

## تحلیل تطبیقی رفتار شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI در ایستگاه‌های منتخب استان گلستان

لاله رضایی قلعه<sup>۱</sup>، خلیل قربانی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

### چکیده

عموماً شاخص‌های پایش خشکسالی مبتنی بر متغیر بارش است و در نظر نگرفتن تأثیر سایر متغیرها- نظیر دما- خطاهایی سامان مند به همراه دارد. بر این اساس، در کنار نمایه‌های متداولی نظیر SPI، روش‌های ترکیبی از جمله نمایه استاندارد شده بارش- تبخیر-تعرق (SPEI) ارائه شده است. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه تطبیقی دو نمایه SPEI و SPI جهت پایش خشکسالی در استان گلستان می‌باشد. مقایسات بر اساس میزان همبستگی و همچنین فراوانی طبقات خشکسالی در پنجره‌های زمانی ۱۲ ماهه و در فصول مختلف تحلیل شدند. نتایج نشان داد که هر چه اقلیم منطقه مرطوب‌تر باشد، به دلیل کاهش نقش تبخیر-تعرق، همبستگی بین دو نمایه بیشتر می‌باشد. در خشکسالی‌هایی با پنجره زمانی کوچک‌تر نیز قوت این همبستگی، بیشتر است. همچنین، شاخص SPEI نسبت به SPI قادر است تعداد وقایع ترسالی و خشکسالی بیشتری را نشان دهد. همبستگی معنی‌داری بین دو شاخص با استفاده از آزمون پارامتری پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه رامیان در سری زمانی ۳ و ۶ ماهه مشاهده شد. تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی در مقیاس فصلی هر دو شاخص بیشترین تغییرات را فصل تابستان نشان داد. بیشترین تعداد وقایع خشکسالی شدید و خیلی شدید توسط هر دو شاخص در ایستگاه غفارحاجی و در فصل تابستان مشاهده شد. همچنین، مقایسه نمودارهای سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI نشان داد که شاخص SPEI دوره طولانی‌تری از خشکسالی و ترسالی و شاخص SPI وقایع حدی بزرگ‌تری را نسبت به SPEI نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سری زمانی، آزمون پارامتری پیرسون، استان گلستان

### مقدمه

است. شاخص‌های خشکسالی از جمله روش‌های تجزیه و تحلیل و پایش خشکسالی می‌باشند که از جمله شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌توان به شاخص خشکسالی موثر (EDI)<sup>۳</sup> (Byun and Wilhite, 1999)، شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)<sup>۴</sup> (Tsakiris et al., 2007)، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۵</sup> (McKee et al, 1993; McKee et al, 1995; Edwards and McKee, 1997) اشاره نمود. محققان زیادی در زمینه خشکسالی به مطالعه پرداختند از جمله Zehtabian et al., (2013) به تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای در جنوب خراسان برای یافتن اختلافات و تشابهات بین شاخص‌های SPI و RDI پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین خشکسالی از لحاظ شدت با شاخص خشکسالی SPI به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۱ رخ داد و شاخص RDI به صورت متناوب خشکسالی با شدت‌های بالا را در

خشکسالی از پدیده‌های طبیعی ادواری هواشناسی وابسته به اقلیم است که در هر منطقه‌ای رخ می‌دهد اما به واسطه تأثیرات مهم اقتصادی، اجتماعی و محیطی خود نسبت به دیگر بلایای طبیعی، افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی پدیده‌ای است که در اثر کمبود بارش طی یک دوره طولانی پدیدار می‌شود و یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های اقلیمی به حساب می‌آید که دلیل این پیچیدگی دشوار بودن تعیین شدت خشکسالی و زمان آغاز و پایان آن می‌باشد. از این رو، تلاش‌های بسیاری برای توسعه روش‌هایی برای تحلیل و پایش خشکسالی انجام شده

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

\*نویسنده مسئول: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

<sup>۳</sup> Effective Drought Index

<sup>۴</sup> Reconnaissance Drought Index

<sup>۵</sup> Standardized Precipitation Index

از شاخص خشکسالی بارش و تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI)، برای مطالعه رفتار شدت خشکسالی در جمهوری چک در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رفتار خشکسالی در طی ۵ دهه به دلیل افزایش فراوانی وقوع و تقویت خشکسالی طی دوره‌های خشک طولانی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است که از افزایش مقدار تبخیرتغرق پتانسیل در طول تابستان ناشی می‌شود. با توجه به پیچیدگی پدیده خشکسالی پیشنهاد و ارائه یک شاخص خشکسالی برای منطقه کاری دشوار می‌باشد، لذا جهت پی بردن به حساسیت و دقت هر یک از شاخص‌های خشکسالی لازم است تا مطالعه تطبیقی میان شاخص‌ها انجام شود. (Yu et al., 2014)

شاخص SPEI (شاخص بارش و تبخیرتغرق استاندارد شده) را در ۶۰۹ نقطه از چین طی دوره‌های آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱ محاسبه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید از اواخر سال ۱۹۹۰ در سراسر چین بیشتر شده (با افزایش ۳/۷۲ درصد در نواحی خشک در هر دهه) و در شمال و شمال شرق و غرب و شمال غرب چین تداوم چند ساله خشکسالی شدید متداول بوده است. روندهای خشک قابل ملاحظه‌ای در شمال و جنوب غرب منطقه شمال شرق چین مناطق مرکزی و شرقی، شمال غربی چین و نواحی مرکز و جنوب غربی منطقه جنوب غرب چین، نواحی جنوب غربی و شمال شرقی منطقه غرب شمال غرب که عمدتاً به دلیل کاهش بارش توام با افزایش دما می‌باشد. به علاوه شمال و غرب شمال غربی و جنوب غربی چین طولانی‌ترین دوره خشکسالی را در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ داشتند. همچنین خشکسالی‌ها در غرب شمال غرب، شرق شمال غرب، شمال و مناطق شمال شرقی چین بیشتر در طول سه دهه اخیر می‌باشد. (Ahmadi et al., 2013)

به پیش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی-تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI) و تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و رطوبت خاک در ایستگاه کبوتر آباد اصفهان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین دو شاخص خشکسالی مذکور همبستگی معنی‌داری وجود دارد و شاخص خشکسالی SPEI پاسخ سریعتری را از خود نسبت به خشکسالی منعکس می‌کند. (Banimahd and Khalili 2012)

هواشناسی SPI و SPEI را در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک

این منطقه تشخیص داد. در مطالعه‌ای Tsakiris et al., (2007) شاخص‌های SPI، RDI و DI<sup>۱</sup> را در مدیریتانه مقایسه نمودند و بیان داشتند با توجه به همبستگی شاخص RDI با شاخص SPI، شاخص RDI از شباهت رفتاری بالایی با SPI برخوردار است. (Morid et al., 2006)

عملکرد هفت شاخص را به منظور پایش خشکسالی در تهران مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد شاخص‌های SPI و CZI و Z-SCORE در تشخیص خشکسالی به صورت مشابه عمل می‌کنند و نسبت به تشخیص زمان آغاز خشکسالی عکس‌العمل کنندی از خود نشان می‌دهند. شاخص DI واکنش شدیدی نسبت به وقوع بارش‌های یک سال مشخص از خود نشان می‌دهد ولی دارای تغییرات زمانی و مکانی متناقضی می‌باشد. شاخص‌های SPI و EDI قادر به تشخیص زمان آغاز خشکسالی می‌باشد و تغییرات زمانی و مکانی‌شان به صورت سازگار می‌باشد و می‌تواند برای پایش عملی خشکسالی در استان توصیه شود. با این حال شاخص EDI پاسخ‌گوی بهتری برای پایش خشکسالی است و رفتار بهتری دارد. اما با توجه به نقش تبخیرتغرق در کاهش منابع آب، ممکن است بارش به تنهایی نماینده خوبی در نشان دادن وضعیت خشکسالی نباشد بر همین اساس شاخص بارش-تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI)<sup>۲</sup> (Vincente-serrano et al., 2010) ارائه شد. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه Vincente-serrano et al., (2010) می‌باشد که با استفاده از داده‌های یازده منطقه واقع در نقاط مختلف اقلیمی جهان، مزیت اصلی شاخص SPEI را نسبت به بقیه شاخص‌های پایش خشکسالی در این دانستند که این شاخص می‌تواند تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی تشخیص دهد. (Zareabyaneh et al., 2015)

پیشنهاد کردند با توجه به توانایی SPEI در تشخیص تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما در رابطه با گرمایش جهانی، در مطالعات بررسی اثر تغییر اقلیم از شاخص‌هایی که فقط مبتنی بر بارندگی هستند به تنهایی استفاده نشود و از شاخص‌هایی که علاوه بر مقدار بارش اثرات دمایی را به طور مستقیم یا از طریق مقادیر تبخیر و تعرق در نظر می‌گیرند مانند شاخص SPEI استفاده شود. (Potop and Mozny, 2011)

<sup>۱</sup> Deciles Index<sup>۲</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

محاسبه و مقایسه شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های موجود دوره تاریخی ۱۳۹۲-۱۳۶۳ را پوشش می‌دهند. اسامی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

### محاسبه شاخص‌های خشکسالی

#### شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن در یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش توسط (McKee et al, 1993; McKee et al, 1995; Edwards and McKee, 1997) پیشنهاد شد. اساس شاخص بارش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این شاخص فقط از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. سپس، پارامترهای توزیع گاما برای هر مقیاس زمانی محاسبه و تابع احتمال تجمعی آن برای هر ماه رسم می‌شود. سپس از تغییر شکل هم‌احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z برای محاسبه SPI استفاده می‌شود.

#### شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده SPEI

شاخص خشکسالی SPEI توسط Vincente-serrano et al., (2010) ارائه و بر اساس تبخیر تعرق پتانسیل (PET)<sup>۲</sup> و بارندگی به پایش خشکسالی می‌انجامد. برای محاسبه شاخص SPEI نیاز به محاسبه تبخیر تعرق می‌باشد. با توجه به این که بسیاری از روش‌های دقیق محاسبه تبخیر تعرق نیازمند داده‌های تابش هستند و در استان گلستان در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی این داده‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند، بنابراین باید از روش‌های ساده‌تری مانند روش هارگریوز-سامانی که مبتنی بر دما است (Hargreaves and Samani, 1985) استفاده کرد.

ایران با دوره آماری مشترک ۶۱ سال (۱۹۹۵-۲۰۱۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد نزدیکی مناسب‌تری میان شاخص‌ها در مناطق آب و هوایی بسیار مرطوب در مقایسه با مناطق خشک و نیمه خشک وجود دارد. بیشترین تعداد کل وقایع خشکسالی (خشکسالی شدید/ خیلی شدید) توسط شاخص SPEI پایش شد. مقادیر بحرانی شدت‌های خشکسالی (۲/۰-) در مناطق خشک و نیمه خشک توسط شاخص SPEI تعیین گردید که بیان‌گر مشارکت موثر تبخیر تعرق در پایش خشکسالی‌ها بود. همبستگی معنی‌دار میان شاخص‌ها با به کارگیری آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در سطح اطمینان ۰/۹۵ تایید گردید. همانطور که از بررسی مطالعات مشخص شد لحاظ نمودن نقش تبخیر تعرق با توجه به روند افزایشی دمای هوا در شاخص‌های خشکسالی منجر به پایش بهتر از خشکسالی‌ها می‌شود. به همین جهت بیشتر پژوهشگران شاخص خشکسالی SPEI را روش مناسب‌تری نسبت به شاخص‌های تک متغیره برای پایش خشکسالی‌ها معرفی نمودند. همچنین بررسی‌ها نشان داد که تاکنون مطالعاتی در زمینه استفاده از شاخص خشکسالی SPEI جهت پایش خشکسالی در استان گلستان انجام نشده است. هدف از این پژوهش، مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در پنجره‌های زمانی متفاوت، تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی به صورت فصلی و بررسی همبستگی میان آن‌ها با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون<sup>۱</sup> در هشت ایستگاه منتخب استان گلستان با اقلیم‌های مختلف با دوره آماری مشترک ۳۰ سال (۱۳۹۲-۱۳۶۳) است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان گلستان با وسعت ۲۰۴۶۰/۷ کیلومتر مربع، بین عرض‌های ۲۵' و ۳۶' تا ۸' و ۳۸' شمالی و طول‌های ۵۰' و ۵۳' تا ۱۸' و ۵۶' شرقی قرار دارد. آب و هوای استان با توجه به ارتفاعات، امتداد رشته‌کوه‌های البرز، بیابان ترکمنستان، عرض جغرافیایی و فاصله از دریا و پوشش متنوع جنگلی شامل خشک و نیمه‌خشک و کوهستانی می‌باشد (Hasanalizadeh et al, 2014). در این پژوهش، از آمار ۸ ایستگاه سینوپتیک و تبخیرسنجی در استان گلستان که دارای دوره آماری مشترک ۳۰ سال بودند برای

<sup>۲</sup> Potential Evapotranspiration

<sup>۱</sup> Pearson correlation test

Table 1- Climatic and geographic specifications of study stations (Hasanalizadeh et al., 2014)  
جدول ۱- خصوصیات اقلیمی - جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی (Hasanalizadeh et al., 2014)

Station	Altitude (°N)	Longitude (°E)	Elevation (m)	Mean Annual Precipitation (mm)	Mean Annual Temperature (°C)	Climate
Aq qala	37.01	54.28	-12	419.81	19.09	Semi Arid
Araz kooseh	37.13	55.08	34	468.57	18.33	Semi Arid
Behlakeh dashli	37.04	54.47	24	396.85	17.31	Semi Arid
Cheshmeh khan	37.18	56.07	1250	234.1	11.76	Semi Arid
Fazel abad	36.54	54.45	210	708.75	17.35	Semi Wet
Ghafar haji	37.00	54.08	-22	462.73	17.26	Semi Arid
Ramian	37.01	55.08	200	929.31	16.86	Wet
Robat qareh bil	37.21	56.18	1450	195.74	12.21	Arid

$$F(x) = \left[ \left( 1 + \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (7)$$

سپس مقادیر F(x) با استفاده از روش تقریبی کلاسیک آمبراموتر-استگان (Abramowitz and Stegun, 1965) به مقادیر نرمال استاندارد z تبدیل و شاخص SPEI محاسبه می‌شود.

### آزمون همبستگی بین شاخص‌ها

جهت بررسی همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب همبستگی حاصل ضرب گشتاور پیرسون میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند، که ۱ معرف همبستگی مثبت کامل، صفر معرف نبود همبستگی و -۱ معرف همبستگی منفی کامل می‌باشد. ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) طبق معادلات ۸ و ۹ تعریف می‌شود.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

پس از اینکه مقادیر همبستگی ساده خطی بین شاخص‌ها محاسبه شدند با تشکیل جدول‌های فراوانی طبقات خشکسالی، مقادیر فراوانی تحلیل شدند.

### تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی

به منظور مطالعه تطبیقی دو شاخص SPI و SPEI پس از طبقه‌بندی این شاخص‌ها بر اساس جدول ۲ و ۳، وضعیت رخداد هر یک از طبقات خشکسالی بررسی شد.

### نتایج و بحث

#### تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی

در این پژوهش سری‌های زمانی خشکسالی هواشناسی به کمک شاخص تک متغیره بارش استاندارد شده SPI و

Table 2- Different classes of meteorological drought based on SPI and SPEI indices

جدول ۲- طبقات مختلف خشکسالی هواشناسی بر اساس

شاخص‌های SPI و SPEI

State	SPI & SPEI	Class
1	More than 1.5	Very Wet
2	1 to 1.49	Moderately Wet
3	-0.99 to 0.99	Mild Wet
4	-1 to -1.49	Moderate Drought
5	-1.5 and less	Severe Drought

پس از محاسبه مقادیر تبخیر تعرق ماهانه، اختلاف آن را از بارش ماهانه به دست آورده و سپس این مقادیر در دوره مورد نظر با هم جمع می‌شوند.

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

$$D_{nh} = \sum_{i=0}^{h-1} P_{n-1} - PET_{n-1} \quad (2)$$

اختلاف بین مقادیر بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل، h دوره زمانی مورد بررسی و n ماه مورد محاسبه می‌باشند. تابع چگالی احتمال لوگ لوجستیک سه پارامتره به مقادیر Dh برآزش داده می‌شود که قادر به در نظر گرفتن مقادیر منفی می‌باشد.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ \left( 1 + \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (3)$$

که در آن  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس شکل و تمایل مرکزی برای مقادیر D ( $\gamma < Dh < \infty$ ) می‌باشند (Banimahd and Khalili, 2012). پارامترهای توزیع لوگ لوجستیک می‌تواند از راه‌های مختلفی به دست آید که در بین آن‌ها، روش گشتاورهای L به عنوان روشی سریع و ساده معرفی شده است (Ahmad et al., 1988). در محاسبه گشتاورهای L، پارامترهای توزیع پیرسون نوع سوم طبق معادلات ۴ الی ۷ تخمین زده می‌شوند.

$$\beta = (2w_1 - w_0) / (6w_1 - w_0 - 6w_2) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + 1/\beta)\Gamma(1 - 1/\beta)} \quad (5)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma(1 + 1/\beta)\Gamma(1 - 1/\beta) \quad (6)$$

بیشتری را نشان می‌دهد و اختلاف بین دو شاخص در نشان دادن تعداد کل وقایع خشکسالی در شرایط خشک و نیمه‌خشک بیشتر بود، که حاکی از نقش تبخیرتفرق در پایش خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد ولی در ایستگاه چشمه‌خان که دارای اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد در پنجره زمانی کوتاه‌مدت شاخص SPEI وقایع خشکسالی بیشتر و در پنجره زمانی بلندمدت شاخص SPI وقایع خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد. همچنین بیشترین تعداد کل وقایع خشکسالی توسط شاخص SPEI و در ایستگاه آق‌قلا مشاهده شد.

شاخص دو متغیره بارش-تبخیرتفرق استاندارد شده SPEI در پنجره‌های زمانی (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) و در هشت ایستگاه استان محاسبه شدند. سپس کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده توسط هر دو شاخص در پنجره‌های زمانی مذکور در ایستگاه‌های آق‌قلا، ارازکوسه، بهلکه‌داشلی، چشمه‌خان و غفارحاجی (نیمه‌خشک)، رامیان (مرطوب)، فاضل‌آباد (نیمه‌مرطوب) و رباط قره‌بیل (خشک) طبق جداول ۴، ۵، ۶ و ۷ محاسبه شدند. مقایسه بین دو شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI در تمام ایستگاه‌ها تعداد وقایع خشکسالی

Table 3- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 3 months time step in study stations

جدول ۳- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۳ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very Wet	Moderately Wet	Mild Wet	Moderate Drought	Severe Drought	Total wet events	Total arid events
Aq qala	SPI	25	34	239	50	21	59	71
	SPEI	23	27	255	32	24	60	56
Araz kooseh	SPI	25	42	242	43	19	67	62
	SPEI	26	29	262	31	23	55	54
Behlakeh dashli	SPI	22	34	251	36	28	56	64
	SPEI	21	45	247	32	26	66	58
Cheshmeh khan	SPI	27	38	246	33	27	65	60
	SPEI	23	32	262	31	23	55	54
Fazel abad	SPI	23	43	236	47	22	66	69
	SPEI	21	39	257	32	22	60	54
Ghafar haji	SPI	26	42	238	42	23	68	65
	SPEI	23	40	245	41	22	63	63
Ramyan	SPI	27	20	258	42	24	47	66
	SPEI	27	19	271	29	25	46	54
Robat qareh bil	SPI	26	33	254	36	22	59	58
	SPEI	24	32	264	28	23	56	51

Table 4- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 6 months time step in study stations.

جدول ۴- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۶ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very Wet	Moderately Wet	Mild Wet	Moderate Drought	Severe Drought	Total wet events	Total arid events
Aq qala	SPI	24	37	235	47	23	61	70
	SPEI	28	25	260	36	22	53	58
Araz kooseh	SPI	23	37	254	35	22	60	57
	SPEI	25	22	275	26	23	47	49
Behlakeh dashli	SPI	24	42	244	42	19	66	61
	SPEI	22	39	253	29	28	61	57
Cheshmeh khan	SPI	23	38	251	32	27	61	59
	SPEI	20	39	258	24	30	59	54
Fazel abad	SPI	24	43	244	35	25	67	60
	SPEI	18	42	261	29	21	60	50
Ghafar haji	SPI	23	29	255	41	23	52	64
	SPEI	24	27	262	36	22	51	58
Ramyan	SPI	26	26	262	29	28	52	57
	SPEI	26	20	278	25	22	46	47
Robat qareh bil	SPI	28	38	248	34	23	66	57
	SPEI	22	38	255	30	26	60	56

و SPEI در ایستگاه رامیان و در پنجره زمانی کوتاه مدت (۳ ماهه) می‌باشد و کمترین همبستگی بین دو شاخص در ایستگاه آق‌قلا و در پنجره زمانی بلند مدت (۲۴ ماهه) می‌باشد.

نتایج آزمون همبستگی بین دو شاخص SPEI و SPI آزمون همبستگی پیرسون بین دو شاخص SPEI و SPI در پنجره‌های زمانی مختلف انجام شد. نتایج طبق جدول ۸ نشان داد که بیشترین همبستگی بین دو شاخص SPI

Table 5- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 12 months time step in study stations

جدول ۵- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very Wet	Moderately Wet	Mild Wet	Moderate Drought	Severe Drought	Total wet events	Total arid events
Aq qala	SPI	24	41	218	57	20	65	77
	SPEI	26	34	255	39	17	60	56
Araz kooseh	SPI	25	34	253	41	18	59	59
	SPEI	31	21	274	29	16	52	45
Behlakeh dashli	SPI	20	46	234	61	10	66	71
	SPEI	19	43	261	22	26	62	48
Cheshmeh khan	SPI	25	35	248	42	21	60	63
	SPEI	11	50	240	47	23	61	70
Fazel abad	SPI	22	30	269	24	26	52	50
	SPEI	20	25	257	34	17	45	51
Ghafar haji	SPI	16	37	256	32	30	53	62
	SPEI	20	32	262	27	30	52	57
Ramyan	SPI	24	30	269	30	17	64	48
	SPEI	23	8	298	28	14	31	46
Robat qareh bil	SPI	26	59	231	37	18	85	55
	SPEI	32	30	251	33	25	62	62

Table 6- Characteristic of different observed drought classes using SPI and SPEI indices in 24 months time step in study stations

جدول ۶- مشخصه کلاس‌های مختلف خشکسالی پایش شده با شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های مطالعاتی

Station		Very Wet	Moderately Wet	Mild Wet	Moderate Drought	Severe Drought	Total wet events	Total arid events
Aq qala	SPI	26	38	223	38	23	64	61
	SPEI	27	26	269	26	23	53	49
Araz kooseh	SPI	27	13	269	44	18	40	62
	SPEI	17	32	260	47	15	49	62
Behlakeh dashli	SPI	24	42	233	53	19	66	72
	SPEI	26	29	258	30	28	55	58
Cheshmeh khan	SPI	29	34	259	25	24	63	49
	SPEI	9	53	247	27	35	62	62
Fazel abad	SPI	23	27	264	27	30	50	57
	SPEI	21	13	285	28	24	34	52
Ghafar haji	SPI	16	41	247	44	23	57	67
	SPEI	20	32	262	27	30	52	57
Ramyan	SPI	26	16	281	25	23	42	48
	SPEI	28	7	293	24	19	35	43
Robat qareh bil	SPI	32	53	233	31	22	85	53
	SPEI	17	41	261	27	25	58	52

Table 7- Correlation coefficient between SPI and SPEI indices in different time steps

جدول ۷- ضریب همبستگی بین دو شاخص SPI و SPEI در سری‌های زمانی مختلف

Station	3 months time step	6 months time step	12 months time step	24 months time step
Aq qala	0.68	0.58	0.47	0.38
Araz kooseh	0.86	0.86	0.85	0.86
Behlakeh dashli	0.83	0.8	0.76	0.71
Cheshmeh khan	0.86	0.88	0.86	0.85
Fazel abad	0.94	0.94	0.94	0.94
Ghafar haji	0.94	0.94	0.93	0.68
Ramian	0.95	0.95	0.93	0.89
Robat qareh bil	0.57	0.53	0.52	0.51

مشاهده شد. در فصل زمستان در اکثر ایستگاه‌ها خشکسالی شدید و خیلی شدید توسط شاخص SPI و خشکسالی متوسط توسط شاخص SPEI دارای طبقات بیشتری می‌باشد. همچنین بیشترین تغییرات بین کلاس‌های خشکسالی در فصل تابستان مشاهده شده است.

تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی به صورت فصلی با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ در فصل بهار ترسالی ملایم و در فصل تابستان خشکسالی متوسط و ترسالی ملایم توسط هر دو شاخص به عنوان کلاس با طبقات بیشتر مشاهده شد. در فصل پاییز ترسالی ملایم توسط شاخص SPI و خشکسالی متوسط توسط شاخص SPEI

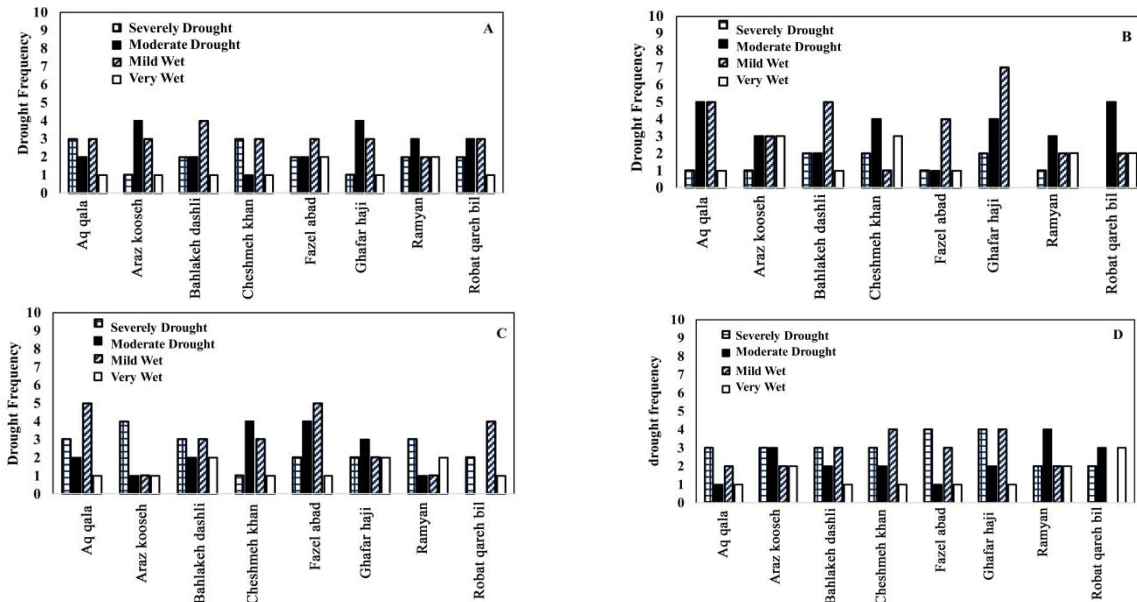


Figure 1- Different observed classes using SPI index in 8 stations of Golestan province, respectively in A) spring, B) summer, C) autumn and D) winter seasons

شکل ۱- کلاس‌های مختلف پایش شده توسط شاخص SPI برای هشت ایستگاه استان گلستان در فصل (A بهار، B تابستان، C پاییز و D زمستان)

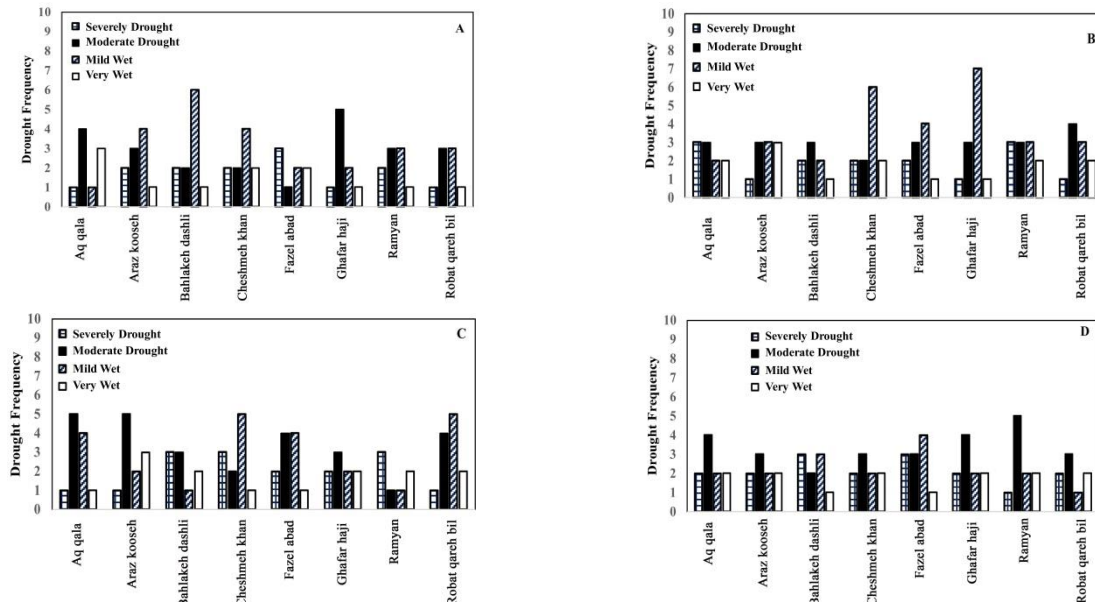


Figure 2- Different observed classes using SPEI index in 8 stations of Golestan province, respectively in A) spring, B) summer, C) autumn and D) winter seasons

شکل ۲- کلاس‌های مختلف پایش شده توسط شاخص SPEI برای هشت ایستگاه استان گلستان در فصل (A بهار، B تابستان، C پاییز و D زمستان)

به تغییرات جزئی بارش حساسیت کمتری را نشان می‌دهد. از طرفی دیگر وقایع حدی ترسالی و خشکسالی در شاخص SPI بزرگتر از شاخص SPEI بود به طوری که دامنه تغییرات شاخص SPI بیشتر از شاخص SPEI مشاهده شد. همچنین در سال‌های اخیر در دو ایستگاه آرازکوسه و رباط قره‌بیل طول دوره خشکسالی و ترسالی بیشتر از گذشته شده است.

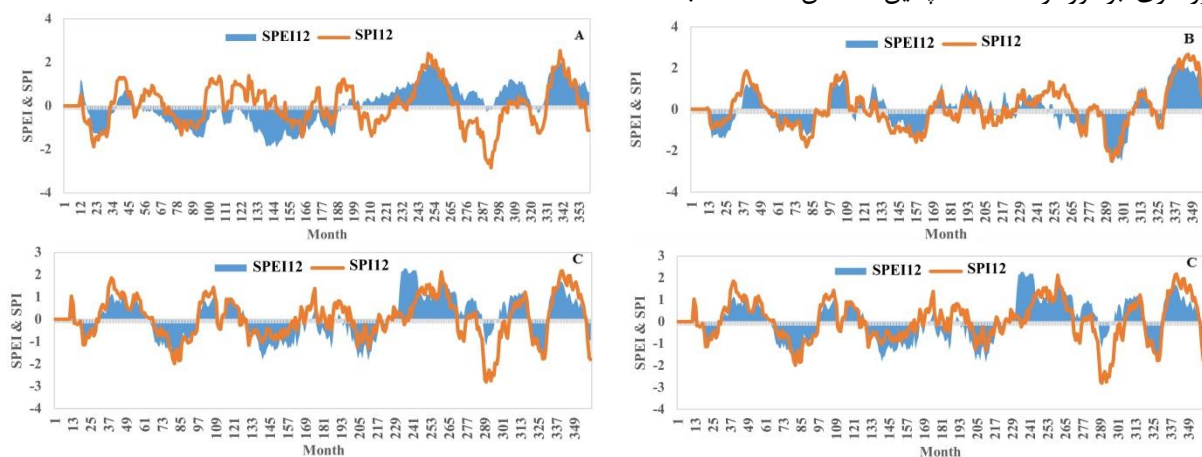


Figure 3- Different observed classes using SPI and SPEI indices in stations of Golestan province, respectively in A) Aq Qala, B) Araz Kooseh, C) Behlkeh Dashli and D) Cheshmeh Khan in 12 month time step

شکل ۳- خشکسالی پایش شده توسط دو شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های (A) آق‌قلا، (B) آرازکوسه، (C) بهلکه‌داشلی و (D) چشمه‌خان در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

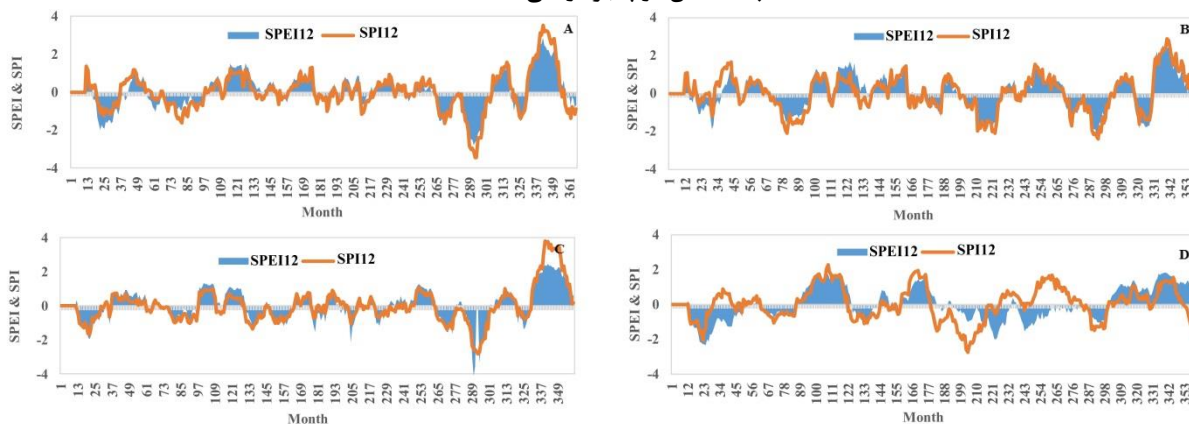


Figure 4- Different observed classes using SPI and SPEI indices in stations of Golestan province, respectively in A) Aq Qala, B) Araz Kooseh, C) Behlkeh Dashli and D) Cheshmeh Khan in 12 month time step

شکل ۴- خشکسالی پایش شده توسط دو شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های (A) فاضل‌آباد، (B) غفارحاجی، (C) رامیان، (D) رباط‌قره‌بیل در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

SPEI در تمام شرایط اقلیمی تعداد وقایع خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد تنها در ایستگاه چشمه‌خان در پنجره زمانی کوتاه مدت SPEI و در پنجره زمانی بلند مدت شاخص SPI تعداد وقایع بیشتر خشکسالی را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۵) بین دو شاخص در شرایط اقلیمی مرطوب و کمترین ضریب همبستگی (۰/۳۸) بین دو شاخص در شرایط اقلیمی نیمه

### مقایسه نمودارهای سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI

نتایج حاصل از ترسیم سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی در پنجره زمانی ۱۲ ماهه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند که در تمام ایستگاه‌ها شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI از طول دوره ترسالی و خشکسالی بزرگتری برخوردار است. همچنین شاخص SPEI نسبت

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI، بررسی همبستگی میان دو شاخص و همچنین تحلیل فراوانی طبقات خشکسالی در پنجره زمانی ۱۲ ماهه و بصورت فصلی در ۸ ایستگاه استان گلستان با دوره آماری مشترک ۳۰ سال (۱۳۶۳-۱۳۹۲) انجام گرفت. نتایج نشان داد که شاخص



## منابع

- Abramowitz, M., Stegun, I. A. 1965. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publication, New York.
- Ahmad, M., Sinclair, C. Werritty, A. 1988. Log-logistic flood frequency analysis. Journal of Hydrology, 98(3-4): 205-224.
- Ahmadi, M., Nosrati, K., Selki, H. 2013. Drought and its relationship with soil moisture (case study: Isfahan Kabotar Abad). Geography, 11(38): 77-91. (In Farsi)
- Banimahd, S. A., Khalili, D. 2012. Comparative analysis of SPI and SPEI meteorological drought indices using parametric and non-parametric correlation tests in selected sites of Iran. First National Conference on Sustainable Development Strategies, Natural Disasters Institute Education institute of Mehr Arvand Ministry of the Interior. (In Farsi)
- Byun, H. R., Wilhite, D. A. 1999. Daily quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 5: 1181-1201.
- Edwards, D. C., McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology report., No. 97-2.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2): 96-99.
- Hasanalizadeh, N., Mosaedi, A., Zahiri, A., Babanezhad, M. 2014. Determine of Homogeneous Regions Distribution of Annual Rainfall in Golestan Province Using Clustering and L-moments. Journal of Water and Soil, 28(5): 1061-1071. (In Farsi)
- Livia, L., Lukas, S., Gunther, H. 2014. The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins, EGU General Assembly, Vienna, Austria.
- McKee, T. B. N., Doesken, J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. The 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with Multiple Time scales. In Proceeding of the Ninth Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, American Meteorological Society, 233-236.
- 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.
- Mostafazadeh, R., Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). Journal of the Earth and Space Physics, 42(3): 633-643. (In Farsi)
- خشک مشاهده شد. از همبستگی دو شاخص با بزرگتر شدن پنجره زمانی کاسته می‌شود و هرچه اقلیم مرطوبتر شود همبستگی دو شاخص افزایش می‌یابد. شاخص خشکسالی SPI در پنجره‌ی زمانی کوچکتر در دوره‌ی تر از دامنه تغییرات بیشتری در منطقه برخوردار است. در فصل تابستان هر دو شاخص از تغییرات بیشتری بین کلاس‌های خشکسالی برخوردار می‌باشند. با مقایسه سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در طی ۳۰ سال می‌توان دریافت هر چه طول پنجره زمانی شاخص بزرگتر می‌شود اختلافات رفتاری دو شاخص هم از لحاظ طول دوره هم از لحاظ شدت شاخص بیشتر می‌شود. نتایج فوق همسو با نتایج Ahmadi et al., (2013) و (2012) Banimhad and Kalili می‌باشد. همچنین نتایج (2014) Livia et al., ضمن مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI را در دو حوضه آبخیز اسلواکی نشان داد که همبستگی کمی بین شاخص‌های SPI و SPEI در جنوب اسلواکی در مقیاس زمانی سه ماهه وجود دارد و نباید نقش مهم تبخیرتعلق در خشکسالی‌های فصل تابستان نادیده گرفته شود. در همین راستا نتایج تحقیق (2014) Nosrati ضمن بررسی و مقایسه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص خشکسالی SPEI و SPI در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک کشور با اقلیم‌های گوناگون در دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۷ نشان داد که دو شاخص SPEI و SPI دارای همبستگی می‌باشند اما شاخص SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی‌ها دارد. (2016) Mostafazadeh and Zabihi در تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در هفت ایستگاه سینوپتیک استان کردستان بیان داشتند که شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها مشخص می‌کند و همچنین به‌نظر می‌رسد همبستگی ضعیف (۱۹/۰) میان شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه سقز ناشی از افزایش تبخیرتعلق در فصول بهار و تابستان محاسبه شده توسط شاخص SPEI می‌باشد. همانطور که ملاحظه شد تبخیرتعلق نقش مهمی را در تغییر شدت خشکسالی‌ها ایفا می‌کند لذا لحاظ این عامل در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها ضروری می‌باشد.

- Nosrati, K. 2014. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Journal of Environmental Sciences*, 12(4):63-74. (In Farsi)
- Potop, V., Možný, M. 2011. The application a new drought index–Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí* 2.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5): 821-833.
- 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 Climatology*, 23(7): 1696-1718.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M., Svoboda, M., Heim Jr, R. 2014. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 34(3): 545-558.
- Zarehabyaneh, H., Ghobaei Soogh, M., Mosaedi, A. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Journal of water and soil (Agricultural sciences and technology)*, 29(2): 374-392. (In Farsi)
- Zehtabian, G., Karimi, K., Mirdashtvan, M., Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan Province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 981-992.



## Comparative analyses of SPI and SPEI meteorological drought indices (Case study: Golestan province)

L. Rezaei Ghaleh<sup>1</sup>, K. Ghorbani<sup>\*2</sup>

Received: 04/04/2017

Accepted: 11/11/2017

### Abstract

Precipitation-based drought indices including the SPI generally neglect the effect of other variables such as temperature and evapotranspiration on drought intensity. However, some studies have confirmed the systematic errors involved. Therefore, alternate indices like Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) have been proposed. The current comparative study was aimed to evaluate the SPI and SPEI indices' skill for drought monitoring in different climatic regions of Golestan province. The results were analyzed in different seasons based on the correlation between SPI and SPEI indices classes in a 12-month window. The results showed that in more humid regions, the correlation between the two indices is higher. Similarly, in smaller time scales, the correlation was higher. The SPEI detects greater number of wet and dry spells comparing to SPI. Significant correlation between the two indices was observed at Ramyan station using Pearson's parametric test at 95% confidence level for 3 and 6 months time series. Seasonal frequency analysis of drought classes showed that both indices have more inter-classes variations in summer. Maximum number of severe and extreme drought events was observed at Ghaffar Haji station during summer using both indices. Also the comparison of SPI and SPEI time series showed that SPEI index detects longer wet and dry periods, but SPI index revealed bigger extreme values.

**Keywords:** Drought, Pearson's parametric test, Golestan province, Time series, Iran



<sup>1</sup> M. Sc. Graduate, Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

(\*Corresponding author email address: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com))

DOI: 10.22125/agmj.2018.113661