



انجمن مهندسی منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹  
۱۸۵-۲۰۰

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16525.3178

مقاله کامل علمی - پژوهشی

## تحلیل منطقه‌ای روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی SPEI در ایران

\*خلیل قربانی<sup>۱</sup>، صدیقه برارخان‌پور<sup>۲</sup>، اسماعیل ولیزاده<sup>۳</sup> و عبدالجبار ملااراضی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

<sup>۳</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد هواشناسی کشاورزی و کارمند سازمان هواشناسی گلستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** گرمایش جهانی و تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی هست که بشر با آن روبه‌رو شده است. تغییر در دما، مقدار و الگوی بارش از تأثیرات مهم تغییر اقلیم هستند که می‌تواند وضعیت منابع آبی و شرایط خشکسالی را تحت تأثیر قرار دهند. به‌منظور بررسی روند تغییرات در سری داده‌ها از آزمون من‌کنندال و برای بررسی تغییرات ناگهانی در سری داده‌ها از آزمون پتیت استفاده می‌شود و شاخص خشکسالی SPEI که بر اساس داده‌های بارش و دما محاسبه می‌شود، به گونه‌ای تعریف شده است که اثر بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل را باهم در نظر می‌گیرد و این توانایی را دارد تا تغییرات دما را هم بر روی خشکسالی لحاظ کند. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی روند و نقطه تغییر در سری زمانی شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس فصلی در ایران می‌باشد که برای این منظور از آزمون‌های ناپارامتری من‌کنندال و پتیت استفاده شد.

**مواد و روش‌ها:** در گام اول، داده‌های SPEI که براساس داده‌های ماهانه بارش و تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه می‌شود از پایگاه داده‌های جهانی SPEI گردآوری شده و بخش‌هایی از داده‌ها که ایران را در بر می‌گیرد و شامل ۶۲۴ نقطه از شبکه نیم درجه جغرافیایی می‌باشد، از کل داده‌ها جدا و در فرمت نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. سپس سری‌های زمانی فصلی داده‌های SPEI، برای فصل‌های مختلف سال، در طول دوره‌ی زمانی ۵۰ ساله، طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۴۸ (۲۰۱۸-۱۹۶۹ میلادی) تشکیل شد و آزمون‌های ناپارامتری تشخیص روند من‌کنندال و آزمون تشخیص نقطه‌ی شکست پتیت بر روی آن‌ها انجام شد و سپس نتایج مورد تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج استفاده از آزمون پتیت در ۶۲۴ نقاط از گستره جغرافیایی ایران نشان داد که از سری‌های شاخص خشکسالی SPEI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب ۱۱، ۳۱، ۸ و ۱۵ درصد از نقاط دارای نقطه تغییر معنی‌دار بوده‌اند و موقعیت مکانی این نقاط، نقطه تغییرهای کاهشی در نیمه شرقی و شمال‌غربی در بهار و

\* مسئول مکاتبه: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

شمال‌غربی و شمال‌شرقی و بخش میانی و جنوب‌شرقی در زمستان می‌باشد در حالی که در فصل‌های تابستان و پاییز به ترتیب نقطه تغییرهای افزایشی و کاهش‌ی در نقاط پراکنده از جنوب‌غربی و جنوب و شمال‌شرقی و نقطه تغییرهای افزایشی در بخش میانی ایران و بخش‌هایی از جنوب و شمال کشور را نشان می‌دهد. هم‌چنین نتایج استفاده از آزمون تشخیص روند من‌کندال، بیانگر وجود روند کاهش‌ی معنی‌دار در ۲۸ درصد از نقاط برای فصل بهار، روند معنی‌دار افزایشی و کاهش‌ی به ترتیب در ۵ و ۲۵ درصد از نقاط برای فصل تابستان، روند کاهش‌ی معنی‌دار در ۱۸ درصد از نقاط برای فصل پاییز و نیز وجود روندهای معنی‌دار افزایشی و کاهش‌ی به ترتیب در ۱ و ۱۵ درصد از نقاط برای فصل زمستان می‌باشد که موقعیت مکانی این نقاط برای چهار فصل مورد بررسی به ترتیب، در نیمه‌ی شرقی و شمال‌غربی و جنوب کشور، نیمه شرقی و جنوب‌غربی و بخش‌هایی پراکنده از جنوب کشور، بخش‌های میانی کشور و نیز نیمه شرقی و شمال‌غربی می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج کاربرد آزمون‌های ناپارامتری من‌کندال و پتیت نشان داد که تغییرات اقلیمی در بخش‌هایی از کشور اتفاق افتاده است که این تغییرات از فصلی به فصل دیگر متفاوت است. به طوری که فصل بهار در نیمه شرقی و شمال‌غربی و در فصل زمستان، در شمال‌غربی و جنوب‌شرقی کشور شرایط خشک‌تر شده ولی در فصل پاییز در بخش مرکزی شرایط مرطوب‌تری دیده شده است. با توجه به این‌که بیش‌تر حجم بارش کشور در فصل زمستان و بهار نازل می‌شود، این روند خطر کاهش منابع آبی به همراه خواهد داشت. نتایج هم‌چنین بیانگر آن است که در بیش‌تر مواقعی که شاخص خشکسالی دارای نقطه تغییر است آزمون من‌کندال نیز روند در سری داده‌ها را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پتیت، تغییر اقلیم، خشکسالی، شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)، من‌کندال

## مقدمه

خشکسالی دوره‌ای است که در آن یک منطقه با کمبود منابع آبی و ذخیره آن مواجه و ویژگی‌های مختلف آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از علل کمبود منابع آبی می‌توان به کاهش نزولات جوی و افزایش تبخیر و تعرق ناشی از افزایش دما در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی و ساختار اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی دارد و باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی به دلیل کمبود آب، کاهش تغذیه آب زیرزمینی، افزایش فقر و افت کیفیت آب می‌شود. سازمان فضایی آمریکا (ناسا) طی گزارشی در مورد افزایش گرمایش جهانی و خشکسالی در ۳۰ سال آینده جهان، از ۴۵ کشور به‌عنوان مناطق در معرض

شدید خشکسالی نام برده و کشور ایران نیز در این فهرست قرار دارد (۲۶). بر این اساس ضرورت دارد تا مطالعات گسترده‌ای در زمینه خشکسالی انجام شود. یکی از این سری مطالعات، بررسی روند می‌باشد. مطالعات مختلفی در زمینه بررسی روند تغییرات متغیرهای هواشناسی بارش، دما و تبخیر و تعرق ارائه شده است. افزایش روند بارش در الجزایر (۱۷)، حوضه آبریز کرخه (۳۶)، استان گلستان (۱)، خلیج فارس و دریای عمان (۲۰) کاهش روند متوسط بارندگی در ایران (۲۴)، روند افزایش بارش در فصل‌های زمستان و تابستان و روند کاهش‌ی آن در فصل‌های پاییز و بهار در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۱۰)، نمونه‌هایی است که در زمینه روند تغییرات بارش در نقاط مختلف به انجام رسیده است. هم‌چنین

زمینه تشخیص روند استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال (۶) می‌باشد. اقتدارنژاد و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPEI و آزمون تشخیص روند من‌کندال در ۵۴ ایستگاه سینوپتیک ایران برای دوره آماری ۶۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۵۱) پرداختند و نتیجه گرفتند که روند شاخص خشکسالی SPEI در دوره آماری مورد مطالعه افزایشی و روند دما و بارش در اکثر ایستگاه‌ها به‌ترتیب افزایشی و کاهشی بوده است (۷). حجازی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی کاربرد روش‌های آماری و شاخص‌های خشکسالی در تحلیل نوسانات بارش با استفاده از آزمون من‌کندال در استان کرمان برای دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۶) پرداختند و نتایج آزمون بیانگر معنی‌دار بودن روند بارش در ایستگاه مورد مطالعه بوده که بیانگر وقوع دوره‌ای پدیده خشکسالی در ایستگاه مورد نظر می‌باشد (۱۵). ترابی‌پوده و امام‌قلی‌زاده (۲۰۱۵) در بررسی روند آبدهی رودخانه‌های شمال حوضه دز با استفاده از آزمون من‌کندال اصلاح شده به این نتیجه رسیدند که آبدهی بیش‌تر ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در مقیاس ماهانه و سالانه دارای روند نزولی می‌باشد (۳۲). عسگری‌نژاد (۲۰۱۶) به تحلیل و پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI در ۲۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در مقیاس زمانی ۴۸-۳ ماهه طی دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۶۶ پرداخت و نتایج نشان داد شاخص SPEI فرکانس بالاتری از خشکسالی و پاسخ سریع‌تری به تغییرات رطوبتی نشان می‌دهد و در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک استفاده از شاخص SPI برای پایش خشکسالی کافی نیست و به دلیل نقش دما به عنوان عامل محدودکننده رطوبت و بالا بودن تبخیر و تعرق، بهتر است از

روند کاهش دما در شمال‌غرب هند، دهلی‌نو و تری‌واندروم (۳۱)، و افزایش دما در مناطق شمال‌شرق آمریکای شمالی (۳۰)، افزایش دما در اصفهان در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۶۱ (۴)، چهارم‌حال بختیاری (۲۲)، کرمان (۱۲)، افزایش روند دما در دامنه‌های رشته‌کوه البرز، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق ایران و کاهش دما در ایستگاه ارومیه، خرم‌آباد و بندرعباس طی دوره آماری ۵۰ ساله (۲۳) مطالعاتی است که در زمینه بررسی روند تغییرات دما انجام شده است.

در زمینه ارزیابی خشکسالی عموماً از شاخص‌های مختلف بر پایه کمیت تک‌متغیره بارش استفاده می‌شود. با توجه به نقش دما در تبخیر و تعرق و گرمایش جهانی ناشی از تغییر اقلیم، نادیده گرفتن این پارامتر هواشناسی باعث تحلیل نادرستی از تغییرات وضعیت منابع آبی خواهد شد. بنابراین استفاده از شاخص دوم‌متغیره بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>۱</sup> می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی روند خشکسالی باشد که هم نقش بارش و هم نقش دما در کاهش منابع آبی در آن لحاظ می‌شود. هم‌چنین به دلیل قرارگرفتن قسمت اعظم پهنه ایران در کمربند خشک و نیمه خشک و تأثیر به‌سزایی که کاهش منابع آبی بر بخش‌های مختلف زندگی انسان و سایر موجودات دارد، آگاهی نسبت به روند نوسانات خشکسالی بسیار دارای اهمیت می‌باشد. به‌منظور محاسبه روند مشخصه‌های خشکسالی از روش‌های پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود که از مزیت‌های روش ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری، عدم نیاز به پیروی داده‌های مورد بررسی از یک توزیع خاص و هم‌چنین داشتن حساسیت کم به مقادیر حدی در سری زمانی مورد مطالعه هستند که به همین دلیل بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های آماری پرکاربرد در

1- SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

رودخانه (۳۴)، بارندگی ماهانه (۲)، تشخیص روند نوسانات بارش (۱۸)، خشکسالی (۸) و تغییرات ماهانه بارش و دما (۲۷) صورت گرفته است. بر اساس مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از شاخص دومتغیره خشکسالی رویکرد جدیدی است که در مطالعات خشکسالی به آن‌ها پرداخته می‌شود و همچنین مطالعات جامعی برای بررسی روند خشکسالی نه تنها براساس شاخص دومتغیره خشکسالی SPEI، بلکه براساس شاخص‌های تک‌متغیره خشکسالی نیز در کل گستره جغرافیایی ایران صورت نگرفته و اکثر مطالعات به صورت موردی می‌باشند. از طرفی در بیش‌تر مطالعات انجام گرفته برای ارزیابی و تحلیل روند در سری داده‌ها تنها به آزمون‌های روند بسنده شده که عدم بررسی نقاط شکست در سری داده‌های مورد مطالعه و عدم بررسی روند در قبل و بعد از تفسیر ممکن است نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد، هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات سری زمانی شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس فصلی با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من‌کندال و پتیت در گستره جغرافیایی ایران می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

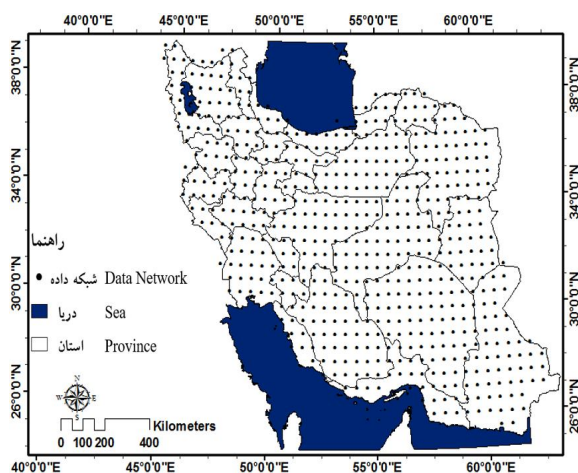
**منطقه مطالعاتی و داده‌ها:** منطقه مطالعاتی در این پژوهش کل پهنه جمهوری اسلامی ایران می‌باشد (شکل ۱). بخش‌های زیادی از مساحت ایران به دلیل قرارگیری در عرض‌های میانی ۳۰ درجه، از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل شده است و خشکی و خشکسالی از مشکلات عمده آن می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های تبخیر-تعرق محاسبه شده از سایت <http://spei.csic.es/database.html> در فرمت Netcdf استفاده شد (۵). پایگاه داده‌های جهانی SPEI، داده‌های بلندمدت از شرایط خشکسالی

شاخص SPEI برای پایش مؤثر و دقیق خشکسالی استفاده شود (۳). رضائی قلعه (۲۰۱۸) به بررسی روند تغییرات خشکسالی فصلی محاسبه شده با استفاده از شاخص‌های هواشناسی SPI و SPEI در ۸ ایستگاه واقع در استان گلستان با دوره آماری ۳۰ سال پرداخت و نتایج بیانگر آن بود که برای برخی از ایستگاه‌ها در بعضی از فصول، خشکسالی فصلی محاسبه شده با استفاده از شاخص خشکسالی SPEI روند وجود دارد که دلیل آن وجود روند در سری زمانی دما و نقش به‌سزایی دما در افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد (۲۹). گندم‌کار و عبداللهی (۲۰۱۲) برای بررسی روند بارش در حوضه البرز شمالی در یک دوره آماری ۴۶ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۰) از آزمون من‌کندال استفاده کردند و نتایج بیانگر وجود روند منفی بارش در جنوب و روند مثبت در شرق حوضه موردنظر بود (۹). ارزیابی نتایج آزمون ناپارامتری من‌کندال به تنهایی نمی‌تواند تحلیل درستی از نتایج بررسی روند را به دست دهد؛ زیرا در صورت وجود تغییرات ناگهانی (نقاط شکست) در سری داده‌ها موجب می‌شود پارامترهای آماری میانگین و واریانس در سری‌های قبل از وقوع نقطه شکست و سری‌های بعد از آن دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به هم باشند که عدم بررسی این تغییرات منجر به عدم تفسیر صحیح در تحلیل و بررسی روند سری زمانی داده‌ها خواهد شد. در زمینه تشخیص نقطه شکست در سری داده‌ها از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری مانند پتیت<sup>۱</sup> و اسپیرمن<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که آزمون پتیت به دلیل قابلیت در زمان وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی داده‌ها مورد استقبال قرار گرفته است (۸). مطالعات متعددی در زمینه استفاده از آزمون پتیت به منظور بررسی نقطه شکست در سری داده‌های هیدرولوژیکی مانند روند جریان

1- Pettitt  
2- Spearman

بخش‌هایی از داده‌ها که ایران را در بر می‌گیرد و شامل ۶۲۴ نقطه از شبکه ۰/۵ درجه جغرافیایی می‌باشد (شکل ۱)، از کل داده‌ها جدا و در فرمت نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. سپس سری زمانی داده‌ها از پنجره زمانی سه ماهه، برای فصل‌های مختلف سال براساس داده‌های ۵۰ سال آخر طی سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۹۷ (۲۰۱۸-۱۹۶۹) تشکیل شد و آزمون‌های تشخیص روند من‌کندال و آزمون تشخیص نقطه شکست پیت بر روی آن‌ها انجام شد.

را در مقیاس جهانی با اندازه تفکیک ۰/۵ درجه و در مقیاس زمانی ماهانه عرضه می‌کند. این داده‌ها در پنجره‌های زمانی یک تا ۴۸ ماه، دوره زمانی ژانویه ۱۹۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۴ را در بر می‌گیرد. اساس محاسبه SPEI بر اساس داده‌های ماهانه بارش و تبخیر و تعرق ماهانه تهیه شده از واحد مطالعات اقلیمی دانشگاه آنجلیا شرقی می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل پایگاه SPEI براساس روش پنمن- ماتیت فائو- ۵۶ می‌باشد (۲۹). پس از دریافت داده‌ها،



شکل ۱- شبکه نقاط داده‌های جهانی SPEI در منطقه مطالعاتی.

Figure 1. Global SPEI database in the study area.

زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۵).

در واقع در این آزمون هر داده با همه داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به‌جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرد (۱۱) و به‌منظور حذف اثرات ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده توسط حامد و راثو (۱۹۹۸) ارائه شده است (۱۴).

شاخص بارش- تبخیر تعرق استاندارد شده SPEI: شاخص خشکسالی SPEI توسط ویسنت-سرانو و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شده است (۳۳) ارائه و بر اساس تبخیر- تعرق پتانسیل (PET<sup>۱</sup>) و بارندگی به پایش خشکسالی می‌انجامد. جزئیات چگونگی محاسبات این شاخص و طبقات مختلف آن در مطالعه انجام شده توسط فغانی و همکاران (۲۰۱۷) پرداخته شده است (۸) پرداخته شده است.

آزمون تشخیص روند من‌کندال: آزمون ناپارامتری من‌کندال (۱۶ و ۲۱) بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری

1- Potential Evapotranspiration

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای شاخص خشکسالی SPEI در فصل بهار: به منظور بررسی روند نوسانات خشکسالی در فصل بهار، ابتدا آزمون ناپارامتری من‌کندال بر کل سری شاخص SPEI در فصل بهار انجام شد (حالت اول). نتایج نشان داد که از ۶۲۴ نقطه مورد بررسی، ۴۵۲ نقطه (۷۲/۴ درصد) بدون روند و ۱۷۲ نقطه (۲۸ درصد) دارای روند کاهشی معنادار بوده‌اند. سپس به منظور بررسی نقاط شکست در سری داده‌ها، آزمون ناپارامتری پتیت بر کل سری شاخص خشکسالی SPEI اعمال گردید (حالت دوم)، ولی نتایج آزمون پتیت درصد نقاط فاقد نقطه تغییر را بیش‌تر از من‌کندال نشان می‌دهد. هر دو آزمون من‌کندال و پتیت روند یا نقطه تغییر کاهشی شاخص خشکسالی را نشان می‌دهند که بیانگر آن است در منطقه مطالعاتی ۲۸ درصد مناطق روند رو به خشکی را دارند (جدول ۱).

پس از بررسی نقطه تغییر در داده‌ها، یک سری داده از نقطه شکست به بعد تشکیل و آزمون من‌کندال بر روی آن اجراء شد (شکل ۲) و نتایج نشان داد که از ۷۱ نقطه (۱۱ درصد) دارای نقطه تغییر، ۵۰ نقطه (۷۰ درصد) دارای روند کاهشی می‌باشد و این بیانگر آن است که در بیش‌تر نقاط دارای تغییر، تغییرات در سال‌های اخیر و انتهای سری زمانی داده‌ها صورت گرفته است.

توضیحات مربوط به آزمون من‌کندال و هم‌چنین من‌کندال اصلاح شده و چگونگی محاسبات این آزمون در (۱۳) بیان شده و محاسبات با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT 2016 انجام شده است.

آزمون ناپارامتری پتیت: این آزمون توسط پتیت (۱۹۷۹) ارائه شده است (۲۸) و در مکانی که در سری زمانی نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو جزء سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه شکست در سری مورد نظر، نسبت مقادیر میانگین اجزاء سری قبل و بعد از نقطه تغییر، برای تحلیل بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌دار را نشان نمی‌دهد، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود. توصیف این آزمون و نحوه محاسبات آن در مطالعات انجام شده توسط موسوی و معروفی (۲۰۱۷) و کلاهدوزان و همکاران (۲۰۱۵) پرداخته شده است (۱۹ و ۲۵).

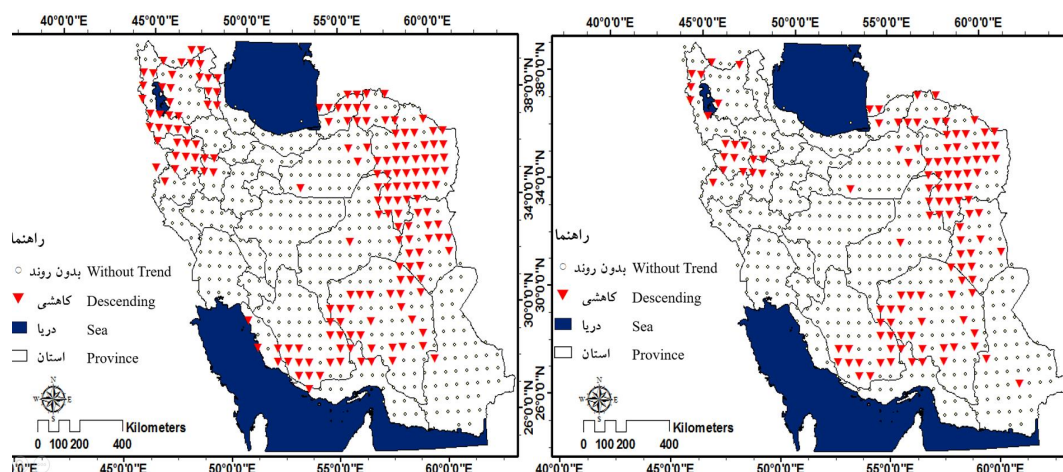
### نتایج و بحث

در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI در پهنه جغرافیایی ایران، از آزمون من‌کندال و برای بررسی نقطه شکست از آزمون پتیت استفاده شده است. با توجه به اهمیت یافته‌های این دو آزمون، نتایج برای هر سری فصلی از شاخص SPEI ارائه شد که نتایج از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

جدول ۱- مقایسه آزمون روند من‌کندال و آزمون نقطه تغییر پتیت در فصل بهار.

Table 1. Comparison of Mann-Kendall trend and Pettit change point tests in spring season.

فاقد نقطه تغییر Without change point	نقطه تغییر کاهشی Descending change point	نقطه تغییر افزایشی Ascending change point	روند/ نوع نقطه تغییر Trend/Change point
0%	0%	0%	روند افزایشی Ascending trend
70%	30%	0%	روند کاهشی Descending trend
95%	5%	0%	فاقد روند Without trend



شکل ۲- نتایج آزمون روند شاخص SPEI در فصل بهار، قبل از نقطه شکست (نقشه سمت راست) و بعد از نقطه شکست (نقشه سمت چپ).

Figure 2. Results of trend test of SPEI index in spring season, before change point (right map) and after change point (left map).

من‌کنندال بر روی سری‌های شاخص SPEI فصل تابستان در ۶۲۴ نقطه با در نظر گرفتن کل سری (حالت اول)، نشان داده است که در ۲۹ نقطه (۵ درصد) روند افزایشی، در ۱۶۰ نقطه (۲۵ درصد) روند کاهشی و بقیه نقاط (۷۰ درصد) بدون روند بوده است. سپس برای بررسی پتانسیل وقوع نقاط شکست در سری داده‌های نقاط مورد بررسی از آزمون پتیت استفاده شد و نتایج آزمون نشان داد که در ۱۹۳ نقطه (۳۱ درصد) سری داده‌ها، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، داده‌ها دارای نقطه شکست می‌باشند و نتایج آزمون پتیت درصد نقاط فاقد نقطه تغییر را برابر من‌کنندال نشان می‌دهد (جدول ۲). نتایج آزمون من‌کنندال روند افزایشی شاخص خشکسالی را نشان می‌دهد که بیان می‌کند ۵ درصد از نقاط روند رو به تری را نشان می‌دهند. و هر دو آزمون من‌کنندال و پتیت، روند و نقطه تغییر کاهشی شاخص خشکسالی را نشان می‌دهند که بیان می‌کند ۲۵ درصد از مناطق روند رو به خشکی را تجربه می‌کنند.

با توجه به شکل ۲ در حالت اول یعنی قبل از کاربرد آزمون نقطه شکست، تعداد قابل‌توجهی از نقاط در نیمه شرقی، شمال‌غربی و بخش‌هایی از نیمه جنوبی ایران روند کاهشی را نشان می‌دهد در صورتی که بعد از اعمال آزمون نقطه شکست و اصلاح نتایج، این الگوی تغییرات مکانی در نیمه شرقی و جنوب تقریباً حفظ شده اما در بخش شمال غربی به وضوح به مراتب کم‌تری برقرار می‌باشد. در صورتی‌که بررسی روند تغییرات شاخص SPEI در گستره ایران با استفاده از آزمون من‌کنندال توسط قربانی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده است که در فصل بهار تعداد بسیار محدودی از ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار بوده‌اند (۱۱). بنابراین می‌توان بیان نمود که بررسی نقاط شکست در سری داده‌ها و مطالعه روند در قبل و بعد از سری، نتایج متفاوتی را نسبت به بررسی روند در کل سری بدون در نظر گرفتن تغییرات ناگهانی به همراه خواهد داشت.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای شاخص خشکسالی SPEI در فصل تابستان: با اعمال آزمون

بیانگر این است که در اکثر نقاط دارای تغییر، تغییرات در سال‌های اولیه صورت گرفته و در انتهای سری زمانی تغییرات زیادی مشاهده نشده است.

نتایج آزمون من‌کندال بر روی سری داده‌های پس از نقطه شکست نشان داد که از ۱۹۳ نقطه دارای نقطه تغییر، فقط ۴ نقطه (۲ درصد)، دارای روند افزایشی و ۱۲ نقطه (۶ درصد) دارای روند کاهشی می‌باشند؛ که

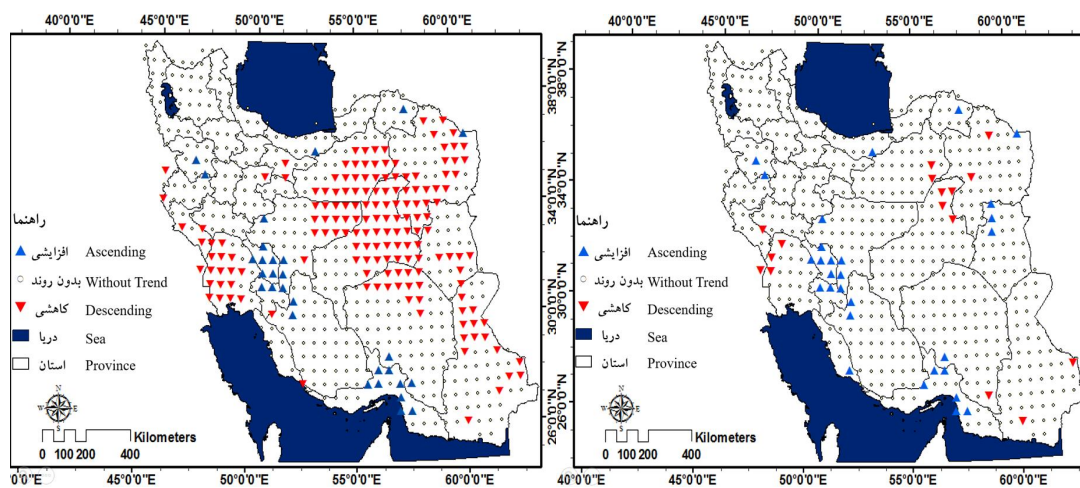
جدول ۲- مقایسه آزمون روند من‌کندال و آزمون نقطه تغییر پتیت در فصل تابستان.

**Table 2. Comparison of Mann-Kendall trend and Pettit change point tests in summer season.**

فاقد نقطه تغییر Without change point	نقطه تغییر کاهشی Descending change point	نقطه تغییر افزایشی Ascending change point	روند/ نوع نقطه تغییر Trend/Change point
86%	0%	14%	روند افزایشی Ascending trend
3%	97%	0%	روند کاهشی Descending trend
92%	7%	1%	فاقد روند Without trend

با نتایج قربانی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند خشکسالی SPEI با استفاده از آزمون من‌کندال (۱۱) همخوانی دارد. اما با اصلاح نتایج بر مبنای کاربرد آزمون پتیت، الگوی کاهشی قبلی به وضوح بسیار کم‌تر شده و در نقاط محدودی دیده می‌شود (شکل ۳).

بررسی نتایج در شکل ۳ نشان می‌دهد که در حالت اول که کل سری را در تحلیل روند مورد بررسی قرار می‌دهد، روند کاهشی از شاخص خشکسالی SPEI در تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از نقاط در نیمه شرقی و بخش‌هایی از جنوب‌غربی کشور و روند افزایشی در جنوب و جنوب‌غربی را نشان می‌دهد که



شکل ۳- نتایج آزمون روند شاخص SPEI در فصل تابستان، قبل از نقطه شکست (نقشه سمت راست) و بعد از نقطه شکست (نقشه سمت چپ).

**Figure 3. Results of trend test of SPEI index in summer season, before change point (right map) and after change point (left map).**



تغییر را بیشتر از من‌کندال نشان می‌دهد (جدول ۳). نتایج هر دو آزمون، روند و نقطه تغییر افزایشی شاخص خشکسالی را نشان می‌دهند که بیانگر وجود خشکی در ۱۸ درصد از مناطق می‌باشد. نتایج آزمون من‌کندال بر روی سری داده‌های پس از نقطه شکست نشان داد که از ۵۰ نقطه دارای نقطه تغییر فقط ۱ نقطه (۲ درصد) دارای روند افزایشی می‌باشند که بیانگر این است که در بیش‌تر نقاط دارای تغییر، تغییرات در سال‌های اولیه صورت گرفته و در انتهای سری زمانی تغییرات زیادی مشاهده نشده است.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای شاخص خشکسالی SPEI در فصل پاییز: نتایج اعمال آزمون ناپارامتری من‌کندال بر کل سری (حالت اول) شاخص خشکسالی SPEI فصل پاییز، نشان‌دهنده وجود روند افزایشی در ۱۱۴ نقطه (۱۸ درصد) و عدم وجود روند در ۵۷۰ نقطه (۸۲ درصد) بوده است. برای بررسی احتمال وقوع نقطه شکست در نقاط موردنظر، بر روی سری‌ها آزمون پتیت انجام شد که نتایج آزمون نشان‌دهنده وجود نقطه شکست در ۵۰ نقطه (۸ درصد) بوده است و نتایج آزمون پتیت درصد نقاط فاقد نقطه

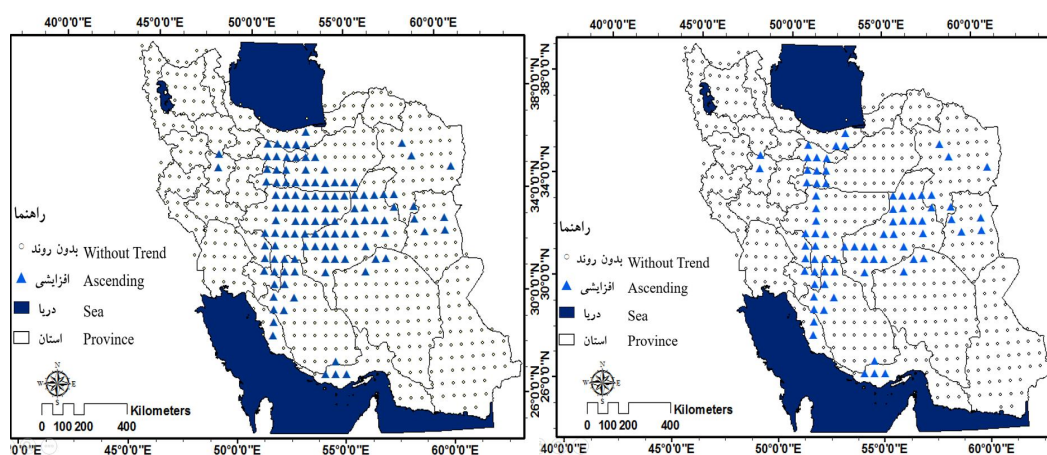
جدول ۳- مقایسه آزمون روند من‌کندال و آزمون نقطه تغییر پتیت در فصل پاییز.

Table 3. Comparison of Mann-Kendall trend and Pettit change point tests in autumn season.

فقد نقطه تغییر Without change point	نقطه تغییر کاهشی Descending change point	نقطه تغییر افزایشی Ascending change point	روند/ نوع نقطه تغییر Trend/Change point
68%	0%	32%	روند افزایشی Ascending trend
0%	0%	0%	روند کاهشی Descending trend
97%	0%	3%	فاقد روند Without trend

خشکسالی SPEI فصل پاییز را نشان می‌دهند در صورتی که در حالت دوم، الگوی بیان شده به شکل بسیار ضعیف‌تر مشاهده می‌شود (شکل ۴).

توزیع مکانی نتایج در شکل ۴ نشان می‌دهد که در حالت اول، در بخش مرکزی و شمالی کشور، تعداد قابل‌توجهی از نقاط روند افزایشی در سری شاخص



شکل ۴- نتایج آزمون روند شاخص SPEI در فصل پاییز، قبل از نقطه شکست (نقشه سمت راست) و بعد از نقطه شکست (نقشه سمت چپ).

Figure 4. Results of trend test of SPEI index in autumn season, before change point (right map) and after change point (left Map).

می‌دهد و هر دو آزمون من‌کندال و پتیت روند و نقطه تغییر کاهشی در منطقه را تأیید می‌کنند که نشان می‌دهد ۱۵ درصد از نقاط روند رو به خشکی دارند.

نتایج آزمون من‌کندال بر روی سری داده‌های پس از نقطه شکست نشان داد که از ۹۶ نقطه دارای نقطه تغییر فقط ۱ نقطه (۱ درصد) دارای روند افزایشی و ۲۷ نقطه (۱۵ درصد) دارای روند کاهشی می‌باشند که بیانگر این است که در بیش‌تر نقاطی که تغییر در آنها مشاهده شده است، تغییرات در سال‌های اولیه صورت گرفته و در انتهای سری زمانی تغییرات زیادی مشاهده نشده است.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای شاخص خشکسالی SPEI در فصل زمستان: نتایج اعمال آزمون ناپارامتری من‌کندال بر سری شاخص خشکسالی SPEI فصل زمستان در حالت اول، بیان‌کننده روند افزایشی در ۴ نقطه (۱ درصد)، روند کاهشی در ۹۲ نقطه (۱۵ درصد) و عدم روند در ۵۲۸ نقطه (۸۴ درصد) بوده است. بررسی نتایج آزمون پتیت نشان‌دهنده وجود نقطه شکست در ۹۶ نقطه (۱۵ درصد) است. نتایج آزمون پتیت درصد نقاط فاقد نقطه تغییر را تقریباً نزدیک به من‌کندال نشان می‌دهد (جدول ۴). نتایج آزمون پتیت ۵ درصد از نقاط را دارای نقطه تغییر افزایشی نشان

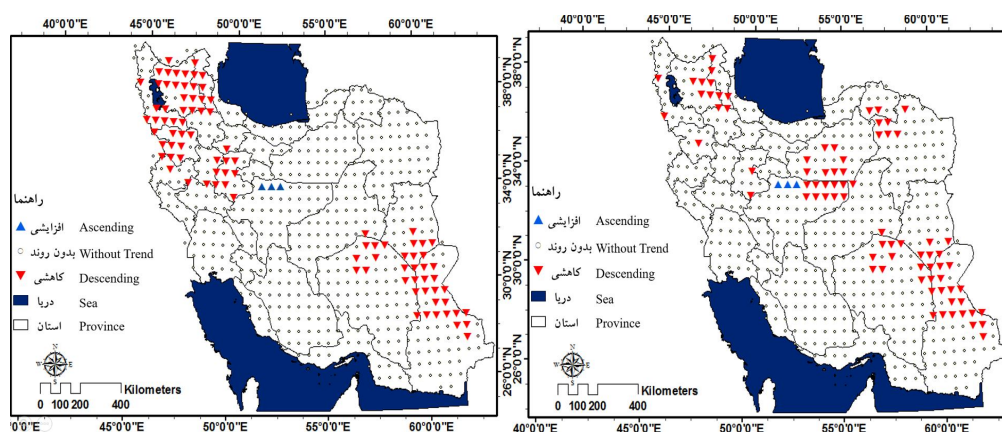
جدول ۴- مقایسه آزمون روند من‌کندال و آزمون نقطه تغییر پتیت در فصل زمستان.

Table 4. Comparison of Mann-Kendall trend and Pettit change point tests in winter season.

فاقد نقطه تغییر Without change point	نقطه تغییر کاهشی Descending change point	نقطه تغییر افزایشی Ascending change point	روند/ نوع نقطه تغییر Trend/Change point
0%	0%	100%	روند افزایشی Ascending trend
55%	45%	0%	روند کاهشی Descending trend
90%	4%	6%	فاقد روند Without trend

دوم یعنی بعد از نقطه شکست، الگوی بیان شده به مراتب ضعیف‌تر می‌شود و یک الگوی روند کاهشی در تعداد قابل‌توجهی از نقاط در بخش مرکزی و شمال‌شرقی به وضوح نشان داده می‌شود (شکل ۵).

بررسی نقشه‌های مکانی نتایج آزمون روند در شکل ۵ نشان می‌دهد که در حالت اول یعنی قبل از نقطه شکست، یک الگوی روند کاهشی در بخش جنوب‌غربی و شمال‌غربی مشاهده می‌شود. در صورتی که در حالت



شکل ۵- نتایج آزمون روند شاخص SPEI در فصل زمستان، قبل از نقطه شکست (نقشه سمت راست) و بعد از نقطه شکست (نقشه سمت چپ).

Figure 5. Results of trend test of SPEI index in winter season, before change point (right map) and change point (left map).

کهگلو به و بویراحمد روند افزایشی دیده می‌شود در حالی که در حالت دوم، این الگو به شکل بسیار ضعیف‌تر نسبت به حالت اول قابل مشاهده است. ج: در فصل پاییز، در حالت اول، مناطق مرکزی کشور به صورت متمرکز دارای روند افزایشی می‌باشند اما در حالت دوم این روند افزایشی با تعداد نقاط کم‌تری نسبت به حالت اول قابل‌رؤیت است. د: در فصل زمستان، در حالت اول، در مناطق شرقی و شمال‌غربی روند کاهشی دیده می‌شود در حالی که در حالت دوم این الگو نسبت به حالت اول در نقاط شمال‌غربی به‌طور چشمگیری ضعیف‌تر شده و همچنین وجود روند کاهشی در محدوده‌هایی از مناطق مرکزی و شمال‌شرقی کشور نیز مشاهده می‌شود. در حالی که اقتدارنژاد و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص خشکسالی SPEI با استفاده از آزمون من‌کندال در ایران در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و دوره ۶۴ ساله نتیجه گرفتند که روند شاخص SPEI طی دوره آماری مورد بررسی در بخش وسیعی از ایران افزایشی است (۷).

### نتیجه‌گیری کلی

مهم‌ترین نتایجی که در تحلیل روند مکانی تغییرات شاخص خشکسالی SPEI در فصل‌های مختلف سال و در پهنه جغرافیایی ایران طی یک دوره ۵۴ ساله آماری بین سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۷ با استفاده از آزمون تشخیص روند من‌کندال و آزمون نقطه شکست پتیت به‌دست آمده است عبارتند از:

- ۱) در فصل بهار استان‌های گلستان، خراسان، کرمان، نیمه جنوبی فارس، آذربایجان غربی، کردستان و همدان روند رو به خشکی دارند. همچنین در این فصل نسبت به دیگر فصل‌ها، بیش‌تر نقاط مورد مطالعه تحت روند کاهشی خشکسالی می‌باشند و با توجه به این‌که در این فصل وجود آب و هوای معتدل

به‌طورکلی نتایج استفاده از آزمون پتیت نشان می‌دهد که برای سری‌های شاخص خشکسالی SPEI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب ۷۱، ۱۹۳، ۵۰ و ۹۶ نقاط دارای نقطه شکست بوده‌اند. تحلیل و مقایسه نتایج آزمون تشخیص روند برای سری شاخص SPEI فصل بهار نشان می‌دهد که در حالت اول انجام آزمون من‌کندال ۱۷۲ نقطه دارای روند کاهشی بوده‌اند. در صورتی که در حالت دوم آزمون من‌کندال، تعداد نقاط دارای روند کاهشی به ۱۲۳ نقطه کاهش یافته است. مقایسه نتایج آزمون من‌کندال برای سری‌های SPEI فصل تابستان نشان داد که در حالت اول در ۲۹ نقطه روند افزایشی و در ۱۶۰ نقطه روند کاهشی وجود دارد ولی در حالت دوم تعداد نقاط با روند افزایشی تغییری نکرده اما تعداد نقاط با روند کاهشی به ۱۶ نقطه کاهش یافته است. ارزیابی نتایج بررسی روند برای سری شاخص SPEI فصل پاییز بیانگر وجود روند افزایشی در ۱۱۴ نقطه در حالت اول است اما در حالت دوم تعداد نقاط با روند افزایشی به ۷۸ نقطه تقلیل یافته است. همچنین ارزیابی و مقایسه نتایج برای سری شاخص SPEI در فصل زمستان بیانگر وجود روند افزایشی در ۴ نقطه و روند کاهشی در ۹۲ نقطه در حالت اول است در حالی که در حالت دوم تعداد نقاط دارای روند افزایشی تغییری نکرده اما در ۷۸ نقطه روند کاهشی مشاهده می‌شود. بررسی و مقایسه توزیع مکانی روند شاخص SPEI در کشور در فصل‌های مختلف نشان می‌دهد که الف: در فصل بهار، در حالت اول، در نیمه شرقی و شمال‌غربی و جنوب کشور روند کاهشی مشاهده شده است اما در حالت دوم این الگو به شکل ضعیف‌تری در مناطق مورد نظر دیده می‌شود. ب: در فصل تابستان، در حالت اول، در نیمه شرقی و جنوب‌غربی مرزی، روند کاهشی و در بخش‌هایی از جنوب کشور و در استان‌های چهارمحال بختیاری و

فصل تابستان و کم‌ترین میزان روندهای معنی‌دار در فصل زمستان مشاهده شده است.

(۷) بررسی نتایج این مطالعه نشان داد در بیش از ۹۰ درصد نقاط که روندی مشاهده نشده است نقطه تغییر نیز وجود نداشت.

(۸) به‌طورکلی بررسی روند خشکسالی‌ها در ایران با استفاده از شاخص دو متغیره SPEI، در بیش‌تر فصل‌ها به‌جز فصل پاییز بیانگر روند رو به خشکی است که با توجه به آن کاهش منابع آبی را به همراه خواهد داشت که انتظار می‌رود برای حل این مشکل تدابیری اندیشیده شود.

### تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از سازمان هواشناسی کشور به‌خاطر تأمین داده‌های مورد نیاز در این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

### داده‌ها و اطلاعات

اطلاعات و داده‌های محاسبه شده در این مقاله از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

انتظار می‌رود، این خشکی دیگر فصل‌ها را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد.

(۲) در فصل تابستان در استان‌های هرمزگان، چهارمحال بختیاری و کهگلویه و بویراحمد و بخش‌هایی از کردستان روند افزایشی و در بخش شمالی استان یزد، بخش‌هایی از شرق سمنان و شمال‌غربی کردستان روند رو به خشکی مشاهده شده است.

(۳) در فصل پاییز در استان‌های یزد، تهران، قم، نیمه شرقی مازندران، نیمه شمالی فارس و بخش‌هایی از خراسان رضوی، اصفهان و غرب هرمزگان و به‌طور کلی در بیش‌تر نقاط واقع در نواحی مرکزی ایران و نقاط هم‌جوار با خلیج فارس روند افزایشی قابل‌رؤیت می‌باشد و خوشبختانه در این فصل روند رو به خشکی در هیچ‌یک از نقاط دیده نشده است.

(۴) در فصل زمستان در نیمه شمالی سیستان و بلوچستان، شمال کرمان، اردبیل و نیمه شرقی آذربایجان شرقی روند کاهشی مشاهده شده است که بیانگر وجود روند رو به خشکی در این فصل می‌باشد.

(۵) به غیر از فصل تابستان، درصد سری‌های فاقد نقطه تغییر در آزمون پتیت بیش‌تر از نقاط دارای روند بود.

(۶) بررسی روند سری‌های پس از نقطه شکست نشان داده است که بیش‌ترین میزان روندهای معنی‌دار در

### منابع

1. Akbari, M., and Nodehi, V. 2015. Investigation and Analysis of Trends in Annual and Summer Rainfall of Golestan Province. J. Space Geograph. 5: 17. 141-150. (In Persian)
2. Andang'o, H., Ouma, J., Muthama, N.J., and Opere, A.O. 2016. Investigating the Homogeneity of Monthly Rainfall Records in Kenya. J. Meteorol. Related Sci. 9: 48-54.
3. Asgarinejad, A. 2016. Monitoring, analysis and zoning of climate drought using standardized rainfall index (SPI) and standardized evapotranspiration index (SPEI) (Case study: Arid and semi-arid regions of Iran). Master's degree in Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Assistant Professor Dr. Amolbin Bazrafshan, Hormozgan University, Hormozgan. (In Persian)

4. Ataee, H., and Fanaee, R. 2013. Investigation of temporal-spatial changes of night temperature in Isfahan province. *J. Geograph. Res.* 28: 4. 181-167. (In Persian)
5. Begueria, S., and Vicente-Serrano, S.M. 2017. Title of webpage: SPEIbase v.2.5. Retrieved January 01, 2017. from <http://digital.csic.es/handle/10261/153475>.
6. Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Zare Abianeh, H., and Mostafaeipour, A. 2014. Effect of Short-Term and Long-Term Persistence on Identification of Temporal Trends. *J. Hydrol. Engin.* 19: 3. 617-625.
7. Eghtedarnejad, M., Bazrafshan, A., and Bazrafshan, J. 2017. Investigation of temporal and spatial Changes of meteorological drought based on standardized rainfall-evapotranspiration index in Iran. *J. Agric. Meteorol.* 5: 2. 46-35. (In Persian)
8. Faghani, M., Ghorbani, Kh., and Salarjazi, M. 2017. Trend and Change Point Analysis of Seasonal SPI Drought Index in Iran. *Iran. J. Irrig. Drain.* 4: 11. 667-679. (In Persian)
9. Gandomkar, A., and Abdollahi, A. 2012. The Study of Precipitation Trend in North Alborz Basin (Iran). *WULFENIA J.* 19: 10. 2-8.
10. Ghaderpour, M., Abghari, H., and Tabari, H. 2016. Estimation of Precipitation Spatial Trend in The Catchment Area of Lake Urmia. *J. Natur. Geograph. Res.* 48: 4. 627-643. (In Persian)
11. Ghorbani, Kh., Valizadeh, E., and Bararkhanpour, S. 2018. Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran. *J. Des. Manage.* 6: 11. 25-38. (In Persian)
12. Golshan, S., Raeini Salarjaz, M., and Norooz Valashedi, R. 2015. Investigation and detection effects of global warming on soil temperature trends and its estimated regression correlation. *J. Water Soil Cons.* 22: 4. 121-138. (In Persian)
13. Gorbani, Kh. 2015. Spatial and seasonal pattern in climate change, temperatures across Iran. *J. Water Soil Cons.* 21: 5. 257-270. (In Persian)
14. Hamed, K.H., and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.* 204: 1-4. 182-196.
15. Hejazizadeh, Z., Naserzadeh, M.H., Hatamizraneh, D., and Rezaei, M. 2015. Application of statistical methods and drought profiles in rainfall analysis, Case study: Kerman Station. *J. Arid regions Geograph. Stud.* 5: 17. 51-35. (In Persian)
16. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Oxford: Oxford University Press.
17. Khezazna, A., Amarchi, H., Derdous, O., and Bousakhria, H. 2017. Drought Monitoring in The Seybouse Basin (Algeria) over The Last Decades. *J. Water Land Dev.* 33: 79-88.
18. Khosravi, H., Sajedi Hosseini, F., Nasrollahi, M., and Gharechaei, H.R. 2017. Trend analysis and detection of precipitation fluctuations in arid and semi-arid regions. *J. Des.* 22: 1. 77-84.
19. Kolahdoozan, A., Dinpajooh, Y., Mirabbasi Najafabadi, R., Asadi, E., and Darbandi, S. 2015. Effect of Zayandehrood River Dry Becoming on Najafabad Aquifer Oscillations During Past Two Decades. *Iran. J. Soil Water Res.* 46: 1. 81-93. (In Persian)
20. Mafi Gholami, D., Baharloi, M., and Mahmoudi, M. 2017. Investigation of Changes in Mangrove Forest Range Using RS and GIS Case study: Mangroves in Hormozgan Province. *Quar. J. Ecol.* 15: 2. 92-75. (In Persian)
21. Mann, H.B. 1945. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica.* 13: 3. 245-259.
22. Maroufnejad, A., and Ghasemi, Sh. 2017. The process of temperature changes using the Mann- Kendall method (a case study of four Chaharmahal Bakhtiari towns). *Quar. J. Environ.* 10: 37. 166-149. (In Persian)
23. Miri, M., and Rahimi, M. 2015. Investigation of temporal-spatial variations of temperature parameters of Iran. *Quar. Geograph. J. Territ.* 12: 47. 65-80. (In Persian)

24. Mohammadi, B. 2011. Analysis of Iran Annual precipitation trend. *J. Geograph. Environ. Plan.* 22: 3. 106-95. (In Persian)
25. Mousavi, R.S., and Marofi, S. 2017. Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change (Case study: Dez Dam Basin). *J. Water Soil Cons.* 23: 6. 333-348. (In Persian)
26. Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R.A., and Carrao, H. 2018. Global changes in drought conditions under different levels of warming. *J. Geophysic. Res. Lett.* 45: 7. 3285-3296.
27. Nazeri-Tahrodi, M., Khasheisyuki, A. and Noferasty, A.M. 2016. Study of Monthly Changes in Precipitation and Temperature of Synoptic Station in Birjand during 1995-1995. 5<sup>th</sup> Conference of Rainwater Basin, Gilan, Rasht Systems. (In Persian)
28. Pettitt, A.N. 1979. A non-parametric approach to change point problem. *J. Royal Stat. Soc. Seri. C (Applied Statistics).* 28: 2. 126-135.
29. Rezaei Ghaleh, L., and Ghorbani, K. 2018. Comparative analysis of SPI and SPEI meteorological drought indices (Case study: Golestan province). *J. Agric. Meteorol.* 6: 1. 31-40. (In Persian)
30. Richardson, D.C., Melles, S.J., Pilla, R.M., Hetherington, A.L., Knoll, L.B., Williamson, C.E., Kraemer, B.M., Jackson, J.R., Long, E.C., Moore, K., Rudstam, L.G., Rusak, J.A., Saros, J.E., Sharma, S., Strock, K.E., Weathers, K.C., and Wigdahl-Perry, C.R. 2017. Transparency, Geomorphology and Mixing Regime Explain Variability in Trends in Lake Temperature and Stratification across Northeastern North America (1975-2017). *J. Water.* 9: 6. 1-22.
31. Sivan Thankamani Akhil, R., Madinent Venkat, R., Daggumati Narayana, R., and Boddam Venkata Krishna, M. 2018. Long-Term Trends in Stratospheric Ozone, Temperature, And Water Vapor Over The Indian Region. *Ann. Geophys.* 36: 1. 149-160.
32. Torabi Poodeh, H., and Emamgholizadeh, S. 2015. Trend analysis of streamflow changing of north watershed of Dez River with TFPW-MK procedure. *J. Water Soil Cons.* 22: 3. 39-55. (In Persian)
33. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J.I. 2011. Comment on "Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900-2008" by Aiguo Dai. *J. Geophysic. Res. Atmos.* 116: D19.1-9.
34. Westergaard-Nielsen, A., Karimi, M., Ulf Hansen, B., Westermann, S., and Elberling, B. 2018. Contrasting Temperature Trends Across the Ice-Free Part of Greenland. *J. Sci. Report.* 8: 1586. 1-6.
35. Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., and Niitsoo, A. 2000. Temperature and rainfall trends in Canada during the 20<sup>th</sup> century. *J. Atmos. Ocean.* 38: 3. 395-429.
36. Zohrabi, N., Masah Bavani, A., Goodarzi, A., and Heydarnejad, M. 2016. Identification of changes in temperature and annual precipitation in the Karkhe catchment area. *Sci. J. Wetland Ecobiol.* 8: 2. 22-5. (In Persian)



## Regional analysis of trend and change point in seasonal series of SPEI drought index in Iran

\***Kh. Ghorbani**<sup>1</sup>, **S. Bararkhanpour**<sup>2</sup>, **E. Valizadeh**<sup>3</sup> and **A. Molaarazi**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

<sup>2</sup>M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

<sup>3</sup>Graduated Master of Agrometeorology and Employee of Golestan Meteorological Organization

Received: 04.17.2019; Accepted: 05.18.2020

### Abstract

**Background and Objectives:** Climate change and global warming are the greatest challenges that humanities have ever faced. Temperature variations, quantity and pattern of precipitation are the important potential impacts of climate change which may affect water resources and drought conditions. Mann-Kendall trend test and Pettitt homogeneous test were respectively used to detect trend variation and abrupt changes in the time series. The SPEI drought index which is based on precipitation and temperature data, is not only designed in a way to consider both precipitation and potential evapotranspiration (PET) but also has the capacity to include the effects of temperature variability on drought assessment. Therefore, the object of this study is to investigate the trend and the detection of change points in seasonal series of SPEI drought index in Iran, and for this purpose the non-parametric Mann-Kendall and Pettitt statistical tests has been used.

**Materials and Methods:** In the first step, the SPEI data, calculated based on monthly rainfall and evapotranspiration is extracted from those parts of the SPEI world database covering Iran, and are about 624 points of the 0.5° geographic network were separated from the entire data and stored in the Excel format. Then, the 50 years seasonal times series of SPEI data during the period of 1969-2018 were made for different seasons of the year. Finally, the nonparametric Mann-Kendall trend and Pettitt change point detection tests were performed on the data, and the results were analyzed.

**Results:** The results of using the Pettitt test in 624 points from Iran showed that in between the series of SPEI drought index in the spring, summer, autumn, and winter, 11, 31, 8 and 15 percent of points had significant change point, respectively, and their spatial location are the decreasing change points in the eastern and north-west in spring, northernwest, northern east, middle part and southern east in winter. Meanwhile in summer and autumn seasons the increasing and decreasing change points are in dispersed points from the southwest, and the south and northeast and the increasing change points in the middle parts of Iran, and parts of the south and north of the country, respectively. Also, the results of using Mann-kendall test showed a significant decreasing trend in 28 percent of points for spring, a significant increasing and decreasing trend in 5 and 25 percent of points for the summer season, a significant decreasing trend in 18 percent of points for the autumn, and also the existence of significant increasing and decreasing trends is in 1 and 15 percent of points, respectively in winter. The

\* Corresponding Author; Email: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

spatial location of these points for the four studied seasons was in the east, northwest and south of the country, half east, southwest and scattered parts from the south of the country, the central parts of the country, as well as the northeast and northwest, respectively.

**Conclusion:** Result of using Mann-Kendall and Pettitt statistical tests indicated that climate change has occurred in parts of the country, varies from one season to another in such a way that in east and northwest parts of the country in spring and in north-west and south-east parts of the country in winter, more dry conditions are visible but in autumn, more humid condition were observed in central parts of the country. According to the fact that most of the country's precipitation is in winter and spring, this drying trend will cause a hazard in reducing water resources. The results also indicate that in most of the cases that a change-point exist in the drought index, a trend is also observed in data series based on Mann-Kendall trend test.

**Keywords:** Pettitt test, Mann-Kendall test, Climate Change, Drought, Standardized precipitation-evapotranspiration drought index (SPEI)