

بررسی تاثیر خشک‌سالی بر مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه

* رحیم کاظمی^۱ مسعود گودرزی

۱- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

ra_hkazemi@yahoo.com

چکیده

شناخت رفتار پدیده خشک‌سالی بر میزان مشارکت آب‌های زیر سطحی در جریان رودخانه، پیش‌نیاز مدیریت پدیده خشک‌سالی و بهره‌برداری از منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک است. هدف از این تحقیق تعیین اثر تاخیری بارش بر میزان مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه‌ها به منظور تامین مولفه لازم برای مدیریت منابع آب در مواجهه با پدیده خشک‌سالی است. در این پژوهش، دوره مشترک (۱۳۶۱-۱۳۹۶) برای ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسنجی متناظر در حوضه کارستی کاکارضا در نظر گرفته شد. سپس شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه، محاسبه شد. جریان پایه و شاخص مربوطه در پایه‌های زمانی متناظر، محاسبه و شاخص جریان پایه استاندارد شده، محاسبه شد. روابط شاخص جریان پایه استاندارد شده با شاخص بارش استاندارد شده به روش همبستگی بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص جریان پایه در طول دوره پژوهش برابر با ۰٫۵۲ و حداقل و حداکثر آن نیز به ترتیب برابر با ۰٫۴۶ و ۰٫۵۷ می‌باشد. همچنین، بیشترین تاثیر پدیده خشک‌سالی بر جریان پایه رودخانه‌ها در گام زمانی دوازده ماه می‌باشد که همبستگی با ضریب تبیین ۰٫۸۶/۱۰۰ بین شاخص خشک‌سالی و شاخص جریان پایه استاندارد شده، موید افزایش سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان پایه، با تاخیر دوازده ماه است. حداکثر شاخص خشک‌سالی در سال آبی ۸۱-۸۰ و حداکثر شاخص جریان پایه به عنوان نماینده مشارکت آب‌های زیر سطحی در آب‌های رودخانه، در سال آبی ۸۲-۸۳ و با تاخیر یک ساله نمایان شده است؛ این امر بیانگر این است که در ایام خشک‌سالی، آب‌های زیر زمینی سهم بیشتری در جریان سطحی را تامین می‌کنند. در جمع بندی، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات خشک‌سالی، از رهیافت تعیین تاخیر زمانی بین بارش و جریان پایه برای مدیریت منابع آب حوضه تحت تاثیر خشک‌سالی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ریز گرد ها، شاخص بارش استاندارد شده، آب‌های زیر سطحی، مدیریت حوزه آبخیز

مقدمه

شناخت و تحلیل برهم کنش پدیده‌های هیدرواقليمی مانند: سيل، خشک‌سالی و طوفان‌های گرد و غبار و تحلیل اثرات آن بر منابع آب، منجر به دستیابی به اطلاعاتی برای مدیریت بهینه منابع آب حوضه می‌شود. یکی از دلایل تولید ریزگردها در دوره‌های خشک‌سالی، مدیریت ناپایدار منابع آب در یک منطقه است. به ویژه مناطق که در محدوده کمربند خشک‌سالی قرار دارند و پدیده مذکور می‌تواند با سوء مدیریت‌های آبی تشدید و افزایش چشمگیری داشته باشد. همچنین یکی دیگر از مواردی که شدت وقوع طوفان‌های گرد و غبار را در منطقه تشدید کرده است، عدم توجه به حبابه تالاب‌های بزرگ است (شعاعی، ۱۳۹۵). در دهه گذشته، محققان متعددی موضوع روابط خشک‌سالی، و منابع آب را مورد توجه قرار داده و راه‌کارهای مدیریت اثرات خشک‌سالی را به مدیریت منابع آب، ارجاع داده‌اند. که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. خالدی و همکاران (۱۳۹۸) با رویکرد مدیریت منابع آب در مناطق خشک، از روش برنامه‌ریزی هدف اولویتی، برای مدیریت منابع آب سیستان و با رویکرد مقابله با پدیده ریزگردها و بیابان‌زایی، بهره‌گرفتند و نتایج ایشان،

نشان داد که با حجم آب موجود، علاوه بر تامین نیاز های معمول، امکان تامین آب برای طرح های تثبیت بیولوژیکی ریز گرد ها، به بیش از دو برابر شرایط فعلی افزایش پیدا کرده است. رویکرد مشابهی نیز توسط نوری و همکاران (۱۳۹۸) در تخصیص بهینه منابع آب چاه نیمه سیستان با تأکید بر سناریوی تثبیت ریزگردها و به روش کاربرد الگوریتم ژنتیک، اتخاذ شده است و نتیجه ایشان نیز تاثیر مدیریت بهینه منابع آب در ایجاد شرایط مدیریت بهینه مناطق برداشت مواد ریز دانه و کنترل پدیده گرد و غبار، موثر بوده است. اثرات و پیامد های خشکسالی منجر به ایجاد پدیده ریز گرد ها شده که این پدیده نیز اثرات متعددی بر کیفیت و کمیت منابع آبی دارد. این اثرات توسط رضایی کحخا و همکاران (۱۳۹۷) طی مطالعاتی تحت عنوان بررسی و مدل سازی تاثیر ریزگردها بر کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی مخازن چاه نیمه سیستان) مورد توجه قرار گرفته است. و نتایج ایشان نشان داد که در اثر این پدیده همه پارامترهای آب در مقایسه با نمونه های شاهد دچار افت کیفیت می شوند. یکی از ابزارهای تدوین برنامه های منطبق با مدیریت جامع حوزه ی آبخیز، دسترسی به اطلاعات کامل از منابع حوضه است تا با توجه به این، تدبیرهای لازم برای تدوین برنامه های متعدد مرتبط با مدیریت جامع حوضه اندیشیده شود (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۹). از این رو، شناخت برهم کنش پدیده خشکسالی با منابع آب پایه می تواند، مولفه های لازم برای تدوین برنامه های مدیریت پدیده های حاصل از خشک سالی، از جمله گرد و غبار را مهیا سازد.

پژوهشگران تعاریف متفاوتی برای خشکسالی ارائه کرده اند. Wilhite and Glantz (1985) خشکسالی را به چهار دسته هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی طبقه بندی نموده اند. در همه این تعاریف، خشکسالی یک دوره پیوسته و پایدار که در آن مقدار آب موجود در یک منطقه به حد قابل توجهی کاهش می یابد، بیان می شود. خشکسالی هواشناسی به حالتی از خشکسالی ناشی از کمبود باران اطلاق می شود. ادامه خشکسالی هواشناسی و تداوم آن موجب بروز خشکسالی هیدرولوژیکی می گردد که سطح تراز ذخایر آب های سطحی و زیرزمینی از حد معمول خود پایین تر می آید. از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی، خشکسالی یعنی زمانی که کمبود آب برای نیازهای بشر موجب نابهنجاری های اجتماعی و اقتصادی شود. خشکسالی هواشناسی از منظر تقدم و تاخر وقوع، اولین نوع خشکسالی است که به وقوع می پیوندد و رابطه علت و معلولی با سایر انواع خشکسالی ها مانند خشکسالی هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی و اجتماعی دارد (مساعدی و عیوضی، ۱۳۸۰). خشکسالی هیدرولوژیکی در صورت تداوم خشکسالی هواشناسی پدیدار می شود و از رابطه علت و معلولی آن با خشکسالی هواشناسی، قابل پیش بینی و ردیابی است. این رابطه از بعد مکانی، به مولفه های مختلفی مانند ویژگی های حوضه و نوع استفاده انسان از کاربری ها مرتبط است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۴). خشکسالی هواشناسی و اثرات آن بر منابع آب های زیرزمینی منجر به پدیده های مختلف، اعم از افت آب های زیرزمینی، تغییر کیفیت آب و خاک و فرسایش آبی و خاکی می شود که از منظر لزوم کاهش آثار این پدیده و مدیریت آثار آن، شناخت رفتار و برهم کنش خشکسالی و آب های زیرزمینی حائز اهمیت است (مظفری، ۱۳۸۵؛ نوحه گر و همکاران، ۱۳۹۵). محققان برای پایش خشکسالی و بررسی اثرات آن بر منابع آب و خاک از روش های مختلفی استفاده می کنند. در این میان شاخص بارش استاندارد شده (SPI) یکی از شاخص های مرسوم در این زمینه می باشد. که موارد استفاده متعددی از آن در کشورهای مختلف به ویژه در ایران دیده شده است. این شاخص، قابل استفاده در مقیاس های زمانی متعدد- کوتاه مدت (برای اهداف کشاورزی) و بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی و مکانی، در سطح خرد و کلان می باشد و از سوی دیگر نتایج حاصله از آن، مناسب بودن شاخص را از نظر تشخیص زمان شروع خشکسالی، پایش و پیش بینی آن به اثبات رسانده است (مصباح زاده و سلیمانی ساردو، ۱۳۹۷). این شاخص در پایه های زمانی مختلف، تفاسیر مختلفی دارد که اهم آن عبارتند از پایه های یک ماهه و سه ماهه، بیانگر دوره کوتاه مدت تخمین فصلی بارش و مقیاس شش ماهه، روند متوسط بارندگی و اختلاف در بارش فصلی را نمایندگی می کند. همچنین مقیاس های طولانی مدت نیز دوره های طولانی مدت بارش را نمایان می سازد. در زمینه روابط متقابل خشکسالی و شرایط هیدرولوژیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی، پژوهش های متعددی به انجام رسیده است به نحوی دوستان (۱۳۹۹) در تحقیقی مروری و تحلیلی، تحت عنوان "تحلیلی بر تحقیقات خشکسالی در ایران" پژوهشهای مرتبط با خشکسالی را در محدوده زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار دادند و نتایج ایشان نشان داد که بیشترین پژوهش های انجام شده در خصوص خشکسالی مربوط به حوزه علوم کشاورزی با ۴۱،۲ درصد و سپس مرتبط با علوم جغرافیایی با ۲۹،۳ درصد می باشد. لذا نظر به اهمیت این پژوهش ها در ادامه به تعدادی از آنها که مرتبط با موضوع تحقیق حاضر می باشد، اشاره شده است. روابط بین شاخص های SPI و SDI در سطح

¹ Standardized Precipitation Index (SPI)

² Standardized Discharge Index (SDI)

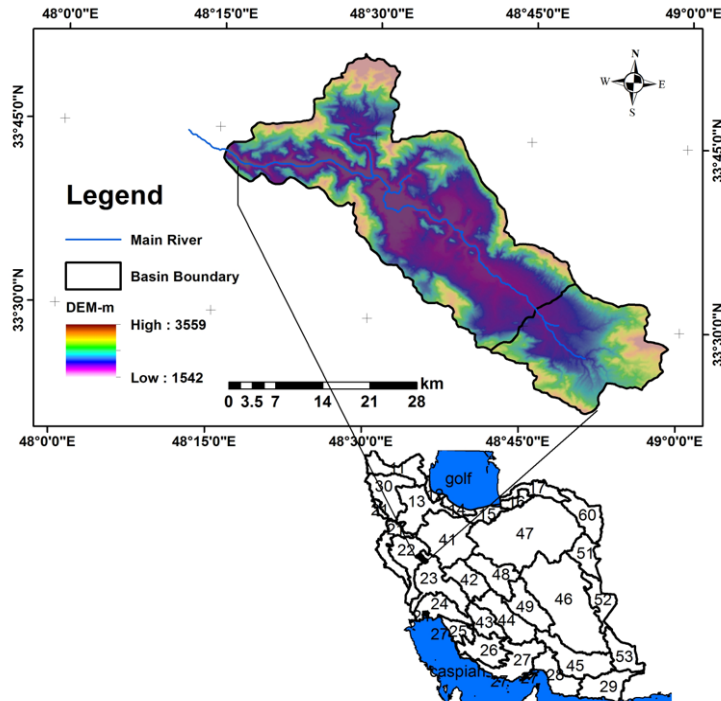
حوضه اترک را توسط مفیدی پور و همکاران (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها، رابطه زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در گام زمانی سه ماهه با بیشترین همبستگی و در سطح ۹۹ درصد نشان داد. فاصله زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه زاینده رود توسط بابایی و همکاران (۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ایشان، فاصله سه تا یازده ماهه بین دو نوع خشک‌سالی را نشان داد. (Mohammed and Scholz (2016) در پژوهشی که بر روی رودخانه مرزی زاب در مرز ایران و عراق به انجام رساند، تاثیر تغییرات اقلیمی را بر روی مشارکت آب‌های زیرزمینی در جریان پایه رودخانه با استفاده از تفکیک و تحلیل جریان پایه به سه روش تفکیک رقومی اکهارد، چاپمن و منحنی تداوم جریان انجام دادند و افزایش قابل توجه مشارکت آب‌های زیرزمینی در پاسخ به کاهش واضح میانگین بارش را گزارش کردند. ارزیابی روند تغییرات در خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی و جریان پایه به روش ارزیابی پاسخ حوضه در ۳۳۸ حوضه در سرتاسر کشور آلمان توسط (Hellwig and Stahl (2018) مورد پژوهش قرار گرفت، ایشان تغییرات جریان پایه را به‌عنوان انعکاسی از مخازن آب زیرزمینی و نماینده خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی در نظر گرفتند. نتایج ایشان نشان داد که محدوده زمانی پاسخ جریان پایه به خشک‌سالی از چند ماه تا چند سال در نوسان است و دلیل این را پراکندگی و ناهمگونی حوضه‌ها از منظر ساختاری و هیدرولوژیکی و اقلیمی عنوان کردند. از نظر (Smakhtin (2001) جریان پایه، عبارت است از بخشی از جریان رودخانه که از منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی تاخیری، مانند مخازن ساحلی رودها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و ذوب برف و یخ، زهکشی خاک کف دره‌ها و زون‌های ساحلی در طی یا بعد از وقایع بارش سرچشمه می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان پایه^۳ است. بر اساس تعریف (Nathan and McMahon (1990) شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به دست می‌آید. جریان پایه به‌طور معمول از سری زمانی داده‌های جریان روزانه رودخانه‌ها و با استفاده از تکنیک‌های تفکیک جریان استخراج می‌شود. جمع‌بندی مرور منابع نشان می‌دهد که در دو دهه گذشته، مطالعات متعددی درخصوص شناخت برهم کنش پدیده خشک‌سالی با مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه، به منظور تامین مولفه‌های اولیه برای مدیریت منابع آب و مدیریت پدیده‌های حاصل از خشک‌سالی، به انجام رسیده است. نظر به اینکه خشک‌سالی اثرات مختلف و با تاخیرهای زمانی مختلف بر منابع آب سطحی و زیر سطحی دارد. از این رو هدف از این تحقیق تعیین اثر تاخیری بارش بر میزان مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه‌ها به منظور تامین مولفه لازم برای مدیریت منابع آب در مواجهه با پدیده خشک‌سالی، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی و موقعیت منطقه تحقیق

منطقه مورد پژوهش، حوضه کاکارضا با مساحتی برابر با ۱۱۴۸ کیلومتر مربع در محل خروجی ایستگاه هیدرومتری با کد ۱۶۹-۲۱ یکی از زیر حوضه‌های حوضه بزرگتر کشکان می‌باشد. رودخانه اصلی این حوضه، رودخانه هرو است و بر اساس روش آمبرژه، حوضه رودخانه کشکان در محدوده اقلیم نیمه‌مرطوب سرد قرار می‌گیرد. طول آبراهه ۸۳ کیلومتر و شیب متوسط رودخانه ۰/۳۴ درصد، طول کل شبکه آبراهه ۵۲۱ کیلومتر با تراکم زهکشی ۰/۴۵ ارتفاع متوسط حوضه ۲۰۲۷ متر از سطح دریا، شیب متوسط حوضه برابر با ۲۴/۱ درصد و دبی متوسط دراز مدت ۱۲/۷ مترمکعب بر ثانیه و بارندگی سالانه ۵۳۴ میلی‌متر است که در محدوده مختصات طول جغرافیایی ۴۳°-۳۳° و عرض جغرافیایی ۱۶°-۴۸° قرار دارد. از نظر توزیع سازندهای زمین‌شناسی، حدود ۵۰ درصد سطح حوضه از سازندهای آهکی، آهک دولومیتی و آهک ماری، و حدود ۱۹ درصد سازندهای آبرفتی و مابقی سازندهای نفوذناپذیر هستند (کاظمی، ۱۳۹۶). شکل (۱).

³ Base Flow Index



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش:

دوره مشترک (۱۳۶۱-۱۳۹۶) برای ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسنجی در نظر گرفته شد. سپس شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه، محاسبه شد. جریان پایه و شاخص مربوطه به روش فیلتر رقومی برگشتی بی-فلو-لینه و هالیک در پایه‌های زمانی متناظر محاسبه شد. شاخص جریان پایه استاندارد شده (SBFI) با اقتباس از روش شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شد. روابط شاخص خشک‌سالی و شاخص جریان پایه استاندارد شده با استفاده از روش همبستگی بررسی و تحلیل شد. فیلتر رقومی برگشتی بی-فلو-لینه و هالیک: الگوریتم معرفی شده به وسیله Lyne and Hollick (1979) با رابطه (۱) معرفی شده و قابلیت عبور سه باره از داده‌های جریان را دارد و چند بار عبور از داده‌های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می‌شود و به استفاده‌کننده، قابلیت انعطاف‌پذیری در جدایش دقیق‌تر دبی پایه را می‌دهد.

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_i - q_{(i-1)}) \frac{1 + \alpha}{2} \quad q_{f(i)} \geq 0 \quad (1)$$

که در آن: $q_{f(i)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی i)؛ $q_{f(i-1)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی $i-1$)؛ α پارامتر فیلتر مرتبط با حوضه؛ $q^{(i)}$ = جریان کل در مرحله زمانی i ؛ $q^{(i-1)}$ = جریان کل در مرحله زمانی $i-1$ ؛

شاخص بارش استاندارد شده (SPI): چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه به صورت P_i معرفی شوند که در آن اندیس i سال آبی و اندیس z ماه مربوط به سال آبی را مشخص کند ($i=1$ برای مهر و $z=12$ برای شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد.

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^J P_{ij} \quad (2)$$

$i=1,2, 3, \dots$ $J=1,2, 3, \dots, 12$ $K=1,2,3,4,5,6$

⁴ Standardized base flow index(SBFI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس ارتفاع بارش تجمعی (R_k) برای دوره مبنای K مربوط به (i) سال آبی به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_k - \bar{R}_k}{S_k} \quad (3)$$

$i=1,2,3, \dots$ $J=1,2,3, \dots, 12$ $K=1,2,3,4,5,6$

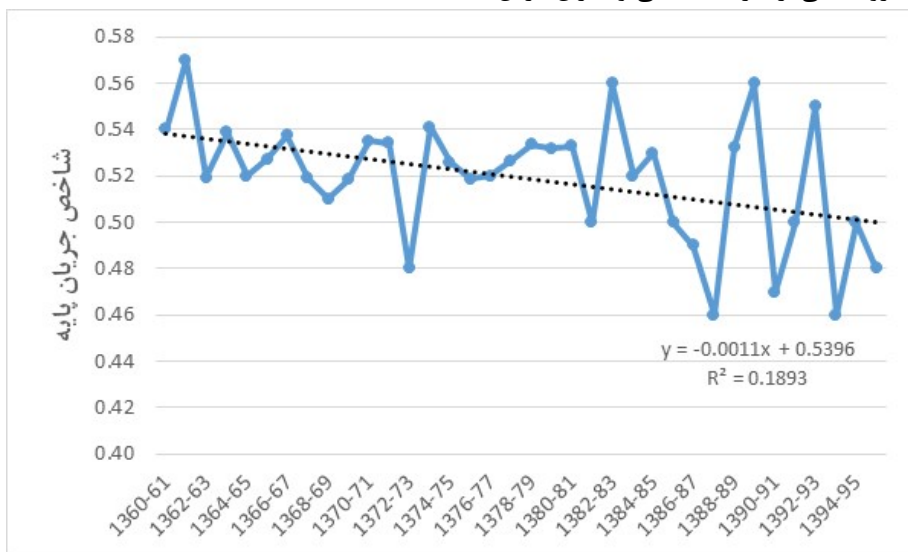
\bar{R}_k و S_k به ترتیب، میانگین ارتفاع بارش تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی برای دوره مبنای (k) می‌باشد. جدول (۱) طبقه‌بندی حالات مختلف خشک‌سالی به روش SPI را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI

حالت	محدوده	وضعیت خشک‌سالی
۱	$SPI \geq 2.0$	ترسالی خیلی شدید
۲	$1.5 \leq SPI < 2.0$	ترسالی شدید
۳	$1.0 \leq SPI < 1.5$	ترسالی متوسط
۴	$-1.0 \leq SPI < 1.0$	خشک‌سالی ضعیف
۵	$-1.5 \leq SPI < -1.0$	خشک‌سالی متوسط
۶	$-2.0 \leq SPI < -1.5$	خشک‌سالی شدید
۷	$SPI < -2.0$	خشک‌سالی خیلی شدید

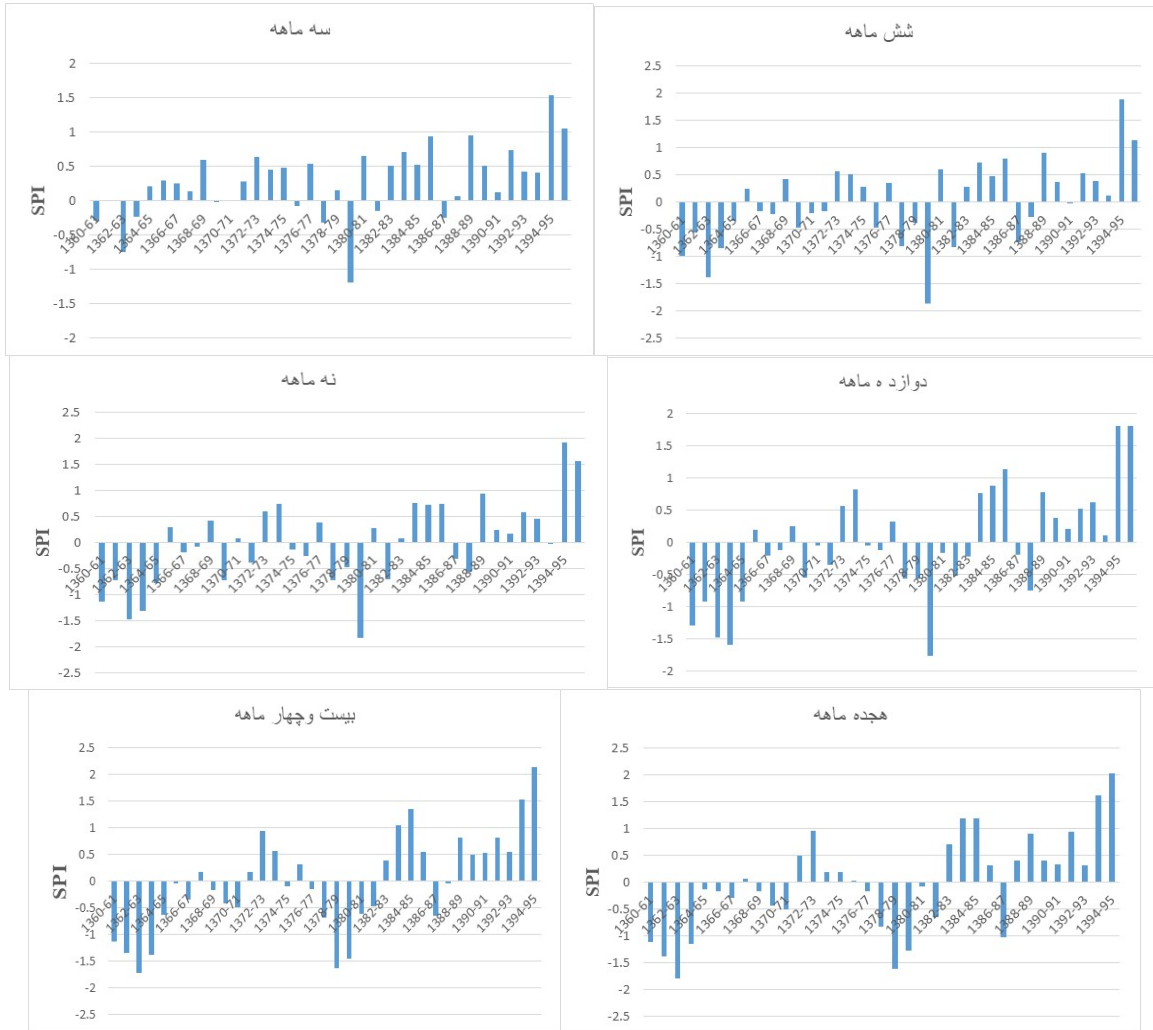
نتایج و بحث

جریان پایه با استفاده از الگوریتم انتخابی در روش تحقیق، تفکیک شد. در فرایند تفکیک، ابتدا کالیبراسیون با استفاده از داده‌های دراز مدت فصل خشک، به عنوان داده‌های اندازه‌گیری انجام شد. و پس از استخراج جریان پایه از کل جریان، سری زمانی جریان پایه تهیه شد که روند تغییرات آن در طول دوره پژوهش، در شکل (۲) ارائه شده است. همانطور که از نمودار مشخص است، میانگین دراز مدت شاخص جریان پایه در طول دوره پژوهش برابر با 0.52 و حداقل و حداکثر آن نیز به ترتیب برابر با 0.46 و 0.57 می‌باشد. این امر نشان‌دهنده این است که میزان مشارکت جریان‌های زیرسطحی در تامین جریان‌های سطحی رودخانه، بیش از 50% درصد است. البته این میزان مشارکت، متناسب با تغییرات اقلیمی، نوساناتی را تجربه کرده است، و همچنین از ابتدای سال آماری مورد نظر تا انتها، یک روند کاهشی با شیب ملایم را شاهد می‌باشیم. میزان فراز و فرود جریان پایه با شاخص مربوطه، به علت دخالت عامل بارش در تامین جریان کلی رودخانه و فراز و فرود ناشی از شرایط اقلیمی و میزان بارش است.



شکل ۲- تغییرات میانگین شاخص جریان پایه در طول دوره مورد پژوهش

نتایج محاسبه شاخص SPI و روند تغییرات آن در طول دوره مورد پژوهش، در پایه‌های زمانی سه، شش، نه، دوازده، هجده و بیست و چهار ماهه در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده است، روندها و فراز و فرودهای این شاخص‌ها مشابه و از هم تبعیت می‌کند ولی میزان آن با اندکی تغییرات مواجه شده است. روند تغییرات شاخص بارش استاندارد شده، متناسب با پایه زمانی مربوطه، قابلیت آشکارسازی خشک‌سالی‌ها را دارد، به نحوی که در نمودار مربوط به پایه زمانی سه‌ماهه مشخص است، این پایه زمانی مربوطه، را به طور واضح، نمایان نکرده است. ولی از پایه زمانی شش‌ماهه تا بیست و چهارماهه، خشک‌سالی در محدوده زمانی سال ۶۴-۶۵ و ۸۰-۸۱ به نحو مناسبی، آشکار شده است. و حد پایین شاخص خشک‌سالی تا محدوده منفی دو، موید این مطلب است.

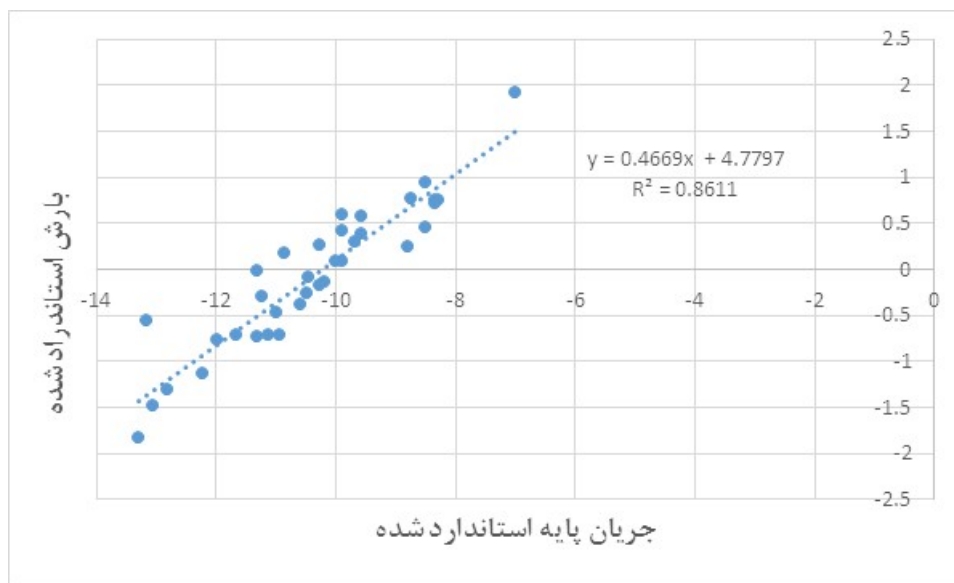


شکل ۳- روند تغییرات شاخص بارش استاندارد شده در پایه‌های زمانی مختلف

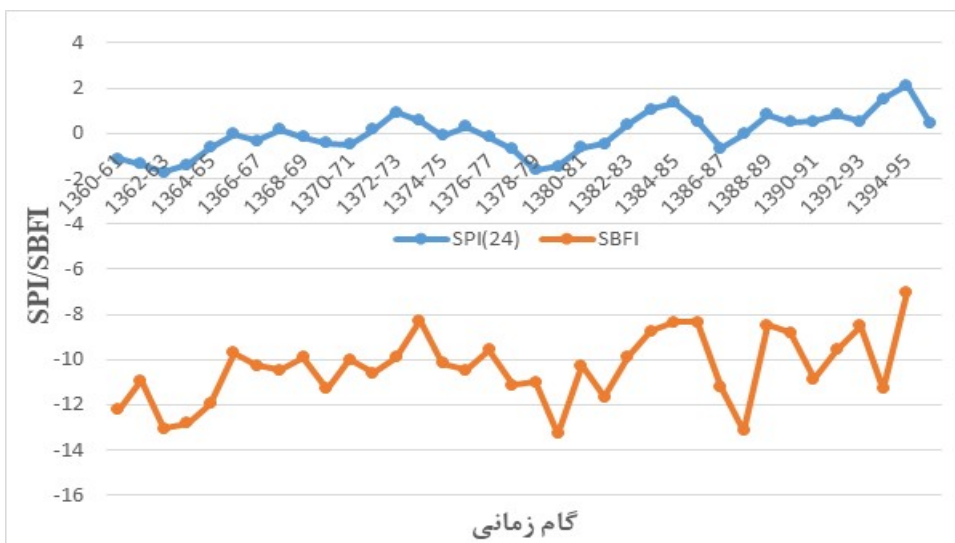
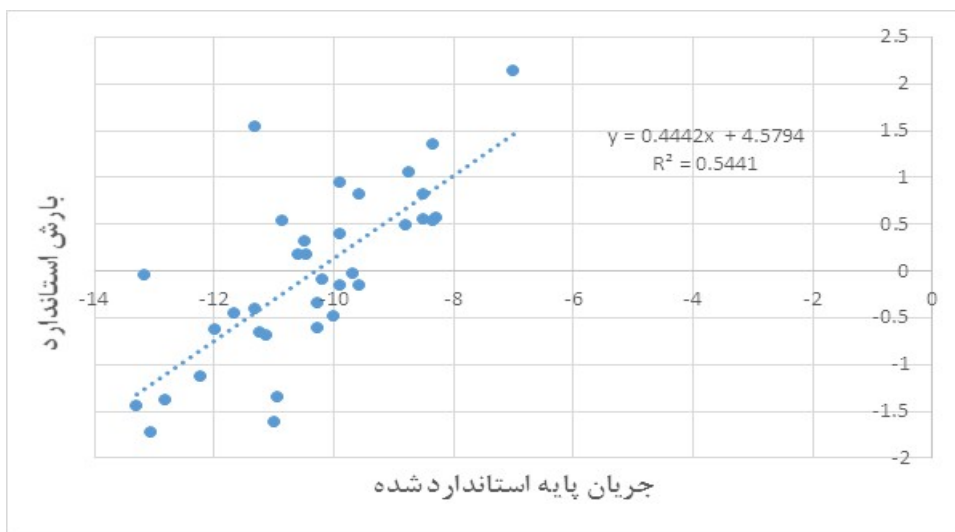
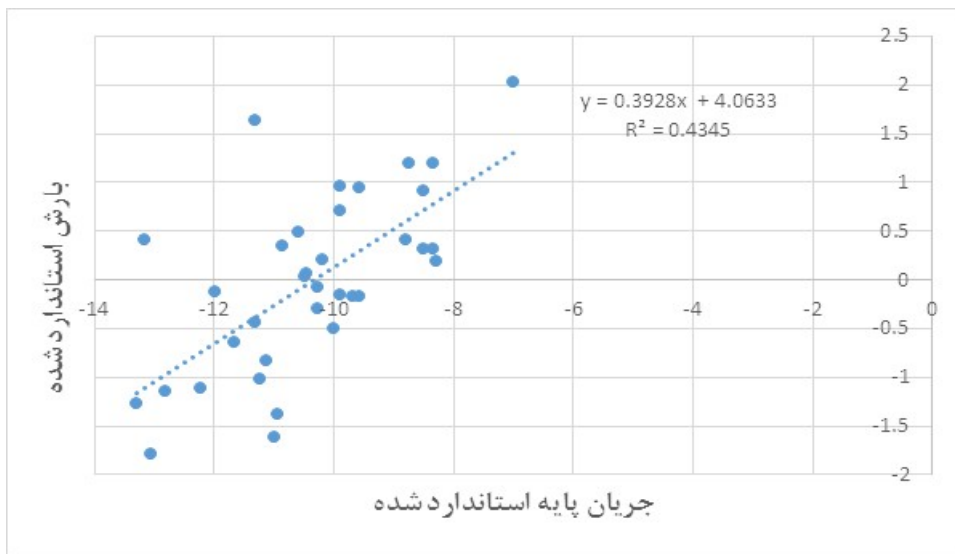
نمونه ای از نتایج همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و شاخص جریان پایه استاندارد شده در پایه های زمانی ۱۲؛۱۸ و ۲۴ ماهه در شکل (۴-الف تا ج) ارائه شده است. به منظور دریافت و تحلیل تاثیر خشک سالی‌ها بر میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی در آب‌های سطحی، سری‌های زمانی جریان پایه، استخراج شده از فرایند تفکیک جریان، استانداردسازی شده و روابط همبستگی شاخص بارش استاندارد شده و شاخص جریان پایه استاندارد شده در پایه‌های زمانی سه، شش، نه، دوازده، هجده و بیست و چهارماهه محاسبه شده است. در این فرایند مشاهده شد که میزان همبستگی در گام زمانی سه و شش ماهه بسیار ضعیف است، که حاکی از عدم وجود رابطه مشخص در این پایه زمانی است، ولی با افزایش گام زمانی، افزایش رابطه همبستگی بین شاخص خشک‌سالی و جریان پایه را مشاهده کردیم که این روند تا گام زمانی دوازده ماهه، افزایشی و پس از آن تا گام زمانی ۲۴ ماهه کاهش می‌یابد. این نمودار نشان‌دهنده این است که بیشترین تاثیر پدیده خشک سالی بر جریان پایه رودخانه‌ها و به تبع آن بر میزان مشارکت جریانات زیرسطحی در جریان

رودخانه، در گام زمانی دوازده ماه می‌باشد که همبستگی با ضریب تبیین ۰/۸۶ موید حداکثر افزایش مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان پایه، با تاخیر دوازده ماه است. حداکثر مشارکت جریان زیر سطحی در جریان رودخانه، در تناظر زمانی و با تاخیر با شاخص های خشکسالی است. حداکثر شاخص خشکسالی در سال آبی ۸۰-۸۱ و حداکثر شاخص جریان پایه به عنوان نماینده مشارکت آب های زیر سطحی در آب های رودخانه، در سال آبی ۸۲-۸۳ و با تاخیر یک ساله نمایان شده است؛ بیانگر این است که در ایام خشکسالی، آب های زیر زمینی، با تاخیر یکساله، سهم بیشتری در جریان سطحی را تامین می کنند.

تاثیر پذیری جریان پایه از خشکسالی‌ها با تاخیر ۱۲ ماه با توجه به اینکه در حوضه مورد پژوهش بیش از ۵۰ درصد سازند ها از کربنات‌ها تشکیل شده و یک حوضه کارستی محسوب می‌شود. قابل تفسیر و تحلیل است. با توجه به ساختار سیفونی منابع آبی موجود در سازندهای کارستیک، بخش قابل ملاحظه‌ای از بارندگی‌ها در این سازندها ذخیره و منجر به کاهش ضریب رواناب حوضه‌ها می‌یابد. با توجه به این ویژگی منابع آب کارستیک، تاثیر وقوع خشکسالی هواشناسی بر جریان پایه رودخانه‌ها، تدریجی بوده و با تاخیر چند ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی اتفاق می افتد. این عدم تطابق زمانی و تاخیر زمانی در شکل (۵) نیز به طریقی، نشان داده شده است. در این شکل روند تغییرات شاخص بارش استاندارد شده و شاخص جریان پایه استاندارد شده را نشان می‌دهد که با گام زمانی تاخیر یک تا دو ساله، یک تطابق روند را شاهد هستیم و این مطلب موید رفتار همبستگی بین بارش و جریان پایه، و تاخیر زمانی در تاثیر خشک سالی بر جریان پایه است. و مفهوم آن این است که تاثیرپذیری جریان پایه در این حوضه با تاخیر حداقل یک ساله، منطبق با روند تغییرات بارش است.



شکل ۴-الف - رابطه شاخص بارش استاندارد شده و شاخص جریان پایه استاندارد شده در گام زمانی ۱۲ ماهه



نتیجه گیری و پیشنهادات

در جمع بندی نتایج بررسی ارتباط بین شاخص خشک سالی و شاخص مربوط به جریان های زیرسطحی، قابل توجه این که، نتایج تحقیقات در خصوص تاثیر خشک سالی بر آب های زیرزمینی و مشارکت آن ها در جریان های سطحی، بازه چندماهه تا چندساله را برای این اثرگذاری گزارش کرده اند. از جمله مطالعات (Vicente et al (2005 در اسپانیا بازه ۷ تا ۱۰ ماهه و مطالعات (Hellwig and Stahl (2018، بازه چند ماه تا چند سال را گزارش کرده اند. تاخیر ۱۲ ماهه تاثیر خشک سالی بر منابع آب پایه در حوضه مورد پژوهش، در تطابق با نتایج گزارش شده در تحقیقات مورد اشاره در فوق است، با این تفاوت که به دلیل ماهیت عوامل تاثیرگذار ثابت (مولفه های هندسی، زمین شناسی و خاک) و متغیر (مولفه های هیدرولوژیکی و اقلیمی) موثر بر جریان های زیرسطحی، بازه زمانی تاثیرگذاری در هر حوضه، متناسب با شرایط فیزیکی و هیدرواقلمی حاکم بر آن متفاوت است و باید به طور مجزا مورد پژوهش قرار گیرد، ولی اصل تاثیر با تاخیر در تمام پژوهش های قبلی نیز تایید شده است. حداکثر مشارکت جریان زیر سطحی در جریان رودخانه در این پژوهش، با تاخیر ۱۲ ماهه و در تناظر با شاخص های خشک سالی است. حداکثر شاخص خشک سالی در سال آبی ۸۰-۸۱ و حداکثر شاخص جریان پایه به عنوان نماینده مشارکت آب های زیر سطحی در آب های رودخانه، در سال آبی ۸۲-۸۳ و با تاخیر یک ساله نمایان شده است؛ این امر بیانگر این است، که در ایام خشک سالی، آب های زیر زمینی با یک تاخیر یک ساله، سهم بیشتری در تامین جریان سطحی را به عهده دارند. نظر به تاثیر توأم با تاخیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیر سطحی، پیشنهاد می شود که در مطالعات خشک سالی، از رهیافت تعیین میزان تاخیر زمانی بین بارش و جریان پایه، برای مدیریت منابع آب حوضه تحت تاثیر خشک سالی، استفاده شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی با عنوان "بررسی تأثیر خشک سالی بر آب های سطحی حوضه کشکان" با کد ۹۸۰۲۲۹-۹۸۰۰۸-۹۸۰۰۱-۹۸۰۱۲-۲۹-۲۹-۱۲۴۸ است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می شود.

منابع

۱. اسکندری دامنه، ح.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح.، و ع. آذر. ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران، اطلاعات جغرافیایی، ۲۴(۹۶):۱۱۳-۱۲۰.
۲. بابایی، ح.، عراقی نژاد، ش.، هورفر، ع.، و ش. عراقی نژاد. ۱۳۹۰. تعیین فاصله ی زمانی رخداد خشک سالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه ی آبخیز زاینده رود. خشک بوم، ۱(۱۳):۱-۱۳.
۳. خالدی، س.، نهتانی، و م. دهمرده قلعه نو ۱۳۹۸. مدیریت منابع آب سیستان با رویکرد مقابله با پدیده ریزگردها و بیابان زایی، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، سال یازدهم شماره ۴.
۴. دوستان، ر. ۱۳۹۹. تحلیلی بر تحقیقات خشک سالی در ایران، نشریه تحلیلی فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۴):۵۳-۹۴.
۵. رضایی کهخام، م.، طلووسی، م.، و ه. رضایی کهخا. ۱۳۹۷. بررسی و مدل سازی تاثیر ریزگردها بر کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی مخازن چاه نیمه سیستان)، اولین همایش ملی ریزگرد با رویکرد سلامت محور، زابل، <https://civilica.com/doc/857809>
۶. شعاعی، ض.، ۱۳۹۵. تشدید طوفانهای گرد و غبار، چالش مهم زیست محیطی دهه اخیر در غرب آسیا و ایران، اولین کنفرانس بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش ها، اردبیل.
۷. کاظمی، ر.، پرهت، ج.، و ف شریفی. ۱۳۹۹. شناخت و تحلیل ظرفیت های منابع آب سطحی، پی ش نیاز برنامه ریزی آمایش سرزمین در استان کرمان، پژوهش های آبخیزداری، دوره ی ۳۳، شماره ی ۲، (۱۲۷):۲-۱۹.
۸. کاظمی، ر. ۱۳۹۶. مدل سازی جریان پایه با استفاده از پارامتر های ژئومورفولوژی در حوضه کرخه، پایان نامه دکتری، دانشگاه خوارزمی، ایران؛ ۱۸۲ صفحه.
۹. مساعدی، ا.، عیوضی، م. ۱۳۸۰. پایش و تحلیل مکانی خشک سالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش های زمین آماری، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۵:۶۴-۷۸.

۱۰. مصباح زاده، ط.، سلیمانی ساردو، ف. ۱۳۹۷. بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران. ۱۳۹۷؛ ۱۲ (۴۰): ۱۰۵-۱۱۴.
۱۱. مظفری، غ. ۱۳۸۵. عدم تطابق خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در دو حوزه آبریز همجوار در دامنه شمالی شیرکوه یزد. برنامه ریزی و آمایش فضا. ۱۰ (۱): ۱۷۳-۱۹۰.
۱۲. مفیدی پور، ن. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۳ (۵): ۱۶-۲۶.
۱۳. نوحه گر، ا.، حیدرزاده، م.، ایدون، م و م. پناهی. ۱۳۹۵. ارزیابی خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه میناب). پژوهشهای دانش زمین، ۷(۳): ۴۳-۲۸.
۱۴. نوری، ص.، شهرکی، ج.، و ع. سردار شهرکی. ۱۳۹۸. تخصیص بهینه منابع آب چاه نیمه سیستان آب ایران، سال نهم. شماره سی و ششم. تابستان ۱۳: ۱۱۷-۱۳۲.
15. Hellwig, J., & Stahl, K. 2018. An assessment of trends and potential future changes in groundwater-baseflow drought based on catchment response times. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(12): 6209-6224.
16. Lyne, V., and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In *Institute of Engineers Australia National Conference*. pp. 89-93.
17. Mohammed, R., & Scholz, M. 2016. Impact of climate variability and streamflow alteration on groundwater contribution to the base flow of the Lower Zab River (Iran and Iraq). *Environmental Earth Sciences*, 75(21), 1392.
18. Nathan, R. J., & McMahon, T. A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7): 1465-1473.
19. Smakhtin, V. U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of hydrology*, 240(3): 147-186.
20. Vicente-Serrano, S.M. and J.I. Lopez-Moreno. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin, *Hydrology and Earth System Sciences*. 9: 523-533
21. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, 1985, Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10: 111-120.