

بررسی روند مکانی و زمانی دما و بارش حدی در حوزه آبخیز کرخه

حمید رحیمیانی ایرانشاهی^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*}، جلیل خلیلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۹

چکیده

تغییرات در مؤلفه‌های اقلیمی و به‌ویژه در شدت و فراوانی وقایع حدی بر روی جامعه و محیط طبیعی نسبت به تغییرات در میانگین اقلیم اثرگذارتر است. بنابراین بررسی تغییرپذیری شاخص‌های حدی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، برای بررسی روند مکانی و زمانی مقادیر حدی دما و بارش، از داده‌های دما و بارش ۶ ایستگاه سینوپتیک اهواز، خرم‌آباد، دزفول، کرمانشاه، همدان و سنندج حوزه کرخه استفاده شد. با نرم‌افزار R-climindex که در محیط نرم‌افزار R قابل اجراست، شاخص‌های حدی تعیین شد. در این پژوهش، از ۱۰ نمایه حدی بارش و ۱۶ نمایه حدی دما استفاده شد. روند هر یک از نمایه‌های دما و بارش با آزمون من-کندال مشخص شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های بارش در اکثر ایستگاه‌های حوزه دارای روند کاهشی است. به این ترتیب که برای شاخص‌های مقدار بارش در روزهای تر، تعداد روزهای تر متوالی، روزهای با بارش سنگین و خیلی سنگین، روند کاهشی معنی‌داری وجود دارد. نتایج به‌دست‌آمده دما، حاکی از آن است که نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹٪ است. نمایه‌های روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوزه آبخیز دارای روند افزایشی است.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، حوزه آبخیز کرخه، درجه حرارت، روند مکانی زمانی، نمایه‌های حدی.

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، بلوار امام رضا، hrmoradi@modares.ac.ir

۳. استادیار جهاد دانشگاهی کرمانشاه

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس است.

مقدمه

به طور فزاینده‌ای در معرض مخاطرات وقایع حدی، به‌ویژه درجه حرارت‌های شدید قرار دارند (کینکل و همکاران، ۱۹۹۹). برای مثال، داغ‌ترین تابستان در سال ۲۰۱۳ در شرق چین، با شدت گرما و خشکسالی شدید، باعث تلفات بسیار زیادی شد و بیش از نیمی از جمعیت یک میلیارد نفری چین را تحت تأثیر قرار داد. بنابراین، تحلیل وقایع حدی پراهمیت است؛ هرچند بیشتر تحلیل‌های تغییرات جهانی اقلیم بر روی تغییرات در مقادیر متوسط تمرکز دارد. علت آن‌هم این است که جمع‌آوری، تهیه و به‌روزرسانی داده‌های روزانه کامل و در دسترس، مشکل است. برای مثال، تحلیل جهانی شاخص‌های وقایع اقلیمی به‌وسیله فریچ و همکاران (۲۰۰۲)، کل سطح خشکی را پوشش نمی‌داد و داده‌های استفاده‌شده در مطالعه آن‌ها در بخش‌های مرکزی و جنوبی آمریکا، آفریقا و جنوب آسیا خیلی پراکنده بود؛ به‌علاوه از یافته‌های محققان در کشورهای مختلف، چنین به نظر می‌رسد که این نتایج کل نقشه جهانی را پوشش نمی‌دهد. علت آن‌هم این است که تجزیه و تحلیل‌ها در خصوص شاخص‌های مختلف و با روش‌های مختلف انجام می‌شود. برای حل این موضوع و فراهم کردن ورودی‌های پر اهمیت، تیم کارشناسی CCL/CLIVAR^{۱۲} سازمان جهانی هواشناسی، در بخش تغییر اقلیم و ارزیابی با هدف توسعه، محاسبه و تحلیل شاخص‌های اقلیمی مناسب در مقیاس بین‌المللی هماهنگ شده‌اند (کارال^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۹). این شاخص‌ها به‌وسیله افراد مختلف در کشورهای متعدد و مناطق مختلف، با استفاده از فرمول‌های مشابه هم محاسبه شده‌اند.

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی شامل بررسی روند حدی دما، بارش و تغییرپذیری آن‌ها در نواحی مختلف جهان انجام شده است. برای توصیف دقیق ویژگی‌های مکانی و زمانی روزانه و حدی دما و بارش، سری‌های زمانی با دوره تناوب طولانی و مقادیر همگن داده‌های روزانه مورد نیاز است. رحیم‌زاده و عسگری (۲۰۰۴) در پژوهشی به تحلیل روند

رویداد حدی عبارت از پدیده نادری است که از دیدگاه آماری در ناحیه‌های بالا و پایین توزیع آماری قرار گیرد؛ از این رو احتمال وقوع آن خیلی کم است. برای مثال، واژه نادر می‌تواند مفهوم مقادیر پایین و بالای صدک‌های (۵ و ۹۵)، (۱۰ و ۹۰)، یا به‌صورت مقادیر بالاتر از یک آستانه یا تداوم یک شرایط ویژه تعریف شود. نمایه‌های حدی ساده و شفاف مبتنی بر داده‌های بلندمدت و همگن، وضعیت رویدادهای حدی را بیان می‌کنند (پترسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). این نمایه‌ها باید جنبه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم و تأثیرات آن را نمایش دهند (فریچ^۲ و همکاران، ۲۰۰۲) تغییرات نمایه حدی بارش در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بشر، مانند انرژی، کشاورزی، محیط زیست، مدیریت منابع آب و طراحی ساختمان ضرورت دارد که تأثیرات این رویدادهای حدی اقلیمی در برنامه ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد (کتز و براون^۳، ۱۹۹۲). تغییرات در وقایع حدی می‌تواند به‌وسیله تشخیص تغییرات در فراوانی یا شدت آن ارزیابی شود. این مسئله در بسیاری از مطالعات وقایع حدی در اقلیم و پروژه‌های اقلیمی مشاهده شده است (ایوشیما و یاماموتو^۴، ۱۹۹۳؛ زویرز و خارین^۵، ۱۹۹۸؛ خارین و زویرز، ۲۰۰۰؛ گروسمن و کارل^۶، ۱۹۹۹؛ میل^۷ و همکاران، ۲۰۰۰؛ کینکل^۸ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ژانگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). رویدادهای حدی آب‌وهوایی در طول دهه‌های گذشته، به‌شدت افزایش یافته و شدت و تکرار وقوع آن نیز افزایش یافته است (میل و تابلدی^{۱۰}، ۲۰۰۴؛ کوومو و رامستورف^{۱۱}، ۲۰۱۲).

محیط زیست زمین، اقتصاد جهانی و سلامت عمومی

1. Peterson
2. Frich
3. Katz and Brown
4. Iwashima and Yamamoto
5. Zwiers and Kharin
6. Groisman and Karl
7. Meehl
8. Kunkel
9. Zhang
10. Meehl and Tebaldi
11. Coumou and Rahmstorf

12. CLIVAR: Climate Variability and Predictability

13. Karl

پژوهش‌های مشابه فقط به بررسی یکی از شاخص‌های حدی دما یا بارش پرداختند. از سوی دیگر، شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش‌ها بسیار محدود بوده درحالی‌که در پژوهش حاضر، از ۲۶ شاخص حدی استفاده شده است. هدف از این پژوهش، بررسی روند شاخص‌های حدی دما و بارش در طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۰ در حوزه آبخیز کرخه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوزه آبخیز کرخه است. این حوزه با قرار گرفتن در محدوده جغرافیایی ۶' ۴۶° تا ۱۰' ۴۹° طول شرقی و ۳۰' ۳۲° تا ۵۶' ۳۴° عرض شمالی، بخشی از بزرگ آبخیز خلیج فارس است. حوزه آبخیز کرخه در غرب و جنوب غربی ایران شامل استان‌های کرمانشاه، همدان، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان با مساحت ۵۱۳۳۷ کیلومتر مربع واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه در حوضه آبخیز کرخه ۱۵۰ میلی‌متر در مناطق جنوبی و بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در مناطق شمال شرقی متغیر است. رژیم بارشی حوضه از نوع مدیترانه‌ای است. بیشترین و کمترین ارتفاع آن به ترتیب، ۱۷۴۱ و ۲۲ متر از سطح دریاهای آزاد است. حدود ۶۰٪ مساحت حوضه شامل مناطق کوهستانی و ۴۰٪ بقیه را دشت، جلگه و کوهپایه تشکیل می‌دهند. در شکل (۱) موقعیت حوضه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه آورده شده است.

روش تحقیق

داده‌ها

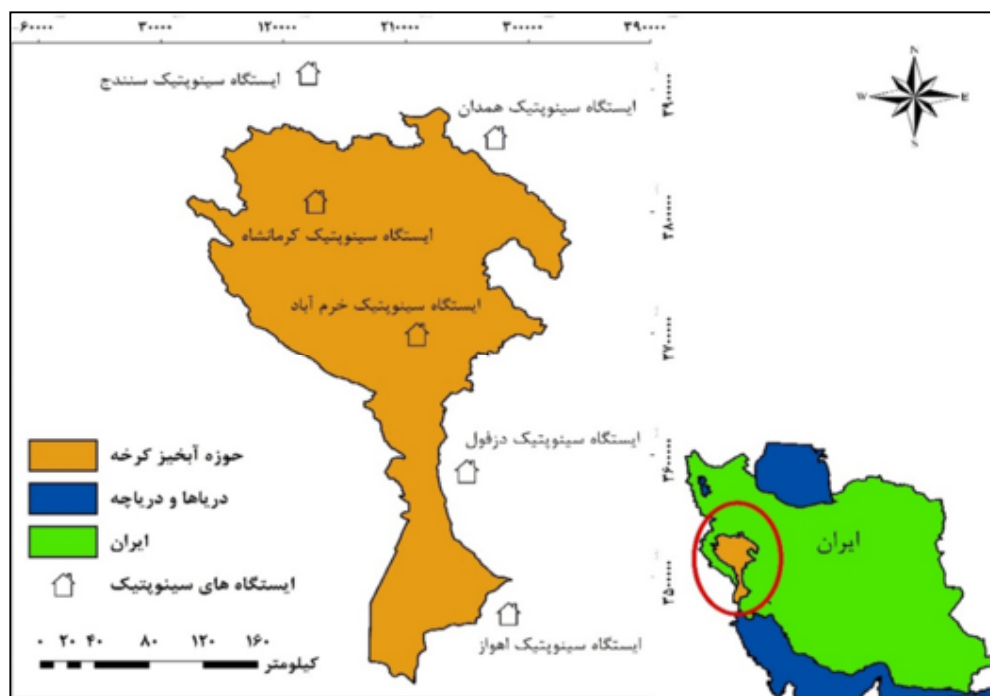
در این پژوهش، از داده‌های دما و بارش روزانه ۶ ایستگاه سینوپتیک در حوزه کرخه با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰) استفاده شد. کنترل کیفی و همگنی داده‌های این ایستگاه‌ها با استفاده از برنامه RH Test انجام شد. این برنامه در محیط برنامه‌نویسی R به وسیله بخش تحقیقات اقلیمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه یافته است. در جدول (۱) نام و مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده ارائه

نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران در دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳ پرداخته‌اند. طبق نتایج ایشان روندهای مثبت، منفی و حالت ایستا در نمایه‌ها مشاهده شده است. برای مثال در بعضی مناطق نظیر آذربایجان و فارس، روندها اکثراً منفی بوده‌اند (رحیم‌زاده و عسگری، ۲۰۰۴؛ عسگری و همکاران، ۲۰۰۷). روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران توسط برنا و جهان^۱ (۲۰۱۵) مورد بررسی بررسی قرار گرفت. نتایج کلی بیانگر افزایش میانگین دما، فراوانی نمایه‌های حدی گرمایش و کاهش نمایه‌های سرمایش و بارندگی بود. کلین تانک^۲ و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که درجه حرارت و بارش‌های حدی در مرکز و جنوب آسیا افزایش یافته است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روند دماهای حداکثر، کوچک‌تر از روند دماهای حداقل است (کلین تانک و همکاران، ۲۰۰۶؛ نانندی تنس^۳ و همکاران، ۲۰۰۷)، نیز در پژوهشی که بر روی روندهای بارندگی و دماهای حدی در اطراف دریاچه مونگولیا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که روزهای داغ و شب‌های گرم در حال افزایش و روزها و شب‌های سرد در حال کاهش هستند. رضوی و همکاران (۲۰۱۶) شاخص‌های حدی دما و بارش در ایستگاه همیلتون کشور کانادا را بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش روزهای یخبندان و یخی و افزایش تعداد روزهای گرم است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) به تغییرپذیری زمانی و مکانی فراوانی وقایع حدی دما در چین در طول دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۳ پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که روزهای گرم در مقایسه با روزهای سرد،

با دوره بازگشت کوتاه‌تر و فراوانی وقوع بیشتر رخ داده است. در این منطقه، بارش دارای روند کاهشی است. این تحقیق در حوزه آبخیز کرخه صورت گرفته که از لحاظ وسعت، سومین حوضه کشور محسوب می‌شود و از اقلیم آب‌وهوایی متنوعی نیز برخوردار است؛ بنابراین نیاز به بررسی دقیق‌تر و بیشتری در روند وقایع حدی دما و بارش منطقه است. از نوآوری‌های پژوهش حاضر اینکه اغلب

1. Brena and Jahan
2. Klein Tank
3. Nandintsetseg

شد.



شکل (۱): موقعیت حوزه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران

Figure (1): Location of the study area on Iran map

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوزه کرخه

Table (1): Specifications of synoptic stations in the Karkheh area

| ردیف | نام ایستگاه | سال تأسیس | طول جغرافیایی (E) | عرض جغرافیایی (N) | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|------|-------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| ۱ | اهواز | ۱۹۶۱ | ۴۴°۴۸'۴۰."۸۴ | ۲۰°۳۱'۳۹."۴۷ | ۲۲ |
| ۲ | دزفول | ۱۹۶۱ | ۲۳°۴۸'۳۲."۶۴ | ۳۳°۳۲'۲۳."۹۴ | ۱۴۳ |
| ۳ | همدان | ۱۹۷۶ | ۳۲°۴۸'۴۵."۳۶ | ۵۱°۳۴'۵۷."۳۲ | ۱۷۴۱ |
| ۴ | خرم‌آباد | ۱۹۶۱ | ۵۸°۴۷'۶."۸۸ | ۳۳°۳۳'۵۲."۸۴ | ۱۱۴۷ |
| ۵ | کرمانشاه | ۱۹۶۱ | ۷°۴۷'۲۸."۲۲ | ۲۱°۳۴'۲۴."۲۴ | ۱۳۱۸ |
| ۶ | سندج | ۱۹۶۱ | ۱°۴۷'۲۳."۲۲ | ۱۸°۳۵'۴."۹۴ | ۱۳۶۳ |

شاخص‌های حدی

برای دما و بارش، گروه CCI/CLIVAR از ۲۶ شاخص حدی استفاده کرد. این نمایه‌ها توسط تیم کارشناسی^۱ ETCCDM ارائه شده است. این ۲۶ شاخص که شامل ۱۶ شاخص دمایی و ۱۰ شاخص برای بارش هست با استفاده از بسته نرم‌افزاری R-Climdex، در محیط نرم‌افزار R نوشته

شد. خروجی‌های این شاخص‌ها، با استفاده از آزمون من‌کندال و سن (مان^۲، ۱۹۴۵؛ کندال^۳، ۱۹۴۸؛ سن^۴، ۱۹۶۸) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فهرست نمایه‌های حدی دما و بارش به کار گرفته شده در این تحقیق، همراه با علائم و تعاریف آن‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.

2. Maan
3. Kendall
4. Sen

1. ETCCDM: Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

جدول (۲): تعریف نمایه‌های حدی اقلیمی بارش توصیه‌شده توسط گروه کارشناسی CCI/CLIVAR
 Table (2): Definition of climatic limitations of rainfall advised by the CCI / CLIVAR Expert Group

| واحد | معرفی نمایه‌ها | نمایه‌ها | ردیف |
|-----------------|--|----------|------|
| میلی‌متر | بیشترین بارش ۱ روزه | Rx1day | ۱ |
| میلی‌متر | بیشترین بارش ۵ روزه | Rx5day | ۲ |
| میلی‌متر بر روز | شاخص ساده شدت روزانه | SDII | ۳ |
| روز | روزهای با بارش سنگین (بارش بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر) | R10mm | ۴ |
| روز | روزهای با بارش خیلی سنگین (بارش بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر) | R20mm | ۵ |
| روز | حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی (جمع بارش کمتر از ۱ میلی‌متر) | CDD | ۶ |
| روز | حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی (جمع بارش بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر) | CWD | ۷ |
| میلی‌متر | روزهای با جمع بارش بزرگ‌تر از نودوپنجمین صدک بارش روزانه (روزهای خیلی مرطوب) | R95p | ۸ |
| میلی‌متر | روزهای با جمع بارش بزرگ‌تر از نودونهمین صدک بارش روزانه (روزهای بسیار مرطوب) | R99p | ۹ |
| میلی‌متر | نسبت جمع بارش روزهای بسیار مرطوب به مجموع بارش | PRCPTOT | ۱۰ |

جدول (۳): تعریف نمایه‌های حدی اقلیمی دما توصیه‌شده توسط گروه کارشناسی CCI/CLIVAR
 Table (3): Definition of Temperature Limit Indicators Recommended by CCI / CLIVAR Expert Group

| واحد | معرفی نمایه‌ها | نمایه‌ها | ردیف |
|--------------------|---|----------|------|
| روز | تعداد روزهای یخبندان ($0\text{ C} < \text{دمای حداقل روزانه}$) (Number of Frost Days) | FD | ۱ |
| روز | تعداد روزهای تابستانی ($25\text{ C} > \text{دمای حداکثر روزانه}$) (Number of Summer days) | SU25 | ۲ |
| روز | تعداد روزهای یخی ($0\text{ C} < \text{دمای حداکثر روزانه}$) (Number of Ice Days) | ID | ۳ |
| روز | تعداد شب‌های حارهای ($20\text{ C} > \text{دمای حداقل روزانه}$) (Number of Tropical Night) | TR20 | ۴ |
| روز | طول فصل رویش (Growing Seson Length) | GSL | ۵ |
| $^{\circ}\text{C}$ | پیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Maximum Tmax) | TXx | ۶ |
| $^{\circ}\text{C}$ | کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Minimum Tmax) | TXn | ۷ |
| $^{\circ}\text{C}$ | پیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Maximum Tmin) | TNx | ۸ |
| $^{\circ}\text{C}$ | کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Minimum Tmin) | TNn | ۹ |
| روز | درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (شب‌های سرد) (CoolNights) | TN10P | ۱۰ |
| روز | درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (روزهای سرد) (Cool Dayes) | TX10P | ۱۱ |
| روز | درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (شب‌های گرم) (Warm Nights) | TN90P | ۱۲ |
| روز | درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد (روزهای گرم) (warm Days) | TX90P | ۱۳ |
| روز | تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آنها بیشتر از صدک نودم باشد (نمایه طول مدت سرما) (Cold Spell Duration Index) | WSDI | ۱۴ |
| روز | تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (نمایه طول مدت سرما) (Cold Spell Duration Index) | CSDI | ۱۵ |
| $^{\circ}\text{C}$ | دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (Diurnal Temperature Range) | DTR | ۱۶ |

شبکه پیش‌بینی اقلیم اروپا^۱ (ECSN)، پشتیبان بزرگ‌ترین دسته به شکل زیر دسته‌بندی شده‌اند (آلکساندر^۲ و همکاران، پروژه در ارزیابی اقلیمی اروپا در سال ۲۰۰۰ بوده که اغلب این

نمایه‌ها حدی را معرفی کرده است. نمایه‌های حدی در پنج الف. نمایه‌های حدی مبتنی بر صدک‌ها: این نمایه‌ها شامل شب‌های سرد (TN10p)، شب‌های گرم (TN90p)، روزهای

2. Alexander

1. ECSN European Climate Support Network

که در آن، n تعداد مشاهدات سری و X_k و X_j به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز برابر است با:

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

سپس آماره آزمون با استفاده از رابطه (۳) مشخص می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه فوق واریانس S برابر است با:

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

که در آن، m معرف تعداد سری‌های است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های بارزش یکسان است. آماره آزمون MK تقریباً از توزیع نرمال استاندارد تبعیت می‌کند. مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. اگر $|Z| > 1.960$ و $|Z| > 2.576$ در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد باشد، فرض صفر عدم روند رد می‌شود.

آزمون سن

این آزمون توسط سن (۱۹۶۸) ارائه و توسط هرش (۱۹۸۲) توسعه داده شد و از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. مزایای برشمرده شده برای آزمون من‌کندال برای این روش نیز صادق است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک یا به عبارت دیگر رد فرض صفر، دال بر وجود روند در سری زمانی داده‌هاست. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی به صورت رابطه (۶) است (سن، ۱۹۶۸).

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_k}{j - k} \right] \text{ for all } k < j \quad (6)$$

که در آن، $1 < k < j < n$ است. β میانه در میان مجموعه تمام جفت ترکیبات ممکن داده‌هاست.

سرد (TX10p) و روزهای گرم (TX90p) وابسته به داده‌های دوره نرمال ۱۹۸۰-۲۰۱۰ هستند. این نمایه‌ها بنا بر ماهیت نسبی و مقایسه‌ای خود، با داده‌های مشابه همان ایستگاه، از کارایی ویژه‌ای برخوردارند.

ب. نمایه‌های حدی مطلق: این نمایه‌ها شامل بالاترین و پایین‌ترین دماهای بیشینه و کمینه در یک سال، فصل یا ماه هستند و دربرگیرنده TXn، TNn، TXx و TNx از عنصر دما هستند.

ج. نمایه‌های حدی آستانه‌ای: این دسته شامل نمایه‌هایی است که با تعداد روزهایی که دما از یک آستانه ثابت عبور می‌کند، بیان می‌شود؛ برای مثال، می‌توان به تعداد سالانه روزهای یخبندان (FD)، تعداد سالانه روزهای یخی (ID)، تعداد سالانه روزهای تابستانی (SU) و تعداد سالانه شب‌های چاره‌ای (TR) اشاره کرد. این مقادیر آستانه‌ای عمدتاً در سطح جهانی تعریف شده‌اند ولیکن سازمان‌های ملی می‌توانند با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی منطقه‌شان، آستانه‌های دیگری را نیز تعریف کرده، از آن‌ها استفاده کنند (پیترسون و همکاران، ۲۰۰۲).

د. نمایه‌های حدی دوره‌ای: این نمایه‌ها شامل نمایه‌های طول مدت سرما (CSDI) و گرما (WSDI)، و طول دوره رویش (GSL) است که بیانگر دوره‌های خیلی گرم، خیلی سرد، خیلی مرطوب، خیلی خشک یا دوره رویش هستند.

ه. نمایه‌های دیگر: این دسته شامل نمایه‌هایی چون دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) و دامنه حدی دمای سالانه (TXx-TNn=ETR) است.

آزمون من - کندال

این آزمون متداول‌ترین روش ناپارامتری تحلیل روند است که ابتدا توسط مان ارائه شد و سپس توسط کندال توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است (مان، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۴۸؛ سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۶۶). برای محاسبه آماره این آزمون، ابتدا پارامتر S با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

بحث و نتیجه گیری

آمد. نتایج حاصل از آزمون Z من کندال در جدول های (۴) و (۵)

برای شاخص های حدی دما و بارش ارائه شده است.

پس از انجام کنترل کیفیت بر روی داده های روزانه وارد شده در

نرم افزار Rclimindex. شاخص های حدی برآورد شد. سپس با

استفاده از نرم افزار Matlab آزمون ناپارامتریک من کندال به دست

جدول (۴): نتایج آزمون من کندال شاخص های حدی دما طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

Table (4): Results of Mean-Kendall Minimum Temperature Indicators during the 30-year statistical period (1980-2010)

| آماره من کندال شاخص های حدی دما | | | | | | | | نام ایستگاه |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| SU25 | TR20 | ID | GSL | FD | DTR | WSDI | CSDI | |
| ۲/۲ | ۴/۶۵ | ۰ | -۰/۵۹ | -۰/۱۵ | -۲/۲۶ | ۰/۹۶ | -۲/۳۶ | اهواز |
| ۱/۸۱ | ۳/۴۶ | ۰ | -۰/۱۷ | -۰/۳۹ | -۱/۴۹ | -۰/۰۳ | -۵/۳ | دزفول |
| ۲/۷ | -۰/۳۲ | -۳/۶۷ | ۳/۳۳ | -۳/۹۷ | -۰/۲۵ | ۴/۳۶ | -۱/۹۷ | همدان |
| ۴/۵۷ | ۲/۲۹ | -۱/۲۴ | ۴/۳۵ | -۱/۰۸ | ۱/۹۳ | ۲/۶۲ | -۱/۸ | کرمانشاه |
| ۲/۵۸ | ۲/۸۸ | -۰/۲۴ | ۳/۰۷ | -۲/۲۴ | ۲/۹۷ | ۱/۸ | -۲/۶۶ | خرم آباد |
| ۳/۶۵ | ۳/۳۴ | -۰/۸۸ | ۳/۵۳ | -۳/۹ | -۱/۵۱ | ۲/۴۴ | -۳/۷ | سنندج |

| ادامه آماره من کندال شاخص های حدی دما | | | | | | | | نام ایستگاه |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------------|
| TXx | TXn | TX90P | TX10P | TNx | TNn | TN90P | TN10P | |
| -۰/۰۵ | -۲/۴۶ | ۳/۴۱ | -۴/۵۸ | ۲/۷۷ | ۱/۵۱ | ۴/۹۹ | -۵/۷۹ | اهواز |
| ۰/۱۳ | -۰/۶۲ | ۳/۱۹ | -۳/۰۹ | ۱/۸۵ | ۱/۱۷ | ۳/۸۴ | -۴/۷۹ | دزفول |
| ۱/۵۹ | ۰/۸۴ | ۳/۳۳ | -۴/۵ | ۰/۲۵ | ۰/۸۱ | ۴/۰۶ | -۴/۹۲ | همدان |
| ۳/۵۳ | ۱/۲۷ | ۵/۰۳ | ۰/۵۶ | ۰/۵۶ | ۱/۱۷ | ۳/۹۹ | -۴/۰۴ | کرمانشاه |
| ۱/۶۸ | -۰/۰۳ | ۳/۲۲ | -۲/۷۸ | ۲/۰۷ | ۲/۱ | ۳/۷۷ | -۴/۳۸ | خرم آباد |
| ۰/۵۶ | ۰/۵۶ | ۴/۱۸ | -۴/۳۱ | ۲/۰۳ | ۲/۰۲ | ۴/۵۷ | -۵/۱۶ | سنندج |

جدول (۵): آماره من کندال شاخص های حدی بارش حوزه آبخیز کرخه طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

Table (5): Man-Kendall statistics of Karkheh watersheds for the period of 30 years (1980-2010)

| آماره من کندال شاخص های حدی بارش حوزه آبخیز کرخه | | | | | | | | | | نام ایستگاه |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------------|
| PRCPTOT | R99p | R95p | CWD | CDD | R20mm | R10mm | SDII | Rx5day | Rx1day | |
| -۱/۷۳ | ۰/۰۵ | -۱/۶۸ | ۰/۰۶ | ۰/۴۷ | -۱/۲۷ | -۲/۳۹ | -۱/۳۵ | -۱/۱۸ | -۱/۱۸ | اهواز |
| -۱/۷۳ | ۰/۴ | -۰/۳۲ | -۱/۱۷ | ۰/۰۱ | -۱/۴۴ | -۱/۲۷ | ۰/۲۷ | -۰/۹۳ | ۰/۱۱ | دزفول |
| -۰/۹۱ | -۰/۲۳ | ۰/۷۳ | -۰/۸۱ | -۰/۶۱ | ۰/۶۶ | -۱/۳۷ | ۱/۰۳ | ۰/۲۵ | ۰/۲ | همدان |
| -۲/۵۸ | ۰ | ۰/۱۵ | -۲/۳۱ | -۰/۶۱ | -۰/۹۶ | -۲/۶۳ | -۰/۲۲ | -۰/۷۱ | ۰/۰۵ | کرمانشاه |
| -۱/۶۱ | ۰/۷۶ | -۰/۰۸ | -۱/۲۹ | -۰/۵ | -۰/۷۳ | -۱/۹۸ | ۰/۹۳ | ۰/۴۷ | ۰/۵۹ | خرم آباد |
| -۴/۰۹ | -۰/۸۶ | -۱/۱۳ | -۱/۶۴ | ۰/۴۵ | -۲/۳۱ | -۳/۶۸ | -۱/۳۷ | -۱/۴۲ | -۰/۸۳ | سنندج |

جدول (۶): آماره سن شاخص های حدی بارش حوزه آبخیز کرخه طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

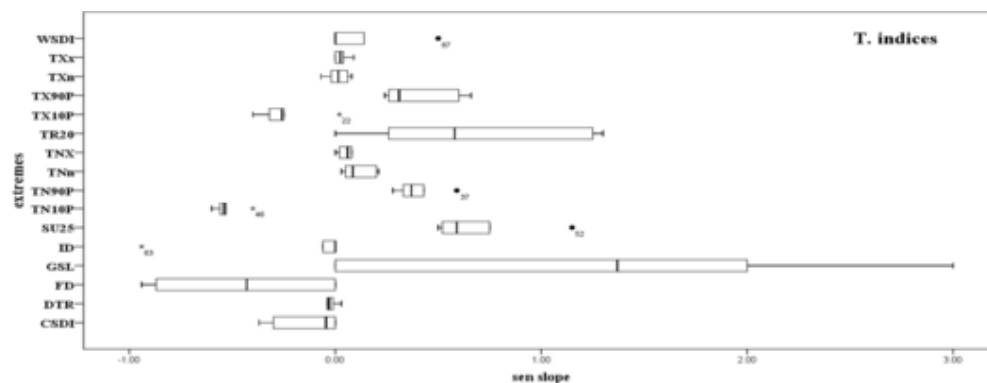
Table (6): Age Statistics of Karkheh Watershed Indicators during the 30-year statistical period (1980-2010)

| آماره سن شاخص های حدی بارش حوزه آبخیز کرخه | | | | | | | | | | نام ایستگاه |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------------|
| PRCPTOT | R99p | R95p | CWD | CDD | R20mm | R10mm | SDII | Rx5day | Rx1day | |
| -۳/۰۹ | ۰ | -۱/۳۶ | ۰ | ۰/۳۷ | -۰/۰۴ | -۰/۱۶ | -۰/۰۴ | -۰/۶ | -۰/۴۴ | اهواز |
| -۴/۹۴ | ۰ | -۰/۴۲ | ۰ | ۰ | -۰/۱ | -۰/۱۵ | ۰/۰۱ | -۰/۴۵ | ۰/۰۹ | دزفول |
| -۱/۶۷ | ۰ | ۰/۸۳ | ۰ | -۰/۵۴ | ۰ | -۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | همدان |
| -۵/۱۹ | ۰ | ۰/۱۴ | -۰/۰۴ | -۰/۴ | ۰ | -۰/۲۲ | -۰/۰۱ | -۰/۲۱ | ۰ | کرمانشاه |
| -۴/۱۱ | ۰ | -۰/۱۱ | ۰ | -۰/۴۴ | -۰/۰۴ | -۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۰/۱۹ | ۰/۱۲ | خرم آباد |
| -۸/۶۴ | ۰ | -۱/۲۶ | ۰ | ۰/۵ | -۰/۱ | -۰/۳۶ | -۰/۰۳ | -۰/۵۵ | -۰/۲۸ | سنندج |

جدول (۷): آماره سن شاخص های حدی دما حوزه آبخیز کرخه طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)
 Table (7): Age statistics of Karkheh watershed indexes over the 30-year statistical period (1980-2010)

| آماره سن شاخص های حدی دما | | | | | | | | نام ایستگاه |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| SU25 | TR20 | ID | GSL | FD | DTR | WSDI | CSDI | |
| ۰/۶۶ | ۱/۲۵ | ۰ | ۰ | ۰ | -۰/۰۴ | ۰ | -۰/۰۹ | اهواز |
| ۰/۵ | ۱/۳ | ۰ | ۰ | ۰ | -۰/۰۳ | ۰ | -۰/۳۷ | دزفول |
| ۰/۵۲ | ۰ | -۰/۹۴ | ۱/۱۷ | -۰/۸۷ | -۰/۰۱ | ۰/۵ | ۰ | همدان |
| ۱/۱۵ | ۰/۲۶ | ۰ | ۳ | -۰/۲ | ۰/۰۳ | ۰/۱۴ | ۰ | کرمانشاه |
| ۰/۵۲ | ۰/۶۶ | ۰ | ۲ | -۰/۶۶ | -۰/۰۴ | ۰ | ۰ | خرم آباد |
| ۰/۷۵ | ۰/۵ | -۰/۰۶ | ۱/۵۷ | -۰/۹۴ | -۰/۰۳ | ۰ | -۰/۳ | سنندج |
| آماره سن شاخص های حدی دما | | | | | | | | نام ایستگاه |
| TXx | TXn | TX90P | TX10P | TNx | TNn | TN90P | TN10P | |
| ۰ | -۰/۰۷ | ۰/۲۶ | -۰/۴ | ۰/۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۵۹ | -۰/۵۳ | اهواز |
| ۰ | -۰/۰۲ | ۰/۲۴ | -۰/۳۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۴۳ | -۰/۵۴ | دزفول |
| ۰/۰۴ | ۰/۰۸ | ۰/۲۹ | -۰/۲۵ | ۰ | ۰/۲۱ | ۰/۲۸ | -۰/۶ | همدان |
| ۰/۰۹ | ۰/۰۶ | ۰/۶۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۰/۳۶ | -۰/۴ | کرمانشاه |
| ۰/۰۲ | ۰ | ۰/۳۳ | -۰/۲۵ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۳۸ | -۰/۵۴ | خرم آباد |
| ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۶ | -۰/۲۷ | ۰/۰۴ | ۰/۲ | ۰/۳۳ | -۰/۵۶ | سنندج |

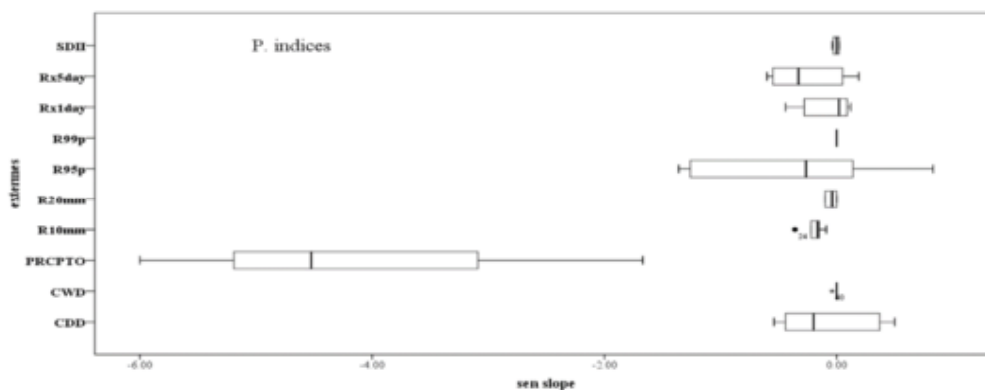
شکل (۲) نمودار مربوط به شیب سن شاخص دما را نمایش می دهد. همان طور که مشاهده می شود، بیشترین مقدار مربوط به شاخص طول فصل رویش GSL (۱/۲۹ روز) و به دنبال آن تعداد شب های حاره ای TR20 (۰/۶۶ روز) و تعداد روزهای یخبندان FD (-۰/۴۴ روز) روی داده است. و کمترین شاخص ها طول مدت سرما CSDI و به دنبال آن کمینه سالانه دمای حداکثر روزانه TXn به ترتیب به مقدار ۰/۰۹ و -۰/۰۷ می باشد. شاخص های GSL، TR20 و FD دارای بیشترین تغییرات در سطح حوزه آبخیز بوده اند.



شکل (۲): نمودار باکس پلات شیب سن شاخص های دما

Figure (2): Box chart plotting the temperature indices

شکل (۳) نمودار مربوط به شیب سن شاخص های بارش را نمایش می دهد. همان طور که از شکل مشاهده می شود، بیشترین مقدار مربوط به شاخص نسبت جمع بارش روزهای بسیار مرطوب به مجموع بارش PRCPTOT و به دنبال آن روزهای خیلی مرطوب R95p به ترتیب (-۰/۳۶، -۴/۱۶ میلی متر) روی داده است. کمترین شاخص ها مربوط به حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی CWD (صفر روز)، روزهای بسیار مرطوب R99p (صفر میلی متر) و شاخص ساده شدت روزانه SDII (-۰/۰۰۵ میلی متر بر روز) است. شاخص های PRCPTOT و R95p دارای بیشترین تغییرات در سطح حوزه آبخیز بوده اند.



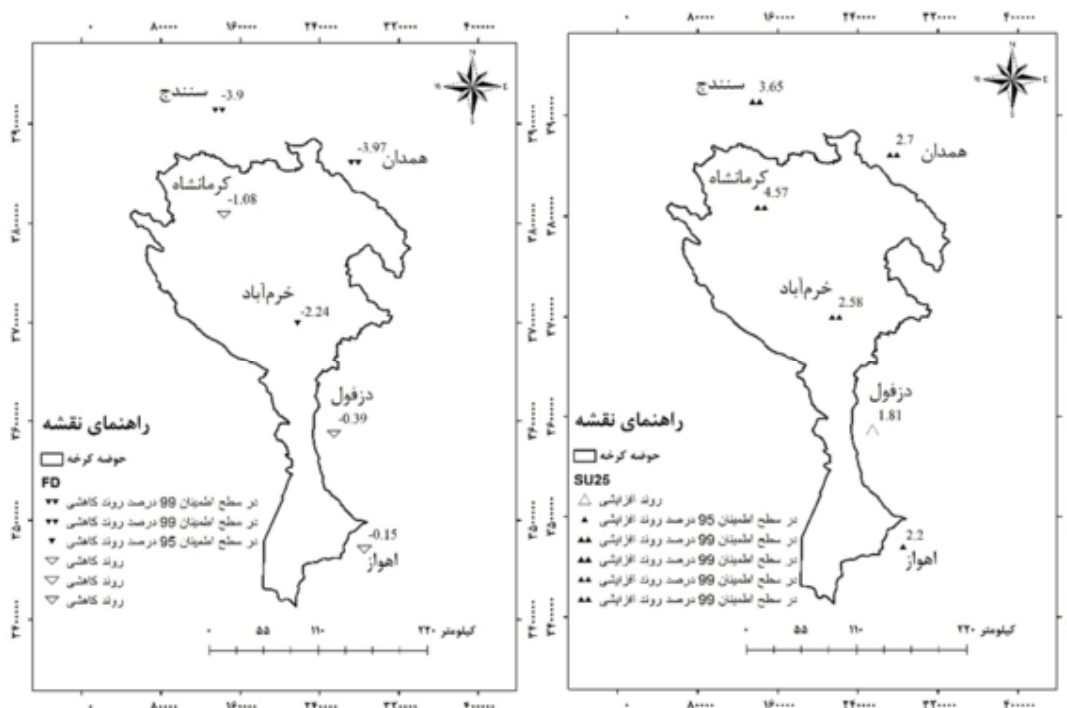
شکل (۳): نمودار باکس پلات شیب سن شاخص های بارش

Figure (3): Box plot plot of the slope of the precipitation indexes

شاخص های دمای حدی

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۴)، نمایه روزهای تابستانی (SU25) در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است. در ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج و خرم‌آباد، این شرایط در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده شد (شکل ۴ Z من کندانال SU25). تعداد روزهای یخبندان (FD) در همه ایستگاه‌های حوزه روند کاهشی

داشته و این روند کاهشی در ایستگاه‌های همدان، خرم‌آباد و سنندج در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده شد (شکل ۴). صورتی که تعداد روزهای یخی (ID) در ایستگاه‌های اهواز و دزفول صفر بوده و حتی یک روز یخی هم در ایستگاه‌های اهواز و دزفول مشاهده نشده است. ولی در ایستگاه همدان در سطح اطمینان ۹۹٪ روند کاهشی مشاهده شد.



شکل (۴): آماره Z من کندانال شاخص های FD و SU25 در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

Figure (4): Man-Kendall Z statistic FD and SU25 indices at synoptic stations studied during the 30-year statistical period (1980-2010)

تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، سنندج و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۹٪ و ایستگاه کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۵٪ روند افزایشی را نمایش دادند، درحالی‌که در ایستگاه همدان روند کاهشی ولی معنی‌دار

نیست. در نمایه طول دورهٔ رویش (GSL) دوسوم ایستگاه‌ها شامل کرمانشاه، سنندج، خرم‌آباد و همدان روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده شد در حالی که در ایستگاه‌های اهواز و دزفول روند کاهش‌ی ولی بدون معنی‌داری مشاهده شد. در بیشینهٔ سالانه دمای حداکثر روزانه (TXx) به‌جز ایستگاه اهواز که روند کاهش‌ی بدون معنی‌داری مشاهده شد، سایر ایستگاه روند افزایشی و معنی‌دار است. همچنین کمینهٔ سالانهٔ دمای حداکثر روزانه (TXn) در ایستگاه اهواز در سطح اطمینان ۹۵٪ روند کاهش‌ی مشاهده شد، در ایستگاه‌های دزفول و خرم‌آباد روند کاهش‌ی ولی بدون معنی‌داری است. بیشینهٔ سالانهٔ دمای حداقل روزانه (TNx) در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی و در ایستگاه اهواز در سطح اطمینان ۹۹٪، ایستگاه‌های خرم‌آباد و سنندج در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بودند. کمینهٔ سالانهٔ دمای حداقل روزانه (TNn) در تمام ایستگاه‌ها روند افزایشی وجود داشت، ولی فقط در ایستگاه‌های خرم‌آباد و سنندج در سطح اطمینان ۹۵٪ روند افزایشی معنی‌داری مشاهده شد. شب‌های سرد (TN10p) در تمامی ایستگاه‌ها اهواز، سنندج، همدان، دزفول، خرم‌آباد و کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹٪ روند کاهش‌ی معنی‌داری مشاهده شد. روزهای سرد (TX10p) به‌جز ایستگاه کرمانشاه که روند افزایشی داشت، در سایر ایستگاه‌ها شامل اهواز، همدان، سنندج، دزفول و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۹٪ دارای روند کاهش‌ی معنی‌داری است.

شب‌های گرم (TN90p) در تمام ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ روند افزایشی مشاهده شد. روزهای گرم (TX90p) در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی در سطح معنی‌داری ۹۹٪ وجود داشت. نمایهٔ طول مدت گرما (WSDI) در ایستگاه‌های همدان و کرمانشاه در سطح اطمینان معنی‌داری ۹۹٪، ایستگاه سنندج در سطح اطمینان ۹۵٪ روند افزایشی را نشان دادند و در سایر ایستگاه‌ها روند خاصی مشاهده نشد. نمایهٔ طول دورهٔ سرما (CSDI) در ایستگاه‌های سنندج، دزفول و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۹٪، ایستگاه اهواز و همدان در سطح اطمینان ۹۵٪ روند کاهش‌ی معنی‌داری مشاهده شد. دامنهٔ تغییرات دمای روزانه (DTR) در اکثر ایستگاه‌های سطح

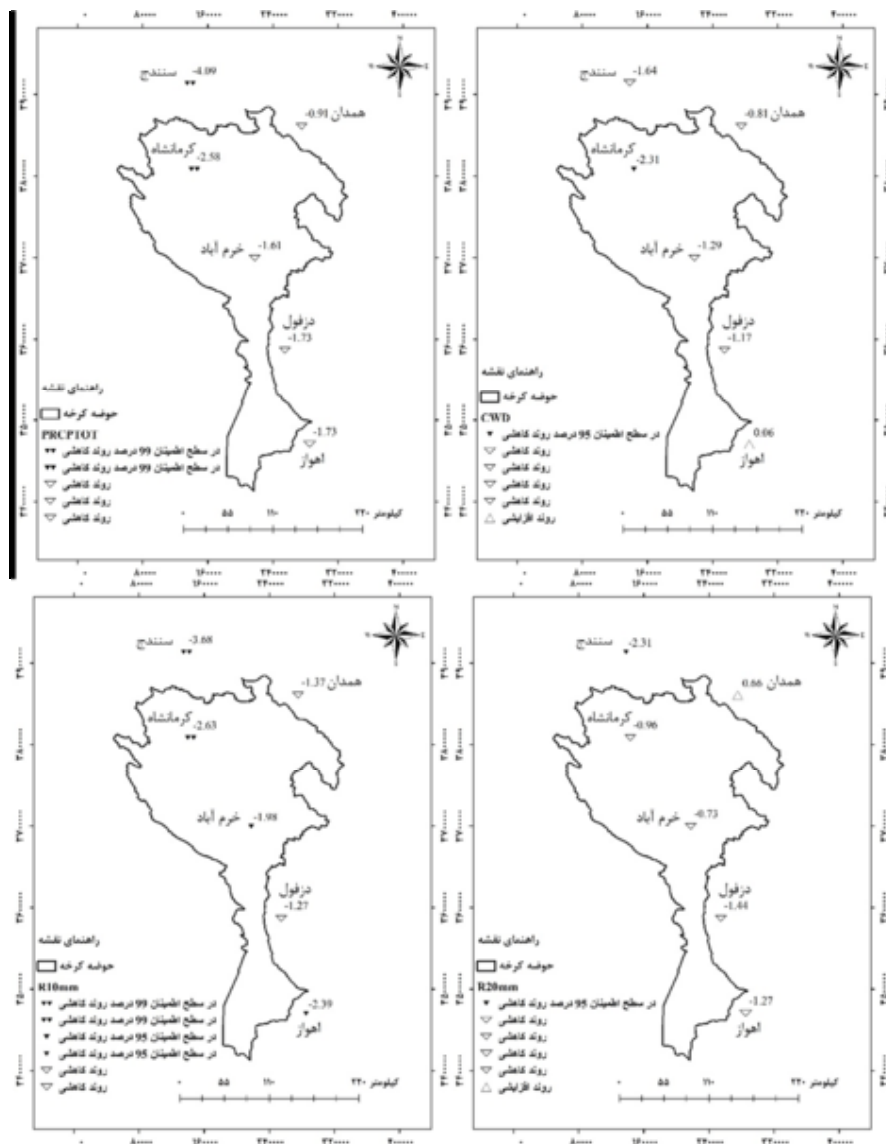
حوزه، منفی است. در ایستگاه اهواز در سطح اطمینان ۹۵٪ روند کاهش‌ی معنی‌دار مشاهده شد. همچنین در ایستگاه خرم‌آباد روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود دارد.

شاخص‌های حدی بارش

شاخص‌های بارش طراحی شده، الگوهای متفاوتی از شدت، مدت و فراوانی بارش را ارائه می‌دهند. شاخص مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) نشان می‌دهد که در ایستگاه‌ها و سال‌های مختلف، بارش دارای نوسان بوده و از سالی به سالی دیگر متفاوت است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، در تمام ایستگاه‌ها این شاخص روند منفی داشته و میزان کاهش بارش در منطقه محسوس است. ایستگاه‌های کرمانشاه و سنندج در سطح اطمینان ۹۹٪ و به‌ترتیب با میزان ۵/۱۹- و ۸/۶۴-، دارای روند کاهش‌ی است. در دیگر شاخص‌های بارشی، سایر ایستگاه‌ها عموماً دارای شرایط کاهش‌ی اما بدون روند هستند (جدول ۵).

حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی، جمع بارش بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر (CWD) در تمام ایستگاه مورد مطالعه فاقد روند معنی‌دار بود به‌جز ایستگاه کرمانشاه که در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای روند کاهش‌ی بود. در بررسی شاخص حداکثر بارش ۱ روزه (Rx1day) و حداکثر بارش ۵ روزه متوالی (Rx5day)، تمام ایستگاه‌ها بدون روند معنی‌دار بوده‌اند. روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm)، در ایستگاه‌های سنندج و کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹٪ روند کاهش‌ی با شیب روند به‌ترتیب ۳۶- و ۲۲- است؛ در حالی که ایستگاه‌های اهواز و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای روند منفی معنی‌داری با شیب روند به‌ترتیب ۱۶- و ۱۷- میلی‌متر هستند. روند شاخص روزهای با بارش خیلی سنگین، مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر (R20mm)، در ایستگاه سنندج در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای روند کاهش‌ی با شیب روند ۱- روز پیروی می‌کند و در سایر ایستگاه روند منفی ولی معنی‌دار مشاهده نشده است. در بررسی شاخص روزهای خیلی تر، هنگامی که بارندگی کل سالانه بیشتر از صدک نودوپنجم باشد (R95p) و روند شاخص تعداد روزهای با بارش از صدک

نودونهم (R99p)، در تمامی ایستگاه‌های حوزه روند معنی‌داری مشاهده نشد. شاخص‌های روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر باشد، در تمامی ایستگاه‌های حوزه روند معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل (۵): شاخص‌های حدی بارش، شاخص مقدار بارش در روزهای تر (PRCPTOT)، بیشترین تعداد روزهای تر متوالی (CWD)، روزهای با بارش سنگین (R10mm)، روزهای با بارش خیلی سنگین (R20mm) طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)
 Figure (5): Precipitation indices, PRCPTOT, CWD, heavy rain days (R10mm), days with very heavy rainfall (R20mm) during the 30-year period (1980-2010)

نتیجه‌گیری

روندهای یخبندان و روزهای یخی است. گرچه بیشتر نتایج به‌دست‌آمده، همسو با نتایج هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC 2001; IPCC 2007) و سایر مطالعات جهانی و ملی است (محمدی و تقوی، ۲۰۰۷؛ رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱؛ ظهراپی و همکاران، ۲۰۱۶). اما نمی‌توان الگوی کاملاً یکنواخت برای تغییرات این نمایه‌ها در کل حوضه ارائه کرد.

بررسی روند نمایه‌های حدی دما در حوزه آبخیز کرخه در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۰ حاکی از افزایش فراوانی رویدادهای گرم، نظیر روزها و شب‌های گرم و طول دوره رویش، کاهش فراوانی رویدادهای سرد، نظیر روزها و شب‌های سرد،

قابل ارائه نیست. نتایج حاصل بیانگر آن است که حدهای دمایی نشان‌دهنده افزایش دما دارای روند مثبت بوده و حدهای بارشی نشان‌دهنده شرایط بارش دارای روند منفی است که مطابق با نتایج وای و همکاران (۲۰۱۷) و مقصود و همکاران (۲۰۱۹) است. با توجه به تأثیر مقدار و تغییرات نمایه حدی بارش در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بشر، مانند انرژی، کشاورزی، محیط زیست، مدیریت منابع آب و طراحی ساختمان ضرورت دارد که تأثیرات این رویدادهای حدی اقلیمی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد.

با صراحت می‌توان بیان کرد که مقادیر و رویدادهای حدی مرتبط با دمای حداقل، در مقایسه با دمای حداکثر تغییرات بیشتری پیدا کرده‌اند. در بررسی شاخص‌های بارش، در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، شرایط کاهش و منفی مشاهده می‌شود. اگرچه تعداد کمی روند معنی‌دار در طول دوره مطالعه مشاهده شد. مقایسه پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین سال‌ها نشان می‌دهد که دامنه نوسانات بارش، از سالی به سال دیگر بسیار زیاد و توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. در مجموع به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها، الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و یکنواختی

منابع

- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F. and Tagipour, A., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
- Asgari, A., Rahimzadeh, F., Mohammadi, N., Fattahi A. 2007. Analysis of Trend Indexes in Iran, *Iranian Water Resources Research*, (3) 3, pp. 55-42. (in Persian)
- Brena, R., Jahan, g., 2015. Study of Changes in Temperature and Occurrence Indicators of Southwest of Iran in Bushehr Province, *Natural Geographic Quarterly*, Eighth, No. 28, pp. 43-64. (in Persian)
- Coumou, D., Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature climate change*. 2(7): 491-496.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta P. M., Gleason, B., Haylock M, Tank, A. K., Peterson, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*. 2002; 19(3): 193-212.
- Groisman, P. Y., Karl, T. R., Easterling, D. R., Knight, R. W., Jamason, P. F., Hennessy, K. J., ... & Razuvaev, V. N., 1999. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change. In *Weather and Climate Extremes* (pp. 243-283). Springer, Dordrecht.
- Iwashima, T., Yamamoto, R., NOTES AND CORRESPONDENCE: A Statistical Analysis of the Extreme Events: Long-Term Trend of Heavy Daily Precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 1993. Ser. II, 71(5):637-640.
- Karl, T. R., Nicholls, N., Ghazi, A., 1999. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. In *Weather and Climate Extremes*, 3-7.
- Katz, R. W., Brown, B. G., 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic change*. 21(3): 289-302.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., 2000. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *Journal of Climate*. 13(21), 3760-3788.
- Kendall, M.G., 1948. Rank correlation methods.
- Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. C., Quadir, D. A., Dorji, S., Zou, X., Tang, H., 2006. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 111(D16).
- Kunkel, K. E., and sager, K., Easterling, D. R., 2000. Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada. *Journal of climate*. 12(8):2515-2527.
- Kunkel, K. E., Andsager, K., Easterling, D. R., 1999. Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada. *Journal of climate*. 12(8): 2515-2527.
- Maghsood, F, F. Moradi, H,R. Massah Bavani, A,R. Panahi, M. Berndtsson, R. Hashemi, H. 2019. Climate Change Impact on Flood Frequency and Source Area in Northern Iran under CMIP5 Scenarios. *Water Journal* (2019), 11 (273), 1 - 22.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.245-259.
- Meehl, G. A., Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*. 305(5686): 994-997.
- Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., Whetton, P., 2000. Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81(3): 427-436.
- Mohammadi, H., Taqvoui, F., 2005. Trend of

- Temperature and Precipitation Indicators in Tehran, Geography Research, 37 (53), pp. 151-172. (in Persian).
20. Nandintsetseg, B., Greene, J. S., Goulden, C. E., 2007. Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hövsgöl, Mongolia. *International Journal of Climatology*. 27(3): 341-347.
 21. Peterson, T. C., Taylor, M. A., Demeritte, R., Duncombe, D. L., Burton, S., Thompson, F., 2002. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 107(21):1-16.
 23. Rahimzadeh, F., Asgari, A., 2004. Attitude towards the difference between the rate of increase of minimum and maximum temperature and the decrease of the temperature range of the day in the country. *Geographic Survey: Summer*, Volume 19, Issue 2 (Series 73); From page 155 to page 171. (in Persian).
 24. Rahimzadeh, F., Hedayati, D. A., Pour Esghriyan, A., 2011. Evaluation of trend and mutation of temperature and precipitation indexes in Hormozgan province. *Geography and Development: Spring*, Volume 9, Issue 21; From page 97 to page 116. (in Persian).
 25. Razavi, T., Switzman, H., Arain, A., Coulibaly, P., 2016. Regional climate change trends and uncertainty analysis using extreme indices: A case study of Hamilton, Canada. *Climate Risk Management*. 13: 43-63. (in Persian).
 26. Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63(324): 1379-1389.
 27. WMO. (1966). *Climatic Change*, WMO Technical Note No. 79, 79 pp.
 28. Wei, W., Shi, Z., Yang, X., Wei, Z., Liu, Y., Zhang, Z., Ge, G., Zhang, X., Guo, H., Zhang, K. and Wang, B., 2017. Recent Trends of Extreme Precipitation and Their Teleconnection with Atmospheric Circulation in the Beijing-Tianjin Sand Source Region, China, 1960–2014. *Atmosphere*, 8(5), p.83.
 29. Zahrabi, N., Masahi Bayani, A., Goodarzi, A., and Heidarnajad, M., 2016. The Relationship of Climate Change to Inner Climate Fluctuations and Greenhouse Gas Increases (Case Study: Karkheh Basin). *Journal of Water and Soil Sciences - Agricultural Science and Techniques*, Volume 20, Number 77, pp. 57-45. (in persain).
 30. Zhang, Y., Gao, Z., Pan, Z., Li, D., Huang, X., 2017. Spatiotemporal variability of extreme temperature frequency and amplitude in China. *Atmospheric Research*; 185: 131-141.
 31. Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F.W. and Kenyon, J., 2005. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *Journal of Climate*, 18(11), pp.1641-1651.
 32. Zwiers, F., W, Kharin, V. V., 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2 doubling. *Journal of Climate*. 11(9): 2200-2222.

Investigating Spatial and Temporal Trends of Temperature and Precipitation Extremes in Karkheh Watershed

Hamid Rahimiani Iranshahi¹, Hamid Reza Moradi^{2*}, Jalil Khalili³

Received: 07/10/2017

Accepted: 31/07/2021

Extended Abstract

Introduction: Changes in the climate system's components, and in particular the severity and frequency of extreme events, are more effective on society and the natural environment than changes in climate averages. Therefore, it is important to examine the variability of limit indices. To this end, this study used the temperature and precipitation data collected from six meteorological stations in Ahvaz, Khorramabad, Dezful, Kermanshah, Hamedan, and Sanandaj Karkheh synoptic basins to investigate the spatial and temporal trends of temperature and precipitation

1. M.Sc. student, Department of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Imam Reza Blvd

2. Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Imam Reza Blvd; hrmoradi@modares.ac.ir

3. Assistant Professor, Member of Jihad University, Kermanshah

DOI: 10.22052/deej.2021.10.32.1

limit values, which were then measured using R-climdex software. Moreover, the trends of all ten precipitation indices and sixteen temperature indices were determined individually via the Mann-Kendall test. The study's results indicated that the trend of precipitation indices was decreasing in most of the watershed stations, leading to a significant decrease in the trend of precipitation indices on wet, heavy, and very heavy precipitation days, and consecutive wet and/or dry days. The results also suggested that temperature indices such as frost days, ice days, cold days, cold nights, and the range of daytime temperature variations revealed negative trends at most stations at 95% and 99% confidence levels. Furthermore, increasing trends were found for the indices of summer days, hot days, and hot nights at all stations studied at the catchment level.

Materials and Methods: This study used the data collected from six Karkheh watershed's synoptic stations, including Kermanshah, Khoramabad, Sanandaj, Hamedan, Dezful, and Ahvaz to study the spatial and temporal trends of temperature and rainfall in terms of maximum temperature, minimum temperature, and rainfall at a daily scale during a thirty-year period (1980-2010). It should be noted that the data such as quality control and their homogeneity was pre-processed using the RH Test program. Then, the data was converted to the R-climdex model format to identify extreme indices.

The output of the model was used to determine the trend analysis using MATLAB2014 software, the Mann-Kendall test, and Sen's slope. It is worth mentioning that the output included ten precipitation extreme indices, including maximum 1-day precipitation amount, maximum 5-day precipitation amount, simple daily intensity index, the number of heavy precipitation days (over 10 mm), the number of very heavy precipitation days (greater than or equal to 10 mm), the maximum number of consecutive dry days (sum of precipitation less than 1 mm), the maximum number of consecutive wet days (the sum of precipitation rate is greater than or equal to 10 mm), days with a total precipitation rate of more than 95 percentile of rainy days (very wet days), days with precipitation rate greater than the 99th percentile of rainy days (very wet days), the ratio of precipitation to very wet days to the sum of rainfall rate. The output also included sixteen temperature indices including the number of below-freezing days, the number of summer days, the number of ice days, the number of increasing tropical nights, season length, the monthly maximum value of daily maximum temperature, the monthly minimum value of daily maximum temperature, the monthly maximum value of daily minimum temperature, the monthly minimum value of daily minimum temperature, cold nights, percentage of cold days, warm nights, warm days, heatwave duration index, cold wave duration index, and diurnal temperature range.

Results: The results suggested a decreasing trend for precipitation indices in most of the studied stations. Accordingly, there found a significant decrease at a 99% confidence level for precipitation indices, including the number of consecutive wet and/or days and heavy and very heavy precipitation days at Kermanshah and Sanandaj stations, respectively. Moreover, the results indicated negative trends for extreme indices such as the number of below-freezing days in Khorramabad, Hamedan, and Sanandaj, cold days, and cold nights at Ahvaz, Sanandaj, and Hamedan, ice days at Hamedan and Kermanshah, and diurnal temperature range at Ahvaz and Sanandaj stations. Also, increasing trends were found for summer days, warm days, and warm nights in all the stations located at the watershed.

Discussion and conclusion: The investigation of the trend of temperature indices in the Karkheh watershed during the period of 1980-2010 indicated an increase in the frequency of warm events, such as warm days and nights and growing season length, and a decrease in the frequency of cold events, such as cold days and nights, and the number of below-freezing and ice days. However, while most of the obtained results were consistent with the results found by the Intergovernmental Panel and other national and international studies, a completely unified pattern cannot be made for changing the indices across the basin. On the other hand, it can explicitly be stated that the minimum quantities of the minimum temperatures changed more than those of the maximum temperature rates. Moreover, the analysis of the precipitation indices revealed a decreasing and negative trend in all the studied stations.

Furthermore, the comparison of the rainiest and the least rainy years showed that the range of precipitation fluctuations varied greatly from year to year and that the precipitation distribution was different at different stations. Therefore, considering large dispersion and low precipitation in most stations, a uniformed regional pattern cannot be offered for precipitation. The results also indicated that the temperature points increased with a positive trend and that the precipitation peaks represented a negative precipitation trend.

Keywords: Climate change, Temperature, Karkheh watershed, Trend, extreme indices.