

بررسی تاثیر خشکسالی بر کاهش دبی چشمه‌های غرب ایران، مطالعه موردی: سراب نیلوفر

محمدصادق پرهمت^۱، جهانگیر پرهمت^{۲*} و مهدی میرزایی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ^۲ استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، و ^۳ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

چکیده

چشمه‌های کارستی مناطق غرب ایران، تأمین‌کننده دبی پایه رودخانه‌هایی همچون کرخه، طی سال‌های گذشته با کمبود آبدهی مواجه شده‌اند. سراب نیلوفر در شمال غرب شهر کرمانشاه از جمله آن‌ها است که در سال‌های اخیر با کاهش آبدهی و نیز خشکیدگی فصلی مواجه است. با توجه به عوامل مشترک اقلیمی و انسانی در خشکیدگی این چشمه‌ها، ضروری است که بررسی و بر حسب عوامل تأثیرگذار برنامه احیای آن تهیه شود. بدین منظور، پژوهش حاضر برای ارزیابی تأثیر نوسانات خشکسالی بر کاهش آبدهی آن انجام و دو روش تعیین خشکسالی، یکی شاخص بارش استاندارد (SPI) و دیگری میانگین متحرک استفاده شد. بر اساس نتایج میانگین متحرک، چهار دوره شامل ترسالی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۸-۱۳۷۷، خشکسالی ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۳-۱۳۸۲، ترسالی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۶-۱۳۸۵ و خشکسالی ۸۷-۱۳۸۶ الی ۹۵-۱۳۹۴ به وقوع پیوسته است. بررسی نتایج شاخص SPI نشان داد که در طی این زمان، دو دوره کلی شامل ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۵ قابل تفکیک است. دوره اول دارای تناوب سال‌های مرطوب و یا نرمال ولی دوره دوم خیلی خشک، خشک و نرمال است. با این وصف، دوره دوم با تداوم و شدت خشکی بیشتری مواجه است. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که دبی چشمه در دوره ۲۹ ساله از ۱۳۴۸ تا ۱۳۷۷ با وجود خشکسالی‌های شدید دهه ۳۰ و ۴۰ از ثبات لازم برخوردار و تنها دارای نوسانات فصلی بوده، ولی طی ۱۹ سال اخیر کاهش شدیدتری را نشان می‌دهد. به طوری که طی دوره اول، متوسط دبی چشمه حدود ۱۱۰۰ لیتر بر ثانیه ولی ۱۹ سال بعدی به ۳۳۷ لیتر بر ثانیه کاهش یافته است. نتایج پژوهش نشان داد، کاهش دبی با وقوع خشکسالی‌ها منطبق، ولی در ترسالی‌ها روند کاهشی آن همچنان ادامه یافته و شیب کاهش دبی نسبت به بارندگی بیشتر است. بنابراین، خشکیدگی چشمه تنها متأثر از خشکسالی نیست و افت سطح آب آبخوان مجاور تأثیر بیشتری داشته است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، چشمه کارستی، خشکیدگی چشمه، شاخص SPI، میانگین متحرک

مقدمه

همکاران، (۲۰۱۱). آبخوان‌های کارستی، به‌عنوان مخازن بزرگ طبیعی برای ذخیره بارندگی نفوذیافته عمل می‌کنند و دبی چشمه‌های کارستی منعکس‌کننده دوره‌های خشک و تر و تغییرات

امروزه نیاز به تأمین آب برای جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است (Gondwe و

کمیاب آبدی ایجاد شود. این کمیاب ممکن است، کاهش تراز سطح آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و آبخوان‌ها باشد (Keyantash و Dracup، ۲۰۰۲). این نوع خشکسالی ضرورتاً یک رویداد طبیعی نبوده، زیرا اغلب بر اثر ترکیبی پیچیده از خشکسالی‌های هواشناسی و زیرساخت‌های منابع آب و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اجرائی در این زمینه رخ می‌دهد (Lloyd-Hughes و Saunders، ۲۰۰۲). خشکسالی آب‌های زیرزمینی در اثر تغذیه ناکافی مخازن آبخوان‌ها به وجود می‌آید. خشکسالی اقتصادی-اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاهای اقتصادی با اجزاء خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است.

بر اساس پژوهش Joshi و Tiwari (۲۰۱۱) در سرشاخه‌های هیمالیای هندوستان، طی ۲۰ سال گذشته به دلیل خشک شدن قریب به ۳۶ درصد از چشمه‌ها، جریان‌های دائمی سرشاخه‌ها خشک شده و این کاهش آب چشمه‌ها و آبراهه‌ها موجب بحران آب شرب و کشاورزی در منطقه شده است. با این وصف، خشکیدگی چشمه‌ها مشکلی جهانی است.

منطقه تغذیه در مناطق کارستی به وسیله عوامل متعددی کنترل می‌شود، ولی به دلیل ناهمگنی‌های آبخوان‌های کارستی ارزیابی سامانه به طور مستقیم به سادگی میسر نیست. سیستم‌های کارستی آب زیرزمینی پایا بوده و نسبت به تغییرات شرایط آب و هوایی دارای پاسخ سریع هستند (Wong و همکاران، ۲۰۱۲). به نقل از Hess و White، ۱۹۸۸؛ Ford و Williams، ۱۹۸۹). از جمله روش‌های بررسی و ارزیابی آبخوان‌های کارستی، تحلیل هیدروگراف چشمه‌های کارستی است. با استفاده از تحلیل هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌توان به ویژگی‌های آن‌ها پی برد (Bonacci، ۱۹۹۳؛ Fiorillo، ۲۰۱۴؛ Negi و Joshi، ۱۹۹۶). آبدی چشمه در آبخیز کوهستانی به وسیله ویژگی‌های منطقه تغذیه آن شامل بارندگی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، چرا و ژئومورفولوژی کنترل می‌شود (Negi و Joshi، ۱۹۹۶). علاوه بر این، منحنی فروکش چشمه (تاریسمان) منعکس کننده شرایط هیدروپنماتیکی آبخوان کارستی است. منحنی فروکش چشمه، حاوی اطلاعاتی از

درازدت بارش هستند (Smith و Hunt، ۲۰۱۰). از طرفی، چشمه‌ها از جمله منابع مهم تامین آب در مناطق مختلف هستند که علاوه بر تامین نیاز شرب، کشاورزی، صنعت و محیط زیست، تامین کننده جریان دائمی رودخانه‌ها هستند. بنابراین، حفاظت کمی و کیفی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه مشکل عرضه و حفاظت منابع آب زیرزمینی موضوعی خیلی جدی است و خشکیدگی تدریجی بسیاری از چشمه‌ها و یا کم‌آب شدن آن‌ها طی فصول خشک و یا تبدیل آن‌ها به چشمه‌های فصلی در سراسر مناطق آلبی و آپنینس ایتالیا ظاهر شده است (Gatinoni و Francani، ۲۰۱۰). بنابراین، بایستی تحقیقات بیشتری در مورد ریسک کاهش آب زیرزمینی و تأثیر نوسانات فصلی و وقایع حدی و نیز شبیه‌سازی سناریوهای مختلفی از آینده صورت گیرد. مشابه این موارد، چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه است که طی سال‌های گذشته با کمیاب آبدی مواجه شده، در حالی که تامین کننده آب سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌هایی مثل کرخه هستند. اگرچه خشکسالی به انواع مختلفی از جمله هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم می‌شود، حتی نوع پنجم تحت عنوان محیط‌زیستی هم اخیراً اضافه شده است، ولی خشکیدگی چشمه به ظاهر از نوع خشکسالی هیدرولوژیکی بوده، ممکن است، پیامد یک دوره خشکسالی هواشناسی باشد. با وجود این، خشکسالی هیدرولوژیکی یک دوره پیوسته خشک از چندین ماه تا چندین سال است که طی آن مقدار آب موجود به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (Beran و Rodier، ۱۹۸۵؛ Porhemat و همکاران، ۲۰۱۵). خشکسالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که مقدار بارندگی در بازه زمانی معین، کمتر از یک حد آستانه باشد. از طرفی، خشکسالی کشاورزی زمانی رخ داده که رطوبت خاک برای محصول خاصی در یک زمان معین کافی نبوده و از نیاز واقعی محصول کمتر و منجر به خسارت در آن شود. خشکسالی کشاورزی معمولاً بعد از خشکسالی هواشناسی و قبل از هیدرولوژیکی رخ داده و کشاورزی اولین بخش اقتصادی متأثر از خشکسالی است (Wilhite، ۲۰۰۰). خشکسالی هیدرولوژیکی وقتی اتفاق می‌افتد که

بررسی تأثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل در دو دهه اخیر به‌وسیله Daneshvar Vousoughi و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که کاهش سطح آب زیرزمینی ناشی از نوسانات بارش و خشکسالی نبوده، بلکه در اثر برداشت بی‌رویه است. مشابه این نتایج به‌وسیله Fotovat و Mehrabi (۲۰۰۷) در بررسی تأثیر خشکسالی و واکنش چشمه کارستی سراب نیلوفر در کرمانشاه اعلام شده که این چشمه دارای سامانه افشان و رژیم پایدار بوده، لذا، به خشکسالی‌ها کمتر واکنش نشان داده است. بررسی ارتباط خشکسالی و منابع آب کارستی در حوضه مهارلوی فارس به‌وسیله Abedini (۲۰۱۰) حاکی از این است که نوسانات سطح ایستابی و آبدهی چشمه در آبخوان‌های کارستی مستقل از خشکسالی‌های کوتاه‌مدت است. لذا، عکس‌العمل سامانه کارستی بر حسب خشکسالی و یا ترسالی متفاوت است (Maghsoudi و همکاران، ۲۰۰۹).

بررسی نقش خشکسالی‌های شدید در آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه به‌وسیله Khosh-Akhlagh و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که چشمه‌های زاگرس خردشده با یک تأخیر زمانی سه ماهه نسبت به بیشینه بارش واکنش نشان داده، تقریباً به‌طور کامل خشک می‌شوند. همچنین، تأثیرپذیری چشمه‌های این ناحیه از زاگرس از خشکسالی‌ها، بسیار بیشتر از زاگرس چین‌خورده است. بررسی رابطه ۲۷ متغیر اقلیمی با میزان آبدهی چهار سراب کارستی در منطقه خرم‌آباد با استفاده از روش‌های رگرسیونی در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌وسیله Lashani Zand و Gholam-Rezae (۲۰۰۲) انجام شد. نتیجه این بررسی نشان داد که برای پیش‌بینی دبی سراب‌های کارستی شهر خرم‌آباد، متغیرهای بارشی در دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه نقش به‌مراتب ضعیف‌تری از متغیرهای دمایی دارند. به‌علاوه، بررسی پاسخ آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایزه در سازندهای ایلام-سروک و آسماری نسبت به تغییرات بارش نشان داد که از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۸۸ افت سطح آب در آبخوان کارستی آسماری در مقایسه با آبخوان کارستی ایلام-سروک متفاوت است (Naseri و همکاران، ۲۰۱۱).

ویژگی‌های ذخیره و نیز انواع مختلف محیط حرکت آب است. همچنین، شیب منحنی فروکش در سال‌های تر کاهش می‌یابد. بنابراین، از شیب منحنی فروکش در تحلیل خشکسالی می‌توان استفاده کرد (Amit و همکاران، ۲۰۰۲). در همین راستا، Chen و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی رابطه سطح آب زیرزمینی و نوسانات اقلیمی در مانیتوبای جنوبی کانادا نتیجه‌گیری کردند که سطح آب زیرزمینی با دو عامل بارندگی و درجه حرارت همبستگی بالایی را دارا می‌باشد. بررسی چشمه‌های سرینو ایتالیا به‌وسیله Fiorillo و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد، به‌دلیل اقلیم مدیترانه‌ای که افزایش چشمگیر تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی فصول بهار و تابستان را در پی داشته، نوسانات چشمه شاخصی از کم‌بارشی در طول خشکسالی است و پارامتر اقلیمی حساسی است که از آن به‌عنوان یک شاخص برای بررسی تأثیر خشکسالی بر آبدهی چشمه و آبخوان کارستی می‌توان استفاده کرد. در این رابطه، تعیین تأثیر روند و نوسانات بارندگی بر آبدهی چشمه به‌وسیله Fiorillo و Guadagno (۲۰۱۲) برای تحلیل رابطه آبدهی چشمه‌های کارستی با بارندگی استفاده و نتیجه‌گیری شد که کاهش آبدهی چشمه‌های منطقه ایتالیای جنوبی به‌دلیل کاهش بارندگی بوده است. همچنین، Panda و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی داده‌های سطح آب چاه‌های گوجارات در هندوستان نتیجه‌گیری کردند که در اثر خشکسالی، بارندگی کاهش و درجه حرارت افزایش یافته، تأثیر متقابل این‌ها موجب افزایش نیاز آبی و در نتیجه برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی شده است. تحلیل سری‌های زمانی دبی آبخوان‌های بزرگ کارستی و بارش در بخش مرکزی جنوب ایتالیا و ارزیابی روند آن‌ها به‌وسیله Fiorillo و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که آبدهی چشمه تغییرات زمانی و مکانی دو پارامتر بارندگی و درجه حرارت در بر داشته، لذا، شاخص قوی برای تشخیص تغییر اقلیم است. مطالعه تأثیر کمی و کیفی خشکسالی بر آب زیرزمینی دشت مشهد به‌وسیله Rostami و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که خشکسالی‌ها بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی اثرگذار بوده و لذا، در خشکسالی‌ها برداشت از آب زیرزمینی بایستی محدود شود. نتایج

Guadagno و Fiorillo (۲۰۱۰) در بررسی همبستگی بین سری داده‌های آبدی چشمه‌های کارستی با بارش در جنوب ایتالیا از شاخص SPI برای بارندگی استفاده شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که شاخص ۱۲ ماهه SPI با آبدی چشمه‌ها دارای روندی یکسان است. نتایج مطالعات Ruia و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه کارستی Guangxi حاکی از تأثیر عوامل آب و هوایی، زمین‌شناسی و انسانی بر خشکسالی و سیل هست.

در مطالعات جداگانه‌ای، Fiorillo (۲۰۰۹) و Fiorillo و Guadagno (۲۰۱۲) دریافتند که روند تغییرات عناصر اصلی اقلیم و رخداد پدیده‌های جوی ناشی از تغییر اقلیم همچون، خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های دوره‌ای از مسائلی هستند که مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و به‌ویژه تحقیقات مربوط به منابع آب قرار گرفته‌اند. رخداد خشکسالی، افزایش دما، افزایش تبخیر و تعرق، افزایش شدت بارش و کاهش ضریب برفی می‌توانند میزان تغذیه آبخوان‌های کارستی را تحت تأثیر قرار دهند. این شرایط سبب شده است که بیشتر مطالعات انجام‌گرفته در زمینه تغییرات و نوسانات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب کارست در جهان بر تأثیرات خشکسالی بر آبخوان‌های کارستی معطوف شود.

با این وصف، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو عامل برداشت و کاهش بارندگی به همراه تغییر اقلیم و گرم شدن هوا از عوامل تأثیرگذار دهه‌های اخیر بر کاهش آبدی چشمه‌ها هستند. همچنین، نتایج پژوهش‌های یادشده همگی نشان‌دهنده این است که اولاً با وجود اهمیت چشمه‌های کارستی در آبدی رودخانه‌های کشور و نیز تأمین منابع آب مصرفی مطالعات جامعی برای آن‌ها انجام نشده است. ثانياً، مطالعات پراکنده موجود دال بر کاهش آبدی خیلی از چشمه‌های کارستی در دهه‌های اخیر است. به‌علاوه، نتایج یاد شده، حاکی از این است که ویژگی‌های چشمه‌های کارستی در ایران متفاوت بوده، رفتار آن‌ها در مناطق مختلف یکسان نیست. نتایج بررسی سوابق مطالعات صورت‌گرفته در اقصی نقاط دنیا، نشان داد که رفتار چشمه‌های کارستی در مناطق مختلف از یک سامانه واحد پیروی نمی‌کنند. همچنین، در شرایط

بررسی ارتباط بارش و دبی در دو آبخوان کارستی بیستون-پرآو و کوه پاتاق استان کرمانشاه نشان داد که دبی خروجی چشمه نسبت به بارندگی بیشینه با یک ماه تأخیر همراه است (Rahmati, ۲۰۱۳). همچنین، Rahmati و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی تأثیر توسعه‌یافتگی آبخوان‌های کارستی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی چشمه‌های کارستی سه عامل ضریب فرود، حجم ذخیره دینامیک و مساحت حوضه آبرگیر را برای ارزیابی توسعه‌یافتگی به‌کار گرفتند. بر این اساس، کارست‌های محدوده حوضه آبرگیر، چشمه‌های با ذخیره دینامیک کمتر را توسعه یافته‌تر معرفی کردند. بررسی تأثیر خشکسالی بر رژیم آبدی چشمه‌های حوضه رودخانه الوند با استفاده شاخص SPI و روش آماری استانداردسازی دبی و بارش (RAPS) نشان داد که بارش بر رژیم آبدی چشمه‌های کارستی تأثیرگذارتر است. در این شرایط، هر چه کارست توسعه یافته‌تر باشد، زمان تأثیرگذاری کوتاه‌تر است (Negahban و همکاران، ۲۰۱۷). تأثیر خشکسالی بر دبی چشمه‌های کارستی کرمانشاه به‌وسیله Fathnia و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که ضریب همبستگی بین دبی چشمه سراب نیلوفر و بارندگی ایستگاه هواشناسی کرمانشاه پایین و حدود ۰/۴۸۴ است.

بررسی تغییر اقلیم بلندمدت طی دوره آماری ۱۹۸۲-۱۹۹۴ در بلغارستان به‌وسیله Orehova (۲۰۰۴) مشخص کرد که آبدی چشمه‌های کارستی و تراز سطح ایستابی در آبخوان‌های کارستی منتخب کاهش قابل توجهی داشته، این منابع نیز در مقابل تغییر اقلیم آسیب‌پذیر هستند. به‌دنبال آن، Chen و همکاران (۲۰۰۴) شرایط آب و هوایی، نوع کارست و خصوصیات زمین‌شناسی را در تعیین رژیم هیدرولوژیکی سالانه چشمه‌های کارستی معرفی کردند.

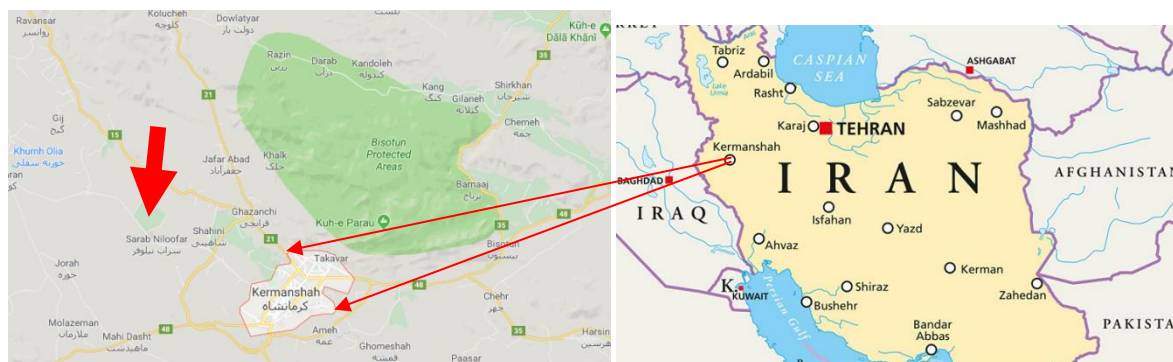
در پژوهشی، Civita (۲۰۰۸) دو نوع آبخوان کارستی را از نظر وسعت و ارتباط داخلی معرفی کرد. یک نوع آن به‌دلیل گسترش انحلال آهک و وجود درز و شکاف وسیع، هم‌زمان با افزایش و یا کاهش بارش دبی خروجی آن عکس‌العمل سریع نشان می‌دهد و گروه دوم عکس این است. همچنین، در پژوهشی،

بهره‌برداری از آبخوان‌های هم‌جوار چشمه‌ها علل کاهش دبی چشمه‌ها ممکن است، به‌طور مشترک از عوامل مختلف حاصل شده، تعیین عامل اصلی برای احیای چشمه خیلی پیچیده باشد. با وجود این، تحلیل هیدروگراف چشمه، بررسی روابط سطح آب آبخوان با بارندگی و درجه حرارت شاخص‌هایی هستند که می‌توانند به تفکیک عوامل کاهش آبدهی چشمه کمک کنند. لذا، در این پژوهش، با تحلیل مجموعه پیچیده هیدروگراف چشمه، نوسانات سطح آب آبخوان‌های مجاور، تغییرات جهت جریان و بارندگی در سال‌های مختلف عوامل اصلی و تأثیرگذار چشمه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه: سراب نیلوفر، در ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر کرمانشاه و در مختصات جغرافیایی $34^{\circ} 24' 34''$ عرض شمالی و

در دامنه کوه کوماجار واقع شده است (شکل ۱). استان کرمانشاه و به پیروی از آن، سراب نیلوفر، همانند منطقه زاگرس مرکزی و غربی تحت تأثیر سامانه‌های جوی منطقه‌ای غرب ایران واقع می‌شوند. این سامانه‌ها که بر هوا و اقلیم منطقه اثر گذار است، شامل چهار سامانه کم‌فشار سودان و دریای سرخ، پرفشار حرارتی سیبری، پرفشار دینامیکی عربستان و چرخنده‌های مدیترانه‌ای است. نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به این محدوده ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه واقع در شهر کرمانشاه در مختصات $28^{\circ} 7' 47''$ طول شرقی و $24^{\circ} 51' 21''$ عرض شمالی می‌باشد. ایستگاه کرمانشاه طی دوره ۵۹ ساله از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۹ (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ میلادی) دارای میانگین دمایی $14/4$ ، کمینه مطلق -27 و بیشینه مطلق $44/1$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه 439 میلی‌متر می‌باشد.

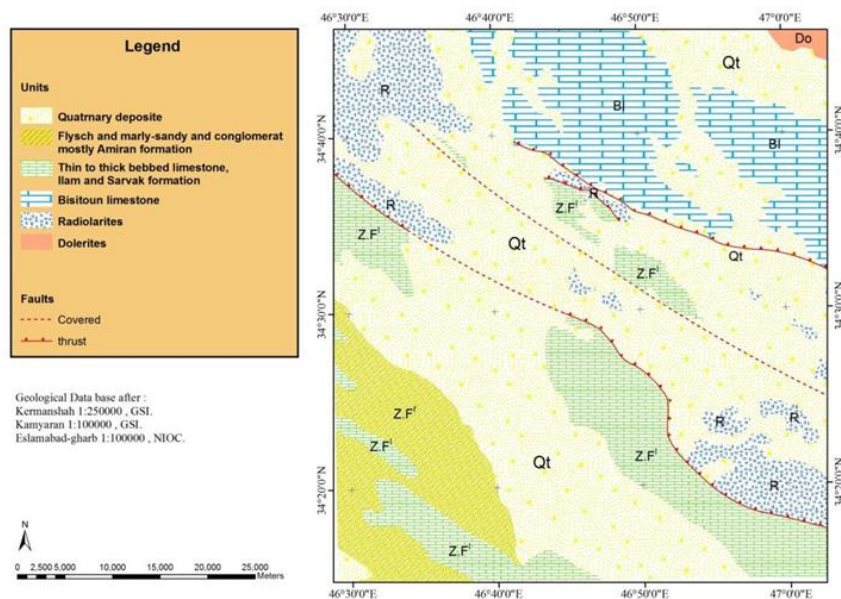


شکل ۱- موقعیت چشمه سراب نیلوفر در استان کرمانشاه

جنوب غربی حوضه را بر آبرفت‌های عهد حاضر رانده است (Nazari و همکاران، ۲۰۱۲).

روش کار: این پژوهش، در دو بخش شامل جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات لازم و سپس محاسبات و تحلیل نتایج صورت گرفت. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و آرشیو مراکز و سازمان‌های ذیربط جمع‌آوری شد. سپس، محاسبات و پردازش لازم به همراه تحلیل نتایج صورت گرفت. به‌علاوه، نقشه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی و توپوگرافی از مطالعات موجود، آرشیو شرکت آب منطقه‌ای و نیز پژوهش Fotovat و همکاران (۲۰۱۸) به‌دست آمد.

سراب نیلوفر، چشمه‌ای کارستی گسلی است که از دامنه شمالی آهک‌های کوه کوماجار ظاهر شده است. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی محدوده سراب نیلوفر و شمالی کلی زمین‌شناسی منطقه و حوضه اطراف آن به‌همراه ساختارهای زمین‌شناسی، در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، محدوده چشمه سراب نیلوفر در مرز بین آهک‌های سازند سروک و ایلام و آبرفت‌های دوران چهارم که سراسر دشت کرمانشاه را در کنار سراب پوشانده است، واقع شده است. علاوه بر این، سراب بر روی یک گسل رورانده قرار دارد که در سرتاسر منطقه در بالادست و پایین‌دست ادامه داشته و توده‌های آهکی سمت



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی استان کرمانشاه و محدوده مورد مطالعه (اقتباس از Fotovat و همکاران، ۲۰۱۸)

آبدهی ماهانه سراب نیلوفر، تجزیه و تحلیل‌های لازم صورت گرفته است. شکل ۳، تغییرات آبدهی ماهانه سراب نیلوفر را طی دوره آماری ۱۳۴۸ الی ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. همچنین، این شکل نشان می‌دهد که دبی چشمه تا سال ۱۳۸۷ به صورت دائمی بوده است ولی از سال ۱۳۸۷ به بعد به صورت فصلی خشک و لذا، به چشمه‌های فصلی تبدیل شده است.

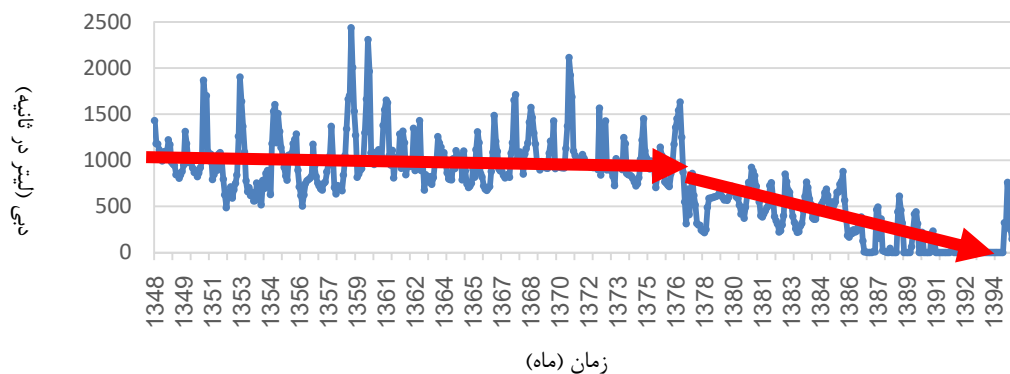
روش تعیین دوره‌های تر و خشک با استفاده از میانگین متحرک: میانگین متحرک روشی است که برای حذف نوسانات جزئی و تعیین روندهای درازمدت استفاده می‌شود (Fleig و همکاران، ۲۰۰۶). این روش، برای تشخیص و تعیین دوره‌های تر و خشک و با استفاده از آمار بارندگی سالانه استفاده می‌شود. در هیدرولوژی و هیدرومتئورولوژی میانگین متحرک ساده و برای سری زمانی به کار گرفته می‌شود. میانگین متحرک، شامل میانگین هر دسته از اطلاعات سری زمانی است که به طور متوالی پشت سر هم قرار گرفته‌اند و یا به بیانی دیگر، میانگین دسته‌ای از رخدادهایی است که به طور متوالی روی داده‌اند. با این وصف، میانگین متحرک نوعی فیلتر است که موجب حذف نوسانات مقطعی شده و روند کلی را بارز می‌کند. محاسبه میانگین متحرک از یک سری زمانی که از تعداد M رخداد تشکیل شده است، با میانگین‌گیری از n رخداد برای هر میانگین از رابطه

آمار و اطلاعات مورد استفاده: آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل، آمار آبدهی چشمه و بارندگی منطقه است. بدین منظور، داده‌های هیدرومتری چشمه سراب نیلوفر از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. برای بارندگی، از آمار بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به سراب نیلوفر، استفاده شد. در این پژوهش، ابتدا هیدروگراف ماهانه چشمه طی دوره آماری که اندازه‌گیری آبدهی چشمه صورت گرفته است، مورد بررسی قرار گرفت. سپس، برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و دو روش شامل شاخص بارش استاندارد^۱ (SPI) و میانگین متحرک مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

آمار آبدهی سراب نیلوفر: آمار از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه اخذ و استفاده شده است. آبدهی چشمه سراب نیلوفر از سال ۱۳۴۸ به طور ماهانه اندازه‌گیری و گزارش شده است. اگر چه برای تحلیل بارش رواناب در شرایط مختلف فصلی و بارش نیاز به هیدروگراف ساعتی این چشمه نیز می‌باشد، ولی این آمار از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه به دست نیامد. با این وصف، در این پژوهش، بر اساس آمار

² Standard Precipitation Index

رخدادها حذف شود. برای بررسی دوره‌های خشکسالی و ترسالی محدوده سراب نیلوفر با استفاده از روش میانگین متحرک، مقادیر بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه استفاده شد. سپس، میانگین متحرک سه، پنج و هفت ساله استفاده شد. جدول ۱، مقادیر بارندگی ماهانه و سالانه و شکل ۴ میانگین متحرک سه، پنج و هفت بارندگی سالانه این ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، در نمودار میانگین متحرک پنج ساله نوسانات سالانه حذف شده است. بنابراین، میانگین متحرک پنج ساله برای تعیین دوره‌های خشک و تر انتخاب شد.



شکل ۳- آبدهی ماهانه سراب نیلوفر در دوره آماری ۱۳۴۸ الی ۱۳۹۵

شاخص، کسری بارش را برای مقیاس‌های زمانی چند-گانه (سه، شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) محاسبه می‌کند. در دوره خشکسالی، شرایط رطوبتی خاک در برابر ناهنجاری‌های بارش در مقیاس زمانی نسبتاً کوتاه واکنش نشان داده، در حالی که آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و منابع ذخیره و از جمله، چشمه‌ها در یک دوره طولانی‌تر به این ناهنجاری‌ها واکنش نشان می‌دهند. شاخص SPI به‌وسیله McKee و همکاران (۱۹۹۳) بر اساس احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی مشخص، تعریف شد. این شاخص، بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی معین و سپس، تقسیم آن بر انحراف معیار به‌دست می‌آید.

$$SPI = \frac{R_{ik} - \bar{R}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (3)$$

که در آن، \bar{R}_k و S_k به‌ترتیب میانگین رخدادهای بارش و انحراف معیار آن‌ها برای دوره مبنای k است.

ریاضی زیر محاسبه می‌شود.

$$y_k = \sum_{i=k}^{k+n-1} x_i \quad (1)$$

که در آن، y_k میانگین دسته k ام با تعداد n رخداد x_i است. به‌عنوان مثال، اگر تعداد سال آماری بارندگی ۱۵ سال و تعداد رخداد برای مشارکت در هر دسته سه رخداد باشد، تعداد آماره میانگین حاصل به تعداد ۱۳ بوده، برای محاسبه میانگین متحرک اولین دسته سه‌تایی $k=1, n=1$ و i به‌ترتیب یک، دو و سه بوده و لذا:

$$y_1 = \frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3) \quad (2)$$

انتخاب تعداد دسته‌ها در محاسبه میانگین متحرک طوری انتخاب می‌شود که نوسانات جزئی

تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI): برای تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و شدت آن‌ها از شاخص SPI استفاده شد. شاخص بارش استاندارد شده از برازش توزیع گاما بر مقادیر بارندگی سالانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه به‌دست می‌آید. خشکسالی حادثه طبیعی مخاطره‌آمیزی است که حاصل کاهش میزان بارندگی نسبت به مقدار بارش نرمال هست. هنگامی که این پدیده طی یک فصل و یا یک دوره زمانی طولانی‌تر رخ دهد، مقدار بارندگی برای تامین نیاز فعالیت‌های انسانی و زیست‌محیطی دچار کمبود می‌شود (WMO, ۲۰۱۲).

شاخص بارش استاندارد شده بر پایه این حقیقت است که کسری بارش بر بخش‌های مختلف از جمله آب‌های زیرزمینی، ذخیره منابع، رطوبت خاک، پوشش برف و جریان‌های سطحی تأثیرات متفاوتی دارد. این

جدول ۱- بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه کرمانشاه

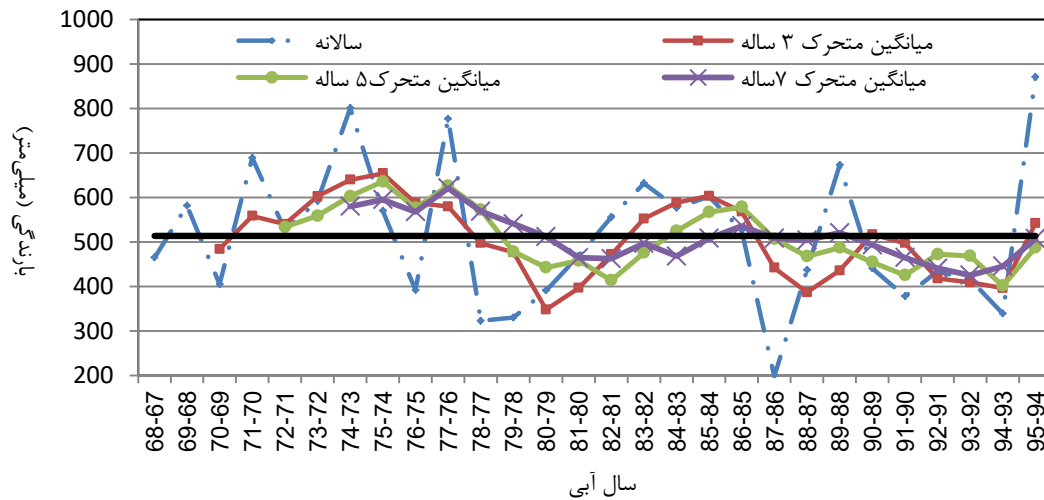
بارندگی (میلی متر)													سال آبی
سالیانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۴۶۵	.	.	.	.	۳۴/۷	۴۰/۸	۱۳۳/۶	۵۱/۶	۸۰	۶۶	۳۲/۷	۲۵/۴	۶۷-۶۸
۵۸۲	.	.	.	.	۳۴/۸	۳۳/۱	۶۵	۱۰۷	۷۶/۵	۱۸۱/۲	۸۴/۸	.	۶۸-۶۹
۴۰۵	.	.	.	۰/۶	۰/۷	۷۰/۴	۱۶۴/۵	۵۰/۱	۹۱/۳	۲/۲	۲۵/۵	.	۶۹-۷۰
۶۸۹	.	.	.	۱۲/۴	۸۵/۲	۷۷	۱۵۹/۲	۶۶/۶	۷۹	۱۵۴/۹	۵/۷	۴۹/۴	۷۰-۷۱
۵۲۷	.	.	.	۶/۶	۱۲۱/۷	۴۹/۲	۹۶/۸	۲۱/۶	۹۵/۸	۹۶/۱	۳۸/۷	.	۷۱-۷۲
۵۹۲	۰/۴	.	.	.	۴۴/۹	۳۱/۱	۱۲۸/۳	۵۸/۲	۹۸/۵	۱۰۲/۳	۱۲۷/۹	.	۷۲-۷۳
۸۰۱	.	.	.	۵۱/۴	۵۹/۹	۹۰/۳	۸۲/۵	۵۲/۹	۸۰/۴	۱۵۳/۱	۱۳۵/۶	۹۴/۵	۷۳-۷۴
۵۷۰	.	.	۴	۰/۸	۳۳	۱۶۳/۶	۱۶۰/۵	۸۰	۸۷/۱	۱۰/۶	۳۰/۳	.	۷۴-۷۵
۳۹۲	.	.	۰/۴	۵/۸	۲۰/۲	۸۶/۹	۱۰۲/۹	۳۵/۳	۷۹/۸	۵۴/۷	۳/۴	۲/۲	۷۵-۷۶
۷۷۷	۰/۶	۱/۶	.	۱۰/۱	۵۹/۳	۸۲	۱۲۸/۱	۱۰۹	۹۰/۸	۱۴۳	۱۲۱/۷	۳۰/۵	۷۶-۷۷
۳۲۳	.	۰/۲	۵	.	۲۱/۵	۳۸/۱	۵۵/۷	۸۰/۵	۷۱/۱	.	۵۰/۹	.	۷۷-۷۸
۳۳۰	.	.	۰/۴	.	۲۶	۷۳/۲	۱۰/۶	۶۸/۴	۷۶/۷	۳۶/۱	۳۸/۴	.	۷۸-۷۹
۳۹۱	۳/۴	.	۳	.	۱۰/۷	۶۸/۴	۵۰/۸	۸۰/۶	۷۹/۳	۶۷/۱	۱۱/۴	۱۶	۷۹-۸۰
۴۶۹	.	.	.	.	۱۱	۱۷۵/۱	۴۵/۶	۸۴/۵	۴۷/۲	۷۹/۴	۱۷/۸	۸/۴	۸۰-۸۱
۵۵۶	.	.	.	۱۷/۶	۴۰/۵	۵۸/۹	۵۵/۸	۱۴۷/۷	۳۷/۹	۱۳۵/۹	۶۱/۶	۱/۲	۸۱-۸۲
۶۳۲	.	.	۰/۲	۲/۶	۸۵/۷	۱۳۹/۷	۹/۴	۸۹/۶	۹/۱	۱۵۶/۵	۵۷/۴	۱/۳	۸۲-۸۳
۵۷۷	.	.	.	۵/۳	۴۶/۴	۱۶/۴	۲۱۶/۸	۱۰۷/۷	۷۷/۲	۳۶/۴	۷۱/۱	.	۸۳-۸۴
۶۰۲	.	.	.	.	۶۸	۱۰۳/۲	۲۰/۵	۲۴۵/۵	۹۷/۲	۲۶/۹	۴۰/۵	۰/۱	۸۴-۸۵
۵۲۶	.	.	.	۲/۴	۷۲/۲	۱۲۶/۴	۴۶/۳	۶۴/۳	۶۰/۲	۲/۱	۱۳۹	۱۳	۸۵-۸۶
۱۹۸	۶/۸	.	.	۵/۰	۱۰/۲	۳	۴۷/۷	۵۷/۲	۱۰/۵	۵۳/۷	۴/۲	۴/۱	۸۶-۸۷
۴۳۷	۱۳/۹	.	.	۰/۳	۱۵/۹	۷۲/۳	۴۵/۴	۶۰/۹	۵۱	۳۲/۹	۱۴۳/۹	۰/۴	۸۷-۸۸
۶۷۳	.	.	.	۰/۴	۱۱۴/۷	۸۸/۳	۸۶/۹	۹۲/۵	۴۷/۱	۵۱/۴	۱۸۸/۹	۲/۵	۸۸-۸۹
۴۴۱	.	.	.	۰/۱	۱۰۲/۴	۹۷/۷	۳۱/۹	۱۰۱/۲	۵۷/۹	۵۶/۶	۹/۵	۱/۳	۸۹-۹۰
۳۷۸	.	.	.	.	۱۲/۲	۶۶/۲	۴۹/۴	۱۳۶/۶	۲۱/۱	۶/۳	۸۶/۴	.	۹۰-۹۱
۴۳۴	.	.	.	.	۶۳/۷	۳۱/۶	۱۶/۲	۹۴/۸	۲۳/۶	۸۹	۱۰۸/۴	۶/۷	۹۱-۹۲
۴۱۶	.	.	.	۴/۷	۱۰/۵	۱۷/۷	۷۸/۲	۴۵/۶	۲۸/۳	۹۱/۶	۱۳۹/۹	.	۹۲-۹۳
۳۳۹	۳/۹	.	.	۰/۶	۱۳/۳	۵۷/۶	۴۹/۸	۳۲/۴	۱۸/۷	۵۳/۷	۵۳/۴	۵۵/۲	۹۳-۹۴
۸۷۱	.	.	.	.	۴۹/۸	۱۹۲/۹	۹۴/۱	۸۹/۹	۵۷/۸	۶۸/۶	۳۱۵	۳/۳	۹۴-۹۵
۵۱۴	۱/۱	۰/۱	۰/۵	۴/۴	۴۵/۳	۷۶/۲	۷۹/۷	۸۲/۶	۶۴/۷	۷۱/۷	۷۶/۶	۱۱/۷	میانگین
۸۷۱	۱۳/۹	۱/۶	۵	۵۱/۴	۱۲۱/۷	۱۹۲/۹	۲۱۶/۸	۲۴۵/۵	۹۸/۵	۱۸۱/۲	۳۱۵	۹۴/۵	بیشینه
۱۹۸	.	.	.	.	۰/۷	۳	۹/۴	۲۱/۶	۱۰/۵	.	۳/۴	.	کمینه
۱۸۱	۴/۶	.	.	۱/۵	۳۸/۷	۵۳/۲	۲۵/۴	۵۸/۶	۲۵/۴	۲۹/۵	۹۰/۰	۱۶/۲	انحراف معیار

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (۵)$$

که در آن‌ها، x_i مقادیر برآورده شده به‌عنوان تابع و y_i مقادیر مشاهده‌ای یا متغیر و n تعداد مشاهدات است. در این روابط، مقدار RMSE هرچه کوچک‌تر و به سمت صفر میل کند، دقت برآورد بیشتر و بالعکس و مقدار مربع ضریب همبستگی هر چه به یک نزدیک‌تر شود، نشان از دقت بیشتر در برآوردها است.

معیارهای آماری مورد استفاده در ارزیابی روابط همبستگی: برای ارزیابی و واسنجی مدل‌ها از دو معیار آماری استفاده شد. این دو معیار، شامل مربع میانگین ریشه خطاها (RMSE) و دیگری مربع ضریب همبستگی (R^2) است. روابط این دو به شرح زیر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (۴)$$



شکل ۴- نوسانات بارندگی سالانه و میانگین متحرک سه تا هفت ساله بارندگی سالانه

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی هواشناسی بر اساس SPI به وسیله McKee و همکاران (۱۹۹۳، ۱۹۹۵)

مقدار SPI	۲ و بیشتر	۱/۵- ۱/۹۹	۱- ۱/۴۹	-۰/۹۹ - -۰/۹۹	-۱/۰- -۱/۴۹	-۱/۵- -۱/۹۹	۲- و کمتر
وضعیت	تر سالی	تر سالی	متوسط	نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خیلی شدید

نتایج و بحث

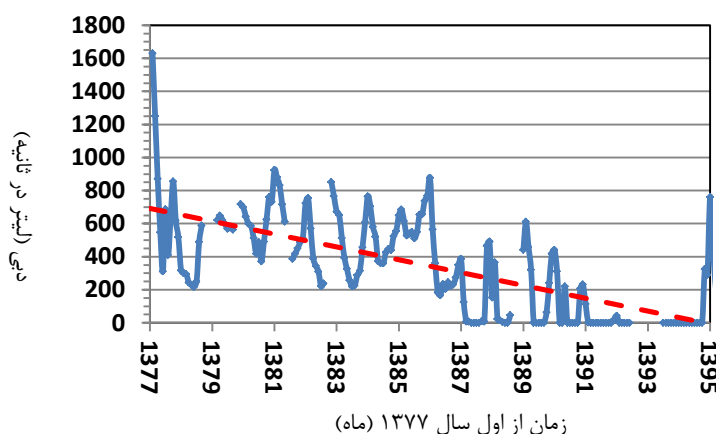
بررسی نوسانات آبدهی در هیدروگراف چشمه:

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، سراب نیلوفر از بدو دوره آماری دارای نوساناتی با روندی نسبتاً ثابت تا اوایل سال ۱۳۷۷ است، ولی از سال ۱۳۷۷ به بعد روند کاهشی به خود گرفته، به طوری که از سال ۱۳۸۷ به بعد حتی در برخی ماه‌ها دبی چشمه به صفر رسیده، خشکیده است. بنابراین، از سال ۱۳۷۷ به بعد، چشمه شرایطی غیرطبیعی به خود گرفته است. با این وصف، روند نوسانات دبی در هیدروگراف ماهانه چشمه شامل دو بخش یادشده است. جدول ۳، پارامترهای آماری دبی را طی این دو دوره نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، در بخش اول، میانگین دبی ماهانه سراب طی ۲۹ سال دوره اول ۱۰۱۱ لیتر در ثانیه محاسبه شده است، در حالی که در دوره دوم که یک دوره ۱۹ ساله است، میانگین دبی ۳۳۷ لیتر در ثانیه به دست آمده است. بیشینه و کمینه دبی ماهانه در دوره اول به ترتیب ۲۳۴۵ لیتر در ثانیه در اردیبهشت ۱۳۵۹ و ۴۸۷ لیتر در ثانیه در تیر ماه ۱۳۵۲ است. همچنین، بیشینه دبی در دوره دوم ۱۶۳۰ لیتر در ثانیه در فروردین ۱۳۷۷ بوده ولی کمینه آن به دلیل خشکیدگی چشمه در خیلی از

سال‌ها به صفر رسیده است. اگر ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۷۷ از این دوره جدا و به دوره اول اضافه شود، مقدار بیشینه دبی افت زیادتری خواهد داشت. شایان ذکر است که رقم بیشینه دبی در این دوره نیز ناشی از بارندگی‌های سال ۱۳۷۶ و اولین ماه دوره دوم بوده است که با صرف نظر کردن از آن دو، در این دوره، بیشینه دبی دوره دوم به زیر ۱۰۰۰ لیتر در ثانیه می‌رسد که کمتر از ۴۰ درصد دبی بیشینه دوره اول است. بنابراین، بر اساس نتایج جدول ۳، رژیم آبدهی چشمه در دوره دوم نسبت به دوره اول دچار تغییرات زیادی شده است. به طوری که در طول ۲۹ سال اول دبی ماهانه چشمه کمتر از ۴۸۷ لیتر در ثانیه مشاهده نشده است. ولی در دوره دوم، در ماه‌های خشک سال و به خصوص از سال ۱۳۸۷ به بعد، به صفر رسیده است. شکل ۵، آبدهی ماهانه سراب نیلوفر در دوره آماری ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. شکل ۵ بیانگر این است که آبدهی چشمه طی این مدت، روند کاهشی با شیب زیادی را تجربه کرده است و با تبدیل شدن به چشمه‌ای فصلی نه تنها آبدهی آن در فصل‌های خشک سال به صفر رسیده است، بلکه آبدهی آن طی ماه‌های تر سال نیز کاهش چشمگیر یافته است.

جدول ۳- پارامترهای آماری دبی ماهانه (لیتر در ثانیه) سراب نیلوفر طی دوره ۱۳۴۸ الی ۱۳۹۵

پارامتر	کل دوره ۱۳۴۸ الی ۱۳۹۵	دوره اول ۱۳۴۸ الی ۱۳۷۶	دوره دوم ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۵
میانگین	۷۶۷	۱۰۱۱	۳۳۷
خطای استاندارد	۱۹	۱۶	۲۱
میانه	۸۲۱	۹۴۶	۳۱۹
مد	۰	۹۱۰	۰
انحراف معیار	۴۳۷	۲۹۳	۲۹۶
واریانس	۱۹۱۴۴۳	۸۴۰۴۴	۸۷۶۳۵
چولگی	۰,۱۳	۱,۵	۰,۶۶
دامنه	۲۴۳۵	۱۹۴۸	۱۶۳۰
کمینه	۰	۴۸۷	۰
بیشینه	۲۴۳۵	۲۴۳۵	۱۶۳۰
تعداد نمونه	۵۳۶	۳۴۲	۱۹۴



شکل ۵- نوسانات آبدهی ماهانه سراب نیلوفر و روند کاهشی آن در دوره آماری ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۵

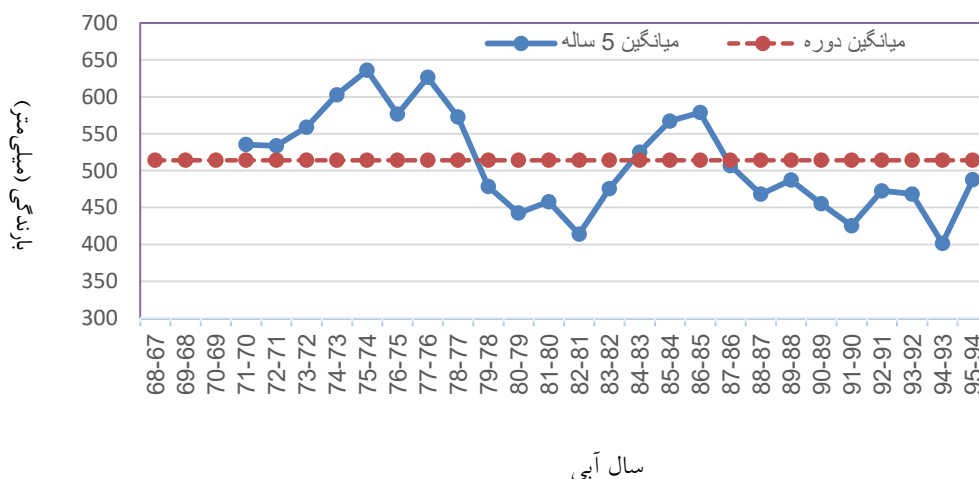
مقیاس ۱۲ ماهه شاخص SPI و میانگین متحرک بارندگی سالانه استفاده شد.

نتایج میانگین متحرک در تعیین دوره‌های تر و خشک: بر اساس نتایج روند تغییرات بارندگی در نمودار میانگین متحرک در شکل ۴، میانگین متحرک دوره‌های سه، پنج و هفت ساله نشان داد که از دوره پنج ساله به بعد منحنی فاقد نوسانات مقطعی و جزئی است و لذا برای تحلیل روند، از میانگین متحرک پنج ساله استفاده شد. شکل ۶، میانگین متحرک بارندگی سالانه را برای ایستگاه شاخص (سینوپتیک کرمانشاه) نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، چهار دوره ترسالی و خشکسالی از ابتدای دوره آماری

بررسی تقارن و وضعیت خشکسالی‌ها با آبدهی چشمه سراب نیلوفر: همان‌طور که در روش پژوهش ذکر شد، رخداد‌های خشکسالی بر اساس دو روش شامل روش میانگین متحرک و روش شاخص SPI مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این رخداد‌ها، پایه‌های زمانی سالانه بر اساس شاخص‌های یادشده برای بررسی وضعیت خشکسالی استفاده شد. شایان ذکر است که علت انتخاب مقیاس پایه زمانی سالانه بدین خاطر است که اثر کمبود بارش بر منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، با تأخیر زمانی همراه است و لذا، کاهش ماهانه بارش ممکن است، اثرات خود را بر منابع آب به‌وضوح نشان ندهد. بنابراین، از

این وصف، منطقه با یک دوره ترسالی هفت ساله، یک دوره خشکسالی پنج ساله، یک دوره جدید ترسالی سه ساله و سپس، دوره خشکسالی نه ساله (تداوم طولانی تر از ماقبل) مواجه شده است. همچنین، شکل ۶ نشان می‌دهد که در طول ۱۷ سال اخیر فقط یک دوره ترسالی سه ساله وجود داشته است.

(سال آبی ۶۹-۱۳۶۸) تا پایان دوره (سال آبی ۹۵-۱۳۹۴) رخ داده است. این چهار دوره، شامل دوره ترسالی اول از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۸-۱۳۷۷، دوره خشکسالی اول از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۳-۱۳۸۲، دوره ترسالی دوم از سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۶-۱۳۸۵ و بالاخره دوره خشکسالی دوم از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ الی ۹۵-۱۳۹۴ (پایان دوره آماری) رخ داده است.



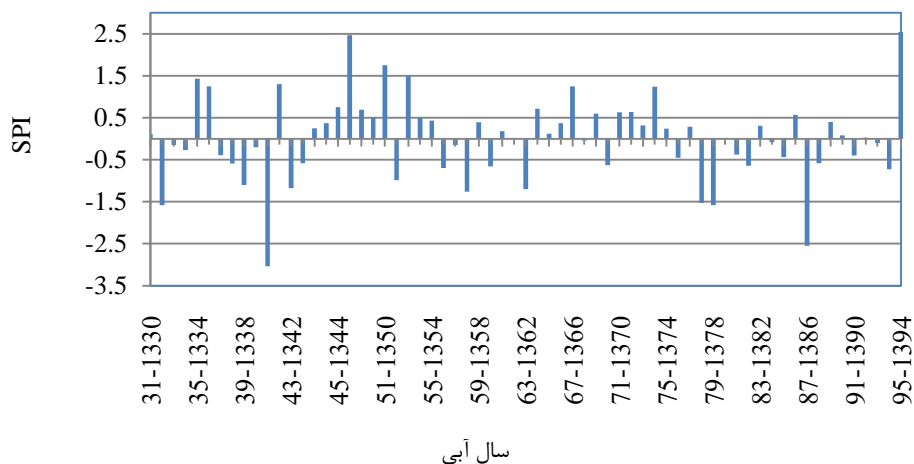
شکل ۶- نمودار میانگین متحرک پنج ساله بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

بررسی رابطه کاهش آبدهی چشمه با خشکسالی‌ها: بررسی و مقایسه نمودارهای شکل‌های ۶ و ۷، بیانگر این است که نتایج تعیین خشکسالی‌ها با استفاده از دو روش شاخص SPI و روش میانگین متحرک، با وجود تفاوت‌های جزئی این دو با همدیگر به‌طور کلی هم‌خوانی دارد. بررسی نتایج این دو روش نشان می‌دهد که اگر چه در مقیاس سالانه تفاوت‌هایی وجود دارد ولی به‌طور کلی دو دوره قابل تفکیک است، به‌طوری‌که دوره اول از سال ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۷ به‌عنوان دوره ترسالی تا نرمال و دوره دوم از سال ۱۳۷۸ الی ۱۳۹۴ به‌طور عمده دوره خشک و وقوع خشکسالی‌های پایپی و متناوب رخ داده است.

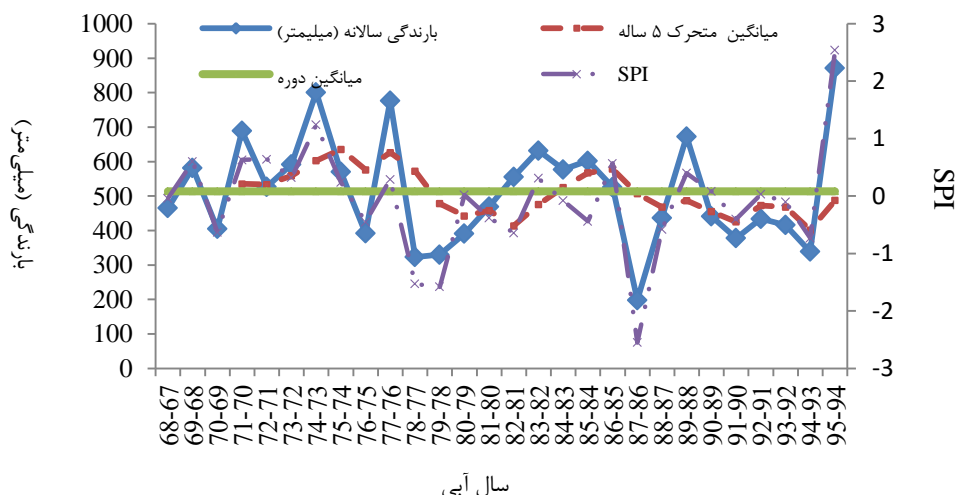
شکل ۸، مقایسه روند تغییرات SPI و میانگین متحرک پنج ساله بارندگی ایستگاه کرمانشاه را طی این دو دوره نشان می‌دهد. بر اساس نتایج میانگین متحرک در دوره دوم به‌جز سال‌های آبی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ بقیه سال‌های ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۴ خشکسالی می‌باشد. ولی مطابق تقسیم‌بندی Mckee و همکاران

تعیین خشکسالی‌ها بر اساس شاخص SPI: شاخص SPI با استفاده از رابطه ۳ و بر اساس مقادیر بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه برای دوره آماری سال ۱۳۳۱ الی ۱۳۹۵ محاسبه شد. شکل ۷، نمودار تغییرات سالانه SPI را در این ایستگاه نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، طی سه دهه از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۶ چشمه با وجود نوسانات فصلی در معرض خشکیدگی قرار نگرفته است. تحلیل‌های موجود بر دوره ۱۳۷۰ تا سال‌های اخیر متمرکز است. بررسی نتایج SPI در شکل ۷ نشان می‌دهد که از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵ تغییرات بارندگی می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. این دو دوره، شامل دوره اول از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۷ و دوره دوم از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ است. بر اساس تقسیم‌بندی Mckee و همکاران (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) دوره اول دارای شرایط مرطوب و یا نرمال بوده ولی دوره دوم خیلی خشک، خشک و نرمال است. با این وصف دوره دوم با تداوم و شدت خشکی بیشتری مواجه است.

نرمال و سپس، سال ۹۴-۱۳۹۳ سال نسبتاً خشکی را تجربه کرده است. (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) بر اساس SPI سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۸۶-۱۳۸۵ همگی نرمال و سپس، سال ۸۷-۱۳۸۶ خیلی خشک و متعاقب آن تا سال آبی ۹۳-۱۳۹۲



شکل ۷- نمودار SPI سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره آماری ۱۹۸۹ الی ۲۰۱۵



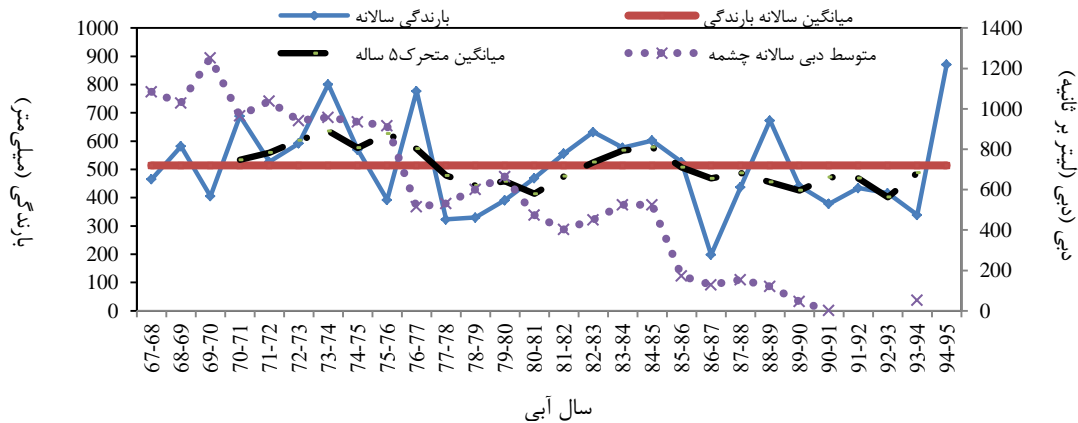
شکل ۸- مقایسه روند تغییرات SPI و میانگین متحرک بر اساس داده‌های بارش ایستگاه کرمانشاه

یافته است، در دوره ترسالی جدید ترمیم نیافته است. به بیانی دیگر، میزان کاهش دبی پس از تکرار دوره ترسالی به وضعیت مشابه آن در دوره‌های قبل از خشکسالی برگشته است. این وضعیت نشان می‌دهد که خشکسالی به تنهایی در کاهش دبی مؤثر نبوده است. بنابراین، دبی چشمه با بازگشت ترسالی‌ها متناسب با افزایش بارندگی ازدیاد نیافته و لذا، علاوه بر کاهش بارندگی ناشی از خشکسالی، عواملی دیگری بر آبدهی چشمه تأثیرگذار است. مهمترین عاملی که به جز خشکسالی بر کاهش دبی چشمه تأثیرگذار است، افت سطح آب آبخوان مجاور است که در اثر

روند تغییرات متوسط دبی سالانه سراب نیلوفر، تغییرات بارندگی سالانه و میانگین متحرک پنج ساله بارندگی ایستگاه کرمانشاه در شکل ۹ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۹، از سال ۱۳۷۷ به بعد شیب کاهش دبی چشمه، افزایش و روند نزولی آن با شیب بیشتری نسبت به بارندگی ادامه یافته است. این نمودار نشان می‌دهد که طی سال‌های آبی ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ و نیز ۸۹-۱۳۸۸ که سال‌های نسبتاً مرطوبی بوده‌اند، دبی چشمه همچنان کاهشی است. با این وصف، در شرایط ترسالی‌های واقع شده در دوره مابعد رخداد خشکسالی دبی که در دوره قبل کاهش

خشکسالی به‌عنوان سامانه‌های پایدار معرفی کرده‌اند. ولی با Abedini (۲۰۱۰) که نوسانات سطح ایستابی و آبدهی چشمه در آبخوان‌های کارستی را مستقل از خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و متأثر از رخداد خشکسالی‌های بلندمدت محسوب کرده است، مطابقت بیشتری دارد.

بهره‌برداری بیش از ظرفیت تغذیه ایجاد می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاهش دبی چشمه در اثر همزمانی بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان‌های مجاور و نیز خشکسالی می‌باشد. این نتیجه، با نتیجه‌گیری Daneshvar Vousoughi و همکاران (۲۰۱۱) و Fotovat و Mehrabi (۲۰۰۷) متفاوت است که چشمه‌های کارستی را در مقابل



شکل ۹- روند تغییرات دبی متوسط سالانه سراب نیلوفر، میانگین متحرک و بارندگی سالانه ایستگاه کرمانشاه

مناسی را با هم نشان می‌دهند. هر دو روش، نشان دادند که چهار دوره ترسالی و خشکسالی از ابتدای دوره آماری (سال آبی ۶۹-۱۳۶۸) تا پایان دوره (سال آبی ۹۵-۱۳۹۴) رخ داده است. این چهار دوره شامل دوره ترسالی اول از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۸-۱۳۷۷، دوره خشکسالی اول از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۳-۱۳۸۲، دوره ترسالی دوم از سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۶-۱۳۸۵ و بالاخره دوره خشکسالی دوم از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ الی ۹۵-۱۳۹۴ (پایان دوره آماری) رخ داده است.

نتایج مقایسه کاهش دبی چشمه با دو شاخص SPI و میانگین متحرک نشان می‌دهد که شیب کاهش دبی بیشتر از بارندگی است. به‌علاوه، در شرایط ترسالی‌های به‌وقوع پیوسته مابعد رخداد خشکسالی، دبی کاهش‌یافته متناسب با بارندگی افزایش‌نیافته است. لذا، خشکسالی به تنهایی عامل کاهش دبی چشمه نبوده و به نظر می‌رسد، علاوه‌بر کاهش بارندگی ناشی از خشکسالی، عواملی دیگری بر آبدهی چشمه تأثیرگذار هستند. با این وصف، عامل مهمی که چنین وضعیتی را می‌تواند در کنار خشکسالی ایجاد

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی و تعیین تأثیر خشکسالی بر کاهش دبی چشمه سراب نیلوفر واقع در ضلع غربی دشت کرمانشاه انجام و نتایج متعددی از این پژوهش به‌دست آمده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که طی یک دوره ۴۸ ساله، دبی چشمه سراب نیلوفر افت شدیدی را تجربه کرده است. همچنین، این نتایج نشان داد که متوسط دبی چشمه در طی ۲۹ سال اول دوره یادشده حدود ۱۱۰۰ لیتر بر ثانیه بوده، در صورتی که طی ۱۹ سال بعدی متوسط دبی تنها ۳۳۷ لیتر بر ثانیه مشاهده شده است. به‌علاوه، طی دوره ۲۹ ساله، دامنه نوسانات تابع شرایط فصلی بارش بوده ولی روند کلی سالانه تغییرات خاصی را نشان نداد، در حالی که طی دوره ۱۹ سال اخیر علاوه‌بر نوسانات فصلی روند کاهشی شدیدی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که طی دهه اخیر در برخی فصول سال دبی چشمه به صفر رسیده و چشمه خشک شده است. طی این دوره، بررسی شرایط خشکسالی بر اساس دو روش میانگین متحرک و SPI انجام و نتایج نشان داد که این دو روش انطباق

تأثیرگذار است. مهمترین عامل علاوه بر خشکسالی، در اثر بهره‌برداری بیش از ظرفیت آبخوان می‌تواند رخ دهد. لذا پیشنهاد می‌شود، با بررسی و پژوهش در این مورد و تعیین میزان بهره‌برداری اضافی از آبخوان برای احیای چشمه، مدیریت آبخوان در حد ظرفیت آبخوان تنظیم شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود با افزایش بهره‌وری از آب مصرفی به‌خصوص در بخش کشاورزی، بخشی از برداشت آب از آبخوان مجاور چشمه کاهش داده شود تا شرایط برای احیای آن فراهم شود.

کند، کاهش سطح آب آبخوان‌های مجاور است که با بهره‌برداری بیش از ظرفیت تغذیه، موجب افت سطح آب زیرزمینی شده‌اند. بنابراین، اثر مشترک خشکسالی و بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان موجب کاهش دبی و خشکیدگی فصلی چشمه دائمی شده است.

پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد که در کاهش آبدهی چشمه، علاوه بر خشکسالی، عوامل دیگری نیز

منابع مورد استفاده

1. Abedini, M.H. 2010. The relationship between drought and karstic water resources, a case study: Maharloo Karstic Basin. MSc Thesis, Tehran University, 112 pages.
2. Amit, H., V. Lyakhovsky, A. Katz, A. Starinsky and A. Burg. 2002. Interpretation of spring recession curves. *Ground Water*, 40: 543-551.
3. Beran, M.A. and J.A. Rodier. 1985. Hydrological aspects of drought. UNBSCO-WMO, Studies and Reports in Hydrology, No. 39, UNESCO, Paris, France, 160 pages.
4. Bonacci, O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal*, 38(1): 51-62.
5. Chen, Z., S.E. Grasby and K.G. Osadetz. 2004. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology*, 290: 43-62.
6. Civita, M.V. 2008. An improved method for delineating source protection zones for karst springs based on analysis of recession curve data. *Hydrogeology Journal*, 16(5): 855-869.
7. Daneshvar Vousoughi, F., Y. Dinpashoh and M.T. Aalami. 2011. Effect of drought on groundwater level in the past two decades, case study: Ardebil Plain. *Water and Soil Science*, 21(4): 165-179 (in Persian).
8. Fleig, A.K., L.M. Tallaksen, H. Hisdal and S. Demuth. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 535-552.
9. Fiorillo, F., L. Esposito and F.M. Guadagno. 2007. Analyses and forecast of water resources in an ultra-centenarian spring discharge series from Serino (Southern Italy). *Journal of Hydrology*, 336: 125-138.
10. Fiorillo, F. 2009. Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. *Journal of Hydrology*, 373(3-4): 290-301.
11. Fiorillo, F. and F.M. Guadagno. 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water Resources Management*, 24(9): 1867-1884.
12. Fiorillo, F. and F.M. Guadagno. 2012. Long karst spring discharge time series and droughts occurrence in southern Italy. *Environmental Earth Sciences*, 65(8): 2273-2283.
13. Fiorillo, F. 2014. The recession of spring hydrographs, focused on karst aquifers. *Water Resources Management*, 28: 1781-1805.
14. Fiorillo, F., M. Petitta, E. Preziosi, S. Rusi, L. Esposito and M. Tallini. 2015. Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy). *Environmental Earth Sciences*, 74(1): 153-172.
15. Fleig, A.K., L.M. Tallaksen, H. Hisdal and S. Demuth. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, 10(4): 535-552.
16. Fotovat, M., J. Porhemmat, H. Sedghi and H. Bababzadeh. 2018. Impact of structural geology on integrated water resources modeling improvement, a case study of Garesoo River Basin in Doab-Merek Station, Kermanshah, Iran. *Geosciences*, 106: 103-110.
17. Gatinoni, P. and V. Francani. 2010. Depletion risk assessment of the Nossana Spring (Bergamo, Italy) based on the stochastic modeling recharge. *Hydrogeology Journal*, 18(2): 325-337.
18. Gondwe, B.R.N., G. Merediz-Alonso and P. Bauer-Gottwein. 2011. The influence of conceptual model uncertainty on management decisions for a groundwater-dependent ecosystem in karst. *Hydrology*, 400(2-1): 24-40.
19. Keyantash, J. and J.A. Dracup. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices.

- Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8): 1167-1180.
20. Khoshakhlagh, F., S. BagheriSeadShokri and T. Safarrad. 2015. The analysis of severe droughts influences on karst springs discharge in Kermanshah Province, case study: severe drought of year 1386-87. *Geographic Space Winter*, 14(48): 1-19 (in Persian).
 21. Lashani Zand, M. and S. Gholamrezae. 2011. Investigation of climatic variable and karstic spring in order to urban water resources, a case study: Khoramabad City. *Journal Management System*, 4(15): 61-79 (in Persian).
 22. Lloyd-Hughes, B. and M.A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22: 1571-1592.
 23. Maghsoudi, M., H. Karimi, F. Safari and Z. Charrahi. 2010. Study of karst development using recession coefficient, spring death time and chemical and isotope analysis in Parav-Bistoun Massif (Kermanshah Province, West of Iran). *Physical Geography Research*, 41(69): 51-65 (in Persian).
 24. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179-184.
 25. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January 1995, Dallas, TX, American Meteorological Society, 233-236.
 26. Naseri, N., M. Alijani and N. Nakhie. 2011. Comparison of drought effects on karst hydrogeology on Asmari and Ilam-Sarvak formation in southwest of Izeh. *Iranian Water Research Journal*, 2(6): 35-45 (in Persian).
 27. Negahban, S., S. Bagheri, Z. Payandeh, S. Naderi and P. Shiravand. 2016. The evaluation of discharge regime impressibility of karstic springs from drought occurrence, a case study: karstic springs of Alvand River Basin. *Geography and Environmental Planning*, 27(3): 163-176 (in Persian).
 28. Negi, G.C.S. and V. Joshi. 1996. Geohydrology of springs in a mountain watershed: the need for problem solving research. *Research Communications*, 71(10): 772-776.
 29. Orehova, T. 2004. Comparative estimate of resistance to drought for selected karstic aquifers in Bulgarha. *Journal of Speleology*, 33(1/4): 73-79.
 30. Panda, D.K., A. Mishra and A. Kumar. 2012. Quantification of trends in groundwater levels of Gujarat in western India. *Hydrological Sciences Journal*, 57(7): 1325-1336.
 31. Porhemat, J., T. Razi and S. Rahimibandarabadi. 2015. Investigation on spatio-temporal variability of meteorological drought in southwestern Iran, a case study in Karkheh Basin. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 5(3): 60-79.
 32. Rahmati, M., H.R. Moradi, H. Karimi and K. Jalili. 2015. Investigate the effect of karst development on karstic springs hydrogeology treatment of Kermanshah Province. *Ecohydrology*, 2(2): 163-173 (in Persian).
 33. Rostami, M., M. MohseniSaravi, D. Hesami, M. Rashidpour and H. Salmani. 2014. Evaluation of groundwater quality in Mashhad City, using geostatistical methods in drought and wet periods. *Journal of Applied Hydrology*, 1(1): 49-57.
 34. Ruia, Z., G. Chun-qing, F. Qiu-ju and P. Lin-yan. 2012. International conference on modern hydraulic engineering study on the drought and flood disasters formation mechanism in karst regions of middle Guangxi. *Procedia Engineering*, 28(2012): 277-281.
 35. Smith, B.A. and B.B. Hunt. 2010. A comparison of the 1950s drought of record and the 2009 drought, Barton springs segment of the Edwards Aquifer, central Texas. *Gulf Coast Association of Geological Societies*, 60: 611-622.
 36. Tiwari, P.C. and B. Joshi. 2012. Environmental changes and sustainable development of water resources in the Himalayan headwaters of India. *International Journal of Water Resource Management*, 26(4): 883-907.
 37. Wilhite, D.A. 2000. Drought as a natural hazard. In: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A global assessment*, National Drought Mitigation Center (NDMC), Routledge, London, chapter 1, pages 3-18.
 38. World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-No. 1090, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 16 pages.