

## بررسی روند زمانی و مکانی شاخص منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان)

حسن خسروی<sup>۱\*</sup>، اسماعیل حیدری<sup>۲</sup>، غلامرضا زهتابیان<sup>۳</sup> و جواد بذرافشان<sup>۴</sup>

\*-نویسنده مسول، استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

پست الکترونیک: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- دانشیار، گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۴

### چکیده

دشت یزد-اردکان در سال‌های اخیر با افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. می‌توان انتظار داشت با بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی به مدیریت صحیح آبخوان این دشت کمک کرد. در مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI: Groundwater Resource Index) در مقیاس سالانه و داده‌های ۳۰ بیزومتر واقع در دشت یزد - اردکان با طول دوره آماری مشترک ۱۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۱) استفاده گردید. در این مطالعه در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی سالانه، نقشه میانگین سطح آب زیرزمینی و انحراف معیار دوره رسم شد و سپس در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از این نقشه‌ها و رابطه GRI، نقشه شاخص آب زیرزمینی برای هر سال تهیه شد. نتایج نشان داد که شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژیکی سالانه دشت یزد-اردکان مربوط به سال ۱۳۹۰ است که متوسط GRI در دشت، ۰/۷۹ بوده است. با توجه به نقشه شاخص آب زیرزمینی در این سال، شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی در جنوب و شمال دشت یزد - اردکان زیاد است که به علت تجمع جمعیت، تمرکز مراکز صنعتی و برداشت بیش از حد آب از آبخوان در این مناطق است. تغییرات زمانی شاخص GRI نشان دهنده بدتر شدن وضع آبخوان دشت یزد-اردکان است.

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

### مقدمه

بروز می‌کند، اما آثار و تبعات دیگر ناشی از خشکسالی همچنان پابرجاست (Hayes et al., 1998) در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخدادن و هم از جنبه اندازه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (Keneth, 2003).

در بیشتر مناطق دنیا، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع برای مصارف عمومی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (Scheidleder

خشکسالی یکی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلاهای طبیعی است که جمعیت‌های انسانی را تحت تاثیر قرار داده و باعث بروز بسیاری از مشکلات برای آنها می‌شود. تعداد و فراوانی این پدیده بیش از سایر رخدادها بوده است (محسنی ساروی و همکاران ۱۳۸۳). گرچه امروزه به علت پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل و نقل، بروز آثار خشکسالی به شکل قطعی و مرگ دسته جمعی کمتر

می‌کند و همچنین شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسب‌تر است. Khan و همکاران (۲۰۰۸) از شاخص SPI برای بررسی اثر خشکسالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در ۳ منطقه تحت آبیاری در حوضه ماری - دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج آنها نشان داد که همبستگی خوبی 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.

Shahid و Hazarika (۲۰۰۹)، به تحلیل آبنگار سطح آب زیرزمینی و گروه زمانی بارندگی در شمال غربی منطقه بنگلادش پرداختند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی نبود، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به‌طور عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود.

Adhikary و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی با عنوان بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در شمال شرق بنگلادش به این نتیجه رسیدند که به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی افزایش یافته است.

Maleki Nejad و Ghaderi (۲۰۱۱) در بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی در آبخوار دشت سیزوار به این نتیجه رسیدند که خشکسالی در برخی از چاه‌های منطقه روند یکنواختی داشته و شاخص GRI در این دروه آماری منفی و سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است. همچنین نوسانات خشکسالی هیدروژئولوژیکی و تفاوت در مقادیر GRI در برخی از چاه‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در برداشت از این چاه‌ها باشد.

Imani و همکاران، (۲۰۱۱) اثرات خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI در دشت بهاباد یزد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان دهنده افت شدید سفره بخصوص در ده

(et al., 1999)؛ این بدان معناست که واکنش آب‌های زیرزمینی به خشکسالی‌ها بیش از حد مهم شده است. خشکسالی اقلیمی در درازمدت کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریانهای سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد که به این پدیده خشکسالی هیدروژئولوژیکی می‌گویند (Callow et al., 1999). خشکسالی هیدروژئولوژیکی زمانی خاتمه می‌یابد که جریان رودخانه‌ها دوباره شکل گرفته و مخازن آب زیرزمینی مجدد تغذیه شود (Erfan & Moradi, 2001). (Nejad) صرف‌نظر از نقش عوامل اقلیمی، برنامه‌ریزی و مدیریت ناکارآمد در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نقش فزاینده‌ای در آسیب‌های ناشی از خشکسالی هیدروژئولوژیکی دارد.

در مطالعات مختلف به بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی پرداخته شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. Peters و همکاران (۲۰۰۵) مطالعاتی در مورد خشکسالی در آب‌های زیرزمینی، توزیع خشکسالی و شاخص کارایی انجام دادند. Peters و همکاران (۲۰۰۶) طی مطالعاتی در مورد انتشار و توزیع مکانی خشکسالی سطح آب زیرزمینی، دریافتند، که تغذیه بلند مدت (طولانی) آب زیرزمینی موجب کاهش خشکسالی‌های شدید هیدروژئولوژیکی می‌شود.

Mendicino و همکاران (۲۰۰۸) مقاله‌ای تحت عنوان یک شاخص منبع آب زیرزمینی برای بازیابی و پیش‌گویی خشکسالی در یک اقلیم مدیترانه‌ای ارائه دادند در این پژوهش ضمن معرفی شاخص GRI، این شاخص را برای سه حوزه آبخیز با خصوصیات زمین‌شناسی متفاوت در منطقه کالابریا (Calabria) در ایتالیا برای یک دوره ۴۵ ساله از سال ۲۰۰۶-۱۹۵۹ محاسبه نمودند و سپس با شاخص SPI مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که خصوصیات لیتولوژی حوزه بر سطح ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی و به تبع آن بر روی شاخص GRI موثر می‌باشد. سپس با استفاده از روش همبستگی خودکار نشان دادند که رفتار GRI بسیار شبیه به رفتار SPI می‌باشد اما با تاخیر زمانی و این تاخیر را خصوصیات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوزه تعیین

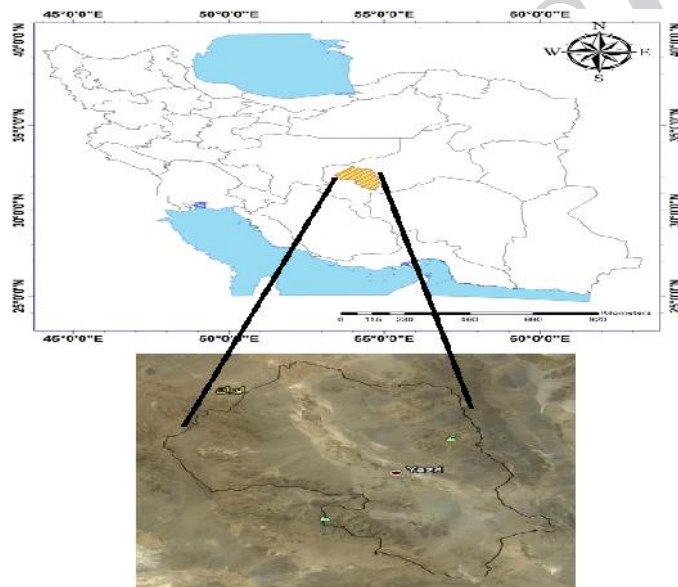
سال اخیر بوده است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه 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 دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد. این دشت از غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیر کوه و از سمت شرق به کوه‌های خرائق منتهی می‌شود. این دشت شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد را در بر می‌گیرد. مساحت حوزه دشت یزد- اردکان ۱۱۷۷۵ کیلومتر مربع است (شکل ۱).

Yasemni و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه دو شاخص SPI و GRI در دشت تربت جام - فریمان به این نتیجه رسیدند که خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدروژئولوژیکی رابطه معنی‌داری به خصوص در مقیاس زمانی طولانی مدت دارد و خشکسالی هیدروژئولوژیکی نسبت به خشکسالی اقلیمی تأخیر فاز زمانی خواهد داشت. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی و بررسی روند خشکسالی هیدروژئولوژیکی دشت یزد- اردکان از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۰ هجری شمسی با استفاده از شاخص GRI است.

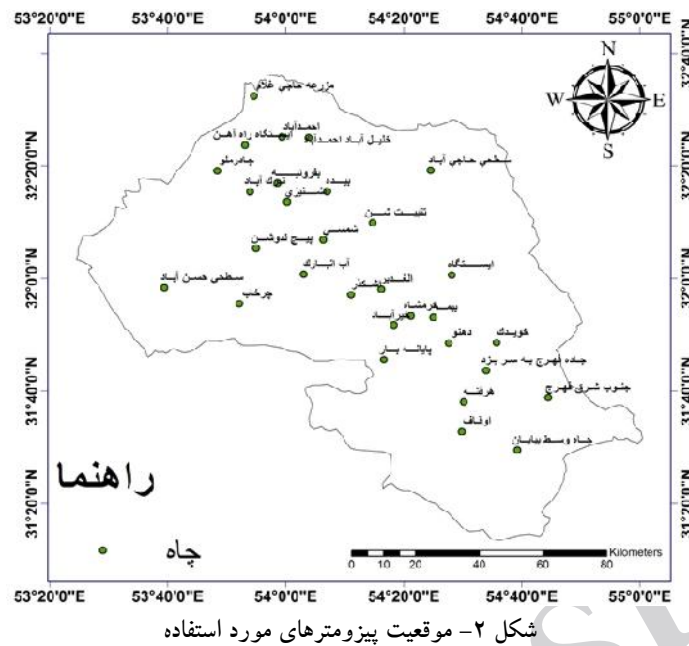


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

که آمار مناسبی در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ داشتند انتخاب شدند. البته داده‌ها به صورت سالانه و مربوط به شهریور هر سال است. موقعیت این چاه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

### روش تحقیق

جهت بررسی وضعیت تغییرات زمانی مکانی شاخص GRI در دشت یزد- اردکان از آمار چاه‌های پیزومتری وابسته به وزارت نیرو (شرکت آب منطقه‌ای استان یزد) استفاده شد. با بررسی آمارهای موجود ۳۰ چاه پیزومتری



توزیع متغیر را به توزیع نرمال تبدیل کرد و سپس از کریجینگ خطی استفاده نمود.

نتایج حاصل از بررسی‌های نرم‌افزارهای مختلف نشان می‌دهد که به‌منظور توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، نرم‌افزار ArcGIS 10.2 جدیدترین و کارآمدترین نرم‌افزار است؛ بنابراین پس از آماده‌سازی، داده‌ها وارد نرم‌افزار ArcGIS شدند تا داده‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی برای هر دوره آماری پهنه‌بندی شوند.

وضعیت داده‌ها از دیدگاه نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت و برای نرمال‌سازی داده‌های غیرنرمال از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی سطح ایستابی آب زیرزمینی در دشت یزد-اردکان با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

درنهایت با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی سطح ایستابی آب زیرزمینی در دشت یزد-اردکان شاخص GRI از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Mendicino et al., 2008).

$$RI = \frac{D_i - D}{S} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (D_i - D)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

Di = ارزش عمق سطح ایستابی در دوره ی مورد نظر

در تعدادی از چاه‌ها خلاء آماری وجود داشت که باید بازسازی می‌شد. برای بازسازی آمار با استفاده از توابع آماری موجود در نرم‌افزار EXCEL (تابع CORREL و تابع FORECAST)؛ میزان ضریب همبستگی چاه‌های 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 را با آن داشت، ترمیم شد.

برای تهیه نقشه شاخص GRI در ابتدا نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه شد. در این تحقیق از روش کریجینگ ساده برای تهیه نقشه پهنه‌بندی و مطالعه مکانی سطح آب زیرزمینی استفاده شد. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ این است که به ازای هر تخمین خطای مرتبط با آنرا می‌توان محاسبه کرد. معمولاً تعداد نقاط همسایگی در حدود ۱۰ نقطه مناسب تشخیص داده شده است. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده، می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه نمود. درحالی‌که در روش‌های کلاسیک این عمل کارایی ندارد. شرط استفاده از تخمین‌گر کریجینگ این است که متغیر تابع، توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر توزیع نرمال نداشته باشد، باید با تبدیلی،

تا ۲- متغییر است اما زمانی که عمق آب زیرزمینی را در فرمول شاخص GRI وارد شود برعکس شاخص SPI هر چه منفی تر شود نشانه ترسالی است (جدول ۱).

D= میانگین عمق سطح ایستابی  
S = انحراف معیار داده ها  
n = تعداد داده‌های مورد مطالعه  
این شاخص نیز مثل شاخص SPI بیشتر مواقع بین ۲+ تا ۲- متغییر است اما زمانی که عمق آب زیرزمینی را در فرمول شاخص GRI وارد شود برعکس شاخص SPI هر چه منفی تر شود نشانه ترسالی است (جدول ۱).

جدول ۱- کلاس بندی شاخص GRI

ردیف	مقادیر GRI	کلاس	ردیف	مقادیر GRI	کلاس
۱	> ۲	خشکسالی بسیار شدید	۵	-۱ تا -۱/۴۹	ترسالی متوسط
۲	۱/۹۹ تا ۱/۵	خشکسالی شدید	۶	-۱/۵ تا -۱/۹۹	ترسالی شدید
۳	۱ تا ۱/۴۹	خشکسالی متوسط	۷	< -۲	ترسالی بسیار شدید
۴	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نرمال			

### نتایج

در این تحقیق برای مطالعه تغییرات مکانی خشکسالی هیدروژئولوژیکی نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی شاخص GRI در دشت یزد-اردکان تهیه گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS میانگین شاخص GRI هر سال دشت یزد- اردکان گرفته شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است

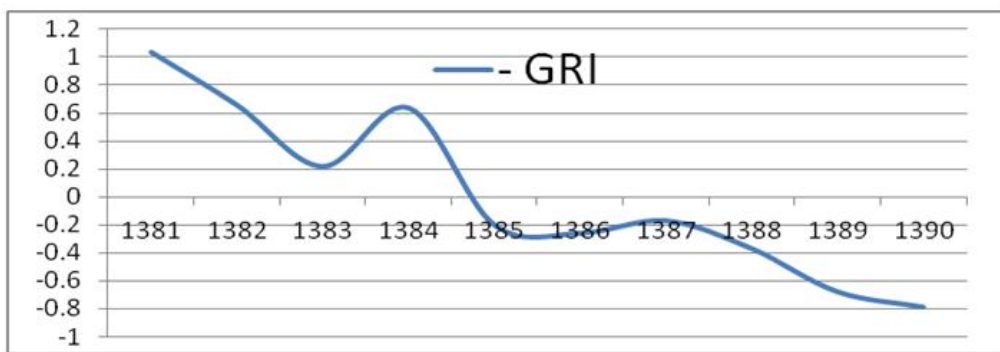
در این تحقیق در نرم‌افزار ArcGIS به جای استفاده از داده‌های سطوح ایستابی، در رابطه GRI، از نقشه‌های سطوح ایستابی هر دوره استفاده شد؛ به عبارت دیگر برای به دست آوردن GRI، نقشه حاصل از تفاضل نقشه‌های سطح ایستابی هر سال و میانگین سطح ایستابی کل دوره بر نقشه انحراف معیار دوره تقسیم شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، متوسط شاخص GRI برای هر سال به دست آمد و نمودار تغییرات زمانی شاخص‌ها رسم شد.

جدول ۲- مقادیر متوسط شاخص GRI

سال	GRI	سال	GRI
۱۳۸۱	-۱/۰۴	۱۳۸۶	۰/۲۶
۱۳۸۲	-۰/۶۶	۱۳۸۷	۰/۱۷
۱۳۸۳	-۰/۲۲	۱۳۸۸	۰/۳۷
۱۳۸۴	-۰/۶۴	۱۳۸۹	۰/۶۸
۱۳۸۵	۰/۲	۱۳۹۰	۰/۷۹

که صعود این نمودار نشانه بهتر شدن وضعیت آبخوان و نزول آن نشانه بدتر شدن وضعیت است (شکل ۳).

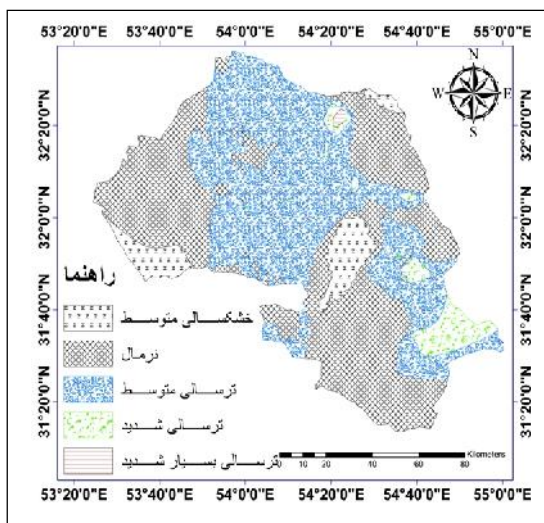
برای نمایش بهتر تغییرات زمانی شاخص GRI و خشکسالی هیدروژئولوژیکی، متوسط شاخص GRI هر سال را قرینه (GRI) کرده و نمودار تغییرات زمانی آن رسم شد



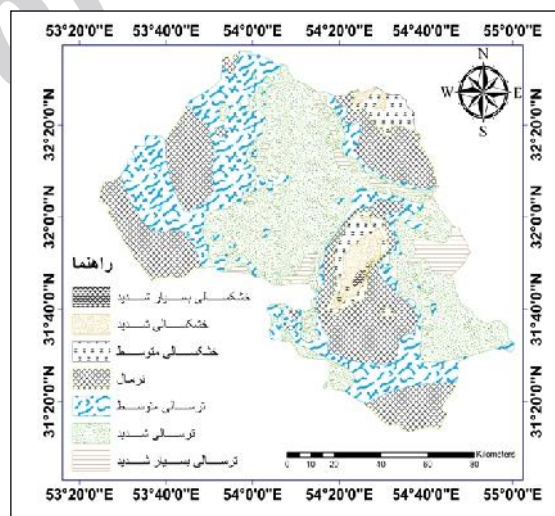
شکل ۳- نمودار تغییرات زمانی متوسط شاخص GRI

۲ و شکل ۳ شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژیکی برمبنای شاخص GRI مربوط به سال ۱۳۹۰ است که پهنه‌بندی مربوط به این سال در شکل (۵) آورده شده است و بهترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۸۱ است (شکل ۴).

شکل‌های ۴ تا ۱۲ تغییرات مکانی شاخص GRI (نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی شاخص GRI) در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. سیر نزولی شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی دشت یزد- اردکان (شکل ۳) نشان دهنده بدتر شدن وضع آبخوان باگذر زمان است. با توجه به جدول

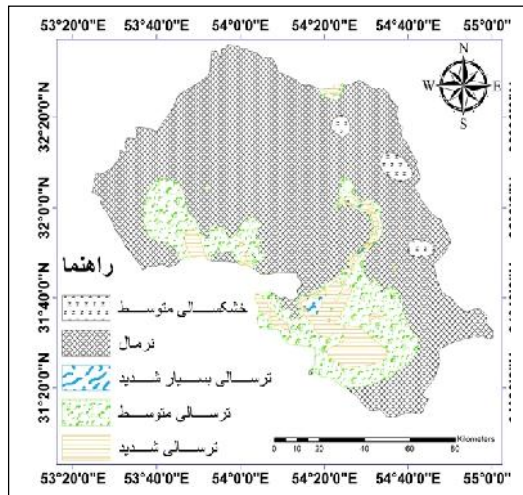


شکل ۵- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۲

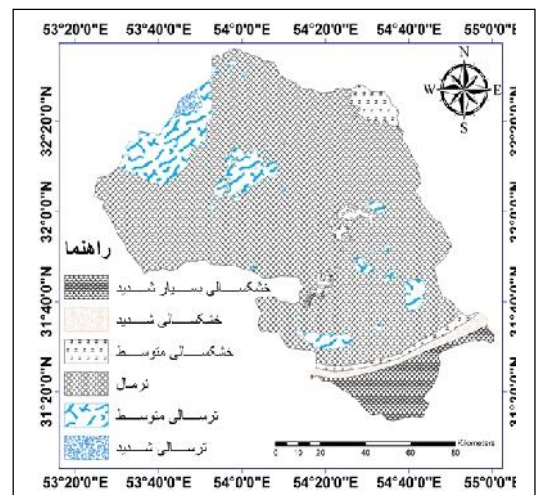


شکل ۴- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۱

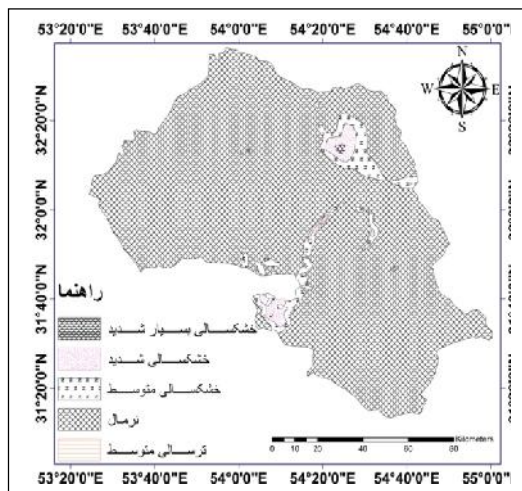




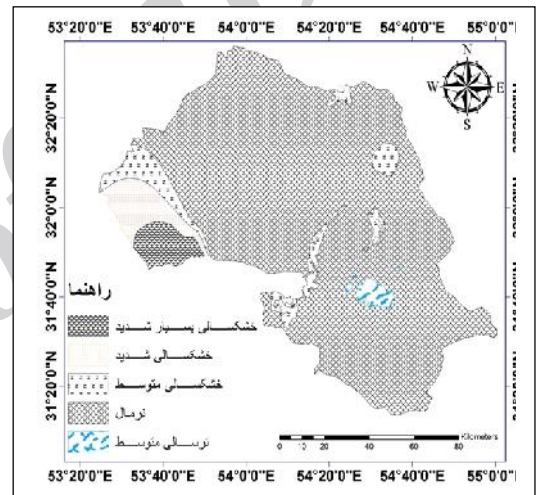
شکل ۷- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۴



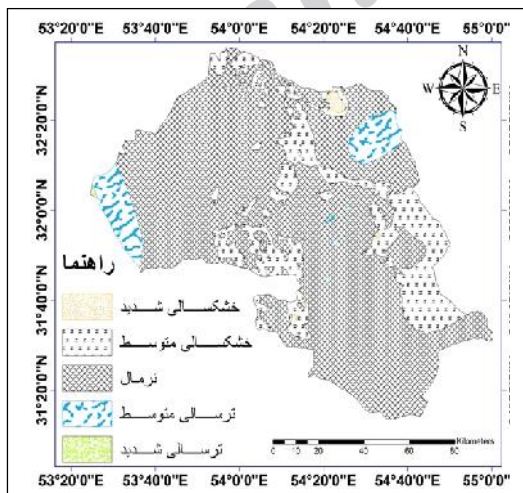
شکل ۶- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۳



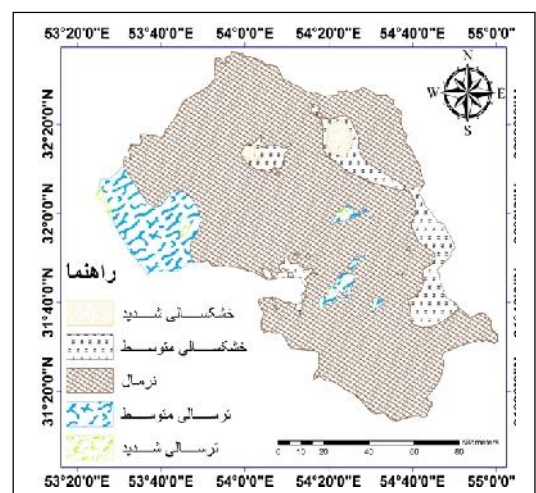
شکل ۹- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۶



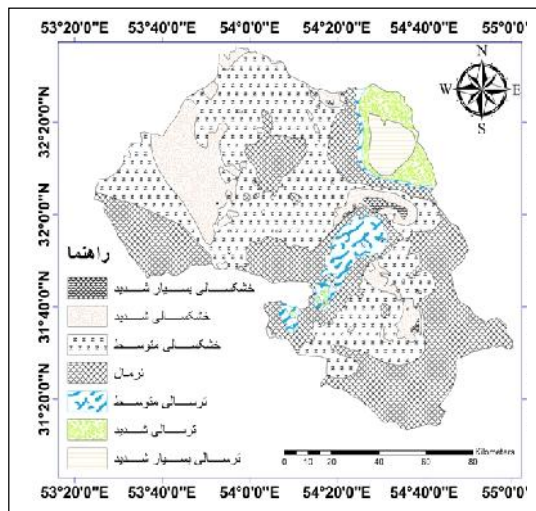
شکل ۸- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۵



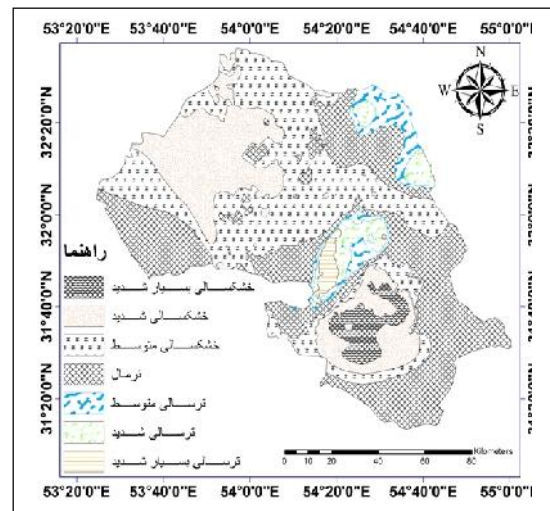
شکل ۱۱- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۸



شکل ۱۰- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۷



شکل ۱۳- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۹۰



شکل ۱۲- نقشه شاخص GRI سال ۱۳۸۹

و شاخص GRI به دست آمد. به نظر می‌رسد این روش به دلیل محاسبه پیکسل به پیکسل شاخص GRI در منطقه مورد مطالعه روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی خشکسالی هیدروژئولوژیکی نسبت به دیگر روش‌ها باشد، البته به مطالعه بیشتری نیاز است.

با توجه به نتایج این تحقیق شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژیکی بر مبنای شاخص GRI مربوط به سال ۱۳۹۰ است (شکل ۱۳) و بهترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۸۱ است (شکل ۴)، که پهنه‌بندی شاخص GRI این سال را نشان می‌دهد. طبق شکل ۳ نمودار قرینه شاخص GRI در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ سیر نزولی داشته است (یعنی خود شاخص سیر صعودی داشته است) به عبارت دیگر به صورت نسبی با گذر زمان، کمیت آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است که با نتایج تحقیق Daneshvar و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد و بر شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی افزوده می‌شود. این نتیجه با نتایج تحقیقات Panda و همکاران (۲۰۰۷)، Shahid و Hazarika (۲۰۰۹) Adhikary و همکاران (۲۰۱۳)، Yazdani و Talaei (۲۰۰۵)، Maleki Nejad و Ghaderi (۲۰۱۱) همخوانی دارد. این سیر نزولی شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی نشان دهنده بدتر شدن وضع آبخوان دشت یزد- اردکان است و اگر با مدیریت صحیح

شکل‌های ۴ تا ۱۳ نشان می‌دهد که اکثر مناطق دشت یزد- اردکان از نظر شاخص GRI دارای وضعیت خشکسالی هیدروژئولوژیکی نرمال است، ولی در هر سال، مناطقی از دشت، دارای خشکسالی بسیار شدید و شدید است که در اکثر مواقع این کلاس‌ها در اطراف شهرهای یزد، اردکان، میبد، اشکذر و مهریز قرار دارد. این امر نشان دهنده برداشت بیش از حد در این مناطق است.

## بحث

خشکسالی از جمله مخاطراتی است که در تمام جوانب زندگی و محیط‌زیست تأثیرگذار است، لذا شناخت تأثیرات آن بر منابع و محیط‌های مختلف، می‌تواند گام مهمی در مدیریت منابع باشد. برای بررسی این تأثیر از شاخص‌های خشکسالی هیدروژئولوژیکی استفاده می‌شود. یکی از این شاخص‌ها شاخص GRI است. در این تحقیق تغییرات مکانی و زمانی تغییرات شاخص GRI در دشت یزد- اردکان در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۰ بررسی شد.

در این تحقیق شاخص GRI با استفاده از نقشه‌های سطح آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد، یعنی به جای گذاشتن داده‌های سطح آب زیرزمینی، در رابطه شاخص GRI، از نقشه‌های بارش هر دوره استفاده شد



- desertification. Annual Report, Jevnva.
- Khan, S., Gabriel, H. F. and Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas, *Irrigation Drainage Systems*, 22: 159-177
- Mahmoudi, F., 2005, Drought: from concept to solution. Armed Forces Geographical Organization, 120p.
- Maleki Nejad, H. and Ghaderi, M., 2001, The study of hydrological drought in the aquifer of Sabzevar Plain. 7<sup>th</sup> National Seminar on Watershed Management, Isfahan, 27-28 April.
- Mendicino, G., Senatore, A. and Versace, P., 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357: 282-302
- Mohseni Saravi, M., Safdari, A., Saghafian, B. and Mahdavi, M., 2004. Severity frequency, duration and area analysis of Karoon basin droughts using the standardized precipitation index (SPI). *Iranian Journal Natural Resources*, 57(4): 707-620.
- Moradi, H. R. and Erfan Nejad, R., 2001, The trend of drought and wet years in the Haraz River, 1st National Conference on Mitigation of Water Crises, Zabol, 8-9 March.
- Panda, D. K., Mishra, A., Jena, S. K., James, B. K. and Kumar, A., 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa. *Indian Journal of Hydrology*, 343: 140-153.
- Peters, E., Bier, G., van Lanen, H. A. J., Torfs, P., 2006. Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Journal of Hydrology*, 321: 257-275.
- Peters, E., van Lanen, H. A. J., Torfs, P. and Bier, G., 2005. Drought in groundwater-drought distribution and performance indicators. *Journal of Hydrology*, 306, 302-317
- Scheidleder, A., Grath, J., Winkler, G., Stark, U., Koreimann, C., Gmeiner, C., Nixon, S., Casillas, J., Gravesen, P., Leonard, J. and Elvira, M., 1999. Ground water quality and quantity in Europe. European Environment Agency.
- Shahid, Sh., Hazarika, M. K., 2009. Groundwater drought in the northwestern district of Bangladesh. *Water Resources Management*, 24(10): 1989-2006.
- Yasemni, S., Mohammad Zadeh, H. and Mosaedi, A., 2012, Studying the effect of drought on groundwater level changes of Torbatjam-Fariman plain by using SPI and GRI. 16<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz, 5-6 September.
- Yazdani, M., Talaei, H., 2005, Assessment of nutritional status of groundwater aquifers for water resources management. 2nd National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, 29-30 February.
- از این امر جلوگیری نشود تبعات جبران ناپذیری را به بار می آورد.
- همچنین با توجه نمودار (شکل ۳) در سال ۱۳۸۴ قرینه شاخص GRI یک صعود نسبی دارد که نشانه بهبود نسبی وضع آبخوان است ولی از بعد سال ۱۳۸۴ دوباره نمودار سیر نزولی پیدا می کند.
- با توجه به نقشه پهنه بندی شاخص GRI در سال ۱۳۹۰ شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی در جنوب و شمال دشت یزد-اردکان زیاد است که به علت تجمع جمعیت و تمرکز مراکز صنعتی استفاده از آبخوان در این مناطق زیاد است.
- در پایان پیشنهاد می شود تحقیقات دیگری در مورد شاخص GRI و شاخص های کیفیت آب های زیرزمینی در بازه زمانی کوتاه تر مثل یک ماه یا سه ماه مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.
- منابع مورد استفاده**
- Adhikary, S., Das, K., Saha, S. K. and Chaki, T., 2013. Groundwater drought assessment for Barind irrigation Project in Northwestern Bangladesh, 20<sup>th</sup> International Congress on Modeling and Simulation. Adelaide, Australia, 1-6 December. www.mssanz.org.au/modsim.
- Calow, R., Robins, N., Macdonald, A. and Nicol, A., 1999. Planning for groundwater drought in Africa. Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub-Saharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 35: 255-270
- Daneshvar, f., Dinpashoh, T., Aalami, m., Jhajharia, D., 2013. Trend analysis of groundwater using non-parametric methods (case study: Ardabil plain), *Stoch Environ Res Risk Assess* 27: 547-559
- Hayes, M., Svoboda, J., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1998. Monitoring the drought using the standardized precipitation index. *Bulltein American Meteorol, Society*, 80(3): 429-437
- Iglesias, E., Garrido, A., and Gómez-Ramos, A., 2003. Evaluation of drought management in irrigated areas. *Agricultural Economics*, 29: 211-229
- Imani, M. and Talebi, A., 2011. The effect of drought on groundwater changes using SPI and GRI (Case Study: Bahabad Plain, Yazd). 4<sup>th</sup> Iran water resources management conference, Tehran, 3-4 May.
- Keneth, H. F., 2003. Climate variation drought and

## Analysis of spatial and temporal trends of groundwater index (GRI) (Case study: Yazd-Ardakan plain)

H. Khosravi<sup>1\*</sup>, E. Haydari<sup>2</sup>, Gh. Zehtabian<sup>3</sup> and J. Bazrafshan<sup>4</sup>

1\*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

2-Ph.D. Student of Deserts Region Management, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

4-Associate Professor, Faculty of Irrigation and Water Management, University of Tehran, Iran

Received:10/16/2013

Accepted:5/11/2014

### Abstract

Yazd-Ardakan plain has been faced with significant reduction of groundwater level in recent years. Therefore, it is expected that studying hydro-geological drought can help the right management of this aquifer. Groundwater Resources Index was used to study hydro-geological drought in Yazd-Ardakan plain. At first, 30 piezometric wells with the same 10-year period (2002-2012) were selected. Then, the zonation maps of annual groundwater level, average groundwater level, and standard deviation were provided by ArcGIS9.3. Finally, GRI map was provided using these maps and GRI relation. According to the obtained results, the most serious annual hydro-geological drought occurred in 2011 with an average GRI of 0.79. According to the GRI zonation map, hydro-geological drought severity is high in northern and southern parts of the study area. It can be due to concentration of population, industrial centers, and excessive harvesting of groundwater in these areas. In addition, the GRI temporal changes indicate the deterioration of Yazd-Ardakan aquifer.

**Keywords:** Geo-hydrological drought, GRI, ArcGIS, Yazd-Ardakan Plain.