

Evaluation of the Effect of Meteorological Drought on Groundwater of Koohdasht Aquifer in Lorestan Province

R. Chamanpira¹

ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آبهای زیرزمینی آبخوان کوهدهشت در استان لرستان

رضا چمن پیرا^۱

Abstract

The aim of this article was to explain and describe the meteorological and geohydrological droughts, to quantify the lack of rainfall at different time scales and the effect of which on groundwater resources, and to detect the relationship between the occurrence and time delay of meteorological and geohydrological droughts in Kuhdasht aquifer. Groundwater Resource Index and Standardized Precipitation Index indices were used in this research. The SPI index at monthly, quarterly, and annual time scales and the GRI index during the statistical period of 1985-2021 were used to investigate the drought condition and its impact on groundwater resources. In addition to the seasonal and annual scales, the mentioned indices were also calculated on 3, 6, 9, 12, 18, 24, and 48-month basis. The most extended drought period and frequency were obtained using the total Drought Magnitudes criterion. Moisture status for each period was determined with the values obtained from SPI and GRI indices, and thus the trend of drought was investigated. The correlation between different time scales of the SPI index, with average groundwater level and the GRI, was evaluated. The results showed that with increasing time scale, the correlation coefficient of SPI rises with the average groundwater level and GRI and meteorological droughts rate with time delay of 48-months affects the groundwater resources (1% level of significance). The coefficient of (R²) showed that less than 33.1% of the variance of the groundwater level was affected by SPI₄₈, more than 66.9% of which was due to drinking water and industrial water use.

Keywords: Drought Magnitude (DM), Time Delay, Standardized Precipitation Index (SPI), Groundwater Resource Index (GRI), Statistical Analysis.

Received: March 28, 2025

Accepted: May 7, 2025

چکیده

این مقاله 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 و شناخت ارتباط بین وقوع و تأخیر زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی آبخوان کوهدهشت انجام شد. به منظور تعیین وضعیت رطوبتی سالانه منطقه، ابتدا با استفاده از آمار سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۶۷ شاخص‌های بارندگی (SPI) و آب زیرزمینی (GRI) محاسبه گردید. پس از محاسبه شاخص‌های SPI و GRI ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماه متناظر، محاسبه شد. برای تعیین طولانی‌ترین دوره خشکسالی از معیار مجموع بزرگی خشکسالی (DM)، استفاده گردید؛ زیرا دوره‌های طولانی‌تر اثر منفی بیشتری روی آب زیرزمینی دارند. با توجه به مقادیر SPI و GRI وضعیت رطوبتی برای هر بازه زمانی تعیین شد و روند خشک‌سالی‌ها بررسی گردید. سپس همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی، با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، با افزایش مقیاس زمانی، ضریب همبستگی SPI، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش می‌یابد و خشکسالی‌های هواشناسی با تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بر منابع آب زیرزمینی اثر می‌گذارند، که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. بطوری‌که ۳۳/۱ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی آبخوان کوهدهشت تحت تأثیر SPI₄₈ و ۶۶/۹ درصد، متأثر از کشاورزی شرب و صنعت است.

کلمات کلیدی: بزرگی خشک‌سالی، تأخیر زمانی، تحلیل آماری، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)، شاخص بارندگی معیار شده (SPI).

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۸

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran. Email: g.chamanpira@areeo.ac.ir

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1401.18.1.11.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1401.18.1.11.9)

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.



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 et al., 2010). 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, 2003). 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 et al., 2008). به‌عنوان مثال شاخص SPI که توسط Mckee et al. (1993) 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 تجمعی توزیع محاسبه شده به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Mosaedi et al., 2009). 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 مؤثر است (Hayes, 2007). با توجه به اینکه بیش از ۵۰ درصد از آب مورد نیاز بخش کشاورزی محدوده مطالعاتی کوه‌دشت در استان لرستان از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد (Hemmati and Jafari, 2013)، اجرای این پروژه در تبیین و توصیف خشکسالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی و کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف و اثر آن بر روی منابع آب زیرزمینی به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب بسیار حائز اهمیت است. Tood (1980) معتقد است، نوسان سطح ایستابی آبخوان‌ها دارای الگوهای فصلی و سالانه است و غالباً متأثر از بارندگی و پساب‌های کشاورزی می‌باشد؛ زیرا آب نفوذیافته، با تأخیر زمانی به منابع آب زیرزمینی می‌پیوندد. این تأخیر زمانی بر حسب شرایط و ویژگی‌های تشکیلات زمین‌شناسی هر منطقه متغیر است. گرچه تمام خشکسالی‌ها از کمبود بارندگی سرچشمه می‌گیرند، اما خشکسالی‌های هیدرولوژیکی نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی معمولاً با تأخیر زمانی رخ می‌دهند (Fatehi Marj and Taie, 2013).

Yasamani et al. (2012) 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

مدیریت خشکسالی، کمبود و بهره‌برداری از منابع آب، و درنهایت بحران مدیریت منابع آب، ازجمله مسائلی هستند که از دیر باز مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان کشورهای مختلف دنیا می‌باشند. وقوع خشکسالی‌های پی در پی علاوه‌بر ایجاد آثار مخرب محیط زیستی از سایر بلایای طبیعی دیگر زیان‌بارتر است؛ زیرا اثرات خشکسالی‌ها در گستره وسیعی کل حیات را در بر می‌گیرند. بنابراین تعیین زمان و مکان دقیق وقوع خشکسالی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت ماهیت و قدرت پیش‌بینی این پدیده می‌تواند گامی مهم و مؤثر در راستای مدیریت و سازگاری با خشکسالی تلقی گردد. در میان شاخص‌های مختلف خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از جایگاه مهم‌تری برخوردارند، زیرا منشأ سایر انواع خشکسالی‌ها مثل خشکسالی‌های کشاورزی و اقتصادی اجتماعی می‌باشند. این شاخص‌ها که به سبب کاربرد و استفاده در مطالعات مختلف، نتایج چشم‌گیری داشته‌اند، شامل شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و شاخص استاندارد شده آب زیرزمینی (GRI) می‌باشند (Khosravi Dehkordi et al., 2019).

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 et al., 2013). در طول قرن گذشته، جمعیت جهان سه برابر شده ولی استفاده از آب شش برابر افزایش یافته است (Gourbesville, 2008). کمیسیون جهانی آب، پیش‌بینی کرده است که در ۳۰ سال آینده استفاده از آب حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (Commission.W.W., 2000). وجه اشتراک همه خشکسالی‌ها، وجود انحراف از حالت نرمال است. خشکسالی هواشناسی می‌تواند در اثر کمبود بارندگی که اغلب با تبخیر و تعرقی بیش ازحالت بالقوه طبیعی همراه است، باشد (Tallaksen et al., 2004). خشکسالی آب‌های زیرزمینی در دوره‌هایی رخ می‌دهد که مقدار بارندگی در آن دوره کمتر از متوسط بلندمدت باشد (Peters et al., 2003).

زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می‌شوند، ابتدا آبگیری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند، چنین خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (Van Lanen et al., 2000). در خشکسالی‌های اخیر، آب‌های زیرزمینی، برای مصارف مختلف کشاورزی، شهری و صنعتی به‌شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این مسأله، تنش خشکی بر منابع آب زیرزمینی را در اکثر نقاط ایران تشدید می‌نماید.

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. Naserzadeh and Ahmadi (2012) در پژوهشی با عنوان بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن دریافتند که شاخص SPI برای نشان دادن خشکسالی‌های شدید در جایگاه نخست قرار دارد. (Mohammadi-Ghaleni and Ebrahimi (2011) 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 and Shamsipour (2003) 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. Chamanpira et al. (2014) تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر را طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۸۹ با استفاده از شاخص SPI بررسی کردند. 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 درصد معنی‌دار بوده و دارای بیشترین ضریب همبستگی است که حاکی از تأثیرگذاری خشکسالی بر منابع آب دشت الشتر است. (Porhemmat et al. (2015) مکانی خشکسالی هواشناسی را در محدوده حوضه کرخه در جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش نمایه‌های SPI و Z به عنوان شاخص استاندارد انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که نمایه Z دارای قرینگی در مقادیر مثبت و منفی نمی‌باشد، لذا این نمایه استاندارد نبوده و در ایستگاه‌های مختلف مقادیر متفاوتی را دارا می‌باشد. بنابراین، قابلیت مقایسه شدت خشکسالی و یا ترسالی را در بین ایستگاه‌ها از بین برده و شاخص مناسبی برای ارزیابی توزیع مکانی خشکسالی نسبت به SPI نمی‌باشد. (Porhemmat et al. (2020) با بررسی و تفکیک دوره‌های خشکسالی و ترسالی در سرشاخه‌های حوضه کرخه (حوضه قره‌سو) بر اساس نتایج میانگین متحرک، چهار دوره خشکسالی و ترسالی را تفکیک نمودند. این چهار دوره شامل ترسالی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۸-۱۳۷۷، خشکسالی ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۳-۱۳۸۲، ترسالی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۶-۱۳۸۵ و خشک‌سالی ۸۷-۱۳۸۶ الی ۹۵-۱۳۹۴ می‌باشد. همچنین، همزمان بررسی نتایج شاخص SPI نشان داد که طی این زمان دو دوره کلی به ترتیب ترسالی و خشکسالی شامل ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۵ قابل تفکیک است. پس از بررسی و مرور منابع معلوم شد که در اکثر مناطق مورد مطالعه رابطه معنی‌داری بین خشکسالی

هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی با تأخیرهای زمانی ماهانه وجود دارد. همچنین مشخص شد شاخص‌های SPI و GRI قابلیت مناسبی در تبیین و توصیف خشک‌سالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی و کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف و اثر آن بر روی منابع آب زیرزمینی را دارند.

وقوع خشکسالی‌های پی در پی، پمپاژ بیش از حد منابع آب زیرزمینی طی سال‌های اخیر، بیابان منفی، افت شدید سطح سفره آب زیرزمینی و وضعیت بحرانی حاکم بر آبخوان کوه‌دشت، اجرای چنین پژوهش‌هایی را برای منطقه ضروری می‌نماید؛ زیرا با بهره‌گیری از این شاخص‌ها و نتایج بدست آمده، امکان مدیریت منابع آب، بخصوص آب‌های زیرزمینی که نقش حیاتی در اقتصاد و معیشت مردم منطقه دارد، فراهم خواهد شد. در این تحقیق علاوه بر بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی دشت کوه‌دشت، بزرگی خشکسالی در طول فصول مختلف سال نیز بررسی گردید. با مقایسه بزرگی خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی دلایل وقوع خشکسالی‌های طولانی مدت نیز بررسی می‌گردد. با توجه به کمبود آب و وقوع خشکسالی‌های اجتناب‌ناپذیر در کشور ایران، استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی به‌منظور مدیریت منابع آب و سازگاری با شرایط خشک و نیمه‌خشک حاکم بر منطقه امری لازم و ضروریست.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- شناخت منطقه مورد مطالعه

آبخوان کوه‌دشت واقع در استان لرستان می‌باشد که بین طول‌های ۴۷°۱۲' تا ۴۷°۵۲' شرقی و عرض‌های ۳۳°۱۷' تا ۳۱°۴۱' شمالی واقع شده است. محدوده مطالعاتی کوه‌دشت دارای ۲ دشت اصلی به نام‌های کوه‌دشت و کشماهور می‌باشد که از طریق جاده آسفالتی کوه‌دشت-سراب دوره-خرم‌آباد به مرکز استان ارتباط دارند. محدوده مطالعاتی کوه‌دشت با وسعت ۱۱۲۹/۳ کیلومتر مربع یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبخیز کرخه بوده و در غرب استان لرستان واقع شده است. این محدوده تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای لرستان قرار دارد. ۳۰۱/۵ کیلومتر مربع از وسعت محدوده را دشت و ۸۲۷/۸ کیلومتر مربع از وسعت آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. وسعت آبخوان دشت کوه‌دشت معادل ۲۴۸/۸ کیلومتر مربع و دشت کشماهور معادل ۵۲/۷ کیلومتر مربع می‌باشد. بطور کلی متوسط ارتفاع در سطح دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر با ۱۲۶۱/۱ و ۱۳۹۶/۲ متر و در کل محدوده مطالعاتی نیز برابر با ۱۳۶۰/۱ متر می‌باشد. متوسط بارش منطقه طی دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۶۷ معادل ۴۷۰ میلی‌متر است. در این دوره حداقل بارش سالانه به مقدار ۲۲۶/۵ میلی‌متر مربوط به سال آبی

۱۳۸۶-۱۳۸۷ و حداکثر آن به میزان ۸۸۷/۲ میلیمتر مربوط به سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، از آمار بلند مدت بارندگی ایستگاه‌های منطقه و داده‌های ماهانه چاه‌های پیژومتری دشت کوهدشت استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی آبخوان کوهدشت را در استان لرستان نشان می‌دهد.

۲-۲- روش تحقیق
 پس از جمع‌آوری اطلاعات و آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک کشکان (پلدختر)، نورآباد، دره تنگ، کاکارضا، کوهدشت (تنگ سیاب)، چمانجیر و گل زرد (دره شهر) بین سال‌های

سپس به منظور تعیین وضعیت خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI از طریق نرم‌افزار DIP در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای محدوده‌های مورد مطالعه در دوره آماری‌های آماری موجود محاسبه شد (Morid et al., 1996). در مرحله بعد با توجه به مقدار SPI، وضعیت رطوبتی برای هر بازه زمانی با استفاده از جدول ۲ وضعیت رطوبتی بر حسب شاخص SPI تعیین شد.

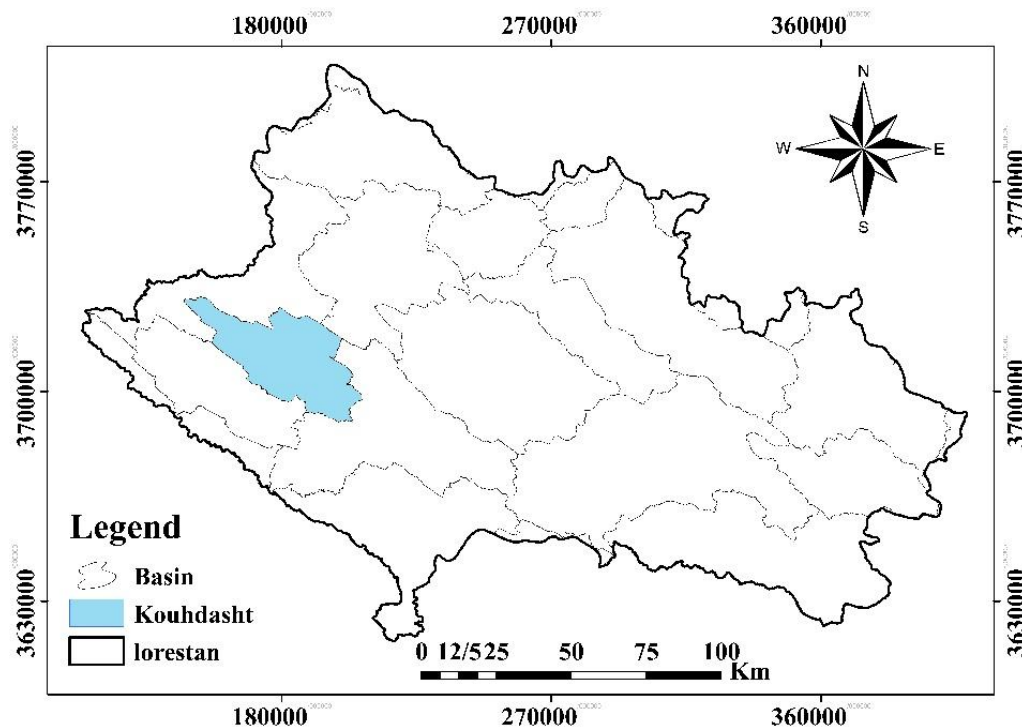


Fig. 1- Study area of Kuhdasht in Lorestan province

شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی کوهدشت در استان لرستان

Table 1- Location of meteorological stations in Kuhdasht study area

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مطالعاتی کوهدشت

Row	Station name	Long	Lat	elevation
1	Chamanjir	24829	3704599	1140
2	Gol-e-Zard	719097	3674072	680
3	Kuhdasht	704641	3695947	940
4	Kashkan	753340	3673051	650
5	Daretang	247350	3758130	1730
6	Nurabad	776923	3664441	1820
7	Kakareza	246710	3734096	1550

Table 2- Moisture status by SPI index (Mckee et al., 1993)

جدول ۲- وضعیت رطوبتی بر حسب شاخص SPI (Mckee et al., 1993)

Drought Classes	Humidity Condition	SPI Values
1	Extremely Wet	≥ 2
2	Wet	1 - 1.99
3	Normal	-0.99 - 0.99
4	Drought	-1 to -1.99
5	Extremely Drought	≤ -2

طبقه‌بندی و تعیین وضعیت رطوبتی در مدل GRI شبیه مدل SPI است؛ زیرا در هر دو روش از توزیع نرمال استفاده شده است (Nico et al., 2010). بنابراین برای محاسبه مقدار شاخص GRI که برای تعیین کلاس خشکسالی آب زیرزمینی بکار می‌رود، همانند شاخص SPI در دامنه $2 < \text{SPI} < 2$ نوسان می‌کند و از رابطه (۱) برای آبخوان مورد مطالعه استفاده می‌شود (Mendicino et al., 2008):

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

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

از جمله مواردی که در بررسی خشکسالی‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است بزرگی خشکسالی (DM) می‌باشد. بزرگی خشکسالی از طریق رابطه (۲) تعریف می‌شود (Mckee et al., 1993):

$$DM = \sum_{j=1}^n SPI_{ij} \quad (2)$$

که در آن، DM بزرگی خشکسالی، n تعداد ماه‌های وقوع خشکسالی و SPI_{ij} شاخص خشکسالی ماه‌های کمتر از ۱- بر اساس مقیاس زمانی n ام در ماه j ام می‌باشد. محاسبه شاخص‌های SPI و GRI بر پایه آمار درازمدت برای یک دوره آماری مشخص صورت می‌گیرد. این آمار درازمدت به توزیع آماری مناسب (گاما) برازش یافت. تابع حاصل شده به‌منظور 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 and Vasiliades (2004) 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. به‌منظور 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 و بدون اعمال تأخیر زمانی محاسبه شد (Yasamani et al., 2012; Seif et al., 2012). ضریب همبستگی میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (Khan et al., 2008):

$$P_{x,y} = \text{cov}(x,y) / \sum_x \sum_y \quad (3)$$

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، \sum_x انحراف معیار شاخص بارندگی معیار شده و \sum_y انحراف معیار میانگین سطح آب زیرزمینی می‌باشد. محاسبات مربوط به ضرایب همبستگی بین متغیرها، پس از پردازش اولیه به کمک Excel 2010، همگی در محیط نرم‌افزار MINITAB Ver.14 انجام شد. سپس با فرض اینکه تأثیر شدت و تداوم خشکسالی هواشناسی بر نوسانات آب زیرزمینی متفاوت بوده و بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی تأخیر زمانی متفاوت وجود دارد، شاخص SPI با فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی، با تأخیرهای زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بررسی و تحلیل شد. در این پژوهش از آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو و داده‌های چاه‌های پیزومتری شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۹ استفاده شد.

۳- نتایج

پس از جمع‌آوری و استخراج داده‌های چاه‌های پیزومتری طی دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۹ گراف واحد معرف آبخوان کوهدشت با استفاده از آمار ۱۳ عدد چاه پیزومتری مطابق شکل ۳ در پایه زمانی ۳۲ ساله ترسیم شد. شیب افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان مربوط به دوره خشکسالی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۳ می‌باشد. کاهش سالانه $1/42$ متر در این دوره ۱۶ ساله سبب افت بسیار شدید $22/75$ متری آبخوان کوهدشت گردید. سال‌های پرباران پس از ۱۳۹۳ نتوانست افت مذکور را جبران کند. مطابق شیب خط روند در طول کل دوره آماری ۳۲ ساله تراز آبخوان کوهدشت با $19/55$ متر سالانه بطور متوسط 61 سانتیمتر افت نموده است (شکل ۴).

ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت کوهدشت، با استفاده از ابزارهای تحلیلی ArcGIS 10 و سطح اثر چاه‌های پیزومتری به‌روش تیسین تعیین و براساس شاخص استاندارد آب زیرزمینی (GRI) تأثیر وقوع خشکسالی‌های هواشناسی (SPI) در طول دوره آماری بر منابع آب زیرزمینی دشت کوهدشت بررسی شد.

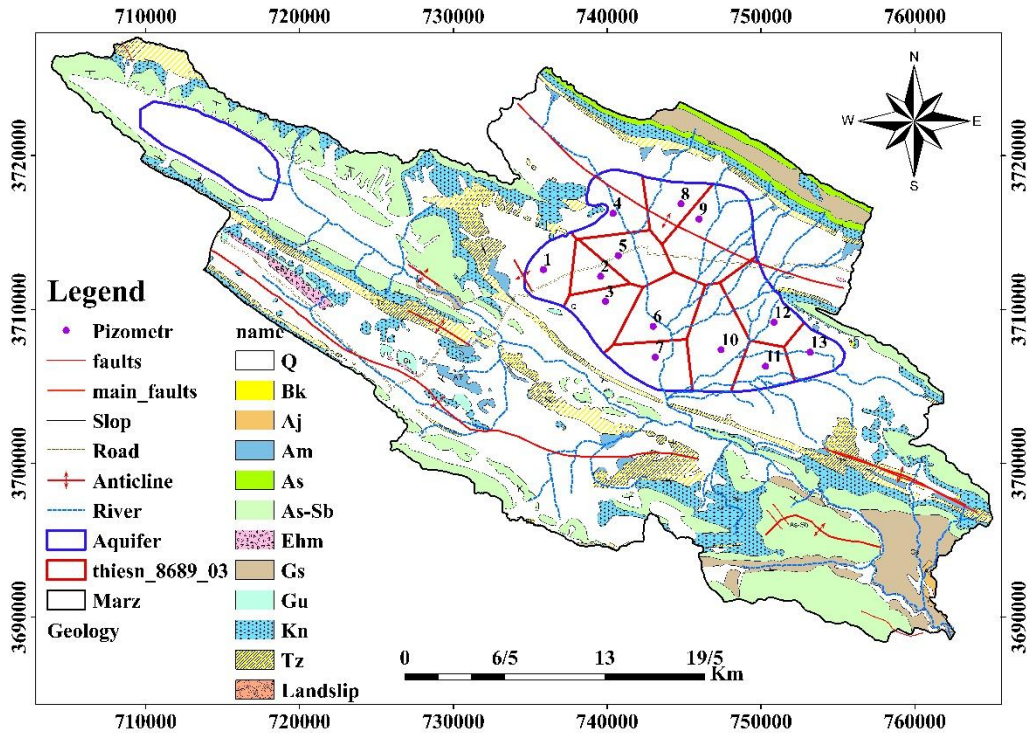


Fig. 3- Geological map, location and surface effect of piezometric wells in Kuhdasht study area
 شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی، موقعیت و سطح اثر چاه‌های پیزومتری محدوده مطالعاتی کوهدشت

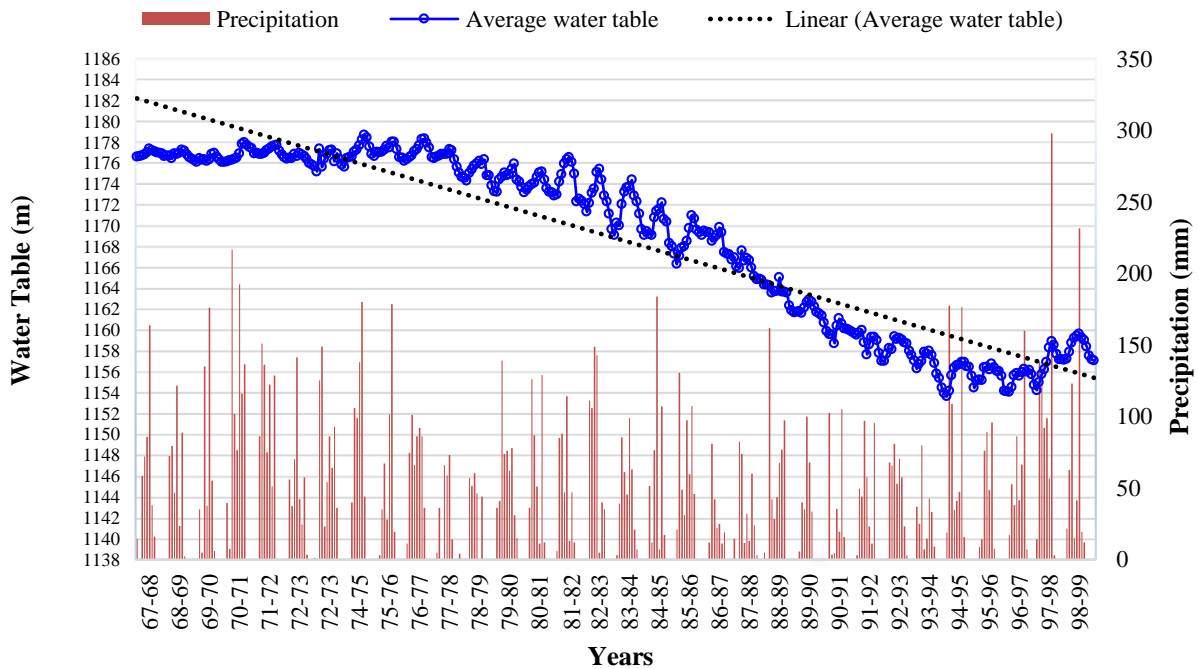


Fig. 4- Chart of monthly changes in the average groundwater level of Kuhdasht aquifer and precipitation at the aquifer level

شکل ۴- نمودار تغییرات ماهانه متوسط تراز آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت و بارش در سطح آبخوان

وضعیت رطوبتی دشت کوهدشت در مقیاس سالانه بر اساس شاخص‌های SPI و GRI با استفاده از مقادیر بارندگی و تراز سطح ایستابی ماهانه ایستگاه‌های منتخب و چاه‌های پیژومتری، طی دوره آماری ۳۲ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۹) محاسبه و طبقه‌بندی شد (جدول ۳). نمرات منفی شاخص SPI از ابتدای دور شروع شده و کم و بیش تا سال ۱۳۹۳ ادامه می‌یابد که عمدتاً در دامنه وضعیت نرمال قرار می‌گیرند. در طی کل دور، خشکسالی هواشناسی با اعداد بیشتر از منفی یک (-۱) در سالهای ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ اتفاق می‌افتد که در دامنه وضعیت خشک قرار دارند. ترسالی‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۱، ۱۳۷۳ و ۱۳۹۷ حاکی از مثبت بودن شاخص خشکسالی هواشناسی در دامنه وضعیت بسیار مرطوب سال ۱۳۷۰ و مرطوب بقیه این سال‌ها است. نمرات منفی شاخص GRI از سال ۱۳۸۵ شروع شده و تا پایان دوره ادامه می‌یابد که عمدتاً نشان دهنده خشکسالی آب زیرزمینی است. شرایط مذکور مطابق با شدت افت قابل مشاهده در گراف واحد معرف آبخوان کوهدشت می‌باشد. در کل طبق شاخص، خشکسالی در آبخوان با تأخیر خود را نشان داده است. لکن در سالهای آغازین دوره یعنی خشکسالی سال‌های هواشناسی ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ سبب ایجاد خشکسالی آب زیرزمینی نشده است، اما خشکسالی‌های پس از سال ۱۳۸۶ با تأخیر دو سال باعث وقوع خشکسالی‌های آب زیرزمینی شده‌اند. دلیل این امر علاوه بر کاهش محسوس بارندگی و وقوع چند خشکسالی، غالباً مربوط به تغییر الگوی کشت منطقه است؛ زیرا توسعه کشت ذرت در دهه ۱۳۸۰ و پمپاژ بی‌رویه آب زیرزمینی از دلایل اصلی خشکسالی آبخوان دشت کوهدشت می‌باشد. بطوری‌که با وقوع ترسالی‌های بعد از سال ۱۳۹۴ شاخص GRI را همچنان در وضعیت منفی قرار دارد و هنوز خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی بر آبخوان کوهدشت سایه افکنده است. شرایط مذکور مطابق با تغییرات قابل مشاهده در گراف واحد معرف این آبخوان است. شکل ۵ گراف‌های بارش، شاخص SPI و GRI شرایط ذکر شده را تأیید می‌نمایند. با مقایسه این دوره با نمرات شاخص GRI در آبخوان کوهدشت، همانگونه که ذکر شد اثرات خشکسالی هواشناسی با تأخیر دو ساله خود را بر سطح آب زیرزمینی نشان داده است. علت این امر می‌تواند عمق نسبتاً زیاد لایه غیراشباع بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی و ضریب قابلیت انتقال (۱۰۰ تا ۲۷۰ متر مربع در روز) آبخوان باشد که اثرات خشکسالی یا ترسالی هواشناسی را مشخص می‌کند. مقایسه وضعیت رطوبتی بارندگی و تراز آبخوان دشت کوهدشت، در مقیاس سالانه و بر اساس شاخص SPI و GRI با استفاده از مقادیر بارندگی و تراز سطح ایستابی ماهانه ایستگاه‌های منتخب و چاه‌های پیژومتری، نشان داد، وضعیت رطوبتی بارندگی بین ۶۵ تا ۸۱ درصد ماه‌های سال آبی نرمال، ۱/۵ درصد اوقات بسیار مرطوب، ۱۴ درصد وضعیت مرطوب، بین صفر تا ۱۶ درصد خشک و نزدیک سه درصد بسیار خشک

بوده است (جدول ۴)، نتایج این بخش از پژوهش با نتایج تحقیقات Babaeian et al. (2018) همخوانی دارد. همچنین، شرایط رطوبتی آبخوان بین ۳۸ تا ۶۹ درصد دارای وضعیت نرمال، بسیار مرطوب و بسیار خشک صفر، مرطوب تقریباً ۱۳ درصد و خشک ۳۱/۵ درصد بوده است. بیشترین درصد وضعیت رطوبتی بارندگی و تراز آبخوان به ترتیب با ۸۱ و ۶۹ درصد مربوط به وضعیت نرمال و به ترتیب منطبق بر ماه مهر و اسفند می‌باشد (جدول ۵).

پس از محاسبه شاخص‌های GRI و SPI مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در 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. بیشترین ضریب همبستگی ماهانه بین شاخص SPI و فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی دشت کوهدشت، در مقیاس ۴۸ ماهه در سطح ۰/۰۱ و احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. ضریب همبستگی بین SPI_48 و تراز متوسط سطح ایستابی برابر ۰/۵۷۶ است و ضریب همبستگی بین SPI_48 و GRI معادل ۰/۵۹۷ است (جدول ۶). مقایسه تراز متوسط آب زیرزمینی با شاخص GRI در سال‌های متناظر، نشان می‌دهد نمودار تغییرات شاخص GRI از تراز متوسط سطح ایستابی تبعیت نموده و تفاوت چندانی بین آن‌ها وجود ندارد (شکل ۶). نتایج به‌دست آمده در این قسمت با پژوهش‌های (Mendicino et al., 2008; Seif et al., 2012; Chamanpira et al., 2014) مطابقت دارد.

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 ۰/۷۷۶ بین شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و میانگین سطح ایستابی با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بر قرار است. همچنین، بیشترین همبستگی با مقدار r مساوی ۰/۷۶۲ بین شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و شاخص GRI با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه برقرار است (جدول ۷). نتایج این بخش از پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های (Mendicino et al., 2008; Eimani, 2008; Talebi Esfandarani, 2011; Seif et al., 2012; Chamanpira et al., 2014) همخوانی دارند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، بین تراز متوسط سطح ایستابی به‌عنوان متغیر وابسته و SPI_48 به‌عنوان متغیر مستقل رابطه رگرسیون خطی ساده، طی دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹ برقرار شد.

Table 3- Annual moisture status of Kuhdasht plain based on SPI and GRI indices

جدول ۳- وضعیت رطوبتی سالانه دشت کوهدشت بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

Years	Precipitation (mm)	SPI Values	Drought Classes	Humidity Condition	GRI Values	Drought Classes	Humidity Condition
1367-68	448.7	-0.02	3	Normal	0.9	3	Normal
1368-69	435	-0.11	3	Normal	0.9	3	Normal
1369-70	449.9	-0.02	3	Normal	0.9	3	Normal
1370-71	887/2	2.21	1	Extremely Wet	1.02	2	Wet
1371-72	750.9	1.61	2	Wet	1.02	2	Wet
1372-73	433.9	-0.12	3	Normal	0.9	3	Normal
1373-74	630.5	1.03	2	Wet	0.9	3	Normal
1374-75	607	0.91	3	Normal	1.02	2	Wet
1375-76	432.5	-0.13	3	Normal	1.02	2	Wet
1376-77	552.5	0.6	3	Normal	1.02	2	Wet
1377-78	257	-1.5	4	Drought	0.9	3	Normal
1378-79	259.1	-1.48	4	Drought	0.79	3	Normal
1379-80	552	0.6	3	Normal	0.67	3	Normal
1380-81	452	0	3	Normal	0.56	3	Normal
1381-82	412	-0.26	3	Normal	0.67	3	Normal
1382-83	589	0.81	3	Normal	0.44	3	Normal
1383-84	424	-0.18	3	Normal	0.32	3	Normal
1384-85	455	0.02	3	Normal	0.09	3	Normal
1385-86	542	0.55	3	Normal	-0.62	3	Normal
1386-87	226.5	-1.81	4	Drought	-0.62	3	Normal
1387-88	305.2	-1.07	4	Drought	-0.77	3	Normal
1388-89	518	0.41	3	Normal	-0.91	3	Normal
1389-90	282.2	-1.27	4	Drought	-1.07	4	Drought
1390-91	286	-1.24	4	Drought	-1.25	4	Drought
1391-92	380/5	-0.49	3	Normal	-1.34	4	Drought
1392-93	421.5	-0.2	3	Normal	-1.34	4	Drought
1393-94	248	-1.59	4	Drought	-1.55	4	Drought
1394-95	620.5	0.97	3	Normal	-1/65	4	Drought
1395-96	339.5	-0.8	3	Normal	-1/65	4	Drought
1396-97	468.5	0.1	3	Normal	-1.65	4	Drought
1397-98	835	1.99	2	Wet	-1.55	4	Drought
1398-99	526.5	0.46	3	Normal	-1.34	4	Drought

Table 4- Frequency of relative occurrence of monthly water status of Kuhdasht plain based on SPI index (percentage)

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

Humidity Condition	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Extremely Wet	3	0	0	0	3	0	3	3	-	-	-	-
Wet	16	16	16	12	12	16	9	16	-	-	-	-
Normal	81	66	69	72	69	65	72	66	-	-	-	-
Drought	0	12	6	13	12	16	16	15	-	-	-	-
Extreme Drought	0	6	9	3	4	3	0	0	-	-	-	-

Table 5- Frequency of relative occurrence of monthly water status of Kuhdasht plain based on GRI index (percentage)

جدول ۵- فراوانی وقوع نسبی وضعیت رطوبتی ماهانه دشت کوهدشت بر اساس شاخص GRI (درصد)

Humidity Condition	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Extremely Wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wet	31	6	3	10	0	0	10	12	19	13	25	25
Normal	38	63	66	59	69	69	59	56	50	56	41	41
Drought	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	34	34
Extreme Drought	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

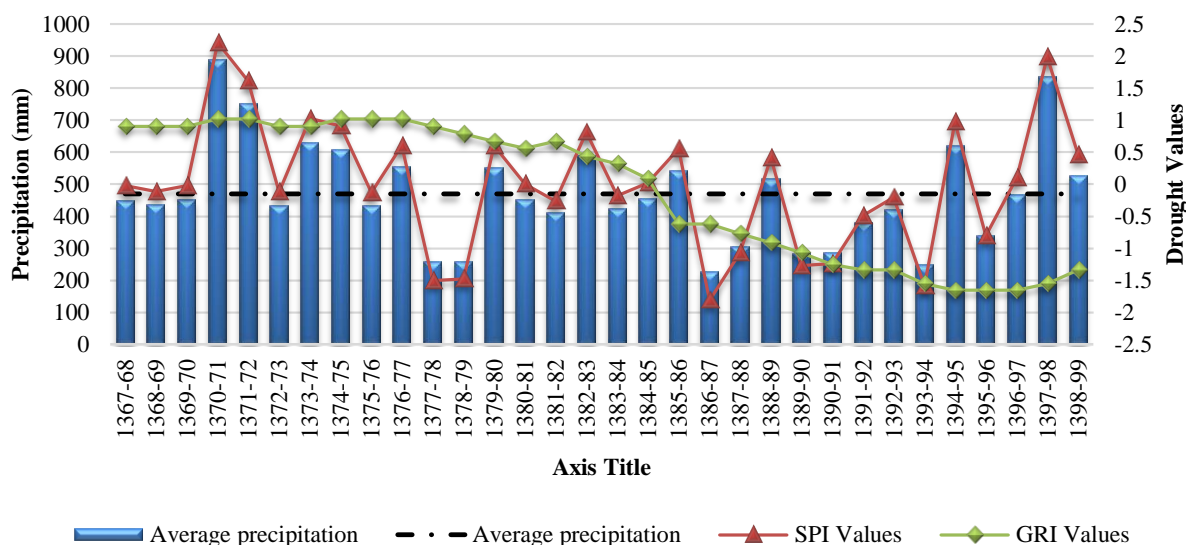


Fig. 5- Comparison of annual rainfall with annual moisture status of Kuhdasht plain based on SPI and GRI indices

شکل ۵- مقایسه بارش سالانه با وضعیت رطوبتی سالانه دشت کوهدشت بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

Table 6- Correlation coefficients between SPI index with monthly delays with average level of water table and GRI index of Koohdasht plain during the statistical period of 1988-2020

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با تأخیرهای ماهانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوهدشت در طول دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹

	SPI_1	SPI_3	SPI_6	SPI_9	SPI_12	SPI_18	SPI_24	SPI_48
Average water table	-	0.094	0.148	0.203	0.230	0.289	0.348	0.576
GRI Values	-	0.097	0.152	0.221	0.262	0.303	0.378	0.597

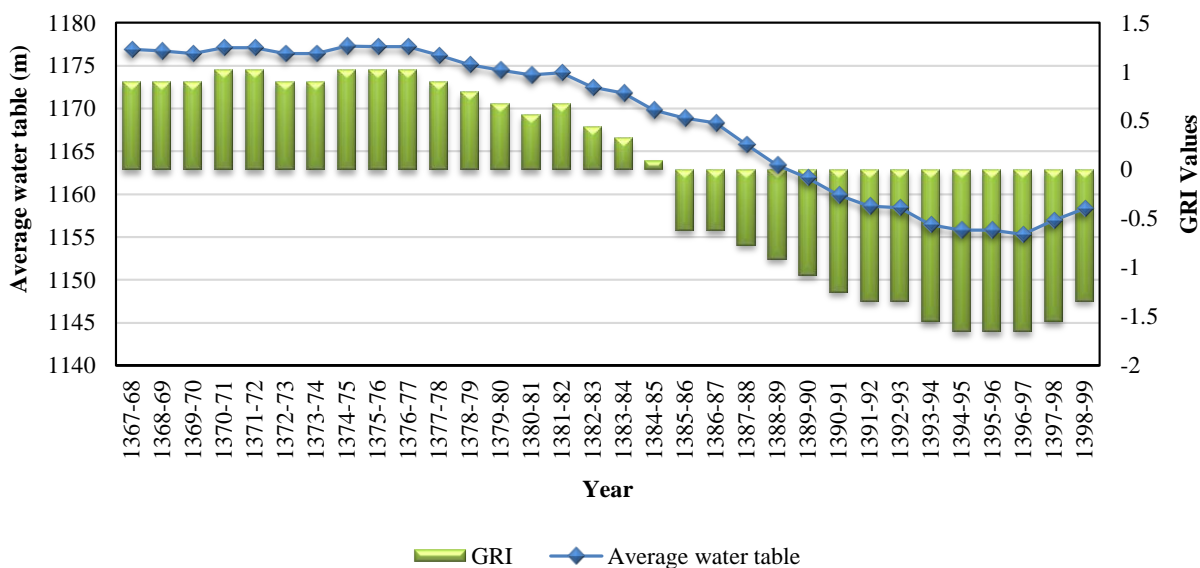


Fig. 6- Comparison of average groundwater level with GRI index in corresponding years

شکل ۶- مقایسه تراز متوسط آب زیرزمینی با شاخص GRI در سال‌های متناظر

Table 7- Correlation coefficients of SPI index in 18- and 24-month scale with average level of water table and GRI index of Koohdasht plain with time delay in terms of months during the statistical period of 1988-2020

جدول ۷- ضرایب همبستگی شاخص SPI در مقیاس ۱۸ و ۲۴ ماهه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوهدشت با اعمال تأخیر زمانی برحسب ماه در طول دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹

Variables	months										
	1	2	3	4	5	6	9	12	18	24	48
Water table	0.576	0.585	0.598	0.611	0.621	0.631	0.657	0.670	0.729	0.748	0.776
GRI Values	0.597	0.604	0.612	0.617	0.624	0.631	0.654	0.672	0.712	0.735	0.762

با استفاده از رابطه (۲) بزرگی خشک‌سالی‌های فصلی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، در طول دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹ بزرگی خشک‌سالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی به‌ترتیب بر فصول پاییز و تابستان 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 ۷). 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 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 چهار سال است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۱۰).

به‌طوری‌که، این رابطه نیز در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۸). معادله رگرسیون خطی بین این دو متغیر در آبخوان دشت کوهدشت به‌صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$D_{y,m} = 1167 + 4/73SPI_{48} \quad (4)$$

که در آن، مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m ، شاخص بارندگی معیار شده در مقیاس ۱۸ ماهه بدون تأخیر زمانی می‌باشد.

با توجه به ضریب تبیین محاسبه شده، ۳۳/۱ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی تحت تأثیر SPI₄₈ و 66/9 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 زمستان می‌باشد (جدول ۹).

Table 8- Results of linear regression between mean water level and SPI₄₈ of Kuhdasht aquifer during the statistical period of 1988-2020

جدول ۸- نتایج رگرسیون خطی بین تراز متوسط سطح ایستابی و SPI₄₈ آبخوان کوهدشت طی دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹

Coefficients	P Value	R (adj)	R ²	dependent variable	independent variable
C=1176 SPI ₄₈ = 4.73	0.0	33	33.1	D _{y,m}	SPI ₁₈

Table 9- Coefficients of correlation between seasonal SPI index with average level of water table and GRI index of Koohdasht plain during the period 1988-2020

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI فصلی با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوهدشت در طول دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۹

Variables	SPI Spring	SPI Summer	SPI Fall	SPI Winter	SPI Year
Average water table	-0.029	-	-0.034	0.416**	0.192
GRI Values	-0.013	-	-0.041	0.459***	0.220

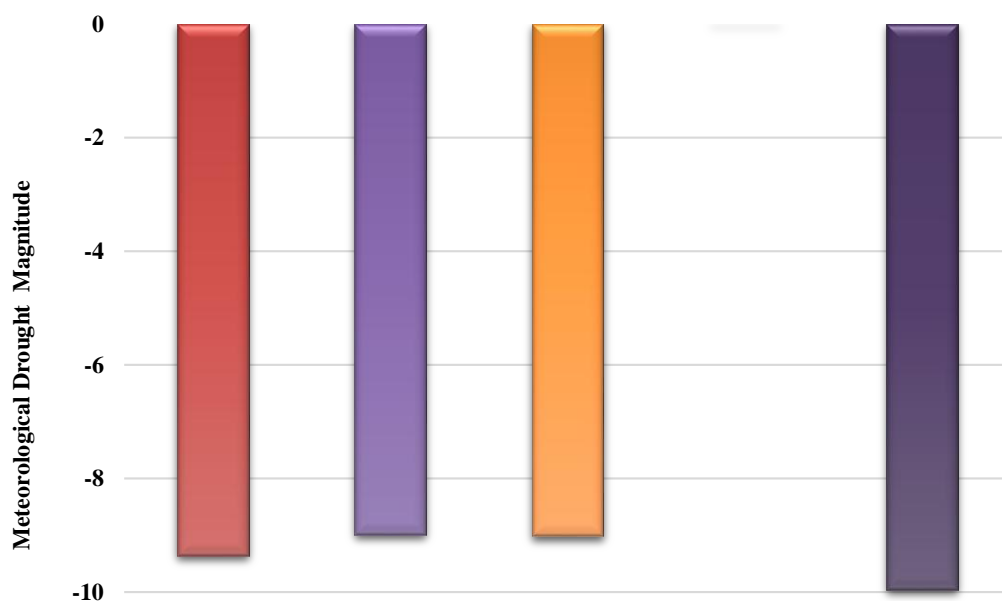
*** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

Table 10- Coefficients of correlation between annual SPI index with average level of water table and GRI index of Koohdasht plain during the period 1988-2020

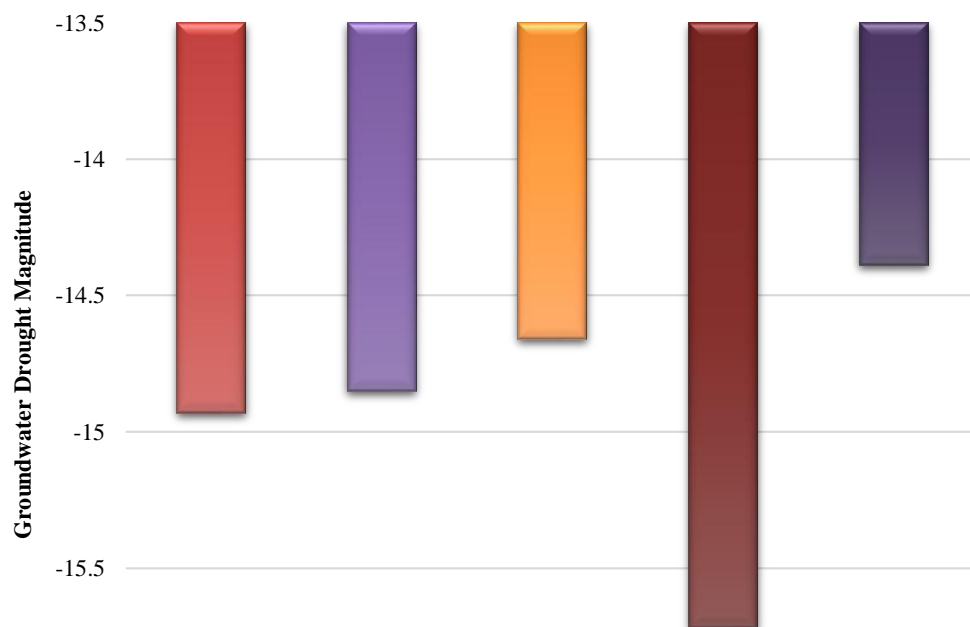
جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوهدشت در طول دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۹

Variables	SPI Yearly with Lag time				SPI Yearly without Lag time
	1 Year	2 Years	3 Years	4 Years	
Average water table	0.275	0.398	0.436**	0.448**	0.189
GRI Values	0.285	0.404**	0.412**	0.430**	0.220

*** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.



	Fall	Winter	Spring	Summer	Year
Series1	-9.37	-8.99	-9.02	0	-9.96



	Fall	Winter	Spring	Summer	Year
Series1	-14.93	-14.85	-14.66	-15.72	-14.39

Fig. 7- Comparison of meteorological and geohydrological drought magnitude in Kuhdasht plain based on SPI and GRI indices

شکل ۷- مقایسه بزرگی خشک‌سالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی دشت کوهدشت بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

۴- نتیجه گیری

بطور کلی، آب بهره‌برداری شده از آبخوان کوهدشت به مصرف کشاورزی، شرب و صنعت می‌رسد. با توجه به وقوع خشکسالی‌های اخیر و برداشت زیاد آب، وضعیت آبخوان کوهدشت بحرانی است و شیب سطح آب زیرزمینی این آبخوان در پایه زمانی ۳۲ سال منفی و عمدتاً مربوط به دوره خشکسالی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۳ می‌باشد. کاهش سالانه ۱/۴۲ متر در این دوره ۱۶ ساله سبب افت بسیار شدید ۲۲/۷۵ متری آبخوان کوهدشت تا سال ۱۳۹۳ گردید. با بارش سال‌های پرباران پس از ۱۳۹۳ افت مذکور جبران نشد و در طول کل دوره آماری ۳۲ ساله تراز آبخوان کوهدشت با ۱۹/۵۵ متر افت، سالانه بطور متوسط ۶۱ سانتیمتر تنزل یافت. با افزایش مقیاس زمانی SPI، مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماه متناظر، طی دوره آماری برای آبخوان دشت کوهدشت افزایش می‌یابد.

نتایج بدست آمده در این بخش با تحقیقات (Seif et al., 2012; Mendicino et al., 2008) هماهنگی دارد. همچنین، مقادیر شاخص GRI در مقابل تراز متوسط آب زیرزمینی نشان داد، تغییرات شاخص GRI تا حد زیادی وابسته به تراز مشاهده‌ای می‌باشد، بطوری که این موضوع با تحقیقات (Khosravi Dehkordi et al., 2019) مطابقت دارد. رابطه رگرسیون خطی ساده بین تراز متوسط سطح ایستابی به‌عنوان متغیر وابسته و SPI₄₈ به‌عنوان متغیر مستقل طی دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹ ضریب تبیین ۳۳/۱ درصد را نشان داد. بنابراین ۳۳/۱ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی تحت تأثیر SPI₄₈ و 66/9 درصد، متأثر از عواملی مثل کشاورزی، شرب و صنعت است. نتایج این قسمت از پژوهش با تحقیقات (Yasamani et al., 2012) و (Chamanpira et al., 2014) همخوانی دارد.

بنابراین در بخش کشاورزی، بهره‌برداری بهینه از آبخوان کوهدشت و تغییر الگوی کشت از طریق کاشت محصولات زراعی کم مصرف، راهکاری عملی برای احیاء و تغییر روند کاهشی به سمت بیلان مثبت

تلقی می‌گردد. همچنین، با توجه به اینکه تنها منابع تأمین‌کننده آب در بخش صنعت، چاه‌ها می‌باشند، پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی، منابع آب زیرزمینی را مدیریت نموده تا از بروز خسارت به چرخه تولیدات صنعتی جلوگیری شود. بیشترین همبستگی بین شاخص SPI در فصل‌های مختلف سال، با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI مربوط به فصل زمستان می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیق در این بخش با تحقیقات (Porhemmat et al., 2015) و (Porhemmat et al., 2020) همخوانی دارد. بزرگی خشکسالی معیاری برای سنجش شدت خشکسالی در طول ماه‌ها یا فصول خشکسالی است. با این معیار می‌توان میزان آسیب‌پذیری خشکسالی را تشخیص داد، بنابراین توصیه می‌شود در بررسی خشکسالی‌ها از این معیار بیشتر استفاده شود. بزرگی خشکسالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی محدوده کوهدشت به ترتیب بر فصول پاییز و تابستان منطبق‌اند. نتایج این بخش از تحقیق با بررسی‌های (Eimani, 2008) و (Shakiba et al., 2010) همخوانی دارد. آب نفوذیافته حاصل از بارندگی با تأخیر زمانی به منابع آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت می‌پیوندد. بیشترین همبستگی بین SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI مربوط به تأخیر زمانی چهار سال است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. یعنی، خشکسالی هواشناسی در دشت کوهدشت به‌طور متوسط پس از گذشت چهار سال تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد. نتایج این بخش با تحقیقات (Talebi Esfandarani, 2011) مطابقت دارد.

۵- تشکر

این مقاله مستخرج از طرح کلان خشکسالی است که به پیشنهاد بخش حفاظت خاک و آب‌خیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان و با حمایت و همکاری پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری کشور به سرانجام رسید. بدینوسیله از مجموعه مدیریت پژوهشکده، مرکز تحقیقات، شرکت آب منطقه‌ای لرستان، اعضاء هیات علمی و کارشناسانی که در اجرای طرح همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

- Babaeian I, Khazanedari L, Abbasi F, Modirian R, Karimian M, Malbusi Sh (2018) Monthly prediction of drought over southwestern basin of Iran using CFSv.2 Model. *Iran-Water Resources Research* 14(3):133-145 (In Persian)
- Chamanpira Gh, Zehtabian Gh, Ahmadi H, Malekian A (2014) Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. *Journal of Watershed Engineering and Management* 6(1):10-20 (In Persian)
- Commission W W (2000) A water secure world: vision for Marseille. World Water Council
- Eimani M, Talebi Esfandarani A (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)
- Fatehi Marj A, Taie Semiromi M (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* 34(2):41-54
- Gourbesville P (2008) Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(5):284-289
- Hayes M J (2007) Intermountain west climate summary. *Drought Indices*, 2-6 pages
- Hemmati F, Jafari L (2013) Justification report on water resources allocation in Koozdasht study area. Studies, Khorramabad: Regional Water Company Of Lorestan, 86 (In Persian)
- Khan S, Gabrie H, Rana T (2008) Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. *Irrigation Drainage System* 22:159-177
- Khosravi Dehkordi A, Mirabbasi Najafabadi R, Samadi Boroujeni H, Ghasemi Dastgerdi A R (2019) Monitoring and forecasting of groundwater drought using Groundwater Resource Index (GRI) and first to third- order markov chain models (Case study: Boroujen Plain). *Journal of Water and Soil Conservation* 26(2):117-136
- Loukas A, Vasiliades L (2004) Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4:719-731
- Mckee T B, Doesken N J, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, Aneheim, 179-184
- 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(3-4):282-302
- Choi M, Jacobs J M, Anderson M C, Bosch D D (2013) Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology* 476:265-273
- Mohammadi Ghaleni M, Ebrahimi K (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
- Mohammadi H, Shamsipour A (2003) The impact of recent droughts in the loss of groundwater resources in northern plains of Hamedan. *Geographical Research* 45:115-130 (In Persian)
- Morid S, Moghadasi M, Arshad S, Omid M (1996) Drought indices package. Water Resources Management Co. (WRMSC), Ministry of Energy, Tehran, Iran
- Mosaedi A, Marashi M, Kavakebi Gh (2009) Comparison of drought frequency in arid and humid regions, case study: Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 16(1-A):1-15(In Persian)
- Naserzadeh M, Ahmadi E (2012) Meteorological drought indices in assessing the performance of the drought and its zoning in Qazvin. *Applied Research of GIS (Geographical Sciences)* 27(12):141-162 (In Persian)
- Nathaniel B, Guttman N (1998) Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Water Resources Association* 34(1):113-121
- Nico W, Van Lanen A J, Loon A F (2010) Indicators for drought characterization on a global scale. Wageningen, Netherlands, *Water and Global Change*, 24: 93
- Peters E, Torfs P J J F, Van Lanen H A J, Bier G (2003) Propagation of drought through groundwater, a new approach using linear reservoir theory. *Hydrological Processes* 17:3023-3040
- Porhemmat J, Raziei T, Rahimi S (2015) Nvestigation on spatio-temporal variability of meteorological drought in southwestern Iran (Case Study In Karkheh

- Basin). *Iranian of Irrigation & Water Engineering* 19(5):60-79 (In Persian)
- Porhemmat M, Porhemmat J, Mirzaee M (2021) Investigation on drought impact on the depletion of spring discharge in western parts of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management* 12(4):1040-1054 (In Persian)
- Seif M, Mohammadzade H, Mosaedi A (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* 13(5):57-74
- Shakiba A, Mirbagheri B, Kheiri A (2010) Drought and its impact on groundwater resources in the east Kermanshah province. *Geography (Journal of Geographical Society of Iran)* 25(8):105-124 (In Persian)
- Silva V P R (2003) On climate variability in north-east Brazi. *Journal of Arid Environment* 54(2):256-367
- Tallaksen L M, Van Lanen H A J (2004) Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Development in Water Science* 48:53
- Tood D K (1980) *Groundwater hydrology*. California, Berkeley, 535
- Van Lanen H A J, Peters E (2000) Definition effects and assessment of groundwater droughts. In J. S. Vogt, *Drought and Drought Mitigation in Europe*, (pp. 49-61), Dordrecht: Kluwer
- Yasamani S, Mohammadzadeh H, Mosaedi A (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)