

بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری، مطالعه موردی: دشت الشتر

غلامرضا چمن‌پیرا^{۱*}، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن احمدی^۳ و آرش ملکیان^۴

^۱ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ^۳ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران و ^۴ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۲

چکیده

خشک‌سالی مخاطره‌آمیزترین پدیده طبیعی است. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با انجام اقداماتی اثرات منفی آن را کم نمود. یکی از سیستم‌هایی که به شدت تحت تأثیر خشک‌سالی واقع شده و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، آب‌های زیرزمینی است. در این پژوهش، با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) در مقیاس‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در طول دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹ وضعیت خشک‌سالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر بررسی شد. پس از انجام آزمون‌های همگنی روی داده‌های جمع‌آوری شده و رفع نواقص آماری به روش تفاضل و نسبت‌ها، شاخص‌های مذکور از طریق نرم‌افزار DIP در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. در مرحله بعد با توجه به مقدار SPI و GRI محاسبه شده، وضعیت رطوبتی برای هر بازه زمانی تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که روند خشک‌سالی هواشناسی و آب زیرزمینی دشت منفی است. همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با اعمال بدون اعمال تأخیر زمانی، با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI بررسی شد. تحلیل‌های آماری نشان داد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و دارای بیشترین ضریب همبستگی است که حاکی از تأثیرگذاری خشک‌سالی بر آب زیرزمینی دشت الشتر می‌باشد. رابطه رگرسیون بین تراز متوسط سطح ایستابی و SPI₂₄ نشان داد که ۶۴/۴ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی تحت تأثیر SPI₂₄ و ۳۵/۶ درصد متأثر از سایر عوامل است. با بررسی مجموع بزرگی خشک‌سالی (DM) معلوم شد که خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی به ترتیب بر فصول زمستان و پاییز منطبق هستند. بدون شک مدیریت بهینه بهره‌برداری به خصوص در فصول بهار و تابستان اثر بسیار مهمی در جلوگیری از تخریب منابع آب زیرزمینی منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: بزرگی خشک‌سالی، تأخیر زمانی، تحلیل آماری، شاخص منبع آب زیرزمینی، شاخص بارندگی معیار شده

مقدمه

خشکسالی‌ها اساساً در اثر کمبود بارندگی حاصل می‌شوند، اما وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی می‌تواند سبب تغییرات جدی در شدت، مدت و توزیع مکانی بارندگی شود (Choi و همکاران، ۲۰۱۳). ایجاد چنین تغییراتی، خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی را در پی خواهند داشت. خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که دسترسی به آب در کوتاه‌مدت، کمتر از حد نرمال باشد. خشکسالی‌ها در تمام مناطق اقلیمی وجود دارند و بر اجزای مختلف چرخه آب‌شناسی تأثیر می‌گذارند.

در قرن اخیر، پدیده خشکسالی، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک هزینه‌های هنگفتی را بر محیط زیست تحمیل نموده است. به‌طوری که ۵۰ درصد از تالاب‌های جهان ناپدید شده‌اند، ۲۰ درصد از ماهی‌های آب شیرین یا منقرض شده و یا در معرض انقراض قرار گرفته‌اند، آب بعضی از رودخانه‌ها دیگر به دریا نمی‌رسد و بسیاری از مهم‌ترین منابع آب زیرزمینی از نظر کمی و کیفی تخریب شده یا در حال تخریب هستند. این درحالی است که در طول قرن گذشته، جمعیت جهان سه برابر شده ولی استفاده از آب شش برابر افزایش یافته است (Gourbesville، ۲۰۰۸). کمیسیون جهانی آب، پیش‌بینی کرده است که در ۳۰ سال آینده استفاده از آب حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (C.W.W، ۲۰۰۰).

وجه اشتراک همه خشکسالی‌ها، وجود انحراف از حالت نرمال است. خشکسالی هواشناسی می‌تواند در اثر کمبود بارندگی که اغلب با تبخیر و تعرقی بیش از حالت بالقوه طبیعی همراه است، باشد (Tallaksen و همکاران، ۲۰۰۴). خشکسالی آب‌های زیرزمینی در دوره‌هایی رخ می‌دهد که مقدار بارندگی در آن دوره کمتر از متوسط بلندمدت باشد (Peters و همکاران، ۲۰۰۳). زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می‌شوند، ابتدا آبیگری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند، چنین خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (Van Lanen و همکاران، ۲۰۰۰).

در خشکسالی‌های اخیر، آب‌های زیرزمینی، برای مصارف مختلف کشاورزی، شهری و صنعتی به‌شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این مسئله، تنش خشکی بر منابع آب زیرزمینی را در اکثر نقاط ایران تشدید می‌نماید. گرچه آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم آبی در دنیا محسوب می‌شوند، اما در بسیاری از بررسی‌های مربوط به خشکسالی مورد توجه قرار نمی‌گیرند (Shakiba و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، به‌منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب و کاهش اثرات منفی خشکسالی، می‌بایست داده‌های بلندمدت مناطقی که در معرض خطر خشکسالی هستند، پایش و ارزیابی شوند. تحلیل خشکسالی اغلب توصیفی است و برای تحلیل کمی آن وجود یک شاخص دقیق بسیار ضروری است (Silva، ۲۰۰۳).

تاکنون شاخص‌های بسیاری برای پایش خشکسالی ارائه شده است، اما برخی از آن‌ها به‌دلیل سادگی و قابل اجرا بودن، از اقبال بیشتری برخوردار هستند (Mendicino و همکاران، ۲۰۰۸). به‌عنوان مثال شاخص SPI^۱ که توسط Mckee و همکاران (۱۹۹۳) برای پایش خشکسالی هواشناسی تدوین شد، برای مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شده و برای هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. محاسبه این شاخص مستلزم برازش مناسب‌ترین تابع توزیع احتمالاتی بوده که معمولاً با توزیع گاما برازش می‌یابد. سپس تابع جمععی توزیع محاسبه شده به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Mosaedi و همکاران، ۲۰۰۹). کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت، عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در صورتی که کمبود بارش طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر منابع آب موثر است (Hayes، ۲۰۰۷).

برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی منابع آب زیرزمینی، شاخص GRI^۲ یا شاخص منبع آب زیرزمینی توسط Mendicino و همکاران (۲۰۰۸) در کالابریای ایتالیا آزمایش شد. تاکنون شاخص GRI به‌عنوان جدیدترین و کاربردی‌ترین شاخص با ۴۰ سال

¹ Standardized Precipitation Index

² Groundwater Resource Index

این پژوهش با هدف تبیین و توصیف خشک‌سالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی و کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف و اثر آن بر روی منابع آب زیرزمینی انجام شد. ارائه نتایج حاصله، گام مهمی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب منطقه می‌باشد.

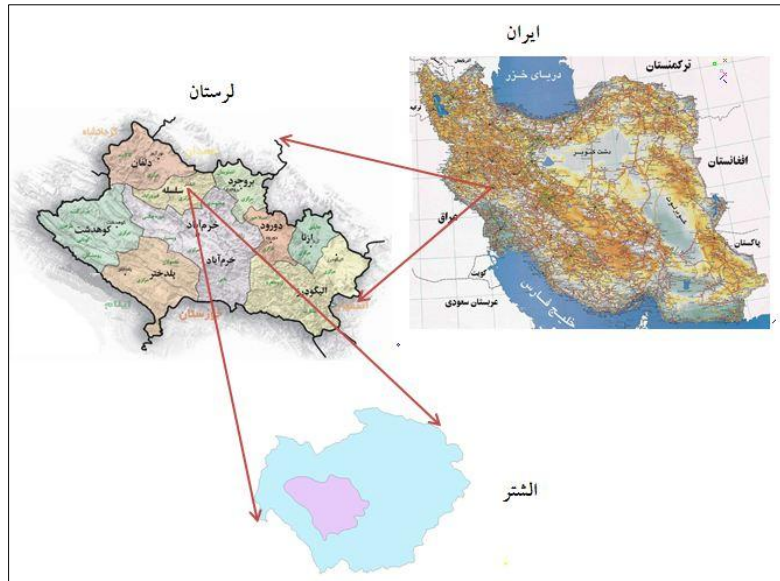
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز الشتر با مساحت ۷۹۵ کیلومتر مربع در ۶۰ کیلومتری شمال غربی شهر خرم‌آباد، واقع شده است. از نظر ژئومورفولوژیکی این حوضه به دو واحد کوه و دشت تقسیم می‌شود. آبخوان الشتر با مساحت ۱۱۰ کیلومتر مربع تقریباً ۱۴ درصد سطح این حوضه را به خود اختصاص داده است. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز الشتر را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات ارتفاعی آن حدود ۲۱۸۰ متر یعنی از ۱۴۵۰ متر در خروجی تا ۳۶۳۳ متر در بلندترین نقطه آن می‌باشد. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۵۸۰ متر است و رشته کوه‌های مرتفع آهکی حد شمال و شمال شرقی آن را تشکیل می‌دهند. رسوبات آبرفتی دشت متشکل از شن، ماسه و قلوه‌سنگ می‌باشد که با لایه‌های رس به‌طور متناوب ضخامت آبرفت را تشکیل می‌دهند. سازندهای شناخته شده این دشت شامل رسوبات کرتاسه، سازند کشکان، کنگلومرای بختیاری و نهشته‌های آبرفتی می‌باشد. بارندگی متوسط سالانه محدوده ۵۵۴ میلی‌متر می‌باشد. رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است و بیشترین و کمترین بارش‌ها به ترتیب در فصل‌های سرد و گرم سال رخ می‌دهند. ۸۶ درصد بارندگی سالانه در ماه‌های آذر لغایت اردیبهشت ماه مشاهده شده است. رودخانه الشتر یک رودخانه دائمی است که از دامنه‌های جنوبی رشته ارتفاعات گرین که یکی از کانون‌های آبگیری دائمی در لرستان می‌باشد، سرچشمه گرفته و تحت نام کهمان به‌طرف غرب جریان یافته و از میان دره تنگی می‌گذرد و روستاهای کرجان، دره‌تنگ، کهمان‌علیا و سفلی را مشروب می‌کند. متوسط آبدهی سالانه این رودخانه در محل خروجی از محدوده ۲۶۱/۹ میلیون مترمکعب برآورد شده است (Zharfab, ۲۰۰۳).

داده شبیه‌سازی شده آزمایش شده است. برای پایش خشک‌سالی آب زیرزمینی در مناطق مدیترانه‌ای این شاخص بهتر از شاخص‌های دیگر است (Nico و همکاران، ۲۰۱۰). بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های SPI و GRI به‌عنوان دو شاخص مفید و قابل اعتماد برای پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی در ایران و سایر کشورهای دنیا به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. Ahmadi و Naserzadeh (۲۰۱۲) در پژوهشی با عنوان بررسی عملکرد شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ارزیابی خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین دریافتند که شاخص SPI برای نشان دادن خشک‌سالی‌های شدید در جایگاه نخست قرار دارد.

Yasamani و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام خراسان رضوی از شاخص GRI استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۴۸ ماهه وجود دارد. هنگامی که خشک‌سالی هواشناسی اتفاق می‌افتد، ابتدا تغذیه آب زیرزمینی کاهش یافته، سپس سطح ایستابی و دبی آبخوان کاهش می‌یابد. گرچه تمام خشک‌سالی‌ها از کمبود بارندگی سرچشمه می‌گیرند، اما خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی نسبت به خشک‌سالی‌های هواشناسی و کشاورزی معمولاً با تأخیر زمانی رخ می‌دهند (Fatehi و Taie Semiromi, ۲۰۱۳).

Ebrahimi و Mohammadi Ghalehi (۲۰۱۱)، در پژوهشی در دشت ساوه دریافتند که بین شاخص SPI ایستگاه احمدآباد و سطح سفره آب زیرزمینی در مقیاس ۲۴ ماهه رابطه معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد برقرار است. یعنی خشک‌سالی هواشناسی در دشت ساوه به‌طور متوسط پس از گذشت دو سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی دارد. Mohammadi و Shamsipour (۲۰۰۳) در بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان به این نتیجه رسیدند که اثر خشک‌سالی با تأخیر زمانی نه‌ماهه در آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز الشتر

۴۸ ماهه برای دشت‌الشتر در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۷۰ محاسبه شد. در مرحله بعد با توجه به مقدار SPI، وضعیت رطوبتی برای هر بازه زمانی با استفاده از جدول ۱ تعیین شد. سادگی محاسبات و در دسترس بودن اطلاعات و آمار مورد نیاز سبب شده تا در تحلیل خشکسالی این شاخص کمی، از مقبولیت جهانی زیادی برخوردار شود (Nathaniel و Guttman، ۱۹۸۸؛ Seif و همکاران، ۲۰۱۲).

روش پژوهش: پس از جمع‌آوری اطلاعات و آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک منتخب، آزمون‌های همگنی، روی داده‌های بارندگی ماهانه انجام و نواقص آماری به روش تفاضل و نسبت‌ها برطرف شد. سپس به‌منظور تعیین وضعیت خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI از طریق نرم‌افزار DIP (Morid و همکاران، ۱۹۹۶) در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و

جدول ۱- وضعیت رطوبتی بر حسب شاخص SPI (Mckee و همکاران، ۱۹۹۳)

طبقات	وضعیت رطوبتی	مقادیر SPI
۱	بسیار مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی ۲
۲	مرطوب	۱ تا ۱/۹۹
۳	نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
۴	خشک	-۱ تا -۱/۹۹
۵	بسیار خشک	کوچک‌تر یا مساوی -۲

SPI_{ij} شاخص خشکسالی ماه‌های کمتر از ۱- بر اساس مقیاس زمانی نام در ماه نام می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر وقوع خشکسالی‌ها در طول دوره آماری بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر، از آمار ۱۵ عدد چاه پیژومتری استفاده شد. برای محاسبه ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت، ابتدا با استفاده از ابزارهای تحلیلی ArcGIS10 سطح اثر چاه‌های پیژومتری به‌روش تیسن تعیین شد. سپس مشاهدات ماهانه سطح ایستابی در طول دوره آماری

بزرگی خشکسالی^۱ (DM) بر اساس این شاخص از طریق رابطه (۱) تعریف می‌شود (Mckee و همکاران، ۱۹۹۳).

$$DM = \sum_{j=1}^n SPI_{ij} \quad (1)$$

که در آن، DM بزرگی خشکسالی، z ماه وقوع خشکسالی، n تعداد ماه‌های وقوع خشکسالی و

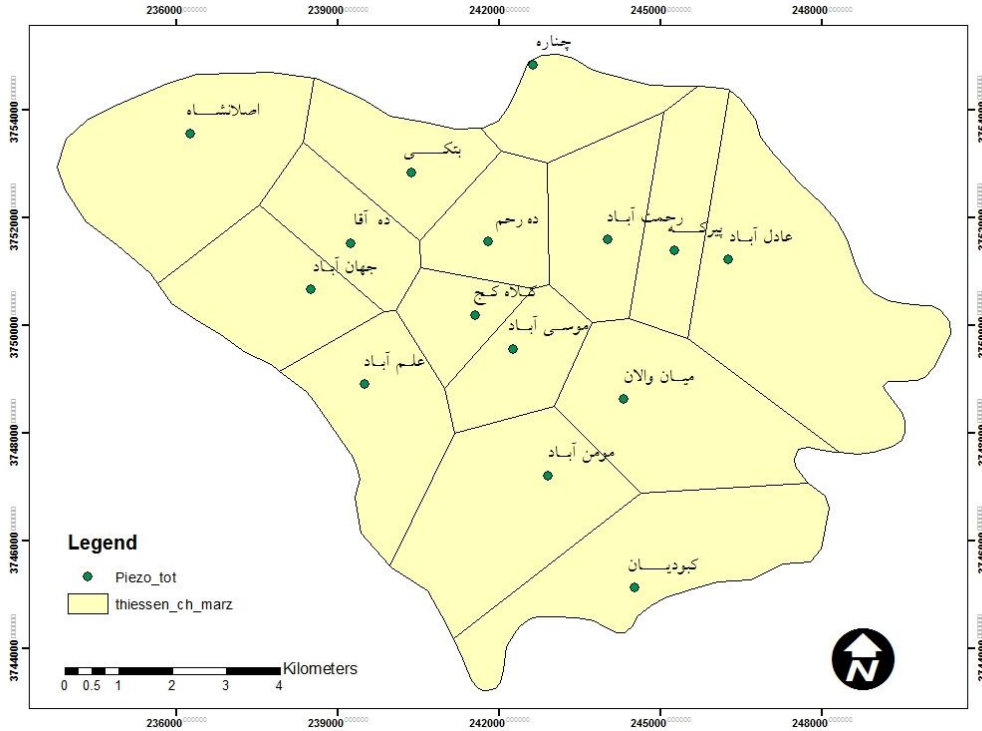
^۱ Drought Magnitude

محاسبه شد. موقعیت چاه‌های پیزومتری و سطح اثر آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$W_{t_{Ave}} = \sum A_i W_{t_i} / \sum A \quad (2)$$

که در آن، A_i سطح اثر پیزومتر نام و W_i تراز سطح ایستابی در پلی گن نام می‌باشد.

به صورت یک ماتریس 15×234 مرتب شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشانه ماه‌های سال است که در طول دوره تکرار می‌شود و ستون‌ها نشانه چاه‌های پیزومتری است. در مرحله بعد میانگین وزنی تراز سطح ایستابی ماهانه در طول دوره آماری با استفاده از رابطه (۲)



شکل ۲- موقعیت چاه‌های پیزومتری دشت الشتر و سطح اثر آن‌ها

مناسب (گاما) برازش یافت. تابع حاصل شده به منظور پیدا کردن احتمال تجمعی داده‌ها برای یک ایستگاه و برای ماه معین و مقیاس زمانی گوناگون می‌تواند استفاده شود. شاخص‌های SPI و GRI یک مقدار نرمال شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک می‌باشند. مراحل محاسبه و فرمول‌های محاسباتی این شاخص‌ها به‌طور کامل در پژوهش (Loukas و Vasilades, ۲۰۰۴) آورده شده است. پس از محاسبه شاخص‌های فوق، نرمال بودن داده‌ها در سطح 0.05 درصد با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS Ver.20 انجام شد.

به منظور بررسی شدت اثر بارندگی بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی، ضریب همبستگی بین شاخص SPI با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در مقیاس‌های زمانی مختلف، با اعمال

مقدار شاخص GRI همانند شاخص SPI برای آبخوان دشت، طی دوره آماری ۲۰ ساله از رابطه (۳) محاسبه شد (Mendicino و همکاران، ۲۰۰۸).

$$GRI = (D_{y,m} - \mu_{D,m}) / \sigma_{D,m} \quad (3)$$

که در آن، GRI شاخص منابع آب زیرزمینی، $D_{y,m}$ مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه m و $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار سطح آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد.

طبقه‌بندی و تعیین وضعیت رطوبتی در مدل GRI شبیه مدل SPI است، زیرا در هر دو روش از توزیع نرمال استفاده شده است (Nico و همکاران، ۲۰۱۰). محاسبه شاخص‌های SPI و GRI برای هر منطقه بر پایه آمار درازمدت برای یک دوره آماری مشخص صورت می‌گیرد. این آمار درازمدت به توزیع آماری

همگی در محیط نرم‌افزار Minitab Ver.14 انجام شد. سپس شاخص SPI با فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی دشت الشتر، با تأخیرهای زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بررسی و تحلیل شد.

نتایج و بحث

به منظور مقایسه وضعیت رطوبتی بارندگی و تراز سطح آب زیرزمینی دشت الشتر، با استفاده از نرم‌افزار DIP Ver.2 وضعیت رطوبتی دشت در مقیاس سالانه بر اساس شاخص SPI و GRI با استفاده از مقادیر بارندگی و تراز سطح ایستابی ماهانه ایستگاه‌های منتخب و چاه‌های پیرومتری، طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۸۹) محاسبه و طبقه‌بندی شد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴ و شکل ۳).

بدون اعمال تأخیر زمانی محاسبه شد (Yasamani و همکاران، ۲۰۱۲؛ Seif و همکاران، ۲۰۱۲). ضریب همبستگی میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI از طریق رابطه (۴) محاسبه شد (Khan و همکاران، ۲۰۰۸).

$$P_{x,y} = \text{cov}(x,y) / \sigma_x \sigma_y \quad (4)$$

که در آن، $P_{x,y}$ ضریب همبستگی بین شاخص معیار شده و میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، x شاخص بارندگی معیار شده، y میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، σ_x انحراف معیار شاخص بارندگی معیار شده و σ_y انحراف معیار میانگین سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

محاسبات مربوط به ضرایب همبستگی بین متغیرها، پس از پردازش اولیه به کمک Excel 2010.

جدول ۲- وضعیت رطوبتی سالانه دشت الشتر بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

سال	بارش سالانه (میلی‌متر)	مقادیر SPI	کلاس رطوبتی	وضعیت رطوبتی	مقادیر GRI	کلاس رطوبتی	وضعیت رطوبتی
۱۳۷۰-۱۳۷۱	۷۸۴/۵	۱/۳۸	۲	مرطوب	۰/۸	۳	نرمال
۱۳۷۱-۱۳۷۲	۸۰۳/۹	۱/۴۷	۲	مرطوب	۱/۵۴	۲	مرطوب
۱۳۷۲-۱۳۷۳	۵۸۳/۴	۰/۳۱	۳	نرمال	۱/۲۵	۲	مرطوب
۱۳۷۳-۱۳۷۴	۸۲۵/۵	۱/۷	۲	مرطوب	۱/۲۷	۲	مرطوب
۱۳۷۴-۱۳۷۵	۷۰۷	۰/۹۹	۳	نرمال	۱/۲۲	۲	مرطوب
۱۳۷۵-۱۳۷۶	۵۳۶/۶	۰/۰۲	۳	نرمال	۰/۷۴	۳	نرمال
۱۳۷۶-۱۳۷۷	۵۸۴/۲	۰/۳۱	۳	نرمال	۰/۸۲	۳	نرمال
۱۳۷۷-۱۳۷۸	۲۶۱/۵	-۲/۱۲	۵	بسیار خشک	۰/۲۲	۳	نرمال
۱۳۷۸-۱۳۷۹	۳۳۲/۳	-۱/۴۶	۴	خشک	-۰/۵۸	۳	نرمال
۱۳۷۹-۱۳۸۰	۵۳۸/۶	۰/۰۴	۳	نرمال	-۱	۴	خشک
۱۳۸۰-۱۳۸۱	۴۵۱/۶	-۰/۵۴	۳	نرمال	-۰/۶	۳	نرمال
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۴۷۸/۹	-۰/۳۵	۳	نرمال	-۰/۶۱	۳	نرمال
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۵۴۴/۳	۰/۰۷	۳	نرمال	-۰/۵	۳	نرمال
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۵۰۲/۳	-۰/۱۹	۳	نرمال	-۰/۳۴	۳	نرمال
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۵۴۹/۲	۰/۱	۳	نرمال	۰/۱۳	۳	نرمال
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۶۲۰/۹	۰/۵۲	۳	نرمال	۰/۱۴	۳	نرمال
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۳۳۳/۹	-۱/۴۴	۴	خشک	-۰/۸۳	۳	نرمال
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۳۶۸/۸	-۱/۱۶	۴	خشک	-۲/۱۳	۵	خیلی خشک
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۵۹۵/۵	۰/۳۸	۳	نرمال	-۱/۵۹	۴	خشک

ماه متناظر، طی دوره آماری محاسبه شد. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی SPI، ضریب همبستگی آن با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده در این قسمت از پژوهش با نتایج کار Mendicino و همکاران (۲۰۰۸) و Seif و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت

با توجه به این‌که شاخص‌های GRI و SPI از طریق اختلاف بین داده (داده سطح آب زیرزمینی یا داده بارندگی) با میانگین و تقسیم کردن بر انحراف معیار محاسبه شده‌اند، مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در

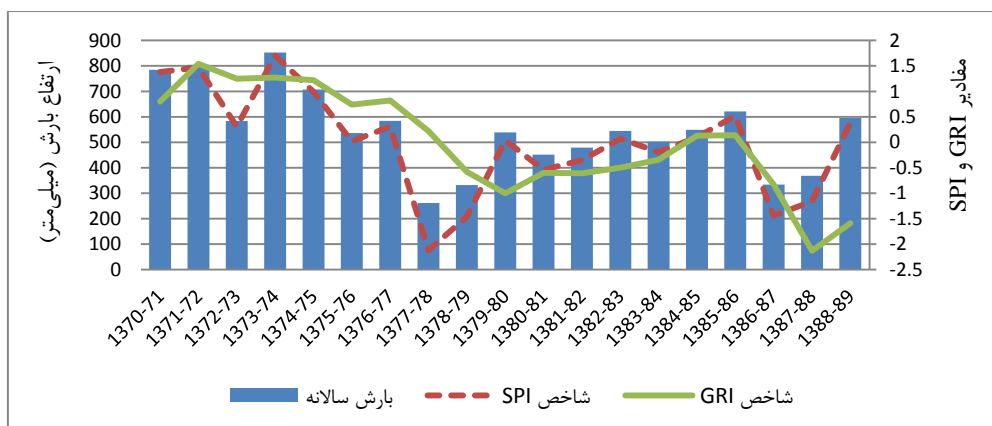
دارد. بیشترین ضریب همبستگی ماهانه بین شاخص SPI و فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی دشت الشتر، در مقیاس ۲۴ ماهه در سطح ۰/۰۱ و احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۳- فراوانی وقوع نسبی وضعیت رطوبتی ماهانه دشت الشتر بر اساس شاخص SPI (درصد)

شهریود	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	وضعیت رطوبتی
*	*	*	*	*	*	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۰	بسیار مرطوب
۲۳/۵	۲۳/۵	۲۳/۵	۲۳/۵	۲۳/۵	۲۳/۵	۱۱/۸	۱۱/۸	۱۱/۸	۱۱/۸	۱۱/۸	۲۳/۵	مرطوب
۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۶۴/۷	۷۶/۵	۶۴/۷	نرمال
۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۵/۹	۱۱/۸	خشک
۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۵/۹	*	*	*	*	۵/۹	۰	بسیار خشک

جدول ۴- فراوانی وقوع نسبی وضعیت رطوبتی ماهانه دشت الشتر بر اساس شاخص GRI (درصد)

شهریود	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	وضعیت رطوبتی
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	بسیار مرطوب
۲۰	۲۵	۲۵	۲۵	۳۰	۲۵	۲۱/۱	۱۵/۸	۲۱/۱	۲۱/۱	۲۱/۱	۲۱	مرطوب
۶۵	۶۰	۶۰	۵۵	۵۰	۶۰	۵۷/۹	۶۸/۴	۶۳/۲	۶۳/۲	۵۷/۹	۵۷/۹	نرمال
۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵	۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۵/۳	۵/۳	۱۰/۵	۱۵/۸	خشک
۵	۵	۵	۵	۵	۱۰	۱۰/۵	۵/۳	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۵/۳	بسیار خشک



شکل ۳- مقایسه بارش سالانه با وضعیت رطوبتی سالانه دشت الشتر بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI ماهانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI در طول دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹

	SPI_1	SPI_3	SPI_6	SPI_9	SPI_12	SPI_18	SPI_24	SPI_48
میانگین سطح ایستابی	-	۰/۱۸۷	۰/۴۲۹	۰/۶۳۷	۰/۷۱۸	۰/۷۱۶	۰/۸۰۳	۰/۷۱۳
شاخص GRI	-	۰/۲۵۶	۰/۴۵۴	۰/۶۳۳	۰/۷۰۴	۰/۷۵۵	۰/۷۹۹	۰/۶۸۵

شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه و شاخص GRI با اعمال تأخیر زمانی ۱۲ ماهه برقرار است. ضریب همبستگی بین SPI_24 و تراز متوسط سطح ایستابی نیز بدون اعمال تأخیر زمانی برابر ۰/۸۰۸ است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶).

تأثیر تأخیر زمانی ماهانه خشک‌سالی هواشناسی بر تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI با تأخیرهای زمانی یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی با مقدار r مساوی ۰/۸۴ بین

جدول ۶- ضرایب همبستگی شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت الشتر با اعمال تأخیر زمانی

	ماه ۱	ماه ۲	ماه ۳	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۶	ماه ۹	ماه ۱۲	ماه ۱۸	ماه ۲۴	ماه ۴۸
سطح ایستابی	۰/۸۰۸	۰/۷۹۸	۰/۷۷۳	۰/۷۴۷	۰/۷۱۱	۰/۶۷۸	۰/۶۴۸	۰/۶۷۲	۰/۵۴۶	۰/۴۸۱	۰/۲۵۰
شاخص GRI	۰/۷۲۶	۰/۷۴۱	۰/۷۵۴	۰/۷۶۴	۰/۷۷۱	۰/۷۷۵	۰/۷۷۶	۰/۸۴۱	۰/۷۷۰	۰/۷۹۱	۰/۵۹۰

بارندگی معیار شده در مقیاس ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی می‌باشد.

با توجه به ضریب تبیین محاسبه شده، ۶۴/۴ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی تحت تأثیر SPI₂₄ و ۳۵/۶ درصد، متأثر از سایر عوامل است. بیشترین همبستگی بین شاخص SPI در فصل‌های مختلف سال، با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI مربوط به فصل بهار می‌باشد. همبستگی بین شاخص SPI فصل‌های بهار و زمستان در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۸).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، بین تراز متوسط سطح ایستابی به‌عنوان متغیر وابسته و SPI₂₄ به‌عنوان متغیر مستقل رابطه رگرسیون خطی ساده، طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹ برقرار شد. به‌طوری‌که، این رابطه در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است (جدول ۷). معادله رگرسیون خطی بین این دو متغیر در آبخوان دشت الشتر به‌صورت رابطه (۵) می‌باشد.

که در آن، $D_{y,m}$ مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m SPI₂₄ شاخص

$$D_{y,m} = 1578 + 1.64 \text{SPI}_{24} \quad (5)$$

جدول ۷- نتایج رگرسیون خطی بین تراز متوسط سطح ایستابی و SPI₂₄ طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹

ضرایب	P Value	R (adj)	R ²	متغیر وابسته	متغیر مستقل
۱۵۷۸ = مقدار ثابت SPI ₂₄ = ۱/۶۴	۰/۰	۶۴/۴	۶۴/۳	$D_{y,m}$	SPI ₂₄

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI فصلی با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت الشتر در طول دوره ۱۳۷۰-۱۳۸۹

	SPI فصل بهار	SPI فصل تابستان	SPI فصل پاییز	SPI فصل زمستان	SPI کل سال
تراز متوسط سطح ایستابی	۰/۶۷۷***	۰/۱۴۷	-۰/۲۵۴	۰/۵۳۲***	۰/۶۲۳***
شاخص GRI	۰/۶۵۸***	۰/۴۳۵	-۰/۲۳۹	۰/۵۹۱***	۰/۵۹۹***

*** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

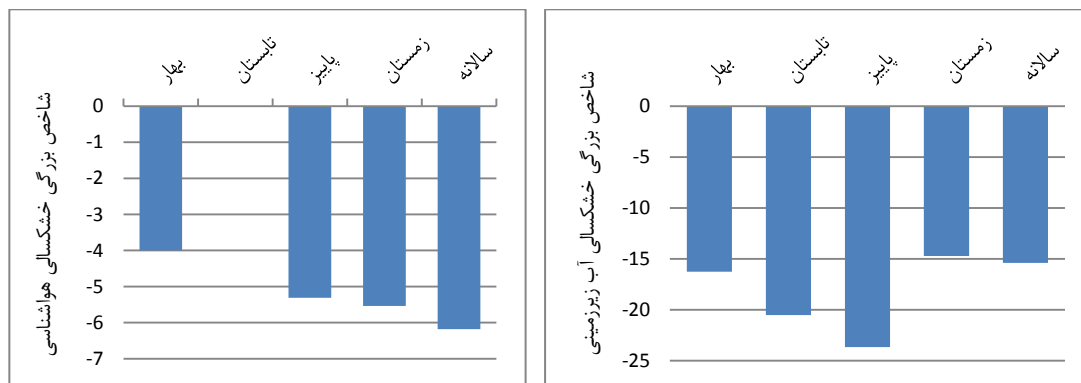
شاخص GRI برقرار شد. در این بررسی معلوم شد، بیشترین همبستگی بین SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI مربوط به تأخیر زمانی دو سال است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۹).

با توجه به جدول‌های ۵، ۶ و ۹ در می‌یابیم که بین فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی دشت الشتر با شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه همبستگی بالایی وجود دارد. بنابراین، خشک‌سالی هواشناسی در دشت الشتر به‌طور متوسط پس از گذشت دو سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی دارد. تغییرات سطح ایستابی بسیاری از آبخوان‌ها که تحت تأثیر عواملی چون بارندگی و پساب‌های کشاورزی است، از

با استفاده از رابطه (۱) بزرگی خشک‌سالی‌های فصلی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، در طول دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹ بزرگی خشک‌سالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی به‌ترتیب بر فصول زمستان و پاییز منطبق هستند. بررسی‌ها نشان داد که علت بزرگی خشک‌سالی ژئوهیدرولوژیکی فصل پاییز به‌دلیل کاهش بارش‌های زمستانه و بهره‌برداری آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی در فصول بهار و تابستان است (شکل ۴). به‌منظور تعیین تأثیر بارندگی بر فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی در مقیاس سالانه، روابط همبستگی با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی بین SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستابی و

زمین‌شناسی هر منطقه متغیر است. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های Mendicino و همکاران (۲۰۰۸)؛ Eimani و Talebi Esfandarani (۲۰۱۱) و Seif و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارند.

الگوهای فصلی و سالانه تبعیت می‌کنند (Toud, ۱۹۸۰). زیرا آب نفوذیافته حاصل از بارندگی با تأخیر زمانی به منابع آب زیرزمینی می‌پیوندد. این تأخیر زمانی بر حسب شرایط و ویژگی‌های تشکیلات



شکل ۴- مقایسه بزرگی خشکسالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی دشت الشتر بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت الشتر در طول دوره ۱۳۸۹-۱۳۷۰

	SPI سالانه با تأخیر زمانی				SPI سالانه بدون تأخیر زمانی
	ساله ۱	ساله ۲	ساله ۳	ساله ۴	
تراز متوسط سطح ایستابی	۰/۶۰۶***	۰/۷۶۷***	۰/۵۹۶***	۰/۴۵۱	۰/۶۲۳
شاخص GRI	۰/۵۸۲***	۰/۷۶۷***	۰/۵۶۷***	۰/۴۰۸	۰/۵۹۶

*** در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

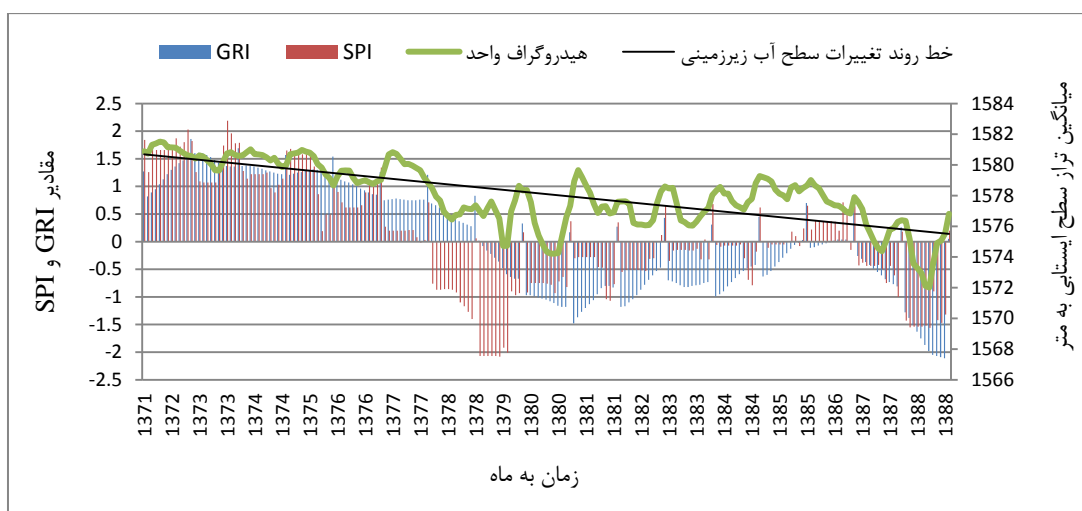
نتیجه‌گیری کرد که علاوه بر خشکسالی هواشناسی عوامل دیگری مثل بهره‌برداری غیر اصولی و مدیریت نشده از منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف، به‌خصوص در بخش کشاورزی باعث بروز خشکسالی آب زیرزمینی می‌شوند.

همچنین، بررسی خط روند تغییرات هیدروگراف واحد دشت نشان داد که میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی است. افت سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۸۸ معادل ۵/۷۴ متر برآورد شد. بنابراین در طی این مدت سطح آب زیرزمینی آبخوان الشتر در هر سال ۰/۳۴ متر افت نموده است.

در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI وضعیت رطوبتی هواشناسی و آب‌زیرزمینی حوضه الشتر در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در چهار طبقه مرطوب، نرمال، خشک و بسیارخشک تعیین شد.

بررسی مقادیر SPI دشت الشتر با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI این مطلب را تأیید می‌کند. شکل ۵، ارتباط میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI را نسبت به تغییرات شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه، بدون تأخیر زمانی را نشان می‌دهد. بر این اساس، در هنگام خشکسالی‌های هواشناسی، یعنی زمانی که شاخص SPI ۲۴ ماهه دارای مقادیر ۱- یا کمتر هستند، میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی روند کاهشی داشته و شاخص GRI خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی (خشکسالی آب زیرزمینی) را نشان می‌دهد. بر اساس شکل مذکور، هر دو خشکسالی (هواشناسی و آب زیرزمینی) در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ بر منطقه حاکم بوده‌اند.

در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ با این که شاخص SPI مقادیر مثبتی را نشان می‌دهد، اما هیدروگراف واحد دشت دارای روند کاهشی بوده و شاخص GRI نیز مقادیر منفی را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان



شکل ۵- رابطه SPI در مقیاس ۲۴ ماهه، بدون تأخیر زمانی با میانگین ارتفاع سطح آب زیر زمینی و شاخص GRI

بررسی بزرگی خشکسالی‌ها نشان داد، در طول دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۹ خشکسالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی به ترتیب بر فصول زمستان و پاییز منطبق هستند. کاهش بارش‌های زمستانه و بهره‌برداری آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی در فصول بهار و تابستان علت این امر است.

آب زیرزمینی دشت الشتر تحت تأثیر دو عامل خشکسالی هواشناسی و پمپاژ آب برای مصارف کشاورزی است. بنابراین، به منظور مدیریت بهینه مصرف آب کشاورزی و جلوگیری از تخریب منابع آب، استفاده از مدل‌های متناسب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، برای تخصیص منابع آب بین مصرف‌کنندگان مختلف پیشنهاد می‌شود.

به منظور بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی آبخوان الشتر، بین شاخص GRI و متوسط سطح ایستابی با شاخص SPI، رابطه همبستگی برقرار شد. بررسی‌های آماری نشان داد که در این منطقه، شاخص بارندگی معیار شده SPI با مقیاس ۲۴ ماهه و بدون تأخیر زمانی، بر تراز متوسط سطح ایستابی دشت تأثیر دارد. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط Mendicino و همکاران (۲۰۰۸)، Seif و همکاران (۲۰۱۲) در آبخوان دشت فسا، Shakiba و همکاران، (۲۰۱۰) در شرق استان کرمانشاه، Yasamani و همکاران (۲۰۱۲) در دشت تربت جام فریمان مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

1. Commission, W.W. (2000). A water secure world: vision for Marseille. World Water Council.
2. Eimani, M., A. Talebi Esfandarani. 2011. Effects of drought on aquifer level changes in Yazd Bahabad plain, using GRI indicators and SPI. Fourth Iranian Water Resources Management Conference, AmirKabir University of Technology, Tehran, 8 pages (in Persian).
3. Fatehi Marj, A., M. Taie Semiromi. 2013. Forecasting groundwater table and water budget under different drought scenarios using MODFLOW model, case study: Garbaygan Plain, Fars Province, Iran. Journal of Water Sciences Research, 5(1): 41-54.
4. Gourbesville, P. 2008. Challenges for integrated water resources management. Physics and Chemistry of the Earth, 33(5): 284-289.
5. Hayes, M.J. 2007. Intermountain west climate summary. Drought Indices, pages 2-6.
6. Khan, S., H. Gabriele and T. Rana. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. Irrigation Drainage System, 22: 159-177
7. Loukas, A. and L. Vasiliades. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 719-731.
8. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim, 179-184.
9. Mendicino, G., A. Senatore and P. Versace. 2008. A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357(3-4): 282-302.

10. Choi, M., J.M. Jacobs, M.C. Anderson and D.D. Bosch. 2013. Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476: 265-273.
11. Mohammadi Ghaleni, M. and K. Ebrahimi. 2011. Assessing impact of irrigation and drainage network on surface and groundwater resources, case study: Saveh Plain, Iran. 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23.
12. Mohammadi, H. and A. Shamsipour. 2003. The impact of recent droughts in the loss of groundwater resources in northern plains of Hamedan. *Geographical Research*, 45: 115-130 (in Persian).
13. Morid, S., M. Moghadasi, S. Arshad and M. Omid. 1996. Drought indices package. Water Resources Management Co. (WRMSC), Ministry of Energy, Tehran, Iran..
14. Mosaedi, A., M. Marashi and Gh. Kavakebi. 2009. Comparison of drought frequency in arid and humid regions, case study: Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15: Pages? (in Persian).
15. Naserzadeh, M., E. Ahmadi. 2012. Meteorological drought indices in assessing the performance of the drought and its zoning in Qazvin. *Applied Research of GIS (Geographical Sciences)*, 12(27): 141-162 (in Persian).
16. Nathaniel, B. and N. Guttman. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Association*, 34(1): 113-121.
17. Nico, W., A.J. Van Lanen and A.F. Loon. 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. *Wageningen, Netherlands, Water and Global Change*, 24: 80-93.
18. Peters, E., P.J.J.F. Torfs, H.A.J. Van Lanen and G. Bier. 2003. Propagation of drought through groundwater, a new approach using linear reservoir theory. *Journal name?*, 17: 3023-3040.
19. Seif, M., H. Mohammadzade and A. Mosaedi. 2012. Assess the impact of drought on groundwater resources in Fasa aquifer using Standardized Precipitation Index, a measure of electrical conductivity of groundwater resources. *Journal of Water Resources*, 5: 45-59.
20. Shakiba, A., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the east Kermanshah province. *Geography (Journal of Geographical Society of Iran)*, 8(25): 105-124 (in Persian).
21. Silva, V.P.R. 2003. On climate variability in north-east Brazil. *Journal of Arid Environment*, 54(2): 256-367.
22. Tallaksen, L.M, and H.A.J. Van Lanen. 2004. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Development in water science, Technical Report 48- 53*.
23. Toad, D.K. 1980. *Groundwater hydrology*. California, Berkeley, 535 pages.
24. Van Lanen, H.A.J. and E. Peters. 2000. Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In J. S. Vogt, *Drought and Drought Mitigation in Europe* (pp. 49-61). Dordrecht: Kluwer.
25. Yasamani, S., H. Mohammadzadeh and A. Mosaedi. 2012. Effect of drought on groundwater levels in Torbatjam plain using indices SPI and GRI. 6th Congress of Geological Society of Iran. Shiraz: Shiraz University (in Persian).
26. Zharfab, C. 2033. Semi-detailed study of groundwater resources. Khorramabad: Regional Water Organization of West (in Persian).

Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar

Gholamreza Chamanpira^{*1}, Gholamreza Zehtabian², Hasan Ahmadi³ and Arash Malekian⁴

¹ PhD Student, Sciences and Researches Unit, Islamic Azad University, Iran, ² Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, ³ Professor, Sciences and Researches Unit, Islamic Azad University, Iran and ⁴ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 03 September 2013

Accepted: 27 November 2013

Abstract

Drought is the most hazardous natural phenomenon. Although not preventable, its negative effects can be reduced through taking some measures. One of the systems severely affected by drought while less considered is the groundwater. In this study, drought status and its impact on groundwater resources was investigated in Alashtar Plain using Standardized Precipitation Index (SPI) at monthly, quarterly, and annual scales and the Groundwater Resource Index (GRI) during the statistical period of 1991-2010. After data collection, statistical errors were corrected by subtraction and ratios method. Then, to determine the status, SPI and GRI were calculated with DIP software on an annual, seasonal, and three, six, nine, 12, 18, 24, and 48-month time scales for Alashtar Plain. Then, according to SPI and GRI value, the moisture status were determined for each period. Results indicated that the trend of plain meteorological and groundwater drought is negative. Correlation between SPI at different time scales with and without the time delay and with average groundwater level and GRI was analyzed. Statistical analysis showed that SPI was significant at the level of 0.01, in the 24-month time scale without any time delay with mean groundwater level and GRI and had the highest correlation coefficient, suggesting the impact of drought on Alashtar plain groundwater. Regression relation between the mean level of the water table and SPI₂₄ showed that 64.4% of the variance at the mean level of water table was affected by SPI₂₄ and 35.6% was affected by other factors. Drought magnitude (DM) analysis showed that meteorological and groundwater droughts are consistent with winter and autumn, respectively. Undoubtedly, optimized utilization management, especially in spring and summer, may have a critical impact on preventing damages to the groundwater resources of the region.

Key words: Drought magnitude, Groundwater Resource Index, Lag time, Standardized Precipitation Index, Statistical analysis

* Corresponding author: chamanpira2000@gmail.com