

## بررسی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدروژئولوژیکی در یک منطقه خشک (مطالعه موردی: دشت ششده و قره بلاغ)

محمد رضا شکاری<sup>۱\*</sup>، سید جواد ساداتی نژاد<sup>۲</sup>، عباسعلی ولی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۱۰

### چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب بخش کشاورزی دشت ششده و قره بلاغ می‌باشد که در سال‌های اخیر، با افزایش بهره‌برداری بی‌رویه و شرایط خشکسالی، فشار جدی بر این منابع وارد شده است. در تحقیق حاضر، به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی، به ترتیب از شاخص‌های SPI و GRI استفاده شده است. برای محاسبه شاخص SPI، از آمار بارندگی ۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک و همچنین برای محاسبه شاخص GRI، از تراز سطح ایستابی ۱۴ چاه پیژومتری با طول دوره آماری مشترک ۲۱ سال، از سال ۱۳۷۲-۱۳۹۳ استفاده شد. ترسیم هیدروگراف واحد نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی در پایان دوره آماری نسبت به سال ۱۳۷۲، به میزان ۳۶/۹۷ متر افت داشته و میزان متوسط افت سالانه ۱/۷۶ متر است. تحلیل همبستگی پیرسون بین خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی با ضریب تعیین ۴۹ درصد، در سطح اطمینان یک درصد نشان داد که خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی بین ۲۴ تا ۴۸ ماهه بر روی منابع آب زیرزمینی داشته است. نتایج پهنه‌بندی خشکسالی هیدروژئولوژیکی نشان داد که در ابتدا شرایط ترسالی بر آبخوان حاکم بوده، اما از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶، از شدت دوره‌های ترسالی کاسته شده و وضعیت آبخوان در حالت نرمال قرار دارد. از سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ تا پایان دوره آماری، شدت دوره‌های خشکسالی شدید افزایش می‌یابد تا اینکه از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳، خشکسالی‌ها در بیشتر مناطق آبخوان گسترده شده‌اند. از این رو، در چنین شرایط بحرانی، حفظ تعادل آبخوان امری ضروری به نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی هیدروژئولوژیکی، خشکسالی هواشناسی، هیدروگراف واحد، GIS، دشت ششده و قره بلاغ.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول / Email: shekari.reza@gmail.com

۲. دانشیار هیدرولوژی دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳. دانشیار ژئومرفولوژی بیابان دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

## مقدمه

خشکسالی یکی از بلاای طبیعی به دلیل یک دوره خشک غیرعادی است که به اندازه کافی مداوم داشته تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد شود (مرادی و همکاران، ۲۰۱۱). خشکسالی وضعیتی از کمبود بارش و افزایش دماست که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد و شامل کشاورزی، هیدرولوژی و هواشناسی است (صالحوند و همکاران، ۲۰۱۳). در خشکسالی اقلیمی یا هواشناسی، میانگین بلندمدت بارش مبنای مورد استفاده است. خشکسالی آب زیرزمینی یا هیدروژئولوژیکی نیز بر مبنای تغییرات درازمدت میانگین سطح تراز آب زیرزمینی در یک آبخوان است که برای تأمین یک نیاز از پیش تعیین شده کافی نباشد. اگر در طول دوره زمانی مشخص، میزان افت سطح آب زیرزمینی پایین تر از سطح بحرانی نزول یابد که منجر به نتایج مخرب شود، خشکسالی آب زیرزمینی گویند (هیسدال و تالاکسن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). شاخص‌های متعددی برای پایش پدیده خشکسالی پیشنهاد شده است. شاخص بارندگی SPI برای تعیین و پایش خشکسالی توسط (مک کی<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۳) ارائه شده است. ایشان گام‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه را برای شاخص بارندگی استاندارد شده پیشنهاد کردند. شاخص منبع آب زیرزمینی GRI به وسیله مندیسینو<sup>۳</sup>، شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب برای منطقه مدیترانه استفاده شده است (مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸). ایشان از شاخص منابع آب زیرزمینی GRI در یک دوره ۴۵ ساله در مناطق کالابریا با اقلیم مدیترانه‌ای استفاده نموده و با شاخص بارش استاندارد SPI مقایسه کردند. نتایج ایشان نشان داد که هرچه مقیاس زمانی این دو شاخص طولانی‌تر باشد، از همبستگی بیشتری برخوردارند. در این زمینه، مطالعاتی توسط محققان خارجی و داخلی انجام شده است:

پاندا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی برای شناختن و

یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در هند و تأثیر خشکسالی و دخالت بشر در منطقه اریزا، از روش‌های آماری ناپارامتری من-کندال استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افت سطح آب به دلیل کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری، نتوانسته در سال‌های مرطوب با تغذیه جبران شود. در قبل از فصل مانسون، روند تغییرات نشان داد که ۵۹ درصد از ایستگاه‌های ناظر، با تجربه افت آب زیرزمینی روبه‌رو بوده و در مقابل، ۴۱ درصد پس از فصل مانسون برای منطقه مورد مطالعه، تغییرات داشته است. خان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی رابطه بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در یکی از دشت‌های استرالیا، به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارندگی معیار شده و سطح آب زیرزمینی کم عمق منطقه، ارتباطی قوی وجود دارد. مایر و فارس<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) ارزیابی رابطه زمانی- مکانی بین جریان سطحی، بارندگی و آب زیرزمینی از داده‌های تاریخی طولانی مدت با استفاده از آزمون من-کندال در حوضه‌های استفاده کردند؛ نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از کاهش جریان پایه آب‌های سطحی از سال ۱۹۶۰ به بعد بود، در حالی که بارندگی، تأثیر معنی‌داری را در این دوره نشان نداده است. همچنین برداشت از آب‌های زیرزمینی از سال ۱۹۶۰ به بعد، افزایش یافته و نتایج نشان‌دهنده اثر آن بر کاهش تراز سطح ایستابی است. عزیز (۲۰۰۳) با مطالعه رابطه بین خشکسالی و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین نشان دادند که منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر رژیم بارش منطقه و همراه با تأخیر زمانی بوده است و نقش عوامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی، واضح و مشخص است. رزاق‌منش و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که در ۱۶ سال آینده، سطح آب زیرزمینی ۲/۶ متر پایین خواهد رفت و با افزایش برداشت در طولانی مدت، امکان افت سطح ایستابی تا حدود ۵ متر نیز خواهد بود. شکبیا و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI بررسی کردند. نتایج

1. Hisdal & Tallaksen
2. McKee
3. Mendicino
4. Panda

پیزومتری، سطح آب زیرزمینی در همه چاه‌ها روند کاهشی داشته و همبستگی بارش با افت سطح آب زیرزمینی با تأخیر چندماهه رخ داده است. در سال‌های اخیر، افزایش برداشت آب زیرزمینی ناشی از فعالیت‌های نامناسب کشاورزی و همچنین کاهش نزولات جوی و خشکسالی‌های اخیر، منجر به فشار جدی بر منابع آب زیرزمینی دشت شده و قره‌بلاغ شده است. شناخت و بررسی خشکسالی‌های این دشت و سنجش اثرات آن بر روی آب زیرزمینی جهت مدیریت بهینه منابع آب و انجام طرح‌های مختلف در منطقه، از امور مهم در این زمینه محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی و نیز اثرات آن‌ها بر روی نوسانات منابع آب زیرزمینی در دشت شده و قره‌بلاغ است که این مهم با مشخص نمودن تأخیر زمانی این دو نوع خشکسالی و سرانجام نقشه‌های خشکسالی ترسیم می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۴۰ کیلومتر مربع بین طول‌های ۵۳° ۵۶' تا ۵۴° ۱۱' شرقی و بین عرض‌های ۲۸° ۴۹' تا ۲۸° ۵۸' شمالی در جنوب شرقی استان فارس واقع شده است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای است. ارتفاع متوسط دشت ۱۴۶۳ متر، بارش متوسط سالانه در منطقه ۲۹۵/۲ میلی‌متر و میزان تبخیر متوسط سالانه ۲۱۹۰/۷ میلی‌متر است. متوسط دما در نواحی دشت ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد است. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به‌نحوی است که سازندهای این منطقه، بیشتر کارستی بوده که دارای قابلیت نفوذپذیری بسیار خوبی است. رسوبات دشت شامل رسوبات دوران چهارم از نوع آبرفتی دانه‌ریز (کواترنری) است. منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش چاه‌های پیزومتری در شکل (۱) نشان داده شده است.

تحقیق ایشان در رابطه با تأثیر خشکسالی شاخص بارندگی استاندارد شده بر منابع آب زیرزمینی نشان دادند که خشکسالی‌ها بر افت سطح آب‌های زیرزمینی، تأثیر بسزایی دارند. همچنین آن‌ها با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که SPI شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است. صیف و همکاران (۲۰۱۱) وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی ۱۳۷۲-۱۳۸۸ را با استفاده از شاخص GRI محاسبه کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مقدار GRI دارای روند کاهشی بوده و در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸، خشکسالی با درجات بالا بر منابع آب زیرزمینی این منطقه رخ داده است. اکرامی و همکاران (۲۰۱۱) ضمن بررسی دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی، آب و زمین‌شناسی در دشت یزد - اردکان، با استفاده از دو شاخص SPI و GRI، تأخیر زمانی بین رخداد خشکسالی هواشناسی و به‌دنبال آن، خشکسالی آب و زمین‌شناسی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده شدت و تداوم خشکسالی‌ها مخصوصاً خشکسالی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر، و وجود تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و تأثیر آن بر آب‌دهی قنوات دشتی و کوهپایه‌ای بوده است. ایمانی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI به بررسی آثار خشکسالی طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۸۷ سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده افت شدید سفره آب زیرزمینی در دهه اخیر و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی درازمدت SPI با مقیاس ۴۸ ماهه با سطح آب زیرزمینی بوده است، که نشان داد خشکسالی آب زیرزمینی نسبت به خشکسالی هواشناسی تأخیر مرحله زمانی دارد. خورانی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی، میزان هم‌زمانی روند خشکسالی و افت سطح آب توسط آزمون ناپارامتری من-کندال را در دشت داراب فارس مورد بررسی قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در منطقه مورد نظر، خشکسالی‌هایی اتفاق افتاده و روند بارش نیز کاهشی بوده و براساس نتایج تحلیلی از ۴۲ حلقه چاه

### شاخص منبع آب زیرزمینی GRI

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI به وسیله مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸)، شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پیش وضعیت خشکسالی آب برای منطقه مدیترانه استفاده شده است که محاسبه آن با استفاده از رابطه (۲) به دست می آید:

$$GRI = \frac{D_{Y,M} - \mu_{D,M}}{\sigma_{D,M}} \quad (2)$$

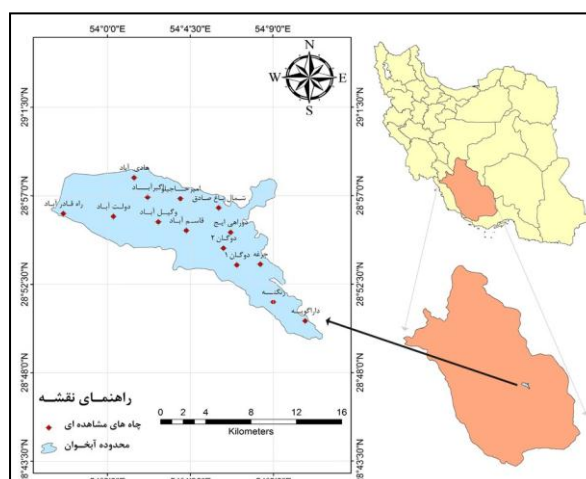
که در آن،  $D_{Y,M}$  مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال  $Y$ ،  $\mu_{D,M}$  میانگین و  $\sigma_{D,M}$  انحراف معیار مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $M$  است.

طبقات مختلف شاخص SPI و GRI در جدول (۲) نشان داده شده است. هرچه مقادیر آن از مثبت ۲ بیشتر باشد، ترسالی شدیدتر و هرچه این مقادیر از منفی ۲ کمتر باشد، بیان کننده خشکسالی شدیدتر است.

جدول (۲): وضعیت خشکسالی و ترسالیها برحسب مقادیر SPI و GRI

طبقات	وضعیت	مقادیر SPI	مقادیر GRI
۱	ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر	۲ و بیشتر
۲	ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹
۴	نزدیک به بهنجار	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵	-۱/۹۹ تا -۱/۵
۷	خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر	-۲ و کمتر

در این پژوهش، ابتدا برای بررسی خشکسالی هواشناسی، از آمار بارندگی ماهانه ۸ ایستگاه سینوپتیک و باران سنجی داخل و خارج محدوده آبخوان با در نظر گرفتن شرایط آماری و پراکنش مناسب با دوره آماری مشترک ۲۱ سال توسط شاخص SPI به کمک DIP استفاده شد. بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی و برای همگنی دادهها نیز از آزمون ران تست استفاده شد. سپس تغییرات خشکسالی هواشناسی در گامهای زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی شد. برای بررسی تغییرات آب زیرزمینی، از شاخص خشکسالی آب زیرزمینی GRI با استفاده از دادههای ماهانه تراز سطح ایستابی ۱۴ حلقه چاه پیرومتری موجود با طول دوره آماری ۲۱ سال از مهر ۱۳۷۲ تا شهریور ۱۳۹۳ استفاده شد. بدین منظور، سطح تراز آب زیرزمینی در این



شکل (۱): موقعیت آبخوان دشت قره بلاغ و چاههای پیرومتری منطقه

### روش تحقیق

در مطالعه تغییرات خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی منطقه و تحلیل آن‌ها، از شاخص‌های SPI و GRI استفاده می‌شود تا امکان ارزیابی آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی میسر شده و نیز بتوان درباره شدت وقوع آن اظهار نظر نمود. محاسبه این دو شاخص شبیه به هم بوده اما در محاسبه شاخص SPI میزان بارش و در محاسبه شاخص GRI، سطح آب زیرزمینی مبنای مطالعه است.

### شاخص بارندگی استاندارد SPI

بارندگی‌های طولانی هر منطقه، اساس محاسبه این شاخص است. توزیع آماری مناسبی که آمار بارندگی با آن برآزش داده شده، معمولاً توزیع گاما بوده است، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (ادواردز<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷؛ سومز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵). شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت SPI توسط این شاخص برآورد می‌شود که نحوه محاسبه آن طبق رابطه (۱) است:

$$SPI = \frac{D_{Y,M} - \mu_{D,M}}{\sigma_{D,M}} \quad (1)$$

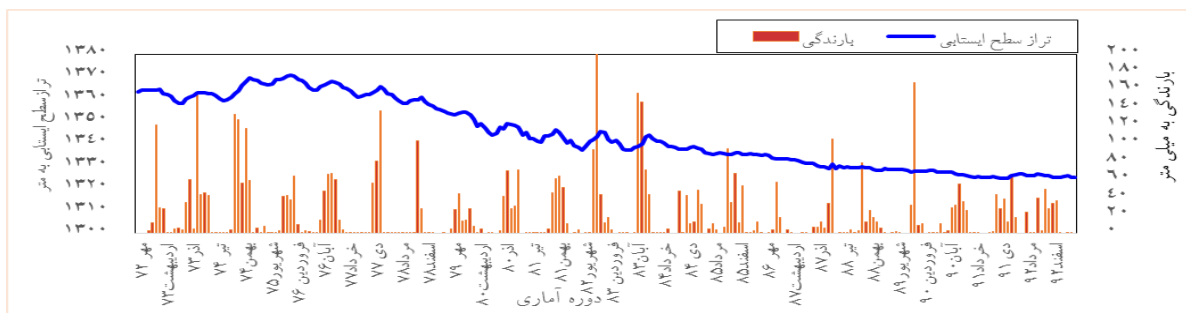
که در آن،  $D_{Y,M}$  مقادیر ارتفاع بارش در سال  $Y$ ،  $\mu_{D,M}$  میانگین و  $\sigma_{D,M}$  به ترتیب، انحراف معیار مقادیر ارتفاع بارش در ماه  $M$  است.

مجذور عکس فاصله در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد.

### نتایج

بررسی هیدروگراف واحد در آبخوان دشت ششده و قره‌بلاغ، اثرات مدیریت اعمال شده در منطقه و همچنین اثرات کمبود بارش و یا خشکسالی‌ها را مشخص می‌کند. از این رو، ترسیم هیدروگراف واحد آبخوان برای مدیریت منابع آب زیرزمینی در حال و آینده، امری ضروری است. نتایج هیدروگراف واحد دشت نشان داد که میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت در طول ۲۱ سال، برابر ۳۶/۹۷ متر بوده که متوسط آن در هر سال برابر ۱/۷۶ متر است.

دوره آماری، به نرم افزار DIP وارد شد. علت استفاده از این نرم افزار برای محاسبه خشکسالی‌ها به لحاظ ساختار مشابه این دو شاخص خشکسالی است. ارتباط زمانی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی نیز توسط آزمون همبستگی پیرسون انجام گرفت. برای بررسی وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی دشت، در ابتدای امر هیدروگراف واحد آبخوان ترسیم شد. برای ترسیم هیدروگراف واحد در آغاز با استفاده از روش پلی گون تیسن سطح مؤثر مربوط به هر یک از چاه‌های پیژومتری تعیین شد و تراز سطح ایستابی با توجه به سطح مؤثر هر پیژومتر محاسبه گردید. سپس در پایان تحقیق، برای تحلیل و درک بهتر تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت، نقشه‌های آن با استفاده از روش



شکل (۲): تغییرات تراز سطح ایستابی و بارندگی آبخوان دشت ششده و قره‌بلاغ

می‌دهد که از مرداد سال ۱۳۷۳ تا مرداد سال ۱۳۷۵، ترسالی‌هایی با طبقات متوسط تا خیلی شدید اتفاق افتاده است. دوره‌های خشکسالی نیز از شهریور تا آذر سال ۱۳۷۸ خشکسالی متوسط تا شدید و از فروردین تا شهریور سال ۱۳۷۹ خشکسالی متوسط و خیلی شدید و از فروردین تا تیرماه ۱۳۸۰ نیز خشکسالی متوسط تا شدید رخ داده است. در دوره ۷ ماهه فروردین تا مهر و ماه‌های دی و بهمن سال ۱۳۸۷، خشکسالی بسیار شدید و همچنین از خرداد تا دی ۱۳۸۹ نیز خشکسالی متوسط تا شدید در منطقه اتفاق افتاده است. اما در مابقی سال‌ها، بیشتر وضعیت نزدیک به نرمال و چند ترسالی و چند رخداد خشکسالی متوسط در بعضی سال‌ها بر منطقه حاکم شده و نمودار SPI با نوسانات کم و بیش همراه بوده است. نمودار ترسیمی SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان داد که دو دوره خشکسالی خیلی شدید در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۷ رخ داده است. همچنین در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۹، چندین دوره خشکسالی

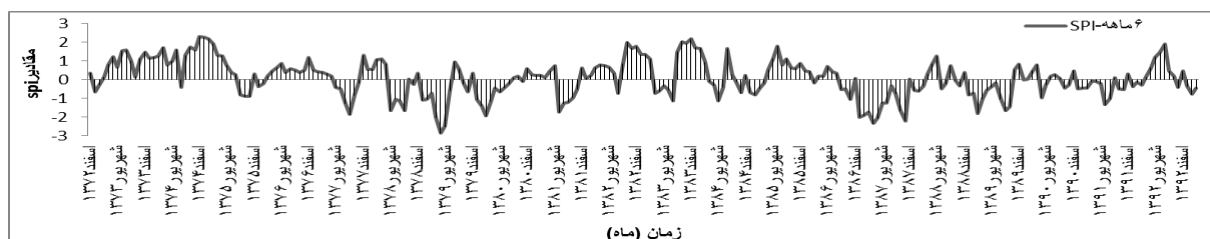
شکل (۲) تغییرات هیدروگراف آبخوان همراه با تغییرات بارندگی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در بررسی هیدروگراف واحد مشاهده می‌شود که در ابتدای دوره آماری، تراز سطح آب زیرزمینی بالا بوده و پس از طی نوساناتی در سال ۱۳۷۵، به بالاترین مقدار در طول دوره آماری رسیده است و از این تاریخ به بعد، هیدروگراف واحد تقریباً یک روند کاهشی داشته و این روند حفظ شده تا اینکه نهایتاً در سال ۱۳۹۳، به کمترین مقدار خود رسیده است.

### بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی

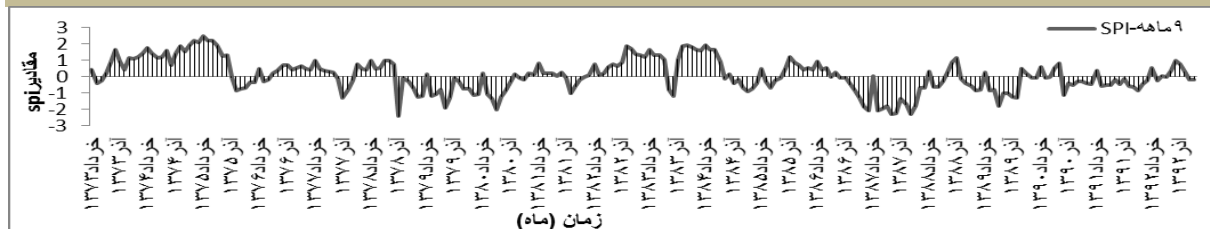
برای بررسی خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای بارندگی معرف منطقه محاسبه شده است. علت انتخاب SPI تا ۴۸ ماهه این بود که در فصل تابستان، میزان بارش تقریباً صفر یا ناچیز بوده است. مطابق شکل (۳) نمودار مقیاس زمانی ۶ ماهه SPI نشان

۱۳۸۷-۱۳۸۸ و دوره‌های خشکسالی متوسط در سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ قابل رؤیت است. همچنین وقوع دوره ترسالی متوسط در سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۴ و ترسالی شدید در سال ۱۳۷۵ در سری‌های زمانی قابل ملاحظه است (اشکال ۴ تا ۶). بنابراین سری‌های زمانی ۶ ماهه و بالاتر، خشکسالی هیدرولوژی و هیدروژئولوژیک را به مراتب بهتر نمایش می‌دهند؛ پس می‌توان توسط این سری‌ها، احتمال وجود خشکسالی آب زیرزمینی را نیز تأیید کرد.

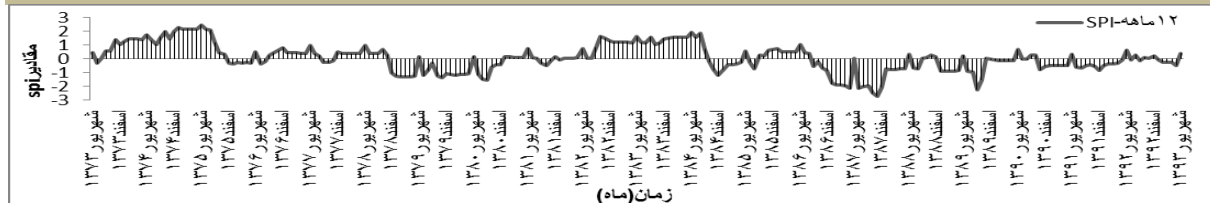
متوسط تا شدید رخ داده است. بیشترین شدت و تداوم خشکسالی در سال ۱۳۸۷ قابل نمایان است (شکل ۳). هرچه سری زمانی افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آن‌ها کمتر می‌شود (شهید و همکاران، ۲۰۱۰). به همین دلیل، سری‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه فروانی تعداد دوره‌های خشکی را کمتر ولی تداوم آن‌ها را بیشتر نمایش می‌دهند. مطابق با نمودارهای حاصل از سری‌های مذکور، دوره‌های نسبتاً طولانی خشکسالی خیلی شدید و شدید در سال‌های آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰،



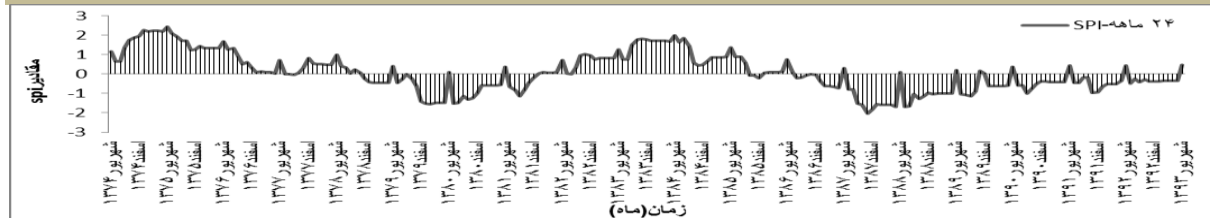
شکل (۳): تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه



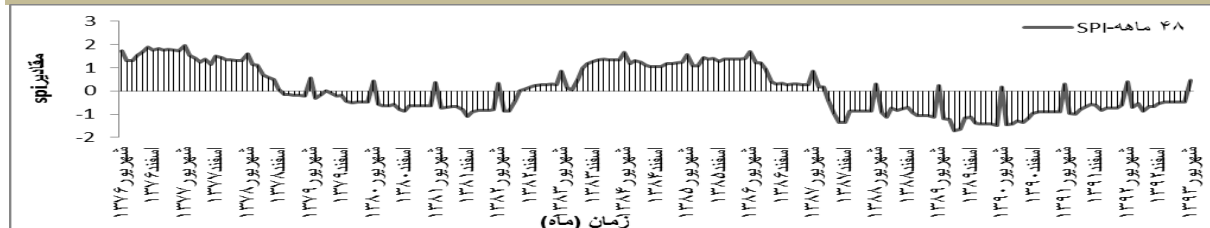
شکل (۴): تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۹ ماهه



شکل (۵): تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه



شکل (۶): تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه



شکل (۷): تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه

## بررسی تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی های

### هواشناسی و هیدروژئولوژیکی

روش آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی تأخیر زمانی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی و ارتباط بین آن‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی ماهانه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص SPI در سطح اطمینان یک درصد با

شاخص GRI در مقیاس‌های مختلف ماهانه ارتباط دارد و با افزایش مقیاس‌های زمانی میزان همبستگی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار همبستگی مطابق جدول (۳) به رابطه بین SPI-۲۴ ماهه و GRI-۴۸ ماهه با ضریب همبستگی ۴۹ درصد در سطح اطمینان یک درصد تعلق دارد.

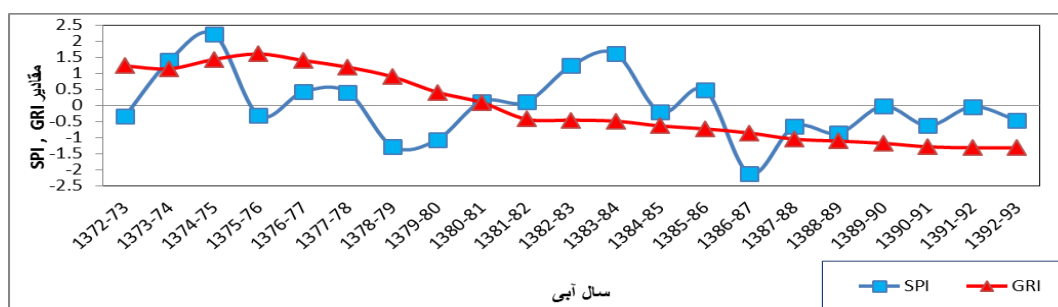
جدول (۳): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI ماهانه و شاخص GRI

	SPI ۶ ماهه	SPI ۹ ماهه	SPI ۱۲ ماهه	SPI ۲۴ ماهه	SPI ۴۸ ماهه
GRI ۶ ماهه	۰/۲۲**	۰/۳۰**	۰/۳۲**	۰/۳۶**	۰/۳۵**
GRI ۹ ماهه	۰/۲۴**	۰/۳۲**	۰/۳۴**	۰/۳۷**	۰/۳۶**
GRI ۱۲ ماهه	۰/۲۴**	۰/۳۲**	۰/۳۶**	۰/۳۸**	۰/۳۶**
GRI ۲۴ ماهه	۰/۳۱**	۰/۳۸**	۰/۴۱**	۰/۴۳**	۰/۴۰**
GRI ۴۸ ماهه	۰/۳۵**	۰/۴۱**	۰/۴۴**	۰/۴۹**	۰/۴۶**

\*\* نشان‌دهنده همبستگی در سطح ۱ درصد

سپس با تأخیر ۲۴ تا ۴۸ ماهه در سال‌های آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۲-۱۳۸۳ میزان آن میزان آن منفی شده است یا به بیان دیگر، خشکسالی آب زیرزمینی اتفاق افتاده است (شکل ۸). بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که خشکسالی هیدروژئولوژیکی در سفره آب زیرزمینی دشت ششده و قره‌بلاغ، با تأخیری ۲۴ تا ۴۸ ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است.

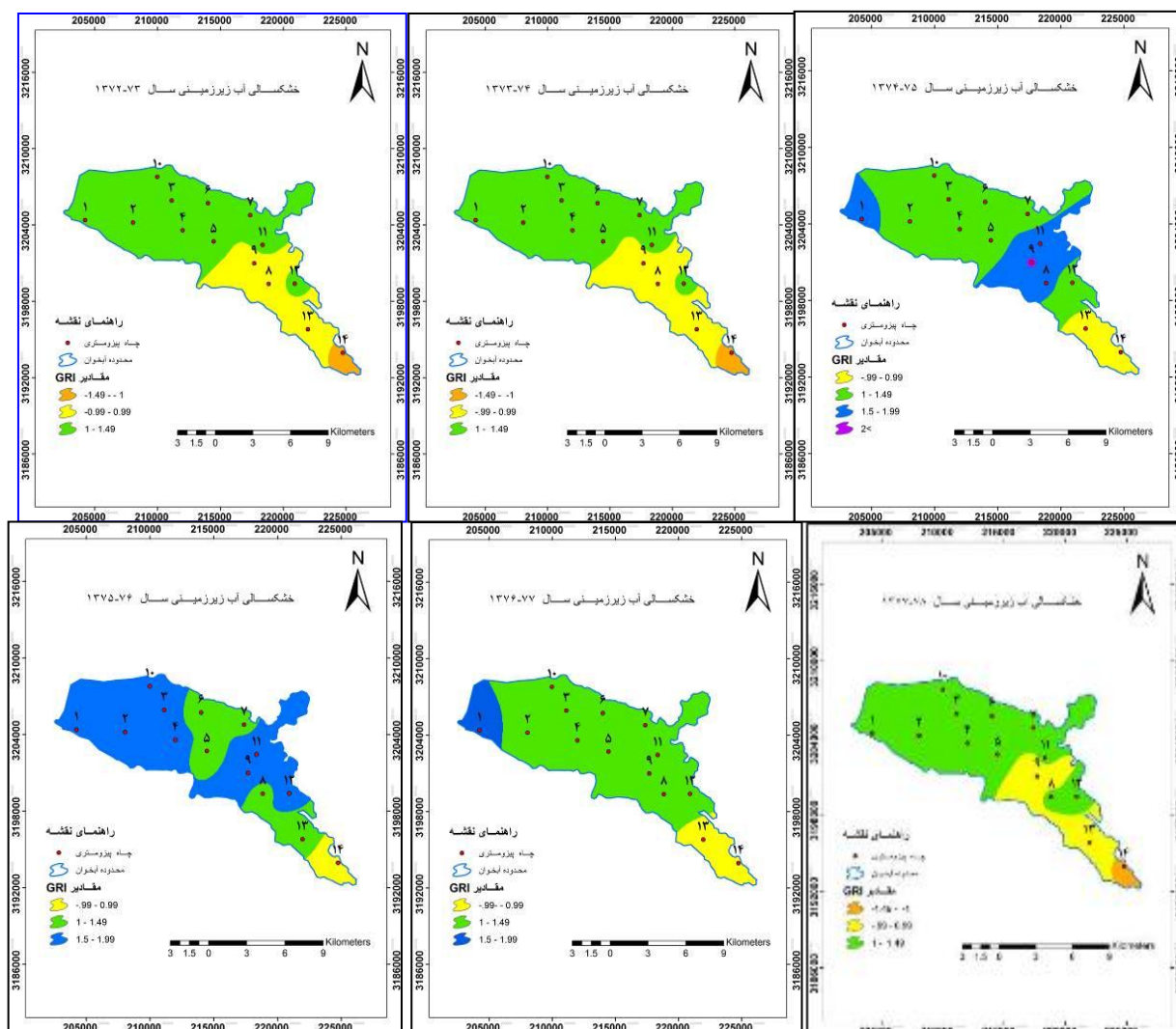
بنابراین می‌توان بیان کرد که خشکسالی هواشناسی در منطقه با تأخیر ۲۴ ماهه روی منابع آب زیرزمینی دشت ششده و قره‌بلاغ تأثیر دارد. همچنین با توجه به نتایج نمودارهای ترسیمی ارائه شده در مقیاس‌های مختلف ماهانه و براساس هیستوگرام سالانه شاخص‌های SPI و GRI مشاهده می‌شود که در سال‌های آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۳۸۰ با وجود خشکسالی هواشناسی، مقدار شاخص GRI در همین زمان‌ها مثبت بوده و



شکل (۸): تغییرات شاخص SPI و GRI در مقیاس سالانه

پهنه‌بندی براساس شاخص خشکسالی GRI در محیط GIS صورت گرفت. برای این منظور از داده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری استفاده شد.

نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳، با استفاده از روش میان‌یابی مجذور عکس فاصله استخراج شدند (اشکال ۹، ۱۰ و ۱۱).

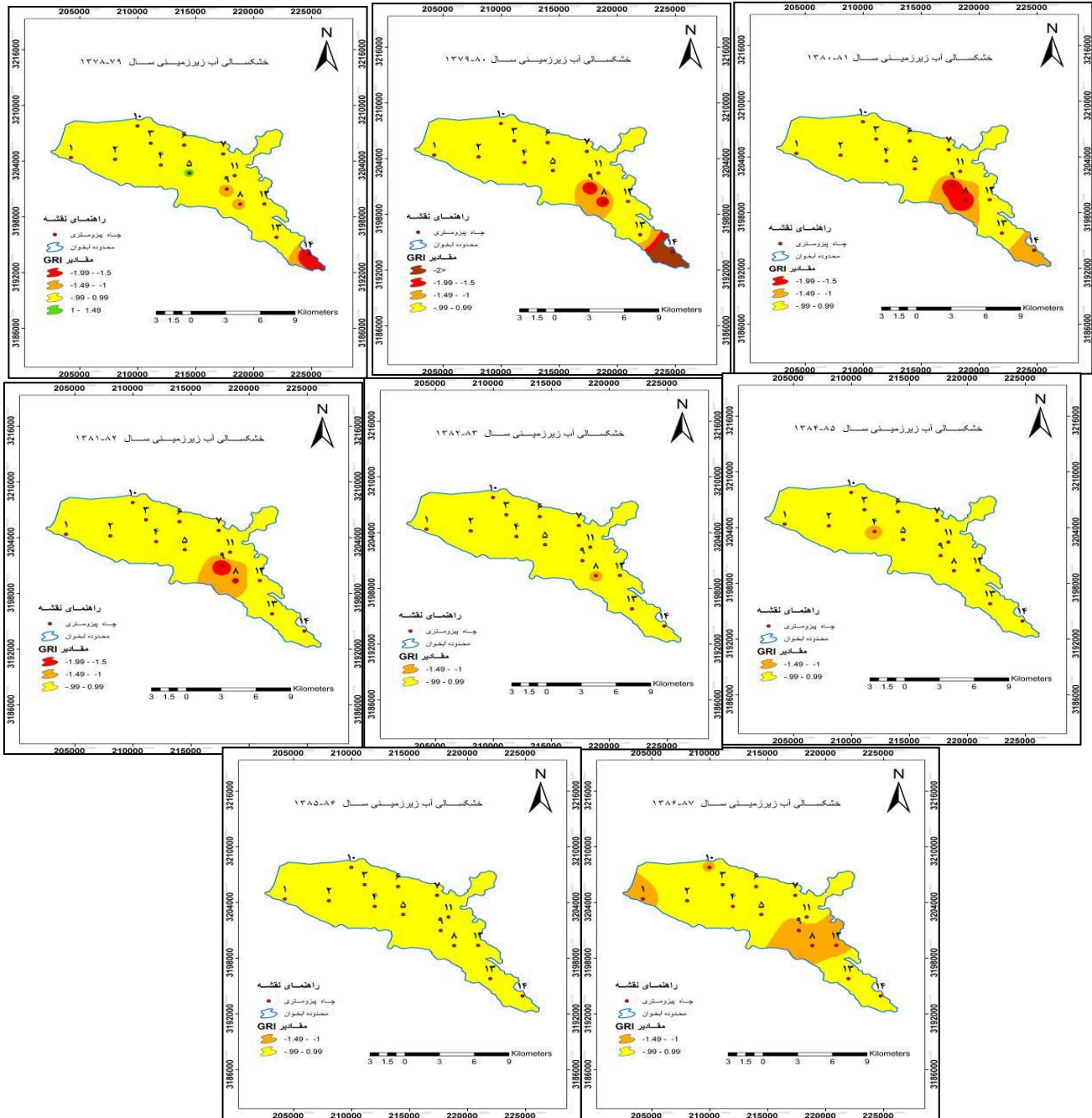


شکل (۹): خشکسالی آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۷۷

به‌استثنای بخش‌های جنوبی دشت، که در واقع شامل محدوده‌هایی در اطراف چاه‌های پیژومتری داراکویه و زنگنه است، در سایر پیژومترها، شرایط ترسالی متوسط حاکم بوده و شرایط آبخوان در حالت مطلوبی قرار دارد و این حالت در طی این چند سال تقریباً حفظ شده است (شکل ۹).

نقشه‌های خشکسالی آب زیرزمینی دشت شده و قره‌بلاغ تغییرات مکانی وضعیت منابع آب زیرزمینی (ترسالی و خشکسالی‌ها) را براساس شاخص GRI طی سال‌های گذشته تاکنون نشان داده است. نتایج حاکی از آن است که وضعیت آب زیرزمینی در ابتدای دوره آماری از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۷،

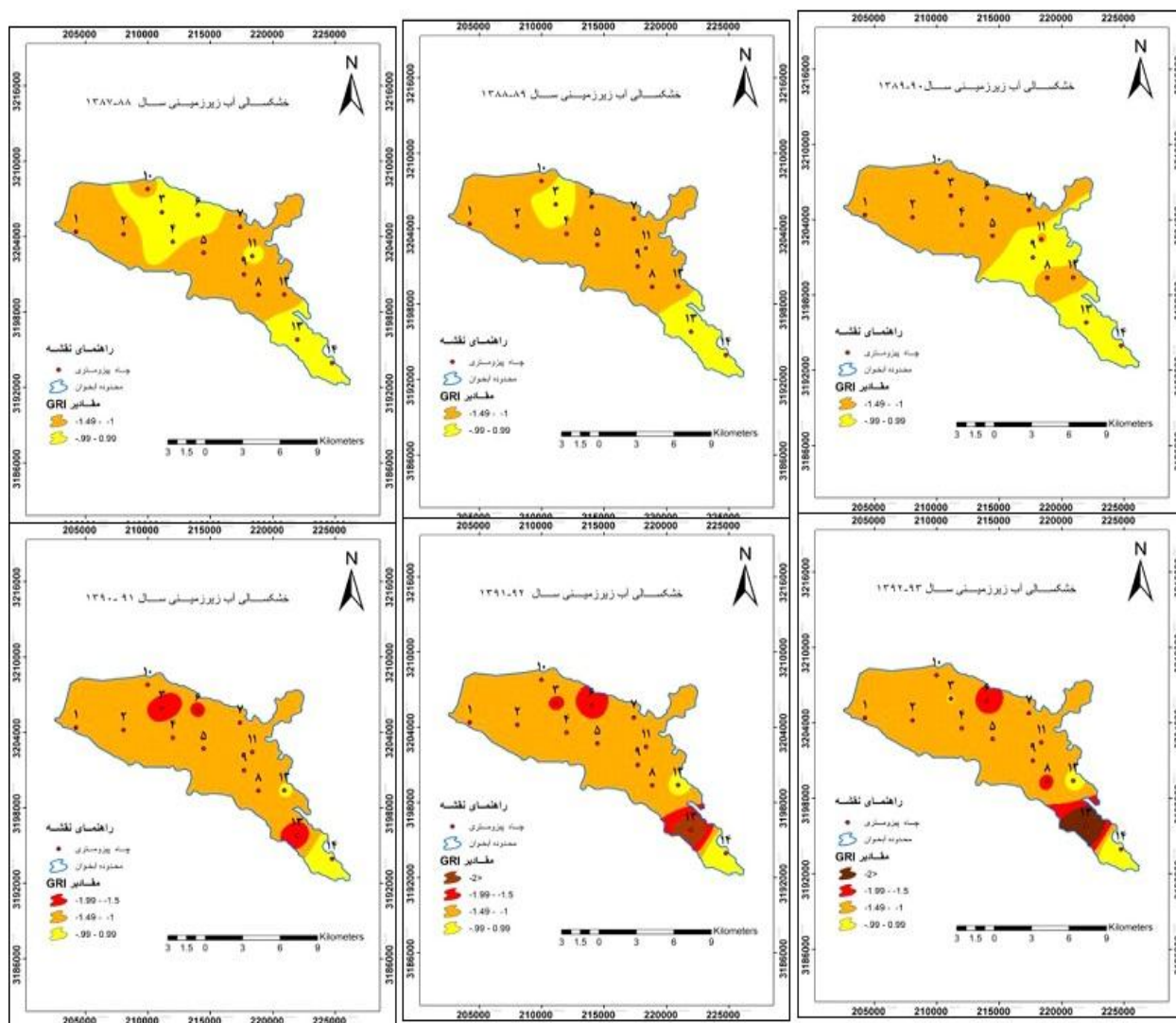




شکل (۱۰): خشکسالی آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۶

۱۳۷۸-۱۳۸۷ بیشتر از زمان‌های ماقبل به وقوع پیوسته است (شکل ۱۱). از سال ۱۳۸۸-۱۳۸۹ خشکسالی متوسط در بخش‌های زیادی از آبخوان گسترش یافته و همچنین از سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ تا سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳، به‌استثنای پیزومترهای داراکویه و جرغه که در کلاس نزدیک به نرمال قرار دارند، خشکسالی متوسط در سرتاسر آبخوان حاکم شده است، ولی در اطراف پیزومترهای زنگنه، امیرحاجیلو، وکیل‌آباد، دوگان ۱ نیز خشکسالی با کلاس شدید و خیلی شدید مشاهده می‌شود.

همان‌طور که نقشه‌های ترسیمی (شکل ۱۰) نشان می‌دهند، از سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ تا سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ شرایط ترسالی تغییر کرده و وضعیت به کلاس نرمال تغییر پیدا کرده است؛ حتی در برخی سال‌ها خشکسالی متوسط و شدید در اطراف پیزومترهای داراکویه، دوگان ۱، دوگان ۲، جرغه و راه قادرآباد مشاهده شده است. وضعیت نرمال خشکسالی هیدروژئولوژیکی تا حدودی بیان‌کننده تعادل بین تغذیه و تخلیه آبخوان است. شدت و گستردگی خشکسالی در سال آبی



شکل (۱۱): خشکسالی آب زیرزمینی در سالهای ۱۳۸۷-۱۳۹۳

در کل پهنه آبخوان گسترش یافته‌اند. قبلاً نیز بیان شد که با توجه به هیدروگراف واحد آبخوان از ابتدای دوره آماری، وضعیت منابع آب زیرزمینی با افت و خیزهایی همراه بوده و از سال ۱۳۷۷ به بعد، روند نزولی تراز سطح آب زیرزمینی تقریباً حفظ شده و در سال‌های اخیر به اوج خود رسیده است. افت حادث شده در سطح ایستایی آبخوان با نقشه‌های خشکسالی هیدروژئولوژیکی نیز کاملاً مطابقت دارد. همچنین تحقیقات انجام گرفته توسط خورانی و همکاران (۲۰۱۴)، ایمانی و همکاران (۲۰۱۱)، صیف و همکاران (۲۰۱۱) و عزیز (۲۰۰۳) در ارتباط با وضعیت منابع آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی ایجاد شده تحت شرایط خشکسالی و برداشت بی‌رویه، با یافته‌های تحقیق مطابقت دارد.

شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی در رابطه با تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، ضمن بررسی نوسانات ماهانه آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۳۰ ساله، ضریب همبستگی بین دو شاخص مذکور را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی هواشناسی با منابع آب ارتباط دارد و همچنین خشکسالی‌های رخ داده در افت سطح آب زیرزمینی، تأثیر بسزایی گذاشته است که با نتایج این بخش تحقیق مطابقت دارد. بررسی کلی نقشه‌های ترسیمی نشان می‌دهد که در ابتدای دوره آماری، ترسالی در گستره وسیعی از آبخوان رخ داده و تمرکز آن به استثنای بخش جنوبی در بیشتر بخش‌های آبخوان بوده است. به مرور زمان، این ترسالی‌ها با شرایط نرمال و سپس خشکسالی متوسط و حتی شدید و در سال‌های اخیر جایگزین شده‌اند و

### بحث و نتیجه گیری

تغییرات هیدروگراف در سال‌هایی که شرایط ترسالی شاخص SPI بر وضعیت آبخوان حاکم است، خود دلیل محکمی بر این ادعاست. نقشه‌های خشکسالی آب زیرزمینی گویای این موضوع است که برداشت بیش از حد، عامل اصلی و همچنین کاهش بارندگی، باعث ایجاد طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در سطح دشت شده است. در سال‌های اخیر، دوره آماری میزان فشار بر روی منابع آبی، توأم با تشدید شرایط خشکسالی به‌ویژه در بخش‌های جنوبی، شمالی و مرکزی دشت، باعث شده تا میزان افت سطح آب زیرزمینی روند نزولی داشته باشد. بنابراین، کاهش سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی را به عواملی از قبیل برداشت بیش از حد، کاهش بارندگی (شرایط خشکسالی)، ازدیاد جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و تعداد زیاد چاه‌ها در دشت مورد مطالعه عنوان کرد. با توجه به نتایج ارائه‌شده با روند کنونی برداشت، امکان بهره‌برداری بیشتر از آبخوان دشت وجود ندارد. بنابراین پیشنهاد شده است که برای حفظ و حراست از منابع آبی این دشت که در موقعیت شدید بحرانی واقع شده، با انجام طرح‌های تغذیه مصنوعی، تغییر الگوی کشت، کاهش ساعت استفاده از چاه‌های کشاورزی، میزان افت سطح ایستابی صورت‌گرفته در دشت، کنترل و جبران شود.

در این تحقیق، وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت ششده و قره‌بلاغ تحت شرایط خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۲۱ ساله، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در ابتدا هیدروگراف واحد آبخوان برای بررسی تغییرات سطح تراز ایستابی آبخوان ترسیم شد. تغییرات هیدروگراف واحد نشان داد که سطح آب زیرزمینی در سال‌های اولیه در وضعیت متعادل و مطلوب بوده و با گذشت زمان، روندی نزولی یافته است به‌گونه‌ای که این دشت در طی دوره زمانی ۲۱ ساله، ۳۷ متر افت سطح ایستابی داشته است. متوسط افت سالیانه نیز ۱/۷۶ متر بود که دلیل این امر خشکسالی‌های اخیر و افزایش چاه‌های بهره‌برداری و برداشت از آن‌ها علی‌رغم بحرانی بودن دشت است. خشکسالی آب زیرزمینی متأثر از خشکسالی هواشناسی است، بنابراین، در بررسی ارتباط یا تأخیر زمانی خشکسالی‌ها از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. ضرایب همبستگی علی‌رغم اینکه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، از دقت کافی برخوردار نبودند. این امر به‌خوبی نشان داد که تنها خشکسالی هواشناسی عامل مؤثر بر کاهش سطح آب زیرزمینی منطقه نبوده، بلکه برداشت بیش از حد از ظرفیت آبخوان نیز بایستی در نظر گرفته شود. روند کاهش

### منابع

- Azizi, G., 2003. Communication the recent drought and groundwater resources in the plain of Qazvin, *Journal of geographical Researches* 46, 131-143. (In persian)
- Edwards, D.C., McKee, T.B., 1997. Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time series (Doctoral dissertation, Master thesis, Colorado State University).
- Ekrami, M., Maleki Nejad H., Ekhtesasi, M.R., 2011. Effect of climatic drought on the discharge of some aqueducts Yazd-Ardakan plain, *International Conference traditional knowledge Water Resource Management*, aqueduct International Centre and water historic structures, Yazd, Iran. (In persian)
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Peters, E., Stahl, K., Zaidman M., 2000. Drought event definition. *Aride Technical Rep*, 6.
- Imani, M., Talebi, A., 2011. Effects of drought on groundwater level changes Yazd Bahabad plain using indicators SPI & GRI, *4th conference of Iran Water Resources Management*, University of Tehran AmirKabir, Iran. (In persian)
- Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(2): 159-177.
- Khorani, A., khajeh, M., 2014. Evaluation the Synchronicity drought trend and groundwater surface lessening Case Study of Darab plain, *Journal of Humanities teacher (Spatial Amayesh & Planning)*, 18(2): 79-57. (In persian)
- Mair, A., Fares, A., 2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation on streamflow, *Journal of hydrology*, 393(3): 287-308.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and

- duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179-183 pp., Boston, MA, USA: American Meteorological Society.
10. Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P., 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3):282-302.
  11. Moradi, H.R., Rajabi, M., Faragzadeh, M., 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *Catena*, 84(2) pp: 35-46.
  12. 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(3):140-153.
  13. Razaghmanesh, M., Salemi, T., Siraj, M., 2006. Study groundwater quality and quantity of Tabriz plain, *National Conference of Irrigation and Drainage networks management*, University of Ahvaz Chamran shahid, Iran.(In persian)
  14. Saif, M., Mosaedi, A., Mohammadzadeh, H., 2011. investigation of hydrogeological Drought, in aquifer Fasa using Groundwater Resource Index (GRI), *15th Conference of Geology*, University of Tarbiat Moallem, Iran.(In persian)
  15. Salehvand, I., Montazeri, M., Momeni, M., 2013. Zonation of drought with Indicators (PNI, EDI, CZI, ZSI, SPI) and sequences in the cities of Khuzestan province in GIS, *Journal of Geography and urban planning of Zagros landscape*, 3(17: 35-52.(In persian)
  16. Shahid, S., Hazarika, M.K., 2010. Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water resources management*, 24(10):1989-2006.
  17. Shakiba, A.R., Mirbagheri, B., Kheiri, A., 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the East of Kermanshah province using the index SPI, *Journal of science & Research of Iran Geographic Society's*, 25: 105-124.(In persian)
  18. Sönmez, F.K., KömÜscÜ, A.Ü., Erkan, A., Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35(2):243-264.

## Relationship between meteorological and hydrogeological drought in an arid area:( a case study of Sheshdeh and Gharebolagh plains)

Mohammad Reza Shekari<sup>1\*</sup>, Seyyed Javad Sadatinejad<sup>2</sup>, Abbas Ali Vali<sup>3</sup>

Received: 13/3/2017

Accepted: 30/4/2017

### Abstract

Groundwater is a major source of water for agriculture in Sheshdeh and Gharebolagh plain. In recent years increasing drought and excessive exploitation of these resources has increased the pressure on groundwater. The aim of this study was to investigate the relationship between meteorological and hydrogeological drought using the SPI and GRI indices. Eight rain gauges stations were used to calculate the SPI index. The GRI index was calculated using 14 piezometric water table wells over a common 21-year period (1993-2014). A unit hydrograph of the study area shows that groundwater levels dropped continuously. The annual average drop was 1.76 m. Pearson correlation analysis between meteorological and hydrogeological drought with a coefficient of determination of 49% and a confidence level of 1% indicates that meteorological drought has a time delay of 24 to 48 months on groundwater resources. The results of zoning for hydrogeological drought showed that the initial condition was extended wet, but from 2007 to 2008, the extremely wet periods had decreased and the aquifer was status was normal. From 2008 – 2009 to end of the period, the severity of drought (average drought) increased until 2011 to 2014, when drought extended to most of the aquifer area. In such a critical situation, it is necessary to maintain the level of the aquifer.

**Keywords:** Hydrogeological Drought, Meteorological Drought, Unit of Hydrograph, GIS, Sheshdeh and Gharebolagh Plain.

1. PhD-Student., Department of De-desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan; Email: shekari.reza@gmail.com

2. Associated Prof., Faculty of Science and Technology Novel, University of Tehran

3. Associated Prof., Department of De-desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan