

## پایش وضعیت‌های رطوبتی و روند آن‌ها بر مبنای شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در نواحی مختلف آب و هوایی ایران

محمد قبائی سوق<sup>۱</sup> - حمید زارع ایبانه<sup>۲</sup> - ابوالفضل مساعدی<sup>۳\*</sup> - سیده زهرا صمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

### چکیده

خشکسالی یک ویژگی طبیعی تکرار شونده از تغییرات اقلیمی می‌باشد که اساساً در ارتباط با کمبود بارش تعریف می‌گردد. امروزه همگان پذیرفته‌اند که خشکسالی یک پدیده‌ی چند متغیره می‌باشد و نوسانات هر یک از متغیرهای جوی و اقلیمی می‌توانند سبب افزایش یا کاهش شدت این پدیده گردد. شاخص نسبتاً جدید بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق در قالب یک مدل بیلان آبی بر پایه‌ی مفاهیم شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده می‌کند و قادر به در نظر گرفتن اثرات ناشی از گرمایش جهانی می‌باشد. در این تحقیق با بررسی ارتباط بین شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و شناسایی خشکسالی (RDI)، از شاخص SPEI برای پایش خشکسالی ۱۱ ایستگاه واقع در ۶ منطقه‌ی مختلف آب و هوایی ایران در مقیاس‌های سالانه، کوتاه‌مدت (۱، ۳، ۶ ماهه) و بلندمدت (۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) استفاده شده است. هم‌چنین به منظور بررسی روند وضعیت‌های رطوبتی طی ۵۱ سال اخیر (۲۰۱۰-۱۹۶۰) در کشور از روش گرافیکی LOWESS و آزمون ناپارامتری من-کندال به ترتیب در مقیاس سالانه و ماهانه استفاده شده است. مطابق نتایج بدست آمده بیشترین همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI مربوط به ایستگاه‌های واقع در نواحی مرطوب ساحلی می‌باشد و با کم‌شدن مقدار رطوبت، همبستگی آن‌ها با یکدیگر کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی نتایج شاخص‌های SPI و SPEI نشان داد که شاخص SPI ضمن داشتن نتایج مناسب در مناطق مرطوب، در مناطق خشک دقت کمتری دارد. هم‌چنین بر اساس نتایج شاخص SPEI در مقیاس‌های بلندمدت، سه دوره‌ی مشخص رطوبتی در طول ۵۱ سال گذشته قابل تشخیص می‌باشد که شروع وقایع خشکسالی دوره‌ی سوم از سال ۱۹۹۷ می‌باشد. نتایج بررسی روند سالانه وضعیت‌های رطوبتی نیز نشان دهنده‌ی تغییرات افزایشی وقوع خشکسالی‌ها در سال‌های منتهی به سال ۲۰۱۰ می‌باشد. از طرفی بررسی روند وضعیت‌های رطوبتی بر اساس شاخص SPEI یک ماهه نشان می‌دهد که روند مشاهده شده برای بیشتر ماه‌های سال (اکتبر تا دسامبر و ژانویه تا ژوئن) در ایستگاه‌های مورد بررسی به جز تهران و شیراز بیشتر از نوع کاهشی می‌باشد که نشانگر افزایش کمبودهای رطوبتی طی سال زراعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، کمبود یا مازاد بارش، آزمون من-کندال، روش LOWESS

### مقدمه

زیان بار آن در رژیم‌های مختلف آب و هوایی متفاوت است به طوری که خسارات خشکسالی در مناطق خشک که از دیدگاه اقتصادی ساختار شکننده‌تری دارند، نمود بیشتری یافته و اثرات منفی ماندگاری را از جنبه‌های مختلف بر جای می‌گذارد. در طول دهه‌های گذشته کشور ایران با خشکسالی‌های متعددی مواجه شده است. خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ که در آن مقدار کمبود بارندگی به ۶۰ درصد میانگین بارندگی کشور رسیده بود یکی از زیان‌بارترین خشکسالی‌های ۳۰ سال اخیر کشور بوده است و حدود نصف جمعیت کشور را تحت تاثیر قرار داد و خسارات وارده به بخش کشاورزی و دام حدود ۲/۵ میلیارد دلار برآورد گردید (۱۵).

خشکسالی به طور کلی در ارتباط با کمبود بارش تعریف می‌شود. کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت بر رطوبت خاک و در مقیاس

قرار گرفتن کشور ایران در کمربند خشک کره‌ی زمین و ناحیه‌ی پرفشار جنب حاره‌ای، سبب نوسانات زیاد در میزان بارش مناطق مختلف و وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید، در دوره‌های مختلف در سطح کشور شده است. اگر چه خشکسالی در همه‌ی رژیم‌های آب و هوایی کشور با شدت و ضعف روی می‌دهد، اما ویژگی‌ها و اثرات

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد  
(Email: mosaedi@um.ac.ir) \* نویسنده مسئول:

۴- گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه کارولینای جنوبی، آمریکا

مرطوب به ویژه در مناطق با ارتفاع متوسط تا زیاد می‌شوند. علاوه بر این گرمایش جهانی منجر به افزایش خطر موج‌های گرمای مرتبط با خشکسالی می‌شوند. هنگامی که رطوبت خاک تخلیه می‌گردد این گرما نقش بیشتری در افزایش دما و پژمردگی گیاه ایفا می‌کند (۱۹).

شاخص SPI نمی‌تواند تاثیر تغییرات گرمایش جهانی بر خشکسالی را به خوبی منعکس سازد. در شاخص RDI نسبت بارش به تبخیر و تعرق وقتی مقدار تبخیر و تعرق برابر صفر شود تعریف نشده است و دامنه‌ی مقادیر نسبت بکار رفته به طور قابل ملاحظه‌ای کوچک می‌باشد که نمی‌تواند نقش دما را منعکس سازد (۲۴). مهم‌ترین مزیت شاخص نسبتاً جدید SPEI نسبت به دیگر شاخص‌های پایش خشکسالی که کاربرد زیادی نیز دارند در این امر نهفته است که این شاخص توانائی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی داراست. این موضوع با استفاده از داده‌های ۱۱ منطقه واقع در نقاط مختلف اقلیمی جهان توسط ویسنته‌سرانو و همکاران (۲۴) نشان داده شده است.

مرید و همکاران (۱۵) کارائی ۷ شاخص خشکسالی مبتنی بر داده‌های بارش را برای شناسائی و پایش دوره‌های خشکسالی در استان تهران مورد ارزیابی و بیان داشتند که از میان شاخص‌های مختلف، شاخص‌های SPI و بارش موثر برای شناسائی و آغاز وقایع خشکسالی مناسب می‌باشند. جمشیدی و همکاران (۸) به بررسی نتایج پایش خشکسالی از طریق شاخص‌های SPI و RDI در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران طی سال‌های ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۵ پرداختند. آن‌ها ضمن تأیید رفتار مشابه شاخص‌های مذکور با یکدیگر، شاخص RDI را به علت حساسیت بیشتر آن نسبت به تغییرات متغیرهای اقلیمی برای پایش خشکسالی پیشنهاد دادند. خلیلی و همکاران (۹) در ارزیابی شاخص‌های SPI و RDI برای ایستگاه‌های واقع در نواحی مختلف اقلیمی ایران بیان داشتند تشابه رفتاری زیادی بین هر دو شاخص وجود دارد اما در خشکسالی‌های خیلی شدید شاخص RDI مقادیر بحرانی بیشتری را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده‌ی حساسیت شاخص RDI از طریق دخالت دادن مقدار تبخیر و تعرق می‌باشد. اسدی زارچ و همکاران (۳) نتایج مشابهی برای ۴۰ ایستگاه سینوپتیک در گستره‌ی ایران گزارش کردند.

پوتاپ و همکاران (۱۹) با استفاده از داده‌های ۱۸۴ ایستگاه در جمهوری چک به تحلیل مکانی خصوصیات خشکسالی و روند آن‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی بر اساس شاخص SPEI پرداختند. آن‌ها روند منفی را برای وقایع خشکسالی در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی گزارش کردند. لرونزو لاکروز و همکاران (۱۲) تاثیر تغییرات اقلیمی بر وضعیت منابع آب حوضه‌ی رودخانه‌ی تاگوس با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI بررسی کردند. بر اساس شاخص‌های مذکور شروع خشکسالی‌ها از سال ۱۷۹ می‌باشد و پاسخ‌های تخلیه‌ای و ذخیره‌ی رودخانه بر اساس شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI کمی بیشتر بدست آمدند.

بنابر آنچه در مورد نقاط ضعف شاخص‌های SPI و RDI بیان شد

بلندمدت بر آب‌های زیرزمینی، دبی رودخانه‌ها و منابع آب اثر می‌گذارد از اینرو اثرات خشکسالی در چهار دسته‌ی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۴). خشکسالی هواشناسی را می‌توان سیگنال ظهور انواع خشکسالی‌های دیگر تعریف نمود و در اغلب موارد به وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی منتهی می‌شود.

با توجه به خصوصیات پیچیده‌ی خشکسالی، فهم و توسعه‌ی ابزارهایی به منظور پایش و پیش‌بینی کمی و کیفی خشکسالی، به مدیریت این پدیده جهت کاهش اثرات و شدت خسارات آن در سطوح مختلف جامعه کمک فراوانی خواهد نمود. یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم پایش خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی هستند که از متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مشتق شده‌اند (۶). به طور کلی کارکردهای مورد انتظار از یک شاخص پایش خشکسالی شامل تعیین دقیق زمان شروع و پایان خشکسالی، تعیین شدت و نوع خشکسالی و تعیین گستره‌ی مکانی تحت تأثیر این پدیده می‌باشند (۵). طی دهه‌های اخیر تلاش‌های مختلفی برای توسعه‌ی شاخص‌هایی به منظور اندازه‌گیری، پایش و تجزیه و تحلیل خشکسالی انجام شده است. میشر و سینگ (۱۴) مرور جامعی از شاخص‌های مختلف خشکسالی به همراه نقاط قوت و محدودیت‌های آن‌ها ارائه دادند. امروزه همگان پذیرفته‌اند که خشکسالی یک پدیده‌ی چندمتغیره می‌باشد و نوسانات هر یک از متغیرهای جوی و اقلیمی می‌توانند سبب افزایش یا کاهش شدت این پدیده گردد. بارش و تبخیر و تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند (۴). در سال‌های اخیر کوشش‌هایی برای توسعه‌ی شاخص‌های جدید با دخالت دادن اثر دما از طریق تبخیر و تعرق صورت گرفته است. شاخص‌های شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص شناسائی خشکسالی (RDI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) بر مبنای متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشکسالی توسعه یافتند.

نتایج مطالعات تجربی نشان می‌دهد افزایش دما به طور محسوسی بر شدت خشکسالی تاثیر دارد. در مقیاس جهانی، مطالعات اخیر خشکسالی نشان دادند روند افزایشی دوره‌های خشکسالی بر اساس شاخص‌های پالمر و SPEI، به علت روندهای افزایشی دما به ویژه از نیمه‌ی دوم دهه‌ی ۱۹۸۰ و منظور نمودن این روند از طریق تبخیر و تعرق در شاخص‌های مذکور می‌باشد. نیکولز (۱۶) با تحلیل خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ در استرالیا بر نقش روزهای با درجه حرارت بالا در شدت این پدیده تاکید نمود. ترنبرس (۲۰) تاثیر مستقیم افزایش دما از طریق گرمایش جهانی را بر مقدار بارندگی نشان داد. افزایش دما منجر به افزایش تبخیر و خشک‌تر شدن سطح و متعاقب آن افزایش شدت و مدت دوره‌های خشک می‌گردد. بر اساس مدل‌های جهانی الگوهای بارش تغییر زیادی نخواهند داشت و سبب افزایش خشکی در مناطق خشک و افزایش رطوبت در مناطق

عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه گسترده شده است و از نظر آب و هوایی، با متوسط بارندگی سالانه‌ی حدود ۲۵۰ میلی‌متر در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است. علیجانی و همکاران (۲) با استفاده از ۱۶۰ متغیر هواشناسی بر پایه‌ی تحلیل عاملی، کشور ایران را به ۶ ناحیه‌ی اقلیمی شامل: مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی، بیابانی و ساحلی بیابانی طبقه‌بندی نمودند. در این تحقیق با انتخاب دو ایستگاه در هر ناحیه (به جز ناحیه ساحلی بیابانی با یک ایستگاه) در مجموع ۱۱ ایستگاه سینوپتیک شامل: بابلسر، رشت (مرطوب ساحلی)، مشهد، تبریز (کوهستانی)، کرمان، یزد (بیابانی)، تهران، سمنان (نیمه‌بیابانی) و بندرعباس (ساحلی بیابانی) جهت بررسی انتخاب شدند. آمار ماهانه‌ی پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد برای ایستگاه‌های مورد بررسی از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ میلادی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید که برخی از مشخصات جغرافیایی و خصوصیات آب و هوایی ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

و مزیت‌هایی که شاخص نسبتاً جدید SPEI با منظور نمودن اثرات گرمایش جهانی دارد و با توجه به آن که این شاخص تاکنون کمتر برای پیش خشکسالی در شرایط مختلف آب و هوایی در ایران بکار رفته است از این رو هدف اصلی این تحقیق محاسبه و پیش وضعیت‌های رطوبتی بر مبنای شاخص SPEI و بررسی ارتباط آن با شاخص‌های پرکاربرد SPI و RDI در مقیاس‌های مختلف زمانی سالانه، کوتاه مدت و بلندمدت ماهانه در ۱۱ ایستگاه از ۶ ناحیه‌ی مختلف آب و هوایی ایران طی دوره‌ی ۵۱ ساله می‌باشد. هم‌چنین بررسی تغییرات روند وضعیت‌های رطوبتی بر اساس شاخص SPEI از روش گرافیکی LOWESS در مقیاس سالانه و آزمون من-کندال در مقیاس ماهانه از اهداف دیگر این تحقیق می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع در محدوده‌ی

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

Table 1- A summary of synoptic stations and their long-term annual mean meteorological variables

نام ایستگاه Stations	عرض جغرافیایی Latitude (N)	طول جغرافیایی Longitude (E)	ارتفاع Elevation (m)	میانگین دما Mean Temperature (C)	میانگین بارش precipitation (mm)	میانگین تبخیر و تعرق ET <sub>o</sub> (mm)	ناحیه اقلیمی Climatic regions
رشت Rasht	12°37	39°49	37	15.9	1350	852	مرطوب ساحلی Costal wet
بابلسر Babolsar	39°36	30°51	-21	16.1	1293	895	مرطوب ساحلی Costal wet
مشهد Mashhad	16°36	38°59	999	14.3	252	1281	کوهستانی Mountains
تبریز Tabriz	05°38	17°46	1361	12.5	290	1360	کوهستانی Mountains
شیراز Shiraz	32°29	36°52	1484	17.7	346	1651	نیمه‌کوهستانی Semi mountains
خرم‌آباد Khoram Abad	26°33	17°48	1148	17.2	509	1368	نیمه‌کوهستانی Semi mountains
تهران Tehran	41°35	19°51	1191	17.3	233	1562	نیمه‌بیابانی Semi desert
سمنان Semnan	54°31	17°54	1131	18.1	141	1325	نیمه‌بیابانی Semi desert
کرمان Kerman	15°30	58°56	1754	15.8	153	1788	بیابانی Desert
یزد Yazd	16°36	17°54	1237	19.1	61	1808	بیابانی Desert
بندرعباس Babdar Abas	13°27	32°56	10	26.9	183	1726	ساحلی بیابانی Costal desert

### شاخص‌های خشکسالی و محاسبه‌ی آن‌ها

طی دهه‌های گذشته محققان، شاخص‌های مختلفی را به منظور پایش وضعیت خشکسالی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن توسعه داده‌اند. در تحقیق حاضر به منظور پایش خشکسالی شاخص‌های SPI، RDI و SPEI بکار گرفته شدند که مبتنی بر شاخص‌های استاندارد شده می‌باشند.

یکی از شاخص‌های خشکسالی پرکاربرد، شاخص بارش استاندارد شده<sup>۱</sup> (SPI) می‌باشد که توسط مک کی و همکاران (۱۳) معرفی گردید. برای محاسبه‌ی این شاخص، ابتدا با برآزش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهانه یا مجموع بارندگی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن محاسبه و سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر شاخص SPI محاسبه می‌شود (۱۱). مهم‌ترین مزیت شاخص SPI آن است که می‌تواند برای مقیاس‌های مختلف زمانی محاسبه شود. این تطبیق پذیری، پایش کوتاه‌مدت منابع آبی از قبیل رطوبت خاک که برای تولیدات کشاورزی از اهمیت برخوردار است و پایش بلندمدت منابع آبی از قبیل منابع آب زیرزمینی، جریان و سطح آب دریاچه‌ها و مخازن را امکان پذیر می‌کند. شاخص SPI علیرغم برخی از محدودیت‌ها نظیر وابسته بودن به طول دوره‌ی آماری و توزیع‌های احتمال به عنوان شاخصی قدرتمند برای پایش دوره‌های خشکسالی در نقاط مختلف بکار می‌رود (۱۴).

ساکریس و همکاران (۲۲) با بیان این که خشکسالی‌های منطقه-ی مدیترانه با افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق همراه هستند و شاخص‌های مبتنی بر بارش به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خصوصیات خشکسالی در این مناطق باشند، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) را بر پایه‌ی مفاهیم شاخص SPI و نسبت بارش به تبخیر و تعرق برای پایش خشکسالی و در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی پیشنهاد دادند. فرض اولیه در شاخص RDI آن است که مقادیر نسبت بارش به تبخیر و تعرق از تابع چگالی لوگ‌نرمال پیروی می‌کند اما برخی از تحقیقات نشان داده‌اند که تابع توزیع گاما می‌تواند در برخی از مناطق برآزش بهتری بر این نسبت داشته باشد (۲۱). جهت محاسبه‌ی شاخص RDI با برآزش توزیع گاما بر نسبت بارش به تبخیر و تعرق، تابع احتمال تجمعی این نسبت برای مقیاس‌های مختلف زمانی محاسبه و با تبدیل آن‌ها به مقادیر نرمال استاندارد شده مقادیر شاخص RDI تعیین گردید.

ویسنه‌سرانو و همکاران (۲۴) شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) را با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پیشنهاد دادند. این شاخص با ترکیب حساسیت شاخص PDSI از

طریق تغییرات تقاضای تبخیر و بر پایه‌ی مفاهیم قابلیت محاسبه در مقیاس‌های مختلف شاخص SPI توسعه یافته است. برای محاسبه‌ی شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر و تعرق در هر ماه برآورد شود سپس از طریق یک مدل ساده‌ی بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی (P) و مقدار PET برای ماه i از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۱)$$

محاسبه‌ی این شاخص همانند روش ارائه شده برای محاسبه‌ی شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  از طریق برآزش یک تابع چگالی احتمال می‌باشد. با توجه به آن که مقادیر  $D_i$  از کران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند توابع احتمال دوپارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنه‌سرانو و همکاران (۲۴) با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برآزش بر مقادیر  $D_i$  تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه‌ی ۲ می‌باشد:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (۲)$$

که در آن پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر  $D_i$  در دامنه‌ی  $D < \infty$  می‌باشند. فرم تابع احتمال تجمعی لوگ - لوجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه‌ی ۳ است:

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (۳)$$

در گام نهایی مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر  $D_i$  با استفاده از رابطه‌ی ۴، به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌شوند که برابر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند.

$$SEPI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (۴)$$

در رابطه‌ی ۴ مقدار W از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (۵)$$

که در آن P مقدار احتمال تجاوز از مقدار D تعیین شده می‌باشد،  $P = 1 - F(x)$ . اگر مقدار P بزرگتر از ۰/۵ باشد آن‌گاه مقدار P با  $1 - P$  جایگزین و علامت نتایج SPEI عوض می‌شود. مقدار ضرایب ثابت در معادله‌ی ۴ برابرند با  $C_0=2.51552$ ،  $C_1=0.80285$ ،  $C_2=0.01033$ ،  $d_1=1.43279$ ،  $d_2=0.18927$  و  $d_3=0.00131$ .

در توسعه‌ی شاخص‌های RDI و SPEI از مفاهیم شاخص SPI استفاده گردید. بنا بر این مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی در آن‌ها مشابه با طبقه‌های ارائه شده برای شاخص SPI می‌باشد.

معادلات پیشنهادی فائو در صورت نبود داده‌های ساعت آفتابی، مقدار تابش خورشیدی از روی داده‌های دمایی و از معادله هارگریوز ( $R_s = 0.16R_a \sqrt{T_{\max} - T_{\min}}$ ) برآورد می‌گردد. هم‌چنین در صورت نبود داده‌های رطوبت نسبی (RH)، فشار بخار واقعی  $e_a$ ، با فرض این که 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. در جدول ۲، نسبت تعداد ماههائی که در آن‌ها مقدار تبخیر و تعرق از روش فائو پنمن مانیتث اما با برآورد پارامترهای گمشده محاسبه شدند به تفکیک در هر ایستگاه آورده شدند. بر اساس آن نسبت مذکور برای ایستگاه‌های مختلف از ۲ درصد در مشهد تا ۳۲ درصد در یزد متغیر می‌باشد. لازم به ذکر است تعداد ماه‌های موجود در ایستگاه سمنان برابر با ۵۵۲ ماه و در سایر ایستگاه‌های مورد بررسی برابر ۶۱۲ ماه بوده است.

طبق این روش دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که مقدار هر یک از شاخص‌ها به‌طور مداوم منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار هر یک از آن‌ها مثبت گردد.

برای محاسبه‌ی مقادیر شاخص‌های RDI و SPEI علاوه بر مقادیر بارش، به مقادیر تبخیر و تعرق نیز نیاز می‌باشد. مقدار تبخیر و تعرق در شاخص‌های مذکور با استفاده از داده‌های دمای میانگین و از روش تورنت- وایت محاسبه می‌شود. این روش در مناطق مرطوب مقدار تبخیر و تعرق را بیشتر از مقدار واقعی و در مناطق خشک کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کند (۱۸) از این رو در این تحقیق مقادیر تبخیر و تعرق در ماههائی که تمامی متغیرهای مورد نیاز روش فائو پنمن مانیتث به‌طور کامل اندازه‌گیری شده بودند از این روش محاسبه گردیدند. در ماه‌های دیگر با توجه به کمبود هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد مقدار آن‌ها از روش‌های پیشنهاد شده توسط آلن و همکاران (۱) در نشریه ۵۶ فائو محاسبه و در معادله اصلی جایگزین و مقدار تبخیر و تعرق برای ماه مورد نظر برآورد گردید. بر اساس

جدول ۲- درصد تعداد ماه‌های دارای کمبود داده‌های اندازه‌گیری شده

Table 2- The percent number of months with lack of measured data

ایستگاه	درصد	ایستگاه	درصد
Stations	Percentage	Stations	Percentage
رشت	24	تهران	5
Rasht		Tehran	
بابلسر	11	سمنان	13
Babolsar		Semnan	
مشهد	2	یزد	32
Mashhad		Yazd	
تبریز	12	کرمان	16
Tabriz		Kerman	
شیراز	9	بندرعباس	22
Shiraz		Bandar Abas	
خرم‌آباد	28		
Khoram Abad			

وزنی متناوب را برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی با استفاده از داده‌های مجاور استفاده می‌کند. وزن اختصاص داده شده برای هر کدام از داده‌های مجاور متناسب با دوری و نزدیکی آن‌ها به داده‌ای است که مقدار آن برآورد می‌گردد (۷). ظاهراً این روش شبیه روش میانگین متحرک است با این تفاوت که در میانگین متحرک هر کدام از داده‌ها با میانگین وزنی داده‌های اطراف جایگزین می‌شود ولی در روش LOWESS از رابطه رگرسیونی برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی استفاده می‌شود. سپس داده‌های برآورد شده به یکدیگر وصل می‌شوند تا منحنی هموار LOWESS بدست آید. سپس از روی منحنی هموار شده می‌توان تغییرات زمانی یا روند

## آنالیزهای روند

### روش گرافیکی LOWESS<sup>۱</sup>

روش‌های گرافیکی مولفه‌ی مهمی را در تجزیه و تحلیل سری‌های آماری تشکیل می‌دهند. بسیاری از روش‌های گرافیکی از تکنیک LOWESS بهره می‌برند. روش LOWESS یک روش آماری گرافیکی ناپارامتریک است که برای نشان دادن روند در سری زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. این روش هیچ رابطه یا مدل معینی را برای سری داده‌ها تصور نمی‌کند. در عوض یک الگوریتم رگرسیون

1- Locally Weighted Scatter plot Smoothing

داده‌ها را با مشاهده چشمی تشخیص داد.

این آزمون یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد و در سطح مشخص شده داده‌ها دارای روند می‌باشند (۱۷).

### آزمون من - کندال

روش من-کندال یک آزمون ناپارامتریک به منظور تعیین روند در داده‌های سری‌های زمانی می‌باشد که بر پایه مرتبه‌ای داده‌ها استوار است (۲۵). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد. فرض صفر در این آزمون توزیع تصادفی داده‌ها (عدم وجود روند) است. این آزمون توسط سازمان جهانی هواشناسی برای آشکارسازی و تعیین روند متغیرهای هواشناسی نیز توصیه شده است (۱۰).

اگر  $x_1, x_2, \dots, x_n$  بیانگر داده‌های مشاهداتی باشند و  $x_j$  و  $x_k$  داده مشاهداتی در زمان  $j$  و  $k$  باشد آن‌گاه آماره من-کندال ( $S_t$ ) از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌گردد. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرد و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. با فرض مستقل بودن داده‌ها و توزیع یکنواخت داده‌ها، واریانس  $S_t$  از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید:

$$S_t = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (6)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & x_j > x_k \\ 0 & x_j = x_k \\ -1 & x_j < x_k \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Var}(S_t) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (8)$$

در روابط فوق،  $\text{sign}(x)$  تابع علامت،  $n$  تعداد داده‌های مشاهداتی،  $m$  تعداد گره‌ها و  $t_i$  تعداد داده‌ها در  $i$  امین گره می‌باشد. به منظور تعیین معنی‌داری روند از آماره این آزمون، ( $Z$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن مقادیر مثبت و منفی  $Z$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی روندهای افزایشی و کاهش می‌باشند.

$$Z = \begin{cases} \frac{S_t - 1}{\sqrt{\text{Var}(S_t)}}, & S_t > 0 \\ 0, & S_t = 0 \\ \frac{S_t + 1}{\sqrt{\text{Var}(S_t)}}, & S_t < 0 \end{cases} \quad (9)$$

### نتایج و بحث

#### نتایج بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی در

#### مقیاس‌های مختلف زمانی

شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و RDI برای ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه و مقیاس‌های ماهانه شامل ۱ تا ۲۴ ماهه بر اساس آن‌چه در بخش محاسبه‌ی شاخص‌ها آورده شده است محاسبه گردیدند. با محاسبه‌ی شاخص‌های مختلف ضریب همبستگی بین آن‌ها با یکدیگر در مقیاس سالانه برای ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی برآورد گردید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین همبستگی در مقیاس سالانه برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بین شاخص‌های SPI و RDI مشاهده گردید به طوری که مقادیر ضریب همبستگی بیشتر از ۹۳ درصد می‌باشند. بررسی مقادیر ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI نشان می‌دهد در تمامی ایستگاه‌ها همبستگی شاخص مذکور با شاخص RDI به مراتب بیشتر از شاخص SPI می‌باشد و بیشترین همبستگی مربوط به ایستگاه‌های واقع در نواحی مرطوب ساحلی می‌باشد و با کم‌شدن مقدار رطوبت ضریب همبستگی کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در ایستگاه یزد مقدار ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPEI و SPI به ۳۸ درصد کاهش یافته است.

در ادامه با محاسبه‌ی شاخص‌های SPEI، SPI و RDI در مقیاس‌های مختلف زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه (شامل ۲۴ سری برای هر شاخص)، مقادیر ضریب همبستگی آن‌ها با یکدیگر برای ۱۱ ایستگاه مورد بررسی محاسبه و نتایج آن در شکل ۱ رسم شده‌اند که نتایج آن تا حدودی با نتایج مقیاس سالانه مشابهت دارد. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده، همبستگی بین شاخص‌های SPI و RDI در مقیاس‌های ۱ تا ۲۴ ماهه نسبت به همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI در مقیاس‌های متناظر بیشتر می‌باشد به طوری که برای تمامی ایستگاه‌ها مقادیری بیشتر از ۷۵ درصد دارد. تشابه رفتاری بالای شاخص SPI و RDI در تحقیقات پیشین (۸، ۳ و ۹) برای ایستگاه‌های مختلف ایران گزارش شده بود که نتایج بدست آمده با آن‌ها مطابقت دارد.

جدول ۳- نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPEI، SPI و RDI با یکدیگر در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی  
Table 3- Results of correlation coefficient among SPEI, SPI and RDI indices in annual period at selected stations

ایستگاه Stations	ضریب همبستگی شاخص‌های مختلف با یکدیگر correlation coefficient among drought indices		
	SPI & RDI	SPEI & RDI	SPEI & SPI
	رشت Rasht	0.947	0.993
بابلسر Babolsar	0.945	0.993	0.950
مشهد Mashhad	0.976	0.916	0.810
تبریز Tabriz	0.970	0.852	0.703
شیراز Shiraz	0.991	0.923	0.866
خرم‌آباد Khoram Abad	0.937	0.932	0.750
تهران Tehran	0.991	0.891	0.825
سمنان Semnan	0.961	0.725	0.508
کرمان Kerman	0.975	0.755	0.591
یزد Yazd	0.982	0.550	0.389
بندرعباس Bandar Abbas	0.996	0.723	0.669

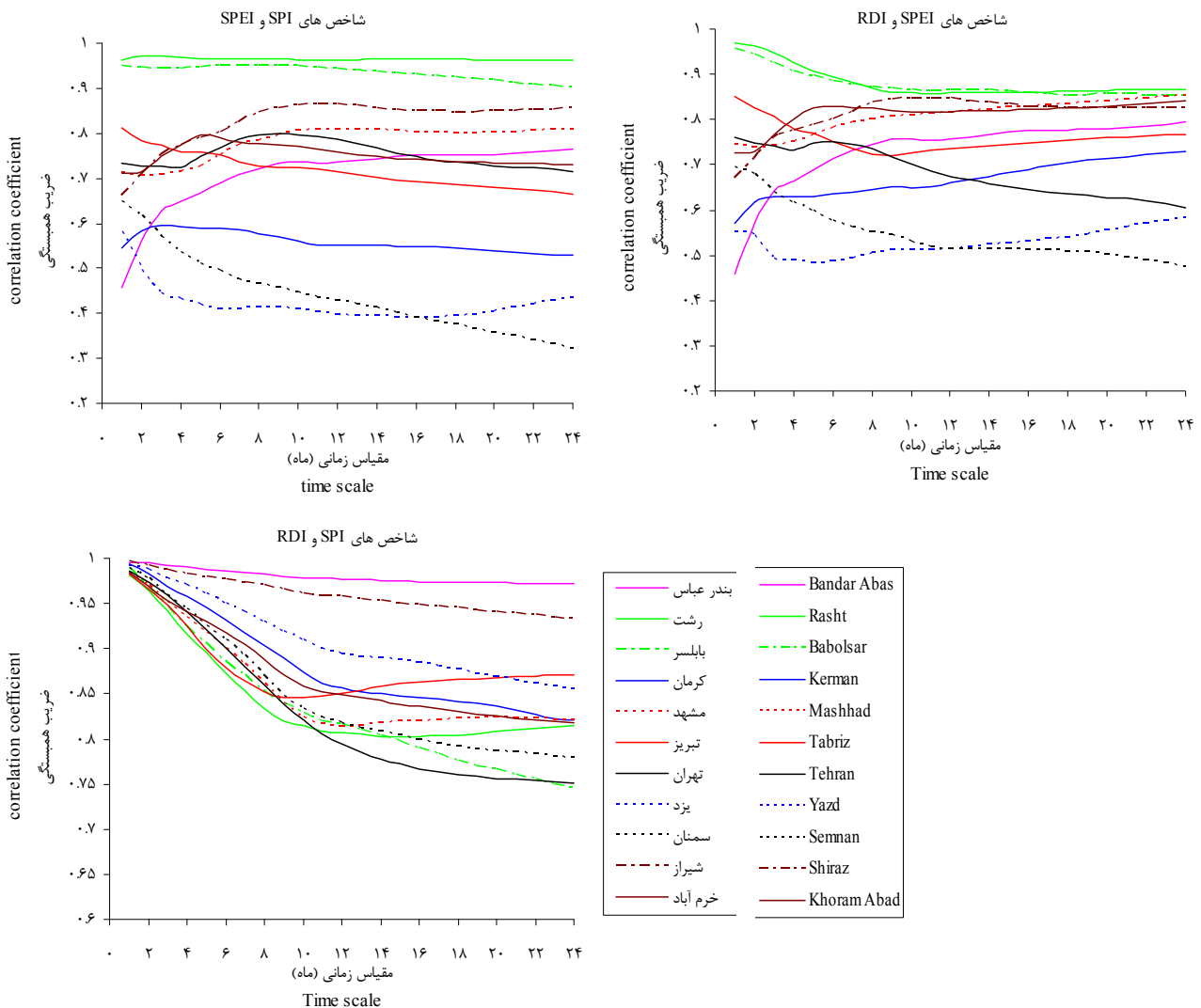
می‌دهند. در ایستگاه بندرعباس با افزایش مقیاس زمانی مقدار ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI به طور چشمگیری بهبود می‌یابد. در ایستگاه‌های تهران و سمنان با اقلیم نیمه‌بیابانی با افزایش مقیاس پایش میزان همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI کاهش می‌یابد و برای ایستگاه یزد ضریب همبستگی شاخص‌های SPI و RDI با SPEI از ۱ تا ۱۲ ماهه کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

#### نتایج بیلان رطوبتی مازاد یا کمبود در ماه‌های مختلف

نمودارهای جعبه‌ای تفاوت بین مقادیر بارندگی و تبخیر و تعرق (مقادیر  $D_i$ ) در ایستگاه‌های مورد بررسی به تفکیک هر ماه در شکل ۲ آورده شده است. در نمودارهای جعبه‌ای خط میانی هر جعبه نشان‌دهنده میانگین، خطوط بالا و پائین هر جعبه به ترتیب نشانگر چندک‌های ۷۵ و ۲۵ درصد و خطوط انتهایی در بالا و پائین هر نمودار جعبه‌ای مقادیر حداکثر و حداقل داده‌ها را نشان می‌دهند. مقادیر  $D_i$  با توجه به بیلان رطوبتی در هر ایستگاه برای هر ماه می‌تواند مقادیر منفی و مثبت باشند که به ترتیب تحت عنوان مازاد و کمبود رطوبتی تعریف می‌گردند. بر اساس نمودارهای ترسیم شده در ایستگاه‌های رشت و بابلسر واقع در شرایط آب و هوایی مرطوب میانگین مقادیر بیلان رطوبتی برای ماه‌های سرد سال (سپتامبر تا آوریل) بیشتر از صفر می‌باشند و در ماه‌های گرم سال از ژوئن تا جولای مقادیر آن منفی می‌باشد ضمن آن که دامنه‌ی نوسانات رطوبت مازاد در ایستگاه رشت نسبت به ایستگاه بابلسر بیشتر می‌باشد. در ایستگاه شیراز تنها برای ماه‌های دسامبر و ژانویه میانگین مقادیر  $D_i$  مثبت می‌باشد در ایستگاه خرم‌آباد که وضعیت اقلیمی نیمه‌کوهستانی مشابه شیراز دارد طی ماه‌های مارس تا اکتبر میانگین مقادیر  $D_i$  منفی و بیانگر کمبود رطوبتی در آن‌ها می‌باشد.

ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI برای ایستگاه‌های واقع در نواحی مختلف در دامنه‌ی متفاوتی تغییر می‌کند به طوری که بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه‌های رشت و بابلسر واقع در نواحی مرطوب ساحلی می‌باشد و کمترین ضرایب همبستگی به ایستگاه‌های یزد، کرمان، تهران و سمنان که در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی واقع شده‌اند اختصاص دارد. همچنین مشابه مقیاس سالانه ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص RDI در ایستگاه‌های مختلف بیشتر از شاخص SPI می‌باشد. بررسی چگونگی تغییرات ضریب همبستگی شاخص‌های مختلف با یکدیگر در مقیاس زمانی مورد پایش نیز نشان می‌دهد همبستگی بین شاخص‌های SPI و RDI با افزایش مقیاس زمانی کاهش می‌یابد و بیشترین همبستگی مربوط به مقیاس‌های پایش کوتاه‌مدت ۱ تا ۶ ماهه می‌باشد هر چند این تغییرات در ایستگاه بندرعباس تقریباً ثابت می‌باشند. بررسی ضریب همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI در ایستگاه‌های واقع در نواحی مختلف دامنه‌ی تغییر و روند گاه‌ها متفاوتی را نسبت به همبستگی بین شاخص‌های SPI و RDI نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های رشت و بابلسر با رژیم آب و هوایی مرطوب ساحلی همبستگی شاخص SPEI با شاخص‌های SPI و RDI به ویژه شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف پایش تغییرات زیادی ندارد که می‌تواند بیانگر نتایج قابل اعتماد پایش بر مبنای هر یک از شاخص‌های مورد بررسی باشد و همچنین موید این مطلب می‌باشد که با افزایش مقدار رطوبت نتایج شاخص‌های مختلف تغییرپذیری کمتری نسبت به یکدیگر دارند.

در ایستگاه‌های خرم‌آباد و شیراز همبستگی شاخص‌های SPEI و RDI با یکدیگر با افزایش مقیاس زمانی پایش افزایش را نشان



شکل ۱- نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPEI، RDI و SPI با یکدیگر در مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های مورد بررسی  
Figure 1-Results of correlation coefficient among SPEI, SPI and RDI indices in 1 to 24-months at given stations

### نتایج پایش وضعیت رطوبتی در نواحی مختلف آب و هوایی

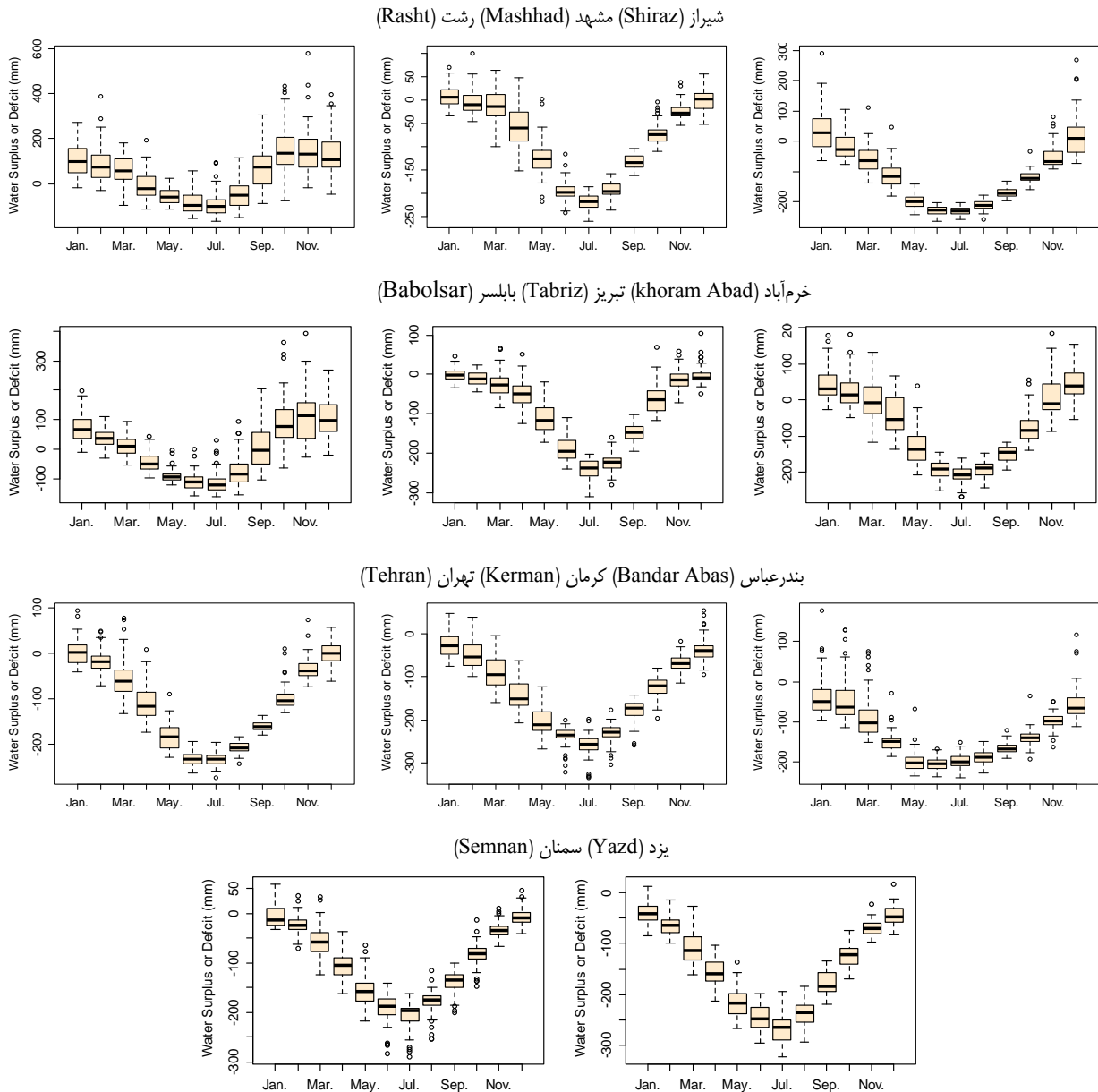
در ادامه با محاسبه‌ی مقادیر بیلان رطوبتی در هر ماه مقادیر شاخص SPEI محاسبه گردید و وضعیت رطوبتی بر اساس آن برای ایستگاه‌های مختلف رسم گردید. در شکل ۳ به منظور مقایسه‌ی نتایج شاخص‌های SPEI و SPI نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاه‌های رشت و یزد به عنوان ایستگاه‌های مرطوب و بیابانی در مقیاس‌های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس شاخص‌های SPEI و SPI آورده شده است. در ایستگاه رشت مقادیر شدت خشکسالی شاخص SPEI در مقیاس‌های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه به طور متوسط در دامنه‌ی ۲- تا ۲ تغییر می‌کند که در مقایسه با شاخص SPI در مقیاس‌های متناظر که در آن برخی از وقایع حدی خشکسالی و ترسالی به ترتیب

در ایستگاه‌های مشهد و تبریز با اقلیم کوهستانی وضعیت بیلان رطوبتی طی ماه‌های مختلف روندی مشابه ایستگاه‌های ناحیه‌ی نیمه کوهستانی دارند با این تفاوت که مقدار کمبود رطوبتی در دامنه‌ی بیشتری نوسان دارد. برای ایستگاه‌های واقع در نواحی بیابانی و نیمه-بیابانی به جز در ماه دسامبر در تهران در سایر ماه‌ها میانگین کمبود رطوبتی کمتر از صفر و در ماه‌های گرم سال به ۲۵۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. در ایستگاه بندرعباس نیز در تمامی ماه‌ها به طور متوسط مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد به طوری که در ماه‌های آوریل تا سپتامبر میانگین کمبود به ۱۵۰ میلی‌متر و بیشتر افزایش می‌یابد. در این ایستگاه دامنه‌ی کمبود رطوبتی در مقایسه با ایستگاه‌های واقع در مناطق بیابانی به علت مجاورت با ساحل و افزایش رطوبت نسبی کمتر می‌باشد.



نیز نشان داده شده است به طوری که شاخص‌های مذکور دارای ضریب همبستگی بسیار بالایی با هم می‌باشند.

دارای شدتی نزدیک به ۳- و ۳ می‌باشند دارای شدت کمتری می‌باشند برای سایر وقایع ارتباط نزدیک و رفتار مشابهی بین شاخص‌های SPI و SPEI مشاهده می‌گردد. این موضوع در شکل ۱



شکل ۲- نمودارهای جعبه‌ای کمبود یا مازاد رطوبت برای ماه‌های مختلف سال در ایستگاه‌های مورد بررسی  
Figure 2- Box plot of water surplus or deficit for different months of year at investigated stations

شاخص SPEI تعداد دوره‌های خشک و مرطوب در هر سه مقیاس ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه نسبت به شاخص SPI دارای تعداد کمتر ولی طول دوره‌ی بیشتر می‌باشند. همچنین مجموع کمبودها یا مازادهای رطوبتی در شاخص SPEI به مراتب بیشتر از شاخص SPI می‌باشد.

در ایستگاه یزد به عنوان یک ایستگاه بیابانی با میانگین بیلان منفی رطوبت در تمامی ماه‌های سال، نتایج بدست آمده از شاخص‌های SPEI و SPI از نظر تعداد دوره‌های مرطوب و خشک و طول دوره‌های رطوبتی تا حد زیادی متفاوت می‌باشند. بر اساس

دوره‌های دوم و سوم به طور مشخص به ترتیب نشان‌دهنده‌ی شرایط رطوبتی مرطوب و خشک می‌باشند. اگرچه در برخی از سال‌ها در دوره‌ی دوم وضعیت رطوبتی نشان‌دهنده‌ی شرایط نرمال می‌باشد اما شرایط رطوبتی در بیشتر سال‌ها ترسالی‌های متوسط و بیشتر را نشان می‌دهد. در دوره‌ی سوم مشاهده می‌شود که روند خشکسالی‌ها افزایش و در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به بیشترین شدت می‌رسند. بر اساس نتایج بدست آمده وضعیت رطوبتی در سال‌های اخیر از نظر مجموع کمبودهای رطوبتی و طول دوره و ماندگاری آن‌ها از جنبه‌های مدیریتی حائز اهمیت می‌باشد و نیازمند توجه بیشتر می‌باشد.

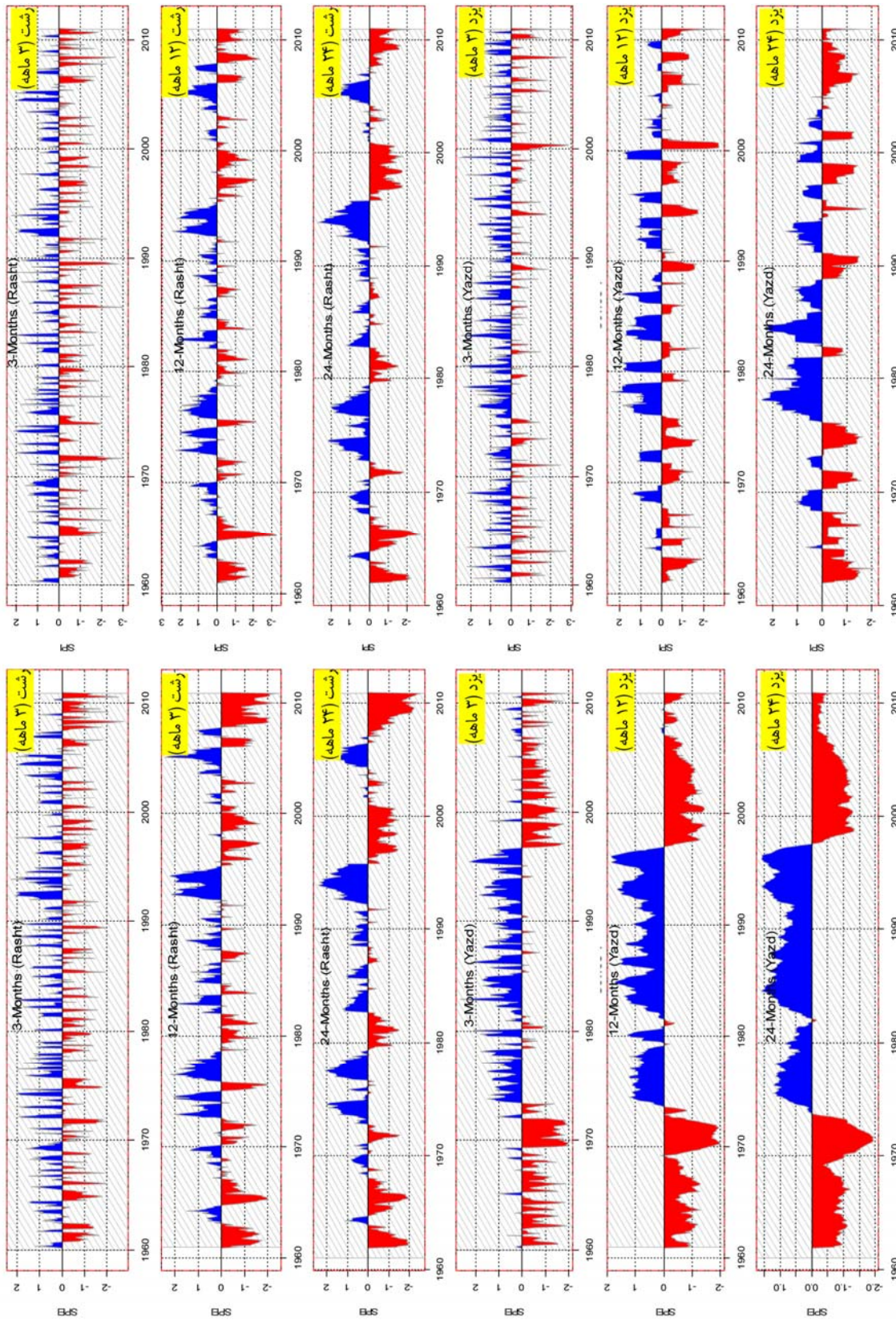
### نتایج روند وضعیت‌های رطوبتی

در ادامه به منظور تعیین روند معنی‌داری وضعیت‌های رطوبتی در مقیاس سالانه بر اساس شاخص SPEI از روش گرافیکی LOWESS استفاده شده است که منحنی هموار شده بر سری داده‌های مقادیر SPEI در هر سال در ایستگاه مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. به جز در ایستگاه سمنان که دارای ۴۶ سال آمار بوده است در سایر ایستگاه این منحنی به ازای ۵۱ سال آمار رسم شده است. بررسی شکل منحنی هموار شده ترسیم شده بر مقادیر SPEI در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که منحنی مذکور به شکل معقر دارای شاخه‌های صعودی و سپس نزولی به همراه نقطه اوج می‌باشد که در ایستگاه‌های یزد و کرمان واقع در ناحیه‌ی بیابانی شیب شاخه‌های صعودی و نزولی بیشتر و نقطه‌ی اوج تیزتر می‌باشد این حالی است که در ایستگاه‌های رشت و بابلسر در ناحیه‌ی مرطوب این منحنی هموارتر و با شیب ملایم‌تر می‌باشد. در ایستگاه‌های مشهد، تبریز، خرم‌آباد و بندرعباس شیب شاخه‌ی نزولی به مراتب بیشتر از شاخه‌ی صعودی می‌باشد. هم‌چنین بررسی شکل منحنی‌های LOWESS در ایستگاه‌های مختلف نشان‌دهنده‌ی شروع شاخه‌ی نزولی از سال ۱۹۸۵ به بعد می‌باشد که بیانگر روند افزایشی خشکی و افزایش آن در سال‌های اخیر می‌باشد.

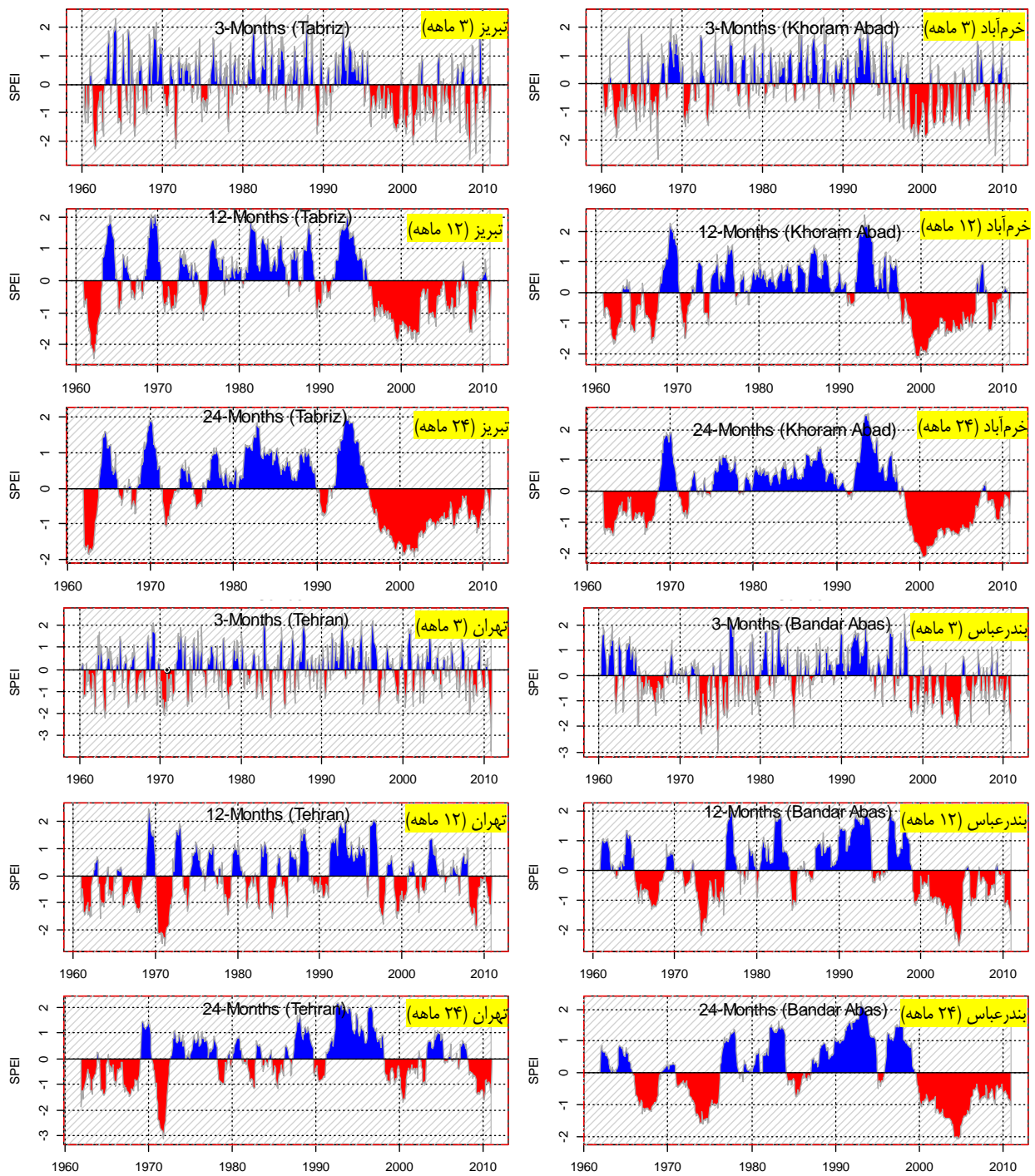
در ادامه با محاسبه‌ی مقادیر SPEI در مقیاس ۱ ماهه روند معنی‌داری وضعیت‌های مختلف رطوبتی در هریک از ماه‌های سال از آزمون ناپارامتری من-کندال تعیین و معنی‌داری روند در سطوح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت. نتایج مقادیر عددی آماره‌ی Z در ماه‌های مختلف برای ایستگاه‌های مورد بررسی و سطح معنی‌داری آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در ایستگاه رشت به جزء در ماه‌های آوریل و نوامبر، سایر ماه‌ها دارای روند کاهشی غیرمعنی‌دار هستند. در ایستگاه بابلسر سه ماه ژانویه، سپتامبر و نوامبر دارای روند افزایشی و سایر ماه‌ها دارای روند کاهشی می‌باشند و تعداد ماه‌های دارای روند افزایشی یا کاهشی معنی‌دار نسبت به ایستگاه رشت بیشتر می‌باشند.

علاوه بر این تا حدودی می‌توان گفت در ایستگاه یزد مشابه ایستگاه رشت وقایع حدی با شدت بیشتری در شاخص SPI نشان داده شده‌اند. بررسی خشکسالی‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ به عنوان یکی از شدیدترین وقایع خشکسالی در کشور در ایستگاه یزد نشان می‌دهد که شاخص SPI نتوانسته است اثرات این خشکسالی‌ها را در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به خوبی نشان دهد در حالی که شاخص SPEI وضعیت رطوبتی این دوره را به صورت خشکسالی متوسط و بیشتر نشان داده است. میشرا و سینگ (۱۴) بیان کردند در مناطق خشک و نیمه‌خشک که توزیع بارندگی فصلی و مقدار بارندگی در برخی از فصل‌ها صفر می‌باشد، شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت به‌خاطر چولگی زیاد داده‌ها ممکن است از توزیع نرمال پیروی نکند و توزیع گاما نیز نتواند به خوبی بر آن‌ها برازش یابد. لذا این موضوع می‌تواند سبب بروز خطاهای فاحش در محاسبه‌ی مقادیر SPEI در نمونه‌های کوچک از داده‌های این مناطق گردد. با توجه به این که شاخص SPI تنها مبتنی بر داده‌های بارندگی می‌باشد و مقادیر نسبتاً کم بارندگی در ماه‌های خشک می‌تواند سبب ایجاد ترسالی‌های غیرواقعی در سری داده‌ها شود و از طرف دیگر مزیت شاخص SPEI در استفاده از معادله بیلان رطوبتی و کم نمودن نقش بارندگی‌های به مقدار کم در ماه‌های خشک، این شاخص می‌تواند برای پایش واقعی‌تر شرایط رطوبتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بکار رود. اما با توجه به همبستگی بالای شاخص‌های خشکسالی در مناطق مرطوب هریک از شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI می‌تواند بر اساس هدف پایش بکار روند. بر اساس نتایج پایش وضعیت رطوبتی شاخص SPEI در ایستگاه یزد سه دوره‌ی رطوبتی مشخص از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۵، ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۶ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ قابل تشخیص می‌باشد که وضعیت رطوبتی در آن‌ها به ترتیب نشان‌دهنده وضعیت‌های خشک، مرطوب و خشک می‌باشد.

نتایج پایش وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص SPEI برای ایستگاه‌های تبریز، خرم‌آباد، تهران و بندرعباس به ترتیب به عنوان معرف‌های شرایط آب و هوایی کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه بیابانی و ساحلی بیابانی در مقیاس‌های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. در این شکل نتایج پایش به ازای یک ایستگاه از هر ناحیه‌ی آب و هوایی نشان داده شده است. بر پایه‌ی وضعیت رطوبتی پایش شده در ایستگاه‌های مذکور تقریباً با کمی تفاوت، سه دوره‌ی رطوبتی در طول ۵۱ سال گذشته قابل تشخیص می‌باشد. دوره‌ی اول شامل سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۵ می‌باشد، دوره دوم سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۷ را در برمی‌گیرد و دوره‌ی سوم از سال ۱۹۹۷ شروع شده و تا پایان سال مورد بررسی در این تحقیق (۲۰۱۰) ادامه دارد. در دوره‌ی اول برای ایستگاه‌های مورد بررسی شرایط رطوبتی اگرچه بیشتر از نوع خشکسالی می‌باشد اما در برخی سال‌ها وضعیت رطوبتی ترسالی شدید نیز مشاهده می‌شود. وضعیت رطوبتی

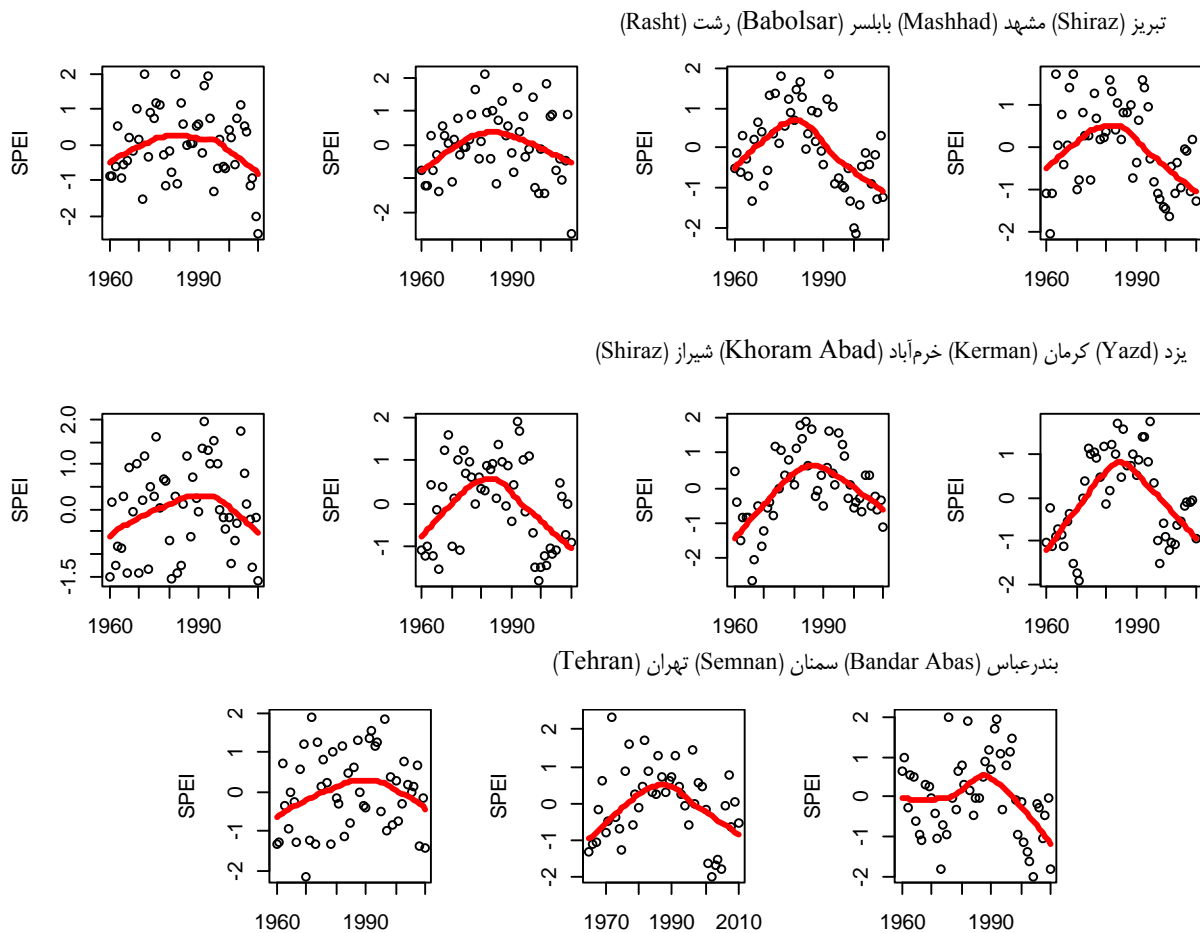


شکل ۳- نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاههای رشت و یزد در مقیاس های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس شاخص های SPEI و SPI  
 Figure 3- Results of humidity condition at Rasht and Yazd in the 3, 12 and 24 months timescales based on SPEI index



شکل ۴- نتایج پایش وضعیت رطوبتی در ایستگاه‌های تبریز، خرم‌آباد، تهران و بندرعباس در مقیاس‌های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس شاخص SPEI

Figure 4- Results of humidity condition at Tabriz, Khoram Abad, Tehran, Bandar Abbas in 3, 12 and 24 months timescales based on SPEI index



شکل ۵- منحنی‌های LOWESS برای شاخص SPEI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی  
Figure 5- LOWESS curve of SPEI index in annual time scales for given stations

سپتامبر و اکتبر مشاهده شده است. در ایستگاه سمنان بر خلاف تهران بیشتر روندهای بدست آمده (۸ ماه) از نوع کاهشی و فاقد معنی‌داری می‌باشند. در ایستگاه کرمان واقع در ناحیه‌ی بیابانی روندهای افزایشی و معنی‌دار بیشتر برای ماه‌های فصل تابستان دیده شده است در حالی که روندهای کاهشی به طور مشخص در ماه‌های فصل زمستان مشاهده می‌شوند. در ایستگاه یزد نیمی از ماه‌های سال دارای روند افزایشی و نیمی دیگر دارای روند کاهشی می‌باشند. بررسی روندهای بدست آمده در ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد که به جز دو ماه دسامبر و ژانویه با روند افزایشی سایر ماه‌های سال دارای روند از نوع کاهشی و در ماه‌های آوریل تا ژوئن این روند معنی‌دار نیز می‌باشد.

روندهای رطوبتی افزایشی و کاهشی به ترتیب نشان دهنده‌ی شرایط ترسالی و خشکسالی می‌باشند. با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی و فصلی بودن بارش، در بیشتر ماه‌های گرم سال شامل ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر

روندهای مشاهده شده در ایستگاه مشهد برای تمامی ماه‌ها به جزء ماه ژانویه از نوع کاهشی می‌باشند به طوری که در ماه‌های آوریل و اکتبر روندهای کاهشی مشاهده شده به ترتیب در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. در ایستگاه تبریز روندهای مشاهده شده در ماه‌های تابستان از نوع افزایشی و برای ماه‌های جولای و آگوست در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند و برای سایر ماه‌های سال روند مشاهده شده کاهشی می‌باشد که برای ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) روند بدست آمده در سطح ۹۹ درصد معنی‌داری را نشان می‌دهند. روندهای مشاهده شده در ایستگاه خرم‌آباد طی ماه‌های مختلف به جز آوریل و دسامبر از نوع کاهشی می‌باشند که در سطوح مورد نظر فاقد معنی‌داری می‌باشند. در ایستگاه شیراز روندهای مشاهداتی برای ماه‌های مختلف بیشتر از نوع افزایشی و در ماه‌های فصل تابستان دارای روند معنی‌دار افزایشی هستند. در ایستگاه تهران نیز روندهای افزایشی غیرمعنی‌دار طی ماه‌های نوامبر تا جولای و روندهای کاهشی غیرمعنی‌دار برای ماه‌های آگوست،

بیشتر از نوع افزایشی و در ایستگاه‌های سمنان و خرم‌آباد از نوع کاهش‌ی بوده است. در ایستگاه کرمان واقع در ناحیه‌ی بیابانی روند مشاهده شده بیشتر از نوع افزایشی می‌باشد هرچند این روند در ماه‌های زمستان از نوع کاهش‌ی بوده است و بر اساس نمودار جعبه‌ای رسم شده دامنه‌ی تغییرات رطوبتی در ماه‌های فصل زمستان بیشتر از ماه‌های فصل پائیز می‌باشد که از این جنبه روند کاهش‌ی ماه‌های فصل زمستان با اهمیت می‌باشند.

مقدار بارش‌ها ناچیز می‌باشد و اهمیت چندانی از جنبه کشاورزی به ویژه دیم ندارند. بنابراین بررسی روند وضعیت رطوبتی طی ماه‌های رشد از اکتبر تا ژوئن دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. با بررسی روند وضعیت‌های رطوبتی طی ماه‌های مذکور می‌توان بیان داشت در ایستگاه‌های مرطوب ساحلی (رشت و بابلسر)، مرطوب بیابانی (بندرعباس) بیشتر از نوع کاهش‌ی، در ایستگاه‌های واقع در نواحی کوهستانی این روند از نوع کاهش‌ی، در ایستگاه‌های تهران و شیراز

جدول ۴- نتایج روند وضعیت‌های رطوبتی بر مبنای شاخص SPEI و آزمون من- کندال در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های مورد بررسی  
Table 4- Results of humidity condition trends based on SPEI index and M-K test in monthly periods at given stations

ایستگاه Stations	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
رشت Rasht	-0.52	-0.13	-0.13	0.39	-0.08	-0.86	-0.68	-1.23	-0.37	-0.15	1.35	-0.08
بابلسر Babolsar	0.71	-0.05	-0.05	-1.02	-0.21	-2.05*	-0.97	-1.79	0.80	-0.16	1.97	-0.02
مشهد Mashhad	0.57	-0.24	-0.24	-2.44*	-0.57	-1.25	-1.66	-1.36	-1.25	-3.64**	-1.28	-0.26
تبریز tabriz	-3.02**	-3.38**	-3.38**	-2.05*	-0.50	-0.18	2.65**	2.57**	0.41	-1.53	-1.41	-1.01
شیراز Shiraz	0.47	0.08	0.08	-1.23	-0.36	2.53**	1.88	1.93	2.27*	1.54	0.62	0.83
خرم‌آباد KhoramAbad	-1.25	-0.16	-0.16	0.03	-0.15	-1.06	-1.48	-1.43	-0.37	-0.24	-0.21	0.50
تهران Tehran	0.19	0.36	0.36	0.05	0.93	2.14*	0.16	-1.43	-0.45	-0.32	0.71	0.52
سمنان Semnan	-0.68	-0.68	-0.68	0.45	-0.72	0.08	-0.28	-0.44	0.19	-0.55	-0.57	0.40
کرمان Kerman	-0.55	-0.97	-0.97	0.08	0.45	3.10**	2.86**	2.97**	1.64	0.99	0.26	1.46
یزد Yazd	0.89	-1.54	-1.54	-0.16	0.66	2.06*	2.45*	1.06	-0.15	-1.15	-1.06	1.48
بندرعباس Bandar Abas	0.73	-0.91	-0.91	-1.92	-2.45*	-2.65**	-1.38	-2.10	-0.89	-0.62	-0.37	0.58

\*\* دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، \* دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد و اعداد برجسته دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۰ درصد.

و خشک (شروع از ۱۹۹۷) در طول ۵۱ سال گذشته می‌باشد. بر اساس نتایج این شاخص وضعیت خشکسالی در دوره‌ی سوم از نظر مجموع کمبودهای رطوبتی، طول دوره و ماندگاری آن افزایش و در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به بیشترین شدت می‌رسند. مقایسه‌ی نتایج شاخص SPEI با شاخص‌های پر کاربرد SPI و RDI برای پایش وضعیت‌های رطوبتی ایستگاه‌های مختلف در مقیاس‌های کوتاه و بلندمدت نشان داد بیشترین ضریب همبستگی مربوط به نتایج ایستگاه‌های واقع در ناحیه‌ی مرطوب ساحلی می‌باشد و با خشک‌تر شدن وضعیت آب و هوایی ایستگاه در سایر مناطق مقدار ضریب همبستگی کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی ویژگی‌های مقادیر حدی رخدادهای خشکسالی و ترسالی بدست آمده بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI نشان داد

## نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر توانائی شاخص نسبتاً جدید SPEI برای پایش دوره‌های رطوبتی و روند آن‌ها در مناطق مختلف آب و هوایی ایران در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت طی یک دوره‌ی ۵۱ ساله بررسی و نتایج پایش وضعیت‌های رطوبتی با نتایج شاخص‌های متداول پایش استاندارد شده (SPI و RDI) در مقیاس‌های مختلف زمانی نیز مقایسه شدند. نتایج پایش وضعیت‌های رطوبتی بر اساس شاخص SPEI برای شرایط آب و هوایی کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی و ساحلی بیابانی در مقیاس‌های مختلف نشان دهنده‌ی سه دوره‌ی رطوبتی خشک (۱۹۶۰ تا ۱۹۷۵)، مرطوب (۱۹۸۷ تا ۱۹۹۷)

دسامبر و ژانویه تا ژوئن) می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص SPEI با منظور نمودن نقش تبخیر و تعرق در قالب مدل بیلان آبی می‌تواند در شناسایی و تشخیص وضعیت‌های رطوبتی و پیش‌بهرتر شرایط واقعی کمبود آب به ویژه در مناطق خشک با تبخیر و تعرق بالا که بخش وسیعی از کشور را شامل می‌شود بکار رود و اطلاعات بهتری را نسبت به شاخص‌های تک متغیره مبتنی بر مقدار بارش برای تصمیم‌گیری در اختیار دهد.

مقدار حدی وقایع در شاخص SPI کمی بیشتر از شاخص SPEI می‌باشند و تعداد رخداد‌های ترسالی نیز بیشتر می‌باشد، اما طول دوره و مجموع مازاد یا کمبود رطوبتی در شاخص SPEI بیشتر از شاخص SPI به ویژه در مناطق خشک می‌باشد. روند وضعیت‌های رطوبتی شاخص SPEI یک ماهه در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی (جز تهران، شیراز) بر اساس آزمون من-کنندال نشان دهنده‌ی افزایش خشکسالی (روند کاهشی) برای بیشتر ماه‌های سال زراعی (اکتبر تا

## منابع

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Alijani B., Ghohroudi M. and Arabi N. 2008. Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical Applied Climatology*, 92 (1-2): 103-112.
- Asadi Zarch M.A., Malekinezhad H., Mobin M.H., Dastorani M.T., and Kousari M.R. 2011. Drought monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Recourse Management*, 25 (13): 3485-3504.
- Blekinsop B., and Fowler H.J. 2007. Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*, 342: 50-71.
- Dinpashoh Y. 2003. Analysis meteorological drought using pattern analyzing. Ph.D. thesis, University of Tabriz. 192 pp (in Persian).
- Heim R.R. 2002. A review of twentieth- century drought indices used in the United States. *Bulletin American Meteorological Society*, 83 (8): 1149-1165.
- Helsel D.R., and Hirsch R.M. 1992. *Statistical methods in water resources* (Vol. 49). Elsevier,
- Jamshidi H., Khalili D., Rezaeian Zadeh M., and Hosseinipour E.Z. 2011. Assesment and comparison of SPI and RDI metrological drought indices in selected synoptic stations of Iran. In *World Environmental and Water Resources Congress* (pp. 1161-1173).
- Khalili D., Farnoud T., Jamshidi H., Kamgar-Haghighi A.A., and Zand-Parsa SH. 2011. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. *Water Recourse Management*, 25 (6): 1737-1757.
- Liang L., Li L. and Liu Q. 2010. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961-2005 in the Taoer River basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2): 298-306.
- Lloyd-Hughes B., and Saunders M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal Climatology*, 22 (13): 1571-1592.
- Lorenzo-Lacruz J., Vicente-Serrano S.M., López-Moreno J.I., Beguería S., García-Ruiz J.M., and Cuadrat J.M. 2010. The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386 (1): 13-26.
- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.
- Mishra A.K. and Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1): 202-216.
- Morid S., Smakhtin V., and Moghaddasi M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal Climatology*, 26: 971-985.
- Nicholls N. 2004. The changing nature of Australian droughts. *Climatic Change*, 63: 323-336.
- Partal T. and Kahya E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Process*, 20(9): 2011-2026.
- Pereira A.R., and Pruitt W.O. 2004. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 66 (3): 251-257.
- Potop, V., Boroneanț, C., Možný, M., Štěpánek, P., and Skalák, P. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and applied climatology*, 115(3-4): 563-581.
- Trenberth K.E. 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47 (1): 123-138
- Tsakiris G., Nalbantis I, Pangalou D, Tigkas D. and Vangelis, H. 2008. Drought meteorological monitoring network design for the reconnaissance drought index (RDI). In *Proceedings of the 1st International Conference "Drought management: scientific and technological innovations"*. Zaragoza, Spain: option Méditerranéennes, series A (No. 80, pp. 12-14).
- Tsakiris G., Pangalou D., and Vangelis H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Recourse Management*, 21 (5): 821-833.
- Vangelis H, Tigkas D., and Tsakiris G . 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI)

calculation. *Journal of Arid Environment*, 88: 130–140.

- 24- 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 Climate*, 23(7): 1696–1718.
- 25- Zhang X., Vincent L.A., Hogg W.D., and Niitsoo A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20<sup>th</sup> century. *Atmosphere Ocean*, 38(3): 395–429.



## Assessment of Humidity Conditions and Trends Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SEPI) Over Different Climatic Regions of Iran

M. Ghabaei Sough<sup>1</sup> - H. Zare Abyaneh<sup>2</sup> - A. Mosaedi<sup>3\*</sup> - S. Z. Samadi<sup>4</sup>

Received: 08-08-2015

Accepted: 15-02-2016

**Introduction:** Drought is a recurrent feature of climate that caused by deficiency of precipitation over time. Due to the rise in water demand and alarming climate change, recent year's observer much focus on drought and drought conditions. A multiple types of deficits and relevant temporal scales can be achieved through the construction of a joint indicator that draws on information from multiple sources and will therefore enable better assessment of drought characteristics including return period, persistent and severity. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) combines information from precipitation and temperature in the form of water surplus or deficit according to Standardized Precipitation Index (SPI). Rainfall over some regions of Iran during some resent year was below average while mean and maximum temperatures were very high during this period, as was evaporation. This would suggest that drought conditions were worse than in previous recent periods with similarly low rainfall. The main objective of this study is to assess the influences of humidity on the SPEI index and investigate its relation with SPI and Reconnaissance Drought Index (RDI) over six different climatic regions in Iran.

**Materials and Methods:** Iran has different climatic conditions which vary from desert in central part to costal wet near the Caspian Sea. In this study the selection of stations was done based on Alijani et al (2008) climatic classification. We chose 11 synoptic stations from six different climatic classes including costal wet (Rasht and Babolsar), semi mountains (Mashhad and Tabriz), mountains (Shiraz and Khoram Abad), semi-arid (Tehran and Semnan), arid (Kerman and Yazd) and costal desert (Bandar Abas). The Meteorological datasets for the aforementioned stations were obtained from the Iran Meteorological Organization (IRIMO) for the period 1960-2010. The compiled data included average monthly values of precipitation, minimum and maximum air temperature, mean relative humidity, sunshine hours) and wind speed at 2 m height. A probability-based overall water deficit assessment was achieved from multiple drought-related indices (i.e. SPEI, SPI and RDI). The humidity conditions were monitored for given stations based on each index during annual, short term (1, 3 and 6 months) and long term (9, 12, 18 and 24 months) periods. This research further examine the Locally Weighted Scatter plot Smoothing (LOWESS) graphical method and nonparametric Man-Kendal test to evaluate the trends associated with humidity deficiency in annual and monthly time scales during 51 years period (i.e. 1960-2010).

**Results and Discussion:** Our results revealed that the maximum correlation between SPEI index with indices of SPI and RDI was achieved in the coastal wet region and with a declining trend in relative humidity condition in the rest of the regions, this correlation is down over both short- and long-term periods. A comparison between SPI and SPEI also performed that the SPI index was able to reflect prolonged drought over the costal wet region where it showed significant inconstancy in desert and semi desert regions. SPEI result suggested substantial deficiencies in relative humidity at the beginning of 1997 during long term period which indicated an increasing trend of drought statues during last decades. Overall, according to the results of SPEI index in 1month periods monthly drought assessment showed a declining trend in drought magnitude during autumn, winter and spring season months (October to June) at investigated stations excepts Tehran and Shiraz stations and with a potential deficiency in relative humidity conditions. Unlikely, annual trend showed increasing trends in drought frequency and persistent over last decade.

**Conclusion:** Our results can be summarized as below:

Focusing on various types of deficits, the result of humidity based deficiencies indicated that for semi-mountains, mountains, semi-arid, arid and costal desert regions the period of 1997 to 2010 has a large total

1 and 2- Ph.D. Candidate and Associate Professor, Department of Water Eng, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

3- Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

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

4- Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

moisture shortage over all climatic regions. Most of the climate stations showed moisture deficits (decline trends) during October to June (9-month) at many stations except Tehran and Shiraz stations which revealed a significant increasing over 51 years. We recommend using SPEI index for arid and semi-arid regions because it includes temperature variability in drought model so it reflects drought conditions better than other indices. Furthermore, three drought indices (i.e. SPEI, SPI and RDI) have similar sensitivity to water deficits over wet climatic regions; therefore, each of those indices can be used.

**Keywords:** Drought, LOWESS Graphical Technique, Man-Kendal Test, Water Surplus or Deficit