

## سامانه های سطوح آبگیر باران



## پایش وضعیت خشکسالی هواشناسی بر مبنای شاخص پالمر استاندارد شده (SPDI) در نواحی مختلف آب و هوایی کشور

مرتضی ضرابی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>، سید مجید هاشمی‌نیا<sup>۳</sup>، محمد قبائی سوق<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، [morteza.zarabi@um.ac.ir](mailto:morteza.zarabi@um.ac.ir)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [hasheminia@um.ac.ir](mailto:hasheminia@um.ac.ir)

۴- دکتری علوم و مهندسی آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، تهران، [ghabaei.m63@gmail.com](mailto:ghabaei.m63@gmail.com)

\*ایمیل نویسنده مسئول ([mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir))

### چکیده

خشکسالی یک رخداد تکرار شونده و به اصطلاح خزنده است که به آرامی و در مناطق مختلف کره زمین رخ می‌دهد. در دهه‌های گذشته شاخص‌های خشکسالی متعددی برای پایش این پدیده اقلیمی توسعه یافته‌اند. شاخص نسبتاً جدید پالمر استاندارد شده (SPDI) بر مبنای مفاهیم شاخص پالمر و بکارگیری تفاضل بین بارش و بارش مناسب اقلیمی در قالب شاخص‌های استاندارد شده توسعه یافت. در پژوهش حاضر به منظور پایش خشکسالی و مقایسه‌ی نتایج آن با شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش و تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI)، از داده‌های ۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق مختلف آب و هوایی کشور طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج پایش خشکسالی در ایستگاه مشهد نشان داد که تعداد رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی در شاخص SPI و SPDI بیشتر از SPEI است، اما طول دوره‌ی خشکسالی/ترسالی‌ها برعکس است. در ایستگاه بندر انزلی وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط هر سه شاخص، بسیار مشابه یکدیگر بود و در ایستگاه‌های شیراز، تهران و کرمان ارتباط نزدیک و مشابهت رفتاری بین شاخص‌های SPDI و SPI دیده شد. همچنین نتایج ضریب همبستگی نشان داد که همبستگی بسیار بالایی بین دو شاخص SPI و SPDI در تمامی ایستگاه‌ها وجود دارد و با افزایش مقیاس زمانی، مقدار همبستگی نیز افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: شاخص SPDI، شاخص SPI، شاخص SPEI، خشکسالی، ضریب همبستگی

### ۱- مقدمه

کمبود آب و خشکسالی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بشر در سال‌های اخیر با آن روبرو است [۱]. خشکسالی یک پدیده آب و هوایی است و بخش جدایی ناپذیر نوسانات اقلیمی محسوب می‌شود که به صورت دوره‌ای و متناوب در سراسر جهان و در همه‌ی مناطق آب و هوایی رخ می‌دهد. خشکسالی یک مخاطره طبیعی و خزنده است که به صورت کمبود بارش نسبت به شرایط نرمال تعریف شده است [۲]. به دلیل روند آهسته و طولانی مدت، کمی‌سازی خشکسالی یا پیش‌بینی آن دشوار است [۳]. از آنجایی که وقوع خشکسالی دارای گستره وسیعی است، به آرامی گسترش پیدا می‌کند و متغیرهای مختلفی به صورت مستقیم و غیر مستقیم در وقوع آن دخالت دارند، از این رو، فاقد یک تعریف جهانی مشترک است. خشکسالی یک رویداد اقلیمی تکرار شونده و موقتی است [۴]. در نتیجه یک ویژگی دائمی برای یک منطقه نیست و جزء پدیده‌های طبیعی در هر منطقه است و امکان وقوع آن در تمامی اقلیم‌ها وجود دارد. محققان متناسب با ویژگی‌ها و پیامدهای خشکسالی، آن را به چهار نوع خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم‌بندی کرده‌اند [۵]. خشکسالی هواشناسی به‌عنوان منشأ انواع خشکسالی‌های دیگر شناخته می‌شود به همین جهت استفاده از پارامترهای هواشناسی برای ارزیابی انواع خشکسالی‌ها می‌تواند

## سامانه های سطوح آبگیر باران



مفید واقع شود. پژوهشگران بر این باورند که خشکسالی یک پدیده‌ی چندمتغیره می‌باشد و بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در خشکسالی دارند. توصیف خشکسالی از دیدگاه چند متغیره برای کاهش نارسایی‌های توصیف خشکسالی از یک جنبه واحد، لازم است [۶]. بارش و تبخیر-تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند. کشور ایران در کمربند خشک کره‌ی زمین و ناحیه‌ی پرفشار جنب حاره‌ای قرار گرفته است و همین موضوع سبب نوسانات زیاد در میزان بارش و وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید، در سطح کشور شده است [۷]. در مواردی تأثیر افزایش دما در وقوع و تشدید شرایط خشکسالی به مراتب بیش‌تر از کاهش میزان بارندگی است. لذا این امر استفاده از شاخص‌های مبتنی بر تبخیر-تعرق را ضروری می‌کند. پیچیدگی ذاتی پدیده خشکسالی، سبب شده است یک شاخص جهانی خشکسالی جهت ارزیابی خشکسالی وجود نداشته باشد. از این رو، ارزیابی عملکردهای شاخص‌های مختلف خشکسالی ضروری است.

تاکنون شاخص‌های مختلفی از جمله بارش استاندارد شده (SPI) و بارش و تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) برای توصیف خشکسالی معرفی شده‌اند. معرفی شاخص خشکسالی پالم (PDSI) در سال ۱۹۶۵ نقطه عطفی در توسعه شاخص‌های خشکسالی محسوب می‌شود و مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر خشکسالی نظیر بارش قبلی، تأمین آب، رطوبت خاک و تبخیر از سطح زمین را در نظر می‌گیرد، اما محدودیت‌های متعددی از جمله مقیاس زمانی ثابت، وابستگی شدید به واسنجی داده‌ها، کاستی‌هایی در مقایسه مکانی و تفسیر دلخواه از شرایط خشکسالی با مقادیر شاخص وجود دارد [۸]. Mckee و همکاران [۹] ماهیت چند مقیاسی خشکسالی‌ها را به وضوح نشان داده و SPI را از طریق رویکرد احتمالاتی بارش برای رسیدگی به مشکلات مقیاس زمانی که PDSI دارد، توسعه دادند. شاخص SPI به عنوان یک شاخص خشکسالی چند مقیاسه ساده، مقبولیت گسترده‌ای را به دست آورد، اما انتقادات بسیاری نیز به محبوبیت SPI وجود داشت. شایع‌ترین ایرادات این است که محاسبه آن صرفاً بر اساس مشاهدات بارش استوار است و این شاخص متغیرهای دیگری را که در واقع می‌توانند بر خشکسالی تأثیر بگذارند مانند تبخیر-تعرق و رطوبت خاک را در نظر نمی‌گیرد [۹]. Vicente-Serrano و همکاران [۴] شاخص بارش و تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) را ارائه دادند که شامل داده‌های دما در ساختار آن بود و برای ترکیب کردن ویژگی‌های حساسیت PDSI به تغییرات تبخیر ناشی از نوسانات یا روند دما، همراه با سادگی محاسبه و ماهیت مقیاس‌پذیری شاخص SPI، ایجاد شد. اگرچه اثر تغییرات دما (در مؤلفه تبخیر-تعرق پتانسیل) در ارزیابی SPEI آمده است و انتقادات طولانی مدت از SPI مبنی بر اینکه فقط بر اساس داده‌های بارش استوار است را تعدیل کرد، اما برخی از پژوهشگران شاخص SPEI را در رابطه با PDSI مورد انتقاد قرار داده‌اند که SPEI محتوای آب خاک را نشان نمی‌دهد [۱۰]. در نهایت Ma و همکاران [۱۱] شاخص خشکسالی چند مقیاسه نسبتاً جدید پالم استاندارد شده (SPDI) را معرفی کردند که علاوه بر استاندارد بودن و نداشتن محدودیت‌های مقیاس زمانی و مکانی نسبت به شاخص PDSI، از معادله‌ی بیلان آبی کامل‌تری نسبت به SPEI استفاده می‌کند.

Yan و همکاران [۱۲] تحلیل خشکسالی را در حوضه دریاچه پویانگ چین طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ بر مبنای سه شاخص خشکسالی SPI، SPEI و SPDI انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که سه شاخص خشکسالی می‌تواند بروز خشکسالی را شناسایی کند، ولی با این حال برای SPDI، کمبود رطوبت کم‌تر اتفاق افتاد، اما خشکسالی را با شدت بیشتر و دوره طولانی‌تری نشان داد. Ma و همکاران [۱۳] برای بررسی خشکسالی دو ایستگاه هواشناسی در چین که اقلیم کاملاً متفاوتی دارند، از شاخص SPDI استفاده و آن را با شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و PDSI مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص SPDI با شاخص‌های خشکسالی مذکور مطابقت دارد و SPDI نسبت به PDSI، ویژگی‌های آماری و فراوانی‌های خشکسالی/ترسالی را در مقایسه با زمان و مکان بهتر مقایسه می‌کند. همچنین صنایع ثالث و همکاران [۱۴] در پژوهشی به کمک شاخص خشکسالی SPDI به بررسی وضعیت خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از داده‌های ۱۱ ایستگاه سینوپتیک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از آنجایی که در محاسبه SPDI عامل رطوبت خاک نیز دخالت دارد، نسبت به شاخص‌های دیگر برای تحلیل و پایش خشکسالی معتبرتر خواهد بود. در پژوهش حاضر تلاش می‌شود ضمن محاسبه شاخص SPDI برای ۵ ایستگاه سینوپتیک در اقلیم‌های مختلف کشور جهت پایش وضعیت خشکسالی و مقایسه‌ی آن با شاخص‌های

## سامانه های سطوح آبگیر باران



کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی ایران



دانشگاه کردستان

SPI و SPEI، چگونگی ارتباط و میزان همبستگی شاخص‌های مذکور با شاخص SPDI در مقیاس‌های زمانی مختلف نیز بررسی شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

## موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و بررسی داده‌ها

کشور ایران در عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه گسترش یافته و با متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است. علیجانی و همکاران [۱۵] با استفاده از ۱۶۰ متغیر هواشناسی بر پایه‌ی تحلیل عاملی، کشور ایران را به ۶ ناحیه‌ی اقلیمی طبقه‌بندی نمودند. بر اساس این طبقه‌بندی در این تحقیق ۵ ایستگاه سینوپتیک از اقلیم‌های مختلف کشور، بندرانزلی (مرطوب ساحلی)، مشهد (کوهستانی)، شیراز (نیمه‌کوهستانی)، تهران (نیمه‌بیابانی) و کرمان (بیابانی) جهت بررسی انتخاب شدند. آمار ماهانه‌ی متغیرهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و مقادیر بارش برای ایستگاه‌های مورد بررسی از سال ۱۹۶۰ تا پایان سال ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. برخی از مشخصات جغرافیایی و خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱)- برخی از خصوصیات جغرافیایی و آب و هوایی ایستگاه‌ها و شهرهای مورد مطالعه

ایستگاه	خصوصیات جغرافیایی		خصوصیات اقلیمی		
	عرض جغرافیایی دقیقه درجه	طول جغرافیایی دقیقه درجه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط تبخیر - تعرق سالانه (میلی‌متر)	متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)
بندرانزلی	۳۷	۴۶	-۲۶	۸۴۰	۱۷۸۵
مشهد	۳۶	۳۸	۹۹۹	۱۳۲۳	۲۴۶
شیراز	۲۹	۳۶	۱۴۸۴	۱۶۲۷	۳۱۴
تهران	۳۵	۱۹	۱۱۹۱	۱۵۷۶	۲۳۴
کرمان	۳۰	۹۶	۱۷۴۸	۱۸۱۵	۱۳۷

## شاخص‌های خشکسالی و محاسبه‌ی آن‌ها

در دهه‌های اخیر، پژوهشگران به منظور پایش وضعیت خشکسالی، شاخص‌های مختلفی را توسعه داده‌اند. یکی از شاخص‌های متداول پایش خشکسالی، شاخص SPI می‌باشد که توسط Mackee و همکاران [۹] در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. محاسبه این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمالاتی گاما بر مقادیر بارش 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 شده برای محاسبه SPI استفاده می‌شود.

Vicente-Serrano و همکاران [۴] شاخص SPEI را که یک شاخص چندمتغیره است و برای شناسایی خشکسالی در شرایط نرمال استفاده می‌شود را معرفی کرد. شاخص SPEI در مقایسه با شاخص SPI دما را نیز در ارزیابی خشکسالی در نظر می‌گیرد که می‌تواند شرایط واقعی‌تر و منطقی‌تری از خشکسالی را ارائه نماید. برای محاسبه شاخص SPEI از طریق یک مدل ساده بیلان آب، تفاوت بین مقدار بارندگی و مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل ( $D_i$ ) محاسبه می‌شود. محاسبه‌ی این شاخص همانند روش ارائه شده برای محاسبه‌ی شاخص SPI از طریق  $D_i$  نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  از طریق برازش تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری می‌باشد.

# سامانه های سطوح آبگیر باران



Ma و همکاران [۱۱] شاخص خشکسالی چند مقیاسه SPDI مبتنی بر ترکیب مفهوم عرضه و تقاضای PDSI را توسعه دادند. SPDI بر اساس انحراف رطوبتی یعنی تفاوت بین بارندگی واقعی و بارش مرجع (اقلیمی) است که از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\bar{D} = P - \bar{P} \quad (1)$$

که  $\bar{D}$  انحراف رطوبتی،  $P$  بارش و  $\bar{P}$  بارش مناسب اقلیمی است. بارش مناسب اقلیمی حداقل میزان بارش مورد نیاز برای حفظ سطح رطوبت خاک برای یک منطقه خاص است. بارش مناسب اقلیمی را برای یک ماه می‌توان از رابطه‌ی (۲) محاسبه کرد:

$$\bar{P} = \alpha_i PET + \beta_i PR + \gamma_i PRO + \delta_i PL \quad (2)$$

که  $i=1,2,\dots,12$  شماره‌ی  $i$ -امین ماه از سال  $\bar{P}$  تقویم،  $\alpha, \beta, \gamma$  و  $\delta$  هم به ترتیب ضرایب وزنی (که ضرایب بیلان آب هم می‌گویند) که برای یک مکان خاص به کمک روابط (۳) تخمین زده می‌شود:

$$\alpha_i = \frac{ET_i}{PET_i}, \beta_i = \frac{R_i}{PR_i}, \gamma_i = \frac{RO_i}{PRO_i}, \delta_i = \frac{L_i}{PL_i} \quad (3)$$

که  $\alpha, \beta, \gamma$  و  $\delta$  چهار مقدار مربوط به رطوبت خاک برای هر ماه در هر سال است که عبارتند از: تبخیر-تعرق ( $ET_i$ )، تغذیه ( $R_i$ )، رواناب ( $RO_i$ ) و تلفات ( $L_i$ )، همراه با مقادیر پتانسیل تکمیلی آنها یعنی: پتانسیل تبخیر-تعرق ( $PET_i$ )، پتانسیل تغذیه ( $PR_i$ )، پتانسیل رواناب ( $PRO_i$ ) و پتانسیل تلفات ( $PL_i$ ). این هشت جزء از نزدیک با ظرفیت آب موجود در خاک در ارتباط هستند و در واقع بیلان آب خاک پیچیده، اما جامع‌تری را در سطح خاک نشان می‌دهند. انحراف رطوبتی ( $\bar{D}$ ) به یک متغیر نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک، متناسب با انحراف رطوبتی مشاهده شده، به یک توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته ( $GEV$ ) تبدیل می‌شود. در توسعه‌ی شاخص‌های  $SPEI$  و  $SPDI$  از مفاهیم شاخص  $SPI$  استفاده گردید. بنابراین مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی در آن‌ها مشابه با طبقه‌های ارائه شده برای شاخص  $SPI$  می‌باشد. طبق این روش دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که مقدار هر یک از شاخص‌ها به طور مداوم منفی و به مقدار  $-1$  یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار هر یک از آنها مثبت گردد.

در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق در ماه‌هایی که تمامی متغیرهای آن موجود بود، از روش فائو-پنمن-مانتیت محاسبه شد. در ماه‌های دیگر نیز با توجه به کمبود هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده، مقدار آن‌ها از روش‌های پیشنهاد شده توسط Allen و همکاران [۱۶] محاسبه و مقدار تبخیر-تعرق برای ماه مورد نظر برآورد شد. بر اساس معادلات پیشنهادی فائو در صورت نبود داده‌های ساعات آفتابی و تابش خورشیدی، به کمک داده‌های دمای و با استفاده از معادله هارگریوز برآورد گردید.

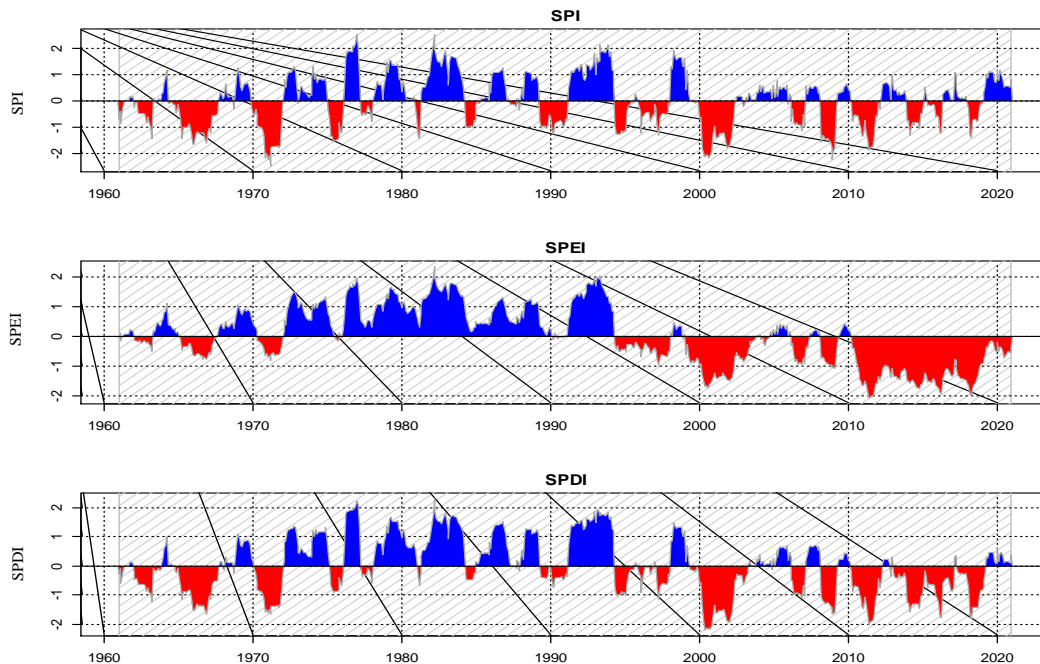
## ۳- نتایج و بحث

### نتایج پایش و بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی

شاخص‌های خشکسالی  $SPEI$ ،  $SPDI$  و  $SPI$  برای ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس‌های ۱ تا ۲۴ ماهه بر اساس آنچه در بخش محاسبه‌ی شاخص‌ها آورده شد، محاسبه گردیدند. در تمام ایستگاه‌ها مقادیر شدت خشکسالی در هر سه شاخص به طور متوسط در دامنه‌ی ۲- تا ۲ تغییر می‌کند. به منظور مقایسه‌ی نتایج شاخص  $SPDI$  با شاخص‌های  $SPEI$  و  $SPI$ ، در شکل (۱) نتایج پایش وضعیت رطوبتی ایستگاه مشهد در مقیاس ۱۲ ماهه آورده شده است. در این ایستگاه شاخص  $SPEI$  و  $SPDI$  در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۰ یک دوره خشکسالی شدید و تقریباً پیوسته ولی شاخص  $SPI$  در این دوره تعداد اندکی خشکسالی متوسط تا شدید را نشان می‌دهد. تعداد رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی در شاخص  $SPEI$  و  $SPDI$  بیشتر از  $SPEI$  است، اما طول دوره‌ی خشکسالی/ترسالی‌ها برعکس است. در ایستگاه بندر انزلی وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط هر سه شاخص، بسیار مشابه یکدیگر بودند و شاخص‌های مذکور دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی با هم می‌باشند که این موضوع در جدول (۲) نیز نشان داده شده است. در ایستگاه شیراز ارتباط نزدیک و مشابهت رفتاری بین شاخص‌های  $SPDI$  و  $SPI$  دیده می‌شود، ولی شاخص  $SPEI$  طول و شدت دوره‌های خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهد. در ایستگاه تهران، شاخص‌های  $SPEI$  و  $SPDI$

## سامانه های سطوح آبگیر باران

وقایع خشکسالی/ترسالی را مشابه با یکدیگر نشان دادند که با شاخص SPEI کمی متفاوت است. در ایستگاه کرمان نیز خشکسالی شدید و پیوسته‌ای طی سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۷۵ توسط شاخص SPEI نشان داده شده است، ولی در همین بازه زمانی شاخص‌های SPI و SPDI وقایع خشکسالی/ترسالی متعددی را نشان داده‌اند.



شکل (۱) - نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاه مشهد در مقیاس ۱۲ ماهه بر اساس شاخص‌های SPI، SPEI و SPDI

همچنین ضریب همبستگی بین شاخص‌های مذکور در مقیاس سالانه برای تمامی ایستگاه‌ها برآورد گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین همبستگی در مقیاس سالانه، برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بین شاخص‌های SPI و SPDI مشاهده گردید، به طوری که مقادیر ضریب همبستگی بیشتر از ۹۱ درصد می‌باشند. بررسی مقادیر ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و SPDI نشان می‌دهد در تمامی ایستگاه‌ها، همبستگی شاخص SPEI با شاخص SPDI به مراتب بیشتر از همبستگی SPEI با SPI می‌باشد و بیشترین همبستگی، مربوط به ایستگاه بندر انزلی با اقلیم مرطوب ساحلی می‌باشد و با کم شدن مقدار متوسط رطوبت نسبی ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در ایستگاه کرمان (با اقلیم بیابانی) مقدار ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI به ۵۲ درصد کاهش یافته است.

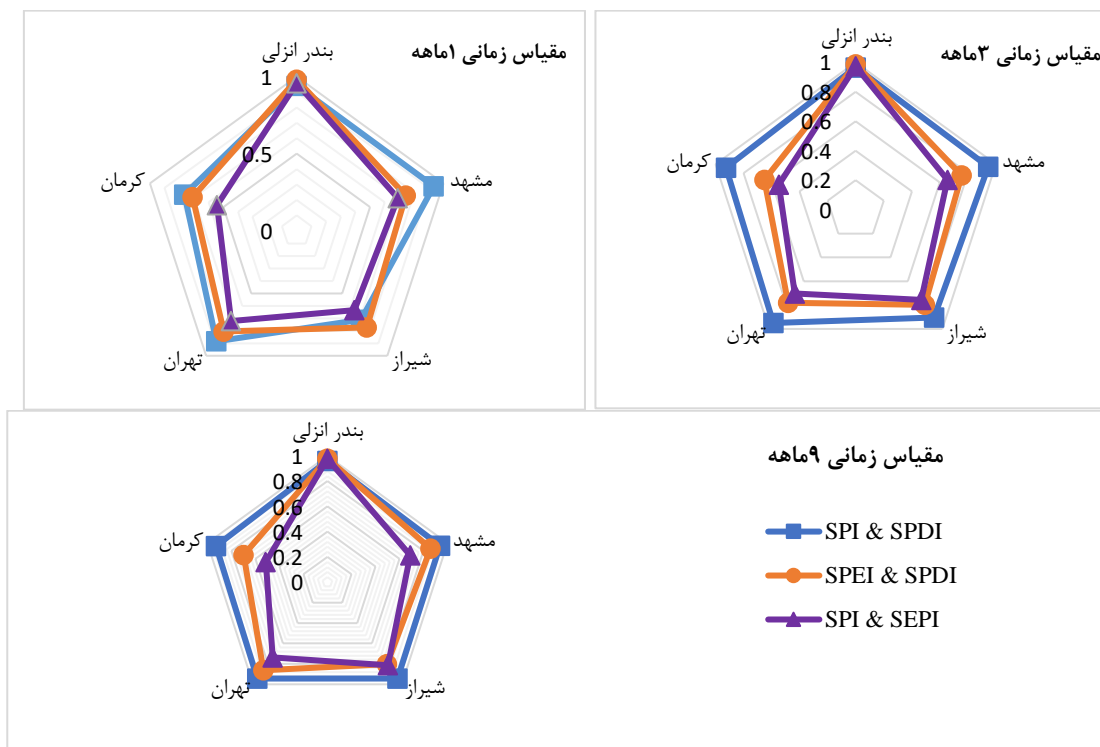
جدول (۲) - نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI، SPEI و SPDI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی

ضریب همبستگی بین شاخص‌های مختلف			وضعیت اقلیمی	ایستگاه
SPEI & SPDI	SPI & SPDI	SPI & SPEI		Stations
0.98	0.96	0.97	مرطوب ساحلی	بندر انزلی
0.87	0.92	0.68	کوهستانی	مشهد
0.79	0.93	0.79	نیمه کوهستانی	شیراز
0.88	0.94	0.75	نیمه بیابانی	تهران
0.72	0.91	0.52	بیابانی	کرمان

## سامانه‌های سطوح آبگیر باران



در ادامه با محاسبه‌ی شاخص‌های SPI، SPEI و SPDI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۹ ماهه، مقادیر ضریب همبستگی آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده، در مقیاس ۱ ماهه همبستگی بین شاخص‌ها از 0.54 تا 0.98 متغیر بودند که بیشترین همبستگی برای ایستگاه‌های بندر انزلی و مشهد و کمترین همبستگی بدست آمده برای ایستگاه کرمان است. همچنین در مقیاس ۳ ماهه، بیشترین همبستگی در ایستگاه بندر انزلی بین شاخص‌های SPI و SPDI و کمترین همبستگی در ایستگاه کرمان بین شاخص‌های SPI و SPEI مشاهده شد. در مقیاس ۹ ماهه نیز بیشترین همبستگی در تمام ایستگاه‌ها (همگی بالای 0.91) و بین شاخص‌های SPI و SPDI و کمترین همبستگی در ایستگاه کرمان و مشهد بین شاخص‌های SPI و SPEI مشاهده شد. به طور کلی نیز در تمام ایستگاه‌ها، با افزایش مقیاس زمانی، میزان همبستگی بین شاخص‌ها افزایش می‌یافت.



شکل (۲) - نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI، SPEI و SPDI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۹ ماهه

## ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد شاخص نسبتاً جدید SPDI در پایش خشکسالی، طی یک دوره‌ی ۶۱ ساله در ۵ ایستگاه سینوپتیک از اقلیم‌های مختلف کشور و مقایسه‌ی بین ضریب همبستگی آن با شاخص‌های SPI و SPEI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص SPDI در ایستگاه مشهد نشان داد که تعداد رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی در شاخص SPI و SPDI بیشتر از SPEI است، اما طول دوره‌ی خشکسالی/ترسالی‌ها برعکس است. در ایستگاه بندر انزلی وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط هر سه شاخص، بسیار مشابه یکدیگر بود و در ایستگاه شیراز و تهران ارتباط نزدیک و مشابهت رفتاری بین شاخص‌های SPDI و SPI دیده شد، ولی شاخص SPEI طول و شدت دوره‌های خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهد که این می‌تواند ناشی از بیلان آبی کامل‌تر این شاخص باشد. در ایستگاه کرمان نیز خشکسالی شدید و پیوسته‌ای طی سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۶۰ توسط شاخص SPEI نشان داده شد، ولی در همین بازه‌ی زمانی شاخص‌های SPI و SPDI وقایع خشکسالی/ترسالی متعددی را نشان داده‌اند. بررسی و مقایسه‌ی نتایج همبستگی بین شاخص SPDI با شاخص‌های پرکاربرد SPI و SPEI در

## سامانه‌های سطوح آبگیر باران



مقیاس سالانه نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPDI و در تمامی ایستگاه‌ها (بیشتر از ۹۱ درصد) رخ داده است. کمترین همبستگی نیز بین شاخص‌های SPI و SPEI و در ایستگاه کرمان یافت شد که می‌توان نتیجه گرفت با خشک‌تر شدن وضعیت آب و هوایی ایستگاه‌ها، مقدار ضریب همبستگی کاهش می‌یابد. همچنین قابل ذکر است که با افزایش مقیاس زمانی، همبستگی بین اکثر شاخص‌ها افزایش می‌یابد. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص SPDI با در نظر گرفتن پارامتر دما نسبت به SPI و همچنین با در نظر گرفتن مدل بیلان آب کامل‌تر نسبت به SPEI، می‌تواند در شناسایی و پایش خشکسالی به ویژه در مناطق خشک با تبخیر-تعرق بالا، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری را برای تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان نسبت به شاخص‌های تک متغیره مبتنی بر مقدار بارش، در اختیار قرار دهد.

## مراجع

- [1] Lindsay J, Dean A, Supski S. Responding to the Millennium drought: comparing domestic water cultures in three Australian cities. *Reg. Environ. Change*, vol. 17, no. 2, pp. 565–577, 2017.
- [2] Van Loon A. Hydrological drought explained. *WIREs Water*, vol. 2, no. 4, pp. 359–392, 2015.
- [3] Parsons D, Rey D, Tanguy M, Holman I. Regional variations in the link between drought indices and reported agricultural impacts of drought. *Agric. Syst.*, vol. 173, 119–129, 2019.
- [4] Vicente-Serrano S, Beguería S, López-Moreno J. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.*, vol. 23, 1696–1718, 2010.
- [5] Jahangir MH, Yarahmadi Y. Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, no. 3, 2020.
- [6] Hao Z, Singh V. Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *J. Hydrol.*, vol. 527, no. May, pp. 668–678, 2015.
- [7] قبائی سوق، م، زارع ایبانه، ح، مساعدی، ا، صمدی، س. ز. پایش وضعیت‌های رطوبتی و روند آن‌ها بر مبنای شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در نواحی مختلف آب و هوایی ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، مشهد، ایران، ۱۳۹۴.
- [8] Sheffield J, Andreadis K, Wood E, Lettenmaier D. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events. *Journal of Climate*, vol. 22, 1962–1981, 2009.
- [9] Mckee T, Doesken N, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17-22 1993.
- [10] Joetzjer E, Douville H, Delire C, Ciais P, Decharme B, Tyteca S. Hydrologic benchmarking of meteorological drought indices at interannual to climate change timescales: A case study over the Amazon and Mississippi river basins. *Hydrology Earth System Science*, vol. 17, no. 12, pp. 4885–4895, 2013.
- [11] Ma M, Ren L, Yuan F, Jiang S, Liu Y, Kong H, Gong L. A new standardized Palmer drought index for hydro-meteorological use. *Hydrological Process*, vol. 28, no. 23, pp. 5645–5661, 2014.
- [12] Yan G, Wu Z, Li D, Xiao H. A comparative frequency analysis of three standardized drought indices in the Poyang Lake basin, China. *Nat Hazard*, 91:353-374, 2018.
- [13] Ma M, Wang W, Yuan F, Ren L, Tu X, Zang H. Application of a hybrid multiscalar indicator in drought identification in Beijing and Guangzhou, China. *Water Science and Engineering*, vol. 11, 177–186, 2018.
- [14] صنیع ثالث، ف، سلطانی، س، مدرس، ر. ارزیابی شاخص خشکسالی جدید SPDI در استان چهارمحال و بختیاری، نشریه علوم آب و خاک، اصفهان، ایران، ۱۴۰۰.
- [15] Alijani B, Ghohroudi M, Arabi N. Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 92, no. 1–2, pp. 103–112, 2008.
- [16] Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. *FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56 - Crop Evapotranspiration*, 1998.



## Monitoring the meteorological drought condition based on standardized Palmer drought index (SPDI) in different climatic regions of Iran

Morteza Zarabi<sup>1</sup>, Abolfazl Mosaedi<sup>2\*</sup>, Seyed Majid Hashemini<sup>3</sup>, Mohammad Ghabaei Soogh<sup>4</sup>

1. Master of Science student in water science and engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [morteza.zarabi@um.ac.ir](mailto:morteza.zarabi@um.ac.ir)
2. Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [hashemini@um.ac.ir](mailto:hashemini@um.ac.ir)
4. PhD in Water Science and Engineering, Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran [ghabaei.m63@gmail.com](mailto:ghabaei.m63@gmail.com)

\*Corresponding Author's E-mail ([mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir))

### Abstract

Drought is a recurring and so-called creeping climatic phenomenon that could occur in all regions of the world. In recent decades, several drought indices have been developed to monitor this climatic phenomenon. The relatively new standardized Palmer drought index (SPDI) was developed based on the concepts of the Palmer Index and the application of the difference between precipitation and appropriate climatic precipitation in the form of standardized indices. In this study, in order to monitor drought and compare its results with standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI), data from 5 synoptic stations located in different climatic regions of Iran from 1960 to 2020 were used. The results of drought monitoring in Mashhad station showed that the number of drought/wetness events in SPI and SPDI indices were more than SPEI, but the length of drought/wetness was not. In Bandar Anzali station, drought/wetness events by all three indices were very similar to each other and in Shiraz, Tehran and Kerman stations, a close relationship and behavioral similarity was observed between SPI and SPDI indices. Also, the results of correlation coefficients showed that there was a very high correlation between SPI and SPDI in all stations and by increasing the time scale, the correlation value also increased.

**Key words:** SPDI index, SPI index, SPEI index, Drought, correlation coefficient