نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸
صفحات ۱۲۹ – ۱۴۶

تحلیل روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از آزمون‌های من –کندال، سن و پتیت در استان اصفهان

حمید قربانی [۱]، استادیارگروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
عباسعلی ولی، دانشیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
هادی زارع‌پور، دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۱۱/۶ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۳/۱۱

چکیده:

خشکسالی در زمره پیچیده‌ترین و ناشناخته‌ترین پدیده‌های طبیعی است که باعث بحران دوره‌ای آب در مناطق متاثر از آن می‌شود. افزایش تقاضای آب از یک سو و تجربه خشکسالی‌های سال‌های اخیر در استان از سوی دیگر منجر به بحران آب گردیده است، شناخت روند خشکسالی یکی از ملزومات مدیریت بحران آب است. هدف از این تحقیق تحلیل روند شاخص خشکسالی اقلیمی SPI استان اصفهان با استفاده آزمون‌های ناپارامتری سن، پتیت و من-کندال می‌باشد و از داده‌های اقلیمی ماهانه ۱۰ ایستگاه همدیدی با طول دوره آماری ۲۷ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) برای سری‌های زمانی مختلف ماهانه استفاده شده است، نتایج تحلیل روند براساس آزمون پتیت در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها، براساس آزمون سن در ۶۰ درصد ایستگاه‌ها و براساس آزمون من- کندال در ۵۹ درصد ایستگاه‌ها،یک روند معنی‌دار نزولی در سطح معنی داری ۵ درصد نشان داد. همچنین تحلیل سری زمانی خشکسالی با دوره ماهانه بزرگتر از ۶ ، روند تغییرات را بهتر از سری‌های زمانی کوتاه مدت نمایان می‌کند. در مجموع به عنوان نتیجه در استان اصفهان با بحران آب مواجه هستیم و باید مدیریت تقاضای آب و مصرف آن به صورت جدی اعمال گردد.

واژه های کلیدی: استان اصفهان، آزمون پتیت، آزمون سن، آزمون من-کندال، تحلیل روند، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد.

[۱] نویسنده مسئول: Email: hamidghorbani@kashanu.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

مقدمه

خشکسالی اقلیمی[۱] یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که در اثر کاهش بارش نسبت به شرایط نرمال اقلیمی یک منطقه پدید می‌آید. در این دوره که می‌تواند از چند ماه تا چندین سال به درازا بکشد، مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه درگیر با خشکسالی به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد (Beran & Rodier., ۱۹۸۵) این پدیده، به عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت، برای هر اقلیمی تکرار پذیر و پیش‌آمدنی است و برخی از محققان از آن به عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند (Mishra & Singh., ۲۰۱۰). انواع دیگر خشکسالی شامل خشکسالی‌های کشاورزی[۲]، هیدرولوژیکی[۳] و اقتصادی اجتماعی[۴]در نتیجه خشکسالی طولانی مدت اقلیمی به وقوع می‌پیوندند (Dracup, et al., ۱۹۸۰).

اگر چه خشکسالی تقریبا در تمام مناطق آب و هوایی رخ می دهد، اما در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران که با دشواری‌های زیادی در زمینه تأمین آب موردنیاز روبروست، این مسئله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (مرادی دشتپاگردی و همکاران، ۲۰۱۴). خشکسالی‌های شدید و مداوم در تمام جهان منشأ اصلی مشکلاتی نظیر کاهش منابع آب، کاهش محصولات کشاورزی و نقصان در چرخه اکوسیستم به شمار می‌رود. از این رو این واقعه تأثیرات منفی اقتصادی را در این مناطق به دنبال دارد (Belayneh & Adamowski., ۲۰۱۲ , Mishra, et al., ۲۰۰۷). برای مثال طی یکی از دوره‌های شدید خشکسالی در ایران بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱، جمعیت ۱۰ استان از ۲۸ استان کشور در خطر گرسنگی و کمبود آب قرار گرفتند (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹). در دهه‌های گذشته، به طور معمول تحلیل خشکسالی به‌صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (Liu, et al., ۲۰۱۲). برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (رجبی و همکاران، ۱۳۸۴) شاخص‌های مختلفی در جهت تشخیص و پایش خشکسالی هواشناسی پیشنهاد شده که یکی از پرکاربردترین آن‌ها شاخص بارش استاندارد شده[۵] (SPI) می‌باشد که توسط مک‌کی[۶] و همکاران پیشنهاد شده است (McKee, et al., ۱۹۹۳). این شاخص تنها براساس داده‌های بارش می‌باشد، از این رو محاسبه آن آسان و مقدار آن تحت تأثیر ارتفاع و جغرافیای منطقه قرار نمی‌گیرد. همچنین امکان محاسبه‌ی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از این شاخص فراهم می‌باشد (Belayneh & Adamowski, ۲۰۱۲). شاخص SPI توسط محققین مختلف در سرتاسر دنیا از جمله آفریقا (Ntale & Gan., ۲۰۰۳)، آمریکا (Hao, et al., ۲۰۱۳) ، اروپا (Sepulcre-Canto, et al., ۲۰۱۲)، اتیوپی (Belayneh, et al., ۲۰۱٤)، هند (Amrit, et al., ۲۰۱۷) و ایران (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹) به کار گرفته شده است.

تشخیص روند داده‌های اقلیمی در مدیریت منابع آب و همچنین به منظور بررسی تأثیر صنعتی شدن بر چرخه هیدرولوژیکی آب از طریق انتشار گازهای گلخانه ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد (مرادی دشتپاگری و همکاران، ۲۰۱۴).

جهت تشخیص روند در سری‌های مختلف زمانی متغیرهای آب و هوایی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌گردد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و ناپارامتری قابل تفکیک می‌باشند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های ناپارامتری

[۱] Meteorological Drought
[۲] Agricultural Drought
[۳] Hydrological Drought
[۴] Socio/Economic Drought
[۵] Standardized Precipitation Index
[۶] McKee

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند (فغانی و همکاران، ۱۳۹۶). آزمون‌های ناپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). آزمون‌های سن[۱]، پتیت[۲] و من-کندال[۳] نمونه‌ای از آزمون‌های ناپارامتری هستند. آزمون ناپارامتری من-کندال که به‌طور رایج در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هوشناسی به‌کار گرفته می‌شود، ابتدا توسط من (Mann., ۱۹٤٥) و سپس کندال (Kendall., ۱۹۷٥) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت (Sneyers., ۲۰۱۰). ژای و فنگ (Zhai & Feng., ۲۰۰۹) مزایای این روش را این گونه بیان می‌کند: الف- برای سری‌های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، مناسب‌اند ب- اثرپذیری آن از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد، بسیار ناچیز است. ج- بزرگی نسبی (رتبه‌بندی) به جای مقادیر کمی در نظر گرفته می‌شود که این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌های خارج از محدوده روند حداقلی نیز در تحلیل مدنظر قرار بگیرند. د- داده‌های پرت نیز در محاسبات لحاظ می‌شوند. فرض صفر در آزمون من- کندال بر عدم وجود روند معنی‌دار و فرض مقابل به معنی وجود روند معنی‌دار، در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. سن نیز با توسعه یک سری مطالعات آماری که تیل (Thil., ۱۹٥۰)، به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من-کندال ذکر گردید، در این روش نیز وجود دارد. همچنین آزمون سن در هنگام وجود داده‌های گمشده، به‌راحتی قابل استفاده می‌باشد (Serrano, et al., ۱۹۹۹). یکی از آزمون‌های ناپارامتری دیگر آزمون پتیت می‌باشد که توسط پتیت (Pettitt., ۱۹۷۹) ارائه شده است. این آزمون جهت تعیین نقطه شکست[۴] (تغییر ناگهانی) به این صورت به کار می‌رود که یک سری زمانی را به دو جز سری جدا تفکیک و معنی‌دار بودن آن را بررسی می‌کند (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در صورت معنی‌دار شدن وجود نقطه شکست در سری، نسبت مقادیر میانگین سری، قبل و بعد از نقطه تغییر، برای ارزیابی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌داری را نشان می‌دهد، آزمون روند بر روی جز سری‌ها و در صورت عدم معنی‌داری نقطه شکست، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود (سالاریجزی و همکاران، ۲۰۱۲).

در تحقیقات برای بررسی روند متغیرهای اقلیمی به دلیل عدم نرمال بودن توزیع داده‌های اقلیمی از این آزمون‌ها استفاده می‌شود (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند طولانی مدت خشکسالی، با استفاده از این روش‌ها در تمام مناطق جهان از جمله ایران صورت گرفته است. کوثری و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال به بررسی روند خشکسالی‌های با مقیاس زمانی بلند مدت در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان براساس شاخص خشکسالی SPI در سری‌های زمانی مختلف پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقیاس سری زمانی SPI، درصد مناطقی که جزء روند افزایشی یا کاهشی خشکسالی قرار می‌گیرند، بیشتر می‌شود. ملکی نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، روند تغییرات بارندگی و خشکسالی را با استفاده از آزمون من-کندال و آزمون شیب سن در استان تهران براساس شاخص بارش استاندارد شده در سری زمانی سالانه طی دوره آماری ۲۰۰۷ - ۱۹۸۵ مورد بررسی قرار دادند و نتایج تحلیل روند با استفاده از دو آزمون من-کندال و شیب سن نشان داد که روند خاصی در سری زمانی فصلی مشاهده نمی شود، اما در سری زمانی سالانه، استفاده از آزمون شیب سن نشان داد که در دو ایستگاه روند صعودی وجود دارد.

[۱] Sen’s slope Test

[۲] Pettitt’s change point Test

[۳] Mann–Kendall Test

[۴] change point

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

دلیل وجود روند در دو ایستگاه را می‌توان به دقت بیشتر آزمون سن در تعیین روند سری‌های زمانی براساس داده‌های غیر صفر نسبت داد.

کوثری و همکاران (Kousari, et al., ۲۰۱٤)، روند خشکسالی را در نواحی خشک و نیمه خشک ایران براساس شاخص خشکسالی RDI [۱] برای ارزیابی شدت خشکسالی با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال و آزمون شیب سن بررسی کردند. نتایج، روند کاهشی بیشتری در سری‌های زمانی طولانی مدت (۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) نسبت به سری‌های کوتاه مدت را نشان داد. طبری و همکاران (Tabari, et al., ۲۰۱۲) به مطالعه روند خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با استفاده از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روند کاهشی بارش در بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در ۹۰، ۶۰، ۶۰ و ۵۰ درصد ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود و منطقه مطالعاتی در طول ۴ دهه اخیر خشک‌تر شده است. فغانی و همکاران (۱۳۹۶) روند و نقطه شکست در سری‌های خشکسالی را در ایران با استفاده از شاخص SPI در فصل‌های مختلف با استفاده از آزمون‌های من-کندال و پتیت را بررسی کردند. نتایج آزمون پتیت نشان داد که در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۴۲، ۲۷، ۳۵ و ۱۶ ایستگاه دارای نقاط شکست بوده که این نتیجه بیان می‌کند عدم در نظر گرفتن تحلیل نقطه شکست در آزمون روند می‌تواند منجر به اشتباهات غیر قابل اغماض در نتایج شود. تحلیل نتایج بررسی روند بیانگر آن است که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در ۴، ۱۰، ۹ و ۹ ایستگاه روند افزایشی و در ۶، ۰، ۱ و ۲ ایستگاه روند کاهشی وجود دارد. به علاوه بررسی توزیع مکانی نشان می‌دهد که قسمت عمده ایستگاه‌هایی که در بخش‌های غربی کشور واقع شده‌اند در فصول مختلف سال دارای روند می‌باشند.

دوهان و پاندی (Duhan & Pandy , ۲۰۱۳) در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش ۱۰۲ ساله منطقه مادهیا پارادش هندوستان پرداختند. آن‌ها از آزمون من-کندال و آزمون شیب سن به منظور تعیین روند یکنواخت بارش و از آزمون پتیت برای تشخیص نقاط شکست استفاده کردند. نتایج نشان داد که تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه روندی کاهشی را تجربه کرده و سال ۱۹۷۸ بیشترین احتمال را برای تاریخ تغییر روند به خود اختصاص داده بود. از جمله پژوهش های مشابه دیگری که جهت تحلیل روند توسط محققین برای بررسی روند فاکتورهای اقلیمی بکار گرفته شده است، می‌توان به تحقیقات ماهاجان و دودامانی (Mahajan & Dodamani, ۲۰۱۵) در هند، جیانگ و همکاران (Jiang, et al., ۲۰۰۷) و تان و همکاران (Tan, et al., ۲۰۱۵) در چین، سوسا و همکاران (Sousa, et al., ۲۰۱۱) در پرتغال، ژانگ و همکاران (Zhang, et al., ۲۰۰۰) در کاناد و بویداد و همکاران (Boudad, et al., ۲۰۱۷) در مراکش اشاره کرد.

هدف از این مطالعه، جمع‌بندی روش‌های مختلف تحلیل روند خشکسالی در استان اصفهان به عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و درگیر با بحران آب می‌باشد. انتظار می‌رود نتایج پژوهش حاضر در مدیریت بحران آب در استان اصفهان مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا، تحلیل روند با استفاده از آزمون های متعدد و کلیه ایستگاه‌های همدیدی با انواع سری‌های زمانی ماهانه مورد تحلیل قرار گرفته است تا به‌توان یک تحلیل جامع از پدیده خشکسالی حاصل می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

استان اصفهان در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱) و مساحتی حدود ۱۰۷۱۴۵ کیلومتر مربع را دارا می‌باشد. میانگین

[۱] Reconnaissance Drought Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

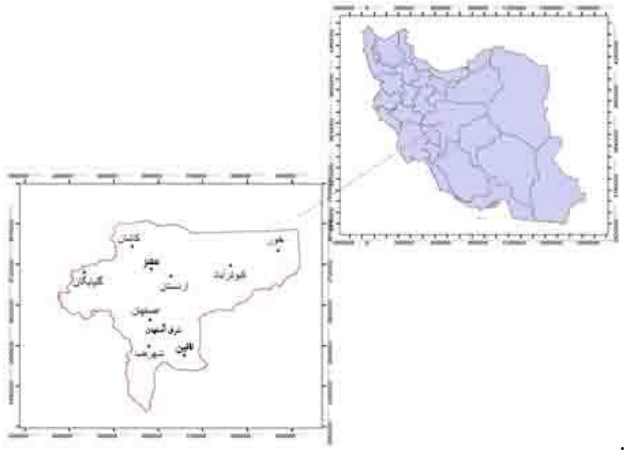
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

بارندگی استان اصفهان برابر ۱۳۰ میلیمتر در سال است. این مقدار بارندگی کمتر از نصف میانگین بارندگی کشور و یک ششم میانگین جهانی است و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، ۳۲۰۰ میلیمتر در سال و ارتفاع متوسط منطقه، ۱۵۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های استان را براساس روش دومارتن (De Martonne, ۱۹۲۶) دارای سه اقلیم عمده نیمه‌خشک گرم و خشک و بیابانی ارزیابی شده است (Soltani & Modares, ۲۰۰۶).

جدول ۱- ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

ایستگاه های استان	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاعاز سطح دریا (متر)	سال شروع آماربرداری بارش
اردستان	۵۲ ۲۳	۳۳ ۲۳	۱۲۵۲/۴	۱۹۹۲
اصفهان	۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰/۴	۱۹۵۱
خور و بیابانک	۵۵ ۰۵	۳۳ ۴۷	۸۴۵	۱۹۸۶
شرق اصفهان	۵۱ ۵۲	۳۲ ۴۰	۱۵۴۳	۱۹۷۶
شهرضا	۵۱ ۵۰	۳۱ ۵۹	۱۸۴۵/۲	۱۹۹۳
کاشان	۵۱ ۲۷	۳۳ ۵۹	۹۸۲/۳	۱۹۶۶
کبوترآباد	۵۱ ۵۱	۳۲ ۳۱	۱۵۴۵	۱۹۸۷
گلپایگان	۵۲ ۱۷	۳۳ ۲۸	۱۸۷۰	۱۹۹۲
نایین	۵۳ ۰۵	۳۲ ۵۱	۱۵۴۹	۱۹۹۲
نطنز	۵۱ ۵۴	۳۳ ۳۲	۱۶۸۴/۲	۱۹۹۲

در این مطالعه، بارش ماهانه به میلیمتر مربوط به ایستگاه‌های همدیدی واقع در استان اصفهان از سازمان هواشناسی کشور اخذ شـــد. در مجموع ۱۰ ایســـتگاه دارای آمار کافی در طول دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰) بوده‌اند که موقعیت جغرافیایی ویژگی ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) ارائه شده است، پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت ۱۰ ایستگاه همدیدی در استان اصفهان.

روش کار

شاخص بارش استاندارد

محاسبه SPI برای هر منطقه بر پایه آمار بلند مدت بارندگی (حداقل ۲۷ ساله) برای یک دوره سه ماهه، شش ماهه و غیره استوار است که این آمار دراز مدت به یک تابع توزیع احتمال برازش یافته و تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال تجمعی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

بارندگی برای یک ایستگاه و یک مقیاس زمانی مشخص می‌تواند استفاده شود که این احتمال سپس به متغیر تصادفی نرمال تبدیل می‌شود و بیانگر نمایه SPI است. جهت محاسبه SPI از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$SPI = \frac{p_i - \bar{p}}{s} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق p_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، $\bar{p}$ میانگین دراز مدت بارش برای دوره موردنظر و s انحراف معیار مقادیر بارش است. مساله اصلی در اینجا برازش توزیع آماری مناسب به سری زمانی موردنظر می‌باشد. تابع توزیع گاما به عنوان رایج‌ترین تابع توزیع احتمالی برازش داده‌ها در محاسبه SPI به کار گرفته می‌شود (Edossa, et al., ۲۰۱۰ ., Hayes, et al., ۱۹۹۹). بنابراین مقدار SPI انحراف استانداردی است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال نشان می‌دهد و به‌طور کلی این نمایه براساس توضیحات گفته شده برای بیان خشکسالی چنین تعریف می‌شود؛ دوره‌ای که SPI دائماً منفی است و به مقدار (۱-) و کمتر از آن می‌رسد و زمانی پایان می‌پذیرد که مقدار آن مثبت شود (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۸). دامنه تغییرات و طبقه بندی SPI برای بیان شدت خشکسالی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲ – طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس نمایه SPI

طبقات شدت خشکسالی	شاخص‌بارندگی استاندارد شده (SPI)
نرمال	۱+ تا ۰
خشکسالی ضعیف	۱- تا ۰
خشکسالی متوسط	۱/۵- تا ۱-
خشکسالی شدید	۲- تا۱/۵-
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-

تشخیص روند با استفاده از آزمون من-کندال

نحوه محاسبه‌ی آزمون آماره‌ی من-کندال بدین‌صورت است که ابتدا داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های قبل از خود بدون در نظر گرفتن تأثیر توزیع آن‌ها مقایسه می‌شود. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (فغانی و همکاران، ۱۳۹۶). برای محاسبه آماره‌ی این آزمون ابتدا مقادیر A با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$A = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i) \qquad (۲)$$

که n در آن تعداد مشاهدات سری، x_i و x_j به ترتیب داده‌های i ام و j ام سری هستند و تابع علامت نیز طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +۱ & if \ (x_j - x_i) > ۰ \\ ۰ & if \ (x_j - x_i) = ۰ \\ -۱ & if \ (x_j - x_i) < ۰ \end{cases} \qquad (۳)$$

برای مقادیر $n \geq 10$، A دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

$$VAR(A)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{q}t_p\left(t_p-1\right)\left(2t_p+5\right)\right] \qquad (۴)$$

که در آن q تعداد گروه‌های دارای گره (داده‌های برابر پشت سر هم یک گره ایجاد می‌کنند)، t_p طول p امین گروه گره‌دار می‌باشد.

و در نهایت آماره Z آزمون ناپارامتری من- کندال با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Z=\begin{cases}\frac{S-1}{\sqrt{VAR(A)}} & if\ A>0\\ 0 & if\ A=0\\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(A)}} & if\ A<0\end{cases} \qquad (۵)$$

مقادیر منفی و مثبت Z به ترتیب بیانگر روند کاهشی و روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد اگر |Z|>۱/۹۶ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی مورد مطالعه، رد و وجود روند در سری داده‌ها پذیرفته می‌شود.

آزمون شیب سن

اساس آزمون سن بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب بدست آمده در سطوح مختلف اطمینان می‌باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر می باشد:

الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$Q_i=\frac{x_t-x_s}{t-s},\ \text{i=1,2,...,N} \qquad (۶)$$

که x_t و x_s به ترتیب داده در زمان‌های $t>s$ و $N=\frac{n(n-1)}{2}$ می‌باشد. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده، بدست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی، براورد شیب سن مربوط به خط روند حاصل می‌شود. مقدار مثبت این شیب حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان دهنده نزولی بودن روند می‌باشد.

ب) محاسبه پارامتر c_α برای سطح اطمینان موردنظر طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$c_\alpha=z_{1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\text{var}(A)} \qquad (۷)$$

که در آن z چندک توزیع نرمال استاندارد می‌باشد (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲).

ج) محاسبه حدود اطمینان بالا و پایین با ضریب $(1-\alpha)$ ابتدا مقادیر M_1 و M_2 به کمک روابط (۸) محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases}M_1=\frac{N-c_\alpha}{2}\\ M_2=\frac{N+c_\alpha}{2}\end{cases} \qquad (۸)$$

که N تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند (الف) می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

د) برای بررسی حدود اطمینان، از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه (۶) که از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند، M_1 امین و M_2+1 امین شیب استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی بدون روند است (ملکی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

آزمون ناپارامتری پتیت[۱]

آماره آزمون پتیت بیان می‌کند که دنباله از متغیرهای تصادفی $x_1, x_2, ..., x_n$ در نقطه τ دارای نقطه‌ی تغییر است، هرگاه x_t به ازای $t = 1, 2, .., \tau$ دارای توزیع مشترک F_1 و x_t به ازای $t = \tau+1, \tau+2, .., n$ دارای توزیع مشترک F_2 باشد و داشته باشیم $F_1 \neq F_2$. پتیت هیچ فرضی راجع به توزیع‌های F_1 و F_2 در نظر نگرفته است مگر اینکه این توزیع‌ها پیوسته باشند. فرض صفر بیان می‌کند که دنباله $(x_1, x_2, ..., x_n)$ دارای نقطه تغییر نیست، یا $\tau = n$ و فرض مقابل بیان می‌کند که دنباله مذکور دارای نقطه تغییر است، یا $1 \leq t < n$. برای انجام این آزمون ابتدا مقدار $U_{t,n}$ به ازای $1 \leq t < n$ طبق رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود.

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_i - x_j), \qquad (۹)$$

ماکزیموم قدر مطلق مجموعهای $U_{t,n}$ موقعیت مکانی مربوط به نقطه تغییر $1 \leq \tau < n$ را (در صورت وجود) بدست می‌دهد. به عبارت دیگر آماره‌ی این آزمون، طبق رابطه (۱۰) به دست می‌آید.

$$K_n = \max_{1 \leq t < n} |U_{t,n}|, \qquad (۱۰)$$

p-مقدار مرتبط با این آزمون توسط رابطه (۱۱) تقریب زده می‌شود (فغانی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$p \approx \exp\left[\frac{-6K_n^2}{n^3 + n^2}\right] \qquad (۱۱)$$

اگر در آزمون پتیت، p کم‌تر از سطح معناداری ۵ درصد باشد، فرض صفر (عدم وجود نقطه‌ی شکست) در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود.

برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه سری ماهانه بارندگی و سری‌های خشکسالی در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه براساس شاخص SPI استخراج و در نهایت ۹۰ سری زمانی ایجاد گردید. برای تعیین روند، تجزیه و تحلیل نتایج و تعیین روند خشکسالی در استان اصفهان از آزمون‌های ناپارامتری سن، پتیت و من-کندال، از نرم افزار R استفاده شده است.

شرح و تفسیر نتایج

شاخص خشکسالی در سری‌های زمانی مختلف بهتر از مقیاس ماهانه می‌تواند شدت و مدت خشکسالی را برآورد کند (Patel, et al., ۲۰۰۷). از این‌رو در این پژوهش علاوه بر بارش یک ماهه، سری‌های زمانی مختلف SPI با استفاده از میانگین بارش ماهانه در تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد. در جدول (۲) سری‌های زمانی SPI_1، SPI_3، SPI_6 ، SPI_9، SPI_{12}، SPI_{18}، SPI_{24} و SPI_{48} و بارش ماهیانه در ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه براساس Z آزمون معناداری من- کندال و Z آزمون معناداری شیب سن و p-مقدار آزمون پتیت را نشان می‌دهد. در این جدول علامت ستاره نمایشگر روند مثبت (برای Z های بیشتر از

[۱] Pettitt test

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

۱/۹۶) و روند منفی (برای Z های کمتر از ۱/۹۶-) در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. در شکل‌های ۲ تا ۱۱، نمودارهای مختلف سری‌های زمانی SPI و بارش ماهیانه کلیه ایستگاه‌های همدیدی نشان داده شده است.

نتایج براساس آزمون پتیت

نتایج محاسبه آزمون پتیت در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در بین کل ایستگاه های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، ایستگاه نائین با مقدار ۰/۰۵۶ و ۰/۰۳ به ترتیب برای بارش و SPI دارای روند معنادار بوده و از آنجا که p-مقدار مربوط به آزمون پتیت کمتر از ۰/۰۵ می باشد، نشان دهنده‌ی روند نزولی در ایستگاه نائین می باشد. در سایر ایستگاه های استان اصفهان مقدار SPI و بارش ماهانه روند معنی‌داری را از خود نشان نداد. در سری‌های زمانی ۹، ۱۲،۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه براساس شاخص SPI در تمام ایستگاه ها دارای روند معناداری با روند نزولی می باشند. در مقیاس زمانی ۶ ماهه، همه ایستگاه‌های استان به جز ایستگاه‌های اصفهان و نطنز، دارای روند معناداری با روند نزولی بوده و همچنین در مقیاس زمانی ۳ ماهه ایستگاه نطنز دارای روند معناداری با روند نزولی می‌باشد که در سایر ایستگاه های استان دارای روند معناداری نمی‌باشند.

نتایج آزمون سن

نتایج محاسبه‌ی آزمون سن در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، ایستگاه نایین با مقدار ۰/۰۴ و ۰/۰۲ به ترتیب برای بارش و SPI دارای روند معناداری بوده از آنجا که p-مقدار مربوط به آزمون سن کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، روند نزولی در ایستگاه نائین در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد. در سایر ایستگاه‌ها استان اصفهان مقدار SPI و بارش ماهانه روند معنی‌داری را از خود نشان نداد. در مقیاس زمانی ۳ ماهه تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، دارای روند معناداری نمی‌باشند. در مقیاس ۶ ماهه ایستگاه‌های خور و بیابانک، شرق اصفهان، شهرضا و نائین دارای روند SPI معناداری با روند نزولی بوده و در سری زمانی ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه همه ایستگاه‌ها دارای روند معنادار با روند نزولی در مقدار SPI بوده‌اند، به جز ایستگاه‌های اصفهان و شهرضا که به ترتیب در سری زمانی ۴۸ ماهه و ۱۸ ماهه دارای روند نزولی معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند. لازم به‌ذکر است، در هیچکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معناداری با روند صعودی در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده نشد.

نتایج آزمون من-کندال

نتایج محاسبه آزمون من-کندال در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، ایستگاه نایین با بارش و SPI به ترتیب مقدار ۱/۹۹- و ۲/۳۳- دارای روند معنادار بوده از آنجا که مقدار Z کمتر از ۱/۹۶ است، وجود روند نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه نائین پذیرفته می‌شود.

براساس آزمون من-کندال ایستگاه اصفهان فقط در سری زمانی ۴۸ ماهه دارای روند مثبت بوده و در سایر سری‌های زمانی SPI روند معناداری ندارند. همچنین برای ایستگاه شهرضا نیز، فقط در سری زمانی ۱۸ ماهه، روند منفی وجود داشته و در سایر سری‌های زمانی SPI روند معناداری وجود ندارند. از طرفی ایستگاه نائین در تمام سری‌های زمانی دارای روند منفی بوده و تنها در مقیاس ۳ ماهه فاقد روند می‌باشد. ایستگاه‌های خور و بیابانک و شرق اصفهان به جز در مقیاس کوتاه مدت ۱ و ۳ ماهه در مابقی سری‌های زمانی روند منفی از خود نشان می‌دهند. همچنین ایستگاه‌های کاشان و کبوترآباد و گلپایگان در مقیاس‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی می‌باشند. ایستگاه نطنز نیز تنها در مقیاس ۱ و ۶ ماهه فاقد روند بوده و در سری‌های زمانی ۳، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه از روندی منفی تبعیت می‌کند.

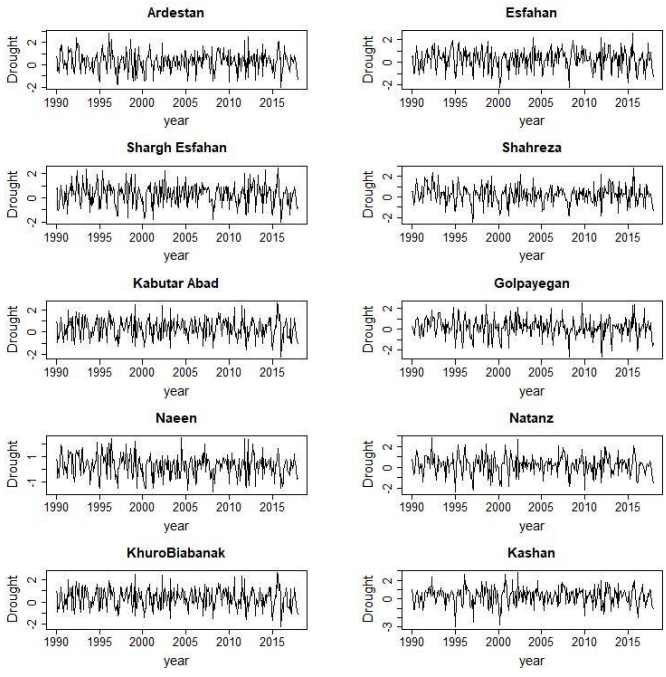
در مقیاس زمانی یک ماهه، فقط ایستگاه نائین دارای روند SPI می‌باشد. همچنین در مقیاس ۳ ماهه نیز فقط ایستگاه‌های نطنز دارای روند SPI معنادار بوده و در مقیاس ۶ ماهه ایستگاه‌های نائین، خوروبیابانک و شرق اصفهان دارای روند SPI

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

معنادار است به طوری که خور و بیابانک دارای بیشترین روند منفی و نائین دارای کمترین روند منفی می‌باشد. اردستان، شرق اصفهان، خوروبیابانک، کاشان، کبوترآباد، گلپایگان، نائین و نطنز در سری زمانی ۹ ، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای تغییرات معنادار در مقدار SPI هستند که در این بین ایستگاه اردستان دارای بیشترین مقدار در روند مثبت و ایستگاه‌های گلپایگان، خوروبیابانک و کاشان دارای بیشترین مقدار در روند منفی می‌باشند.

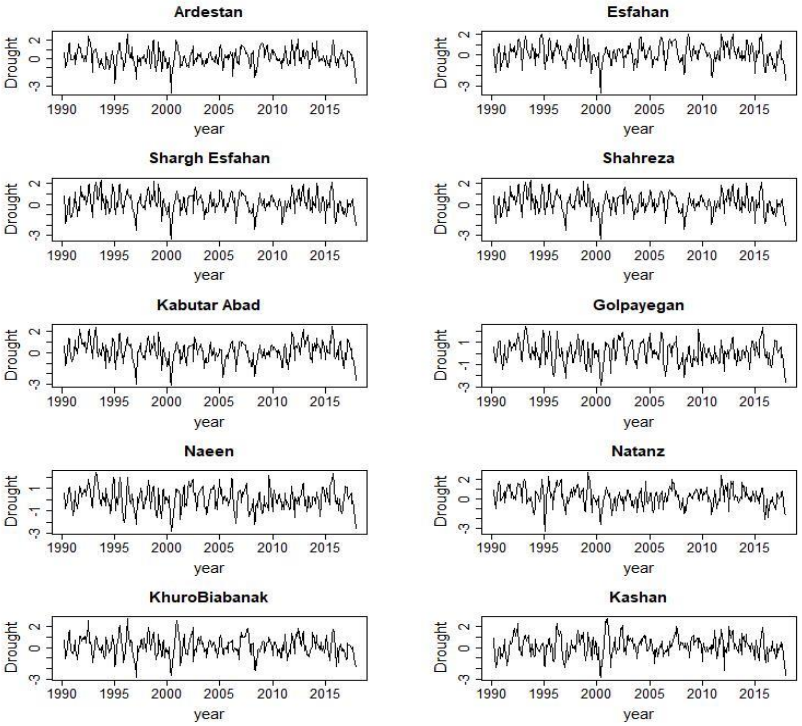
براساس نتایج بدست آمده، سری‌های زمانی طولانی مدت بهتر از سری‌های کوتاه مدت می‌توانند روند را نشان دهند. مرادی دشتپاگردی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در تحقیقات خود در بررسی روند SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف دریافتند که با افزایش سری‌های زمانی، روند واضح‌تر نشان داده می‌شود که علت این امر را در دو چیز می‌دانند: اولاً سری‌های کوتاه مدت SPI نسبت به سری‌های طولانی مدت تشابه بیشتری به مقادیر بارش دارند که از شباهت روند $SPI_{۱}$ و $SPI_{۳}$ با روند سری‌های زمانی بارش این امر مستدل می‌شود چرا که SPI از جمع داده‌های بارش بدست می‌آید و با افزایش سری‌های زمانی SPI تشابه نتایج با سری زمانی بارش کاهش می‌یابد. بر این اساس همان‌طور که داده‌های بارش نمی‌توانند روند را به طور معنادار نشان دهند، سری‌های کوتاه مدت نیز روند را نشان نمی‌دهند. ثانیاً شاخص SPI در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش کم (که گاهی میانه داده‌های ثبت شده برابر با صفر می‌شود) محدودیت‌هایی در زمینه تشخیص خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه مدت زمانی به‌خصوص در سری‌های یک ماهه و سه ماهه دارا می‌باشد که این امر با افزایش سری‌های زمانی برطرف می‌شود.



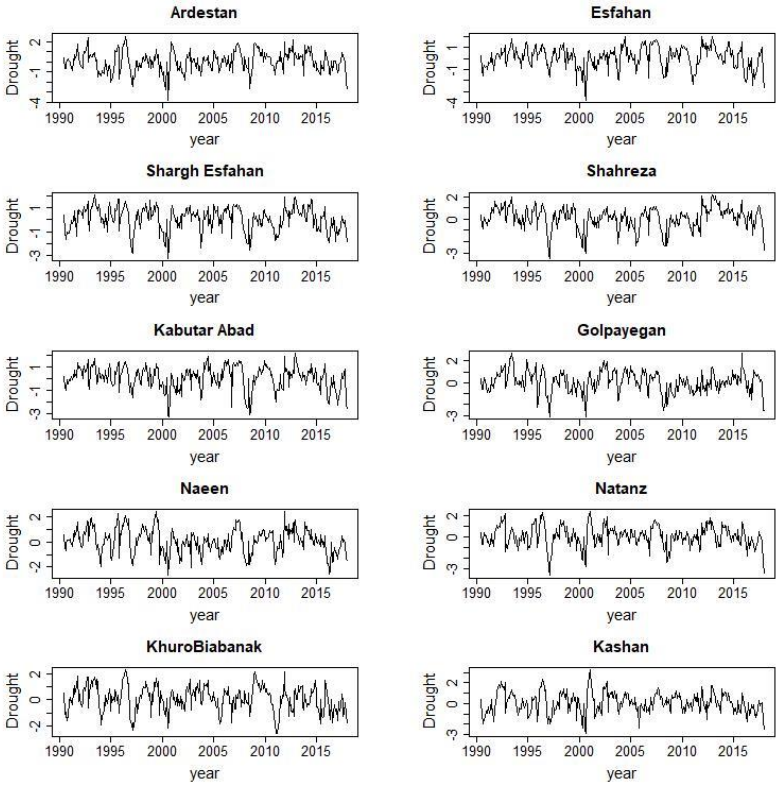
شکل ۲- سری‌های زمانی ($SPI_{۱}$) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]



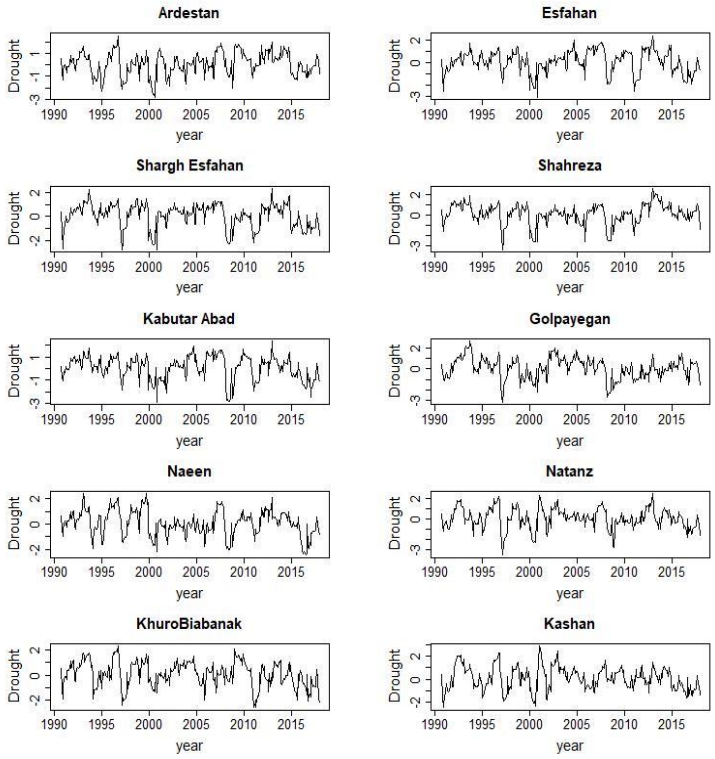
شکل ۳- سری‌های زمانی (SPI۳) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.



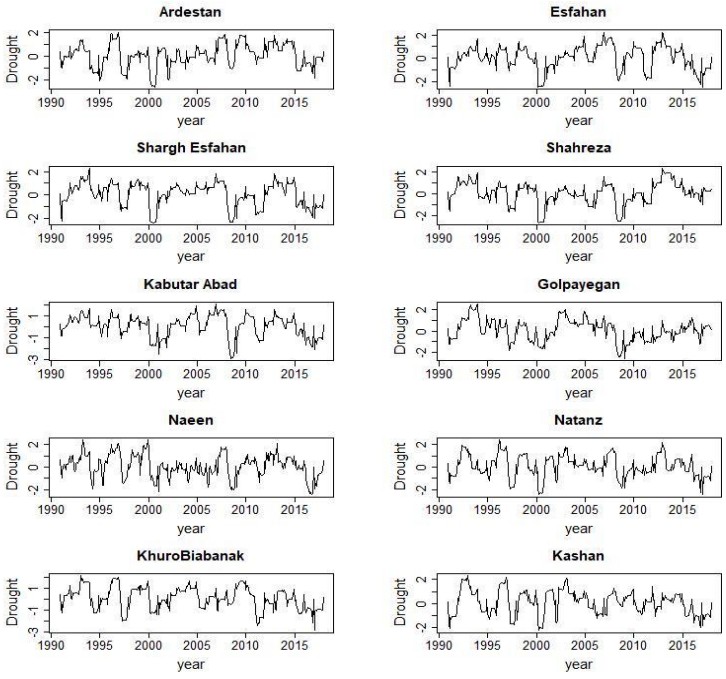
شکل ۴- سری‌های زمانی (SPI۶) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]



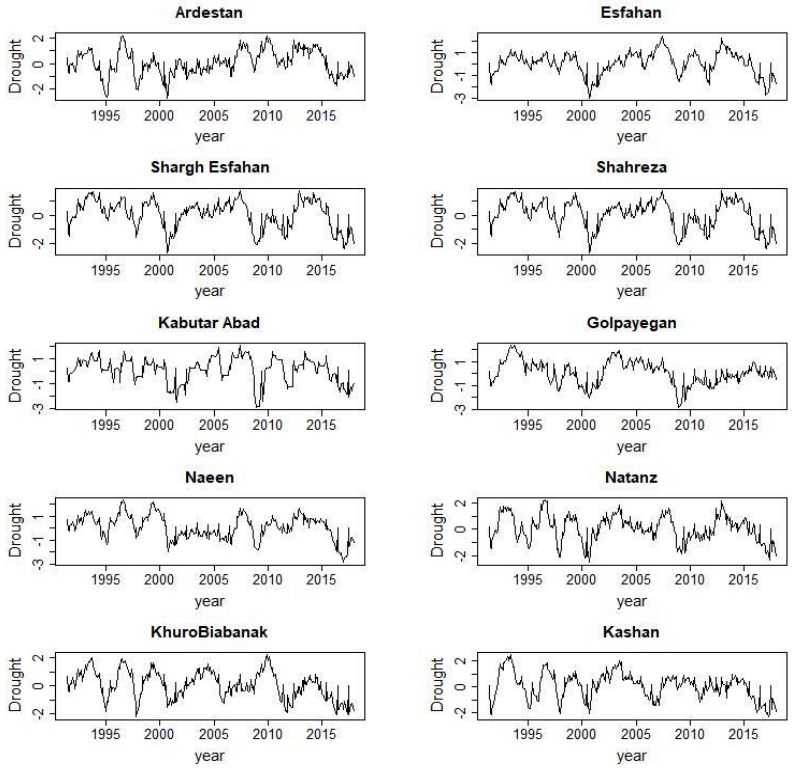
شکل ۵- سری‌های زمانی (SPI۹) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.



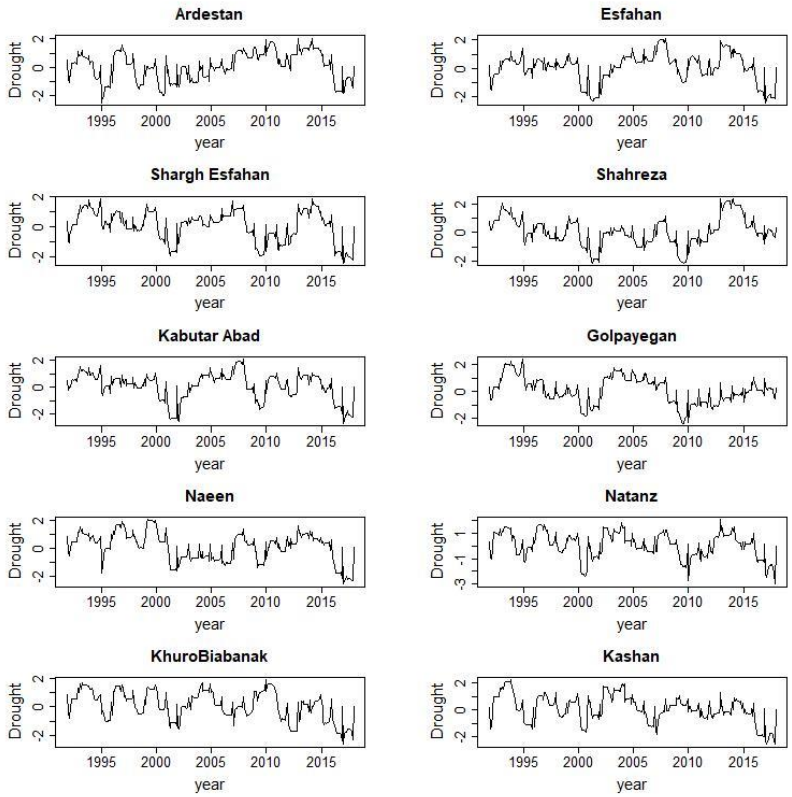
شکل ۶- سری‌های زمانی (SPI۱۲) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]



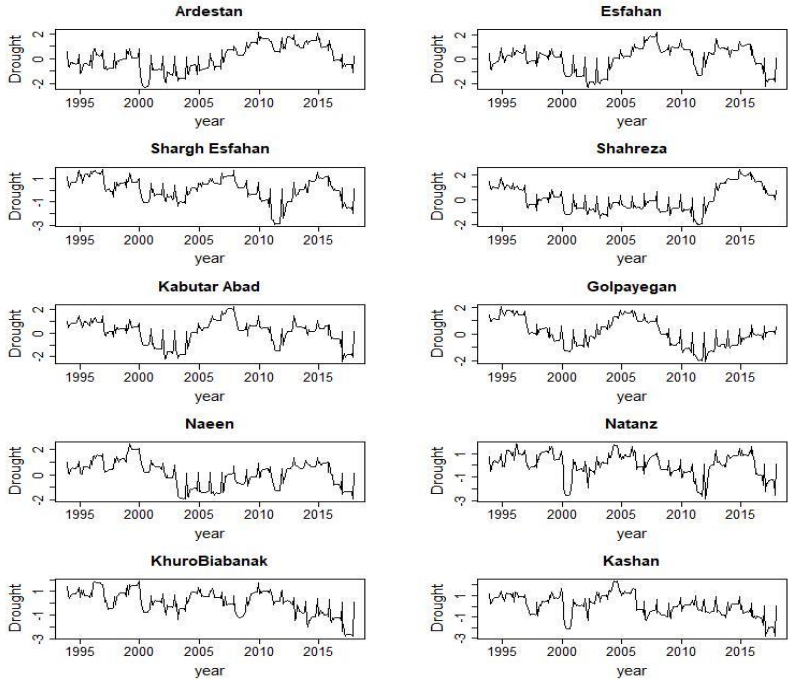
شکل ۷- سری های زمانی ($SPI_{۱۸}$) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.



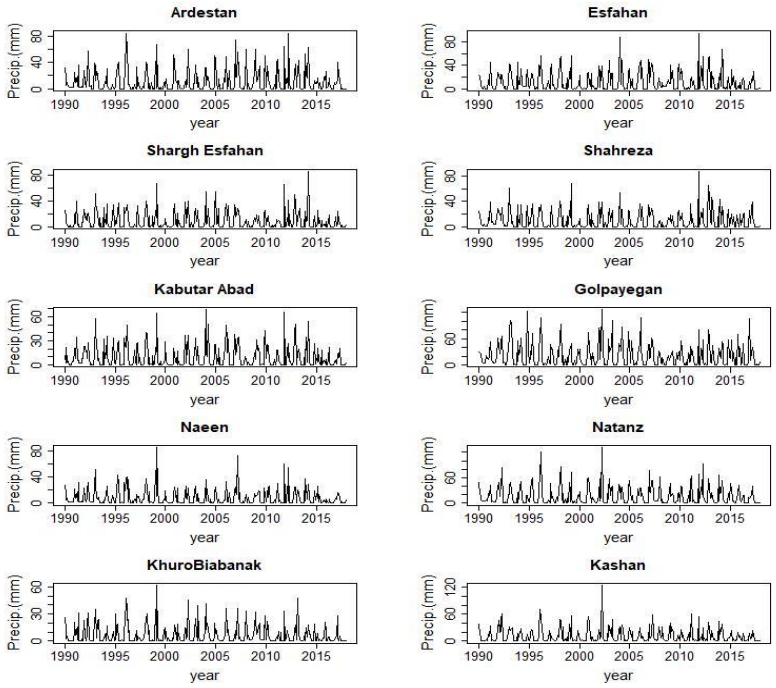
شکل ۸- سری‌های زمانی ($SPI_{۲۴}$) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]



شکل ۹- سری‌های زمانی (SPI۴۸) کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.



شکل ۱۰- سری زمانی بارندگی ماهانه کل ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

جدول۲- نتایج حاصل از آزمون روند من-کندال، آزمون شیب سن و آزمون پتیت برای سری‌های زمانی مختلف SPI و بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

نام ایستگاه	آزمون‌ها	SPI ۱	SPI ۳	SPI ٦	SPI ۹	SPI ۱۲	SPI ۱۸	SPI ۲٤	SPI ٤٨	بارش ماهانه
اردستان	Z من-کندال	-۰/۱۵	۰/۳۳	۱/۹۱	۲/۱۱*	۲*	۳/۱۹*	۴/۳۷*	۸/۶۸*	-۰/۷۱
	p-value آزمون سن	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۰۳*	۰/۰۴۵*	.*	.*	.*	۰/۴۸
	p-value آزمون پتیت	۰/۸۳	۰/۳۳	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۷۱
اصفهان	Z من-کندال	-۰/۶۸	-۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰	۰/۳۲	۳/۶۴*	-۰/۸۳
	p-value آزمون سن	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۹۹	۰/۷۵	.*	۰/۴۱
	p-value آزمون پتیت	۰/۶۹	۰/۲۱	۰/۰۶	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۷۱
خور و بیابانک	Z من-کندال	-۱/۲۳	-۱/۲۲	-۲/۹۵*	-۴/۱۵*	-۵/۱۹*	-۶/۶۶*	-۷/۶۳*	-۱۰/۰۳*	-۰/۹۱
	p-value آزمون سن	۰/۱۸	۰/۲۲	.*	.*	.*	.*	.*	.*	۰/۳۶
	p-value آزمون پتیت	۰/۴۷	۰/۴۳	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۲۵
شرق اصفهان	Z من-کندال	-۱/۳۶	-۱/۸۴	-۲/۶۳*	-۳/۱۱*	-۳/۴۸*	-۴/۳۴*	-۵/۰۹*	-۵/۴۹*	-۱/۱۹
	p-value آزمون سن	۰/۱۷	۰/۰۷	.*	.*	.*	.*	.*	.*	۰/۲۳
	p-value آزمون پتیت	۰/۳۱	۰/۰۹	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۷۰
شهرضا	Z من-کندال	-۱/۳۴	-۱/۸۴	۰/۰۲	-۰/۱۰	-۰/۳۷	-۴/۳۴*	-۱/۱۹	۰/۸۹	-۱/۸۳
	p-value آزمون سن	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۲*	۰/۹۱	۰/۷۱	.*	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۰۷
	p-value آزمون پتیت	۰/۱۲	۰/۰۹	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۰۸
کاشان	Z من-کندال	-۰/۴۶	۰/۱۱	-۱/۱۵	-۲/۹۲*	-۴/۱۵*	-۵/۵۶*	-۶/۹۰*	-۸/۶۷*	-۰/۱
	p-value آزمون سن	۰/۶۴	۰/۹۱	۰/۲۵	.*	.*	.*	.*	.*	۰/۹۲
	p-value آزمون پتیت	۱/۰۱۴	۰/۴۰	۰/۰۴**	.**	.**	.**	.**	.**	۱/۲۵۷
کبوترآباد	Z من-کندال	-۱/۳۲	-۰/۹۱	-۱/۸۴	-۲/۶۸*	-۲/۹۰*	-۲/۳۸*	-۴/۰۷*	-۳/۹۳*	-۱/۴۷
	p-value آزمون سن	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۰۶	.*	.*	۰/۰۲*	.*	.*	۰/۱۳
	p-value آزمون پتیت	۰/۴۷	۰/۰۷	۰/۰۴۸**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۵۴
گلپایگان	Z من-کندال	-۱/۹۶*	-۱/۶۹	-۱/۹۰	-۲/۷۷*	-۳/۴۸*	-۴/۸۳*	-۵/۷۱*	-۷/۲۲*	-۱/۳۵
	p-value آزمون سن	۰/۰۵*	۰/۰۹	۰/۰۶	.*	.*	.*	.*	.*	۰/۱۷
	p-value آزمون پتیت	۰/۰۸	۰/۰۵۱	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۵۷
نائین	Z من-کندال	-۲/۲۳*	-۱/۶۹	-۲/۴۹*	-۳/۰۸*	-۲/۹۳*	-۴/۴۸*	-۵/۳۵*	-۴/۴۲*	-۱/۹۹*
	p-value آزمون سن	۰/۰۲*	۰/۰۹	۰/۰۱*	.*	.*	.*	.*	.*	۰/۰۴*
	p-value آزمون پتیت	۰/۰۳**	۰/۰۵۱	.**	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۰۵۶
نطنز	Z من-کندال	-۱/۵۷	-۲/۵۷*	-۱/۲۸	-۲/۳۳*	-۳/۰۲*	-۳/۷۸*	-۴/۸۶*	-۳/۶۵*	-۱/۱۸
	p-value آزمون سن	۰/۱۱	.**	۰/۱۹	۰/۰۱*	.*	.*	.*	.*	۰/۲۳
	p-value آزمون پتیت	۰/۳۶	.**	۰/۱۴	.**	.**	.**	.**	.**	۰/۸۱

* معناداری روند در سطح ۵ درصد، ** معناداری نقطه شکست

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه که با هدف بررسی وجود روند در سری‌های زمانی شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (یا SPI) در استان اصفهان، با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، آزمون شیب سن و آزمون نقطه تغییر پتیت نشان می‌دهد، که رفتار روند براساس هر سه آزمون در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، شاخص SPI دارای روند معناداری داشته به طوری که براساس آزمون من–کندال در ایستگاه اردستان این روند افزایشی مثبت بوده و در سایر ایستگاه‌ها در سری زمانی‌های مختلف دارای افزایشی منفی می باشد، به طوری که ایستگاه اصفهان و شهرضا در سری‌های زمانی به ترتیب با دوره‌های ۴۸ ماهه و ۱۸ ماهه دارای روند افزایشی منفی بوده، همچنین روند خشکسالی براساس آزمون شیب سن، در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در سری زمانی‌ها براساس شاخص SPI با دوره‌های مختلف زمانی دارای روند معناداری با شیب افزایشی منفی بوده، به طوری که در ایستگاه اصفهان فقط در سری زمانی ۴۸ ماهه و در ایستگاه شهرضا فقط در سری‌های زمانی ۶ و ۱۸ ماهه دارای روند معنادار با شیب افزایشی منفی می‌باشد. براساس آزمون نقطه تغییر پتیت، روند خشکسالی در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در سری زمانی‌های مختلف دارای روند معناداری بوده است. بررسی روند بارش ماهانه در استان اصفهان نشان داد، بارش در ایستگاه نایین دارای روند افزایشی می‌باشد و در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند معناداری وجود ندارد.

به‌طور کلی شاخص خشکسالی SPI در سری‌های طولانی مدت زمانی یعنی ۱۲،۹، ۱۸، ۲۴ و خصوصاً ۴۸ ماهه و در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز اصفهان و شهرضا دارای روند معنادار می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات در سری‌های زمانی بلند مدت بهتر نمایان می‌شود، زیرا براساس نتایج بدست آمده سری‌های زمانی طولانی مدت بهتر از سری‌های کوتاه مدت می‌توانند روند را نشان دهند. مرادی دشتپاگردی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود در بررسی روند SPI در سری‌های زمانی مختلف دریافتند که با افزایش سری‌های زمانی، روند واضح‌تر نشان داده می‌شود که علت این امر را در دو چیز می‌دانند: الف) سری‌های کوتاه مدت SPI نسبت به سری‌های طولانی مدت تشابه بیشتری به مقادیر بارش دارند که از شباهت روند SPI_1 و SPI_3 با روند سری‌های زمانی بارش این امر ثابت می‌شود چرا که SPI از جمع داده‌های بارش بدست می‌آید و با افزایش سری‌های زمانی SPI تشابه نتایج با سری زمانی بارش کاهش می‌یابد. بر این اساس همان‌طور که داده‌های بارش نمی‌توانند روند را به طور معنادار نشان دهند، سری‌های کوتاه مدت نیز روند را نشان نمی‌دهند. ب) شاخص SPI در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش کم محدودیت‌هایی در زمینه تشخیص خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه مدت زمانی به‌خصوص در سری‌های یک ماهه و سه ماهه دارا می‌باشد که این امر با افزایش سری‌های زمانی برطرف می‌گردد. همچنین براساس نتایج، در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها روند منفی افزایشی می‌باشد که نشانگر افزایش خشکسالی طی ۵ سال آینده در استان اصفهان می‌باشد. لذا با توجه به بحران آب و محدودیت منابع آب و افزایش تقاضای آب به‌واسطه افزایش جمعیت و تکنولوژی در حال حاضر و آینده برای استان از یک طرف و تغییر اقلیم و کاهش بارندگی از طرف دیگر لازم است، این بحران به صورت یک مشکلی مهم مورد توجه قرار گیرد، از این‌رو باید به دنبال مدیریت آب برای دوره‌های خشکسالی در حال حاضر و آینده بود.

از آنجا که خشکسالی همانند سایر پدیده‌های طبیعی به مدد دانش، آگاهی، برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح قابل پیش‌بینی و کنترل است، امید است، تدابیر مؤثرتر به خصوص در جهت پیش‌بینی و پیش‌گیری این پدیده اقلیمی به عمل آید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

منابع

سبزی‌پرور، علی اکبر؛ صفر معروفی، جواد بذرافشان و آزاده کاظمی. ۱۳۸۸. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۱**: ۴۰-۴۹.

رجبی، منصور؛ حمیدرضا مرادی و منوچهر فرجزاده. ۱۳۸۴. بررسی ارتباط بین شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. *کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها*. دانشگاه تبریز: ۷۳۱-۷۳۷.

کاظم زاده، مجید؛ آرش ملکیان و علی رسـول‌زاده. ۱۳۹۲. تحلیل روند جریان‌های رودخانه‌ای با اسـتفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در استان اردبیل. *پژوهش‌های دانش زمین*، **۱۵**: ۵۳-۶۱.

کوثری؛ محمدرضا، محمدرضا اختصاصی و حسین ملکی‌نژاد. ۱۳۹۵. بررسی روند خشکسالی‌های با مقیاس زمانی بلندمدت در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان، *نشریه مدیریت بیابان*، **۸**: ۳۳-۵۳.

فغانی، منیره؛ خلیل قربانی و میثم سالاریجزی. ۱۳۹۶. تحلیل روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی SPI در ایران. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، **۴**: ۶۶۷-۶۷۹.

ملکی‌نژاد؛ حسـین، مهدی سـلیمانی‌مطلق، اعظم جایدری و سـمیه شـاطرآبشـوری. ۱۳۹۲. *تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از آزمون‌های من کندال و سن در استان تهران*، *مجله علمی و فنی نیوار*، دو فصلنامه بهار و تابستان، **۸۰**.

Amrit, K.; R. P. Pandey, and S. K. Mishra. ۲۰۱۷. Assessment of meteorological drought characteristics over Central India, *Sustain Water Resour Manag*, **DOI** ۱۰. ۱۰۰۷/s٤۰۸۹۹-۰۱۷-۰۲۰۵-۵.

Belayneh, A, and J. Adamowski. ۲۰۱۲. Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Support Vector Regression. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing 2012*: ۱-۱۳.

Belayneh, A.; J. Adamowski, B. Khalil, and B. Ozga-Zielinski. ۲۰۱۲. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, ۵۰۸: ٤۱۸-٤۲۹.

Beran, M. A, and J. A. Rodier. ۱۹۸۵. Hydrological aspects of drought. UNBSCO-WMO, *Studies and Reports in Hydrology no*, ۳۹, UNESCO, Paris, France.

Boudad, B.; H. Sahbi, and I. Manssouri. ۲۰۱۸. Analysis of meteorological and hydrological drought based in SPI and SDI index in the Inaouen Basin (Northern Morocco), *Journal of Materials and Environmental Sciences*, ۹: ۲۱۹-۲۲۷.

De Martonne, E. ۱۹۲٦. L'indice d'aridité. Bulletin de l'Association de géographes français, ۳: ۳-۵.

Duhan. D, and A. Pandy. ۲۰۱۳. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during ۱۹۰۱–۲۰۰۲ at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, **۱۲۲**: ۱۳۶-۱۴۹.

Dracup, J. A.; K. S. Lee, and E. G. Paulson. ۱۹۸۰. On the statistical characteristics of drought events. *Water resources research*, ۱٦: ۲۸۹-۲۹٦.

Edossa, D. C.; M. S. Babel, and A. D. Gupta. ۲۰۱۰. Drought analysis in the Awash river basin, Ethiopia. *Water resources management*, ۲٤: ۱٤٤۱-۱٤٦۰.

Hao, Z, and A. AghaKouchak. ۲۰۱۳. Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, ۵۷: ۱۲-۱۸.

Hayes, M. J.; M. D. Svoboda, D. A. Wilhite, and O. V. Vanyarkho. ۱۹۹۹. Monitoring the ۱۹۹٦ drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, ۸۰: ٤۲۹-٤۳۸.

Jiang, T.; B Su, and H. Hartmann. ۲۰۰۷. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, ۱۹٦۱–۲۰۰۰. *Geomorphology*, ۸۵: ۱٤۳-۱۵٤.

Kendall, M. ۱۹۷۵. Rank Correlation Methods. Griffin & Co, London: ISBN ۰-۸۵۲٦٤-۱۹۹-۰.

Kousari, M. R.; M. T. Dastorani, Y. Niazi, E. Soheili, M. Hayatzadeh, and J. Chezgi. ۲۰۱٤. Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method. *Water resources management*, ۲۸: ۱۸۵۷-۱۸۷۲.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]

Liu, L.; Y. Hong, C. N. Bednarczyk, B. Yong, M. A. Shafer, R. Riley, and J. E. Hocker. ۲۰۱۲. Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin. Oklahoma. *Journal of Water Resources Management*. ۲۶: ۲۷۶۱–۲۷۷۹.

Mahajan, D, and B. Dodamani. ۲۰۱۵. Trend Analysis of Drought Events Over Upper Krishna Basin in Maharashtra. *Aquatic Procedia,* ٤: ۱۲۵۰-۱۲۵۷.

Mann, H. ۱۹٤٥. Non-Parametric Tests against Trend. *Econmetrica,* ۱۳: ۲٤٥-۲٥۹.

McKee, T. B.; N. J. Doesken, and J. Kleist. ۱۹۹۳. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the ^th *Conference on Applied Climatology*.

Mishra, A.; V. Desai, and V. Singh. ۲۰۰۷. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic Engineering*.

Mishra, A. K, and V. P. Singh. ۲۰۱۰. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology,* ۳۹۱: ۲۰۲-۲۱٦.

Moradi Dashtpagerdi, M., M. R. Kousari, H. Vagharfard, D. Ghonchepour, M. E. Hosseini, and H. Ahani. ۲۰۱٤. An investigation of drought magnitude trend during ۱۹۷٥–۲۰۰٥ in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental Earth Sciences,* ۷۳: ۱۲۳۱-۱۲٤٤.

Ntale, H. K, and T. Y. Gan. ۲۰۰۳. Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology,* ۲۳: ۱۳۳٥-۱۳٥۷.

Patel, N. R.; P. Chopra, and V. K. Dadhwal. ۲۰۰۷. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications,* ۱٤: ۳۲۹-۳۳٦.

Pettitt, A. N. ۱۹۷۹. A non-parametric approach to change point problem, *Applied Statistics,* ۲۸: ۱۲٦-۱۳٥.

Raziei, T.; B. Saghafian, A. A. Paulo, L. S. Pereira, and I. Bordi. ۲۰۰۹. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Journal of Water Resources Management,* ۲۳: ٤۳۹-٤٥٥.

Salarijazi, M.; A. M. Akhond-Ali, A. Adib, and A. Daneshkhah. ۲۰۱۲. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research*, ۷. ۳۲: ۴۵۴۰-۴۵۵۲.

Salmi, T.; A. Määttä, P. Anttila, T, Ruoho, and T, Amnell. ۲۰۰۲. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates –the Excel template application MAKESENS. *Publications on Air Quality,* No. ۳۱: Report code FMI-AQ-۳۱.

Sepulcre-Canto, G.; S. Horion, A. Singleton, H. Carrao, and J. Vogt. ۲۰۱۲. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe, *Natural Hazards and Earth System Science,* ۱۲: ۳٥۱۹-۳٥۳۱.

Serrano, A.; V. L. Mateos, and J. A. Garcia. ۱۹۹۹. Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period ۱۹۲۱-۱۹۹٥. *Physics Chem. Earth (B)*, VOL. ۲٤, NO. ۱-۲: ۸٥-۹۰.

Sneyers, R. ۱۹۹۰. Onstatistical analysisofseriesof observations: *Technical* note, ۱٤۳, WMO.

Soltani, S, and R. Modares. ۲۰۰٦. Investigation and Analysis of the Severity and Frequency of Meteorological Drought in Isfahan Province, *Journal of Natural Resources Research*, No. ۱, Volume ٥۹: ۲٦-۱٦.

Sousa, P.; R. Trigo, P. Aizpurua, R. Nieto, L. Gimeno, and R. García Herrera. ۲۰۱۱. Trends and extremes of drought indices throughout the ۲۰th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences,* ۱۱: ۳۳-٥۱.

Tabari, H.; H. Abghari, and P. Hosseinzadeh Talaee. ۲۰۱۲. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes,* ۲٦: ۳۳٥۱-۳۳٦۱.

Tan, C.; J. Yang, and M. Li. ۲۰۱٥. Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Atmosphere,* ٦: ۱۳۹۹-۱٤۲۱.

Thiel, H. ۱۹٥۰. A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part ۳. Proceedings of Koninalijke Nederlandse Academic van Weinenschatpen A, ٥۳: ۱۳۹۷-۱٤۱۲.

Zhai, L, and Q. Feng. ۲۰۰۹. Spatial and temporal pattern of precipitation and drought in Gansu Province, Northwest China. *Natural hazards,* ٤۹: ۱-۲٤.

Zhang, X.; L. A. Vincent, W. Hogg, and A. Niitsoo. ۲۰۰۰. Temperature and precipitation trends in Canada during the ۲۰th century. *Atmosphere-ocean,* ۳۸: ۳۹٥-٤۲۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.129]