



دانشگاه گولستان، دانش‌پژوهی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷

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

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15175.3036

## ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده و بارش - تبخیر - تعرق استاندارد شده در تشخیص ترسالی

نازگل حسینی‌پژوه<sup>۱</sup>، \* خالد احمدالی<sup>۲</sup> و علیرضا شکوهی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمنی،

<sup>۲</sup>استادیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، <sup>۳</sup>آستاد گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمنی

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** سیلاب‌ها یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان هستند که سبب خسارات بزرگی در جوامع انسانی و تغییر محیط طبیعی می‌شوند. در سال‌های اخیر، احتمال وقوع سیل در بسیاری از نقاط جهان موجب نگرانی دائمی برای مردم و دولت‌ها شده است. این مسأله سبب شده که نیاز به مهندسی و مدیران کارآزموده برای کاهش اثرات سیل بر جامعه و محیط‌زیست بیش از پیش احساس شود. پیش‌بینی سیل یکی از روش‌های غیرسازهای مدیریت ریسک سیلاب است که اطلاعات ارزشمندی برای خدمات هشدار سیل مهیا می‌کند و مردم و ارگان‌های مختلف در وضعیت اضطراری زمان کافی برای آماده‌سازی اقدامات مقابله سیل را خواهند داشت.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)، جهت مشخص نمودن دوره‌های مرطوب، در دو ایستگاه هواشناسی درزیکلا و سنگده در حوضه آبریز کسلیان واقع در استان مازندران محاسبه گردید. سپس نتایج حاصل با سری زمانی دبی رودخانه (ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن)، از این نظر که آیا این شاخص‌ها توانایی تشخیص و پیش‌بینی سیل را دارد یا نه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پارامترهای احتمال تشخیص (POD)، نسبت هشداردهی اشتباه (FAR) و شاخص موقعیت بحرانی (CSI) برای ارزیابی میزان موفقیت شاخص‌های مذکور در تشخیص سیل، در ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار POD مربوط به شاخص‌های SPEI و SPI به‌ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۶۸ است. این مقادیر برای پارامتر CSI برای شاخص‌های ذکر شده به‌ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۶۲ به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پارامتر FAR برای SPEI و SPI به‌ترتیب برابر ۰/۳۲ و ۰/۱۱ می‌باشد. بررسی تغییرات زمانی این شاخص‌ها نشان داد که شاخص SPEI به‌دلیل استفاده از داده دما و به تبع آن محاسبه تبخیر و تعرق - به‌خصوص در انتهای بهار و تابستان - کارایی تا حدودی بهتر از شاخص SPI در حوضه کسلیان با رژیم برفی بارانی دارد.

\* مسئول مکاتبه: khahmadauli@ut.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** در کل بر اساس نتایج سه پارامتر FAR, POD و CSI پیشنهاد می‌شود که در حوضه‌های با رژیم برفی بارانی استفاده از شاخص SPEI به دلیل استفاده از دما برای ذوب برف به‌خصوص در فصل بهار و تابستان برای پیش‌بینی سیل مناسب‌تر و کاراتر از شاخص SPI است. هر چند که شاخص SPI با به‌کارگیری تنها یک پارامتر، نتایج مطلوبی در پیش‌بینی سیلاب به‌دست می‌دهد و از آنجا که بارش تنها داده‌ای است که در همه حوضه‌های آبریز با دقت مناسب و از سالیان دور در دسترس بوده و حداقل دو ارگان در سطح کشور به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به آن می‌پردازند، این شاخص نیز دارای اهمیت است.

#### واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، حوضه کسپیلان، سیلاب، SPEI، SPI

#### مقدمه

کشورهای جنوب‌شرقی آسیا نیز گام‌های اولیه برای این منظور برداشته شده و در حال حاضر با سرعت قابل‌توجهی سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل ایجاد شده رو به رشد است. با توجه به وضعیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز کشور و نیز گسترش طرح‌های توسعه، ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی سیل در اکثر حوضه‌ها ضروری است و گام‌های اولیه در این زمینه باید برداشته شود (۸). سیلاب‌هایی که در ایران اتفاق می‌افتد به‌طور کلی به سه نوع سیلاب‌های ناشی از انواع باران‌ها، ترکیب ذوب برف و باران و در مواقعی تنها ذوب برف تعلق دارند. در نواحی گرم و خشک ایران مانند مناطق شرقی، مرکز، جنوبی و جنوب‌شرقی سیلاب‌ها عمدتاً ناشی از باران‌های شدید و کوتاه‌مدت است و در نواحی معتدل و سرد مانند مناطق شمال، شمال‌غربی و غرب کشور سیلاب‌های غالب، ناشی از باران و یا ترکیب ذوب برف و باران است (۱۷). در پیش‌بینی زمان واقعی رخداد سیل، با استفاده از نتایج پیش‌بینی زمان واقعی سیل، عملکرد سیستم‌های مدیریت سیلاب سازه‌ای و غیرسازه‌ای رودخانه‌ای طوری تعیین می‌گردد که با حداقل خسارت به مناطق سیل‌گیر وارد شود. کنترل زمان واقعی سیل، مستلزم ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی بر اساس اطلاعات

تاریخ حیات بشر بر روی کره زمین از دیرباز مملو از حوادث و بلایای مختلف به‌خصوص سیل بوده است. متأسفانه کشور ما ایران در زمره کشورهای سیل‌خیز جهان قرار دارد. بررسی آمار سیلاب‌های ۴۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۳۱) نشان داده است که به‌طور متوسط سالانه ۴۷ مورد سیل حادثه‌آفرین در کشور ثبت گردیده است و در این دوره ۱۰۵۷۲ نفر از هموطنان جان خود را از دست داده‌اند (۱۱). پدیده سیل، به دلیل تحمیل خسارات سنگین اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی بر جوامع بشری و حیات طبیعی، همیشه مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان جهت کاهش اثرات آن بوده است (۱۹). یکی از راه‌های کاهش این خسارات پایش و پیش‌بینی سیلاب‌ها، به‌ویژه تعیین دقیق زمان شروع و تداوم آن است که در مدیریت منابع آبی و برنامه‌ریزی برای کاهش آثار مخرب آن اهمیتی ویژه دارد. یکی از پایه‌های مدیریت سیل، پیش‌بینی سیل قبل از وقوع آن می‌باشد. پیش‌بینی سیل به عنوان ابزاری جهت کاهش خسارات سیل بیش از ۴۰ سال است که در اکثر حوضه‌های آبریز کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است. در کشورهای در حال توسعه مانند

تصمیم ارائه کنند (۱۶). قبایی سوق و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی پایش وضعیت‌های رطوبتی و روند آن‌ها بر مبنای شاخص SPEI در نواحی مختلف آب و هوایی ایران پرداختند. نتایج آن‌ها از مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI نشان داد که شاخص SPI ضمن داشتن نتایج مناسب در مناطق مرطوب، در مناطق خشک دقت کم‌تری دارد (۴). قربانی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی امکان‌سنجی پیش‌بینی خشکسالی سالانه بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار با استفاده از شاخص SPI در منطقه ارازکوسه استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین همبستگی بین وضعیت خشکسالی سالانه با خشکسالی در فصل بهار بوده است و خشکسالی سالانه بر اساس بارش‌های بهاره با ضریب همبستگی ۰/۸۹ قابل پیش‌بینی است (۵). نادری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین پهنای حلقه‌های سالانه درختان بلوط در منطقه جوانرود کرمانشاه با متغیرهای دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی پرداختند و برای بررسی تأثیر خشکسالی بر رشد درختان از شاخص بارندگی استاندارد اصلاح‌شده (SPI<sub>mod</sub>) استفاده کردند. نتایج نشان داد که رشد درختان این منطقه بیش‌تر توسط متغیرهای رطوبتی محدود می‌گردد تا متغیرهای دمایی و نیز توصیه کردند از شاخص SPI<sub>mod</sub> به‌جای داده‌های بارندگی استفاده شود (۱۴). نادری و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی دیگر به مطالعه دوقرن بازسازی حلقه-درختی خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) مبتنی بر شاخص بارندگی استاندارد اصلاح‌شده (SPI<sub>mod</sub>) در منطقه جوانرود کرمانشاه پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر افزایش ضرایب همبستگی پهنای دواير سالانه

هیدروکلیماتولوژی ثبت شده در زمان واقعی است. در این رابطه مطالعاتی انجام شده که در زیر به آن‌ها اشاره می‌گردد. سیلر و همکاران (۲۰۰۲)، به تجزیه تحلیل و نظارت بر رخداد‌های سیل با استفاده از SPI ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه پرداختند و دریافتند که اگر مقیاس زمانی را به ۱۲ یا ۲۴ ماه افزایش دهند، SPI پاسخ کندتری به تغییرات بارش کوتاه‌مدت می‌دهد. در نهایت آن‌ها اعلام داشتند که SPI به خوبی قادر به تجزیه و تحلیل وقایع سیل است و در مقایسه با شاخص بارش آنومالی توجیه مناسب‌تری دارد (۱۸). گورریو و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از SPI ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در حوضه رودخانه تجو در پرتغال به بررسی و تجزیه تحلیل سیل پرداختند. بر طبق مطالعات آن‌ها SPI به خوبی قادر به توضیح موقعیت و شرایط وقایعی که منجر به سیل می‌شود، است (۶). دوو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به منظور بررسی شرایط تر و خشک در استان هونان چین از SPI ۲، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده کردند و بر این اساس که مقیاس کوتاه‌مدت، مقدار رطوبت سطحی خاک را بهتر نمایش می‌دهد نتیجه گرفتند که SPI دو ماهه در نظارت بر سیل مقیاس زمانی مناسب‌تری در میان مقیاس‌های مورد مطالعه است (۱). پاپنبرگر و همکاران (۲۰۱۳) با توجه به تغییر اقلیم و افزایش شدت وقوع وقایع حدی از طرفی و افزایش روز افزون جمعیت از طرف دیگر، به بررسی یک سیستم هشداردهنده که قادر به پیش‌بینی یکپارچه وقایع حدی مانند سیل، خشکسالی و ... در مقیاس جهانی است، پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود از شاخص SPI استفاده نموده و مدل خود را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای ارزیابی کرده و نتایج خوبی گرفتند و در نظر دارند که آن را به صورت یک چارچوب پشتیبان

آن‌ها بیان کردند که در بیش‌تر مواقع عملکرد شاخص‌های مورد بررسی در مناطق مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت، یکسان نبوده است. همچنین به‌منظور پایش خشکسالی هواشناسی در مناطق خشک که بارندگی عموماً ناچیز بوده و از طرفی تبخیر و تعرق چندین برابر بارش سالانه است، از شاخص‌هایی که مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق هستند، استفاده شود و در مناطق مرطوب که تبخیر و تعرق نقش چندانی در وقوع خشکسالی ایجاد نمی‌نماید، خشکسالی هواشناسی را تنها بر اساس بارندگی پایش نمود (۸). شکوهی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی از پیش‌بینی سیل با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس روزانه پرداختند. نتایج حاصل از کاربرد SPI در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ روزه نشان داد که این شاخص در مقیاس‌های مختلف روزانه در پیش‌بینی و پایش سیل در هر دو حوضه آبریز کسلیان و کهلیک‌دره‌سی موفق بوده است (۲۰). یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های ETDI و SPI در دشت نیشابور پرداختند. نتایج بیانگر تفاوت بین نتایج دو شاخص بود و آن‌ها شاخص ETDI را نسبت به شاخص SPI به این دلیل که خشکسالی کشاورزی به کمبود تبخیر و تعرق وابسته است برتر دانسته و اعلام داشتند که شاخص SPI به‌عنوان یک شاخص برای تعیین خشکسالی کشاورزی پیشنهاد نمی‌شود (۲۲).

بر اساس مرور منابع ملاحظه می‌گردد در زمینه استفاده از هر کدام از شاخص‌های SPI و SPEI برای پایش خشکسالی مطالعات مختلفی در ایران و جهان صورت گرفته اما در زمینه استفاده از این شاخص‌ها به‌خصوص شاخص SPEI برای تشخیص و پیش‌بینی

درختان با این شاخص نسبت به داده‌های بارندگی بود و همچنین نتایج مطالعات آن‌ها در بازسازی ترسالی و خشکسالی‌ها تطابق بسیار خوبی با نتایج پژوهشگران در کشورهای مجاور داشته است (۱۵). مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی در استان کردستان پرداختند. نتایج نشان داد که ضمن تفاوت در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی SPI و SPEI، شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها مشخص نموده است (۱۳). اصلاحی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بررسی و کاربرد شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق بارش استاندارد شده (SPEI) بر ایستگاه هواشناسی تبریز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص SPEI دقت بیش‌تری نسبت به شاخص SPI در ارائه پدیده‌های خشکسالی ۱۶ سال اخیر که با افزایش دما و کاهش بارش مواجه بوده است، داشت (۳). اقتداری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی پیش‌بینی خشکسالی جریان رودخانه با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف در حوضه آبریز کرخه طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۴۵ پرداختند. آن‌ها به‌منظور تعیین وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص SDI که بر اساس حجم تجمعی جریان رودخانه است استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI ضعیف بوده و با اطمینان بالایی می‌توان در پیش‌بینی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی کل سال از شاخص SDI شش‌ماهه استفاده نمود (۲). هاتفی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی نقش تبخیر و تعرق در پایش خشکسالی در نواحی مختلف اقلیمی ایران با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SPEI پرداختند. براساس نتایج این پژوهش،

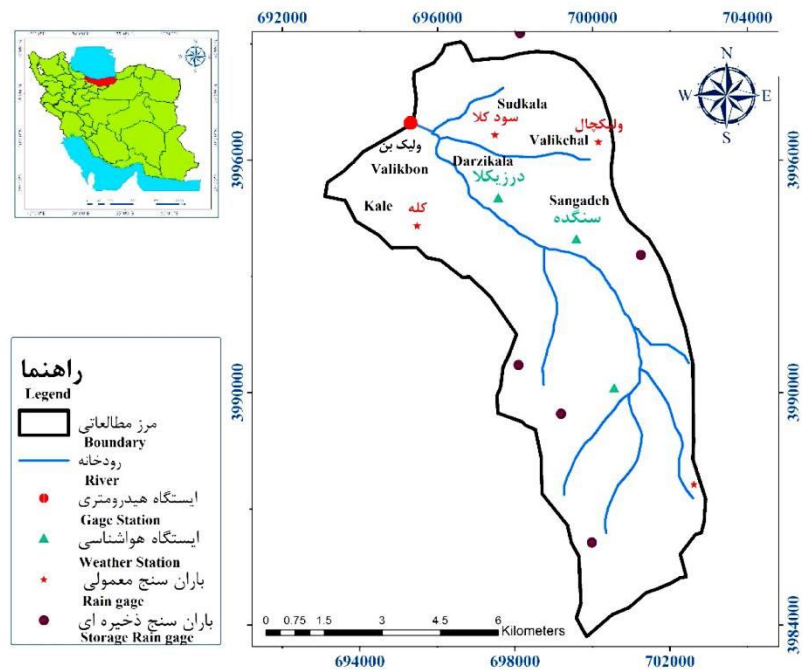
سال ۱۳۴۹ تاسیس گردیده شامل ۳ ایستگاه هواشناسی به نام‌های سنگده، درزیکلا و اوریملک می‌باشد که ایستگاه اوریملک از سال ۱۳۶۴ تعطیل شده است. همچنین این حوضه دارای شش ایستگاه بارانسنج معمولی (روزانه) به نام‌های سنگده، درزیکلا، اوریملک، سوت‌کلا، کله، ولیک‌چال می‌باشد (۷). حداکثر باران سالانه مشاهده شده با استفاده از چهار ایستگاه باران‌سنج معمولی و همچنین یک ایستگاه کلیماتولوژی برابر با ۱۱۰۳/۵ میلی‌متر در ایستگاه باران‌سنج معمولی ولیک‌چال ثبت شده است. حداقل باران سالانه نیز برابر با ۲۲۲/۵ میلی‌متر در ایستگاه ولیک‌چال ثبت شده است (شرکت مدیریت جامع منابع آب ایران). شبکه دماسنجی و سایر پارامترهای اقلیمی حوضه شامل ایستگاه‌های سنگده و درزیکلا است که متوسط دمای سالانه در ۲ ایستگاه فوق به ترتیب ۱۰/۳۹ و ۱۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل مطلق درجه حرارت مشاهده شده در حوضه ۳۹ و -۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط میزان تبخیر در طول دوره آماری موجود در ۲ ایستگاه سنگده، درزیکلا به ترتیب برابر با ۷۶۶/۱ و ۷۹۰/۸ میلی‌متر در سال می‌باشد که حداقل و حداکثر سالانه آن برابر با ۵۵۴/۹ و ۹۹۱/۴ میلی‌متر در ایستگاه سنگده بوده است. ایستگاه هیدرومتری موجود بر رودخانه کسلیان به نام ایستگاه ولیک‌بن در نزدیکی روستایی به همان نام که در محل خروجی حوضه، واقع شده است و به صورت یک پارشال فلوم بتنی با دهانه‌ای به عرض ۴ متر ساخته شده است و مجهز به اشل-پل اندازه‌گیری و لیمنوگراف می‌باشد و در واقع یک ایستگاه آب‌سنجی درجه یک است. موقعیت ایستگاه هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

سیل و نیز محاسبه این شاخص‌ها با نرم‌افزار R، مطالعات چندانی انجام نشده بنابراین در این پژوهش با هدف استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در تشخیص سیلاب و تأکید بر محدوده مثبت بُرد این توابع (محدوده مربوط به ترسالی) و نیز مقایسه این شاخص‌ها در دو ایستگاه هواشناسی درزیکلا و سنگده واقع در حوضه آبریز کسلیان با سری زمانی دبی رودخانه و واقعه‌های سیل اتفاق افتاده در منطقه دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** حوضه آبریز کسلیان دومین حوضه آبریز معرف کشور می‌باشد. این حوضه در بین حوضه‌های اصلی شش‌گانه ایران در داخل حوضه آبریز دریای مازندران قرار گرفته و بدین ترتیب معرف مناطق وسیعی از قسمت‌های کوهستانی و جنگلی شمال البرز می‌باشد. آب و هوای این حوضه نیز با توجه به ضریب اقلیم دومرتن در گروه بسیار مرطوب و با توجه به ضریب اقلیمی آمبرژه در گروه اقلیم ارتفاعات قرار گرفت. نفوذپذیری خاک در سطح حوضه آبریز طبق طبقه‌بندی ارائه شده توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی ایالت متحده<sup>۱</sup> در گروه C قرار گرفت. پوشش سطحی و کاربری اراضی حوضه آبریز کسلیان عمدتاً شامل جنگل، مرتع و زمین زراعی می‌باشد (۷). حوضه کسلیان از مناطق سنگده، اوریملک و سوت‌کلا سرچشمه گرفته که در ۲۴ کیلومتری شرق پل سفیدرود بین طول شرقی ۸' و ۵۳' تا ۱۵' و ۵۳' و عرض شمالی ۷' و ۳۶' تا ۱۰' و ۳۶' واقع می‌باشد. وسعت این حوضه ۶۷/۵ کیلومترمربع بوده است که بین ارتفاعات ۱۱۰۰ تا ۲۷۰۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است (۹). شبکه ایستگاه‌های هواشناسی این حوضه که از

1- NRCS



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.  
Figure 1. Location of study area.

تابع گاما با استفاده از تبدیلاتی که نمونه‌ای از آن تبدیل آبراموویتز استگان<sup>۱</sup> می‌باشد به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌گردد. با استفاده از تبدیل یاد شده مقدار SPI به‌عنوان یک متغیر نرمال شده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$SPI = Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

که در آن،  $\mu$  و  $\sigma$  به ترتیب میانگین بارندگی و انحراف از معیار جامعه می‌باشد. در حالتی که در مقادیر جامعه اصلی در دست نباشد به ترتیب از  $\bar{X}$  و  $S$  برای میانگین و انحراف از معیار استفاده می‌شود. اکنون با داشتن مقدار SPI از رابطه ۳ می‌توان وضعیت ترسالی را از جدول ۱ برآورد نمود. مقادیر مثبت SPI معرف بارش بیش‌تر از میانه و مقادیر منفی معرف بارش کم‌تر از میانه می‌باشد. جهت محاسبه شاخص SPI از داده‌های بارندگی روزانه دو ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه کسلیان در استان مازندران که توزیع غالب بر داده‌ها، گامای دوپارامتری بود، استفاده شد.

شاخص SPI توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) در دانشگاه ایالتی کلرادو ابداع شد (۱۲). این شاخص می‌تواند اثر خشکسالی و ترسالی بر قابلیت دسترسی به منابع آب (آب زیرزمینی، آب ذخیره شده در مخازن، رطوبت خاک، پوشش برف و جریان آب رودخانه‌ها) را نشان دهد. محاسبه SPI با برازش یک منحنی چگالی احتمال که معمولاً گامای دو پارامتره و بعضاً لوگ‌پیرسون تیپ III می‌باشد، با دوره‌های زمانی مختلف انجام می‌شود. معادله گامای دوپارامتری مورد استفاده توسط مکی و همکاران به صورت زیر می‌باشد.

$$g(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta \alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0 \quad (1)$$

که در آن،  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x$  مقدار بارندگی بوده و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

1- Abramowitz and Stegun

جدول ۱- طبقه‌بندی ترسالی با استفاده از شاخص SPI و SPEI.

Table 1. Classification of SPI and SPEI values for wet and dry periods.

احتمال وقوع (%) Probability of occurrence (%)	طبقه ترسالی Classification	مقدار SPI و SPEI SPI and SPEI value
2.3	ترسالی بسیار شدید Extreme wet	$SPI \text{ or } SPEI \geq 2.00$
4.4	ترسالی شدید Severe wet	$1.50 \leq SPI \text{ or } SPEI \leq 1.99$
9.2	ترسالی متوسط Moderate wet	$1.00 \leq SPI \text{ or } SPEI \leq 1.49$
34.1	ترسالی خفیف (محدوده نرمال) Mild wet (Normal)	$0.00 \leq SPI \text{ or } SPEI \leq 0.99$

سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب، تفاوت بین مقدار بارندگی ماهانه ( $P_i$ ) و مقدار تبخیر و تعرق ماهانه ( $PET_i$ ) از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد. بر این اساس  $D_i$  عملاً مازاد یا نقصان آب در ماه مورد بررسی است (۲۳).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۷)$$

محاسبه شاخص SPEI 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 آنکه مقادیر  $D_i$  از کران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند، توابع احتمال دو پارامتری مثل توزیع گاما نمی‌توانند انتخاب مناسبی باشند. ویستو- سرانو و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ- لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر  $D_i$  تشخیص دادند (۲۱). فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه ۸ می‌باشد:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right) \beta \right)^{-2} \quad (۸)$$

شاخص SPEI توسط ویستو- سرانو و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پیشنهاد شد (۲۱). مهم‌ترین مزیت شاخص SPEI نسبت به دیگر شاخص‌های پایش خشکسالی این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی داراست. برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر و تعرق در هر ماه ( $PET$ ) با استفاده از رابطه ترنت‌وایت طبق رابطه ۴ برآورد شود.

$$PET = 16 \left( \frac{L}{12} \right) \left( \frac{N}{30} \right) \left( \frac{10T}{I} \right)^\alpha \quad (۴)$$

که در آن،  $T$  دمای متوسط ماهانه (درجه سانتی‌گراد)،  $I$  شاخص حرارتی سالانه و  $\alpha$  ضریبی است که به  $I$  بستگی دارد. ضریب  $\alpha$  از رابطه ۵ و  $I$  به عنوان مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239 \quad (۵)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad (۶)$$

بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) با کدنویسی در نرم‌افزار R برای هر یک از ایستگاه‌ها انجام شد. برای تعیین بهترین تابع چگالی احتمال قابل برازش بر داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن و به‌منظور تعیین سیل‌های با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال از نرم‌افزار Easy Fit استفاده گردید. به‌منظور انتخاب سیل شاخص، اعداد دوره بازگشت به‌دست آمده با میانگین دبی رودخانه کسلیان در طول دوره آماری ۴۰ ساله مقایسه گردید و آستانه تغییرات دبی برای سیل شاخص تعیین شد. در نهایت به‌منظور ارزیابی توانایی شاخص‌های SPI و SPEI در تشخیص سیل، از سه پارامتر احتمال تشخیص<sup>۱</sup> (POD)، نسبت هشداردهی<sup>۲</sup> (FAR) و شاخص موقعیت بحرانی<sup>۳</sup> (CSI) برای ارزیابی کمی استفاده شده است (۲۴). فرمول‌های محاسبه این سه پارامتر مطابق رابطه‌های ۱۲ تا ۱۴ می‌باشد:

$$POD = H/(H + M) \quad (12)$$

$$FAR = F/(H + F) \quad (13)$$

$$CSI = H/(H + M + F) \quad (14)$$

که در آن‌ها، H تعداد مشاهدات دوره مرطوب، M تعداد مشاهدات دوره مرطوب از دست رفته (پیش‌بینی نشده) و F تعداد مشاهدات مرطوب پیش‌بینی شده اما مشاهده نشده است. طبق تعریف، POD نشان‌دهنده تعداد پیش‌بینی‌های دوره مرطوب است که به درستی صورت گرفته، FAR تعداد دوره‌های مرطوب پیش‌بینی شده اما مشاهده نشده و CSI ترکیب تفاوت جنبه‌های POD و FAR است و مهارت‌های تشخیص و پیش‌بینی را توصیف می‌کند (۲۴). محدوده تغییرات این پارامترها بین صفر و یک

که در آن پارامترها،  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به‌ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر  $D_i$  در دامنه  $\gamma > D < \infty$  می‌باشند.

فرم تابع احتمال تجمعی لوگ- لوجستیک سه‌پارامتری سری‌های  $D$  مطابق رابطه ۹ است:

$$F(x) = [1 + (\frac{\alpha}{x-\gamma})^\beta]^{-1} \quad (9)$$

مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر  $D_i$  با استفاده از رابطه ۱۰ به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌شوند که برابر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (10)$$

که در آن، W از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$W = [-2 \ln(P)]^{1/2} \quad \forall P \leq \frac{1}{2} \quad (11)$$

که در آن، P مقدار احتمال تجاوز از مقدار D تعیین شده می‌باشد، به عبارتی  $P = 1 - F(x)$ . اگر مقدار P بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد آنگاه مقدار P با  $1-P$  جایگزین می‌شود و علامت SPEI عوض می‌شود. مقادیر ضرایب ثابت  $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$  به‌ترتیب برابر با ۲/۵۱۵۵۲، ۰/۸۲۲۸۵، ۰/۰۱۰۳۳، ۰/۱۸۹۲۷، ۱/۴۳۲۷۹ و ۰/۰۱۰۳۳ می‌باشد. از آن‌جا که در توسعه شاخص SPEI از مفاهیم شاخص SPI استفاده شده است بنابراین حدود طبقات مختلف شدت خشکسالی (یا ترسالی) مطابق با حدود طبقات ارائه شده توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) و مطابق جدول ۱ است (۱۲). در این مطالعه از داده‌های بارش و دمای ایستگاه‌های سنگده و درزیکلا و داده‌های دبی روزانه رودخانه کسلیان در ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن در دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. محاسبه شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و

1- Probability of Detection  
2- False Alarm Ratio  
3- Critical State Index

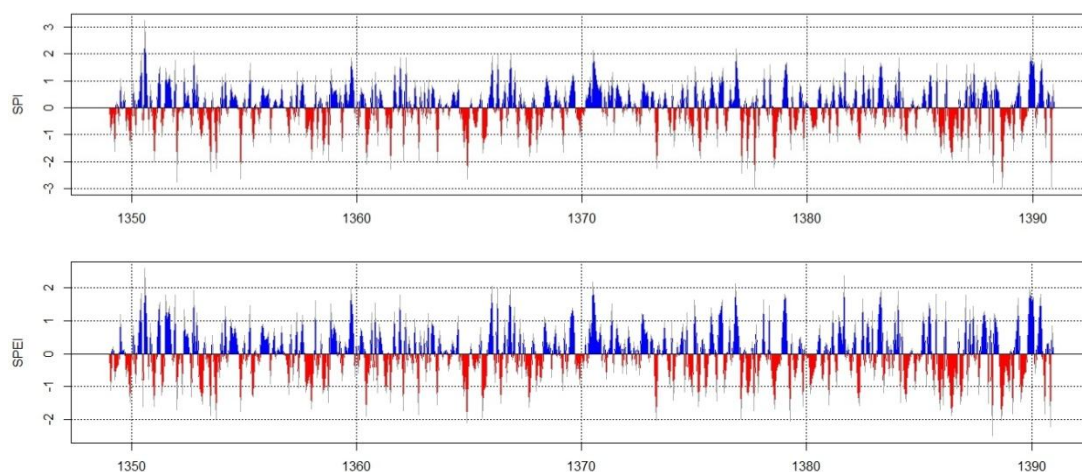


با ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که مقادیر محاسبه شده SPI نسبت به SPEI دارای رفتار و روند مشابهی هستند با این تفاوت که دامنه نوسانات SPI بیش‌تر از SPEI است. شکل ۳ روند تغییرات SPI را به صورت ماهانه در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد.

است به نحوی که هرچه مقدار POD و CSI بالاتر و مقدار پارامتر FAR کم‌تر باشد پیش‌بینی رخداد واقعه مورد نظر درست‌تر است و برعکس.

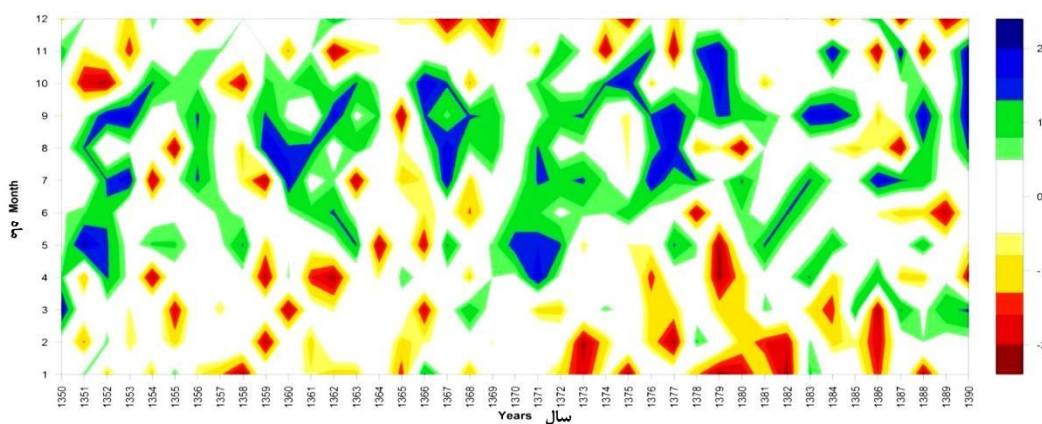
### نتایج و بحث

نتیجه محاسبه شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه سنگده در حوضه مورد مطالعه در طی سال‌های



شکل ۲- سری زمانی شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه سنگده.

Figure 2. Time series of the SPI and SPEI in Sangadeh station.



شکل ۳- روند تغییرات SPI ماهانه در ایستگاه سنگده.

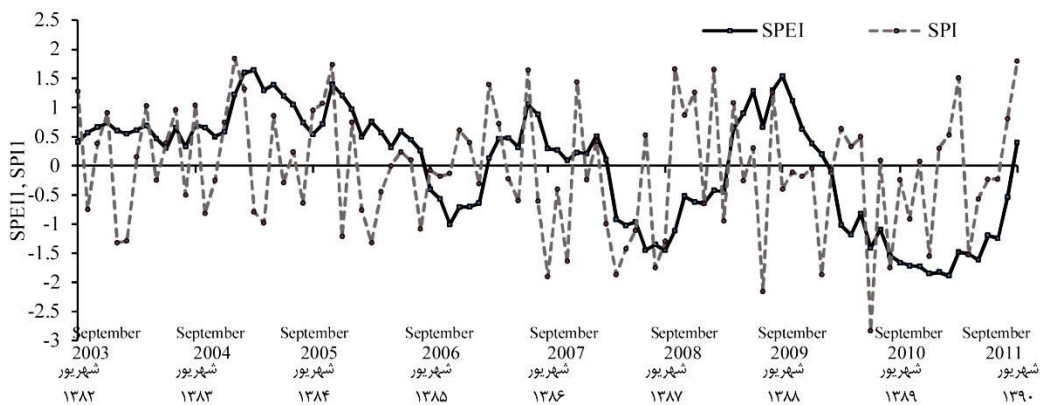
Figure 3. Variation of SPI index of 1 month time scale in Sangadeh station.

عدد ۱۲ که معادل آذرماه است شماره‌گذاری شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که عمده ترسالی‌های شدید و بسیار شدید (آبی پررنگ و

در محور عمودی شکل ۳ که ماه‌های مانند هر سال در محور افقی را نشان می‌دهد، عدد یک معادل دی‌ماه، عدد دو معادل بهمن‌ماه و به همین ترتیب تا

محدوده ۰ تا -۲) می‌تواند آن باشد که عمده بارش‌ها در این فصل به صورت برف است. به منظور مطالعه دقیق‌تر رفتار شاخص‌های SPI و SPEI، در یک دوره زمانی کوتاه‌تر در آخر دوره آماری در دسترس (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰) با هم مقایسه شدند. شکل ۳ روند تغییرات این شاخص‌ها را در بازه زمانی مذکور نشان می‌دهد.

سرمه‌ای) در ماه‌های فروردین تا آبان (ماه‌های ۴ تا ۱۱) اتفاق افتاده است. بالا بودن مقدار SPI در فصل بهار به دلیل بارش باران، امری طبیعی است و در این فصل انتظار وقوع سیل منطقی است. وقوع سیل در فصل تابستان با توجه به اقلیم منطقه، ناشی از ذوب برف است (۱۰). یکی از دلایل کم بودن مقدار این شاخص در فصل زمستان (مقدار SPI عمدتاً در

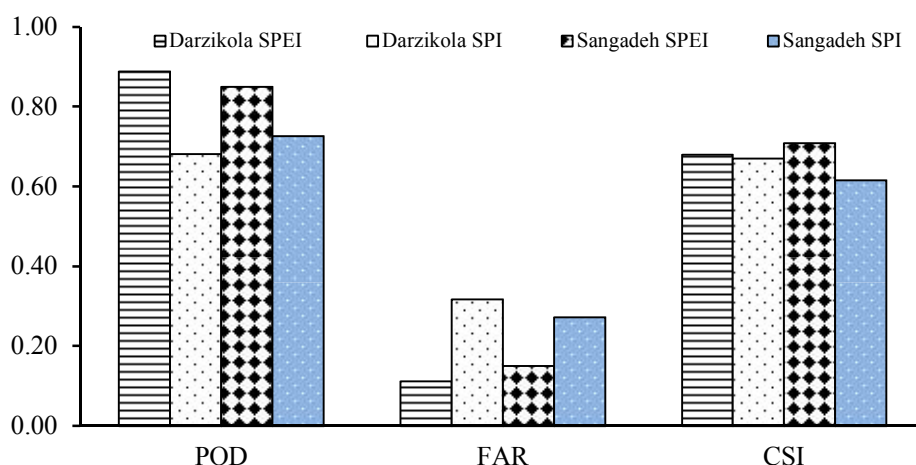


شکل ۴- مقایسه SPI و SPEI در ایستگاه سنگه در طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰.

Figure 4. Comparison of continues time series of SPI and SPEI from 2003 to 2011.

کم‌تری داشته باشد و تغییر رفتار این شاخص در مقیاس‌های مختلف ملایم‌تر باشد و در هر مقیاسی تغییرات ملایم‌تری نسبت به شاخص SPI دارد. با مقایسه اعداد دوره بازگشت به دست آمده از نرم‌افزار Easy Fit با میانگین روزانه دبی رودخانه، ملاحظه گردید که تعداد ۴۳ سیل در دوره آماری ۱۳۵۱ تا ۹۱ اتفاق افتاده است. برای مقایسه میزان موفقیت شاخص‌های SPI و SPEI در تشخیص سیلاب از سه پارامتر POD، FAR و CSI استفاده گردید. شکل ۵ مقادیر محاسبه شده سه پارامتر POD، FAR و CSI برای شاخص‌های SPI و SPEI در هر دو ایستگاه سنگه و درزیکلا نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۴ ملاحظه می‌شود که در بازه زمانی مورد بررسی شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI علاوه بر دامنه نوسان کوتاه‌تر، دارای فرکانس نوسانات کم‌تری دارد. علت این مسأله را می‌توان به استفاده از داده دما و به دنبال آن تعیین تبخیر و تعرق و استفاده از آن در محاسبه SPEI، نسبت داد. یعنی نوسانات کم‌تر دما و تبخیر و تعرق نسبت به بارندگی، سبب شده که فرکانس نوسانات و دامنه تغییرات شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI کم‌تر و محدودتر گردد. در مطالعات قبلی در مورد شاخص SPI ثابت شده که هرچه مقیاس زمانی محاسبه SPI کوتاه‌تر شود، SPI نوسانات بیش‌تری دارد (۱۸) و (۲۰). به نظر می‌رسد که این مسأله در مورد SPEI تأثیر



شکل ۵- پارامتر POD، FAR و CSI در دو ایستگاه سنگده و درزیکلا.

Figure 5. Values of POD, FAR and CSI statistics in Sangadeh and Darzikala stations.

می‌توان نتیجه‌گیری نمود که شاخص SPEI در پیش‌بینی و تشخیص سیل نسبت به شاخص SPI برتری دارد. در شکل ۶ به‌عنوان نمونه وضعیت شاخص‌های SPI و SPEI در هر دو ایستگاه سنگده و درزیکلا در تشخیص سیل رخ داده در تاریخ ۱۳۸۴/۰۸/۱۸ داده شده است. در این شکل، میله آبی رنگ تاریخ وقوع سیل را نشان می‌دهد.

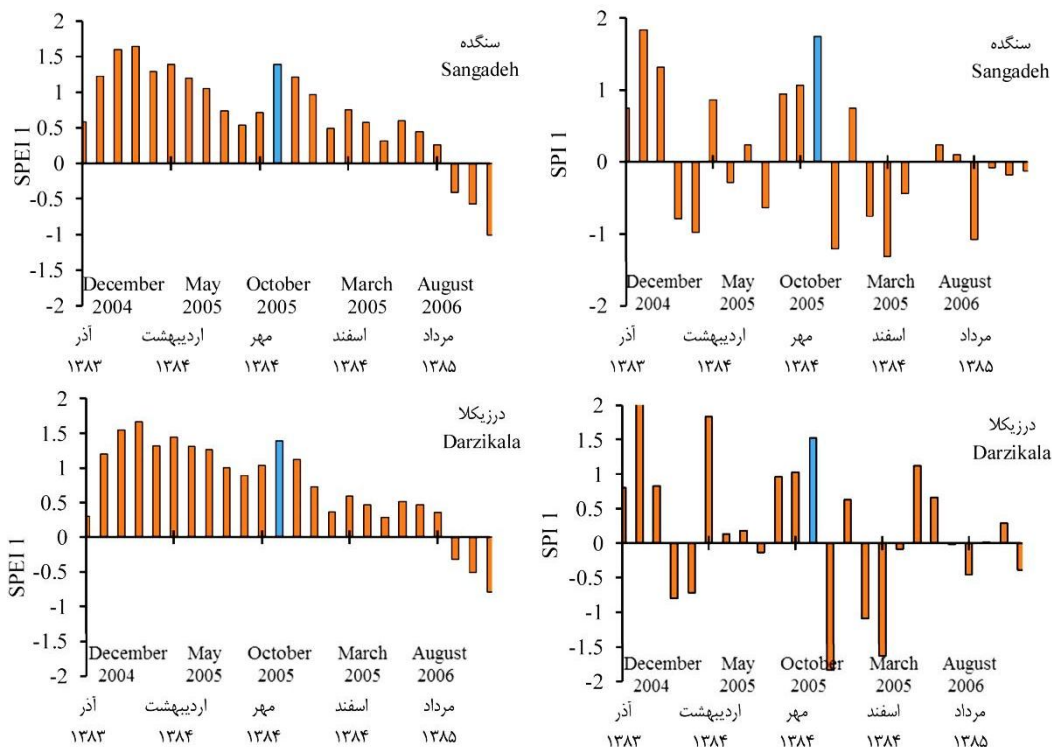
با توجه به شکل ۶ ملاحظه می‌شود که هر دو شاخص به خوبی توانسته‌اند وقوع سیل را تشخیص دهد البته SPEI محاسبه شده در هر دو ایستگاه نشان می‌دهد که نوسانات، حول صفر زیاد است و دوره تر با تداوم زیاد وجود ندارد اما SPEI محاسبه شده با همان مقیاس (یک‌ماهه) نوسان کم‌تری دارد و دوره تر نیز از تداوم بیش‌تری برخوردار است. در مورد SPEI مشاهده می‌شود که مقادیر SPEI دارای شیب تغییرات زیادی نبوده و مقدار حداقل و حداکثر آن در طی ۲۴ ماه نشان داده شده در شکل ۳ به‌ترتیب برابر عدد ۱- در ماه آبان در ایستگاه سنگده و برابر ۱/۶۴ در ماه اسفند در ایستگاه سنگده می‌باشد و به‌طور مشابه برای شاخص SPI این مقادیر برابر ۱/۸۴- در ماه آذر و ۲/۱۴ در ماه دی برای ایستگاه درزیکلا می‌باشد. این

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار POD مربوط به شاخص SPEI و در ایستگاه درزیکلا است که برابر ۰/۸۹ می‌باشد که با مقدار POD برای شاخص SPEI در ایستگاه سنگده (۰/۸۵) تفاوت چندانی ندارد. همچنین ملاحظه می‌شود که مقدار POD برای شاخص SPI در هر دو ایستگاه درزیکلا و سنگده کم‌تر از مقدار POD مربوط به شاخص SPEI و به‌ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۷۳ است.

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای پارامتر FAR بر اساس شکل ۵ ملاحظه می‌شود که کم‌ترین مقدار FAR نیز مربوط به همین ایستگاه درزیکلا و شاخص SPEI است با مقدار ۰/۱۱ است که مقدار آن با ایستگاه سنگده (۰/۱۵) تفاوت چندانی ندارد و از این نظر رفتاری مشابه پارامتر POD دارد. بالاترین مقدار FAR مربوط به ایستگاه درزیکلا در شاخص SPI است. شاخص CSI نیز که دیدی کلی از عملکرد شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد بیانگر برتری شاخص SPEI در ایستگاه سنگده است، البته باید توجه شود که دامنه تغییرات CSI در این مقایسه بین ۰/۶۲ تا ۰/۷۱ است. با در نظر گرفتن هر سه پارامتر POD، FAR و CSI

ملاحظه می‌شود که شاخص SPEI تا حدودی بهتر از شاخص SPI است که این با نتایج قبایی سوق و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

بدان معنی است که تفاوت حداقل و حداکثر مقادیر SPI برابر ۳/۹۸ و برای شاخص SPEI این مقدار برابر ۲/۶۴ بوده است. با توجه به پارامترهای بالا



شکل ۶- SPI و SPEI در ایستگاه‌های سنگده و درزیکلا برای رخداد سیل تاریخ ۱۳۸۴/۰۸/۱۸.

Figure 6. Values of SPI and SPEI for 9 July 2005 Sangadeh and Darzikala flood event.

تغرق- به‌خصوص در انتهای بهار و تابستان کارایی تا حدودی بهتر از شاخص SPI در حوضه کسلیان با رژیم برفی بارانی دارد. هر چند که شاخص SPI با به‌کارگیری تنها یک پارامتر، نتایج مطلوبی در پیش‌بینی سیلاب به‌دست می‌دهد و از آن‌جا که بارش تنها داده‌ای است که در همه حوضه‌های آبریز با دقت مناسب و از سالیان دور در دسترس بوده و حداقل دو ارگان در سطح کشور به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به آن می‌پردازند، این شاخص نیز دارای اهمیت است که این با نتایج شکوهی و همکاران (۱۳۹۶) و سیلر و همکاران (۲۰۰۲) همخوانی دارد (۱۸ و ۲۰).

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه به مقایسه و ارزیابی توانایی شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص نسبتاً جدید بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) برای تشخیص و پیش‌بینی سیلاب در حوضه آبریز کسلیان واقع در استان مازندران در دوره زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ پرداخته شد. محاسبات این شاخص‌ها از طریق کدنویسی در نرم‌افزار R و برای دو ایستگاه هواشناسی سنگده و درزیکلا با طول دوره آماری مشترک ۴۰ سال، انجام شد. بررسی تغییرات زمانی این شاخص‌ها نشان داد که شاخص SPEI به‌دلیل استفاده از داده دما و به تبع آن محاسبه تبخیر و

منابع

1. Du, J., Fang, J., XU, W., and Shi, P. 2013. Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27: 377-387.
2. Eghtedari, M., Bazrafshan, J., Shafe, M., and Hejabi, S. 2016. Prediction of streamflow drought using SPI and Markov chain in Kharkheh's basin. *J. Water Soil Cons.* 23: 2. 115-130.
3. Eslahi, M., Sobhani, B., and Poursaghar, F. 2014. Studying and applying the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Case study: Tabriz Meteorological Station). *J. Clim. Res.* 19: 23-28. (In Persian)
4. Ghabaei Sough, M., Zare Abyaneh, H., Mosaedi, A., and Samadi, S.Z. 2016. Assessment of Humidity Conditions and Trends Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SEPI) Over Different Climatic Regions of Iran. *J. Water Soil.* 30: 5. 1700-1717. (In Persian)
5. Ghorbani, Kh., Salari Jazi, M., and Abdolhosseini, M. 2015. Feasibility Study of the Precipitation of Annual Drought Based on Drought Conditions in the Spring Season. *Iran. J. Irrig. Drain.* 9: 636-645.
6. Guerreiro, M.J., Lajinha, T., and Abreu, I. 2008. Flood analysis with the standardized precipitation index (SPI).
7. Hao, Z., and AghaKouchak, A. 2014. A nonparametric multivariate multi-index drought monitoring framework. *J. Hydrometeorol.* 15: 1. 89-101.
8. Hatefi, A., Mosaedi, A., and Jabbari Nooghabi, M. 2016. The role of evapotranspiration in meteorological drought monitoring in some climate regions of Iran. *J. Water Soil Cons.* 23: 2. 1-21.
9. Heydari, A. 2000. Real-time flood forecasting and flood control. 4<sup>th</sup> Conference on Dam Construction, Tehran, Iran. (In Persian)
10. Hosseini Pazhouh, N. 2014. Studying the possibility of using SPI in the analysis of flood occurrence threshold. Case study: Kasilian basin. M.Sc. Thesis, Imam Khomeini International University. (In Persian)
11. Mashayekhi, T. 2001. Historical flood in Iran. Iranian national committee of large dams. No. 38, 89p. (In Persian)
12. Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology.* American Meteorological Society Boston, MA, Pp: 179-183.
13. Mostafazadeh, R., and Zabihi, M. 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *J. Earth Space Physic.* 34: 3. 633-643. (In Persian)
14. Nadi, M., Bazrafshan, J., Pourtahmasi, K., and Najafi Hersini, F. 2015. Relationship between oak's tree-ring and climate indices (in regional and global scales) in Javanroud region, Kermanshah. *J. Water Soil Cons.* 22: 3. 57-71.
15. Nadi, M., Pourtahmasi, K., Bazrafshan, J., and Braeuning, A. 2016. Two century tree ring reconstruction of drought using Multivariate Standardized Precipitation Index (MSPI) in Javanroud-Kermanshah region. *J. Water Soil Cons.* 22: 6. 99-116.
16. Pappenberger, F., Wetterhall, F., Dutra, E., Di Giuseppe, F., Bogner, K., Alfieri, L., and Cloke, H.L. 2013. Seamless forecasting of extreme events on a global scale. *Climate and Land Surface Changes in Hydrology*, edited by: Boegh, E., Blyth, E., Hannah, D.M., Hisdal, H., Kunstmann, H., Su, B., and Yilmaz, K.K., IAHS Publication, Gothenburg, Sweden, Pp: 3-10.
17. Salehi, M. 2014. Flood forecasting using artificial neural network and time series. M.Sc. Thesis, shahid bahonar university of kerman. (In Persian)



18. Seiler, R., Hayes, M., and Bressan, L. 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *Inter. J. Climatol.* 22: 1365-1376.
19. Shadmani, M., Marofi, S., Mohammadi, K., and Sabziparvar, A.A. 2011. Regional flood discharge modeling in Hamedan province using Artificial Neural Network. *J. Water Soil Cons.* 18: 4. 21-42. (In Persian)
20. Shokoohi, A., Hosseini Pazhouh, N., and Bakhtiari, A. 2017. Flood forecasting using daily scale SPI. *J. Civil Environ. Engine.* In Press. (In Persian)
21. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., and Lopez-Moreno, J.I. 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI. *J. Clim.* 23: 7. 1696-1718.
22. Yaghoobzadeh, M., Ahmadi, M., Seyyed Kaboli, H., Zamani, Gh.R., and Amirabadizadeh, M. 2017. The evaluation of effect of climate change on agricultural drought using ETDI and SPI indexes. *J. Water Soil Cons.* 24: 4. 43-61.
23. Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, K., and Hosseini Pazhouh, N. 2017. Study on spatial-temporal variation of SPEI (Case study: Razavi Khorasan province), 3<sup>rd</sup> International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources, Tehran, Iran. (In Persian)
24. Zhang, Q., Li, Q., Singh, V.P., Shi, P., Huang, Q., and Sun, P. 2018. Nonparametric integrated agrometeorological drought monitoring: Model development and application. *Journal of Annual Drought Based on Drought Conditions in the Spring Season. Iran. J. Irrig. Drain.* 9: 636-645.



## Assessment of standardized precipitation and standardized precipitation-evapotranspiration indices for wet period detection

N. Hosseini Pazhouh<sup>1</sup>, \*Kh. Ahmadaali<sup>2</sup> and A.R. Shokoohi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, University of Tehran,

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University

Received: 06.03.2018; Accepted: 09.25.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Flood is one of the deadliest natural disasters in the world, which causes enormous damages to human societies and changes in environment. In recent years, the possibility of floods in many parts of the world has been a source of concern for people and governments. This has caused the need for more experienced managers and flood engineers to reduce the flood impact on the society and environment. Flood forecasting is one of the most promising methods of flood risk management that provides valuable information for flood warning services and people and organizations in emergency situations will have enough time to prepare for flood control measures.

**Materials and Methods:** In this study, standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) in Darzikala and Sangadeh weather stations located in Kasilian basin, Mazandaran province were calculated to determine the wet period. Then, in order to explore the efficiency of SPI and SPEI in flood detection, the results were compared with river discharge time series in Valikbon gage station. The parameters for the diagnosis probability (POD), the False Warning Ratio (FAR) and the Critical Position Indicator (CSI) were used to assess the success rate of these indicators in flood detection at the stations.

**Results:** The results showed that the maximum and minimum POD, CSI and FAR were 0.89 and 0.68, 0.71 and 0.61, 0.32 and 0.11, respectively, for SPI and SPET indices. The trend analysis of mentioned indices showed that the SPEI index was relatively better than SPI due to the use of temperature data and hence the calculation of evapotranspiration, especially at the end of spring and summer in the Kasilian basin which has rainfall-snow regime.

**Conclusion:** Based on the POD, FAR and CSI statistics, it is suggested that due to the use of temperature data for snow melt, especially in spring and summer, the application of SPEI index is more suitable than SPI for flood forecasting in rainfall-snow regime. The SPI index is also an important indicator because of its ability in providing desirable results in flood forecasting with only one parameter and also due to this fact that the rainfall is the only accurate data with appropriate historical period in all watersheds and at least two organs in the country are collecting information about it.

**Keywords:** Flood, Kasilan catchment, Prediction, SPEI, SPI

---

\* Corresponding Author; Email: khahmadauli@ut.ac.ir

*Arch*