

ارزیابی تغییرات زمانی خشکسالی با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن

در استان کرمان طی سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸

زهره ابراهیمی خوسفی^{۱*}، مریم میراکبری^۲، محسن ابراهیمی خوسفی^۳، مجتبی سلیمانی ساردو^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۷

چکیده

بررسی روند تغییرات خشکسالی به عنوان یکی از بلاهای طبیعی امری ضروری است. بدین منظور در پژوهش حاضر روند تغییرات شاخص خشکسالی بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI) برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ ارزیابی شد. بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی SPEI با استفاده از دو آزمون من-کندال و شیب خط سن انجام شد. نتایج نشان داد در بین ایستگاه‌های مطالعاتی، شهر بابک واقع در شمال غربی استان با ۳۰۷ رخداد خشکسالی، دارای بیشترین فراوانی و بالاترین شدت خشکسالی طی دوره آماری مورد مطالعه بوده است. تغییرات فصلی خشکسالی نشان داد روند فصلی خشکسالی در بهار، پاییز و زمستان برای تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی افزایشی بوده است. تغییرات افزایشی خشکسالی بهار در ایستگاه‌های انار و بافت به ترتیب با مقدار آماره Z برابر با ۲/۷۲ و ۲/۷۸ در سطح ۹۹ معنی‌دار نشان داده شد. تغییرات سالانه شاخص SPEI نیز روند صعودی خشکسالی در تمامی ایستگاه‌های استان کرمان را برای دوره آماری مطالعاتی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۶، شیب خط روند شاخص SPEI مثبت بوده (۰/۰۴۶) که بیانگر کاهش خشکسالی در استان کرمان طی این بازه زمانی است؛ این در حالی است که شیب روند شاخص SPEI در بازه‌های زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۸ به ترتیب برابر با ۰/۰۳۱- و ۰/۰۱- است که حاکی از افزایش شدت خشکسالی در استان کرمان طی سال‌های اخیر است.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، SPEI، من-کندال، شیب سن، استان کرمان.

۱. دانشیار بیابان‌زدایی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، نویسنده مسئول، Zohrebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

۲. دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، maryammirakbari@ut.ac.ir

۳. استادیار سنجش از دور، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir

۴. استادیار بیابان‌زدایی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، Mojtaba.Soleimani@ujiroft.ac.ir

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه جیرفت است.

مقدمه

کشور و همچنین سطح جهان انجام شده است. ملکی نژاد و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات بارندگی و خشکسالی استان تهران را با استفاده از آزمون‌های روند (من-کندال و سن) بررسی کردند و بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، سری‌های زمانی فصلی روند قابل توجهی را نشان ندادند؛ در حالی که سری‌های سالانه روند صعودی در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان داده است. همچنین مقایسه دو آزمون روند نشان داد روش سن میزان روند را در منطقه نسبت به روش من-کندال بهتر نشان می‌دهد. روند شاخص خشکسالی SPI استان اصفهان توسط آزمون‌های سن، پتیت و من-کندال طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۷ توسط قربانی و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شد. بر اساس مقادیر آماره آزمون‌های پتیت، سن و من-کندال به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۶۰ و ۰/۵۹ از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند معنادار کاهش خشکسالی بوده‌اند. ابراهیمی و میراکبری (۲۰۲۰) خشکسالی هواشناسی حال و آینده محدودۀ تالاب جازموریان را توسط دو شاخص SPEI و RDI و مدل گردش عمومی CanESM2 مورد ارزیابی قرار دادند. طبق بررسی‌های این پژوهشگران شاخص SPEI نسبت به RDI بهتر توانسته است تأثیر تبخیر تفرق و افزایش دما را بر خشکسالی نشان دهد. مظفری و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی ایران را تحت سناریوهای تغییر اقلیم توسط شاخص SPI بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که روند مشخصه‌های خشکسالی (شدت، زمان تداوم، بزرگی و اوج) در دوره تاریخی (۱۹۶۶-۲۰۰۵) در بخش زیادی از کشور بدون روند معنی‌دار بوده است. این در حالی است که نقشه‌های پهنه‌بندی SPI افزایش خشکسالی‌ها را در بخش اعظم کشور نشان دادند. آشیت^۶ و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات زمانی و مکانی مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب حوضه وادی چلیف^۷ الجزایر را با استفاده از شاخص SPEI دوازده‌ماهه ارزیابی کردند؛ نتایج ارزیابی روند تغییرات دوره‌های خشکی حاکی از تغییرات افزایشی در نیمه شمالی و کاهش در نیمه شمالی حوزه مورد مطالعه بود. ژو^۸ و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی خشکسالی هواشناسی توسط سه شاخص خشکسالی SPI، SPEI و EDD^۹ در شمال چین

تغییرات آب‌وهوا و اثرات آن بر بخش‌های مختلف کره زمین امروزه به یکی از اولویت‌های بزرگ دنیا تبدیل شده است که می‌تواند زندگی انسان را به‌طور جدی تحت تأثیر قرار دهد. تغییر در میزان و الگوی بارش و افزایش دما آغازگر تغییراتی شده است که یکی از پیامدهای آن وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت است. نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده که افزایش جهانی دمای کره زمین باعث تغییر در الگوی بارندگی و پدیده‌های حدی همانند خشکسالی شده است (کوثری و همکاران، ۲۰۱۷؛ ابراهیمی و میراکبری، ۲۰۲۰). به‌منظور شناسایی شدت و گسترش خشکسالی، شاخص‌های متعددی توسعه یافته است. از جمله شاخص‌های پرکاربرد برای تحلیل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی عبارت‌اند از: شاخص بارش استاندارد (SPI) (مک‌کی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳)، شاخص بارش-تبخیر استاندارد (SPEI) (ویسنت-سرانو^۲ و همکاران، ۲۰۱۱)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) (ساکریس و ونجلیس^۳، ۲۰۰۵)، شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) (بیون و ویلایت^۴، ۱۹۹۹) و شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) (پالم^۵، ۱۹۶۵). در میان شاخص‌های مذکور، شاخص بارش-تبخیر تفرق استاندارد شده و شاخص شناسایی خشکسالی جزء شاخص‌های دامینا هستند که ارزیابی خشکسالی بر اساس این شاخص‌ها بر پایه تغییرات دماست. به‌عبارت دیگر از طریق شاخص‌های دامینا می‌توان وضعیت خشکسالی را در شرایط افزایش جهانی دمای کره زمین ارزیابی کرد (میراکبری و ابراهیمی، ۲۰۲۱). از بین حوادث طبیعی، فراوانی پدیده خشکسالی از نظر شدت، مدت و محدودۀ گسترش، تلفات و خسارات آن در درازمدت بیشتر از سایر بلایای طبیعی است. افزایش فراوانی وقوع خشکسالی در دهه‌های اخیر و گسترش خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از آن، این بلای طبیعی-اقلیمی را در دستۀ مهم‌ترین چالش‌های حال حاضر قرار داده است (کرمی، ۲۰۱۷). مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی روند تغییرات پدیده خشکسالی به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی حدی حائز اهمیت در

6. Achite
7. Wadi Cheliff
8. Zhu
9. Extreme degree-day

1. McKee
2. Vicente-Serrano
3. Tsakiris and Vangelis
4. Byun and Wilhite
5. Palmer

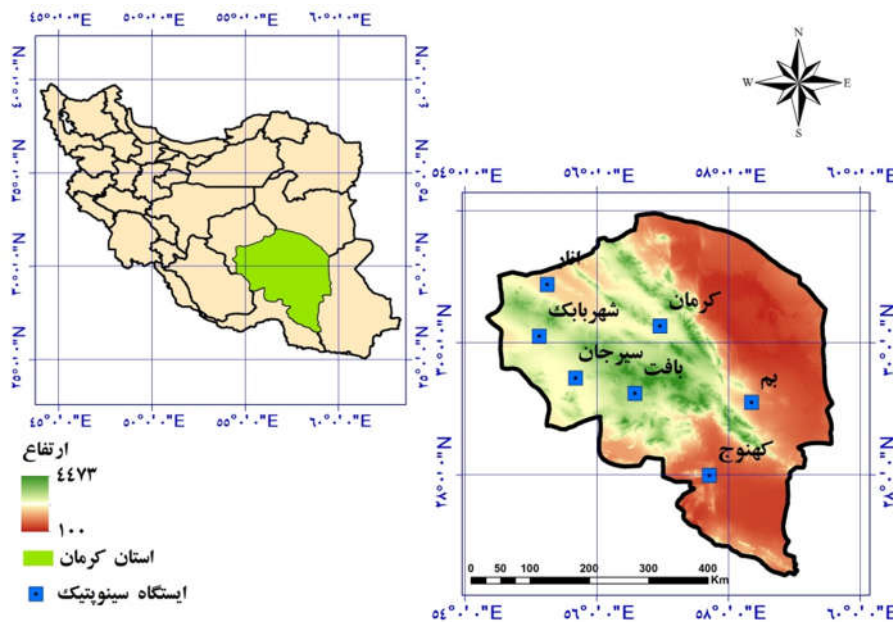
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

استان کرمان با مساحتی در حدود ۱۸۱۷۱۶ کیلومترمربع در جنوب شرقی ایران قرار گرفته و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اکثر منطقه دارای اقلیم خشک است (مزیدی و همکاران، ۱۴۰۰). متوسط بارندگی در منطقه مطالعاتی ۱۴۳/۸ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط سالانه ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد است (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). در این پژوهش از اطلاعات ۷ ایستگاه سینوپتیک موجود در سطح استان که دارای دوره آماری مشترک (۱۹۹۰-۲۰۱۸) بودند، برای ارزیابی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل بارندگی و دمای متوسط ماهانه‌اند که از اداره هواشناسی استان کرمان اخذ شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در سطح کشور و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.

پرداختند. آزمون‌های روند من-کندال و سن نیز برای بررسی تغییرات وضعیت خشکسالی در این منطقه به کار برده شدند. نتایج این آزمون‌ها، افزایش تنش خشکی و افزایش دما را در این منطقه نشان دادند. همچنین روند تغییرات خشکسالی‌های حاصل از شاخص SPEI نسبت به SPI بیشتر برآورد شد.

بررسی اجمالی تحقیقات گذشته حاکی از وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت در مناطق مختلف دنیا و به‌ویژه ایران است. اگرچه بر اساس پیشینه پژوهش حاضر، مطالعات متعددی در زمینه خشکسالی هواشناسی برای مناطق مختلف دنیا و ایران انجام شده، تاکنون مطالعه جامعی در زمینه بررسی نوسانات خشکسالی هواشناسی توسط شاخص SPEI در استان کرمان به انجام نرسیده است. بر این اساس در این پژوهش سعی بر آن شده است که به ارزیابی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی استان کرمان در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداخته شود. لذا هدف اصلی تحقیق حاضر ارزیابی روند تغییرات کوتاه‌مدت تا بلندمدت خشکسالی هواشناسی در این استان با استفاده از آزمون‌های من-کندال و شیب سن است.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های سینوپتیک

Figure (1): Geographical location of the study area and synoptic stations

بر اساس داده‌های بارندگی و دما تخمین می‌زند. شاخص SPEI بر اساس اختلاف میان بارندگی (P) و تبخیر تعرق (ETP) محاسبه می‌شود که این اختلاف تحت عنوان بیلان آبی (D=P-ETP) بیان می‌گردد. برای محاسبه تبخیر تعرق روش‌های

محاسبه شاخص خشکسالی SPEI

شاخص بارش-تبخیر تعرق استانداردشده (SPEI) که توسط ویسنت-سرانو و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شد، اصلاح‌شده شاخص بارش استاندارد است و دوره‌های خشک و مرطوب را

زمانی تأثیر خشکسالی را بر دسترس پذیری آب منعکس می کنند (ساکریس و ونجلیس، ۲۰۰۵)؛ به طوری که مقیاس ۱ ماهه و ۳ ماهه برای خشکسالی های کوتاه مدت، مقیاس ۶ و ۹ ماهه برای میان مدت و ۱۲ و ۲۴ ماهه برای توصیف خشکسالی های بلندمدت استفاده می شوند (میشرا^۲ و همکاران، ۲۰۰۷).

آزمون روند من-کندال

به منظور ارزیابی روند تغییرات سری های زمانی، گام اول بررسی وجود خودهمبستگی بین سری زمانی است. بدین منظور روش پیش سفید کردن^۳ (وان استورچ^۴، ۱۹۹۹) برای تعیین وجود یا وجود نداشتن خودهمبستگی به کار برده می شود. در این پژوهش پس از حصول اطمینان از وجود نداشتن خودهمبستگی بین داده ها، آزمون من-کندال بر روی مقادیر SPEI بدون روند اعمال شد. آزمون من-کندال بر پایه رتبه داده ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شده است که در ابتدا من و سپس توسط کندال آن را ارائه کردند (من^۵، ۱۹۴۵؛ کندال^۶، ۱۹۷۵). این آزمون به عنوان یک روش ناپارامتری دارای مزایایی است که سبب شده به طور متداول و گسترده ای در تحلیل روند سری های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته شود (سریواستاوا و ساران^۷، ۲۰۱۷). در این آزمون، فرض صفر بیانگر تصادفی بودن و وجود نداشتن روند در سری زمانی داده ها بوده و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده ها است. در روش من-کندال فرض بر این است که یک سری زمانی به صورت x_1, x_2, \dots, x_n وجود دارد. آماره آزمون من-کندال با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می شود که در آن، j و k مرتبه مشاهدات هستند و تابع علامت $sgn(x)$ به صورت رابطه ۶ تعریف می شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (6)$$

متعددی در منابع مختلف ارائه شده که به دلیل نیاز به پارامترهای ورودی زیاد محاسبات آن دشوار است. با توجه به داده های موجود، روش تورنت وایت مناسب ترین روش برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل است که تنها بر اساس پارامتر دمای متوسط و عرض جغرافیایی محاسبه می شود (تورنت وایت^۱، ۱۹۴۸). یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی D را پوشش دهد. تابع توزیع احتمال سری های D بر اساس رابطه زیر به دست می آید. در این رابطه α پارامتر مقیاس، β پارامتر شکل و γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده $\gamma > D < \infty$ است.

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

بدین ترتیب SPEI از مقادیر استاندارد شده $F(x)$ محاسبه می شود. پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال، شاخص SPEI طبق روابط (۲) تا (۴) استخراج می گردد (ویسنت-سرانو و همکاران، ۲۰۱۰).

$$SPEI = \left[w - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (2)$$

$$w = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (3)$$

$$w = \sqrt{-2 \ln(1-P)} \quad \text{for } P \geq 0.5$$

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

$$\begin{cases} 0 < H(x) \leq 0.5 & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \\ 0.5 < H(x) \leq 1 & t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \end{cases} \quad (4)$$

در این روابط، q احتمال بارندگی صفر، $G(x)$ احتمال تجمعی و P احتمال تجاوز از مقادیر معین D است. همچنین ثابت های معادله به صورت $C_1=0.802853$ ، $C_2=0.010328$ ، $d_1=1.432788$ ، $d_2=0.18929$ ، $d_3=0.001308$ طبقه بندی شاخص SPEI همانند شاخص SPI است که مک کی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه کرده اند. SPEI شاخص چنددراری است که در مقیاس های زمانی مختلف، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه قابل محاسبه اند (ویسنت-سرانو و همکاران، ۲۰۱۰). مقیاس های

2. Mishra
3. Pre-Whitening
4. Von Storch
5. Mann
6. Kendall
7. Srivastava and Saran

1. Thornthwaite

SPEI قابل مشاهده است (شکل ۲)، شدیدترین رخداد ماهانه در ایستگاه انار با مقدار ۴/۲۷ در مقیاس ۳ ماهه (SPEI3)، ایستگاه بافت در مقیاس ۳ ماهه (SPEI3) و با مقدار ۳/۸۸، ایستگاه بم با مقدار ۴/۱۲ در مقیاس ۹ ماهه (SPEI9)، ایستگاه سیرجان در مقیاس ۱۲ ماهه (SPEI12) با مقدار ۵/۶۵، شهرباک در مقیاس ۱۲ (SPEI12) با مقدار ۳/۹۸، کرمان در مقیاس ۳ ماهه (SPEI3) با مقدار ۶/۴۷، و در ایستگاه کهنوج شدیدترین رخداد با مقدار ۳/۷۳ در مقیاس ۹ ماهه (SPEI9) وقوع یافته است. مقادیر میانگین سالانه SPEI نشان داد شدیدترین وقایع خشکسالی در ایستگاه‌های انار، بافت، بم، سیرجان، شهرباک، کرمان و کهنوج به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۱۹۹۰، ۱۹۹۰، ۲۰۰۱، و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است که دارای مقادیر ۱/۰۵، ۰/۸۴، ۰/۰۶۶، ۰/۸۱، ۱/۴۵، ۰/۷۱، و ۰/۳۷ هستند.

طبقات مختلف خشکسالی بر اساس تقسیم‌بندی مک-کی و همکاران (۱۹۹۳) برای مقیاس‌های زمانی SPEI تعیین شدند. نتایج نشان داد فراوانی خشکسالی‌ها بر اساس هر یک از مقیاس‌های زمانی ۳، ۹، و ۱۲ ماهه (SPEI3, SPEI9, SPEI12) بعد از وضعیت نرمال، خشکسالی با شدت ملایم و سپس شدید، دارای بالاترین تعداد رخداد طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ هستند (شکل ۳). بر اساس نتایج به دست آمده در ایستگاه‌های انار، بافت، شهرباک و کرمان خشکسالی‌ها با شدت ملایم دارای بیشترین فراوانی بوده که به ترتیب در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۹، و ۳ ماهه به وقوع پیوسته است؛ در حالی که در ایستگاه‌های بم، سیرجان و کهنوج خشکسالی‌های شدید بیشترین تعداد وقوع را طی دوره آماری مورد بررسی نشان دادند. در این ایستگاه‌ها خشکسالی‌های شدید در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه رخ داده است. به طور کلی تعداد رخداد‌های خشکسالی در طبقات مختلف نشان داد بیشترین رخداد‌های خشکسالی شدید به ترتیب در ایستگاه بم، سیرجان و سپس کهنوج با فراوانی ۱۳، ۱۱ و ۱۱٪ رخ داده است. به بیان دیگر، احتمال وقوع خشکسالی شدید بعد از خشکسالی نرمال در ایستگاه‌های مذکور بیشتر است. همچنین مقایسه طبقات دوره خشک و مرطوب طبق طبقه‌بندی شاخص

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار S اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد، روند وجود ندارد و در غیر این صورت، روند، صعودی یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد طبق رابطه (۷) استفاده می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵). فرض صفر (H_0) در آزمون من-کندال عدم وجود روند و فرض H_1 وجود روند است.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\} \quad (8)$$

آزمون شیب سن

این آزمون را ابتدا تیل^۱ در سال (۱۹۵۰) ارائه کرد و سپس سن^۲ در سال ۱۹۶۸ بسط و گسترش داد. در این آزمون شیب میانه برای سری زمانی محاسبه شد و معنی‌داری شیب در سطوح مختلف اطمینان به دست آمد. شیب میانه بین داده‌ها با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s}, i = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

که x_t و x_s به ترتیب داده در زمان‌های $t > s$ و $N = \frac{n(n-1)}{2}$ هستند. مقدار مثبت شیب سن بیانگر روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی است.

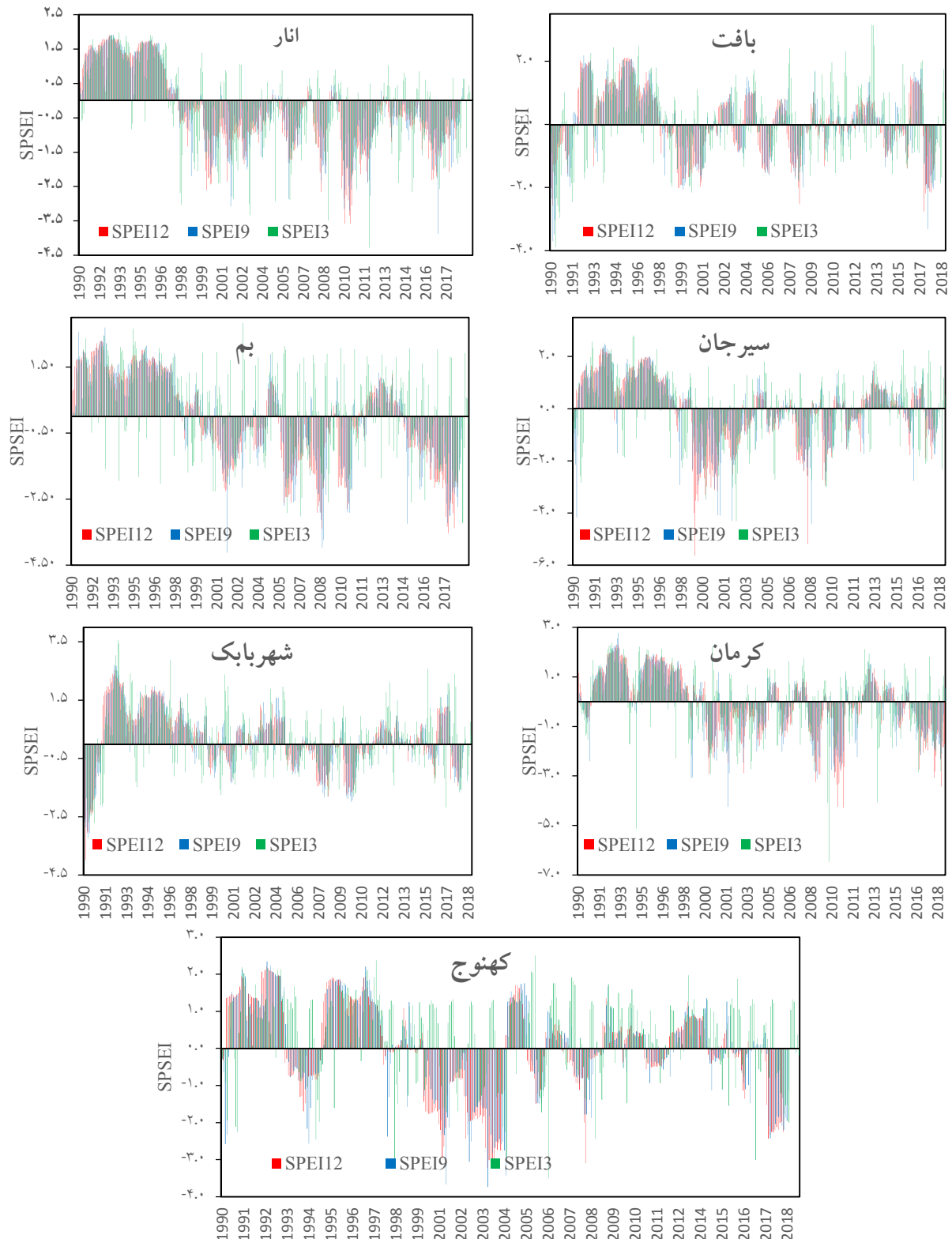
در این پژوهش به منظور تحلیل تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه SPEI از نرم‌افزار SYSTAT13 استفاده شده است.

نتایج

تحلیل سری‌های زمانی SPEI

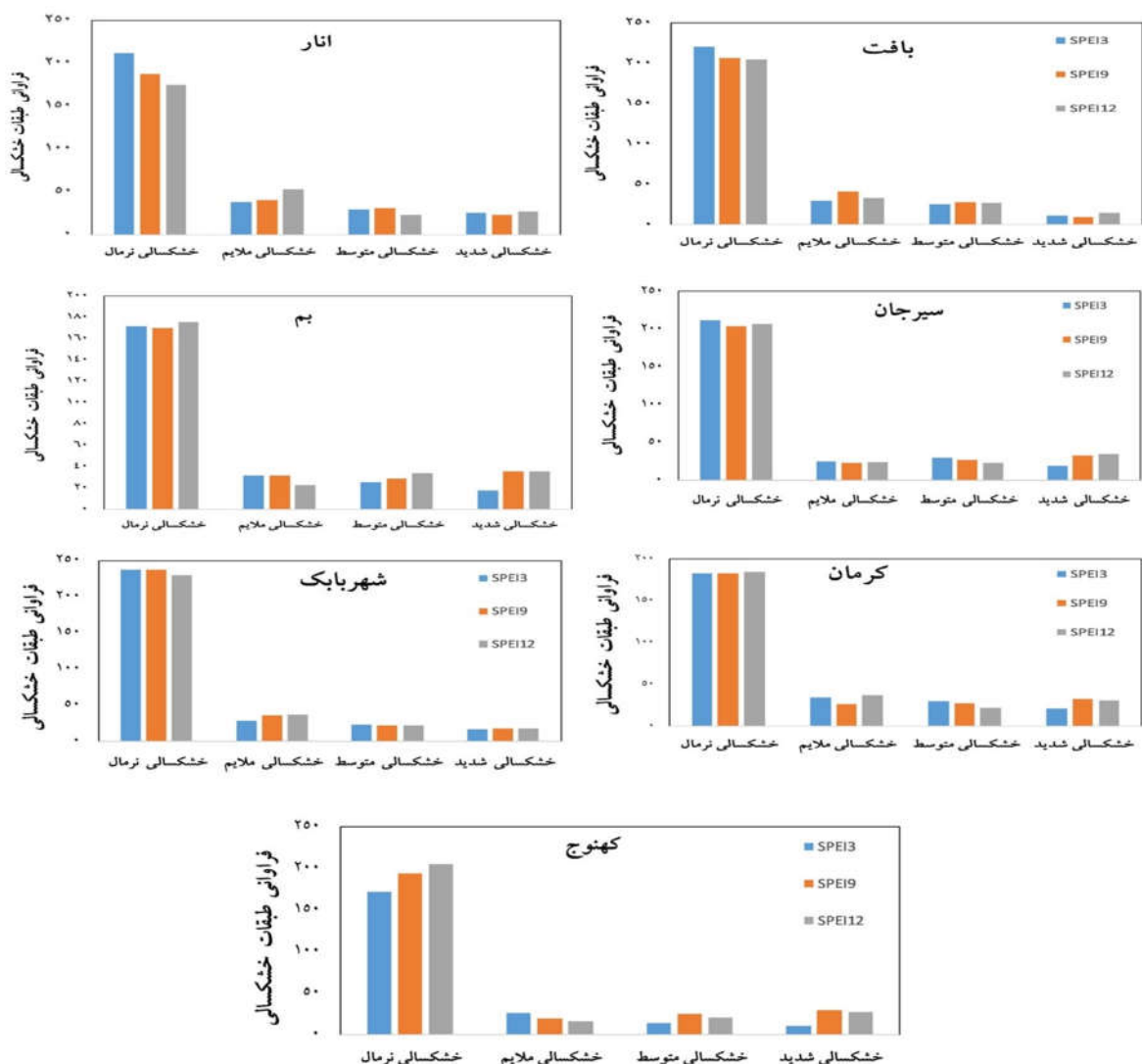
مقادیر شاخص SPEI در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک استان برای مقیاس‌های ۳، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه شد. شکل (۲) سری‌های زمانی SPEI3, SPEI9 و SPEI12 را در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در سری‌های ماهانه

SPEI حاکی از بالاتر بودن تعداد وقایع خشکسالی نسبت به ترسالی در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی است. بر این اساس، فراوانی خشکسالی‌ها طی کل دوره مطالعاتی (۱۹۹۰-۲۰۱۸) در ایستگاه انار ۰/۷۷، ایستگاه بافت ۰/۸۰، بزم ۰/۷۴، سیرجان ۰/۷۹، شهرابک ۰/۸۳، کرمان ۰/۷۵ و در ایستگاه کهنوج ۰/۷۷ از کل دوره آماری در شرایط خشکسالی طبق شاخص SPEI بوده است.



شکل (۲): سری‌های زمانی SPEI3، SPEI9، SPEI12 در ایستگاه‌های استان کرمان طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۸

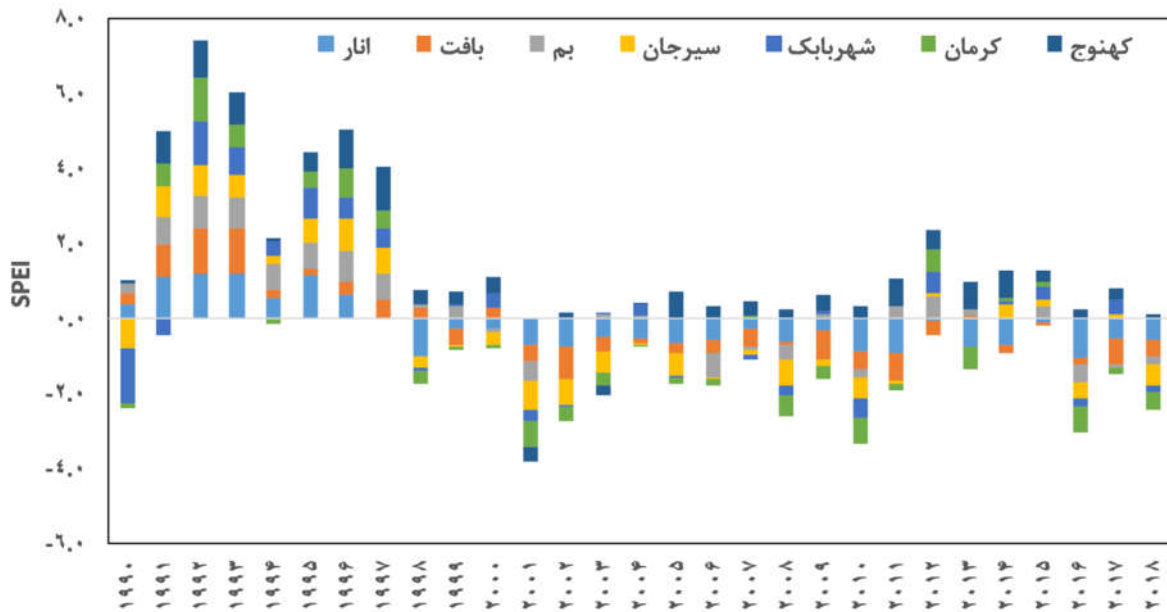
Figure (2): SPEI3, SPEI9 and SPEI12 time series in the stations of Kerman province during the period 1990-2018



شکل (۳): طبقات خشکسالی سری‌های زمانی SPEI3، SPEI9 و SPEI12 در ایستگاه‌های استان کرمان طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸
 Figure (3): Drought classes of SPEI3, SPEI9 and SPEI12 time series in stations of Kerman province during the statistical period 1990-2018

کرده است. همچنین ایستگاه‌های بافت، بم، شیرجان، شهریابک، کرمان و کهنوج طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱، ۲۰۰۱ تا ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ تا ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ تا ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ با بیشترین تعداد رخداد‌های خشکسالی مواجه بوده‌اند. متوسط شاخص SPEI در بازه‌های زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ به ترتیب برابر با ۰/۵۸، ۰/۳۳، ۰/۵۸، ۰/۳۶، ۰/۲۷، ۰/۲۹، ۰/۲۷ است.

به منظور درک بهتر تغییرات خشکسالی میانگین سالانه مقادیر SPEI طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی ترسیم شد (شکل ۴). مقادیر سالانه SPEI در منطقه مطالعاتی نشان داد تقریباً در اکثریت ایستگاه‌ها در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ تعداد رخداد‌های خشکسالی نسبت به سال‌های قبل و بعد از آن دوره بیشتر است. به طوری که طبق شکل (۴)، ایستگاه انار طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ بیشترین و شدیدترین خشکسالی‌ها را تجربه



شکل (۴): مقادیر میانگین سالانه SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی

Figure (4): Mean annual values of SPEI in study stations

ارزیابی روند تغییرات ماهانه خشکسالی

نتایج محاسبه آماره Z آزمون من-کندال برای سری‌های ماهانه در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹٪ نشان می‌دهد تنها در ماه نوامبر روند تغییرات خشکسالی برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه منفی بوده که فقط در ایستگاه سیرجان و شهربابک این تغییرات کاهش از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ ($Z=2/83$) معنادار نشان داده شده است (جدول ۱). مقادیر آماره آزمون من-کندال نشان داد در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، سپتامبر، اکتبر و دسامبر تغییرات دوره‌های خشکسالی مثبت بوده است. روند افزایشی خشکسالی در ایستگاه انار در ماه‌های فوریه ($Z=2/34$)، مارس ($Z=2/95$)، ژوئن ($Z=3/88$)، ژوئیه ($Z=2/64$)، اکتبر ($Z=2/44$) و دسامبر ($Z=2/01$) در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹٪ معنی‌دار نشان داده شده است. در ایستگاه بافت ماه‌های ژانویه ($Z=2/12$)، می ($Z=2/1$)، ژوئن ($Z=3/3$)، ژوئیه ($Z=3/3$)، سپتامبر ($Z=2/85$)، و اکتبر ($Z=3/23$) تغییرات افزایشی طی دوره آماری مورد مطالعه معنادار بوده است. ایستگاه بم با روند تغییرات افزایشی معنی‌دار خشکسالی در ماه‌های ژانویه

($Z=3/36$)، مارس ($Z=2/79$)، آوریل ($Z=2/23$)، و اکتبر ($Z=3/25$) مواجه بوده است. در ایستگاه سیرجان، تغییرات خشکسالی در ماه ژوئن افزایشی ($Z=2/91$) و در دیگر ماه‌های سال به‌استثنای آگوست و نوامبر که خشکسالی روند کاهشی داشته، تغییرات معناداری در این ایستگاه نداشته است. روند افزایشی و کاهشی خشکسالی به‌ترتیب در ماه‌های ژانویه ($Z=3/25$) و نوامبر ($Z=2/91$) در ایستگاه شهربابک مشاهده شد. آماره آزمون من-کندال نشان داد در ایستگاه کرمان نیز تغییرات افزایشی معنی‌دار در ماه ژوئن ($Z=2/18$) و اکتبر ($Z=2/59$) وجود دارد. همچنین در ایستگاه کهنوج تغییرات افزایشی و کاهشی معنی‌دار خشکسالی به‌ترتیب در ماه‌های ژانویه ($Z=2/1$) و ژوئیه ($Z=2/64$) مشاهده شد. نتایج آزمون سن برای مقادیر ماهانه شاخص خشکسالی SPEI نشان داد شیب خط روند در تمامی ماه‌ها و ایستگاه‌های مطالعاتی، مطابق با نتایج حاصل از نتایج آزمون من-کندال و حاکی از شیب صعودی و نزولی است.

جدول (۱): مقادیر آماره آزمون من-کندال در سری‌های زمانی ماهانه SPEI

Table (1): Mann-Kendall test statistics in the monthly SPEI time series

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انار	-۲/۸۳	۲/۳۴	۲/۹۵	۱/۸۲	۱/۵۲	۳/۸۸	۲/۶۴	۱/۶۳	۱/۸۹	۲/۴۴	-۱/۰۷	۲/۰۱
بافت	۲/۱۲	۰/۴۳	۱/۲	۱/۷۶	۲/۱	۳/۳	۳/۳	-۰/۸۳	۲/۸۵	۳/۲۳	-۱/۶۵	۱/۶۱
بم	۳/۳۶	۰/۸۸	۲/۷۹	۲/۲۳	۱/۶۷	-۱/۴۸	-۱/۱۴	۰	۱/۴۴	۳/۲۵	-۰/۹۲	۰/۸۱
سیرجان	۱/۴۴	۰/۰۶	۱/۶۳	۱/۲۲	۱/۱۴	۲/۹۱	۰/۵۸	-۲/۰۸	۰/۸۴	۱/۶۷	-۲/۸۳**	۱/۷۴
شهربابک	۳/۲۵	۰/۲۴	۱/۵۲	۰/۶۲	-۰/۰۶	۱/۷۴	-۰/۹۹	-۰/۵۲	۰/۴۷	۱/۲۹	-۲/۹۱**	۱/۲۹
کرمان	۲/۶۴	۰/۱۷	۲/۳۴	۰/۸۸	۰/۹۹	۲/۱۸	۰/۶	-۰/۷۷	۱/۳۲	۲/۵۹	-۱/۴۶	۱/۱۴
کهنوج	۲/۱	۱/۰۷	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۵۳	-۰/۷۴	-۲/۶۴	-۰/۴۳	۰/۸۸	۰/۸۱	-۱/۸۶	۰/۸۱

جدول (۲): مقادیر شیب خط سن در سری‌های زمانی ماهانه SPEI

Table (2): Sen's Slope values in the monthly SPEI time series

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انار	-۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	-۰/۰۳	۰/۰۴
بافت	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۸	-۰/۰۵	۰/۰۳
بم	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۶	۰/۰۹	-۰/۰۳	۰/۰۲
سیرجان	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۰۲
شهربابک	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۰۴
کرمان	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۸	-۰/۰۵	۰/۰۲
کهنوج	۰/۰۵	۰/۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۰۲

آماره آزمون من-کندال ۳/۷، ۲/۶۴، ۲/۴۶ و ۳/۰۲ مشاهده شد. همچنین مقادیر شیب خط روند بر طبق آزمون سن نیز تأییدی برای نتایج حاصل از آزمون من-کندال است (جدول ۴). بر اساس آزمون سن نیز شیب خط روند در تمامی ایستگاه‌ها نشان‌دهنده وجود تغییرات افزایشی خشکسالی است. به‌منظور ارزیابی دقیق تغییرات خشکسالی، آزمون روند برای سری‌های سالانه شاخص SPEI نیز محاسبه (جدول ۳ و ۴) و برای تأیید شیب روند، آزمون سن نیز استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون روند من-کندال، افزایش خشکسالی‌ها را طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۹۰-۲۰۱۸) برای تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که این تغییرات افزایشی خشکسالی در ایستگاه‌های انار ($Z=۳/۳۵$)، بافت ($Z=۳/۳۲$)، بم ($Z=۳/۱۳$) و کرمان ($Z=۲/۳۴$) معنی‌دار است.

ارزیابی تغییرات فصلی خشکسالی در سطح استان طبق آماره آزمون من-کندال نشان داد در فصل بهار، پاییز و زمستان تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی دارای روند افزایشی بوده که این روند افزایشی در فصل بهار در ایستگاه‌های انار و بافت به‌ترتیب با آماره من-کندال ۲/۷۲ و ۲/۷۸ در سطح ۹۹ معنی‌دار بوده است (جدول ۳). نتایج آزمون سن در این ایستگاه‌ها نیز حاکی از صعودی بودن شیب خط روند خشکسالی است (جدول ۴). در فصل پاییز تنها در ایستگاه انار با مقدار آماره ۱/۹۷ و در سطح معنی‌داری ۹۵٪ روند قابل قبول افزایشی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد در فصل زمستان دوره مطالعاتی، روند افزایشی قابل توجهی در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی وجود داشته است، به‌طوری‌که روند صعودی معناداری در انار، بم، شهربابک و کرمان با مقادیر

جدول (۳): مقادیر آماره آزمون من-کندال در سری های فصلی و سالانه SPEI

Table (3): Mann-Kendall test statistic values in the seasonal and annual SPEI series

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
انار	۲/۷۲**	۲/۶۴**	۱/۹۷*	۳/۷**	۳/۳۵**
بافت	۲/۷۸**	۳**	۱/۷۳	۱/۸۶	۳/۳۲
بم	۱/۵۶	۱/۳۷	۱/۵۹	۲/۶۴**	۳/۱۳**
سیرجان	۲/۳۱*	-۰/۲۸	۰/۶۶	۱/۵۲	۰/۹۲
شهربابک	۱/۱۴	-۰/۸۸	۰/۱۷	۲/۴۶**	۱/۱۸
کرمان	۲/۳۳**	۰/۴۷	۱/۴۴	۳/۰۲**	۲/۳۴**
کهنوج	۰/۵۱	-۰/۴۳	۰/۵۱	۱/۷۸	۱/۴۲

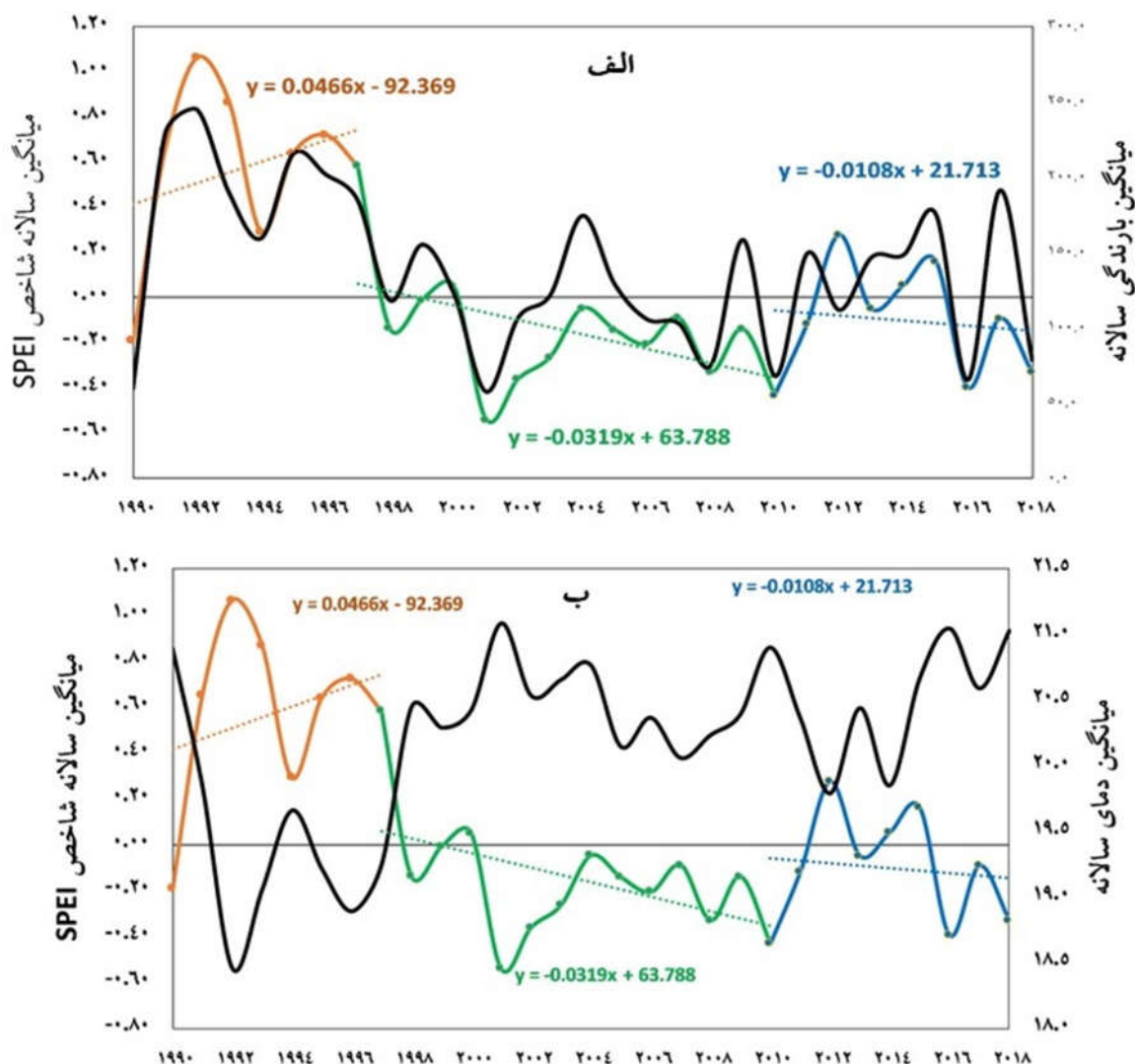
جدول (۴): مقادیر شیب خط سن در سری های فصلی و سالانه SPEI

Table (4): Sen's Slope values in the seasonal and annual SPEI series

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
انار	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۳۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵
بافت	۰/۰۶۰	۰/۰۵۶	۰/۰۱۹	۰/۰۳۳	۰/۰۴
بم	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۰۵	۰/۰۳
سیرجان	۰/۰۵۸	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۱
شهربابک	۰/۰۲۳	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰/۰۳۸	۰/۰۲
کرمان	۰/۰۴۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۸	۰/۰۴۳	۰/۰۳
کهنوج	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱

وضعیت خشکسالی در استان است. انطباق کامل بارندگی در این دوره زمانی نیز با وضعیت خشکسالی اثر مستقیم این پارامتر را نشان می دهد. دوره دوم تغییرات خشکسالی که شیب منفی دارد، از سال ۱۹۹۷ شروع شده و تا انتهای ۲۰۱۰ ادامه یافته است. در این دوره، شاخص SPEI با نرخ ۰/۰۳۱ روند کاهشی داشته که بیانگر شروع دوره افزایش شدت خشکسالی ها در سطح استان است. بررسی تغییرات میانگین بارندگی و دما نیز بیانگر تأثیر مستقیم افزایش دما و کاهش بارندگی نسبت به دوره قبل است. آخرین دوره (۲۰۱۱-۲۰۱۸) تغییرات شاخص خشکسالی نیز شیب منفی را نشان می دهد که همانند دوره ماقبل بیانگر روند افزایشی شدت خشکسالی در منطقه است. در این دوره شیب تغییرات نسبت به بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰ کمتر است زیرا میانگین بارندگی در سطح استان در این دوره افزایش یافته است.

به منظور درک بهتر تغییرات خشکسالی در استان کرمان متوسط سالانه شاخص SPEI طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ بررسی شد که نتایج مربوط در شکل (۵) ارائه شده است. همان طور که مشخص است خشکسالی در استان سه دوره متفاوت را تجربه کرده است: دوره اول از ابتدای سال ۱۹۹۰ شروع شده و تا ۱۹۹۶ ادامه یافته است. در این دوره تغییرات شاخص خشکسالی روند صعودی داشته است؛ به بیان دیگر از شدت خشکسالی با نرخ ۰/۰۴۶ در سال کاسته شده است، به طوری که سال ۱۹۹۲ وضعیت خشکسالی نسبت به کل دوره از شدت کمتری برخوردار بوده و از این سال به بعد، استان از لحاظ بارندگی و رطوبت شرایط مطلوبی را تجربه نکرده است. همچنین مقادیر میانگین بارندگی و دمای متوسط سالانه طی این دوره (۱۹۹۰-۱۹۹۶) نیز حاکی از تأثیر مستقیم کاهش نسبی دما بر



شکل (۵): الف. میانگین تغییرات سالانه خشکسالی و بارندگی؛ ب. میانگین تغییرات سالانه خشکسالی و دمای متوسط
 Figure (5): Annual changes in the drought and the mean rainfall (a) and mean annual temperature (b)

بحث و نتیجه گیری

فراوانی ۸۰٪ طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ رخ داده است. همچنین شدیدترین واقعه خشکسالی طبق میانگین سالانه SPEI نیز در این ایستگاه در سال ۲۰۱۶ به وقوع پیوسته است. مقادیر میانگین سالانه SPEI نشان داد منطقه مطالعاتی با شدیدترین رخداد های خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ مواجه بوده است. همچنان که نتایج مطالعه رودری و همکاران (۲۰۱۹) بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲ را به عنوان خشک ترین سالها در دشت سیستان شناسایی کردند. نتایج ارزیابی تغییرات ماهانه خشکسالی توسط روش من-کندال و سن نشان داد تقریباً در تمامی ماه های سال به استثنای می، روند افزایشی و کاهشی مشاهده می شود؛ به طوری که در

با توجه به تأثیر تغییرات اقلیمی بر پارامترهای بارندگی و دما در کل کشور و همچنین تأثیر قابل توجه بارش و نوسانات آن بر روی تولیدات کشاورزی، ارزیابی روند نوسانات پدیده های حدی همچون خشکسالی که تحت تأثیر مستقیم بارندگی و دما هستند، از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا در این مطالعه به ارزیابی تغییرات خشکسالی توسط شاخص SPEI3، SPEI9 و SPEI12 در استان کرمان به عنوان یکی از مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک کشور پرداخته شد. نتایج تحلیل سری های زمانی SPEI نشان داد بیشترین تعداد وقایع خشکسالی طبق شاخص SPEI در ایستگاه شهر بابک با

منطقه گپ دارای روند کاهشی در ۳۰٪ ایستگاه‌های مطالعاتی بوده است. ژای^۳ و همکاران (۲۰۲۰) روند تغییرات خشکسالی حال و آینده آسیای جنوبی را توسط آزمون من-کندال و من-کندال اصلاح شده تعیین کردند. نتایج افزایش معنی دار مشخصه‌های خشکسالی را در دوره حال و آینده برای غرب آسیا نشان داد.

به‌طور کلی، بررسی تغییرات دوره‌ای خشکسالی استان کرمان نشان داد که این استان سه دوره با شیب‌های متفاوت روند تغییرات خشکسالی را طی دوره آماری مورد مطالعه تجربه کرده است؛ به‌طوری که دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۹۶) خشکسالی دارای شیب کاهشی، دوره دوم (۱۹۹۷-۲۰۱۰) و دوره سوم (۲۰۱۱-۲۰۱۸) دارای شیب افزایشی بوده است که این شیب تغییرات به‌طور نسبی با تغییرات بارندگی و دمای متوسط در کل استان انطباق دارد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۱) انطباق دارد. در این مطالعه وجود سه دوره تغییرات خشکی با شیب روند متفاوت بر اساس شاخص خشکی دومارتن در کل کشور طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۸ گزارش شده است. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که خشکسالی در استان کرمان طی سال‌های گذشته روندی صعودی داشته که این شرایط نیاز به توجه بیشتر کارشناسان و برنامه‌ریزان منابع آب برای مدیریت مناسب در شرایط کم‌آبی ناشی از خشکسالی‌های شدید را دارد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۲-۴۸۱۲-۰۰ است که با حمایت مالی دانشگاه جیرفت انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت آموزشی و پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌کنند.

ماه‌های ژانویه (روند افزایشی و کاهشی) و اکتبر (روند افزایشی) بیشترین تغییرات معنی دار خشکسالی وجود دارد. تغییرات فصلی خشکسالی نشان داد در فصل بهار، پاییز و زمستان دارای شیب صعودی بوده که در برخی ایستگاه‌ها این افزایش در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵٪ معنی دار بوده است؛ این در حالی است که فصل تابستان در طول دوره مطالعاتی با تغییرات افزایشی و کاهشی مواجه بوده است. وجود روند افزایشی خشکسالی در فصل بهار، تابستان و پاییز توسط ملکی نژاد و همکاران (۲۰۱۲) در استان تهران گزارش شده است؛ در حالی که در این مطالعه، تغییرات خشکسالی فصل زمستان روند کاهشی داشته است که به نظر می‌رسد دلیل تفاوت نتایج این مطالعه با پژوهش حاضر، تفاوت اقلیم دو محدوده مطالعاتی باشد. به‌طور کلی ارزیابی تغییرات سالانه خشکسالی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد در کل منطقه خشکسالی طی دوره آماری مورد بررسی (۱۹۹۰-۲۰۱۸) سیر صعودی داشته است؛ به‌بیان دیگر شدت خشکسالی در سطح استان کرمان رو به افزایش است که یکی از عمده‌ترین دلایل تغییرات اقلیمی و به‌تبع آن افزایش دماست (میراکبری و ابراهیمی، ۲۰۲۱؛ مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰). روند افزایشی خشکسالی در سطح کشور توسط محققان متعددی از جمله قربانی و همکاران (۲۰۲۰)، مظفری و همکاران (۲۰۲۱)، امانی و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است. محققان متعددی در سطح جهان نیز روند تغییرات خشکسالی هواشناسی را توسط آزمون‌های مورد استفاده در این پژوهش بررسی کردند که تا حدودی مؤید یافته‌های پژوهش حاضر است؛ برای مثال، اولاً^۱ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات مشخصه‌های خشکسالی را در پاکستان توسط آزمون‌های من-کندال، سن و من-کندال متوالی ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر روند افزایشی مشخصه‌های خشکسالی طی دوره آماری مورد مطالعه است. روند تغییرات خشکسالی منطقه گپ ترکیه بر اساس شاخص SPI و آزمون‌های من-کندال و من-کندال رتبه‌ای توسط گاموس^۲ و همکاران (۲۰۲۱) ارزیابی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده

1. Ullah
2. Gumus

3. Zhai

منابع

- Achite, M., Krakauer, N., Walega, A. and Caloiero, T., 2021. Spatial and temporal analysis of dry and wet spells in the Wadi Cheliff basin, Algeria. *Atmosphere* 12(6): 798.
- Amani, M., Borna, R. and Zouhorian, M., 2021. Spatial analysis of drought trend and calculation of reliable rainfall in Khuzestan province. *Geography (Regional Planning)*, 12(1), pp.109-97.
- Byun, H. and Wilhite, D., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *J Clim* 12:2747-2756.
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M. and Soleimani-Sardo, M., 2021. Aridity Index Variations and Dust Events in Iran from 1990 to 2018, *Annals of the American Association of Geographer*. 1-18.
- Ebrahimi Khusfi, Z., and Mirakbari, M. (2020). Assessment of the Impact of Climate Change on the Drought of Jazmourian Wetland Using CanESM2 Model', *Desert Management*, 7(14), pp. 149-166.
- GhorbaniAghdam, M., Dinpazhoh, Y., FakheriFard, A. and Darbandi, S., 2012. Regionalization of Urmia Lake Basin from the View of Drought Using Factor Analysis. *Water and Soil*. 26 (5). 1268-1276.
- Gumus, V., Simsek, O., Avsaroglu, Y. and Agun, B. 2021. Spatio-temporal trend analysis of drought in the GAP Region, Turkey. *Natural Hazard*. 109: 1759-1776.
- Karami, E., 2017. Climate Change, Drought and Poverty in Iran: A Perspective of Future. 1 (1): *Agriculture Science and Natural Resources* 63-80.
- Kendall M., 1975. Rank correlation methods (4th edn.) Charles Griffin. San Francisco, CA, 8.
- Kousari, M., Ekhtesasi, M. and Malekinezhad, H., 2017. Investigation of long term drought trend in semi-arid, arid and hyper-arid regions of the world. *Desert Management*. 8: 36-53.
- Malekinezhad, H., SoleymaniMotlagh, M., Jaydari, A. and ShaterAbshouri, S., 2012. Analysis of rainfall and drought changes using Mann-Kendall and Sen tests in Tehran province. *Nivar*. 80(81): 43-55.
- Mann HB., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*: 245-259.
- Mazidi, A., Enayatpour, M. and Hosseini, SS. 2021. Climate determination of Kerman province using ambrothermic curve methods, Domarten drought coefficient, Amberjeh climate view. *Geography and Human Relationships*. 4(2): 35-43.
- McKee, TB. and Doesken NJ Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Boston, MA: American Meteorological Society: 179-184
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F. and Miglietta, MM., 2020. Meteorological drought analysis using copula theory and drought indicators under climate change scenarios (RCP). *Meteorological Applications* <https://doi.org/10.1002/met.1856>.
- Mirakbari, M. and Ebrahimi, Z., 2021. Evaluation of the climate change effects on the future drought characteristics of Iranian wetlands. *Arabian Journal of Geoscience*. 14(21): 1-24.
- Mishra, AK., Desai, VR. and Singh., VP., 2007. "Drought Forecasting Using a Hybrid Stochastic and Neural Network Model." *Journal of Hydrologic Engineering* 12, no. 6: 626-38.
- Mozafari, E., Bazrafshan, O. and Moradi, N., 2021. Spatio-Temporal Variability of Characteristics of Meteorological Drought in Iran under Climate Change Scenarios. *Desert Management*. 16: 153-168.
- Palmer, WC., 1965. Meteorological drought Weather Bureau Paper 45, US Dept. of Commerce, Washington D.C.
- Roodari, A., Hassanpoor, F., Yaghoubzadeh, M. and Delavar, M., 2019. Investigation of Relation between Meteorological and Hydrological Drought in Sistan Plain. *Environmental Science and Technology*. 21 (85). 33-44.
- Sen, PK., 1968. Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *Journal of the Royal Statistical, B*, 30.
- Srivastava, A. and Saran, S., 2017. Comprehensive study on AOD trends over the Indian subcontinent: a statistical approach. *International Journal of Remote Sensing*, 38(18): 5127-5149.
- Theil, H., 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proc Koninklijke Nederlandse Akad Wetenschappen A* 53: 1397-1412.
- Thornthwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev* 38(1):55-94.
- Tsakiris, G. and Vangelis, HJEW., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water* 9, 10: 3-1
- Ullah, E., Ma, X., Salmeen, F., Syed, S., Omer, A., Asmeron, B., Liu, M. and Arshad, M. 2022. Observed changes in seasonal drought characteristics and their possible potential drivers over Pakistan. *Climatology*. 42(3): 1576-1596.
- Vicente-Serrano, SM., Sergio, M., Santiago, Beguería. and López-Moreno., j., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of climate* 23 (7): 1696-718.
- Von Storch H., 1999. Misuses of statistical analysis in climate research. In: *Analysis of climate variability*. Springer, pp 11-26.

29. Zhai, J., Mondal, S., Fischer, Th., Wang, Y., Su, B., Huang, J., Tao, H., Wang, G., Ullah, W. and Uddin, MJ. 2020. Future drought characteristics through a multi-model ensemble from CMIP6 over South Asia. Atmospheric Research. 246: 105111.
30. Zhu, X., Liu, T., Xu, K. and Chen, C., 2022 The impact of high temperature and drought stress on the yield of major staple crops in northern China. Environmental Management. 314: 115092.

Assessing Temporal Alterations in Drought Status of Kerman Province from 1990 to 2018 Using Mann-Kendall Test and Sen's slope

Zohre Ebrahimi-Khusfi^{1*}, Maryam Mirakbari², Mohsen Ebrahimi-Khusfi³, Mojtaba Soleimani⁴

Received: 28/05/2022

Accepted: 15/10/2022

Extended Abstract

Introduction: Located in arid and semi-arid climates, most parts of Iran suffer the consequences of drought; the fact that makes the assessment of the trend of changes in the drought a crucially important task. On the other hand, an overview of previous studies indicates the occurrence of severe and long-term droughts in recent years, highlighting the consequences brought about by drought in Iran and other parts of the world. Considering the fact that global warming-induced climate change and severe and prolonged droughts are the major challenges worldwide, especially in the arid and semi-arid regions, it is necessary to examine the drought's trend of changes as a consequence of climate change that may severely limit access to water resources. However, while several studies have been conducted on meteorological drought in different regions of Iran, no comprehensive study has so far been carried out on the changes made in meteorological drought in Kerman province in terms of SPEI. Therefore, this study sought to investigate the trend of such changes in Kerman province over different time scales. In other words, the main goal of the current study was to assess the trend of short-term and long-term changes in the meteorological drought of the province using Mann-Kendall and Sen's slope tests.

Materials and methods: Located in southeastern Iran, the study area of this research comprised Kerman province. To conduct the study, relevant meteorological data, including average monthly precipitation and temperature in seven synoptic stations were obtained from Kerman's Meteorological Organization for the 1990-2018 period. Moreover, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was calculated to identify drought periods within three time scales (3, 9, and 12-month scales). It should be noted that the SPEI is mainly used to estimate the dry and wet periods based on the precipitation and temperature data. To evaluate the trend of time series changes, the existence of autocorrelation between different time series was investigated using the Pre-Whitening method (Von Storch, 1999). After confirming the absence of autocorrelation among the time series data, the Mann-Kendall test was performed to examine the trend of changes in the SPEI values. Furthermore, Sen's slope value was measured to identify the significance of the slope at different confidence levels. In other words, the assessment of the upward and downward trend of the SPEI series was carried out using Mann-Kendall and Sen slope tests.

Results and discussion: Considering the impact of climate change on the precipitation and temperature in Iran and the significant influence of precipitation and its fluctuations on agricultural production, it is important to assess the fluctuations of phenomena such as drought that are directly affected by such climatic parameters. Therefore, this study set out to assess the drought changes in terms of SPEI3, SPEI9, and SPEI12 in Kerman province which is characterized by an arid and semi-arid climate. The results of the SPEI-based time series analysis showed that the highest number of drought events during the study period (1990-2018) occurred in Shahrabak station with 80% frequency. Moreover, according to the average annual SPEI value, the most severe

1 Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

2 Phd in De-desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

3 Department of Geography, Faculty of humanities and social sciences, Yazd University, Yazd, Iran

4 Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

DOI: 10.22052/deej.2021.11.36.1

drought also occurred in Shahrabak station in 2016. Furthermore, the average annual SPEI values indicated that the study area experienced the most severe drought events between 1998 and 2010. On the other hand, the results of the evaluation of the drought's monthly changes performed by Mann-Kendall and Sen's slope tests revealed that in almost all months of the year (except May), increasing and decreasing trends occurred, with the most significant drought changes occurring in January (increasing and decreasing trend) and October (increasing trend). The seasonal changes of drought also suggested that there was an upward slope in some stations during the spring, autumn, and winter, which was significant at 99% and 95% confidence levels, while the summer experienced increasing and decreasing trends of changes during the study period. Similarly, Malekinejad et al. (2012) found an increasing trend of drought changes during the spring, summer, and autumn in Tehran province. In general, the evaluation of annual changes in drought index within the studied stations indicated that the whole area (1990-2018) followed an upward trend throughout the study period. In other words, the severity of drought suggested an increasing trend in the Kerman province, which could be regarded as one of the main reasons for climate change and consequently an increase in the air temperature (Mirakbari and Ebrahimi, 2021; Mesbahzadeh et al., 2020). Moreover, the increasing trend in Iran's drought status has been reported by several researchers, including Ghorbani et al. (2020), Mozaffari et al. (2021), and Amani et al. (2021). The investigation of changes in drought periods suggested that Kerman province experienced three periods with different trend slopes throughout the study's sub-periods. The first period (1990-1996-1990) followed a decreasing slope, while the second (1997-2010) and the third period (2011-2018) showed an increasing slope, which was relatively consistent with the changes in precipitation and average temperature throughout Kerman province. The results of this phase of the study are consistent with the results found by Ebrahimi et al. (2021), who reported the existence of three periods of drought changes with different trend slopes based on the Domarten drought index in the whole parts of Iran. In general, the results of this study indicated that during the previous years, Kerman province had experienced an increasing trend in terms of drought, requiring more attention from water resources experts and planners to proper management of water shortages caused by severe droughts.

Keywords: Drought, SPEI, Mann-Kendall, Sen's slope, Kerman Province.