

تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالخلوچای ناشی از تأثیر ترکیبی تغییر مولفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA)

علی نصیری خیاوی^۱، رؤف مصطفی‌زاده^{۲*}، اباذر اسمعیلی عوری^۳، امید غفارزاده^۴ و محمد گلشن^۵
^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۲ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۳ مربی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۴ مربی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و ^۵ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶

چکیده

رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی زیست‌بوم آن است و عملیات سد سازی تأثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه دارد. از این رو، هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل با استفاده از نرم‌افزار IHA Software 7.1 در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۵۳) و بعد از احداث سد (۱۳۹۲-۱۳۸۴) می‌باشد. بدین منظور، ابتدا وجود روند در مقادیر متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق با استفاده از نرم‌افزار MAKESENS مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، تغییرات ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی و رویکرد دامنه تغییرپذیری برآورد شد. در نهایت تغییرات متغیرهای مستخرج از دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد در گروه‌های مقدار، تداوم، زمان‌بندی، فراوانی و میزان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمون روند، تغییر در متغیرهای اقلیمی به صورت کاهش بارش و افزایش دما بر کاهش مقادیر جریان بوده است. بر اساس نتایج، می‌توان گفت که دوره‌های بعد از احداث سد حدود ۹۲ درصد دبی‌های کمینه جریان را به خود اختصاص داده است. در حالی که، سهم این دوره از دبی‌های بیشینه فقط ۲۵ درصد است که بیانگر کاهش مقدار جریان در اثر احداث سد و همچنین، روند کاهشی بارش می‌باشد. همچنین، تعداد ضربان‌های بالای جریان در دوره قبل از احداث سد ۳۸ درصد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. در حالی که، تعداد ضربان‌های کم جریان در دوره بعد از احداث سد ۶۰/۷ درصد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش داشته است. میزان نوسانات افزایشی دبی در دوره بعد از احداث سد ۰/۱۱ ولی در دوره قبل از احداث سد ۰/۳ است که نشان از کاهش آن می‌باشد. به‌طور کلی، بر اساس متغیرهای گروه ۱ (مقدار) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که، مقدار متوسط دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، ۵۲ درصد کاهش داشته است. قابل ذکر است که تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان عمدتاً تحت تأثیر احداث سد بوده و نیز تغییر متغیرهای اقلیمی نیز در این خصوص اثرگذار بوده است و تفکیک اثرات آن نیازمند مطالعات بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: دبی جریان رودخانه، دبی کمینه، رژیم جریان، شدت جریان، عملیات سد سازی

مقدمه

رودخانه‌ها خدمات متعددی شامل شرب، صنعت، کشاورزی و توریسم برای بشر فراهم می‌کنند. همچنین، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی زیست‌بوم رودخانه است (Liang و Zou، ۲۰۱۵). با توجه به این‌که مقدار آب رودخانه‌ها، در مقایسه با حجم آب‌کره زمین، بسیار ناچیز است، که در منابع به میزان ۰/۰۰۰۱ درصد گزارش شده است (Alizadeh، ۲۰۱۶)، با وجود این، بسیاری از تغییرات ایجاد شده در سطح خشکی‌های کره زمین ناشی از عملکرد آب‌های جاری است. سهولت استفاده از رودخانه‌ها منجر به بهره‌برداری وسیع و در نتیجه باعث تخریب این منبع آبی شده است. همچنین، تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت و ساز سد‌ها به‌طور قابل توجهی جریان رودخانه را تغییر می‌دهند. از این‌رو، عملیات سدسازی تاثیر قابل توجهی بر رژیم رودخانه و دبی جریان رودخانه دارد (Liang و Zou، ۲۰۱۵). اگرچه دست‌کاری بشر روی جریان‌های رودخانه منفعتهای اجتماعی را در بردارد، ولی موجب تخریب خدمات طبیعی زیست‌بوم و تهدید تنوع زیستی به‌وسیله تغییر رژیم‌های جریان طبیعی می‌شود (Ripl، ۲۰۰۳؛ Gao، ۲۰۰۹؛ Khorrooshi و همکاران، ۲۰۱۷).

در سراسر جهان، از سازمان‌های مرتبط با امور و کاربران آب خواسته می‌شود تا جریان‌های طبیعی آب مورد نیاز برای حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری حاشیه رودخانه‌ها را مورد توجه قرار دهند (Richter و همکاران، ۲۰۰۳؛ Annear و همکاران، ۲۰۰۴؛ Mathews و Richter، ۲۰۰۷). اهمیت و افزایش تقاضای آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، صنعت و نیز نیازهای محیط زیستی، لزوم مدیریت منابع آب را بیش از پیش آشکار کرده است. با توجه به جهانی‌بودن بحران آب، لزوم برنامه‌ریزی در حفظ و بقای آب و استفاده بهینه از این منابع از مهمترین برنامه‌های هر کشور است. از طرفی، افزایش نگرانی‌های عمومی و تصویب قوانین در دهه‌های گذشته موجب شده است که پیامدهای ناشی از فعالیت‌های انسانی در این سامانه‌های طبیعی با دقت بیشتری مد نظر قرار گیرد (Richter و همکاران،

۱۹۹۸). تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از سد و مشکلات محیط زیستی مربوط به آن باعث برانگیخته شدن نگرانی‌های زیاد برای هیدرولوژیست‌ها، اکولوژیست‌ها و سیاست‌گذاران شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۵). تعدد احداث سد‌ها و به همراه آن انحراف آب، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، کانال‌کشی آبراهه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان، باعث تغییرات هیدرولوژیکی بزرگ‌مقیاس در محیط زیست شده است (Rozenberg و همکاران، ۲۰۰۰). البته بررسی اثر طرح‌های بزرگ مقیاس انتقال آب بین حوضه‌ای موضوع بسیار پیچیده است و ارزیابی آن با توجه به گستردگی و پیچیدگی موضوع جز با به‌کارگیری مدل‌های جامع و پیشرفته برنامه‌ریزی منابع آب ممکن نیست (Raoufi و همکاران، ۲۰۱۵؛ Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۶) در هر صورت، جابه‌جایی آب باید بر اساس حفظ تعادل بیولوژیکی زیست‌بوم منطقه انجام گیرد و باید توجه داشت که طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای اگرچه در آغاز کار تحت برنامه و رعایت حقایقها تنظیم می‌شود، اما به‌علت نیاز آبی رو به افزایش و رشد جمعیت، دیر یا زود به قطع کامل جریان آب از حوضه مبدأ به حوضه مقصد می‌انجامد (Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، بایستی توجه داشت که آنگیری‌ها، سدهای انحرافی، انتقال آب بین حوضه‌ای، کشاورزی آبی برای بهره‌برداری از منابع آب به‌کار گرفته شده‌اند و اثرات زیادی بر زیست‌بوم رودخانه‌ای دارند (Power و همکاران، ۱۹۹۶؛ Zhang و همکاران، ۲۰۰۹؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۲).

محاسبه برخی از متغیرهای هیدرولوژیکی، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری برای محاسبه دشوار یا غیر ممکن هستند. نرم‌افزار شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک^۱ (IHA Software 7.1) می‌تواند برآورد فرایندهای مربوط به جریان محیط زیستی را بهبود بخشد و موجب تسهیل در ارزیابی‌های شرایط طبیعی جریان آب تحت اثر فعالیت‌های انسانی شود. این نرم‌افزار برای محاسبه مقادیر ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی طراحی شده است که امکان تعیین ویژگی تغییرات

¹ Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

اساس نتایج، دما در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست روند معنی‌داری نداشته است، اما روند افزایشی معنی‌دار در بارندگی تنها در ماه مه در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه مشاهده شد. در ماه‌های فوریه ($z=2/22$) و در جولای ($z=2/15$) در ایستگاه‌های بالا و در ماه اکتبر ($z=2/3$) و نوامبر ($z=1/8$) در پایین‌دست ایستگاه‌ها، کاهش قابل توجهی در دبی جریان ماهانه و سالانه و روند باقی‌مانده در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد در ایستگاه‌های پایین‌دست وجود دارد. میانگین سالانه دبی در ایستگاه‌های بالادست قبل و بعد از عملیات احداث سد ۱۵ خرداد تغییر قابل توجهی نداشته است. در مجموع، کاهش مقدار جریان سالانه به ترتیب ۸۷/۵ و ۸۱/۷ درصد در شادآباد و کوه‌سفید گزارش شد. همچنین، در خارج از کشور تحقیقات متعددی در خصوص ارزیابی تغییرات خصوصیات هیدرولوژیک جریان انجام گرفته است.

Poff و Olden (۲۰۰۳) از تحلیل مولفه‌های اصلی^۱ (PCA) برای ارزیابی الگوهای تغییر آماری در ۱۷۱ شاخص هیدرولوژیک استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در بین این شاخص‌ها، تعداد ۳۳ شاخص تغییر هیدرولوژیک (IHA)، تغییرات عمده جریان رودخانه را محاسبه می‌کنند که می‌توان از آن‌ها برای مطالعه جنبه‌های مهم رژیم جریان استفاده کرد. Chen و همکاران (۲۰۱۰) در رودخانه دونگ‌جیانگ^۲ در جنوب چین، به تغییرات هیدرولوژیک جریان ناشی از احداث سد با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که احداث سدها موجب تغییرات قابل توجه هیدرولوژیک می‌شوند و به شدت تعادل جریان رودخانه را برهم می‌زنند. همچنین، در اثر ساخت و ساز سد، میزان تغییر یا بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان افزایش یافته است. Zhang و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه شرقی رودخانه در چین به منظور ارزیابی اثر احداث سد بر جریان رودخانه‌ای بر اساس تغییر هیدرولوژیک با استفاده از چند شاخص زیست‌محیطی، به این نتیجه رسیدند که ساخت و

درونی و بین سالانه در شرایط آب را فراهم می‌کند (IHA User Manual, ۲۰۰۹). نرم‌افزار IHA Software با هدف پردازش سریع داده‌های هیدرولوژیک روزانه برای تعیین شرایط جریان طبیعی و تسهیل ارزیابی تغییرات ایجاد شده به وسیله انسان در رژیم‌های جریان رودخانه توسعه داده شد. پژوهش‌های متعددی در داخل کشور در راستای ارزیابی تغییرات جریان رودخانه‌ها صورت پذیرفته است. در این ارتباط، Azarang و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و متغیرهای هیدرولوژیک رودخانه کرخه با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای هیدرولوژیک به‌ازای دبی‌های مشخص قبل و بعد از ساخت سد محاسبه شده است که نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر متغیرها در اثر احداث سد می‌باشد. Zhian و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی اثرات زیست محیطی احداث سد هیدوچکان با استفاده از روش ماتریس ICOLD پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد که تعداد کل اثرات مثبت طرح سد هیدوچکان ۱۲۷ مورد و مجموع ارزش‌های مثبت طرح ۲۲۷ امتیاز است و همچنین، تعداد کل اثرات منفی طرح سد ۱۰۲ مورد و مجموع ارزش‌های منفی طرح ۱۱۵ امتیاز است.

Razaghi Rezaieh و همکاران (۲۰۱۷) جریان زیست‌محیطی دو ایستگاه بالادست رودخانه را با استفاده از روش‌های اکو-هیدرولوژیک تنانت و DRM در رودخانه مهاباد چای ارزیابی کردند. با انتخاب روش اکو-هیدرولوژیک در طبقه زیستی C به‌عنوان روش منتخب، به دلیل در نظر گرفتن خصوصیت‌های اکولوژیک رودخانه، نیاز محیط زیستی رودخانه مهابادچای در ایستگاه بیطاس ۳۵ متر مکعب بر ثانیه و در ایستگاه کوتر ۲۶/۱ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. جریان متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری بیطاس ۷۳/۱ متر مکعب بر ثانیه و در ایستگاه کوتر ۱۷/۶ متر مکعب بر ثانیه است. Yaghmaei و همکاران (۲۰۱۷) اثر عملیات سدسازی بر روند ماهانه و سالانه دبی جریان در حوزه آبخیز قمرود با استفاده از آزمون من‌کنندال، منحنی جرم مضاعف دبی متوسط سالانه نسبت به بارش و ارتباط بارش-رواناب در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد را مورد بررسی قرار دادند. بر

¹ Principal Component Analysis (PCA)

² Dongjiang

بهار (نوسان جنوبی ال نینو) داشته است و واکنش فروکش در زیرحوضه‌ها عمدتاً در هشت الی نه ماه است، به غیر از رودخانه یجیانگ که عمدتاً پنج تا هشت ماه می‌باشد. مخزن موجود در رودخانه یوجینگ، شدت خشکسالی را ۵۲ تا ۹۵/۸ درصد کاهش داده است. همچنین، عکس‌العمل شاخص وضعیت گیاه (VCI) به خشکسالی هیدرولوژیکی در زیرحوضه‌ها متفاوت بود. سدها به‌عنوان مهمترین سازه‌های هیدرولوژیکی ساخته شده بر رودخانه‌ها، تغییرات مضاعفی بر شرایط رژیم جریان در پایین‌دست می‌گذارند (Azarang و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، هدف از مطرح کردن مطالعات داخلی و خارجی در ارتباط با تغییرپذیری دبی جریان رودخانه‌ها در برابر مولفه‌های فعالیت‌های انسانی (احداث سد) اشاره به این مورد مهم است که کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین بوده، جریان رودخانه یکی از مولفه‌های اصلی منابع آب محسوب می‌شود و به‌همین لحاظ بررسی میزان تغییرات در دبی جریان رودخانه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

با توجه به رشد و توسعه سدسازی در جهان به‌ویژه در ایران، لزوم بررسی اثرات سد از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین، احداث سد تأثیرات گسترده‌ای بر شرایط جریان رودخانه در پایین‌دست خود دارد. بنابراین، هدف تحقیق حاضر، کمی کردن و تعیین تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری می‌باشد. در این راستا، از شاخص‌های تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان و نرم‌افزار MAKESENS برای ارزیابی تأثیر احداث سد بر خصوصیات جریان و نیز بررسی وجود روند در متغیرهای بارش، دما و تبخیر-تعرق استفاده شده است. همچنین، در خصوص دلیل انتخاب رودخانه بالخلوچای در مطالعه حاضر، بایستی ذکر شود که رودخانه مذکور به‌عنوان یک رودخانه دائمی علاوه بر تأمین آب شرب و شبکه آبیاری کشاورزی زمین‌های اطراف اردبیل از دامنه‌های سبلان، زمینه مناسبی برای تفریح را نیز فراهم کرده است.

سازها موجب کاهش اندازه جریان آب شده است. Zou و Liang (۲۰۱۵) در استان هنان^۱ در چین، به بررسی اثرات سد روی رژیم جریان رودخانه شایینگ^۲ با استفاده از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA) و رویکرد دامنه تغییرپذیری^۳ (RVA) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که احداث سدها تأثیر زیادی روی رژیم جریان رودخانه دارند، به طوری که باعث کاهش میزان جریان در دوره پس از احداث سد از ۳/۵ به ۱۸۱/۱ درصد کاهش یافته است. Wang و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات رژیم جریان رودخانه یانگ‌تسه را در اثر احداث سد با استفاده از تحلیل ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی جریان انجام دادند و نتایج حاکی از این بود که تأثیر هیدرولوژیکی سد گزوبا^۴ اندک بوده است که عمدتاً تحت تأثیر جریان‌های کم، میزان افزایش و تعداد تغییرات هیدرولوژیکی بوده است. همچنین، سدهای متوالی گورجس^۵ بر توزیع فصلی جریان‌ها، مقدار کمینه جریان، ضریب‌های جریان کم و میزان افزایش تأثیرگذار بوده است.

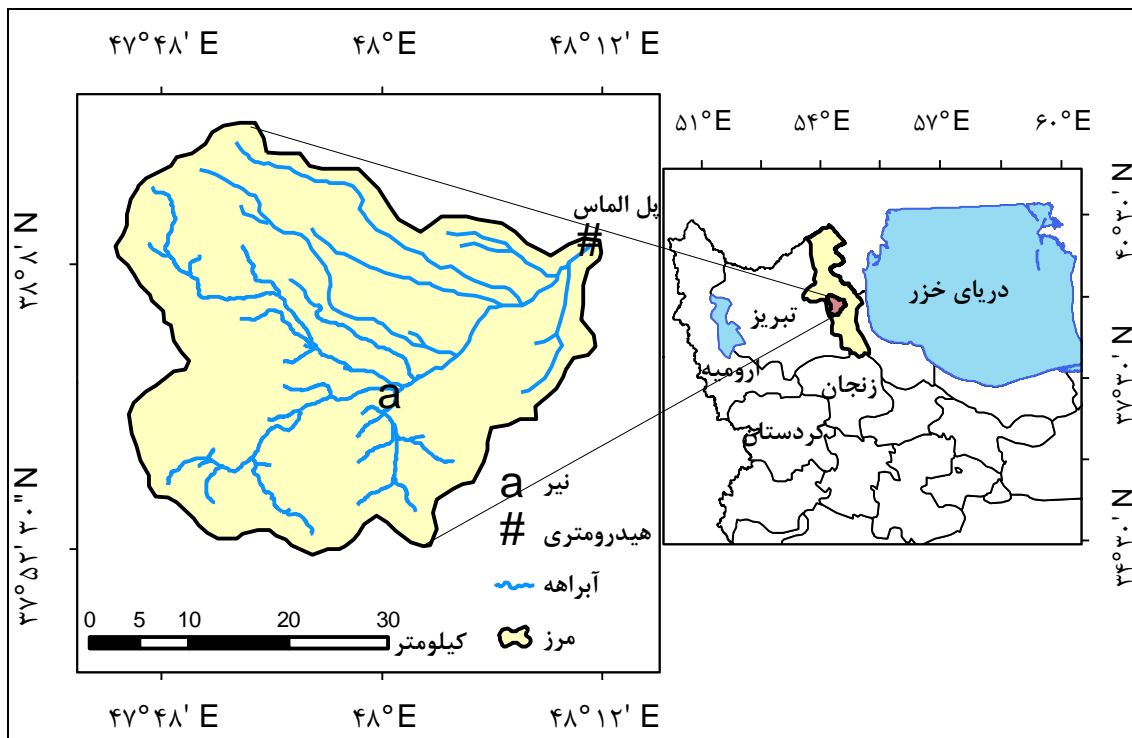
Sojka و همکاران (۲۰۱۶) ارزیابی اثرات احداث سد بر تغییرات هیدرولوژیکی جریان رودخانه پووا با استفاده از IHA و رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سد مخزنی تأثیر متوسطی بر رژیم هیدرولوژیک رودخانه داشته است. ساخت مخزن تأثیر مثبت بر تامین جریان‌های کمینه دارد که برای حفاظت از زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای اهمیت دارد همچنین، موجب کاهش کنترل سیل‌ها می‌شود. Lin و همکاران (۲۰۱۷)، همبستگی بین خشکسالی هیدرولوژیکی، عوامل اقلیمی، عملیات مخزن و پوشش گیاهی را در حوضه ژئی‌جیانگ در جنوب چین مورد مطالعه قرار دادند که با استفاده از روش تجزیه حالت متقارن نقطه عطف (ESMD) تغییرات دوره‌ای در خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را با به‌کارگیری شاخص خشکسالی استاندارد (SDI) بررسی کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیک بیشترین پاسخ را به ENSO

³ Henan⁴ Shaying⁵ Range of Variability Approach (RVA)⁶ Gezhouba⁷ Gorges

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد پژوهش: رودخانه بالخلوچای از جمله رودخانه‌های دائمی استان اردبیل است که از گردنه بالخلو و حد فاصل دو کوه بزقوش و سبلان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از آبیاری اراضی زراعی شهرستان‌های نیر و اردبیل، از ایستگاه هیدرومتری یامچی گذشته و به مخزن سد ذخیره‌ای خاکی یامچی تخلیه می‌شود. در پایین‌دست این رودخانه ایستگاه هیدرومتری پل الماس واقع شده است. این حوزه آبخیز در غرب و شمال غرب شهرستان نیر، جنوب غربی استان اردبیل و شمال غرب کشور ایران بوده و از نظر مختصات جغرافیایی بین $26^{\circ} 46' 47''$ تا $26^{\circ} 34' 48''$ طول شرقی و $53^{\circ} 51' 37''$ تا $33^{\circ} 14' 38''$ عرض شمالی واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۰۷۰ کیلومتر

مربع می‌باشد. این حوزه تأمین کننده آب مخزن سد ذخیره‌ای خاکی یامچی با گنجایش تقریبی ۸۰ میلیون متر مکعب است که در سال ۱۳۸۴ به بعد به بهره‌برداری رسیده است و آب شرب و کشاورزی شهر اردبیل را تأمین می‌کند. میانگین دبی طولانی مدت ایستگاه هیدرومتری پل الماس $3/19$ متر مکعب بر ثانیه و میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه حدود 350 میلی‌متر در سال بوده و متوسط بیشینه درجه حرارت $18/09$ درجه سانتی‌گراد و متوسط کمینه درجه حرارت $1/09$ - سانتی‌گراد می‌باشد و بر اساس روش آمیژه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد تا فرا سرد است (Ghorbani و Asghari، ۲۰۱۴؛ Sharifi و همکاران، ۲۰۱۶). موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه مطابق شکل ۱ است.



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی حوزه آبخیز بالخلوچای و ایستگاه‌های هیدرومتری

تغییرپذیری (RVA^1) در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد با استفاده از نرم‌افزار IHA Software برآورد شد. با استفاده از این نرم‌افزار پنج ویژگی اساسی رژیم

روش پژوهش: برای انجام این مطالعه، از آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل الماس با دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۵۳-۱۳۹۲) استفاده شده است. ابتدا پس از انتخاب آمار هیدرومتری، مقادیر ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی و مقادیر بالا و پایین رویکرد دامنه

¹ Range of Variability Approach

است. MAKESENS دو نوع تجزیه و تحلیل آماری انجام می‌دهد. ابتدا وجود یک روند افزایش یا کاهش یکنواخت با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال و در مرحله دوم شیب یک روند خطی با روش ناپارامتری سن تخمین می‌زند. ابتدا آماره S برای آزمون من-کندال به دست می‌آید و سپس sig که تابع علامت بوده تعیین می‌شود (Khorrooshi و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، وجود روند در مقادیر متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق ارزیابی شد و نتایج به صورت جدول ارائه شد. شکل ۲، نشان‌دهنده نمودار جریان‌ی مراحل انجام تحقیق حاضر می‌باشد.

نرم‌افزار شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک به وسیله مرکز تکنولوژی و علوم طبیعی (NSTC) دنور-کلرادو ارائه شد که با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان با داده‌های روزانه دبی، بسیاری از متغیرهای موثر در تغییر جریان را محاسبه کرد. شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک (IHA) یک مجموعه توسعه یافته آماری هستند که برای ارزیابی درجه تغییر هیدرولوژیکی جریان رودخانه استفاده می‌شوند. این مجموعه آماری شامل ۶۷ متغیر است که به دو زیرگروه شامل ۳۳ شاخص تغییر هیدرولوژیک (IHA) و ۳۴ مولفه جریان محیط زیستی^۱ (EFC) تقسیم می‌شود.

رویکرد RVA: بر اساس IHA، از رویکرد RVA برای بررسی اثرات سدسازی بر رژیم جریان رودخانه استفاده شد. محدوده هدف RVA برای هر یک از متغیرهای هیدرولوژیکی معمولاً بر اساس میزان درصد انتخاب شده یا یک متغیر چندگانه برای رژیم رودخانه‌های طبیعی مشخص شد. اهداف مدیریت، دستیابی به محدوده هدف با فراوانی مشابه که در رژیم طبیعی یا قبل از احداث سد روی می‌دهد و همچنین، اثر احداث سد روی جریان رودخانه می‌باشد (Zou و Liang، ۲۰۱۵). با استفاده از RVA تعداد ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی برای بررسی تغییرات هیدرولوژیکی جریان محاسبه شد که این ۳۳ متغیر یک نمایش دقیق از رژیم هیدرولوژیکی برای ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی را فراهم می‌کند.

جریان شامل مقدار^۱، تداوم^۲، زمان‌بندی^۳، فراوانی^۴ و میزان^۵ مورد بررسی قرار گرفت (Chen و همکاران، ۲۰۰۰؛ Cardoso و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، از تحلیل IHA و رویکرد RVA استفاده شد که با به کار گرفتن IHA و RVA یک مقایسه میان اثرات قبل و بعد از احداث سد بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای صورت گرفت. به طور کلی، روش کار IHA دارای چهار مرحله: الف) وارد کردن داده‌های روزانه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد، ب) محاسبه مقادیر تغییرات، ج) محاسبه آمارهای میان سالانه و د) محاسبه مقادیر IHA بوده است.

سپس، نمودار مربوط به تغییرات ماهانه دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد ترسیم و همچنین، مقادیر ماهانه دبی جریان در ۱۲ ماه سال و در هر دو دوره (قبل و بعد از احداث سد) برآورد شد. در مرحله بعد، نمودار مربوط به تغییرات ماهانه دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد ترسیم و همچنین، مقادیر ماهانه دبی جریان در ۱۲ ماه سال و در هر دو دوره (قبل و بعد از احداث سد) برآورد شد. در ادامه، نمودار میزان افزایش و کاهش دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد یامچی رسم شد. از طرفی، وجود روند در متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق در دوره زمانی مطابق با داده‌های دبی با استفاده از نرم‌افزار MAKESENS مورد آزمون قرار گرفت.

نرم‌افزار MAKESENS برای برآورد روند در سری زمانی مقادیر سالانه بارش توسعه داده شده است. این روش بر اساس آزمون غیرپارامتریک Mann-Kendall و روش Sen برای تعیین مقادیر روند استفاده می‌شود. قالب نرم‌افزار MAKESENS با استفاده از Microsoft Excel 97 ایجاد و ماکروها با Microsoft Visual Basic کدگذاری شدند (Salmi و همکاران، ۲۰۰۲). این نرم‌افزار یک بسته در نرم‌افزار Excel (آزمون Mann-Kendall برای روند و Sen برای برآورد شیب)

¹ Magnitude

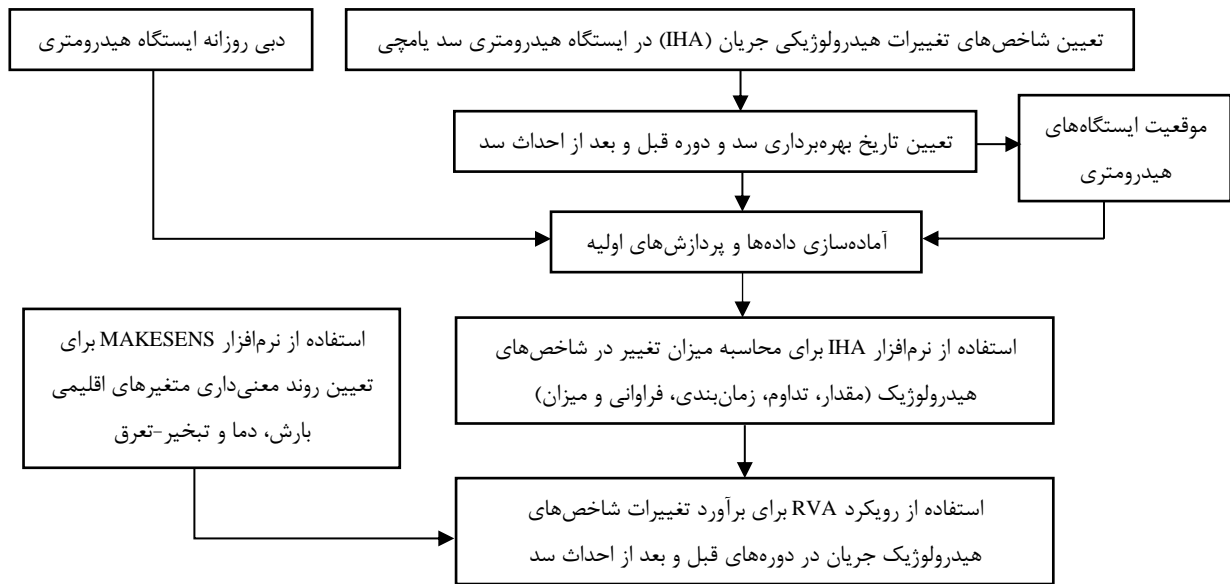
² Duration

³ Timing

⁴ Frequency

⁵ Rate

¹ Environmental Flow Components (EFC)



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل تعیین شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک جریان با استفاده از RVA در رودخانه بالخلوچای

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل در دوره قبل و بعد از احداث سد بررسی شد. جدول ۱، نتایج مربوط به آزمون

Makesens و بررسی روند بین متغیرهای اقلیمی، بارش، دما و تبخیر-تعرق را نشان می‌دهد. همچنین، جدول ۲، نشان‌دهنده مقادیر تغییرات ۳۳ متغیر هیدرولوژیک و رویکرد RVA در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱- روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق در منطقه مورد مطالعه

متغیرهای اقلیمی	آزمون Z	سطح معنی‌داری
بارش	-۱/۹۹	*
دما	۲/۳۴	*
تبخیر-تعرق	-۰/۸۹	ns

* روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ns بدون روند معنی‌دار

با توجه به نتایج جدول ۱، می‌توان این‌گونه بیان کرد که متغیرهای بارش و دما در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار هستند در حالی که متغیر تبخیر-تعرق معنی‌دار نمی‌باشد. پس می‌توان اظهار کرد که در پژوهش حاضر، اثر ترکیبی احداث سد و نیز تغییر در متغیرهای اقلیمی به صورت کاهش بارش و افزایش دما بر کاهش مقادیر جریان تأثیرگذار بوده است. با توجه به جدول ۲، متغیرهای گروه ۱ نشان‌دهنده مقدار جریان ماهانه می‌باشد که با توجه به مقادیر این گروه از متغیرها می‌توان گفت که به‌غیر از ماه‌های آوریل و می، مقدار دبی جریان در دوره قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۵۳) بیشتر از مقدار آن در دوره بعد از

احداث سد (۱۳۹۲-۱۳۸۴) است. وقایع حدی که گروه ۲، ۳ و ۴ را تشکیل می‌دهند، شامل جریان‌های کمینه و بیشینه، روزهای جریان صفر، جریان‌های کمینه و بیشینه روزانه (یک روزه، سه روزه، هفت روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه) و ضربان‌های بالا و پایین می‌باشد. با توجه به متغیرهای گروه ۲، می‌توان گفت که مقادیر متوسط سالانه کمینه و بیشینه روزانه دارای تفاوت می‌باشند. به طوری که همه مقادیر در دوره قبل از احداث سد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. همچنین، با توجه به متغیر تعداد روزهای صفر می‌توان گفت که مقدار آن در دوره بعد از احداث سد افزایش داشته است.

جدول ۲- مقادیر تغییرات ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی و رویکرد RVA در منطقه مورد مطالعه

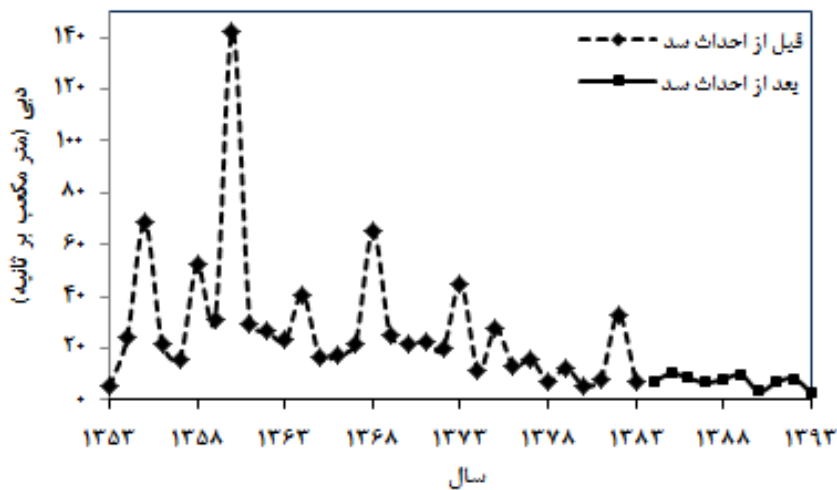
متغیرهای هیدرولوژیکی	متوسط ۱۳۵۳-۱۳۸۳	متوسط ۱۳۸۴-۱۳۹۲	محدوده RVA پایین	محدوده RVA بالا
متغیر گروه ۱				
اکتبر	۴/۵۸	۱/۷۱	۴/۱۹	۴/۵۴
نوامبر	۴/۳۲	۱/۷۷	۴/۱۶	۴/۹۳
دسامبر	۴/۲۹	۳/۶۷	۴/۶۴	۵/۲۷
ژانویه	۸/۱۵	۳/۵۲	۶/۶۹	۹/۱۵
فوریه	۷/۲۴	۳/۴۴	۳/۷۶	۵/۹۳
مارس	۳/۸۲	۱/۹۳	۱/۱	۲/۲۸
آوریل	۱/۳۲	۲/۶۱	-۰/۵۵	۱/۰۶
می	۱/۲۸	۲/۴۷	-۰/۶۳	-۰/۸۸
ژوئن	۲/۶۵	-۰/۶۳	۱/۱۴	۱/۳۹
جولای	۲/۸۶	۰/۹	۱/۹۷	۲/۴۵
اوت	۴/۱۷	۱/۲۶	۳/۶۶	۴/۴۳
سپتامبر	۴/۳۸	-۰/۹۶	۴/۳	۴/۸۷
متغیر گروه ۲				
کمینه ۱ روزه	۰/۷۸	۰/۰۳	-۰/۱۶	-۰/۴۸
کمینه ۳ روزه	۰/۸۵	۰/۰۶	-۰/۲۴	-۰/۵۶
کمینه ۷ روزه	۰/۸۶	۰/۱	-۰/۲۹	-۰/۶۱
کمینه ۳۰ روزه	۱/۰۸	۰/۳۷	-۰/۴۱	-۰/۷۸
کمینه ۹۰ روزه	۱/۲۸	۰/۶۳	-۰/۷۱	۱/۰۸
بیشینه یک روزه	۷۳/۸۸	۶/۶۳	۱۶/۱۳	۲۷/۰۶
بیشینه سه روزه	۳۱/۴۳	۵/۷۵	۱۲/۶	۲۱/۱۵
بیشینه هفت روزه	۲۱/۰۳	۴/۷	۱۰/۶۲	۱۷/۲۲
بیشینه ۳۰ روزه	۱۲/۵۹	۳/۷۶	۸/۰۸	۱۱/۶۵
بیشینه ۹۰ روزه	۸/۷۶	۲/۷۹	۶/۴۷	۷/۳۴
تعداد روزهای صفر	۰	۲	۰	۰
شاخص جریان پایه	۰/۳۲	-۰/۰۶	-۰/۰۸	-۰/۱۴
متغیر گروه ۳				
زمان وقوع جریان کمینه	۲۰۴	۱۸۵	۱۰۵/۹	۱۲۸/۶
زمان وقوع جریان بیشینه	۱۸۴	۱۷۹	۱۸/۱۲	۴۲/۳۲
متغیر گروه ۴				
تعداد ضربان کم	۵/۵	۱۴	۲	۵/۴۴
مدت زمان ضربان کم	۳۵	۸۴	۵/۱۲	۳۱/۳۲
تعداد ضربان بالا	۱۰/۵	۶/۵	۶/۵۶	۱۲
مدت زمان ضربان بالا	۱۸	۵/۷۵	۲	۴
متغیر گروه ۵				
میزان نوسانات افزایشی دبی	۰/۳	۰/۱۱	۰/۲	-۰/۲۴
میزان نوسانات کاهش دبی	-۰/۳۱	-۰/۱	-۰/۲۵	-۰/۲۱
تعداد برگشت جریان (تغییر از صعودی به نزولی یا بالعکس)	۹۸/۵	۱۴۳/۵	۱۲۱/۱	۱۴۰/۴

داشته است. با توجه به متغیرهای گروه ۳ می توان گفت که روزهای کمینه جریان در دوره قبل از احداث سد ۲۰۴ روز می باشد، در حالی که در دوره بعد از

نتایج دوره های بیشینه / کمینه جریان روزانه، هفتگی، ماهانه و سه ماهه نشان می دهد که احداث سد مذکور اثر منفی بر جریان دبی رودخانه بالخلوچای

تعداد برگشت جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد افزایش داشته است. همچنین، اهداف رویکرد دامنه تغییرپذیری (محدوده بالا و پایین RVA) نشان می‌دهد که در پروژه‌های عملیاتی، برای شش ماه اول سال آبی (اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس)، اهداف باید متناسب با دبی ۱/۱ تا ۹/۱۵ متر مکعب بر ثانیه باشد. در حالی که برای شش ماه بعدی (آوریل، می، ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر)، این محدوده بین ۰/۵۵ تا ۴/۸۷ متر مکعب بر ثانیه است. شکل ۲، نشان‌دهنده تغییرات جریان بیشینه یک روزه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد یامچی است.

احداث سد ۱۸۵ روز است. همچنین، روزهای بیشینه جریان نشان می‌دهد که در دوره قبل از احداث سد ۱۸۴ روز ولی در دوره بعد از احداث سد به ۱۷۹ روز کاهش یافته است. تعداد ضربان‌های بالا در دوره قبل از احداث سد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. از طرفی، تعداد ضربان‌های کم در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش یافته است. در نهایت، با توجه به متغیرهای گروه ۵ می‌توان نتیجه گرفت که میزان نوسانات افزایشی در دبی جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کمتر شده است. همچنین، متغیرهای میزان نوسانات کاهشی در دبی جریان و



شکل ۲- تغییرات جریان بیشینه یک روزه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد یامچی

نشان‌دهنده این است که مقدار کاهش جریان در دوره بعد از احداث سد بیشتر از دوره قبل از احداث سد بوده است. همچنین، نمودار تغییرات ماهانه دبی جریان رودخانه بالخلوچای در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد یامچی در شکل ۴ ارائه شده است.

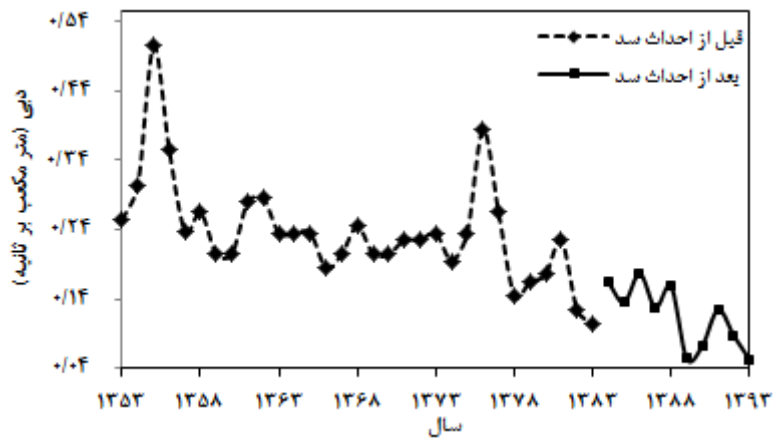
با توجه به شکل ۴، می‌توان گفت که مقدار دبی جریان در دوره‌های بعد از احداث سد (۱۳۸۴-۱۳۹۲) نسبت به دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۵۳-۱۳۸۳)، کاهش یافته است. به طوری که به غیر از ماه آوریل، میزان دبی جریان رودخانه بالخلوچای در دوره قبل از احداث سد یامچی بیشتر از دوره بعد از احداث سد است. البته کاهش میزان دبی رودخانه علاوه بر سد یامچی و اثر خود تنظیمی آن به عوامل دیگری چون

با توجه به شکل ۲، می‌توان بیان کرد که مقادیر جریان بیشینه یک روزه در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش یافته است که مقدار نزول آن ۹۱ درصد می‌باشد. همچنین، بیشترین مقدار دبی بیشینه یک روزه مربوط به سال ۱۳۶۰ می‌باشد که مقدار عددی آن حدوداً ۱۴۲/۴ متر مکعب بر ثانیه است. نتایج مربوط به مقایسه میزان نوسانات افزایشی و کاهشی در دبی جریان رودخانه بالخلوچای در شکل ۳ ارائه شده است.

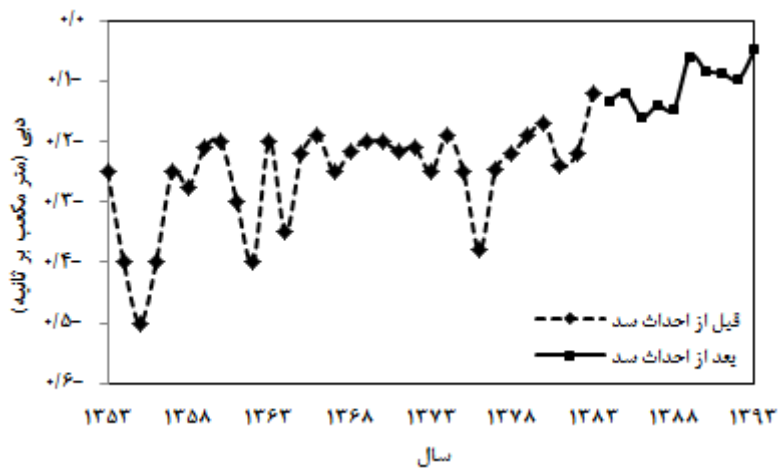
با توجه به شکل ۳، می‌توان گفت که میزان نوسانات افزایشی دبی (الف) در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش یافته است. در حالی که میزان نوسانات کاهشی دبی (ب)

جریان رودخانه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد
یامچی مطابق شکل ۵ می‌باشد.

تغییرات اقلیمی (کاهش بارندگی و افزایش دما) در
دوره مورد مطالعاتی وابسته است. مقادیر ماهانه دبی

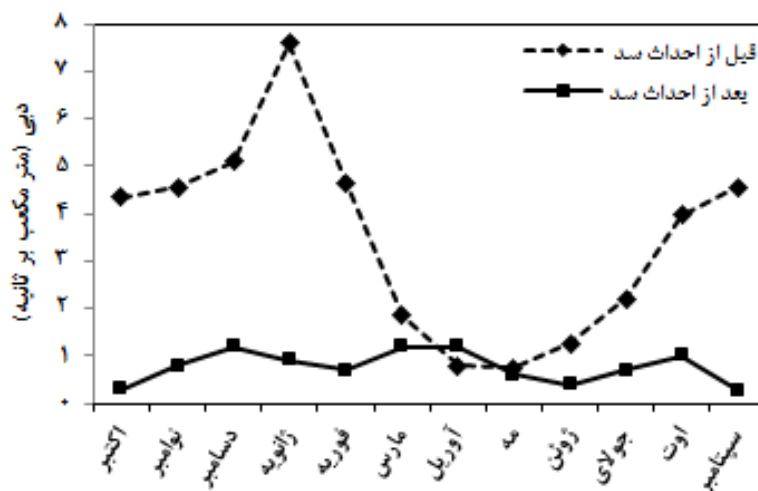


(الف)

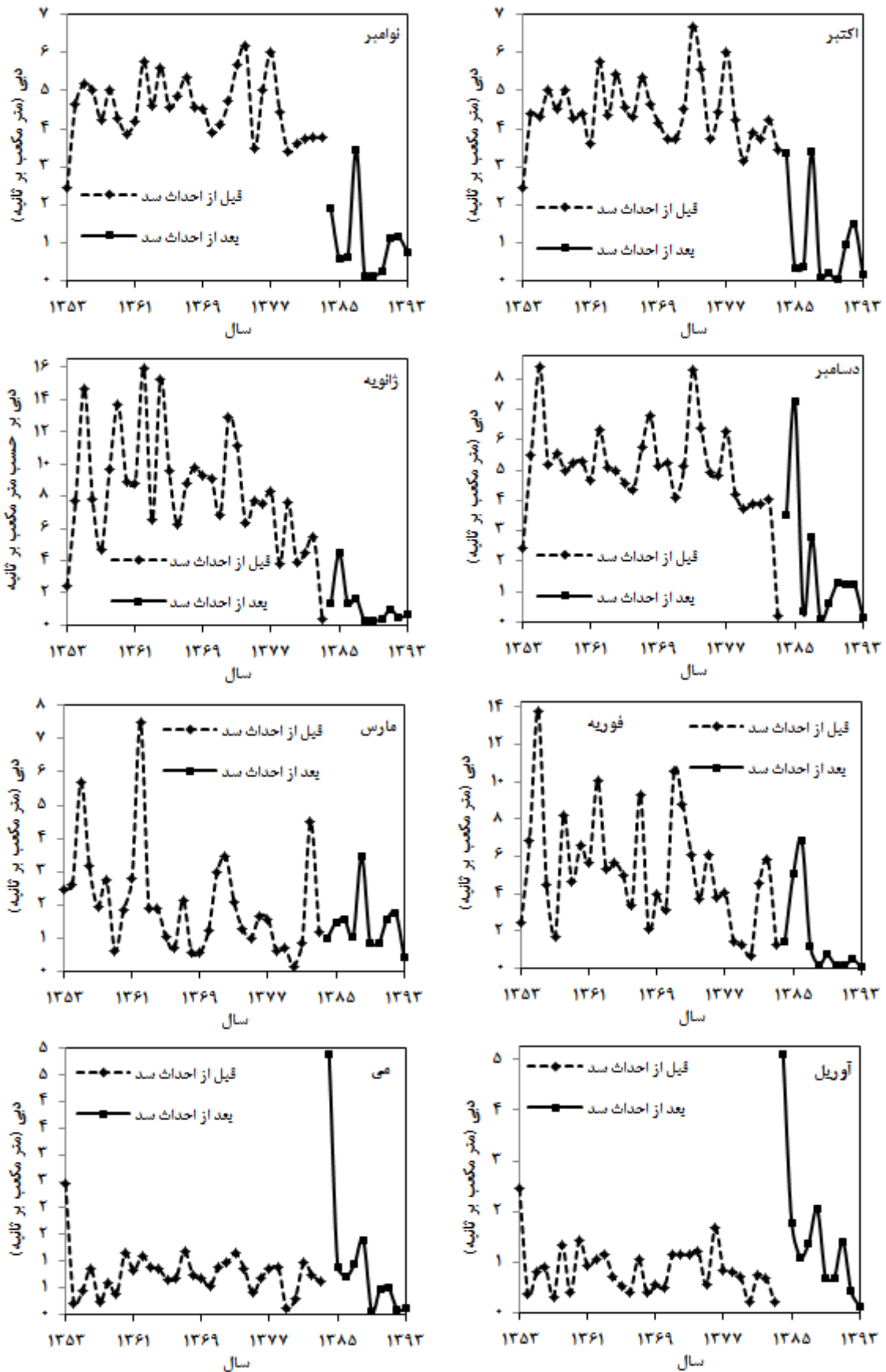


(ب)

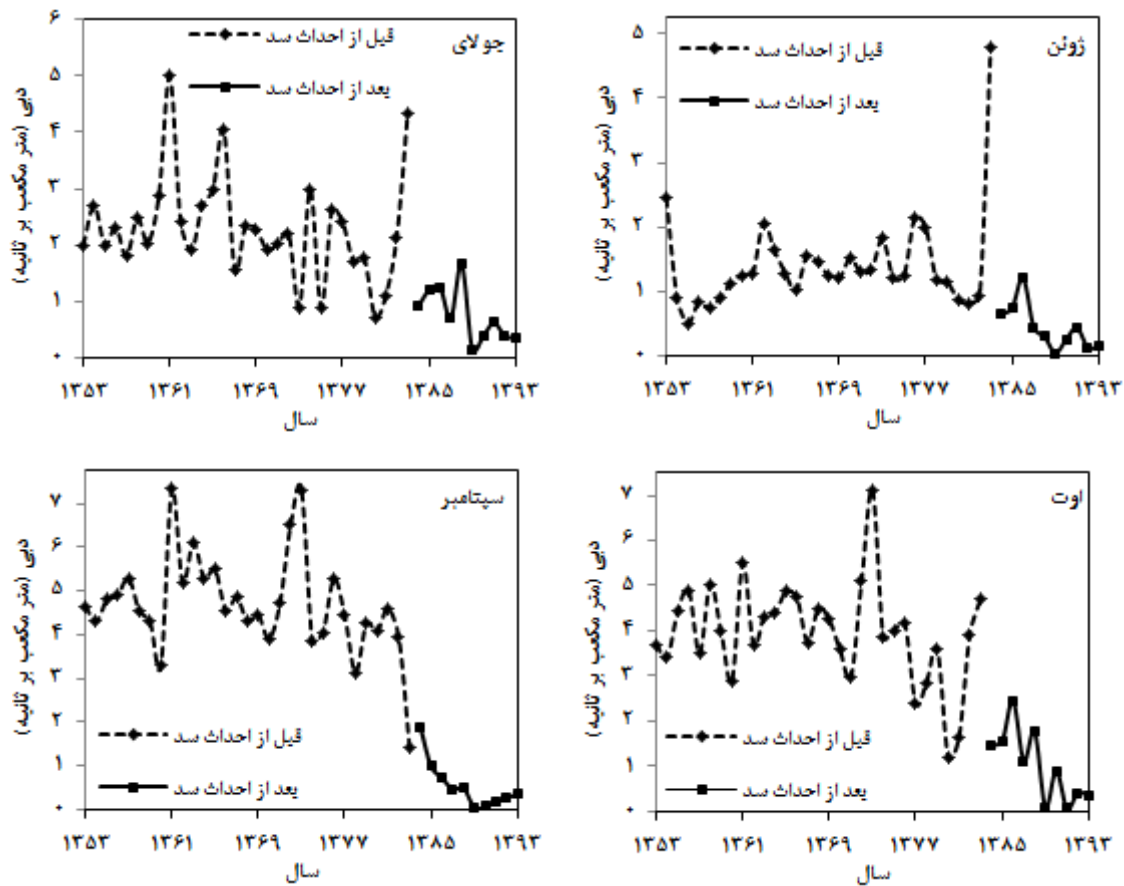
شکل ۳- مقایسه میزان نوسانات افزایشی و کاهش دبی جریان رودخانه بالخلوچای در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد، الف) میزان نوسانات افزایشی در دبی جریان، ب) میزان نوسانات کاهش دبی جریان



شکل ۴- تغییرات ماهانه دبی جریان رودخانه بالخلوچای در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد یامچی



شکل ۵- مقادیر ماهانه دبی جریان رودخانه بالخلوچای قبل و بعد از احداث سد یامچی



شکل ۵- مقادیر ماهانه دبی جریان رودخانه بالخلوچای قبل و بعد از احداث سد یامچی

بعد از احداث سد (۱۳۸۴-۱۳۹۳) است. جدول ۲ نشان‌دهنده مقادیر کمینه و بیشینه دبی در دوره آماری تحقیق حاضر می‌باشد.

با توجه به نتایج شکل ۵، می‌توان گفت که در بیشتر ماه‌های سال مقدار دبی جریان در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۸۳-۱۳۵۳) بیشتر از دوره‌های

جدول ۲- مقادیر کمینه و بیشینه دبی جریان رودخانه بالخلوچای در سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۲

ردیف	ماه	کمینه دبی (m ³ s ⁻¹)	سال آبی	بیشینه دبی (m ³ s ⁻¹)	سال آبی
۱	اکتبر	۰/۰۲	۱۳۹۰	۶/۷	۱۳۷۳
۲	نوامبر	۰/۰۹	۱۳۸۸	۶/۱۸	۱۳۷۴
۳	دسامبر	۰/۰۹	۱۳۸۸	۸/۴	۱۳۵۵
۴	ژانویه	۰/۲۴	۱۳۸۸	۱۵/۹۶	۱۳۶۲
۵	فوریه	۰/۱۱	۱۳۹۱	۱۳/۸	۱۳۵۵
۶	مارس	۰/۴۱	۱۳۹۳	۷/۴۹	۱۳۶۲
۷	آوریل	۰/۱۲	۱۳۹۳	۵/۰۹	۱۳۸۴
۸	می	۰/۰۶۹	۱۳۸۹	۴/۸۸	۱۳۸۴
۹	ژوئن	۴/۸	۱۳۸۳	۰/۰۴	۱۳۸۹
۱۰	جولای	۰/۱۴	۱۳۸۹	۲/۸۸	۱۳۶۰
۱۱	اوت	۰/۱	۱۳۸۹	۷/۱۳	۱۳۷۳
۱۲	سپتامبر	۰/۰۴	۱۳۸۹	۷/۳۲	۱۳۷۳

میر آزیان شود که با نتایج Liang و Zou (۲۰۱۵) در یک راستاست. از طرفی با کاهش جریان رودخانه و تداوم بهره‌برداری از آن در فصول کم آب، افزایش تعداد روزهایی با جریان صفر آسیب‌پذیری زیست‌بوم رودخانه را افزایش می‌دهد. متغیر روزهای بیشینه جریان نشان دهنده کاهش جریان در دوره بعد از احداث سد یامچی می‌باشد که این امر را می‌توان به اثرات تنظیمی سد و روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما در دوره مورد مطالعه دانست که با نتایج Sojka و همکاران (۲۰۱۶) در یک راستا است. همچنین، تعداد ضربان‌های بالای دبی جریان رودخانه مورد مطالعه در دوره قبل از احداث سد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد که مربوط به اثر سد مخزنی در کنترل سیلاب و کاهش بارندگی و افزایش دما بوده است. اثر تعدیلی سد یامچی (ایجاد تعادل در جریان‌های سیلابی) و کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه باعث تأثیر منفی بر متغیر میزان نوسانات افزایشی در دبی جریان (Rise Rate) داشته است و موجب کاهش این متغیر در طول زمان شده است. همچنین، متغیر میزان نوسانات کاهشی در دبی جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد افزایش داشته است. نتایج مربوط به رویکرد RVA نشان داد که دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه، برای شش ماه اول سال آبی، اهداف تامین حیات رودخانه متناسب با دبی ۱/۱ تا ۹/۱۵ متر مکعب بر ثانیه باشد در حالی که برای شش ماه دوم این محدوده بین ۰/۵۵ تا ۴/۸۷ متر مکعب بر ثانیه است. بنابراین، هدف تنظیمی جریان رودخانه مورد مطالعه بایستی بر اساس دامنه دبی مذکور در نظر گرفته شود. با توجه به مقادیر ماهانه دبی جریان در هر دو دوره می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که دوره‌های بعد از احداث سد حدوداً ۹۲ درصد دبی‌های کمینه جریان را به خود اختصاص داده است در حالی که سهم این دوره از دبی‌های بیشینه فقط ۲۵ درصد است و ۷۵ درصد از دبی بیشینه در مربوط به دوره قبل از احداث سد می‌باشد که حاکی از نزول مقدار جریان در اثر احداث سد و نیز کاهش روند بارش در این منطقه می‌باشد. کمترین مقدار دبی جریان (۰/۰۲ متر مکعب بر ثانیه) مربوط به ماه اکتبر سال ۱۳۹۰ و بیشترین

با توجه به جدول ۲، می‌توان این‌گونه بیان کرد که اثر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی (کاهش بارش و افزایش دما) و سد سازی باعث شده است که ۹۲ درصد مقادیر دبی کمینه در دوره‌های بعد از احداث سد اتفاق افتاده باشد، این در حالی است که سهم این دوره از دبی‌های بیشینه جریان در حدود ۲۵ درصد است و ۷۵ درصد دبی بیشینه در دوره‌های قبل از احداث سد یامچی است.

نتیجه‌گیری

رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی زیست‌بوم آن می‌باشد و عملیات سدسازی و تغییرات اقلیمی تأثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه دارد. هدف از تحقیق حاضر، تعیین تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل با استفاده از نرم‌افزارهای JHA Software 7.1، MAKESENS و نیز رویکرد RVA است. در این تحقیق، دوره ۴۰ ساله بر اساس آمار موجود انتخاب و سپس تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در دوره قبل و بعد از احداث سد برآورد شد. برای تحلیل روند متغیرهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر-تعرق از نرم‌افزار MAKESENS استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در دو متغیر بارش و دما، روند معنی‌دار مشاهده شد. این در حالی است که در متغیر بارش، روند کاهشی و در متغیر دما، روند به‌صورت کاهشی بود که این امر می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای داشته باشد. بر اساس نتایج، متغیرهای هیدرولوژیکی جریان در گروه اول نشان می‌دهد که مقدار دبی جریان رودخانه دبی در دوره‌های بعد از احداث سد ۵۲ درصد کاهش یافته است. احداث سد یامچی و کاهش بارش نتایج قابل توجهی بر جریان بیشینه یک روزه داشته و باعث کاهش ۹۱ درصدی این متغیر در دوره بعد از احداث سد نسبت به قبل از احداث سد داشته است که با نتایج Liang و Zou (۲۰۱۵) مطابقت دارد. همچنین، مقادیر متغیر تعداد روزهای صفر نشان می‌دهد که مقدار آن در دوره بعد از احداث سد افزایش داشته است که می‌تواند به‌صورت بالقوه باعث افزایش مرگ و

که با نتایج Azarang و همکاران، (۲۰۱۶) در یک راستا است. با مقایسه 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 کاهش مقادیر بارش می‌تواند تهدیدهای مهمی برای گونه‌های گیاهی و جانوری (آبزیان و حیات وحش) ایجاد کند و منجر به اثرات محیط زیستی نامطلوب شود. بنابراین، ضرورت دارد که تغییر رژیم هیدرولوژیک ناشی از احداث سد و تغییرات اقلیمی در برنامه‌ریزی‌های استفاده از جریان سطحی و نیز ملاحظات محیط زیستی اثرات سدها مدنظر قرار گیرد. احداث سد و تغییرات اقلیمی علاوه بر اثرات منفی، دارای اثرات مثبتی نیز بوده است که باعث تنظیم جریان و کاهش دبی‌های بالایی شده است که باعث سیلاب‌های مخرب می‌شوند. به‌طور کلی می‌توان گفت که علاوه بر تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث سد بر تغییر دبی جریان رودخانه نیازمند تجزیه و تحلیل دقیق اثرات تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، انحراف آب، برداشت آب از چاه‌های اطراف رودخانه و دیگر فعالیت‌های مرتبط با منابع آب می‌باشد.

مقدار دبی جریان (۱۵/۹۶ متر مکعب بر ثانیه) مربوط به ماه ژانویه سال ۱۳۶۲ است که این امر هم نشان‌دهنده نزول جریان رودخانه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین، می‌توان گفت که تأثیر ترکیبی احداث سد یامچی و از طرفی تغییرات اقلیمی در طول دوره آماری (کاهش بارش و افزایش دما) بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای تأثیر داشته است به‌نحوی که باعث کاهش ۵۲ درصدی میزان دبی متوسط جریان در دوره بعد از احداث سد یامچی شده است و همچنین، باعث تغییر مقدار و زمان جریان‌های بیشینه و کمینه شده است. بر اساس نتایج پژوهش Zeng و همکاران (۲۰۱۵)، 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 اثرات فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی نیازمند جزئیاتی از میزان برداشت، انتقال و یا تغییرات ذخیره است که نیازمند تحقیقات بیشتری است.

می‌توان گفت که اثر ترکیبی سد یامچی و کاهش و کمبود میزان بارش در منطقه مورد مطالعه، در سال‌های اخیر بر شرایط جریان تأثیر چشم‌گیری داشته است و این تغییرات در شرایط جریان و شاخص‌های هیدرولوژیک جریان منعکس شده است

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2016. Principles of applied hydrology. Imam Reza University Press, 942 Pages (in Persian).
2. Annear, T., I. Chisholm, H. Beecher, A. Locke, P. Aarrestad, C. Coomer, C. Estes, J. Hunt, R. Jacobson, G. Jobsis, J. Kauffman, J. Marshall, K. Mayes, G. Smith, R. Wentworth and C. Stalnaker. 2004. In stream flows for riverine resource stewardship. In Stream Flow Council, Cheyenne, Wyoming, 268 pages.
3. Azarang, F., A.R. Telvari, H. Sedghi and M. Shafaie Bajestan. 2016. Large dam effects on flow regime and hydraulic parameters of river, case study: Karkheh River, Downstream of Reservoir Dam. Journal of Water and Soil, 31(1): 11-27 (in Persian).
4. Chen, Y.D., T. Yang, C.Y. Xu, Q. Zhang, X. Chen and Z.C. Hao. 2010. 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 24(1):9-18.
5. Ghorbani, A. and A. Asghari. 2014. Ecological factors affecting the distribution of Festuca ovina in southeastern rangelands of Sabalan. Iranian Journal of Range and Desert Research, 21(2): 368-381 (in Persian).
6. Khoroshi, S., R. Mostafazadeh, A. Esmali-Ouri and M. Raoof. 2017. Assessment of temporal and spatial variations of the hydrologic index of river in the watersheds of Ardebil Province. Ecohydrology, 4(2): 379-393 (in Persian).
7. Lin, Q., Z. Wua, V.P. Singh, S.H.R. Sadeghi, H. He and G. Lu. 2017. Correlation between hydrological drought, climatic factors, reservoir operation and vegetation cover in the Xijiang Basin, South China. Journal of Hydrology, 549: 512-524.
8. Mahdavi, M. 2003. Principles of applied hydrology. Tehran University Press, 320 Pages (in Persian).

9. Mathews, R. and B.D. Richter. 2007. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environment flow setting. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(6): 1400-1413.
10. Olden, J.D. and N.L. Poff. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing stream flow regimes. *River Research and Applications*, 19: 101-121.
11. Power, M.E., W.E. Dietrich and J.C. Finlay. 1996. Dams and downstream aquatic biodiversity: potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Journal of Environmental Management*, 20: 887-895.
12. Raoufi, Y., M. Shourian and J. Attari. 2015. Capacity design of inter basin water transfer systems considering design making criteria in the source and the target basins. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 11(1): 49-61 (in Persian).
13. Razaghi Rezaieh, A., H. Ahmadi, N.A. Haghdoost and B. Hesari. 2017. Estimation of the river environmental flow through the ecohydrological methods of Tennant and DRM, case study of Mahabad Chaie. 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran, 1-10 (in Persian).
14. Richter, B.D., J.V. Baumgartner, D.P. Braun and J. Powell. 1998. A Spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14: 329-340.
15. Richter, B.D., R. Mathews, D.L. Harrison and R. Wigington. 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13: 206-224.
16. Rozenberg, D.M., P. MacCully and C.M. Pringle. 2000. Global-Scale environmental effects of hydrological alterations. *International River*, 21: 1-16.
17. Sadeghi, S.H.R., S. Kazemi Kia, H. Kheirfam and Z. Hazbavi. 2016. Experiences and consequences of inter-basin water transfer worldwide. *Iran-Water Resources Research*, 12(2): 120-140 (in Persian).
18. Salmi, T., A. Maatta, P. Anttila, T. Ruoho-Airola and T. Amnell. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the excel template application MAKESENS. *Finnish Meteorological Institute*, 1-35.
19. Sharifi, J., A. Ghorbani, M. Fayyaz, and P. Ashoori. 2016. Vegetation types and plant life forms of Alpine Sabalan in Ardabil Province. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 7(2): 65-75 (in Persian).
20. Sojka, M., J. Jaskula, J. Wischer-Dysarz and T. Dysarz. 2016. Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in low land river, a case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River. *Journal of Water and Land Development*, 30(1): 119-125.
21. The Nature Conservancy. 2009. Indicators of hydrologic alteration, Version 7.1, User's Manual, 76 pages.
22. Wang, Y., B.L. Rhoads and D. Wang. 2016. Assessment of the flow regime alterations in the middle reach of the Yangtze River associated with dam construction: potential ecological implications. *Hydrological Processes*, 30(21): 3949-3966.
23. Yaghmaei, H., S.H.R. Sadeghi, H.R. Moradi and M. Gholamalifard. 2018. Effect of dam operation on monthly and annual trends of flow discharge in the Qom Rood Watershed, Iran. *Journal of Hydrology*, 557: 254-264 (in Persian).
24. Zeng, S., C. Zhan, F. Sun, H. Du and F. Wang. 2015. Effects of climate change and human activities on surface runoff in the Luan River Basin. *Advances in Meteorology*, 12: 1-12.
25. Zhang, Q., X. Gu, V.P. Singh and X. Chen. 2015. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology*, 529: 711-722.
26. Zhang, Q., C.Y. Xu, V.P. Singh and T. Yang. 2009. Multiscale variability of sediment load and stream flow of the Lower Yangtze river basin: possible causes and implications. *Journal of Hydrology*, 368: 96-104.
27. Zhang, Q., Y. Zhou, V.P. Singh and X. Chen. 2012. The influence of dam and lakes on the Yangtze River streamflow: long-range correlation and complexity analyses. *Hydrology Process*, 26(3): 436-444.
28. Zhian, T., S. Harif and A. Ghaderi. 2016. Environmental impact assessment of Hidochechan Dam construction using ICOLD matrix method. The first International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises in Iran, Solutions and Challenges, Ardabil, Kian Company. Knowledge plan, Water Resources Research Center of Shahrekord University, 1-12 (in Persian).
29. Zou, Q. and S.H. Liang. 2015. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368, 2015)*, 1-6.