

بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان

حلیمه پیری^۱، وحید راهداری^۲، سعیده ملکی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۰۱۵

چکیده

مطالعه وضعیت خشکسالی در نواحی مختلف در تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت خطر آن از اهمیت زیادی برخوردار است. بارندگی یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که از آن در تعریف خشکسالی استفاده می‌شود. نمایه‌های مختلفی بر پایه بارش برای ارزیابی خشکسالی ارائه شده است. بررسی حالات وقوع همزمان طبقات هر نمایه معین خشکسالی می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی تطابق نمایه‌ها باشد. هدف از این تحقیق بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان و انتخاب مناسب‌ترین نمایه می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، با استفاده از داده‌های سالانه بارش از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۸۹ و با استفاده از شاخص درصد از نرمال (PN)، دهک‌های بارندگی (DPI)، بارش استاندارد (SPI)، ناهنجاری‌های بارش (RAI) در هفت ایستگاه هواشناسی استان سیستان و بلوچستان خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته و پهنه‌بندی گردید. جهت انتخاب مناسب‌ترین نمایه از ضریب همبستگی اسپرمن بین شاخص خشکسالی و تغییرات بارندگی در دوره آماری مورد مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد، در شهرهای زهک، زابل، ایرانشهر و چابهار شاخص PN با ضریب همبستگی یک، در شهرهای زاهدان و سراوان شاخص RAI با ضریب ۰/۸۴ و ۰/۹۹ و در خاش شاخص SPI با ضریب همبستگی یک توانسته‌اند خشکسالی شدید و بسیار شدید را نسبت به دیگر شاخص‌ها بهتر نشان دهند. در ارزیابی روابط همبستگی نمایه‌های زوج شده PN-RAI، SPI-RAI و PN-SPI در اکثر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ($p < 0/01$) از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: استان سیستان و بلوچستان، پهنه‌بندی، خشکسالی، نمایه‌های خشکسالی (DPI, RAI, PN, SPI).

۱مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران، ۰۹۱۵۳۴۵۴۹۱۷ H_piri2880@yahoo.com (نویسنده مسئول)

۲مربی، گروه محیط زیست، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳مربی، گروه محیط زیست، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مقدمه

اطلاعات، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی از لحاظ دقت یکی از بهترین شاخص‌های خشکسالی است که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد. (پالمر، ۱۹۶۵) کارهای اولیه در خصوص پایش عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه خشکسالی در مقیاس کوچک در سال ۱۹۶۶ توسط ویپل (whipple) آغاز شد و سپس توسط سایر محققین برای ایالاتی از آمریکا که بیشتر در معرض خشکسالی بودند مانند ایالات غرب و جنوب غربی دنبال گردید. (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹) کارل و کاسلی در سال ۱۹۸۲ با بررسی میانگین دوره‌های متوالی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله دما و بارندگی روند تغییرات خشکسالی را در کل کشور آمریکا مورد بررسی قرار داده و نشان داد که دمای هوا رو به افزایش بوده و از نظر بارندگی برخی مناطق رو به خشکی و برخی مناطق رو به مرطوب شدن پیش می‌روند. (کارل و کاسلی، ۱۹۸۲) هونگ و همکاران (۲۰۰۱) سه شاخص خشکسالی (CZI)، بارندگی استاندارد شده (Z) و (ZSI) را در چهار ناحیه در کشور چین که شرایط خشک تا مرطوب را داشتند با استفاده از ۴۸ سال آمار بارندگی (۱۹۹۸ - ۱۹۵۱) و دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ارزیابی کردند. در این تحقیق شاخص SPI مبنا قرار داده شد و سایر شاخص‌ها و عکس‌العمل آن‌ها در سال‌های خشک و تر نسبت به این شاخص ارزیابی گردید. برای این بررسی از همبستگی خطی بین مقادیر این شاخص‌ها با SPI استفاده شد. این همبستگی بین مقادیر SPI و ZCI بیان‌گر اینست که SPI و ZCI معمولاً رابطه خوبی در مقیاس‌های زمانی مختلف بجز در مقیاس زمانی سه ماهه و در شرایط بسیار خشک از خود نشان می‌دهد. (هونگ و همکاران، ۲۰۰۱) عسکری‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از نمایه درصد از نرمال (PN) در استان خراسان رضوی را انجام دادند. نتایج نشان داد الگوی بارش در نقاط مختلف استان یکسان نبوده و در طی دوره مطالعاتی روند مقادیر بارش ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین مقایسه طبقه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص PN بر اساس داده‌های آماری نشان داد که شاخص PN علیرغم سادگی آن در بسیاری از مواقع (مثلاً در ماه‌های تابستان) می‌تواند گمراه‌کننده باشد و جهت پایش خشکسالی استفاده از سایر شاخص‌های خشکسالی

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است که خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌آورد و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌هایی دارد. عمده این تفاوت‌ها در تاثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تاثیر آن می‌باشد. از طرف دیگر نبود تعریف دقیق و قابل قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده می‌افزاید. خشکسالی‌ها در حالت کلی سه نوع هستند: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی کشاورزی. خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی ناشی از کمبود بارندگی می‌باشد که در صورت تداوم منجر به خشکسالی هیدرولوژی و کشاورزی می‌گردد. بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی بکار رفته است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کم‌تر یا بیشتر بودن ریزش‌های جوی از میانگین بارندگی یک منطقه سنجیده می‌شود. (زارع ابیانه و محبوبی، ۱۳۸۳) پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشت زمین می‌شود. از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری می‌باشد. ایران بدلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی و مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در نتیجه در اکثر سال‌ها دچار خشکسالی شدید شده است. آیین‌های باران خواهی که سابقه هفت هزار ساله در ایران دارد موید این نکته می‌باشد. (پاپلی یزدی، ۱۳۷۸، ص ۱۸۶) این پدیده در سال‌های اخیر خسارات زیادی به بار آورده است. بطوری‌که تنها در سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب ۳/۵ و ۲/۶ میلیارد دلار خسارت بر اقتصاد وارد نموده است. (بنی‌واهب و علیجانی، ۱۳۸۳) پالمر را می‌توان جزء اولین محققینی دانست که در سال ۱۹۴۶ میلادی بطور علمی و با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های مختلف این پدیده پرداخت. وی در گزارشی روشی را معرفی کرد که با استفاده از پارامترهای بارش، دما و رطوبت خاک به روندیابی خشکسالی می‌پرداخت. این روش به دلیل محاسبات پیچیده و کمبود

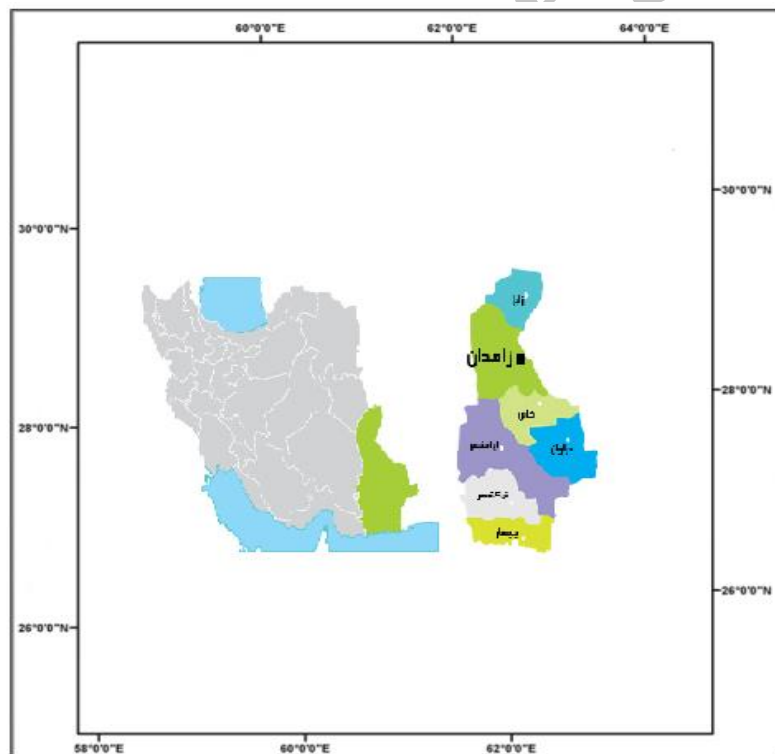
این دو نمایه در بیشتر موارد تطابق خوبی مشاهده نشد و رفتار متفاوتی از خشکسالی را نشان می‌دهند. (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹). کنسلیر و همکاران (۲۰۰۷) خشکسالی‌های ماهانه را با توابع انتقال احتمال، شاخص SPI و فرض نرمال بودن داده‌های بارندگی ماهانه پیش‌بینی کردند. آن‌ها مقادیر آبی شاخص SPI را بوسیله ماتریس ضریب همبستگی که از روش تحلیلی به وسیله توابع آماری مشتق شده بود پیش‌بینی کردند، ضمن آنکه نتایج آن‌ها تفاوت چندانی با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده نداشتند. در ایران نیز محققین از شاخص فوق به تنهایی و یا در مقایسه با دیگر شاخص‌ها بهره گرفتند. مطالعات صورت گرفته غالباً بصورت نقطه‌ای و محدود به بخش‌هایی از ایران بوده و در سطوح بزرگ، کم‌تر پهنه‌بندی و بررسی انجام شده است. (کنسلیر، ۲۰۰۷) در این خصوص می‌توان به مطالعات بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) اشاره نمود. آنان از شاخص SPI در بررسی روند خشکسالی‌های استان همدان استفاده کرده و نتایج را با نرم افزار Arcview پهنه‌بندی کردند. (بانژاد و همکاران، ۱۳۸۵)

در این تحقیق به مطالعه ویژگی‌های بارندگی در استان سیستان و بلوچستان، بررسی وضعیت خشکسالی آن با استفاده از نمایه‌های خشکسالی SPI، DPI، PN، RAI و پهنه‌بندی خشکسالی در سه دهه گذشته پرداخته شده است تا بتوان ضمن بررسی وضعیت خشکسالی و نقش حیاتی که آب به عنوان مهم‌ترین عامل در زیر ساخت توسعه و فعالیت‌های عمرانی و آبادانی منطقه دارد، مناسب‌ترین نمایه‌ای که وضعیت خشکسالی را در منطقه مورد مطالعه بیان می‌کند، تعیین گردد. استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور می‌باشد، که در بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی، در شرق کشور قرار دارد. این استان به دلیل قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین، از آب و هوایی گرم و خشک برخوردار است و در بیش از نیمی از سال تحت تسلط سامانه پرفشار جنب حاره‌ای قرار دارد. همین عامل باعث گرم و خشک شدن هوا می‌شود. منشا اصلی بارندگی‌های جنوب شرق ایران عمدتاً سامانه‌های مدیترانه‌ای هستند که در فصول سرد سال در بستر بادهای غربی به این منطقه وارد می‌شوند. ترکیب سامانه‌های مختلف در فصول سرد

مناسب‌تر به نظر می‌رسد. (عسکری‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷) داپینگنی (۲۰۰۱) به بررسی اثرات خشکسالی طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۸ در ایالت درمونت آمریکا پرداخت. نتایج مطالعات نشان داد شاخص SPI در مقایسه با شاخص DPSI در مقیاس یک ماهه شروع شرایط خشک و شدت آن را بهتر نشان می‌دهد. (داپینگنی، ۲۰۰۱) سرانو و مورنو (۲۰۰۵) عکس‌العمل‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های زمانی مختلف خشکسالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در دشت رودخانه آراگون بررسی کردند و شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با تغییرات هیدرولوژیک سطحی در این دشت مقایسه شد و فواید مقیاس‌های مختلف زمانی این شاخص جهت شناسایی خشکسالی‌ها در منابع آب قابل مصرف آنالیز گشت. نتایج نشان داد که شاخص SPI قادر به برآورد تخمین وضعیت خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و نیز پایش تپ‌های خشکسالی بوده و مقیاس‌های طولانی مدت SPI مربوط به خشکسالی هیدولوژیک می‌باشد. (سرانو و مورنو، ۲۰۰۵). سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۸۷) تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در استان کرمان را انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از این شاخص و روش درون‌یابی کریجینگ و نرم افزارهای Surfer و Arcview نقشه خشکسالی و ترسالی استان کرمان تهیه شد. نتایج مطالعه نشان داد که تمرکز خشکسالی در قسمت‌های شمالی و مرکزی استان بیشتر بوده است و باید برای مقابله با این پدیده این مناطق را در اولویت قرار داد. (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۸۷). سیمانی (۱۳۹۰) بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه‌های دهک‌ها و نمایه بارش (DPI و PN) را در استان کرمان انجام داد. نتایج نشان داد نمایه دهک‌های بارندگی سالانه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه گزارش نمودند و از نظر تعیین تصویر خشکسالی بسیار شدید هواشناسی کارایی بیشتری نسبت به نمایه دیگر داشته است. (سیمانی، ۱۳۹۰) قربانی و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI به روش داده کاوی در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که در هیچ‌یک از مقیاس‌های زمانی فصلی، نیم سالانه و سالانه، بین طبقات خشکسالی از هر یک از

مجاورت با دریای عمان و بهره‌گیری از بادهای موسمی اقلیم متفاوتی دارند. بالا بودن میانگین دما و پایین بودن نوسانات آن از مشخصه‌های اساسی اقلیم منطقه است. با توجه به پایین بودن بارش و عدم وجود منابع برقی کوهستانی اکثر جریان‌های رودخانه‌ای، موقتی و فصلی بوده و در بخش وسیعی از استان منابع محدود آب‌های زیرزمینی تنها امکانات تأمین آب بشمار می‌آیند. میانگین بارش سالیانه استان ۱۳۹/۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد. شکل (۱) موقعیت این استان و ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

سال باعث می‌شود که بارندگی‌های این منطقه از سالی به سال دیگر متفاوت باشد و از ضریب تغییرات بالایی برخوردار گردد. (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۶) در شمال استان، دشت سیستان که از آبرفت‌های رودخانه هیرمند بوجود آمده است، قرار دارد. دشت سیستان که در گروه اقلیم بیابانی میانه قرار دارد، بارشی کمتر از ۶۵ میلی‌متر را در سال دریافت می‌کند و میزان تبخیر در آن به بیش از ۵۰۰۰ میلی‌متر می‌رسد. این شرایط در مجموع باعث خشکی فیزیکی شدید محیط بوده و در سال‌هایی که میزان ورودی آب رودخانه هیرمند کاهش می‌یابد، خشکسالی‌های مخرب توسعه پیدا می‌کند. وزش بادهای ۱۲۰ روزه که از اواخر بهار تا پایان تابستان می‌وزد در تشدید نیاز و خشکی محیط موثر است. استان از جنوب با دریای عمان همسایه است. این وادی دارای طبیعتی کوهستانی می‌باشد. مناطق جنوبی استان با توجه به



شکل (۱): موقعیت استان سیستان و بلوچستان در کشور

مواد و روش‌ها

استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های مذکور به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جهت بررسی خشکسالی‌ها از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان در طی دوره (۱۳۸۹-۱۳۶۰)

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان

ایستگاه	طول جغرافیا	عرض جغرافیا	ارتفاع (متر)	دوره آماری (سال)
چابهار	۶۰/۳۷	۲۵/۱۷	۸	۱۳۶۰-۱۳۸۹
ایرانشهر	۶۰/۴۲	۲۷/۱۲	۵۹۱	۱۳۶۰-۱۳۸۹
خاش	۶۱/۱۲	۲۸/۱۳	۱۳۹۴	۱۳۶۰-۱۳۸۹
سراوان	۶۲/۲	۲۷/۲	۱۱۹۵	۱۳۶۰-۱۳۸۹
زابل	۶۱/۲۹	۳۱/۲	۴۸۹	۱۳۶۰-۱۳۸۹
زاهدان	۶۰/۵۳	۲۹/۲۸	۱۳۷۰	۱۳۶۰-۱۳۸۹
زهک	۶۰/۴۱	۳۰/۵۴	۴۹۵	۱۳۶۰-۱۳۸۹

معین بسیار موثر است. مقدار این شاخص برای دوره آماری و ایستگاه‌های مورد مطالعه از فرمول زیر تعیین شد.

$$PN = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (2)$$

که PN ، P_i و P به ترتیب شاخص درصد از نرمال، بارش سال مورد نظر و میانگین بارش دراز مدت است.

شاخص دهک بارندگی (DPI)

این شاخص در سال ۱۹۶۷ توسط ماهر و گیبز برای اجتناب از بعضی از نقاط ضعف روش درصد نرمال بارندگی ارائه شد. این شاخص مشخص می‌کند که بارش یک ماه معین در چه بازه‌ای از دهک‌های متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است. به منظور محاسبه دهک‌ها، ابتدا داده‌های بارش سالانه به صورت نزولی یا صعودی مرتب می‌شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک سال معین از فرمول زیر بدست می‌آید. (فرج‌زاده اصل، ۱۳۷۵، ص ۲۲)

$$P_i = \left(\frac{i}{N+1}\right) \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه:

P_i : احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام
 N : تعداد داده‌های بارندگی

بر حسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد مطابق جدول (۲) یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود.

همگنی داده‌ها به روش ران تست و برای استخراج مقادیر روند بارش از روش حداقل مربعات بهره برده شد که از این روند می‌توان به منظور نمایش تغییرات دراز مدت سری بارش استفاده نمود. برای معنی‌داری روند از ضریب همبستگی اسپرمن استفاده شده است. بر اساس آمار موجود جمع‌آوری شده از مقدار بارش ماهیانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان اجزاء بارش شامل میانگین، چولگی، انحراف معیار، کشیدگی، کمینه و بیشینه بارش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سپس از شاخص درصد از نرمال (PN)، دهک‌های بارندگی (DPI)، بارش استاندارد (SPI) و ناهنجاری‌های بارش (RAI) برای تعیین شدت و پهنه‌بندی خشکسالی بر مبنای داده‌های موجود بارندگی طی سال‌های فوق‌الذکر استفاده گردید. برای بررسی ارتباط بین زوج شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی استفاده گردید. ضریب همبستگی r بین زوج شاخص‌های X و Y از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

شاخص درصد نرمال بارندگی (PN)

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط ویلکی و همکارانش ارائه شد و مفهوم اساسی آن نسبت بارندگی واقعی به مقدار نرمال آن در یک دوره زمانی مشخص می‌باشد که به صورت درصد بیان می‌شود و در مقیاس‌های مختلف (هفتگی، فصلی و ماهیانه و سالیانه) قابل محاسبه است. تجزیه و تحلیل این شاخص به هنگام استفاده از آن‌ها برای بررسی شدت خشکسالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل

از کوچک‌ترین مقادیر ناهنجاری‌ها منفی. نهایتاً با مقیاس گذاری خطی روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری‌های بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از تر سالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقات مختلف این شاخص از طریق جدول (۲) مشخص می‌شود.

نمایه بارش استاندارد (SPI)

از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است. به عبارت دیگر در این روش علاوه بر انحراف از میانگین بارش‌های رخ داده در طی یک دوره آماری، انحراف معیار داده‌ها نیز مورد استفاده است، به طوری که نسبت اختلاف میانگین جامعه یا نمونه از مقدار بارندگی هر سال آماری به انحراف معیار جامعه یا نمونه محاسبه می‌شود.

و معادله آن به صورت زیر می‌باشد

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (۶)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت می‌باشد. بعد از محاسبه شاخص‌ها در هر سال، با استفاده از جدول (۲)، سال‌هایی که خشکسالی در منطقه اتفاق افتاده است، مشخص گردید.

شاخص ناهنجاری‌های بارش (RAI)

این نمایه توسط وان روی ارائه شده است. این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود، ارزیابی می‌کند. در واقع اساس این شاخص محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه این نمایه بصورت زیر است:

- ۱- محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه (\bar{P}) در ایستگاه مورد نظر
 - ۲- استخراج میانگین ده مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (M)
 - ۳- استخراج میانگین ده مورد از کوچک‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (X)
 - ۴- مقایسه داده‌های بارندگی سالیانه P با میانگین درازمدت (\bar{P})
- اگر $P > \bar{P}$ باشد آنگاه RAI از رابطه زیر بدست می‌آید

$$RAI = \frac{3(P - \bar{P})}{(M - \bar{P})} \quad (۴)$$

و اگر $P < \bar{P}$ باشد آنگاه RAI از رابطه زیر بدست می‌آید

$$RAI = \frac{-3(P - \bar{P})}{(X - \bar{P})} \quad (۵)$$

در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است. نسبت دادن آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از بزرگ‌ترین مقادیر ناهنجاری‌های مثبت و ده مورد

جدول (۲): طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

طبقات شدت خشکسالی	رتبه	شاخص بارش استاندارد شده (SPI)	شاخص ناهنجاری بارش (RAI)	شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)	شاخص دهک‌ها (DPI)
نرمال	۰	۰ تا +۱	-۳ تا +۳	۸۰ تا ۱۲۰٪	۴۰-۶۰
خشکسالی ضعیف	۱	۰-۱	-۱/۲ تا -۳	۷۰ تا ۸۰٪	۳۰-۴۰
خشکسالی متوسط	۲	-۱/۵ تا -۱	-۱/۲ تا -۲/۱	۵۵ تا ۷۰٪	۲۰-۳۰
خشکسالی شدید	۳	-۲ تا -۱/۵	-۲/۱ تا -۳	۴۰ تا ۵۵٪	۱۰-۲۰
خشکسالی بسیار شدید	۴	کمتر از -۲	کمتر از -۳	کمتر از ۴۰٪	کمتر از ۱۰٪

نتایج

چولگی، محاسبه گردیدند. جدول (۳) نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد.

همانطور که گفته شد، ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک سیستان و بلوچستان اجزای بارش شامل انحراف معیارهای بارندگی، کشیدگی،

جدول (۳): ویژگی‌های آماری بارش ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان طی دوره مورد مطالعه

ایستگاه داده آماری	زهک	زابل	زاهدان	خاش	ایران‌شهر	چابهار	سراوان
میانگین	۴۶/۹۷	۵۷	۷۶/۹	۱۴۴/۹	۱۱۴/۲۹	۱۱۳/۸	۱۰۷/۱
میانه	۳۶/۳۵	۵۲/۱	۵۷/۷	۱۱۰	۱۱۵/۵	۸۷/۶	۹۵/۲
کمینه	۱۱	۴	۱۲/۱	۰/۲	۱/۲	۱۳/۳	۲/۴
بیشینه	۱۴۶	۱۷۱/۵	۲۸۱/۵	۵۱۳/۱	۲۶۰/۶	۴۸۷/۶	۲۸۲/۲
دامنه تغییرات	۱۲۹/۶	۱۶۷/۵	۲۶۹/۴	۵۱۲/۹	۲۵۹/۴	۴۷۴/۳	۲۷۹/۸
چولگی	۱/۵۶	۱/۰۵	۱/۸۸	۱/۴۱	۰/۳۳	۲	۰/۹۱
کشیدگی	۱/۷۱	۱/۱۷	۴/۴۷	۲/۳۹	-۰/۸	۴/۸۴	۱/۳۱
انحراف معیار	۴۰/۱۲	۳۷/۱۶	۵۵/۲	۱۱۹/۳	۷۲/۹۴	۱۰۷/۱	۶۴/۳
ضریب تغییرات	۸۵/۴۱	۶۵/۱۹	۷۱/۷۸	۸۲/۳۲	۶۳/۸۲	۹۴/۱۱	۶۰

مورد بررسی می‌باشد. لذا ضریب تغییرات بالا در این تحقیق نشان می‌دهد، بارش‌ها در استان سیستان و بلوچستان بسیار نامنظم و با تغییرپذیری بالا همراه بوده و این نشان دهنده حاکمیت اقلیم خشک و رخداد خشکسالی‌های زیاد و با شدت بالا می‌باشد. در جدول (۴) مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه آورده شده است.

تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش ایستگاه‌های مختلف نشان داد که کم‌ترین بارندگی به میزان ۰/۲ میلی‌متر در سال ۱۳۸۹ در شهرستان خاش و بیش‌ترین بارش در سال ۱۳۷۴ در خاش حدود ۵۱۳/۱ میلی‌متر بوده است. ضریب تغییرات از ۶۰ درصد برای سراوان تا ۹۴/۱۱ درصد برای چابهار متغیر است. بیشتر بودن شاخص ضریب تغییرات از ۴۰ درصد در بارش نشان دهنده بی‌نظمی بالای بارش و حاکمیت شرایط اقلیمی خشک در محدوده ایستگاه‌های

جدول (۴): مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه

سال	شهر	شاخص PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۶۰	چابهار	۱۰۰	نرمال	۷۰/۱	نرمال	۰/۱۵	نرمال	۰/۳۲	نرمال
	ایران‌شهر	۱۷۴	نرمال	۸۴/۲۱	نرمال	۱/۱۵	نرمال	۲/۷۱	نرمال
	خاش	۹۱/۷۵	نرمال	۵۷/۴۵	نرمال	-۰/۲۵	خ ضعیف	-۰/۸۷	خ ضعیف
	سراوان	۱۶۸/۱۶	نرمال	۸۲/۴	نرمال	۱	نرمال	۲/۵۶	نرمال
	زابل	۵۲	خ متوسط	۴۷/۳۶	نرمال	-۰/۱۸	خ ضعیف	-۰/۵۳	خ ضعیف
۱۳۶۱	زاهدان	۸۰/۴۹	نرمال	۵۲/۶۳	نرمال	-۰/۲۷	خ ضعیف	-۰/۹۶	خ ضعیف
	زهک	۵۰/۵	خ متوسط	۴۵/۵	نرمال	-۰/۲۲	خ ضعیف	-۰/۶۴	خ ضعیف
	چابهار	۱۱۱/۷۸	نرمال	۶۳/۳۳	نرمال	۰/۱۲	نرمال	۰/۳۸	نرمال
	ایران‌شهر	۲۱۶/۳۹	نرمال	۹۴/۷۳	نرمال	۱/۷۹	نرمال	۴/۲۱	نرمال
	خاش	۱۴۲/۶	نرمال	۸۰/۱	نرمال	۰/۶۸	نرمال	۱/۳۵	نرمال
	سراوان	۲۱۴/۵	نرمال	۹۱/۸	نرمال	۱/۸	نرمال	۴/۶۵	نرمال
	زابل	۳۸/۱۳	خ بسیار شدید	۳۴/۲۱	خ ضعیف	-۰/۶	خ ضعیف	-۱/۷۸	خ متوسط
	زاهدان	۱۳۸/۷۵	نرمال	۷۸/۹۴	نرمال	۰/۵۳	نرمال	۱/۲۸	نرمال
	زهک	۳۸	خ بسیار شدید	۳۳/۹۸	خ ضعیف	-۰/۶	خ ضعیف	-۱/۸	خ متوسط

ادامه جدول (۴): مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه

سال	شهر	شاخص PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۶۲	چابهار	۳۳/۵۴	خ بسیار شدید	۱۵/۸	خ شدید	-۰/۷	خ ضعیف	-۲/۷۸	خ شدید
	ایرانشهر	۱۳۵/۴۱	نرمال	۷۳/۶۸	نرمال	-۰/۵۴	نرمال	۱/۲۸	نرمال
	خاش	۱۲۰/۸۶	نرمال	۷۳/۶۱	نرمال	-۰/۳۱	نرمال	۰/۶۴	نرمال
۱۳۶۳	سراوان	۱۴۰/۲۳	نرمال	۷۵/۸۲	نرمال	-۰/۶۵	نرمال	۱/۳۷	نرمال
	زابل	۱۸۵/۲۱	نرمال	۵۲/۶۳	نرمال	-۰/۱۱	خ ضعیف	-۰/۳۴	خ ضعیف
	زاهدان	۱۱۷/۵۵	نرمال	۶۸/۴۲	نرمال	-۰/۲۴	نرمال	۰/۵۸	نرمال
۱۳۶۴	زهدک	۱۸۰/۱	نرمال	۵۱/۶	نرمال	-۰/۱۵	خ ضعیف	-۰/۴	خ ضعیف
	چابهار	۳۱/۱۷	خ بسیار شدید	۱۰	خ شدید	-۰/۷۳	خ ضعیف	-۲/۸۸	خ شدید
	ایرانشهر	۲۹/۷۴	خ بسیار شدید	۲۱/۰۵	خ متوسط	-۱/۰۸	خ متوسط	-۲/۵۴	خ شدید
۱۳۶۵	خاش	۸۰/۴	نرمال	۵۰/۱۴	نرمال	-۰/۲۵	خ ضعیف	-۱	خ ضعیف
	سراوان	۳۳/۴۵	خ بسیار شدید	۲۵/۴۳	خ متوسط	-۱	خ ضعیف	-۲/۲۲	خ شدید
	زابل	۹۲/۵۵	نرمال	۵۷/۸۹	نرمال	-۰/۰۳	نرمال	۰/۰۸	نرمال
۱۳۶۶	زاهدان	۷۳/۸۶	خ ضعیف	۴۷/۳۶	نرمال	-۰/۳۶	خ ضعیف	-۱/۲۸	خ متوسط
	زهدک	۹۰/۹	نرمال	۵۳/۳۶	نرمال	-۰/۰۲	نرمال	۰/۰۷	نرمال
	چابهار	۱۴۲/۶	نرمال	۸۳/۵	نرمال	-۰/۴۵	نرمال	۱/۳۷	نرمال
۱۳۶۷	ایرانشهر	۵۶/۲	خ متوسط	۳۶/۸۴	خ ضعیف	-۰/۶۷	خ ضعیف	-۱/۵۸	خ متوسط
	خاش	۱۵۷/۶	نرمال	۱۰۰/۲۳	نرمال	-۰/۶۷	نرمال	۱/۵۴	نرمال
	سراوان	۶۰/۴	خ متوسط	۴۱	نرمال	-۰/۵۴	خ ضعیف	-۱/۳۲	خ متوسط
۱۳۶۸	زابل	۱۲۵/۲۵	نرمال	۶۵/۷۸	نرمال	-۰/۱	نرمال	۰/۲۴	نرمال
	زاهدان	۱۴۰/۳۱	نرمال	۸۱/۵۷	نرمال	-۰/۵۶	نرمال	۱/۳۳	نرمال
	زهدک	۱۱۹/۵۶	نرمال	۵۸/۷۶	نرمال	-۰/۱	نرمال	۰/۲۲	نرمال
۱۳۶۹	چابهار	۷۷/۵۳	خ ضعیف	۵۰	نرمال	-۰/۲۳	خ ضعیف	-۰/۹۴	خ ضعیف
	ایرانشهر	۲۸/۵۹	خ بسیار شدید	۱۸/۴۲	خ شدید	-۱/۱	خ متوسط	-۲/۵۸	خ شدید
	خاش	۳۹/۳۹	خ بسیار شدید	۲۳/۰۷	خ متوسط	-۰/۷۳	خ ضعیف	-۲/۷۲	خ شدید
۱۳۷۰	سراوان	۶۳	خ متوسط	۲۴	خ متوسط	-۰/۶۱	خ ضعیف	-۲/۲۴	خ شدید
	زابل	۵۲/۸۲	خ شدید	۲۳/۶۸	خ متوسط	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۲/۲	خ شدید
	زاهدان	۴۵/۶۴	خ شدید	۱۸/۴۲	خ شدید	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۲/۶۸	خ شدید
۱۳۷۱	زهدک	۴۸/۵	خ شدید	۱۸/۱۶	خ شدید	-۰/۸۱	خ ضعیف	-۲/۲۸	خ شدید
	چابهار	۱۲۵	نرمال	۶۶/۶۶	نرمال	-۰/۲۶	نرمال	۰/۸	نرمال
	ایرانشهر	۱۱۷/۱۲	نرمال	۶۵/۷۸	نرمال	-۰/۲۶	نرمال	۰/۶۱	نرمال
۱۳۷۲	خاش	۷۶/۴۴	خ ضعیف	۵۰	نرمال	-۰/۲۸	خ ضعیف	-۱/۰۶	خ ضعیف
	سراوان	۹۷/۸۲	نرمال	۵۶	نرمال	-۰/۰۳	خ ضعیف	-۰/۱۳	نرمال
	زابل	۹۴/۹۹	نرمال	۶۳/۱۵	نرمال	-۰/۰۵	نرمال	۰/۱	نرمال
۱۳۷۳	زاهدان	۸۷/۳۸	نرمال	۶۰/۵۲	نرمال	-۰/۱۷	خ ضعیف	-۰/۶۲	خ ضعیف
	زهدک	۹۴	نرمال	۶۲/۷۴	نرمال	-۰/۰۵	نرمال	۰/۱۲	نرمال
	چابهار	۳۹/۶۹	خ بسیار شدید	۳۰	خ ضعیف	-۰/۶۴	خ ضعیف	-۲/۵	خ شدید
۱۳۷۴	ایرانشهر	۱۲۳/۵۱	نرمال	۶۸/۴۲	نرمال	-۰/۳۶	نرمال	۰/۸۴	نرمال
	خاش	۶۵/۵	خ متوسط	۹۲/۳	نرمال	-۰/۴۱	خ ضعیف	-۱/۵۵	خ متوسط
	سراوان	۱۰۵/۵۷	نرمال	۶۴	نرمال	-۰/۰۹	نرمال	۰/۳۱	نرمال
۱۳۷۵	زابل	۱۷/۳۳	خ بسیار شدید	۱۵/۷۸	خ شدید	-۱/۰۳	خ متوسط	-۳/۰۳	خ بسیار شدید
	زاهدان	۶۴/۸۸	خ متوسط	۳۴/۲۱	خ ضعیف	-۰/۴۸	خ ضعیف	-۱/۷۳	خ متوسط
	زهدک	۱۵/۶۹	خ بسیار شدید	۱۳/۴۵	خ شدید	-۱/۳۴	خ متوسط	۰/۲۵	نرمال
۱۳۷۶	چابهار	۲۲۲/۶۹	نرمال	۸۶/۶۶	نرمال	۱/۳	نرمال	۳/۹۶	نرمال
	ایرانشهر	۱۱۹/۹۷	نرمال	۸۶/۸۴	نرمال	۱/۴۲	نرمال	۳/۳۲	نرمال
	خاش	۱۰۲/۳۸	نرمال	۶۱/۵۳	نرمال	-۰/۰۲	نرمال	۰/۰۹	نرمال
۱۳۷۷	سراوان	۱۳۱/۸	نرمال	۷۶	نرمال	-۰/۵۲	نرمال	۱/۷۹	نرمال
	زابل	۶۴/۸۲	خ متوسط	۶۰/۵۲	نرمال	-۰/۰۴	نرمال	۰/۰۹	نرمال
	زاهدان	۵۸/۷۷	خ متوسط	۲۶/۳۱	خ متوسط	-۰/۵۷	خ ضعیف	-۲/۰۳	خ متوسط
۱۳۷۸	زهدک	۶۳/۵	خ متوسط	۵۸/۷	نرمال	-۰/۰۳	نرمال	۰/۰۸	نرمال

ادامه جدول (۴): مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه

سال	شهر	شاخص PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۶۹	چابهار	۷۶/۳	خ ضعیف	۴۶/۶۶	نرمال	-۰/۲۵	خ ضعیف	-۰/۹۹	خ ضعیف
	ایرانشهر	۱۰۲/۵۵	نرمال	۵۲/۶۳	نرمال	-۰/۰۴	نرمال	۰/۰۹	نرمال
	خاش	۱۳۶/۱۲	نرمال	۷۳/۰۷	نرمال	۰/۴۳	نرمال	۱/۳۹	نرمال
	سراوان	۱۱۳/۱	نرمال	۶۸	نرمال	۰/۲۱	نرمال	۰/۷۳	نرمال
	زابلی	۱۹۳/۳	نرمال	۸۶/۸۴	نرمال	۱/۴۱	نرمال	۳/۲	نرمال
	زاهدان	۲۴۷/۰۷	نرمال	۹۲/۱	نرمال	۲/۰۴	نرمال	۴/۸۷	نرمال
	زهک	۱۸۷/۱	نرمال	۷۱/۸۹	نرمال	۱/۲۲	نرمال	۳	نرمال
	چابهار	۶۰/۴۱	خ متوسط	۴۳/۳۳	نرمال	-۰/۴۲	خ ضعیف	-۱/۶۵	خ متوسط
	ایرانشهر	۵۱/۲۳	خ شدید	۳۱/۵۷	خ ضعیف	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۱/۷۶	خ متوسط
	خاش	۶۴/۰۲	خ متوسط	۳۸/۴۶	خ ضعیف	-۰/۴۳	خ ضعیف	-۱/۶۲	خ متوسط
۱۳۷۰	سراوان	۶۵/۹۹	خ متوسط	۲۸	خ متوسط	-۰/۵۶	خ ضعیف	-۲/۰۶	خ متوسط
	زابلی	۴۵	خ بسیار شدید	۴۴/۷۳	نرمال	-۰/۲۲	خ ضعیف	-۰/۶۶	خ ضعیف
	زاهدان	۵۷/۴۷	خ ضعیف	۲۳/۶۸	خ متوسط	-۰/۵۹	خ ضعیف	-۲/۰۹	خ متوسط
	زهک	۴۱/۳۹	خ بسیار شدید	۳۸/۹	خ ضعیف	-۰/۳۵	خ ضعیف	-۰/۷۸	خ ضعیف
	چابهار	۹۵/۲۷	نرمال	۶۰	نرمال	-۰/۰۵	خ ضعیف	-۰/۱۹	نرمال
	ایرانشهر	۱۶۱/۲۵	نرمال	۸۱/۵۷	نرمال	۰/۹۴	نرمال	۲/۲۱	نرمال
	خاش	۱۶۹/۰۳	نرمال	۸۰/۷۶	نرمال	۰/۸۳	نرمال	۲/۶۶	نرمال
	سراوان	۱۵۳	نرمال	۸۴	نرمال	۰/۸۸	نرمال	۲/۹۸	نرمال
	زابلی	۳۳۳/۳	نرمال	۹۲/۱	نرمال	۱/۶۱	نرمال	۳/۶۴	نرمال
	زاهدان	۱۲۷/۴	نرمال	۷۳/۶۸	نرمال	۰/۳۸	نرمال	۰/۹	نرمال
۱۳۷۱	زهک	۳۲۵/۳۲	نرمال	۸۸/۷۳	نرمال	۱/۳۲	نرمال	۲/۹۸	نرمال
	چابهار	۲۸/۸۹	خ بسیار شدید	۱۳/۳۳	خ شدید	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۲/۹۷	خ شدید
	ایرانشهر	۴۳/۲۴	خ شدید	۲۸/۹۴	خ متوسط	-۰/۸۷	خ ضعیف	-۲/۰۵	خ متوسط
	خاش	۷۹/۲	خ ضعیف	۵۲/۴	نرمال	-۰/۲۵	خ ضعیف	-۰/۹۳	خ ضعیف
	سراوان	۷۲/۲۵	خ ضعیف	۳۶	خ ضعیف	-۰/۴۶	خ ضعیف	-۱/۶۸	خ متوسط
	زابلی	۱۱۰/۱۱	نرمال	۷۶/۳۱	نرمال	۰/۴۵	نرمال	۱/۰۳	نرمال
	زاهدان	۷۰	خ متوسط	۴۲/۱	نرمال	-۰/۴۱	خ ضعیف	-۱/۴۷	خ متوسط
	زهک	۹۴/۵	نرمال	۶۲/۴۳	نرمال	۰/۳۶	نرمال	۱	نرمال
	چابهار	۴۹/۸۷	خ شدید	۴۰	نرمال	-۰/۵۳	خ ضعیف	-۲/۰۹	خ متوسط
	ایرانشهر	۱۱۶/۴۹	نرمال	۶۳/۱۵	نرمال	۰/۲۵	نرمال	۰/۵۹	نرمال
۱۳۷۲	خاش	۵۶/۵	خ متوسط	۳۴/۶۱	خ ضعیف	-۰/۵۲	خ ضعیف	-۱/۹۵	خ متوسط
	سراوان	۱۰۰	نرمال	۶۰	نرمال	۰/۰۱	نرمال	۰/۰۴	نرمال
	زابلی	۵۸/۷۱	خ متوسط	۲۶/۳۱	خ متوسط	-۰/۷۴	خ ضعیف	-۲/۲	خ شدید
	زاهدان	۶۵/۱۴	خ متوسط	۳۶/۸۴	خ ضعیف	-۰/۴۸	خ ضعیف	-۱/۷۱	خ متوسط
	زهک	۳۰/۶۸	خ بسیار شدید	۱۷/۶۴	خ شدید	-۰/۸	خ ضعیف	-۴/۲۶	خ بسیار شدید
	چابهار	۱۸۸/۳۵	نرمال	۸۶/۶۶	نرمال	۰/۹۳	نرمال	۲/۸۵	نرمال
	ایرانشهر	۲۰۰	نرمال	۸۹/۴۷	نرمال	۱/۵۴	نرمال	۳/۶۳	نرمال
	خاش	۳۵۳/۹۹	نرمال	۹۶/۱۵	نرمال	۳/۰۸	نرمال	۹/۷۹	نرمال
	سراوان	۱۸۸/۱۹	نرمال	۸۸	نرمال	۱/۴۶	نرمال	۴/۹۶	نرمال
	زابلی	۲۵۱/۳۲	نرمال	۸۹/۴۷	نرمال	۱/۵۲	نرمال	۳/۴	نرمال
۱۳۷۳	زاهدان	۲۴۷/۵۹	نرمال	۹۴/۷	نرمال	۲/۰۵	نرمال	۴/۸۷	نرمال
	زهک	۲۸۵	نرمال	۸۸/۲۳	نرمال	۲/۱۶	نرمال	۱۴/۳۴	نرمال
	چابهار	۱۳۹	نرمال	۷۶/۶۶	نرمال	۰/۴۱	نرمال	۱/۲۶	نرمال
	ایرانشهر	۱۰۵/۸۴	نرمال	۵۵/۲۶	نرمال	۰/۰۹	نرمال	۰/۲۱	نرمال
	خاش	۱۲۷/۶۳	نرمال	۶۹/۲۳	نرمال	۰/۳۳	نرمال	۱/۰۶	نرمال
	سراوان	۸۹/۱۴	نرمال	۵۲	نرمال	-۰/۱۸	خ ضعیف	-۰/۶۵	خ ضعیف
	زابلی	۲۹/۷۳	خ بسیار شدید	۵۵/۲۶	نرمال	-۰/۰۱	خ ضعیف	-۰/۰۴	نرمال
	زاهدان	۹۴/۹۲	نرمال	۶۳/۱۵	نرمال	-۰/۰۷	خ ضعیف	-۰/۲۵	نرمال
	زهک	۱۴۷/۳۱	نرمال	۷۶/۴۷	نرمال	۰/۵۵	نرمال	۳/۶۶	نرمال

ادامه جدول (۴): مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه

سال	شهر	شاخص PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۷۶	چابهار	۴۲۸/۱۷	نرمال	۹۶/۶۶	نرمال	۳/۴۸	نرمال	۱۰/۶	نرمال
	ایرانشهر	۲۱۵/۵۹	نرمال	۹۲/۱	نرمال	۱/۷۸	نرمال	۴/۱۸	نرمال
	خاش	۲۲۱/۶۷	نرمال	۸۸/۴۶	نرمال	۱/۴۷	نرمال	۴/۶۹	نرمال
	سراوان	۲۶۳/۴۳	نرمال	۹۶	نرمال	۲/۷۲	نرمال	۹/۲	نرمال
	زابل	۲۴۷/۵	نرمال	۸۴/۲۱	نرمال	۱/۴	نرمال	۳/۱۸	نرمال
	زاهدان	۱۹۴	نرمال	۸۹/۴۷	نرمال	۱/۳۱	نرمال	۳/۱۲	نرمال
	زهک	۱۶۵/۸۳	نرمال	۸۲/۳۵	نرمال	۰/۷۷	نرمال	۵/۱	نرمال
	چابهار	۴۰/۷۴	خ شدید	۳۳/۳۳	خ ضعیف	-۰/۶۳	خ ضعیف	-۲/۴۸	خ شدید
	ایرانشهر	۶۴/۶۴	خ متوسط	۳۹/۴۷	خ ضعیف	-۰/۵۴	خ ضعیف	-۱/۲۷	خ متوسط
	خاش	۱۰۱/۱۴	نرمال	۵۷/۶۹	نرمال	۰/۰۱	نرمال	۰/۰۴	نرمال
۱۳۷۷	سراوان	۸۸/۵۸	نرمال	۴۸	نرمال	-۰/۱۹	خ ضعیف	-۰/۶۹	خ ضعیف
	زابل	۷۵	خ ضعیف	۷۳/۶۸	نرمال	۰/۴۴	نرمال	۱	نرمال
	زاهدان	۶۴/۴۹	خ متوسط	۳۱/۵۷	خ ضعیف	-۰/۴۹	خ ضعیف	-۱/۷۵	خ متوسط
	زهک	۹۳/۴۵	نرمال	۶۴/۷	نرمال	-۰/۰۷	خ ضعیف	-۰/۴	خ ضعیف
	چابهار	۳۴	خ بسیار شدید	۲۳/۳	خ متوسط	-۱/۰۶	خ متوسط	-۴/۱۸	خ بسیار شدید
	ایرانشهر	۱۱/۹۸	خ بسیار شدید	۱۰/۵۲	خ شدید	-۱/۳۵	خ متوسط	-۳/۱۸	خ بسیار شدید
	خاش	۲۲/۲۱	خ بسیار شدید	۱۵/۳۸	خ شدید	-۰/۹۴	خ ضعیف	-۳/۵	خ بسیار شدید
	سراوان	۲/۲۴	خ بسیار شدید	۴	خ بسیار شدید	-۱/۶۲	خ شدید	-۵/۹۳	خ بسیار شدید
	زابل	۵۵/۶۵	خ متوسط	۲۸/۹۴	خ متوسط	-۰/۷۲	خ ضعیف	-۲/۱	خ متوسط
	زاهدان	۴۴/۶	خ شدید	۱۵/۷۸	خ شدید	-۰/۷۷	خ ضعیف	-۲/۷	خ شدید
۱۳۷۸	زهک	۴۵/۳۴	خ شدید	۲۹/۴۱	خ متوسط	-۰/۶۳	خ ضعیف	-۳/۳۷	خ بسیار شدید
	چابهار	۳۹/۲۵	خ بسیار شدید	۲۶/۶۶	خ متوسط	-۰/۶۴	خ ضعیف	-۲/۵۴	خ شدید
	ایرانشهر	۱۶/۳۳	خ بسیار شدید	۱۵/۷۸	خ شدید	-۱/۲۹	خ متوسط	-۳/۰۲	خ بسیار شدید
	خاش	۴۷/۷۴	خ شدید	۳۰/۷۶	خ ضعیف	-۰/۶۳	خ ضعیف	-۲/۳۵	خ شدید
	سراوان	۶۶/۶۵	خ متوسط	۳۲	خ ضعیف	-۰/۵۵	خ ضعیف	-۲/۰۲	خ متوسط
	زابل	۲۵/۹۴	خ بسیار شدید	۵/۲۶	خ بسیار شدید	-۱/۱۸	خ متوسط	-۳/۴۷	خ بسیار شدید
	زاهدان	۳۳/۶۸	خ بسیار شدید	۱۰/۵۲	خ شدید	-۰/۹۲	خ ضعیف	-۳/۲۷	خ بسیار شدید
	زهک	۲۴/۹	خ بسیار شدید	۱۱/۷۶	خ شدید	-۰/۸۷	خ ضعیف	-۴/۶۳	خ بسیار شدید
	چابهار	۱۱/۶۷	خ بسیار شدید	۸۰	نرمال	-۰/۹۳	خ ضعیف	-۳/۶۹	خ بسیار شدید
	ایرانشهر	۱۸/۲	خ بسیار شدید	۲۶/۳۱	خ متوسط	-۱/۳۶	خ متوسط	-۲/۹۵	خ شدید
۱۳۷۹	خاش	۲۰/۷۶	خ بسیار شدید	۱۱/۵۳	خ شدید	-۰/۹۶	خ ضعیف	-۳/۵۶	خ بسیار شدید
	سراوان	۶/۵۳	خ بسیار شدید	۸	خ بسیار شدید	-۱/۵۵	خ شدید	-۵/۶۷	خ بسیار شدید
	زابل	۱۴/۱۸	خ بسیار شدید	۷۳/۶۸	نرمال	-۰/۱۸	خ ضعیف	-۲/۳۶	خ شدید
	زاهدان	۱۸/۲	خ بسیار شدید	۵/۲۶	خ بسیار شدید	-۱/۱۳	خ متوسط	-۴/۰۳	خ بسیار شدید
	زهک	۸۸/۷۷	نرمال	۵۸/۸۲	نرمال	-۰/۱۳	خ ضعیف	-۰/۶۹	خ ضعیف
	چابهار	۸۱/۲۲	نرمال	۵۳/۳۳	نرمال	-۰/۱۹	خ ضعیف	-۰/۷۸	خ ضعیف
	ایرانشهر	۳۲/۷۶	خ بسیار شدید	۳۴/۲۱	خ ضعیف	-۱/۰۲	خ متوسط	-۲/۴۳	خ شدید
	خاش	۴۰/۷	خ شدید	۲۶/۹۲	خ متوسط	-۰/۷۲	خ ضعیف	-۲/۶۷	خ شدید
	سراوان	۵۱/۴۳	خ شدید	۱۶	خ شدید	-۰/۸	خ ضعیف	-۲/۹۴	خ شدید
	زابل	۶۳/۱۵	خ متوسط	۴۲/۱	نرمال	-۰/۲۹	خ ضعیف	-۰/۸۶	خ ضعیف
۱۳۸۰	زاهدان	۶۵/۶۶	خ متوسط	۳۹/۴۷	خ ضعیف	-۰/۴۷	خ ضعیف	-۱/۶۹	خ متوسط
	زهک	۵۷/۶۹	خ متوسط	۴۱/۱۷	نرمال	-۰/۴۹	خ ضعیف	-۲/۶۱	خ شدید
	چابهار	۱۳/۸۷	خ بسیار شدید	۶/۶۶	خ بسیار شدید	-۰/۹۱	خ ضعیف	-۳/۶	خ بسیار شدید
	ایرانشهر	۵۱/۳۲	خ شدید	۷۱/۰۵	نرمال	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۱/۷۶	خ متوسط
	خاش	۲۲/۵۶	خ بسیار شدید	۱۹/۲۳	خ شدید	-۰/۹۴	خ ضعیف	-۳/۴۸	خ بسیار شدید
	سراوان	۷۶/۱۷	خ ضعیف	۴۰	نرمال	-۰/۳۹	خ ضعیف	-۲/۹۴	خ شدید
	زابل	۱۱/۴۴	خ بسیار شدید	۱۳/۱۵	خ شدید	-۱/۰۷	خ متوسط	-۳/۱۴	خ بسیار شدید
	زاهدان	۳۲/۶۳	خ بسیار شدید	۱۰/۵۲	خ شدید	-۰/۹۳	خ ضعیف	-۳/۳۲	خ بسیار شدید
	زهک	۲۳/۴۱	خ بسیار شدید	۵/۸۸	خ بسیار شدید	-۰/۸۹	خ ضعیف	-۴/۷۲	خ بسیار شدید

ادامه جدول (۴): مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری مورد مطالعه

سال	شهر	شاخص PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۸۳	چابهار	۹۴/۰۴	نرمال	۵۶/۶۶	نرمال	-۰/۰۶	خ ضعیف	-۰/۲۴	نرمال
	ایرانشهر	۱۲۶/۹۷	نرمال	۲۳/۶۸	خ متوسط	-۰/۴۱	نرمال	۰/۹۷	نرمال
	خاش	۲۲۲/۱۵	نرمال	۹۲/۳	نرمال	۱/۴۸	نرمال	۴/۷۱	نرمال
	سراوان	۱۴۱/۳۳	نرمال	۸۰	نرمال	۲/۳۵	نرمال	-۱/۴۴	خ متوسط
	زابلی	۳۴۵/۷۶	نرمال	۹۷/۳۶	نرمال	۳/۰۸	نرمال	۶/۹۵	نرمال
	زاهدان	۱۰۴/۱۶	نرمال	۸۶/۸۴	نرمال	۱/۰۴	نرمال	۲/۴۷	نرمال
	زهک	۲۹۹/۳	نرمال	۹۴/۱۱	نرمال	۲/۳۳	نرمال	۱۵/۴۴	نرمال
	چابهار	۴۴/۹۶	خ شدید	۳۶/۶۶	خ ضعیف	-۰/۵۸	خ ضعیف	-۲/۳	خ شدید
	ایرانشهر	۳۲/۲۳	خ بسیار شدید	۴۲/۱	نرمال	-۱/۰۴	خ متوسط	-۲/۴۵	خ شدید
	خاش	۱۹/۹۳	خ بسیار شدید	۷/۶۹	خ بسیار شدید	-۰/۹۷	خ ضعیف	-۳/۶	خ بسیار شدید
۱۳۸۴	سراوان	۴۲/۵۶	خ شدید	۱۲	خ شدید	۰/۷	نرمال	۲/۳۲	نرمال
	زابلی	۴۷/۵۲	خ شدید	۱۰/۵۲	خ شدید	-۱/۰۹	خ متوسط	-۳/۲۱	خ بسیار شدید
	زاهدان	۱۷۴/۷۷	نرمال	۲۱/۰۵	خ متوسط	-۰/۷۱	خ ضعیف	-۲/۵۷	خ شدید
	زهک	۵۴/۷۱	خ شدید	۳۵/۲۹	خ ضعیف	-۰/۵۳	خ ضعیف	-۲/۷۹	خ شدید
	چابهار	۱۴۰/۵۸	نرمال	۷۶/۶۶	نرمال	۰/۴۳	نرمال	۱/۳۱	نرمال
	ایرانشهر	۸۱/۲۴	نرمال	۹۷/۳۶	نرمال	-۰/۲۸	خ ضعیف	-۰/۶۷	خ ضعیف
	خاش	۱۰۲/۱	نرمال	۶۱/۵۳	نرمال	۰/۰۲	نرمال	۰/۰۸	نرمال
	سراوان	۸۵/۸۸	نرمال	۴۴	نرمال	-۰/۳۳	خ ضعیف	-۳/۴۸	خ بسیار شدید
	زابلی	۱۶۹/۴۹	نرمال	۳۹/۴۷	خ ضعیف	-۰/۳۵	خ ضعیف	-۱/۰۳	خ ضعیف
	زاهدان	۴۸/۳۷	خ شدید	۵۷/۸۹	نرمال	-۰/۲۲	خ ضعیف	-۰/۸۲	خ ضعیف
۱۳۸۵	زهک	۸۷/۲۸	نرمال	۵۲/۹۴	نرمال	-۰/۱۴	خ ضعیف	-۰/۷۸	خ ضعیف
	چابهار	۳۰۲/۶	نرمال	۹۰	نرمال	۲/۱۵	نرمال	۶/۵۴	نرمال
	ایرانشهر	۲۳۱/۳۹	نرمال	۵۰	نرمال	۲/۰۲	نرمال	۴/۷۵	نرمال
	خاش	۱۷۹/۵۱	نرمال	۸۴/۶۱	نرمال	۰/۹۶	نرمال	۳/۰۶	نرمال
	سراوان	۲۰۳/۶۸	نرمال	۹۲	نرمال	۱/۷۲	نرمال	-۰/۸۵	خ ضعیف
	زابلی	۱۱۲/۱۴	نرمال	۷/۸۹	خ بسیار شدید	-۱/۱۱	خ متوسط	۳/۲۵	نرمال
	زاهدان	۸۳/۳۵	نرمال	۸۴/۲۱	نرمال	۰/۵۶	نرمال	۱/۳۴	نرمال
	زهک	۶۷/۴۸	خ متوسط	۴۷/۰۵	نرمال	-۰/۳۸	خ ضعیف	-۲	خ متوسط
	چابهار	۱۲۷/۷۶	نرمال	۷۰	نرمال	۰/۲۹	نرمال	۰/۸۹	نرمال
	ایرانشهر	۹۹/۶۲	نرمال	۸۱/۵۷	نرمال	-۰/۰۵	خ ضعیف	-۰/۰۱	نرمال
۱۳۸۶	خاش	۶۵/۶۸	خ متوسط	۴۶/۱۵	نرمال	-۰/۴۱	خ ضعیف	-۱/۵۵	خ متوسط
	سراوان	۵۹/۳۶	خ متوسط	۲۰	خ متوسط	-۰/۶۷	خ ضعیف	-۲/۴۶	خ شدید
	زابلی	۳۹/۲	خ بسیار شدید	۱۸/۴۲	خ شدید	-۱	خ متوسط	-۲/۹۳	خ شدید
	زاهدان	۱۴۰/۵۷	نرمال	۵۰	نرمال	-۰/۳۴	خ ضعیف	-۱/۲۳	خ متوسط
	زهک	۳۳/۶۳	خ بسیار شدید	۲۳/۵۲	خ متوسط	-۰/۷۷	خ ضعیف	-۴/۰۹	خ بسیار شدید
	چابهار	۵۲/۷۷	خ شدید	۴۰	نرمال	-۰/۵	خ ضعیف	-۱/۹۷	خ متوسط
	ایرانشهر	۱۶۲/۱۳	نرمال	۷/۸۹	خ بسیار شدید	۰/۹۵	نرمال	۲/۲۴	نرمال
	خاش	۱۶۳/۳۷	نرمال	۷۶/۹۲	نرمال	۰/۷۶	نرمال	۲/۴۴	نرمال
	سراوان	۱۳۱/۳۴	نرمال	۷۲	نرمال	۰/۵۲	نرمال	۱/۷۶	نرمال
	زابلی	۱۶۲/۹۴	نرمال	۳۶/۸۴	خ ضعیف	-۰/۴۳	خ ضعیف	-۱/۲۷	خ متوسط
۱۳۸۸	زاهدان	۷۵/۰۳	خ ضعیف	۷۳/۶۸	نرمال	۰/۳۹	نرمال	۰/۹۳	نرمال
	زهک	۹۴/۹۴	نرمال	۷۰/۵۸	نرمال	-۰/۰۵	خ ضعیف	-۰/۳	نرمال
	چابهار	۴۲/۴	خ شدید	۸/۷	خ بسیار شدید	-۰/۴۵	خ ضعیف	-۱	خ ضعیف
	ایرانشهر	۱۴۶/۱۴	نرمال	۸/۹۴	خ بسیار شدید	۰/۸۴	نرمال	-۳/۵۷	خ بسیار شدید
	خاش	۰/۱۳	خ بسیار شدید	۳/۸۴	خ بسیار شدید	-۱/۲۱	خ متوسط	-۴/۴۹	خ بسیار شدید
	سراوان	۱۲۸/۱۲	نرمال	۹/۸	خ بسیار شدید	-۰/۵۶	نرمال	۱/۷۶	نرمال
	زابلی	۲/۹۷	خ بسیار شدید	۲/۶۳	خ بسیار شدید	-۱/۴۲	خ متوسط	۴/۱۷	نرمال
	زاهدان	۱۲۸/۳۴	نرمال	۲/۶۳	خ بسیار شدید	-۱/۱۷	خ متوسط	۲/۷۹	نرمال
	زهک	۴۸/۶۵	خ شدید	۲	خ بسیار شدید	-۱	خ متوسط	۵/۴	نرمال

مورد مطالعه از طریق ضریب همبستگی اسپرمن بدست آمد که در جدول (۵) آمده است.

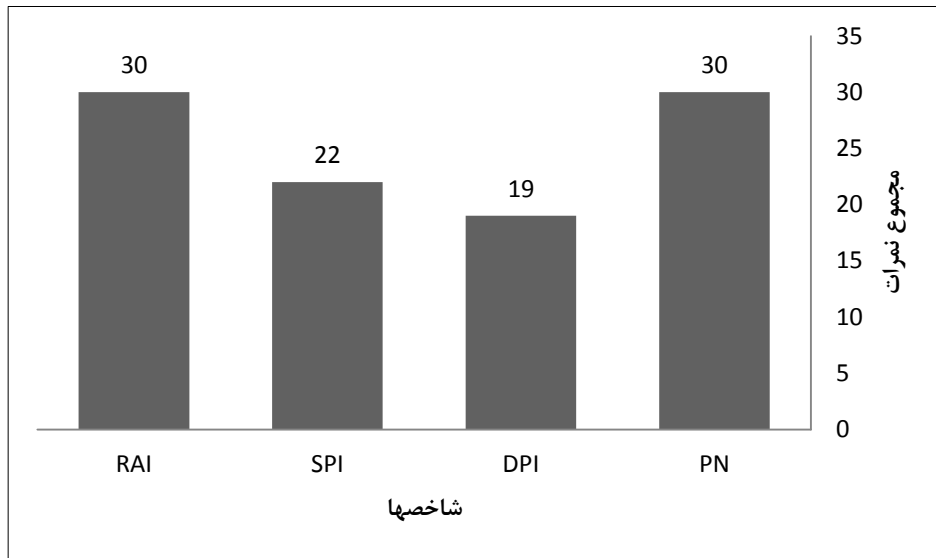
برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه یا به عبارتی بررسی کارایی نمایه‌ها، میزان همبستگی بین رتبه‌های شاخص‌های خشکسالی و تغییرات بارش در دوره آماری

جدول (۵): ضریب همبستگی رتبه ای اسپرمن بین مقادیر نمایه های خشکسالی و بارندگی

ایستگاه شاخص	زهک	زابل	زاهدان	خاش	ایرانشهر	چابهار	سراوان
PN	۱	۱	۰/۳۶	۰/۹۸	۱	۱	۰/۸۸
DPI	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۸۷
SPI	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۲۳	۱	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۱
RAI	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹

بررسی آن‌ها نشان داد نمایه‌های RAI و SIAP مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌ها گزارش نمودند و نمایه PN تنها حدود ۲۲/۲۲ درصد از شرایط خشکسالی بسیار شدید را که مقارن با سال کمینه بارندگی بوده، توانسته‌اند درست برآورد نمایند. بنابراین می‌توان گفت نمایه RAI و SIAP ارزیابی بیشتری نسبت به PN دارند. (جوادی و همکاران، ۱۳۹۰، ص ۱۳۱) همچنین کارایی نمایه‌ها براساس مجموع نمرات شاخص‌ها (براساس ضریب همبستگی) در هر ایستگاه و سپس مجموع نمرات هر شاخص در کل ایستگاه‌ها نیز بررسی گردید. هرچه مجموع نمرات بیشتر باشد، کارایی آن شاخص بیشتر است. برای انجام این کار ابتدا برای هر ایستگاه، شاخصی که بیشترین همبستگی را با مقادیر کمی شده نمایه‌ها دارد، دارای بیشترین نمره (نمره ۵) و شاخصی که ضریب همبستگی کمتری دارد، از چهار تا یک نمره‌بندی می‌شود. با ملاک قرار دادن مجموع نمرات هر شاخص در کل ایستگاه‌ها شاخصی که بیشترین نمره را دارد به عنوان برترین شناخته می‌شود.

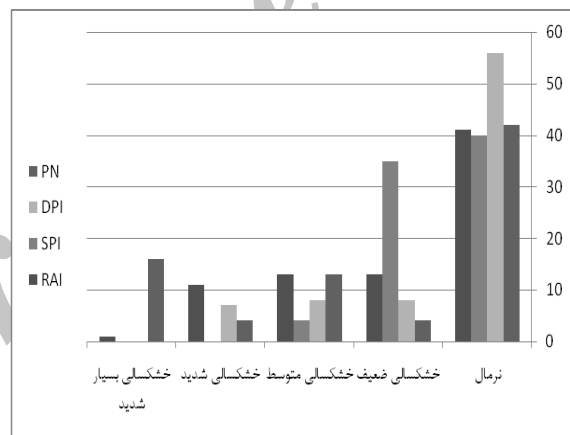
همانطور که از جدول مشاهده می‌گردد، در شهرهای زهک، زابل، ایرانشهر و چابهار شاخص PN با ضریب همبستگی یک، در شهرهای زاهدان و سراوان شاخص RAI با ضریب ۰/۸۴ و ۰/۹۹ و در خاش شاخص SPI با ضریب همبستگی یک توانسته‌اند خشکسالی شدید و بسیار شدید را نسبت به دیگر شاخص‌ها بهتر نشان دهند. محمدی مطلق (۱۳۸۹) به کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های سه دهه اخیر در شیراز پرداخت. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق (Z-Score)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI)، ناهنجاری بارش (RAI) و بارش استاندارد شده (SPI) بودند. نتایج نشان داد، نمایه RAI توانایی ارزیابی خشکسالی‌های بسیار شدید و شدید منطقه را دارد. بر اساس این شاخص نه خشکسالی بسیار شدید، یک خشکسالی شدید، دو خشکسالی متوسط و پنج خشکسالی ضعیف در طی دوره آماری شناسایی شد. (محمدی مطلق، ۱۳۸۹) جوادی و همکاران (۱۳۹۰) وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مرکزی را با استفاده از شاخص‌های PN، SIAP و RAI بررسی نمودند. نتایج



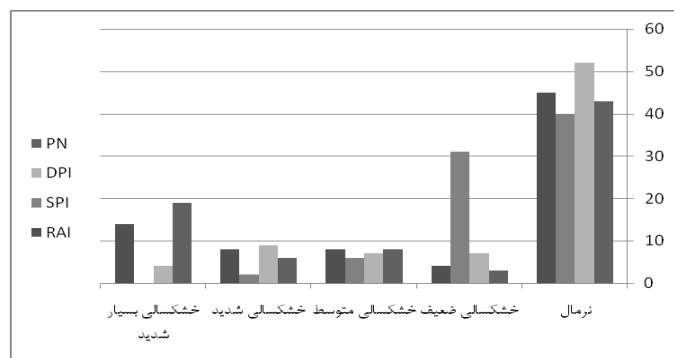
شکل (۲): مجموع نمرات هر شاخص در کل ایستگاهها بر اساس ضریب همبستگی

جهت تعیین فراوانی بدست آمده از هر کدام از شاخصها، دوره آماری به سه سری ده ساله تقسیم و فراوانی هر کدام از شاخصها در هر سری مشخص گردید که در جدول (۶) و شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است.

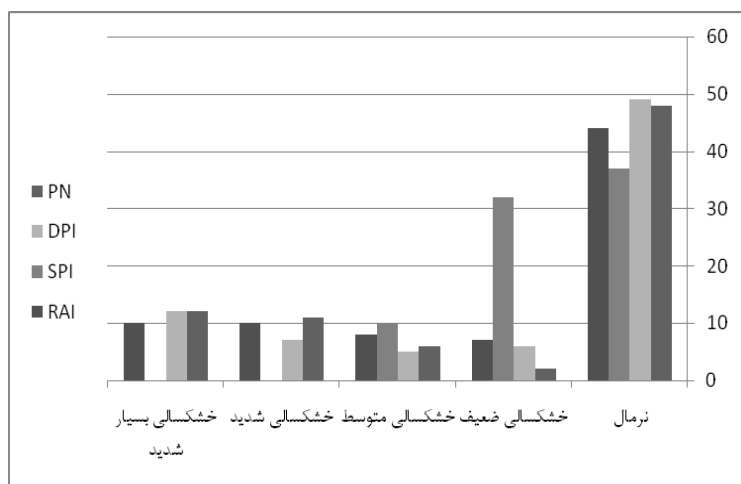
مجموع نمرات هر شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که شاخص‌های درصد بارندگی نرمال (PN) و ناهنجاری‌های بارش (RAI) با مجموع امتیاز ۳۰ دارای بیش‌ترین دقت و شاخص DPI با امتیاز ۱۹ دارای کم‌ترین دقت می‌باشند.



شکل (۳): فراوانی خشکسالی و سال‌های نرمال از سال ۱۳۷۰-۱۳۶۰ بر اساس هر یک از شاخصها



شکل (۴): فراوانی خشکسالی و سال‌های نرمال از سال ۱۳۸۰-۱۳۷۱ بر اساس هر یک از شاخصها



شکل (۵): فراوانی خشکسالی و سال‌های نرمال از سال ۱۳۸۹-۱۳۸۱ بر اساس هر یک از شاخص‌ها

ایستگاه‌های مورد مطالعه زوج شاخص‌های PN-RAI، SPI-RAI و PN-SPI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند و دیگر زوج شاخص‌ها همبستگی ضعیفی با یکدیگر داشتند. سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای در استان همدان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که سنجه‌های RAI، Z و DPI از نظر آماری مشابه بوده و در ارزیابی‌های خشکسالی نیز در شرایط اقلیمی نیمه سرد خشک استان همدان به نتایج نسبتاً مشابهی ختم می‌شود. همچنین در ارزیابی روابط همبستگی نمایه‌های زوج شده RAI-PN، Z-PN، RAI-Z و SPI-CZI در اغلب ایستگاه‌های استان همبستگی خوبی با یکدیگر داشتند. (سبزی‌پروری و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۹۷). سحر صدر افشاری و همکاران (۱۳۹۰) مقایسه خشکسالی ارومیه را برای دستیابی به بهترین شاخص با استفاده از شاخص‌های SPI، DI، ZSI و PN در دوره آماری ۳۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۱) انجام دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که شاخص DI و ZSI با یکدیگر دارای هماهنگی‌های زیادی می‌باشند بطوری‌که در حدود ۱۴ دوره دارای همخوانی تقریباً کملی هستند و مدل‌های SPI و PN نیز با یکدیگر دارای همخوانی مطلوبی می‌باشند. (صدر افشاری، فیض‌اله‌پور، ۱۳۹۰، ص ۱۱۷)

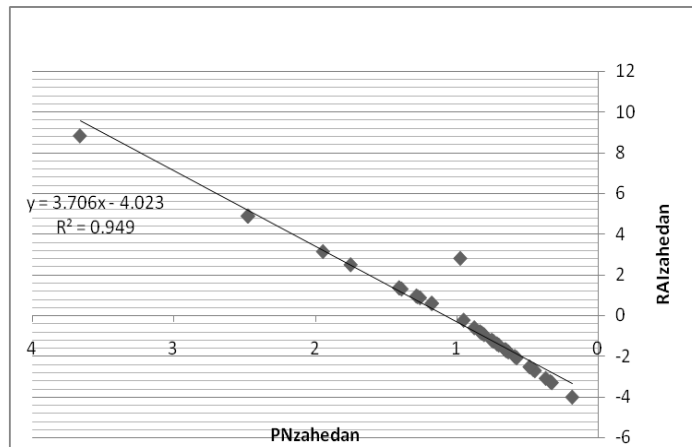
همانطور که در اشکال نمایان است، طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ سال‌های نسبتاً نرمالی در استان وجود داشته که شاخص DPI به خوبی آن را نشان داده است و در چند مورد خشکسالی شدید به چشم می‌خورد که شاخص PN آن را نشان می‌دهد. هر چه به سمت سال‌های اخیر (دهه ۸۰) نزدیک می‌شویم مقدار خشکسالی‌ها افزایش یافته که شاخص PN و RAI نسبت به شاخص‌های دیگر درصد بیشتری از خشکسالی‌ها را بیان می‌کنند و آستانه خشکسالی را بهتر از دیگر شاخص‌ها بیان می‌دارند. شاخص SPI در این استان فقط آستانه خشکسالی ضعیف و در چند مورد کم خشکسالی شدید را بیان داشته است. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۸) مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان را انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های Z، RAI و SPI در مقیاس فصلی و سالیانه و شاخص PN در مقیاس فصلی برآوردهای خوبی از شدت و تداوم خشکسالی‌ها ارائه دادند و روندی همسو با شاخص زراعی عملکرد نسبی گندم داشتند. (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۸، ص ۳۵).

جدول (۷) نتایج ضرایب همبستگی را برای زوج شاخص‌های آماری در دوره مطالعاتی سی ساله و برای ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از همبستگی آماری زوج شاخص‌ها نشان داد، در اکثر

جدول (۷): نتایج ضرایب تعیین (R^2) برای شاخص های خشکسالی در دوره آماری

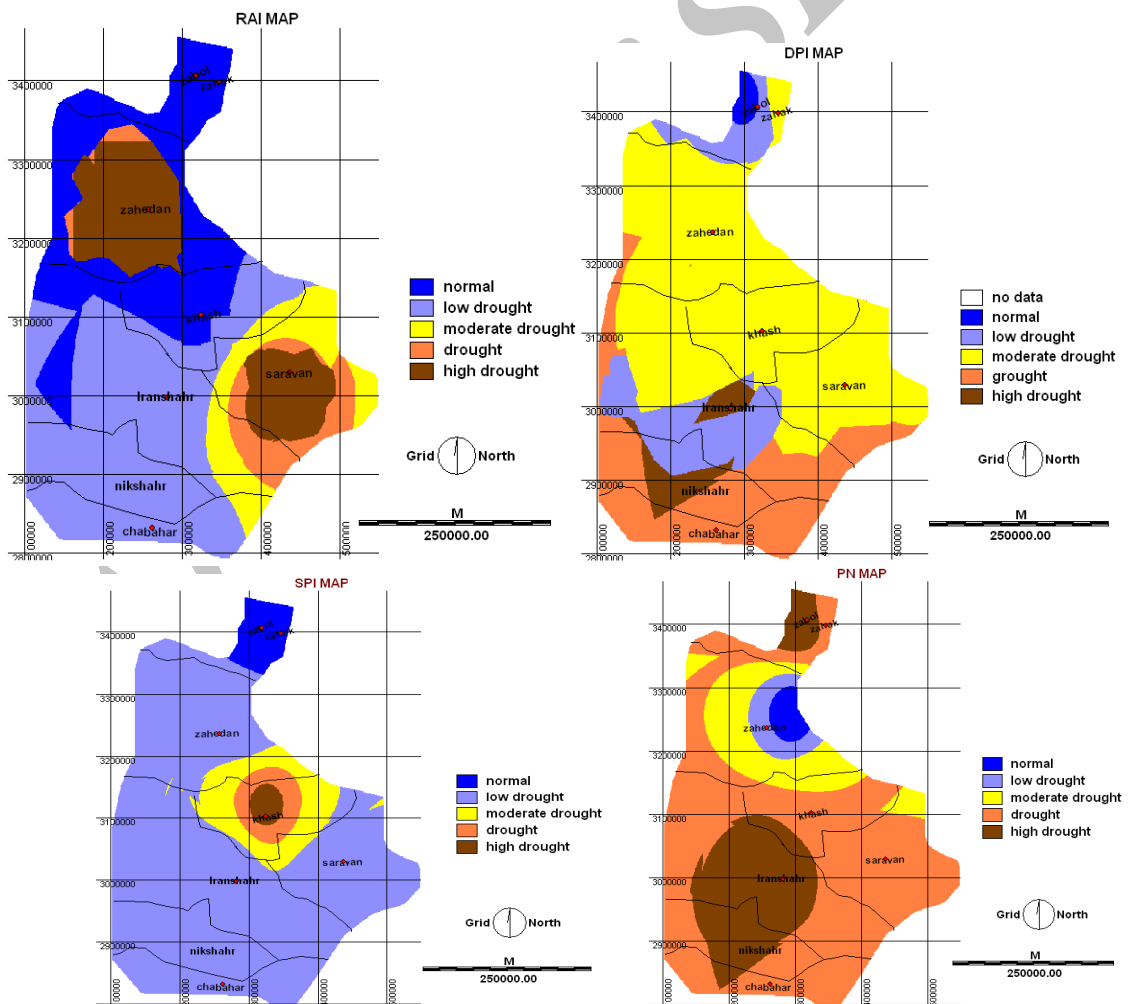
RAI	DPI	SPI	PN	نمایه	
۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۹۶	۱	PN	زاهدان
۰/۸۴	۰/۷۴	۱	۰/۹۶	SPI	
۰/۶۳	۱	۰/۷۴	۰/۶۳	DPI	
۱	۰/۶۳	۰/۸۴	۰/۹۴	RAI	
۰/۶۱	۰/۴	۰/۶۲	۱	PN	زابل
۰/۸۳	۰/۸۱	۱	۰/۶۲	SPI	
۰/۶۵	۱	۰/۸۱	۰/۴	DPI	
۱	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۶۱	RAI	
۰/۹۹	۰/۷۶	۱	۱	PN	زهک
۰/۹۹	۰/۷۶	۱	۱	SPI	
۰/۷۲	۱	۰/۷۶	۰/۷۶	DPI	
۱	۰/۷۲	۰/۹۹	۰/۹۹	RAI	
۰/۹۹	۰/۷۲	۱	۱	PN	خاش
۰/۹۹	۰/۲۷	۱	۱	SPI	
۰/۷۴	۱	۰/۲۷	۰/۷۲	DPI	
۱	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۹۹	RAI	
۱	۰/۹۷	۱	۱	PN	ایرانشهر
۱	۰/۹۷	۱	۱	SPI	
۰/۹۷	۱	۰/۹۷	۰/۹۷	DPI	
۱	۰/۹۷	۱	۱	RAI	
۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۸۱	۱	PN	سراوان
۰/۸۱	۰/۷۱	۱	۰/۸۱	SPI	
۰/۸۸	۱	۰/۷۱	۰/۸۷	DPI	
۱	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۹۹	RAI	
۰/۹۹	۱	۱	۱	PN	چابهار
۰/۹۹	۱	۱	۱	SPI	
۰/۹۹	۱	۱	۱	DPI	
۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	RAI	

همچنین به عنوان نمونه رابطه همبستگی دو شاخص RAI و PN در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): همبستگی خطی شاخص RAI با شاخص PN در ایستگاه زاهدان در دوره مطالعاتی

با استفاده از نتایج حاصل از شاخص‌های مذکور، پهنه‌بندی انجام گرفت که در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): پهنه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های RAI, DPI, SPI, PN

آمار و اطلاعات ۳۷ ایستگاه در سطح استان کرمان انجام و سپس نقشه‌های خشکسالی تهیه و ارزیابی شد. نتایج تحقیق ضمن تایید متغیر مکانی بودن شاخص‌ها، نشان داد که برای شاخص SIAP روش کوکریجینگ و برای شاخص SPI روش میانگین متحرک وزن دار، از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. (نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷). از آنجایی که وقوع خشکسالی اجتناب ناپذیر است بخصوص در دهه اخیر که میزان آن افزایش چشم‌گیری داشته است، یک مدیریت صحیح برای مقابله با این بلای طبیعی و ایجاد یک سیستم مدیریتی ریسک و لزوم اطلاع رسانی درست و به موقع و ارائه اطلاعات صحیح در هر مقیاس زمانی امری لازم و ضروریست. پیش خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی همچون PN، DPI، SPI و RAI به عنوان یکی از مولفه‌های موثر در سیستم پیش آگاهی مدیریت ریسک بلایای طبیعی، این امکان را فراهم ساخته تا بتوان مناطقی از استان که بوسیله خشکسالی صدمه دیده اند، را شناسایی نموده و با توجه به اکوسیستم شکننده‌ی این مناطق، مدیریت باید در سال‌های کم‌آبی با لحاظ نمودن احتمالات و پیش‌بینی وقوع خشکسالی به برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی بپردازد. در این راستا استفاده از شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی می‌تواند اثرات خشکسالی بر منابع آبی را بهتر بروز دهد. البته باید این نکته را در نظر داشت که مهم‌ترین عامل موثر بر خشکسالی که حتی مقبولیت عامه دارد کمبود بارندگی تنها نیست بلکه عدم یکنواخت ریزش‌های جوی در طول سال می‌باشد. بنابراین بایستی با مدیریت صحیح، اقدامات سازه‌ای، غیر سازه‌ای و تلفیق آن‌ها در مقابله با خشکسالی تصمیمات صحیحی را اتخاذ نمود.

نتایج حاصل از پهنه بندی نیز نشان می‌دهد که شاخص PN شدت خشکسالی را در شهرهای شمالی و جنوبی استان (زابل، زهک، ایرانشهر و چابهار)، شاخص SPI در خاش و شاخص RAI در زاهدان و سراوان بهتر از دیگر شاخص‌ها بیان داشته است. که این نتایج بدست آمده از ضرایب همبستگی را نیز تصدیق می‌کند. براساس شاخص DPI مساحتی از استان که دارای خشکسالی بسیار شدید می‌باشد ۳۱/۰۳۱ هکتار، براساس شاخص RAI ۳۰۶۲۶۹۴/۹۸ هکتار، براساس شاخص PN ۳۹۰۴۰۰۸/۰۸ هکتار و براساس شاخص SPI ۲۶۰۷۹۲/۶۷ هکتار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت شاخص PN و شاخص RAI بهتر از دیگر شاخص‌ها شدت خشکسالی را بیان داشته‌اند و شاخص‌های DPI و SPI در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. لذا مقبولیت شاخص PN در این استان از دیگر شاخص‌ها بیشتر است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و CZI و استفاده از علم زمین آمار در استان خراسان جنوبی را انجام دادند. طبق نتایج با بهره‌گیری از دو شاخص در طول سال آماری خشک‌ترین سال مربوط به سال ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و سال ۱۳۷۱-۱۳۷۰ مرطوب‌ترین سال برای خراسان جنوبی برآورد گردید. (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ص ۳۳۲). یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه شاخص استاندارد شده بارش را انجام دادند. نتایج نشان داد در مقیاس ۱۲ ماهه واریوگرام دایره‌ای و در مقیاس ۳ ماهه واریوگرام نمایی نتایج قابل قبولی از خود نشان دادند. همچنان با عنایت به نتایج حاصل از پهنه‌بندی بطور متوسط ۶۱ درصد از مساحت ایران در سال‌های مورد بررسی در پهنه طبقات مختلف خشکسالی قرار داشته است. (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰، ص ۳۱). نحوی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SIAP در استان کرمان را انجام دادند. پیش خشکسالی براساس شاخص‌های SPI و SIAP با استفاده از

منابع

۱. بانژاد، ح.، ح. زارع ابیانه، م. نظری‌فر و ا. سبزی‌پرور. ۱۳۸۵. بکارگیری شاخص بارش استاندارد (SPI) با روش‌های زمین آماری در تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی استان همدان. مجله پژوهش کشاورزی، شماره ۲، ص ۶۱-۷۳.

۲. بنی واهب، ع.؛ ب.علیجانی. ۱۳۸۳. بررسی خشکسالی، ترسالی، پیش بینی تغییرات اقلیمی منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، ص ۱۵۷-۱۴۱.
۳. پاپلی یزدی، م.ح. ۱۳۷۸. آیین‌های باران خواهی در زمان خشکسالی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴ و ۵۵، ص ۲۱۱-۱۸۶.
۴. جوادی، م.ر.، م. باقری و ع. میرزا جان سمسار. ۱۳۹۰. بررسی و تحلیل وقوع خشکسالی و ترسالی‌های اقلیمی با استفاده از نمایه‌های درصد از نرمال بارندگی، ناهنجاری‌های بارش و معیار بارندگی سالانه در استان مرکزی. دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ص ۱۳۱.
۵. رحیم‌زاده، ز.، ح. محمدزاده، ح. کاردان مقدم و ع. هوشمند. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و CZI و استفاده از علم زمین آمار (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی). نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص ۳۴۰-۳۳۲.
۶. رضیئی، ط.، پ. دانش و ب. ثقفیان. ۱۳۸۶. بررسی الگوی زمانی و مکانی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان. مجله علمی کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۱، ص ۹۹-۸۵.
۷. زارع ابیانه، ح.، و ع. محبوبی. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۴، ص ۷-۲.
۸. زارع ابیانه، ح.، و. یزدانی و خ. اژدری. ۱۳۸۸. مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، ص ۴۹-۳۵.
۹. سبزی‌پور، ع. و آ. کاظمی. ۱۳۸۹. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال دوازدهم، شماره ۱، ص ۹۷-۱۱۱.
۱۰. سلیمانی ساردو، ف.، س. سلطانی کوپایی و ع. سلاجقه. ۱۳۸۷. تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در استان کرمان. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند.
۱۱. سیمانی، ن. ۱۳۹۰. بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از چند نمایه مبتنی بر بارش (مطالعه موردی؛ استان کرمان). دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ص ۱۳۰.
۱۲. صدر افشاری، س. و م. فیض‌اله‌پور. ۱۳۹۰. برآورد مقادیر خشکسالی ارومیه با استفاده از شاخص‌های SPI، DI، ZSI و PN و مقایسه روش‌های فوق برای دستیابی به بهترین شاخص خشکسالی. دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ص ۱۱۷.
۱۳. فرج‌زاده اصل، م. ۱۳۷۵. خشکسالی و روش‌های مطالعه آن. مجله جنگل‌ها و مرتع شماره ۳۲، ص ۲۲-۲۲.
۱۴. قربانی، خ.، ع. خلیلی، ک. علوی پناه و غ. نخعی‌زاده. ۱۳۸۹. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI به روش داده کاوی در استان کرمانشاه. مجله آب و خاک، شماره ۳، جلد ۲۴، ص ۴۲۶-۴۱۷.
۱۵. عسکری‌زاده، م.، ف. زابلی عباسی، ش. ملبوسی و غ. فلاح قالهری. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از نمایه درصد از نرمال (PN) در استان خراسان رضوی. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند.
۱۶. محمدی مطلق، ر. ۱۳۸۹. کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های سه دهه اخیر در شیراز. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه کرمان، ۹-۱۰ بهمن ماه.
۱۷. نحوی‌نیا، م.ج.، س. نیک‌مهر، خ.ا. آلی، ه. رضانی و ع. کلاهچی. ۱۳۸۷. تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و SIAP در استان کرمان. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند.
۱۸. یزدانی، و.، ح. زارع ابیانه و م. شادمانی. ۱۳۹۰. تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه شاخص استاندارد شده بارش. مجله مهندسی منابع آب، سال چهارم، ص ۴۳-۳۱.

19. Cancelliere, A., G. Mauro, B. Bonaccorso and G. Rossi. 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Journal Water Resource Manage*, 21:801- 819.

20. Dupigny-Giroux, L. 2001. Towards Characterizing and Planning for Drought in Vermont - Part I: A Climatologically Perspective. Journal of the Am. Water Res. Assoc., 37, 505-525.
21. Hong, W., M.J. Hayes, A. Welss and Q. Hu. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21:745-758.
22. Karl, T.H.R. and A.J. Kosciely. 1982. Drought in the United States. Journal of Climatology, 2:313-320.
23. Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought, U. S. Weather Bureau, Washington, D.C. 45.
24. Vicente-Serrano, S.M . and J.I. Lopez-Moreno. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin Hydrology and Earth System Sciences Discussions , No 2.

Study and compare performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province

Halimeh piri¹, vahid rahdari², saeedeh maleki²

Abstract

Study of drought situation is important in various areas in editor plans to deal with the drought and risk management. Rainfall is one of the most important variables that are used in defining drought. Several index is presented to assessment for drought based on rainfall. Study simultaneous occurrence of certain classes of states of the drought index can be appropriate criterion for conformity assesment indicators. The purpose of this research is study the performance indexes of drought in Sistan and Baluchestan province, and select the appropriate index. To achieve this goal, used of data annual rainfall from 1360 to 1389 and using an index of normal (PN), The rainfall deciles (DPI), the Standardized Precipitation (SPI), Precipitation anomalies (RAI) in 7 meteorological stations in Sistan and Baluchestan province, drought have been studied and was classified. To select the most appropriate index was used of sperman correlation coefficient between the index drought and rainfall changes in the period under study. Results showed that, in cities Zahak, Zabol, Iranshahr and Chabahar PN index with correlation coefficient (1), in the cities of Zahedan and Saravan RAI index by coefficient 0/84 and 0/99 and in Khash SPI index by correlation coefficient (1) could show very severe and extreme drought better than other indicators. In evaluating the correlation between paired indicators, PN-RAI, PN-SPI and SPI-RAI have a high correlation to each other the Possibility level ($p < 0/01$) in most of stations.

Key words: drought, the drought index (RAI, PN, DPI, SPI), Sistan and Baluchestan, zonation.

¹ Msc, Faculty member of Zabol University, irrigation group; h_piri2880@yahoo.com

² Msc, Faculty member of Zabol University, Department of Natural Resources