

تحلیل زمانی مکانی خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مهبیار شمالی اصفهان)

الهام داودی^۱، هدی قاسمیه^{۲*}، مهدی سلیمانی مطلق^۳، محسن معین‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۳

چکیده

پایش خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی و تعیین میزان تأخیر بین این دو نوع خشکسالی در بخش‌های مختلف مکانی یک منطقه می‌تواند کمک شایانی به مدیریت مصرف و صرفه‌جویی منابع آب زیرزمینی نماید. در این پژوهش، تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی‌ها با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد و آب زیرزمینی در منطقه مهبیار شمالی استان اصفهان، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکسالی آب زیرزمینی در بیشتر بخش‌های آبخوان به‌علت افزایش عمق آب زیرزمینی و احتمالاً به‌دلیل کاهش سرعت نفوذپذیری و بسته‌شدن منافذ آبرفت ناشی از تعدد چاه‌های بهره‌برداری و برداشت زیاد منابع آب زیرزمینی با تأخیر زمانی بالا (۴۸ ماه) صورت می‌گیرد. در بخش غربی آبخوان، به‌ویژه در حوالی چاه پیزومتری آجرکاخ، بیشترین همبستگی بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی در تأخیر زمانی ۲۴ ماه، به‌ترتیب با R^2 برابر با ۰/۶۲ صورت می‌گیرد. ضریب نفوذپذیری بالا، جریان ورودی از آبخوان مجاور، تغذیه جانبی ناشی از سازندهای نفوذپذیر آهکی نزدیک به دشت، حفظ تخلخل مؤثر آبخوان و کنترل پدیده نشست به‌علت تجمع آب انتقال‌یافته از کانال مهبیار در حوالی این چاه‌ها، از دلایل پاسخ نسبتاً سریع سطح آب زیرزمینی نسبت به نوسانات بارش در این مناطق است. همچنین نتایج پهنه‌بندی مکانی خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی، مبین افزایش میزان زمان تأخیر بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی و گسترش شدت خشکسالی در بیشتر بخش‌های آبخوان با گذشت زمان است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدروژئولوژیک، بهره‌برداری بی‌رویه آب زیرزمینی، زمان انتشار خشکسالی، دشت مهبیار شمالی.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول / Email: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

۳. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان

۴. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

مقدمه

در دهه‌های اخیر، به علت اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب، بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی در مقابل وقایع مختلف از جمله خشکسالی برای جمع‌آوری اطلاعات ضروری به نظر می‌رسد. خشکسالی به چهار نوع اصلی یعنی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود (دراکوپ^۱، ۱۹۸۰). در این میان، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی اهمیت بیشتری دارند. پدیده خشکسالی هواشناسی در طولانی‌مدت، موجب خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود و کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد. خشکسالی هیدرولوژیکی مهم‌ترین شکل این پدیده است که از آن، به عنوان خشکسالی واقعی نیز یاد می‌شود (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۲۰۰۵).

باتوجه به روند منفی شدید در بارش‌های مختلف کشور، وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید در کشور امری اجتناب‌ناپذیر است. برای مثال، نتایج پژوهش رضایی و همکاران (۲۰۱۳) در دریاچه ارومیه و همچنین یافته‌های بابایی فینی و علیجانی (۲۰۱۳) در کشور تأییدکننده این مطلب است. بنابراین، شناخت خشکسالی و ارزیابی اثرات آن بر محیط‌زیست، به‌ویژه منابع آب ضروری است. در نتیجه، امروزه پژوهش‌های گسترده‌ای درباره خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی و اثرات آن در جهان و ایران انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش ویسته سرانو و مورنا^۲ (۲۰۰۵) اشاره کرد. ایشان به بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده^۳ (SPI) در مقیاس‌های زمانی گوناگون و در یک حوضه بزرگ بسته در منطقه مرکزی اسپانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقیاس زمانی بلندمدت (بیشتر از ۱۲ ماه) نمی‌تواند برای تعیین خشکسالی در این منطقه مفید باشد و روی هم رفته، تغییرات جریان‌های سطحی با مقیاس زمانی کوتاه‌مدت SPI و منابع آب زیرزمینی با پاسخ

زمانی بلندمدت (۷-۱۰ ماه) قابل تبیین است. پاندا^۴ و همکاران (۲۰۰۷) به منظور شناخت و تعیین روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه اوراسیای هند و تأثیر خشکسالی و دخالت بشر، از روش آماری ناپارامتری من-کندال استفاده کردند. نتایج نشان داد که افت سطح آب به علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری نتوانسته با تغذیه در سال‌های مرطوب جبران شود. خان و همکاران (۲۰۰۸) از شاخص SPI برای بررسی اثر خشکسالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در سه منطقه تحت آبیاری در حوضه ماری-دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج حاکی از وجود همبستگی بالا بین شاخص SPI و نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در منطقه بوده، به طوری که می‌توان با بهره‌وری از آن، الگوی خشکسالی‌های اصلی را در استرالیا تعیین کرد. مندیسینو^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص آب زیرزمینی (GRI)^۶ را به عنوان ابزار قابل اطمینان و مناسبی در پایش و پیش‌بینی شرایط خشکسالی آب زیرزمینی معرفی کردند و بیان نمودند که این شاخص، اشتقاقی از مدل ساده پخش تعادل آب است که در منطقه مدیترانه به آزمایش درآمده است. تحلیل ویژگی‌های GRI، تنوع مکانی بالایی را نسبت به SPI (البته در مقایسه با تحلیل‌های طیفی) نشان داد و حساسیت معنی‌داری با ویژگی‌های سنگ‌شناسی از تحلیل‌های منطقه‌ای دارد. علاوه بر این، GRI همبستگی بسیار بالایی با SPI در طول ماه‌های تابستان نشان می‌دهد. شهید و هازریکا^۷ (۲۰۰۹) به تحلیل آب نگار سطح آب زیرزمینی و دوره زمانی بارندگی در منطقه شمال غربی کشور بنگلادش پرداختند؛ نتایج تحقیق ایشان 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 وجود نمی‌داشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به‌طور عمده، مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود. شکیا و همکاران (۲۰۱۰)، خشکسالی هواشناسی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه را با استفاده از

4. Panda

5. Mendicino

6. Groundwater resource index

7. Shahid and Hazarika

1. Dracup

2. Vicente-Serrano and Lopez- Moreno

3. Standardized precipitation index

مدیریت منابع آب است (رضی، ۱۳۸۶). لذا بررسی و پایش ارتباط بین این نوع خشکسالی ها می تواند اطلاعات مفیدی برای برنامه ریزی و مدیریت ریسک خشکسالی ها برای تخفیف اثرات آن ها فراهم کند. در پژوهش های قبلی، هرچند که به ارتباط بین خشکسالی های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی اشاره شده است، چنانچه تأخیر بین این دو نوع خشکسالی در بخش های مختلف آبخوان (در نواحی تحت تأثیر هر چاه پیژومتری) از لحاظ زمانی و مکانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، می توان به نحو بهتری آبخوان را مدیریت کرد. در این تحقیق تلاش می شود تحلیل زمانی مکانی خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی و میزان تأخیر زمانی بین آن دو در مکان های مختلف دشت مہیار شمالی واقع در استان اصفهان بررسی شود. بنابراین، هدف مطالعه پایش دو نوع خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی با تأکید بر تعیین تأخیر زمانی در بخش های مختلف آبخوان دشت مہیار شمالی است.

مواد و روش ها

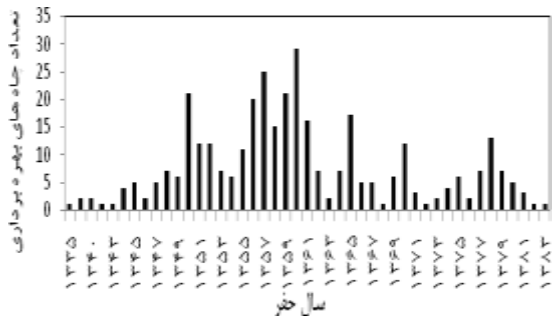
منطقه مورد مطالعه

دشت مہیار شمالی در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر اصفهان واقع شده است. این دشت به دلیل اراضی وسیع و مستعد، از قطب های کشاورزی در استان اصفهان محسوب می شود. آبخوان این دشت در مختصات ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مہیار، ۲۶۷/۱۴ کیلومتر مربع و مساحت این آبخوان که از نوع آزاد می باشد، ۱۲۶/۴ کیلومتر مربع است. در محدوده مورد مطالعه، طبق نقشه زمین شناسی دریافت شده از آب منطقه ای استان اصفهان، واحدهای سنگی و سازندهای دوران دوم تا سوم زمین شناسی رخنمون دارند که از قدیم به جدید عبارتند از: گرانودیوریت (ژوراسیک بالایی)، سنگ آهک همراه با فسفیل اریتولین دار و آمونیتی دوره کرتاسه همراه با سنگ های آهکی نازک لایه، مارن های آرژیلیتی و شیل های سیاه رنگ با میان لایه های سنگ آهک آمونیت دار دوره کرتاسه،

SPI بررسی کردند و درباره تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، ضمن بررسی نوسانات ماهانه SPI و سطح آب زیرزمینی طی دوره آماری سی ساله، ضریب همبستگی بین دو پارامتر مذکور را محاسبه نمودند. نتایج بررسی آن ها نشان داده که تمام ایستگاه ها در منطقه مورد مطالعه، با خشکسالی مواجه بوده اند. چمن پیرا و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت الشتر با استفاده از شاخص های GRI و SPI در یک دوره بیست ساله (۱۳۷۰-۱۳۸۹) پرداختند که نتایج تحقیق آن ها، نشان دهنده افت سفره دشت مورد مطالعه و همبستگی معنی دار بین شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه با میانگین تراز سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI آبخوان دشت بود. همچنین نتایج آن ها نشان داد که خشکسالی ها به ترتیب بر فصول زمستان و پاییز منطبق اند که این امر به مدیریت بهینه بهره برداری در فصول بهار و تابستان کمک می کند. محمدی قلعه نی و همکاران (۲۰۱۲)، به منظور بررسی رابطه بین خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی در آبخوان دشت ساوه، از شاخص SPI استفاده کردند. نتایج نشان دادند که شاخص SPI با مقیاس های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی پنج ماهه، بیشترین همبستگی را داشته است. نتایج پژوهش صیف و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی در آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص GRI نیز حاکی از روند کاهشی مقادیر آن بود که در سال های اخیر، نشان دهنده شدت بیشتر خشکسالی است. خورانی و خواجه (۲۰۱۴) در بررسی هم زمانی روند خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی در دشت داراب با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال و شاخص SPI به این نتیجه رسیدند که در محدوده مورد مطالعه افت سطح آب زیرزمینی با یک تأخیر پنج ماهه رخ می دهد.

بنابراین باتوجه به مسائل مطرح شده، تعیین ویژگی های خشکسالی یا ترسالی های هواشناسی، هیدرولوژیکی و یا هیدروژئولوژیکی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برای برنامه ریزی محیطی و اقتصادی به ویژه برنامه ریزی برای

را نشان می‌دهد.



شکل (۲): تعداد چاه‌های حفر شده در دشت از ۱۳۳۵-۱۳۸۳



شکل (۳): روند نمای تحقیق

روش انجام پژوهش

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز

ابتدا داده‌ها و اطلاعات موردنیاز تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و ارتفاع سطح ایستابی پیزومترهای واقع در محدوده آبخوان از اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان مربوطه گردآوری شد.

در این تحقیق، از آمار بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و بارانسنجی استان اصفهان و ایستگاه‌های مجاور در دوره زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. همچنین از داده‌های ماهانه سطح آب، تعداد ۱۵ چاه پیزومتری استفاده شد. شکل (۴) پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک را در منطقه نشان می‌دهد. برای کنترل همگنی داده‌ها از روش آزمون توالی (ران تست) و برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی

سنگ‌های آتشفشانی دولریتیک پالئوژن در اطراف دشت و آبرفت‌های دوره کواترنر که شامل ماسه، رس، سیلت و گراول در سطح دشت است. نکته حائز اهمیت این است که آهک‌های کرتاسه اطراف دشت به دلیل وجود درز و شکاف‌های وسیع، از منابع کارستیک بارزش در منطقه است و در تغذیه آبرفت‌های دشت نقش بسزایی دارد. این منطقه از لحاظ آب‌وهوایی براساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه، در ناحیه نیمه‌خشک معتدل قرار دارد (نادری همایی، ۲۰۱۱). میانگین بارش سالانه آن ۱۵۰ میلی‌متر است. تعداد چاه‌های بهره‌برداری حفر شده در محدوده مطالعاتی طبق آمار سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، حدود ۳۶۸ حلقه چاه است که تعدادی متروکه یا دارای تخلیه صفر هستند و در حال حاضر، تعداد ۲۴۴ چاه در حال بهره‌برداری است. از این تعداد، حدود ۱۳۸ حلقه در محدوده مورد مطالعه (آبخوان آزاد) قرار دارند. البته از تعداد چاه‌های غیرمجاز حفر شده در دشت آماری موجود نیست. در این منطقه، انتقال آب از رودخانه زاینده‌رود به دلیل توسعه اراضی، تقویت سفره آب زیرزمینی و رونق کشاورزی و اقتصادی صورت گرفته است.



شکل (۱): نقشه زمین‌شناسی منطقه، موقعیت آبخوان، شبکه تیسن و

پراکنش چاه‌های پیزومتری

نقشه زمین‌شناسی منطقه مهیار شمالی، موقعیت آبخوان دشت، پراکنش چاه‌های پیزومتری با مساحت تحت تأثیر هریک از آن‌ها با استفاده از شبکه تیسن در شکل (۱) نشان داده شده است. شکل (۲) تعداد چاه‌های حفر شده طی سال‌های ۱۳۳۵-۱۳۸۳ در دشت و شکل (۳) روندنمای تحقیق

بین ایستگاه‌ها استفاده شد.

مهیار شمالی در مقیاس زمانی سالانه ترسیم گردید. نقشه‌های گستره مکانی خشکسالی هواشناسی در این دشت بر مبنای مقادیر SPI ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک استان اصفهان در محیط GIS استخراج شدند. برای این منظور، از روش درون‌یابی کریجینگ برای پهنه‌بندی خشکسالی به دلیل پایین بودن خطای درون‌یابی نسبت به روش‌های دیگر استفاده شد (ملکی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول (۱): طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SPI و GRI

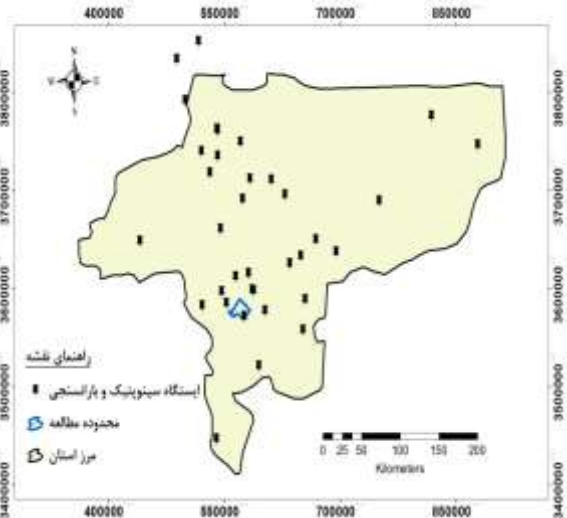
مقادیر SPI	مقادیر GRI	طبقات خشکسالی
۲ و بیشتر	۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	شرایط نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

- پایش خشکسالی هیدروژئولوژیکی (آب زیرزمینی)

در این تحقیق، به منظور پایش خشکسالی آب زیرزمینی، شاخص سطح آب استاندارد استفاده شد. مقدار این شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸).

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (1)$$

در این رابطه، $D_{y,m}$ ارتفاع سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیژومتری در سال Y و ماه m، $\mu_{D,m}$ میانگین ماهانه آن‌ها و انحراف از معیار این مقادیر در ماه m است. طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI نیز همانند شاخص SPI است (جدول ۱). از آنجایی که تفسیر فیزیکی خشکسالی آب زیرزمینی به تأثیرات خشکسالی هواشناسی بر سیستم‌های آب زیرزمینی برمی‌گردد (احمدی آخوومه و همکاران، ۲۰۱۵)، پایش زمانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI مشابه با شاخص SPI و دیگر شاخص‌های هیدروژئولوژیکی مانند SSI (بارکر^۴ و همکاران، ۲۰۱۵) انجام شد و نقشه



شکل (۴): پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و بارانسنجی

پایش خشکسالی های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی

- پایش خشکسالی هواشناسی

در این تحقیق، برای بررسی و تعیین خشکسالی هواشناسی، از شاخص SPI در محیط نرم‌افزار DIP^۱ استفاده شده است. این شاخص را مک‌کی^۲ و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد کرده‌اند و به‌طور گسترده به‌علت توسعه نظری قابل اطمینان آن، توانایی و تطبیق‌پذیری در تحلیل خشکسالی از دو دهه گذشته تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است (ردموند^۳، ۲۰۰۲). شاخص SPI براساس داده‌های بارش طولانی مدت و برازش توزیع مناسب آماری بر آنکه معمولاً توزیع گاما است، محاسبه می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد. به عبارت دیگر، احتمالات به سری‌های استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ انتقال داده می‌شوند (ویسته-سرانو و همکاران، ۲۰۱۴). طبقات مختلف شاخص‌های SPI (براساس نتایج مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳) در جدول (۱) ارائه شده است. در منطقه مهیار شمالی، پایش و بررسی زمانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای بارش معرف منطقه (میانگین وزنی بارش منطقه براساس روش تیسن) انجام شد و گستره خشکسالی هواشناسی در دشت

1. Drought Indices Package
2. McKee
3. Redmond

پهنه بندی آن در دشت مهبیار شمالی در مقیاس زمانی سالانه ترسیم گردید.

- تعیین میزان تأخیر زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی

از آنجایی که تعیین میزان تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی‌های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب کمک شایانی می‌کند، در این پژوهش، میزان تأخیر زمانی بین دو نوع خشکسالی ذکر شده در بخش‌های مختلف دشت مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماه، تعیین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج و بحث

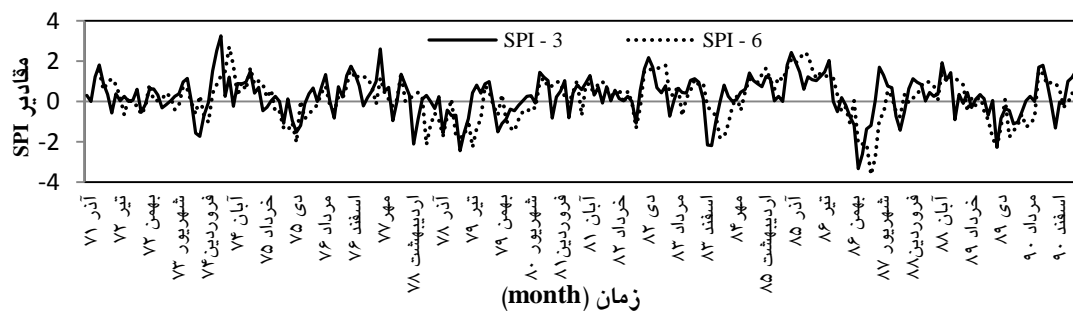
پایش زمانی خشکسالی هواشناسی

برای بررسی خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای بارش معرف منطقه محاسبه شد. مطابق شکل‌های (۵) و (۶) نوسانات شاخص SPI در تمام مقیاس‌های زمانی فوق تقریباً مشابه است. در ابتدای دوره مورد بررسی، هر ۷ مقیاس زمانی نشان‌دهنده وقوع شرایط تقریباً نرمال و ترسالی در منطقه بوده و این روند تا دی‌ماه ۱۳۷۳ ادامه داشته است. وقوع یک خشکسالی متوسط از ماه بهمن این سال تا ماه فروردین سال ۱۳۷۴ در مقیاس‌های زمانی کوتاه (۳ ماهه) مشهود بوده و سپس در منطقه، ترسالی و شرایط نرمال حاکم شده است. پایداری این شرایط به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی بلندمدت

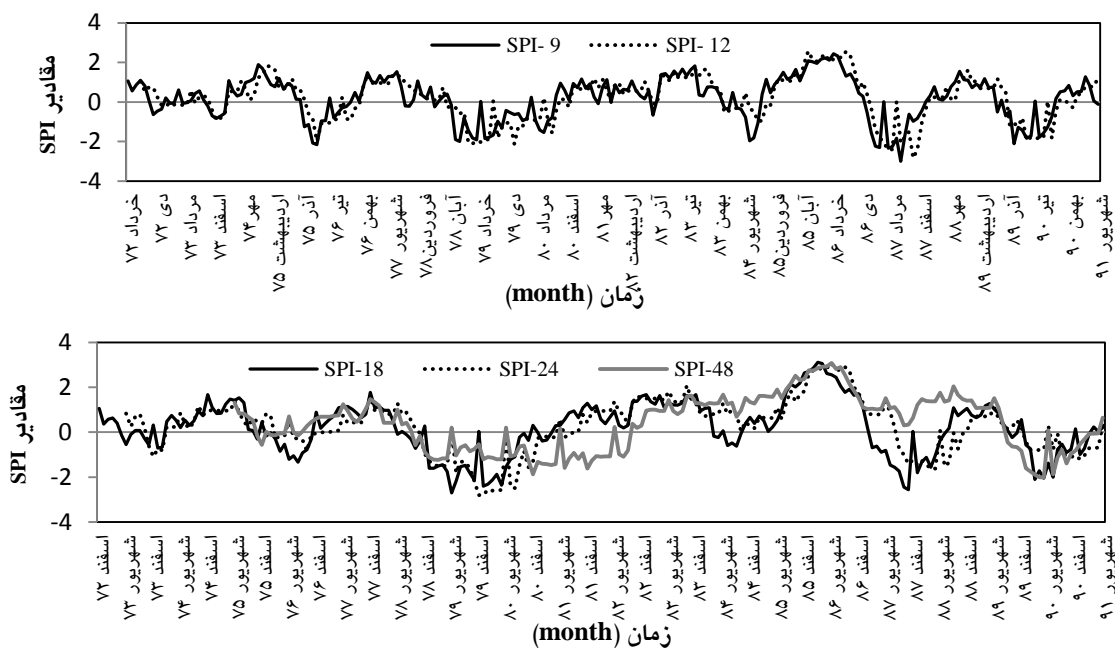
(۲۴ و ۴۸ ماهه) تا سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ حفظ شده است. از این تاریخ به بعد، به مدت دو سال خشکسالی تقریباً شدید در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۲۴ ماه حاکم بوده و در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، خشکسالی از نوع متوسط بوده است. از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به بعد، شرایط نرمال و حتی ترسالی متوسط و شدید براساس مقیاس‌های زمانی بلندمدت (۱۲ تا ۴۸ ماهه) رخ داده است. مجدداً در سال ۱۳۸۷، نقصان بارش در منطقه باعث وقوع خشکسالی‌های متوسط تا شدید (در سری ۳ تا ۲۴ ماه) شده است. در این زمان، سری زمانی ۴۸ ماهه وضعیت نرمال و ترسالی متوسط را در منطقه نشان داده است و در پایان دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۹۰) بر اساس این سری، خشکسالی شدید قابل توجه است.

به‌طور کلی براساس این نمودارها، رفتار سری‌های زمانی در انعکاس خشکسالی یا ترسالی‌ها تقریباً یکسان است؛ با این تفاوت که در سری‌های زمانی بلندمدت، وقوع و تداوم خشکسالی‌ها به علت احتساب مقدار نقصان بارش جمعیتی ماه‌های قبل بهتر به نمایش گذاشته شده است (ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق، ۲۰۱۱؛ نادریان‌فر و انصاری، ۲۰۱۱).

همچنین طویل‌ترین دوره‌های خشکسالی رخ داده در منطقه در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، به ترتیب ۱۲، ۱۳، ۱۷ و ۱۸ ماه است. به‌عبارت دیگر، افزایش گام زمانی محاسبات SPI منجر به تداوم خشکسالی بیشتر و دوره نقصان جمعیتی بارندگی نسبت به شرایط نرمال واضح‌تر بیان شده است.



شکل (۵): مقادیر شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه برای دشت مهبیار شمالی



شکل (۶): مقادیر شاخص SPI در مقیاس های زمانی ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای دشت مهاباد شمالی

– پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی

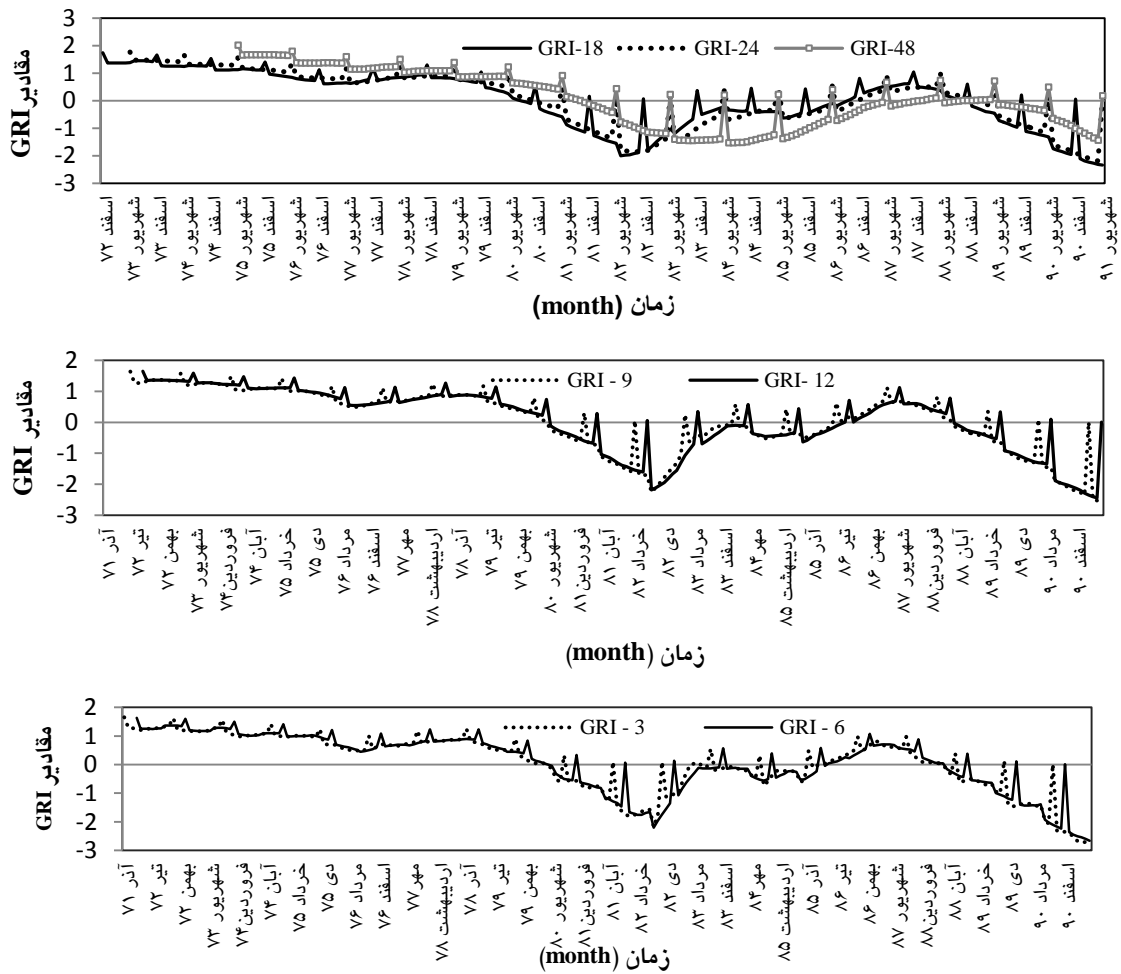
متعاقب با کمبود بارش و وقوع خشکسالی هواشناسی، مقدار آب نفوذیافته به داخل خاک و میزان نشت آن به درون سفره آب زیرزمینی کاهش می یابد. این پدیده به واسطه بهره برداری زیاد از منابع آب زیرزمینی تشدید می یابد. در هر حال، تعیین دوره های خشکسالی آب زیرزمینی حائز اهمیت است تا بتوان آبخوان را به طور صحیح و اصولی مدیریت کرد. برای این منظور، مقادیر شاخص GRI در سری های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. همان طور که نمودارهای GRI در مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه نشان می دهند، از ابتدای دوره آماری تا سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰، وضعیت ترسالی و نرمال بر آبخوان حاکم بوده است. از این تاریخ به بعد، یک دوره خشکسالی متوسط تا شدید در سال های آبی بین ۱۳۸۰-۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳-۱۳۸۴ رخ داده است. پس از گذر از این دوره، شرایط کم و بیش نرمال و شرایط ترسالی تا سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ در منطقه به وقوع پیوسته و در انتهای دوره آماری، شدت خشکسالی آب زیرزمینی افزایش یافته است. طبق نمودارهای ترسیمی در شکل (۷) رفتار سری های زمانی در نمایش خشکسالی یا ترسالی ها تقریباً یکسان بوده، با این تفاوت که تداوم خشکسالی ها در سری های بلندمدت بیشتر است.

تأخیر زمانی بین خشکسالی های هواشناسی و آب

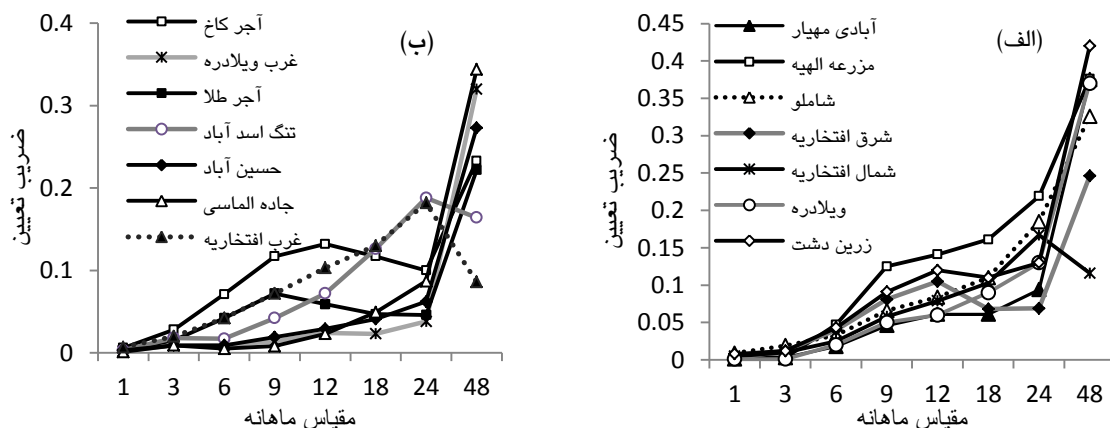
زیرزمینی

برنامه ریزی منابع آب زیرزمینی مستلزم شناسایی مقدار و زمان تأثیر کاهش یا افزایش بارش و تغذیه بر روی آبخوان است. از آنجایی که زمان تأثیر کاهش یا افزایش تغذیه یا به عبارت دیگر، وقوع دوره های ترسالی و خشکسالی هواشناسی بر روی آب زیرزمینی بسته به ویژگی های خاک، عمق سطح آب زیرزمینی و ویژگی های آبخوان هر دشت متغیر است (صیف و همکاران، ۲۰۱۳)، ضروری به نظر می رسد که این ارتباط زمانی در دشت مهاباد شمالی در بخش های مختلف آبخوان برای چاه های پیژومتری محاسبه شود. ابتدا نتایج R^2 بین شاخص های SPI و GRI در مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه برای تعیین سری زمانی مناسب برای تمام چاه های پیژومتری موجود در طول دوره آماری مورد بررسی (آذر ۱۳۷۱ تا اسفند ۱۳۹۰) استخراج شد. بر طبق این نتایج، ضریب تعیین بین سری های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در همه چاه های پیژومتری با افزایش مقیاس زمانی، افزایش نشان می دهد (شکل ۸ الف و ب). مقدار R^2 بین دو شاخص خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در همه چاه ها در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه به جز

چاه های پیزومتري تنگ اسدآباد، شمال و غرب افتخاریه، و مزرعه الهیه در این مقیاس زمانی، بیشترین ضریب تعیین دارای مقدار نسبتاً بالایی است. چاه های پیزومتري زرین دشت به ترتیب معادل ۰/۴۲ و ۰/۳۸ را به خود اختصاص داده اند.



شکل (۷): مقادیر شاخص GRI در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای دشت مهبیار شمالی



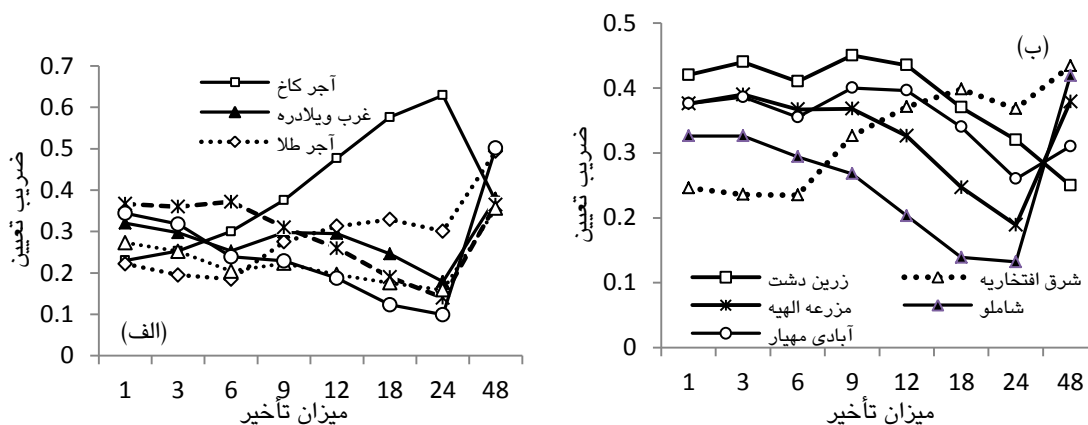
شکل (۸) الف و ب): تغییرات ضریب تعیین بین شاخص های SPI و GRI در مقیاس های زمانی مختلف برای چاه های پیزومتري

بیشترین همپوشانی شاخص های SPI و GRI درباره چاه های پیزومتري تنگ اسدآباد، غرب و شمال افتخاریه در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه به دست آمد که به ترتیب دارای ضریب تعیین ۰/۱۹، ۰/۱۸ و ۰/۱۶ با درصد معناداری (Sig) کمتر از

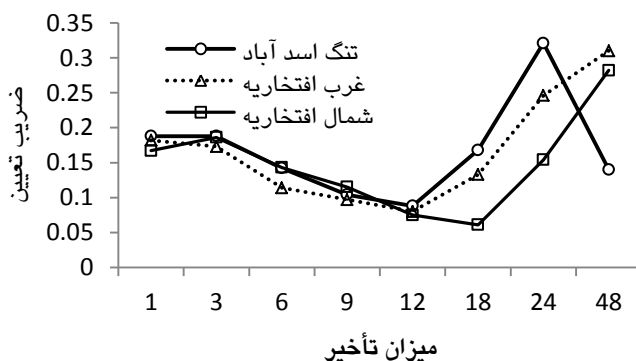
تحلیل رابطه بارش و سطح آب زیرزمینی در قالب خشکسالی ها یا ترسالی ها تا حدودی قابل بررسی است؛ اما به علت بهره برداری بیشتر از منابع آب زیرزمینی نمی توان به طور قطعی، اثر متقابل این دو متغیر را نسبت به هم تعیین کرد (سلیمانی مطلق، ۲۰۱۱).

پس از تعیین مقیاس زمانی مناسب برای هر چاه پیزومتری، میزان تأخیر بین خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی به دست آمد. براساس نتایج ارائه شده شکل های (۹) الف و (ب) و همچنین شکل (۱۰) همبستگی مقادیر SPI و GRI در سری های ۲۴ و ۴۸ ماهه در همه چاه های پیزومتری با افزایش تأخیر زمانی افزایش می یابد.

۰/۰۵ بودند. بنابراین براساس نتایج ارائه شده در دشت مهیار شمالی، خشکسالی آب زیرزمینی در مقیاس های زمانی بلندمدت (بیشتر از ۲۴ ماه) قابل تشخیص است به این معنی که ضریب R^2 برای تأخیر زمانی ۲۴ ماه و بیشتر معنی دار بوده است. همچنین نتایج این بخش از تحقیق با یافته های پژوهشگران دیگر همخوانی دارد، به گونه ای که تشخیص خشکسالی آب شناسی در نتایج پژوهش ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۲۰۱۱) بالاتر از ۱۲ ماه و در نتایج پژوهش نادریان فر و انصاری (۲۰۱۱)، بیشتر از ۳۶ ماه به دست آمد. لذا دخالت دادن کاهش اثر تجمعی بارش ها در ماه های قبل، از دلایل تشخیص وقوع خشکسالی های آب شناختی در مقیاس های بلندمدت است. البته قابل توجه است هر چند



شکل ۹ (الف و ب): ضریب تعیین بین شاخص های SPI و GRI در تأخیرهای زمانی متفاوت در مقیاس ۴۸ ماهه



شکل (۱۰): ضریب تعیین بین شاخص های SPI و GRI در تأخیرهای زمانی متفاوت در مقیاس ۲۴ ماهه

بیشترین ضریب تعیین ($R^2 = 0/5$) مربوط به چاه الماسی و در تأخیر ۲۴ ماهه بیشترین ضریب تعیین ($R^2 = 0/62$)، متعلق به چاه آجرکاخ است.

نتایج ارائه شده در شکل (۹ الف و ب)، بیانگر همبستگی متوسط بین شاخص های SPI و GRI با فاصله زمانی ۴۸ ماه در همه چاه ها به جز چاه آجرکاخ است. در تأخیر ۴۸ ماهه،

اسدآباد در تأخیر زمانی ۲۴ ماه با $R^2 = 0/32$ به دست آمده و برای دو چاه پیژومتری شمال و غرب افتخاریه در تأخیر ۴۸ ماه، به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۲۸ و ۰/۳ با درصد معناداری (Sig) کمتر از ۰/۰۵ حاصل شده است. جریان ورودی از آبخوان مجاور و تغذیه جانبی ناشی از سازندهای نفوذپذیر آهکی مشرف به دشت و همچنین حفظ تخلخل مؤثر آبخوان به علت تجمع آب انتقال یافته از کانال مهیار در حوالی چاه پیژومتری تنگ اسدآباد، از دلایل پاسخ نسبتاً سریع سطح آب زیرزمینی نسبت به نوسانات بارش در این منطقه است (شکل های ۱ و ۱۱). اما علی رغم موقعیت چاه های پیژومتری آبادی مهیار و غرب و شمال افتخاریه در اطراف سازندهای نفوذپذیر آهکی، ردپای خشکسالی هواشناسی در آب زیرزمینی در تأخیر ۴۸ ماهه به جا می ماند. تراکم چاه های بهره برداری و برداشت بی رویه آب زیرزمینی در حوالی چاه های پیژومتری ذکر شده، از دلایل عمده آن محسوب می شوند؛ زیرا منجر به وقوع پدیده نشست و بسته شدن منافذ آبرفت و کاهش سرعت نفوذپذیری شده است. این مطلب با نتایج پژوهش سلیمانی مطلق (۲۰۱۱)، اشرف و احمد (۲۰۰۸) و نادریان فر و انصاری (۲۰۱۱) همخوانی دارد.

– پهنه بندی شدت خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی

گستره خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی در سه مقطع زمانی (اوایل دهه ۷۰، اوایل دهه ۸۰ و اواخر دهه ۸۰) ترسیم و تجزیه و تحلیل شد (شکل ۱۲). در ابتدای دوره آماری (سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲)، شاخص SPI نمایانگر شرایط نرمال در کل منطقه بوده و پس از گذشت ۳ سال در سال آبی (۱۳۷۴-۱۳۷۵)، اثر آن در آب زیرزمینی ظاهر شده است، با این تفاوت که شاخص GRI نیمی از آبخوان (محور شمال غربی - جنوب شرقی) را با وضعیت ترسالی متوسط نشان می دهد. برداشت نسبتاً معقول آب زیرزمینی از جمله عوامل تأثیرگذار بر وضعیت حاکم این بخش از آبخوان در این مقطع زمانی است.

نقشه گستره خشکسالی هواشناسی در سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ نشان می دهد که خشکسالی شدید و خیلی شدید در منطقه حاکم بوده و متعاقب آن، خشکسالی آب

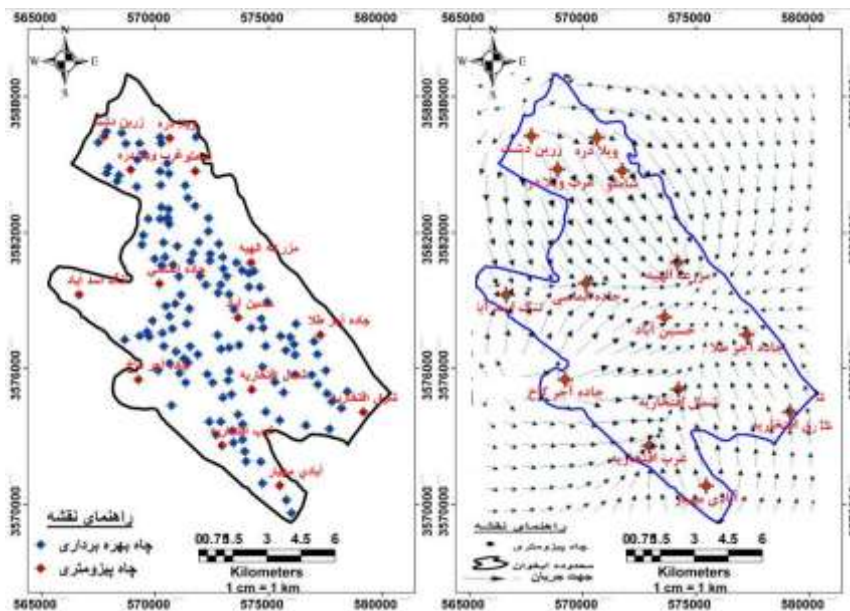
بررسی وضعیت زمین شناسی منطقه و نقشه های هم جریان آبخوان نشان داد که چاه آجرکاخ و محدوده تحت تأثیر آن، به علت ورود جریان های جانبی از آبخوان مجاور و درصد نفوذپذیری بالا نسبت به تغییرات بارش و شدت های خشکسالی، عکس العمل سریع تری در مقایسه با سایر چاه ها نشان می دهد (شکل های ۱ و ۱۱). علاوه بر این، تقویت آب زیرزمینی با انتقال آب کانال مهیار در کنترل پدیده نشست مؤثر بوده و این امر باعث شده که ویژگی های نفوذپذیری در این بخش از آبخوان، همچنان حفظ شود که در نهایت منجر به پاسخ هیدرولوژیکی سریع تر نسبت به تغییرات بارش شده است. نتایج این بخش از تحقیق، با نتایج پژوهش نادریان فر و انصاری (۲۰۱۱) متناقض است، به طوری که نتایج آنان نشان داده که افزایش تخلیه منابع آب زیرزمینی و به دنبال آن پدیده فرونشست در حوالی چاه سلطان آباد در دشت نیشابور، از جمله عوامل عمده افزایش تأخیر زمانی بین تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به بارش ذکر شده است؛ در صورتی که عکس این قضیه در این بخش از مطالعه حاضر به علت حفظ پایداری آبخوان اتفاق افتاده است.

شرایط زمین شناسی و رفتار هیدرودینامیکی چاه های زرین دشت، ویلادره و آبادی مهیار تقریباً مشابه با چاه آجرکاخ است، به طوری که واکنش آبخوان در حوالی این چاه ها نسبت به خشکسالی های هواشناسی، سریع تر با تأخیر ۶ تا ۹ ماه است (شکل های ۱ و ۱۱). درباره چاه الماسی و محدوده اطراف آن می توان بیان کرد که دلیل تأخیر ۴۸ ماهه اثرات بارش در آب زیرزمینی، در اثر افزایش برداشت منابع آب، احتمالاً به دلیل بسته شدن منافذ آبرفت است که این امر می تواند باعث کاهش سرعت نفوذپذیری و طولانی شدن زمان اثر نقصان بارش بر سطح آبخوان شود.

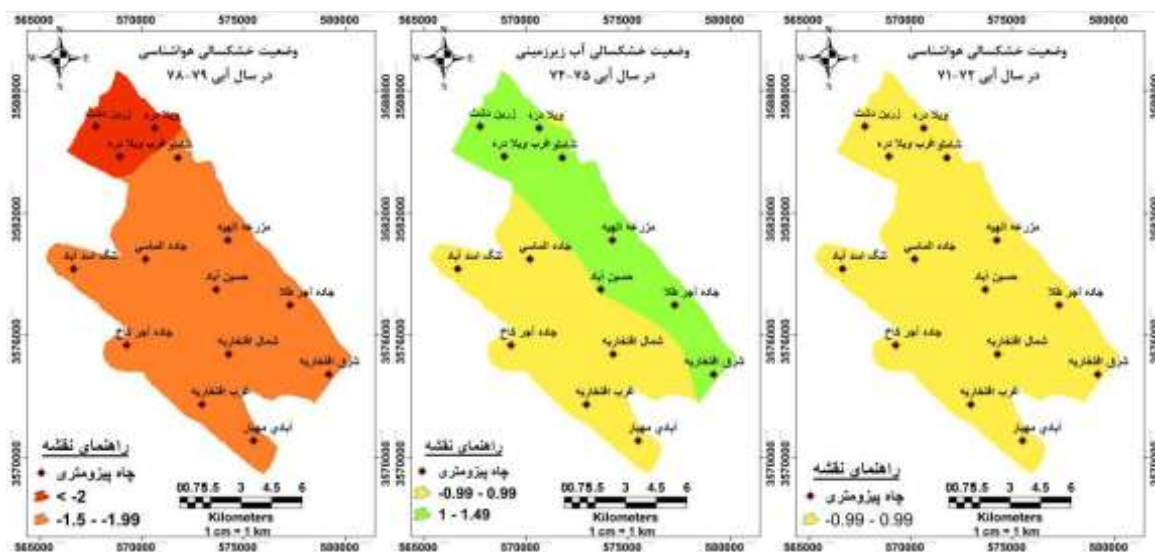
نتایج R^2 بین شاخص SPI و GRI در تأخیرهای زمانی متفاوت در سری ۲۴ ماهه در شکل (۹) برای ۳ چاه پیژومتری تنگ اسدآباد، غرب و شمال افتخاریه نشان می دهد که به طور کلی با افزایش تأخیر زمانی، مقدار همبستگی افزایش یافته است. بیشترین همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی درباره چاه تنگ

زیرزمینی در سه سال بعد در سال آبی (۱۳۸۱-۱۳۸۲) در کلاس های شدید، متوسط و نرمال ظاهر شده است. در این سال، بیشتر سطح آبخوان دشت مهبیار تحت تأثیر خشکسالی متوسط بوده و فقط در بخش غربی آبخوان حوالی چاه های پیرومتری آجرکاخ، تنگ اسدآباد و غرب افتخاریه، خشکسالی شدید رخ داده است. در این زمان، بخش جنوب شرقی آبخوان در حواشی چاه های پیرومتری جاده آجرطلا و شرق افتخاریه، دارای شرایط نرمال بوده است. با مقایسه دو نقشه خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در زمان های ذکر شده می توان بیان کرد که تأثیر نوسانات بارش در آب

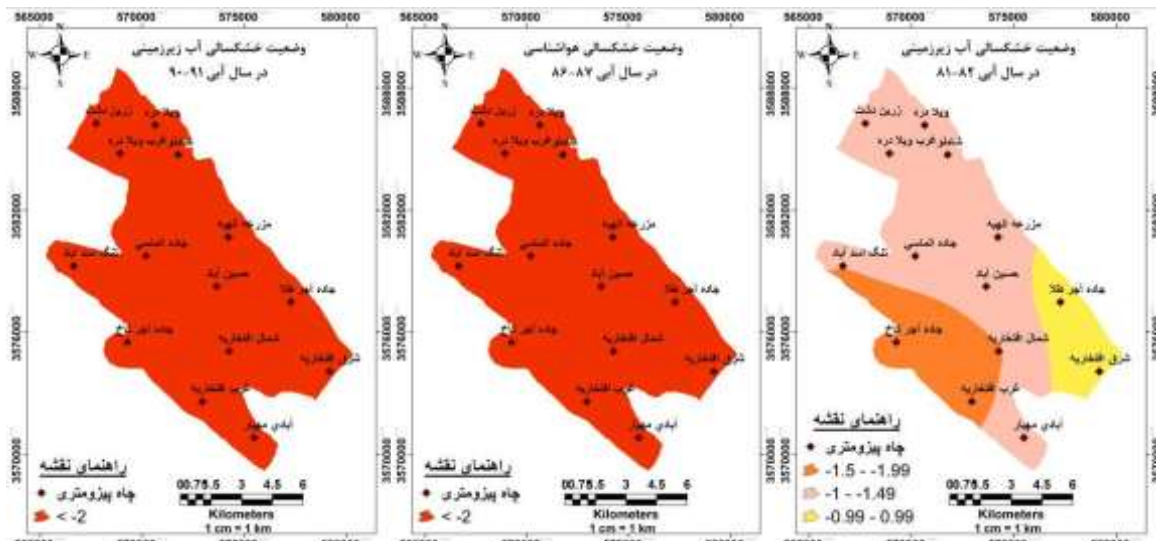
زیرزمینی با فاصله زمانی ۳ ساله قابل ملاحظه است، با این تفاوت که از شدت خشکسالی های هواشناسی در آب زیرزمینی به دلیل تأثیر آب انتقال یافته کانال مهبیار به دشت مهبیار شمالی کاسته شده است. البته مطابق شکل (۱۱) افزایش تعداد چاه ها و برداشت در نواحی مرکزی آبخوان باعث شده که با وجود شرایط مناسب نفوذ در بخش غربی، سرعت آب زیرزمینی افزایش یابد. این عامل باعث تخلیه سریع آب زیرزمینی و تشدید خشکسالی در نواحی غربی آبخوان شده است.



شکل (۱۱): شبکه خطوط جریان آب زیرزمینی و پراکنش چاه های بهره برداری



شکل (۱۲): گستره شدت خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های SPI و GRI در دهه ۷۰



شکل (۱۳): گستره شدت خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های SPI و GRI در دهه ۸۰

زیرزمینی در مکان های مختلف آبخوان تعیین و تحلیل گردد. به طور کلی، نتایج نشان داد که خشکسالی هواشناسی در منطقه با تداوم یک تا دو ساله با شدت های متفاوت رخ داده است. متعاقب با آن ها، خشکسالی آب زیرزمینی در مکان های مختلف به وقوع پیوسته و تداوم آن در بعضی از سال ها به دلیل بهره برداری بیشتر شده است.

تعیین فاصله زمانی بین دو نوع خشکسالی مطرح شده، بیانگر وقوع خشکسالی آب زیرزمینی در اکثر نقاط آبخوان با تأخیر زمانی بالا (۳ تا ۴ ساله) است. این امر به دلیل ازدیاد عمق رسیدن به سطح آب و احتمالاً کاهش سرعت نفوذپذیری و بسته شدن منافذ در اثر تعدد چاه های بهره برداری و برداشت زیاد منابع آب زیرزمینی در بیشتر نقاط آبخوان است.

عکس العمل هیدرولوژیکی غرب آبخوان در برابر تنش های خشکسالی، به دلیل نزدیک بودن به سازندهای نفوذپذیر، جریان ورودی از آبخوان مجاور و واقع شدن در مسیر کانال مهیار سریع تر است. سطح آب در این محدوده بالا بوده و در صورت ایجاد تنش خشکسالی، انتشار آن در آب زیرزمینی زودتر نمایان می شود.

نتایج گستره خشکسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی نشان داد که با گذشت زمان، شدت و فاصله زمانی خشکسالی ها افزایش یافته است. روند صعودی افت و افزایش عمق سطح ایستابی به علت تعدد و افزایش برداشت چاه های بهره برداری، دلیل اصلی تشدید مقدار و افزایش میزان تأخیر خشکسالی های دشت مهیار شمالی است.

بررسی خشکسالی در اواخر دوره آماری نشان می دهد که خشکسالی هواشناسی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ در کلاس خیلی شدید در کل منطقه به وقوع پیوسته و متعاقب آن، خشکسالی آب زیرزمینی در چهار سال بعد با همان وسعت اتفاق افتاده است. تراکم چاه های بهره برداری، افزایش تعداد چاه های برداشت در سال های اخیر براساس آمار بیان شده در شکل (۲) و همچنین وجود چاه های غیرمجاز، باعث تشدید خشکسالی آب زیرزمینی و افزایش زمان تأخیر بین دو نوع خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی شده است. به عبارت دیگر، به دنبال افزایش تعداد چاه ها و برداشت آب زیرزمینی در سال های اخیر، عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی افزایش یافته و متعاقب آن، زمان اثربخشی نوسانات بارش بر روی سطح ایستابی سفره افزایش یافته است. به طور خلاصه، می توان نتیجه گرفت که پایش خشکسالی در دوره مورد مطالعه نشان داد که وقوع خشکسالی در منطقه، هرچند امری طبیعی است، افزایش بهره برداری و دخالت انسانی منجر به تشدید آن شده است.

نتیجه گیری

از آنجایی که تعیین وقوع خشکسالی ها یا ترسالی های هواشناسی و آب زیرزمینی و ارتباط زمانی بین این دو، به برنامه ریزی و مدیریت منابع آب زیرزمینی کمک شایانی می کند، در این پژوهش تلاش شد تا علاوه بر پایش زمانی و مکانی خشکسالی یا ترسالی های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی، زمان تأخیر اثر نوسانات تغذیه ناشی از بارش بر روی آب

منابع

1. Ahmadi Akhurmeh, M., Nohegar, A., Soleimani Motlagh, M., Taei Semiromi, M., 2015. Evaluation of groundwater drought using SPI and GRI indicators in the aquifer of Marvdasht Fars Kharameh. *Irrigation & Water Engineering Journal* 6, 105-107.
2. Ashraf A and Ahmad Z, 2008. Regional groundwater flow modelling of Upper Chaj Doab of Indus Basin, Pakistan using finite element model (Feflow) and geoinformatics. *Geophysical Journal International*. 173: 17-24.
3. Babaei Fini, A., Alijani, A., 2013. Spatial analysis of long-term drought in Iran. *Journal of Geographical Studies* 45:3, 1-12.
4. Barker LJ, Hannaford J, Chiveron A, Svensson C, 2015. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrol Earth Syst Sci* 12:12827-12875.
5. Chamanpira, Gh.R., Ahmadi, H., Malekian, A., 2014. The effect of drought on groundwater resources in order to manage optimally, Case study: Plain Aleshtar. *Journal of Engineering and watershed management* 6: 1, 10-20.
6. Dracup JA, Lee KS and Paulson EG, 1980. On the definition of droughts. *Water Resources Research* 16(2): 297-302.
7. Karamouz, M., Araghinejad, Sh., 2005. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University Press.
8. Khan S, Gabriel HF and Rana T, 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*. 22: 159-177.
9. Korani, A., Khaje, M., 2014. Evaluation the drought trend and decline in groundwater levels (Case study: Plain Darab). *The Journal of Spatial Planning* 18:2, 57-80.
10. Malekinejad, H., Soleimani Motlagh, M., 2011. Evaluate the severity of meteorological and hydrological droughts in the Chaghalvandi basin. *Iran Water Research Journal* 5: 9, 61-72.
11. McKee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. Pp. 179- 184. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Conference Location Anaheim, California. American Meteorological Society, Boston.
12. 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(3): 282-302.
13. Mohamadi Ghaleney, M., Ebrahimi, K., Araghinejad, Sh. 2012. The effects of climatic factors on the loss of groundwater resources (case study: Saveh aquifer). *Journal of Soil and Water Conservation* 19:4, 189-200.
14. Naderi Homami, J. 2011. Quantitative and qualitative study of the groundwater resources of the northern Mahyar plain aquifer using the Visual MODFLOW computer code, M.S.C Thesis. Faculty of Natural sciences, University of Tabriz.
15. Naderianfar, M., Ansari, H., 2011. Evaluate the effects of severity and duration drought in different time scale on groundwater level fluctuation (case study: Naishabur plain). *Journal of Water Resources Engineering* 4, 1-15.
16. Panda DK, Mishra A, Jena SK, James BK and Kumar A, 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of Hydrology*. 343: 140- 153.
17. Raziei, T., Daneshkar, P., Akhtari, R., Saghafian, B., 2007. Evaluation of meteorological drought in Sistan and Baluchestan province using SPI index and Markov Chain Model. *Journal of Water Resources Iran* 3: 1, 25-35.
18. Redmond KT, 2002. The depiction of drought. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1143-1147.
19. Rezaei, M., Morid, S., Delavar, M., 2013. Assess the impact of climate change on hydrometeorological variables on Siminehrood basin. *Journal of water and soil* 27: 6, 1247- 1259.
20. Seif, M., Mosaedi, A., Mohamadzade, H., 2013. "Investigation of hydrogeological Drought in the aquifer Fasa plain using GRI Index". 15 th Congress of geosocie. Tehran.
21. Shahid SH and Hazarika MK, 2009. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. *Water Resources Management*. 24(10): 1989-2006.
22. Shakiba, A., Mirbagheri, B., Kheiri, A., 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the East of Kermanshah province

- by using SPI index. *Geography journal* 8:25, 105- 124.
23. Soleimani Motlagh, M., 2011. Optimal management of the exploitation of groundwater resources in drought conditions by using MODFLOW (case study: Aleshtar plain). M.Sc. thesis, University of Yazd. 146 pp.
24. Vicente-Serrano SM and Lopez- Moreno JI, 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*. 9: 523–533.
25. Vicente-Serrano, SM., Chura, O., López-Moreno, JI and Azorin-Molina, C. 2014. Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955–2012. *International Journal of Climatology*. 35(10): 3024–3040.

Spatial and Temporal Analysis of Meteorological and Groundwater Droughts (Case Study: Northern Mahyar Plain of Esfahan)

Elham Davoodi¹, Hoda Ghasemeieh^{2*}, Mahdi Soleimani Motlagh³, Mohsen Moeinzadeh⁴

Received: 15/3/2017

Accepted: 25/7/2017

Abstract

Monitoring of Meteorological and groundwater droughts and determining of the lag time between these two types of droughts in spatial various locations can help in consumption management and protection of the groundwater resources. In this study, spatial and temporal changes of droughts were analyzed using the Standard Precipitation and Groundwater Resource Indices (SPI & GRI) in the northern Mahyar plain located in Esfahan province. The results showed that groundwater drought in most areas of the aquifer have occurred with a longer lag time (48 months). This is due to increase of groundwater depth and probably due to decrease permeability and blocking pores of the alluvium formations as a result of high number of exploitation wells and heavy withdrawal of groundwater resources in the area. In the western part of the aquifer, particularly around the Ajrakh piezometer, there were high correlations between meteorological and groundwater droughts in lag time of 24 months with R² value of 0.62. In this part of the aquifer, the factors that make relatively fast response of groundwater level to precipitation fluctuations were the high permeability coefficient, input flows from the adjacent aquifer, lateral recharge caused by permeable limestone formations close to the plain, keeping of aquifer effective porosity and control of subsidence phenomenon due to transferred water from Mahyar channel. Also, the results of spatial mapping of meteorological and groundwater droughts showed increase in the amount of lag time between meteorological and groundwater droughts and expansion of drought severity in most parts of the aquifer over time.

Keywords: Hydrogeologic Drought, Overexploitation, Propagation Drought Time, Mahyar Plain, Lag time.

1. Ph.D. Student of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

2. Assist. Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Corresponding Author; Email: h.ghasemeieh@kashanu.ac.ir

3. Graduated Phd Student of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

4. MS.C. Student of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan