

صص ۹۵-۱۱۴

تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت مهران استان ایلام

علی عباسی نیا

دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جعفر مرشدی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

منیژه ظهوریان

استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جبرائیل قربانیان

استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۶

چکیده

خشک‌سالی‌ها از مخرب‌ترین رویدادهای آب و هوایی هستند که باعث آسیب‌های قابل توجهی هم در بخش منابع طبیعی و هم در زندگی انسان‌ها می‌شوند. هدف از این پژوهش تحلیل و مقایسه خشک‌سالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی دشت مهران با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص آب زیرزمینی (GRI) است. جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی از اطلاعات بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک مهران استفاده شد و به‌منظور بررسی خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی دشت مهران، تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت مهران بر اساس داده‌های سطح آب تعداد ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به‌منظور پایش خشک‌سالی هواشناسی از شاخص SPI و پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی دشت مهران از شاخص GRI استفاده گردید. دوره آماری مورد نیاز جهت تحلیل خشک‌سالی یک دوره آماری ۲۵ ساله از سال آبی ۷۴-۷۵ تا ۹۷-۹۶ انتخاب شد. بعد از تعیین دوره‌های رطوبتی شاخص‌ها، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه آب‌های زیرزمینی گردید که جهت تهیه این نقشه‌ها از بین مدل‌های مختلف، مدل کریجینگ انتخاب گردید. در نهایت با اعمال مدل نیم تغییر نمای بهینه در کریجینگ و ورود داده‌های آب‌های زیرزمینی به‌صورت لایه نقطه‌ای، نقشه‌های رستری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. نتایج بررسی شاخص SPI نشان می‌دهد که طی دوره‌ای آمار مدنظر ۴ دوره خشک‌سالی شدید اتفاق افتاده که شدیدترین آن سال آبی ۹۰-۹۱ بوده که مقدار شاخص SPI آن ۱/۷۳- می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده از شاخص GRI در منطقه نشان می‌دهد که یک دوره خشک‌سالی ۱۱ ساله آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده یعنی از سال آبی ۸۷-۸۸ شروع شده و تا سال آبی ۹۸-۹۷ ادامه داشته است که شدیدترین آن سال ۹۰-۹۱ با مقدار شاخص ۱/۱۱- است.

واژگان کلیدی: بارش، خشک‌سالی، آب‌های سطحی و زیرزمینی، دشت مهران، SPI، GRI.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از شاخص‌های غیرقابل دسترس نهایی چرخه هیدرولوژیکی است. خشک‌سالی و بارش سنگین باران یکی از مهم‌ترین رویدادهای است که آثار کوتاه مدت و بلندمدت بر منابع آب‌های زیرزمینی در دسترس دارد (Panda et al. 2008). خشک‌سالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. گرچه بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند. این پدیده تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد، گرچه مشخصات آن از یک منطقه به منطقه دیگر کاملاً تفاوت می‌کند. خشک‌سالی یک اختلال موقتی است و با خشکی تفاوت دارد چرا که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالتی دائمی از اقلیم است.

یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف توسط پالمر (۱۹۶۵) ارائه شده است. به نظر وی خشک‌سالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. واژه مستمر حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود، به عبارت دیگر دوره‌ای که در آن مقدار رطوبت و یا هر شاخص دیگری نسبت به شرایط میانگین منطقه از ناهنجاری منفی برخوردار گردد، به‌عنوان خشک‌سالی تلقی می‌شود (Palmer, 1965). خشک‌سالی مخاطره‌آمیزترین پدیده طبیعی است. اگر چه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با انجام اقداماتی اثرات منفی آن را کم نمود. یکی از سیستم‌هایی که به‌شدت تحت تأثیر خشک‌سالی واقع شده و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، آب‌های زیرزمینی است.

دانشمندان علم آب و هواشناسی، شاخص‌های متعددی به‌منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌ها ارائه داده‌اند. شاخص خشک‌سالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی؛ ساده و روشنی از ویژگی‌های اصلی آن یعنی تداوم، شدت و سطح درگیر با خشک‌سالی ارائه دهد. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) از جمله شاخص‌هایی است که می‌تواند چنین ویژگی‌های را توجیه می‌کند و چون نیاز به اطلاعات و آمار کمتری داشته و جهت محاسبه روش ساده‌تری است. در مقایسه با شاخص‌هایی نظیر پالمر قابلیت ارزیابی و پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) این شاخص موقعیت نسبتاً مناسبی دارا می‌باشد. علاوه بر آن در بازه‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. در این مطالعه برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی‌های کوتاه مدت، از SPI سه ماهه و برای پایش دوره‌های میان مدت از SPI دوازده ماهه و برای خشک‌سالی‌های درازمدت از SPI چهار و هشت‌ماهه استفاده شده است. به‌منظور محاسبه شاخص استاندارد شده بارش در بازه‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با توجه به حجیم بودن محاسبات و طولانی بودن انتقال تابع توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال از برنامه کامپیوتری SPI استفاده گردید.

وجه اشتراک همه خشک‌سالی‌ها، وجود انحراف از حالت نرمال است. خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی در دوره‌هایی رخ می‌دهد که مقادیر بارندگی در آن دوره کمتر از متوسط بلندمدت باشد (Peters و همکاران، ۲۰۰۳). زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشک‌سالی واقع می‌شوند، ابتدا آبیگری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند، چنین خشک‌سالی را خشک‌سالی آب زیرزمینی می‌نامند (Van Lanen و همکاران، ۲۰۰۳). به‌منظور

مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب و کاهش اثرات منفی خشک‌سالی، می‌بایست داده‌های بلندمدت مناطقی که در معرض خطر خشک‌سالی هستند، پایش و ارزیابی شوند. تحلیل خشک‌سالی اغلب توصیفی است و برای تحلیل کمی آن وجود یک شاخص دقیق بسیار ضروری است (Silva, 2003). برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی، شاخص GRI^۱ یا شاخص منابع آب زیرزمینی توسط Mendicino و همکاران (2008) در کالابریای ایتالیا آزمایش شد. تاکنون این شاخص به‌عنوان جدیدترین و کاربردی‌ترین شاخص با ۴۰ سال داده شبیه‌سازی شده آزمایش شده است. برای پایش خشک‌سالی آب زیرزمینی در مناطق مدیترانه‌ای این شاخص بهتر از شاخص‌های دیگر است (Nico و همکاران، 2013). Abhishek و همکاران (2016) دو شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SDI و GRI را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ارزیابی خشک‌سالی در حوضه رودخانه کریشنا در یک دوره آماری ۳۶ ساله (2007-1972) مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد، همبستگی خوبی بین دو شاخص در مقیاس نه ماهه وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی به ۲۱ ماهه این ارتباط بیشتر می‌شود.

از مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در داخل کشور در این زمینه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: صیف و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص GRI را مورد بررسی قرار دادند نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مقدار این شاخص در سال‌های مورد بررسی روند کاهشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ شدیدترین خشک‌سالی آب زیرزمینی در این منطقه رخ داده است. همچنین شاخص SPI با شاخص GRI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی رابطه معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد دارد. طالبی و همکاران (۱۳۹۰) اثر خشک‌سالی بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و آبدی قنات در دشت بهاباد یزد را بررسی کردند، آن‌ها جهت بررسی چگونگی تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی، از شاخص‌های اقلیمی SPI و GRI استفاده کردند، نتایج کار آن‌ها نشان داد که سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ به‌عنوان خشک‌ترین سال و سال ۱۳۷۵-۱۳۷۴ را به‌عنوان مرطوب‌ترین سال در دوره آماری ۲۰ ساله بودند و دو شاخص در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بیشترین همبستگی را داشتند. ملکی نژاد و پور شرعیاتی (۱۳۹۰) روند خشک‌سالی در دشت مروست را با استفاده از شاخص GRI بررسی نمودند؛ آن‌ها برای این منظور از داده‌های سه چاه پیژومتری با کمترین، متوسط و بیشترین افت استفاده کردند، سپس با شاخص GRI روند خشک‌سالی طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸ را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد به‌طور متوسط از سال ۱۳۸۰ به بعد خشک‌سالی افزایش و مقادیر شاخص GRI کاهش یافته است. نجفی توربورآباد و جلیلی (۱۳۹۰) به بررسی روند خشک‌سالی دشت اردبیل بر اساس شاخص GRI با استفاده از GIS پرداختند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد با گذشت زمان بر میزان خشک‌سالی این دشت افزوده شده است. اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) در یک پژوهش دوره‌های متوالی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را با استفاده از دو شاخص SPI و GRI به‌منظور بررسی تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر آبدی برخی از قنات دشت اردکان یزد شناسایی کردند، آن‌ها از آمار بارندگی و ایستگاه‌های باران‌سنجی

¹ - Groundwater Resource Index

منطقه استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان‌دهنده شدت و تداوم خشک‌سالی، به‌ویژه هیدرولوژیک در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی متفاوتی بین خشک‌سالی اقلیمی و آبدهی قنات‌های دشت اردکان بود. بختیاری عنایت و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی تأخیر زمانی آثار خشک‌سالی اقلیمی (SPI) بر خشک‌سالی آب‌شناختی (GRI) دشت هشتگرد پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است در ارتباط زمانی بین SPI و GRI علاوه بر وابستگی به پایه زمانی شاخص خشک‌سالی و تأخیر زمانی بین این دو شاخص، به ارتباط درونی بین تأخیر و پایه زمانی نیز وابسته است. احمدی آخوومه و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش مقیاس‌های زمانی تداوم، شدت و فراوانی آن نیز افزایش یافته است. مقصود و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی و مدل ترکیبی ANN-ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در جنوب استان قزوین را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. در این پژوهش پس از محاسبه مقادیر GRI طی دوره آماری (۱۳۶۳-۱۳۹۰) و بررسی ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی (بارندگی، دبی، تبخیر و تعرق پتانسیل، دما (میانگین، ماکزیمم، مینیمم) و سیگنال‌های اقلیمی (SOI، MEI، AMM، AMO و PDO) با استفاده از آزمون گاما در سه ساختار ترکیب ورودی، اقدام به مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی شد. نتایج نشان داد که سیگنال اقلیمی SOI و پارامترهای دمایی دارای بیشترین همبستگی معنی‌دار با مقادیر GRI می‌باشند. استفاده از پارامترهای هواشناسی نیز سبب بهبود عملکرد شبکه عصبی گردید. عظیمی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشک‌سالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی بر پایه شاخص‌های GRI در محیط (GIS) در ۶۰۹ دشت ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که مناطق مرکزی و بخش‌هایی از استان خراسان‌های رضوی و شمالی و همچنین محدوده وسیعی از استان فارس و عموماً نواحی جنوب ایران، کلاس خشک‌سالی‌های شدید را تجربه کرده‌اند. مرتضایی فریزه‌ندی و میراکبری (۱۳۹۷) پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SDI و GRI در حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات استان یزد را مورد بررسی قرار دادند نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که SPEI در مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه با ۳ ماه تأخیر با شاخص GRI بیشترین همبستگی را دارد که حاکی از تأثیرگذاری خشک‌سالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال و بیشتر بر منابع آب زیرزمینی است. میراکبری و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص‌های SDI، SPEI، SPI و GRI را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش جهت بررسی تأثیر خشک‌سالی‌ها بر یکدیگر، همبستگی بین شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص SPEI در مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه با ۳ ماه تأخیر با شاخص GRI بیشترین همبستگی را دارد که حاکی از تأثیرگذاری خشک‌سالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال و بیشتر بر منابع آب زیرزمینی است. خسروی دهکردی و همکاران (۱۳۹۸) خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص GRI مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، از آمار ۳۲ چاه پیژومتری در دشت شهرکرد در دوره ۳۱ ساله (۱۳۶۴-۹۴) استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که

روش زنجیره مارکف در هر سه مرتبه از دقت خوبی در پیش‌بینی مقادیر شاخص GRI در یک، دو و سه ماه آینده برخوردار بوده است، لذا از آن می‌توان برای پیش‌بینی خشک‌سالی آب زیرزمینی دشت شهرکرد استفاده کرد. مصباح زاده و سلیمانی ساردو (۱۳۹۷) در پژوهشی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد رابطه زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است و این همبستگی در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است. محمدی و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات زمانی و اثر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI) را مورد بررسی قرار دادند که نتایج پژوهش نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی در سطح دشت به‌طور متوسط ۲۰ متر و بالآمدگی سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر کرمان به میزان ۱۴ متر در دوره آماری مطالعه بوده است. روشن و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و شاخص‌های خشک‌سالی GRI و SWI در دشت ساری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که هر دو شاخص خشک‌سالی در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند نزولی بوده و باگذشت زمان شدت خشک‌سالی بر اساس این دو شاخص افزایش پیدا کرده است. به‌طوری که شدیدترین خشک‌سالی هر دو شاخص در مقیاس سالانه مربوط به سال ۱۳۹۴ و بهترین ترسالی این دو شاخص مربوط به سال ۱۳۶۹ بوده که مهم‌ترین دلیل افزایش شدت خشک‌سالی در سال ۱۳۹۴ افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی جهت کشاورزی در دشت است. مرتضایی فریزهندی و همکاران (۱۳۹۹) شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی استان کردستان را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند در این پژوهش، فاصله زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی، در جهت تمهیدات لازم برای مقابله با خشک‌سالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی تعیین شد. به همین دلیل، وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی استان کردستان با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) و شاخص خشک‌سالی جریان‌ات رودخانه‌ای (SDI) ارزیابی و با شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی مقایسه شد. نتایج حاصل از شاخص GRI در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که خشک‌سالی نرمال دارای بیشترین درصد فراوانی است. Yasamani و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام خراسان رضوی از شاخص GRI استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۴۸ ماهه وجود دارد. Ekrami و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تأخیر خشک‌سالی اقلیمی با آبدی قنوات و چشمه‌ها در دشت یزد- اردکان به این نتیجه رسیدند که در مناطق کوهستانی تأخیر یک‌ساله و در مناطق دشتی تأخیر دو سال است. Jahanshahi & Shahedi (۲۰۱۸) شاخص‌های هواشناسی منابع آب‌های زیرزمینی و هیدرولوژیکی برای نظارت و پیش‌بینی خشک‌سالی در آب و هوای نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار دادند این پژوهش برای بررسی همبستگی بین این شاخص‌ها و دوره‌های همپوشانی ۳ تا ۴۸ ماهه در ایران مرکزی در طول سال ۱۹۷۰ بر شاخص‌های استاندارد بارش (SPI)، شاخص خشک‌سالی جریان (SDI) و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) متمرکز شده است. نتایج نشان داد که منطقه مورد

مطالعه بیش از دو نوع خشک‌سالی دیگر از خشک‌سالی هواشناسی رنج می‌برد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سه دهه گذشته خشک تر شده است.

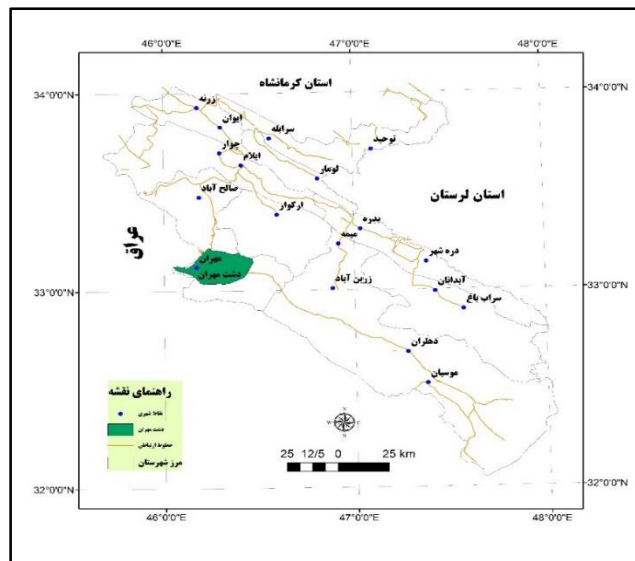
خشک‌سالی از پدیده‌های جوی است که می‌تواند در هر ناحیه‌ای رخ دهد و منجر به خسارت‌های عمده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شود. این پدیده بخش‌های مختلف محیطی از جمله منابع آب‌های زیرزمینی را در طول دوره حاکمیت خود تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر خشک‌سالی بر روی منابع آب‌های زیرزمینی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجایی که طی سال‌های اخیر در ایران و به‌طور منطقه‌ای در غرب استان ایلام به‌ویژه دشت مهران، خشک‌سالی مستمر و نسبتاً شدیدی رخ داده که در نتیجه آن، منابع آب‌های سطحی منطقه خشک یا بسیار کم شده و سفره‌های زیرزمینی با افت سطح ایستابی شدیدی روبرو شده است. طور کلی هدف از این مطالعه تحلیل و مقایسه خشک‌سالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI در دشت مهران استان ایلام است. ارائه نتایج حاصله، می‌تواند گام مهمی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه و بهره‌برداری صحیح از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه باشد.

داده‌ها و روش‌ها

دشت مهران با مساحت بالغ بر ۴۶۳ کیلومترمربع با عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}07'$ تا $33^{\circ}08'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $46^{\circ}12'$ تا $46^{\circ}14'$ شرقی، در غرب استان ایلام و جنوب غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). مرز مناطق غربی این دشت کشور عراق است و کلیه منابع آب سطحی و زیرزمینی این دشت در نهایت به کشور عراق تخلیه می‌گردد. متوسط بارندگی و دمای سالانه دشت مهران به ترتیب حدود ۲۷۰ میلی‌متر و ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. مهم‌ترین رودخانه‌های جاری در محدوده عبارت‌اند از رودخانه گاوی، کنجانچم و چنگوله. چشمه‌های کارستی منطقه به‌عنوان سرچشمه رودخانه‌های مذکور بوده و بخش مهمی از دبی پایه آن‌ها را تشکیل می‌دهد. از جمله می‌توان به سراب ملکشاهی به‌عنوان سرچشمه رودخانه گاوی، سراب میش خاص سرچشمه اصلی کنجانچم و چشمه خوشادال و چشمه پهن به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی جریان رودخانه چنگوله اشاره کرد. چشمه کارستی چنگوله با دبی ۱/۲ مترمکعب در ثانیه مهم‌ترین منبع آبی منطقه محسوب می‌شود. منابع آب زیرزمینی دشت مهران شامل ۱۷۹ حلقه چاه با تخلیه سالانه ۴۷/۴ میلیون مترمکعب و ۲۲۷ دهانه چشمه با تخلیه ۸۵/۵۶ میلیون مترمکعب در سال است که بیش از ۹۰ درصد آن به مصرف کشاورزی می‌رسد. موقعیت و شبکه تیسین ایستگاه‌های هیدرومتری دشت مهران در شکل (۲) آورده شده است.

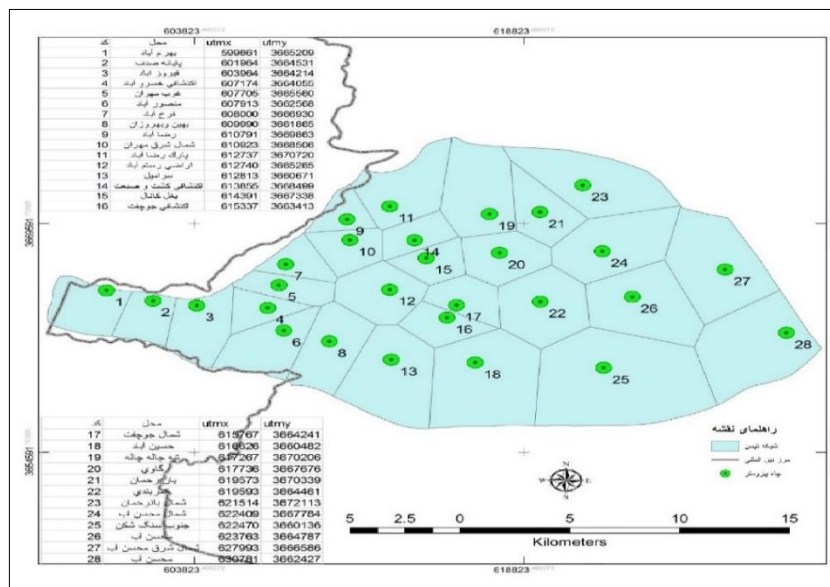
منطقه مهران بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران جزو زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود و روند عمومی این منطقه تقریباً شمال غربی - جنوب شرقی بوده و منطبق بر روند عمومی زاگرس است. رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترسیب به‌طور هم‌شیب قرار دارند. این رسوب‌ها پوشش‌های حاشیه قاره‌ای شرق پلات فرم عربستان را

تشکیل می‌دهد که در پلیوسن تغییر شکل یافته و چین خورده‌اند. دشت مهران به صورت یک ناودیس بین تاقدیس‌های اناران در شمال و شرق و تاقدیس چنگوله در جنوب قرار دارد و توسط رسوبات ناشی از فرسایش سازندهای اطراف پوشیده شده است. قدیمی‌ترین سازندی که در مهران رخمون دارد، سازند سروک است که در تاقدیس اناران دیده می‌شود. جدیدترین سازند منطقه سازند بختیاری است که در مناطق جنوبی منطقه دیده می‌شود. سازندهای منطقه به ترتیب از قدیم به جدید عبارت‌اند از: سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و آبرفت‌های کواترنری.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت مهران در استان ایلام



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: موقعیت و شبکه تیسن ایستگاه‌های هیدرومتری دشت مهران

روش پژوهش

الف) شاخص بارش استاندارد^۲(SPI)

یکی از روش‌های تعیین خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد شده است که در سال ۱۹۹۳ به‌وسیله مکی کی و همکاران برای پایش خشک‌سالی در منطقه کلرادو ارائه شد. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل‌دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. این شاخص برای محاسبه خشک‌سالی در مقیاس‌های کوتاه مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و بلند مدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند استوار است. SPI کوتاه مدت، شرایط رطوبت خاک را منعکس می‌کند و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌سازد. در این مدل، تغییرات بیشتری وجود دارد و نشانگر آن است که نمایه SPI کوتاه مدت، حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد و همان‌طور که طولانی‌تر می‌شود، بارندگی ماه جدید، اثر کمتری بر کل بارندگی دارد و نمایه به آهستگی پاسخ می‌دهد. SPI طولانی‌مدت، خشک‌سالی را بهتر منعکس می‌کند و مقادیر SPI برای این مقیاس زمانی با سیل‌ها، سطح آب در سطح‌ها و منابع آب زیرزمینی مرتبط است. مناسب‌ترین توابع توزیع احتمال برای برآزش داده‌های بارندگی ماهانه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توابع گاما است. به‌منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه جدولی ارائه شده که در آن مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارش متوسط و مقادیر منفی عکس آن است (جدول ۱). طبق این روش خشک‌سالی زمانی روی می‌دهد که این شاخص مثبت شود. مقادیر تجمعی بزرگی و شدت دوره خشک‌سالی را نشان می‌دهد (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲).

برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر از شاخص بهتر است سری زمانی، با میزان تغییرپذیری بالا انتخاب شود. این

شاخص از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$SPI = \frac{Xi - \bar{X}}{SD} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه: \bar{X} میانگین بارش در طول دوره آماری؛ Xi : بارش هرماه یا سال؛ SD : انحراف معیار.

جدول ۱: طبقه‌بندی مقادیر خشک‌سالی در SPI

مقادیر SPI	وضعیت آب و هوایی (طبقه)	طبقه
>۲	شدیداً مرطوب	۱
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب	۲
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط	۳
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم	۴
۰ تا -۰/۹۹	خشک‌سالی ملایم	۵
-۱ تا -۰/۴۹	خشک‌سالی متوسط	۶
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشک‌سالی شدید	۷
<-۲	خشک‌سالی خیلی شدید	۸

مأخذ: نگارندگان

^۲ - Standardized Precipitation Index

ب) شاخص آب‌های زیرزمینی (GRI):^۳

اجرای شاخص آب‌های زیرزمینی به منظور پایش خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی در ۳ مرحله انجام می‌گیرد:

مرحله ۱: پیش پردازش داده‌ها (بازسازی و پژوهش)

در بررسی داده‌های چاه‌های مشاهداتی منطقه، مشخص شد که تعدادی از ایستگاه‌ها آمار آن‌ها ثبت نشده یا فاقد داده می‌باشند. از آنجایی که برای ادامه محاسبات تکمیل داده‌ها ضروری است لزوم بازسازی مشخص گردید. برای بازسازی داده‌های چاه‌های مشاهداتی چندین روش آماری وجود دارد که از این میان نرم‌افزارهایی نظیر SPSS، Mini Tab و Excel نیز قادر به اجرای بازسازی داده‌ها می‌باشند، در این پژوهش، از روش ضریب تشخیص یا روابط همبستگی بین داده‌ها در محیط نرم‌افزاری Excel استفاده شد. بعد از تکمیل تمام داده‌های ناقص و بازسازی آن‌ها اقدام به محاسبات شاخص خشک‌سالی GRI گردید.

مرحله ۲: محاسبات شاخص خشک‌سالی GRI

شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسین و همکاران به‌عنوان شاخصی قابل اعتماد برای مدل‌سازی، پایش و پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی برای منطقه مدیرانه پیشنهاد شد. در این شاخص وضعیت مختلف سنگ‌شناسی زمین تأثیر مهمی بر واکنش آب‌های زیرزمینی حوزه در فصل تابستان نسبت به بارش‌های فصل زمستان دارد و به‌طور کلی مقادیر این شاخص تغییرات مکانی زیادی دارد و نسبت به ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز حساس است. مهم‌ترین قابلیت این شاخص همبستگی بالای آن با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوزه در پیش‌بینی خشک‌سالی‌های فصل تابستان می‌باشد. جهت محاسبه این شاخص از معادله (۲) استفاده می‌شود (Mendicino et al., 2008).

$$GRI = \frac{D_{ij} - m_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، GRI ارزش شاخص منابع آب زیرزمینی، D_{ij} سطح آب در ماه i ام و چاه j ام و m_{im} میانگین فصلی و σ انحراف معیار داده‌های سطح آب در ماه i است. شاخص GRI یک شاخص کاهش سطح سفره و یک معیار غیرمستقیم از میزان تغذیه سفره و یک منبع غیرمستقیم از خشک‌سالی خواهد بود. از آنجایی که سطح سفره از سطح زمین در جهت پایین اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین مقادیر مثبت نشانه خشک‌سالی و مقادیر منفی حاکی از عدم وقوع خشک‌سالی است (جدول ۲).

³ - Groundwater Resource Index

جدول ۲: جدول حدود تعیین خشک‌سالی و ترسالی شاخص GRI

مقادیر GRI	کلاس رطوبتی	گروه رطوبتی
۲ و بالاتر	۱	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	۲	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	۳	ترسالی ملایم
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	۴	نزدیک به نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	۵	خشک‌سالی ملایم
-۱/۵ تا -۱/۹۹	۶	خشک‌سالی شدید
-۲ و کمتر	۷	خشک‌سالی بسیار شدید

مأخذ: نگارندگان

مرحله ۳: اجرای مدل و تعیین میزان شاخص خشک‌سالی GRI

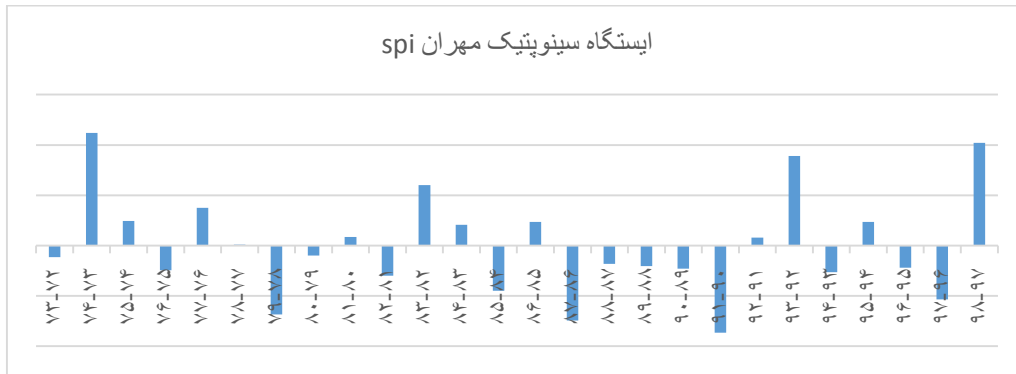
مراحل محاسبات به‌طور خلاصه به شرح ذیل است:

۱- ورود داده‌های خام اولیه به محیط اکسل؛ ۲- دستور کسر کمینه از مقادیر خام ورودی؛ ۳- ایجاد میانگین متحرک تجمعی در حالات ۶ گانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه)؛ ۴- انجام محاسبات توزیع تجمعی احتمال برای ستون‌های خام ورودی؛ ۵- ذخیره اطلاعات توزیع تجمعی احتمال، به دست آمده از گام ماکرو؛ ۶- تکرار مقادیر توزیع تجمعی احتمال برای تمامی ستون‌ها در فایل محاسبات GRI؛ ۷- ورود داده‌های خام اولیه در فایل محاسبات گام‌به‌گام شاخص GRI. ۸- محاسبه میانگین، LN، فاکتور U، پارامتر Shape و پارامتر Scale؛ ۹- محاسبه لگاریتم در پایه e برای تمامی داده‌های خام ورودی؛ ۱۰- محاسبه توزیع احتمالی GAMMA برای داده‌های ورودی؛ ۱۱- محاسبه مقدار $H(x)$ برای داده‌های ورودی؛ ۱۲- تفکیک مقادیر $H(x)$ در حد بین ۰ و ۰/۵ مقدار؛ ۱۳- تفکیک مقادیر $H(x)$ در حد بین ۰/۵ و ۱ مقدار؛ ۱۴- محاسبه پارامتر t در روابط شاخص GRI؛ ۱۵- تکرار محاسبات پارامتر t برای دسته دوم ورودی‌های $H(x)$ ؛ ۱۶- دستور محاسباتی پارامتر Z در گام‌های محاسباتی شاخص GRI؛ ۱۷- نتایج نهایی محاسبه شاخص GRI با ترکیب محاسبات موجود در دو جدول نهایی.

بحث و یافته‌ها

زمانی که شاخص بارش استاندارد شده (SPI) دارای توالی‌های منفی باشد؛ خشک‌سالی رخ می‌دهد و زمانی که مقادیر SPI برابر ۱- و یا کمتر شود؛ خشک‌سالی تشدید می‌شود. با مثبت شدن شاخص بارش استاندارد شده دوره خشک‌سالی خاتمه می‌یابد. بنابراین تداوم خشک‌سالی با توجه به زمان شروع و پایان آن تعریف می‌شود و شدت آن برای هر یک از ماه‌های وقوع خشک‌سالی تعیین می‌گردد. بر اساس این شاخص در دشت مهران ۴ دوره خشک‌سالی در طی دوره آماری مدنظر اتفاق افتاده است که شامل سال‌های ۷۹-۷۸، ۸۷-۸۶، ۹۱-۹۰ و ۹۷-۹۶ است که شدیدترین دوره خشک‌سالی در سال آبی ۹۱-۹۰ است که شاخص SPI برابر با ۱/۷۳- که درجه خشک‌سالی از نوع "خشک‌سالی شدید" است. مرطوب‌ترین سال هم بر اساس این شاخص سال‌های آبی ۷۴-۷۳ و ۹۸-۹۷ است که شاخص SPI به

ترتیب برابر با ۲/۲۴ و ۲/۰۴ می‌باشد. تعداد سال‌های نرمال هم ۱۸ سال بوده که دامنه‌ای بین ۰/۹۹ و -۰/۹۹ داشته‌اند. در شکل (۳) و جدول (۳) مقدار و طبقات شاخص بارش استاندارد شده (SPI) دشت مهران نشان داده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: شاخص بارش استاندارد شده (SPI) دشت مهران

جدول ۳: طبقات شاخص بارش استاندارد شده (SPI) دشت مهران

سال	مقدار	طبقه خشکی	سال	مقدار	طبقه خشکی
۷۲-۷۳	-۰/۲۳	نزدیک به نرمال	۸۵-۸۶	-۰/۴۷	نزدیک به نرمال
۷۳-۷۴	۲/۲۴	ترسالی بسیار شدید	۸۶-۸۷	-۱/۴۹	خشک‌سالی ملایم
۷۴-۷۵	۰/۴۹	نزدیک به نرمال	۸۷-۸۸	-۰/۳۶	نزدیک به نرمال
۷۵-۷۶	-۰/۴۹	نزدیک به نرمال	۸۸-۸۹	-۰/۴۱	نزدیک به نرمال
۷۶-۷۷	۰/۷۵	نزدیک به نرمال	۸۹-۹۰	-۰/۴۶	نزدیک به نرمال
۷۷-۷۸	۰/۰۲	نزدیک به نرمال	۹۰-۹۱	-۱/۷۳	خشک‌سالی شدید
۷۸-۷۹	-۱/۳۷	خشک‌سالی ملایم	۹۱-۹۲	۰/۱۶	نزدیک به نرمال
۷۹-۸۰	-۰/۲	نزدیک به نرمال	۹۲-۹۳	۱/۷۸	ترسالی شدید
۸۰-۸۱	۰/۱۷	نزدیک به نرمال	۹۳-۹۴	-۰/۵۳	نزدیک به نرمال
۸۱-۸۲	-۰/۶	نزدیک به نرمال	۹۴-۹۵	۰/۴۷	نزدیک به نرمال
۸۲-۸۳	۱/۲	ترسالی ملایم	۹۵-۹۶	-۰/۴۴	نزدیک به نرمال
۸۳-۸۴	۰/۴۱	نزدیک به نرمال	۹۶-۹۷	-۱/۰۷	خشک‌سالی ملایم
۸۴-۸۵	-۰/۹	نزدیک به نرمال	۹۷-۹۸	۲/۰۴	ترسالی بسیار شدید

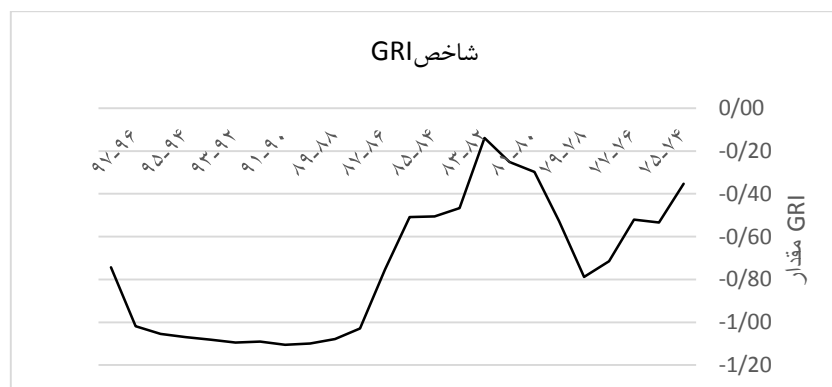
مأخذ: نگارندگان

جهت ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس نوسانات سفره زیرزمینی سطح متوسط آب زیرزمینی در کل دشت تعیین شد که برای این هدف از روش درون‌یابی معکوس فاصله استفاده گردید و مقادیر متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی از نقشه‌های حاصل استخراج شد. بر اساس رابطه شاخص GRI در محیط برنامه اکسل دوره‌های خشک‌سالی تعیین گردید (جدول ۴).

جدول ۴: وضعیت رطوبتی دشت مهران بر اساس شاخص GRI

سال آبی	مقدار	طبقه خشکی	سال آبی	مقدار	طبقه خشکی
۷۵-۷۶	-۰/۳۵	نزدیک به نرمال	۸۷-۸۸	-۰/۷۵	نزدیک به نرمال
۷۶-۷۷	-۰/۵۳	نزدیک به نرمال	۸۸-۸۹	-۱/۰۳	خشکی ملایم
۷۷-۷۸	-۰/۵۲	نزدیک به نرمال	۸۹-۹۰	-۱/۰۸	خشکی ملایم
۷۸-۷۹	-۰/۷۲	نزدیک به نرمال	۹۰-۹۱	-۱/۱۰	خشکی ملایم
۷۹-۸۰	-۰/۷۹	نزدیک به نرمال	۹۱-۹۲	-۱/۱۱	خشکی ملایم
۸۰-۸۱	-۰/۵۳	نزدیک به نرمال	۹۲-۹۳	-۱/۰۹	خشکی ملایم
۸۱-۸۲	-۰/۳۰	نزدیک به نرمال	۹۳-۹۴	-۱/۱۰	خشکی ملایم
۸۲-۸۳	-۰/۲۵	نزدیک به نرمال	۹۴-۹۵	-۱/۰۸	خشکی ملایم
۸۳-۸۴	-۰/۱۴	نزدیک به نرمال	۹۵-۹۶	-۱/۰۷	خشکی ملایم
۸۴-۸۵	-۰/۴۷	نزدیک به نرمال	۹۶-۹۷	-۱/۰۶	خشکی ملایم
۸۵-۸۶	-۰/۵۱	نزدیک به نرمال	۹۷-۹۸	-۱/۰۲	خشکی ملایم
۸۶-۸۷	-۰/۵۱	نزدیک به نرمال			

مأخذ: نگارندگان

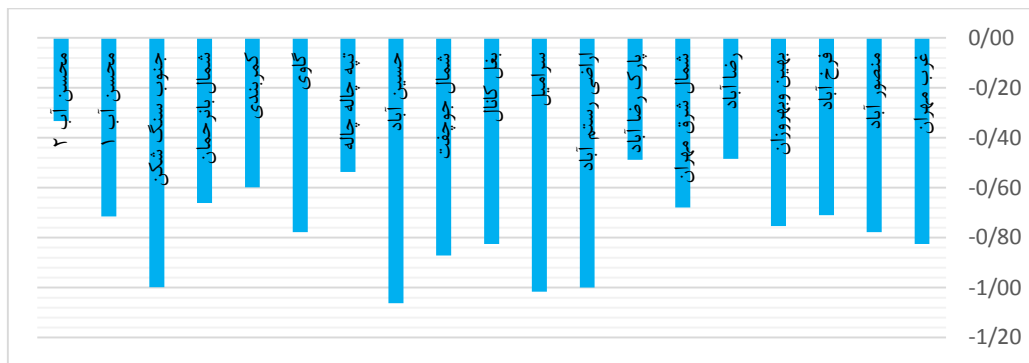


مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نمودار مقدار شاخص GRI دشت مهران

مقدار خشک‌سالی دشت مهران بر اساس شاخص GRI در شکل (۴) نشان داده شده است بر اساس این شکل وضعیت رطوبتی آب‌های زیرزمینی دشت مهران از سال ۷۵-۷۶ تا سال ۸۶-۸۷ نزدیک نرمال بوده است. اما روند خشک‌سالی از سال آبی ۸۷-۸۸ شروع شده و تا سال آبی ۹۷-۹۸ ادامه داشته است و درجه خشک‌سالی هم از نوع "خشک‌سالی ملایم" بوده است. بر اساس این روند می‌توان نتیجه‌گیری کرد که علاوه بر خشک‌سالی هواشناسی عوامل دیگری مثل بهره‌برداری غیراصولی و مدیریت نشده از منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف، به‌خصوص در بخش کشاورزی باعث بروز خشک‌سالی آب زیرزمینی می‌شوند و در صورت تداوم این روند وارد فاز خشک‌سالی شدید خواهد شد که نه تنها قابل جبران نخواهد بود بلکه حتی ممکن است منجر به پدیده فرونشست زمین و تخریب اراضی سطح دشت شود.

شکل (۵) مقدار خشک‌سالی GRI در ایستگاه‌های موجود در دشت مهران نشان می‌دهد بر اساس این شکل بیشترین مقدار خشک‌سالی در ایستگاه‌های حسین‌آباد، سرامل، اراضی رستم‌آباد و جنوب سنگ‌شکن در محدوده ۱- تا ۱/۱۰- که در طبقه "خشکی ملایم" واقع شده‌اند. کمترین میزان خشک‌سالی هم در ایستگاه‌های محسن‌آباد، پارک رضا‌آباد، رضا‌آباد و تپه چاله ۰/۳۳- تا ۰/۵۴- در طبقه خشکی "نزدیک به نرمال" قرار دارند.

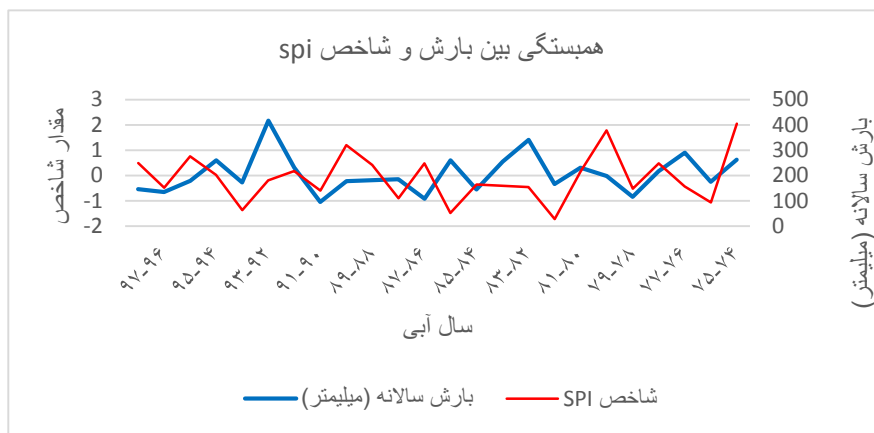


مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نمودار مقدار GRI ایستگاه‌های دشت مهران طی دوره آماری ۲۳ ساله

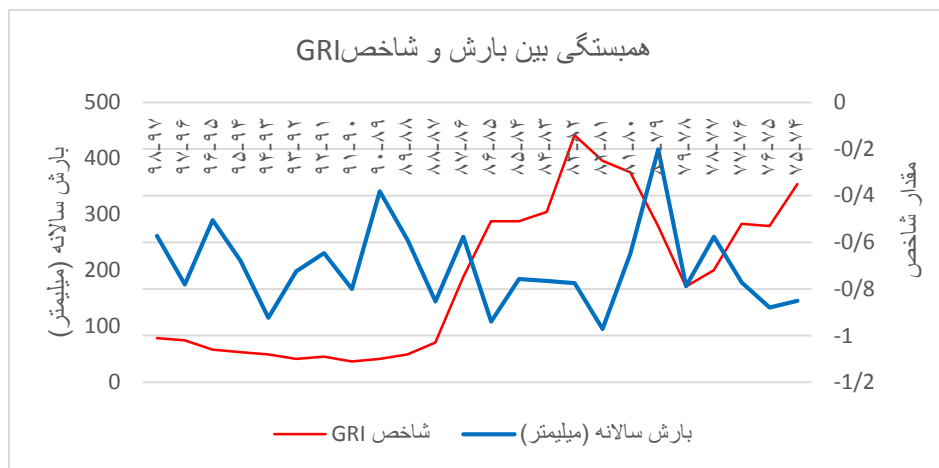
مقایسه دو شاخص SPI و GRI در تعیین خشک‌سالی

به‌منظور مقایسه دو شاخص SPI و GRI در تعیین خشک‌سالی منطقه اقدام به ایجاد رابطه همبستگی بین هر کدام از این شاخص‌ها با میزان بارش سالانه منطقه گردید. رابطه بین بارش سالانه و مقادیر هر یک از شاخص‌ها نشان می‌دهد که در شاخص SPI بین میزان بارش و خشک‌سالی همبستگی مثبت برقرار است. یعنی سال‌هایی که مقدار بارش افزایش داشته شاخص هم بیشتر شده و بالعکس (شکل ۶). نمودار همبستگی بارش و مقادیر شاخص GRI نشان می‌دهد که هیچ همبستگی خاصی وجود ندارد. جایی که بارش افزایش یافته میزان شاخص کاهش و بالعکس (شکل ۷).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نمودار همبستگی بارش و مقادیر شاخص SPI دشت مهران

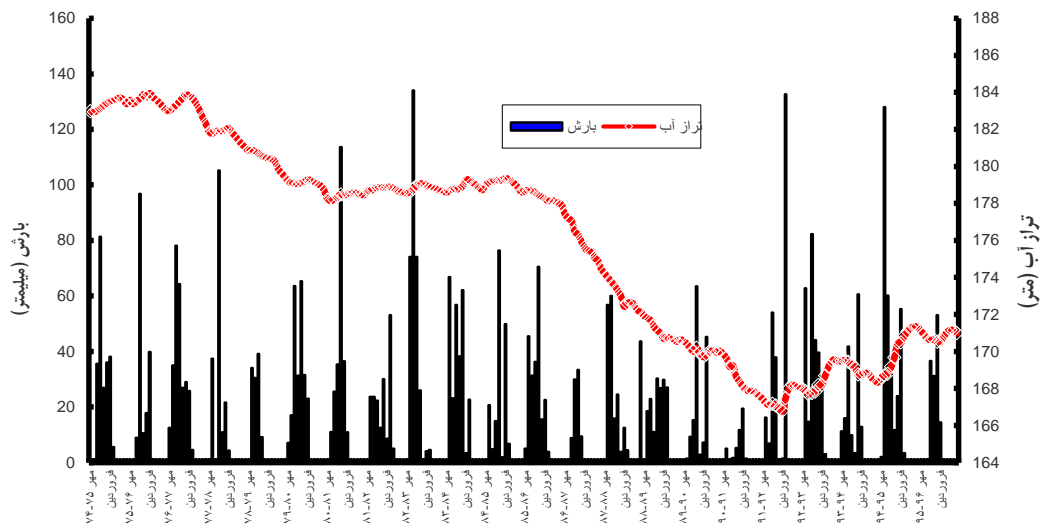


مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نمودار همبستگی بارش و مقادیر شاخص GRI دشت مهران

هیدروگراف واحد

به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت مهران اقدام به تهیه هیدروگراف واحد برای سال‌های آبی ۷۴-۷۵ تا ۹۶-۹۵ گردیده است (شکل ۸). بر اساس این هیدروگراف سطح آب زیرزمینی دشت مهران در شهریورماه حداقل بوده و به تدریج سطح آب افزایش یافته و در بهمن به حداکثر میزان خود می‌رسد. از فروردین روند نزولی طی کرده است. تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت مهران به دو عامل بارندگی و بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی توسط چاه‌های عمیق بستگی دارد. به طوری که از آبان ماه که بارندگی شروع می‌شود تراز آب زیرزمینی به تدریج بالا می‌آید تا اینکه در بهمن به حداکثر میزان خود می‌رسد. در این دوره معمولاً از آبخوان آبرفتی بهره‌برداری نمی‌شود چون بارندگی‌های موجود نیاز آبی گیاهان را برطرف می‌کنند. در اواخر بهمن و اوایل اسفند بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی آغاز می‌شود. بنابراین از اسفند ماه به بعد به علت بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی سطح آب زیرزمینی پایین می‌رود.

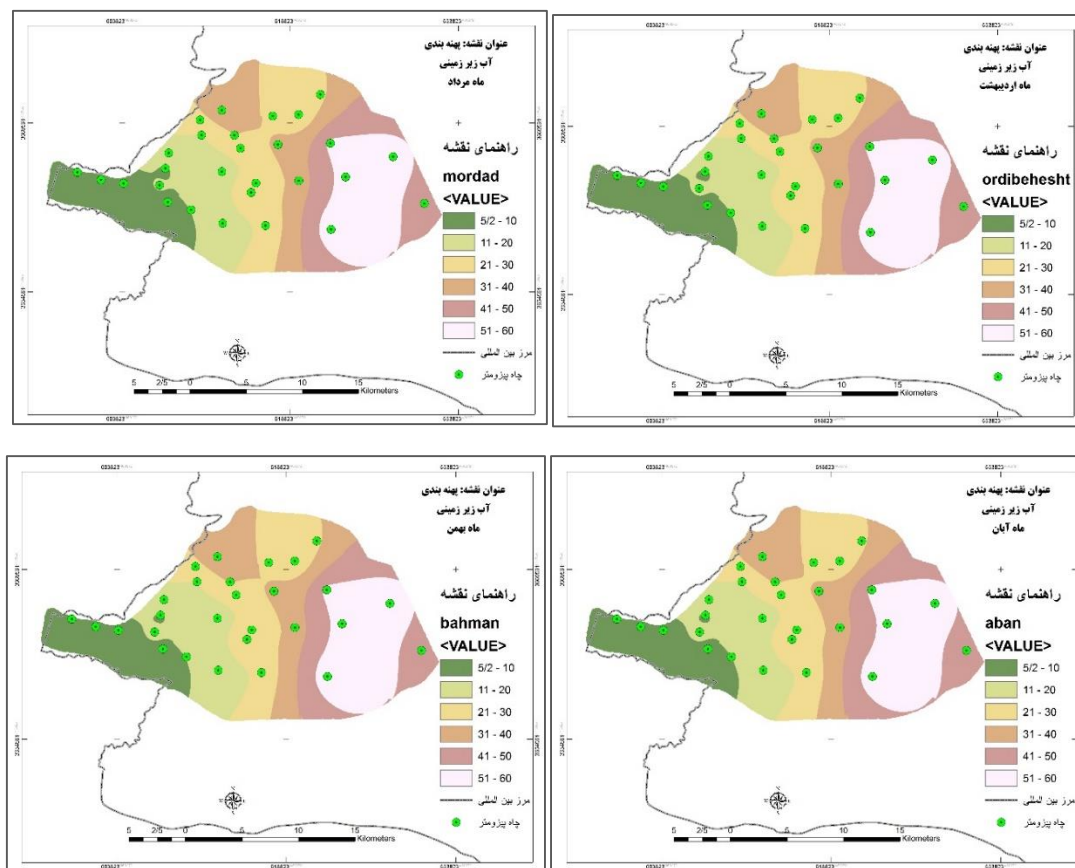


مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: هیدروگراف واحد دشت مهران طی دوره آماری مورد نظر

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی

به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مشخصات ایستگاه‌ها که شامل فیلدهای اطلاعاتی از قبیل نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و مقادیر سطح آب زیرزمینی است به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انتقال داده شد. در این محیط اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های شبیه‌سازی مکانی با استفاده از مدل‌های درونی یابی موجود و تحلیل فضایی داده‌های مکانی گردید. مدل‌های درونی‌یابی جهت افزایش دقت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شده‌اند. در استفاده از مدل‌های مختلف درونی‌یابی، مدل‌های IDW و کریجینگ دارای دقت بیشتری نسبت به بقیه مدل‌ها می‌باشند. از بین این دو مدل، مدل کریجینگ برای آنالیز آب‌های زیرزمینی مناسب‌تر است. به همین دلیل در این پژوهش از بین مدل‌های مختلف، مدل کریجینگ انتخاب گردید. در نهایت با اعمال مدل نیم تغییر نمای بهینه در کریجینگ و ورود داده‌های آب‌های زیرزمینی به‌صورت لایه نقطه‌ای، نقشه‌های رستری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید. سپس با انجام تحلیل‌های مکانی و کلاس‌بندی سطح آب زیرزمینی، نقشه‌های پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت مهران طی دوره آماری مدنظر و به‌صورت ماهانه (۱۲ ماه) تهیه گردید که در این پژوهش، از هر فصل یک ماه (ماه وسط هر فصل) به نیابت از بقیه ماه‌ها با توجه به تغییرات جزئی ماهه‌ای هر فصل آورده شده است (شکل ۹). نتایج این نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی از طرف شرق دشت به سمت غرب دشت کاهش یافته و میزان این اختلاف به حدود بیش از ۵۰ متر هم می‌رسد که این به دلیل ساختار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی منطقه است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه‌های پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی (اردیبهشت، مرداد، آبان و بهمن‌ماه) دشت مهران

نتیجه‌گیری

خشک‌سالی به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی دسته‌بندی می‌شود که تأثیرات عمده‌ای بر بخش‌های یک اکوسیستم می‌گذارد. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کم کرد؛ بنابراین به‌منظور آگاهی از وضعیت خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی دشت مهران در استان ایلام از شاخص از دو شاخص SPI و GRI استفاده گردید. بدین منظور آمار ۲۵ سال از سال آب ۷۶-۷۵ تا سال ۹۷-۹۶ تعداد ۲۳ حلقه چاه پیژومتری به‌عنوان شاخص انتخاب شد.

شاخص بارش استاندارد شده بر پایه این حقیقت که کسری بارش تأثیرات متفاوتی بر آب‌های زیرزمینی، ذخیره منابع، رطوبت خاک، پوشش برف و جریان جویبار دارد استوار است. شاخص بارش استاندارد شده کسری بارش را برای مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه) محاسبه می‌کند. این مقیاس‌های زمانی تأثیر خشک‌سالی را بر موجود بودن منابع آبی متفاوت را منعکس می‌کند. شرایط رطوبتی خاک دو برابر ناهنجاری‌های بارش در یک مقیاس به نسبت کوتاه واکنش نشان می‌دهند در حالی که آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و منابع ذخیره در یک دوره طولانی‌تر به ناهنجاری‌های بارش واکنش می‌دهند. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی

آن نشان‌دهنده بارش کمتر از بارش متوسط است. بر اساس این روش، دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود.

با انطباق نتایج حاصل از محاسبات هر دو شاخص با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت که در طی دوره آماری مورد نظر بر اساس هر دو شاخص، خشک‌سالی در منطقه اتفاق افتاده است. منتها تحلیل خشک‌سالی در هر دو شاخص متفاوت است.

بر اساس شاخص SPI در دشت مهران ۴ دوره خشک‌سالی در طی دوره آماری مدنظر اتفاق افتاده است که شامل سال‌های ۷۹-۷۸، ۸۷-۸۶، ۹۱-۹۰ و ۹۷-۹۶ است که شدیدترین دوره خشک‌سالی در سال آبی ۹۱-۹۰ است که شاخص SPI برابر با ۱/۷۳- که درجه خشک‌سالی از نوع "خشک‌سالی شدید" است. مرطوب‌ترین سال هم بر اساس این شاخص سال‌های آبی ۷۴-۷۳ و ۹۸-۹۷ است که شاخص SPI به ترتیب برابر با ۲/۲۴ و ۲/۰۴ می‌باشد. تعداد سال‌های نرمال هم ۱۸ سال بوده که دامنه‌ای بین ۰/۹۹ و ۰/۹۹- داشته‌اند.

بر اساس شاخص GRI روند خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی دشت مهران از سال آبی ۸۸-۸۷ شروع شده و تا سال آبی ۹۸-۹۷ ادامه داشته است و درجه خشک‌سالی هم از نوع "خشک‌سالی ملایم" بوده است. همچنین نتایج به دست آمده از این شاخص در منطقه نشان می‌دهد که یک دوره خشک‌سالی ۱۱ ساله آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده یعنی از سال آبی ۸۸-۸۷ شروع شده و تا سال آبی ۹۸-۹۷ ادامه داشته است که شدیدترین آن سال ۹۱-۹۰ با مقدار شاخص ۱/۱۱- می‌باشد.

نتایج بررسی و مقایسه دو شاخص SPI و GRI در تحلیل خشک‌سالی‌ها نشان می‌دهد که طی دوره‌ای آمار مدنظر در هر دو شاخص شدیدترین دوره خشک‌سالی را سال آبی ۹۱-۹۰ معرفی کردند که در شاخص SPI برابر با ۱/۷۳- و در شاخص GRI مقدار شاخص برابر با ۱/۱۱- بوده است و هر دو در طبقه نوع "خشک‌سالی شدید" قرار گرفته‌اند. نتایج این مقایسه بیانگر کارایی نسبتاً مناسب هر دو مدل در تحلیل خشک‌سالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی دشت مهران می‌باشند که با نتایج پژوهش‌های بختیاری عنایت و همکاران (۱۳۹۴)، محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، میر اکبری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توان نتیجه گرفت که سطح آب زیرزمینی طی دوره آماری مورد نظر در شمال و شرق ۶۰ متر شروع می‌شود و به سمت غرب و به موازات جهت رودخانه‌های کنجانچم و گاوی تا ۵/۲ متر کاهش پیدا می‌کند. علت آن هم وجود ارتفاعات کونک و یکشنبه در شمال و چه قمر و چکه موسی در شرق دشت است. شیب توپوگرافی دشت هم به سمت غرب دشت و در مجاورت با مرز کشور عراق می‌باشد.

تخلیه اصلی آبخوان دشت مهران توسط چاه و قنات و چشمه صورت می‌گیرد که مطابق با آخرین آماربرداری نگارنده این پژوهش در سال جاری اکثر منابع آب سطحی و رودخانه‌ها موجود در دشت مهران خشک‌شده است و همین امر باعث شده کشاورزان کمبود آب مورد نیاز خود را به‌واسطه چاه‌های غیرمجاز به دست آورند که همین امر منجر به وارد نمودن

خسارت زیادی به سفره آب زیرزمینی می‌شود. مهم‌ترین عوامل کاهش تراز آب زیرزمینی شامل زیاد شدن تعداد چاه‌های بهره‌برداری که بسیاری از آن‌ها بدون مجوز می‌باشند که منجر به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت مورد مطالعه شده است. با اعمال مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی و کنترل بیشتر در حفر چاه‌های مجاز می‌توان برداشت از آبخوان مورد نظر را تعدیل بخشید و از آثار سوء برداشت بی‌رویه که ممکن است در آینده گریبان گیر منطقه شود، جلوگیری کرد. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های صورت گرفته توسط طالبی و همکاران (۱۳۹۰)، عظیمی و همکاران (۱۳۹۶)، روشن و همکاران (۱۳۹۸) که عامل اصلی افت آب زیرزمینی را در درجه اول بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی ذکر کردند مطابقت دارد.

تغذیه مصنوعی می‌تواند در بهبود وضعیت ذخایر آب زیرزمینی نقش چشمگیری داشته باشد. احداث آب‌بندهای جدید خصوصاً در نقاط شمالی و شرقی دشت، کنترل و مهار جریان‌ات سطحی و به‌کارگیری فرآیندهای آبخیزداری، توسعه و ترمیم پوشش گیاهی که این علاوه بر کنترل فرسایش امکان نفوذ آب به اعماق زیرین خاک را فراهم می‌سازد.

منابع

- ۱- احمدی آخوومه، مریم؛ نوحه‌گر، احمد؛ سلیمانی مطلق، مهدی و مجید طایبی سمیرمی (۱۳۹۴): بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۲۰، شماره ۲۱، صص ۱۱۸-۱۰۵.
- ۲- اکرامی، محمد؛ ملکی نژاد، حسین و محمدرضا اختصاصی (۱۳۹۰): بررسی تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر آبدی برخی از قنات‌های دشت یزد اردکان. همایش بین‌المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین‌المللی قنات و سازه‌های تاریخی آبی.
- ۳- بختیاری عنایت، بهرام؛ آرش ملکیان و علی سلاجقه (۱۳۹۴): آنالیز همبستگی پایه زمانی و تأخیر زمانی بین خشک‌سالی اقلیمی و خشک‌سالی آب‌شناختی دشت هشتگرد. نشریه تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۶۱۶-۶۰۹.
- ۴- خسروی دهکردی، امیر؛ میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ صمدی بروجنی، حسین و احمدرضا قاسمی دستگردی (۱۳۹۸): پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص GRI و مدل زنجیره مارکف. نشریه هیدروژئولوژی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۲۵-۱۱۱.
- ۵- رضیئی، طیب؛ شکوهی، علیرضا؛ تقیان، بهرام و پیمان دانش کار آراسته، (۱۳۸۲): پایش پدیده خشک‌سالی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص SPI، سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۶- روشن، سید حسین؛ حبیب نژاد روشن، محمود و کاکا شاهی (۱۳۹۸): بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و شاخص‌های خشک‌سالی GRI و SWI در دشت ساری. نشریه فضای جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۶۷، صص ۱۴۶-۱۳۱.
- ۷- صیف، محبوبه؛ مساعدی، ابوالفضل و حسین محمد زاده (۱۳۹۰): بررسی خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI). پانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.

- ۸- طالبی، علی؛ ایمانی، مهناز و محمدتقی دستورانی (۱۳۹۰): بررسی اثر خشک‌سالی بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و آبدهی قنوت در دشت بهاباد یزد. همایش بین‌المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین‌المللی قنات و سازه‌های تاریخی آبی.
- ۹- عظیمی، سعید؛ اژدری مقدم، مهدی و سیدآرمان هاشمی منفرد (۱۳۹۶): ارزیابی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشک‌سالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی بر پایه شاخص‌های GRI در محیط GIS (مطالعه موردی: ۶۰۹ دشت ایران). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۸، شماره ۳۰، صص ۷۳-۸۹.
- ۱۰- محمدی، صدیقه؛ ناصری، فرزین و حمید نظری پور (۱۳۹۷): بررسی تغییرات زمانی و اثر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI). نشریه اکو هیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۱، صص ۱۱-۲۲.
- ۱۱- مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم؛ لطفی مغانجوقی، جعفر؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ محسنی، ساروی محسن و علی‌اکبر نظری سامانی (۱۳۹۹): تحلیل و بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی استان کردستان. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۲، شماره ۲، صص ۴۴۲-۴۵۳.
- ۱۲- مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم و مریم میراکبری (۱۳۹۷): پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SDI و GRI در حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات استان یزد. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، دوره ۷۱، شماره ۳، صص ۷۸۵-۷۷۵.
- ۱۳- مصباح زاده، طیبه و فرشاد سلیمانی ساردو (۱۳۹۷): بررسی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه. نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱۲، شماره ۴۰، صص ۱۱۵-۱۰۵.
- ۱۴- مقصود، فاطمه؛ یزدانی، محمدرضا؛ رحیمی، محمد؛ ملکیان، آرش و علی‌اصغر ذوالفقاری (۱۳۹۵): مقایسه کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی و مدل ترکیبی ANN-ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) (مطالعه موردی: جنوب استان قزوین). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۰، شماره ۳۳، صص ۴۷-۵۷.
- ۱۵- ملکی نژاد، حسین و ربابه پور شرعیاتی (۱۳۹۰): بررسی روند خشک‌سالی در دشت مروست با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۱۶- میراکبری، مریم؛ مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم و محسن محسنی ساروی (۱۳۹۷): بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص‌های SDI، SPEI، SPI و GRI. نشریه علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوازدهم، شماره ۴۲، صص ۷۰-۸۱.
- ۱۷- نجفی توبورآباد، سمیه و لیلا جلیلی. (۱۳۹۰): بررسی روند خشک‌سالی دشت اردبیل بر اساس شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) با استفاده از GIS. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، زنجان، دانشگاه زنجان.

- 18- Abhishek, A. P. Channaveerappa And B.M. Dodamani. (2016): Comparison Of Two Hydrological Drought Indices. Perspectives In Science, 8(2016): 626-628.
- 19- Ekrami, M. M. R. Ekhtesasi. And H. Malekinezhad. (2013a): The Effects And Consequences Of Climatic Drought On Time Delay And The Change In Water Discharge Of Springs And Qanats(Yazdardakan Plain). Iranian-Water Resources Research. 9 (2), 19-26.
- 20- Jahanshahi, A. Shahedi, K. (2018): Evaluation Of Meteorological, Hydrological And Groundwater Resources Indicators For Drought Monitoring And Forecasting In A Semi-Arid Climate, Desert, Volume 23, Issue 1, Pages 29-43.
- 21- Mendicino, G. A. Senatore And P. Versace. (2008): A Groundwater Resource Index (Gri) For Drought Monitoring And Forecasting In A Mediterranean Climate. Journal Of Hydrology, 357(3-4): 282-302.
- 22- Nico, W. A.J. Van Lanen And A.F. Loon. (2010): Indicators For Drought Characterization On A Global Scale. Wageningen, Netherlands, Water And Global Change, 24: 80-93.
- 23- Palmer, W. C. (1965): Meteorological Drought. Research Paper No. 45. Us Department Of Commerce Weather Bureau, Washington Dc. Pages. 65.

- 24- Panda. D. K. Mishra, A. Jena. S.K. James, B.K. Kumar, A. (2007): The Influence Of Drought And Anthropogenic Effects On Groundwater Levels In Orissa, India, Journal Of Hydrology. 343, 140– 153
- 25- Peters, E. P.J.J.F. Torfs, H.A.J. Van Lanen And G. Bier. (2003): Propagation Of Drought Through Groundwater, A New Approach Using Linear Reservoir Theory. Journal Name? 17: 3023-3040.
- 26- Silva, V.P.R. (2003): On Climate Variability In North-East Brazi. Journal Of Arid Environment, 54(2): 256-367.
- 27- Van Lanen, H.A.J. And E. Peters. (2000): Definition, Effects And Assessment Of Groundwater Droughts. In J. S. Vogt, Drought And Drought Mitigation In Europe (Pp. 49-61). Dordrecht: Kluwer.
- 28- Yasamani, S. H. Mohammadzadeh And A. Mosaedi. (2012): Effect Of Drought On Groundwater Levels In Torbatjam Plain Using Indices Spi And Gri. 6th Congress Of Geological Society Of Iran. Shiraz: Shiraz University (In Persian).