

مقایسه کمی نتایج هفت شاخص خشکسالی مبتنی بر بارش جهت انتخاب مناسب‌ترین شاخص برای پایش خشکسالی های ایران

پیمان محمودی^۱، اله بخش ریگی^۲

چکیده

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که به صورت مکرر یا متناوب اتفاق می‌افتد و تمامی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی یک جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی و انتخاب بهترین شاخص برای پایش خشکسالی در ایران است. برای این منظور از هفت شاخص خشکسالی $MCZI$ و EDI ، CZI ، DI ، $Z\text{-Score}$ ، $PNPI$ ، SPI استفاده گردید. جهت دستیابی به اهداف پژوهش از داده‌های بارش ماهانه ۴۱ ایستگاه سینوپتیک ایران در یک دوره ۲۸ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۳) استفاده شد. بعد از فراهم شدن پایگاه داده‌ها برای آنکه بتوان بهترین شاخص را برای پایش خشکسالی انتخاب کرد از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بعنوان شاخص پایه و مبنای محاسبات استفاده شد. در ابتدا برای پی بردن به رابطه بین شاخص‌ها، ضریب همبستگی تمام شاخص‌ها با شاخص مبنای بدست آمد که نتایج نشان داد شاخص CZI و شاخص ZSI بهترین همبستگی و شاخص EDI کمترین ضریب همبستگی را با شاخص SPI داشته‌اند. در ادامه برای مقایسه شاخص‌ها از نمودار پراکندگی، نمودار نوسانات ماهانه شاخص‌ها و هیستوگرام فراوانی استفاده شد که در مجموع نتایج نشان داد که شاخص شاخص EDI بهترین عملکرد را در مقایسه با شاخص SPI برای پایش خشکسالی ایران دارد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، ایران، شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، شاخص بارش استاندارد شده

(SPI)، مقایسه

^۱ دانشجویار، دکترای اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه، سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، نویسنده اول، رایانامه (p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir) (Email)

^۲ کارشناس ارشد، کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه، سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، نویسنده دوم، رایانامه (allahbakhsh.rigi@yahoo.com) (Email)

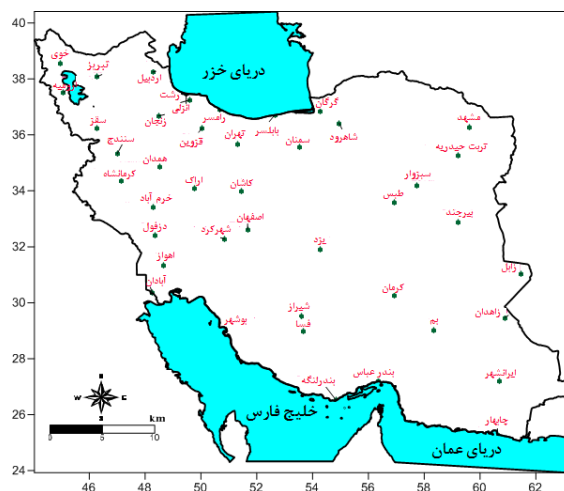
۱- مقدمه

برای پایش خشکسالی شاخص‌های مختلفی ارائه شده است. در این شاخص‌ها متغیرهای مورد استفاده و همچنین مقیاس‌های زمانی متفاوت بوده است. از جمله این شاخص‌ها می‌توان شاخص شدت خشکسالی پالمِر (PDSI) را نام برد. این شاخص در سال ۱۹۶۵ توسط پالمِر توسعه داده شد (۲۴). از متغیرهای مورد استفاده در این شاخص می‌توان به دما، بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک اشاره نمود. این شاخص به دلیل نیاز به اطلاعات فراوان، بعنوان یک شاخص اجرایی مطلوب برای سیستم‌های پایش، با مشکلات زیادی همراه بوده که بویان و ویلهایت (۱۰) به پاره‌ای از آنها اشاره داشته‌اند. یکی از شاخص‌های پرکاربرد دیگری که بسیار مورد توجه محققین در گوشه و کنار جهان قرار گرفته است شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است. مک‌کی و همکاران (۱۹) اولین کسانی بودند که با استفاده از این شاخص ایالت کلرادو را مورد پایش قرار دادند. بعد از آن محققین مختلفی برای تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های کشور خود از این شاخص استفاده کردند که بعنوان مثال می‌توان به کارهای سیلر و همکاران (۲۵)، لوکاس و واسیلیادس (۱۸)، میهایلوویچ (۲۰)، لادزکی (۱۷)، هانگ و همکاران (۱۴)، چانگ (۱۱) اشاره کرد همچنین از کارهای صورت گرفته در ایران می‌توان مطالعات محمودی و همکاران (۵)، علیجانی و بابایی (۳)، نگارش و همکاران (۷)، بذرافشان (۲)، عبودی و مساعدی (۴)، بذرافشان و همکاران (۱) را نام برد. علاوه بر این دو شاخص، شاخص‌های زیادی در نواحی مختلف جهان ابداع شده‌اند که هر یک از این شاخص‌ها سعی در بیان دقیق ویژگی‌های خشکسالی داشتند. هر چند که هیچ کدام از شاخص‌ها نسبت به شاخص‌های دیگر برتری ندارد ولی بعضی از آن‌ها در شرایط و مناطق خاصی بهتر عمل می‌کنند. مطالعه تطبیقی چند شاخص در یک منطقه این امکان را به محقق خواهد داد تا با مقایسه شاخص‌ها علاوه بر تعیین ویژگی‌های خشکسالی‌ها، دقت شاخص‌ها، بررسی ارتباط بین آنها و یکپارچگی آنها را در رابطه با یک هدف خاص مشخص کند. همچنین مطالعه تطبیقی چند شاخص در یک منطقه این امکان را به محقق خواهد داد تا با مقایسه شاخص‌ها بهترین شاخص را برای پایش خشکسالی آن منطقه انتخاب نماید. از مهمترین مطالعات صورت گرفته شده در این زمینه تحقیقات مرید و همکاران (۲۱) و وو و همکاران (۲۸) است. مرید و همکاران (۲۱) در طراحی سیستم پایش خشکسالی برای استان تهران در ایران به مقایسه شاخص‌های خشکسالی EDI، MCZI، CZI، SPI، PNPPII، DI پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های SPI و EDI نسبت به شاخص‌های دیگر عملکرد بهتری را داشته‌اند. در این مطالعه همچنین شاخص‌های ZSI، CZI و SPI رفتار مشابهی را داشته‌اند و دو شاخص MCZI و PNPPII برای منطقه مورد مطالعاتی، نتایج مطلوبی را نداشتند. وو و همکاران (۲۸) هم با استفاده از داده‌های بارندگی به ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، Z چینی و نمره Z در مقیاس‌های زمانی مختلف برای اقلیم‌های خشک و مرطوب چین پرداختند و نتایج این محققین نشان داد که هر سه شاخص نتایج یکسانی را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته‌اند. از دیگر مطالعاتی که بصورت تطبیقی به بررسی شاخص‌های مختلف در یک یا چند منطقه پرداخته‌اند می‌توان به کارهای محققینی همچون کیانتاش و دراکاپ (۱۶) و ناتل و گان (۲۳) اشاره کرد.

در این مقاله هدف بر آن است تا بهترین شاخص برای پایش خشکسالی‌های ایران با انواع اقلیم‌های مختلف انتخاب شود. لذا در راستای رسیدن به این هدف به مقایسه تطبیقی شاخص‌های مختلف خشکسالی در ایران پرداخته شد. این شاخص‌ها مبتنی بر متغیر بارش هستند چرا که بارش اصلی‌ترین عاملی است که در ایجاد، گسترش و دوام خشکسالی‌ها سهم می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

کشور پهناور ایران در جنوب غرب آسیا در کمربند بیابانی نیمکره شمالی قرار گرفته است. به سبب موقعیت خاص جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی هر منطقه از ایران آب و هواهای متفاوتی بر آن حاکم است. در این مطالعه برای مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی‌های ماهانه در ایران، از آمار بارش ماهانه ۴۱ ایستگاه سینوپتیک ایران در یک دوره ۲۸ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۳) استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای این مطالعه هفت شاخص خشکسالی: درصد از نرمال بارش (PNPIPI) (۲۷)، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) (۱۹)، شاخص دهک‌ها (DI) (۱۳)، شاخص Z چینی (CZI) (۲۸)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI) (۲۸)، شاخص Z-Score (۲۱) و شاخص خشکسالی موثر (EDI) (۹) انتخاب شدند. ویژگی مشترک در همه این شاخص‌ها این است که برای محاسبه آن‌ها از پارامتر بارش در مقیاس ماهانه استفاده شده است.

۳- بحث و نتایج

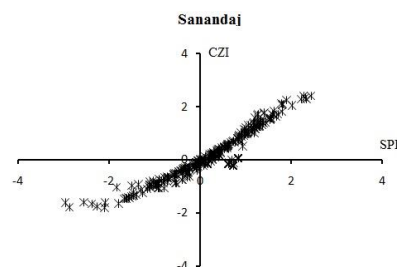
برای مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی در ایران از میان هفت شاخص مورد مطالعه شاخص SPI بعنوان شاخص مبنا انتخاب گردید. برای آنکه بتوان این شاخص را با دیگر مقایسه کرد محدوده‌ی عددی یکسانی برای آن‌ها در نظر گرفته شد. اما برای شاخص‌های PNPIPI و DI این امکان وجود ندارد چرا که محدوده ارقام آن‌ها بسیار متفاوت با شاخص SPI است برای این منظور تغییراتی در طبقه بندی این شاخص‌ها ایجاد شد تا بتوان امکان مقایسه آن‌ها را فراهم نمود (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه بندی مقادیر شاخص های خشکسالی مورد مطالعه (۲۱)

رتبه	طبقات	SPI	EDI	DI %	PNPI
۳	ترسالی خیلی شدید	≥ 2	$\geq 2/5$	≥ 90	
۲	ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹	۲/۴۹ تا ۱/۵	۹۰ تا ۸۰	
۱	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹	۱/۴۹ تا ۰/۷	۸۰ تا ۷۰	≥ 110
۰	نرمال	۰/۹۹ تا -۹۹/۰	-۰/۶۹ تا ۰/۶۹	۷۰ تا ۳۰	۱۱۰ تا ۸۰
-۱	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹	-۰/۷ تا -۱/۴۹	۳۰ تا ۲۰	۸۰ تا ۵۵
-۲	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۱/۵ تا -۲/۴۹	۲۰ تا ۱۰	۵۵ تا ۴۰
-۳	خشکسالی خیلی شدید	≤ -2	$\leq -2/5$	≤ 10	≤ 40

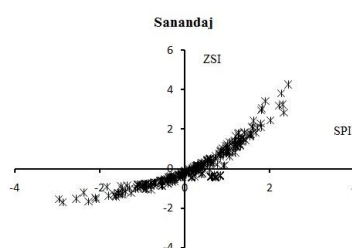
در ابتدا برای بررسی ارتباط بین شاخص های مختلف خشکسالی با شاخص SPI، ضریب همبستگی پیرسون شاخص های ZSI، CZI و MCZI با شاخص SPI برای کل دوره مورد مطالعه برای تمام ایستگاه ها بدست آمد که به دلیل رعایت اصل اختصار جدول نتایج همبستگی در مقاله گنجانده نشد. نتایج این همبستگی ها نشان داد که شاخص های CZI و ZSI به ترتیب بهترین همبستگی را با شاخص SPI داشته اند. بگونه ای که در ایستگاه های شهرکرد، قزوین و ارومیه همبستگی شاخص CZI و SPI به ۰/۹۸ و همچنین بالاترین ضریب همبستگی بین شاخص ZSI و SPI در ایستگاه های گرگان، خوی، شهرکرد، تربت حیدریه و یزد با ۰/۹۴ بوده است. همبستگی بین شاخص MCZI با شاخص SPI در بسیاری از ایستگاه ها ضعیف بوده است چنانکه که در ایستگاه تهران ۰/۴۴، آبادان ۰/۴۸ و بیرجند ۰/۵۱ بدست آمده است. همبستگی بین شاخص EDI و شاخص SPI بسیار ضعیف و پایین تر از همه شاخص ها بوده است بالاترین ضریب همبستگی این شاخص در ایستگاه خوی، تهران و یزد ۰/۴۱ بوده است که همبستگی بسیار ضعیفی است و در ایستگاه های رامسر، رشت و بیرجند هیچ گونه همبستگی بین این دو شاخص بدست نیامد. لازم به ذکر است که همبستگی های صورت گرفته برای تمام شاخص ها، برای همه ایستگاه ها در سطح معناداری ۹۹ درصد نیز معنی دار بدست آمد. در مجموع می توان گفت که شاخص های CZI، ZSI و SPI نتایج مشابهی را داشته اند که نتایج این بخش از تحقیق مورد مطالعه با تحقیقات وو و همکاران (۲۸) و مرید و همکاران (۲۱) مطابقت دارد و نتایج آن ها را تایید می نماید.

در شکل (۲) برای نمونه مقایسه دو شاخص SPI و CZI ایستگاه سنندج را نشان می دهد طبق نتایج بدست آمده از این نمودارها، برای ایام ترسالی تمام نتایج برای تمام ایستگاه های بدست آمده یکسان است. برای شرایط خشکسالی، هماهنگی بین دو شاخص SPI و CZI برای بیشتر ایستگاه ها نزدیک است ولی برای ایستگاه های مانند آبادان، بوشهر، یزد، زابل، شیراز و چابهار این هماهنگی وجود ندارد در بیشتر این ایستگاه ها شاخص SPI عکس العمل بیشتری را نسبت به شرایط خشکسالی از خود نشان داده است. آنچه که می توان در مورد قیاس این دو شاخص گفت این است که شاخص SPI عکس العمل بیشتری را نسبت به شرایط خشکسالی از خود نشان می دهد.



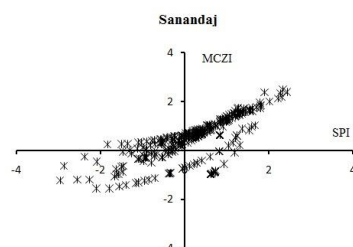
شکل ۲. مقایسه شاخص‌های خشکسالی SPI و CZI برای ایستگاه سنندج

مقایسه بین دو شاخص SPI و شاخص Z-Score در شکل (۳) برای ایستگاه سنندج به عنوان نمونه ای از ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج بدست آمده هماهنگی بین دو شاخص را در بیشتر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد فقط در بعضی از ایستگاه‌ها مانند آبادان، اهواز این هماهنگی کمتر به چشم می‌خورد. نکته قابل توجه این است که شاخص ZSI نسبت به شاخص SPI تمایل بیشتری به نشان دادن شرایط ترسالی از خود نشان می‌دهد.



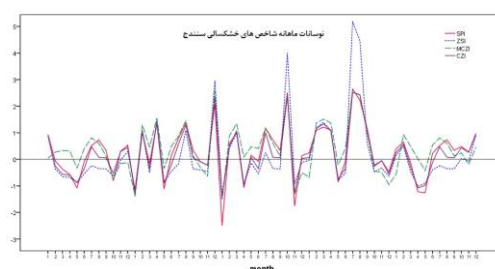
شکل ۳. مقایسه بین دو شاخص خشکسالی SPI و ZSI برای ایستگاه سنندج

برای مقایسه شاخص SPI و شاخص MCZI بمانند دو شاخص دیگر از نمودار پراکندگی استفاده گردید. شاخص MCZI به مانند شاخص CZI است اما به جای میانگین از میانه در این شاخص استفاده شده است. نتایج بدست آمده از مقایسه این دو شاخص نشان داد که فقط در ایستگاه کرمان هم در ترسالی‌ها و هم در خشکسالی‌ها بین این دو شاخص هماهنگی وجود دارد ولی در سایر ایستگاه‌ها هیچ توافقی بین این دو شاخص نیست (شکل ۴). در شکل ۴ ایستگاه سنندج به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۴. مقایسه دو شاخص SPI و MCZI برای ایستگاه سنندج

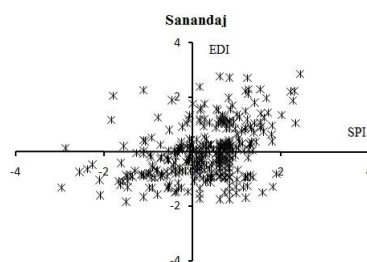
شکل (۵) نوسانات شاخص‌های $MCZI$ ، CZI ، Z -Score با شاخص SPI را برای ایستگاه سنندج نشان می‌دهد برای این منظور یک دوره ده ساله (۱۹۸۵-۱۹۹۴) انتخاب گردید و از میان این ده سال یک دوره ۵ ساله برای تمام ایستگاه‌ها انتخاب شد که در آن هم ترسالی و هم خشکسالی اتفاق افتاده باشد. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه هماهنگی بین شاخص‌های SPI ، CZI و ZSI وجود دارد با این تفاوت که شاخص ZSI وقوع ترسالی‌ها و شاخص SPI خشکسالی‌ها را بیشتر از دیگر شاخص‌ها نشان می‌داد، نکته قابل توجه این بود که شاخص $MCZI$ هماهنگی کمی با دیگر شاخص‌ها دارد که تفاوت در رفتار این شاخص را در بعضی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه‌های سمنان، اراک و اهواز می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۵. بررسی نوسانات شاخص‌های مختلف خشکسالی برای ایستگاه سنندج

۳-۱. مقایسه شاخص EDI و شاخص SPI

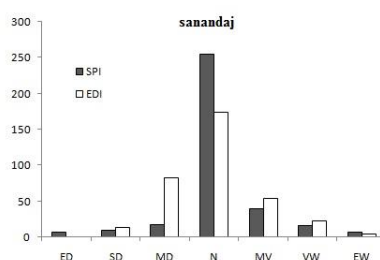
برای مقایسه دو شاخص در ابتدا برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه از نمودار پراکندگی استفاده شد. نتایج نشان داد که در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد بررسی، در رفتار بین این دو شاخص هیچ گونه هماهنگی دیده نمی‌شود، فقط در ایستگاه رامسر این ناهماهنگی کمتر مشاهده گردید (شکل ۶). محدوده ضریب همبستگی دو شاخص هم که قبلاً مورد ارزیابی قرار گرفت بسیار ضعیف و در بعضی از ایستگاه‌ها هم این همبستگی وجود نداشت.



شکل ۶. مقایسه دو شاخص SPI و شاخص EDI برای ایستگاه سنندج

برای ارزیابی دقیق‌تر مقایسه بین این دو شاخص، فراوانی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی برای دو شاخص بدست آمد. شکل (۷) فراوانی طبقات خشکسالی و مرطوب را برای ایستگاه سنندج نشان می‌دهد. دسته بندی‌های صورت گرفته در محور افقی شکل ۷ به این شرح تعریف شدند که ED طبقه خشکسالی بسیار شدید، SD خشکسالی شدید، MD خشکسالی متوسط، N طبقه نرمال، MW طبقه ترسالی متوسط، SW ترسالی شدید و EW ترسالی خیلی شدید را نشان می‌دهد. نتایج گویای این مطلب است که فراوانی طبقه نرمال در هر دو

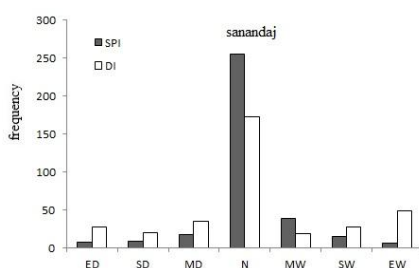
شاخص بیش از سایر طبقات است ولی فراوانی این طبقه در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی به جز ایستگاه رامسر و زاهدان در شاخص SPI بیشتر از شاخص EDI است. نتیجه قابل توجه دیگری که از مقایسه نتایج فراوانی این دو شاخص در دوره مورد بررسی می‌توان فهمید این است که طبقه خشکسالی بسیار شدید در شاخص EDI فقط در ایستگاه گرگان مشاهده شده است و در سایر ایستگاه‌ها هیچ فراوانی در این طبقه بدست نیامده است.



شکل ۷. مقایسه طبقات مختلف دو شاخص SPI و EDI ایستگاه سنندج

۲-۳. مقایسه شاخص SPI و شاخص DI

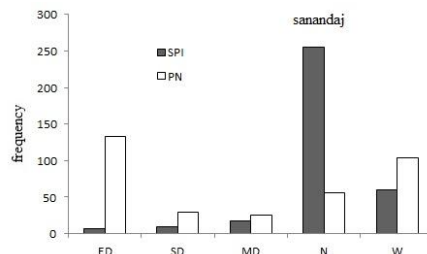
مقایسه فراوانی طبقات ترسالی و خشکسالی دو شاخص SPI و DI در شکل ۸ برای ایستگاه سنندج به عنوان نماینده ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج گویای این مطلب است که طبقه نرمال در شاخص SPI در همه ایستگاه‌های مورد بررسی بسیار بیشتر از شاخص DI است ولی اعلام شرایط غیر نرمال در اکثر طبقات، مخصوصاً در طبقه خشکسالی شدید و طبقه خیلی شدید در شاخص DI نسبت به شاخص SPI در اکثر ایستگاه‌ها بسیار بیشتر است که این نشان می‌دهد که شاخص DI نوسانات شدیدتری نسبت به SPI را تجربه کرده است.



شکل ۸. مقایسه طبقات مختلف دو شاخص SPI و DI

۳-۳. مقایسه شاخص SPI و شاخص PNPI

شکل ۹ مقایسه دو شاخص SPI و PNPI را برای ایستگاه سنندج نشان می‌دهد. طبقات تعریف شده در این مقایسه به مانند قیاس شاخص DI با SPI است با این تفاوت که تمام طبقات ترسالی در یک گروه قرار داده شدند. نتایج نشان داد که فراوانی طبقه خشکسالی خیلی شدید در شاخص PNPI در تمام ایستگاه‌ها چند برابر بزرگ‌تر از شاخص SPI است.



شکل ۹. مقایسه طبقات مختلف دو شاخص SPI و PNPI

در پایان می‌توان به این نکته اشاره کرد که مقایسه تمام شاخص‌ها با شاخص SPI در این تحقیق با نتایج متج از تحقیقات مرید و همکاران (۲۱) و (۸)، مقدسی و همکاران (۶) مطابقت دارد و نتایج تحقیق آن‌ها را تایید می‌نماید.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق برای مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی‌های ایران از هفت شاخص خشکسالی EDI, CZI, SPI, PNPII, ZSI, DI و MCZI استفاده گردید از بین این شاخص‌ها، شاخص SPI با توجه به مزایایی که قبلاً ذکر گردید بعنوان شاخص مبنا در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص CZI و شاخص ZSI علی‌رغم توزیع احتمالاتی متفاوت با شاخص SPI، بیشترین هماهنگی را با این شاخص را داشته‌اند. شاخص MCZI اصلاح شده همچون شاخص Z چینی (CZI) است که هماهنگی قابل ملاحظه‌ای به مانند شاخص CZI در رفتار این شاخص با شاخص SPI مشاهده نگردید و نتایج مطلوبی را برای ایستگاه‌های مورد بررسی نداشت. شاخص PNPI هم به مانند شاخص MCZI شاخص مناسبی برای کشور تشخیص داده نشد چرا که اعلام وضعیت خشکسالی شدید در این شاخص چند برابر شاخص SPI است که بسیار غیر منطقی به نظر می‌رسد. همچنین طبقات خشکسالی و ترسالی در شاخص DI نوسانات شدیدتری نسبت به شاخص SPI را در ایستگاه‌های مورد بررسی را داشتند. اما شاخص EDI که هیچ گونه توزیع آماری در ساختار آن بکار گرفته شده است و تقسیم بندی آن تا حدودی با تقسیم بندی شاخص SPI مشابه بود نتایج آن از تغییرات یکنواخت‌تری نسبت به دیگر شاخص‌ها برخوردار بود بطوریکه نوسانات دیگر شاخص‌ها مانند شاخص PNPII و شاخص DI در این شاخص وجود نداشت. از آنجا که معیار خاصی برای اینکه بتوان بهترین شاخص را برای پایش خشکسالی‌های کشور انتخاب کرد وجود ندارد در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان گفت که شاخص EDI و سپس شاخص SPI بهترین عملکرد را در پایش خشکسالی در کشور داشته‌اند. مقایسه این دو شاخص نشان داد که فراوانی طبقه نرمال در شاخص SPI بسیار بیشتر از شاخص EDI است که پایین بودن طبقه نرمال در شاخص EDI سبب شده است تا ضریب پخی شاخص EDI کمتر از SPI باشد. از جمله پیشنهادات این تحقیق می‌توان به اصلاح شاخص SPI اشاره کرد چرا که شاخص SPI از طریق توزیع گاما به تحلیل بارش جهت پایش خشکسالی‌ها می‌پردازد و این امکان وجود دارد که این توزیع برای همه ایستگاه‌های مورد بررسی مناسب نباشد پس توصیه می‌گردد که در مرحله اول باید به یک توزیع احتمالاتی مناسب برای ایستگاه‌های کشور دست یافت. همچنین باید در تقسیم بندی عددی این شاخص اصلاحاتی لحاظ گردد بنابراین در صورت رفع این مشکلات می‌توان به نتایج بهتری با این شاخص برای کشور دست یافت.

منابع مورد استفاده

۱. بذرافشان، ا. ا.، ساروی، م.، ملکیان، آ. و معینی، ا. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸(۳): ۳۹۵-۴۰۷.
۲. بذرافشان، ج. ۱۳۸۹. کاربرد مدل‌های لوگ خطی در تحلیل انتقال طبقات خشکسالی شاخص بارندگی استاندارد (SPI) در ایستگاه‌های هواشناسی قدیمی ایران طی قرن بیستم. مجله پژوهش آب ایران، ۱۴(۷): ۱۰۹-۱۱۹.
۳. علیجانی، ب. و بابایی، ا. ۱۳۸۸. تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران. جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، ۱۱(۱): ۱۰۹-۱۲۱.
۴. عیوضی، م. و مساعدی، ا. ۱۳۹۰. پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین آماری. مرتع و آبخیزداری (منابع آب طبیعی ایران)، ۶۴(۱): ۶۵-۷۸.
۵. محمودی، پ.، منصوری، ق.، شاه‌وزئی، ع. و خسروی، پ. ۱۳۸۶. خشکسالی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی در استان سیستان و بلوچستان. کنفرانس ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۶. مقدسی، م.، مرید، س.، یایون، ه. ر.، قائمی، ه. و سلیمان جمال، م. و. ۱۳۸۳. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص DI-SPI-EDI در استان تهران. تحقیقات کشاورزی، ۳۶(۱): ۵۱-۶۲.
۷. نگارش، ح.، خسروی، م.، شاه حسینی، م. و محمودی، پ. ۱۳۸۹. مطالعه خشکسالی‌های کوتاه مدت شهرستان زاهدان. جغرافیا و توسعه، ۸(۱۸): ۱۳۴-۱۰۹.
۸. مرید، س.، قائمی، ه.، مقدسی، م. و پایمزد، ش. ۱۳۸۳. طراحی سیستم پایش خشکسالی برای استان تهران، طرح تحقیقاتی. وزارت نیرو.
9. Byun, H. R. and Wilhite, D. A., 1996. Daily quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 12(9): 2747-2756.
10. Byun, H. R. and Wilhite, D. A., 1996. Objective quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 12(9): 2747-2756.
11. Chang, S. 2013. The implications of geography and climate on drought trend. International Journal of Climatology, 33(13): 2799 –2815.
12. Dogan, S., Berkday, A. and Singh, V.P., 2012. Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. Journal of Hydrology, 470–471: 255–268.
13. Gibbs, W. J., and Maher, J. V., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology, Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.
14. Hong, W., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Wen, F., 2007. Appropriate Application of the Standardized Precipitation Index in Arid location and dry Seasons, International Journal of Climatology, 27(1): 65-79
15. Kerang, L., 2001. Drought Early Warning and Impact Assessment in China. Issue of drought network news [on-line], Available on the www. Drought. .unl.edu/ monitor/Ews/ch9-li.Pdf



16. Keyantash, J., Dracup, J. A., 2002. the quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8): 1167–1180.
17. Labędzki, L., 2007 .Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. Irrigation and Drainage, 56(1): 67–77.
18. Loukas, A., and Vasiliades, L., 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly Region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4(5-6): 719-731.
19. McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1993. the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, USA.
20. Mihajlovic, D., 2006. Monitoring the 2003–2004 meteorological droughts over Pannonian part of Croatia. International Journal of Climatology, 26 (15): 2213–2225.
21. Morid, S., Smakhtin, V., and Moghaddasi, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. International Journal of Climatology, 27(15): 971–985.
22. Mpelasoka, F., Hennesy, K., Jones, R., and Bates, B., 2008. Comparison of suitable drought indices for climate change impacts assessment over Australia towards resource management. International Journal of Climatology, 28(10): 1283–1292.
23. Ntale, H. K., and Gan, T., 2003. Drought indices and their application to East Africa. International Journal of Climatology, 23(11): 1335–1357.
24. Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought, Research paper45, No. 45.
25. Seiler, R. A., Hayes, M. and Bressan, L., 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring, International Journal of Climatology, 22(11): 1365–1376.
26. Vinit, K. J., Rajendra, P. P., Manoj, K. J. and Byun, H. R., 2015. Comparison drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin, Weather and Climate Extremes. 8: 1–11.
27. Willeke, G., Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. and Guttman, N. B., 1994. the National Drought Atlas. Institute for Water Resources Rep. 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.
28. Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A. and Hu, Q. I. 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the china-Z Index and the statistical Z-Score. International Journal of Climatology, 21(6): 745–758.



Quantitative comparison of the results of seven drought indices based on rainfall to select the most appropriate indicator for monitoring Iran's droughts

Peyman Mahmoudi¹, Allahbakhsh Rigi²

Abstract

The aim of this article was to select the best indicators to monitor Iran's droughts with a variety of different climates. In this study, to compare various droughts parameters in Iran, seven drought indicators of SPI, PNPII, ZSI, DI, CZI, EDI and MCZI were used. Among these indices, the SPI indicator was considered as the benchmark index due to its previously mentioned benefits. The results showed that CZI and ZSI indices, despite the different probability distribution with SPI index, have had the most coordination with this index. The MCZI index is the modified form of Chinese-Z Index (CZI) that considerable coordination such as CZI index was not observed in the behavior of this index with SPI index, and showed no favorable results in the studied stations. As MCZI, PNPII index was not also recognized as a good indicator for the country (Iran), since declaring a severe drought state in this index is several times than the SPI index, which seems very illogical. Also, classes of drought and rain in the DI index had greater fluctuations than to the SPI index in the studied stations. However, in case of the EDI index, in which no statistical distribution has been used in its structure and had a somewhat similar division to the SPI index division, its results had smoother changes than the other indices so that the fluctuations of other indicators such as PNPII and DI indices were not found in this index. Since there is no specific criteria to select the best indicator for monitoring of the country's droughts, in total, according to the results of this study, one can say that the EDI, and then the SPI, have had the best performance in monitoring the droughts in the country. Comparing these two indicators showed that the frequency of normal class in the SPI is much higher than EDI. The low normal class in EDI has caused lower coefficient of kurtosis in EDI than the SPI.

Keywords: Iran, Drought, SPI, EDI, Comparison

¹. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

². Master's Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: allahbakhsh.rigi@yahoo.com.