



## ارزیابی همبستگی شاخص‌های SPI، RDI و SPEI با پارامترهای بارش و تبخیر و تعرق

### در چند منطقه آب و هوایی ایران

مسعود یوسفی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد

حسین انصاری\* - دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

ابوالفضل مساعدی - استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

سیده زهرا صمدی - پژوهشیار گروه عمران و محیط زیست، دانشگاه کالیفرنیا جنوبی، ایالات متحده آمریکا

پست الکترونیکی: ansary@um.ac.ir

\*تلفن نویسنده اصلی: ۰۵۱۳۸۸۰۵۷۶۰

### چکیده

در این پژوهش به پایش خشکسالی بر اساس سه شاخص خشکسالی SPI، RDI و SPEI در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک در نواحی مختلف آب و هوایی به منظور تأثیر بررسی تبخیر و تعرق بر خشکسالی پرداخته شده است. میزان همبستگی شاخص‌های مذکور در مقیاس ۱۲ ماهه با میانگین متحرک ۱۲ ماهه پارامترهای بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET<sub>0</sub>) محاسبه گردید. با توجه به نتایج، بالاترین مقادیر همبستگی بارش با شاخص SPI مشاهده گردید. همچنین همبستگی معناداری بین ET<sub>0</sub> با شاخص SPEI در نواحی مختلف آب و هوایی مشاهده گردید. همبستگی ET<sub>0</sub> با شاخص SPEI در مناطق کم باران و خشک مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهد و با کاهش نسبت بارش به ET<sub>0</sub>، مقدار همبستگی شاخص SPEI با ET<sub>0</sub> افزایش می‌یابد. با توجه به همبستگی بسیار زیاد ET<sub>0</sub> با وضعیت خشکسالی در اکثر مناطق مورد بررسی پیشنهاد می‌شود که در مناطق کم باران و خشک مانند اکثر مناطق ایران، از شاخص‌های مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق به منظور پایش خشکسالی استفاده گردد. ضمن آنکه در مناطق با میزان بارندگی نزدیک به مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر بارش مانند SPI می‌تواند به خوبی نشانگر وضعیت خشکسالی منطقه باشد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، همبستگی، بارش، تبخیر و تعرق، شاخص شناسایی خشکسالی، شاخص بارش-تبخیر و

تعرق استاندارد شده

### ۱- مقدمه

زندگی بشر همواره دستخوش انواع خطرات طبیعی قرار دارد که برخی از آن‌ها ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشند. بررسی پدیده‌های مخاطره‌آمیز نشان می‌دهد که خشکسالی در رده اول این فهرست قرار دارد [۱]. خشکسالی و کم آبی می‌تواند باعث ایجاد بحران‌های جدی در زندگی بشر شوند. خشکی یکی از ویژگی‌های ذاتی اقلیم است در حالی که خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که حالت گذرا دارد و امکان دارد در همه مناطق آب و هوایی بروز کند، اما



ویژگی های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی از مکانی به مکان دیگر متفاوت خواهد بود. از این رو پایش و پیش بینی خشکسالی و بررسی خصوصیات آن می تواند نقش مهمی در کاهش خسارات خشکسالی و مدیریت منابع آب ایفا کند [۲].

تعریف کمی خشکسالی ها توسط شاخصهای خشکسالی صورت می گیرد. شاخصهای خشکسالی به صورت گسترده توسط متخصصان این زمینه مورد استفاده قرار می گیرند. تعداد زیادی از شاخص های خشکسالی به منظور پایش خشکسالی و بررسی آثار کمی آن، تا به امروز ارائه شده اند که شاخص های خشکسالی پالمر<sup>۱</sup> (PDSI)، شاخص بارش استاندارد شده<sup>۲</sup> (SPI)، شاخص شناسایی خشکسالی<sup>۳</sup> (RDI) و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>۴</sup> (SPEI) از آن جمله می باشند.

خشکسالی انواع متفاوتی دارد و یکی از انواع خشکسالی، خشکسالی هوا شناسی می باشد. این نوع از خشکسالی در اثر کمبود بارش رخ می دهد. بارش تغییرپذیرترین متغیر اقلیمی است که در مناطق خشک و نیمه خشک دارای ضریب تغییرات زیادی می باشد. تاثیر تغییرات بارش مستقیماً بر روی منابع آب سطحی و زیرزمینی انعکاس می یابد. از این رو بارش اولین متغیری است که می تواند در بررسی خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد [۳]. بررسی های صورت گرفته حاکی از آن است که وزن بارش در شاخص های خشکسالی، به تنهایی ۸۰ درصد از تغییرات شاخص ها را توصیف می کند [۴]. در شاخص های اولیه بارش تنها پارامتر مورد استفاده جهت بررسی وضعیت خشکسالی بوده است. به مرور با افزایش آگاهی از پدیده خشکسالی و تاثیر گذاری سایر عوامل جوی، در توسعه شاخص های جدیدتر، سعی در دخالت این عوامل در محاسبات شده است [۵].

مهمترین مزیت شاخص SPI، قابلیت محاسبه شاخص در مقیاس های زمانی متفاوت است که به این شاخص توانایی پایش اثرات خشکسالی بر ذخایر کوتاه مدت (بخش کشاورزی) و طولانی مدت (منابع آب سطحی و زیرزمینی) را می دهد [۶]. ادوارد (۱۹۹۳) استفاده از شاخص SPI را برای مقیاس یک ماهه تا چندین سال را بدون محدودیت بیان نمود [۷]. شاخص SPI صرفاً از داده های بارش جهت تعیین وضعیت خشکسالی استفاده می کند و پارامترهایی مانند تبخیر و تعرق و درجه حرارت هوا که باعث تشدید اثرات خشکسالی می گردند، در این شاخص مدنظر قرار نگرفته اند، بنابراین نمی توان آنرا به عنوان یک شاخص جامع مطرح نمود [۸].

در مناطق کم باران و خشک، بارش به تنهایی نمی تواند تعیین کننده وضعیت خشکسالی باشد و افزایش و یا کاهش تبخیر و تعرق می تواند تا حدودی شرایط خشک سالی را تشدید و یا تعدیل نماید. ساکرینس و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که خشکسالی ها در منطقه مدیترانه، با افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق همراه هستند و شاخص های که صرفاً بر مبنای بارش توسعه یافته اند، به تنهایی نمی توانند بیانگر خصوصیات خشکسالی در این مناطق باشند. از این رو با استفاده از مفاهیم اولیه شاخص SPI و دخالت عامل تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص RDI که متناسب با نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد را به منظور تعیین شدت، مدت و گستره مکانی خشکسالی در منطقه مدیترانه ارائه کردند [۹، ۱۰، ۱۱]. وینسنت سرنانو و همکاران (۲۰۱۰) در رابطه با شاخص RDI اعلام کردند که در ماه هایی از سال که ممکن است مقدار

<sup>۱</sup> Palmer Drought severity Index

<sup>۲</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>۳</sup> Reconnaissance Drought Index

Index <sup>۴</sup> Standardized Precipitation-Evapotranspiration



تبخیر صفر شود، این شاخص تعریف نگردیده است و دامنه مقادیر بکار رفته، بقدری کوچک است که نمی تواند نقش دما را در بررسی خشکسالی منعکس کند [۱۲].

با توجه به محدودیت های شاخص های SPI و RDI، شاخص جدیدی به نام شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) به منظور پایش خشکسالی توسط وینسنت سرانو و همکاران ارائه گردید. این شاخص بر مبنای تفاوت بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بنا شده است. مهمترین برتری شاخص SPEI نسبت به سایر شاخص های کاربرد خشکسالی، توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر دما و تبخیر و تعرق در ارتباط با گرمایش جهانی می باشد [۱۲]. تاج بخش و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی روند تبخیر و تعرق و روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI بیان کردند کاهش بیش از ۵۰ درصد و افزایش بیش از ۶۰ درصد تبخیر و تعرق، نقش مهمی را در شدت خشکسالی ایفا می کند [۱۳].

ساکریس و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی سه شاخص RDI، SPI و SPEI در منطقه ی مدیترانه پرداختند و بیان نمودند که شاخص RDI از رفتار مشابهی با شاخص SPI برخوردار است و مزیت آن حساسیت بیشتر به تغییرات محیطی نسبت به شاخص SPI است [۱۱]. ارزیابی نتایج پایش خشکسالی در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک کشور بر اساس دو شاخص SPI و RDI بیانگر همبستگی بالا بین دو شاخص SPI و RDI بوده است و شاخص RDI در اکثر ماه ها مشابهت رفتاری بالایی با شاخص SPI را نشان داده است [۱۴]. احمدی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی خشکسالی در مقیاس های زمانی متفاوت توسط شاخص SPEI در ایستگاه کبوتر آباد اصفهان و مقایسه آن با شاخص SPI بیان کردند که دو شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی معناداری هستند اما شاخص SPEI دارای پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی می باشد. همچنین اضافه نمودند با توجه به لحاظ نمودن بیلان آب در شاخص SPEI این شاخص همبستگی قابل قبولی با رطوبت خاک را دارا است [۱۵].

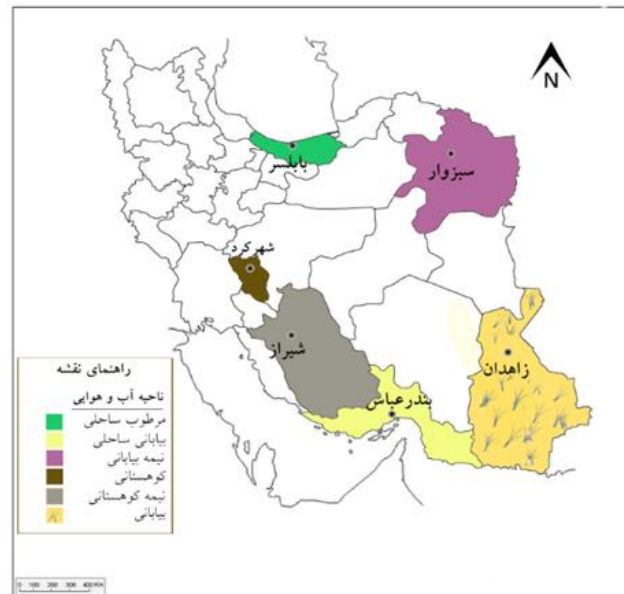
با توجه به موارد ذکر شده، شاخص های خشکسالی هواشناسی، در مناطق مختلف لزوما رفتار مشابهی ندارند. همچنین تحقیقات اندکی درباره همبستگی عواملی جمله بارش و تبخیر و تعرق بر خشکسالی ها در ایران صورت گرفته است. از این رو، در پژوهش حاضر به ارزیابی همبستگی سه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI، SPEI و RDI با پارامترهای بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل در شش ایستگاه سینوپتیک کشور در نواحی مختلف آب و هوایی پرداخته می شود.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- مناطق مورد مطالعه و داده های مورد استفاده:

در این پژوهش شش ایستگاه سینوپتیک بابلسر، بندرعباس، زاهدان، سبزوار، شهرکرد و شیراز مورد مطالعه قرار گرفته اند که بر اساس تقسیم بندی علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) به ترتیب در نواحی آب و هوایی مرطوب ساحلی، بیابانی ساحلی، بیابانی، نیمه بیابانی، کوهستانی و نیمه کوهستانی قرار دارند [۱۶]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد بررسی در سطح کشور را نشان می دهد. برخی از خصوصیات آب و هوایی ایستگاه های مورد بررسی نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

داده های مورد استفاده شامل آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، نقطه شبنم، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و بارش طی دوره زمانی سال های ۱۹۶۵ الی ۲۰۱۴ میلادی (به مدت ۵۰ سال) می باشند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در سطح کشور

جدول ۱- برخی از خصوصیات آب و هوایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

ایستگاه	متوسط دمای سالانه (درجه سانتی گراد)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	متوسط بارش سالانه (میلیمتر)	متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (میلیمتر)	نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل (بدون واحد)	ناحیه اقلیمی
بابلسر	۱۶/۹۱	۸۱/۳۲	۹۱۴/۴۲	۹۵۹/۱۲	۰/۹۵	مرطوب ساحلی
بندرعباس	۲۷/۱۲	۶۴/۶۱	۱۷۱/۶۳	۱۹۳۶/۸۴	۰/۰۸	بیابانی ساحلی
سبزوار	۱۷/۸۳	۴۰/۰۳	۱۹۳/۱۱	۱۹۴۲/۷۶	۰/۰۹	نیمه بیابانی
شهرکرد	۱۲/۲۱	۴۵/۹۱	۳۳۰/۰۱	۱۱۹۸/۹۱	۰/۲۷	کوهستانی
شیراز	۱۸/۲۸	۳۹/۶۷	۳۲۲/۱۰	۱۸۱۵/۵۴	۰/۱۷	نیمه کوهستانی
زاهدان	۱۸/۸۶	۳۲/۲۹	۷۸/۳۲	۲۱۱۵/۵۷	۰/۰۳	بیابانی

## ۲-۲- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور کنترل آماری و بررسی کیفیت داده‌های بارش و داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، از آزمون‌های آماری همگنی من-ویتنی، آزمون استقلال من-کندال و آزمون داده‌های پرت گروپز-بک استفاده شده است. تمامی ایستگاه‌ها تقریباً از کیفیت آماری و داده‌های کاملی برخوردار هستند. داده‌های مفقود در سری آماری ایستگاه شیراز با استفاده از روش نسبت‌ها مورد بازسازی قرار گرفتند.



### ۲-۳- روش تحقیق

در این تحقیق رابطه فائو پنمن-مانتیت<sup>۵</sup> (FPM) بعنوان روش محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO) در نظر گرفته شده است. پس از تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر هر یک از شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SPEI در مقیاس ۱۲ ماهه محاسبه گردید. به منظور محاسبه دو شاخص SPEI و SPI از پکیج‌های نرم افزار R و جهت محاسبه شاخص RDI از نرم افزار Excel استفاده گردید. پس از آن مقادیر ضریب همبستگی پیرسون<sup>۶</sup> بین شاخص‌های خشکسالی با دو عامل بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح معنی داری ۹۹ درصد محاسبه گردید.

### ۲-۴- شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

#### ۲-۴-۱- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده، اولین بار توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) بسط و توسعه داده شد [۱۷]. محاسبه این شاخص بر اساس بارش بلندمدت صورت می‌گیرد. SPI یک شاخص استاندارد شده است که قادر به محاسبه کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف از جمله ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه می‌باشد [۱۸]. در این شاخص ابتدا توزیع آماری مناسب بر داده‌های بارش برازش داده می‌شود که بطور معمول توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود. سپس تابع توزیع تجمعی با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌گردد.

#### ۲-۴-۲- شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص RDI در سال ۲۰۰۴ توسط ساگریس و همکاران جهت پایش خشکسالی در منطقه مدیترانه ارائه گردید [۹]. خشکسالی‌هایی که در منطقه مدیترانه رخ می‌دهند، با افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق همراه می‌باشند، از این رو بررسی خشکسالی صرفاً از طریق بارش صحیح نمی‌باشد. مدتی بعد اطلاعات کاملتری از این شاخص به همراه نحوه محاسبه آن، توسط ساگریس و ونگلیس (۲۰۰۵) و ساگریس و همکاران (۲۰۰۷) منتشر شد [۱۰، ۱۱]. این شاخص از برازش توزیع گاما بر مقادیر نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل و تبدیل تابع توزیع تجمعی به توزیع نرمال استاندارد محاسبه می‌گردد.

#### ۲-۴-۳- شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

شاخص SPEI برای اولین بار توسط وینسنت سرانو و همکاران معرفی گردید [۱۲]. این شاخص بر مبنای قابلیت محاسبه در مقیاس زمانی متفاوت شاخص SPI و حساسیت شاخص PDSI در بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل، بسط و گسترش یافته است. شاخص SPEI با استفاده از سری تفاضل بارش از تبخیر و تعرق پتانسیل و برآورد تابع احتمال تجمعی برازش یافته بر سری تفاضل و در نهایت تبدیل تابع توزیع تجمعی به توزیع نرمال استاندارد محاسبه می‌گردد.

شاخص‌های SPEI و RDI بر پایه شاخص SPI توسعه یافته‌اند. بنابراین طبقات شدت خشکسالی در آن‌ها، مطابق شاخص SPI ارائه شده توسط ادوارد و مک کی (۱۹۹۷) می‌باشد که در جدول ۲ ارائه شده است [۱۹].

<sup>۵</sup> FAO Penman-Monteith  
Correlation <sup>۶</sup> Pearson Product-moment

جدول ۲- طبقات مختلف شدت خشکسالی در شاخص های  $SPI$ ،  $RDI$  و  $SPEI$ 

مقدار شاخص	علامت اختصاری	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	EW	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	VW	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	MW	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	N	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	MD	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	SD	خشکسالی شدید
-۲ یا کمتر	ED	خشکسالی بسیار شدید

## ۳- جمع بندی و نتیجه گیری

## ۳-۱- بررسی همبستگی مقادیر شاخص های خشکسالی

مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی داری ۹۹ درصد، بین شاخص های  $SPI$ ،  $RDI$  و  $SPEI$  در ایستگاه های مورد بررسی محاسبه گردید و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص های خشکسالی مورد بررسی

شاخص			ایستگاه	شاخص			ایستگاه	
$SPEI$	$RDI$	$SPI$		$SPEI$	$RDI$	$SPI$		
		۱/۰۰۰*	$SPI$			۱/۰۰۰*	$SPI$	
	۱/۰۰۰*	۰/۸۷۶*	$RDI$	شهرکرد	۱/۰۰۰*	۰/۹۱۸*	$RDI$	
۱/۰۰۰*	۰/۸۳۳*	۰/۴۷۶*	$SPEI$		۱/۰۰۰*	۰/۹۹۳*	۰/۹۱۵*	$SPEI$
		۱/۰۰۰*	$SPI$			۱/۰۰۰*	$SPI$	
	۱/۰۰۰*	۰/۹۸۳*	$RDI$	شیراز	۱/۰۰۰*	۰/۹۹۳*	$RDI$	
۱/۰۰۰*	۰/۸۲۶*	۰/۷۱۶*	$SPEI$		۱/۰۰۰*	۰/۸۲۰*	۰/۷۵۹*	$SPEI$
		۱/۰۰۰*	$SPI$			۱/۰۰۰*	$SPI$	
	۱/۰۰۰*	۰/۹۸۹*	$RDI$	زاهدان	۱/۰۰۰*	۰/۹۲۸*	$RDI$	
۱/۰۰۰*	۰/۶۱۲*	۰/۴۹۷*	$SPEI$		۱/۰۰۰*	۰/۸۰۰*	۰/۵۲۷*	$SPEI$

علامت \* بیانگر معنی داری همبستگی در سطح ۹۹ درصد می باشد.

در تمامی ایستگاه ها، مقدار همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر دو شاخص  $SPI$  و  $RDI$  مشاهده می گردد که بیانگر مشابهت رفتاری بالای دو شاخص مذکور در تمامی نواحی آب و هوایی می باشد. مقدار همبستگی شاخص های  $SPEI$  و  $SPI$  متناسب با نواحی آب و هوایی تغییر می کند. با کاهش بارش و افزایش نقش تبخیر و تعرق، مقدار همبستگی شاخص  $SPEI$  با شاخص  $SPI$  کاهش می یابد. علت این امر را می توان به عدم توانایی شاخص  $SPI$  در بررسی پدیده تبخیر و تعرق در پایش خشکسالی مرتبط دانست. همچنین میزان همبستگی بین شاخص های  $SPEI$  و  $RDI$  نیز در نواحی مختلف آب و هوایی متفاوت است و با کاهش نسبت بارش به تبخیر و تعرق، مقدار همبستگی دو شاخص  $SPEI$  و  $RDI$  کاهش می یابد. تفاوت همبستگی دو



شاخص SPEI و RDI در نواحی مختلف آب و هوایی را می‌توان ناشی از، تفاوت حساسیت به تبخیر و تعرق و همچنین تفاوت در روش برآورد تبخیر و تعرق بیان نمود.

در منطقه مرطوب ساحلی همبستگی بسیار بالایی بین هر سه شاخص خشکسالی مشاهده می‌گردد که بیانگر نقش اندک تبخیر و تعرق در پایش خشکسالی در این مناطق می‌باشد. به عبارت دیگر در ایستگاه واقع در منطقه مرطوب ساحلی (بابلسر) نسبت بارش به تبخیر و تعرق معادل ۰/۹۵ می‌باشد (جدول ۲) در نتیجه در این مناطق شاخص های RDI، SPI و SPEI همبستگی بالایی با یکدیگر دارند (جدول ۳) و عملاً از یک تشابه رفتاری یکسانی برخوردارند. در مناطق بیابانی، نیمه بیابانی و بیابانی ساحلی که مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل تا چندین برابر بارش سالانه می‌باشد، تفاوت جدی در رفتار بین شاخص SPEI با شاخص SPI و حتی شاخص RDI مشاهده می‌گردد (جدول ۳).

### ۳-۲- بررسی همبستگی شاخص‌های خشکسالی با پارامتر بارش

با توجه به نتایج جدول ۴، مقادیر همبستگی بالایی بین شاخص SPI و میانگین متحرک بارش در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی مشاهده می‌گردد. با توجه به این که در محاسبه شاخص SPI تنها پارامتر بارش مستقیماً دخالت داده می‌شود، این نتیجه دور از انتظار نیست. شاخص RDI نیز بدون توجه به ناحیه آب و هوایی، مقدار همبستگی بالایی را با پارامتر بارش در تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در حالی که میزان همبستگی شاخص SPEI با بارش، در نواحی مختلف آب و هوایی متفاوت است.

با کاهش نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل، مقدار همبستگی شاخص SPEI با بارش کاهش می‌یابد. در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی و بیابانی ساحلی با نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از ۰/۱، کمترین مقادیر همبستگی شاخص SPEI با بارش و در ناحیه مرطوب ساحلی با نسبت بارش به تبخیر و تعرق نزدیک به ۱، بیشترین همبستگی شاخص SPEI با بارش مشاهده می‌گردد. بنابراین می‌توان نقش تبخیر و تعرق را برای مناطق خشک بسیار زیاد و برای مناطق مرطوب بسیار کم دانست.

جدول ۴- مقادیر همبستگی شاخص‌های خشکسالی با پارامتر بارش

ایستگاه	شاخص خشکسالی			پارامتر مورد بررسی
	SPI	RDI	SPEI	
بابلسر	*۰/۹۹۵	*۰/۹۰۸	*۰/۹۱۰	میانگین متحرک بارش
بندرعباس	*۰/۹۶۹	*۰/۹۶۹	*۰/۷۶۳	
سبزوار	*۰/۹۹۲	*۰/۹۱۶	*۰/۵۱۰	
شهرکرد	*۰/۹۹۳	*۰/۸۶۸	*۰/۴۷۵	
شیراز	*۰/۹۸۲	*۰/۹۷۶	*۰/۷۴۶	
زاهدان	*۰/۹۶۶	*۰/۹۵۸	*۰/۴۷۴	

علامت \* بیانگر معنی داری همبستگی در سطح ۹۹ درصد می‌باشد.



#### ۳-۲-۲- بررسی همبستگی پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل (ET<sub>o</sub>) با شاخص‌های خشکسالی

پارامتر ET<sub>o</sub> با شاخص‌های خشکسالی دارای همبستگی منفی می‌باشد. با افزایش مقدار ET<sub>o</sub>، نسبت بارش به ET<sub>o</sub> در شاخص RDI و تفاضل بارش از ET<sub>o</sub> در شاخص SPEI، مقادیر کوچکتری خواهند داشت، که این امر باعث کوچکتر شدن مقدار عددی شاخص مورد نظر می‌گردد، از این رو همبستگی شاخص‌های خشکسالی و ET<sub>o</sub> بصورت منفی می‌باشد. در بررسی مقادیر همبستگی ET<sub>o</sub> با شاخص‌های خشکسالی، شاخص SPI در اغلب موارد، مقادیر همبستگی بسیار اندک و قابل چشم پوشی را ارائه می‌دهد (جدول ۵).

شاخص RDI با ET<sub>o</sub> همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد، درحالی که شاخص SPEI مقدار همبستگی بسیار بالایی با ET<sub>o</sub> را در تمام نواحی بجز منطقه مرطوب ساحلی ارائه می‌کند (جدول ۵). مقدار همبستگی شاخص SPEI با ET<sub>o</sub> در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد. همبستگی شاخص SPEI و ET<sub>o</sub> در مناطق کم باران با میزان تبخیر و تعرق بالا (نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از ۰/۱) مانند مناطق بیابانی، نیمه بیابانی و بیابانی ساحلی، مقادیر همبستگی بسیار بالایی را نشان می‌دهد که بیانگر نقش بالای تبخیر و تعرق در پایش خشکسالی در این مناطق می‌باشد. درحالی که در مناطق مرطوب ساحلی مانند بابلسر (که میزان بارش تقریباً برابر تبخیر و تعرق پتانسیل است) دو شاخص SPEI و ET<sub>o</sub> مقدار همبستگی متوسطی را نشان می‌دهند. مقادیر همبستگی ET<sub>o</sub> با شاخص RDI کمتر از مقادیر همبستگی ET<sub>o</sub> با شاخص SPEI مشاهده می‌گردد که بیانگر حساسیت کمتر شاخص RDI از شاخص SPEI نسبت به پدیده تبخیر و تعرق می‌باشد.

جدول ۵- مقادیر همبستگی شاخص‌های خشکسالی با پارامتر تبخیر و تعرق

ایستگاه	شاخص خشکسالی		
	SPI	RDI	SPEI
بابلسر	-۰/۰۴۷*	-۰/۴۳۶*	-۰/۴۳۰*
بندرعباس	-۰/۴۵۵*	-۰/۵۴۵*	-۰/۹۱۷*
سبزوار	-۰/۳۸۶*	-۰/۶۹۳*	-۰/۹۸۴*
شهرکرد	-۰/۰۴۸	-۰/۵۱۷*	-۰/۸۹۶*
شیراز	-۰/۲۱۵*	-۰/۳۸۲*	-۰/۸۲۵*
زاهدان	-۰/۳۳۲*	-۰/۴۵۹*	-۰/۹۸۱*

علامت \* بیانگر معنی داری همبستگی در سطح ۹۹ درصد می‌باشد.

#### ۳-۲-۳- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، مقادیر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، RDI و SPEI در ۶ ایستگاه سینوپتیک بابلسر، بندرعباس، سبزوار، شهرکرد، شیراز و زاهدان که به ترتیب در نواحی آب و هوایی مرطوب ساحلی، بیابانی ساحلی، نیمه بیابانی، کوهستانی، نیمه کوهستانی و بیابانی قرار گرفته‌اند، در مقیاس ۱۲ ماهه برای هر ایستگاه تعیین گردید. پس از آن میزان همبستگی شاخص‌های مذکور با میانگین متحرک ۱۲ ماهه پارامترهای بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه گردید.

بررسی همبستگی مقادیر شاخص‌های خشکسالی با یکدیگر، بیانگر همبستگی بالای دو شاخص SPI و RDI، در تمامی مناطق آب و هوایی می‌باشد. همچنین مشاهده گردید با کاهش نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل، میزان همبستگی شاخص





SPEI با شاخص SPI کاهش می یابد که بیانگر نقش بالای تبخیر و تعرق در مناطق با بارش اندک و تبخیر و تعرق زیاد در وضعیت خشکسالی می باشد.

در بررسی میزان همبستگی پارامتر بارش با شاخص های خشکسالی، پارامتر بارش بیشترین مقدار همبستگی را با شاخص SPI دارد. شاخص RDI نیز مقادیر بالای همبستگی با پارامتر بارش را نشان می دهد. همبستگی پارامتر بارش و شاخص SPEI، در نواحی مختلف آب و هوایی متفاوت است، بگونه ای که در نواحی با بارش بالا و تبخیر و تعرق اندک که مقدار بارش تقریباً با تبخیر و تعرق پتانسیل برابر است، بیشترین مقدار همبستگی بارش با شاخص SPEI مشاهده می شود و در نواحی با نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از ۰/۱، کمترین میزان همبستگی بین بارش و شاخص SPEI مشاهده می گردد.

بیشترین میزان همبستگی ETo با شاخص SPEI مشاهده می شود. میزان همبستگی ETo با شاخص SPEI نیز در نواحی مختلف آب و هوایی متفاوت است بگونه ای که در مناطق مرطوب مانند ایستگاه بابلسر کمترین میزان همبستگی ETo با شاخص SPEI و در مناطق خشک و بیابانی مانند ایستگاه سبزوار، بیشترین میزان همبستگی ETo با شاخص SPEI مشاهده می گردد. میزان همبستگی شاخص RDI با ETo در نواحی مختلف آب و هوایی مقادیر بالایی نمی باشد و این شاخص در اکثر موارد مشابه شاخص SPI رفتار می کند. از این رو شاخص RDI به اندازه ی شاخص SPEI به ETo حساسیت نشان نمی دهد. شاخص SPI در اکثر موارد همبستگی بسیار اندک و قابل چشم پوشی را با ETo نشان می دهد. این موضوع بیانگر عدم توانایی شاخص SPI در تاثیر تبخیر و تعرق بر خشکسالی است. در نتیجه استفاده از شاخص SPI در مناطق با بارش کم و تبخیر و تعرق بالا مانند اغلب مناطق ایران، منطقی به نظر نمی رسد و توصیه می گردد از شاخص های مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق خصوصاً شاخص SPEI استفاده شود.

پیشنهاد می شود جهت پایش خشکسالی در مناطق خشک که عموماً مقدار بارش نسبت به تبخیر و تعرق بسیار اندک است، از شاخص های مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق مانند شاخص SPEI استفاده گردد. از طرفی به منظور پایش خشکسالی در مناطق مرطوب و پر باران استفاده از شاخص SPI به علت سادگی کاربرد، توجیه مناسبی دارد.

#### ۴- مراجع

[1] Bryant, E.A. (2005). Natural Hazards. Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press

[2] Mishra, A.K. and Desai, V.R. (2006). Drought Forecasting Using Feed- Forward Recursive Neural Network. Ecological Modeling, 98, 127-138.

[۳] نوحی، ک. و عسکری، ا. (۱۳۸۴). مطالعه خشکسالی و دوره برگشت ترسالی ها و خشکسالی ها در منطقه قم. فصلنامه خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره ۱۵، صفحه ۶۱-۴۷.

[4] Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002). The Quantification of Drought Indices. American Meteorological Society, 83(8), 1167-1180.

[5] Richard, R. and Heim, J.R. (2002). A review of twentieth- century drought indices used in the United States. American meteorological society, 1149-1165.



- [6] Mishra, A.K. and Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202–216.
- [7] Edward, D. (1993). *Methodology: Spi Defined*, Chapter 3 of Master's thesis, National Drought Mitigation center.
- [۸] انصاری، حسین. و داوری، کامران. (۱۳۸۶). پهنه بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS مطالعه موردی استان خراسان. *مجله پژوهش های جغرافیایی*، شماره ۳، صفحه ۱۰۸-۹۷
- [9] Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Manag*, 18, 1-12.
- [10] Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Eur Water*, 9-19.
- [11] Tsakiris, G. Pangalou, D. and Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21, 821-833.
- [12] 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. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- [۱۳] تاج بخش، س. عیسی خانی، ن. و فضل کاظمی، ا. (۱۳۹۴). ارزیابی خشک سالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص «استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق (SPEI)». *فیزیک زمین و فضا*، شماره (۲) ۴۱، صفحه ۳۱۳-۳۲۱.
- [14] Jamshidi, H. Khalili, D. Kamkar-Haghighi, A.A. and Zand-Parsa, S. (2009). RDI as the appropriate index of drought monitoring system in water resources management in Iran. *Proceeding of International conference on water resource: emphasis on regional development*, Shahrood, Iran.
- [15] احمدی، م. نصرتی، ک. و سلکی، ه. (۱۳۹۲). خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک، مطالعه موردی: کبوتر آباد اصفهان. *فصلنامه بین المللی انجمن جغرافیای ایران*، شماره ۳۸.
- [16] Alijani, B. Ghohroudi, M. Arabi, N. (2008). Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical and Applied Climatology*, 92, 103–112.
- [17] McKee, T.B. Doesken, N.J. Kleist, J. (1993). The relation of drought frequency and duration to time scale. *Proceeding, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, 379-384.
- [18] Steinman, A. (2003). Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(5), 1217-1233.
- [19] Edwards, D. C. and McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. *Climatology Report Number 97- 2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.