جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و یکم، پاییز ۱۳۹۸

صص ۱۸- ۱
DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.79453

واکاوی اثرات ژئومورفولوژی کارست و خشکسالی بر ویژگی‌های کمی- کیفی منابع آب کارستی محدوده تاقدیس گرین (استان لرستان)

منصور پروین[1]- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور،تهران،ایران.
رامین حاتمی فرد- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران،تهران،ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/٤/۲٤

چکیده

کارست مجموعه‌ای از فرایندهای زمین‌شناسی و پدیده‌های حاصل از انحلال سنگ‌ها درنتیجه بازشدگی‌ها، تخریب و تجزیه سنگ‌ها است که رژیم هیدرولوژیکی، شبکه زهکشی و لندفرم‌های خاص را به وجود می‌آورد. هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر توسعه ژئومورفولوژی کارست و رخداد خشکسالی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی تاقدیس گرین می‌باشد. برای این منظور چشمه‌های امیر، چناره، آهنگران، لاغری و تیمور در یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹٤-۱۳۸۰) مورد مطالعه قرار گرفتند. با استفاده از روش SPI میزان خشکسالی و تأثیر آن در منطقه ارزیابی گردید. همچنین میزان توسعه کارست در هر آبخوان براساس روش مالیک و وجکتوا مشخص گردید. با توجه به ارزیابی‌های هیدرودینامیکی، درجه توسعه‌یافتگی کارست در آبخوان چشمه‌های امیر و چناره بین ۲/۵ تا ۲/۷ بوده و دارای سیستم غالب جریان افشان و زیر رژیم‌های خطی می‌باشند. آبخوان چشمه آهنگران دارای درجه توسعه کارست ٤/۳ بوده و سیستم جریان آن‌ها از نوع مجرایی- افشان می‌باشد. آبخوان چشمه‌های،لاغری و تیمور دارای درجه توسعه کارست ۵/۵ و سیستم جریان مجرایی می‌باشد. با توجه به توسعه متفاوت ژئومورفولوژی کارست می‌توان گفت که در چشمه‌های لاغری و تیمور به علت پایین بودن اثر حافظه و توسعه‌یافتگی آبخوان، واکنش دبی به تغییرات بارشی دارای تأخیر زمانی کوتاه‌مدت بوده است. اما در چشمه‌های امیر و چناره به علت توسعه اندک کارست، تأثیر خشکسالی با تأخیر حدود ۲٤ ماهه مواجه بوده است. بر اساس نتایج هیدروشیمیایی بالاترین و پایین‌ترین مقادیرTDS به ترتیب در چشمه‌های چناره و آهنگران وجود دارد. همچنین بالاترین و پایین‌ترین مقادیرTH به ترتیب مربوط به چشمه‌های آهنگران و تیمور بوده است.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی، تاقدیس گرین، کارست، خشکسالی، SPI

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۸۸۳٦٦۷۱۱ Email: Mansorparvin@yahoo.com

۱- مقدمه

امروزه نیاز به تأمین آب، برای رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در سطح جهان مورد توجه می‌باشد. تغییرات مقدار بارش و دما به‌عنوان یکی از ویژگی‌های ذاتی نوسانات اقلیمی در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد (Gondwe et al, 2011). تغییرات اقلیمی می‌توانند سبب به هم خوردن بیلان آب در مناطق مختلف شده و مقدار آب قابل دسترس را برای مصارف گوناگون کاهش دهند (Ford and Williams,2007). وقوع خشکسالی هواشناسی و به‌تبع آن خشکسالی هیدرولوژیکی علاوه بر کاهش تغذیه سفره‌های زیرزمینی، موجب افزایش برداشت و تشدید کاهش سطح آب‌های زیرزمینی خواهد شد (Serrano,2005). به‌عبارت‌دیگر یکی از اثرات پدیده خشکسالی، تأثیرات عمده بر منابع آبی می‌باشد که بهره‌برداری قابل‌اطمینان از آب‌های سطحی و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gondwe et al, 2011). در این بین آبخوان‌های کارستی به علت ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی خاص خود نسبت به سایر آبخوان‌ها بیشتر تحت تأثیر خشکسالی و نوسانات بارشی قرار می‌گیرند (Mudarra and Andreo, 2011). به‌عبارت‌دیگر دبی آبخوان‌های کارستی در یک سال هیدرولوژیکی، از رژیم آب و هوایی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ویژگی‌های کارست منطقه تأثیر می‌پذیرد (Fiorillo & Guadagno, 2012). بیشتر مطالعات انجام گرفته در زمینه تغییرات و نوسانات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب در جهان بر تأثیرات خشکسالی در آبخوان‌های کارستی معطوف بوده است. نوع سامانه‌های کارستی و میزان توسعه آن‌ها بر پارامتر اثر حافظه یا میزان ذخیره دینامیکی آبخوان‌ها تأثیر گذاشته و سامانه‌های کارستی با توسعه کمتر، واکنش کمتری به رخداد خشکسالی کوتاه‌مدت داشته و زمان پاسخ آن‌ها طولانی‌تر می‌باشد (Krestic & Stevanovic, 2010). بر این اساس سامانه‌های کارستی به دو دسته سامانه‌های مجرایی و افشان طبقه‌بندی می‌شوند. در سیستم‌های با سامانه مجرایی با توجه به توسعه‌یافتگی کارست، واکنش به بارش در زمان کوتاهی رخ داده اما در سیستم‌های افشان، زمان واکنش به بارش طولانی‌تر خواهد بود (Ford and Williams,2007). در حال حاضر با توجه به محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب آبرفتی، منابع آب کارستی به‌عنوان ذخایر مهم و استراتژیک ویژه برای تأمین نیازهای شرب محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که هم‌اکنون منابع آب کارستی، تأمین‌کننده آب شرب بسیاری از شهرها و روستاها می‌باشد (جلیلوند و نوری هندی،۱۳۸۹: ٦). تاقدیس گرین در استان لرستان تحت تأثیر قرارگیری در مرز زاگرس مرتفع و چین‌خورده، وسعت زیاد سازندهای کربناته، فعالیت‌های تکتونیکی، عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی و دیگر عوامل مؤثر، درز و شکاف‌های ثانویه و اشکال مورفولوژیکی از قبیل کارن‌ها، دولین‌ها، شافت، جاما و غارها در آن تشکیل شده و شرایط مناسبی جهت توسعه فرایند کارست‌زایی به وجود آورده است (شکل۱). چشمه‌های منتخب محدوده تاقدیس گرین تأمین کننده آب شرب و کشاورزی جوامع شهری و روستایی شهرهای نورآباد و الشتر بوده و نقشی اساسی در حیات اجتماعی- اقتصادی مردم منطقه دارند. بدین منظور شناخت تأثیرپذیری کمی و کیفی این چشمه‌ها تحت تأثیر رخداد

خشـکسـالی در محدوده مورد مطالعه ضـروری می‌باشد. درنتیجه می‌بایست نسبت به سنجش تأثیر نوسانات اقلیمی در ویژگی چشـمه‌های مورد مطالعه با اسـتفاده از مدل‌ها و روش‌های مناسـب اقدام نمود. این پژوهش با هدف بررسی و ارزیابی اثرات ژئومورفولوژی کارسـت و وقوع خشـکسـالی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چشمه‌های محدوده تاقدیس گرین در استان لرستان انجام گرفته است.

شکل ۱- نمونه‌ای از دولین‌های تشکیل شده محدوده تاقدیس گرین

فیوریلو و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط بین دوره‌های خشـکسـالی و دبی چشـمه‌های جنوب ایتالیا را با اسـتفاده از شـاخص SPI را بررسـی نموده اسـت. نتایج این پژوهش نشـان داده اسـت که در شـرایطی که میزان SPI ۱۲ ماهه به میزان ۱- باشـد چشـمه‌های منطقه با کاهش دبی مواجه شـده و هنگامی که این میزان به ۱/۵- برسـد، هیدروگراف چشـمه‌ها فاقد نقطه اوج می‌باشـند. فیوریلو و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات سـری زمانی دبی چشـمه‌های جنوب ایتالیا را در ارتبـاط با رخداد خشـکسـالی مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که به علت تأثیر حافظه آبخوان، بین وقوع

خشکسالی هیدرلوژیکی و هواشناسی در حوضه چشمه‌ها تأخیر زمانی وجود دارد. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تأثیر خشکسالی بر آبدهی چشمه‌های کارستی در استان کرمانشاه نتیجه گرفته‌اند که تأثیر خشکسالی بر آبدهی چشمه‌های منتخب بدون تأخیر زمانی و تقریباً همزمان رخ داده است. چشمه‌های زون زاگرس شکسته با یک تأخیر زمانی سه ماهه نسبت به خشکسالی واکنش داشته‌اند، اما در زاگرس چین‌خورده چشمه‌های منتخب روند مشخص نداشته‌اند. نگهبان و همکاران (۱۳۹۵) تأثیرپذیری رژیم آبدهی چشمه‌های حوضه رودخانه الوند تحت تأثیر خشکسالی را بررسی نموده‌اند. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی موجب شده آبدهی چشمه‌های منتخب روند نزولی داشته باشد. همچنین تأثیرپذیری آبدهی چشمه‌ها از خشکسالی، به توسعه‌یافتگی سیستم‌های کارستی، حجم ذخیره دینامیکی (اثر حافظه) آبخوان، مدت و شدت خشکسالی بستگی داشته است. فتح‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از آزمون زنجیره مارکوف و شاخصSPI تأثیر خشکسالی بر چشمه‌های کارستی شهرستان کرمانشاه را ارزیابی کرده‌اند. با توجه به نتایج این پژوهش احتمال رخداد افزایش دوره‌های خشک در آینده بیشتر بوده و به‌تبع آن دبی سراب‌های مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. همچنین شاخص SPI سالانه روند کاهش دبی با خشکسالی را نسبت به دوره‌های مرطوب بهتر نشان داده است. زارعی و همکاران (۱۳۹٦) با بررسی نوسانات آبدهی چشمه بی‌بی تلخون (استان خوزستان) تحت تأثیر رخداد خشکسالی، نشان داده‌اند که خشکسالی در بازه زمانی مورد مطالعه توانسته آبدهی چشمه بی‌بی تلخون را به میزان ٤٦ درصد کاهش دهد. همچنین میزان EC و TH چشمه مذکور در مواقع خشکسالی بیشتر از دوره‌های مرطوب بوده است. رحمتی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از شاخص‌های SDI و SPI وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی استان کرمانشاه را ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان دهنده این است که بین رخداد خشکسالی و افت سطح آب آبخوان‌ها یا تأخیری وجود نداشته و یا اینکه با حداکثر یک ماه تأخیر رخ داده است. همچنین پژوهشگران دیگری نیز در زمینه تأثیر خشکسالی بر منابع آب پژوهش‌های موردی را انجام داده‌اند. ازجمله تمدن و نوذری، ۱۳۹٦؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ روشان و حبیب‌نژاد روشن،۱۳۹۷؛ احراری رودی، ۱۳۹۷؛ Adhikary, 2013; Seeboonruang, 2015; Hao et al, 2016; Sebenik, 2017 .

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک تحقیق کاربردی مبتنی بر روش تحلیل هیدروگراف و همچنین تحلیل‌های آماری می‌باشد. به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش و پایش وضعیت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، از آمار بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی (وزارت نیرو) نورآباد و دره‌تنگ الشتر در یک دوره از شاخص بارش استاندارد SPI (معادله ۱) استفاده شده است. مک‌کی[1] و همکاران (۱۹۹۳) به‌منظور تعیین خشکسالی شاخصی را پیشنهاد دادند که از اختلاف بارش و میانگین بارش و انحراف معیار بارش حاصل می‌شود که تحت عنوان "شاخص بارش استاندارد شده"

1 Mckee

شـناخته می‌شـود. به‌عبارت‌دیگر شـاخصSPI اسـاساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است و به تحلیلگر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشـکسـالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی نماید. شـاخصSPI از طریق برازش توزیع احتمال مناسـب بر سـری مجموعه بارش‌های ماهانه در بازه زمانی معین حاصـل می‌شـود. بدین ترتیب احتمال عدم گذر مقادیر بارش از روی تابع توزیع تجمعی مناسب (توزیع گاما) تعیین و احتمال به دسـت آمده از این طریق به متغیر تصـادفی نرمال اسـتاندارد شـده تبدیل می‌شـود. مقادیر شـاخص SPI به دسـت آمده از داده‌های بلندمدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و دارای میانگین صـفر و انحراف معیار یک (۱) می‌باشد (جدول۱) و (معادله۱).

$$SPI=P_i -(P/\sigma)$$ معادله (۱)

جدول ۱- درجات خشکسالی بر مبنای روش SPI (مک‌کی و همکاران ۱۹۹۳)

مقدار SPI	طبقات خشکسالی
۰/۵ تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
کمتر از ۲-	خشکسالی خیلی شدید

همچنین برای ارزیابی واکنش چشـمه‌های محدوده تاقدیس گرین به نوسانات بارشی، از دبی استاندارد چشمه‌های امیر، چناره، آهنگران، لاغری و تیمور در یک دوره زمانی ۱۵ سـاله (۱۳۹۴-۱۳۸۰) از (معادله۲) اسـتفاده شـده اسـت. برخی از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی چشمه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

$$QS= (Qi-\mu) / \sigma$$ معادله (۲)

در این معادله (۱و۲) SPI و QS به ترتیب نمایه اسـتاندارد بارش و دبی،Pi و Qi به ترتیب میانگین بارش(م.م) و دبی سـالیانه،P: متوسـط بلندمدت بارش، μ: میانگین بارش وσ: انحراف معیار بارش و دبی اسـت که از طریق احتمال تجمعی استاندارد گاما محاسبه می‌شود (Mckee et al., 1993).

جدول ۲- ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی چشمه‌های محدوده مورد مطالعه

چشمه	میانگین دبی سالانه (لیتر/ ثانیه)	دبی حداکثر	دبی حداقل	انحراف معیار دبی	ضریب ناهمشکلی $Kn=\frac{Qmax}{Qmin}$	ضریب کمترین آبدهی $Km=\frac{Qmin}{Qmean}$	ضریب تغییرات (درصد) $CV=\frac{S}{X}\times100$
امیر	۴۵۱	۵۹۸	۲۷۷	۹۰	۲/۱۵	۰/۶۱	۲۰
آهنگران	۱۰۲	۱۴۹/۵	۵۰	۲۶	۳	۰/۴۹	۲۵/۴
چناره	۲۴۱	۳۱۵	۱۶۰	۴۶	۱/۹۷	۰/۶۶	۱۹

ادامه جدول ۲

چشمه	میانگین دبی سالانه (لیتر/ ثانیه)	دبی حداکثر	دبی حداقل	انحراف معیار دبی	ضریب ناهمشکلی $Kn=\frac{Qmax}{Qmin}$	ضریب کمترین آبدهی $Km=\frac{Qmin}{Qmean}$	ضریب تغییرات (درصد) $CV=\frac{S}{X}\times100$
لاغری	۲٤۹	٦٥۰	۱۷	۱٦٤	۳۸/۲	۰/۰۷	٦٦
تیمور	۱۹۲	۳۰٦	۱۰۰	۷۷	۳/۰٦	۰/۵۲	٤۰

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای لرستان

ازآنجایی‌که نوسانات در آبدهی چشمه‌های کارستی تنها تحت تأثیر کمبود نزولات جوی نبوده و خصوصیات فیزیکی آبخوان چشمه‌ها نیز در این امر مهم می‌باشند. بنابراین به‌منظور راستی آزمایی تأثیر خشکسالی بر آبدهی چشمه‌های مورد مطالعه، درجه و میزان توسعه‌یافتگی کارست در آبخوان هر چشمه با استفاده از روش مالیک و وجکتوا[1] و معادله (۳) نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

معادله(۳) $$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$$

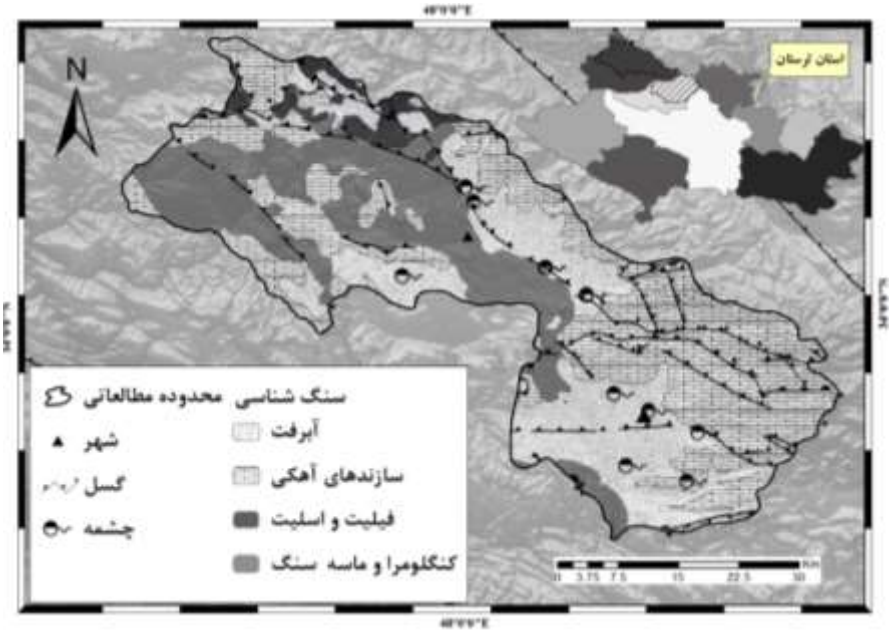
در این معادله Q_t آبدهی در زمان t (بر حسب مترمکعب در ثانیه) Q_0 آبدهی قبلی در زمان t_0، زمان طی شده بین Q_t وQ_0 (برحسب روز) e پایه لگاریتم طبیعی(عدد نپرین) α ضریب فروکش(تخلیه) چشمه بوده و به قابلیت انتقال و آبدهی ویژه آبخوان بستگی دارد (Ford and Williams,2007; Kresic and Stevanovic,2010; Malik and Vojtkova, 2012). همچنین به‌منظور بررسی تأثیر خشکسالی بر ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه از آنالیزهای هیدروشیمیایی مجموع آنیون‌ها (بی‌کربنات، کلر و سولفات)، کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، هدایت الکتریکی(EC)، میانگین مواد جامد محلول (TDS[2]) و سختی کل (TH[3]) اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای لرستان استفاده شده است.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تاقدیس گرین با روند شمالغرب- جنوب‌شرق و ارتفاع بیش از ۳۷۰۰ متر ازجمله ارتفاعات مهم زاگرس در استان لرستان است. این تاقدیس مجموعه ناهمگونی از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی متعلق به بازه زمانی کرتاسه تا الیگومیوسن را در خود جای داده است. در بین این سنگ‌ها، سری‌های آهکی و دولومیتی از گسترش فراوانی برخوردار هستند. بیشترین وسعت سنگ‌های کربناته در تاقدیس گرین مربوط به سنگ‌های دولومیتی و آهک‌های ژوراسیک پایینی است که معادل دولومیت سازند نیریز و کربنات‌های سازند سورمه می‌باشد. بخشی از محدوده مورد

1 Malik and Vojtkova
2 Total Dissolved Solids
3 Total Hardness

مطالعه در زون زمین‌ساختی زاگرس مرتفع و بخشی از آن در زون سنندج - سیرجان قرار گرفته است. این منطقه به شدت تکتونیزه شده و گسل و شکستگی‌های متعددی توده‌های سنگی منطقه را قطع نموده‌اند. جهت‌گیری گسل‌ها به طور عمده شمالغربی- جنوب شرقی است که مهم‌ترین آن‌ها گسل‌های گرین- گاماسیاب و گرین-کهمان می‌باشد (قبادی و همکاران،۱۳۹۰: ۳۰۱). در منطقه مورد مطالعه انواع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست مانند دولین‌ها، غارها، چشمه‌های کارستی، پونورها، چاه‌های کارستی، حفرات انحلالی، پنجره‌های کارستی و انواع کارن قابل مشاهده است. در این بین چشمه‌های کارستی به دلیل تأمین بخش عمده آب شرب و کشاورزی شهرها و روستاهای منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشند (شکل۲).



شکل۲- زمین‌شناسی و موقعیت تاقدیس گرین دراستان لرستان

۳- بحث و نتایج

۳-۱- محاسبه توسعه کارست در آبخوان چشمه‌ها

وجود چشمه‌ها ازجمله یکی از ویژگی‌های مناطق کارستی می‌باشد که بخش عمده‌ای از ذخیره دینامیکی آبخوان‌ها را تخلیه می‌کنند (Kresic and Stevanovic,2010). به‌منظور تعیین درجه توسعه‌یافتگی کارست، از منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های مورد مطالعه و روش مالیک و وجکتوا استفاده شده است. نتایج روش مالیک و وجکتوا در محدوده تاقدیس گرین نشان داده است که آبخوان چشمه‌های امیر و چناره درجه توسعه‌یافتگی کارست در آن‌ها به ترتیب ۲/۷ و ۲/۵ بوده و دارای سیستم غالب جریان افشان و زیر رژیم‌های خطی می‌باشند. آبخوان چشمه

آهنگران دارای درجه توسعه کارست ٤/٣ بوده و سیستم جریان در آن‌ها از نوع مجرایی- افشان است. آبخوان چشمه‌های لاغری و تیمور دارای بالاترین میزان توسعه کارست در محدوده تاقدیس گرین می‌باشند. به‌گونه‌ای درجه توسعه کارست برای آبخوان این چشمه‌ها برابر با ۵/۵ بوده و هر کدام دارای دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر در تاقدیس گرین آبخوان چشمه‌های لاغری و تیمور از توسعه کارستی بیشتری نسبت به سایر چشمه‌های منتخب برخوردار می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که چشمه امیر و چشمه‌های لاغری و تیمور متناسب با میزان توسعه کارست به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان حجم ذخیره دینامیکی هستند. زیرا آبخوان چشمه امیر دارای کارست توسعه نیافته و آبخوان چشمه‌های لاغری و تیمور از کارست توسعه‌ای برخوردار است (جدول۳).

جدول ۳- رابطه منحی فرود، رژیم‌های جریان و درجه توسعه کارست محدوده تاقدیس گرین

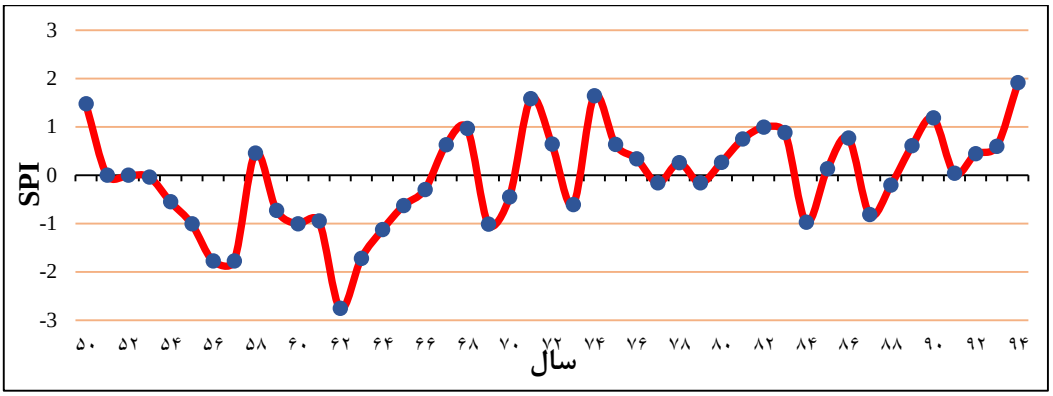
چشمه	رابطه منحنی فرود	زیر رژیم-های جریان	زمان مرگ $t_0 = \frac{t.\log e}{\log Q_0/Q_t}$	حجم ذخیره دینامیکی (m^3)	درجه توسعه کارست
امیر	$Qt = ۰/۵۱۶e^{-۰/۰۰٤(۳۰)} + ۰/٤۵۵\ e^{-۰/۰۰۰۱(٦۰)}$	افشان	۳۱۳	٤۱٦۰۱٦۰۰۰	۲/۷
آهنگران	$Qt = ۰/۱۸٤e^{-۰/۰۰۵(٦۰)} + ۰/۱۳٤\ (۱- /۰۲٦t)$	افشان- مجرایی	۲۵۰	۱۳۹۳۲۰۵۱	٤/۳
چناره	$Qt = ۰/۲٦۵e^{-۰/۰۰۱(٦۰)} + ۰/۲٤۲e^{-۰/۰۰۰۸(۹۰)}$	افشان	٤٦۲	۵۸۷۰۸۸۰۰	۲/۵
لاغری	$Qt = ۰/٤۷۳e^{-۰/۰۱۵(۹۰)} + ۰/۱۲۲e^{-۰/۰۰٤(۳۰)} + ۰/٦۰۹(۱- /۰۰۸t)$	مجرایی	۲٤٤	۱۱۹۳٤۰۰۰	۵/۵
تیمور	$Qt = 0/۱۳e^{-۰/۰۹(۳۰)} + ۰/۱۱e^{-۰/۱۱۲(۳۰)} + ۰/٤۱(۱- /۰۵۵t)$	مجرایی	۲۱۵	۹۳٦۵۷٦۰	۵/۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۲- محاسبه شاخص SPI

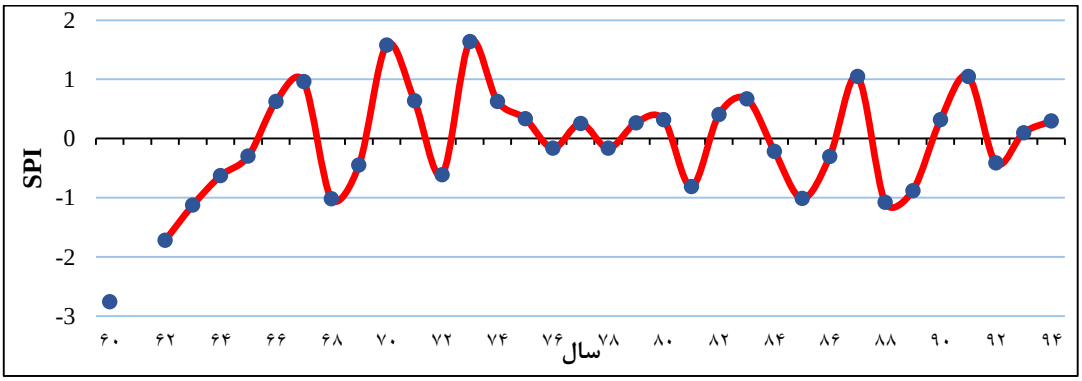
نتایج حاصل از پایش خشکسالی ایستگاه‌های محدوده تاقدیس گرین به روش SPI نشان داده است که در بازه زمانی ٤۵ ساله (۹٤-۱۳۵۰) در ایستگاه دره‌تنگ الشتر چندین دوره خشکسالی متوسط، شدید تا خیلی شدید رخ داد است. به گونه‌ای که یک دوره خشکسالی متوسط چهار ساله در فاصله سال‌های ۱۳۵۷-۱۳۵٤ رخ داده و پس از آن یک دوره ترسالی یکساله رخ داده و سپس براثر کاهش بارش یک دوره پنج ساله خشکسالی شدید تا خیلی شدید در فاصله سال‌های۱۳٦۵-۱۳۵۹ رخ داده است. به گونه‌ای که سال ۱۳٦۲ بیشترین تنش خشکسالی را در منطقه شاهد بوده‌ایم. به‌عبارت‌دیگر در ایستگاه دره‌تنگ در فاصله سال‌های ۱۳۵٤ تا ۱۳٦٦ (به استثناء سال۵۸) و نیز دوره ۱۳۷۰-۱۳٦۹ خشکسالی رخ داده است. همچنین علاوه بر این دوره‌های خشکی چندین ساله، دوره‌های خشک یکساله‌ای در

سـال‌های ۸۸ ۸۷ ۸٤ ۷۳ ۱۳٦۹ وجود داشته است. به‌استثناء دوره‌های خشکی مذکور، وضعیت منطقه به لحاظ وقوع بارش وضعیت مناسبی داشته و ارقام SPI آن‌ها عمدتاً مثبت بوده است (شکل۳).



شکل ۳- نمودار SPI سالانه ایستگاه دره‌تنگ الشتر

در ایسـتگاه نورآباد شـاخصSPI نشان می‌دهد که در طول دوره آماری (۱۳۹٤-۱۳٦۰)، در بازه‌های زمانی ٦۵-٦۰، ٦۹-٦۸، ۸٦-۸٤ و ۸۹-۸۸ خشـکسـالی وجود داشـته اسـت. در این ایسـتگاه شدیدترین دوره خشکسالی در بازه‌های ۱۳٦۵-۱۳٦۰ با تدوام زمانی ۵ ساله اتفاق افتاده است (شکل٤).

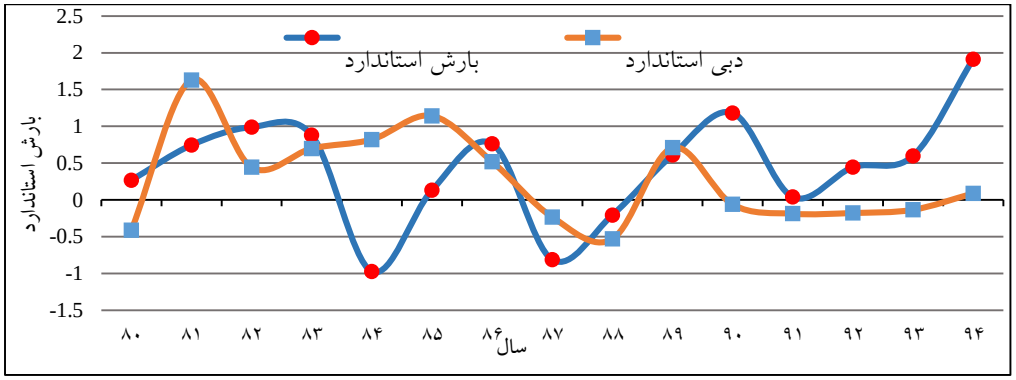


شکل٤- نمودار SPI سالانه ایستگاه نورآباد

۳-۳- استاندارد سازی دبی چشمه‌ها و بارش

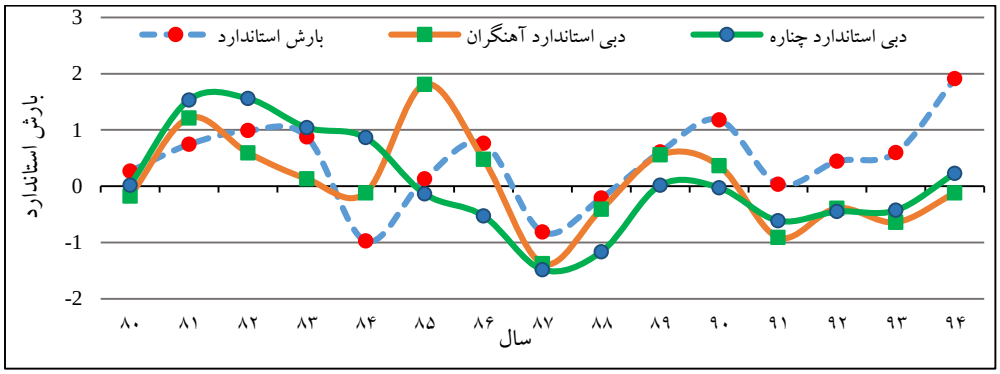
مقایسـه بارش و دبی اسـتاندارد چشـمه‌های محدوده تاقدیس گرین (در دروه زمانی ۹٤-۱۳۸۰) نشـان می‌دهد که دبی این چشـمه‌ها نسـبت به نوسـانات بارش دارای واکنش بوده، اما زمان، مدت و شـدت واکنش در هر کدام از این چشـمه‌ها با هم متفاوت بوده اسـت. به گونه‌ای که با توجه به شـکل (۵) در چشـمه امیر اگر چه در سـال ۱۳۸٤

خشکسالی رخ داده است، اما این مسئله باعث نشده که دبی استاندارد چشمه به زیر مقدار متوسط (صفر) نزول کند. اما اثرات خشکسالی مذکور منجر به کاهش دبی در سال ۱۳۸٦ شده است. همچنین وقوع خشکسالی در سال ۱۳۸۷ باعث شده که دبی استاندارد چشمه در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ دارای افت بوده و پایین‌تر از مقدار میانگین (صفر) قرار گیرد. در واقع وقوع خشکسالی و کاهش دبی در چشمه امیر دارای تأخیر زمانی حدود ۲٤ ماهه می‌باشد. در مجموع باید گفت هر چند وقوع خشکسالی‌های کوتاه مدت منجر به کاهش دبی چشمه امیر در سال‌های مختلف شده است. اما به علت توسعه کمتر کارست و حجم ذخیره دینامیکی (اثر حافظه) بالای این چشمه (جدول۳) وقوع خشکسالی نتوانسته تأثیر چندانی در کاهش دبی استاندارد چشمه امیر داشته باشد (شکل ۵).



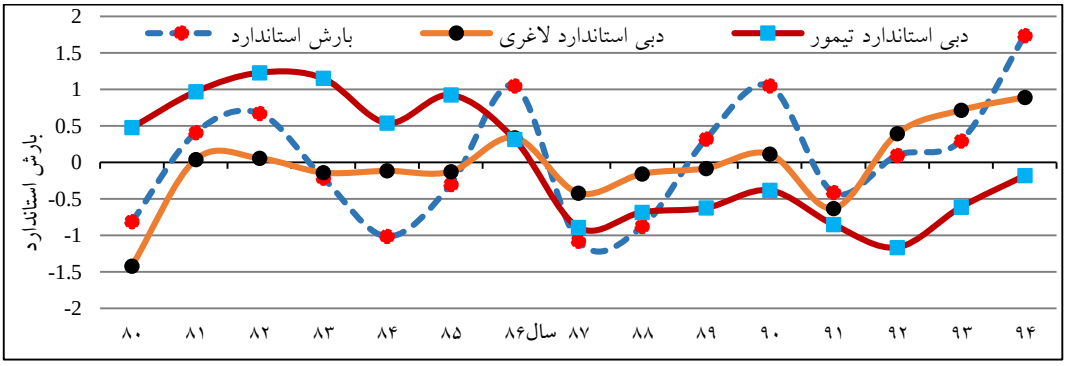
شکل۵- میانگین سالانه دبی و بارش استاندارد شده چشمه امیر

در چشمه آهنگران کاهش بارش و وقوع خشکسالی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸٤ باعث نزول و افت منحنی دبی و بارش استاندارد به زیر میانگین (صفر) شده است. با وقوع ترسالی در سال ۱۳۸۵ دبی استاندارد نیز افزایش یافته است. اما وقوع خشکسالی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ باعث گردیده که دبی استاندارد پایین‌تر از میانگین متوسط (صفر) قرار گیرد. با وجود افزایش بارش در این فاصله به علت کم شدن حجم ذخیره دینامیکی، میانگین دبی استاندارد سالانه چشمه آهنگران در فاصله زمانی ۹٤-۱۳۹۱با افت شدید مواجه شده و زیر خط میانگین (صفر) قرار گیرد. در حوضه چشمه آهنگران به علت توسعه‌یافتگی کارست و حجم ذخیره دینامیکی پایین وقوع خشکسالی تأثیرات زیادی بر دبی این چشمه داشته است (جدول۳ و شکل٦). مقایسه نمودار دبی و بارش سالانه استاندارد شده در چشمه چناره نشان می‌دهد که کاهش بارش و وقوع خشکسالی سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۷ و ۱۳۸٤باعث شده که دبی استاندارد شده این چشمه در فاصله سال‌های ۸۸-۱۳۸۵زیر مقدار استاندارد (صفر) قرار گیرد. در چشمه چناره بین کاهش بارش و وقوع خشکسالی یک تأخیر زمانی حدود یکساله وجود دارد. بنابراین بایستی گفت که هر چند که حوضه چشمه چناره از کارست توسعه یافته‌ای برخوردار نیست (جدول۳)، اما با این وجود کاهش بارش در مقاطعی منجر به کاهش دبی استاندارد در خروجی این چشمه شده است (شکل٦).



شکل ٦- میانگین سالانه دبی و بارش استاندارد شده چشمه‌های آهنگران و چناره

در آبخوان چشمه لاغری رخداد خشکسالی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ و دوره‌های ۸۵-۱۳۸۳، ۸۸-۱۳۸۷ باعث افت دبی استاندارد به پایین‌تر از مقدار میانگین(صفر) شده است با شروع دوره ترسالی، ۸۲-۱۳۸۱، ۹۰-۱۳۸۹ و ۹٤-۱۳۹۲ دبی استاندارد نیز روندی افزایشی داشته است. در چشمه لاغری به علت پایین بودن اثر حافظه و توسعه‌یافتگی آبخوان، واکنش دبی به تغییرات بارشی دارای تأخیر زمانی کوتاه‌مدت بوده است. در حوضه چشمه تیمور وقوع خشکسالی سال ۱۳۸۰ افت منحنی دبی استاندارد در بالاتر از مقدار میانگین (صفر) را در پی داشته است. افزایش بارش در دوره ۸۲-۱۳۸۱ و کاهش آن در دوره ۸۵-۱۳۸۳ و ۸۸-۱۳۸۷ به ترتیب منجر به افزایش و کاهش دبی استانداردشده است (جدول۳ و شکل۷). در چشمه تیمور به علت توسعه‌یافته بودن سیستم کارستی و پایین بودن حجم ذخیره دینامیک (کمترین حجم در بین چشمه‌های مورد بررسی محدوده تاقدیس گرین)، وقوع دوره‌های خشکسالی ۸۵-۳۸٤ و ۸۸-۱۳۸۷ باعث شده که دبی استاندارد این چشمه از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹٤ پایین‌تر از میانگین استاندارد (صفر) قرار گیرد. به‌عبارت‌دیگر نوسانات بارشی تأثیر زیادی در آبخوان چشمه تیمور در دوره مورد بررسی داشته است (جدول۳ و شکل۷).



شکل ۷- میانگین سالانه دبی و بارش استاندارد شده چشمه‌های لاغری و تیمور

۳-٤- بررسی هیدروشیمیایی چشمه‌های منتخب

خشکسالی علاوه بر تأثیر در منحنی آبنمود، بر کیفیت هیدروشیمیایی چشمه‌ها نیز تاثیرگذار است. به‌منظور بررسی‌های هیدروشیمیایی، نمونه آب چشمه‌های منتخب در یک دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹٤-۱۳۸۰) مورد بررسی قرار گرفت. ازجمله مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی چشمه‌ها می‌توان به کلسیم(Ca)، منیزیم(Mg)، نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)، هدایت الکتریکی (EC)، توالی آنیون‌ها (HCO_3, Cl, SO_4) و کاتیون‌ها (K, Na, Mg, Ca)، سختی کل(TH) و میزان مواد جامد محلول(TDS) اشاره نمود (جدول٤). در نواحی کارستی متناسب با میزان توسعه کارست و مجاری کارستیک، سطح تماس آب با سنگ بستر متفاوت است. بر این اساس ویژگی‌های هیدروشیمیایی آب ازجمله، میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها، TH،TDS وEC نیز متفاوت خواهد بود (کریمی وردنجانی، ۱۳۷۹: ۲٤۹، باقری و همکاران، ۱۳۹٤: ۳٤۱، بهرامی و همکاران،۱۳۹۵: ۱۱۸). متناسب با توسعه کارست، وقوع خشکسالی نیز می‌تواند در ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی چشمه‌ها مؤثر واقع شود.

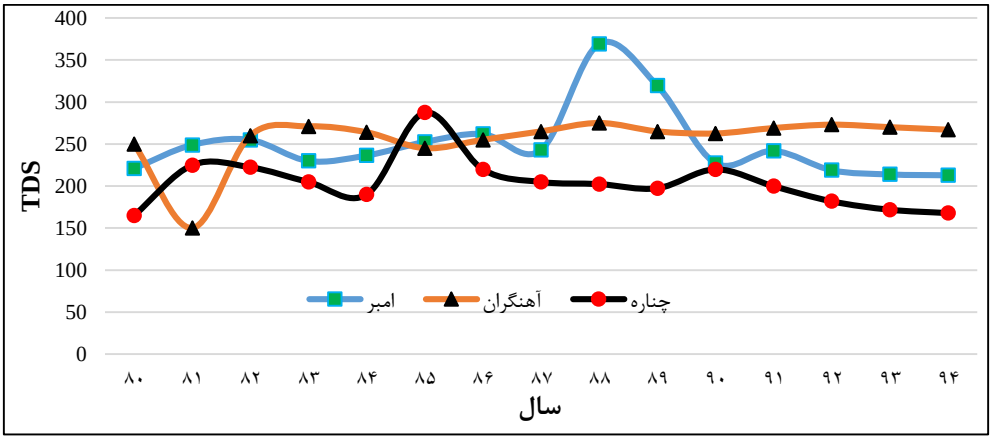
در محدوده تاقدیس گرین پایین‌تر بودن TDS چشمه‌های تیمور و لاغری در مقایسه با چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره، می‌تواند هم نشان‌دهنده توسعه‌یافتگی کارست و هم حاکی از نزدیکی محل‌های تغذیه و تخلیه در آبخوان این چشمه‌ها باشد. به نظر می‌رسد که در آبخوان چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره به علت بالا بودن میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها، سختی زیاد،افزایش مواد جامد محلول و EC بالا، آب مسیر طولانی‌تری را به سمت خروجی چشمه طی نموده و آب با دیواره سنگ تماس زیادی دارد. به‌عبارت‌دیگر با توجه به ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های محدوده تاقدیس گرین، می‌توان گفت که کارست در آبخوان چشمه‌های تیمور و لاغری توسعه‌یافته‌تر از چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره می‌باشد. درنتیجه می‌توان عنوان نمود که توسعه یافته‌تر بودن کارست در آبخوان چشمه‌های تیمور و لاغری باعث شده که وقوع خشکسالی با تأخیر زمانی کمتری در این چشمه‌ها ظاهر شده و میزان مواد جامد (TDS) و سختی آب (TH) در آبخوان این چشمه‌ها پایین باشد.

جدول ٤- خصوصیات هیدروشیمیایی چشمه‌های محدوده تاقدیس گرین

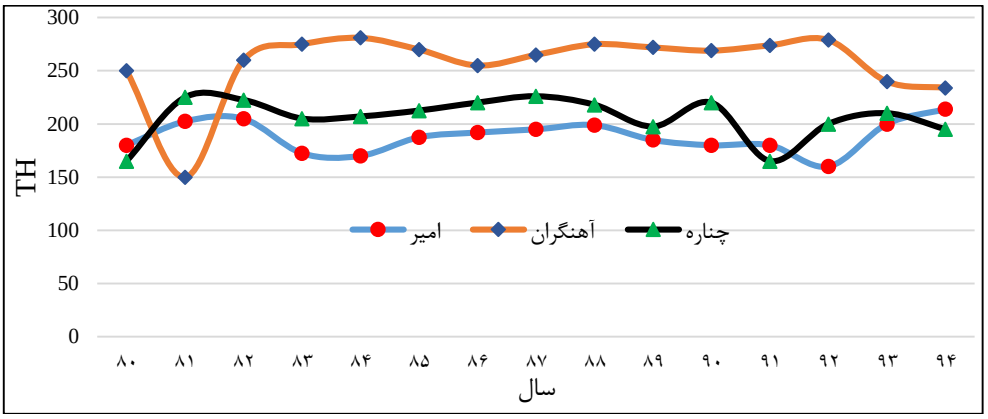
پارامتر / چشمه	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Ca/Mg (mg/l)	EC (µS/Cm)	SO4 (mg/l)	TH (mg/l)	HCO_3 (mg/l)	TDS (mg/l)
امیر	۱	۲/٦۷	۲/٦۷	۵۵۱	۰/۲۹	۱۸۸	۳	۲۵۲
آهنگران	۱/٤	۳/۷٤	۲/٦۷	۳۷۸	۰/۵	۲۵٦/٦	٤/٦	۳۳۷
چناره	۱/۲۱	۳/۰۳	۲/۷۲	۵۲۷	۰/۳۸	۲۰٦	۳/۳	۳۵۲
لاغری	۱/۱٦	۲/۹۷	۲/۵٦	۳٦۸	۰/٤۱	۲۰۲	۳/۵	۲۳۲
تیمور	۰/۷۹	۲/۷	۳/٤۱	۳٦۳	۰/۲۸	۱۷۵	۳	۲۳۵

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای لرستان

نتایج ارزیابی‌های هیدروشیمیایی در محدوده تاقدیس گرین نشان داده است که به هنگام وقوع خشکسالی و افت آبدهی چشمه‌های منتخب، میزان کل مواد جامد (TDS) در آب این چشمه‌ها افزایش یافته است. به گونه‌ای که این میزان همزمان با بالا رفتن بارش و به تبع آن بالا رفتن میزان آبدهی، مقدار کل مواد جامد روند کاهش دارد. در آبخوان چشمه‌های امیر وقوع خشکسالی در سال‌های ۸۸ ،۸۷ ،۱۳۸٤ منجر به افزایش مقادیر TDS و TH در آنالیز نمونه آب این چشمه شده است. بررسی ارتباط بین خشکسالی و مقادیرTDS و TH چشمه‌های چناره و آهنگران نیز حاکی از افزایش و کاهش مقادیر پارامترهای هیدروشیمیایی متناسب با ترسالی و خشکسالی در این چشمه‌ها دارد. به طوری‌که در چشمه آهنگران مقادیر پارامترهای منتخب مذکور در سال‌های ۹۱، ۸۸ ،۸۷ ،۸٤ ۱۳۸۳ همزمان با وقوع خشکسالی افزایش یافته‌اند. همچنین در آبخوان چشمه چناره مقادیر این پارامترها با وقوع ترسالی و خشکسالی به ترتیب روند کاهشی و افزایش داشته است (شکل‌های ۸ و ۹).

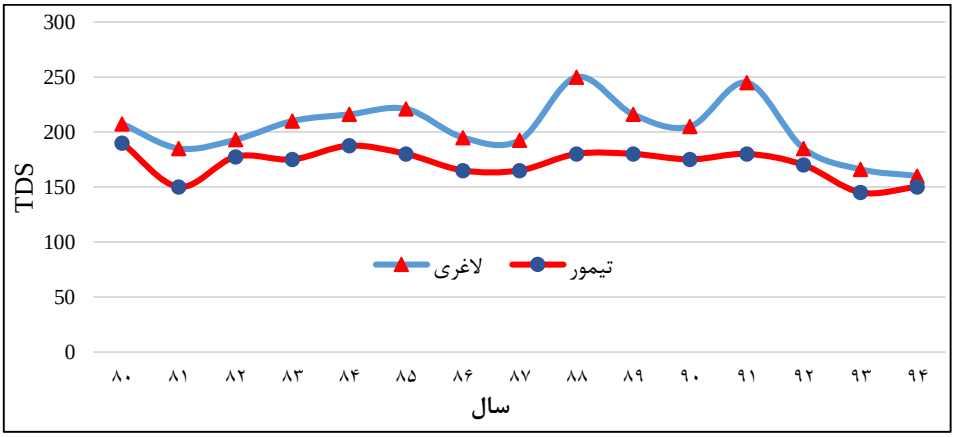


شکل ۸ – کل مواد جامد (TDS) در چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره

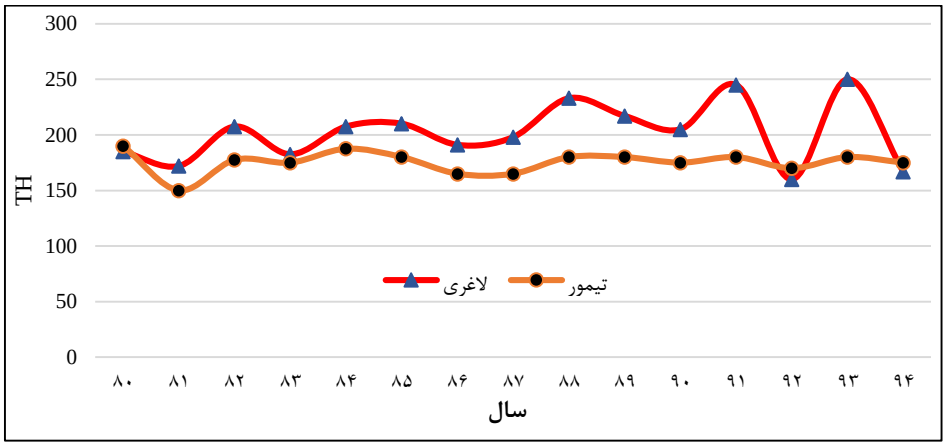


شکل ۹– سختی کل (TH) در چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره

آنالیز نمونه آب چشـــمه‌های لاغری و تیمور نیز نشـــان دهنده بالا رفتن ســـختی آب و افزایش مواد جامد محلول می‌باشـد. زیرا در سال‌هایی که بارش کاهش یافته (سال‌های ۸۰ و ۹۰ و دوره‌های ۸۵-۱۳۸۳، ۸۸-۱۳۸۷) میزان سختی (TH) (شـکل ۱۰) و کل مواد جامد (TDS) نمونه آب چشـمه‌های مذکور به طور محسـوسـی افزایش داشـته اسـت (شکل ۱۱). درنتیجه وقوع خشکسالی اثرات نامطلوبی بر کیفیت آب چشمه‌های محدوده تاقدیس گرین داشته است.



شکل ۱۰- کل مواد جامد (TDS) در چشمه‌های لاغری و تیمور



شکل ۱۱- سختی کل (TH) در چشمه‌های تیمور و لاغری

٤- نتیجه‌گیری

در محدوده تاقدیس گرین میانگین بارندگی ســـالانه ایســـتگاه‌های دره‌تنگ و نورآباد به ترتیب ۷۲۰ و ٦۹۰ میلی‌متر اسـت. تقسـیم‌بندی ارتفاعی نشـان می‌دهد که بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع در این محدوده به ترتیب ۳۷۰۰ و ۱٤۸۹ متر از سـطح دریا می‌باشـد. در تاقدیس گرین به دلیل ارتفاع و شـیب زیاد و وجود خاک ضـعیف، پوشش گیاهی گسترش زیادی نداشـته که این امر سـبب افزایش فرایند کارسـت‌زایی شـده اسـت. با توجه به آمار و اطلاعات پایه، ویژگی‌ها و

شـرایط زمین‌شـناسـی، ژئومورفولوژی، شـرایط اقلیمی و توپوگرافی در قسـمت‌های مختلف تاقدیس گرین، تعداد ۵ چشـمه در راسـتای اهداف پژوهشی انتخاب گردید. نتایج روش مالیک و وجکتوا در محدوده تاقدیس گرین حاکی از توسـعه‌یافتگی اندک کارسـت در آبخوان چشـمه‌های امیر و چناره بوده و دارای سـیسـتم غالب جریان افشـان و زیر رژیم‌های خطی می‌باشـند. آبخوان چشـمه آهنگران با درجه ٤/٣ دارای کارسـت نسـبتاً توسعه یافته‌ای بوده و سیستم جریان در آن‌ها از نوع مجرایی- افشـان اسـت. بالاترین میزان توسـعه کارست در محدوده تاقدیس گرین برابر با ۵/۵ و در آبخوان چشـمه‌های لاغری و تیمور وجود دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که چشمه امیر و چشمه‌های لاغری و تیمور متناسـب با میزان توسعه کارست به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان حجم ذخیره دینامیکی هستند. زیرا آبخوان چشـمه امیر دارای کارسـت توسـعه نیافته و آبخوان چشـمه‌های لاغری و تیمور از کارسـت توسـعه‌یافته‌ای برخوردار می‌باشـند (جدول۲). به‌طوری‌که این نتایج با مبانی نظری توسـعه سیستم‌های کارستی و رفتار هیدرودینامیکی چشمه‌ها و همچنین تحقیقـات: Malık and Vojtkova., 2012؛ Li et al., 2016؛ Chang et al., 2015؛ یمـانی و همکـاران، ۱۳۹۲؛ مقصودی و همکاران،۱۳۹٤؛ بهرامی و همکاران،۱۳۹۲و۱۳۹۵؛ باقری و همکاران،۱۳۹٤ مطابقت دارد.

نتایج حاصـل از پایش خشـکسـالی ایسـتگاه‌های محدوده تاقدیس گرین به روش SPI نشان داده است که در بازه زمانی ٤۵ سـاله (۹٤-۱۳۵۰) در ایسـتگاه دره‌تنگ الشـتر یک دوره خشـکسـالی متوسط چهار ساله در فاصله سال‌های ۵۷-۱۳۵٤ و یک دوره پنج سـاله خشـکسـالی شـدید تا خیلی شـدید در فاصـله سـال‌های ٦۵-۱۳۵۹ رخ داده است. همچنین شـاخص SPI ایسـتگاه نورآباد نشـان می‌دهد شـدیدترین دوره در بازه‌های ٦۵-۱۳٦۰ با تدوام زمانی ۵ سـاله اتفاق افتاده اسـت. نتایج به دسـت آمده از مقایسـه شاخص SPI و دبی چشمه‌های منتخب محدوه تاقدیس گرین نشان می‌دهد که خشـکسـالی هیدرولوژیکی متعاقب خشـکسـالی هواشناسی و با توجه به میزان توسعه کارست با تأخیرهای زمانی متفاوتی در آبخوان چشـمه‌ها تأثیر داشـته است. ازجمله دلایل آن می‌توان به شرایط حاکم بر آبخوان‌های کارستی اشـاره نمود. بدین صـورت که در آبخوان چشمه‌های آهنگران، لاغری و تیمور توسعه فضاهای متخلخل و خالی از نوع درز و شـکاف، تشـکیل دولین‌ها، لاپیه‌ها و سـایر اشـکال ژئومورفولوژی کارستی توانسته است زمینه نفوذ سریع حجم بالایی از آب حاصـل از بارش و تخلیه سـریع آن از خروجی آبخوان را فراهم نماید. درنتیجه نوسـانات بارشی با تأخیر زمانی کمتری در آبنمود چشـمه ظاهر شـده اسـت. به‌عبارت‌دیگر در آبخوان چشـمه‌های آهنگران، لاغری و تیمور هر گونـه تغییر در حجم آب ورودی بـه آبخوان خیلی سـریع تأثیر خود را بر خروجی نشـان می‌دهد. اما در آبخوان چشـمه‌های امیر و چناره با توجه به توسـعه اندک کارسـت، خشکسالی با تأخیر زمانی حدود ٢٤ ماه مواجه بوده است یافته‌های مذکور با نتایج خان و همکاران (۲۰۰۸)، رحمتی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. نتایج هیدروشـیمیایی گویای این اسـت که در بین چشـمه‌های منتخب بالاترین و پایین‌ترین مقادیرTDS به ترتیب در چشـمه‌های چناره و آهنگران وجود دارد. همچنین بـالاترین و پایین‌ترین مقادیرTH به ترتیب مربوط به چشـمه‌های آهنگران و تیمور بوده

است. با توجه به مبانی نظری، نتایج بررسی توسعه‌یافتگی کارست و سایر نتایج پژوهش حاضر، آبخوان چشمه امیر می‌بایستی دارای مقادیرTDS و TH بالایی باشد. به نظر می‌رسد با توجه به توسعه اندک کارست و درنتیجه تأثیر خشکسالی در حوضه این چشمه، حجم ذخیره دینامیکی بالا (تأثیر اثر حافظه) در چشمه امیر توانسته که میزان غلظت TDS و TH را کاهش دهد. با توجه به ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های محدوده تاقدیس گرین و نتایج بررسی‌های SPI، می‌توان گفت که کارست در آبخوان چشمه‌های تیمور و لاغری توسعه‌یافته‌تر از چشمه‌های امیر، آهنگران و چناره می‌باشد. درنتیجه توسعه یافته‌تر بودن کارست در آبخوان چشمه‌های تیمور و لاغری باعث شده که وقوع خشکسالی با تأخیر زمانی کمتری در این چشمه‌ها ظاهر شده و میزان مواد جامد (TDS) و سختی آب (TH) در آبخوان این چشمه‌ها پایین باشد.

با توجه به اینکه در این پژوهش داده‌های مربوط به خصوصیات کمی و کیفی چشمه‌های مورد مطالعه به صورت ماهانه بوده است، به‌منظور شناخت دقیق‌تر توسعه کارست درونی پیشنهاد می‌شود از چشمه‌های مهم منطقه مورد مطالعه به صورت روزانه و یا هفتگی نمونه‌برداری کمی و کیفی صورت گیرد و با استفاده از ردیاب‌ها بررسی دقیق‌تری از آبخوان‌های کارستی انجام شود. همچنین مطالعه همه‌جانبه‌ای در خصوص میزان ذخیره آبخوان‌های کارستی و امکان‌سنجی بهره‌برداری از این منابع در شرایط بحرانی انجام گردد.

کتابنامه

احراری رودی، محی‌الدین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی استان سیستان و بلوچستان. *مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی*. ۲۳(۱۲). صص ۱۱۳-۱۰٤.

باقری سیدشکری، سجاد؛ یمانی، مجتبی؛ جعفربیگلو، منصور؛ کریمی، حاجی؛ مقیمی، ابراهیم؛ ۱۳۹٤. بررسی توسعه‌یافتگی و ویژگی‌های هیدرودینامیکی سامانه‌های کارستی با استفاده از تجزیه و تحلیل منحنی فرود هیدروگراف (مطالعه موردی آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه الوند). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران*. ۳(٤۷). صص۳۳۳-۳٤٦.

بهرامی، شهرام؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ جهانفر، علی؛۱۳۹۷. ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در زاگرس(منطقه مورد مطالعه: تاقدیس قلاجه و توده پراو- بیستون). *مجله جغرافیا و توسعه*. ٤٤(۱٤). صص ۱۲۲-۱۰۷.

بهرامی، شهرام؛ زنگنه‌اسدی، محمدعلی؛ رهبر، حمزه؛ ۱۳۹۷. بررسی نقش ژئومورفولوژی در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌های حوضهٔ آبخیز کنگیر. *مجله جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای*. ۷(۳). صص ۸٤-۷۱.

تمدن، فاطمه؛ نوذری، هانیه؛ ۱۳۹٦، بررسی تاثیرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی دشت زرقان فارس طی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵. *فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست*. ٤۱(۱۰). صص ۸٤-۷۷.

جلیلوند، رضـــا؛ نوری هندی، لیلا؛ امیدوار، آزاده؛ ۱۳۹۷. تأثیر کیفیت و منابع آلودگی آب‌های ســـطحی و زیرزمینی برسلامتی بدن انسان. دومین همایش علوم زمین.

خوش اخلاق، فرامرز؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ صفر راد، طاهر؛ ۱۳۹۷. واکاوی تاثیرگذاری خشک‌سالی‌های شدید بر آبدهی چشـمه‌های کارسـتی اسـتان کرمانشاه (مطالعه موردی: خشک‌سالی شدید سال ۸۷-۱۳۸٦). *فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی*. ٤٨(١٤). صص ١٩-١.

رحمتی، محمد؛ مرادی، حمیدرضا؛ کریمی، حاجی؛ ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر آبخوان‌های کارستی با شـرایط توسـعه‌یافتگی کارسـت متفاوت (مطالعه موردی: دو آبخوان کارستی بیستون -پرآو و کوه پاطاق). *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. ۱(۲۲). صص ٢٦٦.

روشـان، سید حسین؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ ۱۳۹۷. پایش تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی با اسـتفاده از شـاخص‌های GRI و SWI (مطالعه موردی دشـت سـاری- نکا). *پژوهشـنامه مدیریت حوزه آبخیز*. ۱۷(۹). صص ۲۷۹-۲٦۹.

زارعی، حدیث؛ کلانتری، نصراله؛ محمدی بهزاد، حمیدرضا؛ ندری، آرش؛ ۱۳۹٦. اثر نوسانات اقلیمی بر شرایط کمی و کیفی چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون، شهرستان لالی خوزستان. *مجله هیدروژئولوژی*. ۲(۲). صص ١٦-١.

فتح‌نیا، امان‌اله؛ احمدآبادی، علی؛ رجایی، سعید؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ ۱۳۹۵. پایش و پیش‌بینی اثر خشکسالی‌ها بر دبی چشمه‌های کارستی شهرستان کرمانشاه. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۳(۵). صص ۵۱-۳۸.

قبادی، محمدحسـین؛ عبدی‌لر؛ یاسـین؛ محبی، یزدان؛ ۱۳۹۰. اهمیت شـناخت خصـوصـیات ژئومورفولوژیکی، سـنگ‌شـناسـی و فیزیکی سـنگ‌های کربناته جهت ارزیابی توسـعه کارست در منطقه نهاوند. *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی*. ٤(٧). صص ۳۱۰ ۲۹۹.

کریمی وردنجانی، حسین؛ ۱۳۸۹. *هیدروژئولوژی کارست، مفاهیم و روش‌ها*. انتشارات ارم شیراز.

محمدی، صدیقه؛ ناصری، فرزین؛ نظری پور، حمید؛ ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشـت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI). *مجله اکوهیدرولوژی*. ۱(۵). صص ۲۲-۱۱.

مقصودی، مهران؛ اخوان، هانیه؛ مهدیان ماهفروزی، مجتبی؛ عشورنژاد، غدیر؛ ۱۳۹٤. پهنه‌بندی شدت انحلال سنگ‌های کربناته در زاگرس جنوبی(مطالعه موردی: حوضه سیف‌آباد لاغر). *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*.١(٤٧). صص ١٢٤- ١٠٥.

نگهبان، سـعید؛ باقری سـیدشـکری؛ پاینده، زینب؛ نادری، سـیروس؛ شـیرآوند، پیمان؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیرپذیری رژیم آبدهی چشـمه‌های کارسـتی از رخداد خشکسالی: مطالعه موردی چشمه‌های کارستی حوضه رودخانه الوند. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۳ (۲۷). صص ۱۷٦-۱٦۳.

یمانی، مجتبی؛ شـمسـی‌پور، علی‌اکبر؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سـید شـکری، سجاد؛ ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر در توسـعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارسـت حوضـه چله با اسـتفاده از منطق فازی و AHP. اسـتان کرمانشاه. *مجله علمی پژوهشی علوم زمین*. ۸۸ (۲۲). صص ٦٦-۵۷.

Adhikary, S.K., Saha, G.C., Chaki, T., 2013. Groundwater drought assessment for barind irrigation project in northwestern Bangladesh. 20th International Congress on Modelling and Simulation. Adelaide: Australia.

Chang. Yong, Jichun Wu, Ling Liu., 2015. Effects of the conduit network on the spring hydrograph of the karst Aquifer, Journal of Hydrology. 527. 517–530.

Fiorillo, F., Guadagno, F. M., 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI, Water Resources Management. 24(9). 1867-1884.

Fiorillo, F., Guadagno, F. M., 2012. Long karst spring discharge time series and droughts occurrence in Southern Italy, Environmental Earth Sciences. 65(8). 2273-2283.

Ford, D & Williams. P., 2007. Karst Hydrogeology and geomorphology, John Wiley & Sons Ltd.

Gondwe, B., Alonso, G., Gottwein, G., 2011. The influence conceptual model uncertainty on management decision for groundwater- dependent ecosystem in karst, Journal of Hydrology. 400. 24-40.

Guangquan, Li., Goldscheider, N., Malcolm S., 2016. Field Modeling karst spring hydrograph recession based on head drop at sinkholes, Journal of Hydrology. 542. 820–827.

Hao, Z., Hao, F., Singh, V., Xia, Y., Ouyang, W., Shen, X., 2016. A theoretical drought classification method for the multivariate drought index based on distribution properties of standardized drought indices. Adv. Water Resour. 92(4). 240-247.

Khan S., Gabriel, H. F., Rana, T., 2008. Standard Precipitation Index to Track Drought and Assess Impact of Rainfall on Water Tables in Irrigation Areas, J. of Natural Resource. Manage. 22(2).159-177.

Kresic, N & Stevanovic, Z., 2010. Groundwater hydrology of spring, Elsevier Publication.

Malík, P., & Vojtková, S., 2012. Use of recession-curve analysis for estimation of karstification degree and its application in assessing overflow/underflow conditions in closely spaced karstic springs. Environmental Earth Sciences. 65 (8). 2245-2257.

Mckee, T. B., Doesken, N. J. Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology., Boston Ma, U.S.A: American Meteorological Society. 17(21). 179-183.

Mudarra, M., Andreo, B., 2011. Relative importance of the saturated and the unsaturated zones in the hydrogeological functioning of karst aquifers: The case of Alta Cadena (Southern Spain). Journal of Hydrology. 397. 263–280.

Sebenik, U., Brilly, M., Šraj, M., 2017. Drought Analysis using the Standardized Precipitation Index (SPI). Acta Geogr Slov. 57(1). 31-49.

Seeboonruang, U., 2015. Impact assessment of climate change on groundwater and vulnerability to drought of areas in Eastern Thailand. Environ. Earth Sci. 75(1). 42-62.

Serrano, S. M. & Moreno, J. I., 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous Mediterranean basin, Hydrol and Earth Sys Sci. 9. 523-533.