اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۷، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۶۰۷-۵۹۵

تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر بر شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی رودخانهٔ گرگان‌رود با استفاده از رویکرد دامنهٔ تغییرپذیری

فاطمه دایی‌چینی[۱]، مهدی وفاخواه[۲*]، وحید موسوی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استاد، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۱/۱۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۳/۱۹

چکیده

احداث سدها به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب، از جمله مهم‌ترین ساختارهای دست‌ساز انسانی در طول رودخانه هستند که می‌توانند تغییرات عمدهٔ هیدرولوژیک در رژیم رودخانه و در نهایت، در کل حوضهٔ زهکشی و در تنظیم جریان‌های سطحی را پدید آورند. بنابراین، ارزیابی کمی تغییرات هیدرولوژیکی بر اثر فعالیت‌های انسان از جمله ساخت سد مورد نیاز است. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی آماری شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) تحت تأثیر سدهای گلستان و وشمگیر در دوره‌های قبل و بعد از احداث این سدها با استفاده از نرم‌افزار IHA نسخهٔ ۷/۱ است. به این منظور، ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی در پایین‌دست سد گلستان برای بررسی تأثیر احداث سد گلستان و ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به‌منظور بررسی تأثیر احداث سد وشمگیر در نظر گرفته شد. همچنین، به‌منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم در منطقهٔ مطالعه‌شده، وجود روند در مقادیر متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق با استفاده آزمون من-کندال و شیب سن در سطح اطمینان یک و پنج درصد ارزیابی شد. سپس، تغییرات ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی در پنج گروه اصلی (مقدار، تداوم، زمان‌بندی، فراوانی و میزان تغییرات) قبل و بعد از احداث سدهای گلستان و وشمگیر با رویکرد محدودهٔ تغییرپذیری (RVA) محاسبه شد. با توجه به نتایج آزمون روند، تغییر در متغیرهای اقلیمی اغلب به‌صورت افزایش بارش و دما و کاهش تبخیر و تعرق بوده است. براساس شاخص‌های گروه نخست (مقدار) می‌توان این گونه نتیجه گرفت که مقدار متوسط دبی ماهانهٔ جریان رودخانه در دورهٔ بعد از احداث سد گلستان نسبت به دورهٔ قبل از احداث سد، در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی کاهش داشته است، در حالی که مقدار متوسط دبی ماهانهٔ جریان رودخانه بعد از احداث سد وشمگیر از ماه مارس تا ژوئن کاهشی بوده و در باقی ماه‌ها افزایشی بوده است. در مورد شاخص‌های گروه دوم (مقدار دبی‌های حداقل و حداکثر)، می‌توان بیان کرد که همهٔ شاخص‌های جریان به‌جز شاخص‌های حداقل جریان سه، هفت و ۳۰ روزه و شاخص‌های حداکثر جریان یک، سه و هفت روزه در ایستگاه هیدرومتری گنبد و به‌جز شاخص‌های حداقل جریان یک و سه روزه و شاخص حداکثر جریان سه‌روزه در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی در دورهٔ بعد از احداث سد گلستان کاهش یافته، در حالی که شاخص‌های حداکثر جریان یک، سه و هفت روزه در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا در دورهٔ بعد از احداث سد وشمگیر افزایش یافته است. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر رژیم جریان می‌تواند تهدیدهای مهمی برای گونه‌های گیاهی و جانوری (آبزیان و حیات وحش) ایجاد کند و به آثار محیط زیستی نامطلوب منجر شود. درخور یادآوری است که تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان بیشتر تحت تأثیر احداث سد بوده و نیز تغییر متغیرهای اقلیمی نیز در این خصوص تأثیرگذار بوده است و تفکیک آثار آن نیازمند مطالعات بیشتری است.

کلیدواژگان: آب مورد نیاز محیط زیستی، رژیم جریان، روند، شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، متغیرهای اقلیمی.

* نویسندهٔ مسئول

Email: vafakhah@modares.ac.ir

مقدمه

رژیم طبیعی جریان رودخانه، یک عامل اولیه در تعیین ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های آبی و حاشیهٔ رودخانه‌هاست و جریان طبیعی در حفظ اکوسیستم‌های آبی بسیار مهم است و به‌عنوان الگویی برای حفاظت و بازسازی اکولوژیکی توسط اکولوژیست‌ها، مهندسان و مدیران آب شناخته شده است [۱ـ ۳]. اگرچه دست‌کاری بشر روی جریان‌های رودخانه، منفعت‌های اجتماعی در بر دارد، ولی موجب تخریب خدمات طبیعی اکوسیستم و تهدید تنوع زیستی به‌وسیلهٔ تغییر رژیم‌های جریان طبیعی می‌شود [۱ و ۴ـ ۵]. افزایش احداث سدها و به همراه آن، انحراف آب، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، کانال‌کشی آبراهه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان، سبب تغییرات هیدرولوژیکی بزرگ‌مقیاس در محیط زیست شده است [۶ـ ۸]. تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از سد و مشکلات محیط زیستی مربوط به آن سبب ایجاد تغییر در سیستم‌های رودخانه‌ای شده است [۹]. یکی از روش‌های ارزیابی تأثیر سد در تأمین نیاز آبی محیط زیستی، روش رویکرد دامنهٔ تغییرپذیری (RVA[1]) است. مبنای روش یادشده این است که رودخانه به گونه‌ای مدیریت شود که مقادیر سالانهٔ هریک از پارامترهای شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA[2]) در محدودهٔ تغییرات طبیعی پارامترها واقع شود. اهداف مدیریتی باید بر مبنای اطلاعات اکولوژیکی موجود تعیین شوند. پس از تعیین محدودهٔ دامنهٔ تغییرپذیری شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، محدودهٔ اهداف RVA و درصد تحقق آن پس از احداث سد تعیین می‌شود [۱].

برای ارزیابی آثار احداث سد، پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج کشور صورت پذیرفته است که به تعدادی از این مطالعات پرداخته می‌شود. Zuo و Liang با بررسی تأثیر احداث سدها روی رژیم جریان رودخانهٔ Shaying در چین به این نتیجه رسیدند که احداث سدها تأثیر زیادی بر رژیم جریان رودخانه دارند، به‌طوری که سبب کاهش میزان جریان در دورهٔ پس از احداث سد از ۳/۵ تا ۱۸۱/۵ درصد شده‌اند [۱۰]. Wang و همکاران تأثیر مخزن Danjiangkou بر شرایط اکوهیدرولوژیکی رودخانهٔ Hanjiang در چین را ارزیابی کردند [۱۱]. نتایج پژوهش آنها نشان داد مخزن سد Danjiangkou به‌طور درخور توجهی رژیم جریان اکوهیدرولوژی به‌خصوص زمان تخم‌ریزی کپور ماهی در پایین‌دست سد را تغییر داده و تا حد زیادی تنوع زیستی آبزیان و جوامع ماهیان را کاهش داده است. Sojka و همکاران تأثیر مخزن Stare Miast بر تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانهٔ Powa در کشور لهستان ارزیابی کردند [۱۲]. آنها نتیجه گرفتند که مخزن Stare Miasto تأثیر متوسطی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانهٔ Powa داشته و ساخت مخزن تأثیر مثبتی در پایداری جریان‌های حداقل دارد که برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه اهمیت زیادی دارد. همچنین، این مخزن سبب کنترل سیل‌ها می‌شود. Lu و همکاران تأثیر ساخت سدهای کوچک بر تغییرات هیدرولوژیکی در حوضهٔ رودخانهٔ Jiulong در جنوب شرقی چین را بررسی کردند [۱۳]. نتایج پژوهش آنها نشان داد تغییر در شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) در دو رودخانه متفاوت بوده است، به‌طوری که آثار اکولوژیکی بر رودخانهٔ شمالی به‌دلیل وجود نیروگاه‌های برق‌آبی بیشتر از رودخانهٔ غربی است. بنابراین، حداقل آب مورد نیاز محیط زیستی نه‌تنها باید در ساخت سدهای بزرگ، بلکه در ساخت سدهای کوچک هم مورد توجه قرار گیرد. Uday Kumar و Jayakumar طی پژوهشی دربارهٔ تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از فعالیت‌های انسانی رودخانهٔ کریشنا در هند به این نتیجه رسیدند که تغییرات هیدرولوژیکی در رودخانه از عواقب فعالیت‌های انسانی است و در فصول کم‌جریان، تغییرات مثبت و در فصول پرجریان، تغییرات منفی را از شرایط جریان طبیعی نشان می‌دهد [۱۴]. چنین تغییراتی روی زیستگاه آبزی و ساحلی و گونه‌های کلیدی رودخانه و محیط اطراف تأثیر منفی می‌گذارد. تأثیر سد PD Jurala بر رژیم هیدرولوژیکی نسبتاً کم است، میانگین جریان ماهانهٔ سدهای Srisailam و NSP در ماه‌های ژوئیه، آگوست و سپتامبر به‌میزان درخور توجهی کاهش یافته است و متوسط جریان سالانه در رودخانهٔ کریشنا بیش از ۳۰ درصد کاهش یافته است. همچنین، کاهش جریان کلی سد برای تأمین نیاز آبیاری و تقاضای آب خانگی مشاهده شد و این ممکن است با تغییرات آب‌وهوایی و رشد جمعیت در آینده بدتر شود. سدها تأثیر زیادی در تغییرپذیری هیدرولوژیکی و فصلی بودن جریان رودخانه دارند. در ایران نیز، نصیری‌خیاوی و همکاران تغییر مؤلفه‌های

1. Range of Variability Approach (RVA)
2. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

جریان محیط زیستی تحت تأثیر سد سبلان در رودخانهٔ قره‌سو در استان اردبیل را مطالعه کردند [۱]. براساس نتایج پژوهش آنها، فراوانی جریان‌های حد پایین در ایستگاه دوست‌بیگلو نسبت به ارباب‌کندی، افزایش ۵۹ درصدی را نشان می‌دهد. از طرفی، متغیر دبی اوج جریان در ایستگاه دوست‌بیگلو روند متعادل‌تری را نشان می‌دهد، متغیرهای دبی اوج و فراوانی سیلاب‌های بزرگ و کوچک، تداوم و زمان‌بندی سیلاب‌های کوچک در ایستگاه‌های دوست‌بیگلو نسبت به ارباب‌کندی کاهش داشته است که دلیل آن را می‌توان با تأثیر تنظیمی سد مخزنی سبلان مرتبط دانست. نصیری و رجبی با بررسی تأثیر سد بوکان بر جریان محیط زیستی رودخانهٔ زرینه‌رود بیان کردند که مقدار جریان محیط زیستی براساس روش‌های تنانت و تسمن در دورهٔ بعد از احداث سد روند کاهشی داشته و این در حالی است که روش EFC[1] بیان می‌کند که مقدار جریان محیط زیستی در دورهٔ بعد از احداث سد روند افزایشی داشته است [۱۵]. احداث سد بوکان تأثیر مستقیمی بر نوسان‌های دبی جریان محیط زیستی رودخانهٔ یادشده داشته و موجب تغییر جریان زیستی رودخانه شده است. اسفندیاری درآباد و همکاران با بررسی تأثیر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانهٔ زرینه‌رود بر اساس منحنی تداوم جریان، به این نتیجه رسیدند که مقادیر شاخص‌های دبی حداکثر یک‌روزه و دبی متوسط روزانه در دورهٔ بعد از احداث سد به‌ترتیب، ۱۳ و ۷/۵ درصد کاهش یافته است [۱۶]. در حالی که مقادیر شاخص دبی حداقل یک‌روزه در دورهٔ بعد از احداث سد ۴/۷ درصد افزایش داشته است. نتایج پژوهش آنها نشان داد در ۵۰ درصد زمان تداوم جریان در مدت پس از احداث سد میزان دبی ۴۰ درصد بیشتر شده است که تأثیر سد حاضر روی دبی جریان رودخانهٔ زرینه‌رود را نشان می‌دهد. مقدار متوسط دبی اوج جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب، برابر ۹۷/۷۱ و ۷۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه است که کاهش ۱۸ درصدی دبی اوج جریان رودخانه در دورهٔ بعد از احداث سد را نشان می‌دهد. در دورهٔ بعد از احداث سد، مقدار متوسط دبی در فصل تابستان افزایش یافته است.

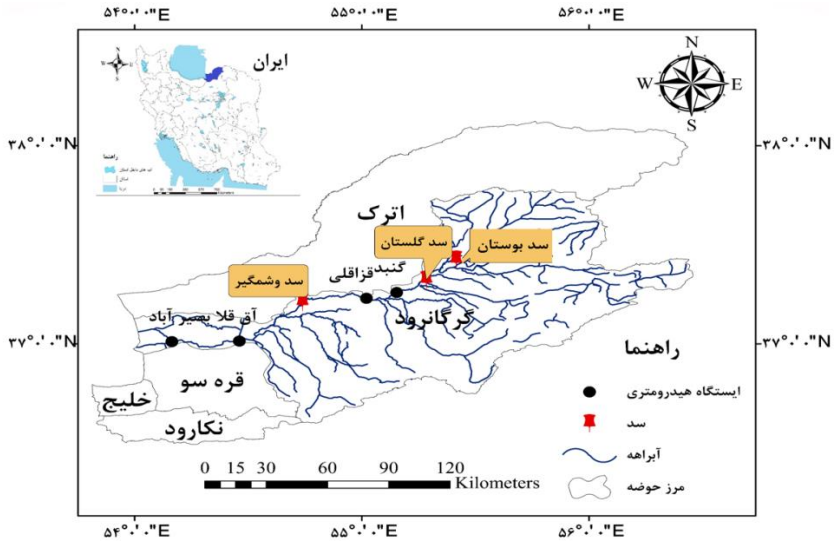
با توجه به رشد و توسعهٔ سدسازی در جهان و به‌ویژه در ایران و از آنجا که احداث سد تأثیرات گسترده‌ای بر شرایط جریان رودخانه در پایین‌دست خود دارد، لزوم بررسی تأثیرات سد اهمیت زیادی می‌یابد. حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود زمین‌های حاصل‌خیز درخور توجهی دارد. از آنجا که رودخانهٔ گرگان‌رود تأمین‌کنندهٔ آب استفاده‌شده برای آبیاری، دامداری و کشاورزی در طول مسیر خود است و به دلیل وجود دو نوع اکوسیستم کاملاً متفاوت کوهستانی و دشتی، وجود سه سد (بوستان، گلستان، وشمگیر) در طول مسیر آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. درضمن، حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود محل مناسب تخم‌ریزی انواع ماهیان خاویاری مهاجر به‌خصوص تاس‌ماهیان در سالیان نه‌چندان دور بوده است. رودخانهٔ گرگان‌رود به‌دلیل سرعت جریان و دبی زیاد همراه با طغیان آب، در ماه‌های پرآب سال به‌شدت گل‌آلود می‌شود. وسعت و اهمیت این رودخانه سبب شد در پژوهش حاضر ارزیابی شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) تحت تأثیر احداث سدهای گلستان و وشمگیر بر دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود با استفاده از رویکرد دامنهٔ تغییرپذیری (RVA) مطالعه شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

در پژوهش حاضر، حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود بین عرض‌های جغرافیایی ´۳۳ °۳۶ تا ´۴۵ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۱۳ °۴۵ تا ´۰۳ °۵۴ شرقی در استان گلستان با مساحت ۱۱۳۸۰ کیلومترمربع در شمال کشور و در جنوب شرقی دریاچهٔ خزر بر اساس مرز هیدرولوژیک به‌عنوان منطقهٔ مطالعه‌شده در نظر گرفته شد. حداکثر ارتفاع این حوضه حدود ۲۸۸۷ متر و حداقل آن شش متر از سطح دریاست [۱۷ و ۱۸]. بارش سالانهٔ حوضه از ۲۳۱ تا ۸۴۸ میلی‌متر تغییر می‌کند. متوسط دما بسته به مناطق و ایستگاه‌ها ۱۱/۲ و ۱۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است. حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود از لحاظ اقلیمی بسیار متنوع بوده و طبق طبقه‌بندی دومارتن این حوضه دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است [۱۹ و ۲۰]. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده در استان گلستان و ایران و همچنین، پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری و مکان سدهای موجود را نشان می‌دهد.

1. Environmental Flow Component



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سدهای مطالعه‌شده در استان گلستان

روش پژوهش

در پژوهش حاضر آمار بارندگی، دما، تبخیر و تعرق و دبی روزانه از شرکت تحقیقات منابع آب (تماب)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان و سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم در منطقهٔ مطالعه‌شده، وجود روند در متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق در دورهٔ زمانی مطابق با داده‌های دبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و آزمون من-کندال[1] [۲۱ و ۲۲] و شیب سن[2] [۲۳ و ۲۴] در سطح اطمینان یک و پنج درصد آزمایش شد. ابتدا موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر در منطقهٔ مطالعه‌شده با استفاده از نرم‌افزار Google Earth تعیین شد. سپس، ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار کامل انتخاب شدند. در نهایت، مقادیر ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی در دورهٔ قبل و بعد از احداث سدها با استفاده از نرم‌افزار IHA نسخهٔ ۷/۱ و حدهای بالا و پایین رویکرد دامنهٔ تغییرپذیری (RVA) استخراج شد. با استفاده از نرم‌افزار IHA پنج ویژگی اساسی رژیم جریان شامل مقدار[3]، تداوم[4]، زمان‌بندی[5]، فراوانی[6] و میزان[7] بررسی شد و نتایج مربوط به ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی در دورهٔ اول و دوم به‌صورت جدول ارائه شد [۲۵]. همچنین، با توجه به اینکه در محدودهٔ مطالعاتی، سه سد بزرگ بوستان، گلستان و وشمگیر روی رودخانهٔ گرگان‌رود احداث شده است، تأثیرات این سه سد بزرگ روی رودخانهٔ یادشده به‌صورت جداگانه بررسی شد.

براساس شکل ۱، ایستگاه هیدرومتری ورودی سد گلستان تحت تأثیر سد بوستان قرار دارد. همچنین، ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی تحت تأثیر سد گلستان و ایستگاه‌های هیدرومتری بصیرآباد و آق‌قلا تحت تأثیر سد وشمگیر هستند. در مورد ایستگاه ورودی سد گلستان تحت تأثیر سد بوستان شایان یادآوری است که دورهٔ آماری دبی روزانه در این ایستگاه از سال آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ و ایستگاه بصیرآباد تحت تأثیر سد وشمگیر از سال آب ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۵ هستند. بنابراین، با توجه به سال بهره‌برداری سدهای بوستان و وشمگیر نمی‌توان آن را به دو دوره تقسیم کرد و فقط در بحث بررسی آثار محیط زیستی سدهای بوستان و وشمگیر از این ایستگاه‌ها استفاده شد.

همچنین، در خصوص دلایل انتخاب سدهای گلستان و وشمگیر در پژوهش حاضر می‌توان به طول دورهٔ آماری مناسب ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا و نیز تأثیر حجم مخازن سدها بر دبی پایین‌دست اشاره کرد. سد گلستان در سال ۱۳۷۹ و سد وشمگیر در سال ۱۳۴۹ به بهره‌برداری رسیده‌اند. بنابراین، داده‌های دبی روزانهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد (۱۳۳۴-۱۳۹۵)، قزاقلی (۱۳۵۲-۱۳۹۵) و آق‌قلا (۱۳۲۹-۱۳۹۵) به دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد تقسیم شدند (جدول ۱).

1. Mann-Kendall Test
2. Sen's Slope
3. Magnitude
4. Duration
5. Timing
6. Frequency
7. Rate

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مطالعه‌شده در حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود

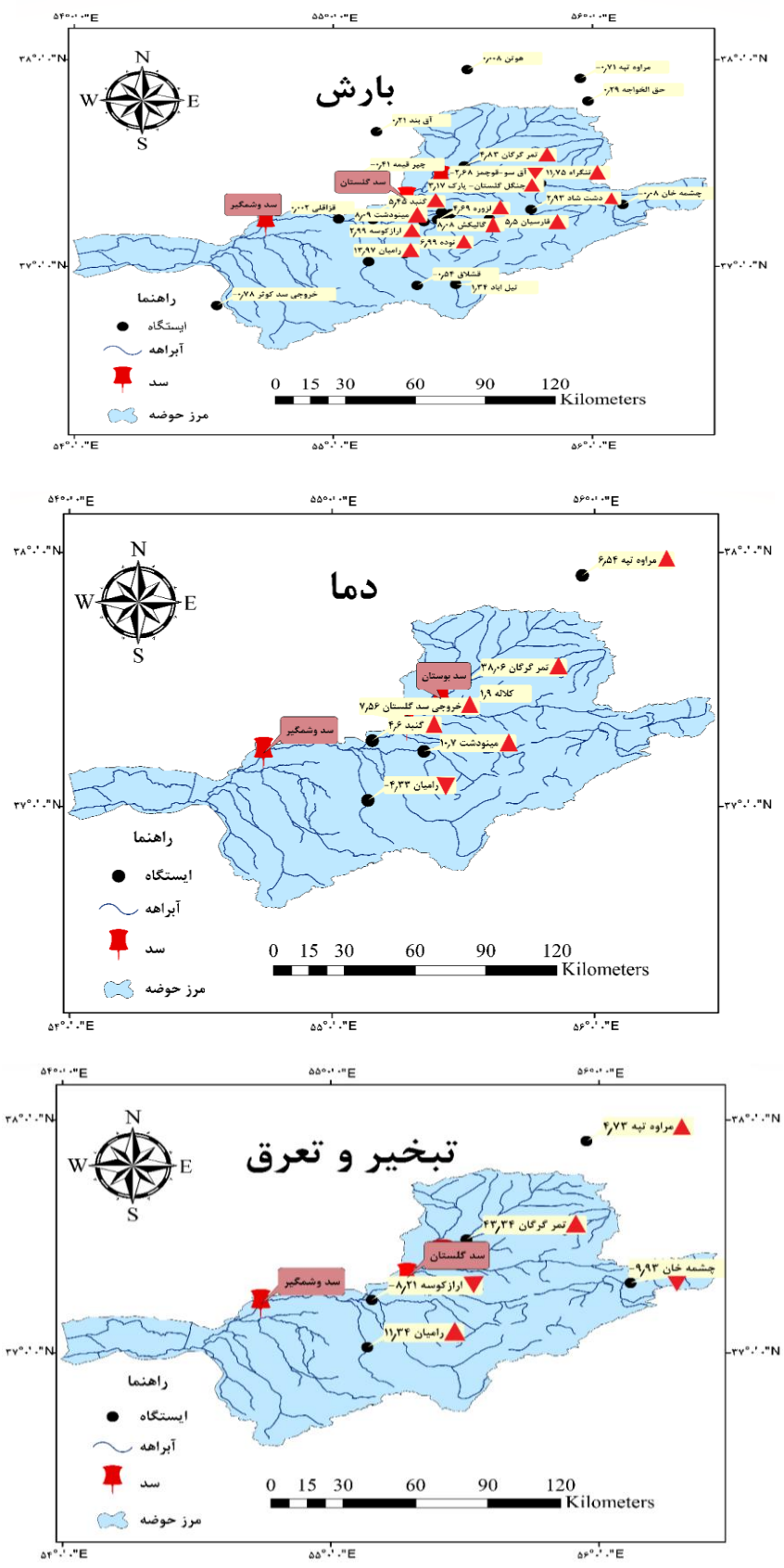
ردیف	نام سد	سال بهره‌برداری از سد	نام ایستگاه هیدرومتری	دورهٔ قبل از احداث	دورهٔ بعد از احداث
۱	سد گلستان	۱۳۷۹	گنبد	۱۳۷۹-۱۳۳۴	۱۳۹۵-۱۳۸۰
۲			قزاقلی	۱۳۷۹-۱۳۵۲	۱۳۹۵-۱۳۸۰
۳	سد وشمگیر	۱۳۴۹	آق‌قلا	۱۳۴۹-۱۳۲۹	۱۳۹۵-۱۳۵۰

تجزیه‌وتحلیل RVA، مجموعه‌ای از عوامل تغییر هیدرولوژیکی را ایجاد می‌کند که میزان تغییرات شاخص‌های جریان (۳۳ شاخص IHA) را برآورد می‌کند. همچنین، رویکرد RVA فقط برای پارامترهای IHA قابل محاسبه است و برای مؤلفه‌های جریان محیط زیستی (EFC) استفاده نمی‌شود [۲۶]. با توجه به نبود اطلاعات اکولوژیکی از منطقهٔ مطالعه‌شده، محدودهٔ هدف RVA برای هر یک از شاخص‌های هیدرولوژیکی یک انحراف معیار از مقادیر متوسط در نظر گرفته شد [۱۰].

یافته‌ها

شکل ۲ نتایج روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، روند بارش، دما و تبخیر و تعرق در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی در سطح پنج درصد معنادار است. به‌طوری که بارش و دما در اغلب ایستگاه‌ها روند معنادار افزایشی داشته، در حالی که روند تبخیر و تعرق از پنج ایستگاه در سه ایستگاه معنادار افزایشی بوده است. پس می‌توان انتظار داشت با توجه به روند افزایشی بارش، شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی روند افزایشی داشته باشند. جدول ۲، مقادیر تغییرات ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا را نشان می‌دهد. در این جدول شاخص‌های گروه نخست نشان‌دهندهٔ مقدار جریان ماهانه است که با توجه به مقادیر این گروه از شاخص‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد و قزاقلی، مقدار دبی جریان در دورهٔ قبل از احداث سد همهٔ شاخص‌ها بیشتر از مقدار آن در دورهٔ بعد از احداث سد است. در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا می‌توان گفت که به غیر از ماه‌های مارس، آوریل، مه و ژوئن مقدار دبی جریان در دورهٔ قبل از احداث سد کمتر از مقدار آن در دورهٔ بعد از احداث سد است. شاخص‌های گروه دوم شامل جریان‌های حداقل و حداکثر روزانه (یک‌روزه، سه‌روزه، هفت‌روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه) و روزهای صفر جریان و شاخص جریان پایه است که در ایستگاه هیدرومتری گنبد به‌غیر از شاخص حداقل روزانه (سه‌روزه، هفت‌روزه و ۳۰روزه) و شاخص حداکثر روزانه (یک‌روزه، سه‌روزه و هفت‌روزه) و در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی به‌غیر از شاخص حداقل روزانه (یک‌روزه و سه‌روزه) و شاخص حداکثر سه‌روزه، همهٔ شاخص‌ها در دورهٔ بعد از احداث سد کمتر از دورهٔ قبل از احداث سد و در هر سه ایستگاه شاخص روزهای صفر جریان بدون تغییر مانده است. با توجه به مقادیر این گروه در ایستگاه آق‌قلا به‌غیر از شاخص حداکثر روزانه (یک‌روزه، سه‌روزه و هفت‌روزه) همهٔ شاخص‌ها در دورهٔ بعد از احداث سد بیشتر از دورهٔ قبل از احداث سد است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی گروه دو در پژوهش حاضر، می‌توان بیان کرد که شاخص‌های جریان در سد گلستان به‌صورت کاهشی بوده و بعضی از شاخص‌ها به‌صورت افزایشی و در سد وشمگیر شرایط هیدرولوژیکی افزایشی بوده، به‌طوری که در برخی از آنها تأثیر احداث سد به گونه‌ای بوده است که سبب کاهش آنها در دوره‌های بعد از احداث سد شده است و این تغییرات را می‌توان ناشی از آثار ترکیبی سدهای گلستان و وشمگیر و نیز تغییرات متغیرهای اقلیمی دانست.

همچنین، شاخص‌های گروه سوم شامل زمان وقوع جریان حداقل و حداکثر است، براساس نتایج می‌توان گفت که روزهای حداقل جریان در دورهٔ قبل از احداث سد در ایستگاه گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به‌ترتیب ۲۰۹، ۲۰۱ و ۱۸۹/۵ روز است در حالی که در دورهٔ بعد از احداث سد به‌ترتیب ۱۷۶/۵، ۱۹۴/۵ و ۱۸۹روز است. همچنین، روزهای حداکثر جریان نشان می‌دهند در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا در دورهٔ قبل از احداث سد به‌ترتیب ۱۰۸، ۹۴ و ۱۱۲ روز ولی در دورهٔ بعد از احداث سد به‌ترتیب ۱۴۷/۵، ۱۰۵ و ۹۸ روز است. با توجه به نتایج این گروه از شاخص‌ها، سدهای گلستان و وشمگیر تأثیر خود را در این گروه از شاخص‌ها به‌صورت کاهشی نشان می‌دهند و درخصوص ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی می‌توان علت افزایش زمان وقوع جریان حداکثر را به این

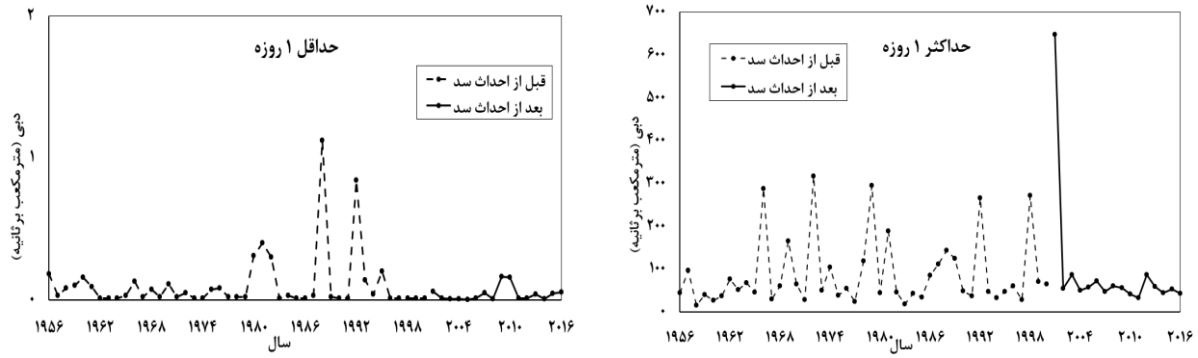


شکل ۲. روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق در منطقهٔ مطالعه‌شده

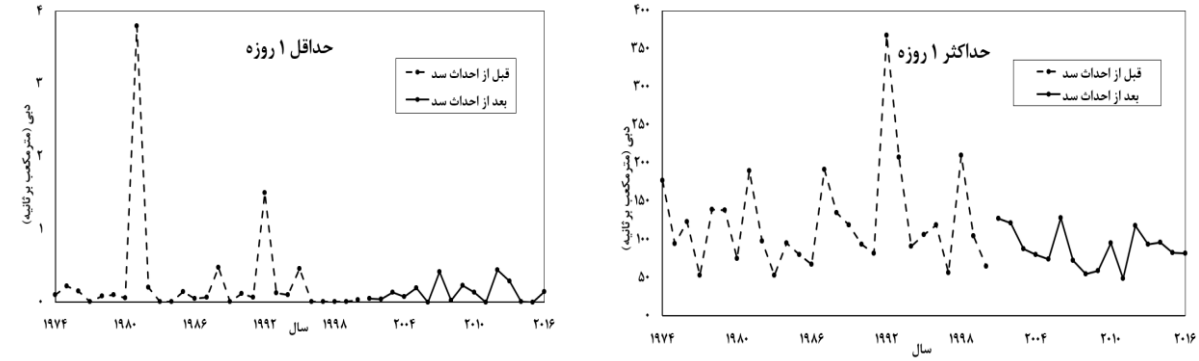
شکل تفسیر کرد که جریان ذخیره‌شدهٔ سد گلستان برای استفاده‌های معین رهاسازی می‌شود و سبب افزایش مقدار دبی جریان در مناطق پایین‌دست سد می‌شود و همچنین، می‌توان علت دیگر آن را افزایش بارش دانست. شاخص‌های گروه چهارم در سد گلستان با کاهش دبی جریان تأثیر خودتنظیمی خود را در این شاخص با کاهش پالس‌های زیاد و کم و روند متعادل‌تری نشان داده و سد وشمگیر با افزایش دبی جریان سبب افزایش پالس زیاد و کاهش پالس کم در دورهٔ بعد از احداث سد شده که نشان‌دهندهٔ نوسان‌های زیاد بر اثر افزایش دبی در ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا است. در نهایت، با توجه به شاخص‌های گروه پنجم می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه گنبد و قزاقلی میزان نوسان‌های افزایشی و کاهشی در دبی جریان روند کاهشی و در ایستگاه آق‌قلا میزان نوسان‌های افزایشی و کاهشی در دبی جریان روند صعودی را نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان‌دهندهٔ تغییرات جریان حداکثر و حداقل یک‌روزه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سدهای گلستان و وشمگیر در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا است.

جدول ۲. مقدار تغییرات میانهٔ شاخص‌های هیدرولوژیکی قبل و بعد از احداث سدهای گلستان و وشمگیر

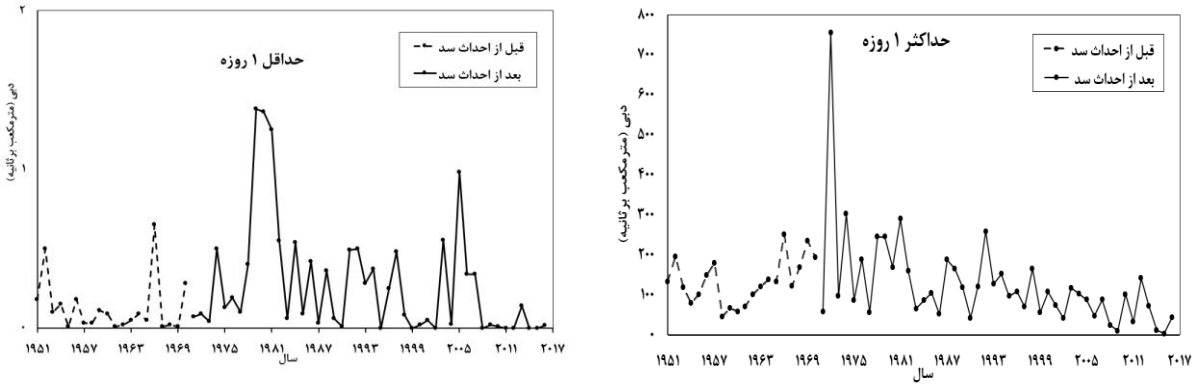
شاخص‌های هیدرولوژیکی	ایستگاه هیدرومتری گنبد		ایستگاه هیدرومتری قزاقلی		ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا	
	۱۳۷۹-۱۳۳۴	۱۳۹۵-۱۳۸۰	۱۳۷۹-۱۳۵۲	۱۳۹۵-۱۳۸۰	۱۳۴۹-۱۳۲۹	۱۳۹۵-۱۳۵۰
شاخص گروه ۱						
اکتبر	۲/۸	۰/۶۳	۶/۰۴	۲/۲۲	۳	۴/۲۸
نوامبر	۴/۲۲	۰/۶۶	۷/۵۵	۲/۶۶	۳/۸۷	۶/۴۵
دسامبر	۴/۶	۰/۶۹	۸/۲۵	۳/۹۴	۴/۸۵	۹/۱۶
ژانویه	۴/۹۱	۰/۵۸	۹/۹۸	۳/۳۵	۵/۲	۸/۱۱
فوریه	۷/۱۶	۰/۸۴	۱۵/۸	۸/۴۷	۶/۳۵	۱۱/۱۲
مارس	۱۳/۱	۱/۰۶	۲۹/۸	۱۵	۱۶	۱۴/۶
آوریل	۱۶/۷	۳/۴۸	۲۵/۸	۱۲/۸۱	۳۳/۷۵	۸/۷۰
مه	۷/۵۲	۱/۰۰۵	۱۴/۵	۶/۳۹	۸/۴	۵/۰۹
ژوئن	۲/۹۴	۰/۲۶	۳/۷۵	۰/۶۶	۲/۷۶	۱/۸۳
ژوئیه	۰/۴	۰/۳۲	۱/۵	۰/۵۷	۱/۱۷	۱/۳۷
اوت	۰/۲۲	۰/۴۶	۲/۴۸	۰/۶۸	۰/۴۱	۱/۳۴
سپتامبر	۱/۲	۰/۷۳	۳/۹۳	۳/۱۳	۱/۵۰	۲/۳۸
شاخص گروه ۲						
حداقل ۱ روزه	۰/۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۹
حداقل ۳ روزه	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۹
حداقل ۷ روزه	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۳۲
حداقل ۳۰ روزه	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۹۲	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۷۳
حداقل ۹۰ روزه	۱/۵۰	۰/۶۲	۳/۱۹	۲/۴۵	۱/۳۳	۱/۵۹
حداکثر ۱ روزه	۵۱	۵۵/۲	۱۰۴	۸۴/۹	۱۲۷	۹۸/۸
حداکثر ۳ روزه	۴۱/۷۷	۵۰/۹۵	۷۷/۵۷	۸۲/۴	۱۰۶/۲	۸۷/۸۲
حداکثر ۷ روزه	۳۱/۸۹	۳۷/۴	۶۳/۲۳	۶۳/۲۲	۸۲/۲۹	۷۲/۶۹
حداکثر ۳۰ روزه	۲۲/۵۲	۱۷/۸۵	۴۴/۸۸	۳۴/۸۴	۴۲/۵۶	۴۸/۰۴
حداکثر ۹۰ روزه	۱۵/۸۷	۱۱/۴۲	۲۷/۸۳	۲۲/۲۹	۲۳/۱۳	۳۱/۱۵
تعداد روزهای صفر	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شاخص جریان پایه	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
شاخص گروه ۳						
زمان وقوع جریان حداقل	۲۰۹	۱۷۶/۵	۲۰۱	۱۹۴/۵	۱۸۹/۵	۱۸۹
زمان وقوع جریان حداکثر	۱۰۸	۱۴۷/۵	۹۴	۱۰۵	۱۱۲	۹۸
شاخص گروه ۴						
تعداد پالس کم	۳	۱۰	۴	۱۳	۹	۷/۵
مدت‌زمان پالس کم	۱۳/۵	۱۱/۵	۱۲/۵	۸	۴/۵	۵
تعداد پالس زیاد	۷	۷	۹	۸/۵	۶	۶/۵
مدت‌زمان پالس زیاد	۳	۵	۲/۵	۲/۷۵	۳	۵/۷۵
شاخص گروه ۵						
میزان نوسان‌های افزایشی دبی	۰/۳	۰/۱۹	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۶	۰/۶۹
میزان نوسان‌های کاهشی دبی	-۰/۳۵	-۰/۲۱	-۰/۶	-۰/۵۴	-۰/۷	-۰/۶۴
تعداد برگشت جریان	۱۰۱	۱۳۹	۹۶	۱۱۱/۵	۹۶/۵	۹۸



الف- ایستگاه گنبد



ب- ایستگاه قزاقلی

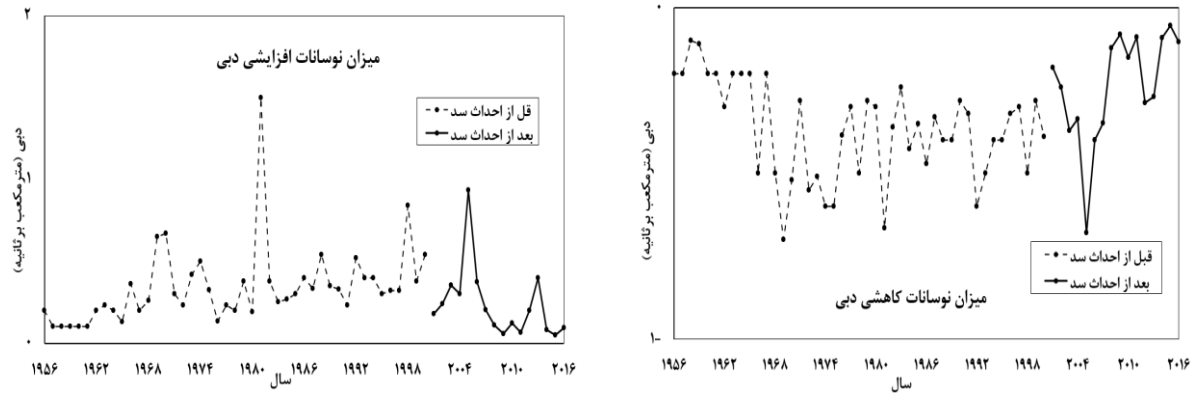


ج- ایستگاه آق‌قلا

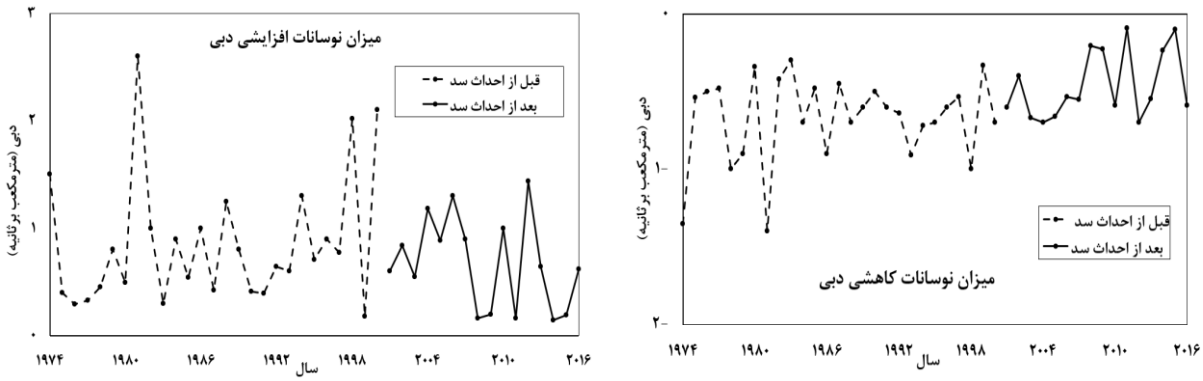
شکل ۳. تغییرات جریان حداکثر و حداقل یک‌روزه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد وشمگیر و گلستان

با توجه به شکل ۳ می‌توان بیان کرد که مقادیر جریان حداکثر یک‌روزه در دورهٔ بعد از احداث سد نسبت به دورهٔ قبل از احداث سد در ایستگاه گنبد به غیر از سال ۱۳۸۰و در ایستگاه قزاقلی و آق‌قلا به غیر از سال ۱۳۵۱ کاهش یافته است. بیشترین مقدار دبی حداکثر یک‌روزه در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا به‌ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۷۱ و ۱۳۵۱ است و مقدار عددی به‌ترتیب ۶۴۷، ۳۶۸ و ۷۵۵ مترمکعب بر ثانیه است. مقادیر جریان حداقل یک‌روزه در دورهٔ بعد از احداث سد نسبت به دورهٔ قبل از احداث سد در ایستگاه‌های گنبد و در ایستگاه قزاقلی به غیر از سال ۱۳۹۰ کاهش یافته و آق‌قلا افزایش یافته است. همچنین، کمترین مقدار دبی حداقل یک‌روزه در ایستگاه گنبد در سال ۱۳۸۴ با مقدار آن ۰/۰۰۲ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاده و در ایستگاه قزاقلی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۴ با مقدار عددی صفر مترمکعب بر ثانیه است. این مقدار در ایستگاه آق‌قلا در سال‌های ۱۳۴۹، ۱۳۷۴، ۱۳۷۸،

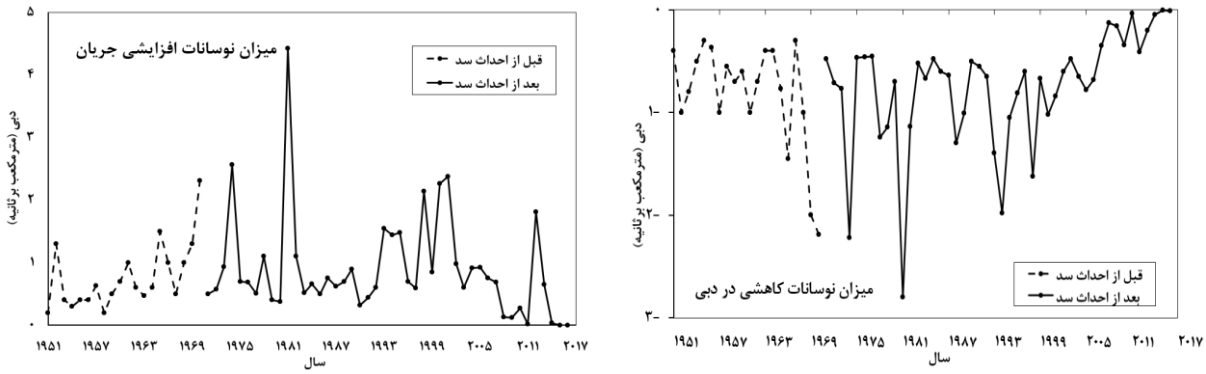
۱۳۸۱، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ با مقدار صفر مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاده است. این موضوع نشان می‌دهد احداث سد سبب بر هم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و بروز تغییر و بی‌نظمی در شاخص‌های جریان رودخانه‌ای شده است. سد گلستان سبب کاهش حداقل و حداکثر یک‌روزه در ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی شده و سد وشمگیر در ایستگاه آق‌قلا تأثیر خود را در حداکثر یک‌روزه به‌صورت کاهشی نشان داده و در حداقل یک‌روزه نوسان‌های افزایشی داشته است. نتایج مربوط به مقایسهٔ میزان نوسان‌های افزایشی و کاهشی در دبی جریان رودخانهٔ گرگان رود در ایستگاه‌های هیدرومتری گنبد، قزاقلی و آق‌قلا در شکل ۴ ارائه شده است.



الف- ایستگاه گنبد



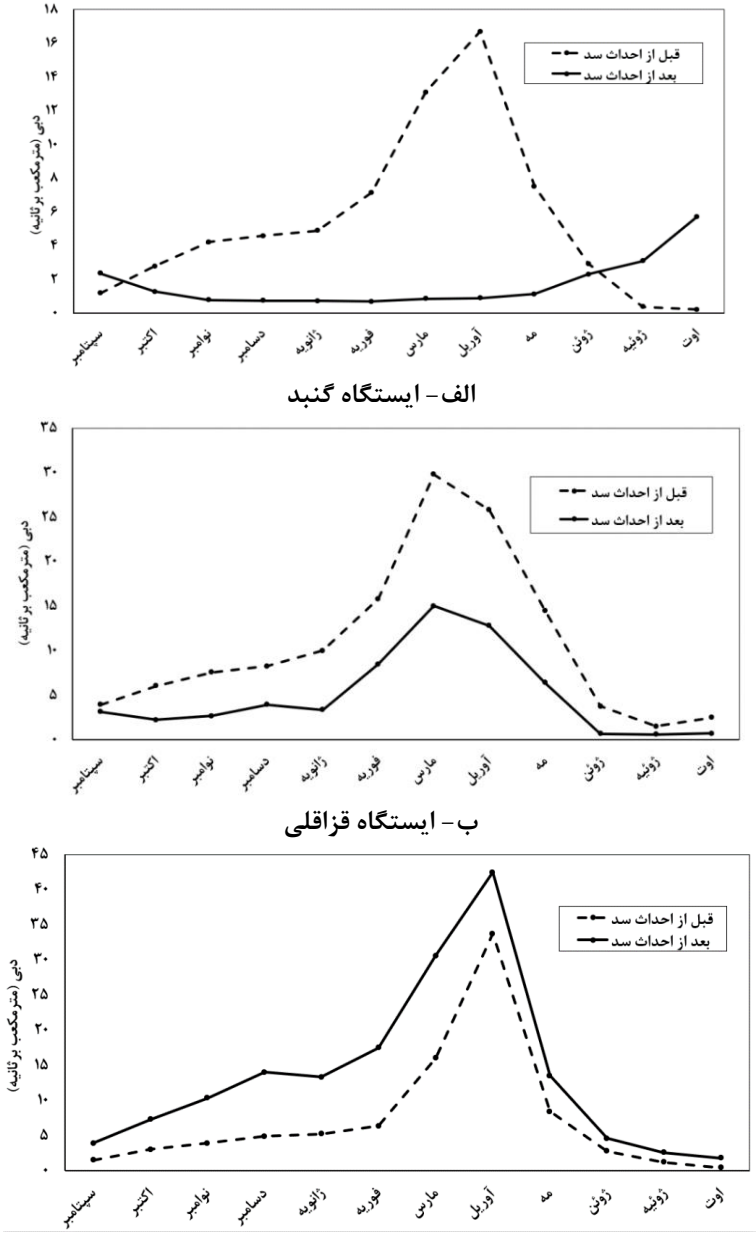
ب- ایستگاه قزاقلی



ج- ایستگاه آق‌قلا

شکل ۴. مقایسهٔ میزان نوسان‌های افزایشی و کاهشی در دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود در دورهٔ قبل و بعد از احداث سدهای گلستان و وشمگیر

با توجه به شکل ۴ می‌توان گفت کـه میـزان نوسـان هـای افزایشی دبی در دورهٔ بعد از احداث سد نسـبت بـه دورهٔ قبـل از احداث سد در ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی کـاهش و در ایسـتگاه آق‌قلا افزایش یافته است. بیشترین مقدار دبی میزان نوسان‌هـای افزایشـی دبـی در ایسـتگاه‌هـای گنبـد و آق‌قـلا مربـوط بـه سال ۱۳۶۰ و در ایستگاه قزاقلی در سـال ۱۳۵۹ اسـت و مقـدار عددی به‌ترتیب ۱/۵، ۴/۴۲ و ۲/۶ مترمکعب بـر ثانیـه اسـت. در حالی که میزان نوسان‌های کاهشی دبی نشـان مـی‌دهـد مقـدار کاهش جریان در دورهٔ بعد از احداث سدها بیشـتر از دورهٔ قبـل از احداث سدها بوده است. همچنین، کمترین میزان نوسان‌هـای کاهشی دبی در ایستگاه‌های گنبـد، قزاقلـی و آق‌قـلا بـه‌ترتیـب مربـوط بـه سـال‌هـای ۱۳۴۸، ۱۳۶۰ و ۱۳۵۹ اسـت و مقـدار عددی به‌ترتیب ۰/۷-، ۱/۴- و ۲/۸- مترمکعب بـر ثانیـه اسـت که تأثیر سد روی این شاخص‌ها در رودخانهٔ گرگان‌رود را نشـان می دهد. همچنین، نمودار تغییرات ماهانهٔ دبی جریـان رودخانـهٔ گرگان‌رود در دوره‌های قبل و بعد از احداث سـدهای گلسـتان و وشمگیر در شکل ۵ ارائه شده است.



الف- ایستگاه گنبد

ب- ایستگاه قزاقلی

ج- ایستگاه آق‌قلا

شکل ۵. تغییرات ماهانهٔ دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد وشمگیر و گلستان

با توجه به شکل ۵ مقدار دبی جریان در دوره‌های بعد از احداث سد نسبت به دوره‌های قبل از احداث سد در ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی کاهش و در ایستگاه آق‌قلا افزایش یافته است، به‌طوری که در ایستگاه‌های گنبد و آق‌قلا به غیر از ماه آوریل و در ایستگاه قزاقلی به غیر از ماه مارس، میزان دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود در دورهٔ قبل از احداث سد کمتر از دورهٔ بعد از احداث سد است. البته، کاهش میزان دبی رودخانه علاوه بر سدها و اثر خودتنظیمی آنها به عوامل دیگر همچون تغییرات اقلیمی در دورهٔ مورد مطالعاتی وابسته است.

بحث و نتیجه‌گیری

احداث سدها به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب، از جمله مهم‌ترین ساختارهای دست‌ساز انسانی در طول رودخانه هستند که می‌توانند تغییرات عمده‌ای را در رژیم رودخانه و در نهایت، در کل حوضهٔ زهکشی و در تنظیم جریان‌های سطحی پدید آورند. هدف از پژوهش حاضر، تعیین تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سدهای گلستان و وشمگیر بر دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود در استان گلستان است. براساس نتایج به‌دست‌آمده در سه متغیر بارش، دما و تبخیر و تعرق اغلب روند معنادار افزایشی مشاهده شد که این امر می‌تواند تأثیر درخور توجهی بر دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود داشته باشد. شاخص‌های هیدرولوژیکی نشان می‌دهد با احداث سدهای گلستان و وشمگیر روی رودخانهٔ گرگان‌رود، شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر اثر احداث سد نوسان داشته‌اند، به‌طوری که در برخی از آنها تأثیر احداث سد به گونه‌ای بوده است که سبب افزایش آنها در دوره‌های بعد از احداث سد شده و در برخی از آنها حالت کاهشی به خود گرفته است. براساس نتایج، شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان ماهانه نشان می‌دهد در ایستگاه‌های گنبد و قزاقلی تحت تأثیر سد گلستان مقدار دبی جریان رودخانه در دوره‌های بعد از احداث سد حدود ۶۵ درصد کاهش داشته است که نشان‌دهندهٔ تأثیر سد گلستان بر این شاخص‌هاست. در ایستگاه آق‌قلا در پایین‌دست سد وشمگیر مقدار دبی جریان رودخانه در دوره‌های بعد از احداث سد ۷۹ درصد افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از تأثیر سد وشمگیر و افزایش بارش طی دورهٔ آماری باشد. با توجه به نتایج تغییرات ماهانه، تأثیر احداث سد گلستان و وشمگیر در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا نشان می‌دهد در ایستگاه گنبد و قزاقلی دورهٔ بعد از احداث سد بدون روند و یا روند صعودی داشته که نسبت به دورهٔ قبل از احداث این روند کمتر است که تأثیر سد گلستان در رودخانه است و ایستگاه آق‌قلا در همهٔ ماه‌ها کاهشی است به غیر از ماه آوریل که روند صعودی داشته که می‌توان دلیل آن را اثر سد وشمگیر افزایش بارش در نظر گرفت. احداث سدهای گلستان و وشمگیر با افزایش بارش در جریان حداکثر یک‌روزه در دورهٔ بعد از احداث سد در ایستگاه گنبد ۸ درصد افزایش، ایستگاه قزاقلی ۱۸ درصد کاهش و ایستگاه آق‌قلا ۲۲ درصد کاهش داشته است. مقادیر شاخص تعداد روزهای صفر جریان در ایستگاه‌های گنبد، قزاقلی و آق‌قلا در دورهٔ قبل و بعد از احداث سد تغییری نداشته است و مقدار عددی آن صفر بوده که تأثیر خودتنظیمی سد را نشان می‌دهد. از طرفی، در سد گلستان تعداد پالس‌های زیاد دبی جریان رودخانهٔ مطالعه‌شده دورهٔ قبل از احداث سد بیشتر از دورهٔ بعد از احداث سد است که مربوط به تأثیر سد مخزنی در کنترل سیلاب بوده است. سد وشمگیر تعداد پالس‌های زیاد دبی جریان در دورهٔ قبل از احداث سد کمتر از دورهٔ بعد از احداث سد است که می‌توان اثر تنظیمی سد و افزایش بارش دانست. شاخص روزهای حداکثر جریان نشان‌دهندهٔ افزایش جریان در دورهٔ بعد از احداث سد است که این امر را می‌توان به آثار تنظیمی سد و روند افزایشی بارش و روند افزایشی دما در دورهٔ مطالعه شده دانست. از طرفی، با افزایش جریان رودخانه و امکان ایجاد سیل، آسیب‌پذیری زیست‌بوم رودخانه را افزایش می‌دهد. تأثیر تعدیلی سدها (ایجاد تعادل در جریان‌های سیلابی) و افزایش بارش در منطقهٔ مطالعه‌شده بر شاخص میزان نوسان‌های افزایشی در دبی جریان Rate Rise در ایستگاه گنبد و قزاقلی سبب تأثیر مثبت و موجب کاهش این شاخص طی زمان شده است و در ایستگاه آق‌قلا، تأثیر منفی داشته و موجب افزایش این شاخص طی زمان شده که نشان‌دهندهٔ تأثیر سد روی این شاخص در رودخانهٔ گرگان‌رود است. با توجه به مقادیر ماهانهٔ دبی جریان در هر دو دوره می‌توان این گونه نتیجه گرفت که دبی‌های حداقل حدود ۸۰ درصد و حدود ۲۰ درصد از دبی‌های حداکثر مربوط به دوره بعد از احداث سد است که صعود مقدار جریان بر اثر احداث سد و نیز افزایش

روند بارش در این منطقه را بیان می‌کند. همچنین، می‌توان گفت که تأثیر ترکیبی احداث سد و از طرفی تغییرات اقلیمی طی دورهٔ آماری (افزایش بارش و افزایش دما) بر دبی جریان رودخانهٔ گرگان‌رود تأثیر داشته است، به گونه‌ای که سد گلستان سبب کاهش میزان دبی متوسط جریان در دورهٔ بعد از احداث سد شده و سد وشمگیر سبب افزایش میزان دبی متوسط جریان در دورهٔ بعد از احداث سد شده است و سبب تغییر مقدار و زمان جریان‌های حداکثر و حداقل شده است. به‌طور کلی، احداث سدهای گلستان و وشمگیر روی رودخانهٔ گرگان‌رود موجب تغییرات درخور توجهی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان شده‌اند. همچنین، بر اثر احداث سد، میزان بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان در سد گلستان کاهش یافته و در سد وشمگیر افزایش یافته است که با نتایج Zuo و Liang [۱۰] و Sojka و همکاران [۱۲] که به تأثیر مثبت عملیات احداث سد بر تنظیم جریان اشاره کرده‌اند، هم‌خوانی دارد. براساس نتایج پژوهش Zeng و همکاران [۲۷]، بیان شده است که سهم دخالت‌های انسانی در قالب احداث سد در تغییرات جریان بسیار بیشتر از تغییر اقلیم است، که در مناطق مختلف ممکن است متفاوت باشد. تفکیک آثار فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی نیازمند جزئیاتی از میزان برداشت، انتقال و یا تغییرات ذخیره است که به پژوهش‌های بیشتری نیاز دارد. می‌توان گفت که تأثیر ترکیبی سد بوستان، گلستان و وشمگیر و افزایش میزان بارش در منطقهٔ مطالعه‌شده، در سال‌های اخیر بر شرایط جریان تأثیر چشم‌گیری داشته است و این تغییرات در شرایط جریان و شاخص‌های هیدرولوژیک جریان منعکس شده است. با مقایسهٔ مقدار دبی جریان در هر دو دوره می‌توان گفت که تغییرات آشکاری در ویژگی‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه به‌وجود آمده است. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر رژیم جریان و افزایش مقادیر بارش می‌تواند تهدیدهای مهمی برای گونه‌های گیاهی و جانوری (آبزیان و حیات وحش) ایجاد کند و منجر به آثار محیط زیستی نامطلوب شود. بنابراین، باید تغییر رژیم هیدرولوژیک ناشی از احداث سد و تغییرات اقلیمی در برنامه‌ریزی‌های استفاده از جریان سطحی و نیز ملاحظات محیط زیستی آثار سدها در نظر گرفته شود. احداث سد و تغییرات اقلیمی علاوه بر تأثیرات مثبت، تأثیرات منفی نیز داشته که سبب افزایش دبی‌های بالایی شده است که سیلاب‌های مخرب را به وجود می‌آورند. به‌طور کلی، می‌توان گفت که علاوه بر تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی و فعالیت‌های انسانی مانند احداث سد بر تغییر دبی جریان رودخانه نیازمند تجزیه‌وتحلیل دقیق آثار تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، انحراف آب، برداشت آب از چاه‌های اطراف رودخانه و دیگر فعالیت‌های مرتبط با منابع آب است.

منابع

[1]. Gao Y, Vogel RM, Kroll CC, Poff NL, Olden JD. Development of representative indicators of hydrologic alteration. Journal of Hydrologic. 2009; 374: 136-147.

[2]. Nasiri Khiavi A, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Ghafarzadeh O, Golshan M. Changes in environmental flow components under the effect of Sabalan Dam in the Qarehsou River of Ardebil Province. Journal of Watershed Management Research. 2019; 10(19): 85-94. (In Persian)

[3]. Poff NL, Richter BD, Arthington AH, Bunn SE, Naiman RJ, Kendy E, Acreman M, et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards. Freshwater Biology. 2010; 55(1): 147-170.

[4]. Khorooshi S, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Raoof M. Assessment of temporal and spatial variations of the hydrologic index of river in the watersheds of Ardebil Province. Ecohydrology. 2017; 4(2): 379-393. (In Persian)

[5]. Nasiri Khiavi A, Esmali-Ouri A, Mostafazadeh R. Changes in the values of the river base index in four consecutive hydrometric stations located on the Qarasu River in Ardabil Province. The First National Conference on Water Resource Management Strategies and Environmental Challenges. 10 to 11 May 2018. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 1-9 pp. (In Persian)

[6]. Zhang Q, Gu X, Singh VP, Chen X. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. Journal of Hydrology. 2015; 529: 711-722.

[7]. Zhang Q, Xu C-Y, Singh VP, Yang T. Multiscale variability of sediment load and streamflow of the Lower Yangtze River Basin: Possible Causes and Implications. Journal of Hydrology. 2009; 368: 96–104.

[8]. Zhang Q, Zhou Y, Singh VP, Chen X. The influence of dam and lakes on the Yangtze River streamflow: Long-range correlation and complexity analyses. Hydrology Process. 2012; 26 (3): 436–444.

[9]. Zhang Y, Shao Q, Zhao T. Comprehensive assessment of dam impacts on flow regimes with consideration of interannual variations. Journal of Hydrology. 2017; 1-47.

[10]. Zuo Q, Liang SH. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ). 2015; 368: 275-280.

[11]. Wang Y, Wang D, Wu J. Assessing the impact of Danjiangkou Reservoir on ecohydrological conditions in Hanjiang River, China. Ecological Engineering. 2015; 81: 41-52.

[12]. Sojka M, Jaskuła J, Wicher-Dysarz J, Dysarz T. Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in Lowland River–A Case of Study: The Stare Miasto Reservoir Located on The Powa River. Journal of Water and Land Development. 2016; 30(1): 119-125.

[13]. Lu W, Lei H, Yang D, Tang L, & Miao Q. Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River Basin of Southeast China. Journal of Hydrology. 2018; 567: 382-392.

[14]. Uday Kumar A, Jayakumar KV. Hydrological alterations due to anthropogenic activities in Krishna River Basin, India. Ecological Indicators. 2020; 108: 1-8.

[15]. Nasiri Khiavi A, Rajabi M R. The effect of Bukan Dam on environmental flow in Zarrinehrood River using hydrologic methods and EFC. The 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Iran. 25-26 July 2019. University of Urmia. 1-7 pp. (In Persian)

[16]. Esfandiari in Abad F, Mustafazadeh R, Shahmoradi R, Nasiri Khiavi A, Ebadi E. Investigating the effect of Bukan's Dam construction on hydrological indices of Zarrinehrood River based on the flow duration curve. Journal of Water and Soil Sciense. 2020; 29(4): 147-159. (In Persian)

[17]. Azari M, Moradi HR, Saghafian B, Faramarzi M. Assessment of hydrological effects of climate change in Gourganroud River Basin. Journal of Water and Soil. 2013; 27(3): 537-547. (In Persian)

[18]. Hosseini Dooki SR, Seyedian SM, Rouhani H, Farasati M. Investigation of the relationship between base flow index with temperature and rainfall using wavelet coherence (Case Study: Gorganroud River Basin). Journal of Water and Soil Conservation. 2019; 26(1): 1-25. (In Persian)

[19]. Mostafazadeh R, Haji K, Esmali-Ouri A, Mirzaei S. Estimating the monthly flow deficit during hydrological drought periods in Gorganroud River Basin. Journal of Watershed Management Research. 2017; 10(18): 190-196. (In Persian)

[20]. Mostafazadeh R, Vafakhah M, Zabihi M. Analysis of monthly dry spell occurrence by using Power Laws in Golestan Province, Iran. Ecohydrology. 2016; 2(4): 429-443. (In Persian)

[21]. Ghasabfeiz M, Eslami H. Variations trend evaluation of rainfall using mann-kendall and linear regression in Khuzestan Province. Journal on Water Engineering. 2018; 5(2): 113-121. (In Persian)

[22]. Gheisoori M, Soltani-Gerdefaramarzi S, Ghasemi M. Investigation and prediction of the changing trend of climate parameters on discharge (Case Study: Godarkhosh Subbasin). Journal of Natural Environmental Hazards. 2018; 7(17): 137-154. (In Persian)

[23]. Amirrezaeieh AR, Porhemmat, Ahmadi F. Investigation of precipitation and temperature trend across the North West of Iran in recent half of the century. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2017; 10(6): 797-809. (In Persian)

[24]. Rostam Zadeh H, Rezaei Banafsheh M, Hosseinnejad A. Identification of non-spatial patterns hourly variations of temperature on a monthly, seasonal and annual basis (Case Study: Synoptic Station of Tabriz). Climate Change & Climate Disasters. 2019; 1(2): 56-76. (In Persian)

[25]. Chen YD, Yang T, Xu CY, Zhang Q, Chen X, Hao ZC. Hydrologic alteration along the middle and upper east river (Dongjiang) Basin, South China: A visually enhanced mining on the results of RVA method. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2010; 24(1): 9-18pp.

[26]. The Nature Conservancy. Indicators of hydrologic alteration. Version 7.1. User's Manual. 2009; 1-76.

[27]. Zeng S, Zhan C, Sun F, Du H, Wang F. Effects of climate change and human activities on surface runoff in the Luan River Basin. Advances in Meteorology. 2015; 1-12.