

اسماعیل حیدری^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن خسروی^۳ و جواد بذرافشان^۴

چکیده

بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه، از اهمیت فراوانی برخوردار است. مدیریت علمی منابع آب، نیازمند دانستن رابطه‌ی خشکسالی با تراز آب زیرزمینی است. در این مطالعه، ابتدا میانگین دو شاخص SPI و GRI در دشت یزد- اردکان محاسبه گردید و سپس رابطه‌ی این دو شاخص، مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه‌ی شاخص SPI در دوره‌ی ۱۳۷۵-۱۳۹۰، با استفاده از قرار دادن نقشه‌ی DEM در رابطه‌ی ارتفاع- بارش هر سال در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳، نقشه‌ی بارش هر سال به دست آمد و سپس با استفاده از نقشه‌های بارش هر سال، شاخص SPI سالانه‌ی کل دشت و میانگین آن محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی شاخص GRI در دوره‌ی ۱۳۸۱-۱۳۹۰، با استفاده از روش کریجینگ ساده در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳، نقشه‌ی پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی هر سال به دست آمد و سپس با استفاده از این نقشه‌ها، در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ شاخص GRI سالانه-ی کل دشت و میانگین آن محاسبه شد. بر مبنای نتایج بررسی همبستگی میانگین سالانه برای کل دشت، هرگونه تغییر در میانگین شاخص SPI سالانه‌ی کل دشت، به احتمال ۹۵ درصد با حدود یک سال و شش ماه تأخیر در میانگین شاخص GRI سالانه‌ی کل دشت نیز اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، دشت یزد- اردکان، شاخص SPI، شاخص GRI، نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳

۱. کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. استاد دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. نویسنده مسئول: استادیار دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، hakhosravi@ut.ac.ir

۴. استادیار دانشکده‌ی مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

۱. مقدمه

خشکسالی، یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیانبارترین مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۱) بیش از ۱۱ درصد از مخاطرات طبیعی در سطح جهان، به‌ویژه در نواحی روستایی، مرتبط با وقوع خشکسالی‌هاست (Karang, Li, ۲۰۰۴). این پدیده، از بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق، محتوای رطوبت قابل دسترس خاک و وضعیت آب زیرزمینی تأثیر می‌پذیرد (Shahabfar et al, ۲۰۱۲ و Montandon et al, ۲۰۰۸). خشکسالی، در درازمدت موجب کاهش منابع آب از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (خشکسالی هیدرولوژیکی). کمبود منابع آب، تهدید بزرگی برای اقتصاد و سطح زندگی مردم است و افزایش تقاضا برای منابع آب قابل دسترس، موجب تشدید رقابت بهره‌برداران منابع آبی می‌گردد که این مسأله، خود موجب گسترش خشکسالی در حد شدید و خیلی شدید می‌شود (Hisdal and Tallaksen, ۲۰۰۳). مطالعات پیرامون پیامدهای آب‌شناسی خشکسالی و اثرات زیانبار آن پس از خشکسالی‌های وسیع دهه‌ی ۱۹۷۰، در سطح جهان شکل جدی‌تری را به خود گرفت. (محمدی و شمسی‌پور، ۱۳۸۲). تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه‌ی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی آب‌های زیرزمینی انجام شده که به برخی از آنها در اینجا اشاره می‌شود.

اسلامیان و همکاران (۱۳۸۵) در مطالعات خود در حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین زهرا، به این نتیجه رسیدند که بین وقوع ریزش‌های جوّی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه با تأخیر سه ماهه، ارتباط معناداری وجود دارد. شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده^۱ مورد بررسی قرار داده و در رابطه با تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، ضمن بررسی نوسانات ماهانه‌ی SPI و سطح آب زیرزمینی در طی دوره‌ی آماری ۳۰ ساله، ضریب همبستگی بین دو پارامتر مذکور را محاسبه نمودند. نتایج بررسی آنان نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، بر منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده است.

خان^۲ و همکاران (۲۰۰۸) از شاخص SPI برای بررسی اثر خشکسالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در سه منطقه‌ی تحت آبیاری در حوضه‌ی ماری‌دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج آنان نشان داد که همبستگی مطلوبی بین شاخص SPI و نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در منطقه برقرار بوده و می‌توان با بهره‌وری از آن، الگوی خشکسالی‌های اصلی را در استرالیا تعیین کرد. مندسینو^۳ و همکاران (۲۰۰۸) مقاله‌ای تحت عنوان "یک شاخص منبع آب زیرزمینی برای بازمینی و پیشگویی خشکسالی در یک اقلیم مدیترانه‌ای" ارائه دادند. در این پژوهش، ضمن معرفی شاخص منابع آب زیرزمینی^۴، این شاخص را برای سه حوضه‌ی آبخیز با خصوصیات زمین‌شناسی متفاوت در منطقه‌ی کالابریا در ایتالیا برای یک دوره‌ی ۴۵ ساله از سال ۱۹۵۹-۲۰۰۶ محاسبه نمودند و سپس با شاخص SPI در مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مقایسه کردند. آنان دریافتند که خصوصیات لیتولوژی حوضه، بر سطح ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه بر روی شاخص GRI مؤثر است. آنان همچنین با استفاده از روش همبستگی خودکار نشان دادند که اولاً رفتار GRI بسیار شبیه به رفتار SPI است اما با تأخیر زمانی، و این تأخیر را خصوصیات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضه تعیین می‌کند و همچنین شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسب‌تر است.

ملکی‌نژاد و قادری (۱۳۹۰) در بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در آبخوان دشت سبزواری به این نتیجه رسیدند که خشکسالی در برخی از چاه‌های منطقه، روند یکنواختی داشته و شاخص GRI در این دوره‌ی آماری منفی و سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است. ایمانی و طالبی (۱۳۹۰) اثرات خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی را با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI

^۱. Standardized Precipitation Index (SPI)

^۲. Khan

^۳. Mendicino

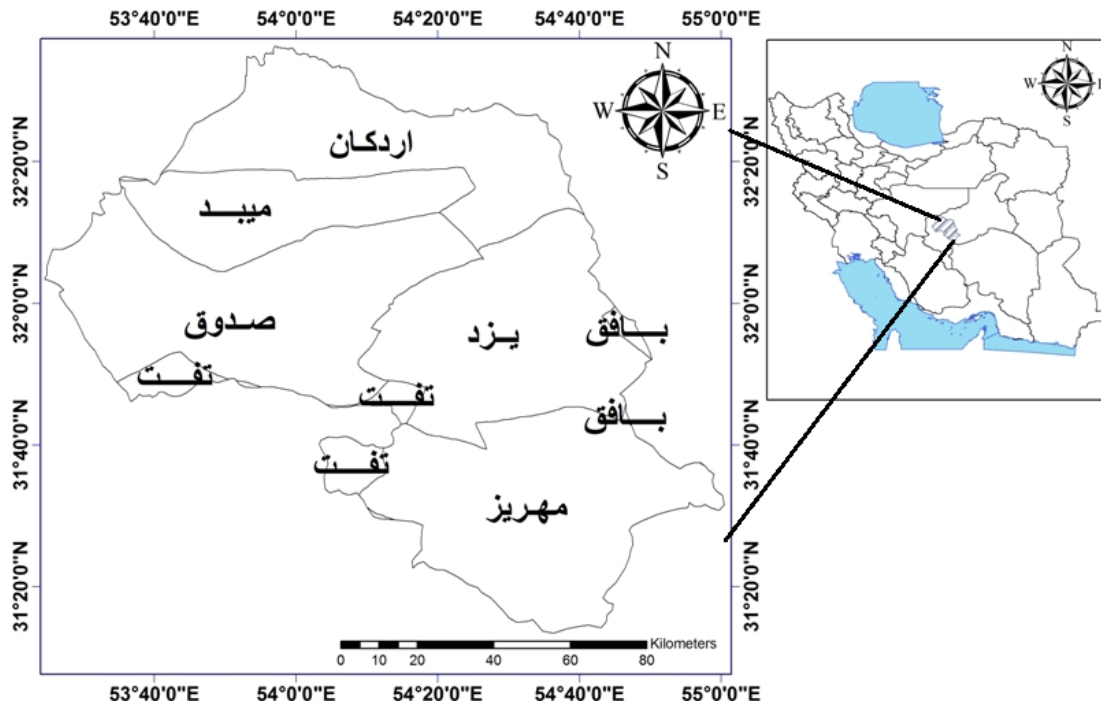
^۴. Ground water Resource Index (GRI)

در دشت بهاباد یزد مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده‌ی افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی بخصوص در ده سال اخیر و رابطه‌ی بین شاخص SPI در مقیاس زمانی درازمدت بخصوص SPI ۴۸ ماهه با سطح ایستابی سفره‌ی دشت بهاباد است. سربازی و قزل‌سوفلو (۱۳۹۰) در مطالعه‌ی خود در حوضه‌ی مشهد به این نتیجه رسیدند که روند کلی تغییرات سطح آب زیرزمینی نزولی بوده و ارتباط معناداری بین وقوع ریزش‌های جوّی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد. صیف و همکاران (۱۳۹۱) با ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه با شاخص GRI رابطه‌ی معناداری در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر، محاسبه‌ی میانگین شاخص‌های SPI و GRI با استفاده از نقشه‌های بارش و نقشه‌های سطح آب زیرزمینی بجای داده‌های بارش و داده‌های سطح آب زیرزمینی و نیز بررسی رابطه‌ی بین میانگین‌های این دو شاخص در دشت یزد- اردکان است تا در نتیجه تأخیر زمانی متوسط خشکسالی هواشناسی بر متوسط خشکسالی آب‌های زیرزمینی به دست آید.

۲. مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت یزد- اردکان، یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد است که در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شمالی قرار دارد که از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق، به کوه‌های خراتق منتهی می‌شود. این دشت، شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد را دربرمی‌گیرد (شکل ۱). وجود بیشترین جمعیت استان یزد در این دشت، اهمیت بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی مورد استفاده‌ی دشت را دوچندان می‌کند.



شکل ۱. موقعیت دشت یزد - اردکان با تقسیمات سیاسی

روش تحقیق

روش محاسبه‌ی میانگین شاخص SPI

شاخص SPI که از سوی سازمان اقلیم جهانی، به‌عنوان شاخص خشکسالی مرجع برای توصیف خشکسالی پذیرفته شده است (Potop et al, ۲۰۱۲) از روابط زیر به دست می‌آید که در آن:

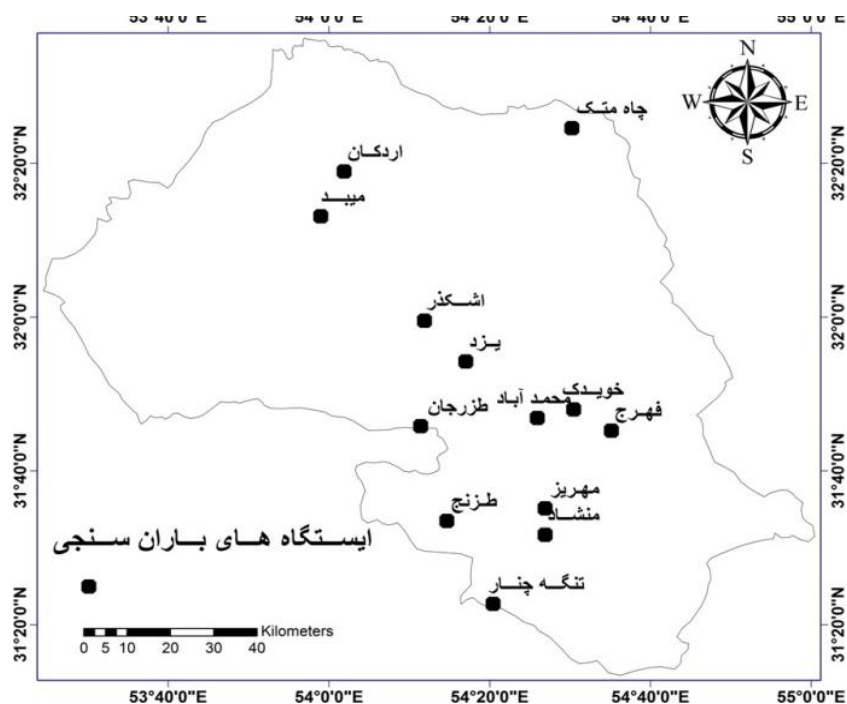
معادله (۱)

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{S} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_1^i (Pi - \bar{P})^2}{n}}$$

Pi = بارش سال مورد نظر \bar{P} = میانگین بارش کل دوره

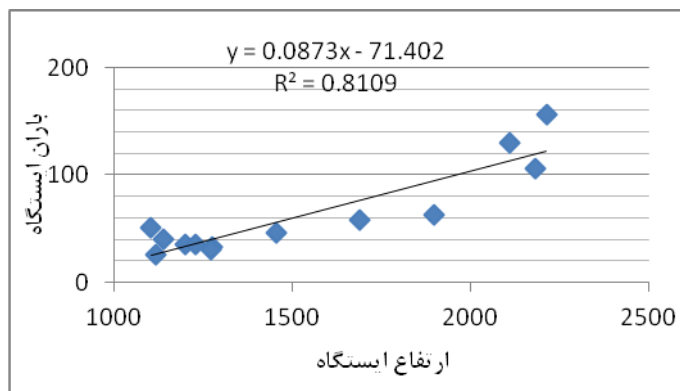
S = انحراف معیار کل دوره n = تعداد داده‌ها (سال‌ها) کل دوره

این شاخص هرچه منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی خشکسالی اقلیمی با شدت بیشتر است. برای محاسبه‌ی این شاخص، در ابتدا با بررسی داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه، داده‌های بارش ۱۳ ایستگاه، در بازه زمانی فروردین ۱۳۷۵ تا اسفند ۱۳۹۰ انتخاب شد که پراکندگی ایستگاه‌ها در شکل (۲) آمده است.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

در این تحقیق، شاخص SPI به صورت سالانه (۱۲ ماهه) برای ۱۶ سال (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰) به دست آمد. برای این کار، ابتدا نقشه‌ی بارش هر سال در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ به دست آورده شد. برای محاسبه‌ی نقشه‌های بارش هر سال، با استفاده از ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی و مقدار بارش سالانه‌ی آنها (مجموع بارش ۱۲ ماهه)، نمودار ارتفاع-بارش هر سال رسم شد. سپس با استفاده از این نمودار، رابطه‌ی بین ارتفاع و بارش برای هر سال به دست آمد. در شکل (۳) نمودار ارتفاع-بارش سال ۱۳۷۵ برای نمونه آورده شده است.



شکل ۳. نمودار ارتفاع-بارش سال ۱۳۷۵

سپس در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ بجای ارتفاع در رابطه‌ی ارتفاع-بارش هر سال، نقشه‌ی DEM^۱ (نقشه‌ی مدل دیجیتالی ارتفاع) با دقت ۳۰ متر، جایگزین گردید و در نتیجه نقشه‌ی بارش هر سال به دست آمد. پس از به دست آوردن نقشه‌ی بارش هر سال، با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳، بجای قرار دادن داده‌های بارش در رابطه‌ی شاخص SPI، نقشه‌های بارش هر سال قرار داده شد. به عبارت دیگر، نقشه‌ی حاصل از تفاضل نقشه‌ی بارش هر سال و نقشه‌ی میانگین بارش کل دوره [که از تقسیم مجموع نقشه‌های بارش سالانه بر تعداد سال‌های دوره به دست آمد] تقسیم بر نقشه‌ی انحراف معیار دوره شد و در نتیجه نقشه‌ی SPI هر سال به دست آمد. سپس میانگین شاخص SPI سالانه‌ی کل دشت یزد- اردکان در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ اندازه‌گیری شد. با این کار، یک مقدار متوسط از شاخص SPI برای کل دشت به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی متوسط خشکسالی هواشناسی آن بود.

روش محاسبه‌ی میانگین شاخص GRI:

شاخص GRI از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Mendicino et al., ۲۰۰۸):

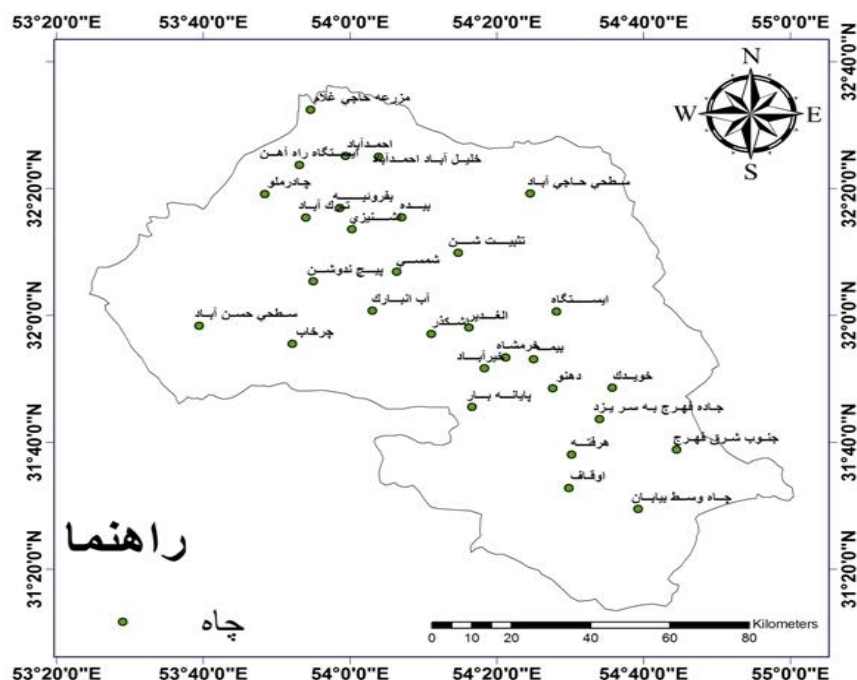
$$GRI = \frac{Di - \bar{D}}{S} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Di - \bar{D})^2}{n}} \quad (\text{معادله ۲})$$

Di = ارزش عمق سطح ایستابی هر سال \bar{D} = میانگین عمق سطح ایستابی کل دوره

S = انحراف معیار کل دوره n = تعداد داده‌ها (سال‌های) دوره

این شاخص نیز همچون شاخص SPI، بیشتر مواقع بین ۲+ تا ۲- متغییر است؛ اما [زمانی که عمق آب زیرزمینی را در فرمول شاخص GRI قرار دهیم] برعکس شاخص SPI هر چه منفی‌تر باشد، نشانه‌ی ترسالی است. جهت تعیین شاخص GRI در دشت یزد- اردکان، از ۳۰ چاه پیزومتری که آمار مناسبی در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ داشتند، استفاده شد. البته داده‌ها به صورت سالانه و مربوط به شهریور هر سال است. موقعیت این چاه‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

^۱. Digital Elevation Model



شکل ۴. موقعیت پیزومترهای مورد استفاده

در داده‌های تعدادی از چاه‌ها، خلاء آماری وجود داشت که باید بازسازی می‌شد. برای بازسازی آماری، از توابع آماری موجود در نرم‌افزار Excel [تابع CORREL و تابع FORECAST] میزان ضریب همبستگی چاه‌هایی که دارای خلاء آماری بودند، با کلیه چاه‌های مذکور محاسبه شد و در مرحله بعد، خلاء آماری با توجه به داده‌های چاهی که بهترین ضریب همبستگی با آن را داشت، ترمیم شد.

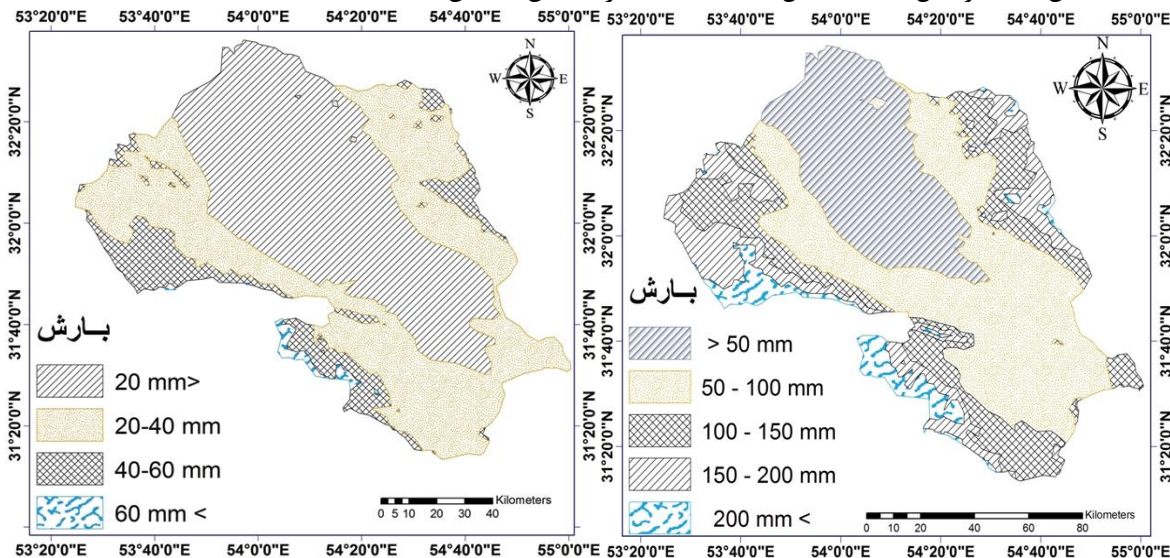
برای تهیه نقشه‌ی شاخص GRI، در ابتدا باید نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی تهیه شود. برای این کار، داده‌های آماری [به پیشنهاد نشریه‌ی شماره‌ی ۵۸۵ نظام فنی و اجرایی کشور در سال ۱۳۹۱] وارد نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ شدند و با استفاده از روش کریجینگ ساده، نقشه‌های پهنه سطح ایستابی آب زیرزمینی هر دوره به دست آمد.

سپس برای به دست آوردن شاخص GRI، در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ بجای قرار دادن داده‌های سطوح ایستابی در رابطه‌ی شاخص GRI، نقشه‌های سطوح ایستابی هر دوره قرار داده شد. به عبارت دیگر، نقشه‌ی حاصل از تفاضل نقشه‌ی سطح ایستابی هر سال و نقشه‌ی میانگین سطح ایستابی کل دوره [که از تقسیم مجموع نقشه‌های سطح ایستابی سالانه بر تعداد سال‌های دوره به دست آمد] بر نقشه‌ی انحراف معیار دوره تقسیم شد و در نتیجه نقشه‌ی GRI دوره‌ی مورد نظر به دست آمد. در نهایت با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ میانگین شاخص GRI هر سال برای کل دشت به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی متوسط خشکسالی منابع آب زیرزمینی است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، از عمق آب زیرزمینی استفاده شده است؛ در نتیجه هرچه شاخص GRI منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود ترسالی بیشتری است و بالعکس.

۳. نتایج

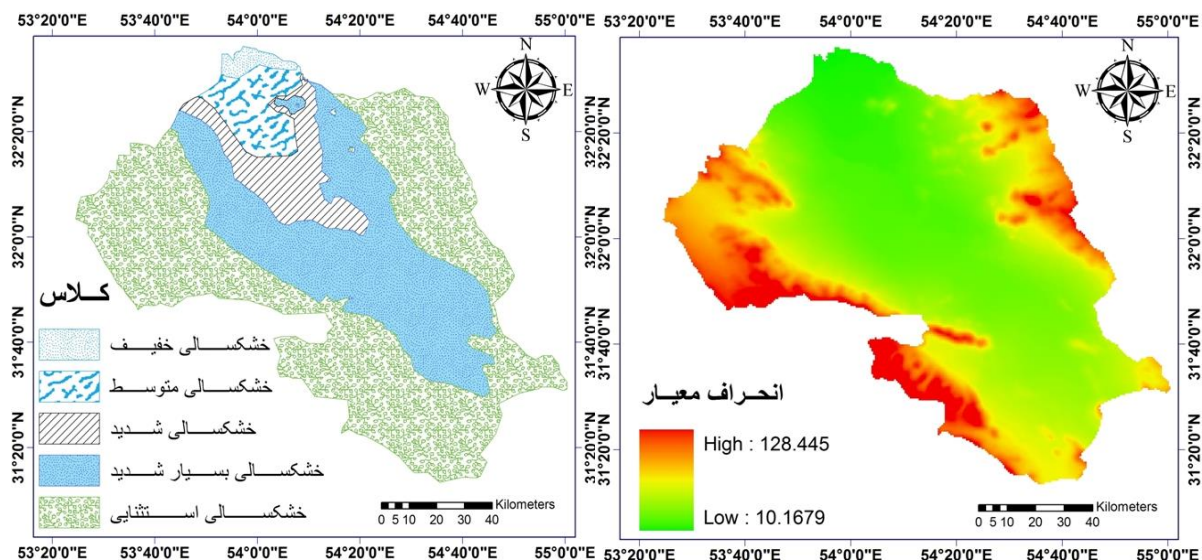
همان‌گونه که ذکر شد، برای محاسبه‌ی شاخص SPI، با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳، نقشه‌ی بارش برای هر سال [برای نمونه سال ۱۳۷۸ در شکل ۵]، نقشه‌ی بارش میانگین دوره (شکل ۶) و نقشه‌ی انحراف معیار بارش دوره (شکل ۷) در رابطه‌ی شاخص SPI قرار داده شد و شاخص SPI برای هر سال [برای نمونه سال ۱۳۷۸ در شکل ۸] و سپس میانگین سالانه‌ی این شاخص

برای کل دشت (جدول ۱)، محاسبه گردید. شدیدترین مقدار مشاهده شده‌ی خشکسالی سالانه در دشت یزد- اردکان با توجه به محاسبات شاخص SPI، در سال ۱۳۷۸ (شکل ۸) است که مقدار شاخص SPI آن ۱/۹۲- است.



شکل ۶. بارش میانگین سالانه‌ی دشت یزد- اردکان

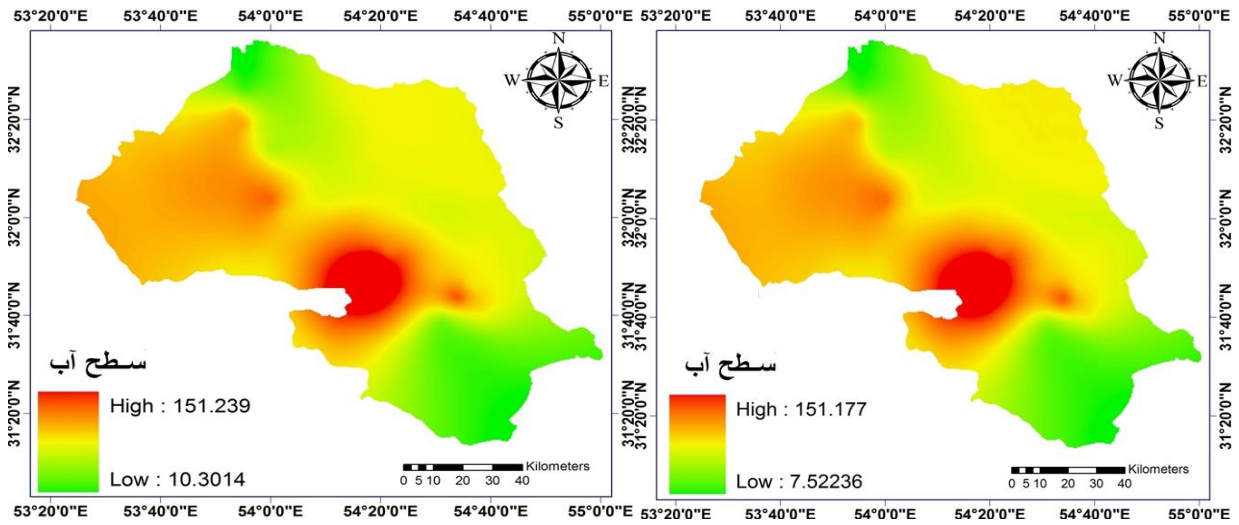
شکل ۵. بارش سال ۱۳۷۸ دشت یزد- اردکان



شکل ۸. پهنه بندی شاخص SPI سالانه‌ی ۱۳۷۸

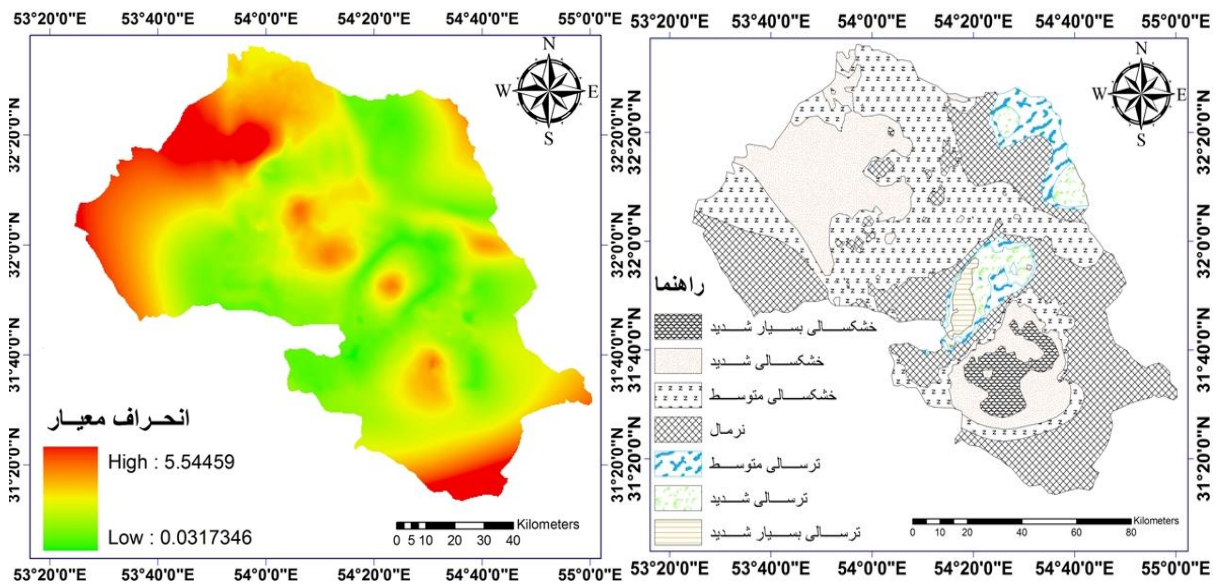
شکل ۷. انحراف معیار بارش دوره در دشت یزد- اردکان

برای محاسبه‌ی شاخص GRI نیز با استفاده از امکانات نرم‌افزار ArcGIS۹.۳، نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی هر سال [برای نمونه سال ۱۳۸۱ در شکل ۹]، نقشه‌ی میانگین سطح آب زیرزمینی دوره (شکل ۱۰) و نقشه‌ی انحراف معیار سطح آب زیرزمینی دوره (شکل ۱۱) در رابطه‌ی شاخص GRI قرار داده شد و شاخص GRI برای هر سال [برای نمونه سال ۱۳۹۰ در شکل ۱۲] و سپس میانگین سالانه‌ی این شاخص برای کل دشت (جدول ۱)، محاسبه گردید. شدیدترین مقدار مشاهده شده‌ی خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه در دشت یزد- اردکان با توجه به محاسبات شاخص GRI، در سال ۱۳۹۰ (شکل ۱۲) است.



شکل ۱۰. میانگین سطح آب دشت یزد-اردکان

شکل ۹. سطح آب سال ۱۳۸۱ دشت یزد-اردکان



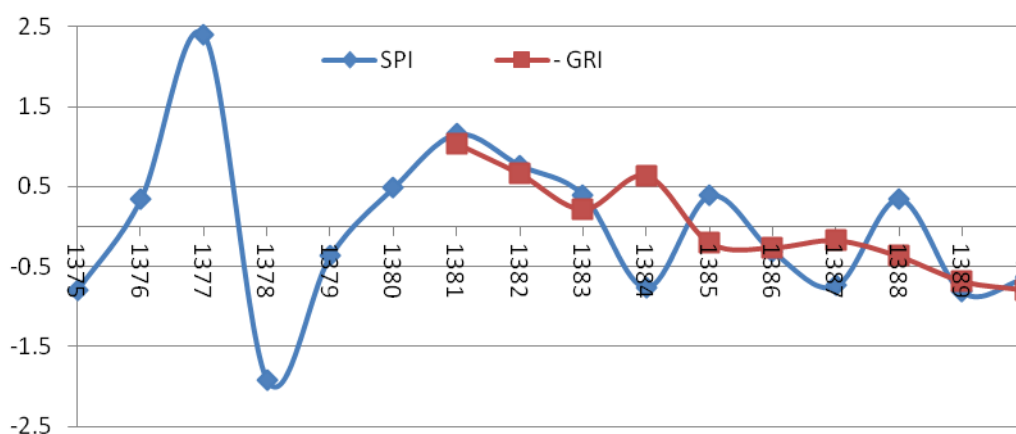
شکل ۱۲. نقشه‌ی پهنه‌بندی شاخص GRI سال ۱۳۹۰

شکل ۱۱. انحراف معیار سطح آب دوره

جدول ۱. مقادیر میانگین شاخص‌های SPI و GRI

سال	SPI سالانه	GRI شهریور	سال	SPI سالانه	GRI شهریور
۱۳۷۵	-۰/۷۹	-	۱۳۸۳	۰/۴	-۰/۲۲
۱۳۷۶	۰/۳۵	-	۱۳۸۴	-۰/۷۶	-۰/۶۴
۱۳۷۷	۲/۴	-	۱۳۸۵	۰/۳۹	۰/۲
۱۳۷۸	-۱/۹۲	-	۱۳۸۶	-۰/۳۱	۰/۲۶
۱۳۷۹	-۰/۳۶	-	۱۳۸۷	-۰/۷۴	۰/۱۷
۱۳۸۰	۰/۴۹	-	۱۳۸۸	۰/۳۵	۰/۳۷
۱۳۸۱	۱/۱۶	-۱/۰۴	۱۳۸۹	-۰/۸۲	۰/۶۸
۱۳۸۲	۰/۷۷	-۰/۶۶	۱۳۹۰	-۰/۶۴	۰/۷۹

در شکل (۱۳) نمودار تغییرات زمانی شاخص SPI و شاخص GRI دشت یزد- اردکان رسم شده است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در این تحقیق، از عمق آب زیرزمینی استفاده شده است؛ بنابراین هرچه شاخص GRI منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود ترسالی بیشتری است و بالعکس. برای نمایش بهتر تغییرات زمانی شاخص SPI و شاخص GRI در نمودار شکل (۱۳) شاخص GRI قرینه شده است (هرچه منفی‌تر باشد، خشکسالی بیشتر است) تا با شاخص SPI همسو بوده و نمودار ملموس‌تر باشد.



شکل ۱۳. نمودار تغییرات زمانی شاخص SPI و قرینه‌ی شاخص GRI دشت یزد- اردکان

با توجه به این نمودار، هرچه به پایان دوره‌ی مورد مطالعه در این تحقیق نزدیک‌تر می‌شویم، از نوسانات شاخص SPI کاسته می‌شود و همچنین قرینه‌ی شاخص GRI منفی‌تر می‌گردد [که نشان‌دهنده‌ی افزایش شدت خشکسالی هیدرولوژیکی و وخیم بودن سفره‌ی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان است].

در نهایت با استفاده از نرم‌افزار SPSS، همبستگی میانگین شاخص GRI با SPI سالانه‌ی دشت یزد- اردکان با آزمون پیرسون با یک دوره تأخیر (میانگین شاخص GRI با SPI یکسال قبل) و دو دوره تأخیر (میانگین شاخص GRI با SPI دو سال قبل) مورد بررسی قرار گرفت که در جدول (۲) نتایج آن آمده است.

جدول ۲. نتایج همبستگی شاخص GRI و شاخص SPI سالانه

	SPI سالانه (با دو دوره تأخیر)	SPI سالانه (با یک دوره تأخیر)
ضریب همبستگی پیرسون	-.۰۶۴۶*	-.۰۶۰۳
شاخص GRI	۰/۰۴۴	۰/۰۶۵
تعداد	۱۰	۱۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

دشت یزد- اردکان، یکی از مهم‌ترین مناطق استان یزد است که بارش کم سالانه، مسئله‌ی کمبود منابع آب و خشکسالی و تأثیرات آن، از بارزترین ویژگی‌های اقلیمی این منطقه است. در این تحقیق، سعی بر آن بود تا با رابطه‌ی مطالعه‌ی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI و خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص GRI، به مدیریت هرچه بهتر پدیده‌ی خشکسالی و مسئله‌ی کمبود آب کمک شود.

با توجه به نتایج جدول (۱) شدیدترین خشکسالی دشت یزد- اردکان در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۷۵ مربوط به سال ۱۳۷۸ است (شکل ۸). همچنین با توجه به نمودار تغییرات زمانی شاخص SPI سالانه (شکل ۱۳) خشکسالی دشت یزد- اردکان در سال‌های اخیر، ضمن افزایش تداوم خشکسالی‌ها، تا حدودی از شدت آنها کاسته شده است. انصاری و داوری (۱۳۸۶) در بررسی خشکسالی‌های استان خراسان، حیدری و یزدانی (۱۳۸۷) در ارزیابی خشکسالی‌های استان‌های غرب ایران و یزدانی و شادمانی (۱۳۹۰) در تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران، با کاربرد نمایه‌ی شاخص استاندارد شده‌ی بارش نیز به چنین نتیجه‌ای دست یافتند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژی (آب‌های زیرزمینی) بر مبنای شاخص GRI مربوط به سال ۱۳۹۰ است که پهنه‌بندی مربوط به این سال در شکل (۱۲) آورده شده است و همچنین طبق جدول (۱) و شکل (۱۳) شاخص GRI در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ سیر صعودی داشته است. به عبارت دیگر با گذر زمان، به صورت نسبی بر شدت خشکسالی هیدروژئولوژی افزوده می‌شود که این امر، نشان‌دهنده‌ی وخیم‌تر شدن وضع آبخوان دشت یزد- اردکان است. این نتیجه، با نتایج تحقیقات فرج‌الهی و هاتفی (۱۳۹۰)، سربازی و قزل‌سوفلو (۱۳۹۰) و اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. اگر با مدیریت صحیح از این امر جلوگیری نشود، تبعات جبران‌ناپذیری را به بار خواهد آورد.

جدول‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهند که سطح آب زیرزمینی و شاخص‌های هیدروژئولوژی (آب‌های زیرزمینی) نمی‌توانند با شاخص‌های اقلیمی خشکسالی هم‌زمانی داشته باشند که این نتیجه، با نتایج تحقیقات ایمانی و طالبی (۱۳۹۰)، اکرامی (۱۳۹۰)، اسلامیان و همکاران (۱۳۸۵)، مندسینو و همکاران (۲۰۰۸) و خان و همکاران (۲۰۰۸) همسو است. بر مبنای نتایج همین جداول، همبستگی شاخص GRI و شاخص SPI سالانه با دو دوره تأخیر با اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه شاخص SPI سالانه در اینجا مربوط به پایان اسفند هر سال و شاخص GRI هر دوره مربوط به اواخر شهریور هر سال است، هرگونه تغییر در میانگین شاخص SPI سالانه به احتمال ۹۵ درصد، با حدود یک سال و شش ماه تأخیر در میانگین شاخص GRI نیز اتفاق می‌افتد. به زبان ساده، خشکسالی اقلیمی و خشکسالی هیدروژئولوژی با اطمینان ۹۵ درصد، حدود یک سال و شش ماه فاصله‌ی زمانی دارند. این نتیجه، با نتایج حاصل از تحقیق اکرامی (۱۳۹۰) که فاصله‌ی زمانی شاخص‌های SPI سالانه و GRI را در دشت یزد- اردکان در دو سال به دست آورده است، همخوانی ندارد. علت این امر نیز هم به تفاوت روش انجام تحقیق و هم بازه زمانی مورد استفاده برای شاخص‌های SPI سالانه و GRI برمی‌گردد؛ به طوری که اکرامی (۱۳۹۰) شاخص GRI چاه‌ها را با شاخص SPI

مقایسه کرده است؛ اما در اینجا میانگین شاخص GRI دشت یزد- اردکان با میانگین شاخص SPI سالانه‌ی آن مقایسه شده است. همچنین اکرامی (۱۳۹۰) سال آبی را برای محاسبه‌ی SPI سالانه مبنا قرارداده؛ اما در اینجا سال رسمی (هجری شمسی) مورد استفاده قرار گرفته است.

در پایان، به منظور تعیین بهتر تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی اقلیمی با خشکسالی ژئوهیدرولوژی و شاخص‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی، پیشنهاد می‌شود که مطالعات مشابه در حوضه‌های دیگر کشور به‌ویژه حوضه‌های کوچک‌تر که دارای ورودی و خروجی‌های مشخصی است، انجام شود و نتایج به دست آمده در مورد تأخیر خشکسالی اقلیمی با خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی، در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت خشکسالی مورد توجه مدیران کشور در بخش آب قرار گیرد.

منابع:

۱. اسلامیان، سیدسعید، نصری، مسعود و رحیمی‌نعمیه (۱۳۸۵). بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین زهرا. مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال بیستم، شماره ۱ (پیاپی ۳۳)، ص ۷۵-۹۰
۲. اکرامی، محمد (۱۳۹۰). بررسی تأثیر خشکسالی بر شدت و تأخیر زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص GRI (مطالعه‌ی موردی دشت یزد- اردکان). کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
۳. اکرامی، محمد، شریفی، ذبیح‌اله، ملکی‌نژاد، حسین و اختصاصی محمدرضا (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت یزد- اردکان در دهه‌ی ۱۳۷۹-۱۳۸۸. طلوع بهداشت، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی دانشکده‌ی بهداشت، پاییز و زمستان ۱۳۹۰.
۴. انصاری، حسین و داوری کامران (۱۳۸۶). پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص استاندارد شده در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی: استان خراسان). مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۹۷-۱۰۸.
۵. ایمانی، مهناز و طالبی علی (۱۳۹۰). بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سفره‌ی آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، اردیبهشت ۱۳۹۰.
۶. بذاق جمالی، جواد، جوانمرد، سهیلا و شیرمحمدی رضا (۱۳۸۱). پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه‌ی معیارشده‌ی بارش. فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷. ۲۴-۴.
۷. حیدری، مجید و یزدانی وحید (۱۳۸۷). مطالعه‌ی تطبیقی پنج شاخص خشکسالی هواشناسی در شمال غرب کشور. مجموعه مقالات همایش خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری و راه‌های مقابله با آن.
۸. روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. نشریه‌ی ۵۸۵، سال ۱۳۹۱.
۹. سربازی، محبوبه و قزل‌سوفلو عباسعلی (۱۳۸۸). بررسی دوره‌های ترسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی مشهد. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. شکیب، علیرضا، میرباقری، بابک و خیری افسانه (۱۳۸۹). خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی شرق استان کرمانشاه، مجله‌ی جغرافیا، نشریه‌ی علمی- پژوهشی، انجمن جغرافیایی ایران، سال هشتم، شماره ۲۵، تابستان ۸۹.
۱۱. صیف، محبوبه، محمدزاده، حسین و مساعدی ابوالفضل (۱۳۹۱). ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیارشده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیارشده. مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال پنجم، تابستان ۱۳۹۱.
۱۲. فرج‌الهی، اصغر و هاتفی امیر (۱۳۹۰). تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک در منطقه‌ی سرخه. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۳. محمدی، حسین مراد و شمسی پور علی اکبر (۱۳۸۲). تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، ۱۳۰-۱۱۵.
۱۴. ملکی‌نژاد، حسین و قادری مرضیه (۱۳۹۰). بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در آبخوان دشت سبزوار. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۵. یزدانی، وحید، زارع‌ایبانه، حمید و شادمانی مجتبی (۱۳۹۰). تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه‌ی شاخص استاندارد شده‌ی بارش. مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال چهارم، بهار ۱۳۹۰.
۱۶. Hisdal, Hege., and Lena M. Tallaksen (۲۰۰۳) Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark; *Journal of Hydrology* ۲۸۱: ۲۳۰-۲۴۷.
۱۷. Karang, Li (۲۰۰۴) Drought early Warning and Impact Assessment in China, Proceeding of an Export Group meeting
۱۸. Khan, S., H. F. Gabriel., and T. Rana (۲۰۰۸) Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrig. Drain.Syst.* ۲۲: ۱۵۹-۱۷۷
۱۹. Mendicino, Giuseppe, Alfonso Senatore and Pasquale Versace (۲۰۰۸) A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology* ۳۵۷: ۲۸۲-۳۰۲
۲۰. Montandon LM and Small EE (۲۰۰۸) The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment.* ۱۱۲: ۱۸۳۵-۱۸۴۵.
۲۱. Potop, Vera, Martin Mozny and Josef Soukup (۲۰۱۲) Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology.* ۱۵۶: ۱۲۱-۱۳۳.
۲۲. Shahabfar, Alireza, Abduwasit Ghulam and Josef Eitzinger (۲۰۱۲) Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* ۱۸: ۱۱۹-۱۲۷

The Effect of Meteorological Drought and Groundwater resources Index in Yazd-Ardakan Plain

E. Haydari^١, Gh. Zehtabian^٢, H. Khosravi^٣ and J. Bazrafshan^٤

Abstract

The study of ground water changes is very important for planning and sustainable management of water resources in each area. To scientific management of water resources, the relation between drought and groundwater table is necessary. In this study at the first the averages of SPI and GRI were calculate, then the relation between these two indices was studied. To calculate the SPI in the period of ١٩٩٧-٢٠١١, the precipitation map of each year was provided using height – Rainfall relation; then using provided maps the SPI of plain and its average were calculated in ArcGIS^{٩.٣} environment. To calculate the GRE in the period of ٢٠٠٢-٢٠١١, groundwater zonation map of each year was provided using simple kriging; then the GRI of plain and its average were calculated using provided maps. Based on the results of correlation between the two indices, annual SPI and GRI with two delay years are significant in ٠.٠٥ percentage level. On the other hand, any change in annual SPI average also will occurs in GRI average with a lag of one year and six months with ٩٥% probability.

Keywords: Drought, SPI, GRI, ArcGIS^{٩.٣}, Yazd-Ardakan Plain.

١. M. Sc Student of Deserts Region Management ,Faculty of Natural Resources University of Tehran.

٢. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

٣. **Corresponding Author**; Assistance Professor, Faculty of Natural Resources ,University of Tehran; hakhosravi@ut.ac.ir

٤. Assistance Professor, Faculty of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran.