



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## نقش تبخیر و تعرق در پایش خشک‌سالی هواشناسی در چند ناحیه اقلیمی کشور

عادلہ ہاتفی<sup>۱</sup>، \* ابوالفضل مساعدی<sup>۲</sup> و مهدی جباری‌نوقابی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب‌خیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۲</sup> استادیار گروه آمار، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۳۰

### چکیده

**سابقه و هدف:** آب یکی از اساسی‌ترین نیازهای بشر و سایر موجودات زنده است. خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی و تکرارپذیر است که می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی شود. این پدیده در هر رژیم آب و هوایی، حتی در مناطق مرطوب ممکن است مشاهده شود، اما اثرات و فراوانی آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر نمایان می‌شود. مهم‌ترین عامل ایجاد خشک‌سالی بارندگی می‌باشد، اما افزایش و یا کاهش تبخیر و تعرق می‌تواند تا حدودی شرایط خشک‌سالی را تشدید و یا تعدیل نماید. به‌منظور پایش خشک‌سالی از شاخص‌های متفاوت که عموماً مبتنی بر بارندگی و یا بارندگی و تبخیر و تعرق می‌باشند، استفاده می‌شود. از طرف دیگر پایش خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های متفاوت ممکن است نتایج متفاوتی را نیز سبب شود. از این‌رو، در این پژوهش به پایش خشک‌سالی هواشناسی و بررسی تأثیر تبخیر و تعرق بر آن طی سال‌های ۴۰-۱۳۳۹ تا ۸۹-۱۳۸۸ و مقایسه وضعیت خشک‌سالی بر اساس سه شاخص RDI، SPI و SPEI در شش ایستگاه سینوپتیک رامسر، همدان، شیراز، سبزوار، بندرعباس و یزد، که به‌ترتیب در اقلیم‌های مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی، بیابان ساحلی و بیابانی واقع شده‌اند، پرداخته شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه از آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی بارندگی، دمای میانگین، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد، شش ایستگاه سینوپتیک استفاده گردید. ابتدا آزمون‌های اولیه آماری بر داده‌های ماهانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مذکور صورت گرفت. به این منظور از سه آزمون معروف من-کندال برای تشخیص روند، من-ویتنی برای تشخیص همگنی و گرویز-بک برای یافتن داده پرت استفاده شده است. پس از تأیید اولیه این داده‌ها از نظر همگنی و داده پرت، مقادیر هر یک از شاخص‌های RDI، SPI و SPEI در مقیاس‌های سالانه و فصلی محاسبه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که در مناطق مرطوب تفاوت معنی‌داری بین شاخص SPI با شاخص‌های RDI و SPEI که تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرند، وجود ندارد، اما در مناطق خشک تفاوت نتایج شاخص‌ها واضح است. کم‌ترین اختلاف از نظر پایش وضعیت خشک‌سالی، بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل بهار و در شهر همدان می‌باشد، در

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

حالی که بیش‌ترین اختلاف، بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان و در شهر یزد (با اقلیم بیابانی) وجود دارد. این موضوع اهمیت پدیده تبخیر و تعرق در فصول گرم و خشک به‌خصوص در مناطق خشک و بیابانی و تأثیر آن بر خشک‌سالی را نشان می‌دهد. در فصل‌های پاییز و زمستان در هر شش ایستگاه مورد نظر، کم‌ترین اختلاف بین شاخص‌های SPI با SPEI و SPI با RDI اتفاق افتاده است، بنابراین در این فصل‌ها که تبخیر و تعرق کم‌تر می‌باشد، این پدیده نقش کم‌تری در شرایط رطوبتی (خشکسالی و یا ترسالی) دارد.

**نتیجه‌گیری:** براساس نتایج این پژوهش، می‌توان بیان نمود که در بیش‌تر مواقع عملکرد شاخص‌های مورد بررسی در مناطق مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت، یکسان نمی‌باشد. از طرف دیگر می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات وضعیت رطوبتی (ترسالی و خشک‌سالی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس هر یک از شاخص‌های مورد بررسی بسیار زیاد می‌باشد. ضمن آن‌که شدت وقوع خشک‌سالی و تعداد دفعات تکرار آن بر اساس شاخص‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور پایش خشک‌سالی هواشناسی در مناطق خشک که بارندگی عموماً ناچیز بوده و از طرف دیگر تبخیر و تعرق چندین برابر بارش سالانه است، از شاخص‌هایی که مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق هستند، استفاده شود. در حالی که در مناطق مرطوب (مانند رامسر) پدیده‌ی تبخیر و تعرق نقش چندانی در وقوع خشک‌سالی ایجاد نمی‌نماید و می‌توان به‌منظور ساده‌سازی، خشک‌سالی هواشناسی را تنها بر اساس بارندگی پایش نمود.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص بارش استاندارد شده، شاخص شناسایی خشک‌سالی، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده، پایش خشک‌سالی، آب و هوا

## مقدمه

و نیمه‌خشک بیش‌تر نمایان می‌شود (۱۴). خشک‌سالی پرهزینه‌ترین مخاطره طبیعی در جهان است. نتایج آن بسته به موقعیت، زمان‌بندی، وسعت و وضعیت جامعه یا بخش اجتماعی بسیار متغیر است (۹). تأثیر یک خشک‌سالی تابعی از بزرگی رویداد و آسیب‌پذیری اجتماعی ناحیه براساس چگونگی در معرض مخاطره قرار گرفتن و یا مکانیسم‌های غلبه بر آن است (۶).

در ایران بعد از خشک‌سالی‌های سال‌های پایانی دهه ۱۳۷۰ شمسی، بررسی وضعیت خشک‌سالی و شناسایی خصوصیات آن بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. تعیین ویژگی‌های خشک‌سالی یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی، به‌ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد. در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت،

آب یکی از اساسی‌ترین نیازهای بشر و سایر موجودات زنده است. خشک‌سالی و کمبود آب می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی در زندگی انسان‌ها شود. خشک‌سالی به‌طور غیرمستقیم نیز می‌تواند موجب بروز بحران‌هایی در زندگی اجتماعی بشر گردد. اختلاف برای دستیابی به منابع آب، به خطر افتادن بهداشت عمومی و تأثیرات منفی زیست‌محیطی و اکولوژیکی مثال‌هایی از این موارد هستند. خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی و تکرارپذیر است که در اثر کاهش میزان بارندگی در یک دوره زمانی مشخص و نسبتاً طولانی حادث می‌گردد (۲۰). این پدیده در همه رژیم‌های اقلیمی و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما اثرات و فراوانی آن در مناطق خشک

و اثرات دوره‌های طولانی‌مدت منابع آب را پایش نماید (۱۲، ۳۰). از طرف دیگر لوید-هوگوس و ساندرس عنوان کردند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که نباریدن باران در برخی از فصل‌ها طبیعی است، در بعضی از فصل‌ها در سری زمانی تعداد بسیار زیادی صفر وجود دارد. در این مناطق، ممکن است توزیع گاما (که توزیع پیش‌فرض در شاخص SPI می‌باشد) نتواند به خوبی بر داده‌های بارندگی برازش یابد. در نتیجه، این موضوع می‌تواند باعث خطا هنگام تعیین تابع توزیع داده‌ها در مناطق خشک در نمونه‌های کوچک شود (۸)، که یکی از محدودیت‌های اساسی کاربرد شاخص SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت فاقد بارندگی می‌باشد.

در حالی که SPI از بارندگی به‌عنوان تنها عامل پایش خشک‌سالی هواشناسی استفاده می‌کند، اما کمبود آب فقط نمی‌تواند براساس ورودی (مانند بارندگی) یا خروجی (مانند مصرف آب) تخمین زده شود. براساس این منطق، شاخص دیگری به‌منظور پایش خشک‌سالی هواشناسی به نام شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI) برای تشخیص و تعیین خشک‌سالی و شدت، تداوم و وسعت آن پیشنهاد شده است. این شاخص از داده‌های هر دو عامل بارندگی و تبخیر و تعرق استفاده می‌کند (۲۲). ساگریس و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی به مقایسه شاخص‌های DI، SPI و RDI در منطقه مدیترانه پرداختند. آن‌ها برای ارزیابی کارایی شاخص RDI همبستگی آن با شاخص SPI را ملاک قرار دادند و بیان داشتند که RDI از مشابهت رفتاری بالایی با SPI برخوردار است (۲۴). مساعدی و قبائی‌سوق (۲۰۱۱) در پژوهش خود با عنوان اصلاح شاخص RDI با انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، عنوان کرده‌اند که در برخی از مناطق ممکن است

لازم است که چشم‌اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های خشک و تر برای منطقه ترسیم گردد (۱۸). از این‌رو پیش‌بینی خشک‌سالی و خصوصیات آن در کاهش خسارات خشک‌سالی و مدیریت منابع آب نقش مهمی را ایفا می‌نماید (۱۱).

خشک‌سالی یک پدیده منطقه‌ای است که با سه مشخصه شدت، مدت و وسعت تعیین می‌شود. مهم‌ترین مشخصه خشک‌سالی شدت آن می‌باشد. اگرچه می‌توان شدت خشک‌سالی را بر اساس برآورد خسارات وارد شده به بخش‌های گوناگون اقتصادی، محیطی و اجتماعی منطقه تحت‌تأثیر، تخمین زد، اما استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی طرفداران بیش‌تری دارد (۱۹). شاخص‌های خشک‌سالی به‌طور گسترده در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند و همه متخصصان مربوطه از آن‌ها به‌منظور پایش خشک‌سالی استفاده می‌نمایند. شاخص‌های مختلفی از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشک‌سالی بهره می‌گیرند که شاخص‌های شدت خشک‌سالی پالمیر (PDSI)<sup>۱</sup>، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۲</sup>، شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI)<sup>۳</sup> و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)<sup>۴</sup> از آن جمله هستند.

مساعدی و همکاران (۲۰۰۸) در استان گلستان با استفاده از شاخص SPI به بررسی خشک‌سالی پرداخته و نتیجه گرفتند ترسالی و خشک‌سالی‌های مهم با فواصل ۱۱ سال به‌وقوع پیوسته است (۱۵). مهم‌ترین مزیت شاخص SPI قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه‌مدت ذخایر آب

- 1- Palmer Drought severity Index
- 2- Standardized Precipitation Index
- 3- Reconnaissance Drought Index
- 4- Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

SPEI نشان دادند که بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته و نتایج دو شاخص خشک‌سالی مورد استفاده مشابه بوده است (۲۷). با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که شاخص‌های مختلف پایش خشک‌سالی هواشناسی در مناطق مختلف همیشه رفتار یکسانی را از خود در پایش وضعیت خشک‌سالی هواشناسی نشان نمی‌دهند، ولی در ایران هنوز در این مورد گزارش‌های اندکی وجود دارد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی نقش تبخیر و تعرق در پایش خشک‌سالی هواشناسی، پایش وضعیت خشک‌سالی هواشناسی براساس سه شاخص SPEI، RDI و SPEI و بررسی تشابه رفتاری این شاخص‌ها (در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه) در شش شهر کشور با وضعیت‌های متفاوت آب و هوایی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**مناطق مورد مطالعه:** مناطق مورد مطالعه شامل شش ایستگاه سینوپتیک رامسر، همدان، شیراز، سبزوار، بندرعباس و یزد می‌باشد که دارای شرایط آب و هوایی مختلف می‌باشند. ایستگاه‌های مذکور بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) به ترتیب دارای اقلیم مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی، بیابان ساحلی و بیابانی می‌باشند (۳). مشخصات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی این شهرها در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ موقعیت شهرهای مورد مطالعه در سطح کشور را نشان می‌دهد.

توزیع لوگ‌نرمال نتواند به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع بر نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق برازش یابد (۱۶).

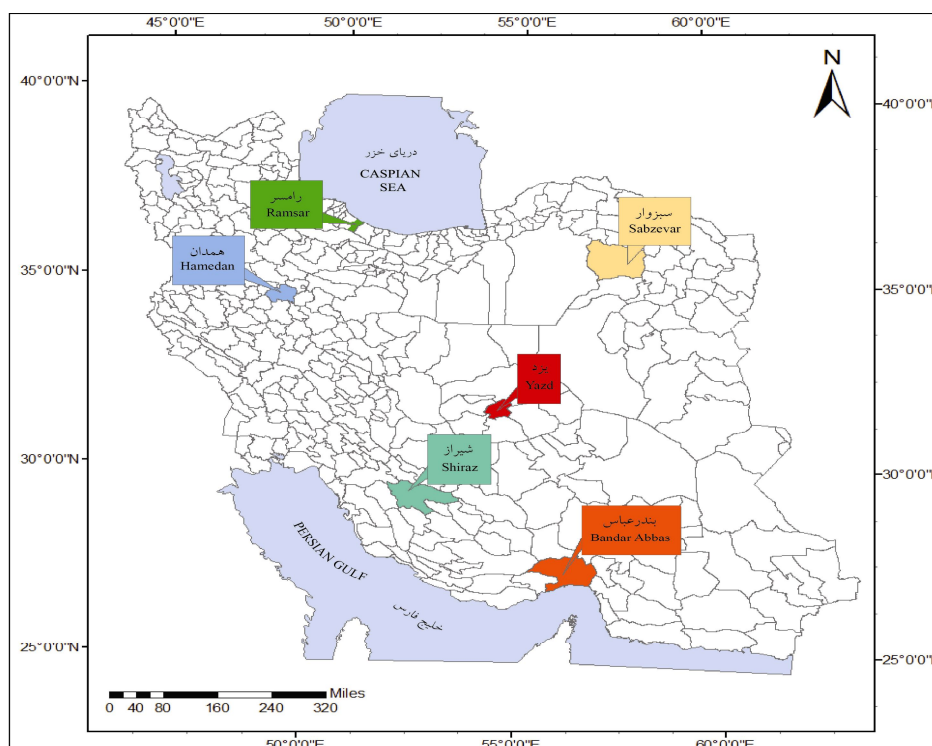
با توجه به محدودیت شاخص‌های SPI و RDI، در سال‌های اخیر شاخص دیگری به نام شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) به‌منظور پایش خشک‌سالی ارائه شده است که در این شاخص علاوه بر بارندگی، تبخیر و تعرق هم در نظر گرفته می‌شود (۲۵). پوتاپ و موزنی (۲۰۱۱) کاربرد شاخص SPEI را به‌عنوان یک شاخص جدید خشک‌سالی در جمهوری چک مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که صرف‌نظر از مقیاس زمانی، این شاخص دارای قابلیت تشخیص شدت خشک‌سالی تحت‌تأثیر افزایش شرایط دمایی در دهه‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ می‌باشد. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند که ارزیابی خشک‌سالی در این دوره‌ها در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد (۱۷). احمدی و همکاران (۲۰۱۳) ضمن پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه)، با استفاده از شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در ایستگاه کیوتراآباد اصفهان، تعیین ارتباط این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و رطوبت خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشک‌سالی داشته است (۲).

ویسنه سرانو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه اثرات فرآیند گرم‌شدن زمین بر خشک‌سالی‌ها و منابع آب در اسپانیا، با استفاده از دو شاخص خشک‌سالی SPI و

جدول ۱- برخی از خصوصیات جغرافیایی و آب و هوایی شهرهای مورد مطالعه.

**Table 1. Some geographical and climatic condition of the studied areas.**

وضعیت اقلیمی Climate	خصوصیات آب و هوایی Weather features		خصوصیات جغرافیایی Geographic features				ایستگاه Station	
	متوسط بارش سالانه Average of annual precipitation (mm)	متوسط دما سالانه Average of annual temperature (°C)	ارتفاع Altitude (m)	طول جغرافیایی Longitude		عرض جغرافیایی Latitude		
				درجه Degree	دقیقه Minute	درجه Degree		دقیقه Minute
مرطوب ساحلی Coastal Wet	1205.83	16.09	-20	50	61	36	93	رامسر Ramsar
کوهستانی Mountain	359.73	10.71	1679.7	48	71	35	23	همدان Hamedan
نیمه کوهستانی Semi Mountain	305	17.8	1484	52	65	29	53	شیراز Shiraz
نیمه بیابانی Semi Desert	186.6	17.58	977.6	57	71	36	23	سبزوار Sabzevar
بیابان ساحلی Coastal Desert	151.87	26.92	9.8	56	22	27	13	بندرعباس Bandar Abbas
بیابانی Desert	57.5	19.29	1237.2	54	28	31	93	یزد Yazd



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در سطح کشور.

**Figure 1. Location of the studied regions in the country.**

در این پژوهش در مقیاس سالانه وضعیت خشک‌سالی در ۱۲ ماه متوالی منتهی به شهریور هر سال مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا از نظر کشاورزی و منابع آب هر سال زراعی و یا سال آبی از مهرماه هر سال شروع شده و تا شهریورماه سال بعد از آن ادامه می‌یابد. از طرف دیگر چون در مقیاس سالانه اثرات نوسانات فصلی بارش و وضعیت رطوبتی تا حدی در یکدیگر ادغام می‌شود، به همین دلیل وضعیت خشک‌سالی (وضعیت رطوبتی) در هر فصل مستقل از فصول دیگر در طول دوره آماری مورد بررسی قرار گرفت که این وضعیت هم حالتی خاص از مقیاس‌های ۳ ماهه می‌باشد. از نظر کشاورزی و منابع آب هم نوسانات فصلی بارش و خشک‌سالی فصلی نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور بررسی وضعیت خشک‌سالی در مقیاس ماهانه در بسیاری از ایستگاه‌ها نمی‌تواند صحیح باشد (به‌خصوص در ماه‌های بسیار کم‌بارش، زیرا در این ماه‌ها عدم دریافت بارش، شرایط طبیعی و نرمال منطقه می‌باشد و خشک‌سالی محسوب نمی‌شود). در عین حال که تابستان در بسیاری از شهرهای کشور یک فصل خشک و تقریباً بدون بارش محسوب می‌شود، اما با توجه به این‌که در بعضی از اقلیم‌های کشور بخش قابل‌توجهی از بارش سالانه در فصل تابستان اتفاق می‌افتد (مثلاً رامسر) و بعضی از محصولات و حتی آبدهی رودخانه‌ها تابع این میزان بارش می‌باشند، بنابراین فصل تابستان (علی‌رغم خشکی نسبی) هم در تحلیل‌های خشک‌سالی در نظر گرفته شده است.

#### شاخص‌های خشک‌سالی مورد بررسی

شاخص بارش استاندارد شده: نمایه بارش استاندارد شده (SPI) توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) جهت

داده‌های مورد استفاده: در این مطالعه از آمار ماهانه پارامترهای هواشناسی بارندگی، دمای میانگین، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد، شش ایستگاه سینوپتیک شامل رامسر، همدان، شیراز، سبزوار، بندرعباس و یزد از سال آبی ۴۰-۱۳۳۹ تا ۸۹-۱۳۸۸ شمسی استفاده گردید.

**تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** ابتدا آزمون‌های اولیه آماری در مورد داده‌ها انجام شد. به این منظور از سه آزمون معروف من-کندل برای تشخیص روند، من-ویتنی برای تشخیص همگنی و گروپز-بک برای یافتن داده پرت استفاده شده است. در این بین داده‌های مفقود شده از جمله دما، ساعات آفتابی و رطوبت از طریق دستورات عمل فائو و همچنین پارامترهای بارندگی و باد به روش میانگین نسبت‌ها بازسازی شدند. ضمن آن‌که از روش فائوپنمن-مانیت جهت محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده گردید. سپس وضعیت خشک‌سالی در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه بر اساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI در هر ایستگاه و بر اساس هر یک از شاخص‌ها تعیین شد. برای محاسبه شاخص RDI از نرم‌افزار Excel و برای محاسبه شاخص‌های SPI و SPEI از نرم‌افزار R استفاده شده است. همچنین با توجه به این‌که در ماه‌های خشک (فصل تابستان) مقادیر عظیمی داده صفر وجود دارد (شامل مقادیر بارندگی)، سعی شده است که در محاسبه شاخص RDI به جای مقادیر صفر، عدد ۰/۰۰۱ گذاشته شود تا این شاخص به درستی محاسبه شود. اما در نرم‌افزار R داده صفر برای محاسبه شاخص‌های SPEI و SPI در مقیاس‌های فصلی و سالانه مشکلی ایجاد نمی‌کند، ضمن این‌که در مقیاس‌های فصلی تعداد داده‌های صفر بسیار ناچیز می‌باشد و در مقیاس سالانه هیچ داده صفری وجود ندارد.

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (1)$$

که در آن،  $P_j$  و  $PET_j$  به ترتیب مقادیر باران و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه  $j$ ام می‌باشد. روش پیشنهاد شده برای محاسبه تبخیر و تعرق در این شاخص، روش تورنت - وایت می‌باشد که با استفاده از داده‌های دمای میانگین به محاسبه مقادیر  $ET_0$  می‌پردازد. عبارت دوم در محاسبه این شاخص، مقادیر  $RDI$  نرمال شده ( $RDI_n$ ) می‌باشند که با استفاده از مقادیر  $a_k$  محاسبه شده برای سال‌های مختلف در گام قبلی، مطابق با رابطه ۲ محاسبه می‌شوند.

$$RDI_{n(k)} = \frac{a_k}{\bar{a}_k} \quad (2)$$

که در آن،  $\bar{a}_k$  میانگین حسابی مقادیر  $a_k$  در سال‌های مورد بررسی می‌باشد. عبارت سوم در محاسبه این شاخص، مقادیر  $RDI$  استاندارد شده ( $RDI_{st}$ ) می‌باشند که با فرض این که مقادیر  $a_k$  از توزیع لوگ‌نرمال پیروی می‌کنند با استفاده از مقادیر  $a_k$  سال‌های مختلف، مطابق با رابطه ۳ محاسبه می‌شوند.

$$RDI_{n(k)} = \frac{Y_k - \bar{Y}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (3)$$

که در آن،  $Y_k$  برابر است با  $\ln a_k$  و  $\bar{Y}$  و  $\hat{\sigma}$  به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر  $Y_k$  می‌باشد. به این ترتیب  $RDI$  در سه مرحله محاسبه می‌شود که شامل مقدار ابتدایی،  $RDI$  نرمالیزه شده و  $RDI$  استاندارد شده می‌باشد.  $RDI$  استاندارد شده را می‌توان مستقیماً با  $SPI$  مقایسه کرد که به طور گسترده در منابع علمی استفاده می‌شود.

تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ارزیابی شدت آن تدوین شد (۱۰).  $SPI$  یک نمایه استاندارد شده است که کمبود بارش را در مقیاس‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌کند (۲۱). نمایه  $SPI$  برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بارندگی بلندمدت برآزش داده شده، سپس تابع جمععی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، به طوری که در طول دوره مورد بررسی میانگین مقادیر بارندگی استاندارد شده ( $SPI$ ) معادل صفر و انحراف از معیار آن‌ها برابر با یک باشد (۷). برای برآزش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد (۱۰). اما در برخی از مناطق ممکن است توزیع گاما نتواند به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع بر داده‌های بارندگی برآزش یابد. در واقع  $SPI$  عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد شده که مقدار احتمال جمععی آن با مقدار احتمال جمععی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به‌دست آمده، مساوی باشد (۱۶).

**شاخص شناسایی خشک‌سالی:** شاخص شناسایی خشک‌سالی  $RDI$  توسط ساکرینس (۲۰۰۴) ارائه گردید (۲۲). چندی بعد اطلاعات جامع و بیش‌تری از این شاخص به همراه نحوه محاسبه آن، توسط ساکرینس و ونگلیس (۲۰۰۵) و ساکرینس و همکاران (۲۰۰۷) انتشار یافت (۲۳، ۲۴). شاخص  $RDI$  از برآزش تابع توزیع لوگ‌نرمال بر مقادیر جمععی نسبت بارش به تبخیر و تعرق ( $ET_0$ ) و استاندارد نمودن آن به‌دست می‌آید (۲۴). این شاخص (به‌طور مثال با در نظر گرفتن مقیاس سالانه) طی مراحل طی به‌شرح زیر محاسبه می‌گردد.

ابتدا با استفاده از مقادیر نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر اولیه  $a_k$  برای هر بازه زمانی دلخواه یا سال‌های مختلف مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

محاسبه این شاخص همانند روش ارائه شده برای محاسبه شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  از طریق برازش یک تابع چگالی احتمال می‌باشد. با توجه به آن که مقادیر  $D_i$  از کران پایین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند توابع احتمال دوپارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنه‌سرانو و همکاران (۲۰۱۰a) با بررسی توابع مختلف سه‌پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه‌پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر  $D_i$  تشخیص دادند (۲۵). فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه ۵ می‌باشد:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (5)$$

که در آن، پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر  $D_i$  در دامنه  $-\infty < D < \infty$  می‌باشند. فرم تابع احتمال تجمعی لوگ-لوجستیک سه‌پارامتری نیز مطابق رابطه ۶ است:

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (6)$$

در گام نهایی مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر  $D_i$  به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌شوند که برابر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند.

تابع کلاسیک آبراموویتز و استیگان (۱۹۶۵) با استفاده از مقادیر تابع  $F(x)$  تخمینی برای مقدار شاخص SPEI می‌باشد (۱).

$$SEPI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (7)$$

شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده: شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) اولین بار توسط ویسنه‌سرانو (۲۰۱۰a) به عنوان یک شاخص خشک‌سالی، که به‌ویژه برای مطالعات اثر گرمایش جهانی بر شدت خشک‌سالی متناسب است، مطرح شد (۲۵). همانند SPEI، PDSI نیز اثر تبخیر و تعرق مرجع را بر شدت خشک‌سالی در نظر می‌گیرد، ضمن این‌که ماهیت چندمتغیره (مولتی‌اسکالر) شاخص SPEI (که شامل متغیرهای بارندگی و تبخیر و تعرق می‌باشد) به شناسایی انواع خشک‌سالی‌ها و اثرات آن بر سیستم‌های مختلف، کمک می‌کند (۲۸، ۲۹). یکی دیگر از مزیت‌های شاخص SPEI نسبت به دیگر شاخص‌های پایش خشک‌سالی نظیر SPI (که کاربرد زیادی نیز دارد) این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی دارا است (۳۱). ویسنه‌سرانو و همکاران (۲۰۱۰a، ۲۰۱۰b، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲) و بیجاریا و همکاران (۲۰۱۴) توضیحات کاملی از منطق حاکم بر SPEI و نحوه محاسبات آن و مقایسه با دیگر شاخص‌های مرسوم خشک‌سالی از جمله PDSI و SPI ارائه نموده‌اند (۵، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸). روش محاسباتی SPEI شبیه SPI است. به‌علاوه به‌نظر می‌رسد که SPEI به‌علت در نظر گرفتن اختلاف بین بارش و تبخیر و تعرق مرجع  $(P-ET_0)$ ، نسبت به این‌که فقط بارش را در نظر بگیرد، یک شاخص واقعی‌تری از شدت خشک‌سالی آرایه می‌نماید. برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر و تعرق در هر ماه برآورد شود سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی  $(P)$  و مقدار PET برای ماه  $i$  از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (4)$$



در رابطه ۷ مقدار  $W$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (8)$$

که در آن،  $P$  مقدار احتمال تجاوز از مقدار  $D$  تعیین شده می‌باشد،  $P = 1 - F(x)$ . اگر مقدار  $P$  بزرگ‌تر از  $0.5$  باشد، آن‌گاه مقدار  $P$  با  $1 - P$  جایگزین و علامت نتایج SPEI عوض می‌شود. مقدار ضرایب ثابت در رابطه ۸ برابرند با  $C_0 = 2/515517$ ،  $C_1 = 0.802853$ ،  $C_2 = 0.10328$ ،  $C_3 = 1/432788$  و  $d_2 = 0.189269$  و  $d_3 = 0.01308$ .

در توسعه شاخص‌های RDI و SPEI از مفاهیم شاخص SPI استفاده گردیده است. بنابراین مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشک‌سالی در آن‌ها مشابه با طبقه‌های ارایه شده توسط ادوارد و مک‌کی (۱۹۹۷) برای شاخص SPI می‌باشد، که در جدول ۲ ارایه شده‌اند (۷). طبق این روش دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مداوم منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد.

جدول ۲- طبقات مختلف وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI.

Table 2. Different categories of drought conditions according to SPI, RDI and SPEI indices.

مقدار شاخص Index value	نماد Symbol	طبقات خشک‌سالی Drought classes
2 or more	EW	ترسالی بسیار شدید Extremely Wet
1.5 to 1.99	VW	ترسالی شدید Severely Wet
1 to 1.49	MW	ترسالی متوسط Moderately Wet
0.99 to -0.99	N	نرمال Normal
-1 to -1.49	MD	خشک‌سالی متوسط Moderately Drought
-1.5 to -1.99	SD	خشک‌سالی شدید Severely Drought
-2 or less	ED	خشک‌سالی بسیار شدید Extremely Droughty

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از برآزش وضعیت‌های رطوبتی سه شاخص SPI، RDI و SPEI در بازه‌های زمانی سالانه و فصلی در شش شهر رامسر، همدان، شیراز، سبزوار، بندرعباس و یزد در جدول‌های ۳ و ۴ ارایه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جداول، مقایسه شاخص‌های SPI و RDI با یکدیگر نشان

می‌دهد که در مقیاس زمانی سالانه در رامسر، شرایط نرمال و وضعیت‌های خشک‌سالی متوسط و شدید در هر دو شاخص یکسان برآورد شده است. بر اساس شاخص SPI وضعیت‌های خشک‌سالی بسیار شدید و ترسالی شدید در مقایسه با شاخص RDI به تعداد دفعات کم‌تری به‌وقوع پیوسته است، در حالی که SPI،

قرار گرفته‌اند، تفاوت جدی بین شاخص SPI با RDI و SPEI (شاخص‌هایی که تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرند)، وجود ندارد. بیش‌ترین انطباق بین شاخص‌های SPI و SPEI در شهر رامسر وجود دارد. علت این امر را می‌توان به پایین بودن نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی در این شهر نسبت داد. به‌عبارت دیگر در اقلیم ساحلی رامسر که بارندگی بیش‌تر از تبخیر و تعرق است، دخالت و یا عدم دخالت تبخیر و تعرق در خشک‌سالی نتیجه یکسانی را به‌بار می‌آورد. اما می‌توان اشاره کرد که در مناطق خشک مانند سبزوار، بندرعباس و یزد که به‌ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌بیابانی، بیابان ساحلی و بیابانی واقع شده‌اند، تفاوت بین نتایج شاخص‌های خشک‌سالی جدی می‌باشد، که در شکل ۲ این تفاوت‌ها را می‌توان مشاهده نمود.

با توجه به جدول ۳ و شکل ۲، می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات وضعیت رطوبتی (ترسالی و خشک‌سالی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس هر یک از شاخص‌های مورد بررسی بسیار زیاد می‌باشد. اما شدت وقوع خشک‌سالی و تعداد دفعات تکرار آن بر اساس شاخص‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. بر اساس شاخص SPEI، خشک‌سالی بسیار شدید (ED) در مقیاس سالانه فقط یک مرتبه در طول ۵۰ سال (۲ درصد) در ایستگاه‌های همدان و بندرعباس اتفاق افتاده است و سایر ایستگاه‌ها چنین شدتی از خشک‌سالی را تجربه ننموده‌اند، در حالی‌که بر اساس شاخص‌های دیگر همه ایستگاه‌ها به‌جز سبزوار خشک‌سالی بسیار شدید را حداقل یک مرتبه در طول ۵۰ سال گذشته تجربه نموده‌اند (جدول ۳). در پایش خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های مختلف، هرچه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی با یک‌دیگر کم‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که رفتار و عملکرد شاخص‌ها تشابه بیش‌تری با یک‌دیگر دارد و برعکس.

ترسالی متوسط و ترسالی بسیار شدید را تعداد دفعات بیش‌تری برآورد کرده است. در شیراز، بر اساس شاخص SPI شرایط نرمال و وضعیت خشک‌سالی متوسط در مقایسه با شاخص RDI به تعداد دفعات کم‌تری به‌وقوع پیوسته است، در حالی‌که بر اساس این شاخص خشک‌سالی شدید و بسیار شدید به تعداد دفعات بیش‌تری در مقایسه با شاخص RDI اتفاق افتاده است. از نظر شرایط ترسالی، وضعیت‌های ترسالی شدید و بسیار شدید را شاخص RDI نسبت به شاخص SPI تعداد دفعات بیش‌تری گزارش کرده است، در حالی‌که شاخص SPI وضعیت ترسالی متوسط را بیش‌تر برآورد کرده است. در یزد، شاخص SPI شرایط نرمال را با تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به RDI برآورد کرده است. از نظر خشک‌سالی، شاخص RDI خشک‌سالی متوسط و شدید را تعداد دفعات بیش‌تری نسبت به SPI برآورد کرده است، در حالی‌که خشک‌سالی بسیار شدید را هر دو شاخص یکسان و مشابه برآورد کرده است. از نظر ترسالی، وضعیت ترسالی متوسط را شاخص SPI نسبت به RDI تعداد دفعات کم‌تری برآورد کرده است، در حالی‌که ترسالی شدید را تعداد دفعات بیش‌تری گزارش کرده است و ترسالی بسیار شدید را هر دو شاخص مشابه برآورد کرده است (جدول‌های ۳ و ۴). به طریق مشابه می‌توان به مقایسه مقادیر اختلاف درصد وقوع هر یک از وضعیت‌های رطوبتی با یک‌دیگر بر اساس شاخص‌های مختلف در بازه‌های زمانی سالانه و فصلی و برای هر شهر پرداخت که نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است.

شکل ۲ وضعیت خشک‌سالی در ایستگاه‌های مورد نظر و بر اساس سه شاخص خشک‌سالی SPI، RDI و SPEI در مقیاس سالانه را نشان می‌دهد. در شهرهای رامسر، همدان و شیراز که به‌ترتیب در اقلیم‌های مرطوب ساحلی، کوهستانی و نیمه‌کوهستانی

جدول ۵ سال‌های مربوط به شدیدترین خشک‌سالی و ترسالی به وقوع پیوسته در طول دوره آماری مورد نظر را براساس شاخص‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود براساس دو شاخص RDI و SPEI شدیدترین خشک‌سالی در نیمی از ایستگاه‌ها در نیمه اول دهه ۴۰ شمسی (سال‌های ۱۳۴۰ تا ۴۵) مشاهده شده است اما براساس شاخص SPI شدیدترین خشک‌سالی‌ها در سه شهر رامسر، سبزوار و یزد در سال ۱۳۷۸-۷۹ به وقوع پیوسته است در حالی‌که در شهرهای شیراز و بندرعباس شدیدترین خشک‌سالی‌ها در نیمه اول دهه ۴۰ (سال ۴۵-۱۳۴۴ در شیراز و سال ۴۱-۱۳۴۰ در بندرعباس) رخ داده است. در شناسایی شدیدترین خشک‌سالی‌ها، شاخص‌های RDI، SPI و SPEI در هر دو شهر رامسر و همدان کاملاً مشابه می‌باشد. در حالی‌که در یزد با اقلیم بیابانی و سبزوار با اقلیم نیمه‌بیابانی رفتار این سه شاخص در شناسایی شدیدترین خشک‌سالی‌ها یا شدیدترین ترسالی‌ها متفاوت می‌باشد. در شیراز و بندرعباس سال وقوع شدیدترین خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های RDI و SPI یکسان می‌باشد، در حالی‌که سال وقوع شدیدترین ترسالی بر اساس شاخص‌های RDI و SPEI مشابه می‌باشد (جدول ۵).

در جدول ۶ حاصل جمع مقادیر قدرمطلق اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی، با یکدیگر بر اساس شاخص‌های مختلف ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در این جدول ملاحظه می‌شود که در مقیاس زمانی سالانه اختلاف بین شاخص‌ها، در شهر رامسر نسبتاً کم می‌باشد. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که در این شهر وارد نمودن پدیده تبخیر و تعرق در پایش خشک‌سالی نمی‌تواند تغییر چندانی در نتایج پایش خشک‌سالی و شرایط وقوع آن ایجاد نماید. در مقیاس سالانه، در شهرهای پرباران رفتار دو شاخص SPI و SPEI، در پایش خشک‌سالی تا حدودی با

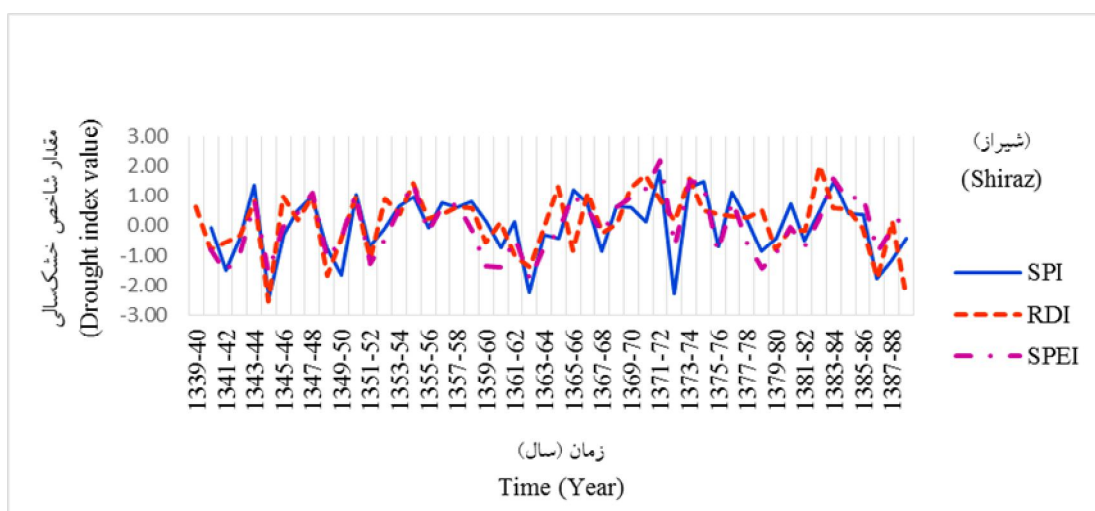
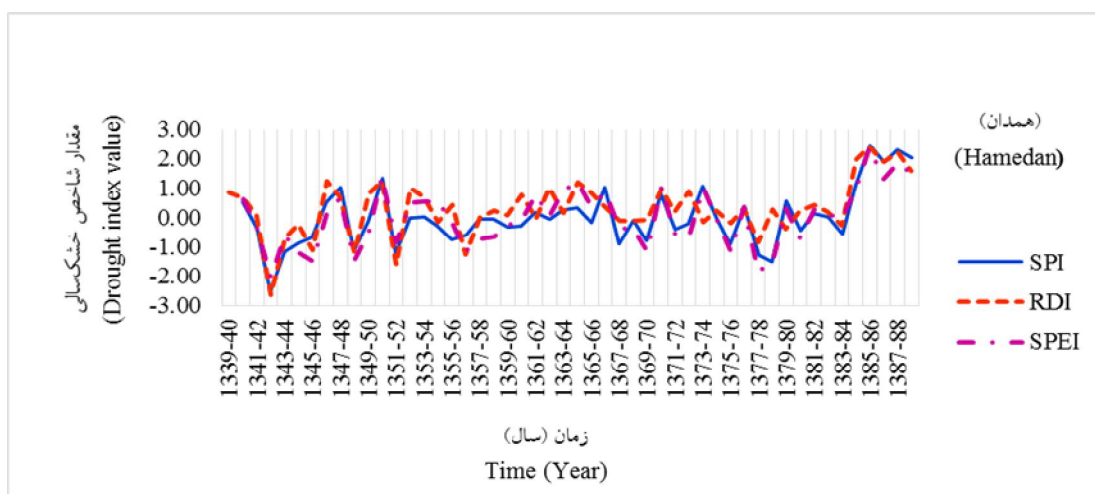
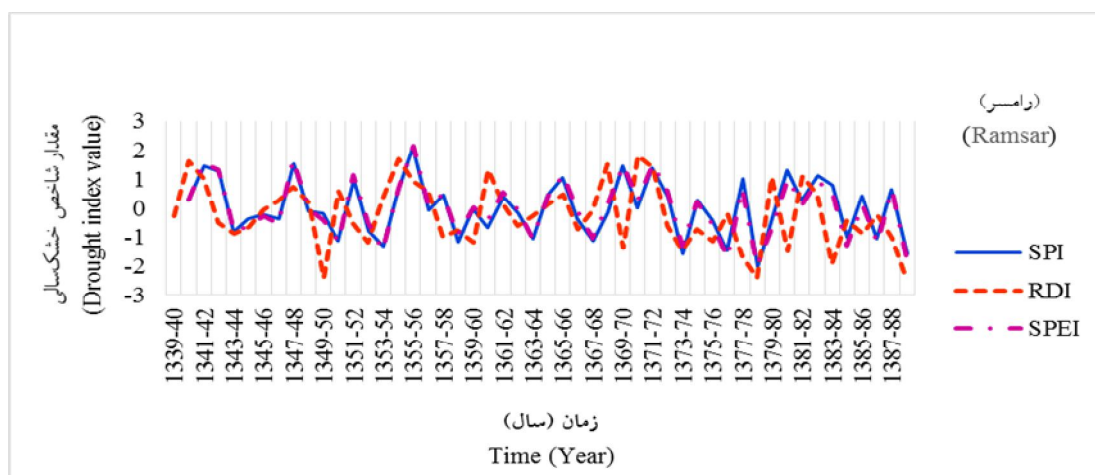
یکدیگر مشابه می‌باشد، در حالی‌که در اقلیم‌های کوهستانی و نیمه‌کوهستانی و هم‌چنین شهرهای پرباران دو شاخص SPI و RDI از تشابه رفتاری بیش‌تری برخوردارند. ضمن آن‌که در اقلیم‌های نیمه‌بیابانی، بیابانی ساحلی و بیابانی (که بارندگی کم می‌باشد و مقدار تبخیر و تعرق عامل مهمی در وضعیت رطوبتی منطقه است) رفتار شاخص‌ها در پایش خشک‌سالی سالانه اختلاف بیش‌تری را با یکدیگر نشان می‌دهند. بیش‌ترین اختلاف در سبزوار و بین شاخص‌های SPI و SPEI به چشم می‌خورد. بنابراین نمی‌توان در این شهرها به پایش خشک‌سالی تنها بر اساس مقدار بارندگی (شاخص SPI) پرداخت و بهتر است از شاخص‌هایی که علاوه بر بارندگی، تبخیر و تعرق را هم در نظر می‌گیرند، استفاده نمود. با توجه به جدول ۶ در مقیاس زمانی فصلی بیش‌ترین اختلاف، از نظر عملکرد، بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان و در شهر یزد می‌باشد. علت این مسأله را می‌توان به اقلیم بیابانی یزد نسبت داد. به عبارت دیگر در یزد با اقلیم بیابانی، عدم وجود بارش در تابستان وضعیت نرمال در منطقه را نشان می‌دهد که در نتیجه پایش خشک‌سالی فصلی در این شهر در تابستان بر اساس شاخص SPI بی‌معنی خواهد بود. بنابراین خشک‌سالی تابستانه در این فصل در شهر یزد زمانی اتفاق می‌افتد که تبخیر و تعرق افزایش یابد. همین امر سبب شده است که نتایج شاخص‌های پایش خشک‌سالی تابستانه در این شهر بیش‌ترین اختلاف را با یکدیگر داشته باشند (جدول ۶). به عبارت دیگر در این فصل افزایش تبخیر و تعرق باعث وقوع خشک‌سالی می‌شود نه کاهش بارندگی تابستانه (زیرا بارندگی تابستانه تقریباً معادل صفر است که از آن کم‌تر نمی‌تواند بشود). در مجموع کم‌ترین اختلاف بین شاخص‌های RDI و SPI در فصل بهار و در شهر همدان و بیش‌ترین اختلاف بین شاخص‌های RDI و SPI در فصل تابستان و در شهر یزد وجود دارد.

جدول ۳- درصد وقوع هر یک از شرایط رطوبتی در مناطق مختلف و براساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI  
 Table 3. Drought conditions occurrence (%) in different regions based on SPI, RDI and SPEI indices.

بازه زمانی Time interval	شهر (City)	وضعیت خشکسالی Drought (Conditions)	سالانه (Annual)															
			پاییز (Autumn)				تابستان (Summer)				بهار (Spring)							
سالانه (Annual)	رامسر (Ramsar)	ED	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
	همدان (Hamedan)	SD	6	10	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8	4	4
	شیراز (Shiraz)	MD	2	8	16	10	8	4	10	0	0	0	8	8	6	4	6	8
	سبزوار (Sabzevar)	N	78	62	56	70	68	88	64	88	88	86	68	70	66	68	68	68
	بندرعباس (Bandar Abbas)	MW	6	14	18	18	4	6	10	10	4	4	14	8	10	4	14	16
	یزد (Yazd)	VW	4	4	4	4	8	8	10	10	8	2	6	6	6	4	2	6
	رامسر (Ramsar)	EW	4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	2
	همدان (Hamedan)	ED	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	6	6	2	2	0	4
	شیراز (Shiraz)	SD	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	6	8	0	4	2
	سبزوار (Sabzevar)	MD	0	0	6	2	6	0	10	0	30	16	8	10	6	8	4	6
	بندرعباس (Bandar Abbas)	N	76	98	70	82	68	80	74	88	72	46	68	70	66	64	90	62
	یزد (Yazd)	MW	8	0	20	6	4	14	6	0	16	12	12	8	4	14	16	4
رامسر (Ramsar)	VW	10	0	2	0	0	6	8	2	0	10	4	0	2	4	0	10	
همدان (Hamedan)	EW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
شیراز (Shiraz)	ED	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	
سبزوار (Sabzevar)	SD	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	10	6	6	
بندرعباس (Bandar Abbas)	MD	14	8	10	16	8	18	14	14	6	18	16	16	10	12	10	10	
یزد (Yazd)	N	60	64	60	60	70	58	62	70	60	60	60	60	64	56	62	64	
رامسر (Ramsar)	MW	14	10	20	12	8	14	12	8	14	14	14	14	8	20	14	10	
همدان (Hamedan)	VW	8	10	2	8	6	4	8	6	4	6	4	4	4	0	4	6	
شیراز (Shiraz)	EW	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	10	6	6	
سبزوار (Sabzevar)	ED	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
بندرعباس (Bandar Abbas)	SD	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	6	6	6	
یزد (Yazd)	MD	14	8	10	16	8	18	14	14	6	18	16	16	10	12	10	10	
رامسر (Ramsar)	N	60	64	60	60	70	58	62	70	60	60	60	60	64	56	62	64	
همدان (Hamedan)	MW	14	10	20	12	8	14	12	8	14	14	14	14	8	20	14	10	
شیراز (Shiraz)	VW	8	10	2	8	6	4	8	6	4	6	4	4	4	0	4	6	
سبزوار (Sabzevar)	EW	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	10	6	6	
بندرعباس (Bandar Abbas)	ED	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
یزد (Yazd)	SD	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	6	6	6	
رامسر (Ramsar)	MD	14	8	10	16	8	18	14	14	6	18	16	16	10	12	10	10	
همدان (Hamedan)	N	60	64	60	60	70	58	62	70	60	60	60	60	64	56	62	64	
شیراز (Shiraz)	MW	14	10	20	12	8	14	12	8	14	14	14	14	8	20	14	10	
سبزوار (Sabzevar)	VW	8	10	2	8	6	4	8	6	4	6	4	4	4	0	4	6	
بندرعباس (Bandar Abbas)	EW	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	10	6	6	
یزد (Yazd)	ED	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
رامسر (Ramsar)	SD	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	6	6	6	
همدان (Hamedan)	MD	14	8	10	16	8	18	14	14	6	18	16	16	10	12	10	10	
شیراز (Shiraz)	N	60	64	60	60	70	58	62	70	60	60	60	60	64	56	62	64	
سبزوار (Sabzevar)	MW	14	10	20	12	8	14	12	8	14	14	14	14	8	20	14	10	
بندرعباس (Bandar Abbas)	VW	8	10	2	8	6	4	8	6	4	6	4	4	4	0	4	6	
یزد (Yazd)	EW	4	8	2	2	4	6	4	4	4	4	4	4	2	10	6	6	

جدول ۴- مقایسه مقادیر اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبی با یک‌دیگر بر اساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI، در مناطق مورد مطالعه.  
 Table 4. Comparison of difference Drought conditions occurrence (%) based on SPI, RDI and SPEI indices, in the studied regions.

شهر (City)	وضعیت خشک‌سالی (Drought) (Conditions)	سالانه (Annual)											
		پاییز (Autumn)				تابستان (Summer)				بهار (Spring)			
		Time interval											
رامسر (Ramsar)	ED	-2 0 0 0				0 0 0 0				-2 0 0 0			
		-2 0 0 0				0 0 0 0				-2 0 0 0			
همدان (Hamedan)	SD	2 10 4 2				0 0 0 0				0 0 0 0			
		2 10 4 2				0 0 0 0				0 0 0 0			
شیراز (Shiraz)	MD	2 8 10 8				0 -30 0 -2				2 2 2 2			
		2 8 10 8				0 -30 0 -2				2 2 2 2			
سبزوار (Sabzevar)	N	2 -36 -14 -2				42 14 40 0				-2 2 2 2			
		2 -36 -14 -2				42 14 40 0				-2 2 2 2			
بندرعباس (Bandar Abbas)	MW	-2 14 -2 12				-10 -10 -24 2				0 0 0 0			
		-2 14 -2 12				-10 -10 -24 2				0 0 0 0			
یزد (Yazd)	VW	-6 4 2 4				0 -4 -2 2				0 0 0 0			
		-6 4 2 4				0 -4 -2 2				0 0 0 0			
رامسر (Ramsar)	EW	4 0 0 0				0 0 0 0				-4 0 0 0			
		4 0 0 0				0 0 0 0				-4 0 0 0			
همدان (Hamedan)	ED	0 2 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			
		0 2 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			
شیراز (Shiraz)	SD	2 2 2 2				-6 -6 -4 -4				2 2 2 2			
		2 2 2 2				-6 -6 -4 -4				2 2 2 2			
سبزوار (Sabzevar)	MD	-12 0 6 0				-18 -12 -8 -8				-2 6 6 -2			
		-12 0 6 0				-18 -12 -8 -8				-2 6 6 -2			
بندرعباس (Bandar Abbas)	N	18 -2 -8 -4				30 26 16 4				0 2 4 0			
		18 -2 -8 -4				30 26 16 4				0 2 4 0			
یزد (Yazd)	MW	-8 4 -2 6				-12 -12 -4 2				0 4 0 4			
		-8 4 -2 6				-12 -12 -4 2				0 4 0 4			
رامسر (Ramsar)	VW	-4 -6 2 -4				6 4 2 -4				-4 4 2 -2			
		-4 -6 2 -4				6 4 2 -4				-4 4 2 -2			
همدان (Hamedan)	EW	4 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			
		4 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			
شیراز (Shiraz)	ED	-2 -2 0 -2				0 0 0 0				-2 4 -2 0			
		-2 -2 0 -2				0 0 0 0				-2 4 -2 0			
سبزوار (Sabzevar)	SD	0 8 2 0				6 6 4 2				0 0 4 2			
		0 8 2 0				6 6 4 2				0 0 4 2			
بندرعباس (Bandar Abbas)	MD	14 8 4 10				-12 12 -8 0				6 4 6 4			
		14 8 4 10				-12 12 -8 0				6 4 6 4			
یزد (Yazd)	N	-16 -36 -6 -22				-12 -12 24 -4				2 -26 -6 -10			
		-16 -36 -6 -22				-12 -12 24 -4				2 -26 -6 -10			
رامسر (Ramsar)	MW	6 10 0 6				2 2 -20 0				0 2 2 6			
		6 10 0 6				2 2 -20 0				0 2 2 6			
همدان (Hamedan)	VW	-2 10 0 8				4 -4 -4 -4				2 2 14 -10			
		-2 10 0 8				4 -4 -4 -4				2 2 14 -10			
شیراز (Shiraz)	EW	0 0 0 0				0 0 4 4				0 0 0 0			
		0 0 0 0				0 0 4 4				0 0 0 0			





شکل ۲- وضعیت رطوبتی در ایستگاه‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌های SPI، RDI و SPEI.

Figure 2. Drought Conditions in the studied stations based on SPI, RDI and SPEI indices.

جدول ۵- سال‌های وقوع شدیدترین خشک‌سالی و یا ترسالی در طول دوره آماری مورد نظر براساس شاخص‌های مورد بررسی.

Table 5. The most severe drought and wet years during the studied period based on examined indices.

شاخص Index						شهر City
SPEI		RDI		SPI		
ترسالی	خشک‌سالی	ترسالی	خشک‌سالی	ترسالی	خشک‌سالی	
بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	
Extremely Wet	Extremely Drought	Extremely Wet	Extremely Drought	Extremely Wet	Extremely Drought	
1355- 56	1378- 79	1370- 71	1378- 79	1355- 56	1378- 79	رامسر Ramsar
1385- 86	1342- 43	1385- 86	1342- 43	1385- 86	1342- 43	همدان Hamedan
1371- 72	1358- 59	1382- 83	1344- 45	1371- 72	1344- 45	شیراز Shiraz
1365- 66	1340- 41	1385- 86	1344- 45	1385- 86	1378- 79	سبزوار Sabzevar
1371- 72	1343- 44	1370- 71	1340- 41	1371- 72	1340- 41	بندرعباس Bandar Abbas
1373- 74	1348- 49	1364- 65	1388- 89	1356- 57	1378- 79	یزد Yazd

شاخص‌های RDI و SPEI که تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرد، وجود ندارد، اما در مناطق خشک این تفاوت‌ها جدی است و نمی‌توان به‌منظور پایش خشک‌سالی تنها از شاخص SPI استفاده نمود. این بخش از نتایج، با نتایج انصاری و همکاران (۲۰۱۰) که پایش خشک‌سالی با شاخص SPI در مناطق خشک و نیمه‌خشک (که میانگین بارندگی آن‌ها پایین و تبخیر و تعرق بالاست، مانند کشور ایران) را نامناسب می‌دانند، مطابقت دارد (۴). در فصل‌های پاییز و زمستان در هر شش ایستگاه مورد نظر، کم‌ترین اختلاف بین شاخص‌های SPI با SPEI و یا SPI و RDI اتفاق افتاده است، پس در این فصل‌ها که تبخیر و تعرق کم‌تر می‌باشد، این پدیده نقش کم‌تری در شرایط رطوبتی (خشک‌سالی و یا ترسالی) دارد.

در این پژوهش، با مقایسه وضعیت‌های رطوبتی بر اساس سه شاخص SPI، RDI و SPEI در شهرهای مورد بررسی، می‌توان به این نتیجه رسید که در بیش‌تر موارد عملکرد و رفتار شاخص‌های ذکر شده در مناطق مختلف و بازه‌های زمانی متفاوت، مشابه و یکسان نبوده است. از طرف دیگر می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات وضعیت رطوبتی (ترسالی و خشک‌سالی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس هر یک از شاخص‌های مورد بررسی بسیار زیاد می‌باشد. اما شدت وقوع خشک‌سالی و تعداد دفعات تکرار آن بر اساس شاخص‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، در مناطق مرطوب تفاوت جدی بین شاخص SPI و



جدول ۶- حاصل جمع مقادیر قدرمطلق اختلاف درصد هر یک از وضعیت‌های رطوبتی بر اساس شاخص‌های مختلف.

**Table 6. The sum of absolute difference of drought conditions (%) based on different indices.**

متوسط اختلاف بین شاخص‌ها (Mean of difference) (between indices)	SPEI - RDI	SPI - SPEI	SPEI - RDI	شاخص (Index)	بازه زمانی (Time interval)
				شهر (City)	
19	18	20	18	رامسر (Ramsar)	سالانه (Annual)
16	18	20	10	همدان (Hamedan)	
24	26	24	22	شیراز (Shiraz)	
47	32	64	44	سبزوار (Sabzevar)	
39	50	20	46	بندرعباس (Bandar Abbas)	
16	18	12	18	یزد (Yazd)	
39	48	24	44	رامسر (Ramsar)	بهار (Spring)
15	20	16	8	همدان (Hamedan)	
33	32	28	40	شیراز (Shiraz)	
25	28	32	16	سبزوار (Sabzevar)	
53	36	64	60	بندرعباس (Bandar Abbas)	
27	36	28	16	یزد (Yazd)	
12	12	16	8	رامسر (Ramsar)	تابستان (Summer)
61	64	36	84	همدان (Hamedan)	
43	40	60	28	شیراز (Shiraz)	
65	40	72	84	سبزوار (Sabzevar)	
32	32	36	28	بندرعباس (Bandar Abbas)	
148	80	172	192	یزد (Yazd)	
21	32	10	22	رامسر (Ramsar)	پاییز (Autumn)
23	24	14	30	همدان (Hamedan)	
39	48	26	42	شیراز (Shiraz)	
25	28	30	18	سبزوار (Sabzevar)	
36	44	18	46	بندرعباس (Bandar Abbas)	
19	24	14	18	یزد (Yazd)	
16	16	16	16	رامسر (Ramsar)	زمستان (Winter)
31	36	16	40	همدان (Hamedan)	
40	48	16	56	شیراز (Shiraz)	
21	12	20	32	سبزوار (Sabzevar)	
53	72	16	72	بندرعباس (Bandar Abbas)	
36	40	48	20	یزد (Yazd)	

### نتیجه‌گیری کلی

در شهرهای رامسر، همدان و شیراز که به ترتیب در اقلیم‌های مرطوب ساحلی، کوهستانی و نیمه‌کوهستانی قرار گرفته‌اند، تفاوت کم‌تری بین شاخص SPI و شاخص‌هایی که تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرند (RDI و SPEI)، در مقایسه با مناطق خشک (سبزوار، بندرعباس و یزد) وجود دارد. در مناطق ذکر شده متوسط بارندگی سالانه بیش‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر و نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق حدود ۰/۲ و یا بیش‌تر است. اما می‌توان اشاره کرد که در مناطق خشک مانند سبزوار، بندرعباس و یزد که به ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌بیابانی، بیابان ساحلی و بیابانی واقع شده‌اند، تفاوت بین نتایج این شاخص‌ها جدی می‌باشد. در این مناطق متوسط بارندگی سالانه کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر و نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق حدود ۰/۱ و یا کم‌تر است.

بنابراین، در پایش خشک‌سالی در مناطق خشک استفاده از شاخص‌هایی که تنها مبتنی بر بارش می‌باشند، نمی‌تواند چندان مناسب باشد و باید از شاخص‌های چندعاملی استفاده نمود. ولی در مناطق مرطوب که بارندگی نسبتاً زیاد و تبخیر و تعرق (در مقایسه با مناطق خشک) زیاد نمی‌باشد، استفاده از شاخص SPI با توجه به سادگی کاربرد می‌تواند توجیه مناسبی داشته باشد.

با توجه به مشابهت رفتاری شاخص‌های SPI و SPEI در فصول پاییز و زمستان و سادگی محاسبات SPI در مقایسه با SPEI و RDI (به دلیل عدم نیاز به برآورد تبخیر و تعرق)، می‌توان از شاخص SPI به منظور پایش خشک‌سالی در فصول پاییز و زمستان استفاده نمود. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج احمدی و همکاران (۲۰۱۳) که شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) را دارای همبستگی معنی‌دار می‌دانند، مشابهت دارد (۲). بیش‌ترین اختلاف بین شاخص‌های SPI و RDI در فصل تابستان و در یزد وجود دارد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت پدیده تبخیر و تعرق در فصول گرم و خشک به خصوص در مناطق خشک و بیابانی می‌باشد. بنابراین، در فصل تابستان پایش خشک‌سالی تنها بر اساس شاخص مبتنی بر بارندگی چندان مناسب نمی‌باشد. این بخش از نتایج با نتایج محسنی‌ساروی و همکاران (۲۰۰۴) که عنوان کرده‌اند شاخص SPI در ماه‌های با بارش صفر ناکارآمد است، مشابهت دارد (۱۳). پیشنهاد می‌شود به منظور پایش خشک‌سالی در مناطق خشک که بارندگی عموماً ناچیز بوده و حتی یک بارش می‌تواند معادل ده‌ها درصد کل بارش سالانه باشد و از طرف دیگر تبخیر و تعرق چندین برابر بارش سالانه است، از شاخص‌هایی که مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق هستند، استفاده شود.

### منابع

1. Abramowitz, M., and Stegun, I.A. 1965. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.
2. Ahmadi, M., Nosrati, K., and Selki, H. 2013. Drought and Its Relationship with Soil Moisture. J. Inter. Iran. Geograph. Assoc. 38: 77-91. (In Persian)
3. Alijani, B., Ghohroudi, M., and Arabi, N. 2008. Developing a climate model for Iran using GIS. Theoretical and Applied Climatology. 92: 103-112.
4. Ansari, H., Davary, K., and Sanaiejad, H. 2010. Drought Monitoring with New Precipitation and Evapotranspiration Index Based on Fuzzy Logic. J. Water Soil. 24: 1. 38-52. (In Persian)

5. Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., and Latorrea, B. 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *Int. J. Climatol.* 34: 3001-3023.
6. Campana, P., Knox, J., Grundstein, A., and Dowd, J. 2012. The 2007-2009 drought in Athens, Georgia, United States: A climatological analysis and an assessment of future water availability. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 48: 2. 379-390.
7. 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, 174p.
8. Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *Inter. J. Climatol.* 22: 1571-1592.
9. Logan, K.E., Brunsell, N.A., Jones, A.R., and Feddema, J.J. 2010. Assessing station temporal variability of drought in the U.S. central plains. *J. Arid Environ.* 74: 247-255.
10. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scale. *Proceeding, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology.* 17-22 January, Pp: 379-384.
11. Mishra, A.K., and Desai, V.R. 2006. Drought Forecasting Using Feed- Forward Recursive Neural Network. *Ecological Modeling.* 98: 127-138.
12. Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* 391: 202-216.
13. Mohseni Saravi, M., Safdari, A.A., Saghafian, B., and Mahdavi, M. 2005. Analysis of severity, frequency and duration of droughts in Karoon watershed using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Iran. J. Natur. Resour.* 57: 4. 607-620. (In Persian)
14. Mosaedi, A., and Eivazi, M. 2008. Identification and Prediction of Some Drought Characteristics in Golestan Province, Using Markov Chain. *Agricultural Research.* 8: 1. 89-99. (In Persian)
15. Mosaedi, A., KhaliliZade, M., and Mohammadi, A. 2008. Drought Monitoring in Golestan Province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 2. 176-182. (In Persian)
16. Mosaedi, A., and Ghabaei Sough, M. 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) Based on Relevant Probability Distribution Function. *J. Water Soil.* 25: 5. 1206-1216. (In Persian)
17. Potop, V., and Mozny, M. 2011. The application a new drought index- Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur an antropogenních prostredí*, 24p.
18. Razi, T., Daneshkar, A., Akhtari, R., and Saghafian, B. 2007. Investigation of Meteorological Droughts in the Sistan and Balouchestan Province, Using the Standardized Precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran- Water Resources Research.* 3: 1. 25-35. (In Persian)
19. Rossi, G. 2000. Drought mitigation measures: a comprehensive framework, P 233-246. In: J. Voght and F. Somma (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe.* Kluwer Academic publisher, Dordrecht.
20. Sharma, B.R., and Smakhtin, V.U. 2004. Potential of water harvestings a strategic too for drought mitigation, *International Water Management Institute*, 24p.
21. Steinman, A. 2003. Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. *J. Amer. Water Resour. Assoc. (JAWRA).* 39: 5. 1217-1233.
22. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management.* 18: 1-12.
23. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water.* 910: 1-9.
24. Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management.* 21: 821-833.
25. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J.I. 2010a. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23: 1696-1718.

26. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., Angulo, M., and El Kenawy, A. 2010b. A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscale drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *J. Hydrometeorol.* 11: 1033-1043.
27. Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Beguería, S., and Azorin-Molina, C. 2011. A multi-scale global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *J. Geophys. Res.* 116: D20109, doi: 10.1029/2011JD016039:1-23.
28. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J.J., López-Moreno, J.I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., and Sánchez-Lorenzo, A. 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications. *Earth Int.* 16: 1-27.
29. Vicente-Serrano, S.M., Gouveia, C., Camarero, J.J., Beguería, S., Trigo, R., López-Moreno, J.I., Azorin Molina, C., Pasho, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., and Sanchez-Lorenzo, A. 2013. The response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110: 52-57.
30. Wu, H., and Hayes, M.J. 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the China index and statistical Z- Score. *Inter. J. Climatol.* 21: 741-758.
31. Zarebyaneh, H., Ghabaei Sough, M., and Mosaedi, A. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *J. Water Soil* (Accepted for publication). (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(2), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## The role of evapotranspiration in meteorological drought monitoring in some climatic regions of Iran

A. Hatefi<sup>1</sup>, \*A. Mosaedi<sup>2</sup> and M. Jabbari Nooghabi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Range and Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Statistics, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 03/16/2015; Accepted: 09/21/2015

### Abstract

**Background and Objectives:** Water is one of the most basic human needs and other living creatures. Drought is a natural phenomenon and repeatable, which could be caused serious crisis. This phenomenon may be seen in any climate regime, even in humid regions, but the effects and its frequency are more observed in arid and semi-arid areas. The most important cause of drought is precipitation, but the increase or decrease in evapotranspiration can partly intensify or modify drought conditions. In order to drought monitoring are used different indices that generally can be based on precipitation or precipitation and evapotranspiration. On the other hand drought monitoring based on different indices maybe cause different results. Therefore, in this study, meteorological drought monitoring and evaluation of the effect of evapotranspiration on it were examined during a 50 years period from 1961 to 2010. Drought conditions are compared based on three drought indices of SPI, RDI and SPEI for Ramsar, Hamedan, Shiraz, Sabzevar, Bandar Abbas and Yazd synoptic stations, which respectively are located in Coastal Wet, Mountain, Semi Mountain, Semi Desert, Coastal Desert and Desert climates.

**Materials and Methods:** In this study, were used monthly statistics of meteorological parameters such as precipitation, mean temperature, minimum temperature, maximum temperature, relative humidity, sunshine hours and wind speed in six synoptic stations. Firstly, fulfilled initial statistical tests on monthly meteorological parameters. For this purpose, is used three known tests as Mann-Kendall test for the identification of Trend, Mann-Whitney test for detecting of Homogeneity and Grubbs-Beck test for detecting of Outlier. After verifying these data in terms of Homogeneity and Outlier, values of each of SPI, RDI and SPEI indices calculated in annual and seasonal scales.

**Results:** Comparing results represented that in humid regions, there are not any significant differences between SPI index with RDI and SPEI indices which consider evapotranspiration. However; the difference between the indices is clear in arid regions. The least difference in terms of drought condition monitoring is between SPI and RDI in spring in Hamadan and the greatest difference between SPI and RDI indices is in the summer and the city of Yazd (desert climate). This shows the role of evapotranspiration and its impact on the drought, in the hot and dry season, especially in arid and desert regions. In autumn and winter seasons in every six studied stations, the least difference has happened between SPI with SPEI and SPI with RDI indices, so in this seasons, which evapotranspiration is lower, it has less important role in humidity condition (drought or wet).

**Conclusions:** According to the results of this study, can be concluded that in most cases the indices performance are not the same in different regions and at different time intervals. On the other side, can be concluded that the fluctuations of humidity condition (wet and drought) is very high in studied stations and based on any of the examined indices. While drought severity and its frequency of occurrence are different according to different indices. It is recommended for drought monitoring in arid regions, which the precipitation is negligible and the other side the evapotranspiration is manifold of annual precipitation, are used indices which are based on precipitation and evapotranspiration. Whereas in humid regions (such as Ramsar) evapotranspiration phenomena does not make significant role in the drought and in order to simplification, meteorological drought can be monitored only by precipitation.

**Keywords:** Standardized Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI), Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI), Drought monitoring, Climate

---

\* Corresponding Author; Email: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

