183.

Leal Filho, W., Balasubramanian, M., Purcell, W., & Paz, S. (2022). Handling the health impacts of extreme climate events. *Environmental Sciences Europe*, *34*(1), 1-5.

Marigi, S. N., Njogu, A. K., & Githungo, W. N. (2016). **Trends of extreme temperature and rainfall indices for arid and semi-arid lands of south eastern Kenya**. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, *4*(12), 158.

Mistry, M. N. (2019). **A high-resolution global gridded historical dataset of climate extreme indices**. Data, 4(1), 41.

Putra, I. D. G. A., Rosid, M. S., Sopaheluwakan, A., Ulina, Y. C., Harsa, H., Permana, D. S., & Cho, J. (2019, November). **Projected extreme climate indices in the java island using cmip5 models**. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 363, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.

Rajabi, Ahmad and Shabanlou, Saeid (2012). **The Analysis of Uncertainty of Climate Change by Means of SDSM Model Case Study: Kermanshah**, World Applied Sciences Journal, 23(10): 1392-1398.

Sajjad, H., & Ghaffar, A. (2019). **Observed, simulated and projected extreme climate indices over Pakistan in changing climate**. *Theoretical and Applied Climatology*, *137*(1), 255-281.

Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V. (2021). **A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation**. *Journal of Climate*, *34*(1), 243-258.

Warner, M.D.; Mass, C.F. and Salathe, E.P. (2012). **Wintertime Extreme Precipitation Events along the Pacific Northwest Coast: Climatology and Synoptic Evolution**, Monthly Weather Review, Vol. 140, July 2012, DOI: 10.1175/MWR-D-11-00197.1

Zia Hashmi, M.;Shamseldin, A . Y.; Melville, B . W. (2011). **Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed**, Stoch Environ Res Risk Assess, 25: 475.