

ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر آبخوان‌های کارستی با شرایط توسعه‌یافتگی کارست متفاوت (مطالعه موردی: دو آبخوان کارستی بیستون- پراو و کوه پاتاق)

محمد رحمتی^۱، حمیدرضا مرادی^{۱*} و حاجی کریمی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۸)

چکیده

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابعی است که از خشکسالی تأثیر می‌پذیرد. آبخوان‌های کارستی از منابع مهم آب زیرزمینی در غرب کشور و استان کرمانشاه هستند. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی در مؤلفه‌های هیدرولوژیکی آبخوان‌های کارستی با شرایط توسعه‌یافتگی متفاوت صورت گرفته است. مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شامل دو آبخوان کارستی بیستون- پراو و کوه پاتاق در استان کرمانشاه است. برای انجام این پژوهش از آمار ماهانه بارش و آب‌دهی چشمه‌ها طی دوره آماری ۲۰ ساله استفاده شد. در این تحقیق، از شاخص‌های SPI و SDI به ترتیب برای بررسی حالات مختلف خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده شد. برای تعیین ارتباط خشکسالی هواشناسی با آب زیرزمینی از همبستگی پیرسون و برای تعیین تأخیر زمانی، به بررسی همبستگی بین شرایط زمانی مختلف (بدون تأخیر و تأخیر ۱ تا ۶ ماه) شاخص SDI نسبت به شاخص SPI پرداخته شد. نتایج تعیین ارتباط خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی نشان داد که این دو در سطح معنی‌داری یک درصد دارای همبستگی هستند. همچنین نتایج بررسی همبستگی بین شرایط زمانی مختلف (بدون تأخیر و تأخیر ۱ تا ۶ ماه) شاخص SDI نسبت به شاخص SPI نشان داد که تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه بدون تأخیر زمانی یا حداکثر با یک ماه تأخیر رخ داده است. براساس نتایج، مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های SPI و SDI در منطقه بیستون- پراو بیشتر از منطقه کوه پاتاق است که بیانگر میزان توسعه‌یافتگی کارست منطقه بیستون- پراو نسبت به کوه پاتاق است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیکی، توسعه‌یافتگی کارست، شاخص SPI، شاخص SDI، توده بیستون- پراو، کوه پاتاق

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hrmoradi@modares.ac.ir

مقدمه

خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (۲۷).

تالاکسن و همکاران (۲۶) تأثیر خشکسالی هواشناسی را بر یک محیط کارستی توسعه‌یافته در منطقه کامپانیا ایتالیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد خشکسالی آب زیرزمینی با تأخیر زمانی و در پی خشکسالی‌های بلندمدت هواشناسی اتفاق می‌افتد. سرانو و مونرو (۲۴) در بررسی خشکسالی در اسپانیا به مقایسه شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) در مقیاس‌های زمانی مختلف با متغیرهای هیدرولوژیکی سطحی پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد به‌طور کلی جریان‌های سطحی با دوره‌های زمانی کوتاه یک الی سه ماهه SPI و منابع آب زیرزمینی با دوره‌های طولانی‌تر هفت تا ده ماهه بیشترین همبستگی را دارند. محمدی و شمسی‌پور (۹)، با بررسی تأثیر خشکسالی‌ها بر افت منابع آب زیرزمینی شمال همدان به این نتیجه رسیدند که بین کاهش بارندگی و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معنی‌داری وجود نداشته و خشکسالی تنها به‌صورت غیرمستقیم بر منابع آب زیرزمینی منطقه تأثیر دارد. محمدی قلعه‌نی و همکاران (۸)، به‌منظور بررسی رابطه بین خشکسالی و آب زیرزمینی در آبخوان دشت ساوه، از شاخص SPI استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که این شاخص با مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی پنج ماهه بیشترین همبستگی را داشته است. ناصری و همکاران (۱۵) در تحقیقی به بررسی پاسخ آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایزه در سازند ایلام- سروک و سازند آسماری نسبت به کاهش تغذیه از بارش پرداختند. نتایج ناشی از بررسی آبنمود معرف سطح آب آبخوان‌های آسماری و ایلام-سروک نشان داد که از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ افت سطح آب در آبخوان کارستی آسماری با آبخوان کارستی ایلام- سروک متفاوت است.

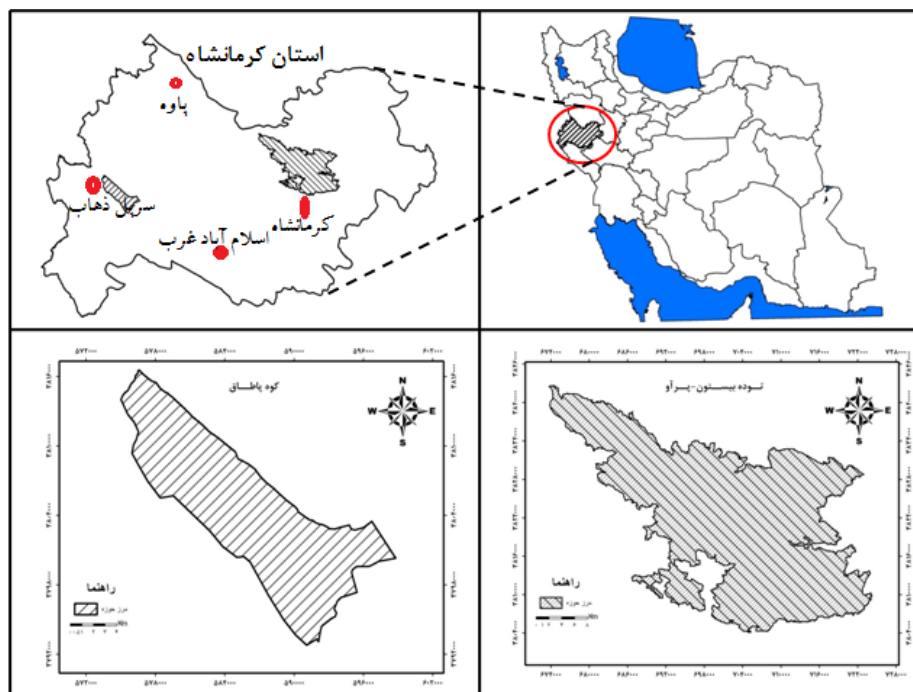
بررسی سوابق تحقیق و مستندات قابل دسترس در زمینه تحقیق حاضر نشان می‌دهد که پژوهش‌های متعددی در زمینه بررسی خشکسالی از دیدگاه فنی صورت گرفته است. همچنین در زمینه تأثیر خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی تحقیقات متعددی صورت گرفته است. اما در زمینه اثر این پدیده در آبخوان‌های کارستی و نقش ساختار و توسعه‌یافتگی آبخوان‌های

خشکسالی (Drought) وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر وضعیت اقلیمی رخ دهد (۷). این پدیده بخش‌های مختلف محیطی را در طول دوره حاکمیت خود تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پدیده با سه خصوصیت شدت، تداوم و پهنه تحت تأثیر شناخته می‌شود. خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی، آرام و خزننده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد.

ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است و با توجه به نوسانات شدید بارش در این مناطق، خشکسالی از قدیم‌الایام به‌عنوان یک معضل در کشور ما مطرح بوده است. به گونه‌ای که پیشینیان ما برای غلبه بر این مشکل، تکنولوژی قنات را ابداع کردند. دیگر سازه‌های آبی نظیر بندسارها، یخدان‌ها، آب‌انبارها و نظایر آنها نمونه‌هایی از مقابله ایرانیان با مشکل خشکسالی بوده است (۱۱).

از آنجا که جلوگیری کامل از پدیده خشکسالی در هیچ منطقه و شرایطی امکان‌پذیر نیست، می‌توان با تحلیل سوابق تاریخی و آمار و اطلاعات موجود، دوره بازگشت‌های خشکسالی را برای مناطق مختلف برآورد نمود. به این ترتیب، با ایجاد طرح‌های آمادگی، مشکلات ناشی از آن را تا حد امکان کاهش داد (۲۸).

یکی از بخش‌های متأثر از شرایط بلندمدت خشکسالی منابع آب‌های زیرزمینی است که متأسفانه کمتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۲). وقوع خشکسالی هواشناسی و به تبع آن خشکسالی هیدرولوژیکی، کاهش آب‌های سطحی را در پی خواهد داشت. در این حالت، علاوه بر کاهش نفوذ آب‌های سطحی به سفره‌های زیرزمینی، افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌منظور جایگزینی کمبود آب‌های سطحی، موجب تشدید کاهش سطح آب‌های زیرزمینی خواهد شد (۲۵ و ۱۶). زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می‌شود، ابتدا آبیگری، سپس سطح ایستابی و در نهایت آب‌دهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند، چنین شرایطی را



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه در کشور و استان کرمانشاه

زاگرس از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده است. متوسط طول و عرض آن به ترتیب ۶۰ و ۱۵ کیلومتر است (۱۳). منطقه دوم که در پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت، کوه پاطاق است که یک سازند آهکی است و در کنار شهر سرپل ذهاب قرار دارد و در یال جنوبی این کوه، چشمه قره‌بلاغ قرار دارد که از سر چشمه‌های رود الوند است و به سیروان رود می‌ریزد. شکل (۱) موقعیت مناطق مورد مطالعه در کشور و استان کرمانشاه را نشان می‌دهد.

بررسی آمار و اطلاعات

لازمه انجام هر تحقیقی به‌دست آوردن آمار و اطلاعات اولیه جهت حصول اهداف آن تحقیق است. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جهت انجام این تحقیق شامل تهیه نقشه‌های توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی و اطلاعات توصیفی آن، داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها (بیش از ۲۰ ایستگاه)، داده‌های آب‌دهی چشمه‌ها و نقشه کاربری اراضی در مناطق مورد مطالعه است. داده‌های بارش و آب‌دهی چشمه‌ها به‌صورت ماهانه و به‌ترتیب از

کارستی، در زمان تأخیر و بزرگی خشکسالی هیدرولوژیکی در آبخوان‌های کارستی تحقیقات کمی مخصوصاً در داخل کشور صورت گرفته است. از این رو هدف پژوهش حاضر بررسی خشکسالی‌های منطقه از دیدگاه هواشناسی و آثار خشکسالی‌ها در آبخوان‌های کارستی با شرایط توسعه‌یافتگی متفاوت است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو آبخوان آهکی توده بیستون-پراو و کوه پاطاق در استان کرمانشاه انجام شد. توده بیستون-پراو بخشی از زاگرس رورانده است که در استان کرمانشاه و شمال شهر کرمانشاه واقع شده است. این توده کوهستانی تا خط القعر، با مساحت ۱۰۳۳ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی $21^{\circ} 34'$ تا $44^{\circ} 34'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $53^{\circ} 46'$ تا $27^{\circ} 47'$ شرقی قرار گرفته و به‌وسیله دشت‌های آبرفتی احاطه شده است. حداکثر ارتفاع منطقه، در پراو ۳۳۸۵ متر و حداقل آن در دشت‌های اطراف این توده کوهستانی با ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متر است. توده کوهستانی بیستون-پراو به تبعیت از جهت کلی

(۱) استفاده می‌شود:

$$SPI_n = \frac{[P_o + \sum (P_i) - \mu_n]}{\delta_n} \quad [1]$$

که در این رابطه، n تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آنها محاسبه شده است، P_o مقدار نرمال شده بارندگی ماه فعلی، P_i مقدار نرمال شده بارندگی ماه قبل، μ_n میانگین تعداد تجمعی بارندگی برای n ماه و δ_n انحراف معیار است (۲۱).

بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی

به منظور برآورد شدت و مدت خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص تخلیه جریان SDI (Stream flow Drought Index) استفاده شد. این شاخص برای هر منطقه براساس اطلاعات ثبت شده طولانی مدت دبی رودخانه‌ها یا چشمه‌ها محاسبه می‌شود (۲۳). به این ترتیب مقادیر شدت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه مورد مطالعه برای مقیاس سالانه به دست می‌آید. در این روش فرض بر این است که سری‌های زمانی ماهانه حجم جریان‌های رودخانه‌ای یا دبی چشمه‌ها یا به صورت Q_{ij} موجود باشد که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک است. اساس این روش کاملاً مشابه روش SPI است (۱۲). این روش براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$V_{ik} = \sum_j Q_{ij} \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \quad i = 1, 2, 3 \quad [2]$$

که در آن: V_{ik} : حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای در سال هیدرولوژیکی i و دوره مبنای K ماهه است. مقادیر K برابر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب بیانگر دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه است. شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای براساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنای (k) مربوط به سال هیدرولوژیکی (i) به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \quad i = 1, 2, 3 \quad [3]$$

که در آن: \bar{V}_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای

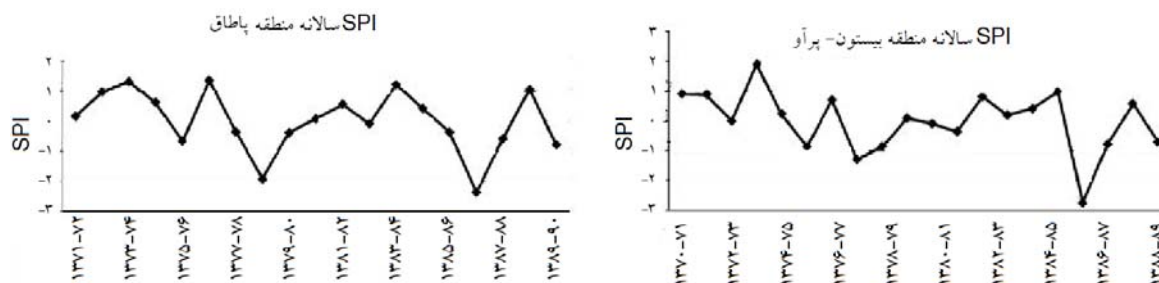
سازمان هواشناسی و شرکت تحقیقات منابع آب ایران (تماب) تهیه شدند. برای تحلیل صحیح آماری باید داده‌های جمع‌آوری شده دارای سه خاصیت تناسب، کفایت و صحت باشند (۲۲).

کنترل صحت و همگنی داده‌ها

بدون ارزیابی صحیح داده‌ها انجام تحلیل‌های پیچیده آماری نتایج قابل اعتمادی را به دست نخواهد داد. با به کارگیری روش‌های مختلف از جمله مقایسه نظری هم‌زمان آمار ایستگاه‌های مختلف، کنترل مقادیر خیلی زیاد و یا خیلی کم و کنترل اعداد جا افتاده، آمار تمام ایستگاه‌ها تأیید شد. پس از اتمام این مرحله باید آمار موجود از لحاظ همگنی مورد بررسی قرار گیرد. از عمده‌ترین روش‌هایی که برای تعیین همگنی داده‌ها استفاده می‌شود، می‌توان آزمون توالی و منحنی جرم مضاعف نام برد. در این تحقیق از روش آزمون توالی برای بررسی همگنی داده‌های بارش استفاده شد. همچنین برای محاسبه و تعیین بارش متوسط در هر یک از مناطق مورد مطالعه از آمار ایستگاه‌های هواشناسی (سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و تبخیر سنجی) موجود در مناطق مورد مطالعه و اطراف آنها استفاده گردید.

بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی

به منظور برآورد شدت و مدت خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شد. این شاخص برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر داده‌های بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود. معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود (۲۱). در این حالت مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده بارندگی کمتر از بارش متوسط است. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار -1 یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود. برای محاسبه این شاخص از رابطه



شکل ۲. مقادیر شاخص SPI سالانه در مناطق بیستون- پراو و پاطاق. ** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی داری ۱ و ۵ درصد

دوره مبنای (k) است (۲۳).

نتایج

نتایج به دست آمده از شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف در مناطق مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به شرایط حاکم بر مناطق مورد مطالعه و کلاً شرایط بارشی و اقلیم نیمه‌خشک حاکم بر ایران و استان کرمانشاه شاخص SPI در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۹ ماهه قابلیت کاربرد ندارد. همچنین شاخص‌های بلندمدت نیز به دلیل طولانی بودن مقیاس مورد مطالعه قابل استفاده نیست بنابراین بهترین مقیاس‌ها جهت مطالعه خشکسالی هواشناسی در مناطق مورد مطالعه مقیاس‌های ۱۲ و ۱۸ ماهه است (۲۲).

در مقیاس سالانه به بررسی سال به سال شرایط خشکسالی بر مبنای شاخص SPI پرداخته می‌شود. در منطقه بیستون- پراو کمترین مقدار SPI در سال ۸۷-۱۳۸۶ برابر ۲/۷۵- و بیشترین مقدار آن در سال ۷۴-۱۳۷۳ برابر ۱/۹۱ است. از مجموع ۲۰ سال دوره آماری مورد بررسی شده تعداد هشت سال دارای شرایط خشکسالی بوده است. در منطقه پاطاق نیز کمترین مقدار شاخص در سال ۸۷-۱۳۸۶ برابر ۲/۳۷- و بیشترین مقدار ۱/۳۴ در سال ۷۷-۱۳۷۶ بوده است. شکل (۲) مقادیر شاخص SPI سالانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تعیین همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI

به منظور بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، دو شاخص SPI و SDI در ۷ مقیاس زمانی مورد مقایسه قرار گرفت و ضریب همبستگی آنها با روش پیرسون محاسبه گردید.

شدت خشکسالی

شناخت شدیدترین واقعه هیدرولوژیکی از لحاظ مدیریت منابع آب برای امور کشاورزی، آبرسانی شهری و دفع فاضلاب از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۰). در مطالعات خشکسالی نیز معمولاً بررسی شدیدترین خشکسالی به منظور شناخت حداکثر کمبود آب صورت می‌گیرد. در این تحقیق شدیدترین خشکسالی، دارای کمترین مقدار SPI است که در طول دوره آماری مورد مطالعه مشاهده شده است.

آبخوان‌های مورد مطالعه از نظر توسعه‌یافتگی دارای شرایط متفاوتی هستند. به گونه‌ای که توده بیستون- پراو نسبت به کوه پاطاق دارای درجه توسعه‌یافتگی بالایی است. معیار ارزیابی توسعه‌یافتگی آبخوان‌های کارستی توجه به اشکال ژئومورفولوژیکی و همچنین وجود چشمه‌ها و سراب‌های فراوان با آب‌دهی بالا، تغییرات شدید آب‌دهی و قدرت هدایت هیدرولیکی بالا است. بنابراین توسعه‌یافتگی آبخوان‌های کارستی می‌تواند تأثیر زیادی بر شرایط هیدرولوژیکی آبخوان‌ها و میزان حجم ذخیره دینامیک و تأثیر پذیری آبخوان از تغییرات اقلیمی داشته باشد. با توجه به موارد گفته شده الزامی است که در کنار مطالعه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حاکم بر آبخوان‌های کارستی به بررسی شرایط توسعه‌یافتگی آبخوان‌های کارستی و نقش آن بر شرایط هیدرولوژیکی آبخوان پرداخته شود (۵).

جدول ۳. ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در چشمه بیستون

SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	شاخص‌ها و دوره‌ها
ماه ۴۸	ماه ۲۴	ماه ۱۸	ماه ۱۲	ماه ۹	ماه ۶	ماه ۳	
۰/۲۳۹**	۰/۲۳۵**	۰/۲۵۸**	۰/۲۵۵**	۰/۲۷۰**	۰/۳۳۱**	۰/۴۸۳**	SDI ماهه ۳
۰/۲۸۵**	۰/۳۸۱**	۰/۴۰۱**	۰/۴۱۵**	۰/۴۸۷**	۰/۶۳۱**	۰/۵۰۰**	SDI ماهه ۶
۰/۳۰۵**	۰/۴۶۹**	۰/۴۹۹**	۰/۵۵۴**	۰/۶۷۸**	۰/۶۶۵**	۰/۴۶۱**	SDI ماهه ۹
۰/۳۴۷**	۰/۵۳۶**	۰/۵۹۲**	۰/۶۹۵**	۰/۷۱۳**	۰/۶۵۱**	۰/۴۴۳**	SDI ماهه ۱۲
۰/۴۱۶**	۰/۶۳۱**	۰/۷۴۳**	۰/۷۱۶**	۰/۶۸۲**	۰/۶۰۰**	۰/۳۹۹**	SDI ماهه ۱۸
۰/۴۶۸**	۰/۷۶۴**	۰/۷۹۲**	۰/۷۳۰**	۰/۷۰۵**	۰/۶۱۸**	۰/۴۱۴**	SDI ماهه ۲۴
۰/۸۰۵**	۰/۷۳۷**	۰/۷۰۵**	۰/۵۷۲**	۰/۵۰۷**	۰/۴۴۹**	۰/۲۷۴**	SDI ماهه ۴۸

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

جدول ۴. ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در چشمه برکه

SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	شاخص‌ها و دوره‌ها
ماه ۴۸	ماه ۲۴	ماه ۱۸	ماه ۱۲	ماه ۹	ماه ۶	ماه ۳	
۰/۲۷۰**	۰/۳۱۷**	۰/۳۶۳**	۰/۳۸۵**	۰/۴۲۱**	۰/۴۲۸**	۰/۴۲۶**	SDI ماهه ۳
۰/۳۵۹**	۰/۴۳۱**	۰/۴۶۴**	۰/۵۲۸**	۰/۵۶۵**	۰/۵۹۹**	۰/۴۲۸**	SDI ماهه ۶
۰/۴۳۱**	۰/۵۱۸**	۰/۵۶۶**	۰/۶۲۴**	۰/۶۶۶**	۰/۵۸۹**	۰/۳۸۳**	SDI ماهه ۹
۰/۴۸۱**	۰/۵۶۲**	۰/۶۳۳**	۰/۶۷۹**	۰/۶۴۴**	۰/۵۴۱**	۰/۳۳۶**	SDI ماهه ۱۲
۰/۵۵۷**	۰/۶۸۵**	۰/۷۵۰**	۰/۶۸۸**	۰/۶۲۱**	۰/۵۲۵**	۰/۳۴۳**	SDI ماهه ۱۸
۰/۶۱۴**	۰/۷۷۶**	۰/۷۷۹**	۰/۷۰۲**	۰/۶۴۱**	۰/۵۳۲**	۰/۳۴۴**	SDI ماهه ۲۴
۰/۸۱۶**	۰/۶۳۶**	۰/۵۸۴**	۰/۴۳۵**	۰/۳۳۷**	۰/۲۸۱**	۰/۱۷۲**	SDI ماهه ۴۸

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

جدول ۵. ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در چشمه گزنهله

SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	شاخص‌ها و دوره‌ها
ماه ۴۸	ماه ۲۴	ماه ۱۸	ماه ۱۲	ماه ۹	ماه ۶	ماه ۳	
۰/۱۸۴*	۰/۲۲۴**	۰/۲۷۰**	۰/۲۷۹**	۰/۳۰۷**	۰/۳۴۲**	۰/۳۷۸**	SDI ماهه ۳
۰/۲۵۰**	۰/۳۵۴**	۰/۴۱۰**	۰/۴۰۸**	۰/۴۵۹**	۰/۵۳۰**	۰/۳۶۴**	SDI ماهه ۶
۰/۳۱۷**	۰/۴۷۷**	۰/۵۲۲**	۰/۵۲۷**	۰/۵۸۸**	۰/۵۱۶**	۰/۳۶۲**	SDI ماهه ۹
۰/۴۲۵**	۰/۵۷۸**	۰/۶۱۵**	۰/۶۲۰**	۰/۵۸۷**	۰/۴۸۸**	۰/۳۱۵**	SDI ماهه ۱۲
۰/۴۸۲**	۰/۶۰۵**	۰/۶۵۲**	۰/۵۷۰**	۰/۵۰۸**	۰/۴۱۷**	۰/۲۷۷**	SDI ماهه ۱۸
۰/۵۲۲**	۰/۶۶۳**	۰/۶۳۵**	۰/۵۱۸**	۰/۴۶۷**	۰/۳۷۳**	۰/۲۲۲**	SDI ماهه ۲۴
۰/۶۵۲**	۰/۳۵۸**	۰/۲۸۰**	۰/۱۳۴	۰/۰۸۷	۰/۰۹۷	۰/۰۸۱	SDI ماهه ۴۸

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

مقیاس‌های زمانی متناظر است. نتایج نشان‌دهنده این واقعیت است که وقوع خشکسالی هواشناسی با وقوع خشکسالی آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه همراه است. نتایج حاصل از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و شاخص SDI در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳، ۶، ۹، ۱۲،

نتایج حاصله در جدول‌های (۳) تا (۶) ارائه شده است. نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که در اغلب اوقات وقوع خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی دارای رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد است. همچنین بیشترین همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI در

جدول ۶. ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در چشمه قره‌بلاغ

SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	شاخص‌ها و دوره‌ها
ماه ۴۸	ماه ۲۴	ماه ۱۸	ماه ۱۲	ماه ۹	ماه ۶	ماه ۳	
-۰/۰۰۳	۰/۰۴۵	۰/۱۰۴	۰/۲۰۹**	۰/۲۳۶**	۰/۱۸۵**	۰/۱۲۴	SDI ماهه ۳
۰/۰۰۵	۱۰۵	۰/۱۸۶**	۰/۲۹۳**	۰/۲۸۸**	۰/۲۴۷**	۰/۲۰۵**	SDI ماهه ۶
۰/۰۲۲	۰/۱۷۸*	۰/۲۷۲**	۰/۳۶۳**	۰/۳۵۷**	۰/۳۲۳**	۰/۲۶۳**	SDI ماهه ۹
۰/۰۲۷	۰/۲۴۸**	۰/۳۴۹**	۰/۴۱۴**	۰/۴۰۳**	۰/۳۵۸**	۰/۲۷۵**	SDI ماهه ۱۲
۰/۰۳۳	۰/۳۴۰**	۰/۴۲۳**	۰/۴۴۴**	۰/۴۰۴**	۰/۳۴۰**	۰/۲۲۸**	SDI ماهه ۱۸
۰/۰۵۶	۰/۳۹۷**	۰/۴۴۶**	۰/۴۲۰**	۰/۳۵۴**	۰/۲۹۷**	۰/۲۱۷**	SDI ماهه ۲۴
۰/۲۸۲**	۰/۳۶۲**	۰/۳۵۹**	۰/۳۱۴**	۰/۲۶۹**	۰/۲۴۴**	۰/۱۸۷*	SDI ماهه ۴۸

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

جدول ۷. ضریب همبستگی بین شاخص SPI و SDI با تأخیرهای زمانی متفاوت در چشمه بیستون

بازه زمانی	همان ماه	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر	۶ ماه تأخیر
ماه ۳	۰/۴۸۳**	۰/۲۳۹**	۰/۰۹۸	-۰/۰۱۶	-۰/۱۰۰	-۰/۱۰۴	-۰/۰۶۵
ماه ۶	۰/۶۳۱**	۰/۴۳۱**	۰/۳۰۸**	۰/۱۷۵**	۰/۰۵۵	-۰/۰۴۳	-۰/۱۰۱
ماه ۹	۰/۶۷۸**	۰/۵۰۵**	۰/۴۰۴**	۰/۲۹۷	۰/۲۲۰**	۰/۱۳۶*	۰/۰۶۲
ماه ۱۲	۰/۶۹۵**	۰/۵۵۱**	۰/۴۷۰**	۰/۳۸۷**	۰/۳۱۱**	۰/۲۳۹**	۰/۱۷۵**
ماه ۱۸	۰/۷۴۳**	۰/۶۲۳**	۰/۵۷۰**	۰/۵۱۳**	۰/۴۵۱**	۰/۳۹۶**	۰/۳۴۱**
ماه ۲۴	۰/۷۶۴**	۰/۶۴۸**	۰/۵۹۵**	۰/۵۳۹**	۰/۴۸۵**	۰/۴۳۱**	۰/۳۸۴**
ماه ۴۸	۰/۸۰۵**	۰/۷۰۵**	۰/۶۷۶**	۰/۶۴۴**	۰/۶۱۲**	۰/۵۷۹**	۰/۵۴۶**

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

جدول ۸. ضریب همبستگی بین شاخص SPI و SDI با تأخیرهای زمانی متفاوت در برکه

بازه زمانی	همان ماه	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر	۶ ماه تأخیر
ماه ۳	۰/۴۲۶**	۰/۲۹۹**	۰/۲۱۵**	۰/۱۸۰**	۰/۱۱۱	۰/۱۱۷	۰/۱۱۵
ماه ۶	۰/۵۹۹**	۰/۴۷۸**	۰/۴۰۲**	۰/۳۲۷**	۰/۲۵۶**	۰/۱۹۱**	۰/۱۳۴*
ماه ۹	۰/۶۶۶**	۰/۵۶۰**	۰/۴۹۲**	۰/۴۱۷**	۰/۳۵۱**	۰/۲۷۹**	۰/۲۱۳**
ماه ۱۲	۰/۶۷۹**	۰/۵۷۶**	۰/۵۱۶**	۰/۴۶۰**	۰/۴۰۸**	۰/۳۵۲**	۰/۲۹۳**
ماه ۱۸	۰/۷۵۰**	۰/۶۵۶**	۰/۶۲۱**	۰/۵۸۰**	۰/۵۳۳**	۰/۴۹۱**	۰/۴۴۸**
ماه ۲۴	۰/۷۷۶**	۰/۶۸۵**	۰/۶۵۱**	۰/۶۱۶**	۰/۵۸۱**	۰/۵۴۵**	۰/۵۰۷**
ماه ۴۸	۰/۸۱۶**	۰/۷۳۰**	۰/۷۱۳**	۰/۶۹۵**	۰/۶۷۷**	۰/۶۵۷**	۰/۶۳۵**

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد

آب زیرزمینی، ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در حالت بدون تأخیر و تأخیرهای ۱ تا ۶ ماهه تعیین شد. نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون برای چشمه‌های بیستون، برکه، گزنهله و قره‌بلاغ در جدول‌های (۷) تا (۱۰) ارائه شده است.

نتایج حاصل از محاسبه ضریب همبستگی بین شاخص SPI و SDI با تأخیرهای زمانی مختلف نشان داد که همبستگی بین

۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص SPI و شاخص SDI وجود دارد. به نحوی که ضریب همبستگی بین مقیاس‌های متناظر در سطح یک درصد معنی‌دار است.

تأخیر زمانی انتقال خشکسالی هواشناسی به آب زیرزمینی به‌منظور بررسی تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و

جدول ۹. ضریب همبستگی بین شاخص SPI و SDI با تأخیرهای زمانی متفاوت در گزنهله

بازه زمانی	همان ماه	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر	۶ ماه تأخیر
۳ ماهه	۰/۳۷۸**	۰/۲۷۴**	۰/۱۷۳**	۰/۰۸۷	۰/۰۶۵	۰/۰۷۲	۰/۰۰۹
۶ ماهه	۰/۵۳۰**	۰/۴۲۰**	۰/۳۱۲**	۰/۲۲۱**	۰/۱۲۴	۰/۰۵۲	۰/۰۰۲
۹ ماهه	۰/۵۸۸**	۰/۴۸۳**	۰/۴۱۳**	۰/۳۴۲**	۰/۲۹۸**	۰/۲۵۴**	۰/۲۰۸**
۱۲ ماهه	۰/۶۲۰**	۰/۵۴۱**	۰/۵۰۰**	۰/۴۵۸**	۰/۴۱۷**	۰/۳۷۳**	۰/۳۲۸**
۱۸ ماهه	۰/۶۵۲**	۰/۵۷۳**	۰/۵۴۵**	۰/۵۱۸**	۰/۴۸۶**	۰/۴۵۹**	۰/۴۳۵**
۲۴ ماهه	۰/۶۶۳**	۰/۵۹۱**	۰/۵۷۰**	۰/۵۴۵**	۰/۵۱۸**	۰/۴۹۲**	۰/۴۶۶**
۴۸ ماهه	۰/۶۵۲**	۰/۵۸۵**	۰/۵۸۰**	۰/۵۷۶**	۰/۵۷۴**	۰/۵۷۳**	۰/۵۷۳**

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی داری ۱ و ۵ درصد

جدول ۱۰. ضریب همبستگی بین شاخص SPI و SDI با تأخیرهای زمانی متفاوت در چشمه قره‌بلاغ

بازه زمانی	همان ماه	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر	۶ ماه تأخیر
۳ ماهه	۰/۱۲۴	۰/۰۶۶	۰/۱۱۷	۰/۱۶۱*	۰/۱۱۰	۰/۱۰۷	۱۱۶
۶ ماهه	۰/۲۴۷**	۰/۱۶۴*	۰/۱۷۱*	۰/۱۷۴**	۰/۱۶۶*	۰/۱۵۳*	۰/۱۴۸*
۹ ماهه	۰/۳۵۷**	۰/۲۷۳**	۰/۲۴۷**	۰/۲۲۷**	۰/۲۰۳**	۰/۱۸۵**	۰/۱۶۶*
۱۲ ماهه	۰/۴۱۴**	۰/۳۳۳**	۰/۳۱۱**	۰/۲۸۵**	۰/۲۵۱**	۰/۲۱۶**	۰/۱۸۲**
۱۸ ماهه	۰/۴۲۳**	۰/۳۳۹**	۰/۲۸۹**	۰/۲۸۹**	۰/۲۵۲**	۰/۲۱۶**	۰/۱۸۲**
۲۴ ماهه	۰/۳۹۷**	۰/۳۱۲**	۰/۲۹۰**	۰/۲۶۶**	۰/۲۳۹**	۰/۲۱۳**	۰/۱۸۸**
۴۸ ماهه	۰/۲۸۲**	۰/۱۹۶**	۰/۱۷۷*	۰/۱۵۷*	۰/۱۳۵	۰/۱۱۲	۰/۰۹۰

** و * به ترتیب همبستگی در سطح معنی داری ۱ و ۵ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شاخص SPI محاسبه شده برای هر یک از مناطق مورد مطالعه می‌توان دریافت که این مناطق به‌طور متوالی و به‌صورت دوره‌ای رویدادهای ترسالی و خشکسالی را تجربه کرده‌اند. این حوادث از نظر شدت و سطح تحت تأثیر متفاوت بوده و طبیعتاً اثرات مختلفی را نیز بر روی آب‌دهی آبخوان‌ها داشته‌اند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI در مقیاس یک‌ساله در هر یک از مناطق مورد مطالعه حاکی از آن است که در منطقه بیستون- پراو چهار دوره خشکسالی و چهار دوره ترسالی در طی دوره مورد مطالعه (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰) اتفاق افتاده، که شدیدترین آن مربوط به سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ است. در منطقه پاتاق نیز سه دوره خشکسالی و چهار دوره ترسالی در همین دوره آماری اتفاق افتاده است که شدیدترین آن نیز مربوط به سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ است. اما شدت خشکسالی برآورد شده با شاخص SPI در منطقه بیستون- پراو بیشتر از منطقه پاتاق بوده

شاخص‌های مورد استفاده، زمانی بیشترین مقدار است که این شاخص‌ها بدون تأخیر زمانی نسبت به هم در نظر گرفته شوند. بنابراین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه بدون تأخیر زمانی نسبت به هم اتفاق می‌افتد. بر مبنای نتایج به‌دست آمده از شاخص SDI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه بیستون- پراو در چشمه بیستون در بهمن سال ۸۷ برابر ۲/۴-، چشمه برکه در اردیبهشت سال ۸۸ برابر ۲/۲۲-، چشمه گزنهله در تیر سال ۸۷ برابر ۲/۰۲- بوده است، در منطقه پاتاق نیز در چشمه قره‌بلاغ در مهر سال ۸۳ برابر ۱/۸۷- بود. لازم به یادآوری است که در مناطق کوهستانی بیستون- پراو و پاتاق هیچ‌گونه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد. بنابراین از ایستگاه‌های مناطق دشتی اطراف این توده‌های کوهستانی استفاده شد. این ایستگاه‌ها به‌دلیل شرایط توپوگرافی نسبتاً یکسان، دارای وقایع اقلیمی تا حدودی همگن و مشابه هستند.

آبخوان خیلی سریع تأثیر خود را بر خروجی آبخوان می‌گذارد که با نتایج خان و همکاران (۱۸) مطابقت دارد. این یافته‌ها با نتایج ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۴) و محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۰) و بابایی و همکاران (۳) همخوانی ندارد. علت این عدم همخوانی را می‌توان به شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق مورد مطالعه، نوع آبخوان (آبرفتی یا آهکی)، ژئومورفولوژی مناطق مورد مطالعه و ضریب نفوذ متفاوت آبخوان‌ها ربط داد.

تأخیر زمانی انتقال خشکسالی هواشناسی به آب زیرزمینی
اینکه خشکسالی هواشناسی به چه شکل و چطور آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد تنها به کاهش بارندگی وابسته نبوده و به عواملی دیگری نظیر خصوصیات فیزیکی آبخوان، تخلخل موجود در سنگ‌ها، بافت خاک، ابعاد و ضخامت بخش غیراشباع آبخوان بستگی دارد (۶). در این رابطه لگلاسیاس و همکاران (۱۹)، نیز واکنش آبخوان به دوره‌های خشکسالی را قویاً به خصوصیات هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و ضریب ذخیره)، میزان تغذیه، ضخامت بخش اشباع، مسیرهای جریان و اندازه آبخوان نسبت می‌دهند که از این حیث در انطباق با نتایج تحقیق حاضر است. برای مناطق مورد مطالعه بررسی همبستگی بین شرایط زمانی مختلف (بدون تأخیر و تأخیر یک تا شش ماه) شاخص SDI نسبت به شاخص SPI نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI، زمانی به دست آمد که همبستگی این شاخص‌ها بدون تأخیر زمانی محاسبه شد. علت آن را می‌توان به شرایط حاکم بر آبخوان‌های کارستی ربط داد. به این صورت که فضای خالی آبخوان‌های کارستی از نوع درزو شکاف‌دار است که باعث عکس‌العمل سریع هیدرولوژیکی آبخوان می‌شود. در چنین شرایطی آب نفوذ یافته در اثر بارش در منطقه به سرعت خود را به خروجی آبخوان رسانده و از مظهر چشمه‌ها خارج می‌شود.

نتایج حاصل از مقایسه ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های مورد استفاده در هریک از آبخوان‌ها نشان داد که ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI در چشمه‌های

است. از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به مقیاس انتخاب شده (سالانه) برای بررسی خشکسالی‌های منطقه اشاره کرد. در مناطقی که تعداد ماه‌های خشک (فاقد بارش) آن زیاد است، استفاده از مقیاس‌های زمانی بلندمدت نسبت به مقیاس‌های کوتاه مدت برای بررسی حالت‌های خشکسالی دارای ارجحیت است (۲۱).

بررسی خشکسالی آب زیرزمینی

کاهش در میزان بارش ابتدا باعث تنزل مقدار تغذیه، سپس افت تراز سطح ایستابی و در نهایت کاهش و یا توقف تخلیه آبخوان‌ها توسط رودخانه‌ها و چشمه‌ها می‌شود. البته پاسخ آبخوان به خشکسالی قویاً به ویژگی‌هایی نظیر نوع آبخوان، پارامترهای هیدرودینامیکی (ضریب قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، هدایت هیدرولیکی و آب‌دهی ویژه)، میزان تغذیه، ضخامت بخش اشباع، مسیرهای جریان و گستره آبخوان بستگی دارد. بررسی خشکسالی آب زیرزمینی در چشمه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص SDI نشان داد که این شاخص قادر است شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی و ویژگی‌های آن را در منطقه به خوبی شناسایی نماید. براساس نتایج به دست آمده خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در طول دوره آماری مورد مطالعه به صورت متناوب و متوالی بوده است.

تعیین ارتباط خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی

براساس نتایج به دست آمده از مقایسه شاخص SPI با شاخص SDI در مقیاس‌های هم‌زمان نشان می‌دهد که خشکسالی هیدرولوژیکی بعد از خشکسالی هواشناسی و با اندکی تأخیر زمانی رخ می‌دهد. دلیل آن را می‌توان به شرایط حاکم بر آبخوان‌های کارستی ارتباط داد به این صورت که فضای متخلخل یا خالی در آبخوان‌های کارستی از نوع درزو شکاف‌دار است که توانایی آن را دارد تا به سرعت حجم بالایی از آب باران را در خود نفوذ داده و خیلی سریع به خروجی آبخوان برساند. بنابراین هر گونه تغییر در حجم آب ورودی به

مناطق مورد مطالعه، باعث می‌شود که وقوع خشکسالی‌ها حتی در بازه‌های زمانی کوتاه خسارات زیادی را در مناطق مورد مطالعه به بار آورد، به این ترتیب اهمیت پیش‌بینی وقوع خشکسالی‌ها به‌منظور مدیریت منابع آب و کاهش خسارات ناشی از خشکسالی‌ها بیش از پیش ملموس می‌شود.

نتایج حاصل از تأخیر زمانی انتقال خشکسالی هواشناسی به آب زیرزمینی مطابق با نتایج تحقیق فیریلو (۱۷)، رحمتی (۵) و مرادی و همکاران (۱۰) بوده ولی با نتایج سرانو و مونرو (۲۳)، تالاکسن و همکاران (۲۶)، محمدی و شمسی پور (۹) و اسلامیان و همکاران (۱) که به ترتیب این تأخیر زمانی را ۹ و ۳ ماهه به‌دست آوردند همخوانی ندارد. علت این مغایرت به مشخصات آبخوان‌های کارستی مورد مطالعه، شرایط اقلیمی و نیز وضعیت لیتولوژی مناطق مورد مطالعه در این تحقیق برمی‌شود.

منطقه بیستون-پراو بیشتر از مقدار این ضریب در منطقه پاتاق است. علت آن را می‌توان به توسعه‌یافتگی شبکه و مجاری کارستی در منطقه بیستون-پراو ربط داد. بررسی‌ها نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی ارتباط معنی‌داری وجود دارد به‌نحوی که وقوع خشکسالی هواشناسی سبب کاهش تغذیه چشمه‌ها و در نتیجه کاهش حجم ذخیره آبخوان و آب‌دهی چشمه‌ها شده است. به دلیل عکس‌العمل سریع‌تر آبخوان‌های کارستی نسبت به آبخوان‌های آبرفتی، وقوع خشکسالی هواشناسی در مناطق مورد مطالعه، اثر خود را به‌صورت آنی یا با تأخیر یک ماهه روی آب‌دهی چشمه‌ها نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این بررسی با نتایج مفیدی‌پور و همکاران (۱۲) در حوزه آبخیز اترک و مرادی و همکاران (۱۱) در حوزه شهر خرم‌آباد و نتایج حیدری و همکاران (۴) در ارومیه مطابقت دارد. وجود شرایط هیدرولوژیکی حاکم در

منابع مورد استفاده

- اسلامیان، س. س.، م. نصری و ن. رحیمی. ۱۳۸۸. بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه آبخیز دشت بوئین. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۰(۱): ۷۵-۹۰.
- آغاسی، ع. و ا. افراسیابیان. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کارست، مرکز تحقیقات کارست کشور، تهران.
- بابایی ح.، ش. عراقی‌نژاد و ع. هورفر. ۱۳۹۰. تعیین فاصله‌ی زمانی رخداد خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز زاینده‌رود، فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم ۱(۳): ۱-۱۴.
- حیدری، م.، ا. فرخی، س. تنیان. ۱۳۸۸. ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از نرم افزار DIP در منطقه ارومیه و خوی، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران. کرج.
- رحمتی، م. ۱۳۹۳. مقایسه اثر خشکسالی هواشناسی بر آب‌دهی چشمه‌ها در آبخوان‌های کارستی مختلف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- صیف، م.، ح. محمدزاده و ا. مساعدی. ۱۳۹۱. ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده، مجله مهندسی منابع آب ۵(۲): ۴۵-۵۹.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.
- محمدی قلعه‌نی، م.، ک. ابراهیمی و ش. عراقی‌نژاد. ۱۳۹۰. ارزیابی تأثیر خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص بارش معیار شده - مطالعه موردی آبخوان دشت ساوه، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- محمدی، ح.، ع. شمسی پور. ۱۳۸۲. تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان، پژوهش‌های

جغرافیایی: ۱۱۵-۱۳۰.

۱۰. مرادی، ح. ر.، ع. سپهوند و م. خزایی. ۱۳۸۸. ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SPI اصلاح شده و SDI (مطالعه موردی: حوزه شهر خرم‌آباد). پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشگاه تهران. کرج.
۱۱. مرادی، ح. ر. و ر. عرفان‌زاده. ۱۳۸۰. بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوزه رود هراز، اولین سمینار ملی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۱۸-۲۰ اسفند. ۲۸۳-۲۹۲.
۱۲. مفیدی‌پور، ن. و. بردی‌شیخ، م. اونق، ا. سعدالدین. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۳(۵): ۲۶-۱۶.
۱۳. مقصودی، م. ح. کریمی، ف. صفری و ذ. چهارراهی. ۱۳۸۸. بررسی توسعه کارست در توده پراو - بیستون با استفاده از ضرایب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (۶۹): ۶۵-۵۱.
۱۴. ملکی‌نژاد، ح. و م. سلیمانی‌مطلق. ۱۳۹۰. بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلونندی، مجله پژوهش آب ایران ۵(۹): ۷۲-۶۱.
۱۵. ناصری، ح. ر.، ف. علیجانی و م. نخعی. ۱۳۹۱. مقایسه اثرات خشکسالی بر هیدروژئولوژی کارست سازندهای آسماری و ایلام- سروک در جنوب غرب ایذه، مجله پژوهش آب ایران ۶(۱۱): ۴۵-۳۵.
16. Calow, R., N. Robins, A. Macdonald and A. Nicol. 1999. Planning for Groundwater Drought in Africa, *In: Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub Saharan Africa*, IHP-V, Tech. Doc. in Hydrol. 359(3): 255-270.
17. Fiorillo F. and F. M. Guadagno. 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI, *J. of Water Resour. Manage.* 24(9):1867-1884.
18. Khan S., H. F. Gabriel and T. Rana. 2008. Standard Precipitation Index to Track Drought and Assess Impact of Rainfall on Water Tables in Irrigation Areas, *J. of Natural Resour. Manage.* 22(2):159-177.
19. Lglesias L., L. Garrote, A. Cancelliere, F. Cubillo and D. Wilhite. 2009. Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems, *Drought Management and Policy Development in the Mediterranean*. Springer.
20. Loukas A., L. Vasilades and J. Dalezios. 2003. Inter comparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in greece, *In: Proceeding of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology Lemons Island, Greece*.
21. McKee T. B., N. J. Doeskin and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, *In: Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts. PP. 179-184.
22. Moradi H. R., M. Rajabi and M. Farzaneh. 2011. Investigation of Meteorological Drought Characteristics in Fars Province, Iran, *Catena* 84(2011): 35-46.
23. Nalbantis I. and G. Tasakiris. 2009. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resour. Manage.* 23: 881-897.
24. Peters, E., H. A. J. Van Lanen, R. B. Bradford, J. Cruces de Abia and L. Martinez Cortina. 2001. Droughts derived from groundwater heads and groundwater discharge, PP: 35-39. *In: Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, Final Report to the European Union*. Institute of Hydrology, University of Freiburg, January 17-22.
25. Serrano, S. M. and J. I. Moreno. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the sandardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin, *Hydrol. and Earth Sys. Sci.* 9: 523-533.
26. Tallaksen, L. M. and H. A. J. Van Lanen. 2004. *Drought as a Natural Hazard: Processes and Estimation Methods for Stream Flow and Groundwater*, Elsevier.
27. Van Lanen, H. A. J. and E. Peters, 2000. Definition Effects and Assessment of Groundwater Droughts, *J. of Natural and Technol. Hazards Res.* 14(1): 49-61.
28. Wilhite D. A. 1993. *Planning for Drought: A Methodology*. Kluwer Academic Publisher, Drought, the Nature Lands. PP: 87-108.

Evaluating the Effects of Meteorological Drought on the Karstic Aquifers with Karst Development in Different Conditions

M. Rahmati¹, H. R. Moradi^{1*} and H. Karimi²

(Received: March 1-2015; Accepted: Oct. 30-2017)

Abstract

Groundwater is a major source of drought. Karstic aquifers are important sources of groundwater in the West and Kermanshah province. This study was performed to investigate the effects of the meteorological drought on the karstic aquifer with different conditions of development. The studied areas in this research included two karstic aquifers, Bistoon-Parau and Patagh mountain in Kermanshah province. In this study, we used monthly precipitation and springs discharge during a period of 20 years. Accordingly, the SPI and SDI indices were used to investigate the different states of meteorological and hydrological droughts, respectively. To determine the relationship between meteorological droughts and groundwater, Pearson correlation was used; also, to determine the time delay, the correlation between the different time conditions (no delay and delay 1 to 6 months) of the SDI index and the SPI index was investigated. The results of the relationship between the meteorological drought and groundwater showed that both had a significant correlation (p-value: 0.01). Also, based on the results of the correlation between different time conditions (no delay and delay 1 to 6 months), the SDI index was compared to the SPI index, showing that the time delay between the occurrence of meteorological drought and groundwater in the studied areas without time delay or a maximum one-month delay had happened. Based on the results, Pearson correlation coefficients between the SPI and SDI indices in the Bistoon-Parav region were more than those of the Patagh mountain region indicating the development of the Bistoon-Parav karst region, as compared with the Patagh Mountain.

Keywords: Hydrological drought, Karst development, SPI index, SDI index, Bistoon-Parav mass, Patagh Mountain.

1. Dept. of Watershed Manage. Eng., Faculty of Natural Resour., Tarbiat Modares Univ., Noor, Iran.

2. Dept. of Rangeland and Watershed, Faculty of Agric., Ilam Univ., Ilam, Iran.

*: Corresponding Author, Email: hrmoradi@modares.ac.ir