

ارزیابی و مدیریت خشکسالی

حسین جهانتیغ^۱

استادیار گروه بیابان‌زدایی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

وحید رضا امیراسماعیلی

مربی گروه عمران، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

ابوالفضل داوری

مربی گروه بیابان‌زدایی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶ تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

چکیده

پدیده خشکسالی باعث کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی و خاکی، تغییر کیفیت منابع آب و خاک و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود، از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر آن ارزیابی خشکسالی و دوره‌های آن ضروری می‌باشد. در این تحقیق داده‌های بارندگی ایستگاه سینوپتیک شهرستان سراوان در سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ مورد استفاده قرار گرفته است و وقوع خشکسالی با استفاده از نمایه‌هایی همانند شاخص بارش استاندارد، شاخص درصد نرمال، شاخص دهک‌ها، شاخص CZI چینی، شاخص MCZI چینی اصلاح شده و شاخص عدد Z تعیین شد. در تحقیق حاضر همبستگی خطی بالایی بین سه شاخص SPI، ZSI و CZI به صورت دو به دو مشاهده شده، ولی همبستگی بین شاخص MCZI با سه شاخص ذکر شده در مقیاس‌های زمانی ۲۴ ماهه و ۴۸ ماهه پایین است. همبستگی بالا و انطباق منحنی‌های مربوط به سه شاخص SPI، ZSI و CZI حاکی از آن است که این سه شاخص نتیجه مشابهی دارند، ولی MCZI این گونه نیست. لذا، در مطالعات حتما باید شاخص MCZI را به طور مجزا در نظر گرفت. با روندیابی خشکسالی با شاخص‌های مختلف، وقوع این پدیده در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به نظر محتمل می‌باشد، لذا راهکارهای مختلف مدیریت این بحران همانند الگوی کشت سازگار با اقلیم و منابع آب سراوان و کشت گیاهان مقاوم در برابر خشکسالی و بازسازی قنات‌های سراوان و سایر راهکارها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: شاخص‌های خشکسالی، مدیریت خشکسالی، سراوان.

مقدمه

در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد در سراسر جهان منجر به آن شده است که تحقیقات زیادی در این زمینه انجام پذیرد. خشکسالی نه تنها در کشورهای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بلکه در سطح کشورهای مرطوب اتحادیه اروپا به عنوان یک مسئله مهم شناخته شده است (Kampragou et al., 2011). خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که امکان پیشگیری رخداد آن وجود ندارد. مهمترین تفاوت خشکسالی با دیگر بلاهای طبیعی این است که به آرامی شروع می‌شود و بعد از آن، علاوه بر منطقه‌ای که در آن رخ داده است، مناطق مجاور را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات نامطلوب این پدیده در همه بخش‌ها مانند منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و اجتماع به تدریج خود را نمایان می‌سازد (قربانی اقدم و همکاران، ۱۳۹۱).

خشکسالی بطور کلی به سه دسته‌ی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی تقسیم می‌شود. پدیده خشکسالی باعث کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی و خاکی، تغییر کیفیت منابع آب و خاک و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر آن ارزیابی خشکسالی و دوره‌های آن ضروری می‌باشد.

خشکسالی در اثر کمبود طبیعی رژیم بارشی در منطقه‌ی تحت تأثیر ایجاد می‌گردد که معمولاً یک فصل یا بیشتر تداوم دارد (Wilhite & Glantz, 1985). ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیک، آب و هوای متفاوتی دارد. میزان بارندگی متوسط سالانه‌ی آن کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کره‌ی زمین است. به همین دلیل قسمت اعظم ایران در قلمرو آب و هوای خشک جهان قرار می‌گیرد (Saeedinia et al, 2011). علاوه بر کم بودن میزان بارندگی، نوسانات شدید آن در مقیاس‌های روزانه‌ی فصلی و سالانه از جمله خصوصیات است که موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه‌ی جریان‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. در بیشتر مناطق دنیا، ۷۰ درصد منابع آب زیرزمینی به سرعت جهت مصارف عمومی و کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که میزان تغذیه‌ی آبخوان جوابگوی برداشت نبوده و باعث شده واکنش آب‌های زیرزمینی به خشکسالی‌ها بیش از حد مهم باشد (Callow et al., 1999; Scheidleder et al, 1999).

خشکسالی هواشناسی

علت اولیه‌ی خشکسالی، کمبود بارش در یک منطقه بزرگ و برای یک دوره زمان طولانی می‌باشد. چنین خشکسالی، خشکسالی هواشناسی نامیده می‌شود. خشکسالی هواشناسی (یا آب و هواشناسی) که شایع‌ترین نوع خشکسالی‌ها را تشکیل می‌دهد، منحصراً بر اساس درجه خشکی (اغلب در مقایسه با مقادیر نرمال یا میانگین) و مدت زمان دوره خشکی بیان می‌شود و به حالتی از خشکی اطلاق می‌گردد که در آن کمبود بارش را به دنبال دارد. بنابراین شدت و مدت زمان، از خصوصیات کلیدی این تعاریف به شمار می‌آیند. در تعریف خشکسالی هواشناسی باید ویژگی‌های یک منطقه را بیان کرد چرا که شرایط جوی که در نتیجه تغییرات بارندگی ایجاد می‌شود به رژیم آب و هوایی منطقه بستگی دارد.

شاخص‌های خشکسالی

به منظور بررسی خشکسالی از یکسری شاخص‌ها برای تعیین وضعیت این پدیده در منطقه استفاده می‌شود. این شاخص‌ها ترکیبی از پارامترهای متعددی هستند که بر ویژگی‌های مهم خشکسالی شامل فراوانی، دوره تداوم، شدت و گستره تأثیر می‌گذارند. هر یک از این شاخص‌ها فقط برای کاربردهای خاصی معتبر است که علت آن متغیر بودن شرایط هواشناختی مؤثر بر ایجاد پدیده‌ی خشکسالی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر است (جوانمرد، ۱۳۸۰). ولی برای مناطقی که دارای شرایط اقلیمی یکسانی هستند، می‌توان از شاخص‌های خشکسالی یکسانی استفاده نمود. به طور کلی، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی خشکسالی به کار برده می‌شوند، که از آن جمله می‌توان به شاخص‌های زیر اشاره نمود:

۱- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت فعلی خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد تعریف کردند (Mackee, 1993). تغییر پذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاس‌های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (Edwards, 1997).

تام (۱۹۶۶) دریافت که توزیع گاما برای سری‌های زمانی بارش‌های کلیماتولوژی بهترین برازش را داشته است به همین جهت مک کی و همکاران شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار دادند. تام (۱۹۶۶) از جدول تابع گامای ناقص برای تعیین احتمالات تجمعی $G(X)$ استفاده نمود. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، $H(x)$ ، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس ۱ صورت می‌گیرد. مک کی و همکاران یک روش آنالیزی را به همراه کد نرم‌افزاری برای برآورد احتمال تجمعی به کار بردند سپس احتمال تجمعی $H(X)$ به متغیر تصادفی استاندارد نرمال Z با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شود که این متغیر هم همان مقادیر SPI می‌باشد که یک تبدیل با احتمال یکسان است (Mckee et al., 1993). این شاخص هرچه منفی‌تر باشد نشان دهنده‌ی خشکسالی اقلیمی با شدت بیشتری است (حیدری و افشانی، ۱۳۹۳).

۲- شاخص دهک‌های بارندگی (DPI)

این شاخص برای اولین بار توسط گیس و ماهر در سال ۱۹۶۷ به منظور برطرف کردن نقاط ضعف روش درصد نرمال بارندگی و بررسی خشکسالی‌های تاریخی در استرالیا استفاده شد (Gibbs & Maher, 1967). در این روش، وقایع ثبت شده درازمدت را به صورت یک دهم، یک دهم تقسیم‌بندی می‌کنند که هر یک دهک یا Deciles نامیده می‌شود. دهک اول، اندازه بارشی است که از ۱۰ درصد کوچکترین رویدادهای بارش تجاوز نمی‌کند. دومین دهک، اندازه بارشی است که از ۲۰ درصد کوچکترین‌ها تجاوز نکند و دهک‌ها به همین صورت ادامه می‌یابند. دهک پنجم، میانه می‌باشد یعنی مقدار بارشی که از ۵۰ درصد داده‌های بارندگی تجاوز نکند و در حد نرمال است.

¹ Standardized Precipitation Index

² Deciles of precipitation Index

۳- شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)

درصد از نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین سنجنده‌های خشکسالی در یک مکان است. تجزیه و تحلیل‌های درصد نرمال بارندگی به هنگام استفاده از آن‌ها برای بررسی خشکسالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین بسیار مؤثر است (Willeke et al., 1994). این شاخص از تقسیم بارندگی واقعی بر بارندگی نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ بدست می‌آید.

$$\% NP = \frac{P_i}{P} \times 100$$

Error! No text of specified

(۱-style in document.

این شاخص در صورتی کاربرد دارد که میانگین بارندگی بر میانه منطبق بوده یا توزیع بارندگی نرمال باشد (بذرافشان، ۱۳۸۱). استفاده از این شاخص ساده بوده و قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی جهت سایر محاسبات دارد و نیز نتایج حاصل از این شاخص، انحراف نسبت به میانگین را به خوبی و به سادگی نشان می‌دهند که این‌ها از مزایای شاخص PNPI هستند.

۴- شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI۲)

شاخص ناهنجاری بارندگی توسط ون روی در سال ۱۹۶۵ ارائه شد که اساس آن انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می‌باشد (Van Rooy, 1965).

و فرمول این شاخص بدین صورت است:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \bar{P}}{\bar{E} - P}$$

Error! No text of specified

(۲-style in document.

P : بارندگی واقعی؛

\bar{P} : بارش میانگین؛

\bar{E} : میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی بدست آمده از شاخص ناهنجاری بارش.

برای ناهنجاری مثبت، پیشوند مثبت است و \bar{E} متوسط ۱۰ مورد بیشترین مقادیر بارش می‌باشد. برای ناهنجاری منفی پیشوند منفی بوده و ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارش محاسبه نشده است و نهایتاً با مقیاس‌گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی ۹ طبقه‌بندی ناهنجاری با گستره‌ای از شرایط تر بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود (Heddinghaus & Sabol, 1991).

از جمله کارهایی که در زمینه خشکسالی هواشناسی انجام شده بدین شرح است، مک کی و همکاران (۱۹۹۵) با مقایسه ضرایب همبستگی بین دو نمایه بارش استاندارد و پالمر در مقیاس‌های زمانی متعدد به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به دوازده ماهه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۰/۹۰ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است.

¹ Percent of Normal Precipitation Index

² Reclamation Drought Index

وو و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه به ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، Z، چینی (CZI) و نمره Z (Z-Score) در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند. این محققان نتیجه گرفتند که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته ولی محاسبات مربوط به شاخص‌های CZI و عدد Z، آسان‌تر از شاخص SPI بوده است.

لوکاس و همکاران (۲۰۰۳) برای مطالعه‌ی خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در کشور یونان از سه شاخص عدد Z، ناهنجاری‌های بارش و بارش استاندارد استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که هر سه شاخص برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه روند یکسانی داشته و همچنین مطابقت خوبی با شاخص پالمر (PDSI) دارد.

امین و ملکی‌نژاد (۱۳۹۶) به منظور بررسی و مقایسه رخداد‌های خشکسالی و ترسالی از شاخص‌های SPI، PNPI، ZSI و نیچه برای استان‌های کرمانشاه، کردستان، کرمان و یزد استفاده کردند، که نتایج نشان داد تمام استان‌های مذکور در یک دهه‌ی اخیر دارای یک دوره خشکسالی شدید می‌باشند و از نظر تعداد رخداد‌های خشکسالی و ترسالی استان‌های یزد، کرمانشاه، کرمان و کردستان به ترتیب دارای بیشترین فراوانی بودند.

ملکی و مودت (۱۳۹۵) برای تعیین و پهنه‌بندی خشکسالی استان یزد، از نمایه‌های SIAP، PNPI و TOPSIS استفاده کردند و دریافتند که با مدل تاپسیس ایستگاه شهرستان یزد در فاکتور دما و رطوبت خشکترین ایستگاه و نمایه‌های نرمال و سالانه بارندگی، ایستگاه‌های میبد و خاتم در وضعیت نرمال و خشکسالی بسیار شدید نشان می‌دهند.

فریدپور (۱۳۹۲) در تحلیل و بررسی تأثیر خشکسالی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند در بررسی مقادیر SPI با توجه به مشخصات خشکسالی‌ها، نشان داد که خشکسالی هواشناسی از نظر مکانی دارای روند مشخصی نمی‌باشد در حالی که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به طور تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن در غرب آبخوان بیش از شرق آن بوده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک به این نتیجه رسیدند که طولانی‌ترین تداوم‌ها در خشکسالی‌های هواشناسی در نواحی شرقی و در آب‌های زیرزمینی در غرب حوزه اتفاق افتاده است و در ایجاد همبستگی بین بارش و افت سطح ایستابی، بهترین ضریب همبستگی، ۰/۱۲۶- است.

حمیدیان‌پور (۱۳۸۴) نیز دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب را تحلیل کرد. نتایج پژوهش او حاکی از آن است که خشکسالی باعث تشدید افت آب‌های زیرزمینی و سطحی شده است؛ اما به تنهایی عامل بحران آب و کاهش آب‌های زیرزمینی نیست؛ بلکه بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، تخریب پوشش گیاهی، توسعه‌ی بی‌رویه و بدون توجه به ظرفیت‌های اقلیمی منطقه و آمایش سرزمین از عوامل مهم افت آب‌های زیرزمینی نیز به شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش دشت سراوان می‌باشد. شهرستان سراوان در شرق بلوچستان و حدود ۲۳۸۸۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. این شهرستان از دو قسمت کوهستانی و دشت تشکیل شده است. ارتفاع سراوان از

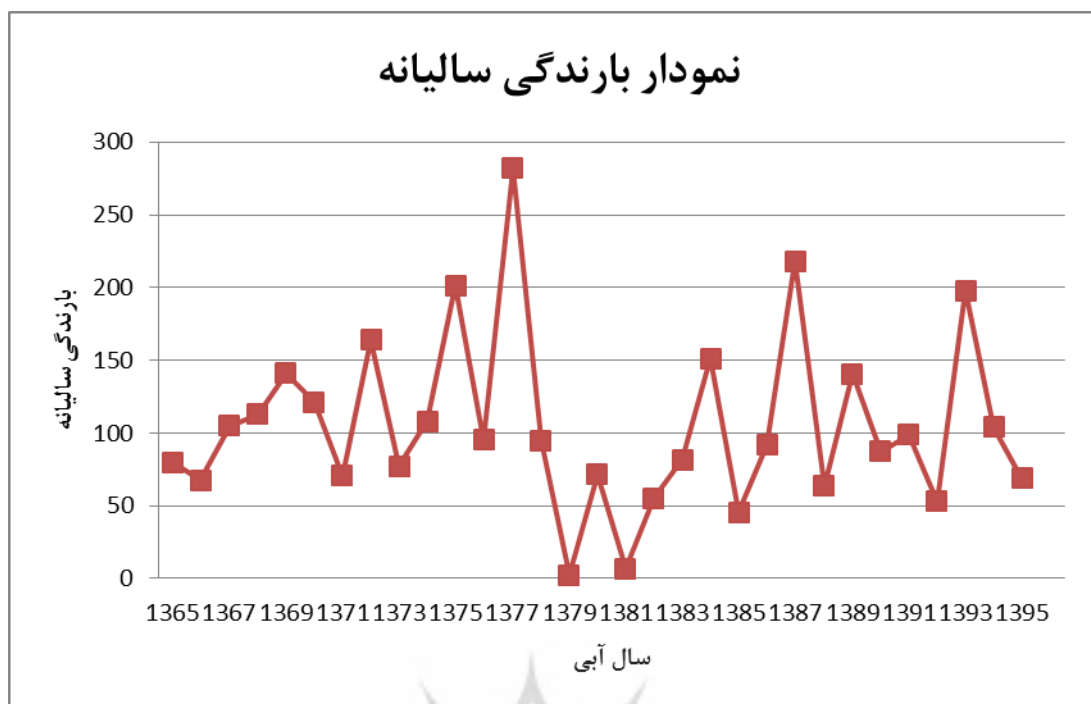
سطح دریا ۱۱۶۵ متر و دارای طول جغرافیایی ۶۲ درجه - ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه - ۲۰ دقیقه می‌باشد. فاصله‌ی زمینی سراوان تا مرکز استان ۳۳۷ کیلومتر و تا تهران ۱۸۹۲ کیلومتر است. آب و هوای شهرستان سراوان گرم و خشک بیابانی است. متوسط بارندگی در سال ۱۰۵/۲ میلی‌متر، متوسط سالیانه دمای هوا ۲۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط سالیانه رطوبت نسبی آن ۲۹ درصد می‌باشد. همچنین میانگین سالانه تبخیر ۳۸۹۴ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت سراوان [www.sbportal.ir/fa/cities/saravan]

جدول ۱. میانگین بارش سالانه و ماهانه شهرستان سراوان (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

سال	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
1365	0.4	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	3.1	37.0	28.5	80.1
1366	4.1	0.5	35.9	7.0	0.2	0.0	0.0	0.0	4.8	2.2	2.8	10.0	67.5
1367	48.2	3.0	8.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	33.7	10.0	1.0	104.8
1368	0.0	4.3	18.8	38.8	0.0	5.0	0.0	0.0	1.5	0.4	15.8	28.5	113.1
1369	18.9	0.0	0.0	12.8	3.2	8.2	0.0	0.0	20.7	24.9	52.5	0.0	141.2
1370	5.2	5.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	2.4	9.9	3.1	37.0	58.1	121.2
1371	0.2	2.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.3	18.3	0.6	2.3	44.5	0.7	70.7
1372	30.4	27.4	0.0	0.3	0.5	0.0	46.0	0.0	18.0	24.3	0.0	17.1	164.0
1373	9.9	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	58.1	5.8	77.4	77.4
1374	14.4	2.4	0.0	47.2	26.6	0.0	0.4	5.4	0.5	3.4	0.9	6.7	107.9
1375	6.5	1.1	3.0	10.9	11.7	2.4	0.4	0.0	60.6	26.4	27.9	50.7	201.6
1376	9.1	0.0	14.9	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.7	5.9	21.2	38.3	95.5
1377	7.0	43.7	39.3	0.0	0.0	0.0	3.3	55.8	42.2	5.6	39.0	46.3	282.2
1378	0.2	3.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	40.2	22.6	26.4	94.9
1379	0.4	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	2.4
1380	13.9	6.2	0.0	0.0	35.6	0.0	0.0	0.2	9.4	0.0	3.5	2.6	71.4
1381	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5	3.9	7.0
1382	8.6	0.3	10.0	0.6	0.0	7.4	3.4	9.9	0.0	6.8	7.7	0.4	55.1
1383	16.6	12.6	2.6	32.3	15.2	0.0	0.0	0.4	0.0	1.2	0.7	0.0	81.6
1384	0.0	0.0	1.8	7.7	0.0	0.0	TR	0.0	0.0	57.8	32.9	51.2	151.4
1385	0.0	2.5	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	11.7	45.6
1386	5.3	0.7	0.0	0.0	3.0	0.0	0.3	0.0	41.5	1.0	13.0	27.2	92.0
1387	2.7	1.0	29.9	91.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.2	2.5	0.0	218.2
1388	0.1	0.0	0.7	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	2.1	40.0	18.1	0.0	63.6
1389	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.4	3.4	44.9	22.0	140.7
1390	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	47.1	38.4	87.4
1391	1.2	22.6	0.6	3.1	13.8	0.0	23.5	0.0	0.0	2.6	31.3	0.0	98.7
1392	4.2	8.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.8	11.7	0.3	4.3	22.7	53.1
1393	35.1	3.0	0.0	0.1	59.2	0.0	0.0	0.8	42.2	24.6	12.6	20.5	198.1
1394	43.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	5.6	31.9	103.9
1395	1.1	0.2	1.0	0.6	0.0	0.0	14.2	0.0	4.0	2.7	41.3	69.1	69.1
	10.7	4.8	6.6	8.2	5.5	1.0	3.1	3.1	9.9	13.9	19.3	19.1	105.2



شکل ۲. نمودار بارندگی ایستگاه سراوان در سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

در این تحقیق داده‌های بارندگی ایستگاه سینوپتیک شهرستان سراوان مورد استفاده قرار گرفته است. پس از مرتب کردن داده‌ها در نرم‌افزار اکسل، وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PNI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح شده، شاخص عدد Z تعیین شد. برای محاسبه تمام شاخص‌ها از نرم‌افزار DIP استفاده شده است.

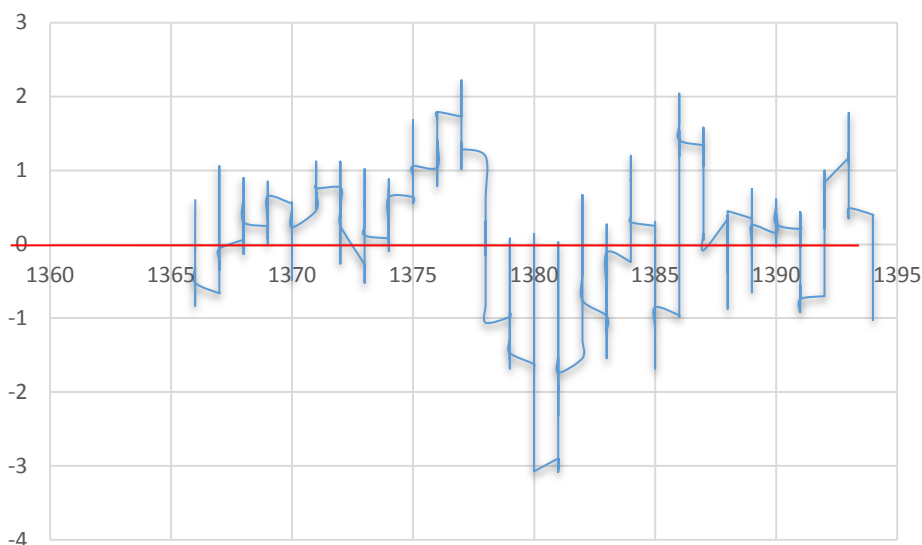
۱- شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و یک ساله محاسبه می‌شود. محاسبه مقدار این شاخص شامل برازش چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است.

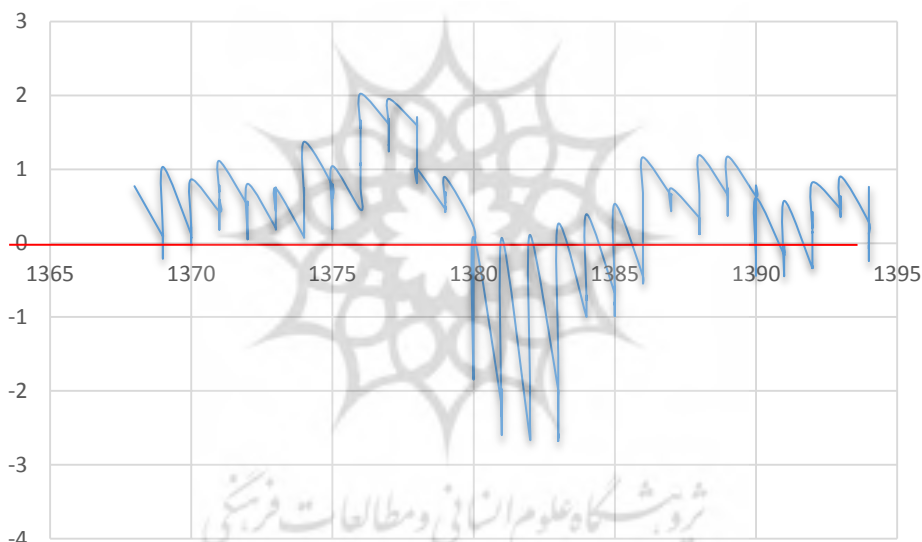
جدول ۲. درجه بندی شدت خشکسالی بارش استاندارد (Mackee, 1993)

حدود SPI	توصیف واقعه
بزرگتر از ۲	فرامرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	کمی مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال (مرطوب)
۰ تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال (خشک)
-۱ تا -۱/۴۹	کمی خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
کوچکتر از -۲	فروخشک

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۳. نمودار شاخص SPI با مقیاس ۲۴ ماهه



شکل ۴. نمودار شاخص SPI با مقیاس ۴۸ ماهه

مطابق شاخص SPI با مقیاس ۲۴ ماهه سراوان از سال ۷۸ تا ۸۳ و سال ۸۵-۸۶ و ۹۱-۹۲ دچار خشکسالی بوده است و بر طبق شاخص SPI با مقیاس ۴۸ ماهه از ۸۰ تا ۸۳ دچار خشکسالی بوده است.

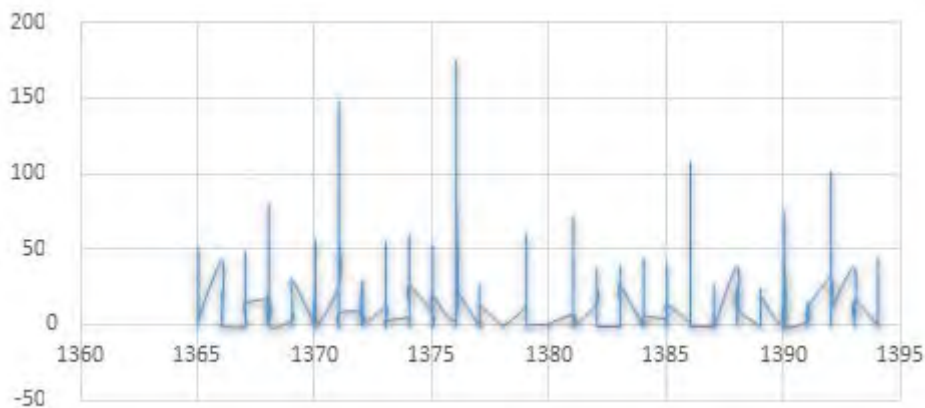
۲- شاخص درصد نرمال (PNI)

این شاخص از جمله ساده‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی خشکسالی است. از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال (میانگین درازمدت) بدست می‌آید و بر حسب درصد بیان می‌شود. این شاخص برای دوره‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه می‌شود.

جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص درصد نرمال (Willeke et al., 1994)

رتبه PNI	مقادیر PNI	کلاس
۱	۸۰-۷۰ درصد	خشکسالی جزئی
۲	۷۰-۵۵ درصد	خشکسالی متوسط
۳	۵۵-۴۰ درصد	خشکسالی شدید
۴	کمتر از ۴۰ درصد	خشکسالی بسیار شدید

مطابق نمودار ۵ بر اساس شاخص شاخص درصد نرمال، سراوان در اغلب سالها دچار خشکسالی شدید و حتی بسیار شدید می‌باشد.



شکل ۵. نمودار شاخص درصد نرمال

۳- شاخص دهک‌ها (DI)

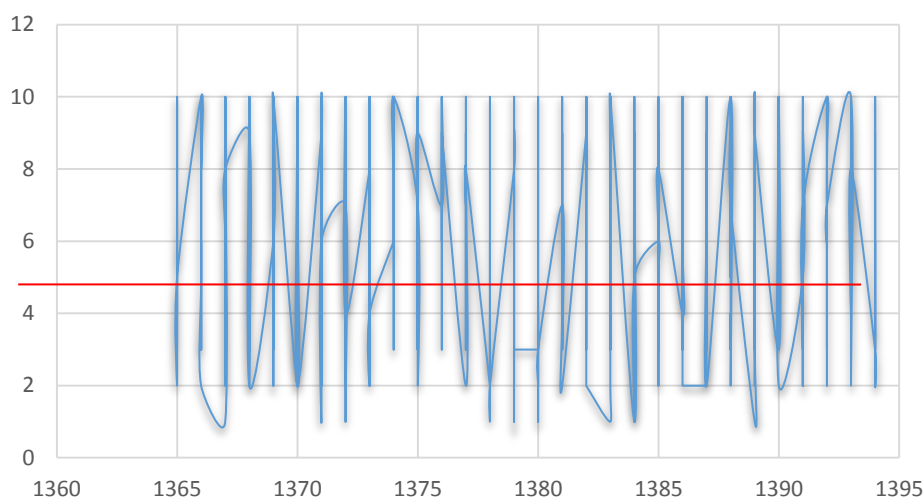
این شاخص با مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه دهک‌ها (ده درصد رویدادها) است. در این روش توزیع رویدادهای ثبت شده درازمدت را در دسته‌های یک دهم از توزیع، تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این قسمت‌ها یک دهک نامیده می‌شود. این شاخص همانند شاخص درصد نرمال، برای دوره‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه می‌شود. طبقه‌بندی دهک‌ها به صورت زیر است.

جدول ۴. طبقه‌بندی دهک‌ها (Gibbs & Maher, 1967)

رتبه DI	دهک‌ها	کلاس
۱	کمتر از ۱۰٪	خیلی زیاد کمتر از نرمال
۲	۱۰ تا ۲۰ درصد	خیلی کمتر از نرمال
۳	۲۰ تا ۳۰ درصد	کمتر از نرمال
۴	۳۰ تا ۴۰ درصد	اندکی کمتر از نرمال
۵	۴۰ تا ۵۰ درصد	نرمال
۶	۵۰ تا ۶۰ درصد	نرمال
۷	۶۰ تا ۷۰ درصد	اندکی بالاتر از نرمال
۸	۷۰ تا ۸۰ درصد	بالاتر از نرمال
۹	۸۰ تا ۹۰ درصد	خیلی بالاتر از نرمال
۱۰	۹۰ تا ۱۰۰ درصد	خیلی زیاد بالاتر از نرمال

منبع: یافته‌های پژوهش

بر طبق جدول ۴، عدد ۴۵ درصد را مرز خشکسالی قرار می‌دهیم، بنابراین سالهایی که زیر خط قرمز نمودار قرار دارند دچار خشکسالی بوده‌اند.



شکل ۶. نمودار شاخص دهک‌ها

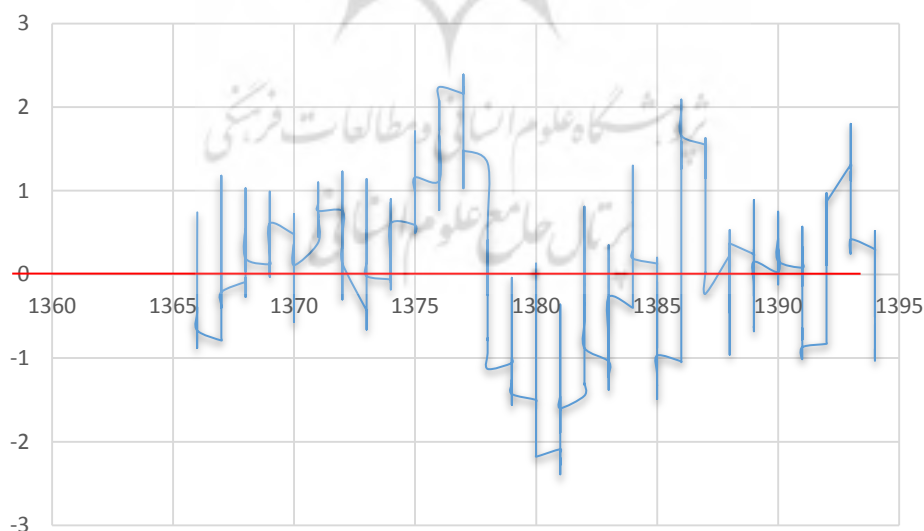
۴- شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)، شاخص عدد Z (ZSI)

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون هیلفرتی، شکل گرفته است. با این فرض که داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می‌کنند.

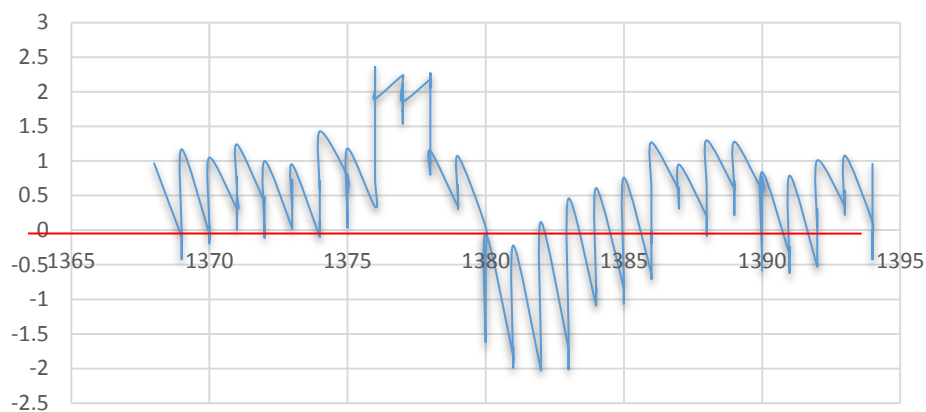
جدول ۵. طبقه‌بندی شاخص عدد Z (ZSI)

وضعیت	شاخص عدد Z (ZSI)
خشکسالی ضعیف	+0.25 تا -0.25
خشکسالی متوسط	-0.25 تا -0.52
خشکسالی شدید	-0.52 تا -0.84
خشکسالی بسیار شدید	-0.84 تا -1.28

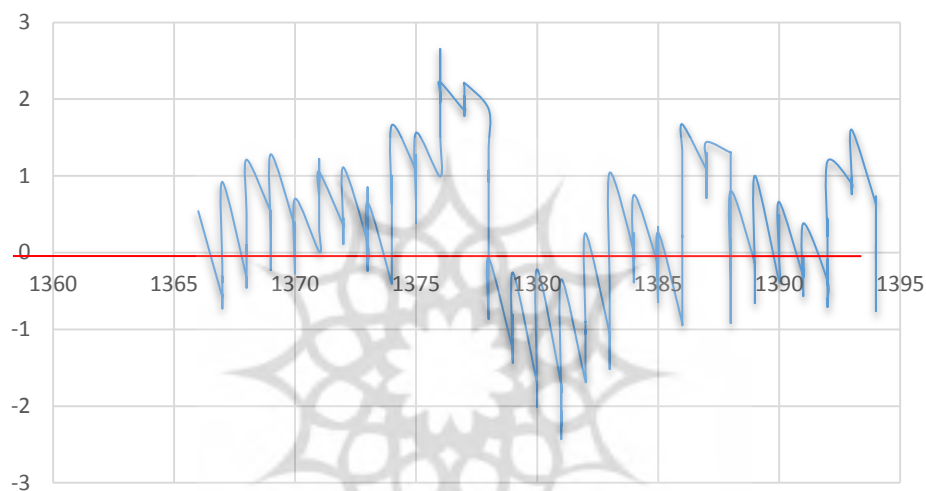
منبع: یافته‌های پژوهش



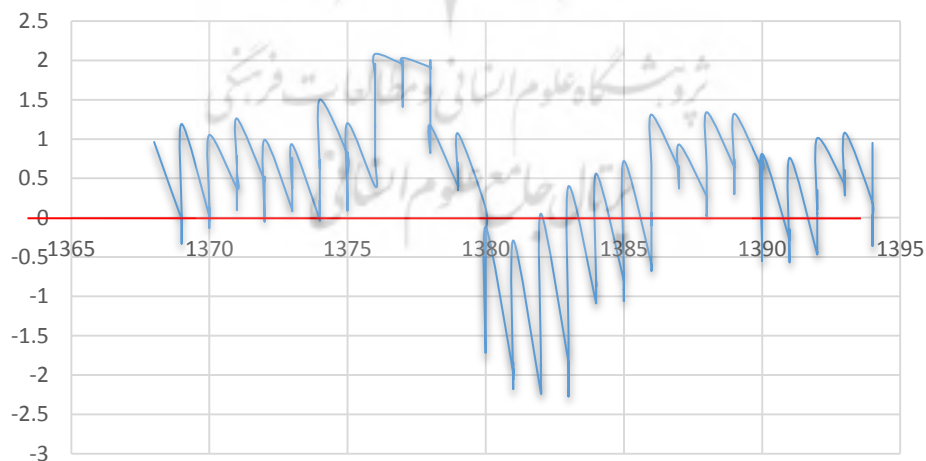
شکل ۷. نمودار شاخص CZI با مقیاس ۱۸ ماهه



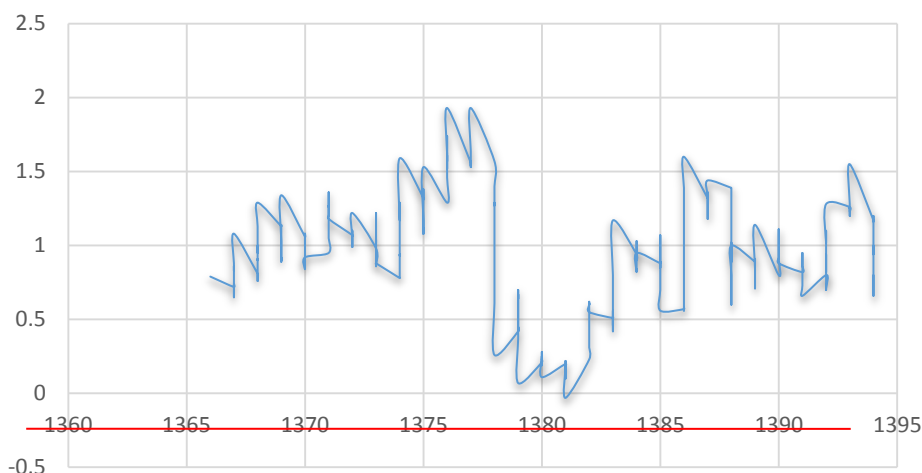
شکل ۸. نمودار شاخص CZI با مقیاس ۴۸ ماهه



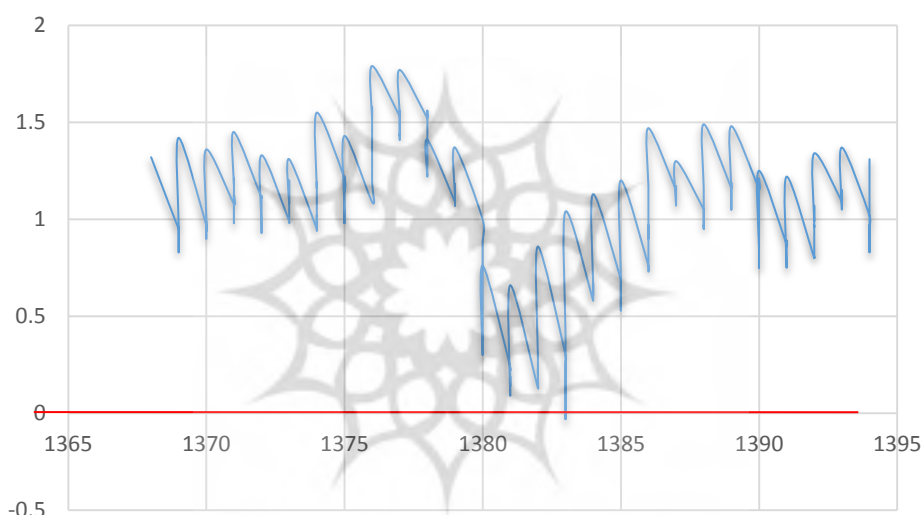
شکل ۸. نمودار شاخص ZSI با مقیاس ۲۴ ماهه



شکل ۹. نمودار شاخص ZSI با مقیاس ۴۸ ماهه



شکل ۱۰. نمودار شاخص MCZI با مقیاس ۲۴ ماهه



شکل ۱۱. نمودار شاخص MCZI با مقیاس ۴۸ ماهه

مطابق شاخص ZSI شدیدترین خشکسالی در بازه سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ اتفاق افتاده است که در دسته بندی خشکسالی بسیار شدید قرار می‌گیرد.

راهکارهای مدیریت خشکسالی

افزایش روزافزون جمعیت باعث شده است که نیازهای آبی در بخش‌های آب شرب، صنعت و کشاورزی افزایش یابد. به همین دلیل، بهره‌بردای بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و مقبولیت بیشتری یافته است. استفاده مجزا از منابع می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی همچون کمبود آب در مواقع خشکسالی به دلیل نبودن منابع آب سطحی، ناپایداری در تولید محصول و محیط زیست، افت تراز سطح ایستایی و اختلاط آب شور و شیرین در نواحی ساحلی و افزایش هزینه پمپاژ در نتیجه برداشت بی‌رویه شود. استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش ذخیره منابع آبی موجود، حداقل نمودن اثرات منفی استفاده مجزا از منابع و مدیریت مؤثر و بهینه آب شود. با توجه به برنامه‌ریزی تلفیقی، در دوره‌های ترسالی که در آن نزولات جوی زیاد

ست از منابع سطحی برای تأمین نیازهای منطقه و ایجاد تعادل در منابع آبی موجود استفاده می‌شود و بخش مازاد آن برای تغذیه آبخوان و افزایش ذخیره منابع زیرزمینی استفاده می‌شود.

از آنجایی که پیش‌بینی خشکسالی با درجه اطمینان معقول دشوار است، جنبه‌های مدیریت خشکسالی نیز بسیار پیچیده است و باید با تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی سازگار باشد، لذا اجباری است که به طور موثر در شناسایی ویژگی‌های خشکسالی برای توسعه برنامه‌های مدیریت خشکسالی اقداماتی انجام گیرد (Thomas et al., 2016).

برای مبارزه با پدیده خشکسالی، باید با استفاده از مدیریت مصرف آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت آب کمتری مصرف شود به صورتی که کارایی و بهره‌وری آن افزایش یابد و در بخش‌های مختلف راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- مطالعه و ارزیابی گیاهان زینتی موجود در فضای سبز شهری و معرفی الگوهای مناسب گیاهی برای فضای سبز سراوان جهت بهینه سازی مصرف آب شهری
- الگوی کشت سازگار با اقلیم و منابع آب سراوان و کشت گیاهان مقاوم در برابر خشکسالی و شوری
- استفاده از آب با کیفیت پائین و پساب‌های تصفیه‌شده برای آبیاری
- طراحی و ساخت سامانه الکترونیکی اندازه‌گیری زمان پیشروی و پسروی آب در مزارع کشاورزی
- بازیافت مجدد زه آبهای کشاورزی به منظور پرورش آبزیان و گیاهان با تکیه بر مدیریت تلفیقی زه آبها
- تدوین الگوی مدیریتی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری نوین در خصوص اولویت بندی بازسازی قنات‌های سراوان
- توسعه فناوری‌های نوین نمک‌زدایی از آب با حداقل پساب و انرژی
- توسعه فناوری شناسایی منابع آب ژرفی و چشمه‌های آب
- توسعه فناوری احداث مکانیزه سدهای زیرزمینی و آبشارهای زنجیره‌ای تامین آب
- طراحی و ساخت کنتور حجمی التراسونیک قابل نصب بر روی چاههای کشاورزی

نتیجه گیری

برای بررسی کمی و محاسبه شاخص‌های خشکسالی از نرم‌افزار DIP استفاده شد. با بررسی آمار هواشناسی ماهانه، شاخص‌های دهک‌ها و درصد نرمال محاسبه شدند که دو منحنی تقریباً روند یکسانی داشته و اختلاف کمی با یکدیگر دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو شاخص برای تعیین دوره‌های خشک و تر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

همبستگی خطی بالایی بین سه شاخص SPI، ZSI و CZI به صورت دو به دو مشاهده شده، ولی همبستگی بین شاخص MCZI با سه شاخص ذکر شده در مقیاس‌های زمانی ۲۴ ماهه و ۴۸ ماهه پایین است. همبستگی بالا و انطباق منحنی‌های مربوط به سه شاخص SPI، ZSI و CZI حاکی از آن است که این سه شاخص نتیجه مشابهی

دارند، ولی MCZI این گونه نیست. لذا، در مطالعات حتما باید شاخص MCZI را به طور مجزا در نظر گرفت. به طور کلی در شاخص‌های DI, SPI, ZSI, CZI و MCZI تعداد وقایع مثلا خشکسالی بسیار شدید و سایر وقایع، مشخص است و توزیع زمانی آن‌ها بررسی می‌شود.

با روندیابی شاخص‌های محاسبه شده بالا، طبق نمودار شاخص SPI ۲۴ ماهه به عنوان مثال در بازه ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۹ ترسالی (کمی مرطوب) و در بازه ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ خشکسالی (کمی خشک) داشته‌ایم، همچنین نمودار شاخص SPI ۴۸ ماهه تقریباً این بازه‌ها تکرار شده‌اند و تغییر ملموسی مشاهده نمی‌شود. بر اساس روند نمودار در سالیان گذشته، خشکسالی شدید از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۴ محتمل می‌باشد.

در مورد شاخص DI بازه ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۷ را ترسالی و بازه ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ را خشکسالی کمتر از نرمال نشان می‌دهد، بر طبق الگوی این شاخص هم احتمال شروع خشکسالی از ۱۳۹۶ بسیار زیاد است. همچنین شاخص‌های CZI ۱۸ ماهه و ۴۸ ماهه و ZSI ۴۸ ماهه و MCZI ۲۴ و ۴۸ ماهه بازه‌های بالا را تایید میکنند و در این موارد بازه ۵ ساله برای شروع خشکسالی در سراوان از ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به نظر قطعی می‌باشد.

برای مبارزه با پدیده خشکسالی، باید با استفاده از مدیریت مصرف آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت آب کمتری مصرف شود، به صورتی که کارایی و بهره‌وری آن افزایش یابد و در بخش‌های مختلف راهکارهایی ارائه شد. که در بخش کشاورزی تمرکز اصلی بر روی الگوی کشت سازگار با اقلیم و منابع آب سراوان و کشت گیاهان مقاوم در برابر خشکسالی و شوری و احیای قنات‌ها به جای استفاده از آب‌های زیرزمینی پیشنهاد میشود. همچنین استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی از راهکارهای گذر از این بحران در سالهای آتی خواهد بود.

منابع

- امین، پیمان. ملکی‌نژاد، حسین (۱۳۹۶)، بررسی و مقایسه دوره‌های خشکسالی با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش در برخی مناطق مرکزی و غرب کشور، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۸، شماره ۱۶، ص ۲۷۱-۲۸۱
- بذرافشان، ج، ۱۳۸۱، مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- جوانمرد، سهیلا، (۱۳۸۰)، بررسی شاخص‌های خشکسالی و استاندارد نمودن آن برای مناطق مختلف کشور، گزارش نهایی طرحی ملی توتک، سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم‌شناسی.
- حمیدیان‌پور، محسن، ۱۳۸۴، تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- فریدپور، مجتبی، (۱۳۹۲)، تحلیل و بررسی تأثیر خشکسالی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه تبریز.
- قربانی اقدم، مرضیه. دین پژوه، یعقوب. فاخری، احمد. دربندی، صابره (۱۳۹۱)، پهنه بندی حوضه دریاچه ارومیه از نظر خشکسالی با روش تجزیه به عاملها، نشریه آب و خاک، جلد ۲۶ شماره ۵، ص ۱۲۶۸-۱۲۷۳.
- محمدی، محسن، مرادی، حمیدرضا، وفاخواه، مهدی، ۱۳۹۱، توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک، فصلنامه‌ی جغرافیایی طبیعی، سال ۵، شماره ۱۵، ص ۸۴-۷۷.
- ملکی، سعید؛ مودت، الیاس (۱۳۹۵). پهنه بندی بحران خشکسالی با نمایه‌های SIAP, PNPI و TOPSIS (مطالعه موردی استان یزد). فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱(۱)۶، ص ۵۹-۷۰.

- Bhalme, H. N., & Mooley, D. A. (1980). Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108(8), 1197-1211.
- Callow R., Robins, N., McDonald, A., Nicol, A., 1999. Planning for groundwater drought in Africa. In: *Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lesson for SubSaharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology*, 35: 255-270.
- Edwards, D. C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales (No. AFIT-97-051). AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH. Storming Media. Pp. 123-125.
- Gibbs, W. J. and J.V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bulletin No.48, Bureau of Meteorology, Melbourne. 34-41..
- Heddinghaus, T. R., & Sabol, P. (1991, September). A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here. In *Proc. 7th Conf. on Applied Climatology* (pp. 242-246).
- Kampragou, E., Apostolaki, S., Manoli, E., Froebrich, J., & Assimacopoulos, D. (2011). Towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. *Environmental science & policy*, 14(7), 815-824.
- Loukas,A.,L.Vasiliades and N.R. Dalezios. 2003. INTERCOMPARISON OF METEOROLOGICAL DROUGHT INDICES FOR DROUGHT ASSESSMENT AND MONITORING IN GREECE. 8th International Conference on Environmental Science and Technology Lemnos island, Greece, 8 – 10 September 2003, 484-491.
- Mackee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. (1993). Drought monitoring with multiple timescales Preprints. PP. 179-184. In: 8th conference on Applied Climatology.
- Saeedinia, M., Samadi, B. H., Maleki, A., & Izadi, A. (2011). Evaluation of Drought Effect on the Ground Water Resource and Agricultural Development in the Beheshtabad Basin Using WEAP Model. *Journal of Water and Soil Conservation (Agricultural Science and Natural Resource)*, Volume 18, Number 3; Page(s) 17 To 35.
- Scheidleder, A., Grath, J., Winkler, G., Stärk, U., Koreimann, C., Gmeiner, C.,... & Elvira, M. (1999). Pressures on Groundwater Quality. *Groundwater quality and quantity in Europe*, 18-38.
- Thom H.C.S., 1966. Some method of climatological analysis, WMO technical note, no :81,81,16-22.
- Thomas, T., Jaiswal, R. K., Galkate, R. V., Nayak, T. R. (2016). Reconnaissance drought index based evaluation of meteorological drought characteristics in Bundelkhand. *Procedia Technology* 24 (2016) 23 – 30.
- Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14(43), 6.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- Willeke, G., Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., and Guttman, N.B. 1994. *The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report 94, NDS. 4, U.S., Army Corp of Engineers*, 587p.
- Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss and Q. Hu. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*,21:745-758.
- <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>
www.sbportal.ir/fa/cities/saravan