

## ارزیابی و پایش پدیده خشکسالی بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در استان هرمزگان

محمود آباده<sup>۱\*</sup> و محمد خسروشاهی<sup>۲</sup>

۱- مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

پست الکترونیک: mahmood.abadeh@gmail.com

۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴

### چکیده

پدیده خشکسالی یکی از مهمترین بلاهای طبیعی است که جوامع انسانی را تهدید می‌کند. برای پایش این پدیده شاخص‌های گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق ارزیابی و پایش پدیده خشکسالی بر اساس دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در استان هرمزگان است. شاخص SPI تنها بر اساس داده‌های بارش و شاخص SPEI بر اساس داده‌های بارش و مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (روش تورنت وایت) خشکسالی را محاسبه می‌کند. برای انجام این تحقیق از داده‌های ماهانه بارش و داده‌های میانگین درجه حرارت ماهانه پنج ایستگاه سینوپتیک بندرعباس، بندر لنگه، حاجی‌آباد، میناب و بندر جاسک برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) استفاده شد. نتایج نشان داد هر چند مقادیر شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی بوده‌اند اما شاخص SPEI نسبت به خشکی حساس‌تر و پاسخ سریع‌تری نسبت به آن داشته است و دوره‌های خشک و مرطوب طولانی‌تری نشان داده است. در مورد مقایسه بین ایستگاهی نیز مشخص شد که بین مقادیر شاخص SPI ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است، همچنین تفاوت معنی‌داری در مقادیر شاخص SPEI بین ایستگاهی نیز دیده نشده است. در ادامه مشخص شد که پراکنش شاخص SPI در سطح استان هرمزگان یکنواخت‌تر از پراکنش شاخص SPEI بوده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد، استان هرمزگان.

### مقدمه

مخاطره‌آمیز، تعیین دقیق زمان شروع و پایان خشکسالی دشوار است و اثرهای آن به آرامی نمایان و به طور گسترده در ناحیه جغرافیایی وسیعی گسترش می‌یابد. از سویی خشکسالی خود می‌تواند سبب بروز و یا تشدید اثر پدیده‌های مخاطره‌آمیز دیگر مانند سیل، تندباد و طوفان گردد (Keyantash & Dracup, 2002). برای پایش خشکسالی شاخص‌های گوناگونی در مقیاس‌های متفاوت زمانی ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفته است.

زندگی بشر همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار دارد که برخی از آنها ناشی از فرایندهای آب و هوایی است. بررسی پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی نشان می‌دهد که خشکسالی در رده نخست فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی قرار دارد (Zare Abyaneh et al., 2015). برآورد اثرها و خسارتهای خشکسالی تا حد زیادی دشوار است، زیرا برخلاف سایر پدیده‌های

واقع در نقاط مختلف اقلیمی جهان توسط سرانو و همکاران نشان داده شده است (Serrano Vicente *et al.*, 2010). البته تا به امروز تحقیقات متعددی برای بررسی پدیده خشکسالی در سرتاسر کره زمین با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI انجام شده است. برخی از این تحقیقات نشان داد که نتایج شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی دار بوده اما شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع تری نسبت به خشکسالی داشته است (Nosrati *et al.*, 2014). Zabihی و Mostafazadeh (۲۰۱۶)، در تحقیقی گزارش کردند که بین دو روش SPI و SPEI در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی تفاوت وجود دارد، همچنین شاخص SPEI دوره‌های طولانی تری از خشکی را نشان داده است. Salehi Tabas و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیق اثر اقلیم بر شدت و فراوانی خشکسالی در خراسان جنوبی نشان دادند که هر چه دوره زمانی شاخص SPI از بازه زمانی کوتاه مدت به بلندمدت افزایش یابد مقادیر شدت خشکسالی بیشتر می‌شود. Babolhakami و همکاران (۲۰۲۰)، طی مطالعه‌ای با استفاده از شاخص SPI در حوضه رودخانه نکا بیان کردند که وقایع خشکسالی طی دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش و دوره‌های مرطوب و نرمال نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. Abbasi و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی گزارش کردند که بر اساس شاخص SPEI در ایستگاه سینوپتیک سقز که یکی از ایستگاه‌های حوضه آبخیز دریاچه ارومیه است، هشت دوره طولانی مدت خشکسالی در طی یک دوره آماری ۴۲ ساله رخ داده است. هدف از این تحقیق بررسی چگونگی رخداد خشکسالی در استان هرمزگان با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI و مقایسه و تعیین رابطه میان این دو شاخص برای مقابله با این پدیده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق پس از بررسی و شناسایی ایستگاه‌های هواشناسی استان، ایستگاه‌هایی که دارای آمار طولانی مدت

شاخص‌ها بیشتر از آمار بلندمدت هواشناسی-هیدرولوژی اکتباس شده و با کمک الگوهای آمار و احتمالات تحلیل می‌شوند، در صورتی که شاخص به درستی انتخاب شود و از پایه آماری درستی برخوردار باشد، نتایج حاصل از تحلیل می‌تواند اطلاعات مناسبی را در مورد پیش‌بینی زمان وقوع و حجم خسارتهای احتمالی وارد شده در اختیار قرار دهد (Nosrati & Azarnivand, 2002). درک اینکه بارندگی تأثیرهای مختلفی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخائر آب سطحی و برف دارد، منجر به تدوین و ارائه شاخص SPI شد. این شاخص برای پایش خشکسالی اقلیمی ایالت کلرادو آمریکا توسط مک‌کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ ابداع شد (Raziei *et al.*, 2007). برای محاسبه این شاخص، ابتدا با برآزش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهیانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن را محاسبه نموده، سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده مقادیر شاخص SPI محاسبه می‌شود (Raziei *et al.*, 2007; Edwards & McKee, 1997; Guttman, 1999; Lloyd Hughes & Saunders, 2002; McKee *et al.*, 1993; Mishra & Singh, 2010; Mishra *et al.*, 2009; Paulo *et al.*, 2005; Vicek & Huth, 2009). شاخص‌هایی که علاوه بر باران مقدار تبخیر و تعرق را نیز در نظر می‌گیرند، می‌توانند برای پایش تغییرات اقلیمی دوره‌های فعلی و دوره‌های آینده بر مبنای سناریوهای اقلیمی استفاده شوند. در شاخص‌های مختلفی، از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشکسالی استفاده می‌شود که شاخص‌های شدت خشکسالی پالم (PDSI)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) از آن جمله هستند (Zare Abyaneh *et al.*, 2015). مهمترین مزیت شاخص SPEI نسبت به سایر شاخص‌های پایش خشکسالی این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی دارد. این موضوع با استفاده از داده‌های ۱۱ منطقه

نداشت و از سویی برای شناخت بهتر وضعیت خشکسالی استان نیاز به ایستگاهی در این منطقه بود، از این رو از ایستگاه سینوپتیک حاجی آباد نیز با طول دوره آماری ۱۹ ساله استفاده شد. جدول ۱ برخی مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

۳۰ ساله بارش ماهانه و میانگین درجه حرارت ماهانه بودند به عنوان ایستگاه‌های مناسب انجام تحقیق در نظر گرفته شدند. این ایستگاه‌ها عبارت است از: ایستگاه سینوپتیک بندرعباس، بندر لنگه، میناب و بندر جاسک. از آنجا که در شمال استان ایستگاهی با طول دوره آماری ۳۰ ساله وجود

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)
بندرعباس	۲۷/°۲۱۴۷۲	۵۶/°۳۷۲۷۸	۱۰	۲۶/۹۴	۱۷۱/۵
بندر لنگه	۲۶/°۵۲۸۳۳	۵۴/°۸۲۸۳۳	۱۴/۲	۲۷/۷۸	۱۲۹/۵۳
حاجی آباد	۲۸/°۳۱۱۹۴	۵۵/°۹۱۰۵۶	۹۳۱/۸	۲۵/۵۳	۱۸۴/۸۲
میناب	۲۷/°۱۰۶۹۵	۵۷/°۰۸۸۶۱	۲۷	۲۸/۵۷	۲۰۵/۶۸
بندر جاسک	۲۵/°۶۳۷۷۸	۵۷/°۷۶۹۷۲	۴/۸	۲۷/۴۷	۱۱۴/۸۶

(2016). مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده بیشتر بودن بارندگی از میانگین و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده کمتر بودن بارندگی از میانگین است. بر اساس این شاخص خشکسالی هنگامی شروع می‌شود که مقدار شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن پایان می‌یابد. این شاخص می‌تواند برای بررسی دوره‌های خشک و مرطوب استفاده شود و همچنین قابلیت استفاده را برای مجموعه‌های زمانی مختلف دارد (Nosrati et al., 2014). طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۲ نشان داده شده است و برای محاسبه آن از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Akhtari et al., 2007). در این تحقیق این شاخص برای مجموعه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$SPI_n = \frac{P_0 + \sum(P_{-i}) - \mu_n}{\delta_n}$$

که در آن:  $n$  = تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آنها حساب شده،  $P_0$  = مقدار نرمال شده بارش ماه فعلی،  $P_{-i}$

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شاخص استاندارد شده بارش (SPI) بر اساس داده‌های بارش بلندمدت محاسبه می‌شود. این شاخص نخستین بار توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شد (Mostafazadeh & Zabihi, 2016). برای محاسبه این شاخص بعد از استخراج داده‌های بارندگی ماهانه و تعیین مجموعه‌های زمانی، تابع توزیع آماری گاما بر داده‌های بارندگی برازش و احتمالات تجمعی توزیع گاما محاسبه می‌گردد و در نهایت تابع تجمعی گاما به تابع نرمال استاندارد  $Z$  با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شود (Nosrati, 2015). محاسبه شاخص SPI در هریک از مجموعه‌های زمانی از مزیت‌های این شاخص است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثر دوره‌های کوتاه‌مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثر دوره‌های طولانی‌مدت منابع آب را پایش کند (Zare Abyaneh et al., 2015). طول دوره ثبت داده‌های بارش و همچنین ماهیت توزیع‌های احتمالی، نقشی مهم در محاسبه شاخص SPI دارند و این عوامل از جمله محدودیت‌های آن به‌شمار می‌رود (Mostafazadeh & Zabihi,

مبنای اختلاف میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق است. بر این اساس برای محاسبه این شاخص ابتدا تبخیر و تعرق پتانسیل بر پایه رابطه تورنت وایت با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$im = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1.51}$$

که در آن  $im$  نمایه حرارتی ماهانه و  $Tm$  متوسط دمای هوا به سانتیگراد در ماه مورد نظر است. در ادامه نمایه حرارتی سالانه از رابطه (۳) محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$I = \sum_{n=1}^{12} im$$

با استفاده از نمایه حرارتی سالانه ( $I$ ) ضریب  $a$  از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.492$$

رابطه (۴) از رابطه (۶) محاسبه شد.

رابطه (۶)

$$PET = 16Nm\left(\frac{10Tm}{I}\right)^a$$

که در آن  $Nm$  ضریب اصلاحی (با توجه به تعداد روز و تعداد روشنایی هر ماه) است.

همانطور که گفته شد شاخص SPEI بر مبنای اختلاف

= مقدار نرمال شده بارش ماه قبل،  $\mu n$  میانگین بارش  
تجمعی برای  $n$  ماه و  $\delta n$  انحراف معیار مقادیر بارش  
ماه‌هاست.

جدول ۲- مقادیر کمی و طبقات کیفی شاخص‌های SPI و SPEI

(Morid *et al.*, 2006; Serrano Vicente *et al.*, 2010)

مقادیر کمی شاخص خشکسالی	طبقات کیفی شاخص خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید (EW)
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید (SW)
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی معمولی (MW)
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	سال نرمال (N)
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی معمولی (MD)
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید (SD)
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید (ED)

محاسبه شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) نخستین بار توسط ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۱۰) معرفی شد (Jahangir *et al.*, 2019). این شاخص یک تعادل آبی اقلیمی را در مقادیر زمانی مختلف استفاده می‌کند که بر

در ادامه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه (mm) از رابطه (۵) بدست آمد.

رابطه (۵)

$$PET = 16\left(\frac{10Tm}{I}\right)^a$$

در نهایت تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده ماهانه

برای ارائه نتایج انتخاب شدند. شکل ۱، ۲ و ۳ تغییرات دوره های خشک و مرطوب را بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در بازه های زمانی مختلف در سه ایستگاه بندر لنگه، بندرعباس و بندر جاسک نشان می دهند. در هر سه ایستگاه بر اساس هر دو شاخص در بازه های زمانی کوتاه مدت به طور متناوب دوره های خشک و مرطوب کوتاه مدت اتفاق افتاده است، اما با افزایش بازه های زمانی، فراوانی دوره های خشک و مرطوب کاهش اما تداوم آنها افزایش یافته است. در ایستگاه بندرعباس و جاسک بیلان آب بین دو شاخص در بازه زمانی ۴۸ ماهه تقریباً مشابه است اما الگوی بیلان آب در ایستگاه بندر لنگه در این بازه زمانی بین دو شاخص کم و بیش متفاوت است. بر اساس شاخص SPEI بیلان آب در هر سه ایستگاه در بازه زمانی ۴۸ ماهه از ابتدای دوره (سال ۱۹۸۸) تا حدود سال ۲۰۰۰ مثبت بوده است و گاهی این بیلان آب از +۱ بیشتر و عملاً پدیده ترسالی رخ داده است. در این بازه زمانی در ایستگاه بندر لنگه بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ شاهد دوره خشکی و از سال ۲۰۱۰ تا پایان، دوره مرطوب رخ داده است. ایستگاه بندرعباس از سال ۲۰۰۱ تا پایان دوره بر اساس این شاخص بیلان آب منفی داشته است، به طوری که حدود سال ۲۰۱۲ منفی ترین بیلان آبی و عملاً پدیده خشکسالی اتفاق افتاده است. در ایستگاه جاسک بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و بین سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ شاهد دوره خشکی اما بین سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ دوره مرطوب رخ داده است. در ایستگاه بندرعباس در بازه زمانی ۴۸ ماهه شاخص SPI الگوی کم و بیش مشابهی با الگوی SPEI داشته است اما شروع دوره خشکی را با اختلاف چند ماهه نشان داده است. در ایستگاه جاسک نیز بین دو شاخص الگوی مشابهی در بیلان آب دیده می شود، با این تفاوت که پیوستگی الگوی بیلان آب در شاخص SPEI نسبت به SPI بیشتر است، اما در ایستگاه بندر لنگه شاخص SPI در بازه زمانی ۴۸ ماهه شروع دوره خشکی را با تأخیر ۳ سال نسبت به شاخص SPEI نشان می دهد اما بر خلاف شاخص SPEI، دوره خشکی را تا پایین دوره آماری ادامه می دهد.

میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق است. بر این اساس مقادیر اختلاف میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق از رابطه (۷) محاسبه شد.

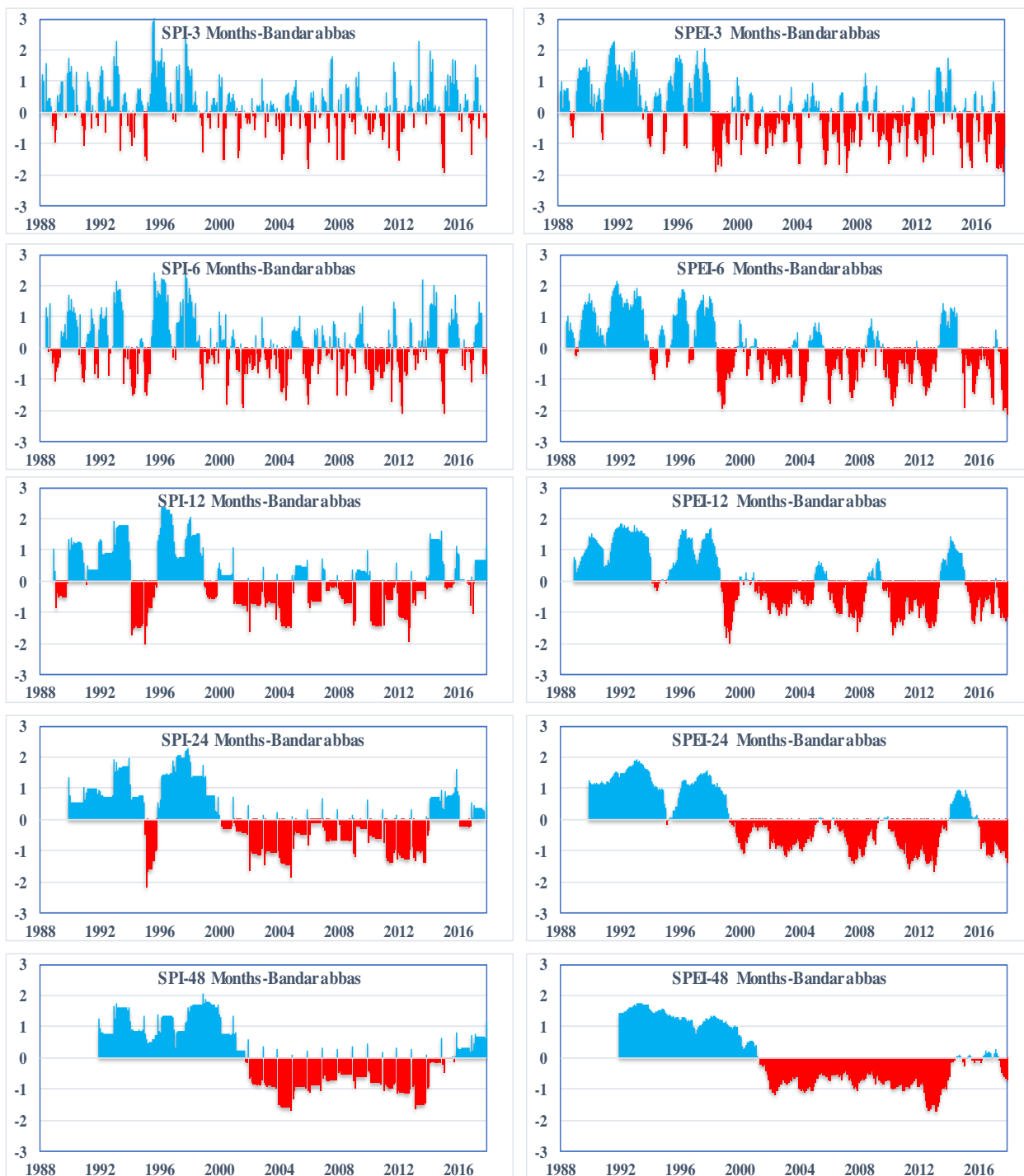
$$D_i = P_i - PET_i \quad (7) \text{ رابطه}$$

که در آن  $D_i$  مقادیر اختلاف میزان بارش و تبخیر و تعرق برای ماه  $i$  و  $P_i$  میزان بارش بر حسب میلی متر برای ماه  $i$  و  $PET_i$  مقدار تبخیر و تعرق برای ماه  $i$  است.

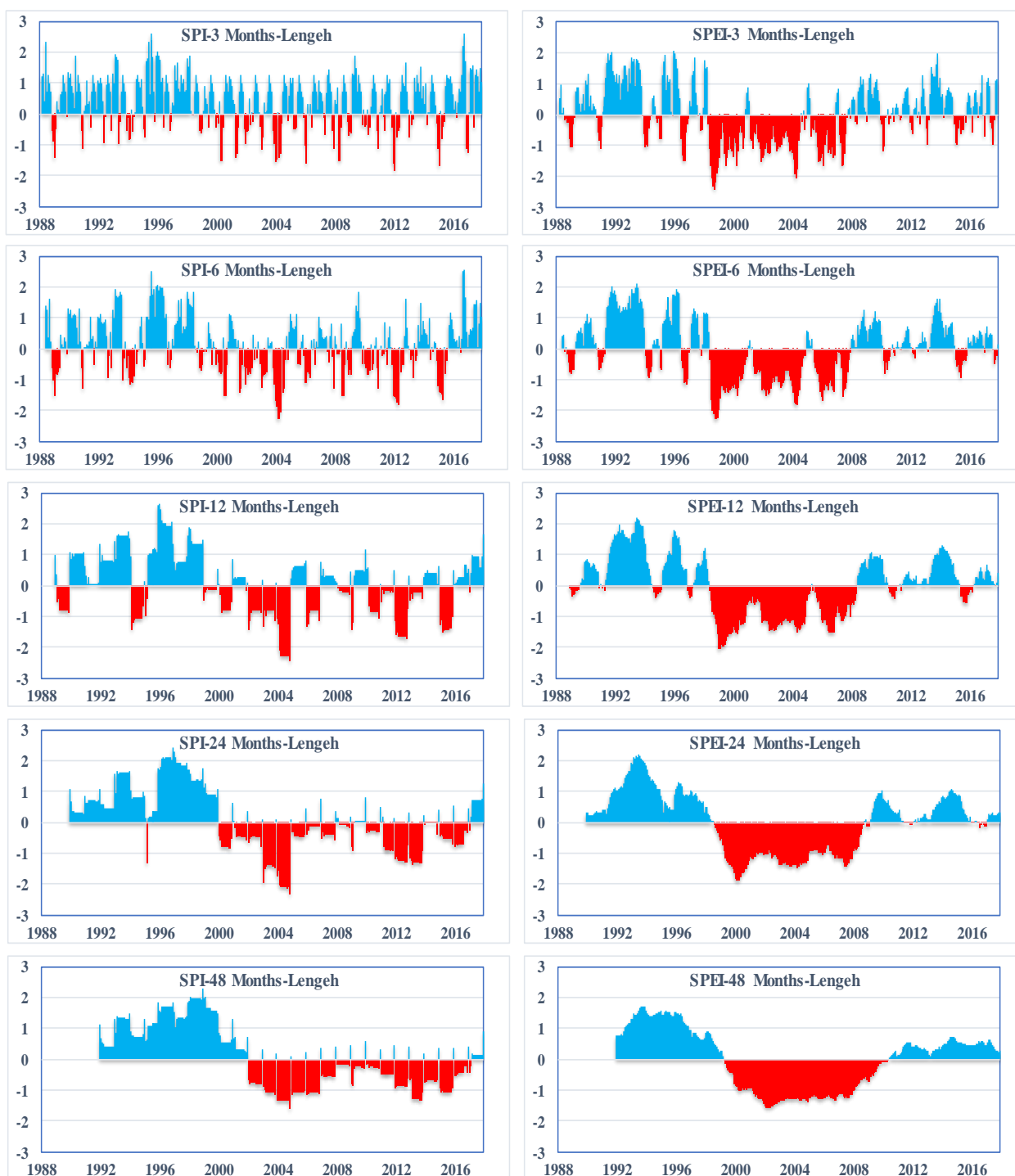
یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی SPEI مورد نیاز است تا بتواند مقادیر منفی را پوشش دهد. Serrano Vicente و همکاران (۲۰۱۰) تابع سه پارامتری چگالی احتمال لوگ - لجستیک را مناسب برازش بر مقادیر  $D_i$  می دانند. در نهایت مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر  $D_i$  به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ تبدیل می شود که برابر مقادیر شاخص SPEI است. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است، بنابراین می تواند با سایر مقادیر SPEI در مکان و زمان های دیگر مقایسه شود. مقادیر SPEI برابر صفر به معنای مقادیر منطبق با ۵۰ درصد احتمال تجمعی  $D$  است (Serrano Mostafazadeh & Zabihi, 2016; Vicente et al., 2010). طبقه بندی این شاخص نیز مانند شاخص SPI است و در این تحقیق برای مجموعه های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد.

## نتایج

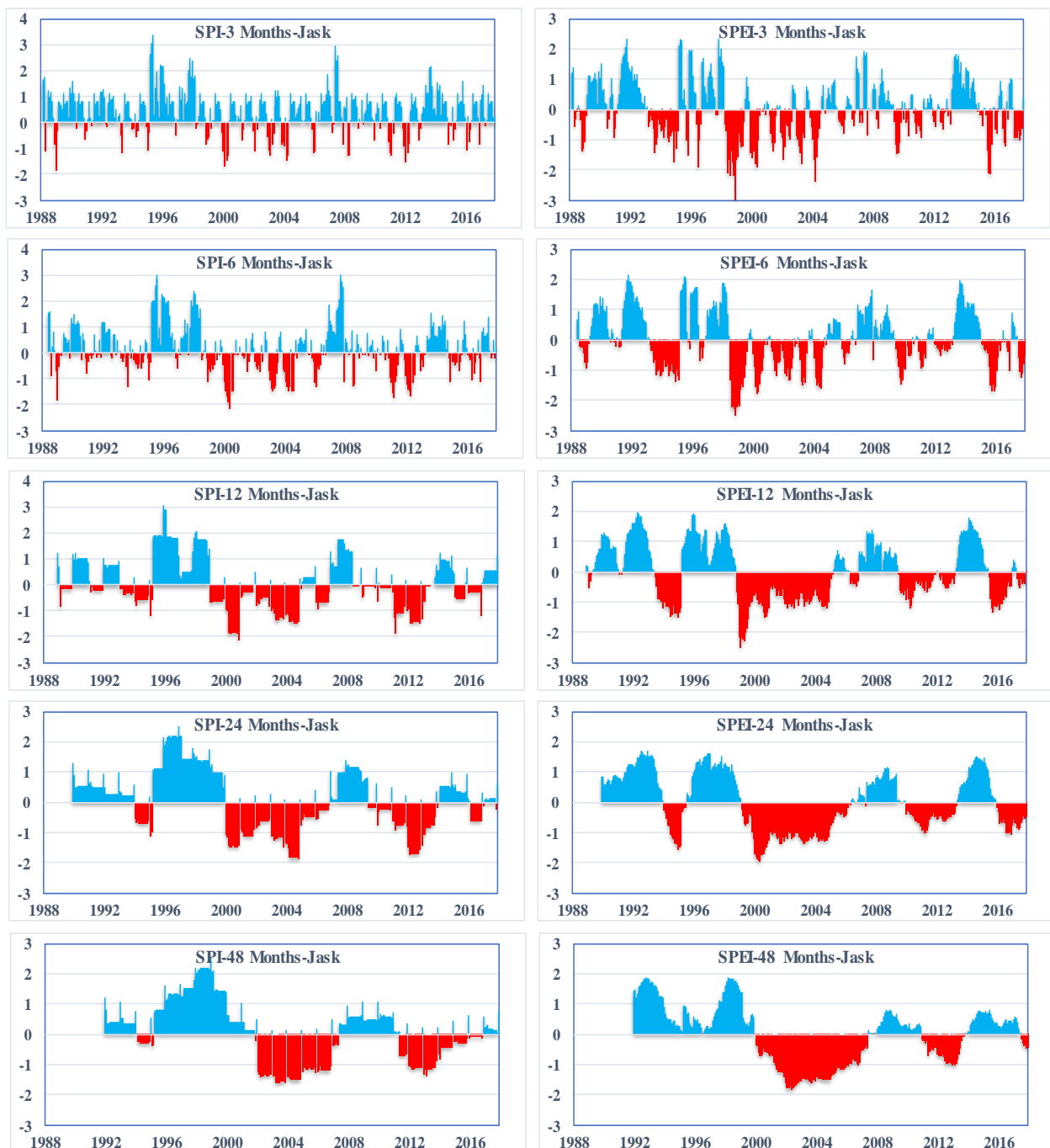
تغییرات دوره های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص SPI و SPEI به تفکیک برای ایستگاه های سینوپتیک بندرعباس، بندر لنگه، حاجی آباد، میناب و بندر جاسک در بازه زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی و پایش شد. در این تحقیق به دلیل حجم بالا و نتایج کم و بیش مشابه و همچنین توجه به موقعیت و پراکنش جغرافیایی مناسب ایستگاه ها، سه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس (واقع در مرکز استان)، بندر لنگه (واقع در غرب استان) و بندر جاسک (واقع در شرق استان)



شکل ۱- تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در بازه‌های زمانی مختلف در ایستگاه بندرعباس



شکل ۲- تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در بازه‌های زمانی مختلف در ایستگاه بندر لنگه

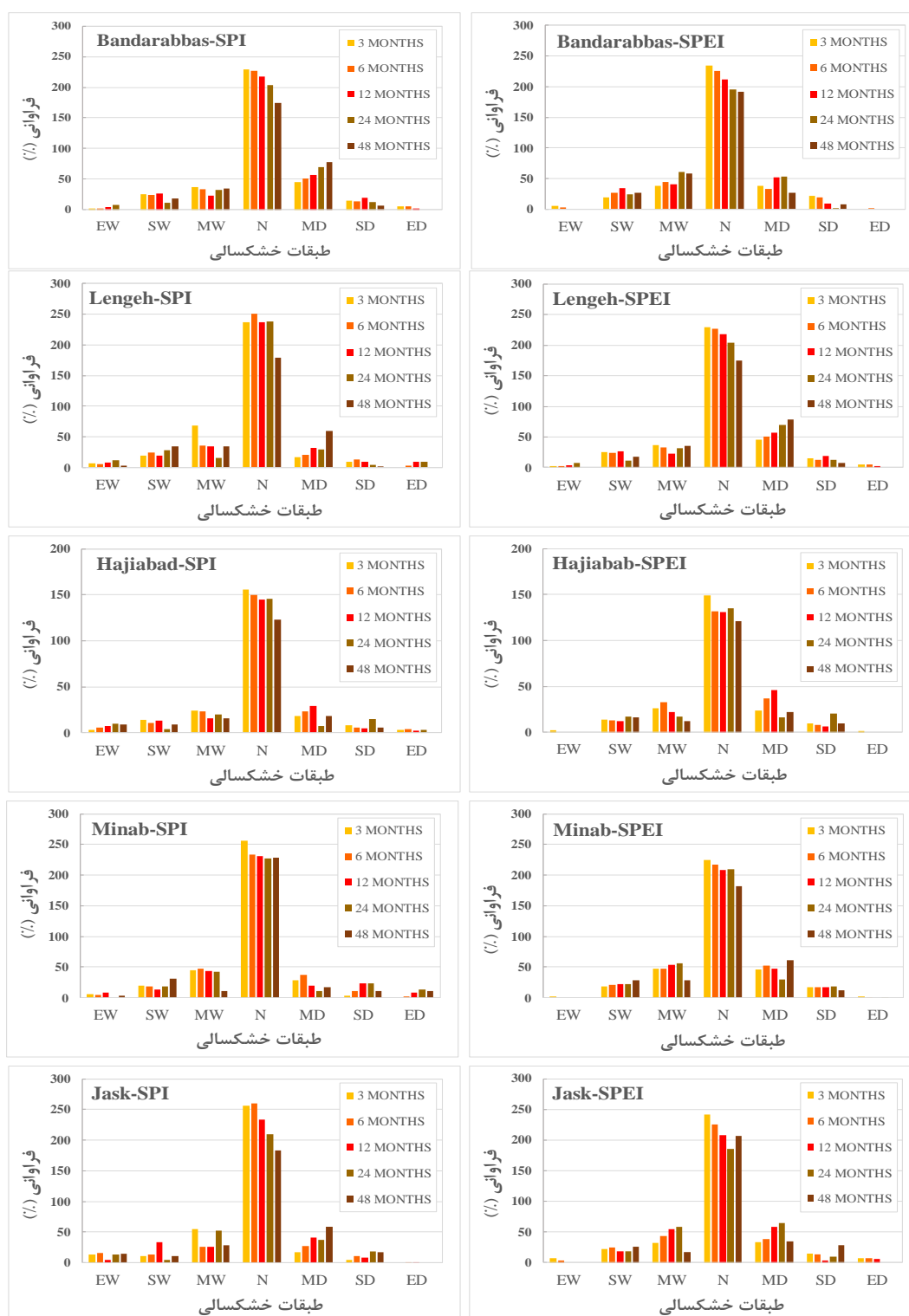


شکل ۳- تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در بازه‌های زمانی مختلف در ایستگاه بندر جاسک

فراوانی این طبقه در بیشتر موارد با طولانی‌تر شدن بازه‌های زمانی کاهش یافته است. همچنین مشخص شد که شاخص SPI طبقات خشکسالی بسیار شدید (ED) و ترسالی بسیار شدید (EW) بیشتری را نسبت به SPEI نشان می‌دهد.

شکل ۴ فراوانی طبقات خشکسالی را بر اساس دو شاخص SPI و SPEI برای هر پنج ایستگاه سینوپتیک نشان می‌دهد. در هر پنج ایستگاه بر اساس هر دو شاخص بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال (N) بوده است و





شکل ۴- فراوانی طبقات خشکسالی به تفکیک ایستگاه سینوپتیک بر اساس دو شاخص SPI و SPEI

شاخص را از طریق ضریب همبستگی مقایسه کرد. جدول ۳ مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر دو شاخص را

از آنجا که هر دو شاخص SPI و SPEI از یک طبقه بندی بهره می‌برند (جدول ۲)، بنابراین می‌توان مقادیر این دو

ماهه مثبت و معنی‌دار بوده است اما روند تغییرات آن با افزایش بازه زمانی کاهش داشته، به طوری که در بازه زمانی ۴۸ ماهه معنی‌دار نبوده است. به طور کلی بیشترین ضریب همبستگی بین دو شاخص SPI و SPEI در بین ایستگاه‌ها و بازه‌های زمانی با مقدار ۰/۸۸ مربوط به بازه زمانی ۴۸ ماهه ایستگاه بندرعباس و کمترین آن با مقدار ۰/۱۴ مربوط به بازه زمانی ۴۸ ماهه ایستگاه حاجی‌آباد بوده است.

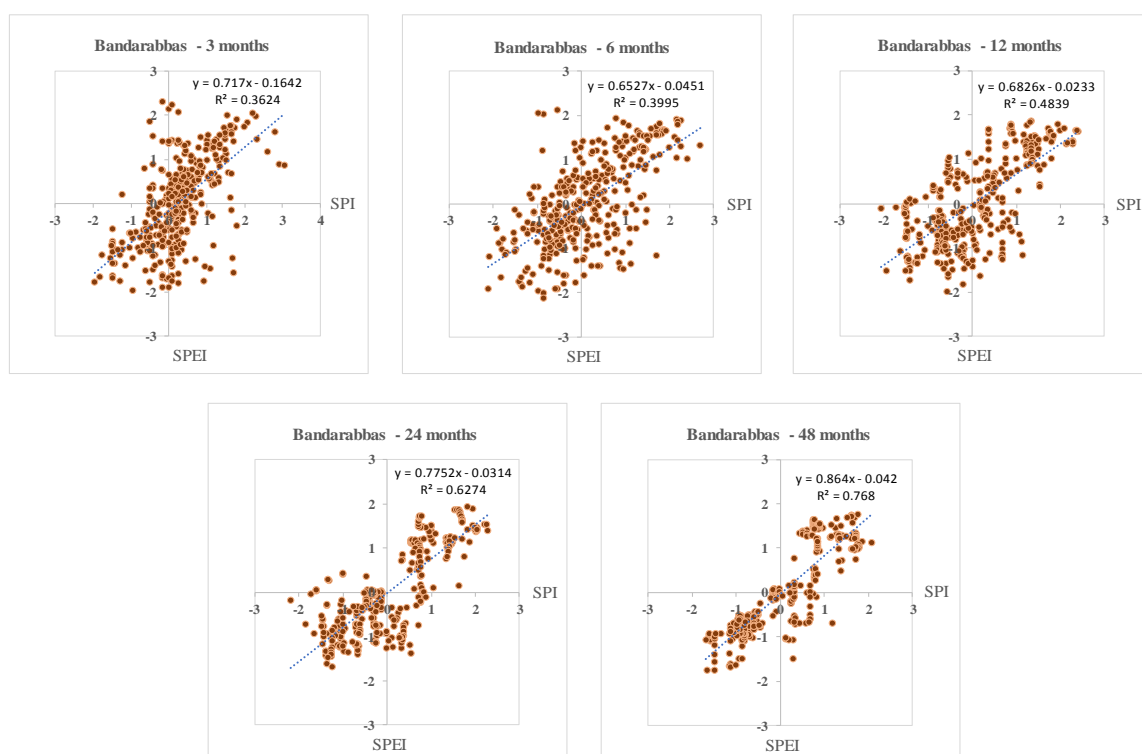
به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک و بازه‌های زمانی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها و همه بازه‌های زمانی (بجز بازه زمانی ۴۸ ماهه ایستگاه حاجی‌آباد) مقادیر ضریب همبستگی بین دو شاخص مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. در ایستگاه بندرعباس، بندر لنگه، میناب و بندر جاسک با افزایش بازه زمانی شاهد افزایش ضریب همبستگی بین دو شاخص بوده‌ایم. اما در ایستگاه حاجی‌آباد هر چند ضریب همبستگی بین دو شاخص تا بازه زمانی ۲۴

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی (پیرسون) بین مقادیر دو شاخص SPI و SPEI به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک و بازه‌های زمانی

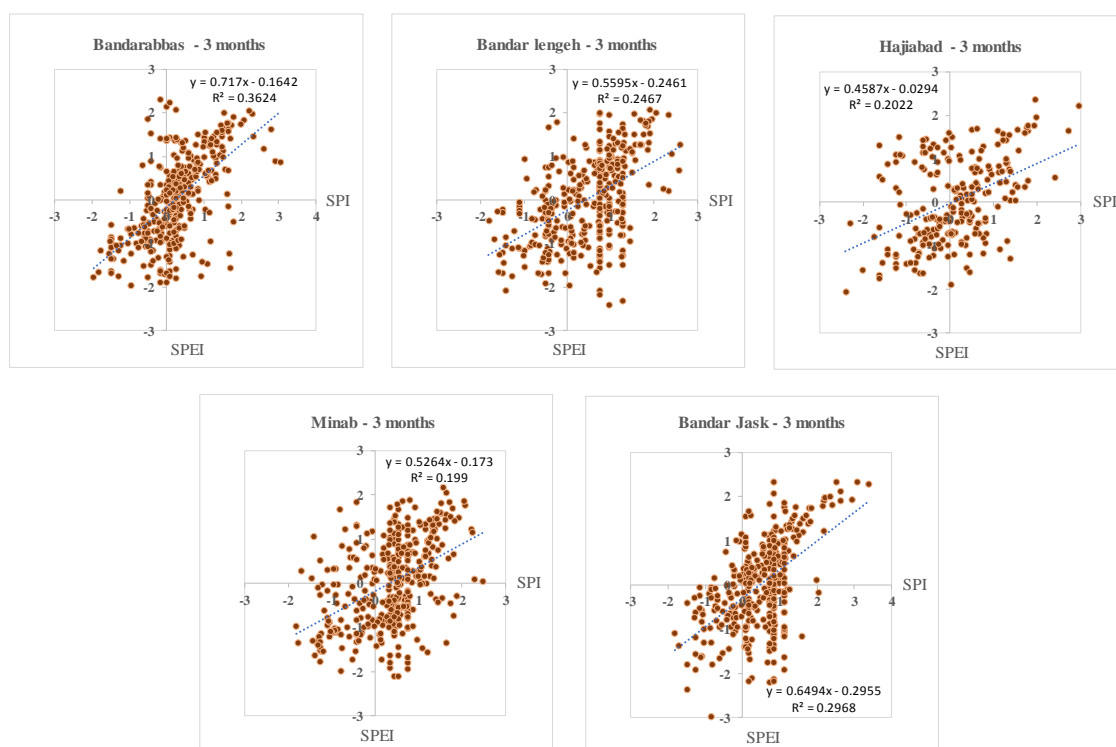
ایستگاه	بازه زمانی				
	۳ ماهه	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
بندرعباس	۰/۶۰**	۰/۶۳**	۰/۷۰**	۰/۷۹**	۰/۸۸**
بندر لنگه	۰/۴۹**	۰/۵۶**	۰/۵۶**	۰/۵۵**	۰/۵۳**
حاجی‌آباد	۰/۴۵**	۰/۳۹**	۰/۳۸**	۰/۳۲**	۰/۱۴
میناب	۰/۴۵**	۰/۴۶**	۰/۴۸**	۰/۵۱**	۰/۵۸**
بندر جاسک	۰/۵۵**	۰/۶۶**	۰/۷۳**	۰/۷۶**	۰/۷۳**

SPI بین ایستگاه‌های بندرعباس، بندر لنگه، میناب و بندر جاسک مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است، به گونه‌ای که بالاترین مقدار عددی ضریب همبستگی با ۰/۹۳ بین نتایج ایستگاه بندرعباس و بندر لنگه و کمترین آن با مقدار ۰/۷۵ بین دو ایستگاه میناب و بندر جاسک مشاهده شده است. در مورد مقایسه نتایج شاخص SPEI نیز مشخص شد که ضریب همبستگی بین همه ایستگاه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است، با این تفاوت که مقادیر عددی ضریب همبستگی در این شاخص کمتر از مقادیر عددی ضریب همبستگی شاخص SPI بوده است. بر اساس این نتایج (جدول ۴) در شاخص SPEI بالاترین مقدار عددی ضریب همبستگی با ۰/۷۴ بین نتایج ایستگاه بندر لنگه و بندر جاسک و کمترین آن با مقدار ۰/۳۸ بین دو ایستگاه بندرعباس و بندر جاسک مشاهده شده است.

شکل ۵ چگونگی پراکنش دو شاخص SPI و SPEI را در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه بندرعباس در بازه زمانی ۴۸ ماهه بیشترین همسانی بین دو شاخص وجود داشته است که نتایج عددی ضریب همبستگی نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد. در ادامه به دلیل حجم بالای گراف‌ها شکل ۶ به عنوان نمونه ارائه می‌شود و چگونگی پراکنش این دو شاخص را در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و در بازه زمانی ۳ ماهه نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج این بخش بیشترین همسانی در بازه زمانی سه ماهه در ایستگاه بندرعباس دیده شده است و ایستگاه حاجی‌آباد و میناب همسانی کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها در این بازه زمانی داشته‌اند. در مورد مقایسه بین ایستگاهی نتایج نشان داد (جدول ۴) ضریب همبستگی مقادیر شاخص



شکل ۵- چگونگی پراکنش دو شاخص SPI و SPEI در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه بندرعباس



شکل ۶- چگونگی پراکنش دو شاخص SPI و SPEI به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۳ ماهه

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی (پیرسون) بین ایستگاهی مقادیر دو شاخص SPI و SPEI

شاخص	ایستگاه	بندرعباس	بندر لنگه	میناب	بندر جاسک
SPI	بندرعباس	-	۰/۹۳**	۰/۸۶**	۰/۸۰**
	بندر لنگه	-	-	۰/۸۳**	۰/۸۸**
	میناب	-	-	-	۰/۷۵**
	بندر جاسک	-	-	-	-
SPEI	بندرعباس	-	۰/۶۶**	۰/۳۸**	۰/۷۱**
	بندر لنگه	-	-	۰/۳۹**	۰/۷۴**
	میناب	-	-	-	۰/۴۱**
	بندر جاسک	-	-	-	-

### بحث

تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص SPI و SPEI به تفکیک برای ایستگاه‌های سینوپتیک بندرعباس، بندر لنگه، حاجی‌آباد، میناب و بندر جاسک در بازه زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی و پایش شد. نتایج فراوانی طبقات خشکسالی در هر پنج ایستگاه بر اساس هر دو شاخص نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال (N) بوده است (شکل ۴). همچنین مشخص شد که شاخص SPEI مجموع فراوانی طبقات مربوط به خشکسالی را در بیشتر ایستگاه‌ها نسبت به شاخص SPI بالاتر نشان داده است (شکل ۴) که این می‌تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییرات بارندگی و منظور نمودن پارامتر دما در این شاخص باشد. بنابراین می‌توان گفت این شاخص در نتیجه اثرهای توأم بارندگی و دما شدت خشکسالی را افزایش داده است، به عبارتی علاوه بر کاهش بارندگی، افزایش دما نیز بوجود آمده و پدیده خشکسالی رخ داده است. Nosrati و همکاران (۲۰۱۴)، Mostafazadeh و Zabihi (۲۰۱۶) و Jahangir و همکاران (۲۰۱۹) نیز در تحقیقی بیشترین فراوانی طبقه خشکسالی را طبقه نرمال گزارش کرده‌اند، همچنین بیان کرده‌اند که شاخص SPEI فراوانی طبقات مربوط به خشکسالی را نسبت به شاخص SPI بالاتر نشان داده است. در مورد رخداد دوره‌های خشک و مرطوب نتایج

(برای نمونه شکلهای ۱ تا ۳) نشان داد در هر پنج ایستگاه بر اساس هر دو شاخص در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت به‌طور متناوب دوره‌های خشک و مرطوب کوتاه‌مدت اتفاق افتاده است و با افزایش بازه‌های زمانی، فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش اما تداوم آنها افزایش یافته است. در ایستگاه بندرعباس شاخص SPI نسبت به شاخص SPEI در بازه زمانی ۴۸ ماهه شروع دوره خشکی را با اختلاف چند ماهه نشان می‌دهد (شکل ۱). Nosrati و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که شاخص SPEI پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی داشته است و با افزایش مقیاس زمانی نیز تداوم خشکسالی افزایش یافته است. در این ایستگاه الگوی کلی بیلان آب بین دو شاخص در بازه زمانی ۴۸ ماهه تقریباً مشابه است. این الگوی مشابه بین دو شاخص، در ایستگاه جاسک نیز دیده می‌شود (شکل ۳). در ایستگاه بندر لنگه هر چند دو شاخص یک دوره ترسالی را در شروع دوره مورد مطالعه نشان داده است اما شاخص SPI در بازه زمانی ۴۸ ماهه شروع دوره خشکی را با تأخیر ۳ سال نسبت به شاخص SPEI نشان می‌دهد، همچنین بر خلاف شاخص SPEI، دوره خشکی را تا پایان دوره آماری ادامه داده است (شکل ۲). بر اساس این نتایج یک تفاوت الگوی مشهود بین شاخص SPI و SPEI در ایستگاه لنگه دیده شده است که در سایر ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. این تفاوت الگو را شاید

یکنواختی پیروی می‌کند اما این یکنواختی به نسبت از الگوی ارائه شده توسط شاخص SPI کمتر است. با توجه به اینکه مبنای محاسبه شاخص SPEI بر اساس داده‌های بارش و دما است و از سویی فاکتور بارش در دو شاخص مشترک است، می‌توان نتیجه گرفت که یکنواختی کمتر شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI ریشه در تفاوت‌های دمایی استان دارد. به عبارت دیگر تغییرات پارامتر اقلیمی بارندگی در سطح استان کمتر از تغییرات پارامتر دما است و همین امر باعث یکنواختی بیشتر دوره‌های خشک و مرطوب توسط شاخص SPI نسبت به شاخص SPEI شده است. بر اساس این نتایج بالاترین مقدار عددی ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص SPEI با مقدار  $0/74$  مربوط به دو ایستگاه بندر لنگه و بندر جاسک است. همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص SPI این دو ایستگاه نیز با مقدار  $0/88$  از بالاترین مقادیر ضریب همبستگی بین نتایج بدست آمده است، این در حالی است که بیشترین مسافت بین ایستگاه‌های مورد مطالعه با فاصله هوایی بیش از  $300$  کیلومتر و فاصله زمینی بیش از  $500$  کیلومتر مربوط به همین دو ایستگاه است. این همبستگی بالا بین دو ایستگاه با وجود مسافت زیاد بین آنها را شاید بتوان تأثیر عرض جغرافیایی نزدیک و کمتر این دو ایستگاه با هم نسبت به سایر ایستگاه‌ها دانست.

به‌طورکلی در این تحقیق مشخص شد که در استان هرمزگان بین دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI تفاوت معنی‌دار عددی وجود ندارد اما شاخص SPEI نسبت به خشکی حساس‌تر و پاسخ سریعتری به آن داشته است. در مورد مقایسه بین ایستگاهی نیز مشخص شد که بین مقادیر شاخص SPI ایستگاه‌های سینوپتیک استان هرمزگان تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، همچنین تفاوت معنی‌داری در مقادیر شاخص SPEI بین ایستگاهی نیز دیده نشده است اما نزدیکی مقادیر شاخص SPI بین ایستگاه‌ها بیشتر از نزدیکی مقادیر شاخص SPEI بوده است؛ به‌عبارتی پراکنش شاخص SPI در سطح استان هرمزگان یکنواخت‌تر از پراکنش شاخص SPEI بوده است.

بتوان به نتایج متفاوت شاخص SPEI در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها ربط داد. Jahangir و Abolghasemi (۲۰۱۸)، در مورد تفاوت در نتایج شاخص SPEI بیان می‌کنند که مقادیر بارش، دما و تبخیر و تعرق متفاوت هر ایستگاه توزیع آماری خاصی را برآزش می‌نمایند. دلیل یکسان نبودن توزیع برای هر ایستگاه را می‌توان تنوع اقلیمی بیان کرد. بنابراین تنوع توزیع آماری بر پایه تنوع مکانی و زمانی است. Mostafazadeh و Zabihi (۲۰۱۶)، نیز تفاوت در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی را بین دو شاخص SPEI و گزارش کرده‌اند. نتایج ضریب همبستگی (جدول ۳) نشان داد که در همه ایستگاه‌ها و همه بازه‌های زمانی (بجز بازه زمانی ۴۸ ماهه ایستگاه حاجی‌آباد) مقادیر ضریب همبستگی بین دو شاخص مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. Nosrati و همکاران (۲۰۱۴) و Mostafazadeh و Zabihi (۲۰۱۶)، نیز در تحقیقی نشان دادند که دو شاخص از رابطه مناسبی برخوردار هستند، به‌طوری‌که این رابطه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است.

در مورد مقایسه بین ایستگاهی، نتایج (جدول ۴) نشان داد که ضریب همبستگی مقادیر شاخص SPI بین ایستگاه‌های بندرعباس، بندر لنگه، میناب و بندر جاسک مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس این شاخص تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب در سطح استان از الگوی نسبتاً یکنواختی پیروی می‌کند و از آنجا که مبنای محاسبه شاخص SPI فقط بر اساس داده‌های بارش است، این الگوی یکنواخت می‌تواند نتیجه پراکنش یکسان بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه باشد، به‌عبارتی میزان بارندگی در سطح استان تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد و تقریباً یکسان است. مقایسه مقادیر شاخص SPEI نشان داد که بر اساس این شاخص نیز ضریب همبستگی بین نتایج همه ایستگاه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است، با این تفاوت که مقادیر عددی ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از این شاخص کمتر از مقادیر عددی ضریب همبستگی نتایج شاخص SPI بوده است. بر اساس شاخص SPEI نیز تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب در سطح استان از الگوی نسبتاً

## منابع مورد استفاده

- Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26 (7): 971-985.
- Mostafazadeh, R. and Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case Study: Kurdistan Province). *Iranian Journal of the Earth and Space Physics*, 42 (3): 633-643.
  - Nosrati, K., 2015. Assessment of standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) for drought identification in different climates of Iran. *Iranian Journal of Environmental Sciences*, 12 (4): 63-74.
  - Nosrati, K., Mohseni Saravi, M. and Shahbazi, R., 2014. Application and comparison off standardized precipitation and standardized precipitation evapotranspiration indices for evaluating meteorological drought condition off Tehran Province. *Iranian Scientific Association of Desert Management and Control*, 2 (3): 77-90.
  - Nosrati, K. and Azarnivand, H., 2002. Regional analysis of the drought severity-duration return period using precipitation date (Case Study: Atrak Watershed). *Iranian Journal of Desert (Biaban)*, 7 (1): 49-61.
  - Paulo, A.A., Ferreira, E., Coelho, C. and Pereira, L.S., 2005. Drought class transition analysis through Markov and Log linear models, an approach to early warning. *Agriculture Water Management*, 77 (1-3): 59-81.
  - Razi, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R. and Saghafian, B., 2007. Investigation of meteorological droughts in the Sistan and Balochestan Province, using the standardized precipitation index and Markov Chain model. *Journal of Iran Water Resources Research*, 3 (1): 25-35.
  - Salehi Tabas, M., Yaghoobzadeh, M., Zamani, G.H. and Amirabadizadeh, M., 2020. The effect of climate change on drought severity and frequency in South Khorasan. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2 (14): 482-497.
  - Serrano Vicente, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.
  - Vicek, O. and Huth, R., 2009. Is daily precipitation Gamma-distributed? adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov-Smirnov test. *Journal of Atmospheric Research*, 93 (4): 759-766.
  - Zare Abyaneh, H., Ghabaei Sough, M. and Mosaedi, A., 2015. Drought monitoring based on standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) under the effect of climate change. *Iranian Journal of Water and Soil*, 29 (2): 384-392.
  - Abbasi, A., Khalili, K., Behmanesh, J. and Shirzad, A., 2020. Application of support vector machine and bayesian network for agricultural drought prediction. *Iranian Journal of Watershed Engineering and Management*, 12 (1): 107-124.
  - Akhtari, R., Mahdian, M. and Morid, S., 2007. Assessment of spatio-temporal analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran Province. *Journal of Iran Water Resources Research*, 2 (3): 27-38.
  - Babolhakami, A., Gholami Sefidkouhi, M. and Emadi, A., 2020. Assessing the impact of climate change on drought and forecasting Neka River basin runoff in future periods. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7 (2): 291-302.
  - Edwards, D.C. and McKee, T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report*, 97 (2), Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 155p.
  - Guttman, N.B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35 (2): 311-322.
  - Jahangir, H., Noorazar, L. and Azimi, E., 2019. Analyzing time series of SPI, SPEI and SPTI drought indices by using artificial neural network SOFM method and numerical comparison in Chaharmahal va Bakhtiari. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6 (3): 837-847.
  - Jahangir, M. and Abolghasemi, M., 2018. Determining the most appropriate probability distribution function for calculate and compare the SPEI and SPI drought index in Tehran. *Iranian Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 8 (23): 1-16.
  - Keyantash, J. and Dracup, J.A., 2002. The quantification of drought indices. *American Metrological Society*, 83 (8): 1167-1180.
  - Lloyd Hughes, B. and Saunders, M.A., 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22 (13): 1571-1592.
  - McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, California, 179-184.
  - Mishra, A.K. and Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391 (1-2): 202-216.
  - Mishra, A.K., Singh, V.P. and Desai, V.R., 2009. Drought characterization: a probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23 (1): 41-55.
  - Morid, S., Smakhtin, V. and Moghaddasi, M., 2006.

## Assessment and drought monitoring using Standardized Precipitation (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration (SPEI) indices in Hormozgan province

M. Abadeh<sup>1\*</sup> and M. Khosroshahi<sup>2</sup>

1\*- Corresponding author, Research Instructor, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Hormozgan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran, Email: mahmood.abadeh@gmail.com  
2- Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received:04/24/2021

Accepted: 09/22/2021

### Abstract

Drought is one of the most important natural disasters that threaten human societies. Various indices are employed for drought monitoring. The purpose of this study is to evaluate and monitor the drought phenomenon based on two indicators of standardized precipitation (SPI) and standardized precipitation-evapotranspiration (SPEI) in Hormozgan province. SPI index is calculated only based on precipitation data, and SPEI index is calculated based on precipitation data and evapotranspiration potential values (Torrent White method) of drought. For this study, monthly precipitation data and average monthly temperature data of five synoptic stations of Bandar Abbas, Bandar Lengeh, Hajiabad, Minab, and Bandar Jask for a period of 30 years (1988-2017) were used. The results showed that although the values of SPI and SPEI index were correlated, SPEI index was more sensitive to drought and faster response to it and showed longer dry and wet periods. Comparison of SPI index values of different climate stations revealed no significant difference between their SPI values. It was also found that there was no considerable difference between SPEI index values for selected stations. Finally, the findings showed that the spatial distribution of the SPI index was more uniform compared to that of the SPEI index in Hormozgan province.

**Keywords:** Drought, Standardized Precipitation Index (SPI); Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Hormozgan province.