

بررسی تغییرات روند خشکسالی و عوامل اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان

هادی درودی^{۱*}، معصومه شهابی^۲، محمد خسروشاهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۲۰۲۱/۶/۲۹

چکیده

در دهه‌های اخیر، وقوع خشکسالی به‌عنوان یک پدیده طبیعی مبدل به بلای طبیعی با همه اثرات وابسته به آن شده است که در سراسر ایران اتفاق می‌افتد. در این پژوهش به بررسی رفتار وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه با استفاده از شاخص مبتنی بر بارش-تبخیر و تعرق (SPEI) در استان سیستان و بلوچستان و برای ۱۱ ایستگاه طی دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ پرداخته شد. محاسبات برآورد این شاخص با استفاده از پیوست تدوین شده SPEI در نرم‌افزار R انجام گرفت. به‌منظور تعیین روند عوامل اقلیمی مقادیر آزمون ناپارامتری من‌کندال در سری‌زمانی سالانه بارندگی، دمای میانگین و شاخص SPEI در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه در دوره آماری محاسبه شد. برای تحلیل ترسیمی روند خشکسالی کوتاه‌مدت ایستگاه‌ها از مدل گرافیکی آزمون من‌کندال نیز استفاده شد. نتایج بیانگر روند خاصی در میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌ها نبود، اما سری‌زمانی میانگین دمای سالانه، در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ دارای روند افزایشی معنی‌دار بودند. مقادیر شاخص SPEI نیز در بیشتر ایستگاه‌ها روند منفی و معنی‌دار نشان داد. شناسایی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار ضروری است. به‌طور کلی برای روند کاهش بارندگی و افزایش دما در استان، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای به‌عنوان یک راهکار مناسب باید مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، روند، سیستان و بلوچستان، من‌کندال، SPEI.

۱. استادیار پژوهش بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان (ایران‌شهر)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، hadi_f79@yahoo.com
 ۲. کارشناس بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان (ایران‌شهر)
 ۳. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- * این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان است.

مقدمه

در دهه‌های اخیر از میان حوادث طبیعی، فراوانی خشکسالی بیش از سایر حوادث، زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است (بری ابرقویی و همکاران، ۲۰۰۳). ویژگی‌های خشکسالی‌هایی که در ایران اتفاق افتاده نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده است. ضمن اینکه بخش‌های جنوبی، شرقی و مرکزی کشور به‌علت تغییرات بیشتر در میزان بارندگی آسیب‌زیادتری می‌بینند (انصافی مقدم، ۲۰۰۷). یکی از تعاریف جامع و کامل را پالمر^۱ (۱۹۶۶) ارائه کرده است. به‌نظر وی، خشکسالی عبارت است از کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت. واژه مستمر به استمرار حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی نسبت به میانگین اطلاق می‌شود (پالمر، ۱۹۶۵) در هیچ منطقه و شرایطی امکان جلوگیری از وقوع خشکسالی وجود ندارد، ولی برای مقابله و کاهش اثرات آن می‌توان اقداماتی انجام داد؛ به‌عبارتی، با برنامه‌ریزی صحیح و همه‌جانبه امکان مقابله با آن، به‌خصوص برای مناطق و شرایطی که امکان تداوم خشکسالی و بروز شرایط سخت زندگی تا حدودی قابل پیش‌بینی است، وجود دارد (کردوانی، ۲۰۰۱). خسارت‌های خشکسالی عمدتاً به‌صورت افت آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش منابع آب کشاورزی و شرب، افت تولید محصولات زراعی به‌ویژه دیم، کاهش تولید مراتع، بروز آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی، افزایش مهاجرت و در نهایت اثرات منفی زیست‌محیطی ظاهر می‌شود که در نهایت توسعه پایدار منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متأسفانه زمانی که خشکسالی پرداخته می‌شود که این پدیده به وقوع پیوسته باشد. در چنین اوضاعی، به‌طور کاملاً منفعلانه مجبور می‌شوند تا اقدامات کوتاه‌مدت، پرهزینه و کم‌اثر را برای رفع بحران اجرایی کنند (انصافی مقدم، ۲۰۰۷) بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه خشکسالی، مشخص شده که بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم خشکسالی دارند و

عامل کلیدی در آغاز، شدت و خاتمه خشکسالی بارش است (چنگ و کلتوپا^۲، ۱۹۹۸؛ هیم^۳، ۲۰۰۲؛ سلطانی و سعادت، ۲۰۰۷؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶) از دسترس خارج شدن حدود ۸۰٪ بارش از طریق تبخیر و تعرق (آبراموپولس^۴ و همکاران، ۱۹۹۸) بر اهمیت دیگر متغیرها از جمله دما و تبخیر و تعرق در تعیین خشکسالی تأکید دارد. شاخص خشکسالی استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI) که توسط ویسنته‌سرانو^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۹ عرضه شد، به‌عنوان شاخصی مناسب در تعیین خشکسالی هواشناسی، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. در این شاخص متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) دخالت دارند. از جمله مطالعاتی که با استفاده از شاخص SPEI به بررسی خشکسالی پرداخته‌اند، می‌توان به مطالعه پتتاب و مزنی^۶ (۲۰۱۱) در جمهوری چک و همچنین تیریوارمبو^۷ و همکاران (۲۰۱۸) در جنوب زامبیا اشاره کرد. این محققان به توانایی شاخص SPEI در تشخیص شدت خشکسالی تأکید کردند. ژائو^۸ و همکاران (۲۰۱۷) شاخص PDSI را برای پایش دوره‌های میان‌مدت و شاخص SPEI را برای پایش خشکسالی در دوره‌های کوتاه و بلندمدت مناسب‌تر دانستند. مطالعاتی نیز در داخل کشور روی شاخص‌ها انجام گرفته که می‌توان به پژوهش‌های ذبیحی و همکاران (۲۰۱۶)، مصطفی‌زاده و ذبیحی (۲۰۱۶) و قربانی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد که بر اساس نتایج ایشان نیز کارایی و صحت شاخص SPEI محرز شده است. تحلیل روند و خصوصیات خشکسالی توسط مرادی و همکاران (۲۰۰۷)، زارع‌ایبانه و همکاران (۲۰۱۰)، ملک‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) انجام گرفت که ایشان از روش‌های روندیابی مدل رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری من‌کندال استفاده کردند. اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی فاکتورهای اقلیمی مانند بارندگی و دما به‌تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطعی بر وقوع تغییر اقلیم در

2. Chang and Cleopa
3. Heim
4. Abramopoulos
4. Vicente-Serrano
5. Potop and Mozny
6. Tirivarombo
7. Zhao
8. Serrano

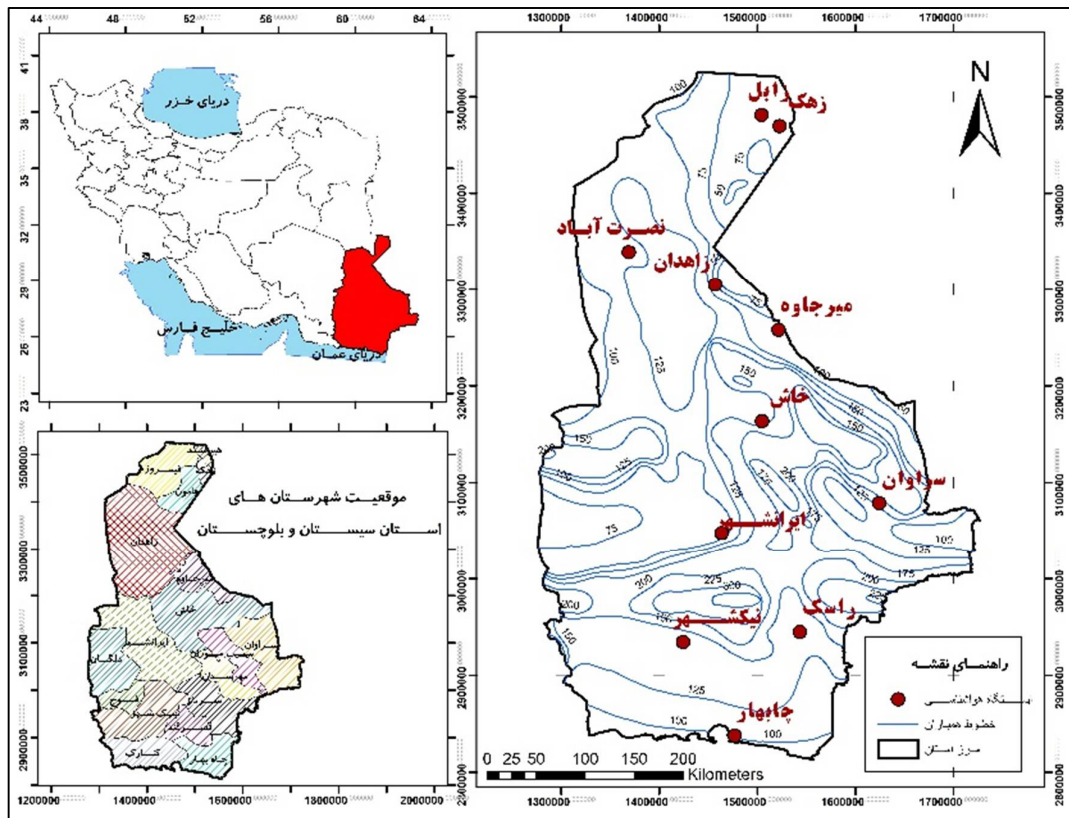
سینوپتیک زاهدان، زابل، زهک، خاش، نصرت آباد، ایرانشهر، سراوان، میرجاوه، نیکشهر، راسک و چابهار طی یک دوره آماری ۳۰ ساله از اداره کل هواشناسی استان اخذ شد (شکل ۱).

در بررسی نرمال بودن و درستی و همگنی داده‌های آماری، به ترتیب از آزمون کلموگرف-اسمیرنوف و آزمون جرم مضاعف و آزمون توالی استفاده و در ایستگاه‌های مورد بررسی اعمال شد. بازسازی نواقص آماری ایستگاه‌ها به کمک روش همبستگی بین ایستگاه‌ها انجام شد. ایستگاه‌های مرجع یا شاخص که از آمار کامل ۳۰ سال برخوردار بودند و از نظر ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، بر مبنای نزدیک بودن ارقام فاصله و ارتفاع، وضعیتی مشابه ایستگاه‌های ناقص داشتند، برای بازسازی خلأ آماری ایستگاه‌های همان منطقه مورد استفاده قرار گرفتند. ضرایب همبستگی برای همه ایستگاه‌های مرجع و ناقص در سطح ۱٪ معنی دار بودند.

یک منطقه باشد، بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (سرانو^۸ و همکاران، ۱۹۹۹). لذا در صورت مشاهده چنین روندی باید پیش‌بینی‌های لازم در خصوص مدیریت منابع برای آینده صورت گیرد. به همین علت، شناسایی رفتار عوامل اقلیمی طی دوره آماری به منظور برنامه‌ریزی در زمینه‌های مختلف مدیریت منابع آب و احیای منابع طبیعی در استان سیستان و بلوچستان به عنوان یکی از استان‌های واقع در کمربند خشک کشور ما که پیوسته با مشکل کم‌آبی و وقوع خشکسالی‌های پیاپی مواجه بوده، ضروری است.

مواد و روش‌ها

استان سیستان و بلوچستان با مساحت ۱۸۷ هزار کیلومتر مربع در جنوب شرق ایران واقع شده است؛ قسمت‌های جنوبی استان در نواحی گرمسیری سواحل مکران و قسمت‌های شمالی آن در ناحیه بیابانی ایران و تورانی واقع شده است. در این تحقیق، آمار بارندگی ۱۱ ایستگاه



شکل (۱): نقشه استان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی
Figure (1): Province map and meteorological stations

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

Table (1): Stations characteristic in Sistan and Baluchestan province

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین بارندگی (mm)	میانگین دمای حداکثر (°C)	میانگین دمای حداقل (°C)	میانگین دما (°C)
۱	چابهار	۲۵ ۱۴	۶۰ ۳۰	۸	۱۱۱/۷	۲۹/۴	۲۱/۳	۲۶/۳
۲	ایرانشهر	۲۷ ۱۲	۶۰ ۴۲	۵۹۱	۱۰۳/۳	۳۴/۱	۱۹/۶	۲۷
۳	خاش	۲۸ ۱۳	۶۱ ۱۲	۱۳۹۴	۱۴۴/۴	۲۷/۷	۱۲/۶	۲۰/۱۸
۴	میرجاوه	۲۹ ۰۱	۶۱ ۲۶	۸۳۶	۴۰/۰۶	۳۱/۲۹	۱۵/۴۱	۲۳/۳۵
۵	نیکشهر	۲۶ ۱۴	۶۰ ۱۳	۵۱۰	۱۶۴/۲	۳۴/۳	۲۰/۹	۲۷/۶
۶	راسک	۲۶ ۱۳	۶۱ ۲۴	۵۰۰	۱۲۵	۳۵/۲	۲۱/۷	۲۸/۴
۷	سراوان	۲۷ ۲۰	۶۲ ۲۰	۱۱۹۵	۱۰۷/۱۶	۲۹/۶	۱۴/۷	۲۲/۱۹
۸	زابل	۳۱ ۱۳	۶۱ ۲۹	۴۸۹	۵۱/۳	۳۰/۰۴	۱۵/۱	۲۲/۶
۹	زهک	۳۰ ۵۴	۶۱ ۴۱	۴۹۵	۵۰	۳۰/۰۸	۱۵/۲	۲۲/۶
۱۰	زاهدان	۲۹ ۲۸	۶۰ ۵۳	۱۳۷۰	۷۳/۱	۲۷/۰۳	۱۰/۸	۱۸/۹
۱۱	نصرت‌آباد	۲۹ ۵۱	۵۹ ۵۹	۱۱۲۷	۷۶/۲	۲۹/۳	۱۵/۷	۲۲/۵

شاخص بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI)

در روابط قید شده، T دمای میانگین ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد، m ضریب وابستگی به I، و I شاخص گرما یا مجموع شاخص ۱۲ ماهه i، k ضریب تصحیحی برحسب ماه و عرض جغرافیایی، NDM تعداد روزهای یک ماه و N بیشینه تعداد ساعات تابش است. بدین ترتیب با محاسبه مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل، اختلاف بین مقادیر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه ام به دست خواهد آمد. بر مبنای تحقیقات و پژوهش‌های مختلف مشخص شد که توزیع لگجستیک به دلیل تناسب بیشتر با داده‌های دارای چولگی و نیز دنباله‌های طولانی‌تر در دامنه انتهایی توزیع، دارای کارایی بهتری در تعیین تابع تراکم احتمال است. به همین دلیل در محاسبه تراکم احتمال در محاسبه SPEI از توزیع لگجستیک استفاده می‌شود. تابع تراکم احتمال سری‌های D بر اساس توزیع لگجستیک لگاریتمی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[\left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right) \right]^{-2} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{2W_1 - W_0}{6W_1 - W_0 - 6W_2} \quad (7)$$

این شاخص، شاخصی چندکمیته است که در آن داده‌های بارش و دما ترکیب می‌شوند. نحوه محاسبه این شاخص مانند شاخص استاندارد شده بارش (SPI) است با این اختلاف که مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این موضوع در واقع معرف تعادل اقلیمی بیابان آبی است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفته است. در این تحقیق برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، از روش تورنت‌وایت^۱ (۱۹۸۴) استفاده شد (ویسنه سرانو، ۲۰۰۹؛ ماوروماتیس^۲، ۲۰۰۷) در این مطالعه برای محاسبه شاخص SPEI از نرم‌افزار R استفاده شد. این شاخص بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m \quad (1)$$

$$m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \quad (2)$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (3)$$

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) \quad (4)$$

1. Thornthwaite
2. Mavromatis

مورد ارزیابی، از آزمون غیرپارامتری من کندال استفاده شد. این آزمون را من^۲ در سال ۱۹۴۵ پیشنهاد داد و کندال^۳ در سال ۱۹۵۵، آن را اصلاح کرد. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلیل بر وجود روند در سری داده‌هاست. مراحل محاسبه آماره^۴ این آزمون به ترتیب زیر است:

الف. محاسبه اختلاف بین هریک از مشاهدات با یکدیگر، اعمال تابع علامت (sgn(X)) و استخراج پارامتر S با استفاده از رابطه زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (13)$$

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

در این رابطه، n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های زام^۵ و k ام هستند.

ب. محاسبه واریانس بر اساس تعداد نمونه‌ها توسط یکی از روابط زیر:

اگر n بزرگ‌تر از ۱۰ بود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (15)$$

اگر n کوچک‌تر از ۱۰ بود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(-1)(2+5)}{18} \quad (16)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m بیانگر تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نشان‌دهنده فراوانی داده‌های بارزش یکسان است.

ج. در نهایت آماره من کندال توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$MK = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (17)$$

در یک آزمون دوطرفه به منظور روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|MK| \leq Z_{\alpha/2} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{(W_0 - 2W_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad (8)$$

$$\gamma = W_0 - \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad (9)$$

در این رابطه، α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر D در دامنه $-\infty < \gamma < D$ هستند (سینگ^۱ و همکاران، ۱۹۹۳؛ ویسته‌سرانو و همکاران، ۲۰۱۲). برای محاسبه پارامترهای توزیع لگاریتمی از روش ممان وزنی احتمال به‌منزله روشی توانمند و ساده استفاده شد. تابع توزیع احتمال D از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{a}{x-\gamma}\right)^\beta\right]^{-1} \quad (10)$$

شاخص SPEI در حکم مقادیر استاندارد شده F(x) را می‌توان به راحتی محاسبه کرد.

$$SPEI = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3} \quad (11)$$

که در آن، w از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$W = \sqrt{-2\ln(P)} \quad (12)$$

مقدار P احتمال تجاوز از مقدار D است. به عبارتی $P=1-F(x)$. اگر مقدار P بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، آنگاه مقدار P با 1-P جایگزین می‌شود و علامت SPEI عوض می‌شود. (تاج‌بخش و همکاران، ۲۰۱۶؛ ویسته‌سرانو و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول (۲): طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص SPEI

Table (2): Drought classification based on the SPEI	
مقادیر SPEI	طبقه‌بندی خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی ملایم تا متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید

آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann-Kendall)

برای تشخیص هرگونه روند در سری آماری متغیرهای اقلیمی

مرحله بعد، رتبه کوچک‌تری (t_i) محاسبه شد؛ رتبه کوچک‌تری هر داده، عبارت است از تعداد آن داده‌ها (n_i) قبل از داده مورد نظر (y_i) که از آن کوچک‌تر هستند.

$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (19)$$

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (20)$$

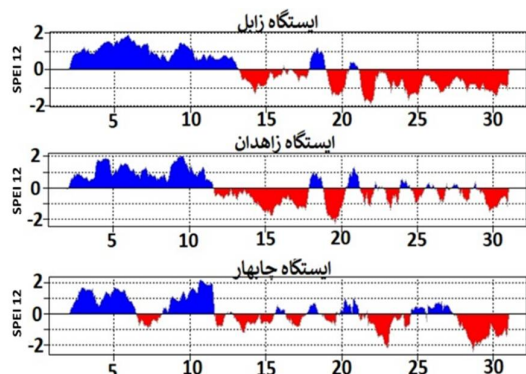
$$Var(t_i) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \quad (21)$$

$$U(t_i) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{Var(t_i)}} \quad (22)$$

که $E(t_i)$ و $Var(t_i)$ به ترتیب مقادیر متوسط و واریانس t_i هستند. $U'(t_i)$ دقیقاً به روش $U(t_i)$ محاسبه می‌شود؛ یعنی می‌توان فرض کرد انتهای سری ابتدای آن باشد. داده‌های $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ بر اساس سال وقوع، مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند با این تفاوت که سال وقوع $U(t_i)$ با سیر صعودی، اما در $U'(t_i)$ با سیر نزولی مرتب می‌شوند.

نتایج

برای محاسبه شاخص مبتنی بر بارندگی و تبخیر و ترق SPEI در دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ (به جز برخی ایستگاه‌ها به دلیل تازه‌تأسیس بودن) از آمار روزانه بارندگی و دما استفاده شد؛ سپس برای محاسبات شاخص‌ها داده‌ها به صورت ماهانه استفاده شدند. نتایج مربوط به ایستگاه‌های منتخب استان در شکل (۲) و (۳) ارائه شده است. مقادیر منفی SPEI نشان‌دهنده دوره‌های خشک و شرایط خشکسالی و مقادیر مثبت آن نمایش‌دهنده دوره‌های مرطوب در ایستگاه است.



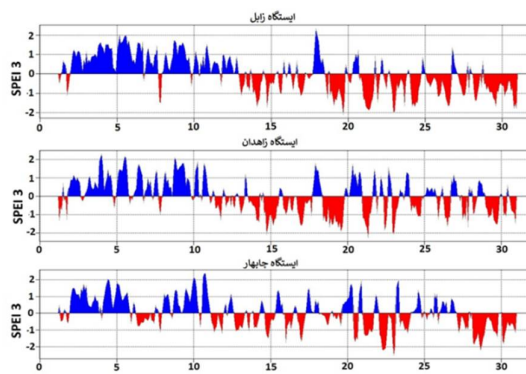
شکل (۳): مقادیر شاخص SPEI 12 ماهه ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه در دوره آماری

Figure (3): SPEI (12 month scale) values for selected stations during the statistical period

در این رابطه، α سطح معنی‌داری برای آزمون و Z_{α} آماره توزیع استاندارد در سطح معنی‌داری α هستند که با توجه به دودامنه‌ای بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است (حجّام و همکاران، ۲۰۰۸). در این مطالعه، آزمون من‌کنندال برای سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به کار گرفته شده است. در صورت مثبت بودن آماره MK روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

روش گرافیکی آزمون من‌کنندال

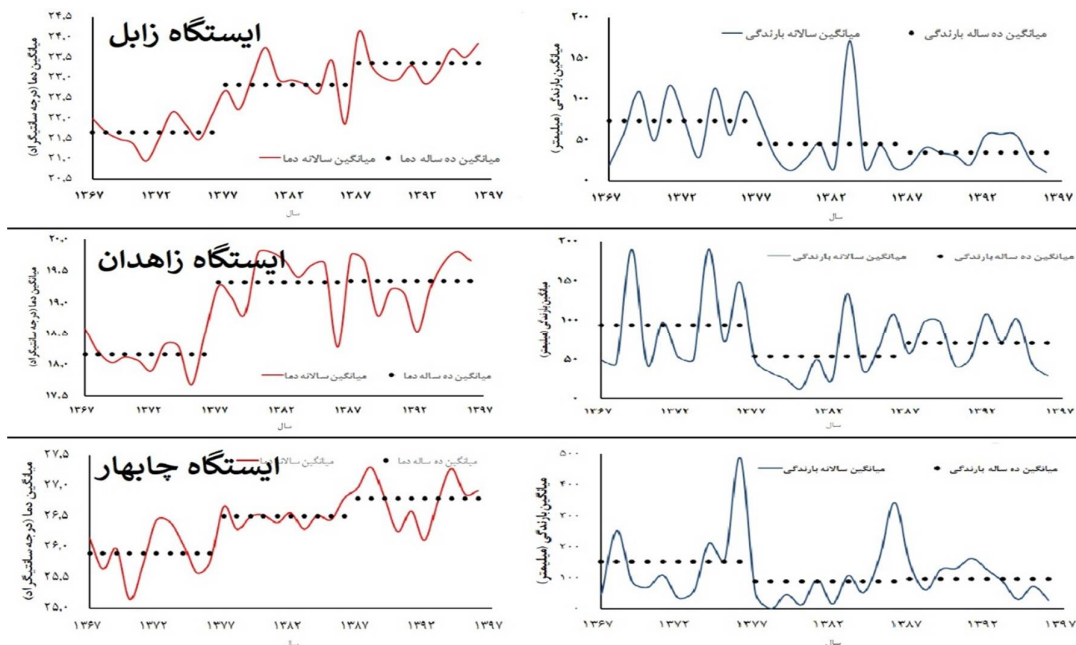
برای شناسایی روندهای جزئی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر $U(t)$ و $U'(t)$ استفاده می‌شود. میزان خطای این آزمون ۵٪ است و تمامی تفسیرها با توجه به نمودارهای حاصل از مقادیر آماره $U(t)$ و $U'(t)$ انجام می‌شود. زمانی که روند معنی‌داری در داده‌ها وجود داشته باشد، خطوط $U(t)$ و $U'(t)$ یکدیگر را قطع می‌کنند. اگر خطوط مذکور در محدوده بحرانی $\pm 1/96$ هم‌دیگر را قطع کنند روند معنی‌دار نیست و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی هم‌دیگر را قطع کنند، آغاز شروع تغییر ناگهانی و بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (عزیزی و روشنی، ۲۰۰۸). در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله $U(t)$ و $U'(t)$ تقریباً به موازی حرکت خواهند کرد یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد (سبزی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۱). ابتدا داده‌ها بر اساس سال با رتبه (y_i) مرتب شدند. در



شکل (۲): مقادیر شاخص SPEI 3 ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه در دوره آماری

Figure (2): SPEI (3 month scale) values for selected stations during the statistical period

بررسی داده‌های حاصل از بارندگی و دما در بازه‌های ده‌ساله در دوره آماری، روند نزولی در میانگین بارش و روند افزایشی در مقادیر میانگین دمای ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد که نتیجه آن در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به نمودارهای زیر، میانگین دما در همه ایستگاه‌های استان به‌جز ایستگاه نیکشهر، در سه دهه اخیر با افزایش مواجه بوده است.



شکل (۴): تغییرات میانگین بارندگی (آبی) و دما (قرمز) در ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه طی دوره آماری ۳۰ ساله (خطوط با نقاط مشکی نشانگر میانگین ۱۰ ساله هستند)

Figure (4): Changes in average rainfall (blue) and temperature (red) in selected stations during 30-year statistical period (Line with black dots indicate a ten-year)

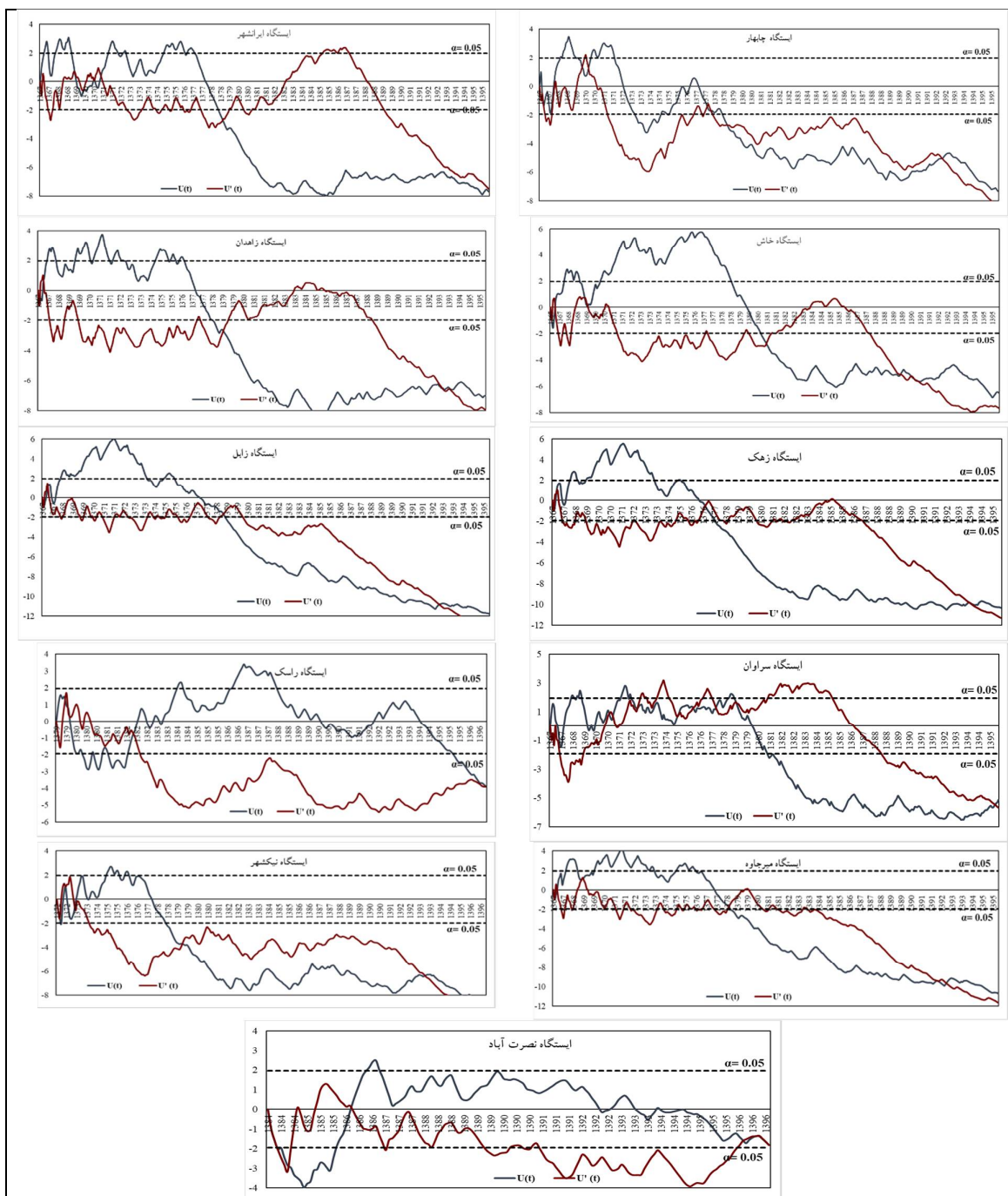
در جدول (۳) نتایج حاصل از آزمون من‌کنندال ارائه شده است. بر اساس این جدول، همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (به‌جز نصرت‌آباد) با کاهش بارندگی همراه و دارای روند منفی بوده، اما این روند معنی‌دار نبوده است. برخلاف بارندگی، فاکتور دما در همه ایستگاه‌ها (به‌جز نصرت‌آباد) دارای روند افزایشی و مثبت بوده که در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی‌دار هستند. شاخص خشکسالی SPEI نیز در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه به ترتیب ۵۴٪ و ۸۱٪ ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و معنی‌دار هستند.

جدول (۳): نتایج آزمون من‌کنندال عوامل اقلیمی و شاخص خشکسالی در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪

Table (3): Man-Kendall test results for climatic factors and drought index in 95% and 99% confidence level

نام ایستگاه	چابهار	ایران‌شهر	خاش	سراوان	زاهدان	زابل	زهک	راسک	میرجاوه	نیکشهر	نصرت آباد
بارندگی	-۰/۰۷	-۰/۱۷	-۱/۰۷	-۰/۳۲	-۰/۱۱	-۱/۹۱	-۰/۲	-۰/۶۱	-۱/۱۴	-۰/۴۴	۰/۹۲
دما	۲/۶۸**	۲/۰۴*	۳/۰۷**	۲/۷۱**	۳/۱۰**	۳/۶۰**	۳/۳۵**	۲/۱۲*	۳/۶۴**	۲/۵۵*	-۰/۵۵
SPEI 3	-۲/۰۸*	-۲/۱۹*	-۱/۴۴	-۲/۰۴*	۱/۸۶	-۲/۷۹**	-۲/۳۱*	۰/۷۰	-۲/۸۷**	-۰/۷۰	۱/۳۰
SPEI 12	-۲/۱۶*	-۲/۷۲**	-۲/۰۱*	-۲/۴۲*	-۲/۷۶**	-۴/۷۱**	-۳/۷۷**	-۱/۳۶	-۴/۷۱**	-۳/۵۰**	-۰/۶۲

نمودارهای گرافیکی من‌کنندال برای شاخص SPEI سه‌ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۵) ارائه شده است. بر اساس نمودارهای این شکل در سری‌زمانی شاخص خشکسالی SPEI روند کاهشی قابل مشاهده است که چون در خارج از محدوده معنی‌داری تقاطع خطوط $U^*(t)$ و $U(t)$ اتفاق افتاده است، روند در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. اما در ایستگاه نصرت‌آباد روندی مشاهده نشد و سری‌زمانی ایستا می‌باشد.



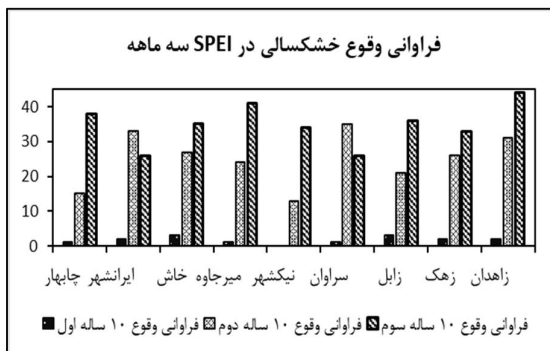
شکل (۵): نمودار گرافیکی روند من‌کندال SPEI سه‌ماهه در ایستگاه‌های مختلف استان سیستان و بلوچستان

Figure (5): Graphical Mann-Kendall SPEI 3 trend in different stations of Sistan and Baluchestan province

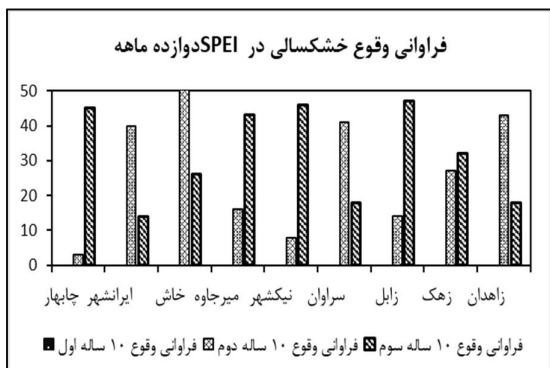
انجام گرفت. نتایج نشان دادند فراوانی وقوع شرایط خشکسالی محاسبات شاخص SPEI سه‌ماهه در همه ایستگاه‌ها به جز سراوان و ایرانشهر به‌طور محسوسی افزایش یافته است. اما در مقیاس ۱۲ ماهه در همه ایستگاه‌ها به جز سراوان، ایرانشهر، خاش و زاهدان افزایش داشته است (شکل ۸ و ۹).

شکل (۶) شدیدترین خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته که در نواحی جنوبی و شمالی استان اتفاق افتاده است و شکل (۷) پهنه‌بندی اقلیمی استان و روند آماری من‌کندال در خشکسالی را نشان می‌دهد.

مقایسه و بررسی تغییرات فراوانی و شدت وقوع خشکسالی و ترسالی در طول دوره آماری به‌صورت ۱۰ ساله

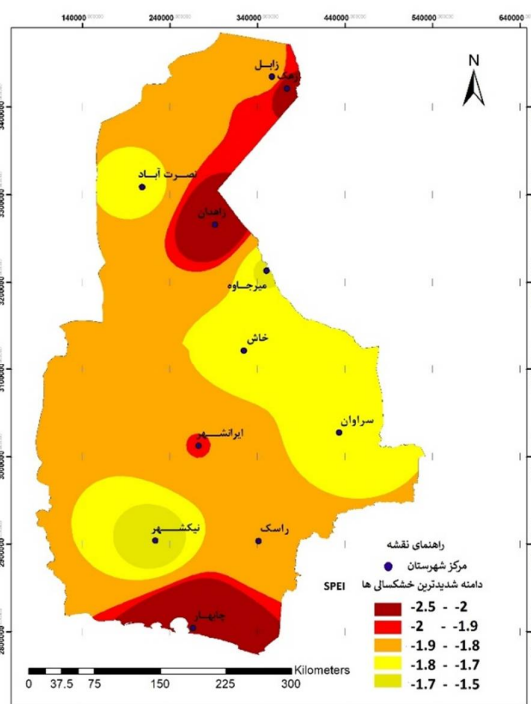


شکل (۸): فرآوانی وقوع خشکسالی (SPEI 3)
Figure (8): Drought frequency (SPEI 3)

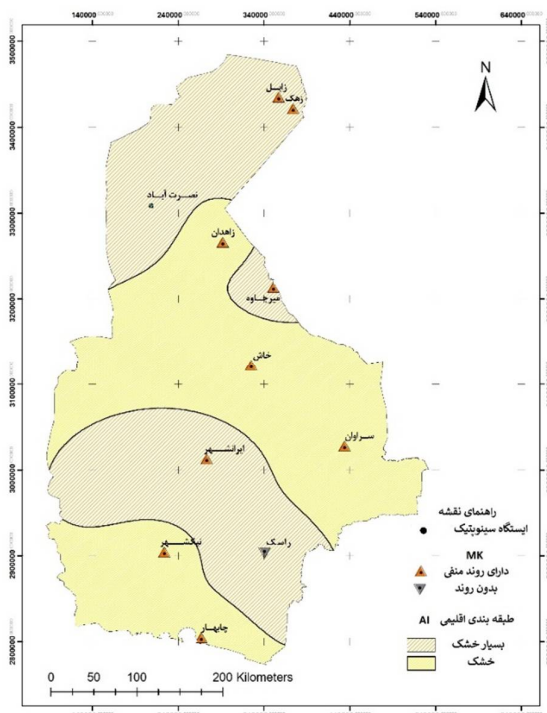


شکل (۹): فرآوانی وقوع خشکسالی (SPEI 12)
Figure (9): Drought frequency (SPEI 12)

اطلاعات مربوط به محاسبات حداقل، حداکثر، متوسط و تعداد تداوم دوره‌های رطوبتی ایستگاه‌ها در جدول (۴) و (۵) ارائه شده است. همان طور که از اطلاعات این جدول‌ها استنباط می‌شود، بیشترین تداوم دوره‌های خشک در مقیاس ۳ ماهه مربوط به ایستگاه ایرانشهر و در مقیاس ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های میرجاوه و زاهدان بوده است. همچنین دامنه تغییرات متوسط شرایط خشکسالی و ترسالی ایستگاه‌ها نیز در جداول مذکور مشاهده می‌شود.



شکل (۶): پهنه بندی شدت خشکسالی
Figure (6): Severe droughts interpolation



شکل (۷): پهنه بندی اقلیمی و آمارة من کندال
Figure (7): Climatic and Mann-Kendall interpolation

جدول (۴): ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص SPEI سه ماهه

Table (4): Dry and humid periods characteristics based on 3 month SPEI											
ایستگاه	چابهار	ایران شهر	خاش	میرجاوه	نیکشهر	نصرت‌آباد	راسک	سروان	زابل	زهک	زاهدان
حداقل شاخص خشکسالی	-۲/۵	-۲/۰۵	-۳/۵	-۲/۲	-۲/۷	-۱/۶	-۲/۲	-۲/۴	-۲/۱	-۲/۲	-۲/۲
حداکثر شاخص ترسالی	۲/۴	۲/۰۶	۲/۲	۲/۱	۱/۹	۱/۸	۲/۱	۲/۳	۲/۳	۲/۳	۲/۳
متوسط شدت خشکسالی	-۰/۷۵	-۰/۸۰	-۰/۸۳	-۰/۸۲	-۰/۷۹	-۰/۷۷	-۰/۸۳	-۰/۸۱	-۰/۸۰	-۰/۸۰	-۰/۸۲
متوسط شدت ترسالی	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۷۹
تعداد تداوم دوره خشکسالی	۵۱/۷	۵۲	۴۸	۴۹/۲	۵۱/۳	۵۱/۳	۴۸/۱	۴۷/۸	۵۰/۸	۵۰	۴۸/۶
تعداد تداوم دوره ترسالی	۴۸/۳	۴۸	۵۲	۵۰/۸	۴۸/۷	۴۸/۷	۵۱/۹	۵۲/۲	۴۹/۲	۵۰	۵۱/۴

جدول (۵): ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص SPEI دوازده ماهه

Table (5): Dry and humid periods characteristics based on 12 month SPEI											
ایستگاه	چابهار	ایران شهر	خاش	میرجاوه	نیکشهر	نصرت‌آباد	راسک	سروان	زابل	زهک	زاهدان
حداقل شاخص خشکسالی	-۲/۴	-۱/۹	-۲/۱	-۱/۹	-۲/۱	-۱/۷	-۱/۸	-۱/۷	-۱/۸	-۲/۰۹	-۲/۲
حداکثر شاخص ترسالی	۲/۱	۱/۸	۲/۳	۱/۷	۱/۸	۲/۰۱	۱/۸	۱/۸	۱/۹	۱/۸	۲/۰۲
متوسط شدت خشکسالی	-۰/۷۶	-۰/۷۸	-۰/۸۸	-۰/۷۷	-۰/۸۲	-۰/۷۷	-۰/۷۶	-۰/۸۳	-۰/۸۰	-۰/۷۸	-۰/۷۷
متوسط شدت ترسالی	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۸
تعداد تداوم دوره خشکسالی	۵۲/۱	۵۳/۳	۴۴/۷	۵۶/۹	۵۰/۲	۴۷/۳	۵۲/۲	۴۸/۷	۵۳/۹	۵۳/۳	۵۲/۷
تعداد تداوم دوره ترسالی	۴۷/۹	۴۶/۷	۵۵/۳	۴۳/۱	۴۹/۸	۵۱/۷	۴۷/۸	۵۱/۳	۴۶/۱	۴۶/۷	۴۷/۳

بحث و نتیجه‌گیری

(۲۰۱۷) تأکید شده است. بر اساس نتایج ایشان، شاخص‌هایی که فقط مبتنی بر بارندگی هستند، برای ماه‌های دارای بارش صفر ناکارآمد معرفی شده است.

از روش‌های متداول برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری است. در این مطالعه از آزمون من‌کندل که جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌رود، استفاده شد (نصرآبادی، ۲۰۱۵؛ ولی و روستایی، ۲۰۱۶). نتایج بررسی روند داده‌های مربوط به بارندگی سالانه ایستگاه‌ها اگرچه دارای روند کاهشی بودند، این کاهش معنی‌دار نبود. بررسی روند دمای میانگین ایستگاه‌ها نیز روند افزایشی معنی‌داری را نشان داد، حداکثر روند افزایش دما در ایستگاه زابل و میرجاوه به ترتیب با ۳/۶۰ و ۳/۶۴ بوده است. هرچند این امر دلیل قطعی بر تغییر اقلیم نیست، فرضیه وقوع تغییر اقلیم را تقویت می‌کند. صبحی و سطنی (۲۰۰۸) در تحقیق خود، به روند کاهشی بارش و افزایشی دما در تعدادی از شهرهای بزرگ اشاره کردند که با نتایج مطالعه حاضر همسو می‌باشد. بررسی رفتار شاخص SPEI در دو مقیاس ۳ و ۱۲

شاخص‌های خشکسالی بیان‌کننده حدود طبیعی خشکسالی‌های رخ داده هستند تا امکان ارزیابی آن را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی برآورده سازند (انصافی مقدم، ۲۰۰۷). هدف این مطالعه، شناخت رفتار خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته در استان سیستان و بلوچستان، همچنین تبیین روند آن در مقیاس کوتاه‌مدت و بلندمدت بوده است. تشخیص تغییرات روند خشکسالی و عوامل اقلیمی شامل میانگین بارندگی و دما اطلاعات ارزشمندی را به منظور مدیریت منابع آب استان در اختیار خواهد گذاشت. در این پژوهش، ارزیابی وقوع دوره‌های خشک، شدت و فراوانی آن‌ها بر اساس شاخص مبتنی بر بارش و تبخیر-تعرق مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. انتخاب این شاخص از میان شاخص‌های مختلف به این علت که یکی از کامل‌ترین و جدیدترین شاخص‌های ارزیابی شدت خشکسالی است (زارعی، ۲۰۱۸) انجام گرفت. این شاخص علاوه بر بارش از عامل دما و تبخیر و تعرق استفاده کرده که کارآمدی این آن توسط محققانی از جمله هانفی و همکاران (۲۰۱۶)، نصرتی (۲۰۱۵)، سبحانی و همکاران (۲۰۱۵) و بذرافشان و همکاران

نتایج ذبیحی و همکاران (۲۰۱۷) و پائولو^۱ و همکاران (۲۰۰۷) در یک راستا می‌باشد.

بررسی فراوانی میزان وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۱۰ ساله نشان‌دهنده روند افزایشی میزان بروز خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر شده است که با نتایج رضیئی (۲۰۰۵) مطابقت دارد. بر اساس نتایج ایشان، جنوب شرق کشور با روند کمبود بارندگی و افزایش دما مواجه بوده که سبب افزایش دوره‌های خشک شده است. در مورد حداکثر شاخص خشکسالی به‌طور معمول در سال‌های اخیر، مقدار شاخص افزایش یافته؛ یعنی خشکسالی‌ها با شدت بیشتری اتفاق افتاده است. در مورد حداکثر شاخص ترسالی نیز در سال‌های اخیر کاهش یافته که نشان‌دهنده کاهش میزان بارندگی‌ها در سال‌های اخیر است. در تحلیل نتایج این شاخص مقیاس ۳ ماهه به‌عنوان یک مقیاس کوتاه‌مدت و ۱۲ ماهه به‌عنوان میان‌مدت نشان داد در سال‌های اخیر، وقوع خشکسالی‌ها افزایش و ترسالی‌ها کاهش یافته است. همسو با نتایج تحقیق حاضر، رضیئی (۲۰۰۵) احتمال بروز پدیده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان در مقیاس زمانی ۳ ماهه را ۲۱٪ عنوان کرده است؛ به‌طوری که در دوره‌های نرمال نیز کمبود منابع آب در استان همچنان مشاهده می‌شود؛ به‌ویژه اگر شرایط نرمال بعد از یک دوره خشک پدیدار گردد. از این‌رو با در نظر گرفتن احتمال شرایط نرمال در استان می‌توان چنین عنوان کرد که مجموع خسارت کم‌آبی ناشی از خشکسالی در استان به ۶۵٪ می‌رسد. بررسی روند بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که میزان بارندگی‌ها در سال‌های اخیر کاهش یافته و میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌ها روند نزولی به خود گرفته است. در مورد میانگین دما نیز روند برعکس بارندگی می‌باشد و در سال‌های اخیر میانگین دما روند صعودی داشته و افزایش یافته است؛ این مطلب با نتایج اقتدارنژاد (۲۰۱۵)، ابراهیمی (۲۰۰۵)، رضیئی (۲۰۰۵) و فیضی (۲۰۱۰) که معتقد به تشدید اثرات پدیده تغییر اقلیم در سال‌های اخیر هستند، همسو می‌باشد. با بررسی تکمیلی و مطالعه فصلی و سالانه پارامترهای اقلیمی می‌توان

ماهه در ایستگاه‌های مختلف روند تقریباً مشابهی را نشان داد و اکثر ایستگاه‌ها دارای روند منفی معنی‌داری بوده است که بیانگر وخیم‌تر شدن شرایط اقلیمی و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی است. حداکثر روند در هر دو مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های زابل و میرجاوه رخ داده است. از آنجا که شاخص SPEI شاخصی است که بر مبنای دو عامل بارندگی و تبخیر و تعرق محاسبه می‌شود، روند افزایش دمای ایستگاه‌ها تأثیر مستقیمی بر روند شاخص خشکسالی داشته است. از سویی، با توجه به تحلیل نمودارهای گرافیکی آزمون من‌کندال مشاهده می‌شود که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (به‌جز ایستگاه نصرت‌آباد) روند منفی وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر به‌خوبی قابل مشاهده است که این روند در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با توجه به روند منفی خشکسالی که خود ناشی از کاهش بارندگی و افزایش دماست، باید مسئولان به‌منظور جلوگیری از اثرات سوء آن مانند کاهش تولید محصولات کشاورزی، مرتعی و دامی و پیامدهای منفی آن مانند مهاجرت به شهرها و افزایش فقر، در برنامه‌ریزی‌های خود، کشاورزان را به‌سمت ترویج کشت محصولات با نیاز آبی کمتر و مقاوم‌تر به خشکی سوق دهند. که در این مورد گام‌هایی برداشته شده است؛ مثلاً کاشت گونه‌های کم‌نیازتر به‌جای گیاهان پرنیاز توصیه می‌شود. از دیگر راهکارهای ممکن سوق دادن کشاورز به‌سمت کشت‌های مترامم گلخانه‌ای با راندمان آب بیشتر است.

بررسی ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب در دوره آماری ایستگاه‌ها نشان داد که در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان، ایستگاه خاش به‌علت نزدیکی به کوه تفتان از شرایط اقلیمی نسبتاً باثبات‌تری برخوردار است و کمترین میزان نوسانات دوره خشک و مرطوب با شدت‌های بالا (بیشتر از ۲ و ۲-) را در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. ایستگاه زهک و زابل به‌علت شرایط اقلیمی و توپوگرافی، بیشترین تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب با شدت‌های بالا را دارند. به‌عبارتی می‌توان گفت توپوگرافی منطقه تأثیر زیادی بر بروز پدیده‌های اقلیمی دارد؛ همچنین این شاخص توانسته است خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را نیز مشخص کند که با

میزان بارندگی‌ها باید برنامه‌ریزی در جهت جایگزینی کشت‌های کم‌نیازتر و مقاوم‌تر به خشکسالی سوق داده شود. به‌خصوص در مناطقی مانند چابهار که معمولاً فعالیت‌های کشاورزی بر اساس آب‌های سطحی می‌باشد و استفاده از آب‌های زیرزمینی کمتر متداول است. اگرچه این مطالعه به دنبال تعیین علت و عوامل محتمل در روند افزایشی وقوع خشکسالی‌ها نیست، نتایج ارائه شده در این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک مبنا برای ارزیابی‌ها و مطالعات آینده درباره اثرات تغییر اقلیم سودمند باشد. همچنین مطالعات در زمینه گزاهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از عوامل تغییر اقلیم و بروز روند در فاکتورهای آب و هواشناسی، به‌ویژه در مناطق صنعتی پیشنهاد می‌شود.

برنامه‌ریزی مناسبی برای فعالیت‌های کشاورزی در استان انجام داد؛ برای مثال در برنامه‌های اصلاحی و احیاء منابع طبیعی مانند بذرکاری، بذرپاشی و حتی نهال‌کاری، بررسی نتایج میانگین بارندگی ماهانه جزئیات بیشتری در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد. با بررسی این مقادیر، ماه‌هایی با احتمال بیشتر وقوع خشکسالی بهتر مشخص می‌شود و باید برنامه‌ریزی‌ها طوری انجام شود که برنامه‌های احیایی بعد از فصل خشک و اوایل ماه‌های مرطوب انجام شود تا احتمال موفقیت استقرار گیاهان افزایش یابد. پدیده تغییر اقلیم یک رخداد بسیار پیچیده است و نیاز به مطالعات جامع با سناریوهای جهانی تغییر اقلیم دارد تا بتوان با تعریف استراتژی‌های هدفمندتر به مدیریت منابع آب و خاک در استان پرداخت. با توجه به روند ۱۰ ساله اخیر بارندگی و دما، افزایش میزان دمای میانگین و کاهش

منابع

1. Abramopoulos, F., Rosenzweig, C. and Choudhury. B., 1988. Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil, Water movement and Evapotranspiration. *Journal of Climate*, 1: 921-941.
2. Azizi, Gh. and Roushani, M., 2008. Using Man-Kendall test to recognize of climate change in Caspian sea southern coast. *Journal of Geography Research Quarterly*, 40(64): 13-28.
3. BariAbarghui, H., BodaghJamali, J. and Tavakoli, M., 2003. Applying meteorological statistics indices for investigation of drought severity in Iran (between Provinces). *Journal of Geographical researches*, 69: 66-86.
4. Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F. and Bazrafshan, J., 2017. Evaluation of temporal trends of the SPI and SPEI drought indices in the Southern Coast of Iran. *Journal of Desert Management*, 8: 54-69.
5. Chang, T.J. and Cleopa, X.A., 1998. A proposed method for drought monitoring. *Water Resources Bulletin*, 27: 275-281.
6. Ebrahimi, H., Alizadeh, A. and Javanmard, S., 2005. Assessment of temperature change as a climate change indicator in Mashhad plain. *Journal of Geographical Researches*, 79: 14 p.
7. EghtedarNejad, M., BazrAfshan, O. and Rahimi, F., 2015. Climate change detection in the south of Kerman province. *The First Regional Conference on the Sea, the Development of Water Resources on Coastal Area of Persian Gulf*, 10 p.
8. EnsafiMoghaddam, T., 2007. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 14(2): 18 p.
9. Feyzi, V., Farajzadeh, M. and Norozi, R., 2010. Climate change in Sistan and Baluchestan Province, 4th International Congress of The Islamic World Geographers, 12 p.
10. Ghorbani, K.H., Valizadeh, E. and Bararkhanpoor, S., 2018. Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran. *Journal of Desert Management*, 11: 25-38.
11. Hajjam, S., Khosh Kho, Y. and Shamsedin Vandi, R., 2008. Trend analysis of seasonal and annual rainfall in a few selected stations in the central area by using nonparametric methods. *Geographical Research*, 64: 157-168.
12. Hatefi, A., Mosaedi, A. and Jabbari Nooghabi, M., 2016. The role of evapotranspiration in meteorological drought monitoring in some climatic regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2): 1-21

13. Heim, R.R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1149-1165.
14. Kardavani, P., 2001. The drought and contrasting styles with that in Iran. University of Tehran Press, 402 p.
15. Malekinejad, H., Soleimanmotlagh, M., Jaydri, A. and Shaterabshuri, S., 2013. Analysis of the precipitation and drought trend variations using Mann-Kendall and Sen Tests in Tehran Province. *Journal of Meteorological Organization*, 80(1): 43-54.
16. Mavromatis, T., 2007. Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, 27: 911-924.
17. Moradi, H.R., Rajabi, M. and Faragzadeh, M., 2007. Analysis trend and spatial characteristics of droughts intensity in Fars province. *Iranian Journal of Range and Desert Researches*, 42(1), 97-109.
18. Mostafazadeh, R. and Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(3), 13 p.
19. Nasrabadi, E., 2015. Analysis of trends monthly and annual climate parameter of Sabzevar. *Journal of Applied climatology*, 2(1): 105-118.
20. Nosrati, k., 2015. Assessment of standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) for drought identification in different climates of Iran. *Journal of Environmental Science*, 12(4): 63-73.
21. Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, research paper No. 45, Washington, D.C: U.S. Weather Bureau, 58p.
22. Paulo, A.A. and Pereira. L.S., 2007. Stochastic prediction of SPI drought class transition. *Journal of Water Resources Management*, 22: 1277-1527
23. Potop, V. and Mozny, M., 2011. The application a new drought index-standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic, ISBN 978-80-86690-87-2.
24. Raziiei, T., Daneshkar, P. and Saghafian, B., 2005. Annual rainfall trend analysis in arid and semi-arid region of central and eastern of Iran. *Journal of Water and Wastewater*, 16(2): 73-81.
25. Sabohi, R. and Soltani. S., 2008. Trend Analysis of Climatic Factors in Great Cities of Iran. *Agriculture and natural resources*, 12(46): 303-322.
26. Sabziparvar, A., Mirglobiar, R. and Ghiami, F., 2011. Evaluation of the possible changes in diurnal temperature range (DTR) trend in some arid climates of Iran since last five decades. *Iranian Journal of Physics Research*, 11(1): 27-37.
27. Serrano, A., Mateos, V.L. and Garcia. J.A., 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Journal of Physics and Chemesrty on Earth (B)*, 24: 85-90.
28. Singh, V. P., Guo, H. and Yu, F. X., 1993. Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome, *Journal of Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 7:163-177.
29. Sobhani, B., Ghaffari Gilandeh, A. and Goldoust, A., 2015. Drought monitoring in Ardabil province by means of SEPI fuzzy index developed based on the fuzzy logic. *Journal of Applied Research Geograph Science*. 36, 51-72.
30. Soltani, S. and Sadati, S.S., 2007. Drought mapping over Isfahan Province using standardized precipitation index (SPI). *Journal of Watershed Management Science*, 1(2): 64-67.
31. Tajbakhsh, S., Eisakhani, N. and FazlKazemi, A., 2016. Assessment of meteorological drought using standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 41(2): 313-321.
32. Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55-94.
33. Tirivarombo, S., Osupile, D. and Eliasson, P., 2018. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 106: 1-10.
34. Vali, A. and Roustaei, F., 2016. A time series analysis of drought for the last five decades in Central Iran. *Journal of Desert Ecosystem Enjineering*, 5(11): 79-92.
35. Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Julio Camarero, J., Lopez-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E. and Sanchez-Lorenzo, A., 2012, Performance of drought indices for ecological, agricultural, and

- hydrological applications, *Earth Interactions*, 16, 1-27.
36. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S. and Lopez-Moreno, J.I., 2009. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696–1718.
37. Zabihi, M., Mostafazadeh, R. and Sharari, M., 2016. Analysis of wet and dry spells intensity and duration using precipitation-based and evapotranspiration influenced indices. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 125-136.
38. ZareAbyaneh, H., Sabziparvar, A.A., Maroufi, S., Ghiami, F., MirMasoudi, S.SH. and Kazemi, A., 2014. Analysis and monitoring of meteorological drought in Sistan and Baluchestan province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(3): 13 p.
39. Zarei, A.R., 2018. Evaluation of effect of Markov order on the accuracy of drought forecasting based on SPEI index, using Markov Chain method. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(1): 88-101.
40. Zhao, H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H. and Hou, M., 2017. Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 102: 48-58.

Investigating variations in climatic factors and drought trends in Sistan and Baluchestan Province

Hadi Darroudi^{1*}, Masoumeh Shahabi², Mohammad Khosroshahi³

Received: 01/09/2020

Accepted: 29/06/2021

Extended Abstract

Introduction: Drought is a long-term natural phenomenon when the average precipitation rate is less than that of the normal periods. As a natural phenomenon, drought has turned into a natural disaster occurring throughout Iran in recent decades with all its associated consequences. On the other hand, although rainfall is considered as the main indicator of water availability, the temperature is also an important factor in this regard, as it controls the evapotranspiration rate. Therefore, parameters such as precipitation and temperature can be used as indicators for analyzing the drought. Moreover, identifying drought trends based on previously recorded data, noting their occurrence in different times and places, and studying their variation over time play a significant role in managing water resources. It should be noted that the purpose of trend analysis is to determine the decreasing or increasing nature of trends in a series of observations performed for a random variable over time.

Materials and methods: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) is a meteorological drought index that considers the variability of both precipitation and temperature in predicting drought conditions in a region. Enjoying a multi-scale ability to monitor and analyze drought in different scientific disciplines, the index fulfills the requirements of a drought index, being recently used in a variety of drought analyses. This study measured SPEI using precipitation and temperature data from eleven meteorological stations in Sistan and Baluchestan Province, Iran, during the study period. The Drought events were then identified via the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index over both 3 and 12-month timescales. The total geographical area of Sistan and Baluchestan Province is approximately 187,000 km², located at 25° 03' N to 31° 28' N (latitudes), and 58° 47' E to 63° 19' E (longitudes). The province has an arid and semiarid climate with a mean annual rainfall of about 100 mm. The monthly precipitation and temperature data recorded at the stations were obtained from the Sistan and Baluchestan's Meteorological Organization. One of the commonly used tools for detecting changes in climatic and hydrologic time series is trend analysis. Mann-Kendall is a non-parametric trend test commonly used to assess the significance of trends in time series. This study used both nonparametric trend tests (Mann-Kendall) and graphical Mann-Kendall model trend analysis (statistical significance at 95% confidence level) to explore the drought trends in each station. The purpose of trend analysis is to determine whether the time series of a random variable's observations generally increases or decreases over time. While parametric trend tests are more powerful, it is non-parametric trend tests are widely used, as they can accommodate outliers in the data and require independent data.

1. Assistant Professor, Forest and Rangelands Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center; hadi_f79@yahoo.com

2. M.Sc, Forest and Rangelands Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

3. Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO)

DOI: 10.22052/deej.2021.10.32.11

Results: The study's results indicated no negative trend in precipitation but revealed a significant trend in temperature. The SPEI values measured for the short-term time scale (SPEI 3) showed a statistically significant downward trend for all stations, which corroborates the occurrence of more critical drought periods in recent years. Moreover, the study of the frequency of drought occurrence in the stations during 10-year periods suggested an increasing trend in the occurrence of drought in recent years. As for the maximum drought index, it could be said that the index's value has typically increased in recent years, that is, more severe droughts have occurred. According to the results, the most severe drought belonged to the Khash station, and the wettest period was found in the Chabahar station.

Discussion and Conclusion: This study sought to identify possible drought trends in Sistan and Baluchestan province using the Mann-Kendall test, considering the fact that detecting such changes offer valuable information for future water resources management. Accordingly, the analysis of previous drought events showed that more severe droughts are expected to occur in the years to come. Although this study did not seek to find possible causes of decreasing trends, the results presented herein could be used as a benchmark for further analysis of the consequences of climate change. It could be argued that low precipitation and high potential evapotranspiration (PET), especially the PET caused by rising temperature, are the main factors that could influence drought in the future. Therefore, the influence of the PET should not be ignored in drought analysis, and it is suggested that more comparative studies of different drought indices be conducted on analyzing future climate change-induced droughts.

Keywords: Drought, Mann-Kendall, Sistan and Baluchestan, SPEI, Trend.