

## مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی در استان تهران

کاظم نصرتی<sup>۱\*</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۲</sup> و رضا شهبازی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول: k\_nosrati@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۲

### چکیده

تاثیرپذیری خشکسالی از شرایط گوناگون اقلیمی، مانعی برای تعریف روشن و جامعی از آن شده است. برای پایش خشکسالی شاخص‌های گوناگونی در مقیاس‌های متفاوت زمانی ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. از محدودیت‌های شاخص‌های رایج همچون شاخص بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۱</sup> عدم در نظر گرفتن بیلان آب بر پایه مقدار تبخیر و تعرق می‌باشد. شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)<sup>۲</sup> بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، بیلان آب را برای محاسبه شاخص خشکسالی لحاظ می‌کند. هدف از این بررسی، بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های استان تهران و توزیع مکانی و زمانی آن به وسیله دو شاخص SPI و SPEI به منظور مقایسه و تعیین رابطه میان این دو شاخص برای مدیریت بهینه منابع آب است. به این منظور در این پژوهش آمار ماهانه بارش و میانگین درجه حرارت برای دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۸-۱۹۷۸) شامل ۶ ایستگاه آب‌سنجی استان تهران، از سازمان تحقیقات منابع آب کشور برگرفته شد. پس از محاسبه شاخص‌ها، مقایسه بر پایه مقدارهای شاخص‌ها و رده‌های خشکسالی انجام شد. نتایج نشان داد شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی داشته است. همچنین با افزایش مقیاس زمانی، تداوم خشکسالی افزایش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** شدت خشکسالی؛ شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده؛ شاخص بارش استاندارد؛ استان تهران.

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index (SPI)

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

## ■ مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای است که می‌تواند در هر نوع آب و هوایی نمایان شود و بیشتر به صورت پدیده‌ای خزنده است و توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار است. با افزایش فراوانی وقوع پدیده خشکسالی با شدت‌های زیاد ناشی از تغییرات اقلیمی جهانی موجب افزایش عدم قطعیت دسترسی به منابع آب شده است. شدت خشکسالی تحت تأثیر تغییرات جهانی شرایط زیست‌محیطی، موجب افزایش عدم قطعیت در دسترسی به منابع آب شده است (نصرتی، ۱۳۹۱).

مطالعات خشکسالی را می‌توان به چهار بخش خشکسالی هواشناسی، خشکسالی کشاورزی، هیدرولوژی و اقتصادی - اجتماعی طبقه‌بندی کرد. تاثیرپذیری خشکسالی از عوامل متعدد اقلیمی، مانع از تعریف روشن و جامعی از آن شده است؛ چرا که بسته به تفاوت‌های اقلیمی، نیازها و نظام‌های موجود و راهبردهای اتخاذ شده در نقاط مختلف می‌توان تعاریف متفاوتی از پدیده خشکسالی ارائه کرد. در این راستا به منظور تعیین شدت خشکسالی بایستی این پدیده از حالت کیفی و توصیف به حالت کمی و عددی درآید و برای آن شاخص‌هایی تعریف و ارائه گردد که بر پایه بررسی شاخص‌های خشکسالی به توان آن را پیش‌بینی و برنامه کاهش اثرات خشکسالی را پایه گذاری کرد کرد. برای پایش خشکسالی شاخص‌های گوناگونی در مقیاس‌های متفاوت زمانی ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص‌ها بیشتر از آمار بلند مدت هواشناسی - هیدرولوژی اقتباس شده و با کمک الگوهای آمار و احتمالات، تحلیل می‌شوند. در صورتی که یک شاخص به درستی انتخاب شود و از پایه آماری درستی برخوردار باشد، نتایج حاصل از تحلیل می‌تواند اطلاعات مناسبی را در خصوص پیش‌بینی زمان وقوع و حجم خسارات احتمالی وارد شده در اختیار قرار دهد (بذرافشان، ۱۳۸۱؛ نصرتی و آذرنیوند، ۱۳۸۱).

در مروری پژوهشی نصرتی و کاظمی (۱۳۹۰) چندین شاخص محاسبه شدت خشکسالی از قبیل: شدت خشکسالی پالم (Palmer, 1965)، ناهنجاری بارندگی (van Rooy, 1965)، درصد از نرمال بارش

(نصرتی و آذرنیوند، ۱۳۸۱)، دهک‌های بارندگی (Gibbs & Maher, 1967)، خشکسالی بالم و مولی (Bahlme & Mooley, 1980)، و بارش استاندارد شده (McKee et al., 1993) مورد بررسی قرار داده اند.

(McKee (1993) شاخص SPI را ارائه کرد که در آن از متغیر بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه) استفاده می‌شود. Vicente-Serrano (2006) واکنش هیدرولوژیک به خشکسالی هواشناسی را در مقیاس‌های زمانی مختلف و با بهره گیری شاخص SPI بررسی کردند. (Morid et al. (2006) با مقایسه هفت شاخص خشکسالی بارش در استان تهران نشان دادند که شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده می‌توانند آغاز خشکسالی را به خوبی نشان دهند. انصافی مقدم (۱۳۸۶) در پژوهشی به ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی پرداخته و در انتخاب مناسب‌ترین شاخص جهت تحلیل وضعیت خشکسالی در طی سال‌های یک دوره طولانی مدت، شاخص SPI و شاخص دهک‌ها را در جایگاه نخست، شاخص ZSI را در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال را در جایگاه سوم معرفی کرده است. (Nosrati et al. (2009) شاخص روزانه خشکسالی مؤثر را در اقلیم‌های مختلف کشور محاسبه و ارتباط آن را با منابع آب قابل دسترس تایید کردند. محمدیان و همکاران (۱۳۸۹) به مقایسه پایش خشکسالی با بهره گیری شاخص‌های DI، PNI و SPI و پهنه‌بندی آن‌ها در خراسان شمالی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وسیع‌ترین و شدیدترین خشکسالی‌ها به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است.

با این وجود شاخص‌های رایج مانند شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی مؤثر صرفاً از مقدار بارش روزانه و یا ماهانه استفاده می‌کنند. زیرا این گونه شاخص‌ها بر دو فرض استوار هستند (۱) تغییرات بارش بیش از سایر متغیرهای اقلیمی مانند دما و تبخیر و تعرق است و (۲) سایر متغیرهای اقلیمی به جز بارش دارای روند زمانی نیستند. اما بسیاری از محققان بر اهمیت درجه حرارت بر شرایط خشکسالی تاکید کرده‌اند (Kempes et al., 2008). بدین ترتیب Vicente-Serrano et al. (2010) شاخصی

تعیین رابطه میان این دو شاخص به منظور کاربرد در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد.

### ■ مواد و روش‌ها

#### روش پژوهش

در این پژوهش آمار بارش ماهانه و میانگین درجه حرارت ماهانه برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۷۸-۲۰۰۸) شامل ۶ ایستگاه هواشناسی استان تهران از سازمان تحقیقات منابع آب کشور گرفته شد. جدول ۱ ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. نرمال بودن داده‌ها، صحت و همگنی داده‌ها بررسی شد و بازسازی نواقص آماری با بهره‌گیری روش همبستگی بین ایستگاه‌ها انجام شد.

جدید بر پایه متغیرهای میزان بارش و درجه حرارت و محاسبه تبخیر و تعرق و بیلان آب به نام شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) ارائه کردند. Vicente-Serrano *et al.* (2011) گسترش پدیده خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ را در ایبریان بررسی کردند، در این بررسی تأثیر نوسانات بارش و پدیده گرمایش به صورت جداگانه بر شدت خشکسالی با بهره‌گیری شاخص‌های SPI و SPEI مورد پژوهش قرار گرفت. بدین ترتیب با توجه به اهمیت بهره‌گیری روش‌های جدید و کاربردی تعیین ویژگی‌های خشکسالی که بر پایه متغیرهای مؤثر در بیلان آب استوار باشد، هدف از این بررسی، بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های استان تهران و بررسی توزیع مکانی و زمانی آن با استفاده دو شاخص SPEI و SPI و مقایسه و

جدول ۱. ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد بررسی (دوره ۳۰ ساله)

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بلندی از سطح دریا (متر)	نرمال دما (درجه سانتیگراد)	نرمال بارش (میلیمتر)
۱	فیروزکوه	۳۹° ۵۲'	۴۳° ۳۵'	۱۸۱۰	۹/۲۲	۳۴۳/۶۳
۲	کریم‌آباد	۳۵° ۵۰'	۵۰° ۳۵'	۱۱۶۰	۱۳/۵	۲۲۱/۵
۳	لتیان	۴۱° ۵۱'	۴۷° ۳۵'	۱۶۶۰	۱۴/۵	۴۲۱/۶۵
۴	ساروق زیاد	۳۳° ۲۹' ۴۹"	۴۵° ۲۴' ۳۴"	۱۸۰۰	۱۱/۰۳	۲۵۷/۷
۵	جوآباد	۴۱° ۵۱'	۱۳° ۳۵'	۸۸۰	۱۷/۰۱	۱۲۶/۵
۶	زیدشت	۴۱° ۵۰'	۱۰° ۳۶'	۱۷۵۰	۱۰/۵	۴۷۹/۹

مقادیر  $D$  در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad (2)$$

که  $k$  (ماه‌ها) مقیاس زمانی مورد نظر و  $n$  ماه مورد نظر در محاسبه می‌باشد.

یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی نیاز است تا به تواند مقدارهای منفی در

محاسبه شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بر پایه معادله تورنت‌وایت استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارش ( $P$ ) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه  $i$  به صورت رابطه (۱) محاسبه خواهد شد.

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

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به منظور محاسبه این شاخص ابتدا داده های بارش ماهانه استخراج و سری های زمانی تشکیل می گردد. سپس تابع توزیع آماری گاما بر سری داده های بارش حاصل از مرحله قبل بارش داده می شود و احتمالات تجمعی توزیع گاما محاسبه می گردد. در نهایت تابع تجمعی گاما به تابع نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می گردد (Edwards & Mckee, 1997). در این بررسی با توجه به برتری تابع توزیع پیرسون تیپ سه (تابع سه پارامتری)، از این توزیع به جای تابع گاما استفاده گردید. مقادیرهای مثبت این شاخص بیانگر بیشتر بودن بارش از میانه و مقادیرهای منفی بیانگر کمتر بودن بارش از میانه است. بنابراین برای پایش دوره های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار می گیرد. شروع و خاتمه خشکسالی و همچنین طبقه بندی آن نیز همانند شاخص SPEI است (جدول ۲). این شاخص می تواند در مقیاس های زمانی مختلف محاسبه شود. این شاخص به طور رایج در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Morid et al., 2006; Lorenzo-Lacruz et al., 2010).

داده های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب ترین تابع توزیع نشان داده است که تابع لجستیک لگاریتمی برازش خوبی بر سری زمانی داده ها در مقیاس های زمانی مختلف دارد (Vicente-Serrano et al., 2010). بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده های D بر پایه تابع لجستیک لگاریتمی به صورت رابطه (۳) می باشد.

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

که  $\alpha$  پارامتر مقیاس،  $\beta$  پارامتر شکل و  $\gamma$  پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده  $\infty > D > \gamma$  است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می گردد (Vicente-Serrano et al., 2010). شاخص SPEI می تواند در مقیاس های زمانی مختلف مانند یک، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه محاسبه گردد. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است. این شاخص می تواند برای پایش دوره های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. خشکسالی هنگامی شروع می شود که مقدار شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می یابد. طبقه بندی این شاخص در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقات مختلف شاخص های SPI و SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010; Morid et al., 2006)

توصیف وضعیت	طبقات شاخص
رطوبت بسیار شدید	بیشتر از ۲
رطوبت شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

### تعیین دوره‌های بازگشت تداوم‌های خشکسالی

با توجه به مقادیر منفی متوالی شاخص‌های خشکسالی تداوم آن تعیین شد. سپس برای محاسبه دوره‌های بازگشت تداوم‌های خشکسالی در سه مقیاس زمانی کوتاه مدت (۳ ماهه)، میان‌مدت (۱۲ ماهه) و بلندمدت (۲۴ ماهه) از نرم افزار SMADA استفاده شد و توابع توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون تیپ III، لوگ پیرسون تیپ III و توزیع گامبل بر داده‌ها برازش داده شد و بهترین توزیع احتمال برای تعیین دوره‌های بازگشت انتخاب شد. برای انتخاب بهترین توزیع احتمال، روش‌های مختلفی وجود دارد که در این بررسی از روش ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد و بهترین توزیع احتمال برای اکثر ایستگاه‌ها، لوگ پیرسون تیپ III انتخاب شد و بر این پایه مقادیر احتمال و دوره‌های بازگشت تعیین شدند.

### نتایج

شاخص‌های SPI و SPEI برای ایستگاه‌های منتخب به طور جداگانه محاسبه گردیده و به دلیل تشابه بررسی و نتایج، تنها نتایج برخی از ایستگاه‌ها ارائه شده است. شکل‌های ۱ و ۲ به عنوان نمونه ارزیابی شاخص‌های SPI و SPEI را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای دو ایستگاه فیروزکوه و لتیان نشان می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زیاد است. با افزایش مقیاس‌های زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد اما تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. در هر دو ایستگاه در اکثر موارد هماهنگی در دوره‌های خشک و مرطوب در هر دو شاخص دیده شود.

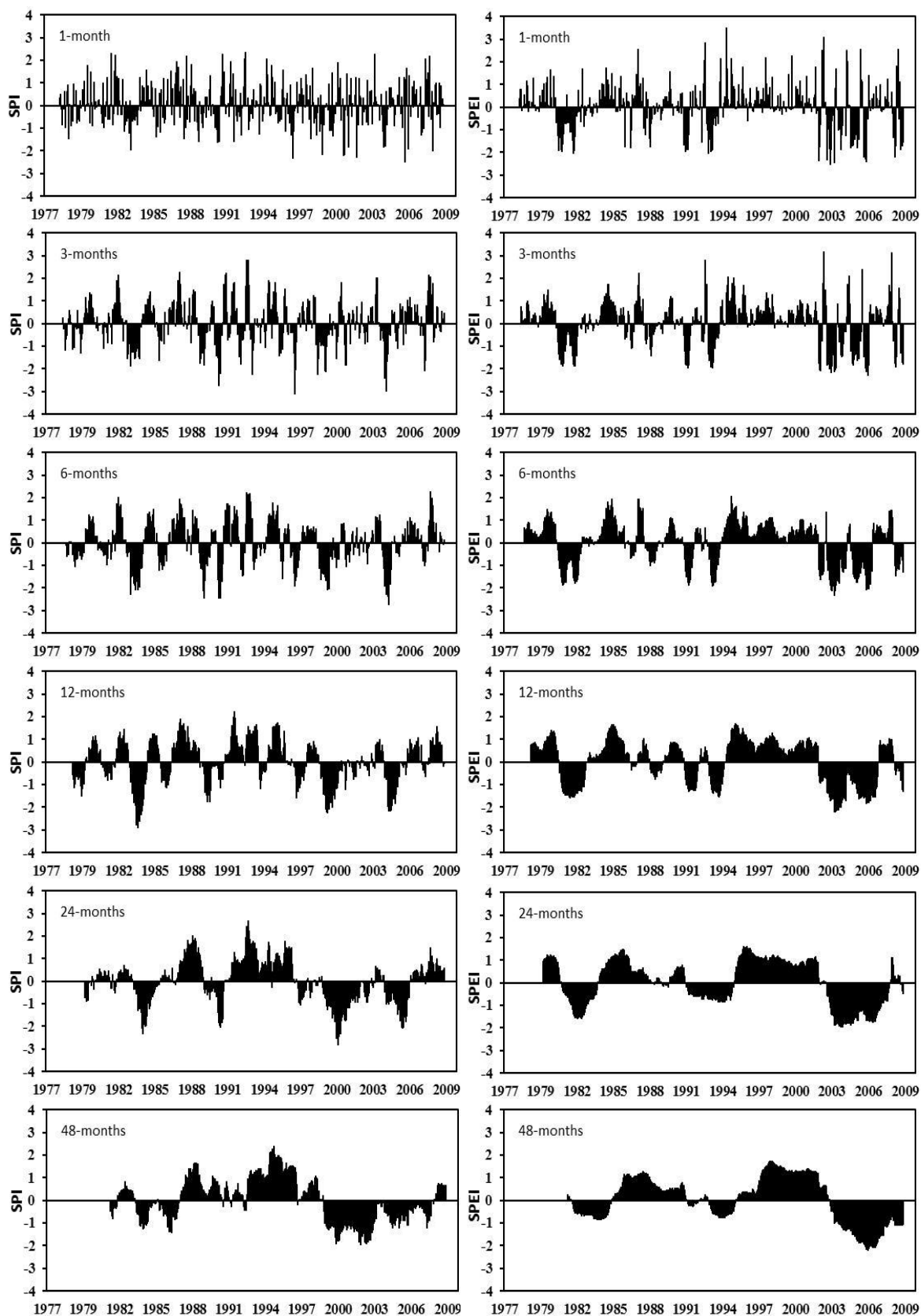
شکل ۳ نمودار پراکنش بین دو شاخص را برای مقیاس زمانی یک ماهه در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده است، اما شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی داشته است. همچنین با افزایش مقیاس زمانی

تداوم خشکسالی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۱ بیشترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۷۸،  $p < ۰/۰۰۱$ ) برای ایستگاه لتیان و کریم آباد و کمترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۴۵،  $p < ۰/۰۰۱$ ) برای ایستگاه فیروزکوه مشاهده شد.

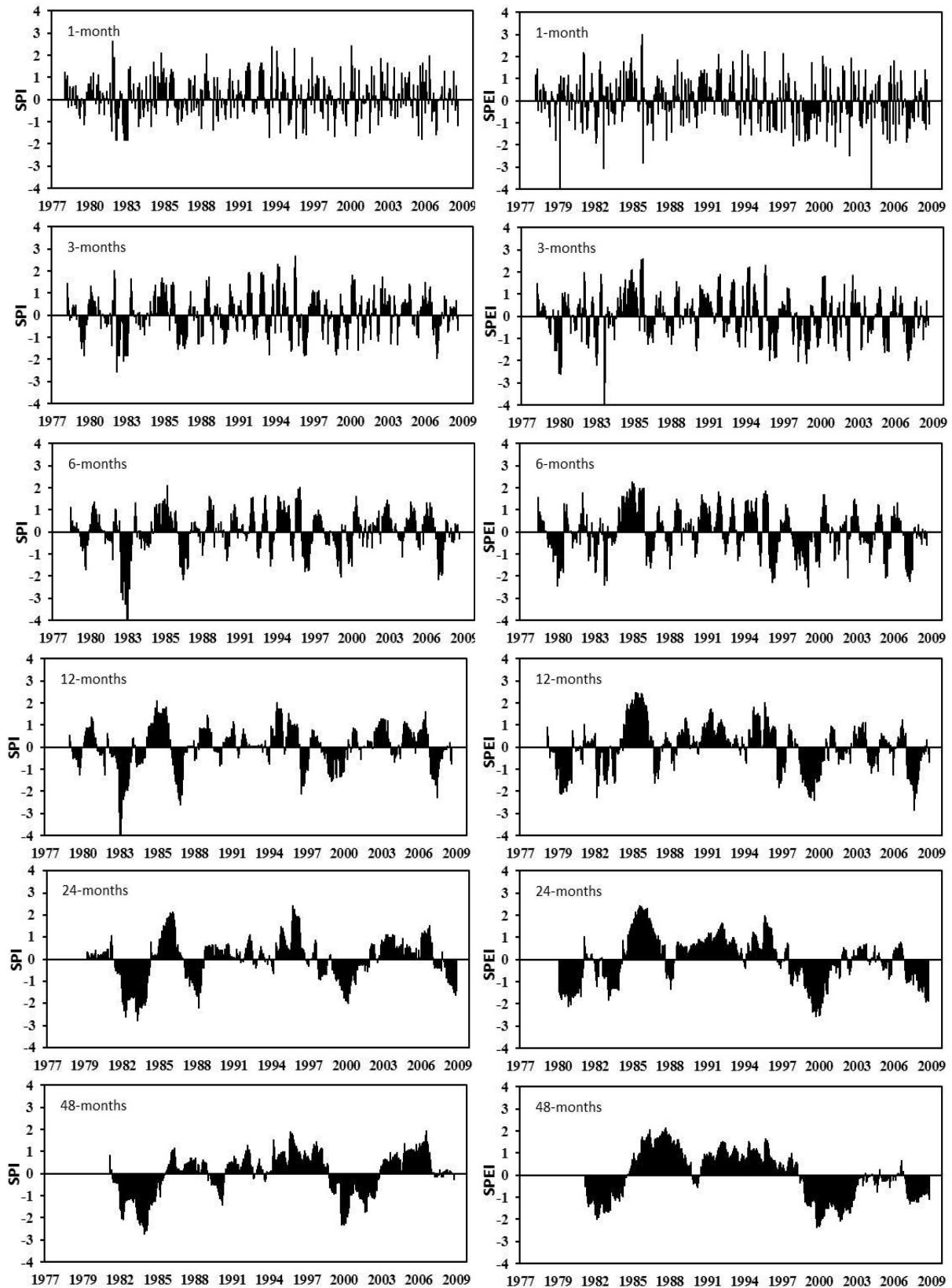
مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی ایستگاه‌ها بین ۰/۴۳ تا ۰/۹۱ برای مقیاس‌های زمانی مختلف تغییر می‌نماید که همبستگی معنی‌دار بین دو شاخص را نشان می‌دهند (جدول ۳).

شکل ۴ ارزیابی شاخص‌های SPI و SPEI را برای تمامی ایستگاه‌های منتخب در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه در دوره زمانی ۳۰ ساله نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود، در هر دو شاخص بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال (N) می‌باشد و کمترین فراوانی مربوط به طبقه خشکسالی بسیار شدید (EW) است. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، تعداد وقوع خشکسالی بیشتر اما تداوم آن‌ها کمتر بوده است و بر عکس در مقیاس‌های زمانی طولانی‌مدت رخداد خشکسالی کاهش اما تداوم آن زیاد شده است. شاخص SPEI طبقات خشکسالی را در مقیاسه با SPI به خوبی تفکیک می‌نماید و میانگین تداوم خشکسالی‌ها در شاخص SPEI طولانی‌مدت تر از تداوم خشکسالی‌ها در SPI می‌باشد.

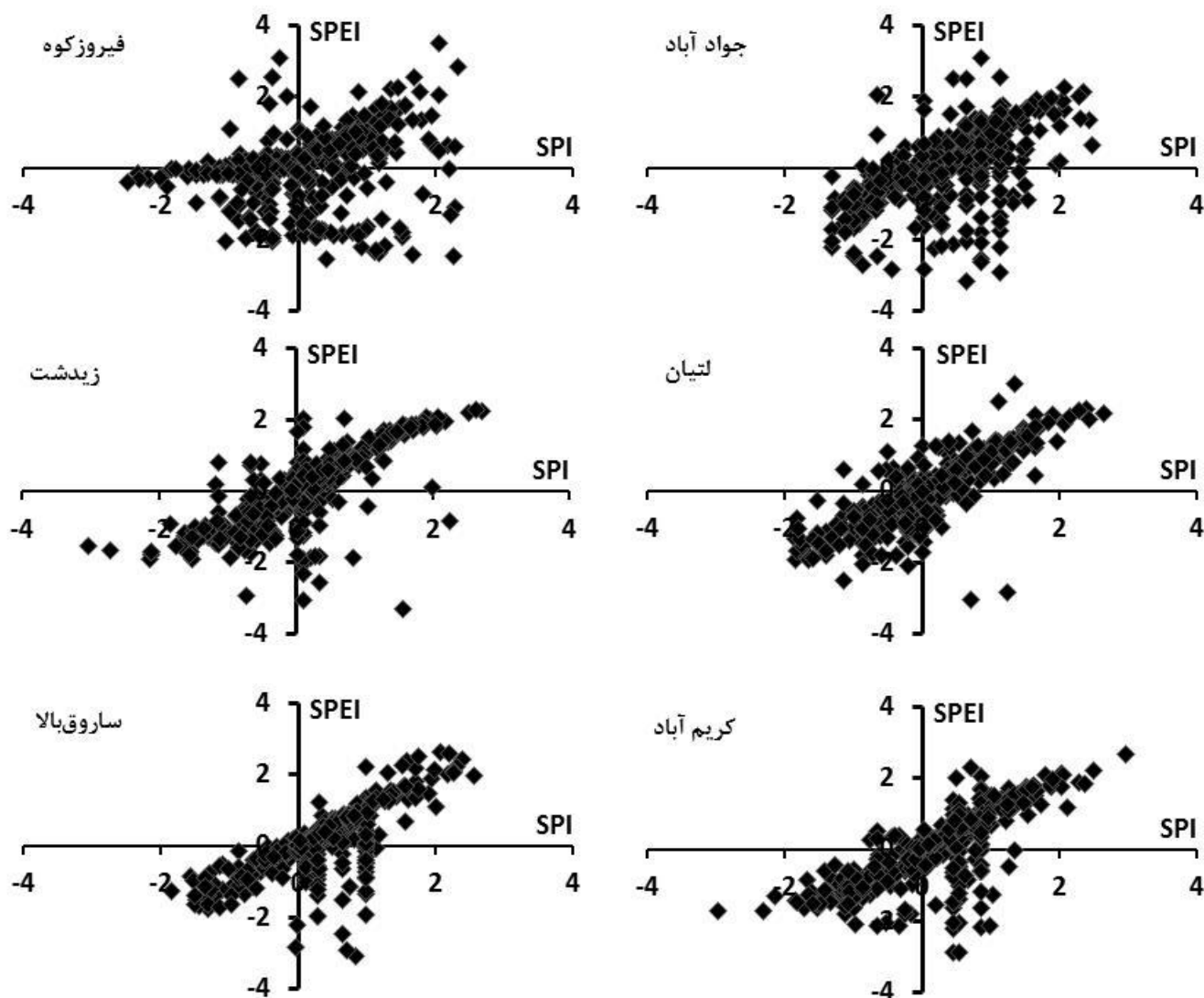
شکل ۵ نمودار دوره‌ی بازگشت برای تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در ایستگاه فیروزکوه مقیاس زمانی سه ماهه کمترین روند افزایشی را طی دوره بازگشت‌های طولانی‌مدت داشته است به طوری که در دوره بازگشت ۱۰ سال مقدار ۱۰/۰۵ را داشته و در دوره بازگشت ۲۵ سال ۱۸/۳۲، ۵۰ سال ۲۷/۸۲، ۱۰۰ سال ۴۱/۳۶ و ۲۰۰ سال ۶۰/۴۹ را داراست در حالی که در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه روند افزایشی قابل توجهی را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه: در مقیاس ۱۲ ماهه از عدد ۴۸/۹۳ در دوره بازگشت ۱۰ ساله، به اعداد ۹۵/۱۷ در دوره ۲۵ ساله، ۱۵۵/۹۱ در ۵۰ ساله، ۲۵۴/۳۷ در ۱۰۰ ساله و ۴۱۴/۱۹ در دوره بازگشت ۲۰۰ سال می‌رسد.



شکل ۱. مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه فیروزکوه



شکل ۲. مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه لتیان

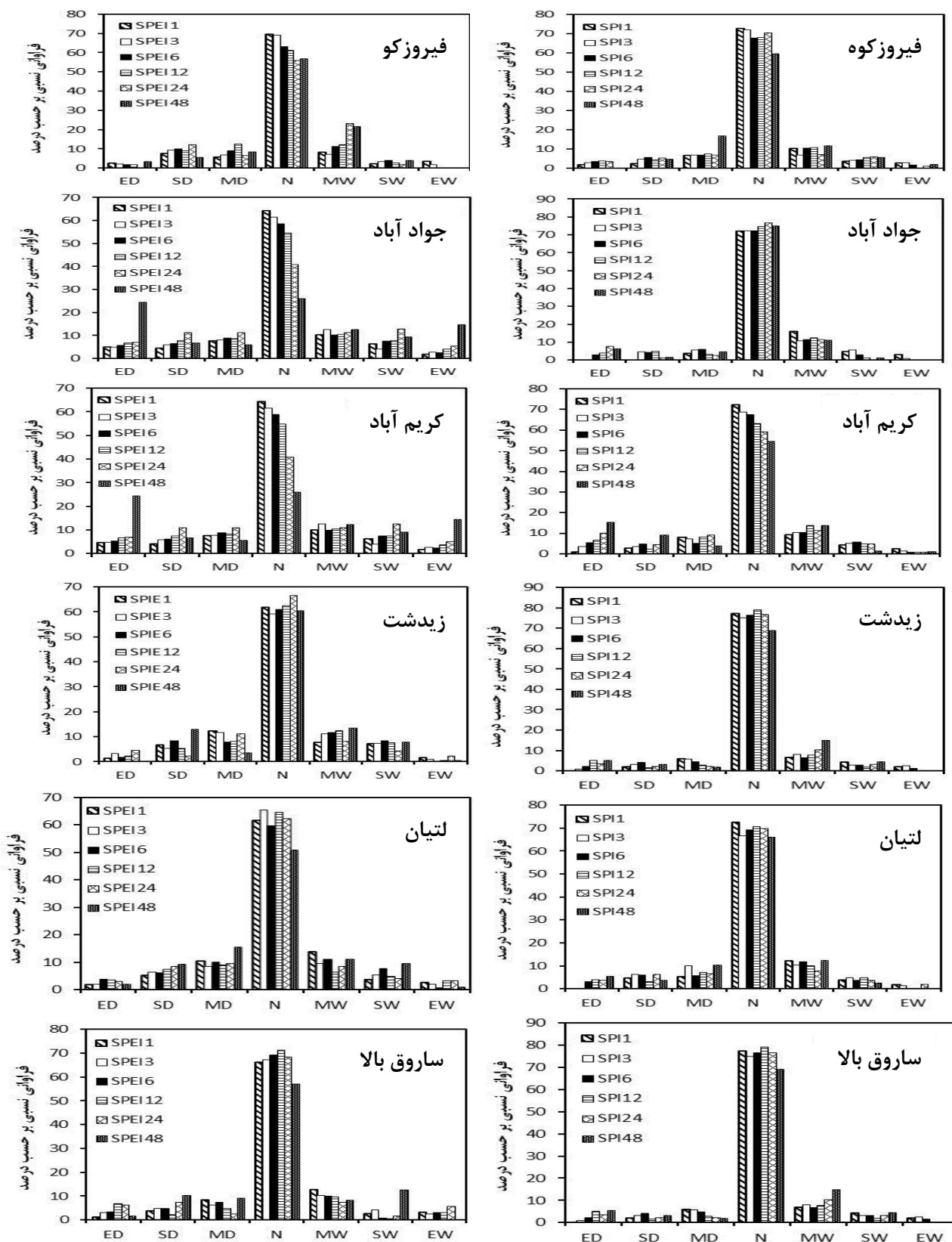


شکل ۳. ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس زمانی یک ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

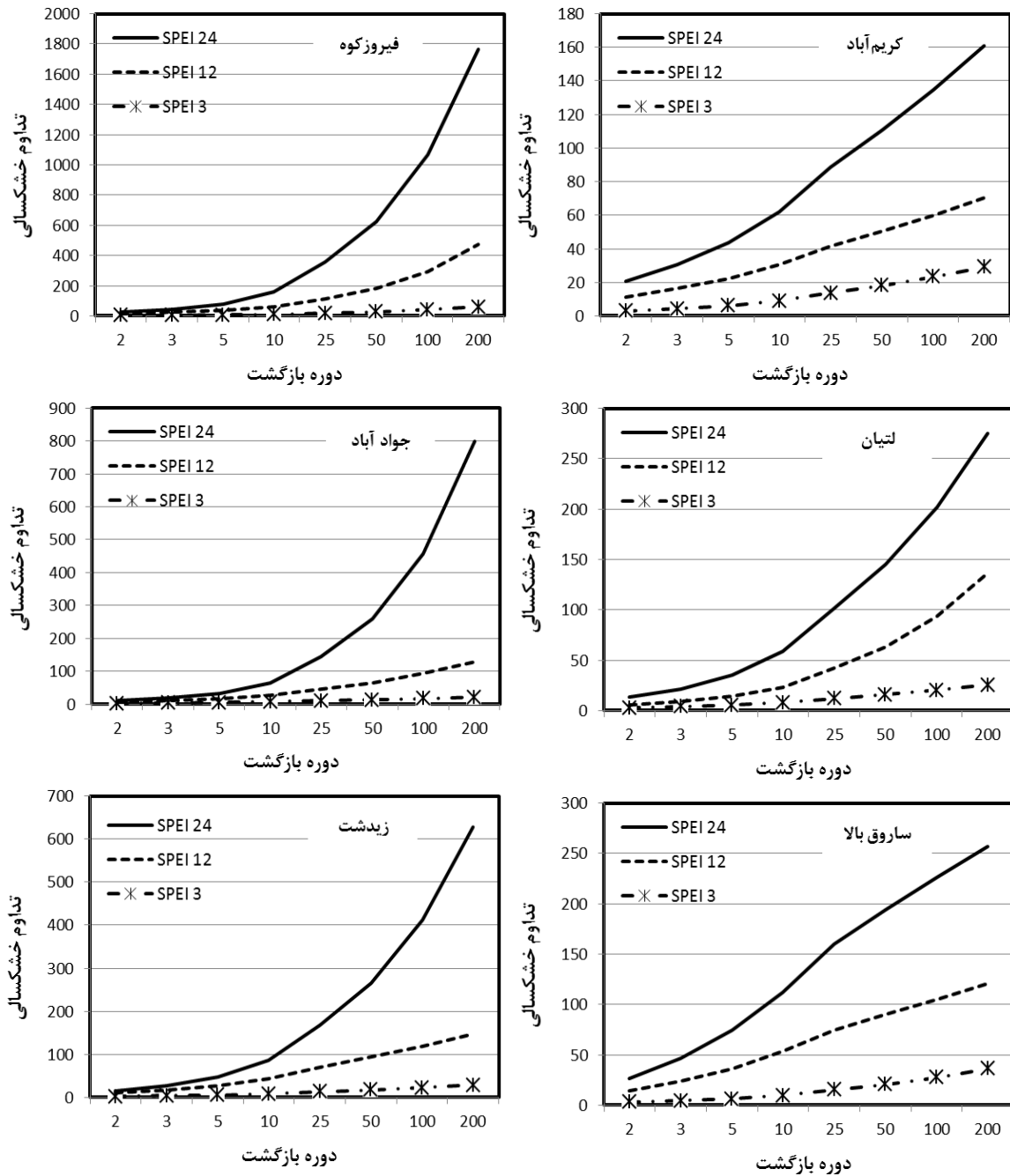
جدول ۳. مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی ایستگاه‌ها منطقه مطالعاتی

ایستگاه	تداوم					
	۱ ماهه	۳ ماهه	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
فیروزکوه	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۷۴	۰/۷۳
کریم آباد	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۵۷
لتیان	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۴۴	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۵۹
ساروق زیاد	۰/۷۶	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۴۹
جوادآباد	۰/۷	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۸
زیدشت	۰/۷۳	۰/۸۹	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۷۳





شکل ۴. درصد فراوانی نسبی طبقات شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره آماری ۱۹۷۸-۲۰۰۸  
 ED: خشکسالی بسیار شدید، SD: خشکسالی شدید، MD: خشکسالی متوسط، N: نرمال، MW: رطوبت متوسط،  
 SW: رطوبت شدید، EW: رطوبت بسیار شدید.



شکل ۵. رابطه شدت - مدت - فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

شاخص بارش استاندارد شده نشان داده‌اند، با افزایش دوره‌های بازگشت و مقیاس زمانی، تداوم خشکسالی‌ها بیشتر می‌شود. در پژوهش حاضر نیز با توجه به نمودارها با افزایش دوره زمانی، روند دوره بازگشت نیز روند افزایشی دارد و این افزایش در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، روند افزایشی کمتر از مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر را داراست. همچنین Vicente-Serrano *et al.* (2011) در

#### ■ بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در استان تهران برآورد و مقایسه شدند. نتایج این بررسی در بررسی کارایی شاخص SPEI با دیگر بررسی‌ها هماهنگی دارد. همانطور که Nosrati & Zareiee (2013) در پژوهش خود در استان آذربایجان غربی با بهره‌گیری

کاهش یافته اما بر تداوم آن افزوده شده است. شاخص SPEI طبقات خشکسالی را در مقایسه با SPI بیشتر نشان می‌دهد که می‌تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییر بارش و در نظر گرفتن متغیر درجه حرارت بر این شاخص باشد. هر چند بارش نقش ویژه‌ای در تغییرات زمانی خشکسالی ایفا می‌نماید اما تأثیر درجه حرارت معنی‌دار بوده و موجب تشدید پدیده خشکسالی و در نهایت موجب کاهش شدیدتر منابع آب می‌گردد و می‌تواند ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک را بهتر بیان نماید (نصرتی، ۱۳۹۱) و افزایش دما در آینده قابل چشم‌پوشی نبوده و همچنین میانگین تداوم خشکسالی‌ها در شاخص SPEI طولانی‌مدت‌تر از تداوم خشکسالی‌ها در SPI می‌باشد. شاخص خشکسالی SPEI با در نظر گرفتن اثرات ترکیبی بارش و تبخیر و تعرق می‌تواند تغییرات منابع آب را در مقایسه با شاخص‌هایی که تنها از بارش استفاده می‌کنند، توجیه نماید که از محاسن این شاخص محسوب می‌گردد. بنابراین این شاخص می‌تواند یک شاخص حساس به خشکسالی هیدرولوژیک و راهی برای ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک باشد که اهمیت پایش آن توسط محققان دیگر تایید شده است.

تدوین برنامه کاهش اثرات خشکسالی و پیش‌بینی آن بر پایه بررسی شاخص‌های خشکسالی امکان‌پذیر است. در صورتیکه یک شاخص به درستی انتخاب شود و از پایه آماری درستی برخوردار باشد، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل می‌تواند اطلاعات مناسبی را در خصوص پیش‌بینی زمان وقوع و حجم خسارات احتمالی وارد شده در اختیار قرار دهد در نتیجه پژوهش‌های خشکسالی، به ویژه با در نظر گرفتن فرآیند گرم شدن زمین با ایجاد شاخص‌هایی که توانایی پایش خشکسالی را بر پایه متغیرهای مؤثر داشته باشند (مانند SPEI)، الزامی است.

#### ■ سپاسگزاری

این پژوهش با بهره‌گیری اعتبارات پژوهشی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است که تشکر و قدردانی می‌گردد.

بررسی تأثیر فرآیند گرم شدن بر خشکسالی‌ها و منابع آب در اسپانیا از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI نشان دادند که بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته و نتایج دو شاخص خشکسالی مورد استفاده مشابه بوده است. در ایران نیز (Morid et al. (2006) با مقایسه هفت شاخص خشکسالی بارش در استان تهران نشان دادند که شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده می‌تواند آغاز خشکسالی را به خوبی نشان دهند. همچنین (Nosrati et al. (2009) شاخص روزانه خشکسالی مؤثر را در اقلیم‌های مختلف کشور محاسبه و ارتباط آن را با منابع آب قابل دسترس تایید کردند.

تأثیرپذیری خشکسالی از عوامل متعدد اقلیمی، مانع از تعریف روشن و جامعی از آن شده است؛ چرا که بسته به تفاوت‌های اقلیمی، نیازها و نظام‌های موجود و راهبردهای اتخاذ شده در نقاط مختلف، می‌توان تعاریف متفاوتی از پدیده خشکسالی ارائه کرد. برای پایش خشکسالی شاخص‌های گوناگونی در مقیاس‌های متفاوت زمانی ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. با بررسی این شاخص‌ها در مناطق مختلف می‌توان مقدار سازگاری آنها را با ویژگی‌های اقلیمی آن مناطق تعیین کرد. یکی از محدودیت‌های شاخص‌های رایج مانند شاخص بارش استاندارد شده (SPI) عدم لحاظ بیلان آب بر پایه مقدار تبخیر و تعرق می‌باشد. شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، بیلان آب را در محاسبه شاخص خشکسالی لحاظ می‌نماید. به طوری که مبنای نظری شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برآزش بر تابع چگالی احتمال گاما می‌باشد که در بررسی‌های اخیر با تابع توزیع پیرسون تیپ سه به دلیل برآزش مناسب‌تر جایگزین شده است. همچنین در شاخص SPEI برآزش با تابع چگالی احتمال لجستیک لگاریتمی را مبنا قرار می‌دهد. بدین ترتیب تفاوت در توابع توزیع مورد استفاده نشان می‌دهد که لازم است آزمون اولیه در انتخاب توزیع مناسب صورت گیرد. در این بررسی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، تعداد وقوع خشکسالی بیشتر بوده اما تداوم آنها کمتر است و برعکس در مقیاس‌های زمانی طولانی مدت رخداد خشکسالی

## ■ منابع

۱. انصافی مقدم، ط. (۱۳۸۶). ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۴ (۲)، ۲۷۱-۲۸۸.
۲. بذرافشان، ج. (۱۳۸۱). مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۳. محمدیان، الف.، کوهی، م.، آدینه بیگی، الف.، رسولی، ج.، و بذرافشان، ب. (۱۳۸۹). مقایسه پایش خشکسالی با بهره‌گیری شاخص‌های SPI، DI، و PNI و پهنه بندی آن‌ها (بررسی موردی: استان خراسان شمالی). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۷ (۱)، ۱۷۷-۱۸۴.
۴. نصرتی، ک. (۱۳۹۱). تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه آبخیز سفیدرود با بهره‌گیری از شاخص جریان پایه. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۲ (۲)، ۲۵۷-۲۶۷.
۵. نصرتی، ک.، و آذرینوند، ح. (۱۳۸۱). تحلیل منطقه‌ای شدت - مدت - دوره بازگشت خشکسالی با بهره‌گیری داده‌های بارندگی. *بیابان*، ۷ (۱)، ۴۹-۶۱.
۶. نصرتی، ک.، و کاظمی، ی. (۱۳۹۰). پایش روزانه خشکسالی و منابع آب در اقلیم‌های مختلف ایران. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۲ (۱)، ۷۹-۹۴.
7. Bahlme, H., & Mooley, D. (1980). Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108, 1197-1211.
8. Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 155.
9. Gibbs, W., & Maher, J. (1967). Rainfall declines as drought indicators. *Bureau of meteorology Bulletin*, 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
10. Kempes, C., Myers, O., Breshears, D., & Ebersole, J. (2008). Comparing response of Pinus edulis tree-ring growth to five alternate moisture indices using historic meteorological data. *Journal of Arid Environments*, 72, 350-357.
11. Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., García-Ruiz, M., & Cuadrat, J. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386, 13-26.
12. McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. The Conference of Eight on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.
13. Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26(7), 971-985.
14. Nosrati, K., Eslamian, S., Shahbazi, A., Malekian, A., & Saravi, M. M. (2009). Application of daily water resources assessment model for monitoring water resources indices. *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, 13, 88-99.
15. Nosrati, K., & Zareiee, A. R. (2013). Assessment of meteorological drought using SPI in West Azarbaijan Province, Iran. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(4), 563-569.
16. Palmer, W. (1965). Meteorological drought. U.S. Dept. of Commerce Weather Bureau Research, 45.
17. Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Drummond, A., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Beguería, S., & Zabalza, J. (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006). *Climate Research*, 48, 203-212.

18. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
19. Vicente-Serrano, S. M. (2006). Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management*, 20, 37–60.
20. Van Rooy, M. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.



## **Application and Comparison of Standardized Precipitation and Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices for Evaluating Meteorological Drought Condition of Tehran Province**

**K. Nosrati<sup>1\*</sup>, M. Mohseni Saravi<sup>2</sup> and R. Shahbazi<sup>3</sup>**

1. Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Iran

2. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

3. Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

\* Corresponding author: k\_nosrati@sbu.ac.ir

**Received: 2013.08.03**

**Accepted: 2014.06.15**

### **Abstract**

Numerous indicators for drought monitoring in different time scales have been used for monthly and yearly data series. One of the limitations of conventional indicators such as the Standardized Precipitation Index (SPI) is no attention to the water balance based on the amount of evapotranspiration. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) which is based on precipitation and potential evapotranspiration incorporates the water balance in the drought index. The purpose of this study is investigating the intensity, duration and frequency of the meteorological droughts in Tehran province using SPI and SPEI in order to determine the relationship between these indices for optimized management of water resources. In this study, the data of monthly precipitation and average monthly temperature for a period of 30 years (1978-2008) in six gauging stations in Tehran province were used. The results indicated that there is a significant correlation between SPI and SPEI while SPEI show a quick response to the meteorological drought.

**Keywords:** Drought intensity; Standardized Precipitation Index (SPI); Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI); Tehran province