

آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش و دما (مطالعه

موردی: شهرستان اراک، استان مرکزی)

الهام راوند^۱

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، ir.ac.hormozgan@phd.rav

چکیده

دوره‌های طولانی مدت، متغیرهایی همچون بارش و دما، به عنوان شاخصی برای تشخیص تغییرات اقلیمی کاربرد دارند. بدین منظور برای تحلیل روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش و دما، جهت آشکارسازی وقوع تغییر اقلیم، در شهرستان اراک با استفاده از آمار ۴۹ ساله روزانه ایستگاه سینوپتیک شهرستان اراک، از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۵، آنالیز گردیدند. برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش و دما، از آزمون پارامتریک پیرسون و ناپارامتریک من‌کندال و آزمون پتیت استفاده شد. روند شاخص‌های حدی دما، شامل تعداد روزهای تابستانی (SU)، تعداد شب‌های گرم (TN90P) و تعداد شب‌های حاره‌ای (TR) افزایشی است، افزایش دما از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. شاخص بارش سالانه (PRCPTOT) و شاخص روزهای مرطوب (R95pTOT) و شاخص روزهای بسیار مرطوب (R99pTOT)، شاخص‌های بارش‌های سنگین (R20mm و R10mm) در ایستگاه مورد مطالعه، روند کاهشی را نشان می‌دهد، شاخص بارش سالانه و شاخص روزهای خیلی مرطوب از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. شاخص (CDD) مربوط به روزهای خشک متوالی، روند افزایشی و شاخص (CWD) مربوط به روزهای مرطوب متوالی، روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ که از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار هستند.

واژه‌های کلیدی: ETCCDI، دما، بارش، آزمون من-کندال، روند

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و اثراتی که این پدیده روی سیستم‌های گوناگون برجای می‌گذارد، در سال‌های اخیر و در کشورهای گوناگون، پژوهشگران زیادی اقدام به بررسی و تحقیق در مورد این مقوله‌ی مهم نموده‌اند. افزایش طول دوره‌ی رشد، افزایش دما و ذوب شدن یخ‌های قطبی و بالا آمدن سطح آب‌ها، کاهش بارش و خشکسالی‌های پایایی و شدید، افزایش وقایع سیل، امواج گرمایی و کاهش امواج سرما می‌تواند به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، موجب ایجاد مشکلات اقتصادی و اجتماعی فراوانی در سرتاسر جهان شود. شناخت پدیده تغییر اقلیم نیازمند بررسی روند سری زمانی پارامترهای اقلیمی همچون بارش و دما می‌باشد [۱]. برای تشخیص پدیده‌ی تغییر اقلیم سری‌های زمانی بلند مدت داده‌های اقلیمی مورد نیاز می‌باشد و قسمت عمده‌ای از مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم از راه بررسی تغییرات سری‌های زمانی مربوط به بارندگی، دما، فشار، رطوبت و غیره و تشخیص وجود روند مثبت یا منفی در این سری‌ها، توسط آزمون‌های آماری انجام می‌گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که وجود روند در سری‌های زمانی شاخص‌های آب و هواشناسی، می‌تواند ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم و یا در اثر فعالیت‌های انسان باشد [۲]. روش‌های آماری زیادی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی وجود دارد که این روش‌ها به طور کلی به دو دسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم بندی می‌شوند. برای سری‌های زمانی که توزیع آماری خاصی بر آن‌ها قابل برازش نیست، استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است [۳]. آزمون من-کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود؛ که در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار می‌رود [۴].

تحقیقات زیادی در زمینه بررسی شاخص‌های حدی اقلیمی، در جهان صورت گرفته است؛ برای مثال در پژوهشی، برای تشخیص روند درجه حرارت حدی در دریای مدیترانه، از داده‌های روزانه استفاده گردید، نتایج نشان داد که به طور کلی روند مشاهده شده با روند جهانی مطابقت دارد و روند درجه حرارت‌های سرد، کاهشی و درجه حرارت گرم، افزایشی می‌باشد [۵]. در عربستان سعودی از داده‌های روزانه گردآوری شده از ۲۷ ایستگاه، به منظور محاسبه شاخص‌های اقلیمی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ استفاده کرد؛ نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی دما به ویژه در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ در مقایسه با دوره قبلی افزایش یافته است [۶]. در مغولستان شاخص‌های حدی بارش، بین سال‌های ۱۹۵۹ تا ۲۰۱۴ مورد ارزیابی قرار گرفتند؛ نتایج نشان داد که ۱۱ شاخص به جزء $R0.5, R10$ و $PRCPTOT$ کاهش یافته‌اند و بیشتر شاخص‌ها در طول زمان روند غیر معنی‌داری دارند [۷]. در نیمه جنوبی ایران برای بررسی تغییرات روزهای شرجی، از روش ناپارامتریک، شیب سن^۱ استفاده گردید؛ نتایج نشان داد در فصل پاییز، زمستان و بهار هیچ گونه روند معناداری در فراوانی روزهای شرجی، در سطح احتمالاتی ۹۵٪ مشاهده نشد [۸]. در تحقیقی دیگر، جهت آنالیز روند تغییر اقلیم، در جنوب شرق ایران، از داده‌های روزانه، دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک زابل، زاهدان و ایرانشهر طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. نتایج آزمون من-کندال و شیب سن، حاکی از روند افزایشی غیرمعنی‌دار در میزان بیشینه دمای، بیشینه روزانه در ماه می‌باشد. نمایه‌های مربوط به بارش نیز در سرتاسر کشور کاهشی و بدون روند می‌باشد [۹].

تحقیق حاضر به منظور بررسی روند شاخص‌های حدی بارش و دما و با هدف تشخیص وقوع یا عدم وقوع تغییر اقلیم در شهرستان اراک انجام شده است. برای دستیابی به این هدف از آمار بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک اراک و نمایه‌های معرفی

1- Sens slope

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

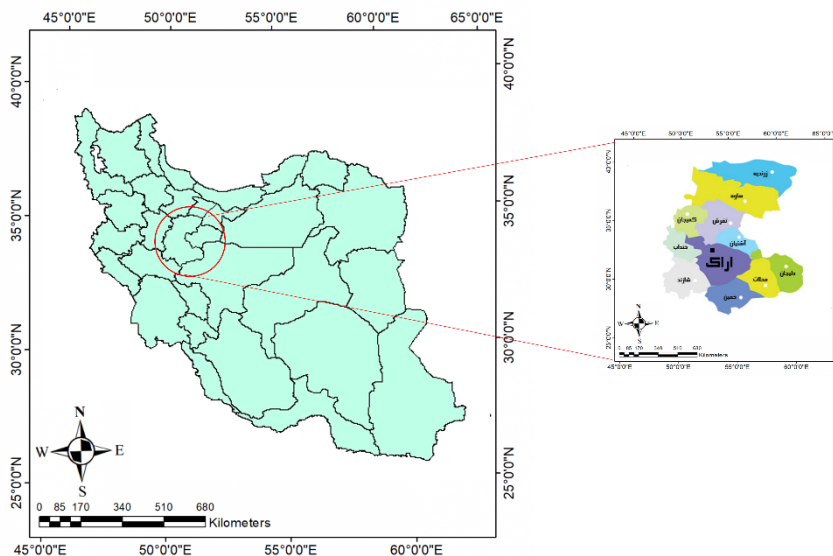
شده توسط تیم کارشناسی تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) استفاده و روند شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال تعیین شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش شهرستان اراک، می‌باشد که در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه شمالی واقع شده است؛ شکل (۱). داده‌های استفاده شده شامل دما و بارش روزانه ایستگاه اراک از وبسایت اداره کل هواشناسی استان مرکزی به آدرس <http://www.irna.ir> اخذ شد. دوره آماری یک دوره ۴۹ ساله از سال ۱۹۶۶ تا سال ۲۰۱۵ میلادی است. داده‌ها بر اساس سری زمانی ماهانه مرتب و سپس استفاده شدند.

تیم کارشناسی تغییر اقلیم و شاخص‌ها، ۲۷ شاخص اقلیمی برای بررسی نمایه‌های اقلیمی معرفی نمود [۱۲]؛ که از این تعداد ۱۶ شاخص مربوط به وقایع دمایی (جدول ۱) و ۱۱ شاخص به بررسی مقادیر بارش اختصاص دارد (جدول ۲). این نمایه‌ها را می‌توان در پنج گروه دسته‌بندی کرد که شامل: ۱- نمایه‌های صدکی (R99p, R95p, TX10p, TX90p, TN10p, TN90p) -۲- نمایه‌های مطلق (RX5day, RX1day, TNn, TNx, TXn, TXx) -۳- نمایه‌های آستانه‌ای (FD, ID, SU, TR, R10, R20) -۴- نمایه‌های دوره‌ای (CWD, CDD, GSL, WSDI, CSDI) و -۵- نمایه‌های دیگر که در هیچ یک از گروه‌های فوق نمی‌گنجند، اما تغییرات آن می‌تواند اثرات گسترده‌ای داشته باشد (R95pT, ETR, SDII, DTR, PRCPTOT) [۱۰]. این نمایه‌ها لزوماً برای هر اقلیمی مناسب نیستند، چرا که آستانه‌هایی که در نظر گرفته شده‌اند در همه جا کاربردپذیر نیستند. در مطالعات گوناگون با اهداف متفاوت، پژوهشگران از شاخص‌های مورد نظر خود استفاده می‌کنند.



شکل (۱) - موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

جدول (۱) - نمایه‌های حدی دما گروه کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها

نمایه	تعریف	واحد
FD	روزهای یخبندان: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه روزانه کوچک‌تر از صفر درجه سانتیگراد باشد	روز
SU	روزهای تابستانی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه روزانه بزرگ‌تر از ۲۵ درجه سانتیگراد باشد	روز
ID	روزهای یخی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه روزانه کوچک‌تر از صفر درجه سانتیگراد باشد	روز
TR	شب‌های حاره‌ای: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه بیش‌تر از ۲۰ درجه سانتیگراد باشد	روز
GSL	طول فصل رشد	روز
TXx	بزرگ‌ترین دمای بیشینه: میزان بیشینه دمای بیشینه روزانه در ماه	سانتیگراد
TXn	کوچک‌ترین دمای بیشینه: میزان کمینه دمای کمینه روزانه در ماه	سانتیگراد
TNx	بزرگ‌ترین دمای کمینه: میزان بیشینه دمای کمینه در ماه	سانتیگراد
TNn	کوچک‌ترین دمای کمینه: میزان کمینه دمای کمینه در ماه	سانتیگراد
TN10p	شب‌های سرد: درصدی از روزها که دمای شبانه کوچک‌تر از صدک ۱۰ دوره مبنا باشد	روز
TX10p	روزهای سرد: درصدی از روزها که دمای روزانه کوچک‌تر از صدک ۱۰ دوره مبنا باشد	روز
TN90p	شب‌های گرم: درصدی از روزها که دمای شبانه بزرگ‌تر از صدک ۹۰ دوره مبنا باشد	روز
TX90p	روزهای گرم: درصدی از روزها که دمای روزانه بزرگ‌تر از صدک ۹۰ دوره مبنا باشد	روز
WSDI	موج گرما: تعداد روزهای از سال که کمینه ۶ روز پیاپی دمای روزانه بیشتر از صدک ۹۰ مبنا باشد	روز
CDSI	موج سرما: تعداد روزهای از سال که کمینه ۶ روز پیاپی دمای روزانه کوچک‌تر از صدک ۹۰ مبنا باشد	روز
DTR	دامنه دمای شبانه‌روزی: تفاوت میانگین ماهانه دمای روزانه و شبانه	سانتیگراد

جدول (۲) - نمایه‌های حدی بارش گروه کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها

نمایه	تعریف	واحد
RX1day	بیشترین مقدار بارش یک روزه: بیشترین بارش ۱ روزه در ماه	میلی متر
RX5day	بیشترین مقدار بارش پنج روزه: بیشترین بارش ۵ روز متوالی در ماه	میلی متر
SDII	نمایه ساده شدت بارش روزانه: از تقسیم مقدار کل بارش سالانه بر تعداد روزهای بارشی بیشتر یا مساوی یک میلی‌متر باشد، به دست می‌آید	میلی متر در روز
R10mm	تعداد روزهای همراه با بارش سنگین: تعداد روزهایی که در سال بارش بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی متر باشد	روز
R20mm	تعداد روزهای همراه با بارش ابر سنگین: تعداد روزهایی که در سال بارش بیشتر یا مساوی ۲۰ میلی متر باشد	روز
Rnn	تعداد روزهای با بارش بیشتر از n میلی متر: تعداد روزهایی که در سال بارش بیشتر یا مساوی n میلی متر باشد	روز
CDD	روزهای متوالی خشک: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی متر باشد	روز
CWD	روزهای متوالی مرطوب: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر از ۱ میلی متر باشد	روز
R95p	روزهای خیلی مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که بیش از صدک ۹۵ دوره مبنا باشد	میلی متر
R99p	روزهای بسیار مرطوب: مجموع مقدار بارش روزهایی از سال که بیش از صدک ۹۹ دوره مبنا باشد	میلی متر
PRCPTOT	مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه: مقدار کل بارش روزهای مرطوب (مقدار بارش که از ۱ میلی متر مساوی یا بیشتر باشد) سالانه	میلی متر

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

۲-۲-آزمون روند من- کندال^۲ و پتیت^۳

برای تجزیه و تحلیل و پی بردن به میزان روند در این شاخص‌های حدی از آزمون ناپارامتریک من کندال استفاده شد (من ۱۹۴۵، کندال ۱۹۷۵). کاربردی بودن این آزمون در تعیین وجود روندهای معنی‌دار آماری در سطوح آماری مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۸۸). در این مطالعه سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به عنوان آستانه‌ها برای طبقه‌بندی میزان معنی‌داری روندهای مثبت و یا منفی در نظر گرفته شد. چنانچه مقادیر p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، روند تغییرات معنی‌دار نبوده و اگر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ باشد، روند تغییرات در سطح اطمینان ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در نهایت p-value کمتر از ۰/۰۱ دارای روند تغییرات معنی‌داری در سطح اطمینان ۱٪ می‌باشد.

در این آزمون، اگر $X_1, X_2, \dots, X_n$ مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

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

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

از طرفی در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌گردد. در این مرحله می‌توان به جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده نمود و مرتبه‌ها را با همین روش مقایسه کرد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط ۳ و ۴ بدست می‌آید.

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

در رابطه بالا n: تعداد داده، m: تعداد گره‌ها، و t: تعداد داده‌ها در هر گره می‌باشد. گره به این معنی است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی موجود باشد، این مقادیر مساوی، یک گره را تشکیل می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m برابر t می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه‌ی ۵ بدست می‌آید.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

² Mann-Kendall

³ Pettitt

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

آزمون من‌کندال، یک آزمون دو طرفه می‌باشد. بنابراین در صورتی که $|z| \leq z_a/2$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که $s > 0$ باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که $s < 0$ باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۸۸).

آزمون پتیت (۱۹۷۹) نیز برای بررسی سال جهش یا تغییرات در سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمون فرض نرمال بودن سری زمانی نمی‌باشد. این آزمون بطور گسترده در تعیین زمان تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی در سراسر جهان مورد استفاده شده قرار گرفته است و یکی از مهمترین روش‌های آماری در تشخیص یک شیفت ناگهانی در سری زمانی می‌باشد. دنبال‌های از متغیرهای تصادفی هیدروکلیماتولیک X_i را در نظر بگیرید، که $i=1, \dots, t$ باشد. زمانی آزمون پتیت تغییر در نقطه τ را معنی‌دار می‌داند که X_t برای $(i=1, \dots, t)$ دارای تابع توزیع $F_1(x)$ و x_t برای $(t=\tau+1, \tau+2, \tau+3, \dots, T)$ دارای تابع توزیع $F_2(x)$ بوده و $F_1(x) \neq F_2(x)$ باشد. این آزمون دو فرض $H_0: \tau = T$ برای عدم وجود تغییر و $H_1: \tau \neq T$ برای وجود روند را مقابل هم و آماره K_T را برای تست دو نمونه $(X_{t-1}, \dots, X_t$ و $X_1, \dots, X_t)$ از یک جامعه در نظر می‌گیرد:

$$K_T = \text{Max}|U_{t,T}|, 1 \leq t < T \quad (6)$$

که در آن

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (7)$$

احتمال اهمیت تقریبی K_T با P_{OA} تعیین می‌گردد و به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$P_{OA} = 2 \exp \left\{ \frac{-6(K^+)^2}{(T^3 + T^2)} \right\}; T \rightarrow \infty \quad (8)$$

به طوری که P_{OA} احتمالی از تشخیص نقطه تغییر است. اگر ارزش عددی P_{OA} کمتر از ۰/۰۵ باشد مشخص کننده تغییر قابل توجه در سری زمانی با توجه به سطح معنی‌داری ۵٪ است.

۳-۱- روند شاخص‌های حدی دمایی

در ایستگاه مورد مطالعه، روند شاخص‌های حدی دما شامل FD, SU, ID, TR, TXx, TXn, TNx, TNn, TN10p, TX90p, TX10p, TN90P مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد شب‌های گرم (TN90P) و تعداد شب‌های حاره‌ای (TR) افزایشی است، افزایش دما از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. جدول (۳)، علاوه بر مقادیر آماری من-کندال، آماره‌ی پتیت برای تشخیص زمان تغییر شاخص‌ها نیز ارائه گردید. روند شاخص‌های حدی دما در کشور توسط بسیاری از محققین من جمله نساجی زواره و قرمز چشمه (۱۴۰۲) در شمال و غرب ایران [۱۱]؛ علوی‌نیا و زارعی (۱۳۹۹) در سیستان و بلوچستان [۹]؛ خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۵) در شمال غرب ایران [۱۲]؛ انصاری و همکاران (۱۳۹۶) در جنوب شرق ایران [۱۳]؛ برنا و آیین (۱۳۹۴) در جنوب غرب ایران [۱۴]؛ شکبیا و پیشداد (۱۳۸۶) در بخش‌های مرکزی ایران [۱۵] و جاوری و همکاران (۱۳۹۵) در استان هرمزگان [۱۶]، روند افزایش دما، تأیید گردیده است. بدین ترتیب در اغلب نقاط ایران من جمله منطقه‌ی مورد مطالعه افزایش میانگین، فراوانی نمایه‌های حدی گرمایش و کاهش نمایه‌های سرمایش، افزایش شب‌های گرم، طولانی شدن دوره گرم، افزایش اختلاف دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی، افزایش شب‌های حاره‌ای و شب‌های گرم در طول دوره آماری رخ داده است. گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم در بسیاری از مطالعات در چین (داس و همکاران^۴، ۲۰۲۳) [۱۷]، در اروپا (گالاردو و همکاران^۵، ۲۰۲۳) [۱۸] و در نیمکره‌ی شمالی (کائو و همکاران^۶، ۲۰۲۳) [۱۹] نیز افزایش دمای حدی را تأیید می‌کند.

۳-۲- روند شاخص‌های حدی بارش

در خصوص بارش، شاخص‌های RX1day, RX5day, R10mm, R20mm, CDD, CWD, R95pTOT, شاخص‌های R99pTOT و PRCPTOT مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص بارش سالانه (PRCPTOT) و شاخص روزهای مرطوب (R95pTOT) و شاخص روزهای بسیار مرطوب (R99pTOT)، شاخص‌های بارش‌های سنگین (R10mm و R20mm) در ایستگاه مورد مطالعه، روند کاهشی را نشان می‌دهد، شاخص بارش سالانه و شاخص روزهای خیلی مرطوب از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. شاخص مربوط به روزهای خشک متوالی (CDD) در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی و شاخص مربوط به روزهای مرطوب متوالی (CWD) روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ که از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار هستند. در خصوص روند کاهشی روزهای مرطوب متوالی (CWD) و روند افزایشی روزهای خشک متوالی (CDD)، نتایج بسیاری از محققین در جنوب ایران مانند حلبیان و همکاران (۱۳۹۶) [۲۰]، علوی‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) [۹]، مطابقت دارد. لذا می‌توان اذعان داشت، تعداد روزهای بارانی رو به کاهش و تعداد روزهای خشک رو به افزایش است. در جدول (۴)، آماره‌ی پتیت برای شناسایی نقطه تغییر و آماره‌ی تحلیل روند من-کندال ارائه شده است.

4 - Das et all (2023)

5 - Gallardo et all (2023)

6 - cao et all (2023)

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

جدول (۳) - آماره من-کندال و پتیت شاخص‌های حدی دما در منطقه مورد مطالعه

Trend statistics	FD	SU	ID	TR	TXx	TNx	TXn	TNn	TN10p	TX10p	TN90p
Z Mann-Kendall	0.836	1.92	0	4.9	1.51	3.14**	0.134	0.577	-0.72	-0.477	3.22**
U-Petit/Brocken point(year)	1358	1374	1348	1373	1377	1364	1370	1385	1370	1372	1373
Sen's slope	0.16	0.185	-0.06	0.42	0.01	0.03	0.001	0.04	-0.14	-0.1	0.5

** Significant at 99%, * Significant at 95%

جدول (۴) - آماره من-کندال و پتیت شاخص‌های حدی بارش در منطقه مورد مطالعه

Trend statistics	RX1day	RX5day	R10mm	R20mm	CDD	CWD	R95pTOT	R99pTOT	PRCPTOT
Z Mann-Kendall	-0.23	-1.71	-1.83	-1.67	3.29**	-3.28**	-2.41*	-1.51	-3/28**
U-Petit/Brocken point(year)	1354	1361	1359	1358	1361	1361	1360	1358	1361
Sen's slope	-0.029	-0.1	-0.06	-0.02	0.33	-0.35	-0.13	-0.025	-0.35

** Significant at 99%, * Significant at 95%

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق در منطقه مورد مطالعه نشان داد روند شاخص‌های حدی دما، شامل تعداد روزهای تابستانی (SU)، تعداد شب‌های گرم (TN90P) و تعداد شب‌های حاره‌ای (TR) افزایشی است، افزایش دما از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. شاخص‌های بارش سالانه (PRCPTOT) و روزهای مرطوب (R95pTOT) و روزهای بسیار مرطوب (R99pTOT)، بارش‌های سنگین (R10mm و R20mm) در ایستگاه مورد مطالعه، روند کاهشی را نشان می‌دهد، شاخص بارش سالانه و شاخص روزهای خیلی مرطوب از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. شاخص مربوط به روزهای خشک متوالی (CDD) در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی و شاخص مربوط به روزهای مرطوب متوالی (CWD) روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ که از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار هستند.

مراجع

[۱] Ben-Gai, T., Bitan, A., Manes, A., & Alpert, P. Climatic variations in the moisture and instability patterns of the atmospheric boundary layer on the East Mediterranean coastal plain of Israel. *Boundary-layer meteorology*, 100(2), 363-371, 2001.

[۲] Brooks, C. E. P., & Carruthers, N. Handbook of statistical methods in meteorology. Handbook of statistical methods in meteorology, 1953.

[۳] Xu, Z. X., Takeuchi, K., & Ishidaira, H. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of hydrology*, 279(1-4), 144-150, 2003.

[۴] Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., & Depetris, P. J. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 127-139, 2006.

[۵] Efthymiadis, D. Goodess, C. M. Jones, P. D. Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2199-2214, 2011.

[۶] Almazroui, m. Nazrul, m. dambul, r. Trends of temperature extremes in Saudi arabia, *international journal of climatology*, vol 34, is 3, 2014.

[۷] LI, ch. Leal Filho, w. Wang. J. An Analysis of Precipitation Extremes in the Inner Mongolian Plateau: Spatial-Temporal Patterns, Causes, and Implications, *atmosphere mdpl*, 2018.

[۸] محمودی، پ. طاووسی، ت. شیب مقدم، غ. ارزیابی روند تغییرات فراوانی روزهای شرجی در نیمه جنوبی ایران، برنامه‌ریزی منطقه‌ای مرودشت، سال هفتم، شماره ۲۶، ۱۳۹۶.

[۹] علوی نیا، س. ح. زارعی، م. آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی داده‌های بلند مدت بارش و دما در جنوب شرق ایران، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱۱، شماره ۴۴، ۱۳۹۹.

[۱۰] - Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. Geneva: World Meteorological Organization, 2001.

[۱۱] نساجی زواره، م. قرمز چشمه، ب. بررسی تغییرات زمانی-مکانی مقادیر حدی دما براساس شاخص‌های ETCCDI ناحیه شمال و غرب کشور، مجله محیط زیست و مهندسی آب، سال نهم شماره یک، ص ۹۵-۱۰۸، ۱۴۰۲.

[۱۲] خورشید دوست، ع. م. رسولی، ع. الف، سلاجقه، ع. نساجی زواره، م. ارزیابی همگنی سری‌های زمانی دمای بیشینه و کمینه سالانه و فصلی-ناحیه خزر، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۵۷، ص ۱۴۹-۱۳۳، ۱۳۹۵.

[۱۳] انصاری، م. نوری، غ. فتوحی س. بررسی روند بارش و جریان دما با استفاده از من-کندال ناپارامتری (مطالعه موردی: رودخانه کاجو در سیستان و بلوچستان)، سال هفتم، شماره ۱۴، ۱۳۹۶.

[۱۴] برنا، ر. جهان، آ. مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: استان بوشهر)، نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۸، ص ۶۳-۴۳، ۱۳۹۴.

[۱۵] شکبیا، ع. پیشداد، الف. تحلیل روند تغییرات شاخص‌های حدی دمای روزانه در سمنان طی دهه‌های ۲۰۰۶-۱۹۶۵ پژوهش‌های دانش زمین، سال اول، شماره ۴، ص ۱۱۲-۹۳، ۱۳۸۹.



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران

دوازدهمین همایش ملی
سامانه‌های سطوح آبگیر باران

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

[۱۶] جاوری، م. عطایی، ه. زینلی، پ. بررسی روند حدی دما و بارش استان هرمزگان (بندرعباس، میناب، جاسک)، اولین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست، ۱۳۹۵.

[۱۷] Das P, Zhang Z, Ghosh S, Lu J, Ayugi B, Ojara M. A., & Guo X. Historical and projected changes in Extreme High Temperature events over East Africa and associated with meteorological conditions using CMIP6 models. *Global and Planetary Change*, 222, 104068, 2023.

[۱۸] Gallardo V, Sánchez-Gómez E, Riber E, Boé J, & Terray L. Evolution of high-temperature extremes over the main Euro-Mediterranean airports. *Climate Dynamics*: 1-24, 2023.

[۱۹] Cao C, Guan X, Sun W, Guo S, & Chen B. Changes of Extreme High Temperature by Global Warming in the Northern Hemisphere. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 62(1): 21-29, 2023.

[۲۰] حلبیان، الف؛ پورشهبازی، ج. سلطانیان، م. ارزیابی تغییر دمای بیشینه و کمینه فصلی ایران، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱: ۲۳-۱۰، ۱۳۹۶.

Climate Change Trend Analysis Using Extreme Precipitation and Temperature Indices (Case Study: Arak County, Markazi Province)

Elham Ravand¹

1- M.Sc Student ,Dept. of Range and Watershed Management, University of Hormozgan, Iran,
ravand.phd@hormozgan.ac.ir

Abstract

The analyses conducted on the trend of Earth's temperature changes over the past century by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicate that due to the phenomenon of climate change, the global temperature has been rising in most parts of the world. However, there is no relatively clear pattern, like temperature, regarding precipitation. In this regard, to analyze the trend of extreme indicators of precipitation and temperature for detecting climate change occurrences, a 49-year statistical analysis of daily data from the synoptic station in Arak County, from 1966 to 2015, was performed. To investigate the trend of changes in extreme precipitation and temperature indices, the parametric Pearson and non-parametric Mann-Kendall tests, as well as the Pettitt test, were used. The trend of extreme temperature indices, including the number of summer days (SU), the number of warm nights (TN90P), and the number of tropical nights (TR), shows an increasing trend, and the temperature increase is statistically significant at the 99% confidence level. The annual precipitation index (PRCPTOT), the index of moist days (R95pTOT), and the index of very moist days (R99pTOT), as well as the indices of heavy precipitation (R20mm and R10mm) at the study station, indicate a decreasing trend. The annual precipitation index and the index of very moist days are statistically significant at the 99% confidence level. The index related to consecutive dry days (CDD) shows an increasing trend, while the index related to consecutive wet days (CWD) shows a decreasing trend, both statistically significant at the 99% confidence level. The results of this study can provide solutions for proper management and coping with potential conditions. Moreover, combining long-term meteorological data with the perception of vulnerable and affected local communities can serve as a model for decision-makers in making informed decisions and more suitable planning in the face of climate change.

Key words: ETCCDI, Temperature, Precipitation, Mann-Kendall Test, trend