Archive of SID

جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۲۱، زمستان ۱۳۹۵
صص. ۶۶-۵۱

اثر تغییر اقلیم بر آبدهی و ویژگی‌های چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه

جعفر معصوم‌پور سماکوش* - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
مرتضی میری - دانش‌آموختهٔ دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سجاد باقری سیدشکری - دانش‌آموختهٔ دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۵/۰۵/۰۲ **پذیرش:** ۱۳۹۵/۰۹/۱۱

چکیده

مناطق کوهستانی زاگرس چین‌خورده (حوضهٔ الوند) و زاگرس مرتفع (حوضهٔ قره‌سو) در استان کرمانشاه دارای آبخوان‌های کارستی متعدّدی بوده که توسّط چشمه‌های کارستی تخلیه می‌گردند. این آبخوان‌ها، منبع اصلی تأمین آب جوامع انسانی، اکوسیستم‌های حوضه‌ها و تأمین‌کنندهٔ جریان پایهٔ رودخانه‌های الوند و قره‌سو بوده و نقش حیاتی در پایداری محیط، استمرار و شکل‌گیری مدنیّت در مناطق مورد مطالعه دارند. هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر ویژگی‌های کمّی و رژیم آبدهی چشمه‌ها است. بدین منظور، ترکیبی از روش‌های آماری و مدل‌سازی استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل بارش و دبی ایستگاه‌های وزارت نیرو، داده‌های بارش، پارامترهای دمایی، رطوبت نسبی و تابش خورشید برای ایستگاه‌های همدید و همچنین داده‌های طولانی‌مدّت GPCC است. نتایج آنالیز خودهمبستگی نشان داد در زاگرس مرتفع به‌جز چشمهٔ یاوری، دبی سایر چشمه‌های کارستی به بارش وابستگی زیادی دارند. در مقابل، چشمه‌های زاگرس چین‌خورده وابستگی کمتری به بارش دارند، در این زون تنها دبی چشمه‌های ماراب و ریجاب به بارش وابستگی بالایی دارند. بررسی شرایط اقلیمی ایستگاه‌های همدیدی نمایندهٔ هر زون نشان داد اقلیم منطقه طی دورهٔ ۲۰۱۴-۱۹۸۶ تغییرات قابل توجّهی یافته و شرایط خشکی منطقه شدّت بیشتری پیدا کرده است، به طوری که بررسی داده‌های بارش ایستگاه‌ها و داده‌های شبکه‌ای نشان‌دهندهٔ کاهش بارش و افزایش خشکسالی‌های متمادی و دوره‌ای در دو زون مورد بحث است. در مقابل، شرایط حرارتی از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار شده است. بیشترین کاهش رطوبت و افزایش دمای منطقه از اواخر دههٔ ۱۹۹۰ قابل مشاهده است. بررسی شرایط کمّی و کیفی چشمه‌های منطقه در ارتباط با تغییرات اقلیمی، بیانگر تغییرات قابل توجّه آنها است، زیرا آبدهی چشمه‌های مورد مطالعه در دو دههٔ گذشته به تبعیّت از روند منفی بارش، دارای روند کاهشی بوده‌اند. خشکسالی‌های شدید و کاهش بارش بدون تأخیر زمانی سبب کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی منطقهٔ مورد مطالعه شده‌اند. ویژگی‌های کیفی چشمه‌های مورد مطالعه نیز تغییر کرده است که بیشتر تابع حجم آب ورودی به آبخوان بوده و رابطهٔ معنی‌داری با نوسانات بارشی ندارد.

واژگان کلیدی: بارش، روند، خشکسالی، داده‌های شبکه‌ای، چشمه‌های کارستی.

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۸۳۳۱۷۹۸۹
E-mail: j.masoompour@razi.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدّمه

امروزه نیاز به تأمین آب، برای رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به طور فزاینده‌ای در سطح جهان مورد توجّه است (گاندو[1] و همکاران، ۲۰۱۱). آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آنها می‌تواند در توسعهٔ پایدار فعّالیّت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش بسزایی داشته باشد (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۳۳). از جمله منابع آب زیرزمینی، نواحی کارستی و چشمه‌های کارستی هستند که ویژگی‌های منحصربه‌فرد و پیچیدهٔ آبخوان‌های کارستی آنها را نسبت به سایر سفره‌ها متفاوت می‌کند (باکالوویتس[2]، ۲۰۰۵). دبی آبخوان‌های آنها از اقلیم، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کارست تأثیر زیادی می‌پذیرد (فیوریلو[3]، ۲۰۰۹). منابع آب کارست به دلیل کیفیّت بسیار خوب و همچنین برداشت نسبتاً آسان یکی از مهم‌ترین منابع مورد برداشت انسان در نواحی کربناته است. آبخوان‌های کارستی، به عنوان مخازن بزرگ طبیعی بارندگی عمل کرده و دبی چشمه‌های کارستی منعکس‌کنندهٔ دوره‌های خشک، تر و تغییرات درازمدّت بارشی هستند (اسمیت و هانت[4]، ۲۰۱۰). امروزه منابع کارستی به علّت ایجاد مشکلات و مسائل خاص در پیشبرد اهداف عمرانی و به خاطر منابع سرشار و غنی آبی، اهمّیّت بسیار یافته و توجّه برنامه‌ریزان و مدیران را به خود جلب نموده‌اند. همچنین این منابع به تغییرات محیطی به‌ویژه تغییر اقلیم حسّاس بوده و با توجّه به ویژگی‌های پهنه‌های کارستی منطقه به تغییر اقلیم واکنش نشان می‌دهند. از این رو ارزیابی کمّی و کیفی منابع آب کارست و حفاظت از آنها در طی دو دههٔ گذشته در لیست اولویّت‌های اصلی بسیاری از جوامع و کاوش پژوهشگران مختلف قرارگرفته است (پائول ناول[5] و همکاران، ۲۰۰۷).

یکی از مهم‌ترین اولویّت‌های پژوهشی در این زمینه، بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب کارستی است. تغییر رخ‌داده در شرایط اقلیم جهانی و منطقه‌ای از جنبه‌های مختلف منابع آب کارستی را تحت تأثیر قرار داده است که تغییر در کمیّت و کیفیّت منابع آب کارستی دو جنبهٔ مهم و تأثیرگذار تغییرات اقلیمی بر منابع کارستی است (ژانَن[6] و همکاران، ۲۰۱۶). در بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده، آسیب‌پذیری منابع آب کارستی از تغییرات اقلیمی مطالعه شده و یکی از عوامل اصلی کاهش آبدهی و سطح ایستابی منابع آب کارستی را کاهش در مقدار بارش و همچنین افزایش درجهٔ حرارت و افزایش تبخیر و تعرّق بیان می‌کنند (هائو[7] و همکاران، ۲۰۰۶؛ گریماد و گولداسکیدِر[8]، ۲۰۱۰؛ ایکمِچی و تِزکان[9]، ۲۰۱۱؛ استیاکاکیس[10] و همکاران، ۲۰۱۶).

آری‌هُوا[11] (۲۰۰۴) با بررسی تغییر اقلیم بلندمدّت طی دورهٔ آماری ۱۹۹۴-۱۹۸۲ در بلغارستان مشخّص نمود که آبدهی چشمه‌های کارستی و ارتفاع سطح ایستابی در آبخوان‌های کارستی انتخابی کاهش قابل توجّهی داشته است و این منابع در مقابل تغییر اقلیم‌ها آسیب‌پذیر هستند. ویلی[12] و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی هیدروگراف چشمه‌های کارستی و دوره‌های کم‌باران در منطقهٔ کاسپانیا در جنوب ایتالیا نشان داد که در دوره‌های تغییر اقلیم

1- Gondwe
2- Bakalowicz
3- Fiorillo
4- Smith & Hunt
5- Paul Novel
6- Jeannin
7- Hao
8- Gremaud & Goldscheider
9- Ekmekci & Tezcan
10- Steiakakis
11- Orehova
12- Waele

www.SID.ir

Archive of SID

از آبدهی چشمه‌های کارستی کاسته شده و آبنگار چشمه‌ها، فاقد نقطهٔ اوج بوده و آبدهی چشمه‌های کارستی منطقه در هرسال وابسته به وضعیّت بارش سال قبل از آن است.

روند تغییرات عناصر اصلی اقلیم و رخداد پدیده‌های حدّی ناشی از تغییر اقلیم همچون خشکسالی‌های شدید و دوره‌ای از دیگر مسائلی است که مورد توجّه بسیاری از پژوهشگران و به‌ویژه تحقیقات مربوط به منابع آب قرار گرفته است. رخداد خشکسالی، افزایش دما، افزایش تبخیر و تعرّق، افزایش شدّت بارش و کاهش ضریب برفی می‌توانند میزان تغذیهٔ آبخوان‌های کارستی را تحت تأثیر قرار دهند. این شرایط سبب شده است که بیشتر مطالعات انجام‌گرفته درزمینهٔ تغییرات و نوسانات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب کارست در جهان بر تأثیرات خشکسالی بر آبخوان‌های کارستی معطوف شود. در بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، کاهش شدید دبی منابع آب زیرزمینی و به‌ویژه منابع کارستی را طی چندین دههٔ گذشته ناشی از کاهش تغذیهٔ منابع آب کارستی به دلیل کاهش بارش و رخداد خشکسالی‌های شدید و دوره‌ای بیان کرده‌اند (فیوریلو و گواداگنو[1]، ۲۰۱۲؛ فیوریلو، ۲۰۰۹؛ ما[2] و همکاران، ۲۰۰۴؛ لوآجیگا و همکاران، ۲۰۰۰).

فتوت و مهرابی (۱۳۸۶) به مطالعهٔ تأثیر خشکسالی و واکنش چشمهٔ کارستی سراب نیلوفر در کرمانشاه پرداختند. نتایج آنها حاکی از آن است که چشمه دارای سامانهٔ افشان و رژیم پایدار به خشکسالی‌ها کمتر واکنش نشان می‌دهد. عابدینی (۱۳۸۹)، به بررسی ارتباط خشکسالی و منابع آب کارستی در حوضهٔ مهارلو پرداخت. نتایج وی حاکی از آن است که نوسانات سطح ایستابی و آبدهی چشمه در آبخوان‌های کارستی مورد مطالعه مستقل از خشکسالی‌های کوتاه‌مدّت بوده و رفتار این آبخوان‌ها بیشتر متأثّر از رخداد خشکسالی‌های بلندمدّت است.

نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد رخداد تغییر اقلیم می‌تواند منابع آب کارستی در قسمت‌های مختلف جهان و به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند ایران که منابع آبی زیرزمینی از اهمّیّت زیادی برخوردارند، تحت تأثیر قرار دهد. پهنه‌های کارستی ایران به‌ویژه در زاگرس شمال غربی در استان کرمانشاه نقش مهمّی در تأمین و تغذیهٔ آبخوان‌ها دارد. وجود بیش از ۵۵۰ سراب و چشمهٔ کارستی در استان کرمانشاه نقش بسیار حیاتی در تأمین آب شرب و مصارف صنعتی و کشاورزی را دارا هستند. بسیاری از فعّالیّت‌های انسانی همچون تأمین آب شرب، آب کشاورزی، ایجاد طرح‌های صنعتی و گردشگری، دریاچه‌های مصنوعی و سدها به وجود منابع آب کارستی به‌ویژه چشمه‌های کارستی ارتباط می‌یابد. همچنین استان کرمانشاه با جمعیّتی حدود ۲ میلیون نفر، یکی از مهم‌ترین مراکز جمعیّتی در غرب ایران است که دارای پتانسیل‌های کشاورزی زیادی است. از دیگر سو، این استان به علّت جاذبه‌های توریستی و قرارگرفتن در مسیر راه عتبات عالیات جاذب جمعیّت و گردشگر از دیگر نواحی کشور است. تمامی این عوامل ضرورت شناخت منابع آب و برنامه‌ریزی در مورد تأمین آب استان را نشان می‌دهد. با توجّه به اینکه منابع آب کارست و چشمه‌های کارستی در این استان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب به شمار می‌روند، از این رو، بررسی این منابع عظیم آب می‌تواند کمک قابل توجّهی به تأمین آب استان کرمانشاه نماید؛ بنابراین، در راستای مدیریت منابع آب و توسعهٔ پیشرفت مناطق، شناخت و بررسی منابع آب کارستی از لحاظ بیلان آبی و تأثیر تغییر اقلیم بر این منابع در مناطق کارستی ضرورت می‌یابد. از این رو، پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی رفتار چشمه‌های کارستی منطقهٔ کرمانشاه و تأثیرپذیری آنها از تغییرات اقلیمی را شناسایی و تحلیل کند. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند به عنوان یک طرح پایه برای مدیریت منابع آب در بخش‌های مختلف و همچنین مقدّمه‌ای برای پژوهش‌های بعدی مطرح باشد.

1- Fiorillo & Guadagno
2- Ma

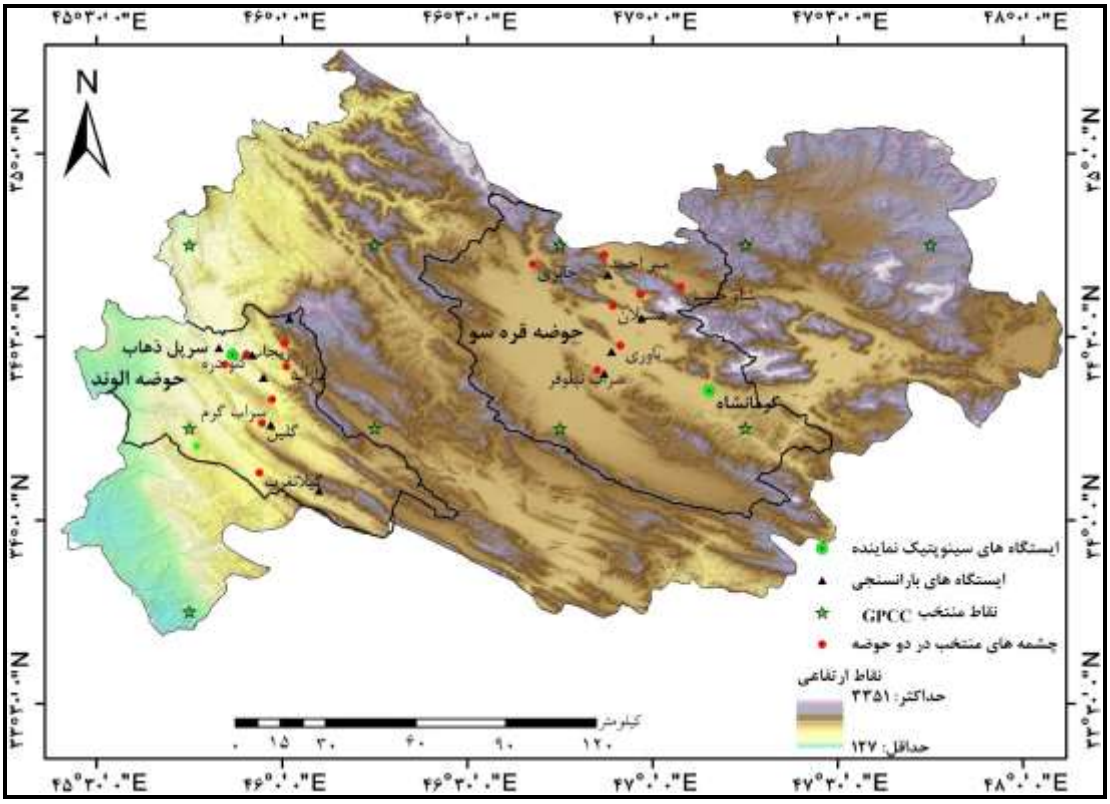
www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب کارستی، چشمه‌های کارستی دو زون زاگرس مرتفع و چین‌خوردهٔ استان کرمانشاه به دلیل نقش مهمّ این چشمه‌ها در تأمین آب منطقه و تعداد فراوانی قابل توجّه آنها در نواحی کارستی استان، انتخاب شدند. برای رسیدن به هدف مورد نظر، ترکیبی از داده‌ها و روش‌های آماری مختلف استفاده شد. در پژوهش حاضر از داده‌های بارش، دما و دبی ۱۱ ایستگاه وزارت نیرو و سازمان هواشناسی طی یک دورهٔ ۱۸ سالهٔ مشترک استفاده شده است. ابتدا با مراجعه به سازمان‌های مربوطه داده‌های مورد نیاز برای ۱۱ ایستگاه در مجاورت چشمه‌های کارستی منتخب و با پراکنش مناسب در سطح استان کرمانشاه (شکل ۱) دریافت و پردازش شد. همچنین ویژگی‌های کیفی چشمه‌های کارستی از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت و در محیط نرم‌افزارهای آماری آفیس و متلب پردازش گردید. قابل‌ذکر است برای بررسی شرایط اقلیمی هر یک از زون‌های نام برده شده از داده‌های ایستگاه استان کرمانشاه به عنوان نمایندهٔ زون زاگرس مرتفع و ایستگاه سرپل ذهاب به عنوان نمایندهٔ زاگرس چین‌خورده استفاده شد. داده‌های مورداستفاده در این قسمت دربرگیرندهٔ میانگین حدّاقل، متوسّط و حدّاکثر دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی است.

در پژوهش حاضر از آزمون‌های آماری مختلفی همچون آزمون خودهمبستگی، آزمون من کندال، آمارهٔ SPI بررسی تغییرات اقلیمی و اثر آن بر رفتار چشمه‌های کارستی منطقه استفاده شد. از این رو، در ابتدا به منظور بررسی شناسایی ویژگی‌های دبی، از جمله تغییرات چرخه‌ای آن از روش خودهمبستگی استفاده شد. خودهمبستگی، حافظهٔ سیستم کارستی را نشان داده و حافظهٔ بالای سیستم کارستی نشان‌دهندهٔ عدم توسعهٔ شبکه‌ها و مجراهای کارستی در یک آبخوان است. میزان حافظهٔ کم، نشان‌دهندهٔ پایین‌بودن حجم ذخیرهٔ دینامیکی آبخوان و میزان توسعهٔ زیاد کارست آن است. خودهمبستگی را می‌توان از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه کرد.



شکل ۱. نقشهٔ ارتفاعی و موقعیّت جغرافیایی ایستگاه‌ها و چشمه‌های منتخب در منطقهٔ مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

$$C_K = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N-K}(z_t - z)(z_{t+k} - z)$$ رابطهٔ ۱

$$r_k = \frac{C_k}{C_0}$$ رابطهٔ ۲

در این دو رابطه، C_K: اتوکوارینس؛ C_o: واریانس؛ r_k: ضریب خودهمبستگی؛ k: وابسته به دوره و N: تعداد دوره‌های مشاهداتی است.

در ادامه با استفاده آزمون گرافیکی من کندال روند و تغییرات دبی و بارش ایستگاه‌ها و چشمه‌های منتخب، بررسی شد. آزمون من کندال آزمون ناپارامتری غیر رتبه‌ای است که توسّط من و کندال ارائه شده و برای تعیین معنی‌داری روندهای خطّی و غیر خطّی مناسب است (من[1]، ۱۹۴۵؛ کندال[2]، ۱۹۷۵). توضیحات تکمیلی و چگونگی انجام این آماره در پژوهش‌های مدرسی و همکاران (۱۳۸۹)، طالبی و همکاران (۱۳۹۰)، میری و رحیمی (۱۳۹۴) ارائه شده است.

پس از بررسی روند تغییرات بارش، با استفاده از آزمون SPI، خشکسالی‌های رخداده طی دورهٔ آماری محاسبه شد. برای بررسی خشکسالی‌های منطقه با توجّه به اینکه ایستگاه‌های باران‌سنجی از طول دورهٔ آماری مناسب و همچنین مشترکی برخوردار نبودند، در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های کرمانشاه برای زون زاگرس مرتفع و داده‌های ایستگاه سرپل ذهاب برای زاگرس چین‌خورده به همراه داده‌های شبکه‌ای (GPCC) مجاور چشمه‌ها طی دورهٔ ۲۰۱۴-۱۹۸۶ استفاده شد. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسّط میری و همکاران (۱۳۹۵) و میری (۱۳۹۵: ۷۸) داده‌های GPCC در سطح ایران از دقّت بسیار خوبی برخوردارند. شدّت خشکسالی‌های رخداده بر اساس جدول ۱، تعیین‌شده است

نتایج

شرایط اقلیمی چشمه‌ها

نتایج حاصل از بررسی روند پارامترهای اقلیمی طی دورهٔ آماری ۳۰ ساله برای ایستگاه‌های کرمانشاه (ایستگاه معرّف زون زاگرس مرتفع و حوضهٔ قره‌سو) و سرپل ذهاب (ایستگاه معرّف زون زاگرس چین‌خورده و حوضهٔ الوند) در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول، مقادیر ۱ بیان‌کنندهٔ وجود روند و مقادیر ۰ نبود روند بر اساس آزمون من کندال است. همچنین سطح معنی‌داری روند بر اساس آمارهٔ Z در سطوح (*) ۰/۱، (**) ۰/۰۵ و (***) ۰/۰۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، تغییرات قابل توجّهی در شرایط اقلیمی هر دو حوضهٔ مورد مطالعه رخ داده است؛ زیرا مقادیر پارامترهای دمایی از روند افزایشی معنی‌دار و در مقابل پارامترهای رطوبتی (بارش، روزهای برفی، رطوبت نسبی) از روند کاهشی معنی‌داری برخوردارند. روند افزایشی و کاهشی برای بیشتر پارامترهای اقلیمی در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار است. طی این دوره بیشترین افزایش دما و کاهش بارش برای اواخر دههٔ ۱۹۹۰ مشاهده شد.

در شکل‌های ۲ و ۳، میانگین متحرّک ۵ سالهٔ پارامترهای دمایی و رطوبتی ایستگاه معرّف طی دورهٔ ۲۰۱۴-۱۹۸۶ نشان داده شده است. بر اساس نتایج شکل ۲، مقادیر هر سه پارامتر متوسّط، حداقل و حداکثر دما طی دورهٔ

1- Mann
2- Kendall

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. طبقات خشکسالی بر مبنای شاخص SPI (مک‌کی[1] و همکاران، ۱۹۹۳)

مقدار SPI	طبقات خشکسالی	بازهٔ زمانی طبقات
۰ تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم	٪۲۴
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسّط	٪۹/۲
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید	٪۹/۲
کمتر از ۲-	خشکسالی حاد	٪۲/۳

مورد مطالعه، از روند افزایشی برخوردار است که این روند، از اواخر دههٔ ۱۹۹۰ به‌خوبی بر روی نمودارهای دمایی قابل مشاهده است. در مقابل، مقادیر بارش هرچند از افزایشی محدودی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ برخوردار است، با وجود این، تقریباً به طور مداوم از سال ۱۹۹۵ به بعد روند کاهشی دارد که بیشینهٔ کاهش برای سال‌های انتهایی دورهٔ مورد مطالعه ثبت شده است. در حوضهٔ قره‌سو، مقادیر رطوبت نسبی نیز روندی مشابه با بارش دارد و از سال ۱۹۹۵ به بعد روند کاهشی آن شروع و در سال‌های ۲۰۰۶ به بعد بیشترین کاهش ثبت شده است. افزایش درجهٔ حرارت و همچنین کاهش رطوبت نسبی، سبب افزایش بارش‌های مایع و کم‌شدن تعداد روزهای برفی در این حوضه شده‌اند؛ زیرا از اواخر دههٔ ۱۹۹۰ با افزایش درجهٔ حرارت و کاهش رطوبت نسبی در تعداد فراوانی روزهای برفی نیز کاهش قابل توجّهی مشاهده می‌شود

بررسی میانگین متحرّک ۵ سالهٔ عناصر پارامترهای اقلیمی ایستگاه سرپل ذهاب (شکل ۳) به عنوان نمایندهٔ حوضهٔ الوند نیز نشان‌دهندهٔ افزایش درجهٔ حرارت و کاهش رطوبت این حوضه است. در این حوضه نیز همانند قره‌سو هر سه پارامتر متوسّط، حدّاقل و حدّاکثر دما از اواخر دههٔ ۱۹۹۰ روند افزایشی دارند، با این تفاوت که نرخ افزایش در این حوضه بیشتر از حوضهٔ قره‌سو است. این شرایط می‌تواند به دلیل موقعیّت جغرافیایی و کم‌ارتفاع‌تربودن حوضهٔ الوند نسبت به قره‌سو باشد. شرایط رطوبتی این حوضه نیز از روند کاهشی قابل توجّهی برخوردار است که از سال ۱۹۹۵ به بعد برای ایستگاه سرپل ذهاب ثبت شده است. همانند حوضهٔ قره‌سو، بیشینهٔ کاهش بارش برای سال‌های ۲۰۰۶ به بعد قابل مشاهده است. شرایط رطوبتی و تعداد روزهای برفی نیز همانند حوضهٔ قره‌سو از سال ۱۹۹۵ به بعد دارای روند کاهشی هستند.

جدول ۲. تغییر روند پارامترهای آب‌وهوایی ایستگاه‌های منتخب در حوضه‌های کارستی قره‌سو و الوند طی دورهٔ ۲۰۱۴-۱۹۸۶

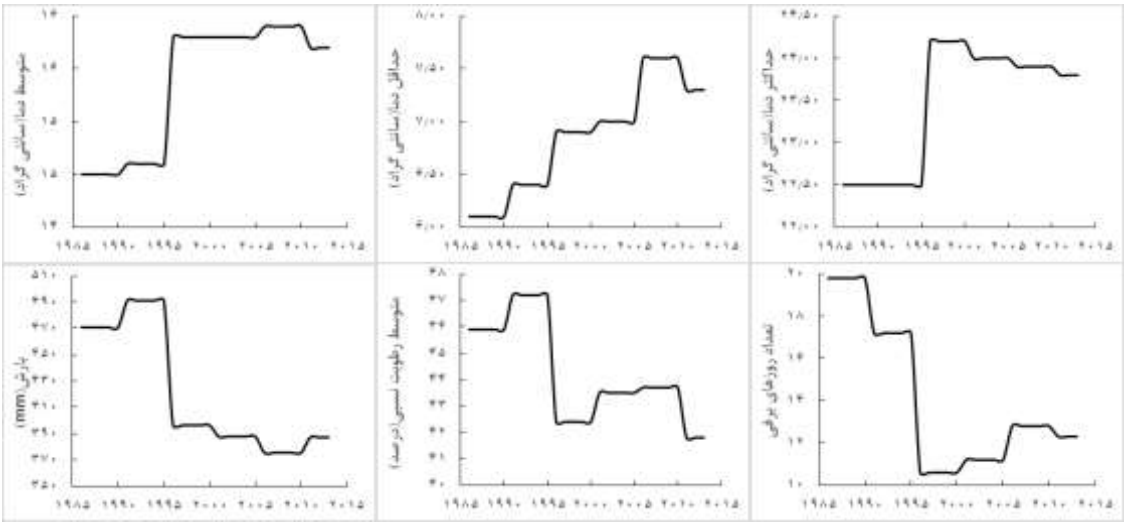
پارامترهای اقلیمی	حوضهٔ قره‌سو (زون زاگرس مرتفع)		حوضهٔ الوند (زون زاگرس چین‌خورده)	
	ایستگاه نماینده: کرمانشاه		ایستگاه نماینده: سرپل ذهاب	
	روند	مقادیر آمارهٔ Z من کندال	روند	مقادیر آمارهٔ Z من کندال
متوسّط دما	۱	۳/۴۰ (***)	۱	۴/۰۷ (***)
میانگین حدّاقل دما	۱	۳/۶۴ (***)	۱	۴/۰۷ (***)
میانگین حدّاکثر دما	۱	۲/۶۵ (***)	۱	۳/۷۵ (***)
تعداد روزهای با دمای بیش از ۳۰ درجه	۱	۲/۰۷ (**)	۱	۲/۷۱ (***)
مجموع بارش	-۱	-۲/۱۹ (**)	-۱	-۳/۱۰ (***)
متوسّط رطوبت نسبی	-۱	-۳/۱۷ (***)	۰/۰	۰/۰
حدّاقل رطوبت نسبی	-۱	-۱/۵۶	۰/۰	۰/۰
حدّاکثر رطوبت نسبی	-۱	-۲/۵۳ (**)	-۱	-۲/۷۸ (***)
مجموع ساعات آفتابی	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
تعداد روزهای برفی	-۱	-۱/۶۴ (*)	-۱	-۰/۷۲ (***)

* معنی‌داری در سطح ۰/۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، *** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

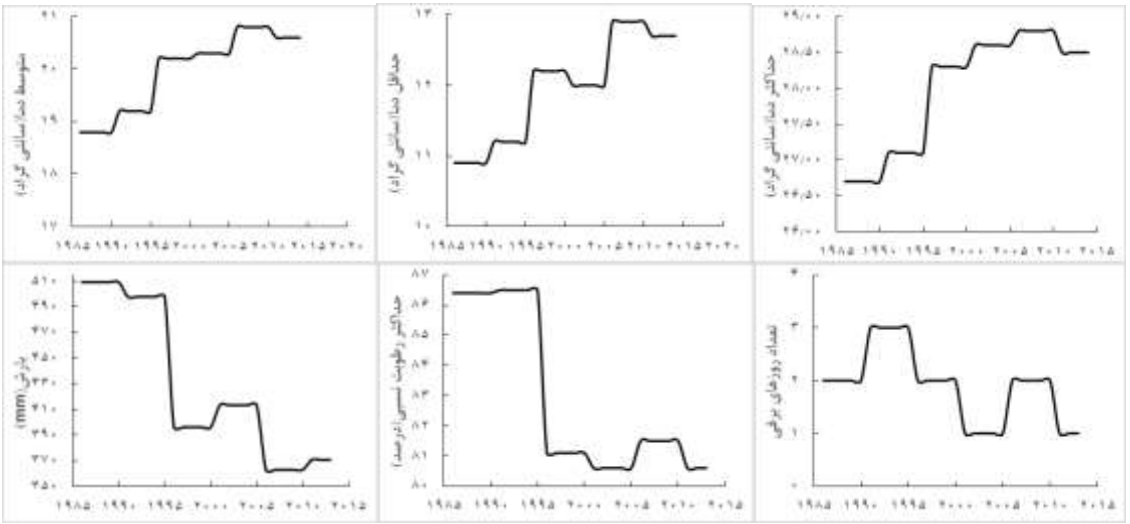
1- McKee

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. میانگین متحرّک ۵ ساله پارامترهای اقلیمی ایستگاه کرمانشاه در حوضه کارستی قره‌سو طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۶



شکل ۳. میانگین متحرّک ۵ سالهٔ پارامترهای اقلیمی ایستگاه سرپل ذهاب در حوضهٔ کارستی الوند طی دورهٔ ۲۰۱۴-۱۹۸۶

تغییر روند و تجزیه و تحلیل نقطه‌ای چشمه و ایستگاه‌های مجاور آنها

نتایج حاصل از بررسی روند و تغییرات بارش ایستگاه‌های منتخب منطقهٔ مورد مطالعه در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول‌های زیر مشخّص است، در هر دو منطقه تقریباً داده‌های بارندگی تمامی ایستگاه‌های واقع در محل یا مجاورت چشمه‌ها از روند نزولی برخوردار هستند. بیشترین مقدار منفی در مقادیر بارش در زاگرس چین‌خورده (حوضهٔ الوند) برای ایستگاه سرپل ذهاب (چشمهٔ سراب‌گرم) و در زاگرس مرتفع (حوضهٔ قره‌سو) برای ایستگاه گوهرچقا (سرابله - ورمنجه) قابل مشاهده است. در مقابل، روند مثبت برای ایستگاه‌های منتخب تنها برای ایستگاه مرزبانی (چشمهٔ شاه‌حسین) در زون زاگرس مرتفع (حوضهٔ قره‌سو) مشاهده گردید. بررسی معنی‌داری روندهای رخداده نشان می‌دهد، هرچند بیشتر ایستگاه از روند نزولی برخوردارند، امّا روند آنها در سطوح مختلف اعتماد، معنی‌دار نیست، به طوری که تنها ایستگاه سرپل ذهاب در زاگرس چین‌خورده و ایستگاه ورله (سرابله) در زون زاگرس مرتفع در سطح ۰/۱ روند نزولی آنها معنی‌دار است.

بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی روند تغییرات دبی چشمه‌ها در هر دو حوضهٔ مورد بررسی، داده‌های دبی تمامی چشمه‌های از روند نزولی برخوردار هستند. روند نزولی دبی چشمه‌ها از روند نزولی بارندگی در منطقهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج آزمون من کندال ایستگاه‌های منتخب در سطوح اعتماد ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪، ایستگاه‌های زاگرس چین‌خورده

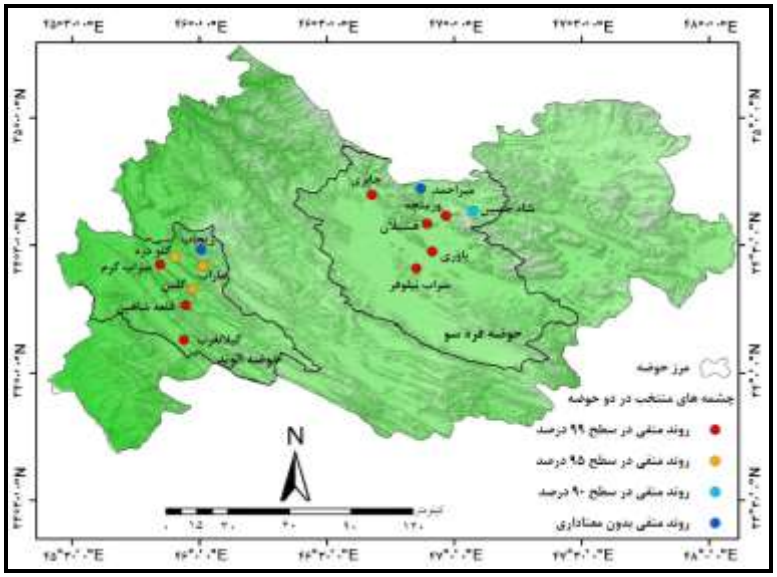
ایستگاه (چشمه)	دورهٔ آماری	تعداد سال	آزمون من کندال	معنی‌داری
سرپل ذهاب (سراب‌گرم)	۱۳۹۳-۱۳۶۷	۲۷	-۲/۴۸	**
قلعه شاهین (قلعه شاهین)	۱۳۹۳-۱۳۷۳	۲۰	-۱/۰۲	-
ماراب (قلعه شاهین)	۱۳۹۳-۱۳۷۳	۲۰	-۱/۰۲	-
چمن گلین (گلین)	۱۳۹۳-۱۳۷۳	۱۹	۰	
چشمهٔ پهن (گیلان غرب)	۱۳۹۳-۱۳۷۶	۱۸	-۱/۰۹	-

* معنی‌داری در سطح ۰/۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، *** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۴. نتایج آزمون من کندال برای ایستگاه‌های منتخب در سطوح اعتماد ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪، زون زاگرس مرتفع

چشمه	دورهٔ آماری	تعداد سال	آزمون من کندال	معنی‌داری
روانسر (جابری، میراحمد)	۱۳۹۳-۱۳۶۷	۲۷	-۱/۱۶	-
گوهر چقا (هشیلان)	۱۳۹۳-۱۳۷۵	۱۸	-۲/۲۱	**
ورله (ورمنجه، سرابله)	۱۳۹۳-۱۳۶۷	۲۷	-۰/۲۶	-
مرزبانی (شاه‌حسین)	۱۳۹۳-۱۳۷۵	۱۸	۰/۰۹	+
رحمت‌آباد (یاوری)	۱۳۹۳-۱۳۷۵	۱۸	-۱/۱۸	-
سراب نیلوفر (سراب نیلوفر)	۱۳۸۹-۱۳۷۳	۱۷	-۱/۱۹	-

مورد مطالعه به‌خوبی تبعیّت می‌کند، با این تفاوت که کاهش دبی نسبت به بارندگی به طور قابل توجّهی بیشتر است. به طوری که بررسی معنی‌داری روندهای رخداده در داده‌های بارندگی حداکثر در سطح ۰/۱ قابل مشاهده است، در حالی که معنی‌داری کاهش دبی چشمه‌ها در بیشتر موارد در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مشاهده می‌شود. در زاگرس چین‌خورده (حوضهٔ الوند) از بین ۷ چشمهٔ مورد بررسی، روند دبی ۳ چشمه در سطح ۰/۰۱، ۲ چشمه در سطح ۰/۰۵، ۱ چشمه در سطح ۰/۱ دارای روند نزولی هستند. در این منطقه، چشمهٔ ریجاب هرچند دارای روند نزولی بوده ولی در سطوح اعتماد مورد بررسی معنی‌داری خاصیّ را نشان نمی‌دهد. در زاگرس مرتفع (حوضهٔ قره‌سو)، چشمه‌های جابری، سرابله و سراب نیلوفر در سطح معنی‌داری ۰/۰۱، چشمه‌های یاوری، ورمنجه و هشیلان با مقدار کمتر آمارهٔ Z من کندال، در سطح ۰/۰۱ دارای روند نزولی هستند. دو چشمهٔ میراحمد و شاه‌حسین نیز هرچند دارای روند منفی هستند، ولی روند نزولی آنها معنی‌دار نیست. در شکل ۴، تغییرات مکانی روند دبی چشمه‌های منتخب نشان داده شده است.



شکل ۴. بررسی روند تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی مورد مطالعه

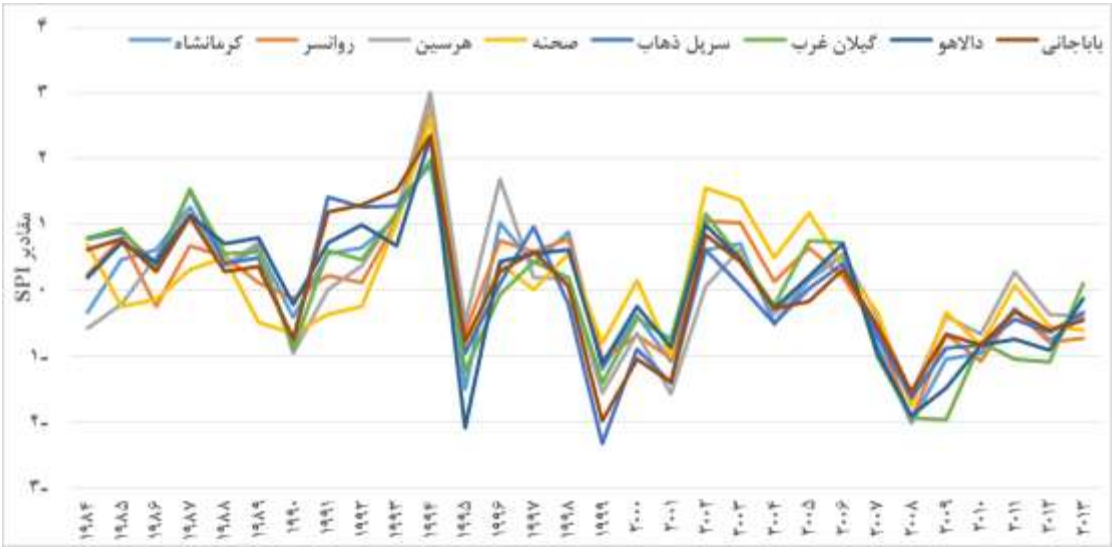
www.SID.ir

Archive of SID

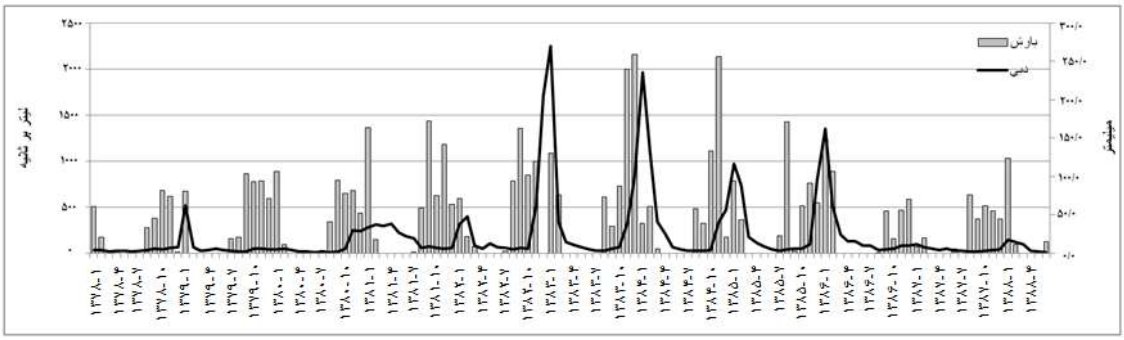
خشکسالی‌های منطقهٔ مورد مطالعه

خشکسالی‌های رخداده در منطقهٔ مورد مطالعه طی دورهٔ طولانی‌مدّت ۳۰ ساله بر اساس داده‌های شبکه‌ای مجاور چشمه‌های کارستی با استفاده از نمایهٔ SPI محاسبه شدند. بر اساس مقادیر SPI به دست آمده (شکل ۵) در هر دو زون زاگرس چین‌خورده و مرتفع شدیدترین خشکسالی برای سال ۲۰۰۸ (سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶) رخ داده است. خشکسالی‌های رخداده در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ نیز از شدّت قابل توجّهی برخوردار بودند که بر اساس جدول طبقه‌بندی در گروه خشکسالی‌های شدید قرار می‌گیرند. با وجود این، رخداد خشکسالی‌های متمادی طی دوره‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۹ و مهم‌تر از آن طی دورهٔ ۲۰۱۳- ۲۰۰۷ می‌تواند خسارت‌های بیشتری نسبت به خشکسالی‌های موردی به دنبال داشته باشد.

رخداد خشکسالی‌های متمادی طی ۱۵ سال اخیر و همزمانی آن با افزایش درجهٔ حرارت می‌تواند نقش مهمّی در کاهش منابع آبی منطقه به‌ویژه دبی چشمه‌های کارستی داشته باشد. بررسی همزمان آبنگار چشمه‌های مورد مطالعه تأثیرپذیری شدید آبدهی چشمه‌ها از خشکسالی و تغییرات اقلیمی را نشان می‌دهد. آبنگار تمامی چشمه‌ها برای سال‌های همراه با خشکسالی‌های شدید (۲۰۰۸) نسبت به سال‌های با خشکسالی با شدّت کمتر یا بدون خشکی نشان‌دهندهٔ تأثیر مستقیم خشکسالی و کاهش بارش بر دبی تمامی چشمه‌ها بدون تأخیر زمانی و همزمان بوده است. شکل ۶، تأثیر پذیری مستقیم آبدهی چشمه از کاهش بارش و خشکسالی برای چشمهٔ ورمنجه در زون زاگرس مرتفع را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار تغییرات شاخص SPI برای نقاط شبکه‌ای منتخب در اطراف چشمه‌های کارستی طی دورهٔ ۲۰۱۳-۱۹۸۵



شکل ۶. آبنگار و بارش‌نگار ماهانه چشمهٔ ورمنجه و ایستگاه باران‌سنجی ورله طی دورهٔ ۱۳۸۸-۱۳۷۸

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات چرخه‌ای چشمه‌ها

شکل ۷ کرولوگرام[1] چشمه‌های شاخص زون زاگرس چین‌خورده (حوضهٔ رودخانه الوند) را نشان می‌دهد. کرولوگرام چشمه‌های گیلان غرب، سراب‌گرم و گلودرّه حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش و وجود جریان سریع محدود در این آبخوان‌هاست. بخش اوّل کرولوگرام که معمولاً در طی ۱۲ روز کاهش می‌یابد، معرّف جریان سریع است. بخش دوّم نیز معرّف وجود و غلبهٔ جریان پایه است. کرولوگرام چشمه‌های قلعه شاهین و گلین حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان سریع و نیمه‌سریع (شکافی) و وابستگی تقریبی دبی به بارش است. کرولوگرام این چشمه‌ها دارای سه بخش مجزّا است. بخش اوّل معرّف جریان سریع محدود، بخش دوّم جریان نیمه‌سریع (شکافی) محدود و بخش سوّم جریان پایه و غلبه‌ای آن است. کرولوگرام چشمه‌های ماراب و ریجاب حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ کم دینامیکی، وجود جریان پایه و جریان سریع و نیمه‌سریع (شکافی) و وابستگی دبی به بارش است. کرولوگرام چشمهٔ ریجاب دارای دو بخش مجزّا است. بخش اوّل معرّف جریان سریع و بخش دوّم جریان نیمه‌سریع و پایه است. کرولوگرام چشمهٔ ماراب دارای سه بخش مجزّا بوده، بخش اوّل معرّف جریان سریع، بخش دوّم جریان نیمه‌سریع و بخش سوّم جریان پایه است.

شکل ۸، نتایج آنالیز خودهمبستگی و کرولوگرام چشمه‌های شاخص زون زاگرس مرتفع (حوضهٔ رودخانهٔ قره‌سو) را نشان می‌دهد. کرولوگرام چشمه‌های سرابله، ورمنجه، هشیلان، جابری، شاه‌حسین و میراحمد حاکی از اینرسی و ذخیرهٔ کم آبخوان و وجود جریان سریع و جریان پایه و وابستگی بالای دبی به بارش است. بخش اوّل کرولوگرام که معمولاً طی ۱۲ روز و کمتر کاهش می‌یابد، معرّف جریان سریع است. بخش دوّم و در صورت وجود، بخش سوّم نیز معرّف وجود جریان نیمه‌سریع و جریان پایه است. کرولوگرام چشمهٔ سراب یاوری حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان سریع و نیمه‌سریع و وابستگی تقریبی دبی به بارش است. کرولوگرام این چشمه دارای سه بخش مجزّا است. بخش اوّل معرّف جریان سریع محدود، بخش دوّم جریان نیمه‌سریع محدود و بخش سوّم جریان پایه و غلبه‌ای آن است.

بحث

منابع آب کارست جزء منابع استراتژیک بوده و به سبب ویژگی‌هایی همچون کیفیّت مناسب، استخراج آسان و تجدیدپذیری بالا، نقش مهمّی در دوام و پایداری زیست‌محیطی و همچنین تأمین آب مورد نیاز جوامع انسانی مناطق مختلف کشور، به‌ویژه منطقهٔ زاگرس دارند. آبخوان‌های کارستی با توجّه به میزان توسعهٔ سیستم کارستی به نوسانات ورودی (بارش) از قبیل میزان، شدّت، نوع و... حسّاس بوده و از این رو، تغییرات اقلیمی و نوسانات بارشی ناشی از آن تأثیر زیادی بر رژیم آبدهی آبخوان‌های کارستی دارد. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، افزایش دما و کاهش بارش در داده‌های شبکه‌ای طولانی‌مدّت و ایستگاهی در قسمت‌های مختلف استان کرمانشاه به‌ویژه برای مناطق کارستی، نشان‌دهندهٔ رخداد تغییر در شرایط اقلیمی و به تبع آن تغییر در ویژگی‌های منابع آبی است. افزون بر این، نتایج پژوهش‌های مشابه نیز نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی رخداده در دو دههٔ گذشته، زمینه‌ساز آغاز بحران آب در نواحی زاگرس و عدم پایداری محیط‌زیست این منطقه از جمله خشکیدگی جنگل‌های بلوط، فرسایش و... به‌ویژه در استان کرمانشاه، ایلام و لرستان شده است (میری، ۱۳۹۵؛ نوروزی، ۱۳۹۵). از دیگر سو، محیط‌های کارستی به سبب شرایط خاصّ ژئومورفولوژیکی و محیطی دارای پیچیدگی‌های خاصّ خود هستند.

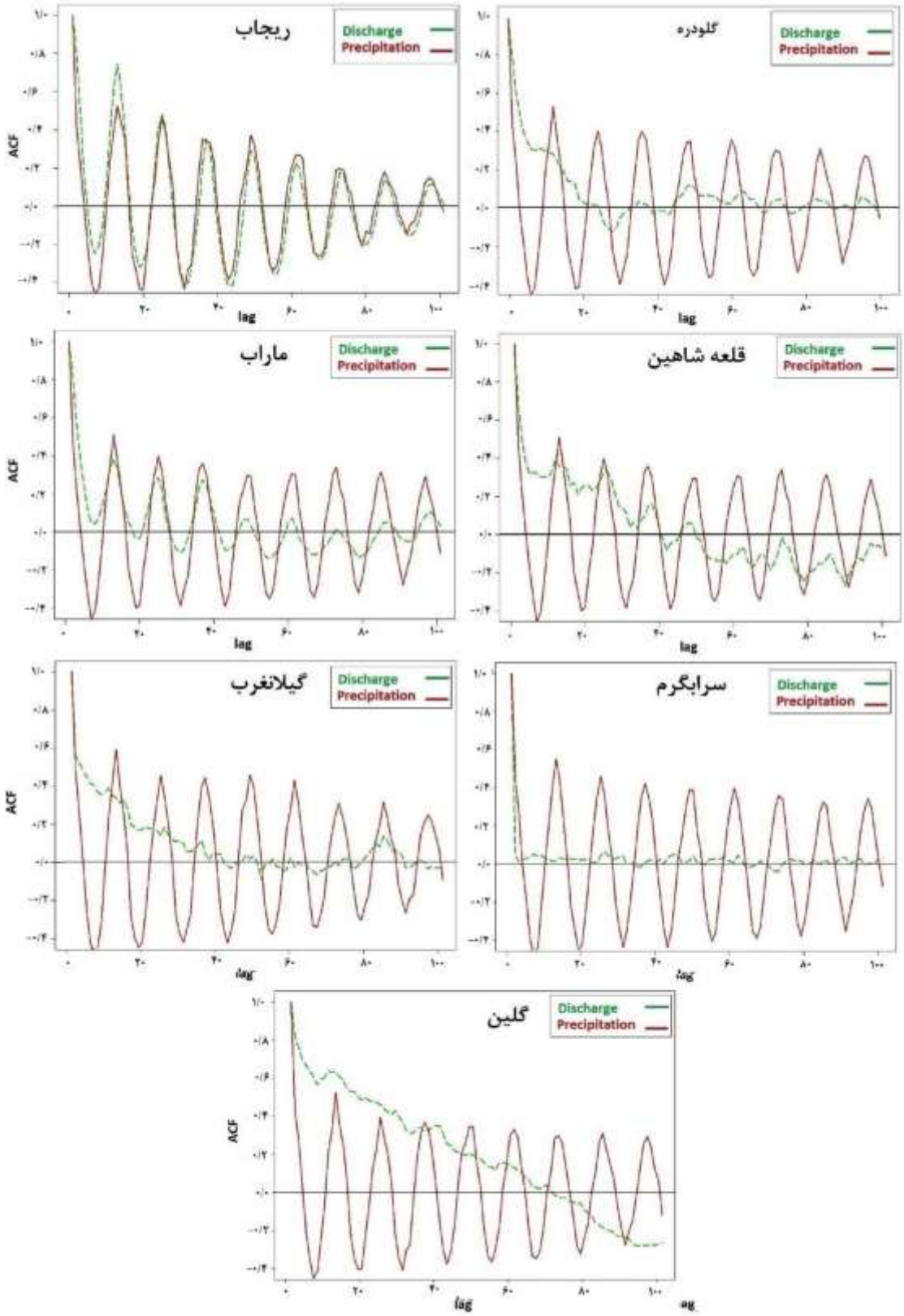
بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در زمینهٔ تأثیر خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی بر رژیم آبدهی چشمه‌های

1- Correlogram

www.SID.ir

Archive of SID

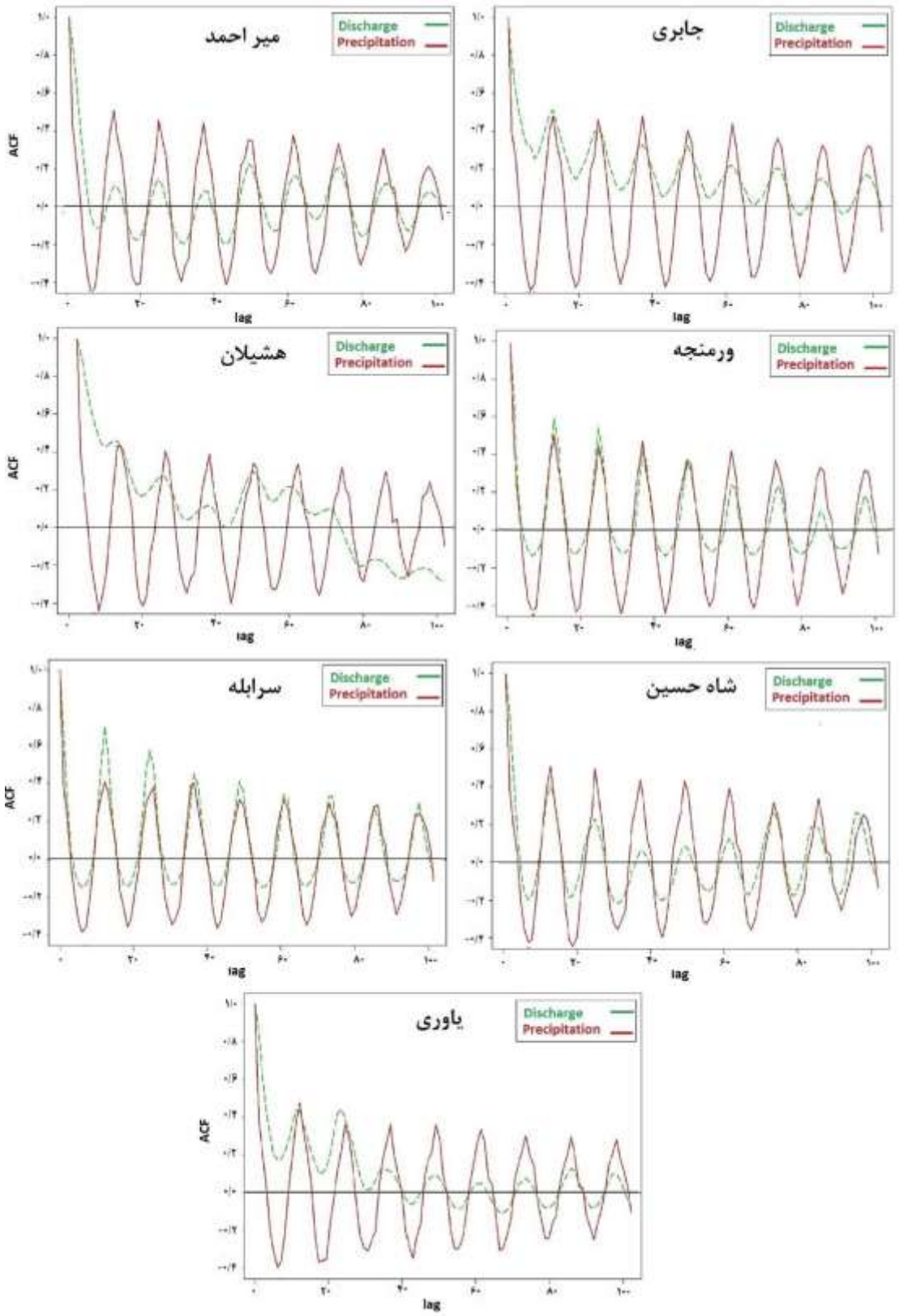
کارستی در مناطق مختلف دنیا، دو عامل کلّی در چگونگی و میزان تأثیرپذیری رژیم آبدهی چشمه‌ها نقش دارنـد. عامل اوّل میزان تغییرات و نوع آن و عامل دوّم ویژگی‌های سیستم کارستی است (ژانن و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۷. کرولوگرام چشمه‌های گلودرّه، ریجاب، ماراب، قلعه شاهین، سراب‌گرم، گیلان غرب و گلین

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. کرولوگرام چشمه‌های جابری، میراحمد، هشیلان، سرابله، یاوری، ورمنجه و شاه‌حسین

اقلیم منطقهٔ مورد مطالعه از اواخر دههٔ ۷۰ تا اوایل دههٔ ۹۰ شمسی، با رخداد خشکسالی‌های متعـدّد، کـاهش بارش، کاهش ضریب برفی، کاهش رطوبت، افزایش درجهٔ حرارت و... روبه‌رو بوده است؛ امّا بازتاب این تغییـرات، در

www.SID.ir

Archive of SID

رژیم آبدهی چشمه‌های مورد مطالعه در هر دو زون زاگرس چین‌خورده و مرتفع تحت تأثیر میزان توسعه‌یافتگی سیستم کارستی چشمه‌ها بوده است.

تأثیرپذیری رژیم و روند آبدهی چشمه‌های زاگرس چین‌خورده از نوسانات اقلیم و رخداد خشکسالی، تحت تأثیر ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان، مورفومتری و وسعت آبخوان و اقلیم محلّی است. ویژگی‌های هیدرودینامیکی، تحت تأثیر ژئومورفولوژی سطحی کارست (نوع و میزان تغذیه) و مورفومتری آبخوان بوده و میزان و زمان تأثیرپذیری چشمه‌های این منطقه از نوسانات بارشی متفاوت است. به طوری که تأثیرپذیری هر یک از چشمه‌های این زون از تغییرات اقلیمی و تغییرپذیری عناصر اقلیمی همانند بارش به دلیل شرایط محیطی منطقه، از میزان و مدّت‌زمان متفاوتی برخوردارند.

تأثیرپذیری رژیم و روند آبدهی چشمه‌های زاگرس مرتفع از نوسانات اقلیم و رخداد خشکسالی با توجّه به نوع سیستم کارستی متفاوت بوده و تحت تأثیر ویژگی‌های هیدرودینامیکی و اقلیم محلّی است. در این زون، به علّت توسعه‌یافتگی سیستم کارستی و کم‌بودن حجم ذخیره‌های دینامیکی آبخوان‌ها، چشمه‌های زون زاگرس مرتفع در برابر رخداد خشکسالی‌های و تغییرات بارش کوتاه‌مدّت واکنش بیشتری دارند. در نوسانات بارشی درازمدّت، به سبب تأثیرگذاری حافظه و حجم ذخیره‌ای دینامیکی کم آبخوان، در طول دورهٔ خشک، دبی کاهش شدیدی داشته و با تمام‌شدن آن، دبی چشمه نیز افزایش می‌یابد. در تحقیقات مشابه فیوریلو و گواداگنو (۲۰۱۲)، فیوریلو (۲۰۰۹)، ما و همکاران (۲۰۰۴)، لوآجیگا و همکاران (۲۰۰۰)، کاهش بارش و رخداد خشکسالی‌های شدید و دوره‌ای را عامل کاهش شدید دبی منابع آب زیرزمینی و به‌ویژه منابع کارستی طی چندین دههٔ گذشته بیان کرده‌اند. به طور کلّی می‌توان گفت که ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست، میزان توسعه‌یافتگی سیستم‌های کارستی و دیگر شرایط محیطی باعث شده واکنش تمامی چشمه‌های مورد مطالعه به نوسانات اقلیمی یکسان نباشد و با تفاوت‌هایی همراه باشد.

نتیجه‌گیری

با توجّه به اینکه منابع آب کارست نقش مهمّی در تأمین آب مورد نیاز جوامع انسانی مناطق زاگرس دارند و از دیگر سو، تغییرات اقلیمی رخ‌داده در دو دههٔ گذشته، زمینه‌ساز آغاز بحران آب و عدم پایداری محیط در این منطقه از کشور شده است، پژوهش پیش رو با هدف بررسی اثرات تغییرات رخ‌داده در شرایط آب‌وهوایی بر آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه تدوین شده است. برای دستیابی به این هدف، ترکیبی از داده‌های شبکه‌ای با دقّت مکانی بالا، داده‌های ایستگاه‌های همدیدی استان کرمانشاه، داده‌های فیزیوگرافی و روش‌های آماری استفاده شده است.

بررسی وضعیّت نوسانات بارشی ایستگاه‌های مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد که تعدّد و شدّت خشکسالی‌ها در طی دو دههٔ گذشته افزایش‌یافته و دو دورهٔ خشک شدید در اواخر دههٔ ۷۰ و ۸۰ شمسی در مناطق مورد مطالعه رخ داده است. در فاصلهٔ زمانی این دو دورهٔ خشک (۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴-۱۳۸۳) بارش نرمال بوده و ترسالی رخ نداده است. در واقع در بازهٔ زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹، اقلیم مناطق مورد مطالعه با یک دورهٔ خشک مواجه بوده‌اند. ارزیابی روند بارشی ایستگاه‌های مناطق مورد مطالعه نشان داد، بارش هر دو منطقهٔ مورد بررسی تقریباً از روند نزولی برخوردار است. میزان این روند و معنی‌داری آن در ایستگاه‌های مختلف مناطق مورد مطالعه یکسان نیست؛ امّا نتایج این روش به طور کلّی حاکی از روند کاهش بارش مناطق مورد مطالعه در سال‌های گذشته بوده است. علاوه بر بارش، میزان رطوبت منطقه نیز کاهش یافته ولی در مقابل، مقادیر پارامترهای دمایی از روند

www.SID.ir

Archive of SID

افزایشی معنی‌داری برخوردارند. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات دبی چشمه‌ها نشان داد که در هر دو منطقهٔ مورد بررسی، داده‌های دبی تمامی چشمه‌ها از روند نزولی برخوردار است و روند نزولی دبی چشمه‌ها از روند نزولی بارندگی در منطقهٔ مورد مطالعه به‌خوبی تبعیّت می‌کند، با این تفاوت که کاهش دبی نسبت به بارندگی به طور قابل توجّهی بیشتر است. همچنین میزان کاهش دبی و سطوح اعتماد آن در چشمه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده که به نظر می‌رسد، علاوه بر تغییرات ورودی (بارش)، شرایط محیطی دیگر و فعّالیّت‌های انسانی در این امر تأثیرگذار هستند. در نهایت می‌توان گفت: روند دبی و آبدهی تمامی چشمه‌های مورد مطالعه در سال‌های گذشته دارای روند نزولی بوده‌اند. این امر، با رخدادهٔ دوره‌های خشک و کاهش بارش در دو دههٔ اخیر مرتبط است.

با وجود این، تأثیرپذیری دبی چشمه‌های مورد مطالعه از بارش و تغییرات آن با توجّه به ویژگی‌های محیطی و سیستم کارستی متفاوت است. به طوری که در زون زاگرس چین‌خورده تأثیرپذیری دبی از بارش در چشمه‌های ماراب و ریجاب در نوسانات بارشی کوتاه‌مدّت بیشتر از سایر چشمه‌ها است. چشمه‌های سراب‌گرم، گیلان غرب و قلعه شاهین به سبب ویژگی‌های دینامیکی و مورفومتری آبخوان از رخداد خشکسالی یا ترسالی دارای تأخیر زمانی طولانی‌مدّت بوده، امّا در چشمه‌های ماراب و ریجاب زمان تأخیر کمتر است. چشمه‌های سراب‌گرم و گیلان غرب نسبت به سایر چشمه‌ها به علّت حجم ذخیره‌ای دینامیکی بالا در برابر رخداد خشکسالی کوتاه‌مدّت پایدار هستند ولی به رخداد دوره‌های خشک طولانی حسّاسیّت دارند. در منطقهٔ زاگرس مرتفع با توجّه به پایین‌بودن حجم ذخیرهٔ آبخوان‌ها و نوع سیستم کارستی، تأثیرپذیری دبی بیشتر چشمه‌های مورد بررسی نسبت به بارش و تغییرات کوتاه‌مدّت آن به‌ویژه رخداد خشکسالی‌های کوتاه‌مدّت قابل توجّه است؛ به عبارت دیگر، در این زون، کاهش دبی و کاهش بارش واکنش هم‌زمان دارد. در این زون، به‌جز چشمهٔ یاوری، دبی تمامی چشمه‌های دیگر (جابری، سرابله، شاه‌حسین، میراحمد، هشیلان و ورمنجه) وابستگی بالایی به مقدار بارش دارند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «اثر تغییر اقلیم بر آبدهی و ویژگی‌های کمّی - کیفی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه با استفاده از مدل‌های اقلیمی برای پیش‌بینی دوره‌های بلندمدّت» می‌باشد که با استفاده از حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه با کد ۱۲۸۰۹۲-۷۵۹۷ انجام شده است. نگارندگان مراتب تقدیر و تشکّر خود را از کمیتهٔ تحقیقات این شرکت اعلام می‌دارند.

منابع

ایزدی، عزیزالله؛ داوری، کامران؛ علیزاده، امین؛ قهرمان، بیژن (۱۳۸۷) کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، **آبیاری و زهکشی ایران**، ۲ (۲)، صص. ۱۴۳-۱۳۳.

طالبی، محمد صادق؛ شیخ علیشاهی، نجمه؛ دهقانی فیروزآبادی، نجمه (۱۳۹۰) **مطالعهٔ تغییر اقلیم در استان کرمان به روش من - کندال**، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.

عابدینی، محمدحسین (۱۳۸۹) **ارتباط خشکسالی و منابع آب کارستی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کارستی مهارلو)**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مجتبی یمانی، دانشگاه تهران.

فتوت، مسعود؛ مهرابی، علی (۱۳۸۶) **بررسی واکنش چشمه کارستی نیلوفر نسبت به خشکسالی‌های اخیر استان کرمانشاه**، کنفرانس بررسی منابع آب استان کرمانشاه.

مدرسی، فرشته؛ عراقی نژاد، شهاب؛ ابراهیمی، کیومرث؛ خلقی، مجید (۱۳۸۹) بررسی منطقه‌ای پدیدهٔ تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز گرگان‌رود - قره‌سو، **نشریهٔ آب و خاک**، ۲۴ (۳)، صص. ۴۸۹-

www.SID.ir

Archive of SID

.۴۷۶

میری، مرتضی (۱۳۹۵) **واکاوی ارتباط تغییر اقلیم و زوال جنگل‌های زاگرس (منطقهٔ ایلام)**، رسالهٔ دکتری، استاد راهنما: قاسم عزیزی، دانشگاه تهران.

میری، مرتضی؛ رحیمی، مجتبی (۱۳۹۴) **گرمایش جهانی و روند تغییرات دمایی ایران**، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر.

میری، مرتضی؛ رضیئی، طیب؛ رحیمی، مجتبی (۱۳۹۵) ارزیابی و مقایسهٔ آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران، **فیزیک زمین و فضا**، ۴۲ (۳)، صص ۶۷۲-۶۵۷.

نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۵) **گزارش نهایی سامانهٔ پایش خشکیدگی جنگل‌های بلوط غرب کشور**، گزارش پژوهشی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری.

Bakalowicz, M. (2005) Karst Groundwater: A Challenge for New Resources, **Hydrogeology Journal**, 13 (1), pp. 148-160.

Ekmekci, M., Tezcan, L. (2011) Management of Karst Aquifers Under Climate Change: Implications for Sustainable Use, **Climate Change and its Effects on Water Resources**, 3, pp. 77-85.

Fiorillo, F. (2009) Spring Hydrographs as Indicators of Droughts in a Karst Environment, **Hydrology**, 373 (3-4), pp. 290-301.

Fiorillo, F., Guadagno, F. M. (2012) Long karst Spring Discharge Time Series and Droughts Occurrence in Southern Italy, **Environmental Earth Sciences**, 65 (8), pp. 2273-2283.

Gondwe, B.R.N., Merediz-Alonso, G., Bauer-Gottwein, P. (2011) The Influence of Conceptual Model Uncertainty on Management Decisions for a Groundwater-Dependent Ecosystem in Karst, **Hydrology**, 400(1-2), pp. 24-40.

Gremaud, V., Goldscheider, N. (2010) Climate Change Effects on Aquifer Recharge in a Glacierised Karst Aquifer System, Tsanfleuron-Sanetsch, Swiss Alps, **Advances in Research in Karst Media**, pp. 31-36.

Hao, Y., Yeh, T. J., Gao, Z., Wang, Y., Zhao, Y. (2006) A Gray System Model for Studying the Response to Climatic Change: The Liulin Karst Springs, China, **Hydrology**, 328 (3-4), pp. 668–676.

Jeannin, P. Y., Hessenauer, M., Malard, A., Chapuis, V. (2016) Impact of Global Change on Karst Groundwater Mineralization in the Jura Mountains, **Science of The Total Environment**, 541, pp. 1208-1221.

Kendall, M. G. (1975) **Rank Correlation Methods**, Charles Griffin, London.

Loáiciga, H. A., Maidment, D. R., Valdes, J. B. (2000) Climate-Change Impacts in a Regional Karst Aquifer, Texas, USA, **Hydrology**, 227 (1-4), pp. 173-194.

Ma, T., Wang, Y., Guo, Q. (2004) Response of Carbonate Aquifer to Climate Change in Northern China: A Case Study at the Shentou Karst Springs, **Hydrology**, 297 (1-4), pp. 274-284.

Mann, H. B. (1945) Nonparametric Tests Against Trend, **Econometrica**, 13 (3), pp. 245-259.

McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, **In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**, pp. 17-22.

Orehova, T. (2004) Comparative Estimate of Resistance to Drought for Selected Karstic Aquifers in Bulgaria, **International Journal of Speleology**, 33 (1/4), pp. 73-79.

Paul Novel, J., Dimadi, A., Zervopoulou, A., Bakalowicz, M. (2007) The Aggitis Karst System, Eastern Macedonia, Greece: Hydrologic Functioning and Development of the Karst Structure, **Hydrology**, 334 (3-4), pp. 477-492.

Smith, B. A, Hunt, B. B. (2010) A Comparison of the 1950s Drought of Record and the 2009 Drought, Barton Springs Segment of the Edwards Aquifer, Central Texas, **Gulf Coast Assoc Geol Soc Trans**, 60, pp. 611-622.

Steiakakis, E., Vavadakis, D., Kritsotakis, M., Voudouris, K., Anagnostopoulou, C. (2016) Drought

www.SID.ir

Archive of SID

impacts on the Fresh Water Potential of a Karst Aquifer in Crete, Greece, **Environmental Earth Sciences**, 75, pp.1-19.

Waele, J. D., Plan, L., Audra, P. (2009) Recent Developments in Surface and Subsurface Karst Geomorphology: An Introduction, **Geomorphology**, 106 (1-2), pp. 1-8.

www.SID.ir