

مقایسه شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر بارندگی با شاخص‌های مبتنی بر تبخیر و تعرق به منظور تعیین خشکسالی هواشناسی
حلیمه پیری و مجتبی مبارکی

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۲۸-۳۴۳

Vol. 7(2), Summer 2021, 328-343

DOI: 10.22034/jewe.2021.258260.1471

Comparison of Rainfall and Evapotranspiration-Based Drought Indices to Determine Meteorological Drought

Piri, H. and Mobaraki, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

پیری، ح. و مبارکی، م. (۱۴۰۰). مقایسه شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر بارندگی با شاخص‌های مبتنی بر تبخیر و تعرق به منظور تعیین خشکسالی هواشناسی. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۳۲۸-۳۴۳.

Citing this paper : Halimeh, P. and Mobaraki, M. (2021). Comparison of rainfall and evapotranspiration-based drought indices to determine meteorological drought. Environ. Water Eng., 7(2), 328-343. DOI: 10.22034/jewe.2021.258260.1471

مقاله پژوهشی

مقایسه شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر بارندگی با شاخص‌های مبتنی بر تبخیر و تعرق به منظور تعیین خشکسالی هواشناسی

حلیمه پیری^{۱*} و مجتبی مبارکی^۲

^۱استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
^۲کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* نویسنده مسئول: h_piri2880@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۹/۰۱]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۱۰/۱۲]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۳۰]

چکیده

دستگاه‌های پایش از ابزارهای لازم برای مدیریت خشکسالی هستند. با این سامانه‌ها است که می‌توان از شدت و توسعه مکانی خشکسالی آگاهی یافت که معمولاً با شاخص‌های خشکسالی این مهم به انجام می‌رسد. در پژوهش حاضر از شاخص‌های RAI، DPI، PN، SIAP، SPEI و SPI برای بیان کمی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در ده ایستگاه هواشناسی منتخب کشور با اقلیم متفاوت استفاده شد. ابتدا داده‌های هواشناسی بارندگی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ از ایستگاه‌های منتخب جمع‌آوری شد. سپس هر یک از شاخص‌ها محاسبه و شدت خشکسالی برای دوره آماری موردبررسی قرار گرفت. برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه از ضریب همبستگی اسپیرمن بین شاخص خشکسالی و تغییرات بارندگی در دوره آماری مورد مطالعه استفاده شد. نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد در ایستگاه‌های سینوپتیک تهران، زاهدان، کرمان و یزد شاخص SIAP، ایستگاه‌های گرگان، رشت و بندرعباس شاخص SPEI و در ایستگاه‌های سنندج، بیرجند و ارومیه شاخص RAI با داشتن بالاترین ضریب همبستگی نسبت به دیگر شاخص‌ها خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را بهتر نشان دادند. در ارزیابی روابط همبستگی نمایه‌های زوج شده در اکثر ایستگاه‌ها زوج شاخص‌های RAI-SPEI، RAI-SIAP و SPEI-SIAP از همبستگی بالایی برخوردار بودند و همبستگی سایر شاخص‌ها با یکدیگر ضعیف بود. همچنین، نتایج نشان داد شاخص‌های DPI و PN سال‌های نرمال را بهتر نشان دادند و سه شاخص RAI، SPEI و SIAP توانستند خشکسالی‌ها را بهتر برآورد کنند.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی؛ پهنه‌بندی؛ ضریب همبستگی؛ سامانه اطلاعات جغرافیایی.

۱- مقدمه

خشکسالی یکی از وقایع طبیعی است که در نتیجه بارشی کمتر از حد نرمال یا مورد انتظار پدید می‌آید. خشکسالی‌ها در حالت کلی سه نوع هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی هستند. خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی ناشی از کمبود بارندگی می‌باشد که در صورت تداوم منجر به خشکسالی هیدرولوژی و کشاورزی می‌گردد (Zare Abyaneh and Mahboob 2004). به دلایل مختلف، پدیده خشکسالی با سایر بلایای طبیعی متفاوت است؛ زیرا تعیین شروع و خاتمه آن به روشنی مشخص نبوده و علاوه بر آن پدیده‌ای تدریجی بوده و در طی زمان تشدید می‌شود. ضمن این که فعالیت‌های بشر می‌تواند باعث تشدید اثرات این پدیده شود. پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشت زمین می‌شود. از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری می‌باشد. ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی و مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در نتیجه در اکثر سال‌ها دچار خشکسالی شدید شده است. آیین‌های باران‌خواهی که سابقه هفت‌هزار ساله در ایران دارد مؤید این نکته می‌باشد (Papeli 1999).

مکان و زمان وقوع خشکسالی و شدت آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی تعیین می‌شود. دانشمندان به منظور پایش خشکسالی و اثرات آن، شاخص‌های مختلفی ارائه کرده‌اند. پالمر را می‌توان جزء اولین محققینی دانست که در سال ۱۹۴۶ میلادی به طور علمی و با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های مختلف این پدیده پرداخت. وی در گزارشی روشی را معرفی کرد که با استفاده از پارامترهای بارش، دما و رطوبت خاک به روندیابی خشکسالی می‌پرداخت. این روش به دلیل محاسبات پیچیده و کمبود اطلاعات، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی از لحاظ دقت یکی از بهترین شاخص‌های خشکسالی است که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Palmer 1965). کارهای اولیه در خصوص پایش عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه خشکسالی در مقیاس کوچک در سال ۱۹۶۶ توسط ویپل آغاز شد و سپس توسط سایر پژوهش‌گران برای ایالاتی از آمریکا که بیش‌تر در معرض خشکسالی بودند

مانند ایالات غرب و جنوب‌غربی دنبال شد (Rahimzadeh et al. 2010). در حال حاضر محققین زیادی در خصوص خشکسالی به مطالعه پرداخته‌اند. Huijgevoort et al. (2014) اثرات تغییرات آب و هوایی بر خشکسالی را در دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ و دوره آینده ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ در حوضه چند رودخانه در سراسر جهان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که وضعیت آب‌وهوا در آینده تغییر خواهد کرد و در اغلب حوضه‌ها (حدود ۶۵٪) طول مدت خشکسالی افزایش می‌یابد. (Ebrahimian et al. 2018). روندهای عمده آب و هوایی (دمای هوا، بارندگی و جریان بالادست رودخانه) را در حوضه رودخانه لانگات مالزی با استفاده از آزمون من کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان بارندگی سالیانه روند افزایشی و دما روند کاهشی در جریان بالادست رودخانه دارد. همچنین نتایج مطالعه نشان داد آب و هوای حوضه رودخانه لانگات در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ مرطوب‌تر و گرم‌تر شده است. (Zhang et al. 2012). بررسی روند تغییرات خشکسالی در نواحی مختلف چین با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالمر برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ گزارش نمودند که براساس نتایج آزمون من-کندال، برخی از مناطق روند کاهشی و برخی دیگر از مناطق روند افزایشی در خشکسالی را تجربه کرده‌اند. همچنین اعلام داشتند که توزیع مکانی خشکسالی نشان می‌دهد این پدیده از سمت جنوب‌شرقی به سمت شمال‌غربی چین در حال افزایش است.

بیش‌تر بررسی‌های انجام‌شده در زمینه روند خشکسالی، معطوف به شاخص‌های تک‌متغیره خشکسالی است و در خشکسالی هواشناسی، بیشتر شاخص‌های تعریف‌شده مبتنی بر بارش می‌باشند؛ اما این سؤال مطرح می‌شود که در صورت عدم وجود روند در داده‌های بارش، آیا با کمبود آب و خشکسالی مواجه نخواهیم شد. در صورتی که طبق گزارش هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم، افزایش ۲ الی ۶ °C دمای کره زمین تا سال ۲۰۹۰ می‌ادی پیش‌بینی می‌شود که آسیب‌های بسیار جدی بر محیط‌زیست و منابع آب تحمیل شود. در این صورت می‌توان پاسخ داد که شاخص دو متغیره بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی خشکسالی باشد که هم نقش بارش و هم نقش دما را در کاهش منابع آبی لحاظ می‌کند (IPCC 2007). Binqun et al. (2015) با استفاده از شاخص SPEI به ارزیابی تغییرات



این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و رطوبت خاک در ایستگاه کبوترآهنگ اصفهان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد بین دو شاخص مذکور همبستگی معنی‌دار وجود دارد و شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) نسبت به خشکسالی حساس‌تر می‌باشد. (Rezaei, Ghaleh and Ghorbani 2018) به مطالعه و مقایسه دو شاخص SPI و SPEI در استان گلستان پرداختند. آنها نتیجه گرفتند شاخص SPEI دوره طولانی‌تری از خشکسالی و ترسالی و شاخص SPI وقایع حدی بزرگ‌تری را نسبت به SPEI نشان می‌دهد. (Solimani and Rafiei Sardoui 2015) دوره‌های ترسالی و خشکسالی را در حوضه هلیل‌رود بر اساس شاخص‌های مبتنی بر بارش (SPI و SPEI) بررسی کردند. نتایج نشان داد گستره دوره‌های خشکسالی بیش‌تر به سمت غرب حوضه هلیل‌رود می‌باشد و گستره دوره‌های ترسالی بیش‌تر از جنوب به سمت شمال‌غرب منطقه بوده است. (Shirani et al. 2016) در پژوهش خود راجع به بررسی اثرات خشکسالی بر درمنه‌زارهای استان اصفهان، از بین سه شاخص RAI, SPI و SIAP، شاخص SIAP را مناسب‌تر بیان نمودند. (Gorbani et al. 2010) از دو شاخص SPI و SIAP برای بررسی شدت خشکسالی در کرمانشاه استفاده کردند. نتایج نشان داد که در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی، بین طبقات خشکسالی از هر یک از این دو نمایه در بیش‌تر موارد تطابق خوبی مشاهده نشد و رفتار متفاوتی از خشکسالی را نشان می‌دهند. با توجه به پژوهش‌های مذکور خشکسالی در همه مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد، اما ویژگی‌های آن ممکن است در مناطق مختلف، متفاوت باشد؛ بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی شدت و فراوانی خشکسالی در چند ایستگاه منتخب کشور با شرایط آب و هوایی متفاوت می‌باشد.

اقلیمی در حوضه رودخانه یارلانگ زانگبو در چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بارش در این منطقه با آهنگ mm ۶/۳ در ده سال به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد درحالی‌که در شاخص SPEI روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و این به دلیل افزایش دمای هوا با آهنگ 0.32°C در ده سال می‌باشد. (Potop et al. 2014) با بررسی ویژگی‌های فراوانی و طول مدت خشکسالی، در جمهوری چک در طول فصل رشد (آوریل تا سپتامبر) با استفاده از شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ ماهه برای ۱۸۴ ایستگاه کليما تولوژی و برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰، بر اساس نتایج آزمون ناپارامتریک من-کندال به این نتیجه رسیدند که روند منفی خشکسالی در اکثر ایستگاه‌ها قابل‌مشاهده است. (Yan-Jun et al. 2012) با بررسی ویژگی‌های خشکسالی ۳۵ ایستگاه هواشناسی در حوضه رودخانه هایه در چین براساس شاخص بارش استاندارد شده برای مقیاس سالانه و در طی دوره ۵۰ سال (۱۹۶۱-۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که در آغاز قرن ۲۱، فراوانی خشکسالی‌ها و مناطق تحت تأثیر خشکسالی در حوضه رودخانه هایه کاهش ولی شدت خشکسالی افزایش یافته است و عمده خشکسالی‌ها از نوع خفیف و متوسط می‌باشد. (Zehtabian et al. 2013) دو شاخص بارش استاندارد شده و شناسایی خشکسالی را در شش ایستگاه استان خراسان جنوبی مورد مقایسه قرار دادند. آنها بیان داشتند که شاخص شناسایی خشکسالی با در نظر گرفتن مقدار تبخیر-تعرق در محاسبات، نسبت به تغییرات محیطی حساس‌تر بوده و پیچیدگی محاسبات شاخص مذکور مشابه شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد. (Ahmadi et al. 2013) به پیش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) و تعیین ارتباط

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک

Table 1 Synoptic Stations Specifications

Climate (Domarten)	Statistical period (year)	Height (m)	latitude	Longitude	Station
Dry	1981-2014	1191	35.41	51.19	Tehran
Dry	1981-2014	1370	29.28	60.53	Zahedan
Dry	1981-2014	1753.8	30.15	56.68	Kerman
Dry	1981-2014	1237	31.90	54.29	Yazd
Semi-dry	1981-2014	1373.4	35.20	47.00	Sanandaj
Mediterranean	1981-2014	1373.4	35.20	47.00	Gorgan
Very moist	1981-2014	24.9	37.12	49.38	Rasht
Dry	1981-2014	15.4	32.53	59.17	Birjand
Semi-dry	1981-2014	1336	37.52	44.57	Oromie
Dry	1981-2014	10	27.11	56.17	Bandarabbas

۲- مواد و روش‌ها

جهت بررسی خشکسالی‌ها از داده‌های ۱۰ ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور با موقعیت و شرایط آب و هوایی متفاوت طی دوره (۱۹۸۱-۲۰۱۴) استفاده شد (جدول ۱). داده‌های ماهیانه بارندگی برای دوره ۳۵ ساله از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. براساس آمار موجود جمع‌آوری شده از مقدار بارش ماهیانه ایستگاه‌های سینوپتیک، اجزاء بارش شامل میانگین، چولگی، انحراف معیار، کشیدگی، کمینه و بیشینه بارش با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای یافتن داده‌های مفقودشده از روش میانگین‌گیری ساده استفاده شد. این روش در واقع همان روش میانگین‌گیری ساده ریاضی است که در هر زمان که ایستگاه موردنظر دارای داده گمشده می‌باشد از اعداد متناظر همان زمان در ایستگاه‌های اطراف ایستگاه موردنظر، میانگین گرفته می‌شود و برابر داده مفقود ایستگاه موردنظر قرار داده می‌شود. برای محاسبه مقدار داده مفقودشده در این روش از رابطه (۱) استفاده شد (Rezazadeh Joodi and Sattari 2015).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

که، P_0 داده بازسازی شده ایستگاه موردنظر، P_i داده i امین ایستگاه نزدیک و n تعداد ایستگاه‌های مجاور می‌باشد. سپس از شاخص درصد از نرمال^۱ (PN)، دهک‌های بارندگی^۲ (DPI)، بارش استاندارد^۳ (SPI)، شاخص معیار بارندگی سالیانه^۴ (SIAP)، ناهنجاری‌های بارش^۵ (RAI) و شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استانداردشده^۶ (SPEI) برای تعیین شدت و پهنه‌بندی خشکسالی بر مبنای داده‌های موجود طی سال‌های فوق‌الذکر استفاده شد.

۲-۱- شاخص‌های خشکسالی

۲-۱-۱- شاخص درصد نرمال بارندگی

مفهوم اصلی شاخص درصد نرمال بارندگی (PN) نسبت بارندگی واقعی به مقدار نرمال آن در یک دوره زمانی مشخص می‌باشد که به صورت درصد بیان می‌شود. تجزیه و تحلیل این شاخص به هنگام استفاده از آن‌ها برای بررسی شدت

خشکسالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین، بسیار مؤثر است. مقدار این شاخص برای دوره‌ی آماری، از رابطه (۲) تعیین شد (Willeke et al. 1994).

$$PN = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (2)$$

که، P_i ، P و PN به ترتیب شاخص درصد از نرمال، بارش سال موردنظر (mm) و میانگین بارش درازمدت (mm) است.

۲-۱-۲- شاخص دهک‌های بارندگی

به منظور محاسبه دهک‌ها، ابتدا داده‌های بارش سالانه به صورت نزولی یا صعودی مرتب شدند. سپس احتمال وقوع بارش یک سال معین از رابطه (۳) به دست آمد.

$$P_i = \frac{i}{N + 1} \quad (3)$$

که، P_i احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام و N تعداد داده‌های بارندگی می‌باشد. بر حسب این که این مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد مطابق جدول (۲) یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود.

۲-۱-۳- شاخص بارش استاندارد

از بهترین و جامع‌ترین و درعین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. این شاخص که توسط مک‌کی، دوسکن و جان کلنست در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است، برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و از رابطه (۴) به دست می‌آید (Vakhshouri et al. 2016).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\delta} \quad (4)$$

که، P_i مقدار بارندگی در دوره موردنظر (mm)، $\bar{P}$ میانگین درازمدت بارندگی در دوره موردنظر (mm) و δ انحراف معیار مقدار بارندگی است.

۲-۱-۴- شاخص ناهنجاری‌های بارش

این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود، ارزیابی می‌کند. در

⁴Standardized Index of Annual Precipitation

⁵Rainfall Anomaly Index

⁶Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

¹Present of Normal

²Deciles Precipitation Index

³Standardized Precipitation Index



۲-۱-۶- شاخص بارش - تبخیر و تعرق اصلاح شده

این شاخص اولین بار توسط Vicente Serrano al et. (2010) برای تعیین خشکسالی ارائه شد. این شاخص به دلیل این که اختلاف بارش و تبخیر و تعرق را برای تعیین شدت خشکسالی در نظر می گیرد نسبت به روش هایی که مبتنی بر بارش هستند، یک برآورد واقعی تر از خشکسالی را بیان می کند. برای محاسبه این شاخص ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق برای هر ماه محاسبه می شود و سپس بر اساس رابطه (۸) مقدار شاخص به دست می آید.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (8)$$

که، D_i اختلاف بارندگی و تبخیر و تعرق (mm)، P_i مقدار بارندگی (mm) و PET_i مقدار تبخیر و تعرق ماهانه (mm) است.

برای برآورد این شاخص نیاز به تابع چگالی احتمال می باشد. شکل کلی تابع چگالی احتمال به صورت رابطه (۹) است.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (9)$$

که، α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر D_i در دامنه $D < \infty$ می باشند. فرم تابع احتمال تجمعی لجستیک سه پارامتری به صورت رابطه (۱۰) می باشد.

$$f(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (10)$$

تابع کلاسیک Abramowitz and Stegun (1965) با استفاده از مقادیر تابع $F(x)$ تخمینی برای مقدار شاخص SPEI می باشد (رابطه های ۱۱ و ۱۲).

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (11)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad P \leq 0.5 \quad (12)$$

که، P مقدار احتمال تجاوز از مقدار D است ($P = 1 - F(x)$). اگر مقدار P بزرگتر از ۰/۵ باشد، مقدار P با مقدار $1 - P$ جایگزین و علامت نتایج SPEI تغییر می کند. مقدار ضرایب ثابت رابطه (۱۱) بدین صورت است: $C_0 = 2/515517$.

واقع اساس این شاخص محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد. مراحل محاسبه این نمایه به صورت زیر است:

الف- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی سالیانه ($\bar{P}$) در ایستگاه مورد نظر،

ب- استخراج میانگین ده مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (M)،

پ- استخراج میانگین ده مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (X)، و

ت- مقایسه داده های بارندگی سالیانه P با میانگین درازمدت ($\bar{P}$).

اگر $P > \bar{P}$ باشد آنگاه RAI از رابطه (۵) به دست می آید.

$$RAI = \frac{3(P - \bar{P})}{(M - \bar{P})} \quad (5)$$

و اگر $P < \bar{P}$ باشد RAI از رابطه (۶) به دست می آید.

$$RAI = \frac{-3(P - \bar{P})}{(X - \bar{P})} \quad (6)$$

در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است. نسبت دادن آستانه های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از بزرگترین مقادیر ناهنجاری های مثبت و ده مورد از کوچکترین مقادیر ناهنجاری های منفی است. در نهایت، با مقیاس گذاری خطی روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری های بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می شود.

۲-۱-۵- شاخص معیار بارندگی سالیانه

اساس محاسبه شاخص بارندگی سالانه، انحراف داده های بارندگی از نرمال می باشد. این شاخص به دلیل این که برای تجزیه و تحلیل نیاز به پارامترهای ورودی زیادی ندارد، کاربرد زیادی دارد. شاخص معیار بارندگی سالیانه از رابطه (۷) قابل تعیین است.

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (7)$$

که، P_i بارندگی در یک سال هیدرولوژیکی خاص (mm)، $\bar{P}$ میانگین بارندگی سالیانه (mm) و SD انحراف از میانگین می باشد.

ضریب همبستگی بین زوج شاخص‌های x و y از رابطه (۱۳) محاسبه شد.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

بعد از این که شاخص‌های مذکور به دست آمد، مطابق جدول (۲) شدت خشکسالی در هر ایستگاه تعیین شد.

$d_1 = 1/432788$, $C_2 = 0/10328$, $C_1 = 0/802853$, $d_3 = 0/001308$ و $d_2 = 0/18929$

۲-۲- آزمون همبستگی شاخص‌ها

برای بررسی ارتباط بین زوج شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. مقادیر این ضریب بین ۱ تا ۱- تغییر می‌کند که ۱ معرف همبستگی کامل، صفر نبود همبستگی و ۱- معرف همبستگی منفی کامل می‌باشد.

جدول ۲- طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

Table 2 Different classes of drought indices studied

SPEI	DPI	SIAP	PN	RAI	SPI	degree	Drought severity classes
-0.99 - 0.99	%40 $\geq$	0.25 - -0.25	%80 $\geq$	-0.3 - 0.3	+1 - 0	0	normal
-	30-40	-0.25 - -0.52	70-80	-0.3 - -1.2	-1 - 0	1	poordrought
-1 تا -1.49	20-30	-0.52 - -0.84	55-70	-1.2 - -2.1	-1.5 -- 1	2	moderatedrought
-1.99 تا -1.5	10-20	-0.84 - -1.28	40-55	-2.1 - -3	-2 تا -1.5	3	severedrought
<-2	<%10	<-1.28	<%40	<-3	<-2	4	Very severe drought

اقلیمی خشک در محدوده ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. لذا ضریب تغییرات بالا در این تحقیق نشان می‌دهد، بارش‌ها در کشور بسیار نامنظم و با تغییرپذیری بالا همراه بوده و این نشان‌دهنده حاکمیت اقلیم خشک و رخداد خشکسالی‌های زیاد و با شدت بالا می‌باشد. برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه یا به عبارتی بررسی کارایی نمایه‌ها، میزان همبستگی بین رتبه-های شاخص‌های خشکسالی و تغییرات بارش در دوره آماری مورد مطالعه از طریق ضریب همبستگی اسپیرمن به دست آمد که در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد در ایستگاه‌های سینوپتیک تهران، زاهدان، کرمان و یزد شاخص SIAP، ایستگاه‌های گرگان، رشت و بندرعباس شاخص SPEI و در ایستگاه‌های سنندج، بیرجند و ارومیه شاخص RAI توانسته‌اند نسبت به دیگر شاخص‌ها خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را بهتر نشان دهند.

جهت تعیین شاخص برتر، فراوانی خشکسالی که توسط هر یک از شاخص‌ها تعیین شده بود، به دست آمد. همچنین بعد از محاسبه شاخص‌ها پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار GIS برای دوره‌های پنج‌ساله انجام گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- شاخص‌های خشکسالی و ضریب همبستگی

تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش ایستگاه‌های مختلف نشان داد که در دوره آماری مورد مطالعه کم‌ترین بارندگی به میزان mm ۰/۷۸ در ایستگاه سینوپتیک یزد و بیش‌ترین بارش به مقدار mm ۱۶۱/۴۳ در ایستگاه سینوپتیک رشت بوده است. ضریب تغییرات بارندگی از ۱۹/۰۱ تا ۶۷/۷۸٪ در ایستگاه بندرعباس متغیر بود. بیش‌تر بودن شاخص ضریب تغییرات از ۴۰٪ در بارش نشان‌دهنده بی‌نظمی بالای بارش و حاکمیت شرایط

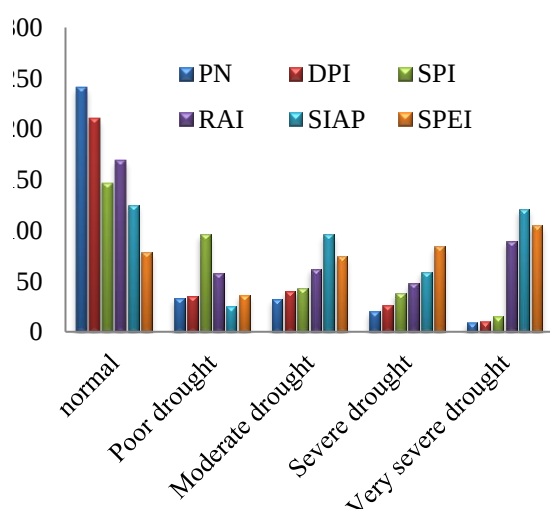
جدول ۳- ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین مقادیر نمایه‌های خشکسالی و بارندگی

Table 3 Spearman rank correlation coefficient between values of drought and rainfall indices

Bandarabbas	Urmia	Birjand	Rasht	Gorgan	Sanandaj	Yazd	Kerman	Zahedan	Tehran	Index
0.88	0.73	0.79	0.64	0.69	0.81	0.82	0.79	0.58	0.82	PN
0.83	0.79	0.86	0.82	0.78	0.68	0.86	0.81	0.75	0.67	DPI
0.71	0.86	0.84	0.86	0.83	0.77	0.81	0.84	0.66	0.89	SPI
0.89	0.97	0.95	0.91	0.91	0.94	0.95	0.95	0.89	0.81	RAI
0.94	0.93	0.93	0.95	0.92	0.93	0.97	0.96	0.92	0.97	SIAP
0.95	0.86	0.89	0.96	0.94	0.89	0.94	0.93	0.87	0.96	SPEI

Livia et al. (2014) شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI را در دو حوضه اسلواکی مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان داشتند همبستگی کمی بین این دو شاخص وجود دارد و نباید نقش مهم تبخیر و تعرق در خشکسالی‌ها نادیده گرفته شود. تبخیر و تعرق نقش مهمی را در تغییرات شدت خشکسالی ایفا می‌کند لذا لحاظ نمودن این عامل در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها ضروری می‌باشد.

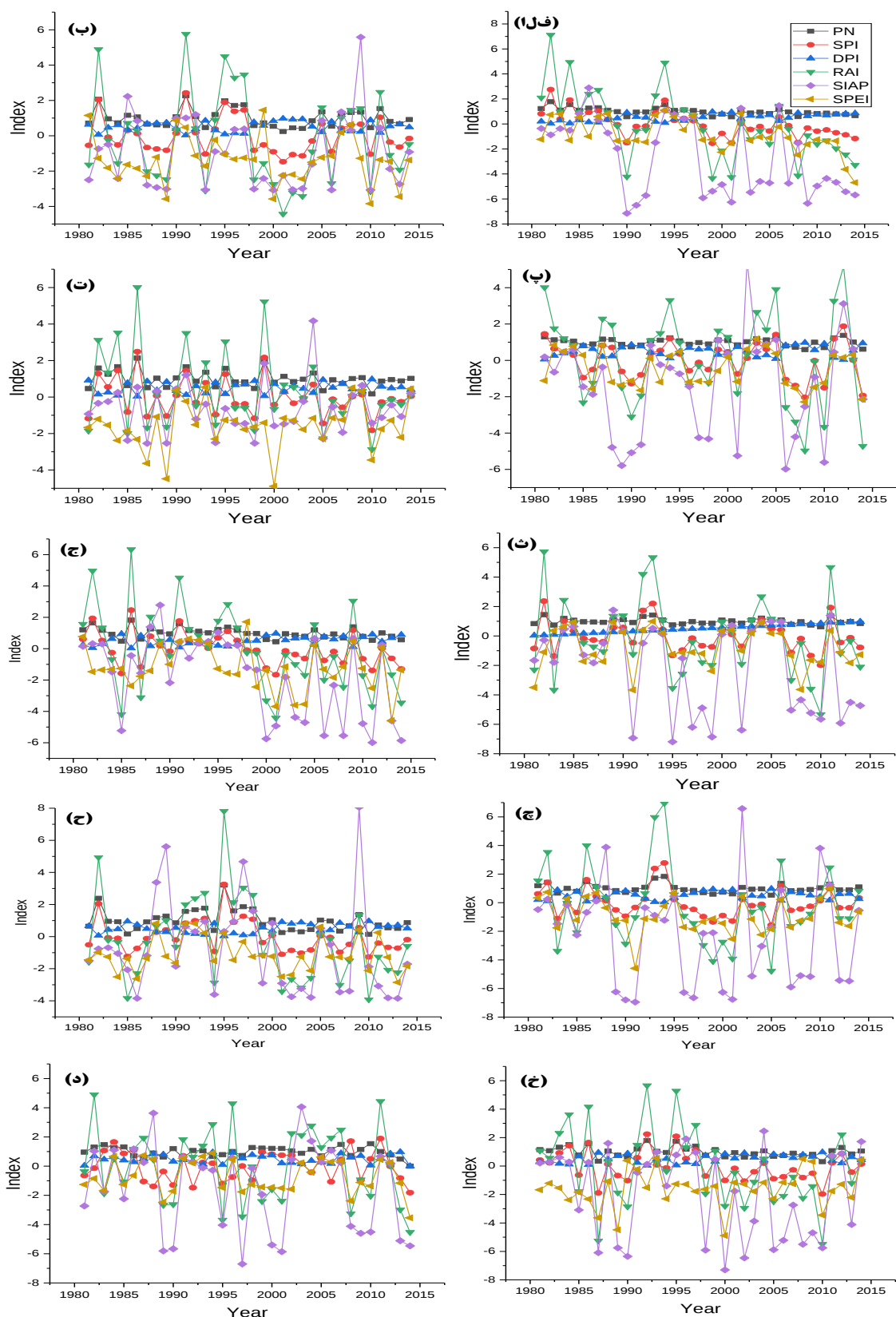
شکل (۱) فراوانی هر کدام از شاخص‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد شاخص PN و DPI وضعیت نرمال را بهتر از سایر شاخص‌ها نشان می‌دهند. از بین شاخص‌های مورد مطالعه شاخص SPI خشکسالی ضعیف، شاخص SIAP خشکسالی‌های متوسط و بسیار شدید و شاخص SPEI خشکسالی‌های شدید را بهتر نشان داده‌اند. (Sonmez et al. (2005) نشان دادند که به دلیل چولگی زیاد و عدم برازش مناسب توزیع گاما بر داده‌های بارش باعث می‌شود، مقادیر SPI محاسبه شده به‌طور مطلوب، شرایط خشکسالی را نشان نداده و سبب بروز خطاهای قابل توجهی شود. نتایج پژوهش با نتایج تحقیق Aligholnia et al. (2019) و Shokoohi (2012) همخوانی دارد.



شکل ۱- فراوانی خشکسالی و سال‌های نرمال به دست آمده از شاخص‌ها

Fig. 1 Frequency of drought and normal years obtained from indices

در اقلیم‌های خشک (تهران، زاهدان، کرمان و یزد) شاخص SIAP از دیگر شاخص‌ها خشکسالی را بهتر نشان داده است. علی‌رغم این که بیرجند نیز طبق اقلیم نمای دومارتن دارای آب و هوای خشک می‌باشد اما شاخص RAI خشکسالی را بهتر نشان داده است که علت آن شاید به دلیل سرمای منطقه و اقلیم خشک و سرد آن باشد که آن را از مناطق خشک دیگر مستثنی نموده است. همچنین بندرعباس نیز علی‌رغم اقلیم خشک آن مانند گرگان و رشت شاخص SPEI خشکسالی را در آن بهتر نشان داده است. علت آن را نیز شاید بتوان به مرطوب و شرجی بودن هوای منطقه نسبت داد که از این نظر مشابه هوای گرگان و رشت است. (Rezaei Ghaleh (2018) and Ghorbani از بین دو شاخص SPI و SPEI در استان گلستان شاخص SPEI را به عنوان شاخص برتر خشکسالی انتخاب کردند. (Javadi et al. (2011) وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مرکزی را با استفاده از شاخص‌های PN ، SIAP و RAI بررسی نمودند. نتایج نشان داد نمایه‌های RAI و SIAP رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌ها گزارش نمودند و نمایه PN تنها ۲۲٪ از شرایط خشکسالی بسیار شدید را توانسته‌اند، درست برآورد نماید. لذا نمایه RAI و SIAP کارایی بیشتری نسبت به PN دارند. همچنین کارایی نمایه‌ها براساس مجموع نمرات شاخص‌ها در هر ایستگاه بررسی گردید. هرچه مجموع نمرات بیش‌تر باشد، کارایی آن شاخص بیش‌تر است. برای انجام این کار ابتدا برای هر ایستگاه، شاخصی که بیش‌ترین همبستگی را با مقادیر کمی شده نمایه‌ها دارد، دارای بیش‌ترین نمره (نمره ۶) و شاخصی که ضریب همبستگی کمتری دارد، از پنج تا یک نمره بندی شد. با ملاک قرار دادن مجموع نمرات هر شاخص در کل ایستگاه‌ها شاخصی که بیش‌ترین نمره را داشت به عنوان برترین شاخص شناخته شد. شاخص SIAP با بیش‌ترین نمره (۵۴) بیش‌ترین دقت و شاخص PN با کم‌ترین نمره (۱۷) کم‌ترین دقت را در تعیین شدت خشکسالی داشته‌اند. شاخص RAI با ۴۸ نمره و شاخص SPEI با ۴۷ نمره در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. (Gorbani et al. (2018) روند تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در ایران را با شاخص دو متغیره خشکسالی SPEI مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند با توجه به این که شاخص‌های تک‌متغیره فقط مبتنی بر بارش هستند و در اثر تغییر اقلیم افزایش دما مشاهده می‌شود، استفاده از شاخص‌های خشکسالی دو متغیره مانند SPEI مناسب‌تر است.



شکل ۲- روند تغییرات خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه: (الف) - سنندج، (ب) - زاهدان، (پ) گرگان، (ت) یزد، (ث) رشت، (ج)

بیرجند، (چ) ارومیه، (ح) بندرعباس، (خ) کرمان، و (د) تهران در بازه زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۴

Fig. 2 Trends of drought changes at the stations studied a) Sanandaj, b) Zahedan, c) Gorgan, d) Yazd, e) Rasht, f) Birjand, g) Urmia, h) Bandarabbas, k) Kerman, and l) Tehran in the period of 1981-2014

۲-۳- روند تغییرات خشکسالی

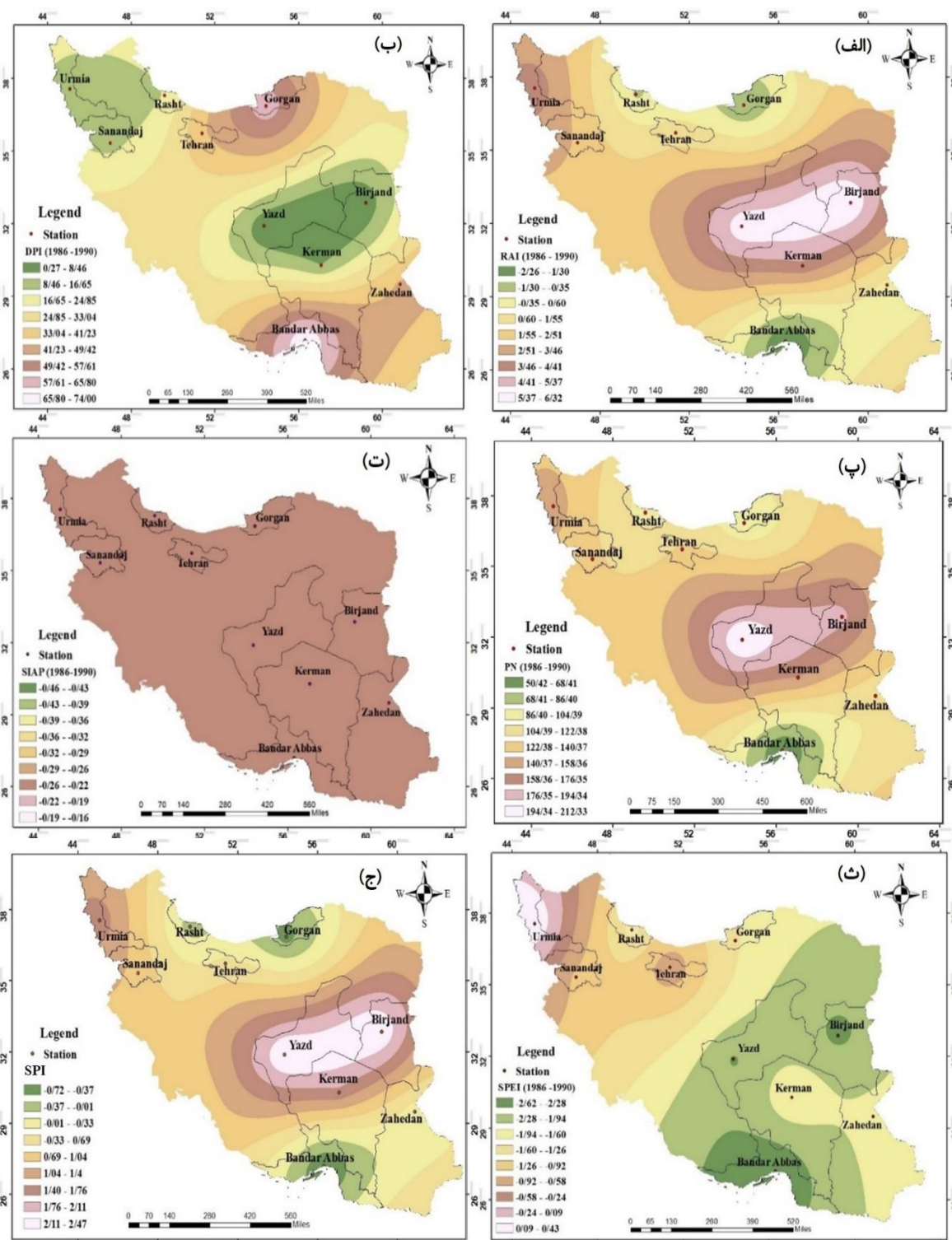
شکل (۲) روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد تمامی ایستگاه‌ها دارای دوره‌های متناوب خشکسالی و ترسالی با شدت و مدت متفاوت بودند. شاخص‌های RAI، SPEI و SIAP روند تقریباً یکسانی را داشته‌اند ولی تطابق دو شاخص RAI و SPEI بیش‌تر بود. شاخص DPI و PN نیز روند مشابه یکدیگر را دارا بودند. مطابق شکل (۲) شاخص‌های DPI و PN سال‌های نرمال را بهتر نشان دادند و سه شاخص RAI، SPEI و SIAP توانسته‌اند خشکسالی‌ها را بهتر برآورد کنند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش Aligholnia et al. (2019) مطابقت دارد. نتایج به‌دست‌آمده از همبستگی آماری زوج شاخص‌ها نشان داد، در اکثر ایستگاه‌ها زوج شاخص‌های RAI-SPEI، RAI-SIAP و SPEI-SIAP از همبستگی بالایی برخوردار بودند و همبستگی سایر شاخص‌ها با یکدیگر ضعیف بود. (Aligholnia et al. (2019) در پژوهش خود نتیجه گرفتند شاخص SPI و CZI تطابق بالایی نسبت به هم دارند و زوج شاخص‌های SPI-CZI، SPI-PNI و CZI-PNI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند. Sadr (2011) Afshari and Feizollahipoor مقادیر خشکسالی ارومیه را برای دستیابی به بهترین شاخص با استفاده از شاخص‌های SPI، PNI، ZSI و DI در دوره آماری ۳۹ ساله انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که شاخص DI و ZSI با یکدیگر دارای هماهنگی زیادی می‌باشند به‌طوری‌که در حدود ۲۲ دوره دارای همخوانی تقریباً کاملی هستند و شاخص‌های SPI و PNI نیز با یکدیگر دارای همخوانی مطلوبی می‌باشند.

۳-۳- پهنه‌بندی بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه

شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) پهنه‌بندی خشکسالی را با استفاده از هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. جهت انجام پهنه‌بندی دوره آماری مورد مطالعه به دوره‌های پنج‌ساله تقسیم شد. جهت نمونه اشکال مربوط به هر شاخص در پنج‌ساله ۱۹۹۹-۱۹۸۶ (شکل ۳)، ۲۰۰۵-۲۰۰۱ (شکل ۴) و ۲۰۱۴-۲۰۱۱ (شکل ۵) آورده شده است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نیز نشان داد شاخص‌های RAI، SPEI و SIAP

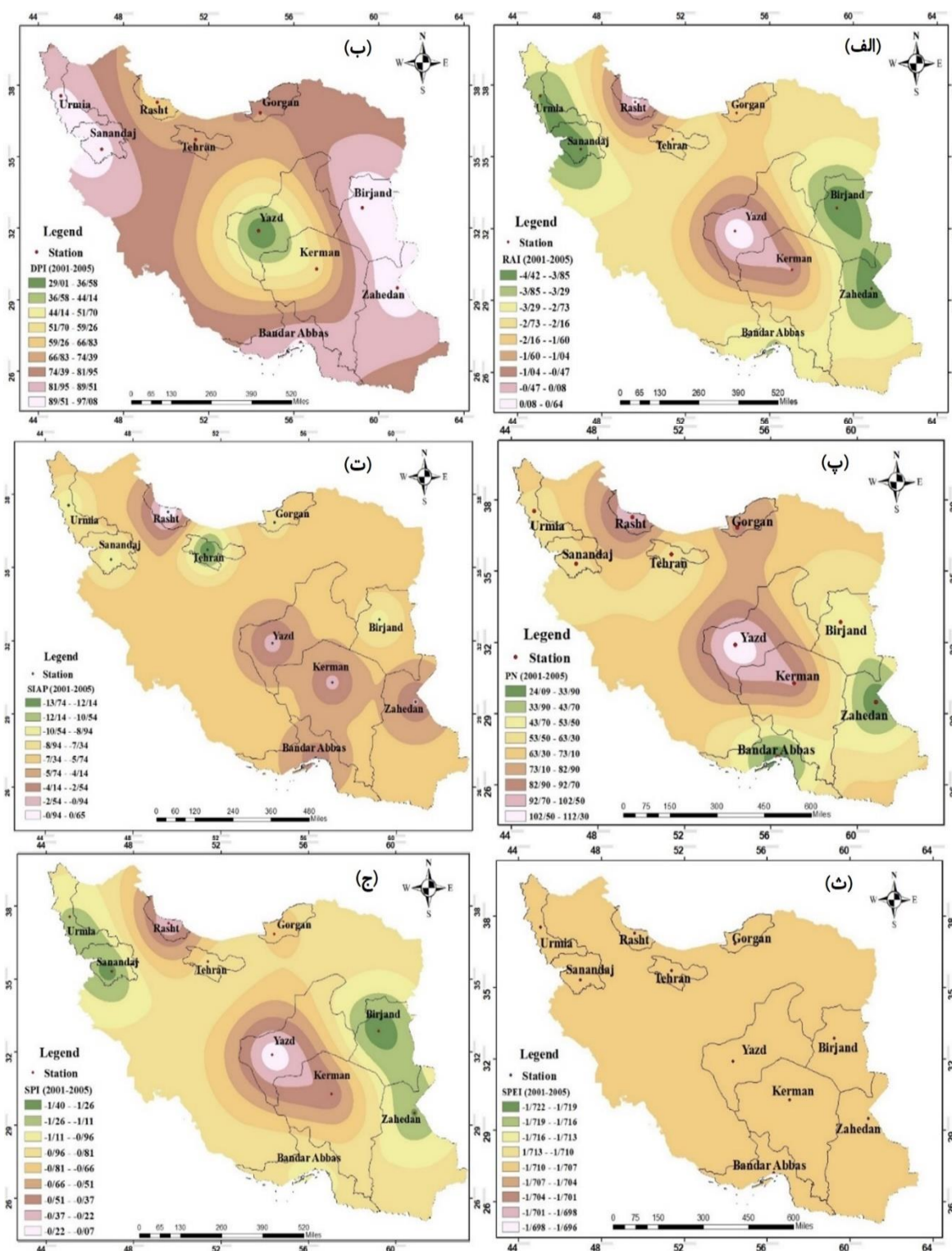
روند یکسانی در نشان دادن خشکسالی داشتند. Bazrafshan et al. (2016) روند تغییرات خشکسالی در سواحل جنوبی ایران را بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج دو شاخص در تحلیل خشکسالی و درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی ۳-۴۸ ماهه نشان داد، روند تغییرات دو شاخص مشابه اما شاخص SPEI نسبت به SPI فرکانس بالاتری از خشکسالی و پاسخ سریع‌تری به تغییرات رطوبتی نشان می‌دهد. ایشان بیان داشتند در اقلیم‌های خشک و فراخشک بیابان ساحلی استفاده از شاخص SPI برای پایش خشکسالی کافی نیست و به‌دلیل نقش دما به‌عنوان عامل محدودکننده رطوبت، استفاده از شاخص SPEI برای پایش دقیق خشکسالی‌ها استفاده شود. 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 به‌ویژه در اقلیم‌های فراخشک و بیابان‌های ساحلی، معنی‌دار بوده و موجب تشدید پدیده خشکسالی و در نهایت موجب کاهش شدیدتر منابع آب می‌گردد.

این یافته‌ها با نتایج Hatefi et al. (2016)، Nosrati et al. (2015) و Sobhani et al. (2015) مشابهت دارد. از طرفی 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. (Khazanedari et al. (2010) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است. Khosravi et al. (2016) برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی در ایران از چهار شاخص SPI، SIP، RAI و PNI استفاده کردند. مقایسه چهار شاخص، نزدیکی نتایج به‌دست‌آمده را در تحلیل فضایی خشکسالی ایران نشان داد؛ اما شاخص RAI به‌دلیل برخورداری از طبقات بیش‌تر، از حساسیت بالاتری برخوردار بوده، توزیع مکانی شدت خشکسالی را با دقت و جزئیات بیش‌تری نشان داده است.



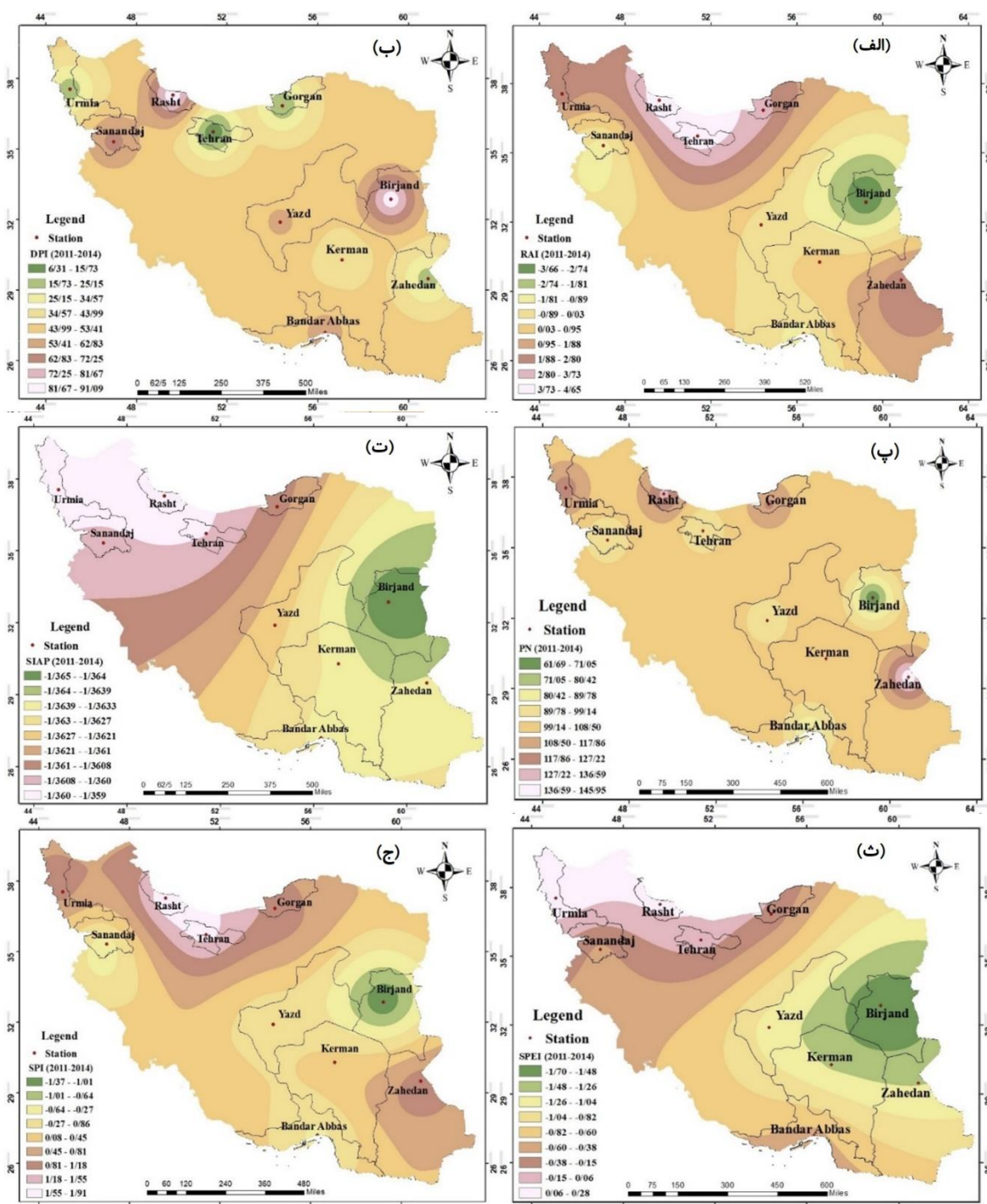
شکل ۴- پهنه‌بندی خشکسالی طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۹۰ با استفاده از شاخص‌های: (الف) RAI، (ب) DPI، (پ) PN، (ت) SIAP، (ث) SPEI، و (ج) SPI

Fig. 4 Drought zoning during 1986-1990 based on: a) RAI, b) DPI, c) PN, d) SIAP, e) SPEI, and f) SPI indices



شکل ۵- پهنه‌بندی خشکسالی طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۵ با استفاده از شاخص‌های: الف) RAI، ب) DPI، پ) PN، ت) SIAP، ث) SPEI، و ج) SPI

Fig. 5 Drought zoning during 2001-2005 based on: a) RAI, b) DPI, c) PN, d) SIAP, e) SPEI, and f) SPI indices



شکل ۶- پهنه‌بندی خشکسالی طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۴ با استفاده از شاخص‌های: الف) RAI، ب) DPI، پ) PN، ت) SIAP، ث) SPI، و ج) SPEI

Fig. 6 Drought zoning during 2011-2014 based on: a) RAI, b) DPI, c) PN, d) SIAP, e) SPEI, and f) SPI indices

مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های استفاده‌شده جهت بررسی شدت خشکسالی در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۴ عبارت بودند از: شاخص RAI و SIAP، SPEI، SPI، DPI، PN. نتایج این پژوهش نشان داد:

۳- نتیجه‌گیری

شاخص‌های خشکسالی بیان‌کننده حدود طبیعی خشکسالی-های رخ داده هستند تا امکان ارزیابی آن را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ممکن سازند. در پژوهش حاضر شش شاخص خشکسالی هواشناسی در ده ایستگاه سینوپتیک کشور

بنابراین پژوهش در پایش و تحلیل خشکسالی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در بخش‌های مختلف به‌خصوص در مناطق خشک، استفاده از شاخص‌هایی که تنها مبتنی بر بارش می‌باشند، نمی‌تواند چندان مناسب باشد و باید از شاخص‌های چندعاملی مانند SPEI استفاده کرد و استفاده از شاخص‌های بارش با توجیه سادگی کاربرد دسترسی به آمار بارندگی مناسب نمی‌باشد. با توجه به پهناور بودن کشور ایران و شاخص‌های زیاد خشکسالی پیشنهاد می‌گردد خشکسالی در همه اقلیم‌ها و شهرها با مدل‌های مختلف محاسبه گردد و مدل‌های برتر در هر اقلیم مشخص و جهت کارهای تحقیقاتی معرفی شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه UOZ-GR-9719-30

نحوه دسترسی به داده‌ها

برخی از داده‌های پژوهش در متن مقاله ارائه شده است و داده‌هایی که در متن وجود ندارد حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول مقاله قابل ارسال خواهد بود.

۱- همه شاخص‌ها تقریباً تغییرات یکسانی را نسبت به تغییرات بارش در دوره‌ی مورد مطالعه نشان دادند. دلیل این روند یکسان، وابستگی شاخص‌ها به پارامتر بارش می‌باشد. فقط شدت آن متفاوت بود.

۲- شاخص‌های SPEI، RAI و SIAP از سایر شاخص‌ها، خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را بهتر نشان دادند. دلیل برتری شاخص SPEI را می‌توان به تغییرات بارندگی و منظور نمودن درجه حرارت در این شاخص نسبت داد. شاخص SPI نیز خشکسالی‌های ضعیف را بهتر از شاخص‌های دیگر نشان داد.

۳- روابط همبستگی زوج شاخص‌ها نشان داد زوج شاخص‌های RAI-SPEI، RAI-SIAP و SPEI-SIAP از همبستگی بالایی برخوردار بودند و همبستگی سایر شاخص‌ها با یکدیگر ضعیف بود.

۴- ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد در ایستگاه‌های سینوپتیک تهران، زاهدان، کرمان و یزد شاخص SIAP، ایستگاه‌های گرگان، رشت و بندرعباس شاخص SPEI و در ایستگاه‌های سنندج، بیرجند و ارومیه شاخص RAI با داشتن بالاترین ضریب همبستگی نسبت به دیگر شاخص‌ها خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را بهتر نشان دادند.

References

- Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (1965). Handbook of mathematical functions, with formulas, graphs, and mathematical tables. Dover Publications.
- Ahmadi, M., Nosrati, K. and Selki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture (case study: Isfahan Kabotar Abad). Geogra., 11(38), 77-91 [In Persian].
- Aligholnia, T., Rasooli Majd, N., Hezar, E. and Jaribi, T. (2019). Evaluation and comparison of drought indices in West Azarbaijan province using SPI, CZI, PNI index and GIS. Irrig. Sci. Eng., 42(1), 175-188 [In Persian].
- Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., Bazrafshan, J., 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. Desert Manag., 4(8), 54-69 [In Persian].
- Binquan, L., Wei, Z., Yaoyang, Z., Qin, J., Zhongbo, Y., Zhongmin, L. and Kumud, A. (2015). Using the SPEI to assess recent climate change in the yarlung zangbo river basin, south Tiet, J. Water, 7(10), 5474-5486.
- Ebrahimian, M., Nuruddin, A. A., Soom, M. A., Sood, A. M., Neng, L. J. and Galavi, H. (2018). Trend analysis of major hydroclimatic variables in the Langat River basin, Malaysia. Singapore J. Trop. Geogra., 39(2), 192-214.
- Ghorbani, K., Khalili, A., Alavi Panah, K. and Nakhaeazade, A. R. (2010). Comparative study of SIAP and SPI drought meteorological indices by data mining method: (Case study of Kermanshah province). J. Water Soil, 24(3), 417-426.
- Ghorbani, K., Valizadeh, A. and Bararkhanpour, P. (2018). Investigation of Spatio-temporal



- changes in the SPEI meteorological drought index in Iran. *Desert Manag.*, 11, 25-38 [In Persian].
- Hatefi, A., Mosaedi, A. and 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 Persian].
- Huijgevoort, M. H. J. V., Lanen, H. A. J. V., Teuling, A. J. and Uijlenhoet, R. (2014). Identification of changes in hydrological drought characteristics from a multi-GCM driven ensemble constrained by observed discharge. *J. Hydrol.*, 512, 421-434.
- IPCC. (2007). Climate change: the physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge 1-18.
- Javadi, M. R., Bagheri, M. and Mirza Jan Sumsar, A. (2011). Investigation and analysis of droughts and climates using percentage indexes of normal precipitation, precipitation anomalies and annual precipitation criteria in Markazi Province. Second national conference on desertification and sustainable development of Iranian desert wetlands, Islamic Azad University of Arak [In Persian].
- Khazanedari, L., Abbasi, F., Ghandhari, S., Kouhi, M. and Malbousi, S. (2010). Drought conditions in the next thirty years in Iran. *J. Geogra. Region. Develop. Res.*, 12, 83-98 [In Persian].
- Khosravi, M., Movaghari, A. R. and Mansoori, M. (2016). Evaluation of indicators PN, RAI, SIP and SPI for zoning of drought intensity in Iran by comparing two interpolation methods IDW and digital elevation model DEM. *Geogra. Environ. Sustain.*, 5, 53-70 [In Persian].
- Livia, L., Lukas, S. and 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.
- Nosrati, K., Mohseni Saravi, M. and Shahbazi, R. (2015). Application and comparison of standardized precipitation and standardized precipitation evapotranspiration indices for evaluating meteorological drought condition of Tehran Province. *J. Desert Manag.*, 3, 77-90 [In Persian].
- Palmer W. C. (1965). Meteorological drought, U. S. Weather Bureau, Washington, D.C. 65.
- Papelli Yazdi A. D. (1999). Rainy day rituals during drought. *J. Geogra. Res.*, 211, 186-211 [In Persian].
- Potop, V., Boroneant, C., Mozny, M., Stepanek, P. and Skalak, P. (2014). Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theor. Appl. Climat.*, 115, 563-581.
- Rahimzadeh, Z., Mohammadzadeh, H. and Kardan Moghaddam, H. (2010). Drought zoning with SPI and CZI indices and application of geostatistics (Case study: South Khorasan Province). First national conference on applied water resources research, Kermanshah University of Technology. 332-340 [In Persian].
- Rezaei Ghaleh, L. and Ghorbani, K. (2018). Comparative analysis of behavior of SPI and SPEI meteorological drought indicators in selected stations of Golestan province. *Sci. J. Agri. Meteorol.*, 6(1), 40-31 [In Persian].
- Rezazadeh Joodi, A. and Sattari, M. T. (2015). Evaluate the performance of different methods in the reconstruction of precipitation data monthly. *J. Appl. Res. Geogra. Sci.*, 16(42), 155-176 [In Persian].
- Sadr Afshari, S. and Faizollahpour, M. (2011). Estimation of Urmia drought by using SPI, DI, ZSI and comparing these methods to achieve the best drought index. Second national conference on desertification and sustainable development of Iran's desert lagoons, Islamic Azad University of Arak [In Persian].
- Shirani, B., Khodaghali, M. and Montazeri, M. (2016). Investigation and analysis of production in mangroves based on meteorological drought indicators (Case study: Isfahan province). *J. Watershed Eng. Manag.*, 8(2), 210-220 [In Persian].
- Shokoohi, A. (2012). Comparison of RDI and SPI indicators for agricultural drought analysis (Case Study: Qazvin and Takestan). *Irrig. Water Eng.*, 3(9), 111-122 [In Persian].
- Sobhani, B., Ghaffari Gilandeh, A. and Goldoust A. (2015). Drought monitoring in Ardabil province by means of SEPI fuzzy index



- developed based on the fuzzy logic. *J. Appl. Res. Geogra. Sci.*, 36, 51-72 [In Persian].
- Soleimani Sardo, F. and Rafiei Sardoui, A. (2015). Analysis of the range of meteorological droughts and wetlands using precipitation-based indicators (Case study: Halil River Basin, Jiroft). *Geogra. (Region. Plan.)*, 6(2), 91-100 [In Persian].
- Sonmez, F. K., Komuscu, A. U., Erkan, A. and Turgu, E. (2005). An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the precipitation index. *Nat. Hazard*, 35, 243-264.
- Vakhshouri, A., Jafarpour, Z. and Kordvani, P. (2016). Comparison of climate drought indices in Iranian rainfall stations. *Nat. Geogra.*, 10(36), 89-108 [In Persian].
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. and López-Moreno, J. I. (2010). A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *J. Climat.*, 23(7), 1696– 1718.
- Willeke, G. E., Guttman, N. B., Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R. (1994). National drought atlas developed. *Eos. Trans. Am. Geophys. Union*, 75(8), 89-90.
- Yan-jun, L., Xiao-Dong, Z., Fan, L. and Jing, M. (2012). Analysis of drought evolvement characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe River Basin. *Proced. Eng.*, 28, 434-437.
- Zare Abyaneh, H. and Mahboobi, A. (2004). Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. *Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 17(3), 2-7 [In Persian].
- Zehtabian, G., Karimi, K., Nakhee Nejadfard, S., Mirdashtvand, M. and Khosravi, H. (2013). Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in South Khorasan province in Iran. *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.*, 1(9), 965-981.
- Zhang, B., Wu, P., Zhao, X. and Wang, Y. (2012). Drought variation trends in different subregions of the Chinese Loess Plateau over the past four decades. *Agri. Water Manag.*, 115, 167-177.



Research Paper

Comparison of Rainfall and Evapotranspiration-Based Drought Indices to Determine Meteorological Drought**Halimeh Piri^{1*} and Mojtaba Mobaraki²**¹Assist. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.²M.Sc., Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran***Corresponding author:** H_piri2880@uoz.ac.ir**Received:** November 21, 2020**Revised:** January 01, 2021**Accepted:** January 19, 2021**Abstract**

Monitoring systems are one of the tools required in drought management practices. With these systems, through the application of drought indices, it is possible to determine the intensity and the development of a drought location. In this study, RAI, DPI, PN, SPEI, SIAP, and SPI drought indices were used for quantitatively quantifying drought and its zoning in 10 selected weather stations in Iran. First, rainfall data of 1980 to 2013 was collected from local authorities. Then, each of the indicators were calculated and the severity of drought for the statistical period was evaluated. Spearman correlation coefficient, between the drought index and rainfall changes, was used to select the most suitable index. Spearman correlation coefficient showed that in the synoptic stations of Tehran, Zahedan, Kerman, and Yazd the SIAP index; in Gorgan, Rasht, and BandarAbbas stations the SPEI index, and in Sanandaj, Birjand, and Urmia the RAI index were superior in detecting the severe and very severe droughts when compared with the other indices. In correlation analysis of the coupled indices, in most of the stations, the couples of RAI-SPEI, RAI-SIAP and SPEI-SIAP indices were highly correlated and the correlation of other indicators was weak. Overall, the DPI and PN indices showed high suitability in capturing the normal years, while the RAI, SPEI and SIAP indices were better at estimating the droughts.

Keywords: Drought Monitoring; Correlation Coefficient; Geographic Information System; Zoning.