

بررسی خشکسالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین المللی هامون

چکیده

خشکسالی به عنوان پدیده‌ای آرام و خزنده با گسترش مکانی زیاد هر ساله خسارات بسیار زیادی را به بخش‌های مختلف اقتصادی کشور وارد می‌سازد. بنابراین باید پایش و پهنه‌بندی آن به عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق به بررسی شدت خشکسالی دشت سیستان با استفاده از چهار شاخص SPI, PNI, DPI و RAI و انتخاب بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی در منطقه و تأثیر این خشکسالی بر تالاب‌های هامون پرداخته شده است. نتایج نشان داد شاخص PNI با ضریب همبستگی ۱ نسبت به شاخص‌های دیگر توانسته است، بهتر خشکسالی منطقه را بیان دارد. همچنین می‌توان گفت که این عامل باعث خشک شدن دریاچه هامون و در نتیجه اثرات مخرب روی محیط زیست طبیعی، فیزیکی و اقتصادی اجتماعی منطقه داشته است.

واژگان کلیدی: دشت سیستان، تالاب هامون، خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی.

حلیمه پیری^۱

حسین انصاری^۲

۱. دانشگاه زابل، مربی گروه مهندسی آب، زابل،

ایران

۲. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشیار گروه مهندسی

آب، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات

H_piri2880@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۱/۲۸

کد مقاله: ۱۳۹۲۱۱۰۳۲

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی

می‌باشد.

مقدمه

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 تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر 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 هیدرولوژیکی 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 ایبانه 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 به دلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی و مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد و در نتیجه در اکثر سال‌ها دچار خشکسالی شدید شده است. آیین‌های باران خواهی که سابقه هفت هزار ساله در ایران دارد، موبد این نکته می‌باشد (پاپلی یزدی، ۱۳۷۸). این پدیده در سال‌های اخیر خسارات زیادی به بار آورده است. بطوری که تنها در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب ۳/۵ و ۲/۶ میلیارد دلار خسارت بر اقتصاد وارد نموده است (بنی واهب 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

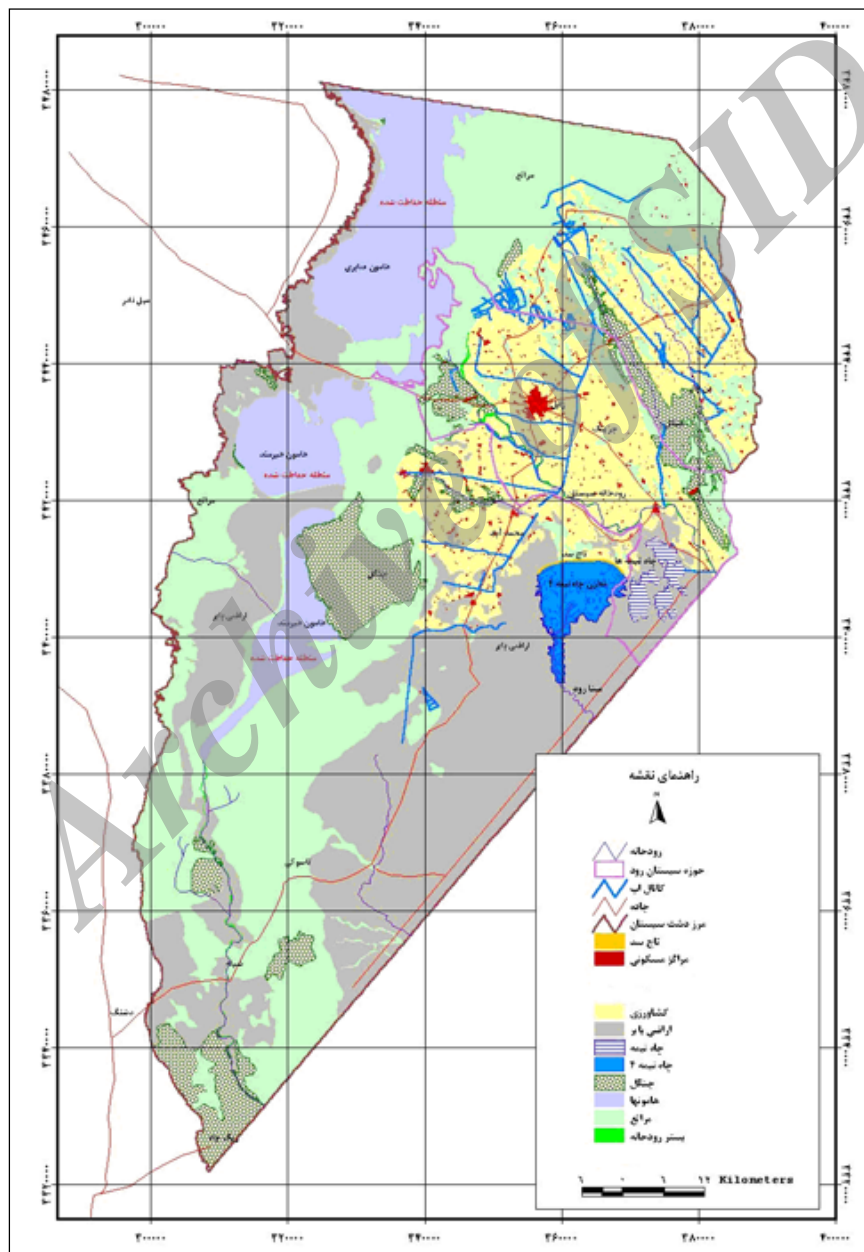


ویژگی‌های مختلف این پدیده پرداخت. وی در گزارشی روشی را معرفی کرد که با استفاده از پارامترهای بارش، دما، و رطوبت خاک به روند یابی خشکسالی می‌پرداخت. این روش به دلیل محاسبات پیچیده و کمبود اطلاعات، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی از لحاظ دقت یکی از بهترین شاخص‌های خشکسالی است که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Palmer, 1965). 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 (به نقل از رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸). کارل (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 (Karl, 1982). سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۸۷) تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در استان کرمان را انجام دادند و با استفاده از این شاخص و روش درون یابی کریجینگ (kriging) و نرم‌افزارهای Surfer 8 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. 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 تیپ‌های خشکسالی بوده و مقیاس‌های طولانی مدت SPI مربوط به خشکسالی هیدولوژیک می‌باشد (Serrano and Moreno, 2005). وفا خواه و رجبی (۱۳۸۴) در مطالعه خود به بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی حوضه‌های آبریز دریاچه بختگان، طشک و مهارلو پرداختند. شاخص‌های بکارگرفته شده در این تحقیق شامل نمایه‌های عدد Z، درصد نرمال بارش PN، دهک‌های بارش DPI، ناهنجاری‌های بارش RAI و بارش استاندارد SPI بوده است. نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال بارندگی، مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی بسیار شدید و شدید در تمامی ایستگاه‌های تحت مطالعه مشاهده شد. به همین دلیل کارایی بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها برای تعیین شدت خشکسالی دارند. موسوی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به بررسی خشکسالی بر اساس نمایه‌های مبتنی بر بارش در شهر کرمانشاه طی دوره آماری ۵۴ ساله پرداختند. این تحقیق با استفاده از شاخص نیچه، بارش استاندارد شده و شاخص درصد نرمال اقدام شده است. نتایج نشان داد که غالباً شدت خشکسالی در شهر کرمانشاه، حالت خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط و دوره مرطوب می‌باشد. با توجه به اهمیت تالاب هامون در منطقه سیستان در این تحقیق به مطالعه و بررسی خشکسالی دشت سیستان و تاثیر آن بر تالاب هامون پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

دشت سیستان در شرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی، نسبت به نیم روز گرینویچ با ارتفاع از سطح دریای آن ۴۷۸ متر و اقلیم گرم و خشک قرار دارد. میانگین بارش سالانه آن ۵۷ میلی‌متر می‌باشد و دمای آن از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد متغیر است. این دشت شامل بخش‌های شهرکی و نارویی، شیب آب و پشت آب، میانکنگی و بخش مرکزی که شامل شهرهای زابل و بنجار به مرکزیت زابل است، می‌باشد. از ویژگی‌های شاخص دشت سیستان، وجود تالاب هامون است. این تالاب که به آن دریاچه نیز گفته می‌شود در طول تاریخ، به دلیل موقعیت جغرافیایی، موجودیت تقریباً دائمی و نیز به علت شیرین بودن آب آن، مهم‌ترین تالاب بخش‌های خاوری فلات ایران محسوب می‌شود. این تالاب‌ها دارای سه ناحیه هامون هیرمند در مغرب و جنوب غربی، هامون سابوری در شمال غربی و هامون پوزک در شمال شرقی سیستان می‌باشد.

معمولاً در سال‌های پرآبی در فصل بهار و بعد از سیلاب‌های رودخانه هیرمند سه هامون فوق‌الذکر به یکدیگر وصل شده و مجموعه کامل دریاچه هامون را تشکیل می‌دهند. این تالاب از لحاظ اقتصادی برای ساکنان سیستان اهمیت به‌سزایی دارد و از نظر زیست‌محیطی نیز منبعی عظیم و مهم بشمار می‌رود. منطقه حفاظت‌شده هامون، به علت قرار گرفتن در مرکز مناطق کویری و نیمه‌کویری کشورهای ایران و افغانستان، در حقیقت تنها مأمن زیست‌پرندگان مهاجر در شرق کشور محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت تالاب هامون در منطقه در این تحقیق به مطالعه و بررسی خشکسالی دشت سیستان با استفاده از چهار شاخص (Percent of Normal Precipitation) PN، (the Standardization Precipitation Index) SPI، (Deciles of precipitation Index) DPI و (Rainfall) RAI و (Anomaly Index) و تاثیر آن بر تالاب هامون پرداخته شده است. شکل ۱ موقعیت دشت سیستان و تالاب‌های هامون را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت دشت سیستان و تالاب‌های هامون.

جهت بررسی خشکسالی‌ها از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک زابل و زهک که در منطقه دشت سیستان می‌باشند در طی دوره (۱۳۸۹-۱۳۶۰) استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های مذکور به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک دشت سیستان.

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	دوره آماری (سال)
زابل	۶۱/۳۹	۳۱/۲	۴۸۹	۱۳۶۰-۱۳۸۹
زهک	۶۰/۴۱	۳۰/۵۴	۴۹۵	۱۳۶۰-۱۳۸۹

همگنی داده‌ها به روش گردش حول میانه بررسی شد. برای این منظور میانه به عنوان نقطه حد وسط انتخاب شد. سپس هر داده ای که از میانه بزرگ‌تر بود با علامت a و داده کوچک‌تر از میانه با علامت b مشخص گردید. سپس مجموع تعداد دنباله‌های a و b محاسبه (U) و با توجه به حدود مجاز برای U، همگنی داده‌ها مشخص گردید (علیزاده، ۱۳۸۷).

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 دشت سیستان 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.

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

در ادامه به منظور تعیین شده خشکسالی از شاخص‌های PN، DPI، SPI و RAI استفاده گردید.

شاخص درصد نرمال بارندگی (PN) در سال ۱۹۹۴ توسط Wilki و همکاران 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. مقدار این شاخص برای دوره آماری و ایستگاه‌های مورد مطالعه از فرمول $PN = \frac{P_i}{P} \times 100$ تعیین شد که PN، P_i و P به ترتیب شاخص درصد از نرمال، بارش سال مورد نظر و میانگین بارش دراز مدت است (به نقل از نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷).

شاخص دهک بارندگی (DPI) در سال ۱۹۶۷ 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 شد. سپس برای محاسبه احتمال وقوع بارش یک سال معین (P_i) از معادله $P_i = (i/(N+1)) * 100$ استفاده شد. که در این معادله P_i برابر است با احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام، و n تعداد داده‌های بارندگی. (فرج‌زاده اصل، ۱۳۷۵).

بر حسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد مطابق جدول ۲ یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود. شاخص ناهنجاری‌های بارش (RAI) 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. مراحل محاسبه این نمایه بصورت زیر است (Rooy and Van, 1965):

- ۱- محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه (\bar{P}) در ایستگاه مورد نظر.
 - ۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (M).
 - ۳- استخراج میانگین ۱۰ 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 RAI از رابطه $RAI = \frac{3(P - \bar{P})}{(M - \bar{P})}$ و اگر $\bar{P} > P$ باشد RAI از رابطه $RAI = -3(P - \bar{P}) / (X - \bar{P})$ به دست می‌آید.

در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است. نسبت دادن آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر ناهنجاری‌های مثبت و ۱۰ مورد از کوچکترین مقادیر ناهنجاری‌ها منفی. نهایتاً با مقیاس‌گذاری خطی روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری‌های بارندگی، ۹ 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.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

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 (محمدی مطلق، ۱۳۸۹).

جدول ۲: طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی.

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

نتایج

ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک دشت سیستان اجزای بارش شامل انحراف معیارهای بارندگی، کشیدگی، چولگی، محاسبه گردیدند. جدول ۳ نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ویژگی‌های آماری بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۶۰).

داده آماری ایستگاه	میانگین (میلی‌متر)	میانه (میلی‌متر)	کمینه (میلی‌متر)	بیشینه (میلی‌متر)	دامنه تغییرات	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
زهک	۴۶/۹	۳۶/۳	۱۱	۱۴۶	۱۲۹/۶	۱/۵	۱/۷	۴۰/۱	۸۵/۴
زابل	۵۷	۵۲/۱	۴	۱۷۱/۵	۱۶۷/۵	۱/۰۵	۱/۱	۳۷/۱	۶۵/۱

تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش نشان داد که کمترین بارندگی به میزان ۴ میلی‌متر در شهر زابل و بیشترین بارش نیز در شهر زابل حدود ۱۷۱/۵ میلی‌متر بوده است. ضریب تغییرات برای هر دو ایستگاه بالای ۴۰ درصد می باشد. بیشتر بودن شاخص ضریب تغییرات از ۴۰ درصد در بارش نشان دهنده بی‌نظمی بالای بارش و حاکمیت شرایط اقلیمی خشک در محدوده ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. این نشان دهنده حاکمیت اقلیم خشک و رخداد خشکسالی‌های زیاد و با شدت بالا می‌باشد. نتایج بررسی همگنی داده‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: نتایج بررسی همگن بودن داده‌ها در دوره مطالعاتی (۱۳۶۹-۱۳۶۰).

ایستگاه	n_a	n_b	U	حدود مجاز برای U
زابل	۱۸	۲۰	۱۶	۱۲-۲۶
زهک	۱۹	۲۰	۱۷	۱۳-۲۷

همانطور که مشاهده می گردد با توجه به این که مقدار U بین مقادیر مجاز قرار دارد، لذا می توان گفت داده ها همگن هستند. در جدول ۵ مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی‌های دشت سیستان در دوره آماری مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۵: مقادیر نمایه‌ها و تعیین شدت خشکسالی دشت سیستان (۱۳۶۹-۱۳۶۰).

سال	ایستگاه	شاخص خشکسالی PN	وضعیت خشکسالی	شاخص DPI	وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	وضعیت خشکسالی	شاخص RAI	وضعیت خشکسالی
۱۳۶۰	زابل	۵۲	خ متوسط	۴۷/۳۶	نرمال	-۰/۱۸	خ ضعیف	-۰/۵۳	خ ضعیف
	زهک	۵۰/۵	خ متوسط	۴۵/۵	نرمال	-۰/۲۲	خ ضعیف	-۰/۶۴	خ ضعیف
۱۳۶۱	زابل	۳۸/۱۳	خ بسیار شدید	۳۴/۲۱	خ ضعیف	-۰/۰۶	خ ضعیف	-۱/۷۸	خ متوسط
	زهک	۳۸	خ بسیار شدید	۳۳/۹۸	خ ضعیف	-۰/۰۶	خ ضعیف	-۱/۸	خ متوسط
۱۳۶۲	زابل	۱۸۵/۲۱	نرمال	۵۲/۶۳	نرمال	-۰/۱۱	خ ضعیف	-۰/۳۴	خ ضعیف
	زهک	۱۸۰/۱	نرمال	۵۱/۶	نرمال	-۰/۱۵	خ ضعیف	-۰/۰۴	خ ضعیف
۱۳۶۳	زابل	۹۲/۵۵	نرمال	۵۷/۸۹	نرمال	۰/۰۳	نرمال	۰/۰۸	نرمال
	زهک	۹۰/۹	نرمال	۵۳/۳۶	نرمال	۰/۰۲	نرمال	۰/۰۷	نرمال
۱۳۶۴	زابل	۱۲۵/۲۵	نرمال	۶۵/۷۸	نرمال	۰/۱	نرمال	۰/۲۴	نرمال
	زهک	۱۱۹/۵۶	نرمال	۵۸/۷۶	نرمال	۰/۱	نرمال	۰/۲۲	نرمال
۱۳۶۵	زابل	۵۲/۸۲	خ شدید	۲۳/۶۸	خ متوسط	-۰/۷۵	خ ضعیف	-۲/۲	خ شدید
	زهک	۴۸/۵	خ شدید	۱۸/۱۶	خ شدید	-۰/۸۱	خ ضعف	-۲/۲۸	خ شدید

۱۳۶۶	زابل	۹۴/۹۹	نرمال	۶۳/۱۵	نرمال	۰/۰۵	نرمال	۰/۱	نرمال
	زهک	۹۴	نرمال	۶۲/۷۴	نرمال	۰/۰۵	نرمال	۰/۱۲	نرمال
۱۳۶۷	زابل	۱۷/۳۳	خ بسیار شدید	۱۵/۷۸	خ شدید	-۱/۰۳	خ متوسط	-۳/۰۳	خ بسیار شدید
	زهک	۱۵/۶۹	خ بسیار شدید	۱۳/۴۵	خ شدید	-۱/۳۴	خ متوسط	۰/۲۵	نرمال
۱۳۶۸	زابل	۶۴/۸۲	خ متوسط	۶۰/۵۲	نرمال	۰/۰۴	نرمال	۰/۰۹	نرمال
	زهک	۶۳/۵	خ متوسط	۵۸/۷	نرمال	۰/۰۳	نرمال	۰/۰۸	نرمال
۱۳۶۹	زابل	۱۹۳/۳	نرمال	۸۶/۸۴	نرمال	۱/۴۱	نرمال	۳/۲	نرمال
	زهک	۱۸۷/۱	نرمال	۷۱/۸۹	نرمال	۱/۲۲	نرمال	۳	نرمال
۱۳۷۰	زابل	۴۵	خ بسیار شدید	۴۴/۷۳	نرمال	-۰/۲۲	خ ضعیف	-۰/۶۶	خ ضعیف
	زهک	۴۱/۳۹	خ بسیار شدید	۳۸/۹	خ ضعیف	-۰/۳۵	خ ضعیف	-۰/۷۸	خ ضعیف
۱۳۷۱	زابل	۳۳۳/۳	نرمال	۹۲/۱	نرمال	۱/۶۱	نرمال	۳/۶۴	نرمال
	زهک	۳۲۵/۲۲	نرمال	۸۸/۷۳	نرمال	۱/۳۲	نرمال	۲/۹۸	نرمال
۱۳۷۲	زابل	۱۱۰/۱۱	نرمال	۷۶/۳۱	نرمال	۰/۴۵	نرمال	۱/۰۳	نرمال
	زهک	۹۴/۵	نرمال	۶۲/۴۳	نرمال	۰/۳۶	نرمال	۱	نرمال
۱۳۷۳	زابل	۵۸/۷۱	خ متوسط	۲۶/۳۱	خ متوسط	-۰/۷۴	خ ضعیف	-۲/۲	خ شدید
	زهک	۳۰/۶۸	خ بسیار شدید	۱۷/۶۴	خ شدید	-۰/۸	خ ضعیف	-۴/۲۶	خ بسیار شدید
۱۳۷۴	زابل	۲۵۱/۳۲	نرمال	۸۹/۴۷	نرمال	۱/۵۲	نرمال	۳/۴	نرمال
	زهک	۲۸۵	نرمال	۸۸/۲۳	نرمال	۲/۱۶	نرمال	۱۴/۳۴	نرمال
۱۳۷۵	زابل	۲۹/۷۳	خ بسیار شدید	۵۵/۲۶	نرمال	-۰/۰۱	خ ضعیف	-۰/۰۴	نرمال
	زهک	۱۴۷/۳۱	نرمال	۷۶/۴۷	نرمال	۰/۵۵	نرمال	۳/۶۶	نرمال
۱۳۷۶	زابل	۲۴۷/۵	نرمال	۸۴/۲۱	نرمال	۱/۴	نرمال	۳/۱۸	نرمال
	زهک	۱۶۵/۸۳	نرمال	۸۲/۳۵	نرمال	۰/۷۷	نرمال	۵/۱	نرمال
۱۳۷۷	زابل	۷۵	خ ضعیف	۷۳/۶۸	نرمال	۰/۴۴	نرمال	۱	نرمال
	زهک	۹۳/۴۵	نرمال	۶۴/۷	نرمال	-۰/۰۷	خ ضعیف	-۰/۴	خ ضعیف
۱۳۷۸	زابل	۵۵/۶۵	خ متوسط	۲۸/۹۴	خ متوسط	-۰/۷۲	خ ضعیف	-۲/۱	خ متوسط
	زهک	۴۵/۳۴	خ شدید	۲۹/۴۱	خ متوسط	-۰/۶۳	خ ضعیف	-۳/۳۷	خ بسیار شدید
۱۳۷۹	زابل	۲۵/۹۴	خ بسیار شدید	۵/۲۶	خ بسیار شدید	-۱/۱۸	خ متوسط	-۳/۴۷	خ بسیار شدید
	زهک	۲۴/۹	خ بسیار شدید	۱۱/۷۶	خ شدید	-۰/۸۷	خ ضعیف	-۴/۶۳	خ بسیار شدید
۱۳۸۰	زابل	۱۴/۱۸	خ بسیار شدید	۷۳/۶۸	نرمال	-۰/۸	خ ضعیف	-۲/۳۶	خ شدید
	زهک	۸۸/۷۷	نرمال	۵۸/۸۲	نرمال	-۰/۱۳	خ ضعیف	-۰/۶۹	خ ضعیف
۱۳۸۱	زابل	۶۳/۱۵	خ متوسط	۴۲/۱	نرمال	-۰/۲۹	خ ضعیف	-۰/۸۶	خ ضعیف
	زهک	۵۷/۶۹	خ متوسط	۴۱/۱۷	نرمال	-۰/۴۹	خ ضعیف	-۲/۶۱	خ شدید
۱۳۸۲	زابل	۱۱/۴۴	خ بسیار شدید	۱۳/۱۵	خ شدید	-۱/۰۷	خ متوسط	-۳/۱۴	خ بسیار شدید
	زهک	۲۳/۴۱	خ بسیار شدید	۵/۸۸	خ بسیار شدید	-۰/۸۹	خ ضعیف	-۴/۷۲	خ بسیار شدید
۱۳۸۳	زابل	۳۴۵/۷۶	نرمال	۹۷/۳۶	نرمال	۳/۰۸	نرمال	۶/۹۵	نرمال
	زهک	۲۹۹/۳	نرمال	۹۴/۱۱	نرمال	۲/۳۳	نرمال	۱۵/۴۴	نرمال

زایل	۴۷/۵۲	خ شدید	۱۰/۵۲	خ شدید	-۱/۰۹	خ متوسط	-۳/۲۱	خ بسیار شدید	۱۳۸۴
زهک	۵۴/۷۱	خ شدید	۳۵/۲۹	خ ضعیف	-۰/۵۳	خ ضعیف	-۲/۷۹	خ شدید	
زایل	۱۶۹/۴۹	نرمال	۳۹/۴۷	خ ضعیف	-۰/۳۵	خ ضعیف	-۱/۰۳	خ ضعیف	۱۳۸۵
زهک	۸۷/۲۸	نرمال	۵۲/۹۴	نرمال	-۰/۱۴	خ ضعیف	-۰/۷۸	خ ضعیف	
زایل	۱۱۲/۱۴	نرمال	۷/۸۹	خ بسیار شدید	-۱/۱۱	خ متوسط	۳/۲۵	نرمال	۱۳۸۶
زهک	۶۷/۴۸	خ متوسط	۴۷/۰۵	نرمال	-۰/۳۸	خ ضعیف	-۲	خ متوسط	
زایل	۳۹/۲	خ بسیار شدید	۱۸/۴۲	خ شدید	-۱	خ متوسط	-۲/۹۳	خ شدید	۱۳۸۷
زهک	۳۳/۶۳	خ بسیار شدید	۲۳/۵۲	خ متوسط	-۰/۷۷	خ ضعیف	-۴/۰۹	خ بسیار شدید	
زایل	۱۶۲/۹۴	نرمال	۳۶/۸۴	خ ضعیف	-۰/۴۳	خ ضعیف	-۱/۲۷	خ متوسط	۱۳۸۸
زهک	۹۴/۹۴	نرمال	۷۰/۵۸	نرمال	-۰/۰۵	خ ضعیف	-۰/۳	نرمال	
زایل	۲/۹۷	خ بسیار شدید	۲/۶۳	خ بسیار شدید	-۱/۴۲	خ متوسط	۴/۱۷	نرمال	۱۳۸۹
زهک	۴۸/۶۵	خ شدید	۲	خ بسیار شدید	-۱	خ متوسط	۵/۴	نرمال	

برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه یا به عبارتی بررسی کارایی نمایه‌ها، میزان همبستگی بین رتبه‌های شاخص‌های خشکسالی و تغییرات بارش در دوره آماری مورد مطالعه از طریق ضریب همبستگی اسپرمن بدست آمد که در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپرمن بین مقادیر نمایه‌های خشکسالی و بارندگی.

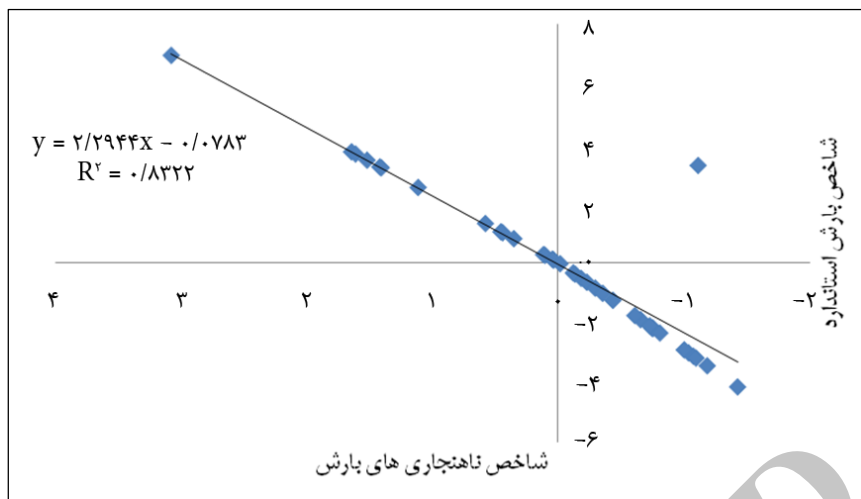
شاخص ایستگاه	PN	DPI	SPI	RAI
زایل	۱	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۳
زهک	۱	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۹۹

جدول ۷ نتایج ضرایب همبستگی را برای زوج شاخص‌های آماری در دوره مطالعاتی ۳۰ ساله و برای ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۷: نتایج ضرایب تعیین (R^2) برای شاخص‌های خشکسالی در دوره آماری (۱۳۶۰-۱۳۸۹).

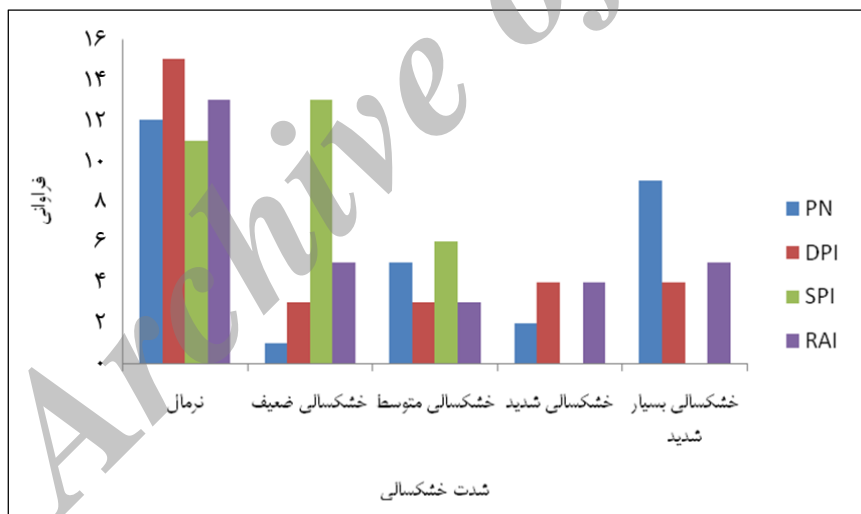
نمایه	PN	SPI	DPI	RAI
PN	۱	۰/۶۲	۰/۴	۰/۶۱
SPI	۰/۶۲	۱	۰/۸۱	۰/۸۳
DPI	۰/۴	۰/۸۱	۱	۰/۶۵
RAI	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۶۵	۱
PN	۱	۱	۰/۷۶	۰/۹۹
SPI	۱	۱	۰/۷۶	۰/۹۹
DPI	۰/۷۶	۰/۷۶	۱	۰/۷۲
RAI	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۲	۱

همچنین به عنوان نمونه رابطه همبستگی دو شاخص RAI و PN در شکل (۲) نشان داده شده است.

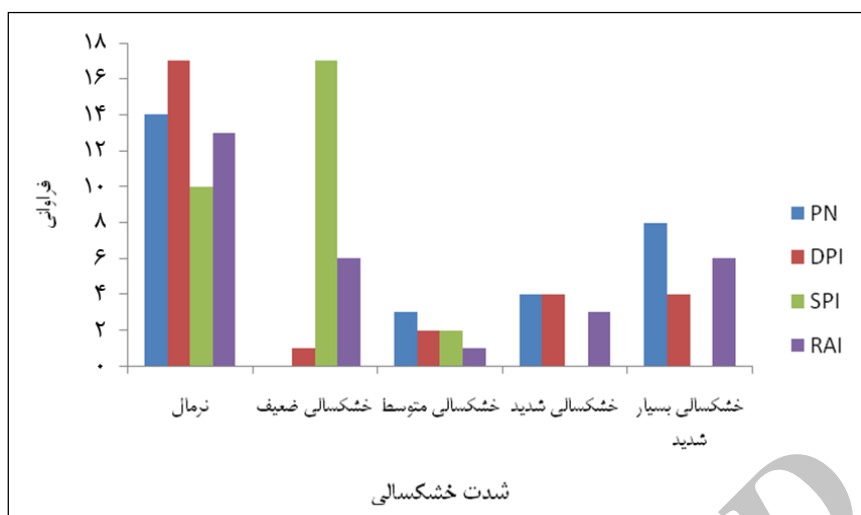


شکل ۲: همبستگی خطی شماخص ناهنجاری های بارش (RAI) با شماخص بارش استاندارد (SPI) در ایستگاه زابل.

فراوانی وقوع خشکسالی بدست آمده از هر یک از شماخصها در شکل های ۳ و ۴ آمده است. همان طور که مشاهده می شود شماخص PN وقوع خشکسالی های شدید و بسیار شدید را بهتر از شماخص های دیگر بیان می دارد.

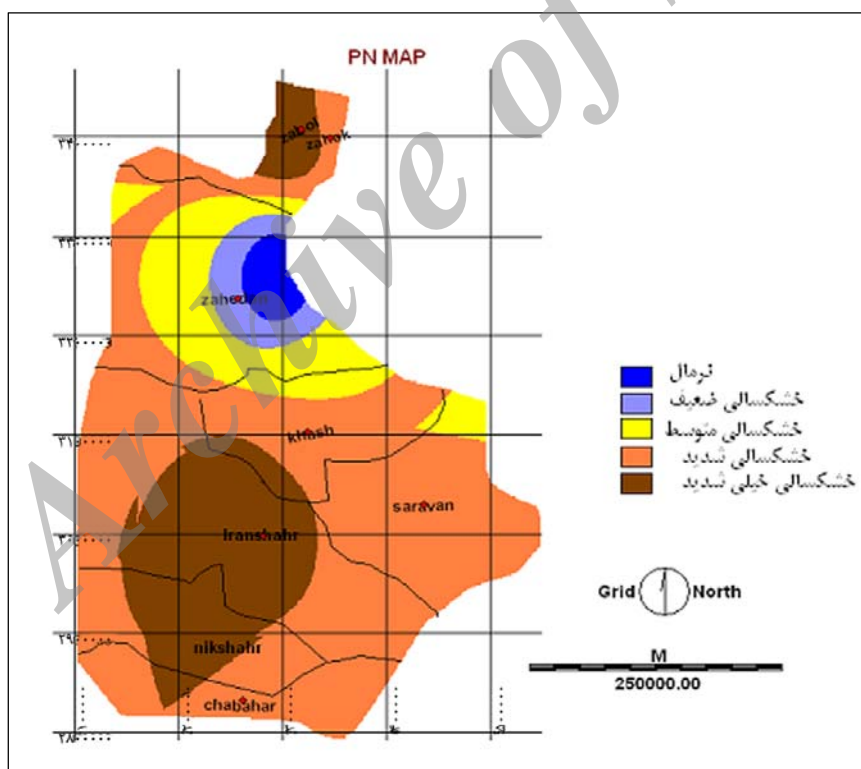


شکل ۳: فراوانی خشکسالی در دوره مطالعاتی (۱۳۸۹-۱۳۶۰) در ایستگاه زابل.



شکل ۴: فراوانی خشکسالی در دوره مطالعاتی (۱۳۸۹-۱۳۹۰) در ایستگاه زهک.

با توجه به اینکه شاخص PN به عنوان شاخص برتر از بین شاخص‌های مورد مطالعه در منطقه شناخته شد، بر اساس این شاخص پهنه‌بندی خشکسالی برای کل ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: پهنه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص PN.

بحث و نتیجه گیری

همانطور که از جدول ۶ مشاهده می‌گردد شاخص PN با ضریب همبستگی ۱ توانسته است خشکسالی شدید و بسیار شدید را نسبت به دیگر شاخص‌ها بهتر نشان دهند. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) برآورد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ۱۳۸۵-۱۳۶۱ بر اساس

نمایه‌های مبتنی بر بارش را برای ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه پریشان انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد شاخص نیچه نسبت به شاخص PN دارای فراوانی شرایط نرمال بیشتری در طول دوره آماری مورد مطالعه ایستگاه‌ها بوده است و شاخص PN از نظر فراوانی وقوع شرایط نرمال، خشکسالی و ترسالی بینابین دو شاخص نیچه و SPI قرار دارد. 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 ۹ خشکسالی بسیار شدید، ۱ خشکسالی شدید، ۲ خشکسالی متوسط و ۵ خشکسالی ضعیف در طی دوره آماری شناسایی شد.

نتایج بدست آمده از همبستگی آماری زوج شاخص‌ها (جدول ۷) نشان داد، زوج شاخص‌های PN-RAI، PN-SPI و SPI-RAI 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 SPI-CZI و RAI-Z، RAI-PN، Z-PN در اغلب ایستگاه‌های استان همبستگی خوبی با یکدیگر داشتند. همانطوری که از شکل ۵ نمایان است بر اساس این شاخص سطح بیشتر استان (۰/۸ / ۳۹۰۴۰۰۸ هکتار) دارای خشکسالی می‌باشد و شهرهای شمالی (زابل، زهک) که مورد مطالعه این تحقیق بودند، دارای خشکسالی شدید بوده‌اند. 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 ۱۳۷۸-۳۷۷ و سال ۱۳۷۱-۱۳۷۰ مرطوب‌ترین سال برای خراسان جنوبی برآورد گردید. با توجه به حساسیت منطقه سیستان به تغییرات آب و هوایی بسیار شدید و کاهش بارندگی در منطقه، خشکسالی با شدت‌های متفاوت در منطقه چیره می‌گردد. از این رو لازم است تا با مطالعه خشکسالی، شناخت ویژگی‌ها و پایش و پیش‌بینی آن، زمینه را برای مدیریت بهتر و مناسب‌تر آب در این دشت فراهم آورد. پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی همچون PN، DPI، SPI و RAI به عنوان یکی از مولفه‌های موثر در سیستم پایش آگاهی مدیریت ریسک بالایی طبیعی، این امکان را فراهم ساخته تا بتوان مناطقی که بوسیله خشکسالی صدمه دیده‌اند، 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. خشکسالی در این منطقه باعث خشک شدن تالاب هامون و در نتیجه اثرات مخرب روی محیط زیست طبیعی، فیزیکی و اقتصادی اجتماعی منطقه شده است که برخی از آن‌ها را می‌توان به شرح زیر جمع‌بندی نمود (مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۸۶):

اثر خشکسالی بر محیط فیزیکی با کاهش مواد غذایی موجود در سطح خاک در اثر افزایش فرسایش بادی، افزایش فرسایش‌های بادی و آبی در منطقه، کاهش نقل و انتقالات مواد غذایی در خاک، افزایش توفان‌های گرد و خاک و تخریب بافت و ساختمان خاک همراه می‌باشد. اثر خشکسالی بر محیط بیولوژیکی با کاهش تنوع زیستی منطقه، کاهش پوشش گیاهی و به تبع آن جانوران منطقه، تلف شدن وحوش و آبیان منطقه، اختلال در تولید مثل وحوش، حمله وحوش به اراضی زراعی و روستاها و آسان‌تر شدن شکار آن‌ها و آسیب‌پذیری در اثر شکار، تغییر در عادات غذایی و مهاجرت حیات وحش، افزایش بیماری‌های حیات وحش و هجوم حشرات به پوشش گیاهی بومی منطقه اثر می‌گذارد.

اثر خشکسالی بر محیط اقتصادی - اجتماعی به روی مهاجرت روستائیان به شهرهای اطراف از جمله زابل و زاهدان، از بین رفتن مشاغل سنتی مانند کشاورزی و دامداری، افزایش بی‌کاری و گسترش فقر در منطقه، گسترش مشاغل کاذب و قاچاق در منطقه، گسترش بیماری‌های مختلف، افزایش هزینه‌های آبیاری و علوفه، کاهش شدید درآمد زراعت و دامداران و کاهش تولیدات دامی و گیاهی و بدهی کشاورزان و دامداران به سیستم بانکی کشور نشان داده شده است.

با توجه به این موارد ضروری است تا برنامه جامعی برای مقابله با این معضل و مدیریت خشکسالی تالابها دیده شود.

منابع

- بنی واهب، ع. و علیجانی، ب.، ۱۳۸۳. بررسی خشکسالی، ترسالی. پیش بینی تغییرات اقلیمی منطقه بیرجند با استفاده از مدل های آماری، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۵، صفحات ۱۵۷-۱۴۱.
- پاپلی یزدی، م. ح.، ۱۳۷۸. آیین های باران خواهی در زمان خشکسالی، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴ و ۵۵، صفحات ۲۱۱-۱۸۶.
- رحیم زاده، ز.، محمدرزاده، ح.، کاردان مقدم، ح. و هوشمند، ع.، ۱۳۸۸. پهنه بندی خشکسالی با شاخص های SPI و CZI و استفاده از علم زمین آمار (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی)، نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه. صفحات ۳۳۰-۳۳۲.
- رضایی بنفشه، م. بلیانی، ی. و زینالی، ب.، ۱۳۹۰. برآورد خشکسالی ها و ترسالی های ۱۳۸۵-۱۳۶۱ بر اساس نمایه های مبتنی بر بارش را برای ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه پریشان، مجله تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوم، شماره هفتم، صفحات ۲۹-۱۹.
- زارع ایبانه، ح. و محبوبی، ع.، ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخصهای آماری خشکسالی مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۴، صفحات ۷-۲.
- سبزی پرور، ع. و کاظمی، آ.، ۱۳۸۹. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه ای، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال دوازدهم، شماره ۱، صفحات ۹۷-۱۱۱.
- سلیمانی ساردو، ف.، سلطانی کویایی، س. و سلاجقه، ع.، ۱۳۸۷. تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در استان کرمان، اولین کنفرانس بین المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۷. هوا و اقلیم شناسی، چاپ یازدهم، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۳۰۵.
- فرج زاده اصل، م.، ۱۳۷۵. خشکسالی و روشها مطالعه آن، مجله جنگلها و مرتع شماره ۳۲. صفحات ۳۲-۲۲.
- محمدی مطلق، ر.، ۱۳۸۹. کارایی نمایه های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالیهای سه دهه اخیر در شیراز، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه کرمان، ۹-۱۰ بهمن.
- موسوی، س. ح.، اکبری، ح. و بلیانی، ی.، ۱۳۸۸. پایش خشکسالی بر اساس نمایه های مبتنی بر بارش در شهر کرمانشاه طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۱، اولین همایش منطقه ای آب و خشکسالی دانشگاه آزاد رشت، ۳۱-۳۰ اردیبهشت.
- نحوی نیا، م. ج.، نیک مهر، س.، آلی، خ. ا.، رضانی، ه. و کلاهیچی، ع.، ۱۳۸۷. تحلیل مکانی شاخص های خشکسالی SPI و SIAP در استان کرمان، اولین کنفرانس بین المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند.
- وفا خواه، م. و رجبی، م.، ۱۳۸۴. کارایی نمایه های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالیهای حوضه آبریز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو، مجله بیابان، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحات ۳۸۲-۳۷۰.
- مهندسین مشاور آساران، ۱۳۸۶. توسعه منابع آبی تالاب هامون، شرکت توسعه منابع آب و خاک سیستان، صفحه ۴۵.

Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought, U. S. Weather Bureau, Washington, D.C. 45: 58pp.

Karl, T. H. R. and Kosciely, A. J., 1982. Drought in the United States. Journal of Climatology, 2: 313-320.

McKee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eight Conf. On Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.

Rooy, M. P. and Van, A., 1965. Rainfall Anomaly Index Independent of time and space, Notos 14(43).

Vicente-Serrano, S. M. and Lopez-Moreno, J. I., 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, 1221- 1246.