

تحلیل روند سری‌های زمانی خشک‌سالی در ایستگاه‌های همدیدی استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)

مهدی مکاری*

*۱-استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، نویسنده مسئول: mehdimokari@gmail.com

چکیده

خشک‌سالی به دلیل وسعت زیاد و طولانی بودن مدت اثر، تاکنون به عنوان پرهزینه‌ترین بلای 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 خشک‌سالی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی که دارای بیش از ۵۰ سال داده‌ی آماری (۲۰۱۰-۱۹۶۰) بودند، صورت گرفت. شاخص بارش استاندارد به منظور بررسی خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد، شاخص بارش استاندارد تنها در ایستگاه همدیدی سبزوار روند افزایشی داشت. در ایستگاه‌های همدیدی مشهد و تربت حیدریه روند معنی‌داری مشاهده نگردید. بیش‌ترین روند افزایشی شاخص بارش استاندارد در ایستگاه همدیدی سبزوار در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و کم‌ترین روند افزایشی آن در سری زمانی ۶ ماهه مشاهده شد. در سری‌های زمانی یک ماهه روند معنی‌داری در هیچ کدام از ایستگاه‌های سینوپتیک وجود نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد که سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌توانند روند را نشان دهند. نتایج همچنین نشان داد که در ایستگاه همدیدی سبزوار نیز در سری‌های زمانی ۱ و ۳ ماهه روند معنی‌داری وجود نداشت. در مقیاس زمانی ماهانه در هیچ کدام از ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه روند معنی‌داری در شاخص استاندارد بارش وجود نداشت. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌توانند روند را تشخیص دهند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد، من-کندال

مقدمه

خشک‌سالی هواشناسی پدیده‌ای طبیعی و نامحسوس است که در پی کاهش بارندگی در طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی مدت روی می‌دهد (Dracup و همکاران، ۱۹۸۰). این پدیده به عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت، برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است و برخی از محققان، از آن به عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند (Singh و Mishra، ۲۰۱۰). اگرچه خشک‌سالی تقریباً در تمام مناطق آب و هوایی 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 (Moradi Dashtpajardi و همکاران، ۲۰۱۴). خشک‌سالی‌های شدید و مداوم در تمام جهان، منشأ اصلی مشکلاتی نظیر کاهش منابع آب، کاهش محصولات کشاورزی و نقصان در چرخه‌ی اکوسیستم به شمار می‌رود. از این رو این واقعه تأثیرات منفی اقتصادی را در این مناطق به دنبال دارد (Mishra و همکاران، ۲۰۰۷، Belayneh و Adamowski، 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 (Raziei و همکاران، ۲۰۰۹).

شاخص‌های مختلفی در جهت تشخیص و پایش خشک‌سالی پیشنهاد شده که یکی از پرکاربردترین آن‌ها شاخص بارش استاندارد یا SPI است که توسط McKee و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد شد.

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

برای تشخیص روند در سری‌های مختلف زمانی متغیرهای آب و هوایی، از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌شود. این آزمون‌ها به دو دسته‌ی پارامتریک و غیرپارامتریک تفکیک‌پذیرند. آمار پارامتریک مستلزم پیش‌فرض‌هایی در خصوص جامعه‌ای است که از آن نمونه‌گیری صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین پیش‌فرض‌ها، فرض نرمال بودن جامعه است. اما آمار ناپارامتریک مستلزم هیچ‌گونه فرضی در مورد نرمال بودن جامعه نیست. آزمون‌های من-کندال نمونه‌ای از آزمون‌های غیرپارامتریک هستند که در تحقیقات بررسی روند متغیرهای اقلیمی از آن‌ها استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه‌ی تحلیل روند طولانی‌مدت خشک‌سالی در تمام دنیا از جمله ایران با استفاده از این روش صورت گرفته است. بری ابرقویی و همکاران 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 به دست آمده بیانگر روند منفی خشک‌سالی در نقاط مختلف ایران به خصوص جنوب شرق، غرب و جنوب غرب است (Bari Abarghoue و همکاران، ۲۰۱۱). کوثری و همکاران روند خشک‌سالی را در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران بر اساس شاخص خشک‌سالی RDI برای ارزیابی شدت خشک‌سالی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال و آزمون سن بررسی کردند (Kousari و همکاران، ۲۰۱۴). 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 روند زمانی و شاخصه‌های مکانی خشک‌سالی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با استفاده از SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن بررسی کردند (Tabari و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس 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.

در این مطالعه با هدف بررسی تغییرات روند سری‌های زمانی خشک‌سالی و بارش، از داده‌های ماهانه‌ی بارش ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان‌های مشهد، سبزوار و تربت حیدریه با بیش از ۵۰ سال داده آماری (۲۰۱۰-۱۹۶۰) استفاده شد. بدین منظور از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای مطالعه‌ی خشک‌سالی و از آزمون ناپارامتری من-کندال به منظور مطالعه‌ی روند بهره گرفته شد. هدف از این مطالعه، ضمن بررسی روند خشک‌سالی در شهرستان‌های مشهد، سبزوار و تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی در مقیاس طولانی‌مدت، تعیین میزان معناداری روند در سری‌های مختلف زمانی شاخص بارش استاندارد است.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۸۸۵۴ کیلومترمربع که حدود ۷ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد، در شمال شرق کشور قرار دارد. منطقه مورد مطالعه بین ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان یکی از مناطق مهم با قدمت دیرینه در تولید محصولات کشاورزی است، ککه حدود ۸۰ درصد از آب کشاورزی استان به طور مستقیم از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد. لذا خشک‌سالی‌ها تأثیر مستقیم بر میزان تولیدات زراعی استان دارد. به منظور انجام این تحقیق از آمار بلندمدت بارش ماهانه (۲۰۱۰-۱۹۶۰) سه ایستگاه سینوپتیک وابسته به سازمان هواشناسی کشور در محدوده‌ی شهرستان‌های مشهد، سبزوار و تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی استفاده شد. جهت انجام تحقیق ابتدا خلا آماری محدود در داده‌های هواشناسی از طریق روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها برآورد شد. سپس همگنی داده‌ها با استفاده از روش ران‌تست مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی از نرم افزار DIP استفاده شد. نرم افزار فوق حاصل پروژه «طراحی سیستم پایش خشک‌سالی استان تهران (WREI-79489)»، که به وسیله معاونت پژوهش و مطالعات پایه شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران انجام گرفته، می‌باشد. این نرم افزار اغلب شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی را محاسبه می‌نماید و سری‌های زمانی شاخص‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف ایجاد می‌کند. این نرم افزار تحت سیستم عامل ویندوز عرضه گردیده است. داده‌ها جهت ورود به نرم افزار با فرمت ASCII تهیه شد و شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای مطالعه‌ی خشک‌سالی محاسبه و از آزمون ناپارامتری من- کندال به منظور مطالعه‌ی روند بهره گرفته شد.

شاخص بارش استاندارد

شاخص بارش استاندارد یک شاخص خشک‌سالی هواشناسی است که توسط McKee و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد شده است. این شاخص تنها بر اساس داده‌های بارش است. از این رو محاسبه‌ی آن آسان است 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 است. محاسبه‌ی SPI برای هر منطقه بر پایه‌ی آمار بلندمدت بارندگی (یعنی حداقل ۳۰ سال) برای یک دوره‌ی یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه و ... استوار است. این آمار درازمدت به یک تابع توزیع احتمال برازش یافته و تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال جمع‌ی بارندگی برای یک ایستگاه و یک مقیاس زمانی مشخص می‌تواند استفاده شود. این احتمال سپس به متغیر تصادفی نرمال تبدیل می‌شود و بیانگر نمایه‌ی SPI است. برای محاسبه‌ی SPI از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (1)$$

در این رابطه، P_i مقدار بارش در دوره‌ی مورد نظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش برای دوره‌ی مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است.

مسئله‌ی اصلی در اینجا برازش توزیع آماری مناسب بر سری زمانی مورد نظر است. تابع توزیع گاما به عنوان رایج‌ترین تابع توزیع احتمالی برازش داده‌ها در محاسبه‌ی SPI به کار گرفته می‌شود. بنابراین مقدار SPI انحراف استاندارد است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال نشان می‌دهد و به طور کلی این نمایه بر اساس توضیحات گفته شده برای بیان خشک‌سالی چنین تعریف می‌شود: دوره- ای که SPI دائماً منفی است و به مقدار ۱- و کمتر از آن می‌رسد، 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. دامنه‌ی تغییرات و طبقه‌بندی SPI برای بیان شدت خشک‌سالی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس نمایه SPI

ردیف	شدت خشک‌سالی	دامنه ی 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	-۱/۴۹ ~ -۱
۷	خیلی خشک	-۱/۹۹ ~ -۱/۵
۸	به شدت خشک (خشک حدی)	کوچک‌تر از -۲

تشخیص روند با استفاده از آزمون من- کندال

به منظور تعیین روند تغییرات در هر سری زمانی از دو آزمون من- کندال و اسپیرمن استفاده شد. آزمون من- کندال آزمونی غیرپارامتری رتبه‌ای است و برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی و غیرخطی مناسب می‌باشد. در این آزمون فرض صفر (H0) و فرض مقابل (H1) به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره من- کندال به صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

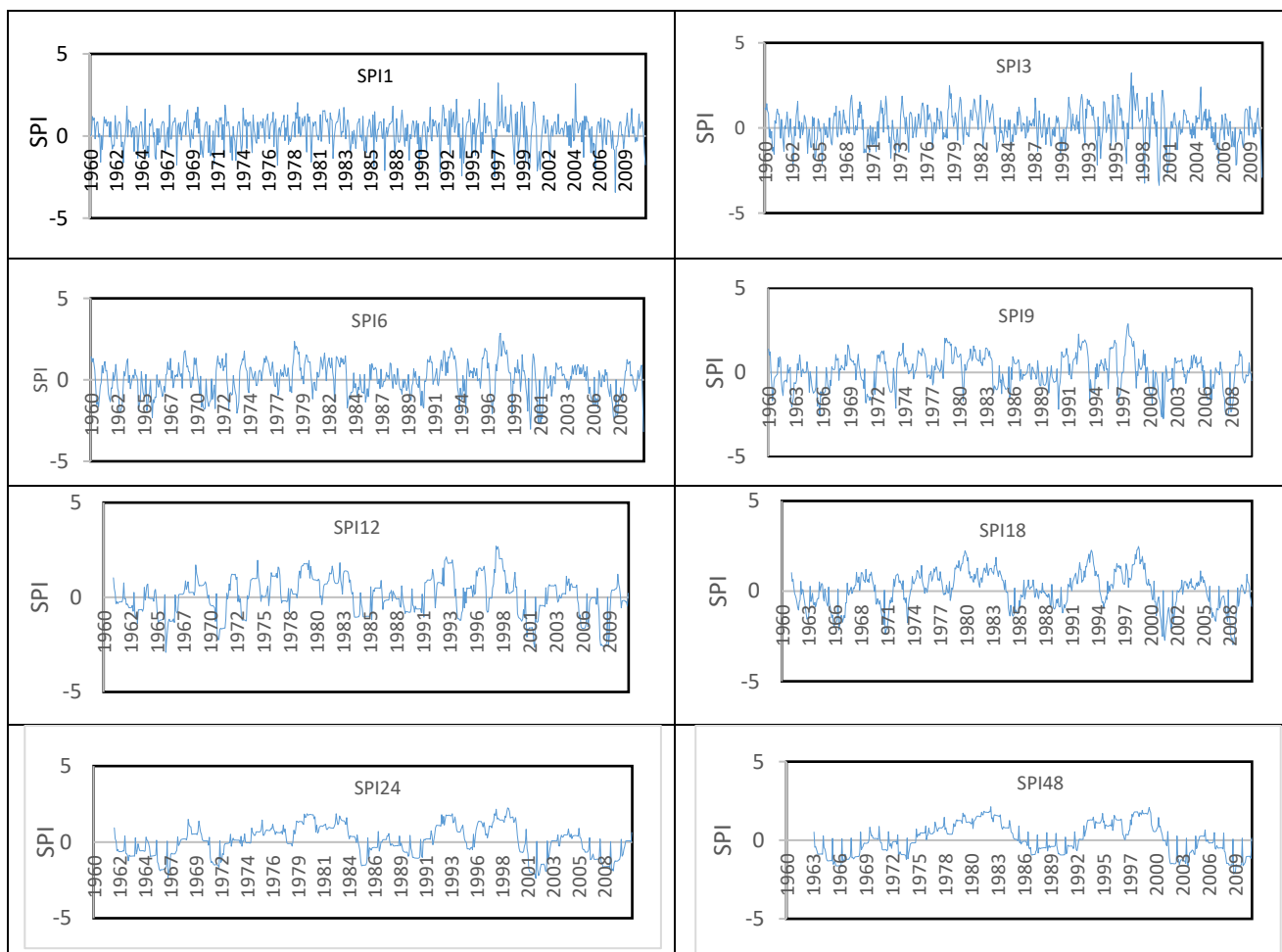
$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (4)$$

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

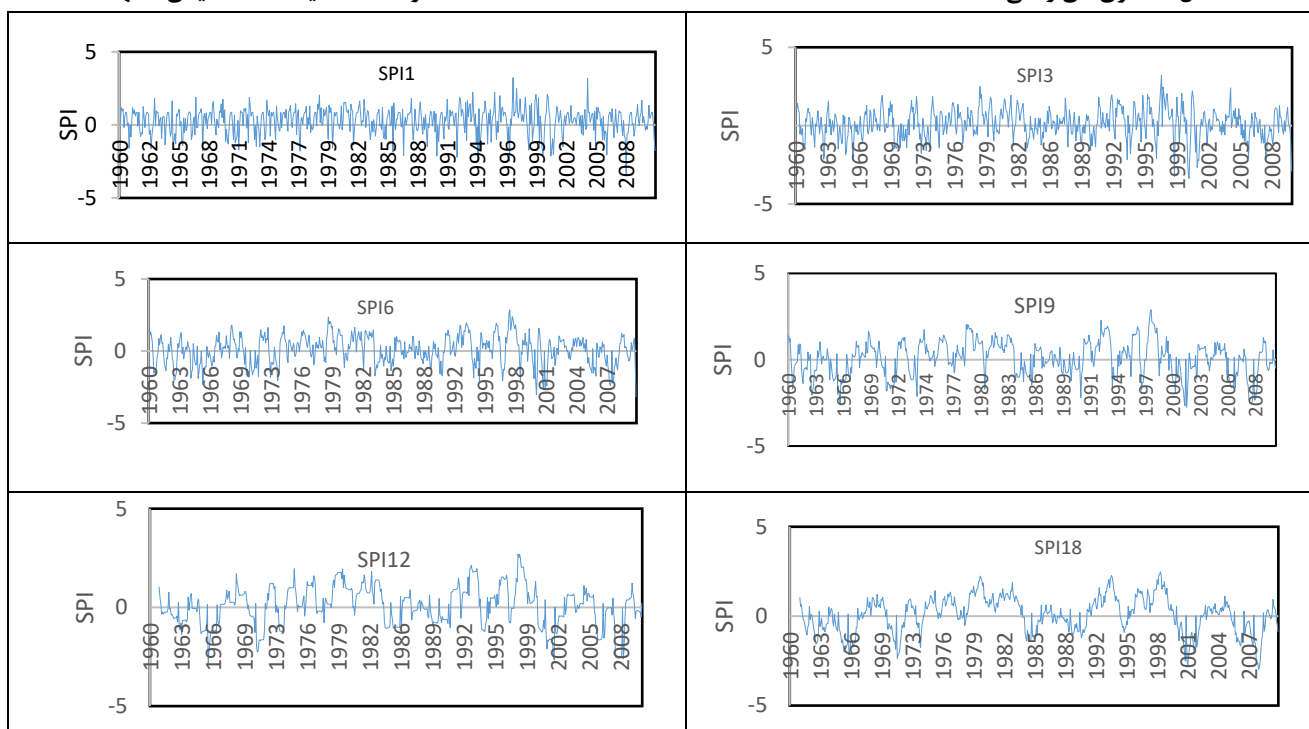
که در روابط فوق n تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، X_j و X_i به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در P امین گروه و Z_M مقدار آماره من- کندال می‌باشد. مقدار منفی Z_M بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌دار ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1.96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود. در این تحقیق جهت تعیین آماره من- کندال، نرم افزار متلب بکار گرفته شد.

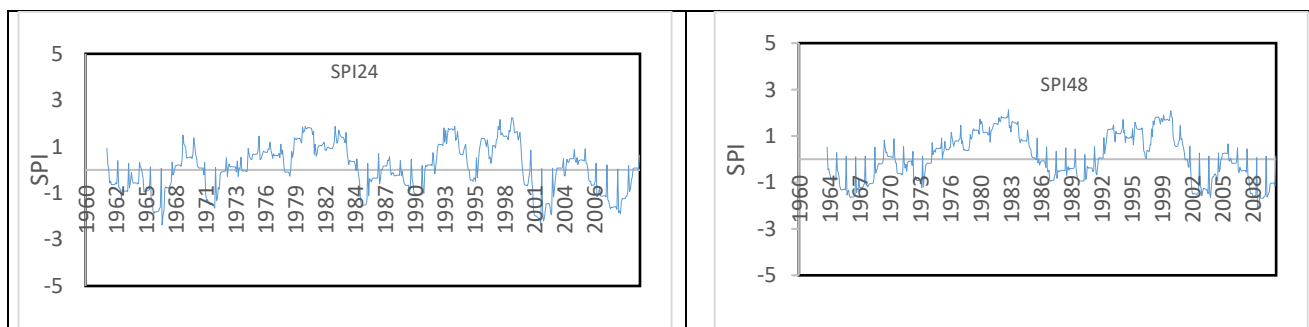
نتایج و بحث

شاخص خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف بهتر از مقیاس ماهانه می‌تواند شدت و طول مدت خشک‌سالی را نشان دهد. از این رو در این مطالعه علاوه بر SPI یک ماهه، سری‌های مختلف زمانی SPI با استفاده از میانگین بارش ماهانه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. سری‌های زمانی SPI1، SPI3، SPI6، SPI9، SPI12، SPI18، SPI24 و SPI48 در ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

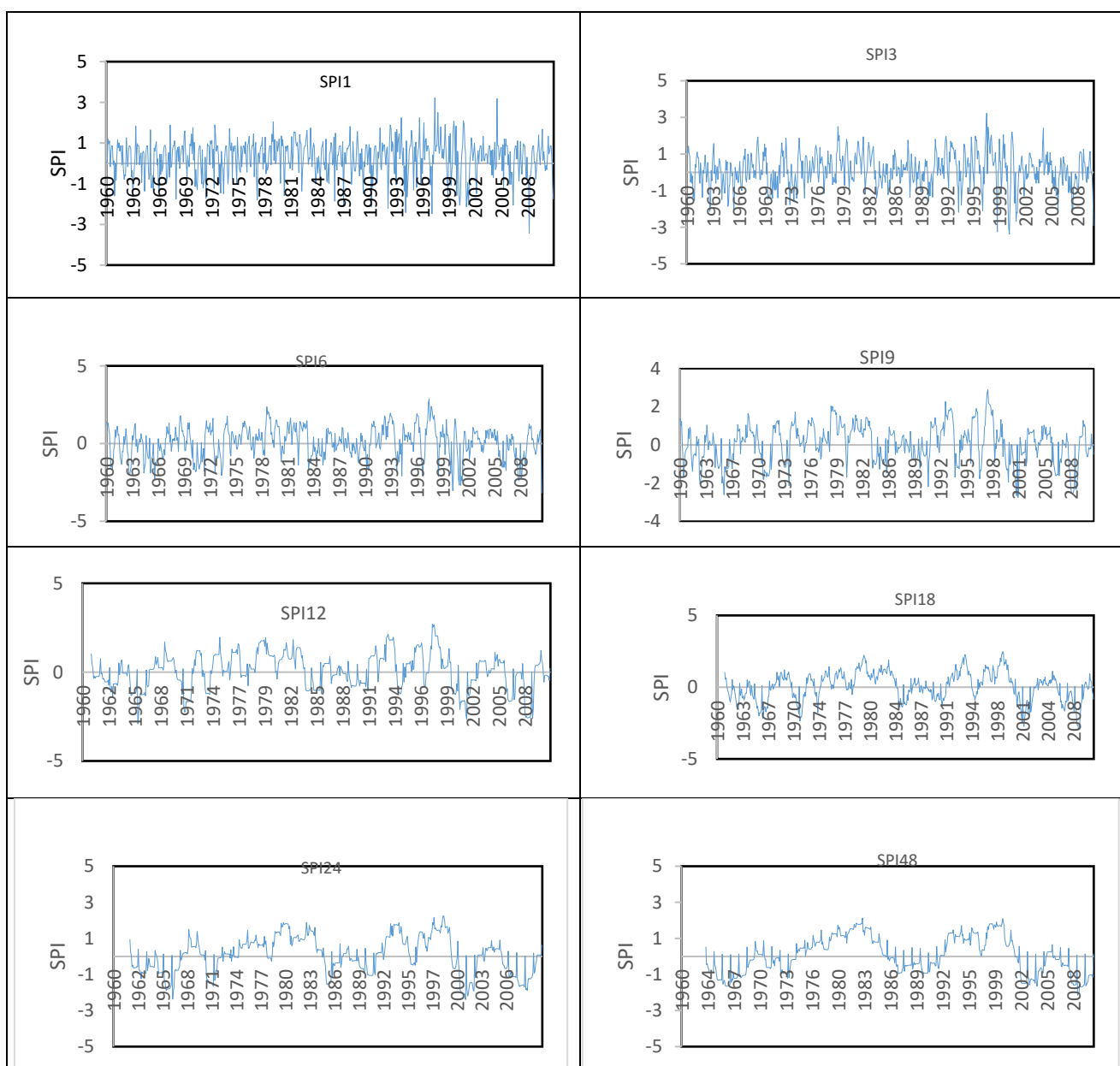


شکل ۱- سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, و SPI48) ایستگاه همدیدی مشهد





شکل ۲- سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48) ایستگاه همدیدی سبزوار



شکل ۳- سری‌های زمانی مختلف (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI18, SPI24, SPI48) ایستگاه همدیدی تربت حیدریه
در جدول ۲ روند سری‌های مختلف زمانی شاخص بارش استاندارد با استفاده از آزمون من-کنندال برای ایستگاه‌های همدیدی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه آورده شده است.

جدول ۲- روند SPI بر اساس آزمون من- کندال (پارامتر Z) برای سری‌های زمانی مختلف

SPI48	SPI24	SPI18	SPI12	SPI9	SPI6	SPI3	SPI1	نام ایستگاه
۱/۸۰	۱/۳۸	۰/۴۲	۱/۲۱	۰/۶۴	-۰/۰۷	۰/۳۴	۰/۴۹	مشهد
۱/۸۱	۲/۱۱	۲/۳۳	۳/۲۹	۲/۶۲	۱/۹۶	۱/۳۷	۰/۷۶	سبزوار
۱/۱۹	۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۲۹	-۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۶۰	۰/۱۴	ترتیب حیدریه

با توجه به نتایج به دست آمده ایستگاه‌های مشهد و تربت حیدریه در هیچ یک از سری‌های زمانی روند معنی‌داری را از خود نشان ندادند. در ایستگاه سبزوار سری‌های زمانی ۱، ۳ و ۴۸ ماهه روند معنی‌داری را از خود نشان ندادند در حالی که سری‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه روند افزایشی معنی‌داری را از خود نشان دادند. بیش‌ترین روند افزایشی در ایستگاه سبزوار در سری زمانی ۱۲ ماهه و کم‌ترین روند افزایشی در سری زمانی ۶ ماهه مشاهده شد. در سری زمانی یک ماهه روند معنی‌داری در هیچ کدام از ایستگاه‌های سینوپتیک وجود نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد که سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌توانند روند را نشان دهند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه که به منظور بررسی روند در سری‌های مختلف زمانی شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد یا SPI در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی انجام شد، از آزمون ناپارامتریک من- کندال برای تشخیص روند در سری‌های زمانی استفاده گردید. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های همدیدی مشهد و تربت حیدریه در هیچ کدام از سری‌های زمانی روند معنی‌داری وجود ندارد. در ایستگاه همدید سبزوار در سری‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه روند افزایشی در شاخص استاندارد بارش مشاهده گردید. بیش‌ترین روند افزایشی در این ایستگاه همدیدی در سری زمانی ۱۲ ماهه و کم‌ترین مقدار آن در سری زمانی ۶ ماهه مشخص گردید. نتایج همچنین نشان داد که در ایستگاه همدیدی سبزوار نیز در سری‌های زمانی ۱ و ۳ ماهه روند معنی‌داری وجود نداشت. در مقیاس زمانی ماهانه در هیچ کدام از ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه روند معنی‌داری در شاخص استاندارد بارش وجود نداشت. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌توانند روند را تشخیص دهند.

منابع

- Bari Abarghouei, H., M.A. Asadi Zarch, M.T. Dastorani, M.R. Kousari, and M. Safari Zarch. 2011. The survey of climatic drought trend in Iran. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25: 851-863.
- Belayneh, A, and J. Adamowski. 2012. Standard precipitation index drought forecasting using neural networks, wavelet neural networks, and support vector regression. *Journal of Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2012: 1-13.
- Dracup, J.A., K.S. Lee, and E.G. Paulson. 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Journal of Water Resources research*, 16: 289-296.
- Kousari, M.R., M.T. Dastorani, Y. Niazi, E. Soheili, M. Hayatzadeh, and J. Chezgi. 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. *Journal of Water Resources Management*, 28: 1857-1872.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on applied climatology.
- Mishra, A., V. Desai, and V. Singh. 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6): 626-638.
- Mishra, A.K, and V.P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:202-216.
- Moradi Dashtpajardi, M., M.R. Kousari, H. Vagharfard, D. Ghonchepour, M.E. Hosseini, and H. Ahani. 2014. An investigation of drought magnitude trend during 1975-2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 73: 1231-1244.
- Raziei, T., B. Saghafian, A.A. Paulo, L.S. Pereira, and I. Bordi. 2009. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Journal of Water Resources Management*, 23: 439-455.
- Tabari, H., H. Abghari, and P. Hosseinzadeh Talaei. 2012. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Hydrological Processes*, 26: 3351-3361.