

تحلیل روند سری‌های زمانی خشکسالی برای نیم‌قرن اخیر در ایران مرکزی

عباسعلی ولی^{۱*}، فاطمه روستایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۲

چکیده

خشکسالی به دلیل وسعت زیاد و طولانی بودن مدت اثر، تاکنون به عنوان پرهزینه‌ترین بلاای طبیعی شناخته شده که باعث ایجاد بحران کمبود آب و مواد غذایی در مناطق متأثر از آن می‌شود. تشخیص روند داده‌های اقلیمی در مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه، تحلیل روند سری‌های زمانی بارش و خشکسالی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال در ایران مرکزی و برای ۱۴ ایستگاه دارای ۵۰ سال اطلاعات آماری (۱۹۶۵-۲۰۱۴) صورت گرفت. شاخص بارش استاندارد به منظور بررسی خشکسالی و در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. براساس نتایج به دست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد، سری‌های زمانی بارش در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها روند معناداری از خود نشان نداد، در حالی که شاخص بارش استاندارد در بیش از ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها به طور معنادار روند منفی داشت. همچنین سری‌های طولانی مدت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۱۸، ۲۴ و ۴ ماهه، روند را به مراتب بهتر از سری‌های کوتاه مدت ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه نشان دادند. براساس نتایج به دست آمده می‌توان چنین استنباط کرد که شاخص خشکسالی در ایران مرکزی، به صورت منفی رو به افزایش است و با توجه به تغییرات اقلیمی، این روند خشکی در سال‌های آینده نیز می‌تواند ادامه یابد.

کلمات کلیدی: ایران مرکزی، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، من-کندال.

۱. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول / Email: vali@kashanu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان / Email: froustaei@grad.kashanu.ac.ir

مقدمه

دنیا از جمله آفریقا (ان تال^۹ و گان، ۲۰۰۳)، آمریکا (هائو^{۱۰} و آقاچوک، ۲۰۱۳)، اروپا (اسپولکر-کانتو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۲)، اسیوی (بلینه و همکاران، ۲۰۱۴) و ایران (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹) به کار گرفته شده است.

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

برای تشخیص روند در سری‌های مختلف زمانی متغیرهای آب و هوایی، از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌شود؛ این آزمون‌ها به دو دسته پارامتریک و غی پارامتریک تفکیک پذیرند. آمار پارامتریک مستلزم پیش فرض‌هایی در خصوص جامعه‌ای است که از آن نمونه‌گیری صورت گرفته. به‌عنوان مهمترین پیش فرض در آمار پارامتریک فرض می‌شود که توزیع جامعه نرمال است، اما آمار ناپارامتریک مستلزم هیچ‌گونه فرضی در مورد توزیع نیست. آزمون‌های من-کندال نمونه‌ای از آزمون‌های غیر پارامتریک است که در تحقیقات بررسی روند متغیرهای اقلیمی از آن‌ها استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند طولانی مدت خشکسالی در تمام دنیا از جمله ایران با استفاده از این روش صورت گرفته است. بری ابرقویی و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات و روند خشکسالی تحت تغییرات اقلیمی جهانی را با استفاده از آزمون من-کندال برای ۴۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در نواحی مختلف ایران بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده بیانگر روند منفی خشکسالی در نقاط مختلف ایران به‌خصوص جنوب شرق، غرب و جنوب غرب است. کوثری و همکاران (۲۰۱۴) روند خشکسالی را در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران براساس شاخص خشکسالی RDI۱۲ برای ارزیابی شدت خشکسالی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال و آزمون سن بررسی کردند. نتایج، روند کاهشی بیشتری را در سری‌های زمانی طولانی مدت (۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) نسبت به سری‌های کوتاه مدت نشان داد. طبری و همکاران (۲۰۱۲) روند زمانی و شاخصه‌های مکانی خشکسالی را در مناطق

خشکسالی هواشناسی^۱ پدیده‌ای طبیعی و نامحسوس است که در پی کاهش بارندگی در طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی مدت روی می‌دهد (دراکوب^۲ و همکاران، ۱۹۸۰). این پدیده به‌عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت، برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است و برخی از محققان، از آن به‌عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند (میشرا و ساین^۳، ۲۰۱۰). انواع دیگر خشکسالی شامل خشکسالی کشاورزی^۴، هیدرولوژیکی^۵ و اقتصادی-اجتماعی^۶ در نتیجه خشکسالی طولانی مدت اقلیمی به‌وقوع می‌پیوندد (دراکوب و همکاران، ۱۹۸۰).

اگرچه خشکسالی تقریباً در تمام مناطق آب‌وهوایی رخ می‌دهد، در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران که با دشواری‌های زیادی در زمینه تأمین آب مورد نیاز روبه‌روست، 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 به‌شمار می‌رود؛ از این رو این واقعه تأثیرات منفی اقتصادی را در این مناطق به‌دنبال دارد (میشرا و همکاران، ۲۰۰۷؛ بلینه و آداموسکی^۷، ۲۰۱۲)؛ برای مثال، طی یکی از دوره‌های شدید خشکسالی در ایران بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱، جمعیت ۱۰ استان از ۲۸ استان کشور (که در آن زمان تقریباً با بیش از نصف جمعیت ایران معادل بود) در خطر گرسنگی و کمبود آب قرار گرفتند (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹).

شاخص‌های مختلفی در جهت تشخیص و پایش خشکسالی پیشنهاد شده که یکی از پرکاربردترین آن‌ها شاخص بارش استاندارد یا SPI^۸ است که توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد شده. SPI توسط محققان مختلف در سرتاسر

1. Meteorological Drought
2. Dracup
3. Mishra and Singh
4. Agricultural Drought
5. Hydrological Drought
6. Socio/Economic Drought
7. Belayneh and Adamowski
8. Standardized Precipitation Index

9. Ntale and Gan

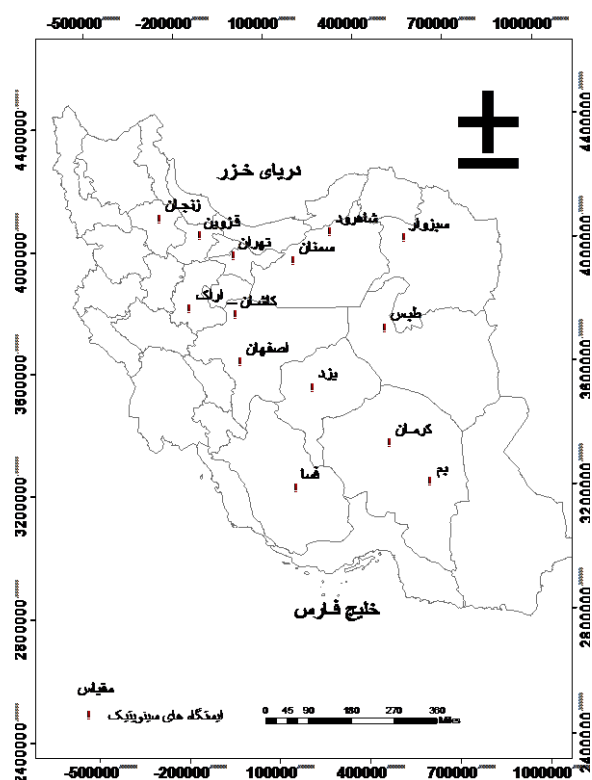
10. Hao

11. Sepulcre-Canto

12. Reconnaissance Drought Index

رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس از ورود بادهای باران‌زای مدیترانه‌ای جلوگیری می‌کنند؛ از این رو میانگین بارش سالانه در این نواحی به کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد (قربانی، ۲۰۱۳). اقلیم غالب در منطقه براساس شاخص دومارتن^۶ (۱۹۲۶) خشک و نیمه‌خشک است. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متغیر است و همچنین حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۵۱ و ۱۸- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (نادری و رئیسی، ۲۰۱۵).

در این مطالعه، مقدار بارش ماهانه به میلی‌متر، مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در ایران مرکزی از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. در مجموع، ۱۴ ایستگاه دارای آمار کافی در دوره مطالعاتی مورد نظر (۱۹۶۵ تا ۲۰۱۴) بوده‌اند که موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت ۱۴ ایستگاه سینوپتیک منتخب واقع در ایران مرکزی شاخص بارش استاندارد

شاخص بارش استاندارد

شاخص بارش استاندارد یک شاخص خشکسالی هواشناسی است که توسط مک‌کی^۷ و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد شده

خشک و نیمه‌خشک ایران با استفاده از SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن بررسی کردند. براساس نتایج به دست آمده روند کاهشی بارش در بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در ۹۰، ۶۰، ۶۰ و ۵۰ درصد ایستگاه‌ها مشاهده و منطقه مطالعاتی در طول ۴ دهه خشک‌تر شده است.

همچنین روش آزمون ناپارامتریک من-کندال در خارج از کشور نیز به کرات توسط محققان مختلف با هدف بررسی روند فاکتورهای اقلیمی به کار گرفته شده است، که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات ماهاجان و دودامانی^۱ (۲۰۱۵) در هند، جیانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۷) و تان^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در چین، سوسا^۴ و همکاران (۲۰۱۱) در پرتغال، و ژانگ^۵ و همکاران (۲۰۰۰) در کانادا اشاره کرد.

در این مطالعه با هدف بررسی تغییرات روند در سری‌های زمانی خشکسالی و بارش، از میانگین ماهانه داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک ایران مرکزی با بیش از ۵۰ سال داده آماری (۱۹۶۵ تا ۲۰۱۴) استفاده شد. بدین منظور از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای مطالعه خشکسالی و از آزمون ناپارامتری من-کندال به منظور مطالعه روند بهره گرفته شد. هدف از این مطالعه، ضمن بررسی روند خشکسالی در ایران مرکزی در مقیاس طولانی مدت، تعیین میزان معناداری روند در سری‌های مختلف زمانی شاخص بارش استاندارد است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

ایران مرکزی در میان رشته‌کوه‌های البرز در شمال، زاگرس در جنوب و غرب و کوهستان‌های پراکنده خراسان در شرق واقع شده است. متوسط ارتفاع در این منطقه، ۱۳۰۰ متر از سطح دریاست، این در حالی است که ارتفاع در دشت کویر به ۷۰۰ و بخش‌هایی از کویر لوت حتی به ۳۰۰ متر نیز تقلیل می‌یابد.

1. Mahajan and Dodamani
2. Jiang
3. Tan
4. Sousa
5. Zhang

6. De Martonne
7. McKee

جدول (۱): طبقه‌بندی خشکسالی براساس نمایه SPI

ردیف	شدت خشکسالی	دامنه SPI
۱	به شدت مرطوب (مرطوب حدی)	بزرگتر از ۲
۲	خیلی مرطوب	۱/۵ ~ ۱/۹۹
۳	مرطوب متوسط	۱ ~ ۱/۴۹
۴	مرطوب خفیف (تقریباً نرمال)	۰ ~ ۰/۹۹
۵	خشک خفیف (تقریباً نرمال)	-۰/۹۹ ~ ۰
۶	خشک متوسط	-۱ ~ -۱/۴۹
۷	خیلی خشک	-۱/۵ ~ -۱/۹۹
۸	به شدت خشک (خشک حدی)	کوچک‌تر از ۲-

تشخیص روند با استفاده از آزمون من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال که به‌طور رایج در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود، ابتدا توسط من^۴ (۱۹۴۵) و سپس توسط کندال^۵ (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت (اس نیروز، ۱۹۹۰).

ژای و فنگ^۷ (۲۰۰۸) مزایای این روش را این‌گونه بیان می‌کنند: ۱. برای سری‌های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند مناسب‌اند؛ ۲. اثرپذیری آن از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود بسیار ناچیز است؛ ۳. بزرگی نسبی (رتبه‌بندی) به‌جای مقادیر کمی در نظر گرفته می‌شود که این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌های خارج از محدوده روند حداقلی نیز در تحلیل مد نظر قرار بگیرند؛ ۴. داده‌های پرت نیز در محاسبات لحاظ می‌شوند. فرض صفر در آزمون دال بر عدم وجود روند قابل مشاهده در سطح معناداری مشخص در سری داده‌ها و پذیرش فرض یک به معنی رد فرض صفر و به عبارتی وجود روند در سری زمانی داده‌هاست. آزمون آماری من-کندال به شرح زیر است: 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.

S آماری من-کندال به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

است. این شاخص تنها براساس داده‌های بارش است؛ از این رو محاسبه آن آسان است و مقدار آن تحت تأثیر ارتفاع و جغرافیای منطقه قرار نمی‌گیرد. همچنین امکان محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از این شاخص فراهم است (بلینه و آداموسکی، ۲۰۱۲).

محاسبه SPI برای هر منطقه بر پایه آمار بلندمدت بارندگی (حداقل ۳۰ ساله) برای یک دوره یک‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و... استوار است؛ این آمار درازمدت به یک تابع توزیع احتمال برازش یافته و تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال تجمعی بارندگی برای یک ایستگاه و یک مقیاس زمانی مشخص می‌تواند استفاده شود. این احتمال سپس به متغیر تصادفی نرمال تبدیل می‌شود و بیانگر نمایه SPI است. برای محاسبه SPI از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$SPI = \frac{p_i - \bar{p}}{s} \quad (1)$$

در این رابطه، p_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است.

مسئله اصلی در اینجا برازش توزیع آماری مناسب بر سری زمانی مورد نظر است. تابع توزیع گاما به‌عنوان رایج‌ترین تابع توزیع احتمالی برازش داده‌ها در محاسبه SPI به‌کار گرفته می‌شود (هایس^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ ادوسا^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین مقدار SPI انحراف استاندارد است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال نشان می‌دهد و به‌طور کلی، این نمایه براساس توضیحات گفته‌شده 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؛ بنابراین مقادیر مثبت نمایانگر بارشی بیش از مقدار متوسط و مقادیر منفی بیانگر بارشی کمتر از بارش متوسط هستند (ایلپروما و سونادارا^۳، ۲۰۰۹). دامنه تغییرات و طبقه‌بندی SPI برای بیان شدت خشکسالی در جدول (۱) آورده شده است.

4. Mann
5. Kendall
6. Sneyers
7. Zhai and Feng

1. Hayes
2. Edossa
3. Illeperuma and Sonnadara

منعکس کند (پاتل^۱ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ از این رو در این مطالعه علاوه بر SPI یک ماهه، سری های مختلف زمانی SPI با استفاده از میانگین بارش ماهانه در تمامی ایستگاه ها محاسبه شد. سری های زمانی SPI1، SPI3، SPI6، SPI9، SPI12، SPI18، SPI24 و SPI48 در ایستگاه های مطالعاتی در شکل (۲) تا (۱۵) و جدول (۲) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده در سطح معناداری ۹۵ درصد، در هیچ یک از ایستگاه ها مقدار بارش سالانه روند معنی داری از خود نشان نمی دهد. همچنین ایستگاه های تهران، طبس، سمنان و قزوین و فسا در هیچ یک از سری های زمانی SPI نیز روند معناداری ندارند. اصفهان در تمام سری های زمانی دارای روند مثبت است. همچنین کاشان در سری های کوتاه مدت ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه از روند مثبتی پیروی می کند و تنها در سری زمانی ۴۸ ماهه روند منفی دارد. در مقیاس ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه ایستگاه های بم و یزد روند منفی دارند. سبزوار، زنجان و کرمان به جز در مقیاس کوتاه مدت یک و سه ماهه در مابقی سری ها روند منفی از خود نشان می دهند. اراک و شاهرود نیز تنها در مقیاس یک ماهه فاقد روند می باشند و در سری های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه از روندی منفی تبعیت می کنند.

در مقیاس زمانی یک ماهه تنها ایستگاه اصفهان دارای تغییرات معنی دار در مقدار SPI است. در مقیاس سه ماهه اراک، اصفهان، شاهرود و کاشان روند معنادار از خود نشان می دهند و اصفهان دارای بیشترین مقدار در روند مثبت و اراک دارای منفی ترین روند است. در مقیاس شش ماهه ایستگاه های اراک، اصفهان، زنجان، شاهرود و کاشان روند SPI معنادار است، به طوری که شاهرود دارای بیشترین روند منفی و اصفهان دارای بیشترین روند مثبت است. اراک، اصفهان، بم، زنجان، شاهرود، کاشان، کرمان و یزد در سری زمانی ۹ ماهه و ۱۲ ماهه دارای تغییرات معنادار در مقدار SPI بوده اند که در بین این ایستگاه ها اراک منفی ترین روند و اصفهان مثبت ترین روند را به خود اختصاص داده اند.

در مقیاس ۱۸ و ۲۴ ماهه، اراک، اصفهان، بم، زنجان، سبزوار، شاهرود، کرمان و یزد و همچنین در مقیاس ۴۸ ماهه،

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

آزمون روند S برای سری زمانی x_i و x_j به کار برده می شود که $i=1,2,\dots,n-1$ و $j=i+1,2,\dots,n$ هر یک از نقاط داده های x_i به عنوان نقطه اصلی است که بقیه نقاط x_j با آن مقایسه می شود، از این رو:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

این رابطه زمانی مستند است که $n \geq 8$ باشد، S با $E(S) = 0$ تقریباً دارای توزیع نرمال است.

انحراف معیار S به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\operatorname{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p - 1)(2t_p + 5)] \quad (4)$$

که در آن، q تعداد گروه های ایجاد شده (با داده های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده های برابر در p امین گروه است.

و در نهایت مقدار آماره من- کندال براساس رابطه (۵) محاسبه می شود:

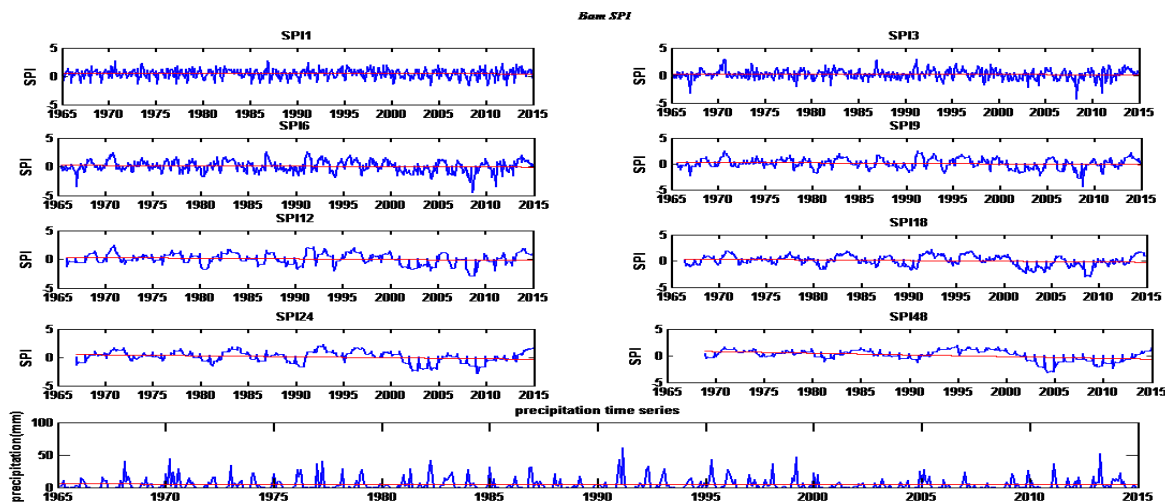
$$Z_m = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

که در آن، Z_m مقدار آماره من- کندال است. مقدار منفی Z_m بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده هاست. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد اگر $|Z_m| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روندی معنی دار است و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می شود. در این مطالعه برای تعیین آماره من- کندال از نرم افزار MATLAB بهره گرفته شده است.

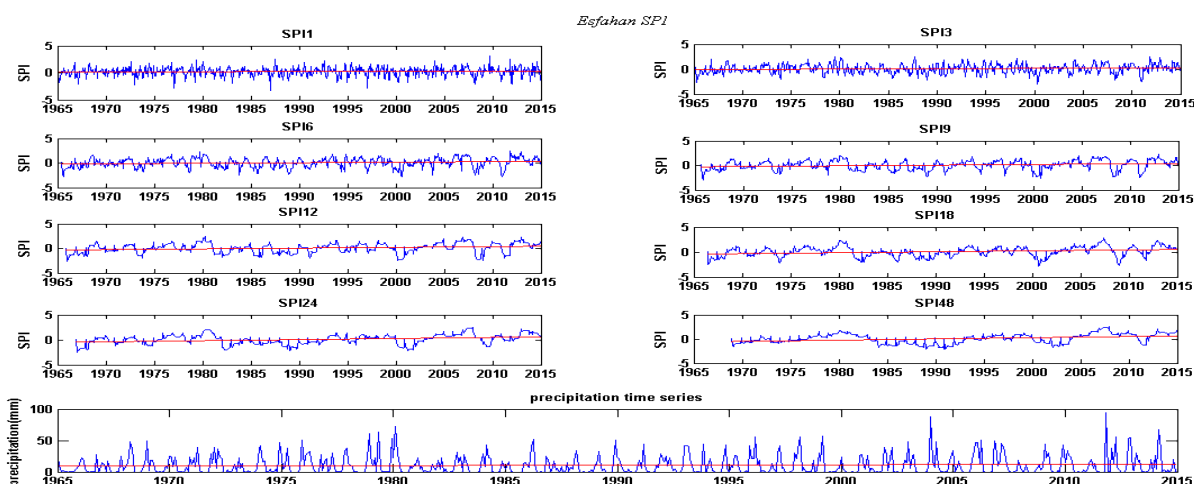
نتایج

شاخص خشکسالی در مقیاس های زمانی مختلف بهتر از مقیاس ماهانه می تواند شدت و طول مدت خشکسالی را

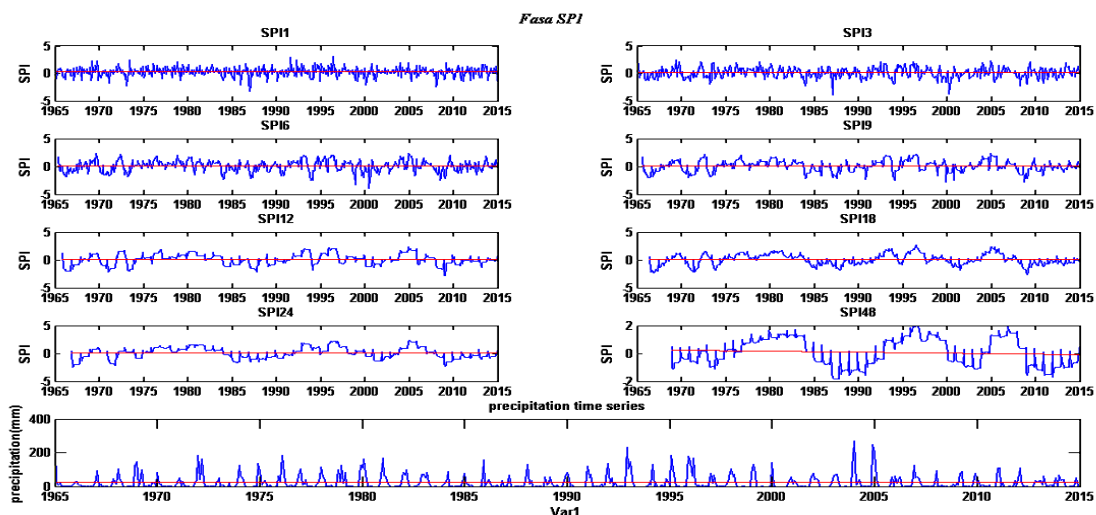
اراک، اصفهان، بم، زنجان، سبزوار، شاهرود، کاشان، کرمان و یزد روند معنادار داشتند و در تمام این سری‌های زمانی، اراک بیشترین روند کاهشی و اصفهان دارای بیشترین روند افزایشی بوده‌اند. براساس نتایج به‌دست‌آمده سری‌های زمانی طولانی مدت بهتر از سری‌های کوتاه مدت می‌توانند روند را نشان دهند.



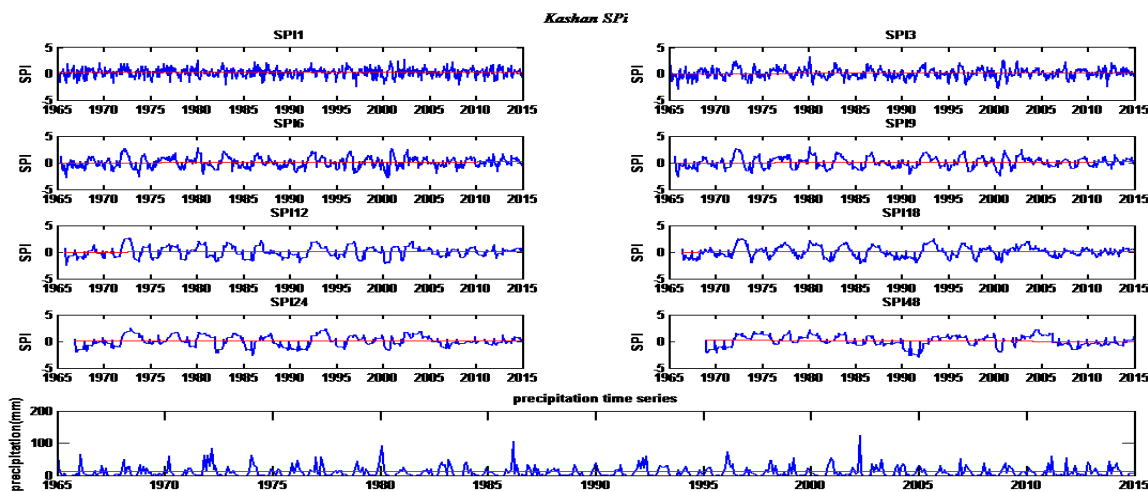
شکل (۳): سری‌های زمانی مختلف ($SPI_1, SPI_3, SPI_6, SPI_9, SPI_{12}, SPI_{18}, SPI_{24}, SPI_{48}$ و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک بم



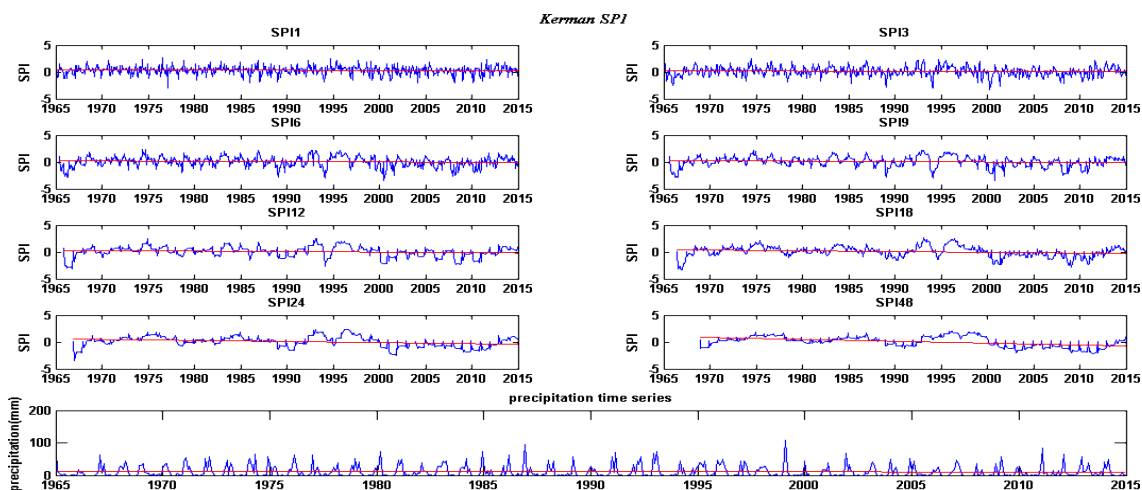
شکل (۴): سری‌های زمانی مختلف ($SPI_1, SPI_3, SPI_6, SPI_9, SPI_{12}, SPI_{18}, SPI_{24}, SPI_{48}$ و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک اصفهان



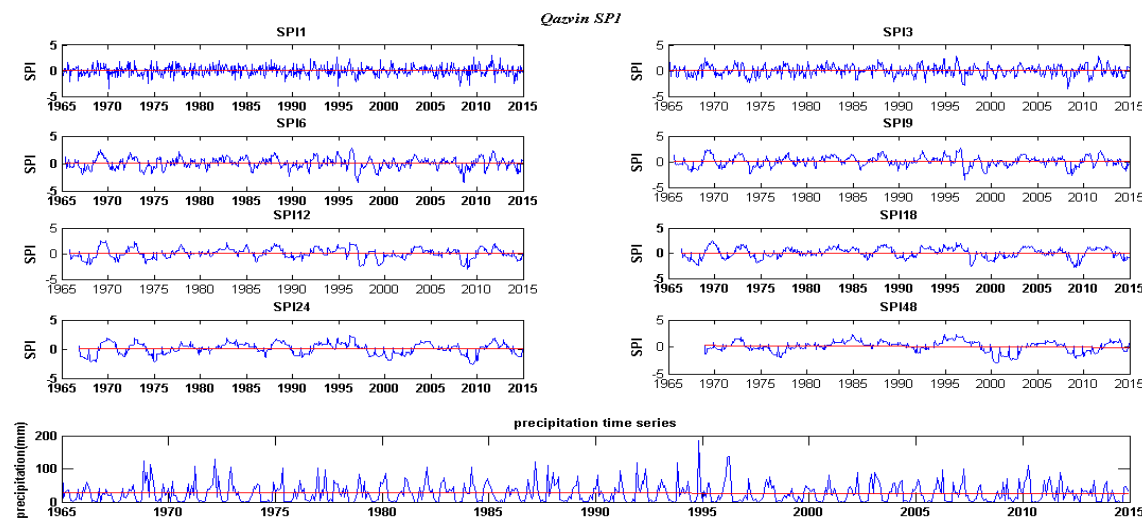
شکل (۵): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک فسا



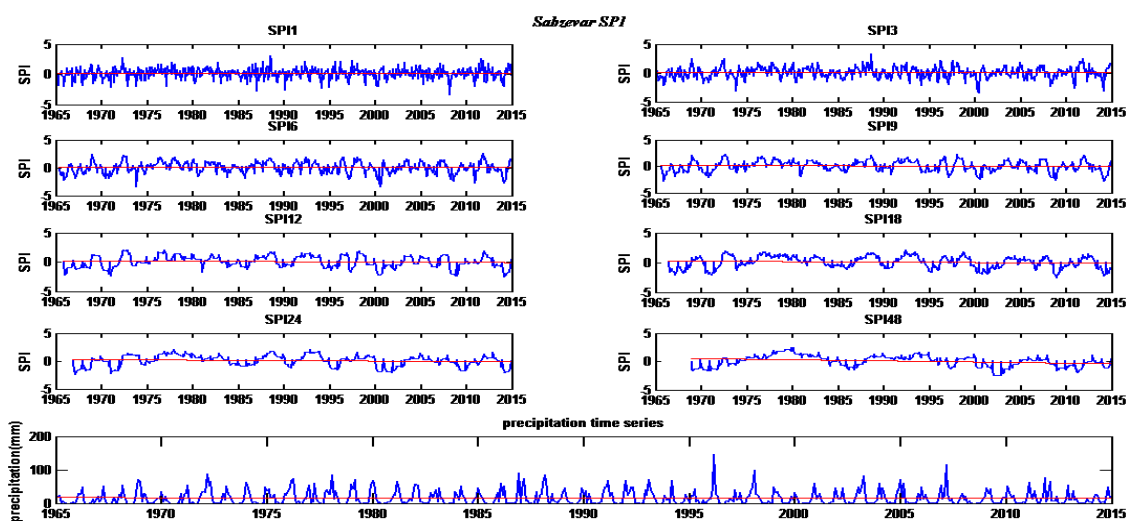
شکل (۶): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک کاشان



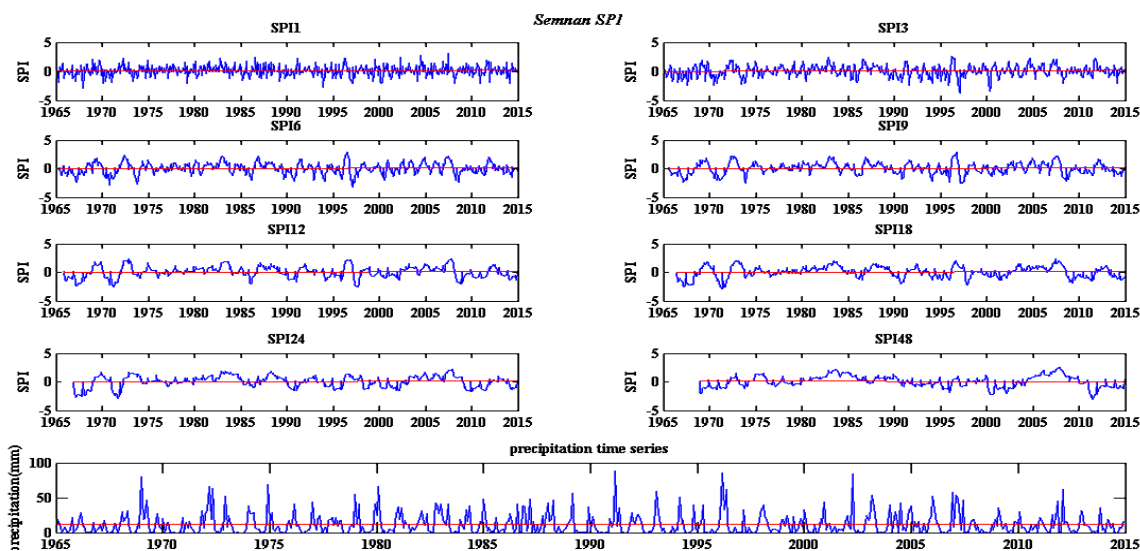
شکل (۷): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک کرمان



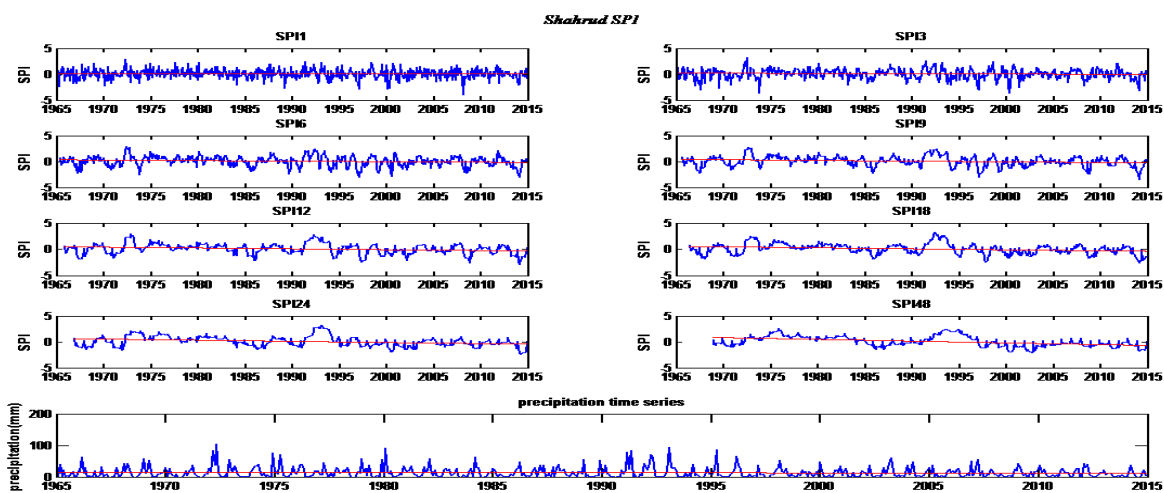
شکل (۸): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک قزوین



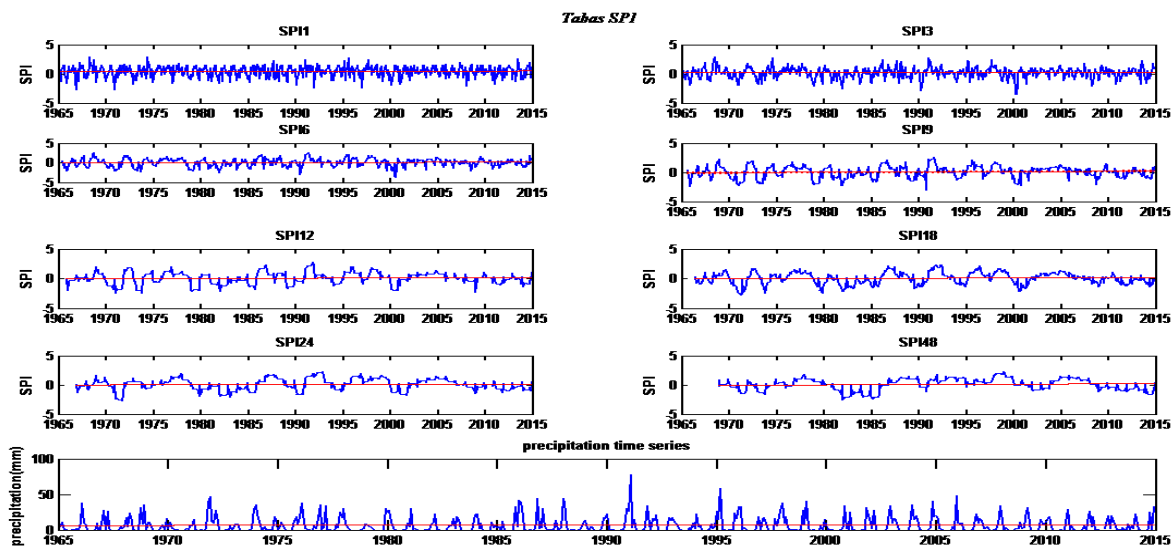
شکل (۹): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک سبزوار



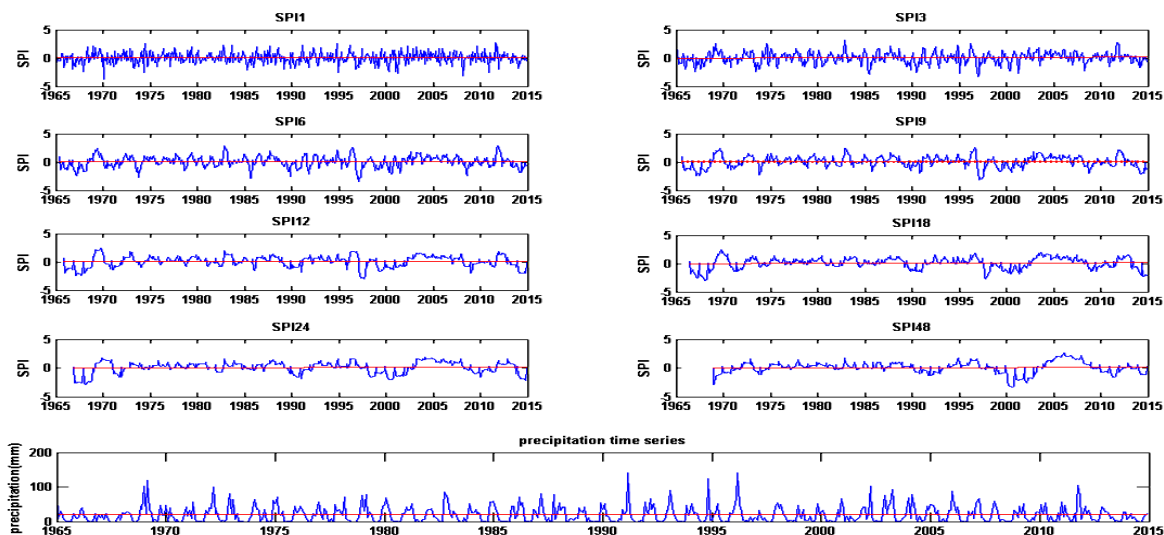
شکل (۱۰): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک سمنان



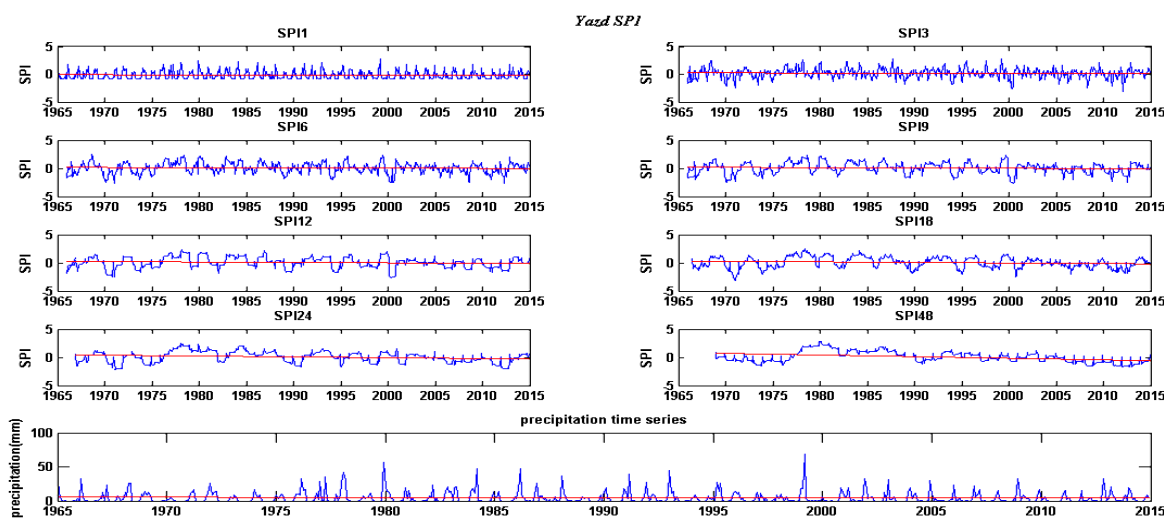
شکل (۱۱): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک شاهرود



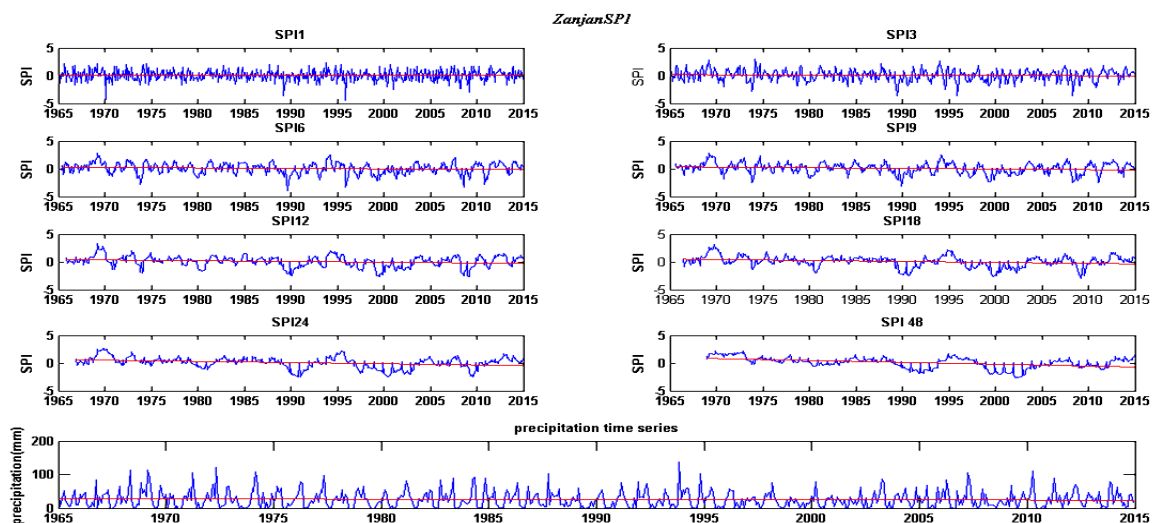
شکل (۱۲): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک طبس



شکل (۱۳): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک تهران



شکل (۱۴): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک یزد



شکل (۱۵): سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24 و SPI48 و بارندگی) ایستگاه سینوپتیک زنجان

جدول (۲): روند بارش و روند SPI را براساس آزمون من-کندال (پارامتر Z) برای سری‌های مختلف زمانی نشان می‌دهد. در این جدول علامت ستاره نمایشگر روند مثبت (برای Zهای بیشتر از ۱/۹۶) و روند منفی (برای Zهای کمتر از -۱/۹۶) در سطح ۹۵ درصد است ($\alpha < 0.05$).

نام ایستگاه	SPI 1	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 18	SPI 24	SPI 48	بارش
اراک	-۱/۶۹	*-۲/۳۷	*-۳/۶۸	*-۵/۸۶	*-۷/۸۳	*-۹/۴۱	*-۱۱/۶۹	*-۱۵/۷۹	-۱/۳۷
اصفهان	*۲/۰۱	*۳/۴۴	*۴/۹۴	*۶/۰۳	*۶/۵۶	*۷/۱۶	*۸/۱۳	*۸/۸۲	۰/۹۷
بم	-۰/۱۸	-۰/۹۳	-۱/۹۵	*-۲/۵۱	*-۲/۷۴	*-۳/۷۶	*-۵/۰۱	*-۸/۸۲	-۱/۱۹
تهران	۱/۳۵	۱/۷۱	۰/۸۰	۱/۱۱	۱/۴۴	۱/۲۲	۰/۵۶	-۰/۲۸	۰/۴۴
طبرس	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۲۳	۰/۰۳	-۰/۰۸	۱/۲۳	۰/۳۴
زنجان	-۰/۴۴	-۰/۸۶	*-۲/۹۰	*-۳/۴۶	*-۳/۷۸	*-۵/۴۴	*-۶/۷۹	*-۱۱/۰۵	-۰/۸۸
سبزوار	۰/۴۹	۰/۷۰	-۰/۵۱	-۱/۳۶	-۱/۴۸	*-۲/۹۵	*-۳/۷۲	*-۷/۰۱	۰/۲۲
سمنان	۰/۴۵	۱/۴۹	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳۷	۰/۰۷	-۰/۴۳	-۱/۳۸	۰/۴۹
شاهرود	-۰/۷۰	*-۲/۰۶	*-۳/۷۷	*-۴/۷۲	*-۵/۵۰	*-۶/۹۲	*-۷/۸۹	-۱۱/۱۸*	-۱/۳۳
قزوین	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۴۶	۰/۸۴	۰/۴۵	-۰/۲۰	-۰/۲۸	-۰/۱۰
کاشان	۰/۷۷	*۲/۱۳	*۲/۳۳	*۲/۳۵	*۱/۹۶	۱/۵۴	۰/۵۸	*-۳/۰۰	۰/۷۱
کرمان	-۰/۶۳	-۱/۱۹	*-۲/۱۴	*-۲/۹۴	*-۴/۳۸	*-۶/۵۲	*-۷/۶۲	*-۱۰/۴۳	-۰/۶۹
یزد	۰/۰۴	-۰/۳۲	-۱/۴۴	*-۲/۱۵	*-۲/۹۵	*-۴/۶۳	*-۶/۴۱	*-۱۰/۹۲	-۰/۰۲

بحث و نتیجه‌گیری

دشتپاگردی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی مشابه، علت این امر را دو چیز می‌دانند: ۱. سری‌های کوتاه‌مدت SPI نسبت به سری‌های طولانی‌مدت، تشابه بیشتری به مقادیر بارش دارند که از شباهت روند SPI_۱ و SPI_۳ با روند سری‌های زمانی بارش این امر مستدل می‌شود، زیرا SPI از جمع داده‌های بارش به دست 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 کوتاه‌مدت نیز روند را نشان نمی‌دهند. ۲. شاخص SPI در مناطق خشک و نیمه خشک با بارش محدود (که گاهی میانه داده‌های ثبت شده برابر با صفر می‌شود)، محدودیت‌هایی در زمینه تشخیص خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت زمانی به خصوص در سری‌های یک‌ماهه و سه‌ماهه دارند که این امر با افزایش سری‌های زمانی مرتفع می‌شود. همچنین براساس نتایج حاصل، در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌ها روند منفی است که حاکی از افزایش خشکسالی‌ها طی ۵۰ سال اخیر در ایران مرکزی است.

در این مطالعه که به منظور بررسی روند در سری‌های مختلف زمانی شاخص خشکسالی بارش استاندارد یا SPI در ایران مرکزی از آزمون ناپارامتریک من-کندال صورت گرفت، مشاهده شد که رفتار روند در هر ایستگاه متفاوت از ایستگاه دیگر است، به طوری که در بعضی از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، شاخص SPI روند افزایشی و در برخی دیگر روند کاهشی دارد، همچنین بارش در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها روند معناداری از خود نشان نداده است. به طور کلی شاخص خشکسالی SPI در سری‌های طولانی‌مدت زمانی یعنی ۱۸، ۲۴ و به خصوص ۴۸ ماهه و در تمامی ایستگاه‌ها به جز تهران، طبس، قزوین، سمنان، فسا و کاشان روند معناداری دارد که می‌توان این طور استنباط کرد که تغییرات در سری‌های بلندمدت زمانی بهتر نشان داده می‌شود. براساس نتایج به دست آمده، سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های کوتاه‌مدت می‌توانند روند را نشان دهند. بری ابرقویی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در تحقیقات خود در بررسی روند SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف دریافتند که با افزایش سری‌های زمانی، روند واضح‌تر نشان داده می‌شود. مرادی

منابع

1. Bari Abarghouei, H., Zarch, M. A. A., Dastorani, M. T., Kousari, M. R., Zarch, M. S., 2011. The survey of climatic drought trend in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, 851-863.
2. Belayneh, A., Adamowski, J., 2012. Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Support Vector Regression. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing* 2012, 1-13.
3. Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B., Ozga-Zielinski, B., 2014. 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* 508, 418-429.
4. de Martonne, E., 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français* 3, 3-5.
5. Dracup, J. A., Lee, K. S., Paulson, E. G., 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Water resources research* 16, 289-296.
6. Edossa, D. C., Babel, M. S., Gupta, A. D., 2010. Drought analysis in the Awash river basin, Ethiopia. *Water resources management* 24, 1441-1460.
7. Ghorbani, M. (2013). *The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources*: Springer Science & Business Media.
8. Hao, Z., AghaKouchak, A., 2013. Multivariate standardized drought index: a parametric

- multi-index model. *Advances in Water Resources* 57, 12-18.
9. Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80, 429-438.
 10. Illeperuma, G., Sonnadara, U., 2009. Forecasting Droughts using Artificial Neural Networks. *Promoting Knowledge Transfer to Strengthen Disaster Risk Reduction & Climate Change Adaptation*, 100.
 11. Jiang, T., Su, B., Hartmann, H., 2007. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961–2000. *Geomorphology* 85, 143-154.
 12. Kendall, M., 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin & Co, London: ISBN 0-85264-199-0.
 13. Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., Chezgi, J., 2014. 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* 28, 1857-1872.
 14. Mahajan, D., Dodamani, B., 2015. Trend Analysis of Drought Events Over Upper Krishna Basin in Maharashtra. *Aquatic Procedia* 4, 1250-1257.
 15. Mann, H., 1945. Non-Parametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
 16. McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
 17. Mishra, A., Desai, V., Singh, V., 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic Engineering*.
 18. Mishra, A. K., Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391, 202-216.
 19. Moradi Dashtpajardi, M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E., Ahani, H., 2014. An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental Earth Sciences* 73, 1231-1244.
 20. Naderi, M., Raeisi, E., 2015. Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theoretical and Applied Climatology*.
 21. Ntale, H. K., Gan, T. Y., 2003. Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology* 23, 1335-1357.
 22. Patel, N. R., Chopra, P., Dadhwal, V. K., 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications* 14, 329-336.
 23. Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S., Bordi, I., 2009. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resources Management* 23, 439-455.
 24. Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, A., Carrao, H., Vogt, J., 2012. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Science* 12, 3519-3531.
 25. Sneyers, R., 1990. On statistical analysis of series of observations: Technical note 143, WMO.
 26. Sousa, P., Trigo, R., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., García Herrera, R., 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 33-51.
 27. Tabari, H., Abghari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., 2012. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes* 26, 3351-3361.
 28. Tan, C., Yang, J., Li, M., 2015. Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous

- Region, China. *Atmosphere* 6, 1399-1421.
29. Zhai, L., Feng, Q., 2009. Spatial and temporal pattern of precipitation and drought in Gansu Province, Northwest China. *Natural hazards* 49, 1-24.
30. Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W., Niitsoo, A., 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-ocean* 38, 395-429.

A time series analysis of drought for the last five decades in Central Iran

Abbasali Vali^{1*}, Fatemeh Roustaei²

Received: 1/1/2016

Accepted: 10/4/2016

Abstract

Widespread and long-term effects of droughts has caused it to be known as the worst natural disaster that causes water and food deficiency in affected areas. One of the popular indexes in recognizing and monitoring of drought is Standardized Precipitation Index (SPI) that its efficiency has been approved in the world. Trend detection is very important to manage water resources. The Mann-Kendall estimator non-parametric tests are used in climatological factors trend. The SPI has been extensively applied for spatial drought analysis in various regions. Central Iran has been located among the Alborz Mountains in the north, the Zagros Mountains in the south and west, and the scattered mountains of Khorasan in the east. Because of special conditions the average annual rainfall within this area is less than 300 mm. In this study, the monthly precipitation data were obtained from Iran Meteorological Organization and after calculating SPIs in different time series (1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 monthly) precipitation and drought trends were investigated in all station. An investigation of precipitation and SPI drought trend was done in central Iran using Man-Kendal. The results show a significant negative trend in all station except in two stations, so it can be said that aridity in Central Iran has been increased during past five decades. Also based on achieve result in this study, long term time series can show more significant trend rather than short ones.

Key words: Central Iran, drought, Mann–Kendall statistics, SPI.

1. Associate Professor at Combating Desertification department, University of Kashan, Iran. (Corresponding author. Email: Vali@kashanu.ac.ir)

2. Ph.D. student at Combating Desertification department, University of Kashan, Iran