

## مقایسه شاخص‌های SPI، RDI و SPEI جهت پایش خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه کرمانشاه)

جعفر نیکبخت<sup>۱\*</sup>، فاطمه هادلی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵

### چکیده

در سال‌های اخیر در اثر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات عوامل هواشناسی، رخداد خشکسالی در مناطق مختلف جهان افزایش یافته است. هدف از پژوهش حاضر پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SPEI و بررسی خصوصیات این پدیده (شدت، بزرگی و تداوم خشکسالی) در شرایط تغییر اقلیم در ایستگاه کرمانشاه طی دوره آماری ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. پنجره‌های زمانی مورد بررسی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه بودند. جهت برآورد مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل (ET<sub>p</sub>) از معادله هارگریوز-سامانی استفاده شد. روندیابی سری داده‌ها با آزمون من-کندال انجام شد. همچنین برای تعیین نقاط تغییر و جهش در سری زمانی، روش من-کندال رتبه‌ای، بکار رفت. نتایج نشان داد در دوره مطالعاتی، مقادیر دمای هوا و ET<sub>p</sub> در ایستگاه کرمانشاه افزایش یافته است در حالی که مقادیر بارش کاهش نشان داد. حساسیت دو شاخص RDI و SPEI به تغییرات اقلیمی بیش‌تر از شاخص SPI به دست آمد. بر اساس نتایج، در پنجره زمانی ۶ ماهه، و در شاخص‌های SPI و RDI، بزرگی خشکسالی و ترسالی در دوره بعد از ۱۹۹۴ (سال جهش) در قیاس با دوره قبل از آن، کاهش یافته است در حالی که در شاخص SPEI این حالت فقط در شرایط ترسالی مشاهده شد و در شرایط خشکسالی تغییرات این دو دوره قابل ملاحظه نبود. در هر ۳ شاخص و در پنجره‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه، بزرگی خشکسالی در دوره بعد از سال ۱۹۹۴ نسبت به دوره قبل از آن، افزایش نشان داد. در پنجره‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه، تغییرات بزرگی خشکسالی دو شاخص RDI و SPEI برای هر دو دوره قبل و بعد از ۱۹۹۴ بیش‌تر از SPI بود.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، روند، پنجره زمانی، کرمانشاه

### مقدمه

(Modaresi et al., 2010). تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر مقادیر دما و بارندگی به عنوان پارامترهای اصلی به وجود آورنده اقلیم یک منطقه، بسیار محسوس‌تر می‌باشد (Salari and Gandomkar, 2012). بنابراین خشکسالی به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی شناخته شده، بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد (Node Farahani et al., 2018; Shimola and Krishnaveni, 2014). توجه به نقش حیاتی آب در زندگی بشر، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مشخصات خشکسالی (شدت، بزرگی و تداوم خشکسالی) برای هر منطقه ضروری می‌باشد (Deihimfard et al., 2016). تحت تأثیر خشکسالی، بخش کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی دچار آسیب شده که موجب افزایش مهاجرت

بر اساس یافته‌های علمی، به دلیل تغییر در میزان تبادل انرژی در سیستم اقلیمی، روند تغییرات آب و هوای کره زمین ناشی از تابش‌های خورشیدی در حال حاضر، با شتاب بیش‌تری نسبت به دوره‌های گذشته در حال انجام است (Khourani and Jamali, 2015; Bahrami et al., 2015). رخداد این شرایط که با عنوان پدیده تغییر اقلیم شناخته می‌شود، باعث انحراف شرایط آب و هوایی مناطق مختلف جهان نسبت به افق زمانی بلندمدت گردیده است

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(\*نویسنده مسئول: [Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir](mailto:Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir))

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

نحوه ارجاع مقاله:

تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما به دلیل گرمایش جهانی را دارد (Zareabyaneh et al., 2015). مقایسه شاخص‌های RDI و SPI برای تحلیل خشکسالی ایستگاه‌های قزوین و تاکستان توسط (Shokoochi, 2012) نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان دو شاخص در ارزیابی و پایش خشکسالی ایستگاه‌ها وجود نداشت ولی در خشکسالی‌های بسیار شدید شاخص RDI حساسیت بیشتری را نشان داد. (Khorrabakht et al., 2014) طی تحقیقی با استفاده از شاخص‌های  $ZSI^4$ ،  $CZI^5$ ، SPI و RDI مشخصه‌های خشکسالی را در ۱۹ ایستگاه منطقه لارستان برای دوره ۱۳۹۲-۱۳۶۸ ارزیابی کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد تداوم خشکسالی به دست آمده با شاخص ZSI بیش از شاخص‌های SPI، CZI و RDI بود و در مقیاس ماهانه، SPI مشخصه شدت را بیش از سایر شاخص‌های دیگر نمایان ساخت اما در مقیاس سالانه حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از سایر شاخص‌ها بود. Zehtabian et al., (2013) با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای، شباهت‌ها و اختلافات دو شاخص SPI و RDI را ۶ ایستگاه خراسان جنوبی برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس یافته‌های پژوهش، با شاخص RDI تناوب خشکسالی با شدت‌های بالا بیش‌تر حاصل شد که بیان‌گر مطابقت بیش‌تر این شاخص نسبت به SPI در منطقه مورد مطالعه بود. طی پژوهشی، (Potop et al., 2014) تغییرات مقادیر خشکسالی محاسبه شده با شاخص SPEI را در ۱۸۴ ایستگاه کلیماتولوژی جمهوری چک در طول فصل رشد (آوریل تا سپتامبر) برای دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند. در این تحقیق از آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی روند داده‌های SPEI استفاده شد. نتایج، روند منفی داده‌ها را در اکثر ایستگاه‌ها نشان داد (افزایش خشکسالی) که در ۴۰ درصد ایستگاه‌ها روند منفی حاصل، از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۰ درصد و بالاتر معنی‌دار بود. (Tan et al., 2015) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی با دو شاخص SPI و SPEI در منطقه Ningxia در چین طی دوره ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۱، نتیجه گرفتند در منطقه مورد مطالعه، شاخص SPEI نسبت به SPI، قابلیت بهتری در تشخیص تأثیر تغییر اقلیم و تغییرات خشکسالی را داشت. در طول دوره مورد

انسان‌ها، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌گردد (Vergni and Todisco, 2011; Mosaedi et al., 2017; Node Farahani et al., 2018). به منظور کمی‌سازی خشکسالی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که اساس این شاخص‌ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر محاسبه شده از میانگین دراز مدت آن است (Bazrafshan et al., 2011). شاخص بارش استاندارد (SPI)<sup>۱</sup> یکی از کاراترین شاخص‌های برای پایش خشکسالی است که اولین بار توسط McKee et al., (1993) توسعه یافت (Fakhrabadi et al., 2014). ویژگی شاخص SPI این امکان را به تحلیل‌گر می‌دهد تا پدیده خشکسالی و ترسالی را در مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه‌ای از دنیا تعیین نماید (Tabouzadeh et al., 2016). اما کاربرد داده‌های متغیر بارش، اساسی‌ترین ایراد این شاخص در پایش خشکسالی می‌باشد (Xianfeng et al., 2018) و از سایر متغیرهای مؤثر بر خشکسالی مانند دما، تبخیرتغرق، سرعت باد و ذخیره رطوبتی خاک در این شاخص استفاده نمی‌شود (Vicente-Serrano et al., 2010). بر همین اساس (Tsakiris and Vangelis, 2005) شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)<sup>۲</sup> را معرفی کردند که در آن علاوه بر داده‌های بارش، از مقادیر تبخیرتغرق پتانسیل نیز استفاده می‌شود (Shokoochi, 2012). به دلیل استفاده از مقادیر تبخیرتغرق پتانسیل در پایش خشکسالی با RDI، این شاخص نسبت به SPI به متغیرها و تغییرات آب و هوایی حساسیت بیش‌تری دارد (Mosaedi et al., 2017). یکی از محدودیت‌های محاسبه مقادیر RDI زمانی است که مقدار تبخیرتغرق پتانسیل صفر می‌گردد (مقدار معمول در طول زمستان) (Vicente-Serrano et al., 2010). در این راستا (Serrano et al., 2010) شاخص جدیدی را که از اختلاف مقدار بارش و تبخیرتغرق پتانسیل به دست می‌آید ارائه نموده و آن را شاخص بارش-تبخیرتغرق استاندارد شده (SPEI)<sup>۳</sup> نامیدند (Xianfeng et al., 2018). مهم‌ترین مزیت شاخص SPEI نسبت به دیگر شاخص‌های پایش خشکسالی این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر

<sup>1</sup>. Standardized Precipitation Index

<sup>2</sup>. Reconnaissance Drought Index

<sup>3</sup>. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

<sup>4</sup> Z-Score Index

<sup>5</sup> China Z-Index

شاخص RDI و SPEI به دلیل استفاده از مقادیر مصرف آب و تبخیر-تعرق پتانسیل در پایش خشکسالی، به عنوان دو شاخص برتر تعیین شد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه توانایی شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SPEI در پایش خشکسالی و مشخصات آن (شدت، بزرگی و تداوم) در شرایط تغییر اقلیم در ایستگاه هواشناسی همدیدی کرمانشاه بود.

### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بر روی ایستگاه هواشناسی همدیدی کرمانشاه واقع در غرب ایران انجام شد. آمار و اطلاعات روزانه پارامترهای هواشناسی (بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه) ایستگاه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه را نشان می‌دهد. برای تعیین اقلیم ایستگاه، از اقلیم‌نمای آمبرژه استفاده شد.

Table 1- Characteristics of Kermanshah synoptic meteorological station

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمانشاه

Latitude	34.352° N
Longitude	47.153° E
Altitude	1318.5 m
Data Period	1963-2019
Climate Type	Semi Arid Cold
*Emberger Classification method)	

هم‌چنان که بیان شد شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، شناسایی خشکسالی (RDI) و بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) برای پایش خشکسالی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

### شاخص SPI

اساس شاخص SPI بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. به عبارت بهتر، شاخص SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. به دلیل سادگی در محاسبه، سازگاری با شرایط محیطی و زمانی و نیز تفسیر آسان نتایج آن، این شاخص مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. برای محاسبه شاخص بارش استاندارد، ابتدا لازم است مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی تجمع بر سری طولانی مدت داده‌های بارندگی برازش داده شود. بسیاری از پژوهشگران از جمله McKee et al., (1993) در این زمینه توزیع گاما را پیشنهاد داده‌اند.

بررسی، میزان SPEI حدود ۰/۳۷ در هر دهه کاهش داشت. گستره پایش شده با شاخص SPEI در فصل بهار ۱۴/۴ درصد در هر دهه افزایش را نشان داد. Bazrafshan et al., (2017) طی تحقیقی روند تغییرات خشکسالی محاسبه شده با SPI و SPEI را در سواحل خلیج فارس و دریای عمان طی دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ ارزیابی کردند. مقایسه نتایج دو شاخص در تحلیل خشکسالی و درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماه نشان داد، روند تغییرات شاخص مشابه اما شاخص SPEI نسبت به SPI فرکانس بالاتری از خشکسالی و پاسخ سریع‌تری به تغییرات رطوبتی نشان داد. هم‌چنین بررسی روند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده روند فزاینده خشکسالی بود که با افزایش مقیاس زمانی، شیب روند شاخص SPEI نسبت به SPI قوی‌تر بود. Adnan et al., (2018) طی پژوهشی با استفاده از داده‌های ۵۸ ایستگاه مختلف در کشور پاکستان برای دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴، عملکرد ۱۵ شاخص مختلف خشکسالی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دهنده عملکرد خوب ۳ شاخص SPI، RDI و SPEI در پایش خشکسالی در کشور پاکستان در مقایسه با سایر شاخص‌های مورد بررسی بود. Ekhtiyari Khajeh et al., (2019) طی پژوهشی مشخصه‌های خشکسالی ۸ ایستگاه ایران را طی دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۴ با دو شاخص چند معرفه RDI و SPI و شاخص تک معرفه SPI بررسی کردند. بر اساس نتایج تحقیق، در ایستگاه‌های اراک، تبریز، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان شاخص SPI و در ایستگاه‌های بندرانزلی و تهران شاخص RDI به عنوان مناسبترین شاخص خشکسالی انتخاب شد. Katipoğlu et al., (2020) طی پژوهشی مزایا و معایب ۵ شاخص ZSI، RAI<sup>۱</sup>، RDI و SPEI در پایش خشکسالی را در ترکیه مورد بررسی قرار دادند. دوره آماری مورد استفاده ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۷ و پنجره‌های زمانی محاسبه شده ماهانه، ۳ ماهه و ۱۲ ماهه بود. بر اساس نتایج الگوهای خشکسالی پایش شده با دو شاخص SPI و ZSI شبیه هم و دو شاخص RDI و SPEI شبیه یکدیگر بودند. عملکرد شاخص RAI در پایش شرایط حدی خشکسالی و ترسالی بهتر از بقیه شاخص‌ها بود. بر اساس نتایج پژوهش، دو

<sup>۱</sup> Rainfall Anomaly Index

هارگریوز-سامانی جهت محاسبه مقادیر  $ET_p$  استفاده شد (Shamsnia and Torabi Tabatabai, 2019).

### شاخص SPEI

جهت محاسبه این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف، از معادله ساده بیلان آب (معادله ۲) استفاده می‌شود.

$$D_i = P_i - ET_{P_i} \quad (2)$$

که در آن،  $P_i$  مقدار بارندگی ماه  $i$ ،  $ET_{P_i}$  مقدار تبخیرتغرق پتانسیل برای ماه  $i$ ،  $D_i$  اختلاف مقدار بارندگی و مقدار تبخیرتغرق پتانسیل برای ماه  $i$  می‌باشد (Bazrafshan et al., 2017). با توجه به آن که مقادیر  $D_i$  از کران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند، توابع احتمال دو پارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. محققان با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر تشخیص داده‌اند. همانند روش ذکر شده برای مقادیر  $SPI$ ، پس محاسبه مقادیر  $D_i$  برای پنجره‌های آماری مختلف و برازش تابع توزیع تجمعی لوگ-لوجستیک بر آن‌ها، با روش انتقال، مقادیر نرمال داده‌ها با میانگین صفر و انحراف معیار یک محاسبه شد. مقادیر حاصل، مقادیر شاخص  $SPEI$  بود (Goodarzi et al., 2019). در نهایت بر اساس جدول ۲، پایش خشکسالی شد. در ادامه پژوهش به منظور بررسی اثر تغییرات آب و هوایی بر داده‌های بارش، ابتدا با کمک روش ناپارامتری من-کندال، وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها بررسی شد (Bazrafshan et al., 2017). پس از تأیید وقوع روند در داده‌ها، به منظور بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر مشخصه‌های خشکسالی، سال شروع روند یا سال جهش در داده‌ها با کمک روش من-کندال رتبه‌ای تعیین گردید (Sneyers, 1990). لازم به توضیح است که کل دوره آماری قابل دسترس در ایستگاه کرمانشاه ۱۹۵۰-۲۰۱۹ بود که پس از بررسی دوره‌های مختلف (روش حذفی) با آماره  $Z$  روش من-کندال و سطح معنی داری ۹۵ درصد و بالاتر، نتیجه شد دوره ۱۹۶۳-۲۰۱۹ از تغییر اقلیم تأثیر پذیرفته که در ادامه پژوهش از این دوره آماری استفاده به عمل آمد. پس از تعیین سال شروع جهش، مشخصه‌های خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی) برای کلیه پنجره‌های زمانی تشکیل شده برای شاخص‌های  $SPI$

بنابراین ابتدا توزیع گاما بر هر یک از سری داده‌های تشکیل یافته برازش داده شد. پنجره‌های زمانی مورد بررسی در این تحقیق، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بود. در مرحله بعد، به منظور تعیین مقادیر  $SPI$ ، مقادیر احتمال تجمعی به دست آمده از توزیع گاما برای تک تک داده‌های بارش هر یک از پنجره‌های آماری، به توزیع نرمال استاندارد تجمعی (با میانگین صفر و انحراف از معیار یک) انتقال داده شد. مقادیر حاصل از توزیع نرمال، مقادیر  $SPI$  بود (Nikbakht and Moradi, 2019). در نهایت با استفاده از جدول ۲، شرایط خشکسالی و ترسالی مقادیر محاسباتی در پنجره‌های زمانی تعیین شد.

Table 2- The SPI values and drought severity categories (Nikbakht and Moradi, 2019)

جدول ۲- مقادیر  $SPI$  و طبقه‌های شدت خشکسالی (Nikbakht and Moradi, 2019)

Drought severity categories	SPI values
Extremely wet	$\geq 2$
Severely wet	1.50 ~ 1.99
Moderately wet	1.00 ~ 1.49
Normal	0.99 ~ -0.99
Moderate drought	-1.00 ~ -1.49
Severe drought	-1.50 ~ -1.99
Extreme drought	$\leq -2$

### شاخص RDI

جهت محاسبه مقادیر خشکسالی بر پایه شاخص  $RDI$ ، ابتدا با کمک معادله ۱ مقادیر  $\alpha_0$  برای هر یک از پنجره‌های زمانی محاسبه شد.

$$\alpha_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

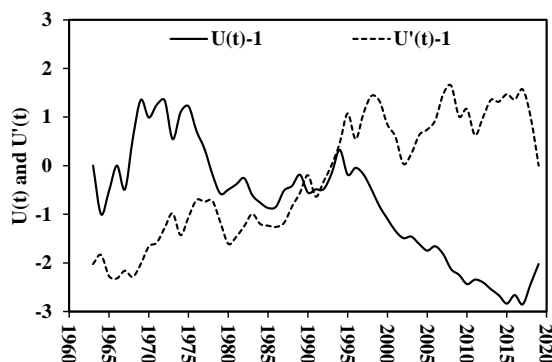
در اینجا  $P$  و  $PET$  به ترتیب بارندگی و تبخیرتغرق پتانسیل در  $Z$  امین ماه سال  $i$  هستند (Khoorani and Jamali, 2015). همانند  $SPI$ ، پس از تشکیل هر یک از پنجره‌های زمانی، ابتدا مناسب‌ترین تابع توزیع احتمالاتی بر داده‌های  $\alpha_0^i$  برازش داده شده و در نهایت با روش انتقال به تابع توزیع نرمال، مقادیر  $RDI$  حاصل شد. بر اساس پیشنهاد صورت گرفته، از تابع توزیع تجمعی لوگ-نرمال جهت برازش بر داده‌های  $\alpha_0^i$  استفاده به عمل آمد (Shokoohi, 2012). با در نظر گرفتن طول دوره آماری داده‌های پارامترهای هواشناسی و استفاده از بیش‌ترین دوره آماری، در این پژوهش از روش ساده

شد که شکل ۱ به عنوان نمونه نتایج حاصل برای مقادیر بارش را نشان می‌دهد.

**Table 3- Mann-Kendall's Z values and Theil-Sen's slope values of meteorological parameters at Kermanshah station**

جدول ۳- مقادیر Z من-کندال و شیب تیل-سن (Q)

Variable	Z	Q
T <sub>min</sub>	7.00***	0.05
T <sub>max</sub>	5.51***	0.05
T <sub>mean</sub>	6.86***	0.05
Rainfall	-2.02*	-2.16
ET <sub>P</sub> (HS)	4.36***	1.79



**Figure 1- determination of change point year in annual rainfall by sequential Mann-Kendall test at Kermanshah station**

شکل ۱- تعیین سال شروع جهش در مقادیر مجموع بارش سالانه در ایستگاه کرمانشاه با روش من-کندال رتبه‌ای

با توجه به نتایج روش من-کندال رتبه‌ای، شروع جهش در مقادیر پارامترهای هواشناسی دوره آماری مورد بررسی (۲۰۱۹-۱۹۶۳) در ایستگاه کرمانشاه از سال ۱۹۹۴ بوده است. در جدول ۴ اثر تغییر اقلیم و رخ داد روند بر میانگین مقادیر پارامترهای هواشناسی در دو دوره قبل و بعد از سال جهش نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود، میانگین مقادیر دمای حداقل، حداکثر و متوسط دمای هوا در دوره بعد از شروع جهش نسبت به دوره قبل از سال جهش ۲۶/۳، ۸/۳ و ۱۲/۰ درصد افزایش یافته است. به دلیل این که روش هارگریوز-سامانی یک روش تجربی مبتنی بر دما برای محاسبه تبخیر-تعرق می‌باشد، افزایش دما در دوره بعد از سال جهش باعث افزایش میانگین مقادیر ET<sub>P</sub>(HS) به میزان ۵/۶ درصد نسبت به دوره قبل از آن شده است. میزان کاهش میانگین بارش در دوره بعد از سال شروع روند نسبت به دوره قبل ۱۸ درصد به دست آمد. برای بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییر

RDI و SPEI برای سال‌های قبل و بعد از جهش محاسبه شد. یکی از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی، تئوری ران می‌باشد. با استفاده از این تئوری سه ویژگی مهم خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی) را می‌توان تعیین نمود. بر اساس این روش، طول دوره خشکسالی برابر فاصله زمانی است که در طی آن، مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی کمتر است. بر این اساس طول دوره خشکسالی یا تداوم خشکسالی با کمک معادله ۳ محاسبه شد (Mosaedi et al., 2017).

$$DL = t_f - t_i + 1 \quad (3)$$

که در آن  $t_i$  و  $t_f$  به ترتیب زمان شروع و پایان خشکسالی و DL طول دوره (تداوم) خشکسالی می‌باشد. مجموع کمبودها یا شدت خشکسالی (DS) برابر با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر در دوره وقوع خشکسالی می‌باشد. بر این اساس شدت خشکسالی (DS) با در نظر گرفتن سطح آستانه  $X_0$  برای متغیر اصلی  $X_t$  به صورت معادله ۴ تعیین شد (Mosaedi et al., 2017).

$$DS = \sum_{t=1}^{dl} |x_0 - x_t| \quad (4)$$

بزرگی خشکسالی (DM) که همان میانگین کمبودها است برابر با نسبت مجموع کمبودها (DS) به طول دوره خشکسالی (DL) بوده که از معادله ۵ محاسبه شد (Mosaedi et al., 2017).

$$DM = \frac{DS}{DL} \quad (5)$$

## نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج بررسی وجود روند در مقادیر مجموع بارش سالانه، حداقل، حداکثر و میانگین دمای سالانه و مقادیر ET<sub>P</sub> محاسبه شده با روش هارگریوز-سامانی را در ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر Z محاسبه شده و سطح معنی‌داری آن (۹۵ تا ۹۹/۹ درصد)، در پنجره زمانی مقادیر سالانه پارامترهای هواشناسی مورد بررسی، در اثر تغییر اقلیم روند وجود دارد. هم چنین با توجه به مقادیر Z و Q، نتیجه می‌شود مقادیر بارش سالانه دارای روند کاهشی و مقادیر دما و به تبع آن مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل روند افزایشی می‌باشد. همان طور که بیان شد برای تعیین سال شروع روند در مقادیر پارامترهای هواشناسی از روش من-کندال رتبه‌ای استفاده

از سال جهش ترسیم و میزان شیب آن به دست آمد (جدول ۴) که برای نمونه شکل ۲ روش اعمال شده برای مقادیر بارش و  $ET_p(HS)$  سالانه را نشان می‌دهد.

اقلیم بر مقادیر پارامترهای هواشناسی در دو دوره قبل و بعد از سال جهش، ابتدا میزان تغییر رخ داده در مقادیر پارامترهای هواشناسی در سال جهش محاسبه شد. سپس بهترین خط عبوری از بین مقادیر برای دو دوره قبل و بعد

**Table 4- Mean annual values of weather variables and slope of regression line in Kermanshah station**  
جدول ۴- میانگین مقادیر سالانه پارامترهای هواشناسی و شیب بهترین خط عبوری از بین آن‌ها در ایستگاه کرمانشاه

Variable	Data period			Fitted line slope		
	T.D.P.	B.C.P.	A.C.P.	T.D.P.	B.C.P.	A.C.P.
$T_{min}$	6.4	5.8	7.3	0.0535	0.0518	0.0570
$T_{max}$	23.0	22.2	24.0	0.0471	0.0022	-0.0055
$T_{mean}$	14.7	14.0	15.7	0.0503	0.0270	0.0258
Rainfall	451.0	489.7	401.5	-1.8224	-0.0136	5.5344
$ET_p(HS)$	1440.8	1406.5	1484.8	1.7826	-0.7599	-1.3181

T.D.P.: Total data period; B.C.P.: Before change point; A.C.P.: After change point

برای دوره آماری ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۲ بود. در این تحقیق سال جهش مقادیر دما، ۱۹۹۲ به دست آمد. Basati et al., (2014) طی تحقیقی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر باران و دمای هوا را در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰ در ایستگاه کرمانشاه با آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج، مقادیر بارش روند معنی‌دار کاهشی و مقادیر دمای هوا روند معنی‌دار افزایشی در این دوره داشت. در این پژوهش سال جهش مقادیر دمای هوا ۱۹۹۴ و مقادیر بارش ۱۹۹۶ به دست آمد. درصد فراوانی نسبی طبقه‌های مختلف خشکسالی و میانگین مقادیر هر طبقه (مقدار داخل پرانتز) در دوره‌های قبل و بعد از سال شروع جهش در جدول ۵ و تغییرات مقادیر  $SPI$ ،  $RDI$  و  $SPEI$  در طول دوره آماری مورد بررسی برای پنجره‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماه در شکل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در پنجره زمانی ۶ ماه در هر ۳ شاخص مورد بررسی، درصد فراوانی هر کدام از طبقه‌های خشکسالی و نرمال در دوره بعد از سال شروع جهش، نسبت به دوره قبل از آن افزایش و در شرایط ترسالی کاهش داشت به طوری که درصد فراوانی کل طبقات خشکسالی  $5/9$  ( $SPI$ )،  $5/2$  ( $RDI$ ) و  $6/3$  ( $SPEI$ ) درصد بیش‌تر گردیده است. در شرایط نرمال نیز این مقادیر به ترتیب ۲، ۲ و ۳ درصد (به ترتیب  $SPI$ ،  $RDI$  و  $SPEI$ ) افزایش داشت. بنابراین در نتیجه افزایش تعداد دوره‌های خشکسالی و نرمال در دوره بعد از سال جهش، درصد فراوانی شرایط ترسالی در این دوره به ترتیب  $7/8$  ( $SPI$ )،  $7/0$  ( $RDI$ ) و  $8/8$  ( $SPEI$ ) درصد نسبت به دوره قبل از سال جهش کاهش نشان داد.

با توجه به جدول ۴ و تغییرات به دست آمده در سال جهش، مقادیر دمای حداقل و حداکثر هوا در دوره قبل از سال جهش افزایشی بود ولی در سال جهش دمای حداقل  $22/6$ -درصد کاهش یافته سپس مجدداً روند افزایشی یافته است در حالی که دمای حداکثر در سال جهش  $5/7$  درصد افزایش را نشان داد و سپس در دوره بعد از سال جهش روند کاهشی داشت. بر اساس میزان شیب روند تغییرات مقادیر دمای حداقل و حداکثر برای دو دوره، روند تغییرات مقادیر متوسط هوا با روند تغییرات دمای حداقل هماهنگی داشت به طوری که برای دو دوره قبل و بعد از سال جهش افزایشی بوده و در سال جهش  $1/2$ -درصد کاهش داشت. داده‌های بارش در کل دوره آماری روند کاهشی داشت که این شرایط برای دوره قبل شروع جهش نیز برقرار می‌باشد. در سال جهش مقادیر بارش  $69/3$ -درصد کاهش را نشان داد که بعد از این کاهش، در روند داده‌ها افزایشی گردیده است که می‌توان نتیجه گرفت کاهش زیاد مقادیر بارش در سال جهش موجب گردیده است تا روند کلی داده‌های بارش برای کل دوره آماری کاهشی باشد. در مقادیر تبخیرتقرق پتانسیل روند داده‌ها برای دو دوره کاملاً با مقادیر پارامترهای دیگر متفاوت است. با وجودی که روند کلی داده‌ها افزایشی است ولی روند داده‌ها برای هر دو دوره کاهش را نشان می‌دهد که علت آن میزان افزایش رخ داده در این داده‌ها در سال جهش  $5/9$  (درصد) بوده است. یافته‌های Pari et al., (2018) نشان دهنده روند کاهشی در داده‌های بارش و روند افزایشی در داده‌های دما متوسط ایستگاه کرمانشاه

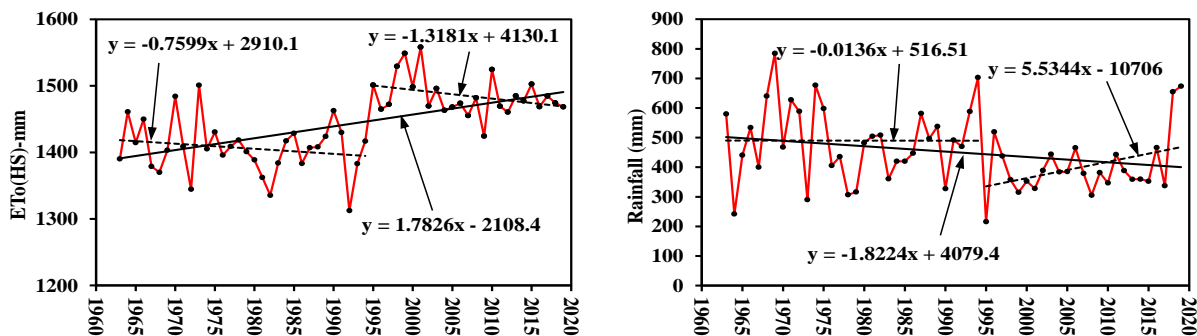


Figure 2- Annual rainfall and  $ET_p(HS)$  changes and fitted line on data of total period, before and after change point

شکل ۲- تغییرات بارش و تبخیر تعرق پتانسیل سالانه و بهترین خط عبوری از مقادیر برای کل دوره، سال‌های قبل و بعد از جهش

Table 5- Percentage of relative frequency and average of drought categories (values in parentheses), calculated by different indices for before and After change point data periods at different time windows

جدول ۵- درصد فراوانی نسبی و متوسط طبقه‌های مختلف خشکسالی (اعداد داخل پانتهز) محاسبه شده با شاخص‌های مختلف برای

دوره‌های قبل و بعد از شروع جهش در پنجره‌های زمانی متفاوت

Index	Period	Extreme drought	Severe drought	Moderate drought	Sum (Drought)	Normal	Sum (Wet)	Moderately wet	Severely wet	Extremely wet	
6-month time series	SPI	B.C.P.	6.5 (-2.7)	4.3 (-1.7)	7.0 (-1.2)	17.7 (-1.9)	61 (0.1)	21.2 (1.7)	13.2 (1.2)	5.9 (1.7)	2.2 (2.3)
		A.C.P.	8.2 (-2.6)	5.9 (-1.7)	9.5 (-1.3)	23.6 (-1.9)	63 (0.1)	13.4 (1.6)	10.8 (1.2)	2.3 (1.7)	0.3 (2.0)
	RDI	B.C.P.	2.7 (-2.9)	5.1 (-1.8)	6.7 (-1.2)	14.5 (-1.9)	67 (0.1)	18.5 (1.5)	16.4 (1.2)	2.2 (1.7)	0.0 (---)
		A.C.P.	4.3 (-2.5)	5.6 (-1.7)	9.8 (-1.2)	19.7 (-1.8)	69 (0.1)	11.5 (1.4)	10.8 (1.2)	0.7 (1.6)	0.0 (---)
	SPEI	B.C.P.	0.0 (---)	1.9 (-1.5)	18.0 (-1.2)	19.9 (-1.4)	56 (0.0)	23.9 (1.4)	21.2 (1.2)	2.7 (1.7)	0.0 (---)
		A.C.P.	0.0 (---)	4.9 (-1.6)	21.3 (-1.3)	26.2 (-1.4)	59 (0.1)	15.1 (1.4)	14.4 (1.2)	0.7 (15.1)	0.0 (---)
12-month time series	SPI	B.C.P.	0.0 (---)	1.1 (-1.7)	10.8 (-1.3)	11.8 (-1.5)	69 (0.2)	19.1 (1.8)	8.3 (1.2)	7.0 (1.7)	3.8 (2.5)
		A.C.P.	5.1 (-2.5)	7.1 (-1.7)	7.1 (-1.2)	19.2 (-1.8)	72 (-0.2)	8.8 (1.7)	3.4 (1.3)	4.4 (1.6)	1.0 (2.2)
	RDI	B.C.P.	0.0 (---)	0.5 (-1.8)	10.8 (-1.3)	11.3 (-1.5)	69 (0.3)	19.4 (1.8)	10.2 (1.3)	6.2 (1.7)	3.0 (2.3)
		A.C.P.	8.8 (-2.5)	3.7 (-1.8)	9.1 (-1.2)	21.5 (-1.8)	70 (-0.2)	8.4 (1.7)	7.1 (1.3)	1.0 (1.7)	0.3 (2.0)
	SPEI	B.C.P.	0.0 (---)	0.3 (-1.5)	6.7 (-1.2)	7.0 (-1.4)	69 (0.2)	24.5 (1.7)	14.8 (1.2)	6.7 (1.7)	3.0 (2.3)
		A.C.P.	5.1 (-2.2)	9.1 (-1.8)	14.8 (-1.2)	29.0 (-1.7)	63 (-0.4)	8.4 (1.5)	7.4 (1.2)	1.0 (1.8)	0.0 (---)
24-month time series	SPI	B.C.P.	0.0 (---)	1.9 (-1.6)	3.2 (-1.2)	5.1 (-1.4)	73 (0.2)	22.0 (1.8)	11.0 (1.3)	5.4 (1.7)	5.6 (2.5)
		A.C.P.	4.9 (-2.4)	4.2 (-1.7)	19.3 (-1.2)	28.4 (-1.8)	66 (-0.3)	5.3 (1.7)	4.2 (1.1)	0.7 (1.8)	0.4 (2.2)
	RDI	B.C.P.	0.0 (---)	1.1 (-1.8)	2.4 (-1.3)	3.5 (-1.5)	72 (0.2)	25.0 (1.7)	13.7 (1.2)	5.9 (1.7)	5.4 (2.3)
		A.C.P.	5.6 (-2.6)	7.7 (-1.7)	18.6 (-1.2)	31.9 (-1.8)	67 (-0.3)	1.1 (1.6)	0.4 (1.4)	0.7 (1.7)	0.0 (---)
	SPEI	B.C.P.	0.0 (---)	0.0 (---)	1.6 (-1.1)	1.6 (-1.1)	70 (0.3)	28.0 (1.7)	16.9 (1.2)	7.5 (1.7)	3.5 (2.2)
		A.C.P.	3.2 (-2.4)	12.3 (-1.7)	21.1 (-1.2)	36.5 (-2.9)	63 (-0.4)	1.1 (1.3)	1.1 (1.3)	0.0 (---)	0.0 (---)

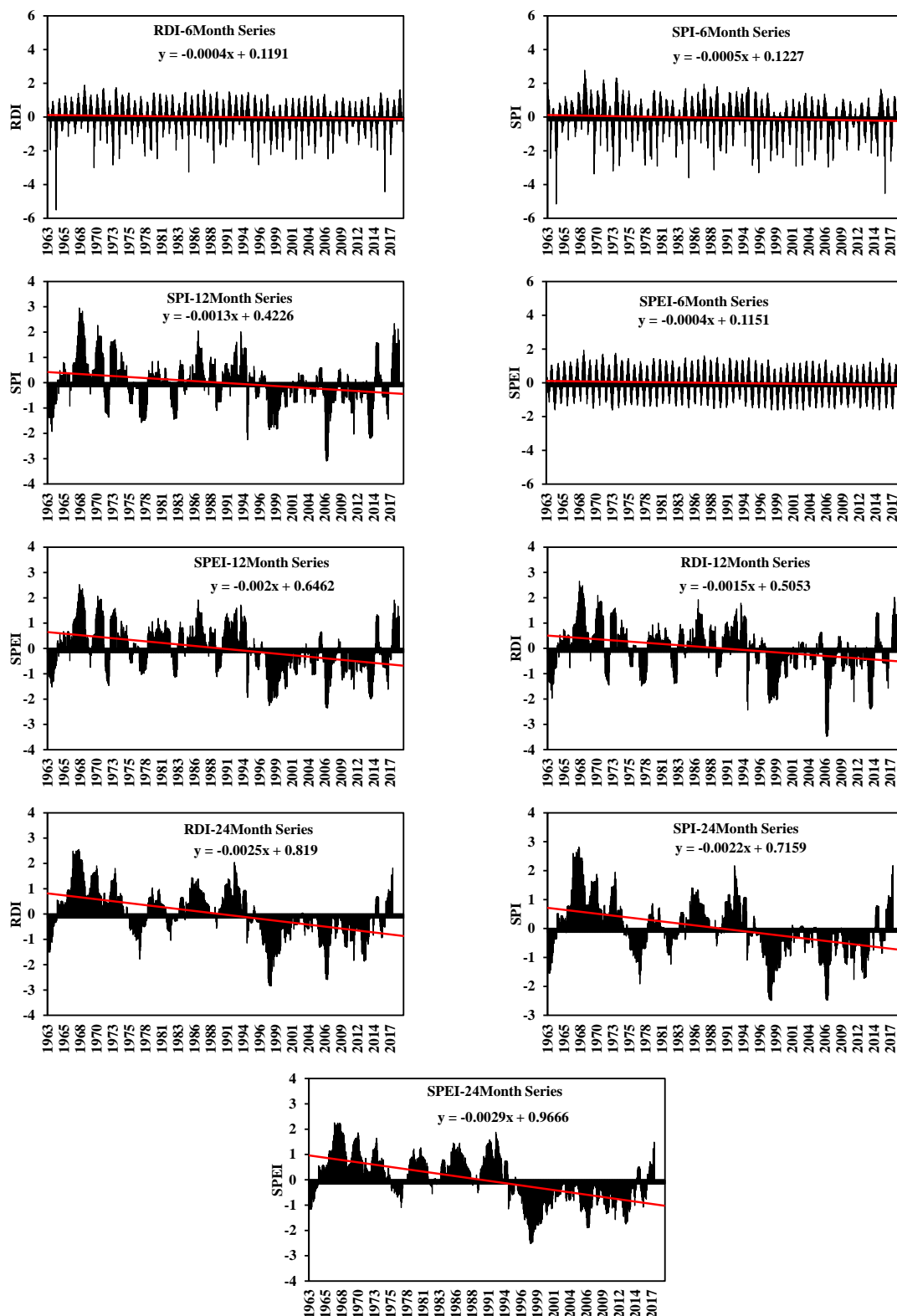


Figure 3- Changes of SPI, RDI and SPEI values during data period in 6, 12 and 24 month time windows

شکل ۳- تغییرات مقادیر SPI و RDI و SPEI در طول دوره آماری در پنجره‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماه

می‌شود به دلیل رخ داد شرایط ذکر شده، شیب بهترین خط عبوری از مقادیر SPI، RDI و SPEI منفی می‌باشد به این معنی که در سال‌های اخیر شرایط آب و هوایی این

نتایج مشابه فوق در دو پنجره زمانی ۱۲ و ۲۴ ماه نیز حاصل شد. موارد ذکر شده اخیر به وضوح در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده



نسبت به شاخص SPI بیش‌تر است. نتایج مشخصات خشکسالی و ترسالی محاسبه شده با شاخص‌های SPI، RDI و SPEI در پنجره‌های زمانی مختلف در جدول ۶ آورده شده است. مشاهده می‌شود در پنجره زمانی ۶ ماه، در هر دو شاخص SPI و RDI و در دوره قبل از سال جهش، با وجودی که سال شروع و اتمام بزرگترین شرایط خشکسالی در یک زمان به دست آمد ولی شدت و بزرگی خشکسالی محاسبه شده با SPI به ترتیب  $-0/99$  و  $-0/11$  بیش‌تر از شاخص RDI بود. اما در این دوره، سال شروع و اتمام بزرگترین دوره خشکسالی حاصل از شاخص SPEI حدود ۹ سال دیرتر بود که در این شاخص تداوم (۹ ماه)، شدت ( $-5/68$ ) و بزرگی ( $-0/63$ ) خشکسالی حاصل شد. برای دوره زمانی بعد از سال جهش، در هیچ کدام از شاخص‌ها، هم‌زمانی سال شروع و اتمام بزرگترین شرایط خشکسالی رخ داده در منطقه مشاهده نشد.

شهر به طرف خشکسالی میل کرده است. علاوه بر نتایج ذکر شده فوق، از شکل ۳ و جدول ۵ چنین می‌توان استنتاج نمود که به دلیل استفاده از پارامترهای هواشناسی بیش‌تر در شاخص‌های RDI و SPEI، این دو شاخص نسبت به SPI به تغییرات آب و هوایی حساسیت بیش‌تری دارد. اما حساسیت شاخص SPEI نسبت به تغییرات آب و هوایی به دلیل توسعه این شاخص بر اساس بیان کننده توانایی این شاخص در تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیرتغرق و دما در اثر تغییرات اقلیمی می‌باشد (Zarebyaneh et al., 2015). (Mosaedi et al., 2017) Shokoohi, (2012) Tan et al., Zehtabian et al., (2013) al., (2015) و Bazrafshan et al., (2017) نیز در پژوهش‌های خویش نتیجه گرفتند که حساسیت شاخص SPEI نسبت به دو شاخص RDI و SPI و شاخص RDI

Table 6- properties of drought and wet calculated by SPI, RDI and SPEI Indices in 6, 12 and 24 month time windows  
جدول ۶- مشخصات خشکسالی و ترسالی محاسبه شده با شاخص‌های SPI، RDI و SPEI در پنجره‌های زمانی مختلف

Time Series	Drought/Wet Properties	SPI		RDI		SPEI	
		B.C.P.	A.C.P.	B.C.P.	A.C.P.	B.C.P.	A.C.P.
6-month	Start year/Month	1964/04	2017/04	1964/04	1998/04	1973/03	1999/03
	End year/Month	1964/12	2018/01	1964/12	1998/12	1973/11	1999/11
	Intensity	-11.22	-8.81	-10.23	-6.59	-5.68	-5.73
	Severity	-1.25	-0.88	-1.14	-0.73	-0.63	-0.64
	Start year/Month	1368/08	1994/06	1968/09	2018/09	1968/09	2018/09
	End year/Month	1369/08	1995/04	1969/06	2019/06	1969/06	2019/05
	Intensity	14.99	9.06	7.38	5.40	7.66	5.52
	Severity	1.15	0.82	0.74	0.54	0.77	0.61
12-month	Start year/Month	1977/08	1997/12	1977/08	1997/12	1963/03	1997/06
	End year/Month	1979/08	2000/07	1979/07	2000/07	1964/08	2000/10
	Intensity	-19.43	-33.98	-16.81	-38.51	-8.53	-47.34
	Severity	-0.78	-1.06	-0.70	-1.20	-0.53	-1.15
	Start year/Month	1967/08	2017/08	1967/07	2017/09	1967/02	2017/09
	End year/Month	1969/12	2019/08	1969/11	2019/08	1969/11	2019/08
	Intensity	39.79	23.41	36.33	19.09	41.33	17.28
	Severity	1.37	0.94	1.25	0.80	1.25	0.72
24-month	Start year/Month	1977/01	1997/08	1963/02	1997/01	1963/02	1996/12
	End year/Month	1979/09	2001/11	1965/05	2001/11	1965/05	2001/12
	Intensity	-13.45	-47.96	-7.36	-63.27	-5.68	-69.00
	Severity	-0.41	-0.92	-0.26	-1.07	-0.20	-1.13
	Start year/Month	1966/10	2017/01	1966/09	2017/07	1966/09	2017/07
	End year/Month	1970/11	2019/08	1970/11	2019/08	1970/10	2019/08
	Intensity	60.06	12.28	55.59	4.80	51.44	3.84
	Severity	1.20	0.38	1.09	0.18	1.03	0.15

برای هر ۳ شاخص در یک زمان رخ داده است ولی مقادیر بزرگی و شدت این دوره در ۳ شاخص یکسان نبوده و متفاوت است که بیش‌ترین مقدار این دو مشخصه در شاخص SPI بود و اختلاف مقادیر حاصل برای دو شاخص RDI و SPEI قابل ملاحظه نبود. در این شرایط آب و

نتایج به وضوح نشان‌دهنده تأثیر استفاده از سایر پارامترهای هواشناسی علاوه بر مقادیر بارندگی و شاخص محاسبه خشکسالی بر مشخصات خشکسالی می‌باشد. در این پنجره زمانی، در شرایط ترسالی برای دوره قبل از سال جهش، سال شروع و اتمام بزرگترین شرایط ترسالی

کاهش یافته ولی در شاخص SPEI بدون تغییر بود که در شرایط ترسالی کاهش بزرگی ترسالی در اثر تغییر اقلیم در هر سه شاخص مشاهده شد. بنابراین در پنجره‌های زمانی کوتاه مدت، در اثر تغییر اقلیم و کاهش بزرگی خشکسالی و ترسالی، تعدیل در شرایط آب و هوایی منطقه در سال‌های بعد از شروع جهش رخ داده و شرایط نرمال افزایش یافته است که در جدول ۵ و شکل ۳ نیز این نتایج مشاهده شد. اما با افزایش پنجره زمانی مورد بررسی از ۶ ماه به ۱۲ و ۲۴ ماه، به دلیل پوشش ماه‌های خشک بیش‌تر در محاسبات، اثر تغییر اقلیم بر افزایش بزرگی خشکسالی و کاهش بزرگی ترسالی در منطقه در هر ۳ شاخص به وضوح نمایان شد. بیش‌ترین افزایش بزرگی خشکسالی و کاهش ترسالی در اثر تغییر اقلیم به ترتیب در شاخص SPEI و RDI و در پنجره زمانی ۲۴ ماه (به ترتیب ۰/۹۳- و ۰/۹۱) بود. در جدول ۴ نیز مشاهده شد که در اثر پدیده گرمایش جهانی، در سال‌های بعد از شروع جهش، کاهش بارندگی و افزایش دما و به تبع آن تبخیرتفرق در منطقه کرمانشاه رخ داده است که این شرایط توجیه کننده افزایش خشکسالی و کاهش دوره‌های ترسالی منطقه خواهد بود. هم چنین شاخص‌های RDI و SPEI نسبت به SPI، به دلیل استفاده از پارامترهای اقلیمی بیش‌تر، حساسیت بالاتری نسبت به افزایش شرایط خشکسالی و تأثیر تغییر اقلیم بر آن داشته و دقیق‌تر این شرایط را می‌تواند پیش‌بینی نماید که در بین دو شاخص، حساسیت شاخص SPEI بیش‌تر می‌باشد. نتایج پژوهش Tan et al., (2015) و Bazrafshan et al., (2017) نیز نشان داد شاخص SPEI نسبت به SPI، قابلیت بهتری در تشخیص تغییرات اقلیمی دارد. Khorrambakht et al., (2013) طی پژوهشی نتیجه گرفتند شاخص RDI نسبت به شاخص‌های SPI، ZSI و CZI که فقط از مقادیر بارش برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده می‌کنند، به مشخصه شدت حساسیت بیش‌تری دارد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر تغییر اقلیم و شاخص پایش خشکسالی (شاخص‌های SPI، RDI و SPEI) بر مشخصات خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی) در منطقه

هوایی، برخلاف شرایط خشکسالی، سال شروع و اتمام بزرگترین دوره ترسالی در دو شاخص RDI و SPEI تقریباً هم‌زمان بود در حالی که در RDI این دوره حدود ۲۴ سال زودتر حاصل شد. در سری ۱۲ ماه و در شرایط آب و هوایی خشکسالی، همانند پنجره زمانی ۶ ماه، برای دوره قبل از سال جهش، بزرگترین دوره خشکسالی در دو شاخص SPI و RDI تقریباً در یک زمان به دست آمد (با مقادیر متفاوت بزرگی و شدت خشکسالی) ولی زمان رخ داد بزرگترین شرایط خشکسالی که در پنجره زمانی ۶ ماه بعد از دو شاخص دیگر مشاهده شد در این پنجره زمانی ۱۴ سال و ۵ ماه زودتر به دست آمد اما برای دوره بعد از سال جهش، در هر سه شاخص، سال شروع و اتمام بزرگترین خشکسالی تقریباً یکسان بوده و فقط ماه وقوع این شرایط متفاوت بود. در این دوره، بیش‌ترین و کم‌ترین شدت خشکسالی در شاخص‌های SPEI و SPI (به ترتیب) حاصل شد. بیش‌ترین و کم‌ترین بزرگی خشکسالی نیز در دو شاخص RDI و SPI به دست آمد. در این پنجره زمانی و در شرایط آب و هوایی ترسالی، تداوم دوره ترسالی برای دو دوره قبل و بعد از سال جهش در هر ۳ شاخص تقریباً یکسان بود فقط مقادیر شدت و بزرگی ترسالی با یکدیگر متفاوت بود. با توجه به نتایج حاصل برای پنجره زمانی ۲۴ ماه مشاهده می‌شود در شرایط خشکسالی و دوره قبل از سال شروع جهش، سال شروع و اتمام بزرگترین دوره خشکسالی در هر دو شاخص RDI و SPEI در یک زمان و حدود ۱۴ سال قبل از شاخص SPI بوده است. در این دوره، شدت و بزرگی خشکسالی محاسبه شده با شاخص SPI بیش‌تر از دو شاخص دیگر بود. برای دوره بعد از شروع تأثیر پدیده تغییر اقلیم، تقریباً دوره رخ داد بزرگترین خشکسالی در منطقه مورد مطالعه با هر سه شاخص تقریباً در یک زمان پایش شد اما بزرگی و شدت محاسبه شده با شاخص SPEI بیش‌تر از دو شاخص دیگر بود. در شرایط ترسالی، مشاهده می‌شود همانند پنجره زمانی ۱۲ ماه، دوره شروع و خاتمه بزرگترین دوره ترسالی با هر ۳ شاخص تقریباً هم‌زمان بوده و فقط چند ماه با یکدیگر اختلاف دارند اما بزرگی محاسبه شده با روش PSI بیش‌تر از دو شاخص دیگر است. در پنجره زمانی ۶ ماه، تحت تأثیر تغییر اقلیم، بزرگی خشکسالی در سال‌های بعد از شروع جهش نسبت به قبل آن در دو شاخص SPI و RDI

جهانی، بزرگی خشکسالی‌های رخ داده با شدت بالا در منطقه کرمانشاه در سال‌های بعد از ۱۹۹۴ نسبت به قبل از آن افزایش و بزرگی ترسالی‌ها با شدت بالا کاهش یافته است. در هر شاخص، با افزایش پنجره محاسباتی شاخص، اثر تغییر اقلیم بر مشخصات خشکسالی و ترسالی در دو دوره قبل و بعد از جهش کاملاً نمایان شد. هم‌چنین پایش دوره‌های خشکسالی با ۳ شاخص SPI، RDI و SPEI نشان داد شاخص SPEI نسبت به دو شاخص دیگر به تغییرات اقلیمی حساسیت بیشتری داشته و اختلاف‌های دو دوره قبل و بعد از ۱۹۹۴ را دقیق‌تر نشان داد.

### منابع

- Adnan, S., Ullah, K., Shuanglin, L., Gao, Sh., Hayat Khan, A., Mahmood, R., 2018. Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Climate Dynamics*, 51: 1885–1899.
- Bahrami, M., Tavakol Sadrabadi, M., Zarei, A.R. 2015. Analysis of Intensity- Duration and Frequency of Drought and Trend of Precipitation Changes in the Shiraz Synoptic Station (Iran). *Irrigation and Water Engineering*, 6(21), 59-74. (In Farsi)
- Basati, S., Yarahmadi, D., Nasiri, B. 2014. Study of changes in the precipitation forms and clarify the relative humidity and temperature effects on them (Kermanshah station). *Nivar*, 38(86-87), 63-72. (In Farsi)
- Bazrafshan, O.B., Mahmudzadeh, F., Bazrafshan, J. 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert Management*, 4(8), 54-69. (In Farsi)
- Bazrafshan, O.B., Mohseni saravi, M., Malekian, A., Moeini, A. 2011. A study on drought characteristics of Golestan Province using Standardized Precipitation Index (SPI). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18(3), 395-407. (In Farsi)
- Deihimfard, R., Eyni Nargeseh, H., Haghghat, M. 2016. Zoning of drought incident in Fars province under climate change conditions using standardized precipitation index. *Journal of Agroecology*, 7(4), 528-546. (In Farsi)
- Ekhtiyari Khajeh, S., Negahban, F., Dinpashoh, Y. 2019. Comparing univariate and multivariate indices in drought monitoring. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 23(2), 433-446. (In Farsi)
- Fakhrabadi, A., Entezary, A.R., Bazrafshan, O.B. 2014. Assess the drought situation in Kashan desert of Kashan and Aran Shahrstan Hay Bidgol (NushaBad) using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Territory*, 11(2), 77-86. (In Farsi)
- Goodarzi, M.R., Fatehifar, A., Avazpoor, F. 2019. Bivariate Analysis of the Impact of Climate Change on Drought with SPEI Index and Coppola Functions (Case Study: Dugonbadan). *Iran Water Resources Research*, 15(4), 362-365. (In Farsi)
- Katipoğlu, O.M., Acar, R., Şengül, S., 2020. Comparison of meteorological indices for drought monitoring and evaluating: a case study from Euphrates basin, Turkey. *Journal of Water and Climate Change*, 11(S1), 29–43.
- Khoorani, A., Jamali, Z. 2015. Effects of Climate Change on Drought Duration and Severity in Arid and Semi-arid Stations (Bandarabbassand Shahrekord), Based on HADCM3 Model. *Journal of Geography and Planning*, 20(57), 115-131. (In Farsi)
- Khorrambakht, A.A., Moshiri, S.R., Mahdavi, M. 2014. Assessment of climatic drought characteristics of Larestan. *Journal of Regional Planning*, 4(13), 103-120. (In Farsi)
- McKee, T. B., Doesken, N. J., 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.
- Modaresi, F., Araghinejad, Sh., Ebrahimi, K., Kholghi Kholghi, M. 2010. Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin. *Journal of water and soil*, 24(3), 476-489. (In Farsi)
- Mosaedi, A., Mohammadi Moghaddam, S., Kavakebi, Gh. 2017. Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 27-52. (In Farsi)

- Nikbakht, J., Moradi, O. 2019. Effect of Drought on Hashtgerd Plain Groundwater Quantity and Quality Considering Irrigation Use. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 120-131. (In Farsi)
- Node Farahani, M.A., Rasekhi, A., Parmas, B., Keshvari, A.R. 2018. The effects of climate change on temperature, precipitation and drought in the the future Shadegan basin. *Iran Water Resources Research*, 14(3), 160-173. (In Farsi)
- Pari, H., Mohammadi, M. A., Khamooshian, Y. 2018. Climate change of precipitation and temperature of Kermanshah station. The 2<sup>nd</sup> National Conference on Climatology of Iran, Ferdosi University of Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Potop, V., Boroneant, C., Mozny, M., Stepanek, P., Skalac, P. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(3-4), 563- 581.
- Salari, A., Gandomkar, A. 2012. Forecasting temperature changes in Bandar Abbas and Qeshm island using with test Man-kendal. *Territory*, 9(3), 79-94. (In Farsi)
- Shamsnia, S.A., Torabi Tabatabai, F. 2019. A Comparison of Different Evapotranspiration Methods and the Result Obtained Through Calculating the Reconnaissance Drought Index (RDI) for the Tehran Province. *Water Engineering*, 12(2), 31-48. (In Farsi)
- Shimola, K., Krishnaveni, M. 2014. Sensitivity of SWAT simulated reservoir in flow to climate change in a semiarid basin. *Mausam*, 66(2), 181-186.
- Shokoohi, A.R. 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 3(1), 111-122. (In Farsi)
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observations. *World Meteorological Organization, Technical Note*, No 143, Switzerland.
- Tabouzaadeh, Sh., Zarei, H., Bazrafshan, O. B. 2016. Analysis of Severity, Duration, Frequency and Zoning Map of Meteorological Drought of Bakhtegan River Basin. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 38(4), 109-123. (In Farsi)
- Tan, Ch., Yang, J., Li, M. 2015. Temporal- spatial variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Atmosphere*, 6(10), 1399-1421.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. J. E. W. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European water*, 9(10), 3-11.
- Vergni, L., Todisco, F. 2011. Spatio-Temporal Variability of Precipitation, Temperature and Agricultural Drought Indices in Central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 301-313.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., LopezMoreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- Xianfeng, L., Xiufang, Z., Yaozhong, P., Jianjun, B., Shuangshuang, L. 2018. Performance of different drought indices for agriculture drought in the North China Plain. *Journal of Arid Land*, 10(4), 507-516.
- Zareabyaneh, H., Ghobaeisough, M., Mosaedi, A. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Journal of water and soil*, 29(2), 374-392. (In Farsi)
- Zehtabian, Gh. R., Karimi, K., Nakhaee Nezhad Fard, S., Mirdashtvan, M., Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan Province in Iran. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9), 981-992.

## Comparison of SPI, RDI and SPEI indices for drought monitoring under climate change conditions (Case study: Kermanshah station)

J. Nikbakht<sup>1\*</sup>, F. Hadeli<sup>2</sup>

Received: 22/09/2020

Accepted: 05/03/2021

### Abstract

In recent years, due to global warming and changes in meteorological variables, drought occurrence has increased in different regions of the world. The purpose of this research was comparison of SPI, RDI and SPEI indices for drought monitoring under climate change conditions in Kermanshah station during the period 1963-2019. The possible effect of climate change on drought characteristic (intensity, severity and duration) was also examined. The indices were calculated in three time windows, i.e. 6, 12 and 24 months. Potential evapotranspiration ( $ET_p$ ) was estimated by Hargreaves-Samani equation. The trend analysis of drought time series was performed using Mann-Kendall test and the change point of the series was determined by Sequential Mann-Kendall method. The results indicated that in study station, air temperature and  $ET_p$  amounts have been increased but the rainfall showed a decreasing trend. RDI and SPEI indices were found to be more sensitive to climate change comparing to SPI. In 6month time window for SPI and RDI indices, drought severity have decreased after the change point (year 1994) compared to the previous period whereas in case of SPEI, there was no significant difference between two periods. For all 3 indices, in 12 and 24month time windows, drought severity has increased after the year 1994 whereas wet year severity has decreased. Also, in these time scales, calculated severity values of RDI and SPEI were more than SPI for before and after the year 1994.

**Keywords:** Drought, Trend, Time window, Kermanshah



<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: [Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir](mailto:Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir))

<sup>2</sup> M.Sc. Graduated of Irrigation and Drainage, University of Zanjan, Iran