



ارزیابی روند تغییرات خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده و شاخص تبخیر - تعرق استاندارد شده در سواحل جنوبی ایران

ام‌البین بذر افشان^{۱*}، فوزیه محمودزاده^۲، جواد بذر افشان^۳

۱. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران،
 ۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
 ۳. دانشیار، دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- * نویسنده مسئول: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰

چکیده

این تحقیق با هدف مقایسه دو شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) از نظر پایش و روند خشکسالی اقلیمی در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در سواحل خلیج فارس و دریای عمان طی دوره آماری (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴) انجام شده است. تحلیل روند خشکسالی با استفاده از روش‌های من-کندال و من-کندال اصلاح شده با حذف اثر خودهمبستگی صورت پذیرفته است. مقایسه نتایج دو شاخص در تحلیل خشکسالی و درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه نشان داد، روند تغییرات دو شاخص مشابه اما شاخص SPEI نسبت به SPI فرکانس بالاتری از خشکسالی و پاسخ سریع‌تری به تغییرات رطوبتی نشان می‌دهد. بین تمامی مقیاس‌های زمانی محاسبه دو شاخص رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد، به طوری که بالاترین ضریب همبستگی در اکثر ایستگاه‌ها در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۸ مشاهده گردید. نتایج مشابهی نیز در تحلیل درصد فراوانی در کلاس‌های مختلف بدست آمد. بررسی روند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه حاکی از روند فزاینده خشکسالی است که با افزایش مقیاس زمانی شیب روند شاخص SPEI نسبت به SPI قوی‌تر است. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، در اقلیم‌های خشک و فراخشک بیابان ساحلی استفاده از SPI برای پایش خشکسالی کافی نیست و به دلیل نقش دما به عنوان عامل محدود کننده رطوبت، استفاده از شاخص SPEI برای پایش موثر و دقیق خشکسالی‌ها استفاده شود.

واژگان کلیدی: شاخص خشکسالی؛ روند زمانی؛ بارش و دما، تبخیر و تعرق؛ سواحل جنوبی ایران

■ مقدمه

خشکسالی هم یک خطر و هم یک فاجعه محسوب می‌گردد؛ یک خطراسست به این دلیل که غیرقابل پیش بینی و تصادفی است، چرا که بخشی از سیستم آب‌وهوایی است که این سیستم همواره به‌طور طبیعی متغیر است (۳۱)؛ یک فاجعه است به‌دلیل آن که ناشی از شکست رژیم بارش مربوطه است، و سبب اختلال در تامین آب برای طبیعت و اکوسیستم کشاورزی و همچنین فعالیت‌های انسان می‌شود. تعاریف بسیاری از خشکسالی وجود دارد و اغلب مربوط به اثرات خاص خشکسالی در فعالیت‌های اقتصادی، اکوسیستم، و جامعه و مسائل مربوط به مدیریت آب می‌باشد (۲۳). بارش و تبخیر و تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی های هواشناسی می‌باشند (۳). از این رو شاخص‌هایی که علاوه بر بارش مقدار تبخیر و تعرق را نیز در نظر می‌گیرند، می‌توانند برای پایش تغییرات اقلیمی دوره‌های فعلی و دوره‌های آتی نیز بکار روند. شاخص‌های مختلفی از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشکسالی بهره می‌گیرند که شاخص‌های شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) از آن جمله هستند. ویژگی‌های خشکسالی ممکن است با گذشت زمان در اثر تغییرات اقلیمی، دچار تغییر شوند. با پایش وضعیت رطوبتی دوره حال حاضر می‌توان به مدیریت این پدیده جهت کاهش اثرات و شدت خسارات آن در سطوح مختلف جامعه کمک و راهکارهایی برای سازگاری با پیشامدهای محتمل به‌دست آورد (۷).

در زمینه استفاده از شاخص SPEI و SPI مطالعات متعددی صورت پذیرفته که به چندی از آنها اشاره خواهد شد. Dubrovsky و همکاران (۵) نشان دادند که تأثیرات گرمایش جهانی بر اساس شاخص خشکسالی PDSI به خوبی بیان می‌گردد در حالی که شاخص SPI که تنها مبتنی بر بارندگی می‌باشد نمی‌تواند تغییرات مورد انتظار را به خوبی منعکس سازد. Vicente - Serrano و همکاران (۲۹) در مطالعه اثرات فرایند گرم شدن بر خشکسالی‌ها و منابع آب در اسپانیا با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI، نشان دادند که روند بارش و تبخیر و تعرق

پتانسیل در دوره زمانی مورد مطالعه افزایش یافته و نتایج دو شاخص خشکسالی مورد استفاده مشابه بوده است. Khazanedari و همکاران (۱۵) جهت بررسی وضعیت خشکسالی ایران از شاخص SPI و SPEI بهره بردند. نتایج نشان داد، که دو شاخص دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است. Das و همکاران (۴) با روند و تغییرات خشکسالی هواشناسی (۱۹۰۱-۲۰۰۸) در هند با استفاده از SPEI و آزمون من-کندال برای روند یکنواخت در هر سطح شبکه مورد استفاده قرار گرفت، در حالی که مقدار آن با استفاده از روش سن برآورد شده است. Vicente- Serrano و همکاران (۳۰) با انتخاب توزیع شاخص خشکسالی اقلیمی (SPI و SPEI) به این نتیجه رسیدند که با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته SPEI به عنوان شاخص خشکسالی مفید مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابراهیم‌پور و همکاران (۶) با نظارت بر خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش به این نتیجه رسیدند که شاخص SEPI بهره‌وری بهتری برای نظارت بر نوسانات عملکرد گندم دارد، به ویژه در دوره‌های خشک هم سازگار می‌باشد. احمدی و همکاران (۱) و سبحانی و همکاران (۲۶) گزارش دادند، استفاده از شاخص SPEI بدلیل توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کارایی بیشتری دارد. هاتفی و همکاران (۸) گزارش دادند، بدلیل مشابهت زیاد دو شاخص در پایش خشکسالی، به‌دلیل سادگی و سهولت محاسبات شاخص SPI از شاخص فوق استفاده گردد. نصرتی (۲۱) در اقلیم مختلف ایران؛ نصرتی و همکاران (۲۲) در استان تهران؛ تاجبخش و همکاران (۲۷) در کل پهنه ایران؛ به ارزیابی شاخص فوق و مقایسه آن با شاخص SPI پرداختند. نتایج تحقیقات فوق دال بر کارایی مناسب شاخص SPEI بوده است.

تحقیق حاضر به پایش و مقایسه وضعیت خشکسالی و همچنین شناسایی روند خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه بر اساس دوشاخص SPI و SPEI در ایستگاه های سینوپتیک سواحل خلیج فارس و دریای عمان با وضعیت‌های متفاوت آب‌وهوایی پرداخته می‌شود تا رفتار

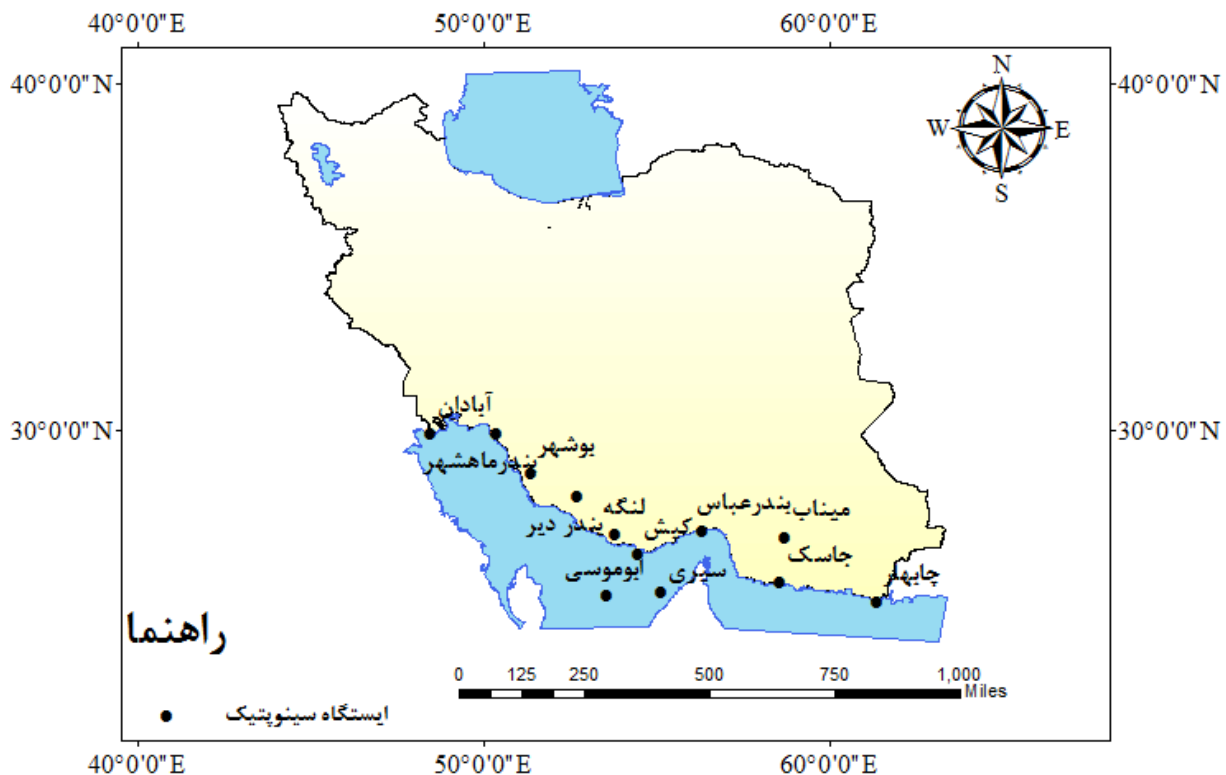
(۱۴) بر اساس مقادیر میانگین بارش، دما و حداقل دما در سردترین ماه سال مشخص گردید. قبل از آنالیز داده‌ها در مرحله آماده‌سازی، کفایت داده‌ها با استفاده از آزمون هارست (۱۱) و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون ران مبنی بر مقادیر میانگین (۹ و ۱۰) صورت پذیرفت (جدول ۱). بر اساس جدول فوق، میانگین دما در سواحل شرقی خلیج فارس و دریای عمان ۲۶ درجه، در بخش‌های مرکزی ۲۷/۵ درجه و ۲۵/۸ است. در مورد عنصر بارش نیز میانگین بلند مدت بارش در شرق خلیج فارس ۱۲۹ میلیمتر؛ در بخش مرکز سواحل خلیج فارس و دریای عمان، ۱۵۳ میلیمتر و در سواحل غربی، ۲۱۳ میلیمتر است. بر این اساس، روند بارش و دما دارای نظم خاصی در موقعیت جغرافیایی سواحل وجود ندارد.

شاخص SPI و SPEI در نوار ساحلی بررسی گردد و موثرترین و کاراترین شاخص در پایش و تحلیل خشکسالی با توجه به گرمایش جهانی و اثر وارد کردن مولفه دما در پایش خشکسالی معرفی گردد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در سواحل جنوبی ایران، با استفاده از داده‌های ماهانه بارش و درجه حرارت هوا از ۷ ایستگاه سینوپتیک، مربوط به دوره مشترک ۱۹۹۲-۲۰۱۴ صورت پذیرفت. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی را در ایران نشان می‌دهد. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی و اقلیم مناطق را نشان می‌دهد. برای تعیین تیپ اقلیمی از روش دومارتن اصلاح شده



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

موقعیت ایستگاه	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	نوع اقلیم	میانگین بارش (mm)	آزمون ران		آزمون هارست	
					دما (C°)	بارش	دما	بارش
شرقی	چابهار	۸	فراخشک گرم	۱۱۸	۲۶/۴۵	۰/۸۸*	۰/۳۴*	۰/۸*
	جاسک	۵/۲	فراخشک گرم	۱۳۹/۹	۲۷/۴۳	۰/۷۸*	۰/۵۵*	۰/۷۶*
مرکزی	میناب	۲۹/۶	فراخشک معتدل	۱۹۶/۸	۲۸/۵۶	۰/۷*	۰/۵۴*	۰/۵۵*
	بندرعباس	۶/۶	فراخشک گرم	۱۷۶	۲۶/۸۳	۰/۲۷*	۰/۴۶*	۰/۳۲*
	کیش	۳۰	فراخشک گرم	۱۶۹	۲۶/۹۶	۰/۲*	۰/۸*	۰/۷*
	ابوموسی	۹/۸	فراخشک فراگرم	۱۲۶/۳	۲۸/۰۸	۰/۴*	۰/۵*	۰/۹۵*
	بندر لنگه	۲۲/۷	فراخشک فراگرم	۱۳۶/۹	۲۷/۸۱	۰/۶۷*	۰/۷*	۰/۷۸*
	سیری	۴/۴	فراخشک معتدل	۱۱۳/۹	۲۸/۲۴	۰/۶۹*	۰/۴*	۰/۸*
	بندر دیر	۴	گرم و خشک	۲۱۷/۸	۲۷/۱	۰/۴۵*	۰/۸۵*	۰/۹۶*
غربی	بوشهر	۹	گرم و خشک	۲۶۸	۲۴/۷	۰/۳۳*	۰/۵۹*	۰/۷*
	بندرماهشهر	۶/۲	فراگرم و خشک	۲۱۳	۲۵/۹۱	۰/۹۵*	۰/۹۲*	۰/۸۹*
	آبادان	۶/۶	فراخشک گرم	۱۵۳	۲۵/۹۰	۰/۸۷*	۰/۹۳*	۰/۸۹*

*معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد

شاخص بارش استاندارد

این شاخص اولین بار توسط McKee و همکاران (۱۹) ارائه گردید که در آن سری‌های زمانی در مقیاس i ماهه ($i = ۳, \dots, ۶, \dots, ۴۸$) با توزیع آماری گاما برازش داده شده و متغیر تصادفی SPI مربوط به هر مقدار بارندگی در سطوح هم‌احتمال از منحنی احتمالات تجمعی نرمال استخراج می‌گردد و به منظور بررسی و تعیین وضعیت خشکسالی به لحاظ طبقات کیفی در هر دوره زمانی، مقادیر SPI با استفاده از جدول (۲) استخراج گردید.

شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد

شاخص بارش - تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد^۱ (SPEI)، توسط Vicente-Serrano و همکاران (۲۸) ارائه شد و به‌عنوان یک شاخص خشکسالی اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی^۲ است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای

هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

که P و PET به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آنها و i شماره ماه مورد نظر است. پس از محاسبه مقادیر D ، از رهیافتی همانند شاخص بارش استاندارد (SPI) برای محاسبه SPEI استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا مجموع مقادیر متوالی سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اگر X سری تجمعی D در پنجره زمانی معین باشد، در مرحله بعد یک توزیع احتمال مناسب بر سری X برازش می‌یابد. طبق بررسی‌های محققین (۲۸) توزیع لوگ-لجستیک^۳ سه پارامتری کارایی مناسبی در مدل سازی سری X دارد.

³ Log-Logistic¹ Standardized Precipitation minus Evapotranspiration Index² Climatic Water Balance

که در آن α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ و x سری تجمعی مقادیر D در پنجره زمانی معین است.

طبقه‌بندی SPEI همانند SPI است و برای طبقه‌بندی مقادیر آن می‌توان از آستانه‌های مندرج در جدول ۲ استفاده کرد.

فرم تابع چگالی احتمال توزیع مذکور به صورت زیر بیان شده است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right]^{-2} \quad (2)$$

جدول ۲- طبقه‌بندی SPI (۱۹) و SPEI (۲۸)

SPEI و SPI	طبقه
>۲	ترسالی خیلی شدید
۲ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۱/۵ تا ۱	ترسالی متوسط
۱ تا ۰/۵	ترسالی خفیف
۰/۵ تا -۰/۵	نرمال
-۰/۵ تا -۱	خشکسالی خفیف
-۱/۵ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	خشکسالی شدید
<-۲	خشکسالی خیلی شدید

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

N تعداد داده‌ها، X و X_j داده‌ها در سری زمانی و Z آماره تست استاندارد است (۱۶). با توجه به آزمون آماری دوطرفه کای اسکوئر، اگر $|z| \leq z_{\alpha/2}$ در سطح معنی داری معین α باشد، فرض صفر پذیرفته شده و روند وجود ندارد. مقادیر مثبت آماره Z روند صعودی و مقادیر منفی نیز روند نزولی را نشان می‌دهند (۲). چنانچه مقدار Z در محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) باشد، نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی (جهش) و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع نمایند، بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد است و چنانچه بزرگتر از $2/61$ باشد در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است (۲۰).

آزمون تحلیل روند من - کندال

کندال (۱۳) متغیر τ (tau) را جهت اندازه‌گیری رابطه همبستگی بین x و y ارائه کرد و من (۱۷) با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را مولفه زمانی در نظر گرفت تا وجود روند را در سری داده‌ها مورد آزمون قرار دهد (۱۸). مراحل محاسبه شامل محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به صورت رابطه ۳، محاسبه واریانس توسط رابطه ۵ و محاسبه آماره Z با استفاده از رابطه ۶ است.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

که سری حاصل Y_t روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است و آزمون من-کندال بر روی سری ترکیبی Y_t جهت برآورد روند واقعی انجام می‌گردد.

نتایج

تجزیه و تحلیل روند بارش و دما

برای درک بهتر روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و SPEI تحلیل روند مقادیر بارش و دما به عنوان فاکتورهای موثر در شاخص‌های فوق استفاده گردید. جدول ۳ مقادیر Z بدست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد حاصل از آزمون من-کندال (MKT) و من-کندال اصلاح شده با حذف اثر خودهمبستگی (TFPW) را برای عناصر دما و بارش ماهانه را در ایستگاه‌های ساحلی مورد مطالعه نشان می‌دهد، در این جدول مقادیر Z بزرگتر از ۱/۹۶ و ۲/۶۱ به ترتیب نشان‌دهنده روند معنی‌دار افزایشی در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد است. طبق نتایج به دست آمده در روش MKT اکثر ایستگاه‌ها در سواحل شرقی خلیج فارس و دریای عمان در نیمی از سال دارای روند افزایشی هستند. روند افزایش دما در ایستگاه‌های غربی خلیج فارس کمتر از ۴ ماه سال و در نیمه اول سال رخ داده است. در مورد نتایج حاصل از استفاده از آزمون TFPW، نتایج نشان می‌دهد، در اغلب موارد با حذف خودهمبستگی در مقادیر دما، مقادیر Z روند معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، اما مانند روش MKT بیشترین روند معنی‌دار مثبت مربوط به بخش مرکزی سواحل خلیج فارس و دریای عمان (ایستگاه‌های سینوپتیک استان هرمزگان) مشاهده گردید. در مورد دما نیز عمدتاً ماه‌های می و آوریل دارای روند معنی‌دار افزایشی و اکتبر و دسامبر دارای روند کاهشی است.

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI

شکل ۲ شاخص SPEI و SPI را در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه را به عنوان نمونه برای ایستگاه سینوپتیک بندرعباس نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، روند

آزمون تحلیل روند من‌کندال اصلاح شده با حذف اثر خود همبستگی^۱

روش من-کندال TFPW جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط Y_t و همکاران (۳۲) به صورت زیر ارائه گردید:

۱- شیب روند در داده‌های نمونه با استفاده از روش TSA به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$\delta = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_1}{j - 1} \right), \text{ for all } \forall 1 < j \quad (7)$$

۲- اگر شیب روند تقریباً برابر صفر بود آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام بررسی روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند به صورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه به صورت $\hat{X}_t = X_t - T_t = X_t - b_t$ نوشته و بدون روند می‌شوند.

۳- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند \hat{X}_t با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد.

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-1} X'_t - E(X'_t)(X'_t + k - E(X'_t))}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2} \quad (8)$$

$$; E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t$$

که در آن، rk ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ داده‌های نمونه سری بدون روند X'_t و $E(X'_t)$ میانگین داده‌های نمونه می‌باشد.

۴- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول AR(1) با استفاده از رابطه $Y'_t = X'_t - rkX'_t - 1$ حذف می‌گردد. این روش پیش‌سفید کردن پس از حذف روند از سری‌ها روش پیش‌سفید بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقیمانده‌ها پس از انجام روش پیش‌سفید بدون روند (TFPW) یک سری مستقل می‌باشد (۲۰).

۵- روش شناخته شده T_t و سری باقیمانده‌ها Y'_t به صورت $Y_t = \hat{Y}_t - T_t$ با هم ترکیب می‌گردد. بدیهی است

^۱ Trend-Free Pre-Whitening

تغییرات دو شاخص مشابه اما شاخص SPEI نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز همین نتایج تأیید می‌دهد، اما شدت‌ها در SPEI بیشتر است و پاسخ SPI فرکانس بالاتری از خشک‌سالی و ترسالی نشان می‌دهد. سریع‌تری نسبت به شاخص SPI نشان می‌دهد. برای

جدول ۳- تحلیل روند مقادیر دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش من- کندال (MKT) و من کندال اصلاح شده (TFPW)

MKT													
نوامبر	دسامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	جون	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	نام ایستگاه	شماره
۰/۵۰	*۲/۰۶	۱/۷۴	۰/۷۷	-۰/۰۸	-۰/۶۶	-۰/۲۱	*۲/۱۱	*۲/۱۷	۱/۶۹	۰	۰/۱۳	چابهار	۱۰۱
-۰/۷۵	-۱/۶۸	-۰/۱۱	۰/۴۵	۰	-۰/۴۳	-۰/۳۲	۰/۳۹	*۲/۲۹	۱/۲۱	۰/۶۱	-۱/۰۳	جاسک	۱۰۲
۰/۲۵	-۱/۵۷	۰/۱۸	۰/۳۶	-۰/۱۱	-۰/۵۴	۰/۳۲	-۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۱۸	-۱/۲۵	میناب	۱۰۳
۰/۹۶	-۰/۱۸	*۲/۶۶	*۲/۹۶	۱/۱۸	*۲/۱۴	۱/۷۸	۱/۵۲	*۲/۳۲	*۲/۵۷	*۲/۰۷	۰/۲۵	بندرعباس	۱۰۴
۰/۹۶	۰/۱۸	*۳/۰۷	*۲/۷۵	۰/۸۲	۱/۳۶	*۳/۰۷	*۱/۹۶	*۲/۹۶	*۲/۹۳	۱/۷۵	۰	ابوموسی	۱۰۵
*۲/۳۷	۱/۷۵	*۳/۴۳	*۳/۴۸	*۲/۰۳	*۲/۷۵	۱/۸۶	*۲/۱۱	*۲/۹۳	*۳/۳۹	*۲/۵۳	۱/۲۱	کیش	۱۰۶
۰/۹۱	*-۲/۴۳	-۰/۳۲	-۱/۱۱	-۱/۵۳	۰/۲۵	-۰/۵۰	-۰/۱۱	۱/۱۴	۰/۶۱	۰/۲۹	-۱/۴۶	بندرلنگه	۱۰۷
۱/۷۸	۰/۵۷	*۳/۲۵	*۳/۷۳	۱/۵۷	*۲/۳۲	*۲/۰۵	*۳/۳۲	*۲/۶۲	*۲/۳۶	۱/۵۷	۰/۱۴	سیری	۱۰۸
۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۸۵	۱/۰۸	۰/۱۶	۰/۵۵	-۰/۵۳	۱/۳۲	۱/۷۲	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۵۵	بندریر	۱۰۹
۰/۴۰	-۰/۲۴	۱/۸۰	۱/۷۲	۱/۲۴	*۲/۳۰	۰/۴۵	*۲/۸۳	*۲/۴۰	*۲/۷۵	۱/۴۰	۰/۴۸	بوشهر	۱۱۰
۰/۰۸	-۱/۳۷	-۰/۴۲	-۱/۱۱	-۱/۱۴	-۰/۱۶	-۰/۷۴	۰/۹۸	۱/۱۹	۱/۶۹	۰/۸۵	۰/۱۶	بندرماهشهر	۱۱۱
۰/۲۶	۰/۲۹	۱/۶۶	*۲/۱۹	۰/۶۱	*۲/۴۳	۱/۹۳	*۲/۲۴	۱/۶۶	*۲/۳۵	۱/۷۲	۰/۱۸	آبادان	۱۱۲
TFPW													
۱۰/۱۹	*۲/۰۱	۱/۶۱	۱/۰۸	۰/۲۶	-۰/۳۴	۰/۵۳	*۲/۳۸	*۲/۲۷	۱/۷۴	۰	۰/۱۱	چابهار	۱۱۳
-۱/۰۶	-۱/۳۷	-۰/۷۹	۰/۴۸	-۰/۶۳	-۰/۶۹	-۱/۱۶	-۰/۳۷	-۰/۵۸	۰/۳۷	-۱/۱۱	-۱/۲۱	جاسک	۱۱۴
۰/۶۹	-۰/۵۸	۱/۴۸	۱/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۷۴	۱/۱۱	۰/۸۵	۱/۱۶	۰/۱۱	-۰/۲۱	میناب	۱۱۵
۰/۱۷	-۰/۰۷	۱/۹۱	۱/۵۱	-۰/۵۷	-۰/۰۷	۱/۱۷	۱/۲۷	*۲/۲۶	۱/۹۶	۰/۴۷	-۰/۱۲	بندرعباس	۱۱۶
۰/۴۷	-۱/۰۲	۱/۵۶	۱/۳۲	۰/۸۲	۱/۹۱	۰/۷۲	۱/۴۴	*۲/۴۱	۱/۸۱	۰/۴۲	-۰/۵۷	ابوموسی	۱۱۷
۰/۸۷	۰/۰۷	۱/۵۱	۱/۷۱	۰/۹۲	۱/۵۱	۰/۰۷	۱/۳۱	*۲/۲۶	*۲/۱۶	۰/۴۲	-۰/۰۲	کیش	۱۱۸
-۱/۴۱	*-۲/۲۱	-۱/۰۷	*-۲/۰۱	-۱/۸۱	-۰/۲۷	-۱/۱۷	-۰/۷۲	۱/۱۷	۰/۳۲	-۰/۴۷	-۱/۴۱	بندرلنگه	۱۱۹
۰/۵۷	-۰/۱۲	*۲/۴۶	۱/۵۶	۰/۱۲	۱/۵۱	۰/۶۷	*۲/۶۵	*۲/۷۳	*۲/۲۱	۰/۵۲	-۰/۵۲	سیری	۱۲۰
۰/۰۲	-۰/۴۰	۰/۲۷	۱/۰۲	۰/۶۴	۱/۰۴	۰	۰/۷۹	*۲/۲۶	۱/۱۷	۰/۳۰	۰	بندریر	۱۲۱
۰/۱۲	۰/۱۲	۱/۲۲	۱/۹۱	۰/۶۲	۱/۷۹	۰/۴۵	۲/۳۱	*۲/۸۸	*۲/۰۳	۰/۷۹	-۰/۱۲	بوشهر	۱۲۲
-۰/۱۲	-۰/۸۴	-۰/۶۰	-۰/۵۲	-۰/۹۴	-۰/۴۲	-۰/۳۰	۰/۴۷	۱/۹۱	۰/۹۹	۰/۴۲	-۰/۳۲	بندرماهشهر	۱۲۳
۰	۰/۱۷	۰/۹۹	۱/۸۴	۰/۶۱	۰/۵۷	۱/۹۸	۱/۶۴	*۲/۴۶	۱/۷۱	۱/۷۱	-۰/۳۲	آبادان	۱۲۴

*مقادیر Z-value در سطح اعتماد ۹۵ درصد و ** ۹۹ درصد

جدول ۴- تحلیل روند مقادیر باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش من- کندال (MKT) و من کندال اصلاح شده (TFPW)

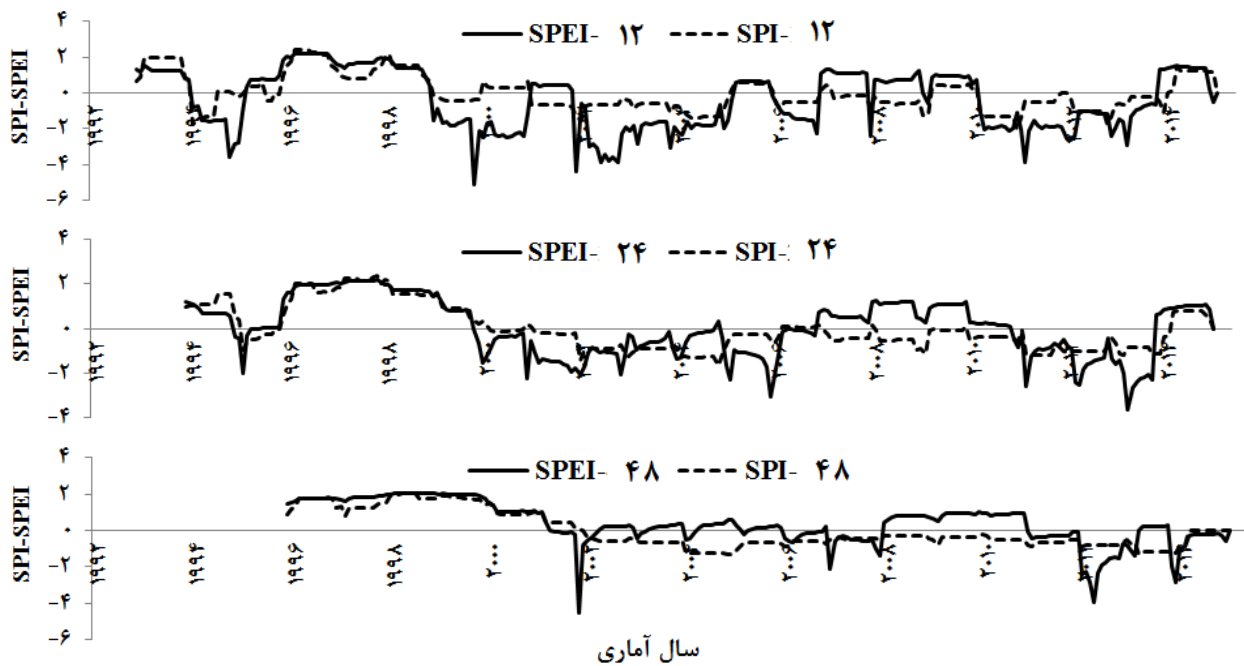
MKT													
نام ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	دسامبر	نوامبر	میانگین
چابهار	۰/۰۸	۰/۱۸	-۱/۵۱	۱/۴۳	۰	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۳۲	-۰/۱۳	-۰/۸۵	۰/۷۷	-۰/۲۸	۰/۰۸
	-۰/۲۳	-۱/۹۴	-۰/۵۲	۱/۰۵	۰/۴۶	-۰/۱۸	-۰/۹۱	۰/۶۸	-۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۹۶	-۱/۵۵	۰/۰۸
	۱/۴۸	۰/۱۲	-۰/۵۷	۰/۳۷	-۰/۱۲	-۰/۵۹	-۱/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۴	-۰/۵۲	۱/۸۴	*-۲/۴	۰/۰۸
بندرعباس	۰/۸۲	-۰/۷۷	-۰/۷۰	-۰/۲۱	۰/۰۹	-۰/۵۰	-۰/۵۴	۰	-۰/۳۶	-۰/۰۷	۱/۲۰	-۰/۶۶	۰/۰۹
	۰/۹۱	-۰/۷۰	-۰/۰۵	-۱/۱۸	-۰/۷۰	-۰/۴۱	-۰/۰۵	-۱/۰۵	-۰/۴۳	۰/۸۲	۱/۴۳	*-۲	۰/۰۹
	۰/۷۹	۰	-۰/۷۷	-۰/۹۵	-۰/۱۶	۰/۱۴	-۰/۱۴	۰/۰۷	۰	-۰/۷۰	*۲/۰۲	-۱/۳۴	۰/۰۹
	۰/۸۹	-۱/۰۹	-۰/۳۹	۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۵۰	-۰/۶۸	۱	۱/۹۳	-۱/۵۲	۰/۰۹
سیری	*-۲	۱/۵۵	-۰/۰۷	۱/۷۱	۰/۹۸	*۲/۰۷	*۲/۲۳	۰/۴۶	-۰/۱۸	-۰/۲۹	*-۲/۰۳	*-۲/۶	۰/۰۹
بندرعباس	۰/۸۲	۰/۷۹	-۱/۰۸	*۲/۰۳	۰/۴۸	۰	-۰/۷۹	۰	۰	-۰/۲۴	*۲/۲۴	-۱/۲۹	۰/۰۹
	-۰/۹۵	-۱/۱۱	-۱/۸۵	-۰/۴۲	-۰/۸۵	۰/۵۵	-۰/۳۴	-۰/۲۶	۰/۵۵	-۰/۴۵	۱/۵۶	-۱/۲۱	۰/۰۹
	-۰/۹۰	-۱/۰۶	*-۲/۳۲	-۱/۲۴	-۱/۰۶	-۰/۷۴	۰	۰	-۰/۱۶	۰/۱۱	۱	-۱/۲۹	۰/۰۹
	-۰/۸۲	-۱/۵۱	*-۳/۲۲	-۰/۶۱	-۱/۱۹	۰/۵۳	۰	۰/۳۴	۰	-۱/۴۰	۰/۷۷	-۱/۰۳	۰/۰۹
TFPW													
چابهار	۰/۹۰	۱/۲۱	۰/۶۹	*۲/۱۱	۰	۰/۶۳	-۰/۵۸	*۲/۱۱	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۹۰
	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۱۳	-۰/۵۳	۰/۸۷	۰	۰/۴۲	-۰/۸۲	-۰/۰۵	-۰/۵۵	۱/۵۳	-۰/۶۳	۰/۲۹
	۰/۱۸	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۱۳	۱/۲۹	۰/۰۸	-۰/۰۸	-۱/۴۵	-۰/۵۰	-۰/۷۹	-۰/۰۸	-۰/۱۶	۰/۱۸
بندرعباس	-۰/۲۵	۱/۵۱	۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۰۵	-۱/۵۶	-۰/۴۰	-۰/۳۰	۰	-۰/۸۲	*-۲/۷۳	-۰/۶۷	۰/۰۵
	-۱/۱۲	۱/۸۴	-۰/۶۷	۰/۰۲	۱/۲۹	۰/۲۷	۰	-۰/۷۹	۰	۰	۰	-۰/۱۲	۰/۰۵
	-۰/۵۲	۱/۹۱	۰/۳۷	-۰/۳۵	-۰/۱۰	۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۷۹	-۰/۳۷	-۱/۰۷	۰/۹۴	-۰/۵۷	۰/۰۵
	-۰/۱۵	۱/۲۹	-۰/۲۰	-۰/۰۲	۱/۲۴	-۰/۲۷	۰	۰	-۰/۹۰	-۱/۲۹	۰	-۰/۳۲	۰/۰۵
سیری	-۰/۵۲	*۲/۲۸	۰/۱۲	-۰/۶۹	۱/۸۶	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰/۱۲	۰	-۰/۳۵	۰/۰۵
بندرعباس	۰/۲۰	۰/۲۵	-۰/۹۴	*۲/۵۳	۱/۳۱	۰	-۰/۴۲	۰	۰	-۱/۰۷	۱/۷۴	-۰/۴۵	۰/۲۰
	-۰/۸۲	-۱/۰۲	-۱/۱۷	۰/۲۰	-۰/۳۷	۰/۵۰	-۰/۳۵	-۰/۴۲	۰/۵۵	-۰/۶۴	۱/۱۹	-۰/۶۹	۰/۲۰
	-۰/۶۲	-۰/۷۲	-۱/۵۶	-۰/۰۲	-۰/۵۰	-۰/۰۲	۰	۰	-۰/۰۳	-۰/۲۲	۱/۰۲	-۰/۵۷	۰/۲۰
	-۰/۷۷	-۱/۰۷	*-۲/۱۶	۰/۲۰	-۰/۴۲	۰/۹۴	۰	۰/۶۴	۰	-۰/۹۷	۰/۹۲	-۰/۸۷	۰/۲۰

*مقادیر Z-value در سطح اعتماد ۹۵ درصد و ** ۹۹ درصد

ضریب همبستگی در اکثر ایستگاه‌ها در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه مشاهده گردید. این مقادیر در ایستگاه‌های شرقی و مرکزی سواحل خلیج فراس و دریای عمان در مقیاس‌های ۱ تا ۱۲ ماهه، ارقام پائینی را نشان می‌دهد. بالاترین ضریب همبستگی مشاهده شده در ایستگاه بو شهر در SPEI-48 -SPI با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۸ مشاهده گردید.

مقایسه نتایج شاخص SPI و SPEI در پایش خشکسالی

به منظور مقایسه نتایج پایش دو شاخص مذکور در پایش خشکسالی، ضریب همبستگی پیرسون دو شاخص در مقیاس‌های زمانی مشابه محاسبه گردید. نتایج در جدول ۵ ارائه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، بین نتایج پایش شاخص‌های مورد استفاده در تمامی مقیاس‌ها رابطه معنی‌دار وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی، مقادیر همبستگی افزایش می‌یابد، به طوری که بالاترین



شکل ۲- تغییرات شاخص SPI و SPEI در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر SPI و SPEI در مقیاس های زمانی مورد مطالعه

موقعیت	ایستگاه	SPI-SPEI-3	SPI-SPEI-6	SPI-SPEI-9	SPI-SPEI-12	SPI-SPEI-24	SPI-SPEI-48
شرقی	چابهار	*.۰۲۱	*.۰۴۳	*.۰۶۹	*.۰۷۹	*.۰۷۲	*.۰۳۷
	جاسک	.۰۱۸	*.۰۳۶	*.۰۶۶	*.۰۸۲	*.۰۸۶	*.۰۸۸
	میناب	*.۰۳۷	*.۰۳۹	*.۰۷۳	*.۰۸۷	*.۰۸۸	*.۰۸۷
مرکزی	ابوموسی	.۰۴۴*	*.۰۳۷	*.۰۶۳	*.۰۸۴	*.۰۸۵	*.۰۷۴
	بندرعباس	.۰۱۶	*.۰۲۱	*.۰۳۹	*.۰۶۷	*.۰۷۳	*.۰۷۲
	کیش	*.۰۵۶	*.۰۳۶	*.۰۷۰	*.۰۸۹	*.۰۷۹	*.۰۶۴
	بندرلنگه	*.۰۴۳	*.۰۲۵	*.۰۶۵	*.۰۸۰	*.۰۷۷	*.۰۷۱
	سیری	*.۰۳۷	*.۰۲۸	*.۰۴۸	*.۰۶۲	*.۰۶۲	*.۰۴۲
غربی	بندر دیر	*.۰۴۵	*.۰۲۷	*.۰۷۴	*.۰۹۵	*.۰۹۷	*.۰۷۱
	بوشهر	*.۰۳۵	*.۰۲۹	*.۰۶۳	*.۰۸۲	*.۰۹۱	*.۰۹۸
	بندرماهشهر	*.۰۴۴	*.۰۵۰	*.۰۷۳	*.۰۸۹	*.۰۷۸	*.۰۶۲
	آبادان	*.۰۳۶	*.۰۴۱	*.۰۶۵	*.۰۸۰	*.۰۹۰	*.۰۹۶

*همبستگی در سطح اعتماد ۰.۹۵

شبهات چندانی در کلاس های مختلف در دو شاخص مورد نظر دیده نشد. شکل ۴ همبستگی درصد فراوانی دو شاخص SPI و SPEI در کلاس های مختلف را نشان می دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، بالاترین همبستگی بین مقادیر دو شاخص در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه در کلاس ترسالی و خشکسالی ملایم وجود دارد، در سایر مقیاس ها بخصوص مقادیر با شدت بالا، رابطه دو شاخص بصورت معکوس است.

تحلیل در صد فراوانی خشکسالی در کلاس های مختلف در دو شاخص SPI و SPEI

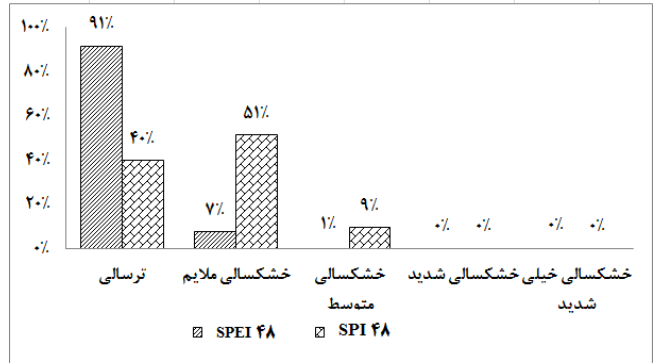
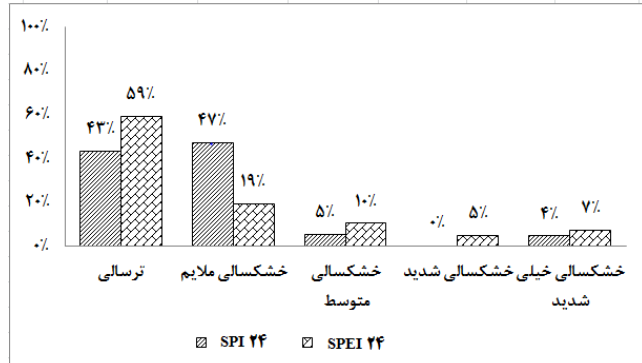
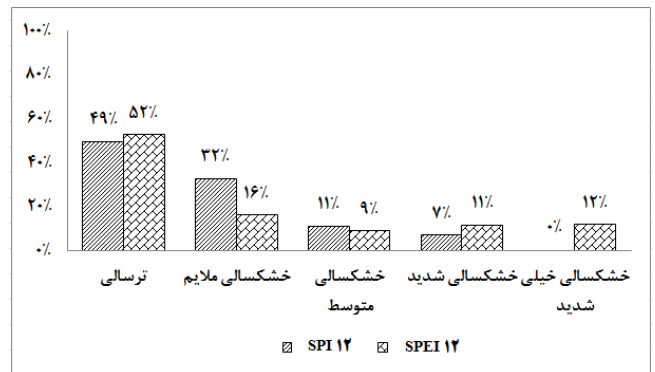
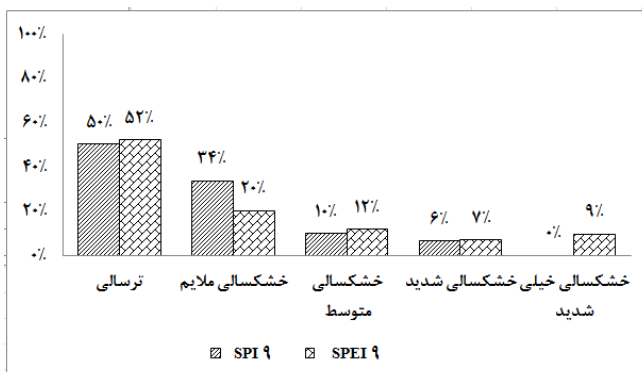
جهت مقایسه نتایج دو شاخص، مقادیر فراوانی خشکسالی در کلاس های ترسالی، خشکسالی ملایم، متوسط، شدید و خیلی شدید در مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ در صد فراوانی کلاس های خشکسالی را در مقیاس ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه بندرعباس نشان می دهد. بر اساس نتایج بدست آمد از نظر درصد فراوانی در کلاس های مختلف،

مورد بررسی با حذف اثر خودهمبستگی بین داده‌ها در روش TFPW، مقادیر Z کمتری را نسبت به من- کندال (MKT) نشان می‌دهند، اما در هر صورت در اغلب موارد نتایج مشابه بوده و به‌طور نسبی، شاخص SPEI روند قویتری را نسبت به شاخص SPI نشان می‌دهد به‌طوری‌که بالاترین عدد مربوط به ایستگاه آبادان با مقدار ۱۳/۴۶ و ۱۰/۹۹ در دو روش من- کندال (MKT) و من- کندال با حذف اثر خودهمبستگی (TFPW) است. در مقیاس‌های زمانی بالاتر مقادیر دو شاخص بهم نزدیک شده، اما در هر صورت روند خشکسالی در SPEI قویتر است. طبق نتایج بدست آمده در بخش تحلیل روند دما و بارش، روند دما دارای مقادیر معنی‌دار بالایی در مناطق مورد مطالعه در سواحل جنوبی کشور نسبت به مقادیر بارش بودند، لذا اثرات روند فزاینده دما در شاخص SPEI به‌خوبی مشهود است.

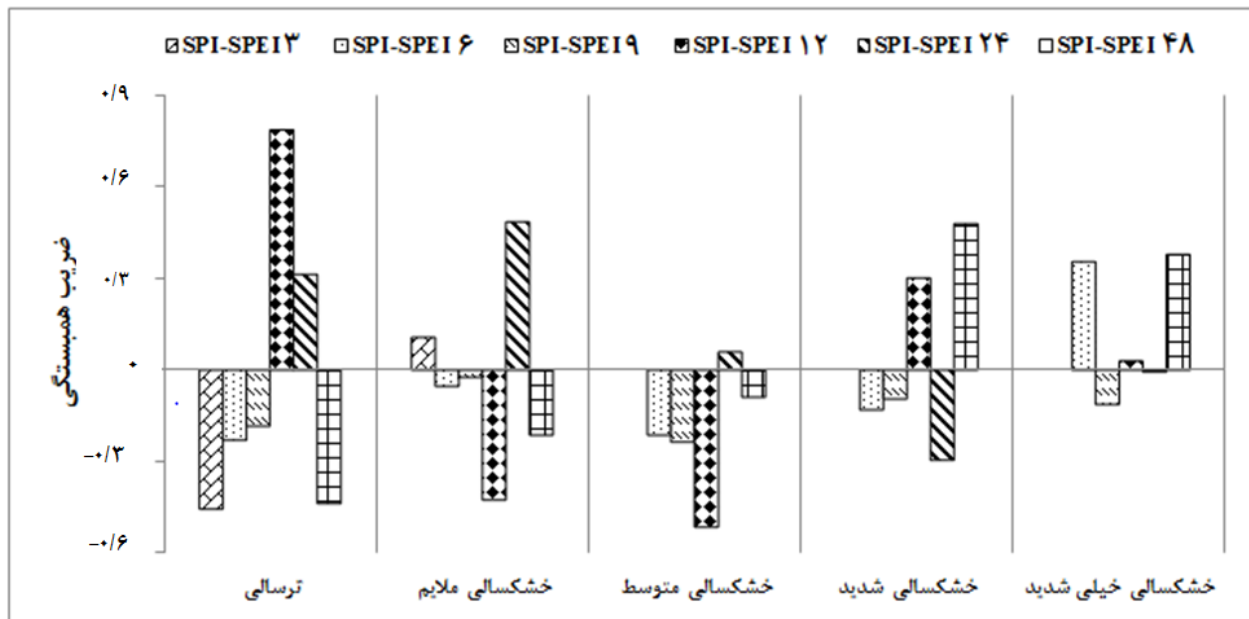
تحلیل روند مقادیر خشکسالی در مقیاس‌های زمانی

مختلف در دو شاخص SPI و SPEI

جدول ۶ و ۷ روند مقادیر دو شاخص مورد بررسی در مقیاس‌های زمانی مختلف را با استفاده از روش من- کندال (MKT) و من- کندال اصلاح شده با حذف اثر خودهمبستگی (TFPW) می‌دهد. به‌طور کلی بر اساس مقادیر آماره‌های معرفی شده چنانچه میزان Z بزرگتر از ۱/۹۶ و ۲/۶۱ باشد به‌ترتیب در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد روند معنی‌دار افزایشی است و بالعکس، براین اساس اکثر ایستگاه‌ها بر اساس دو شاخص، روند فزاینده خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه تأیید می‌نمایند، بدین معنا که طی دوره آماری مورد مطالعه خشکسالی در حال افزایش است و با افزایش مقیاس زمانی در ایستگاه‌ها مقادیر روندها افزایش و روند قویتری مشاهده می‌گردد. اگر چه در بسیاری موارد در ایستگاه‌های



شکل ۳- درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف در مقیاس ۹ تا ۴۸ ماهه در ایستگاه بندرعباس



شکل ۴- ضریب همبستگی فراوانی خشکسالی در هر کلاس در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه

جدول ۶- تحلیل روند مقادیر خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف در شاخص SPI و SPEI با استفاده از آزمون تحلیل روند من- کندال (MKT) و من کندال اصلاح شده (TFPW)

مقیاس	موقعیت	نام ایستگاه	MKT		TFPW		مقیاس زمانی (ماهانه)	MKT		TFPW		
			SPI	SPEI	SPI	SPEI		SPI	SPEI	SPI	SPEI	
۳	شرقی	چابهار	۱/۰۲	-۰/۷۲	۱/۱۲	-۰/۵۷	۶	-۰/۱۶	۱/۸۱	۱/۸۱	۰/۹۶	
		جاسک	۰/۲۴	-۰/۳۱	۰/۰۶	-۰/۲۷		**۰/۳۲	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۰/۸۹	
		میناب	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۱۵	۰/۴۶		-۰/۱۰	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۳۶	
	مرکزی	بندرعباس	**۰/۰۵	-۰/۶۵	*۰/۲۳	**۰/۶۲		۰/۲۶	*۰/۲۱	*۰/۲۱	**۰/۷۴	
		ابوموسی	۰/۳۱	-۰/۶۵	۰/۱۲	-۰/۶۰		**۰/۵۷	-۰/۳۲	-۰/۳۲	**۰/۵۶	
		کیش	-۱	**۰/۶۳	-۱/۲۵	**۰/۶۲		**۰/۰۷	-۲/۴۸	**۰/۴۸	**۰/۹۶	
	غربی	بندر لنگه	-۰/۷۰	-۰/۳۶	-۰/۷۹	-۰/۳۵		۰/۲۹	-۲/۱۲	**۰/۱۲	-۱/۷	
		سیری	۰/۶۶	-۱/۸۸	۰/۷۴	-۱/۷۴		۲/۵۱**	-۰/۳۳	-۰/۳۳	**۰/۳۱	
		بندر دیر	۱/۸۹	۰/۰۲	۱/۷۵	۰/۰۸		-۲/۳۸**	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۴۳	
	۹	شرقی	بوشهر	-۱/۴۷	-۱/۵۲	-۱/۳۸		-۱/۴۸	-۲/۴۰**	-۲/۳۵*	-۲/۳۵**	**۰/۰۷
			بندرماهشهر	-۱/۵۴	**۰/۱۵	-۱/۲۴		**۰/۰۱	-۳/۰۴**	-۲/۳۰*	-۲/۳۰**	-۳/۸۹**
			آبادان	-۱/۸۹	**۰/۳۱	-۱/۷۳		**۰/۶۸	-۰/۱۶	-۲/۹۷	**۰/۹۷	-۵/۶۸**
۱۲	شرقی	چابهار	۱/۷۶	۰/۹۰	*۲/۵۴	**۲/۶۷	**۰/۵۷	۱/۲۹	۱/۲۹	۲/۹۵**		
		میناب	**۰/۴۲۶	-۱/۷۹	-۱/۳۲	۰/۵۴	**۰/۹۸	-۱/۰۱	-۱/۰۱	۱/۱۷		
		جاسک	-۳/۹۳**	**۰/۱۷	-۰/۲۰	۰/۰۶	**۰/۸۷	-۰/۸۱	-۰/۸۱	۰/۱۲		
	مرکزی	بندرعباس	-۱/۱۰	**۰/۳۰	-۲/۹۷**	**۰/۰۲	-۱/۶۸	*۰/۲۵	*۰/۲۵	-۲/۵۵*		
		کیش	-۱/۲۶	۰/۴۵	-۱/۲۶	**۰/۱۱	**۰/۲۹	-۱/۶۰	-۱/۶۰	*۰/۲۴		
		ابوموسی	۲/۷۱**	۱/۵۶	**۰/۹۶	**۰/۲۸	**۳/۹۵	**۰/۶۲	**۰/۶۲	-۵/۲۶**		
۱۲	بندر لنگه	بندر لنگه	**۰/۳۸۹	**۰/۵۶	-۱/۷۶	**۰/۲۹	**۰/۸۵	-۲/۶۷**	-۲/۶۷**	**۰/۵۴		
		سیری	-۰/۰۲	۰/۱۲	-۰/۹۸	**۰/۲۷	-۰/۷۲	-۱/۰۲	-۱/۰۲	**۰/۳۹		

ادامه جدول ۶- تحلیل روند مقادیر خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف در شاخص SPI و SPEI با استفاده از آزمون تحلیل روند من- کندال (MKT) و من کندال اصلاح شده (TFPW)

مقیاس زمانی (ماهانه)	MKT				TFPW				مقیاس زمانی (ماهانه)	MKT		TFPW	
	نام ایستگاه	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI		SPEI	SPI	SPEI	
۹	بندر دیر	-۰/۶۷	**۴/۳۲	**۲/۲۰	۱/۴۰					-۰/۹۶	۱	۱	۱/۸۷
	بوشهر	-۲/۴۷**	۱/۴۴	**۴/۲۰	**۴/۸۶					**۲/۱۰	**۴/۹۱	**۴/۹۱	**۵/۶۰
	بندرماه‌شهر غربی	-۴/۲۶**	**۵/۰۹	**۳/۹۱	**۵/۱۴					**۷/۵۱	**۵/۲۰	**۵/۲۰	**۶/۱۶
	آبادان	-۴/۰۹**	**۵/۴۸	**۵/۲۸	**۸/۵۳					**۶/۵۸	**۸/۱۰	**۸/۱۰	**۹/۷۸
۱۲	چابهار	۰/۴۲	**۴/۶۳	**۴/۲۹	۰/۳۹					۱/۰۸	-۰/۴۳	-۰/۴۳	**۸/۵۴
	جاسک شرقی	*۲/۱۴	**۲/۵۳	**۳/۰۶	-۰/۱۶					-۰/۰۱	**۴/۲۹	**۴/۲۹	**۴/۸۱
	میناب	۰/۸	*۲/۳۸	*۲/۲۹	-۰/۲۱					-۰/۶۴	-۱/۸۵	-۱/۸۵	**۳/۸۵
۲۴	بندرعباس	*۲/۰۴	**۴/۷۱	**۶/۹۳	**۴/۰۸					-۰/۷۶	**۵/۱۰	**۵/۱۰	**۹/۲۱
	ابوموسی	*۲/۹۱	**۴/۵۸	*۲/۲۳	**۴/۲۱					**۵	**۲/۹۸	**۲/۹۸	**۸/۵۶
	کیش مرکزی	*۲/۶۰	**۶/۹۳	**۶/۴۷	**۵/۶۷					-۱/۱۲	**۴/۲۹	**۴/۲۹	**۱۰/۵۲
	بندر لنگه	*۷/۸۳	**۹/۵۱	**۶/۳۹	-۱/۵۷					-۱/۰۳	**۲/۳۵	*۲/۳۵	**۴/۳۱
	سیری	*۲/۴۳	**۷/۶۳	-۱/۸۶	**۷/۲۳					-۱/۰۴	-۱/۳۸	-۱/۳۸	**۱۰/۵۰
۴۸	بندر دیر	-۰/۸۷	-۱/۸۰	-۱/۶۲	-۱/۸۷					**۵/۱۸	**۳/۱۸	**۳/۱۸	**۷/۵۳
	بوشهر غربی	**۳/۰۵	**۹/۳۴	**۷/۸۲	**۸/۲۰					**۱۳/۳۲	**۱۰/۶۹	**۱۰/۶۹	**۱۱/۹۹
	بندرماه‌شهر	**۴/۰۲	**۷/۸۰	**۶/۸۱	**۸/۷۵					**۱۴/۵۷	**۹/۸۸	**۹/۸۸	**۱۰/۵۸
	آبادان	**۹/۹۰	**۱۲/۱۳	**۹/۸	-۱۰/۷۶**					**۱۲/۶۸	**۹/۱۹	**۹/۱۹	**۱۰/۹۹

*معنی داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد و ** ۹۹ درصد

■ بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق فوق با هدف بررسی رفتار خشکسالی اقلیمی در سواحل جنوبی کشور با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI صورت پذیرفته است. بر این اساس دو شاخص مذکور در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بر اساس روش‌شناسی McKee و همکاران (۱۹) و Vicente Serrano و همکاران (۲۹) محاسبه گردید و پایش، تحلیل فراوانی و ارزیابی روند خشکسالی بر اساس دو شاخص فوق در ایستگاه‌های سواحل خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج حاصل از تحلیل روند مقادیر دما در ایستگاه‌های سواحل جنوبی کشور نشان داد، اکثر ایستگاه‌ها دارای روند فزاینده دما بوده و ایستگاه‌های واقع در بخش مرکزی

بیشترین روند فزاینده دما را طی ماه‌های مختلف دارند. روند بارش در ایستگاه‌های مختلف قابل ملاحظه نیست. محققینی همچون کتیرایی و همکاران (۱۲)، سالاری و گندم کار (۲۵) و مرادی (۲۰) دمای فزاینده در جنوب کشور را تأیید می‌نمایند و در مقابل فقدان روند بارش در جنوب کشور توسط محققینی چون سالاری و گندم کار (۲۵)، رضایی و همکاران (۲۴) و مرادی (۲۰) گزارش شده است.

در کاربرد دو روش MKT و TFPW در بررسی روند بارش و دما نشان داد، در بخشی موارد که در آزمون MKT عناصر دارای روند معرفی شده بودند، آزمون TFPW آن را فاقد روند معرفی نمود. مرادی (۲۰) در تحلیل روند فاکتورهای هیدرواقلمی در حوزه آبخیز

نتایج باشد. از طرفی در در پایش خشکسالی در اقلیم‌های فراخشک استفاده از شاخص‌هایی که تنها مبتنی بر بارش می‌باشند، نمی‌تواند چندان مناسب باشد و باید از شاخص‌های چندعاملی استفاده نمود.

جهت بررسی دقیق‌تر نتایج پایش دو شاخص مورد بررسی، و معرفی شاخصی کارا تر در منطقه مورد مطالعه، تحلیل روند مقادیر شاخص‌های فوق با استفاده از آزمون قوی تحلیل روند من-کنندال در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه صورت پذیرفت. نتایج حاصل از تحلیل روند خشکسالی در دو شاخص، نشان از روند فزاینده خشکسالی طی دوره آماری مورد مطالعه دارد که با افزایش مقیاس زمانی از ۳ به ۴۸ ماهه روندها قویتر و معنی‌دارتر هستند. در مقایسه نتایج روند در دو شاخص، در اکثر موارد در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه شاخص SPEI روند منفی قویتری را نسبت به SPI نشان می‌دهد. به این معنی است که تاثیر دما یا تبخیر و تعرق بر بارندگی غالب بوده و سبب تشدید خشکسالی شده است که شاخص SPEI در منعکس کردن آن قویتر عمل نموده است که با نتایج محققینی چون Vicente Serrano و همکاران (۲۸ و ۲۹) همخوانی دارد.

بنابراین، در پایش و تحلیل خشکسالی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در بخش‌های مختلف در مناطق خشک و فراخشک ساحلی که نسبت بارش به تبخیر کمتر از ۰/۲ است، استفاده از شاخص‌هایی که تنها مبتنی بر بارش می‌باشند، نمی‌تواند چندان مناسب باشد و باید از شاخص‌های چندعاملی استفاده نمود، و استفاده از شاخص بارش استاندارد با توجه سادگی کاربرد دسترسی به آمار بارش، مناسب نمی‌باشد. این نتایج توسط محققین بسیاری در ایران از جمله هاتفی و همکاران (۸)، نصرتی و همکاران (۲۱) و سبجانی و همکاران (۲۶) در ماه‌های دارای بارش صفر ناکارآمد معرفی شده، پیشنهاد می‌شود به‌منظور پایش خشکسالی در مناطق مشابه که بارندگی عموماً ناچیز بوده و حتی یک بارش می‌تواند معادل ده‌ها در صد کل بارش سالانه باشد و از طرف دیگر تبخیر و تعرق چندین برابر بارش سالانه است، از شاخص‌هایی که مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق هستند، استفاده شود.

خلیج فارس و دریای عمان در جنوب کشور، بدین نتیجه اذعان می‌دارد، آزمون TFPW در تحلیل دقیق روند با حذف اثر خودهمبستگی داده‌ها بسیار موثر است و نتایج آن بسیار مستندتر از روش MKT، روش ناپارامتری اسپیرمن و پتیت است.

نتایج حاصل از پایش خشکسالی با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI در سواحل جنوبی کشور نشان داد، روند تغییرات دو شاخص مذکور مشابه اما شاخص SPEI روند خشکسالی و ترسالی‌ها را با فرکانس و شدت بیشتری نمایش می‌دهد که دلیل آن را می‌توان به تغییرات بارندگی و منظور نمودن عنصر درجه حرارت در این شاخص نسبت داد. اگرچه بارندگی نقش ویژه‌ای در تغییرات زمانی خشکسالی ایفا می‌نماید اما تأثیر درجه حرارت بویژه در اقلیم‌های فراخشک و بیابان‌های ساحلی، معنی‌دار بوده و موجب تشدید پدیده خشکسالی و در نهایت موجب کاهش شدیدتر منابع آب می‌گردد که با نتایج محققینی چون هاتفی و همکاران (۸)، سبجانی و همکاران (۲۶) و نصرتی (۲۲) مشابهت دارد.

طی آنالیز همبستگی مقادیر دو شاخص در مقیاس زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه، با افزایش مقیاس مطالعه از ۳ به ۴۸ ماهه، مقدار همبستگی بین دو شاخص افزایش نشان داد، به طوری که بالاترین ضرایب همبستگی مشاهده شده در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های سواحل غربی مشاهده گردید. همچنین نتایج همبستگی در صد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نیز نشان از همبستگی بالای مقادیر دو شاخص در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه بود. شاخص SPEI علاوه بر بارش از عامل دما و تبخیر و تعرق نیز استفاده نموده و شاخص مناسب‌تری نسبت به SPI است. اما به دلیل دسترسی ساده به مقادیر بارش در صورتی که مشخص گردد رابطه همبستگی بین دو شاخص بالا است می‌توان از SPI به جای SPEI استفاده کرد. نتایج تحقیق فوق با نتایج سبجانی و همکاران (۲۶)، نصرتی و همکاران (۲۱) در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان تهران و نصرتی (۲۲) در نمونه‌های اقلیمی ایران (بجز سواحل جنوبی کشور) همسو نیست. به نظر می‌رسد، تفاوت اقلیمی مناطق مورد مطالعه از جمله دلایل تفاوت

■ References

1. Ahmadi M, Nosrati K, Solki H. (2013). Drought and relationship with soil moisture. *J Geograph. Iranian Geograph Assoc.*; 11(38): 77-9, (in Farsi).
2. Bazrafshan O, Chashberah A, Holisaz A. (2015). Trend analysis of the pan evaporation in different climates of Hormozgan province. *J Conserv Utiliz Nat Re.* 4(2):171-176, (in Farsi).
3. Blenkinsop, S., & Fowler, H. J. (2007). Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*, 342(1), 50-71.
4. Das, P. K., Dutta, D., Sharma, J. R., & Dadhwal, V. K. (2016). Trends and behaviour of meteorological drought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*, 36(2), 909-916.
5. Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z., & Hlavinka, P. (2009). Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1-2), 155-171.
6. Ebrahimpour, M., Rahimi, J., Nikkhah, A., & Bazrafshan, J. (2014). Monitoring Agricultural Drought Using the Standardized Effective Precipitation Index. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(1), 04014044.
7. Gidden, J., Denson, J., Liyanage, R., Ivey, D. M., & Lay, J. O. (2009). Lipid compositions in *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* during growth as determined by MALDI-TOF and TOF/TOF mass spectrometry. *International journal of mass spectrometry*, 283(1), 178-184.
8. Hatefi A, Mosaedi A, Jabbari Noghani M. (2016). The role of evapotranspiration in meteorological drought monitoring in some climatic regions of the country. *J Soil Wat Conserv Res.* 23(2): 1-22, (in Farsi).
9. Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (1992). *Statistical methods in water resources* (Vol. 49). Elsevier.
10. Hirsch, R. M. (1982). A comparison of four streamflow record extension techniques. *Water Resources Research*, 18(4), 1081-1088.
11. Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. Amer. Soc. Civil Eng.*, 116, 770-808.
12. Katirae PS, Hojam S, Iran Nezhad P. (2001). Evaluation of frequency and intensity daily precipitation data in 1960-2001. *J Earth Space Physics.* 33(1); 67-83, (in Farsi).
13. Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*, 220p.
14. Khalili, A. (1992). Arid and hyper- arid climates in Iran. *Proceedings of the Seminar on the issues of desertification and desert of Iran, Yazd, Iran*, (in Farsi).
15. Khazanedari, L., Zabol Abasi, F., Ghandhari, S., Kouhi, M., & Malbousi, S. (2010), Drought conditions in the next thirty years in Iran. *Journal of Geography and Regional Development Research*, 12: 83-98.
16. Kisi, O. (2015). An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. *Journal of Hydrology*, 527, 1123-1129.
17. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
18. Martinez, C. J., & Thepadia, M. (2009). Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 136(7), 494-501.
19. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
20. Moradi M. (2016). An investigation factors affecting the changes in surface runoff in watershed southern coast of Iran with an emphasis on climate parameters. Msc thesis, University of Hormozgan, Banar Abbas, Iran, (in Farsi).
21. Nosrati K, Mohseni Saravi M, Shahbazi R. Application and Comparison of Standardized precipitation and Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices ffor Evaluating Metteorollogiicall Droughtt

- Condition of Tehran Province. *J Desert Manage.* 2015; 3, 77-90, (in Farsi).
22. Nosrati K. (2014). Assessment of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for Drought Identification in Different Climates of Iran. *J Environ Sci.* 12(4): 63-74, (in Farsi).
23. Paulo, A. A., Rosa, R. D., & Pereira, L. S. (2012). Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1481-1491.
24. Raziei T, Danesh kar Arasteh P, Saghafian B. Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran. *J Wat Wastewat Consult Engine.* 2005; 16(2): 73-81, (in Farsi).
25. Salari A, Gandomkar A. Forecasting temperature changes in Bandar Abbas and Qeshm Island using with test Man-kendal. *J Land Geoghraoh.* 2012; 9(35): 77-92, (in Farsi).
26. Sobhani B, Ghaffari Gilandeh A, Goldoust A. (2015). Drought monitoring in Ardabil province by means of SEPI fuzzy index developed based on the fuzzy logic. *J Applied Res Geograph Sci.* 36, 51-72, (in Farsi).
27. Tajbakhsh S, Eisakhani N, Nosrati K. (2015). Assessment of meteorological drought in Iran using standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). *J Earth Space Physics.* 41(2); 313-321, (in Farsi).
28. Vicente Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Drummond, A., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E. & Zabalza, J. (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006).
29. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
30. Vicente-Serrano, S. M., Van der Schrier, G., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & Lopez-Moreno, J. I. (2015). Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates. *Journal of Hydrology*, 526, 42-54.
31. Yousefi H, Nohegar A, Khosravi Z, Aziz Abadi Farahani M. (2015). Drough management and zoning SPI and RDI (Case study: Markazi Province). *J Eco Hydrol.* 2(3): 337-344, (in Farsi).
32. Yue, S., Pilon, P., & Phinney, B. O. B. (2003). Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross-correlation. *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), 51-63.

Evaluation of temporal trends of the SPI and SPEI drought indices in the Southern Coast of Iran

O. Bazrafshan^{1*}, F. Mahmudzadeh², J. Bazrafshan³

1. Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
 2. MSc. Graduate, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
 3. Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
- * Corresponding Author: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Received date: 25/10/2016

Accepted date: 19/01/2017

Abstract

This research aims to compare the performances of the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in terms of the monitoring and trend analysis of the climatic droughts at several synoptic stations located in the coastal areas of Persian Gulf and Oman Sea over 1992 - 2014. To this end, trend analysis of drought was carried out using the traditional Mann-Kendall and Trend Free Pre-Whitening (TFPW) Mann-Kendall tests. The results showed that both indices report the same behaviors, but the SPEI presents higher percentages in different drought classes and a rapid responses to humidity variations at all time scales when comparing to the SPI. Meanwhile, there were significant positive correlations between the two indices at the corresponding time scales such that the highest correlations in most of the stations with the values 0.97 and 0.98 were related to the time scales of 12 and 24 months, respectively. The same results were obtained for the frequency percentages of different classes of the mentioned drought indices. Trend of droughts in the region is generally increasing and the slope of trend for the SPEI is stronger than SPI as the time scale increases. Finally, the use of SPI is not sufficient to monitor droughts in arid and hyper-arid climates of coastal regions, and due to the role of temperature as the limited factor of humidity, the study recommend the use of SPEI for effective and accurate drought monitoring in such regions.

Keywords: Drought index; temporal trends; Precipitation and temperature; Evapotranspiration; Southern coast of Iran