



دومین همایش ملی کم آبیاری و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک

۲۷ و ۲۸ بهمن ماه ۱۴۰۰

نقش تبخیر- تعرق پتانسیل در پایش وضعیت خشکسالی هواشناسی در اقلیم‌های مختلف کشور

مرتضی ضرابی^۱، ابوالفضل مساعدی^{۲*}، سید مجید هاشمی نیا^۳، محمد قبائی سوق^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. دکتری علوم و مهندسی آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، تهران

چکیده

خشکسالی یک پدیده پیچیده آب و هوایی است که به عنوان بخش جدایی ناپذیر نوسانات اقلیمی محسوب می‌شود و می‌تواند بخش‌های وسیعی از عرصه‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی را دچار مشکل کند. در این پژوهش به منظور بررسی بیشتر نقش تبخیر-تعرق پتانسیل در پایش خشکسالی، مقادیر دو شاخص SPI و SPEI، در مقیاس‌های زمانی مختلف و طی یک دوره آماری ۶۱ ساله (۱۹۶۰-۲۰۲۰) در پنج ایستگاه سینوپتیک واقع در پنج اقلیم مختلف کشور تعیین و ضریب همبستگی بین آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پایش خشکسالی در ایستگاه بندر انزلی حاکی از آن بود که این دو شاخص وقایع خشکسالی/ترسالی را مشابه یکدیگر نشان می‌دهند و شاخص‌های مذکور دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر می‌باشند. این امر بیان‌کننده تأثیر ناچیز تبخیر-تعرق پتانسیل بر پایش خشکسالی در نواحی مرطوب می‌باشد. در ایستگاه زاهدان نیز کمترین مشابهت بین این دو شاخص حاکم بود که دلیل آن را می‌توان در میزان تبخیر-تعرق بالای مناطق گرم و خشک و تأثیر زیاد این متغیر در رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی دانست. نتایج نشان داد که هرچه از اقلیم‌های مرطوب به سمت اقلیم‌های خشک حرکت کنیم، نقش تبخیر-تعرق پتانسیل در رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی بیشتر می‌شود. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص SPEI با در نظر گرفتن متغیر تبخیر-تعرق پتانسیل، می‌تواند در شناسایی و پایش خشکسالی به ویژه در مناطق خشک با تبخیر-تعرق بالا، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری را در اختیار قرار دهد.

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی، تبخیر-تعرق پتانسیل، شاخص SPI، شاخص SPEI، ضریب همبستگی

* نویسنده مسئول: ابوالفضل مساعدی

آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب

ایمیل: mosaedi@um.ac.ir

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی بشر، بررسی و شناخت اثرات خشکسالی برای هر منطقه‌ای یک امر ضروری و مهم می‌باشد. تحت تأثیر خشکسالی، بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی دچار آسیب شده که موجب افزایش مهاجرت، تغییر کیفیت منابع آب، افزایش برداشت از آبهای زیرزمینی و نشست زمین می‌گردد (۷، ۱۸). خشکسالی یک پدیده پیچیده آب و هوایی است که به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر نوسانات اقلیمی محسوب می‌شود و می‌تواند به صورت دوره‌ای و متناوب در سراسر جهان و در همه‌ی مناطق آب و هوایی رخ دهد. خشکسالی یک مخاطره طبیعی و به اصطلاح خزنده^۱ است که به صورت کمبود بارش نسبت به شرایط نرمال تعریف شده است (۱۹). به دلیل روند آهسته و طولانی مدت، کمی‌سازی خشکسالی یا پیش‌بینی آن امر دشواری است (۲۲). از آنجایی که خشکسالی در گستره‌ی وسیعی رخ می‌دهد و به آرامی گسترش پیدا می‌کند و نیز متغیرهای مختلفی به صورت مستقیم و غیر مستقیم در وقوع آن دخالت دارند، از این رو، هنوز فاقد یک تعریف جهانی واحد و مشترک است.

خشکسالی یک رویداد اقلیمی تکرار شونده و موقتی است (۱۴)، در نتیجه یک ویژگی دائمی برای یک منطقه نبوده و امکان وقوع آن در تمامی اقلیم‌ها وجود دارد. خشکسالی هواشناسی به‌عنوان منشأ انواع خشکسالی‌های دیگر شناخته می‌شود و به همین جهت استفاده از پارامترهای هواشناسی برای ارزیابی انواع خشکسالی‌ها می‌تواند مفید واقع شود. پژوهشگران بر این باورند که خشکسالی یک پدیده‌ی چندمتغیره می‌باشد و بارندگی، دما، تبخیر، وزش باد و رطوبت نسبی و... نقش مهمی در وقوع و شدت خشکسالی دارند. بنا بر این، خشکسالی را باید با توجه به متغیرهایی که روی آن اثرگذارند، مورد بررسی قرار داد (۱۳). متغیرهای بارش و تبخیر-تعرق، دو عامل مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند. از آنجا که کشور ایران در کمربند خشک کره‌ی زمین قرار دارد، به همین دلیل نوسانات زیادی در میزان بارش و وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید، در سطح کشور پدید آمده است (۵). در مواردی تأثیر افزایش دما در وقوع و تشدید شرایط خشکسالی، بیش‌تر از کاهش میزان بارندگی است، از این رو، استفاده از شاخص‌هایی که متغیر تبخیر-تعرق را در نظر می‌گیرند، ضروری است. از طرفی پیچیدگی ذاتی پدیده خشکسالی، سبب شده است تا یک شاخص جهانی خشکسالی جهت ارزیابی خشکسالی وجود نداشته باشد. بنابراین، ارزیابی عملکردهای شاخص‌های مختلف خشکسالی ضروری است.

امروزه شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص خشکسالی پالمر^۲ (PDSI) و شاخص بارش استاندارد شده^۳ (SPI) برای توصیف خشکسالی معرفی شده‌اند. شاخص PDSI مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر خشکسالی نظیر بارش قبلی، تأمین آب، رطوبت خاک و تبخیر از سطح زمین را در نظر می‌گیرد، اما محدودیت‌های زیادی مانند مقیاس زمانی ثابت، نیاز به واسنجی داده‌ها، کاستی‌هایی در مقایسه مکانی و تفسیر دلخواه از شرایط خشکسالی با مقادیر شاخص وجود دارد (۲۳). مک‌کی^۴ و همکاران (۱۶) ماهیت چند مقیاسی خشکسالی‌ها را 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 دارد. از شایع‌ترین ایرادات وارده می‌توان به این نکته اشاره کرد که محاسبه این شاخص فقط بر اساس مشاهدات بارش بوده و این شاخص متغیرهای دیگری که در واقع می‌توانند بر خشکسالی تأثیر بگذارند مانند دما، تبخیر-تعرق و رطوبت خاک را در نظر نمی‌گیرد (۱۶). سالانه حدود ۸۰ درصد بارش باران از راه تبخیر-تعرق از دسترس خارج می‌شود (۶) که این امر بر اهمیت لحاظ کردن سایر متغیرها از جمله تبخیر-تعرق بر پدیده خشکسالی را روشن می‌سازد.

ویسنه-سرانو^۵ و همکاران (۱۷) شاخص بارش و تبخیر-تعرق استاندارد شده^۶ (SPEI) که داده‌های دما در ساختار آن بود (در مؤلفه تبخیر-تعرق پتانسیل^۷) را ارائه دادند. این شاخص حساسیت شاخص خشکسالی پالمر (PDSI) به تغییرات تبخیر-تعرق را با محاسبات ساده و ماهیت چند مقیاسی شاخص SPI ترکیب می‌کند. عامل تبخیر-تعرق، نقش مؤثرتری در تبیین شدت خشکسالی دارد، به گونه‌ای که با وجود افزایش یا کاهش بارش در مقایسه با میانگین بلند مدت، شدت خشکسالی به ترتیب افزایش یا کاهش یافته و شاخص فوق توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر-تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دارد (۳). دو شاخص خشکسالی SPEI و SPI در اقلیم‌هایی که تفاوت چندانی بین تغییرات دما و بارش وجود ندارد، مشابه هستند (۱۷)، اما شاخص SPEI پاسخ سریع تری نسبت به پایش خشکسالی داشته است، زیرا به دلیل لحاظ نمودن بیلان آب، همبستگی قابل قبولی با میزان رطوبت خاک دارد (۱).

با توجه به موارد بیان شده، در پژوهش حاضر به منظور بررسی بیشتر تأثیر تبخیر-تعرق پتانسیل بر وقوع و شدت خشکسالی، مقادیر دو شاخص SPI و SPEI در محدوده پنج اقلیم سینوپتیک کشور با شرایط اقلیمی متفاوت (مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه کوهستانی، نیمه بیابانی و بیابانی)، مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر شرایط اقلیمی و تغییرات تبخیر-تعرق بر وقوع و شدت خشکسالی مشخص شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تاج‌بخش و همکاران (۲) برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص SPEI نشان دادند که در فصل زمستان جز در استان هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان، به علت کاهش محسوس دما، تأثیرات تبخیر-تعرق چندان قابل توجه نیست و در فصل بهار نقش عامل تبخیر-تعرق برجسته است، به گونه‌ای که در برخی استان‌ها مانند فارس با وجود کاهش بارش، به علت تبخیر-تعرق کم، خشکسالی چندانی دیده نمی‌شود و در استان‌های خوزستان و مازندران با وجود بارش‌های بیش‌تر از حد نرمال و تبخیر-تعرق قابل توجه، خشکسالی مشاهده می‌شود. در نهایت ایشان استفاده از شاخص تبخیر-تعرق را در کنار عامل بارش برای تحلیل خشکسالی، توصیه کردند.

زارع ابیانه و همکاران (۳) از شاخص SPEI برای تحلیل خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده کرده و نتیجه گرفتند که مزیت شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI این است که این شاخص، توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر-تعرق و دما را در پیوند با گرمایش جهانی دارد. سبقتی و همکاران (۴) در پژوهش خود به محاسبه تداوم و شدت خشکسالی به وسیله شاخص SPEI اصلاحی به روش پنمن-مانتیت در شهرهای تبریز و ارومیه طی یک دوره‌ی آماری ۳۱ ساله پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین مقادیر شاخص SPEI در شرایط خشکسالی و ترسالی برای هر دو شهر مورد مطالعه هم‌خوانی وجود دارد.

سعیدی‌پور و همکاران (۲۴) از شاخص خشکسالی SPEI به دلیل ماهیت چند مقیاسی و توانایی تجزیه و تحلیل در مقیاس‌های مختلف زمانی، با هدف پایش خشکسالی و منطقه‌ای‌سازی شاخص SPEI با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای به منظور همگن‌سازی حوضه هیدرولوژیکی، در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در حوضه کارون، استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری از این شاخص برای همه ایستگاه‌ها وجود دارد. همچنین فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب با افزایش مقیاس زمانی کاهش نشان داد، اما تداوم آن‌ها افزایش یافت. نصرتی و همکاران (۹) در پژوهشی به منظور ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی

در استان تهران، دو شاخص SPI و SPEI را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این پژوهش از آمار ماهانه بارش و میانگین دما برای دوره آماری ۳۱ ساله در دو ایستگاه هیدرومتری استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی معنی‌داری می‌باشند، اما شاخص SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است.

لابودوا^۸ و همکاران (۱۵) شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI را با استفاده از داده‌های مدل COSMO در دو حوضه آبریز در اسلوواکی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی کمی بین شاخص SPI و SPEI در جنوب اسلوواکی در مقیاس زمانی سه ماهه وجود داشت. همچنین آن‌ها بر نقش مهم تبخیر-تعرق در فصل تابستان تأکید بسیاری کردند. مصطفی‌زاده و ذبیحی (۶) در پژوهشی به منظور تحلیل و مقایسه دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI در استان کردستان، نشان دادند که ضمن وجود تفاوت در دو الگوی وقوع ترسالی و خشکسالی در دو شاخص مذکور، شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. وانگ^۹ و همکاران (۲۵) با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI به بررسی شدت خشکسالی طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۶۱ در کشور چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که هیچ مدرکی دال بر افزایش شدت خشکسالی در چین با در نظر گرفتن مناطق کل کشور (۶۳۳ منطقه) وجود ندارد. در مقابل، مناطق خشک و فراخشک در ۵۲ سال گذشته به طور قابل توجهی مرطوب شده‌اند که توسط دو شاخص SPI و SPEI نشان داده شده‌اند.

مصباح‌زاده و همکاران (۸) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه وضعیت خشکسالی هواشناسی را با استفاده از پارامترهای دما و بارندگی در شهر یزد مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی، شدت و مدت خشکسالی بر اساس هر دو شاخص افزایش یافته و از فراوانی وقوع خشکسالی‌ها کم شده است. همچنین شاخص SPEI به دلیل در نظر گرفتن پارامتر دما، خشکسالی‌های شدیدتر را نسبت به شاخص SPI بهتر نشان می‌دهد، به طوری که براساس فراوانی طبقات خشکسالی SPEI، انواع طبقات خشکسالی در منطقه رخ داده بود.

پارک^{۱۰} و همکاران (۲۱) در پژوهشی به منظور بررسی مشخصه‌های شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، دو شاخص SPI و SPEI را در چین مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که SPI شدت خشکسالی و SPEI فراوانی و طول خشکسالی را در شرایط آب و هوایی یکسان، بیش از حد تخمین می‌زنند و برای خشکسالی‌های با شدت بالا و مدت زمان کوتاه، کمبود بارش عامل اصلی وقوع خشکسالی می‌باشد. همچنین برای بررسی مدت زمان خشکسالی، مشخص شد که بارندگی متغیر غالب بر خشکسالی در مدت زمان کوتاه بوده است. تأثیر بارندگی بر خشکسالی، در مدت زمان طولانی کاهش یافت و تأثیر تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) بر خشکسالی اهمیت یافت. داننده مهر^{۱۱} و همکاران (۱۲) به بررسی خشکسالی هواشناسی به کمک دو شاخص SPI و SPEI تحت دو سناریوی تغییر اقلیم در آنکارا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که منطقه مورد مطالعه دو واقعه خشکسالی شدید را در طول دوره (۱۹۹۱-۲۰۰۰) تجربه نموده است و شاخص SPEI به دلیل در نظر گرفتن متغیر دما، نتایج دقیق‌تری نسبت به شاخص SPI ارائه می‌نماید.

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان به این نتیجه رسید که نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI با یکدیگر می‌تواند تفاوت‌ها و یا شباهت‌هایی داشته باشند و میزان همبستگی این دو شاخص با یکدیگر تحت تاثیر شرایط اقلیمی مناطق و سایر عوامل موثر بر خشکسالی از جمله دما و تبخیر-تعرق قرار دارد.

روش پژوهش

ایستگاه‌های مورد بررسی

کشور ایران بین عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه گسترش یافته و با متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۴۱ میلی‌متر در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. علی‌جانی و همکاران (۱۱) با استفاده از ۱۶۰ متغیر هواشناسی بر پایه‌ی تحلیل عاملی، کشور ایران را به ۶ ناحیه‌ی اقلیمی طبقه‌بندی کردند. بر اساس این طبقه‌بندی، در این پژوهش ۵ ایستگاه سینوپتیک از اقلیم‌های مختلف کشور شامل، بندرانزلی (مرطوب ساحلی)، تبریز (کوهستانی)، شیراز (نیمه‌کوهستانی)، سبزوار (نیمه‌بیابانی) و زاهدان (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

نام ایستگاه	خصوصیات جغرافیایی		خصوصیات اقلیمی	
	عرض جغرافیایی درجه دقیقه	طول جغرافیایی درجه دقیقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط تبخیر- تعرق سالانه (میلی‌متر)
بندرانزلی	۳۷	۴۶	-۲۶	۸۴۰
تبریز	۳۸	۱۷	۱۳۶۱	۱۳۸۰
شیراز	۲۹	۳۶	۱۴۸۴	۱۶۲۷
سبزوار	۳۶	۴۳	۹۷۸	۱۷۸۹
زاهدان	۲۹	۵۳	۱۳۷۰	۱۹۳۸

محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل

در این پژوهش برای محاسبه‌ی مقادیر شاخص SPEI علاوه بر مقادیر بارش، به مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل نیز نیاز می‌باشد. مقدار تبخیر-تعرق در این شاخص با استفاده از داده‌های دمای میانگین و از روش تورنت-ویت^{۱۲} محاسبه می‌شود. این روش در مناطق مرطوب، مقدار تبخیر-تعرق را بیشتر از مقدار واقعی و در مناطق خشک کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کند (۲۰). از طرفی برآورد تبخیر-تعرق به روش فائو-پنمن-مانتیت^{۱۳}، روش استاندارد محاسبه تبخیر-تعرق است. از این رو در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق در ماهی که تمامی متغیرهای آن موجود بود، از روش فائو-پنمن-مانتیت محاسبه شد و در ماه‌های دیگر نیز با توجه به کمبود هریک از پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد، مقدار آن‌ها از روش‌های پیشنهاد شده توسط آلن^{۱۴} و همکاران (۱۰) در نشریه فائو ۵۶ محاسبه و در معادله اصلی جایگزین و مقدار تبخیر-تعرق برای ماه مورد نظر برآورد شد. بر اساس معادلات پیشنهادی فائو در صورت نبود داده‌های ساعت آفتابی، مقدار تابش خورشیدی از روی داده‌های دمایی و از معادله هارگریوز^{۱۵} (رابطه ۱) برآورد گردید:

$$R_s = 0.16 R_a \sqrt{(T_{Max} - T_{min})} \quad (1)$$

هم‌چنین در صورت نبود داده‌های رطوبت نسبی (RH) و فشار بخار واقعی (e_a)، با فرض اینکه دمای نقطه‌ی شبنم نزدیک به دمای حداقل روزانه (T_{min}) است، از روی داده‌های (T_{min}) برآورد می‌گردد. مقدار سرعت باد را نیز می‌توان بر اساس میانگین سرعت باد در ماه مورد نظر برآورد نمود.

نحوه‌ی محاسبه شاخص‌های خشکسالی

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 مک‌کی و همکاران (۱۶) در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. شاخص SPI براساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن در یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش و تبدیل نمودن توزیع داده‌ها به توزیع نرمال پیشنهاد گردید (۱۶). اساس شاخص بارندگی استاندارد شده بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. شاخص مذکور برای محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۶ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند، استوار است. 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. آنگاه از تغییر شکل هم‌احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد شده برای محاسبه SPI استفاده می‌شود. ویسنه-سرانو و همکاران (۱۷) شاخص SPEI که یک شاخص چندمتغیره است و برای شناسایی خشکسالی در شرایط نرمال استفاده می‌شود را معرفی کردند. شاخص SPEI در مقایسه با شاخص SPI دما را نیز در ارزیابی خشکسالی در نظر می‌گیرد که می‌تواند شرایط واقعی تر 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. برای محاسبه شاخص SPEI، در گام نخست باید مقدار تبخیر-تعرق در هر ماه برآورد شود. سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی و مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل برای ماه i براساس معادله (۲) قابل محاسبه است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

که P_i و PET_i به ترتیب مقادیر بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشند. مقادیر D_i محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی مختلف مطابق رابطه (۳) با هم جمع می‌شوند:

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-i}) \quad (3)$$

در این جا k ، مقیاس زمانی و n ، واحد زمان را نشان می‌دهند. ویسنه-سرانو (۱۷) با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر D_i تشخیص دادند. برای توابع توزیع احتمال، توزیع سه پارامتری لوگ-لوجستیک با تابع چگالی احتمال، به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$f(X) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right) \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (4)$$

که α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و موقعیت برای مقادیر D در دامنه $-\infty < D < \gamma$ هستند. تابع توزیع احتمال D بر اساس توزیع لوگ-لجستیک به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود:

$$F(X) = \int_0^x f(t)dt = \left[1 + \left(\frac{1-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (5)$$

سپس بر اساس مفاهیم شاخص SPI، تابع توزیع احتمال تجمعی به توزیع نرمال استاندارد شده تبدیل می‌شود. مقدار متوسط SPEI برابر با صفر و انحراف معیار آنها برابر با یک است. SPEI یک متغیر استاندارد شده است، بنابراین می‌تواند با دیگر مقادیر SPEI در مکان و زمان‌های دیگر مورد مقایسه قرار گیرد. در توسعه شاخص SPEI، از مفاهیم شاخص SPI استفاده شده است. بنابراین مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی در آنها مشابه با طبقه‌های ارائه شده توسط ادوارد^{۱۶} و مک‌کی (۱۶) برای شاخص SPI است. شاخص SPEI را می‌توان در مقیاس‌های زمانی مختلف مانند ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه مورد محاسبه قرار داد. این شاخص می‌تواند برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب استفاده شود که در آن خشکسالی هنگامی شروع می‌شود که مقادیر شاخص به مقدار -۱ برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می‌یابد.

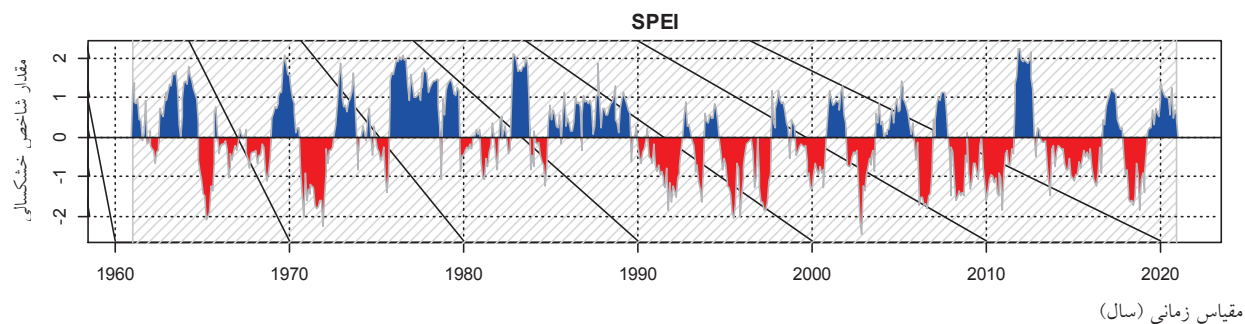
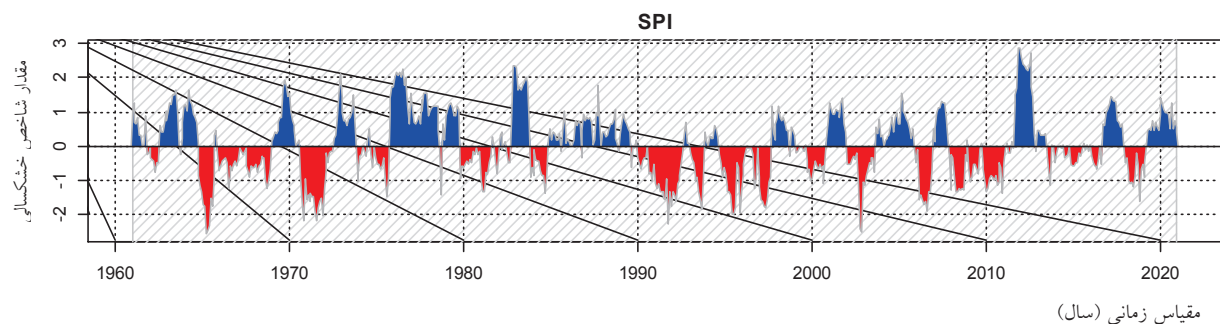
جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و احتمال وقوع هر طبقه بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI (۱۶، ۱۷)

احتمال (%)	مقدار شاخص	نماد	طبقه خشکسالی
2.3	2 یا بیش‌تر	EW	ترسالی بسیار شدید
4.4	1.5 تا 1.99	VW	ترسالی شدید
9.2	1 تا 1.49	MW	ترسالی متوسط
68.2	-0.99 تا 0.99	N	نرمال
9.2	-1 تا -1.49	MD	خشکسالی متوسط
4.4	-1.5 تا -1.99	SD	خشکسالی شدید
2.3	-2 یا کم‌تر	ED	خشکسالی بسیار شدید

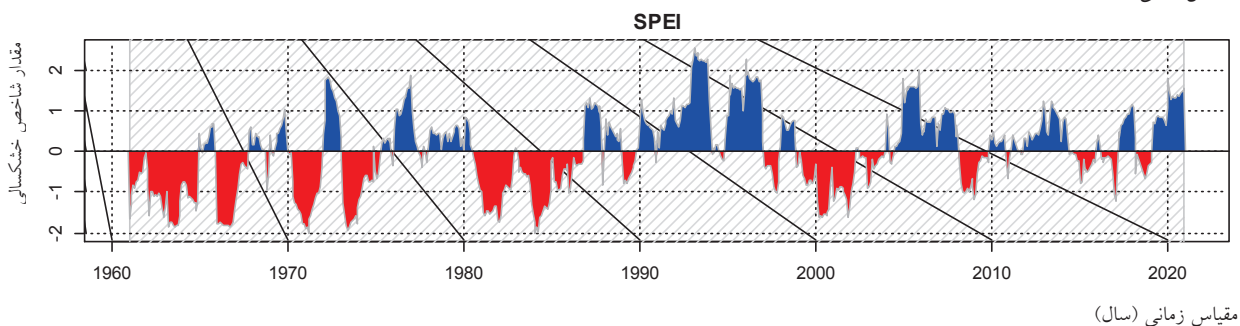
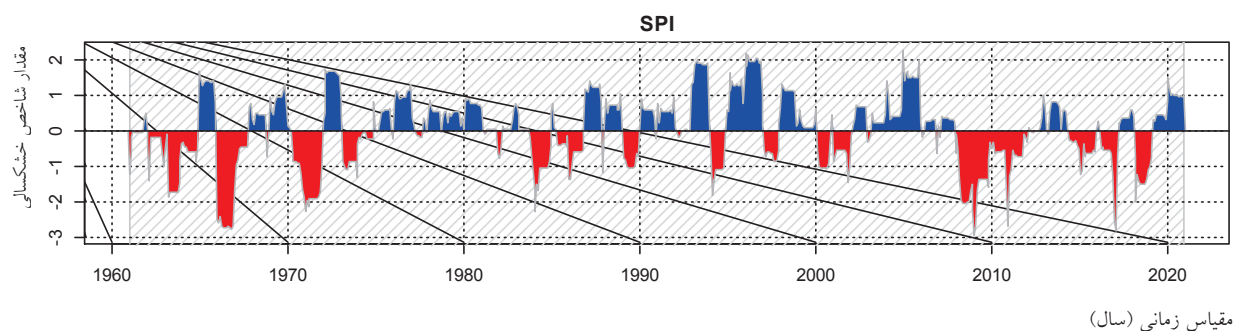
نتایج و بحث

نتایج پایش وضعیت رطوبتی

شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI برای ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه بر اساس آنچه در بخش محاسبه‌ی شاخص‌ها ذکر شد، محاسبه گردیدند. در تمام ایستگاه‌ها مقادیر شدت خشکسالی در هر دو شاخص به طور متوسط در دامنه‌ی ۳- تا ۳ تغییر کرد. به منظور مقایسه‌ی نتایج شاخص SPI با شاخص SPEI، در شکل (۱) پایش وضعیت رطوبتی ایستگاه بندر انزلی و در شکل (۲) نتایج پایش وضعیت رطوبتی ایستگاه شیراز در مقیاس ۱۲ ماهه ارائه شده است. در ایستگاه بندر انزلی وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط هر دو شاخص، بسیار مشابه یکدیگر بوده و شاخص‌های مذکور دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر می‌باشند که این امر تأثیر کم متغیر تبخیر-تعرق پتانسیل در نواحی اقلیمی مرطوب را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاه بندر انزلی در مقیاس ۱۲ ماهه بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI



شکل ۲. نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاه شیراز در مقیاس ۱۲ ماهه بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI

این مطلب در جدول (۳) نیز نشان داده شده است. در ایستگاه تبریز ارتباط بین شاخص SPI با شاخص SPEI کمتر از ایستگاه بندر انزلی می‌باشد به طوری که شاخص SPI سال ۱۹۹۲ را خشکسالی شدید ولی شاخص SPEI همان سال را وضعیت نرمال نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد دلیل آن، کاهش شدید مقدار بارش و همچنین کاهش دما در آن سال و به صورت همزمان باشد. در

ایستگاه شیراز ارتباط نزدیک و مشابهت رفتاری کمتری بین شاخص‌های SPI و SPEI دیده می‌شود، به طوری که شاخص SPEI طول و شدت دوره‌های خشکسالی را بیشتر از SPI، ولی تعداد رخداد وقایع را کمتر نشان می‌دهد که دلیل این امر می‌تواند ناشی از بیلان کامل شاخص SPEI باشد که متغیر دما را نیز در نظر می‌گیرد. در ایستگاه سبزوار، مشابهت شاخص‌های SPI و SPEI کمتر می‌شود به طوری که نوسانات شاخص SPI بسیار بیشتر از شاخص SPEI است. در ایستگاه زاهدان نیز کمترین مشابهت بین این دو شاخص حاکم است که دلیل آن تبخیر-تعرق بالای مناطق گرم و خشک و تأثیر زیاد این متغیر در نشان دادن وقایع خشکسالی/ترسالی است. در این ایستگاه شاخص SPI خشکسالی شدیدی را طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸ نشان می‌دهد، ولی در همین بازه زمانی شاخص SPEI شرایط را تقریباً نرمال نشان می‌دهد. همچنین وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط شاخص SPEI، دارای طول و شدت بزرگتری نسبت به شاخص SPI می‌باشد.

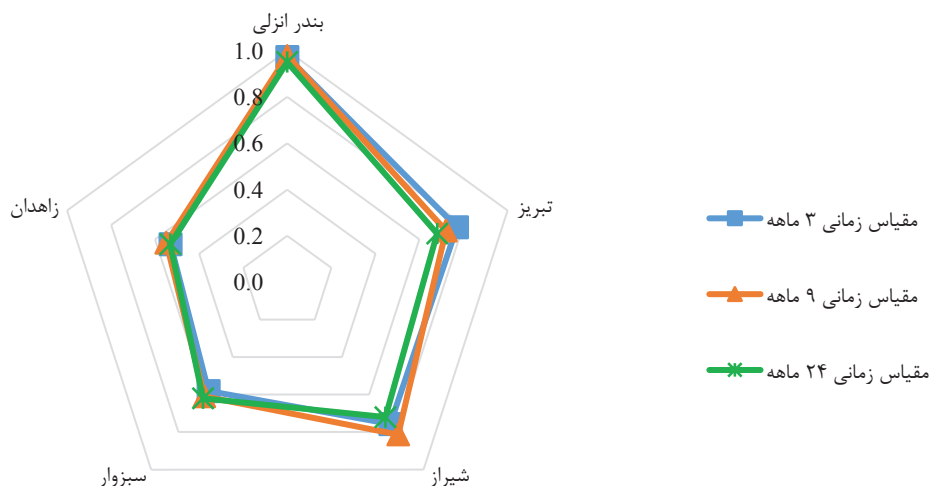
نتایج ضریب همبستگی

مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص‌های مذکور در مقیاس سالانه برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس سالانه، مربوط به ایستگاه بندر انزلی با اقلیم مرطوب ساحلی می‌باشد که مقدار ضریب همبستگی آن در حدود ۰/۹۷ می‌باشد. همچنین کمترین ضریب همبستگی در مقیاس سالانه، مربوط به ایستگاه زاهدان با اقلیم بیابانی می‌باشد، به طوری که مقدار ضریب همبستگی آن به ۰/۵۶ کاهش یافته است.

جدول ۳. نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI برای مقیاس سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی

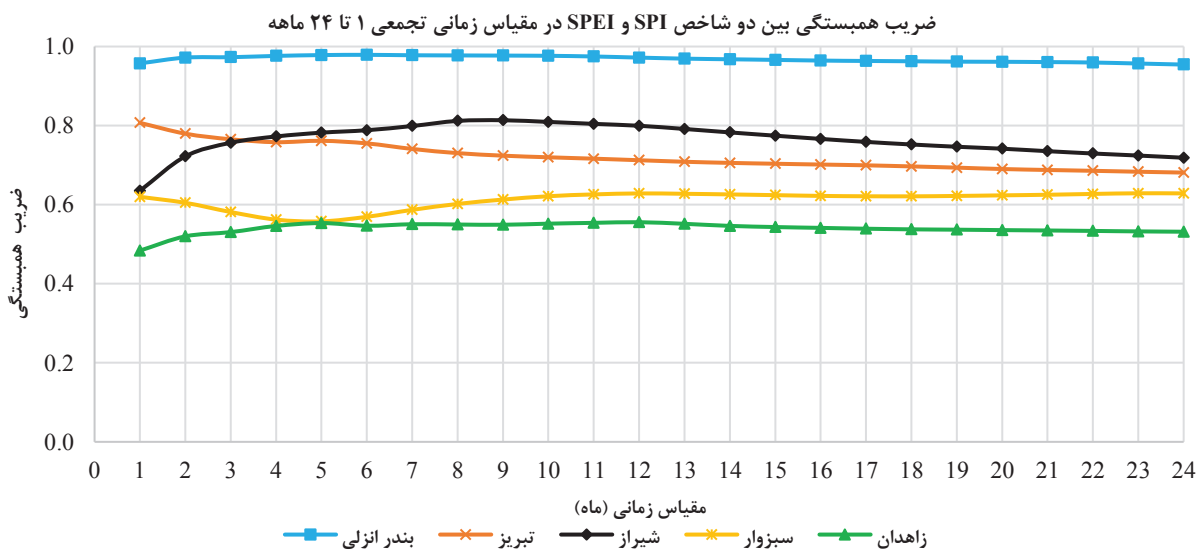
ایستگاه	وضعیت اقلیمی	مقدار ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI
بندر انزلی	مرطوب ساحلی	0.97
تبریز	کوهستانی	0.70
شیراز	نیمه کوهستانی	0.79
سبزوار	نیمه بیابانی	0.65
زاهدان	بیابانی	0.56

در ادامه، مقادیر ضریب همبستگی بین این دو شاخص در مقیاس‌های زمانی ۳، ۹ و ۲۴ ماهه که به ترتیب نماینده‌ی مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت می‌باشند، محاسبه و در شکل (۳) نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده، در مقیاس‌های ۳، ۹ و ۲۴ ماهه، بیشترین ضرایب همبستگی در ایستگاه بندر انزلی (واقع در اقلیم مرطوب ساحلی) و کمترین ضرایب همبستگی مربوط به ایستگاه زاهدان (واقع در اقلیم بیابانی) رخ داده است و همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های بندر انزلی، شیراز و سبزوار با افزایش مقیاس زمانی از ۳ به ۹ ماهه، ضرایب همبستگی کمی افزایش و سپس در ۲۴ ماهه کاهش می‌یابد. در ایستگاه تبریز با افزایش مقیاس زمانی از میزان همبستگی کاسته شده، ولی در ایستگاه زاهدان با افزایش مقیاس زمانی، میزان همبستگی افزایش می‌یابد.



شکل ۳. تغییرات ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۹ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در شکل (۴) مقادیر ضریب همبستگی بین این دو شاخص در مقیاس تجمعی ۱ تا ۲۴ ماهه نشان داده شده است. در ایستگاه بندر انزلی، با افزایش مقیاس زمانی مقدار این همبستگی ثابت است، در ایستگاه تبریز ضریب همبستگی با افزایش طول پنجره زمانی شیب نزولی ملایمی دارد، ولی در ایستگاه شیراز در ابتدا صعودی (تا مقیاس ۹ ماهه) و سپس روند نزولی دارد که دقیقاً بر عکس ایستگاه سبزوار می‌باشد که ابتدا نزولی و سپس روند صعودی دارد. در ایستگاه زاهدان نیز با افزایش مقیاس زمانی، ضریب همبستگی ابتدا افزایش و سپس به مقدار ثابتی می‌رسد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی در این ایستگاه‌ها باشد.



شکل ۴. ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی تجمعی ۱ تا ۲۴ ماهه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور بررسی بیشتر نقش تبخیر-تعرق پتانسیل در خشکسالی، مقادیر دو شاخص SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف طی یک دوره‌ی آماری ۶۱ ساله (۲۰۲۰-۱۹۶۰) در پنج ایستگاه سینوپتیک واقع در پنج اقلیم مختلف کشور برآورد و ضریب همبستگی بین آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پایش خشکسالی در ایستگاه بندر انزلی نشان داد که دو شاخص SPI و SPEI وقایع خشکسالی/ترسالی را بسیار مشابه یکدیگر نشان می‌دهند و شاخص‌های مذکور دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر می‌باشند که این امر تأثیر ناچیز نوسانات تبخیر-تعرق پتانسیل در نواحی اقلیمی مرطوب را بر وقوع خشکسالی نشان می‌دهد. در ایستگاه تبریز تبخیر-تعرق بیشتر از ایستگاه بندر انزلی است و ارتباط بین شاخص SPI با شاخص SPEI کمتر است. در ایستگاه شیراز مشابهت رفتاری کمتری بین شاخص‌های SPI و SPEI دیده می‌شود، به طوری که شاخص SPEI طول و شدت دوره‌های خشکسالی را بیشتر از شاخص SPI، ولی تعداد رخداد وقایع را کمتر نشان می‌دهد که دلیل این امر می‌تواند ناشی از بیلان کامل شاخص SPEI باشد که متغیر دما را در نظر می‌گیرد. در ایستگاه سبزوار، شاخص‌های SPI و SPEI مشابهت رفتاری کمتری نسبت به یکدیگر دارند و شاخص SPI نوسانات بیشتری نسبت به شاخص SPEI شد. در ایستگاه زاهدان نیز کمترین مشابهت بین این دو شاخص حاکم است که دلیل آن میزان تبخیر-تعرق بالای مناطق گرم و خشک و تأثیر زیاد این متغیر در رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی باشد. در این ایستگاه شاخص SPI خشکسالی شدید را طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸ نشان می‌دهد، ولی در همین بازه‌ی زمانی شاخص SPEI شرایط را تقریباً نرمال نشان می‌دهد. همچنین وقایع خشکسالی/ترسالی نشان داده شده توسط شاخص SPEI، دارای طول و شدت بزرگتری نسبت به شاخص SPI می‌باشند. در نتیجه به طور کلی هرچه از اقلیم‌های مرطوب به سمت اقلیم‌های خشک حرکت کنیم، نقش بارش در پایش خشکسالی کمتر شده و در عوض تبخیر-تعرق پتانسیل در رخداد وقایع خشکسالی/ترسالی نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند.

بررسی و مقایسه‌ی نتایج همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس سالانه نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه بندر انزلی (اقلیم مرطوب ساحلی) و کمترین میزان همبستگی نیز در ایستگاه زاهدان (اقلیم بیابانی) مشاهده 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 در ایستگاه بندر انزلی ثابت و در حدود ۰/۹۵ و بالاتر از آن است در حالی که در سایر ایستگاه‌ها این همبستگی کمتر و بین ۰/۵۰ تا ۰/۸۰ می‌باشد.

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص SPEI با در نظر گرفتن متغیر تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به شاخص SPI، می‌تواند در شناسایی و پایش خشکسالی به‌ویژه در مناطق خشک با تبخیر-تعرق بالا، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری را برای تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان نسبت به شاخص‌های تک متغیره مبتنی بر مقدار بارش، به منظور پایش خشکسالی در اختیار قرار دهد.

پی‌نوشت

- 1- Creeper
- 2- Palmer Draught Index
- 3- Standardized Precipitation Index
- 4- McKee
- 5- Vicente-Serrano
- 6- Standardized Precipitation Evaporation Index
- 7- Potential Evapotranspiration
- 8- Labudova
- 9- Wang
- 10- Park
- 11- Danandeh Mehr
- 12- Thornthwaite
- 13- FAO-Penman-Monteith
- 14- Allen
- 15- Hargreaves
- 16- Edward

منابع

- ۱- احمدی، م.، نصرتی، ک.، و سلکی، ه. (۱۳۹۲). خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک (مطالعه موردی: کبوتر آباد اصفهان). فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران. ۱۱(۳۸).
- ۲- تاج‌بخش، س.، عیسی‌خانی، ن.، و فضل‌کاظمی، ا. (۱۳۹۴). ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI). نشریه فیزیک زمین و فضا. ۴۱، شماره ۲، صفحه ۳۱۳-۳۲۱.
- ۳- زارع‌ایبانه، ح.، قبائی‌سوق، م.، و مساعدی، ا. (۱۳۹۴). پایش خشکسالی بر مبنای شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۲): ۳۹۲-۳۷۴.
- ۴- سبقتی، م.، احمدی بیرگانی، ح.، و مقدم، ع. (۱۳۹۵). محاسبه تداوم و شدت خشکسالی به وسیله شاخص SPEI اصلاحی (مطالعه موردی: شهرهای تبریز و ارومیه). مجله محیط زیست و مهندسی آب. ۲، شماره ۲، صفحه ۱۹۵-۱۸۸.
- ۵- قبائی‌سوق، م.، زارع‌ایبانه، ح.، مساعدی، ا.، و صمدی، س.ز (۱۳۹۴). 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). ۳۰(۵): ۱۷۱۷-۱۷۰۰.
- ۶- مصطفی‌زاده، ر.، و ذبیحی، م. (۱۳۹۵). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (مطالعه‌ی موردی: استان کردستان). نشریه فیزیک زمین و فضا. ۴۲(۳): ۶۴۳-۶۳۳.
- ۷- مساعدی، ا.، محمدی مقدم، س.، و کواکبی، غ. (۱۳۹۵). تعیین خصوصیات خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره‌های مختلف زمانی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳(۶).
- ۸- مصباح‌زاده، ط.، میراکبری، م.، محسنی ساروی، م.، خسروی، ح.، و مرتضایی فریزندی، ق. (۱۳۹۷). تحلیل خشکسالی هواشناسی شهر یزد توسط شاخص‌های SPI و SPEI. سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری. شماره ۲.
- ۹- نصرتی، ک.، محسنی ساروی، م.، و شهبازی، ر. (۱۳۹۳). مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی در استان تهران. نشریه مدیریت بیابان. شماره ۳، صفحه ۹۰-۷۷.

- 10- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., and Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper*. No. 56 - Crop Evapotranspiration, 87-159.
- 11- Alijani B, Ghohroudi M, Arabi N. (2008). Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 92: (1-2) 103-112.
- 12- Danandeh Mehr, A., Unal Sorman, A., Kahya, E., and Hesami Afshar, M. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: Case study of Ankara, Turkey. *The University of Manchester Research*. 22:(5) 2020-2021.
- 13- Hao, Z., and Singh, V. (2015). Drought characterization from a multivariate perspective. *Journal of Hydrology* 527: 668-678.
- 14- Jahangir, MH., and Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (Case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences* 13: 110.
- 15- Labudova, L., Schefczyk, L., and Heinemann, G. (2014). The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins. *Geophysical Research Abstracts*. 18:(1) 15-20.
- 16- McKee, T., Doesken, E., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California* 17-22.
- 17- Vicente-Serrano, S., Beguería, and López-Moreno, J. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*. 23: 1996-1718.
- 16- Vergni, L., and Todisco, F. (2011). Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 301-313.
- 17- Van Loon, A. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water* 173: 359-392.
- 18- Pereira, A., and Pruitt, W. (2004). Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*. 6(6) 251-257.
- 19- Park, J., Lim, Y., Kim, B., and Hyun Sung, J. (2018). Appraisal of drought characteristics of representative drought indices using meteorological variables. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 22:(5) 2002-2009.
- 20- Parsons, D., Rey, D., Tanguy, M., and Holman, I. (2019). Regional variations in the link between drought indices and reported agricultural impacts of drought. *Agricultural Systems* 173: 119-129.
- 21- Sheffield, J., Andreadis, K., Wood, E., and Lettenmaier, D. (2009). 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* 22: 1962-1981.
- 22- Saeidipour, M., Radmanesh, F., and Eslamian, S. (2019). Meteorological Drought Monitoring Using the Multivariate Index of SPEI (Case Study: Karun Basin). *AUT Journal of Civil Engineering*. 3:(1) 85-92.
- 23- Wang, W., Zhu, Y. Xu, R. and Liu, J. (2019). Drought severity change in China during 1961-2012 indicated by SPI and SPEI. *Journal of Natural Hazards*. 75:(2437-2451).



The 2nd national conference on deficit irrigation and the use of non-conventional water for agriculture in dry regions

The role of potential evapotranspiration in monitoring the meteorological drought in different climatic regions of Iran

Morteza Zarabi ¹, Abolfazl Mosaedi ^{2*}, Seyed Majid Hasheminia ³, Mohammad Ghabaei Soogh ⁴

1. Master of Science student in Water Science and Engineering, Dept. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

morteza.zarabi@um.ac.ir.

2. Professor, Water Science and Engineering, Dept. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

mosaedi@um.ac.ir

3. Assistant Professor, Water Science and Engineering, Dept. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. S.m.hasheminia@gmail.com

4. PhD in Water Science and Engineering, Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran ghabaei.m63@gmail.com

ABSTRACT

Drought is a complicated climatic phenomenon and is considered to be an inseparable part of climate escalations. It can profoundly affect vast arena of agricultural, water resources, environmental and socio-economical activities. Two indices of SPI and SPEI for five synoptic stations located in five distinctive climates were determined using 61-year data (1960-2020). The correlation coefficient among the two indices were also examined. The results of drought monitoring for Bandar Anzali station indicated that the two indices were quite similar in determining the occurrence of drought/wet events, having a very high correlation coefficient. It could be concluded that potential evapotranspiration (ET) has little influence on monitoring the occurrence of drought in humid climates. However, due to high rate of ET in hot and dry climate of Zahedan, the least resemblance was found among the two indices. From the results of this research it can be concluded that as we move from humid to arid regions, the role of potential ET becomes more significant in the occurrence of drought/wet events. The highest correlation coefficient was found in Bandar Anzali station having a humid climate, whereas, the lowest correlation value belonged to Zahedan station.

Keywords: *Drought, Potential Evapotranspiration, SPI index, SPEI index, correlation coefficient.*

* Corresponding Author: Abolfazl Mosaedi

Address: Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture., Mashhad, Iran.

E-mail: mosaedi@um.ac.ir