

تحلیل تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه کارون در دوره‌های قبل و پس از احداث سد گتوند با استفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری

محمدحسن نادری^{۱*}، سیمین علی‌اوغلی^۲، مسعود پورغلام آمیجی^۳، رامین فضل‌اولی^۴، آلتین قجقی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۵

چکیده

رژیم‌های هیدرولوژیک، نقش عمده‌ای در تغییر ساختار و عملکرد فرآیندهای اکولوژیک، اراضی مرطوب و اکوسیستم‌های رودخانه‌ای ایفا می‌کنند. تغییرات قابل ملاحظه در رژیم‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ها ناشی از احداث سد، باعث ایجاد ناهمگونی مکانی و زمانی سیستم‌های رودخانه‌ای و تخریب خدمات طبیعی اکوسیستم و تهدید تنوع زیستی می‌شود. از این نظر، مدیریت مؤثر اکوسیستم رودخانه‌ای، نیازمند توصیف پارامترهای رژیم هیدرولوژیک جریان طبیعی و تعیین درجه تغییرات دبی جریان تنظیمی نسبت به آبدی طبیعی می‌باشد. در این مطالعه ۳۳ پارامتر هیدرولوژیک با عنوان شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک در پنج گروه آماری در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز با استفاده از نرم‌افزار IHA با هدف ارزیابی تغییرات جریان رودخانه کارون در پایین‌دست سد گتوند از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۷، در دو دوره آماری قبل از احداث سد و رژیم جریان تغییر یافته (پس از احداث سد)، استفاده شده است. بر اساس نتایج، شاخص‌های هیدرولوژیک در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز در دوره رژیم جریان تغییر یافته، تغییرات قابل توجهی داشته است؛ به طوری که مقادیر میانگین دبی در اکثر ماه‌ها کاهش معنی‌داری داشته است. درصد تغییر هیدرولوژیک ۲۳ پارامتر در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، زیاد و ۱۱ پارامتر دیگر، درجه تغییرات آن‌ها پایین به‌دست آمد و همچنین در ایستگاه هیدرومتری اهواز، درجه تغییرات ۲۴ پارامتر، متوسط تا زیاد و ۱۲ پارامتر دیگر، درجه تغییرات آن‌ها پایین به‌دست آمد و این نشان‌دهنده درجه زیاد تغییرات هیدرولوژیک حوضه رودخانه کارون است. نتایج حداکثر جریان‌های روزانه، هفتگی، ماهانه و سه‌ماهه نشان داد که احداث سد مذکور، اثر منفی بر دبی جریان رودخانه کارون داشته است. در بررسی نتایج مربوط به رویکرد دامنه تغییرپذیری رودخانه کارون، این نتیجه نیز به‌دست آمد که دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی برای شش ماه اول سال آبی با هدف تأمین حیات رودخانه متناسب با دبی ۲۳۱/۴ تا ۵۳۲/۳ متر مکعب بر ثانیه و برای شش ماه دوم سال این محدوده بین دبی ۳۴۵/۵ تا ۱۲۳۵/۴ متر مکعب بر ثانیه باید باشد؛ در حالی که در ایستگاه هیدرومتری اهواز، برای شش ماه اول سال آبی دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه بین ۲۷۲/۷ تا ۵۶۲/۸ متر مکعب بر ثانیه و برای شش ماه دوم سال این محدوده بین دبی ۳۱۴/۲ تا ۱۲۵۵/۶ متر مکعب بر ثانیه تعیین شد. در نهایت به منظور حفظ شرایط اکولوژیک مطلوب و یکپارچگی اکوسیستم رودخانه کارون، مدیریت منابع آب (نقش تنظیمی سد گتوند بر رژیم جریان) باید به گونه‌ای صورت پذیرد تا محدوده مقادیر سالانه هر یک از شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه در دوره پس از احداث سد تا حد امکان در تعادل با دامنه دبی گزارش شده در اهداف رویکرد دامنه تغییرپذیری باشد.

واژه‌های کلیدی: احداث سد، رژیم هیدرولوژیک جریان، متوسط دبی ماهانه، مدیریت اکوسیستم رودخانه، منابع آب

مقدمه

در سراسر جهان، رودخانه‌ها به طور فزاینده‌ای در معرض سطوح مختلف تغییرات فیزیکی و بهره‌برداری از آن قرار می‌گیرند تا خدماتی نظیر تأمین نیروی برق‌آبی، آب شیرین، کنترل سیل، آبیاری و تفریح، را فراهم سازند. درک خوب از رژیم جریان طبیعی در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیک، نقش مهمی ایفا می‌کند (Richter et al., 2013; Ang et al., 2008; Jia et al., 1996). ارائه خدمات مهم اکوسیستم رودخانه‌ای به رژیم جریان بستگی دارد. در اکثر نقاط جهان به دلیل عدم توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به منابع آب و تقاضا برای مصرف آن، نیاز به ذخیره و تنظیم جریان طبیعی با ساخت سازه‌های هیدرولیکی مانند سد‌ها انجام می‌شود (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۲; Zhang et al., 2015; صادقی و همکاران، ۱۳۹۷). در اغلب

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب و پژوهشگر اکوهیدرولیک زیستگاه رودخانه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 - ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 - ۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 - ۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۵- گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- (* - نویسنده مسئول: Email: naderigau@gmail.com)

همکاران، ۱۳۹۹). برخی مطالعات نشان می‌دهد، فقدان جریان‌های حداکثر در رودخانه‌ها، با از بین رفتن زیستگاه‌های رودخانه‌ای مرتبط است (Zhang et al., 2015; Talukdar and Pal, 2018; Li et al., 2015)، بنابراین باید تلاش بیشتری برای محاسبه متغیرهای جریان اکولوژیکی در حفظ اتصال بین سیلاب‌دشت و بستر رودخانه و تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی صورت گیرد. سدها در رودخانه‌ها، به عنوان مهم‌ترین عوامل فیزیکی ساخته انسان وجود دارند (Song et al., 2020; Rzaei and Hemkar, 2013; Jia et al., 2013). قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت عدم وجود سازه‌های راه ماهی)، تغییرات بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه آبزیان، از جمله تغییرات منفی ناشی از سد و نگهداشت آب رودخانه‌ها است (Zou and Liang, 2015; Li et al., 2013). بررسی دیگر پژوهش‌ها نشان می‌دهد پروژه‌های سدسازی می‌تواند از طریق کاهش یکپارچگی و افزایش از همگسیختگی منطقه بر عملکرد سیمای سرزمین تأثیر بگذارد و در پی آن ساختار محیط زیست منطقه را متأثر کند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۸; Zhang et al., 2018). اسفندیاری درآباد و همکاران، (۱۳۹۸). از طرفی، نتایج دیگر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که احداث سدها، تأثیر مثبت بر تأمین جریان‌های کمینه دارد که برای حفاظت از زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای اهمیت دارد (Zhang et al., 2018; Kuriqi et al., 2019). نصیری خیابوی و رجبی، (۱۳۹۸) و همچنین موجب کنترل سیلاب و تأمین آب مورد نیاز بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب می‌شود (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۲; فرهادیان و همکاران، ۱۳۹۶; دشتی و همکاران، ۱۳۹۶; صادقی و همکاران، ۱۳۹۷). بسیاری از مطالعات تأثیرات عملکرد سد در هیدرولیک جریان و فرآیندهای اکولوژیکی را مورد بررسی قرار داده و بیان داشته‌اند تأثیر آنها به مناطق جغرافیایی بستگی دارد و از لحاظ مکانی و زمانی متفاوت است (Yang et al., 2008; Li et al., 2013; Kuriqi et al., 2019; علی‌اوغلی، ۱۳۹۸). با توجه به اینکه بررسی میزان تغییرات دبی جریان رودخانه در برابر مولفه فعالیت‌های انسانی (احداث سد) از اهمیت خاصی در مطالعات داخلی و خارجی مدیریت منابع آب و بررسی تأثیرات گسترده احداث سد بر شرایط جریان رودخانه برخوردار است، لذا سعی می‌شود با مرور تحقیقات و یافته‌های علمی انجام شده در این محور، به جنبه‌های مختلف نتایج بعضی از آنها در ادامه پرداخته شود.

یانگ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تغییرات هیدرولوژیکی در رودخانه زرد چین تحت تأثیر سد بیان کردند مخزن سد باعث تغییر چشم‌گیری در رژیم طبیعی جریان رودخانه در پایین‌دست به میزان ۵۶ درصد شده است (Yang et al., 2008). لگلیتر (۲۰۱۵) در تحقیقی، اثرات سد مخزنی را در پایین‌دست رودخانه ساوری آمریکا مطالعه کرد و نتیجه گرفت که احداث سد، موجب کاهش بزرگی جریان‌های اوج بهاری و افزایش جریان پایه شده است (Legleiter, 2015). در

نقاط کشور ایران، رودخانه‌ها بر اثر دخالت‌های انسانی مانند احداث سد، انتقال آب بین حوضه‌ای، افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب برای مصارف کشاورزی و شهری، تغییرات چشم‌گیری یافته‌اند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶; نادری و همکاران، ۱۳۹۸). نکته حائز اهمیت این است که سدسازی در برخی مقاطع زمانی در ایران (به ویژه در رژیم خشک و نیمه خشک حاکم بر کشور)، بنا بر الزامات تأمین منابع آبی و کنترل سیلاب، به عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی و محوری توسعه در نظر مدیران برنامه‌ریزی، محسوب می‌شد (فرهادیان و همکاران، ۱۳۹۶; دشتی و همکاران، ۱۳۹۶; صادقی و همکاران، ۱۳۹۷). با افزایش نیاز به تولید انرژی، و ایجاد رقابت بین مصرف‌کنندگان در استفاده از منابع آب رودخانه‌ها، کاربرد رویکردهایی مبتنی بر واکنش‌های اکولوژیکی به تغییرات جریان درون رودخانه‌ای، که بتوانند تعادل بهتری را بین تأمین نیازهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی برقرار نمایند، منجر به کارایی مخزن سد و مدیریت اکوسیستم رودخانه می‌شود (Zhang et al., 2015; Legleiter, 2015). ختار و شکوهی، (۱۳۹۹). شاخص‌های هیدرولوژیک جریان، خصوصیتی هستند که از داده‌های ثبت شده دبی رودخانه می‌توان استخراج نمود. تغییرات هیدرولوژیکی در سدها از طریق تغییر در سرعت جریان، حجم و فراوانی جریان‌های حداقل و حداکثر، تأثیر عمده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی جریان‌های آبی دارند و رژیم هیدرولوژیکی جدیدی را به وجود می‌آورند که به طور عمده با رژیم طبیعی جریان قبل از آبیگیری سد، متفاوت است (Sojka et al., 2016; Shi et al., 2019; Song et al., 2020). بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولوژیکی مناطق مجاور خود است، که از جمله این تغییرات می‌توان به تأمین دبی پایه دائمی و تغییر در سطح اساس آبخوان‌های مجاور اشاره کرد. محققان مختلفی گزارش کرده‌اند که تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در اثر سدها، می‌تواند در تحلیل کاهش جریان سیل و یا جریان‌های حداقل رودخانه‌ای، موثر واقع شود (Zou and Liang, 2017; Li et al., 2013; Li et al., 2015).

در برخی مطالعات گزارش شده است تغییرات در الگوهای زمانی رژیم‌های رودخانه‌ای ناشی از سدسازی و شیوه‌های تنظیم جریان، ممکن است عواقب منفی برای اکوسیستم‌های آبی داشته باشد (Kumar and Jayakumar, 2020). اکبریان و شایان، ۱۳۹۶; علی‌اوغلی، ۱۳۹۸; عزیزی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات اکوهیدرولیکی در کشورهای مختلف، فرآیند حذف سد را برای بازگرداندن رودخانه‌ها به دل طبیعت و به تبع آن افزایش جمعیت ماهی در رودخانه‌ها و حتی ماهیان مهاجر به اکوسیستم‌های رودخانه‌ای مفید می‌داند، اما هنوز قطعیت‌های لازم در زمینه این مطالعات حاصل نشده است (Legleiter, 2015; Li et al., 2015). نادری و همکاران، ۱۳۹۸; نادری و رجبی‌زاده، ۱۳۹۸; نادری و

(۲۰۲۰) ویژگی‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه کریشنا هند را در دو دوره قبل و پس از احداث سد، با استفاده از مدل RVA برای درک پارامترهای حساس جریان از نظر زیست‌محیطی، مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تغییرات هیدرولوژیکی در فصول کم‌آبی به صورت مثبت و در فصول پر آبی جریان، تغییرات منفی را از شرایط رژیم طبیعی جریان نشان می‌دهد. آنها همچنین بیان کردند چنین تغییراتی روی زیستگاه آبریان و روی گونه‌های کلیدی رودخانه و محیط اطراف، تأثیر منفی می‌گذارد (Kumar and Jayakumar, 2020). نصیری خیابوی و رجبی (۱۳۹۸) در بررسی اثر سد شهید کاظمی بوکان بر جریان محیط زیستی رودخانه زرینه‌رود دریافتند که احداث سد تنظیمی تأثیر مستقیمی بر نوسانات دبی محیط زیستی رودخانه مذکور داشته و باعث تغییر دبی جریان زیستی در دوره پس از احداث سد بوکان شده است.

یافته‌های علمی موید آن است که سبب مطالعات متعدد، دانش کافی در خصوص اثرات احداث سد بر فرآیندهای مورفولوژیکی پایین‌دستی فراهم آمده، لیکن ناکافی بودن این مطالعات در تبیین اثرات سد در تغییرات هیدرولوژیکی-اکولوژیکی سطوح پایین‌دستی مشهود بوده و نیازمند توجه مدیران و ارگان‌های ذیربط به مسائل زیست‌محیطی ناشی از احداث سد در حوضه‌های آبخیز است. آنچه مسلم است با مطالعه افزایش و کاهش جریان‌ات آبی در طول سال، می‌توان به جنبه‌های اقتصادی و مقرون به صرفه بودن احداث آنها دست یافت. بنابراین مطالعه روند تغییرات هیدرولوژیکی جریان آب در سدها می‌تواند از جنبه‌های مختلف نظیر احداث سد، حفظ پایداری اکوسیستم مفید باشد. از این رو تغییرات در رژیم‌های جریان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های زیستگاه رودخانه را تغییر دهد و به پیوستگی اکوسیستم آسیب رساند (Moazed et al., 2012; Salarjazi et al., 2012; Zou and Liang, 2015; نادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ علی اوغلی، ۱۳۹۸؛ عنایتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ختار و شکوهی، ۱۳۹۹). در چهار دهه گذشته بسیاری از سدهای بزرگ برای تولید انرژی، کنترل سیلاب، تأمین آب آشامیدنی و اهداف آبیاری در رودخانه کارون ساخته شده است. سد گتوند از جمله سدهای پر اهمیت و استراتژیک در زمینه تأمین منابع آبی استان خوزستان است. احداث این سد، در راستای دستیابی به اهداف توسعه اقتصاد ملی و به منظور استفاده بهینه از پتانسیل‌های منابع آب سطحی رودخانه کارون و نیز استراتژی کنترل سیلاب‌های فصلی، تنظیم آب کشاورزی پایین‌دست و نیز به عنوان یک جاذبه گردشگری مطرح می‌باشد. در این راستا بررسی تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی در دو دوره آماری قبل از احداث سد و بعد از تأثیرات احداث سد (رژیم جریان تغییر یافته) با استفاده از ۳۳ پارامتر تغییرات هیدرولوژیکی با روش محدوده تغییرپذیری در پایین‌دست سد گتوند در رودخانه کارون به عنوان هدف اصلی تحقیق حاضر مدنظر قرار گرفته است. شایان ذکر است در تحقیق حاضر

پژوهشی لی و همکاران (۲۰۱۵)، اثرات تغییرات رژیم جریان در اثر بهره‌برداری و تنظیم مخزن سد بر روی زیستگاه‌های ماهی‌های جوان گونه (*Spinibarbus hollandi*) را شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد، در ماه‌های اکتبر تا دسامبر، نیاز به رهاسازی دبی بیشتری از مخزن سد چینگشیتان در برآورده کردن رژیم جریان اکولوژیکی بوده و تخلیه جریان فعلی از سد در فصول خشک، ۸۰ درصد پتانسیل زیستگاه مطلوب را تأمین می‌کند (Li et al., 2015). در ارزیابی اثرات احداث سد بر روی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه پووا با استفاده از مدل IHA^۱ و رویکرد محدوده تغییرپذیری^۲، سوچکا و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که احداث سد مخزنی، تأثیر متوسطی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه داشته و از طرفی نیز باعث تأثیر چشم‌گیری در تغییر شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ای آن داشته است (Sojka et al., 2016). لی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی روند تغییرات هیدرولوژیکی جریان در حوضه رودخانه مکونگ در کشور ویتنام دریافتند با احداث سد و سرریز شدن در بخش‌های بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری، کاهش جریان سالانه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آنها، ارزیابی هیدرولوژیکی جریان پایین‌دست سد موردنظر، کاهش جریان را در فصول مرطوب سال و افزایش میزان جریان را در فصول خشک سال نشان داده است (Li et al., 2017). شطی و آخوندعلی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای، با بررسی سری‌های زمانی دبی رودخانه کارون برای دوره‌های آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ نشان دادند، کاهش شدید در میزان دبی رودخانه از ۳ سال قبل از آبیگری سد گتوند رخ داده است. آنها همچنین بیان کردند کاهش شدید در میزان دبی رودخانه از سال ۱۳۸۶ در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست سد گتوند، نیز مشاهده شده است. در پژوهشی دیگر اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که احداث سدها در رودخانه‌های زرینه‌رود و ساروق‌چای در استان آذربایجان غربی، باعث بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و موجب تغییرات قابل توجه در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان (جریان حداقل، جریان حداکثر و تداوم جریان) شده‌اند و همچنین میزان بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان در دوره‌های ترسالی و خشکسالی افزایش یافته است. همچنین نصیری خیابوی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر احداث سد یامچی بر روی دبی جریان رودخانه بالخوچای اردبیل با استفاده از مدل IHA را در ایستگاه هیدرومتری پل الماس مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که در دوره پس از احداث سد، حدود ۹۲ درصد دبی‌های حداقل جریان و حدود ۲۵ درصد دبی‌های حداکثر را به خود اختصاص داده‌اند که بیانگر کاهش مقدار جریان در اثر احداث سد مذکور است. در پژوهشی دیگر، کومار و جایاکومار

1- Indicator of Hydrologic Alteration: IHA
2- Range of Variability Approach: RVA

روش تحقیق

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش شامل داده‌های مربوط به میزان دبی روزانه جریان می‌باشد که از دو ایستگاه هیدرومتری واقع در پایین دست سد گتوند از سازمان آب و برق خوزستان، اخذ شد. در این پژوهش داده‌های دبی روزانه مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی (با مختصات جغرافیایی $31^{\circ}53'72''$ طول شرقی و $48^{\circ}35'45''$ عرض شمالی و ارتفاع ۲۸ متر از سطح دریا) و اهواز (با مختصات جغرافیایی $31^{\circ}18'27''$ طول شرقی و $48^{\circ}39'20''$ عرض شمالی و ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا) از سال آبی ۱۳۶۳-۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین متوسط آورد سالانه رودخانه کارون در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب ۱۸۱۹۳ و ۱۸۰۴۶ میلیون مترمکعب با جریان متوسط سالانه به ترتیب ۵۷۵/۳۶ و ۵۷۱/۲۷ متر مکعب بر ثانیه، در ایستگاه‌های مذکور، محاسبه شده است. مبنای انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری، موقعیت آنها نسبت به سد تنظیمی احداث شده بوده است و نیز طول دوره آماری مورد استفاده در تحلیل‌ها بر اساس زمان بهره‌برداری از سد مذکور، انتخاب شده است. چون بهره‌برداری از سد تنظیمی گتوند از مرداد سال ۱۳۹۰ شروع شده است (شطی و آخوندعلی، ۱۳۹۷)، لذا این سال به عنوان نقطه شروع تغییرات هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد. بنابراین جریان‌های روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری یادشده از سال آبی ۱۳۶۳-۱۳۶۲ تا ۱۳۹۰-۱۳۸۹ به عنوان دوره جریان قبل از احداث سد و سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷ به عنوان دوره با رژیم جریان تغییر یافته (پس از احداث سد و متأثر از فعالیت‌های انسانی) تقسیم می‌شود.

روش محدوده تغییرپذیری

روش محدوده تغییرپذیری، ارائه شده توسط ریتچر و همکاران (۱۹۹۶؛ ۱۹۹۷)، نوعی نگرش کاربردی و پیچیده و از مطلوب‌ترین دسته از شاخص‌های هیدرولوژیکی است (Richter et al., 1996)؛ هدف روش محدوده تغییرپذیری، تهیه یک سری از ویژگی‌های آماری، جنبه‌های اکولوژیکی رژیم جریان با برجسته کردن نقش مهم تغییرات هیدرولوژیکی در حفاظت از اکوسیستم‌های آبی است (Zou and Liang, 2015)؛ Zhang et al., 2015). این روش برای استفاده در رودخانه‌های تنظیم شده کاربرد دارد که حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و بومی و حفظ تنوع زیستی از اهداف اولیه مدیریت رودخانه است. این روش، نگرش مدیریت تطبیقی را درون خود دارد. در پژوهش حاضر برای بررسی شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از احداث سد، از نرم افزار IHA Software 7.1 استفاده شد. نرم افزار IHA، با هدف پردازش سریع داده‌های هیدرولوژیکی روزانه برای تعیین شرایط جریان طبیعی

بررسی و تحلیل شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، در دو ایستگاه هیدرومتری اهواز و ملاثانی واقع بر رودخانه کارون انجام شده است.

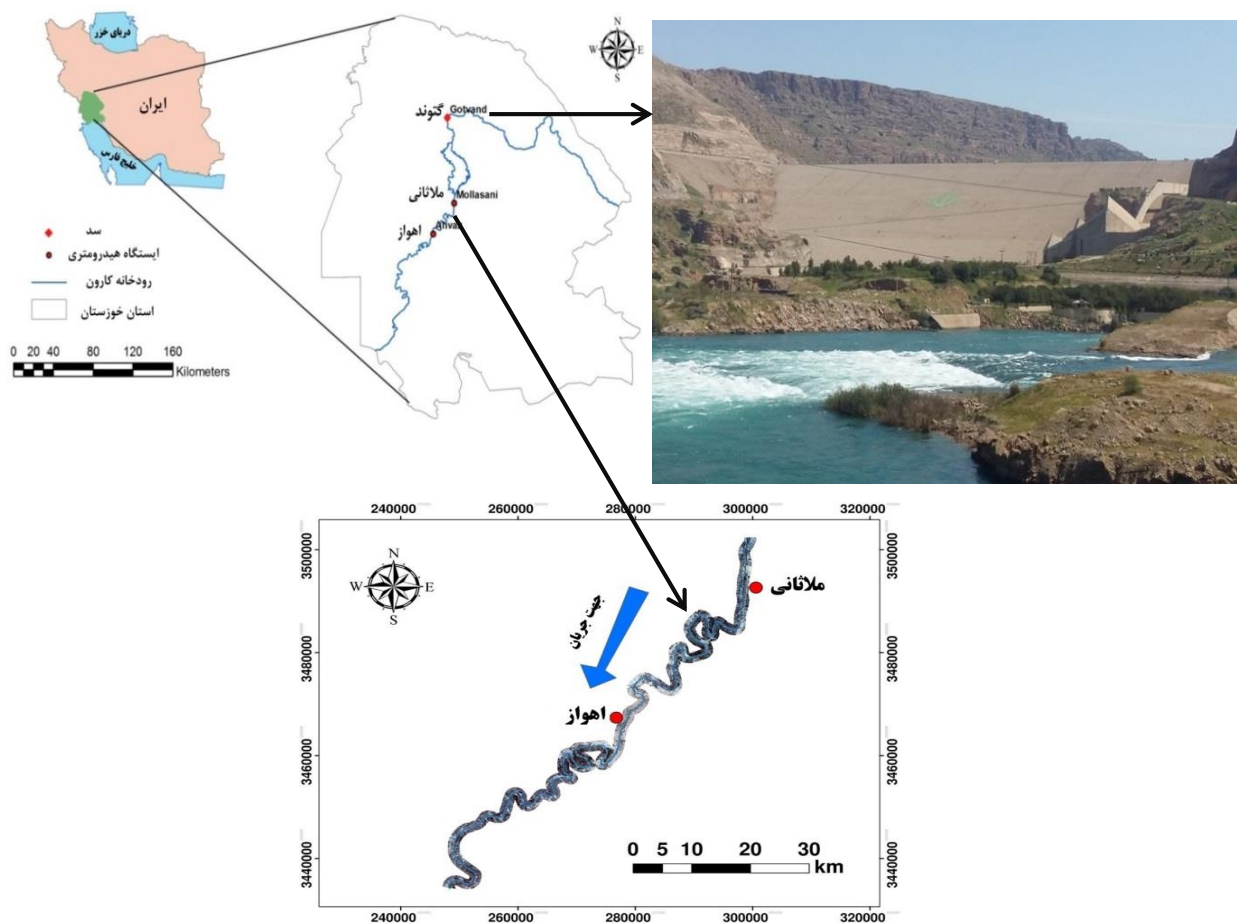
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون با مساحتی بالغ بر ۶۷۰۰۰ کیلومترمربع و طول ۹۵۰ کیلومتر، به عنوان پر آب‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه در جنوب غربی ایران و بین مختصات جغرافیایی $33^{\circ}49'$ تا $30^{\circ}17'$ شرقی و $48^{\circ}15'$ تا $52^{\circ}30'$ طول شرقی و $33^{\circ}49'$ تا $30^{\circ}17'$ عرض شمالی، در بزرگترین حوضه آبریز رودخانه‌ای ایران، واقع شده است (فرهادیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Ansari and Akhoondzadeh, 2020). رودخانه کارون از دامنه کوه‌های زاگرس در جنوب اصفهان سرچشمه می‌گیرد (Ansari and Akhoondzadeh, 2020) و سرشاخه‌های اصلی آن را رودخانه‌های خرسان، آب ونک، بازفت و رودخانه کوه‌رنگ تشکیل می‌دهند (Salarijazi et al., 2012؛ شطی و آخوندعلی، ۱۳۹۷). متوسط بارش سالانه در جنوب شرقی حوضه آبخیز کارون حدود ۳۱۵ میلی‌متر در سال و در قسمت‌های شمال غربی حوضه آبخیز، حدود ۱۳۷۶ میلی‌متر در سال است (Golshan et al., 2020؛ Yousefi et al., 2018). فراوانی ریزش‌های جوی به ویژه در سرشاخه‌های شمالی این حوضه، پتانسیل قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را ایجاد کرده است (Moazed et al., 2012؛ Salarijazi et al., 2012). اقلیم این حوضه، گرم با تابستان‌های خشک و زمستان‌های معتدل است (Salarijazi et al., 2012؛ Yousefi et al., 2018؛ Ansari and Akhoondzadeh, 2020). رودخانه کارون به عنوان منبع تولید نیروی برق آبی، آبیاری مزارع کشاورزی و کشت و صنعت‌ها (به بیش از ۲۸۰۰۰۰ هکتار)، تأمین نیازهای آبی ۱۶ شهر، چندین روستا، پروژه‌های پرورش ماهی و نیز تعدادی از تأسیسات صنعتی و به عنوان یک آبراه تجاری مهم برای انتقال نفت به خلیج فارس مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yousefi et al., 2018). قسمت بالادست رودخانه کارون در نزدیکی یکی از بزرگترین سدهای ایران به نام سد گتوند واقع شده است که در سال ۱۳۷۶ مراحل ساخت آغاز شده است که این سد تنظیمی در مختصات جغرافیایی $32^{\circ}49'$ طول شرقی و $48^{\circ}15'$ عرض شمالی و ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است (Ansari and Akhoondzadeh, 2020). حجم کل مخزن سد خاکی گتوند، ۴/۵ میلیارد متر مکعب و ارتفاع آن ۱۸۲ متر است (Yousefi et al., 2018؛ شطی و آخوندعلی، ۱۳۹۷).

نگهداری شرایط جریان در محدوده تغییرات طبیعی آن و مرتبط کردن شاخص‌های گیاهی و جانوری رودخانه با ۵ گروه از متغیرهای هیدرولوژیکی می‌باشد، به نحوی که با حفظ هر کدام از آنها در فاصله‌ای منطقی از میانه یا میانگین جریان رودخانه، شرایط اکولوژیکی تحت تأثیر اثرات انسانی، حفظ خواهد ماند (Zhang et al., 2018; Talukdar and Pal, 2018). مشروح این پارامترها و میزان تأثیرگذاری آنها بر اکوسیستم، در جدول ۱ ارائه شده است.

و تسهیل ارزیابی تغییرات ایجاد شده در دو دوره زمانی قبل و بعد از آثار مداخلات انسانی (احداث سد، تغییر کاربری اراضی و ...) و تغییر اقلیم در رژیم‌های جریان رودخانه، برای محاسبه مقادیر ۳۳ پارامتر تغییرات هیدرولوژیکی طراحی شده است (Zhang et al., 2018; Song et al., 2020). از این پارامترها، ۱۷ پارامتر به مقدار، تداوم، تناوب، زمان و مورفولوژی رودخانه مربوط می‌شود و بقیه شاخص‌های مرکزی، شدت تغییرات را در برمی‌گیرد (Richter et al., 1997; The Nature Conservancy, 2009). اساس ایده استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی در روش محدوده تغییرپذیری RVA،



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه رودخانه کارون و منطقه مورد مطالعه

برای آنالیز روندها، مورد استفاده قرار می‌گیرد (روش IHA بر مبنای اقتباس آماری از ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی مرتبط با اکولوژیکی، برای هر سال از آمار جریان برای سری داده‌های انتخابی است). تیم مدیریت باید دوره آماری که نشان‌دهنده بهترین وضعیت‌های طبیعی، تاریخی یا دست‌نخورده است را تعیین کنند.

روش محدوده تغییرپذیری از ۶ گام اصلی به شرح زیر تشکیل شده است:

گام اول: محدوده طبیعی تغییرات جریان رودخانه با استفاده از ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی مرتبط با اکولوژی با استفاده از روش شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) مشخص می‌شود. آمار بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) جریان روزانه موجود برای مشخص کردن محدوده طبیعی تغییرپذیری در رژیم‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌ای و

جدول ۱- پارامترهای تغییرات هیدرولوژیکی IHA به کار رفته در روش RVA و تأثیرات آنها بر اکوسیستم (The Nature Conservancy, 2009)

گروه	پارامترهای IHA	ویژگی‌های رژیم هیدرولوژیکی جریان	تأثیر بر اکوسیستم
گروه ۱	میزان آبدهی ماهانه	میانگین دبی جریان	مطلوبیت زیستگاه برای موجودات آبی میزان رطوبت خاک برای گیاهان
گروه ۲	مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)	حداقل و حداکثر میانگین‌های یک، سه، هفت، ۳۰ و ۹۰ روزه تعداد روزهای صفر سال شاخص جریان پایه	ساختار مورفولوژی رودخانه و وضعیت فیزیکی رودخانه میزان تنش شرایط فوق‌العاده آبی نظیر سیلاب و خشکسالی هوادهی بسترهای تولیدمثل در رسوبات کانال استرس رطوبتی خاک در گیاه
گروه ۳	زمان وقوع جریان‌های حدی	شماره روز وقوع حداقل و حداکثرهای جریان یک روزه	پویایی جمعیت موجودات و فراهم کردن زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان و تولیدمثل
گروه ۴	تناوب و مدت تداوم پالس‌های کم و زیاد جریان	تعداد پالس‌های کم و بالا در هر سال آبی میانگین مدت زمان تداوم پالس‌های کم و بالا	تبادل مواد مغذی و ارگانیک بین رودخانه و دشت سیلابی ساختار رسوبات کانال انتقال بار بستر
گروه ۵	میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان	میزان افزایش جریان (شاخه صعودی) میزان کاهش جریان (شاخه نزولی) تعداد برگشت‌های هیدرولوژیکی	تنش خشکی بر گیاهان در دوره کاهش جریان به دام افتادن و محصور شدن موجودات در دشت سیلابی در دوره افزایش جریان

مقایسه شده تا مشخص گردد که کدام یک از اهداف به دست آمده و کدام یک به دست نیامده‌اند.

گام ششم: تکرار گام دوم تا پنجم با دخیل کردن نتایج مدیریت در سال‌های اخیر و هرگونه نتایج تحقیقات اکولوژیکی که منجر به بازنگری در سیستم مدیریت یا اهداف RVA شود (Richter et al., 1996; Yang et al., 2008; Shi et al., 2019). شکل ۲، نشان دهنده نمودار جریانی مراحل تحقیق حاضر می‌باشد.

شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی در روش محدود تغییرپذیری می‌توانند با استفاده از آمار پارامتریک (میانگین انحراف معیار) یا آمار ناپارامتریک (میانه و صدک) محاسبه شوند. برای اکثر وضعیت‌ها، آمار ناپارامتریک گزینه بهتری دارد، زیرا بیشتر داده‌های هیدرولوژیکی، چولگی غیرنرمال دارند، اما برای مقادیری مانند میانگین دبی ماهانه، آمار پارامتریک، ترجیح داده می‌شود (Yang et al., 2008). همچنین پیشنهاد می‌شود که مدیریت طرح‌های توسعه منابع آب به گونه‌ای صورت گیرد که توزیع مقادیر سالیانه پارامترهای شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، تا حد امکان به توزیع پارامترها در شرایط طبیعی نزدیک باشد (Sojka et al., 2016). در تحلیل RVA، دامنه کامل مقادیر هر پارامتر در دوره رژیم طبیعی به ۳ طبقه عددی (پایین، میانه و بالا) تقسیم می‌شود. پایین‌ترین طبقه شامل همه مقادیر کمتر یا مساوی صدک ۳۳ است. طبقه متوسط شامل همه مقادیری است که در بازه صدک ۳۴ تا ۶۷ هستند، می‌شود و بالاترین طبقه، همه مقادیر بیشتر از ۶۷ را شامل می‌شود. سپس فاکتور درجه تغییر هیدرولوژیکی (میزان عدم دستیابی به اهداف RVA) بر حسب درصد از رابطه ۱

گام دوم: ۳۳ هدف مدیریتی برای هر یک از پارامترهای IHA انتخاب می‌شود. مبنای اساسی این روش این است که رودخانه به گونه‌ای مدیریت شود که مقادیر سالانه هر یک از پارامترهای IHA در محدوده تغییرات طبیعی پارامترها واقع شود، بنابراین اهداف مدیریتی برای هر پارامتر معین به عنوان محدوده‌ای از مقادیر قابل قبول بیان می‌شود. هدف ممکن است هر دو محدوده بالا و پایین را داشته باشد (مثلاً ± 1 انحراف استاندارد از میانگین) یا اینکه ممکن است فقط یک حد پایین (SD- میانگین) یا بالا (SD+ میانگین) داشته باشد (Richter et al., 1996; The Nature Conservancy, 2009; Zhang et al., 2015).

گام سوم: به کارگیری اهداف مدیریتی جریان به نام محدوده تغییرات (RVA) برای تعیین قواعد مدیریتی که شرایط جریان‌های هدف را در اکثر سال‌ها تأمین کند.

گام چهارم: برنامه مدیریتی باید شامل شرح ویژه‌ای از اهداف بیولوژیکی قابل اندازه‌گیری و یک برنامه پایش و تحقیق باشد که بررسی می‌کند آیا تلاش‌های مدیریتی در حال دست یافتن به این اهداف هستند یا نه. این برنامه پایش و تحقیق همچنین باید شامل بررسی‌های هیدرولوژیکی و دیگر نیازهای زنده و غیر زنده گونه‌های مهم در اکوسیستم باشد.

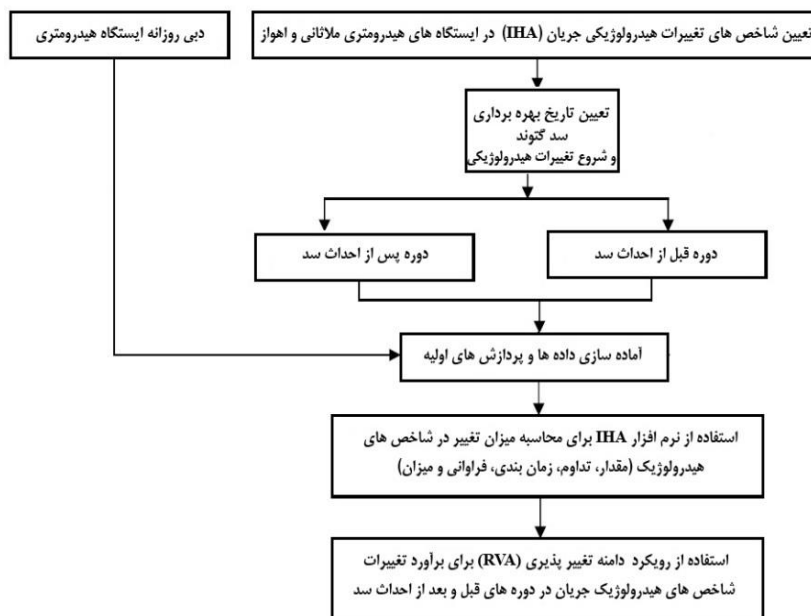
گام پنجم: تغییرات جریان واقعی رودخانه با استفاده از همان ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی در پایان هر سال مشخص می‌شود و مقادیر این پارامترها با مقادیر اهداف RVA مقایسه می‌شود. هیدروگراف سالیانه ناشی از اجرای سیستم مدیریتی در سال گذشته با استفاده از ۳۳ پارامتر IHA مشخص می‌شود و این مقادیر با مقادیر اهداف RVA

محاسبه می‌شود.

$$D_i = \frac{N_o - N_e}{N_e} \times 100 \quad (1)$$

که در آن D_i درجه تغییر هیدرولوژیکی پارامتر نام IHA و N_o فراوانی مورد انتظار است که در دوره رژیم طبیعی جریان برای هر یک از ۳ طبقه هدف، بر اساس تعداد سال‌هایی که رقم پارامتر نام

IHA در هر طبقه قرار دارد، محاسبه می‌شود و N_e فراوانی مشاهداتی یا تعداد سال‌هایی است که مقدار پارامتر هیدرولوژیکی مربوطه در دوره رژیم تغییر یافته در هر یک از ۳ طبقه، هدف RVA قرار دارد (Richter et al., 1997).



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

نتایج و بحث

با استفاده از مدل IHA، تعداد ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی برای بررسی تغییرات هیدرولوژیکی محاسبه شد که این ۳۳ متغیر، یک نمایش دقیق از رژیم هیدرولوژیکی برای ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی را فراهم می‌کند. نتایج تغییرات پنج گروه از تغییرات هیدرولوژیکی (IHA) در محدوده تغییرات RVA در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز در جداول ۲ و ۳ و شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. در جداول ۲ و ۳، از رابطه ۱ برای به دست آوردن درجه تغییرات هیدرولوژیکی در طبقه متوسط RVA استفاده شده است. همچنین درصد تغییرات هیدرولوژیکی ۳۳ پارامتر در ۳ کلاس (بین ۰ تا ۳۳ درصد، بیان کننده میزان تغییرات هیدرولوژیکی کم)، (بین ۳۳ تا ۶۷ درصد، نشان دهنده میزان تغییرات هیدرولوژیکی متوسط) و (بین ۶۷ تا ۱۰۰ درصد، بیان کننده مقدار تغییرات هیدرولوژیکی زیاد) طبقه بندی شده است. با توجه به جداول ۲ و ۳، متغیرهای گروه ۱، نشان دهنده مقدار جریان ماهانه می‌باشند. به طوری که با توجه به طبقه بندی ۳ کلاسه، در ایستگاه هیدرومتری

ملاثانی مقادیر میانگین دبی ماهانه در دوره پس از احداث سد (رژیم تغییر یافته) در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد، درصد تغییرات هیدرولوژیکی زیاد و در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر، به علت نزدیک بودن دبی رهاسازی از مخزن سد گتوند در دوره رژیم تغییر یافته نسبت به دبی جریان قبل از احداث سد، درصد تغییرات هیدرولوژیکی کم را دارند. همچنین در ایستگاه هیدرومتری اهواز مقادیر میانگین دبی ماهانه در دوره پس از احداث سد (رژیم تغییر یافته) در همه ماه‌ها به جز آبان ماه، درصد تغییرات هیدرولوژیکی زیاد همراه با روند کاهشی دبی، را دارند. شکل ۳ و ۵، میانگین تغییرات جریان ماهانه در دوره رژیم طبیعی جریان (خط سبز) و دوره رژیم جریان تغییر یافته (خط قرمز) و حد بالا و پایین دامنه تغییرپذیری (RVA) را ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز نشان می‌دهد.

بر این اساس با توجه به مقادیر گروه ۱ در جداول ۲ و ۳ در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز، می‌توان بیان کرد که جریان‌های ماهانه در بیشتر ماه‌های سال (با درجه تغییر هیدرولوژیکی متوسط و زیاد) به طور معنی‌داری، کاهش یافته و نیز مقادیر حداقل

احداث سد جریان‌های حداقل یک تا ۳۰ روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی کم و جریان حداقل ۹۰ روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی زیاد قرار دارند (جدول ۳). از طرفی جریان‌های حداکثر یک تا ۹۰ روزه، در کلاس تغییرات زیاد قرار دارند.

همان‌طور که از جداول ۲ و ۳ استنباط می‌شود، حداقل مقادیر جریان چند روزه جریان، به‌طور متوسط کاهش غیرمحسوسی داشته (با درجه تغییرات متوسط) و مقادیر جریان حداکثر چند روزه به‌طور محسوسی در مقایسه با بقیه افزایش یافته است (با درجه تغییرات زیاد). همچنین از محدوده RVA مشخص می‌شود که تغییرات جریان حداقل چند روزه، محسوس می‌باشد. به‌طور کلی بر اساس نتایج جدول ۲ و ۳، فراوانی جریان‌های حد بالا (دبی اوج) و نیز روند متعادل جریان‌های حد پایین در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز را می‌توان این‌گونه تشریح کرد که چون سد گتوند از نوع مخزنی - تنظیمی می‌باشد، بنابراین با ذخیره و تنظیم جریان‌های با دبی بالا، باعث متعادل شدن جریان خروجی در مناطق پایین‌دست شده و فراوانی جریان‌های پایین در این مناطق، به صورت متوسط می‌باشد. شاخص جریان پایه، پارامتر دیگری از این گروه است. به‌طور کلی شاخص جریان پایه (حداقل دبی هفت روزه تقسیم بر میانگین دبی سالانه) دوره پس از احداث سد در دو ایستگاه هیدرومتری ملاثانی و اهواز، تغییر چشم‌گیری (تغییرات هیدرولوژیکی زیاد) داشته است.

متوسط زمان رخداد مقادیر حداقل جریان سالانه در دوره قبل از احداث سد در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در محدوده روزه‌های ۵ تا ۳۶۶ و ۱ تا ۳۵۷ قرار دارد، در حالی که در دوره رژیم جریان تغییر یافته (پس از احداث سد) متوسط زمان رخداد مقادیر حداقل جریان سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در محدوده روزه‌های ۱۶۱ تا ۱۶۷ و ۱۶۱ تا ۱۶۷ قرار می‌گیرد و به‌طور کلی درجه تغییر زمان رخداد آنها در دوره متأثر از فعالیت‌های انسانی (پس از احداث سد) در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در کلاس متوسط و زیاد قرار می‌گیرد. اما متوسط زمان رخداد مقادیر حداکثر جریان سالانه در دوره قبل از احداث سد در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در محدوده روزه‌های ۳ تا ۳۵۸ و ۳ تا ۳۵۸ قرار دارد، در حالی که در دوره رژیم جریان تغییر یافته (پس از احداث سد) متوسط زمان رخداد مقادیر حداکثر جریان سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در محدوده روزه‌های ۳۱ تا ۷۱ و ۳۲ تا ۷۴ قرار می‌گیرد، و به‌طور کلی درجه تغییر زمان رخداد آنها در دوره متأثر از فعالیت‌های انسانی (پس از احداث سد) در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز به ترتیب در کلاس کم قرار می‌گیرد. بنابراین جریان‌های حدی سالانه در رودخانه کارون در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز دچار آشفتگی و تغییرات متوسطی شده‌اند.

جریان ماهانه به‌طور محسوسی، همراه با تغییرات کاهشی دبی بوده است. همچنین متوسط حداقل جریان‌های ماهانه در دوره‌های سیلابی برای دوره با رژیم تغییر یافته، به‌طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با دوره رژیم جریان طبیعی کاهش داشته است. این مطلب در شکل ۳ و ۵، به خوبی نشان داده شده است. با توجه به مقادیر تغییرات هیدرولوژیکی، مشخص می‌شود که متوسط جریان ماهانه و همچنین حداکثر و حداقل‌های جریان، در همه ماه‌های سال به مقدار قابل توجهی و یا در حد کمی، کاهش یافته است و نشان از این دارد که در دوره پس از احداث سد اهداف RVA حاصل نشده است. از نتایج مربوط به رویکرد دامنه تغییر پذیری (محدوده بالا و پایین RVA) مشاهده می‌شود که دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، برای شش ماه اول سال آبی (مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند)، اهداف تأمین حیات رودخانه متناسب با دبی ۲۳۱/۴ تا ۵۳۲/۳ مترمکعب بر ثانیه و برای شش ماه دوم سال (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور) این محدوده بین دبی ۳۴۵/۵ تا ۱۲۳۵/۴ مترمکعب بر ثانیه است (جدول ۲)، در حالی که در ایستگاه هیدرومتری اهواز، برای شش ماه اول سال آبی دامنه مناسب مقادیر دبی ماهانه بین ۲۷۲/۷ تا ۵۶۲/۸ مترمکعب بر ثانیه و برای شش ماه دوم سال این محدوده بین دبی ۳۱۴/۲ تا ۱۲۵۵/۶ مترمکعب بر ثانیه است (جدول ۳). بنابراین هدف تنظیمی جریان رودخانه کارون، بایستی بر اساس دامنه دبی مذکور، در نظر گرفته شود.

همچنین در جداول ۲ و ۳، وقایع حدی که گروه ۲، ۳ و ۴ را تشکیل می‌دهند، شامل جریان‌های حداقل و حداکثر، روزه‌های جریان صفر، جریان‌های حداقل و حداکثر روزانه، هفتگی، ماهانه و سه ماهه (۱روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه) و پالس‌های بالا و پایین می‌باشد. با توجه به متغیرهای گروه ۲ می‌توان گفت که در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز، مقادیر متوسط سالانه حداقل و حداکثر دارای تفاوت می‌باشد، به‌طوری که همه مقادیر در دوره قبل از احداث سد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. در این گروه در دوره پس از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، جریان‌های حداقل یک تا هفت روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی کم و جریان حداقل ۳۰ و ۹۰ روزه در کلاس تغییرات هیدرولوژیکی زیاد قرار دارند (جدول ۲). از طرفی جریان‌های حداکثر یک تا ۹۰ روزه در کلاس تغییرات زیاد قرار دارند. پارامتر حدی مهم در جدول ۲ و ۳، تحت عنوان جریان صفر ارائه شده است که انتظار می‌رود عامل مرگ و میر قابل توجهی از ارگانسیم‌های آبی و تهدید برای تغییر دادن کیفیت و پیوستگی اکولوژیکی در بلند مدت باشد. همان‌طوری که نتایج نشان داد در ۱۰۰ درصد اوقات چه قبل از احداث و چه بعد از احداث سد، جریان صفری در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز مشاهده نشده است. در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در دوره پس از

حداکثر و فراوانی سیلاب‌های بزرگ در ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست سد گتوند، روند کاهشی داشته و دلیل آن را می‌توان به اثر تنظیمی سد مخزنی مرتبط دانست که با نتایج لی و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر کاهش میزان دبی جریان در اثر احداث سد در حوضه رودخانه مکونگ در کشور ویتنام (Li et al., 2017) و نیز مطالعه اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۸) مبنی بر اثرگذاری سدهای بالادست رودخانه‌های زربینه‌رود و ساروق‌چای بر تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان به میزان قابل توجهی، در یک راستا است.

اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌شان دریافتند که شاخص تعداد روزهای صفر جریان در ایستگاه هیدرومتری صفاخانه واقع بر رودخانه ساروق چای افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از سیستم متعادل سازی جریان توسط سد گوگردچی باشد و به صورت بالقوه نیز سبب افزایش مرگ و میر آبزیان در پایاب آن می‌شود در حالی که در مطالعه حاضر تعداد روزهای صفر جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز در دوره قبل و پس از احداث سد گتوند، مشاهده نشده است.

تالوکدار و پال (۲۰۱۸) در مطالعه‌شان بیان کردند، دبی متوسط، فراوانی جریان‌های حداقل و حداکثر در دوره پس از احداث سد در حوضه رودخانه پونابها، کاهش یافته و از سوی دیگر تعداد پالس‌های جریان پرآبی کاهش یافته، اما تعداد پالس‌های جریان کم‌آبی افزایش یافته است (Talukdar and Pal, 2018). در مطالعه حاضر، در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی تعداد پالس‌های جریان پرآبی در دوره قبل از احداث سد ۲۵ درصد بیشتر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد در حالی که تعداد پالس‌های جریان کم‌آبی در دوره پس از احداث سد، ۳۷/۵ درصد نسبت به دوره قبل از احداث سد گتوند کاهش داشته است و در ایستگاه هیدرومتری اهواز تعداد پالس‌های جریان کم‌آبی در دوره پس از احداث سد، ۲۵ درصد نسبت به دوره قبل از احداث سد گتوند کاهش داشته است در حالی که تعداد پالس‌های جریان پرآبی در دوره قبل از احداث سد ۲۸ درصد بیشتر از دوره پس از احداث سد است. نصیری خیابوی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌شان گزارش کردند که تعداد پالس‌های جریان پرآبی در دوره قبل از احداث سد ۳۸ درصد بیشتر از دوره بعد از احداث سد در ایستگاه هیدرومتری پل الماس در رودخانه بالخوچای می‌باشد در حالی که تعداد پالس‌های جریان کم‌آبی در دوره پس از احداث سد، ۶۰ درصد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش داشته است. محققان مختلفی نیز در تحقیقاتشان گزارش کردند که میزان نوسانات افزایشی دبی جریان در دوره بعد از احداث سد، کاهش یافته است (Zhang et al., 2018; Zou and Liang, 2015; Legleiter, 2015) که این نتیجه را می‌توان به مطالعه حاضر تعمیم داد و از دیدگاه دیگر، جریان‌های مخرب و حداکثر احتمالاً تأثیرات مخربی نیز روی گونه‌های آبزی خواهند داشت و به شرط حفظ حیات این گونه‌ها در پایین‌دست سدها، به نظر می‌رسد وجود سد البته با رعایت جریان زیست‌محیطی از این نظر مفید هم می‌تواند باشد.

همچنین با توجه به مقادیر گروه ۵، می‌توان نتیجه گرفت که میزان نوسانات افزایشی در دبی جریان در دوره بعد از احداث سد (رژیم تغییر یافته)، نسبت به دوره قبل از احداث سد (رژیم جریان طبیعی)، کمتر شده است. از سوی دیگر، متغیرهای نوسانات کاهشی در دبی جریان و تعداد برگشت جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، افزایش یافته است در حالی که متغیر میزان افزایش دبی در دوره پس از احداث سد، حالت کاهشی داشته است. آنچه با بررسی مشخص می‌گردد، درجه تغییرات ۲۶ متغیر متوسط تا زیاد و فقط ۴ متغیر دیگر، درجه تغییرات آنها، پایین به دست آمد که بیان کننده درجه بالای تغییرات هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز می‌باشد. نتایج جدول ۲ و ۳، نشان‌دهنده اختلال قابل توجهی در رژیم جریان طبیعی بوده و متغیرهای هیدرولوژیکی که رابطه تنگاتنگی با اکوسیستم رودخانه کارون دارند، دچار تغییرات اساسی شده‌اند. مقدار منفی فاکتور تغییر هیدرولوژیکی در جدول ۲ و ۳، نشان می‌دهد که در اکثر این مواقع پارامترهای قرارگیری مقدار سالانه آنها در محدوده RVA کمتر از مقدار مورد انتظار می‌باشد که این مطلب را می‌توان در شکل ۴ و ۶، به خوبی مشاهده نمود.

شکل‌های ۳ و ۵، نشان‌دهنده تغییرات متوسط دبی ماهانه به ترتیب در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز در دوره‌های قبل و پس از احداث سد گتوند می‌باشد. آنچه از شکل ۳ مشخص است، در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی، متوسط دبی ماهانه در دوره پس از احداث سد از تیر ماه تا مهر ماه افزایش و از آبان ماه تا خرداد ماه، کاهش یافته است. همچنین بیشترین افزایش متوسط دبی ماهانه در مرداد ماه و بیشترین کاهش متوسط دبی ماهانه در فروردین ماه، صورت پذیرفته است. در ایستگاه هیدرومتری اهواز نیز در دوره پس از احداث سد (رژیم جریان تغییر یافته)، میانگین دبی ماهانه از تیر ماه تا مهر ماه افزایش و از آبان ماه تا خرداد ماه، کاهش یافته است (شکل ۵). مطابق شکل ۵، بیشترین افزایش متوسط دبی ماهانه در مرداد ماه و بیشترین کاهش متوسط دبی ماهانه در فروردین ماه، صورت پذیرفته است. بر اساس مطالعه کومار و جایاکومار (۲۰۲۰) میانگین جریان ماهانه رودخانه کریشنای هند، در دوره پس از احداث سد، در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر به میزان قابل توجهی کاهش یافته است (Kumar and Jayakumar, 2020).

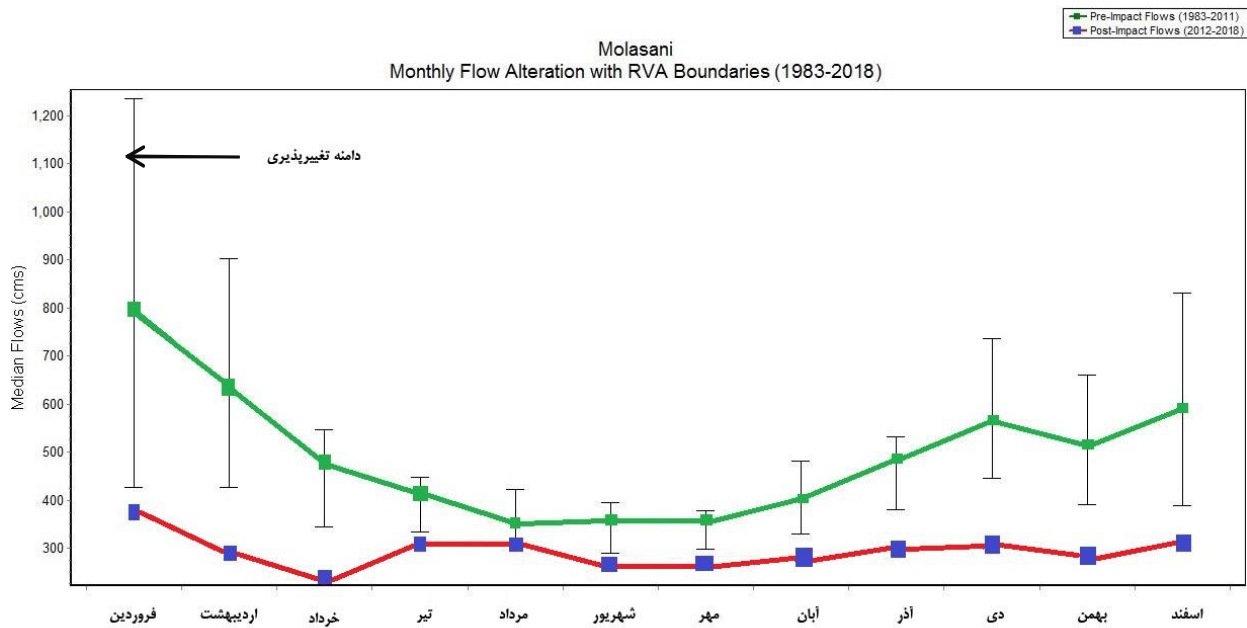
در خصوص مقادیر مثبت و منفی ارائه شده در محور عرضی نمودار (شکل ۴ و ۶) نیز شایان ذکر است که این مقدار مثبت و منفی، نشان‌دهنده تغییرات صعودی و نزولی مقدار شاخص‌های هیدرولوژیک می‌باشد به طوری که مقدار مثبت، روند افزایشی و مقدار منفی، روند کاهشی شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جداول ۲ و ۳، دلیل افزایش نرخ جریان حداکثر در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز را می‌توان به این نحو توضیح داد که کمترین تغییر در دبی جریان رودخانه کارون، به عنوان نرخ افزایش در نظر گرفته می‌شود. همچنین بدیهی است جریان

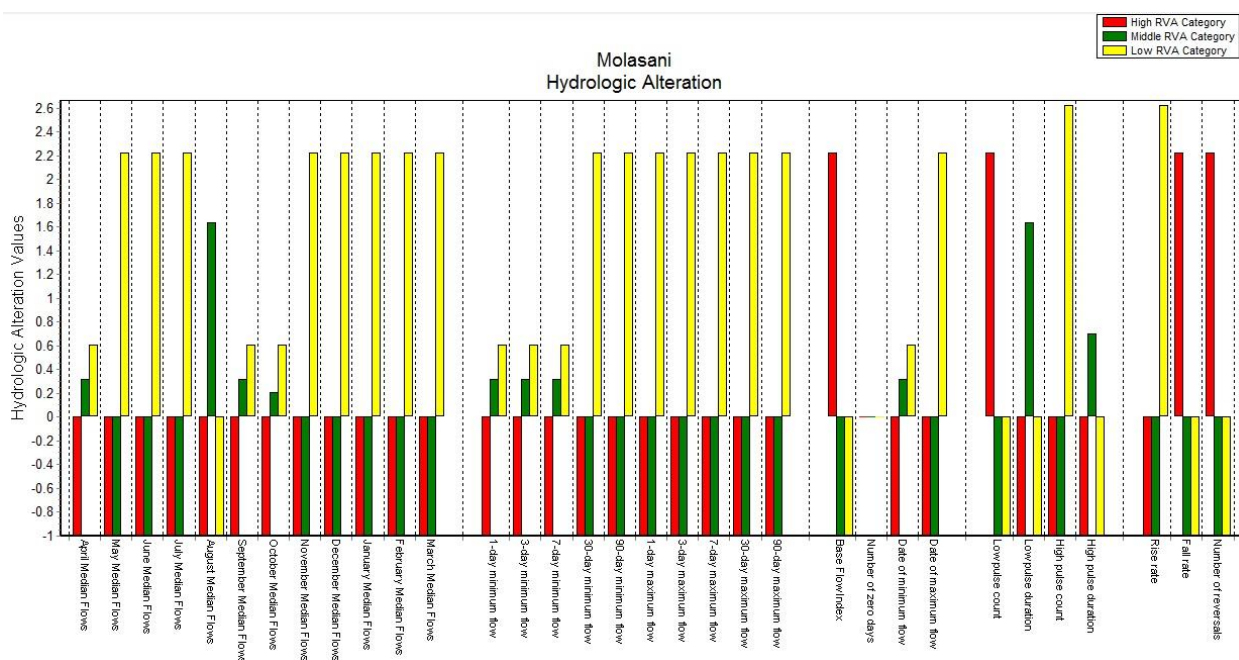
جدول ۲- نتایج تغییرات پارامترهای IHA در روش RVA برای ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در رودخانه کارون

درصد تغییر هیدرولوژیکی	اهداف RVA		رژیم جریان تغییر یافته			رژیم جریان طبیعی		پارامترهای تغییرات IHA	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل		
گروه ۱- میزان آبدهی ماهانه									
-۱۰۰ (H)	۴۴۷/۳	۳۳۲/۴	۳۱۷/۲	۲۸۸/۲	۳۰۲/۵	۸۲۷/۲	۱۷۴/۳	۴۱۶/۲	مهر
۱۶ (L)	۴۲۱/۸	۳۰۰/۲	۳۰۳/۵	۳۰۰/۳	۳۰۱/۵	۷۱۴/۲	۱۳۶/۳	۳۵۱/۳	آبان
۳۲ (L)	۳۹۴/۵	۲۸۹/۴	۳۰۱/۵	۲۳۴/۵	۲۶۸/۳	۶۳۳/۵	۱۳۲/۵	۳۶۰/۴	آذر
۲۱ (L)	۳۷۷/۵	۲۹۸/۴	۳۳۲/۷	۲۱۲/۶	۲۷۲/۳	۵۸۴/۳	۱۳۹/۲	۳۵۴	دی
-۱۰۰ (H)	۴۸۰/۹	۲۳۱/۴	۳۱۱/۵	۲۴۴/۵	۲۷۸/۴	۸۱۴/۵	۱۲۹/۵	۴۰۲/۷	بهمن
-۱۰۰ (H)	۵۳۲/۳	۳۸۰/۴	۳۲۷/۴	۲۵۷/۴	۲۹۲/۴	۱۷۸۷/۵	۱۲۴/۳	۴۸۴/۳	اسفند
-۱۰۰ (H)	۷۳۵/۳	۴۴۵/۶	۳۵۰/۲	۲۵۴/۳	۳۰۲/۵	۱۶۶۷/۲	۱۲۱/۵	۵۶۳/۶	فروردین
-۱۰۰ (H)	۶۵۹/۶	۳۹۱/۲	۲۷۸/۵	۲۷۷/۵	۲۷۸/۴	۲۵۱۸/۴	۱۲۴/۵	۵۱۳/۶	اردیبهشت
-۱۰۰ (H)	۸۳۱/۶	۳۹۰/۳	۳۴۲/۳	۲۷۰/۴	۳۰۶/۷	۲۴۸۳/۶	۱۴۰/۷	۵۸۸/۴	خرداد
۳۱ (L)	۱۲۳۵/۴	۴۲۸/۲	۴۳۱/۵	۳۰۹/۵	۳۷۰/۵	۲۲۴۰/۴	۱۳۰/۵	۷۹۷/۵	تیر
-۱۰۰ (H)	۹۰۱/۲	۴۲۷/۳	۴۳۴/۶	۲۳۵/۴	۲۸۴/۵	۲۷۱۱/۱	۱۴۱/۱	۶۳۶/۲	مرداد
-۱۰۰ (H)	۵۴۶/۳	۳۴۵/۵	۲۳۳/۵	۲۲۷/۵	۲۳۰/۶	۹۶۸/۴	۱۲۷/۳	۴۷۶/۵	شهریور
گروه ۲- مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)									
۳۲ (L)	۲۲۸/۴	۱۶۵/۵	۱۷۴/۴	۱۳۹/۴	۱۵۶/۵	۳۱۲/۳	۹۰/۲	۱۸۷/۲	حداقل ۱ روزه
۳۲ (L)	۲۳۷/۴	۱۷۱/۳	۱۸۵/۷	۱۶۷/۳	۱۷۶/۴	۳۲۸/۳	۹۰/۳۷	۲۰۱/۳	حداقل ۳ روزه
۳۲ (L)	۲۵۹/۸	۱۹۵/۴	۱۹۹/۱	۱۹۰/۴	۱۹۴/۸	۳۴۷/۹	۹۵/۴۶	۲۳۰/۱	حداقل ۷ روزه
-۹۵ (H)	۳۲۴/۹	۲۴۰/۳	۲۲۷/۹	۲۱۱/۲	۲۱۹/۴	۴۲۲/۵	۱۱۱/۸	۲۷۰/۶	حداقل ۳۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۳۶۴/۴	۲۸۲/۲	۲۶۹/۹	۲۴۰/۸	۲۵۵/۳	۴۶۴/۷	۱۲۸/۳	۳۳۲/۲	حداقل ۹۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۲۹۸۹/۳	۱۸۴۹/۵	۱۱۰۸/۲	۷۸۲/۳	۹۴۵/۶	۵۱۶۰/۲	۶۱۶/۴	۲۴۰۸/۲	حداکثر ۱ روزه
-۱۰۰ (H)	۲۸۶۸/۲	۱۷۰۶/۳	۹۵۱/۷	۷۱۴/۶	۸۳۲/۸	۴۹۰۳/۲	۵۲۶/۷	۲۱۶۶/۵	حداکثر ۳ روزه
-۱۰۰ (H)	۲۶۰۵/۵	۱۳۶۱/۶	۷۱۹/۴	۵۸۶/۳	۶۵۲/۹	۳۳۵۲/۳	۳۸۵/۱	۲۰۴۴/۳	حداکثر ۷ روزه
-۱۰۰ (H)	۱۸۰۷/۴	۸۵۰/۴	۴۴۸/۵	۴۲۳/۴	۴۳۶/۶	۳۱۲۷/۴	۲۰۲/۷	۱۱۸۹/۵	حداکثر ۳۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۱۱۹۱/۳	۶۶۵/۲	۳۷۰/۶	۳۵۰/۱	۳۶۰/۳	۲۱۲۷/۶	۱۷۴/۲	۷۵۹/۹	حداکثر ۹۰ روزه
۰ (L)	.	.	.	.	.	.	.	.	تعداد روزهای جریان صفر
-۱۰۰ (H)	۰/۵۱۰۸	۰/۳۵۲۱	۰/۶۷۷۲	۰/۵۸۷۳	۰/۶۳۲۳	۰/۶۶۰۴	۰/۲۳۴۹	۰/۴۳۹۳	شاخص جریان پایه
گروه ۳- زمان وقوع جریان حدی									
۳۲ (L)	۲۷۲	۱۶۳	۱۶۷	۱۶۱	۱۶۴	۳۶۶	۵	۲۴۲	شماره روز وقوع حداقل جریان سالانه
-۱۰۰ (H)	۱۲۵	۸۲	۷۴	۳۱	۵۲	۳۵۸	۳	۷۷	شماره روز وقوع حداکثر جریان سالانه
گروه ۴- تناوب و مدت تداوم پالس های کم و زیاد جریان									
-۱۰۰ (H)	۱۰/۲	۳/۹	۳۰	۲۵	۲۷/۵	۱۹	۰	۷	تعداد پالس جریان کم آبی
۱۶ (L)	۴/۰۵	۲	۳	۲	۲/۵	۲۰	۱	۲	تداوم پالس جریان کم آبی
-۱۰۰ (H)	۹/۲	۷	۴	۲	۳	۱۸	۰	۸	تعداد پالس جریان پر آبی
۷۱ (H)	۳/۴۳	۲	۲	۲	۲	۱۱	۱	۲/۵	تداوم پالس جریان پر آبی
گروه ۵- میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان									
-۱۰۰ (H)	۳۴/۵	۲۱	۱۶	۱۳	۱۴/۵	۵۷	۵	۲۸	میزان افزایش
-۱۰۰ (H)	-۲۲/۶	-۴۲/۳	-۱۲	-۱۶	-۱۴	-۶	-۵۵/۵	-۲۹	میزان افت
-۱۰۰ (H)	۱۶۵/۳	۱۵۱/۵	۱۸۱	۱۷۶	۱۸۷/۵	۱۸۰	۸۰	۱۵۸	تعداد برگشت های هیدرولوژیکی

H= High (> 67%), M=Middle (34-66%) , L=Low (< 33%)



شکل ۳- میانگین جریان ماهانه در دو دوره قبل و بعد از تأثیرات و حد بالا و پایین RVA (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان) در ایستگاه هیدرومتری ملاتانی



شکل ۴- نمودار درجه تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در ۳ طبقه هدف RVA در ایستگاه هیدرومتری ملاتانی

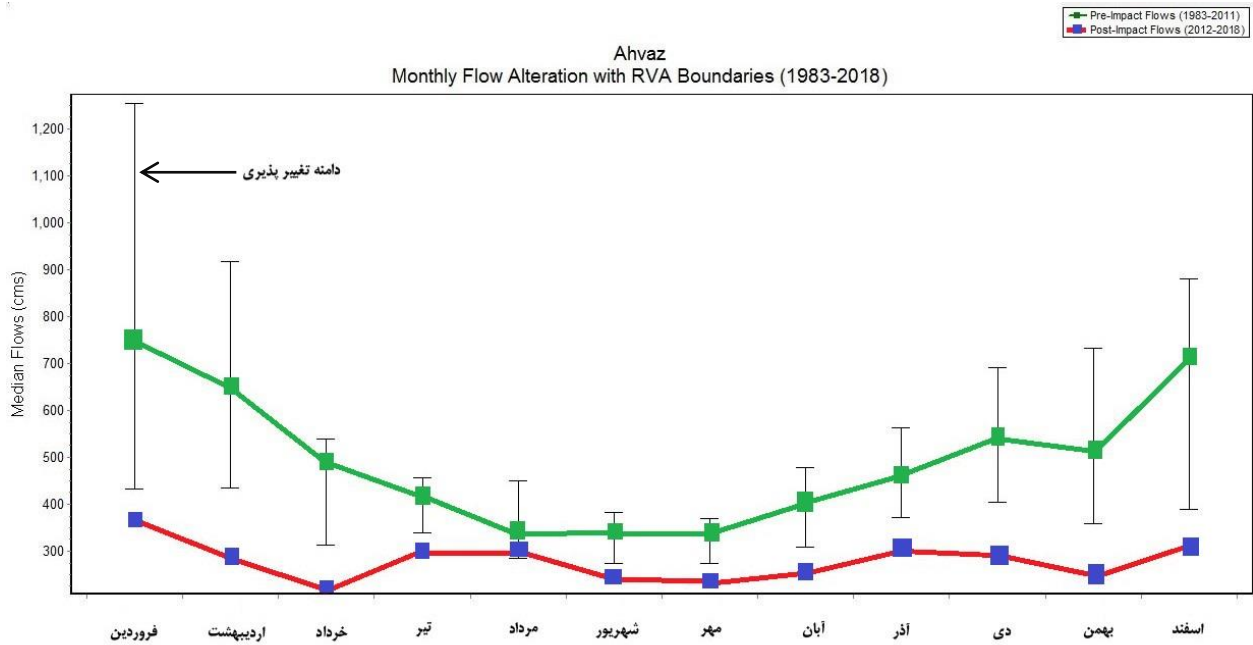
شایینگ در استان هنان چین با استفاده از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیک، زو و لیانگ (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که احداث سد مذکور، باعث کاهش میزان جریان رودخانه در دوره پس از احداث سد از ۳/۵ به ۱۸۱/۱ درصد در ایستگاه هیدرومتری جیشو شده است (Zou and Liang, 2015).

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که احداث سد مخزنی گتوند، باعث ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی جریان رودخانه کارون، در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری ملاتانی و اهواز شده است که با نتایج زو و لیانگ (۲۰۱۵) در ارتباط با تأثیر احداث سد بر تغییر جریان رودخانه‌ای شایینگ در استان هنان چین مطابقت دارد (Zou and Liang, 2015). در بررسی اثرات سد هوآی‌دی‌ان روی رژیم جریان رودخانه

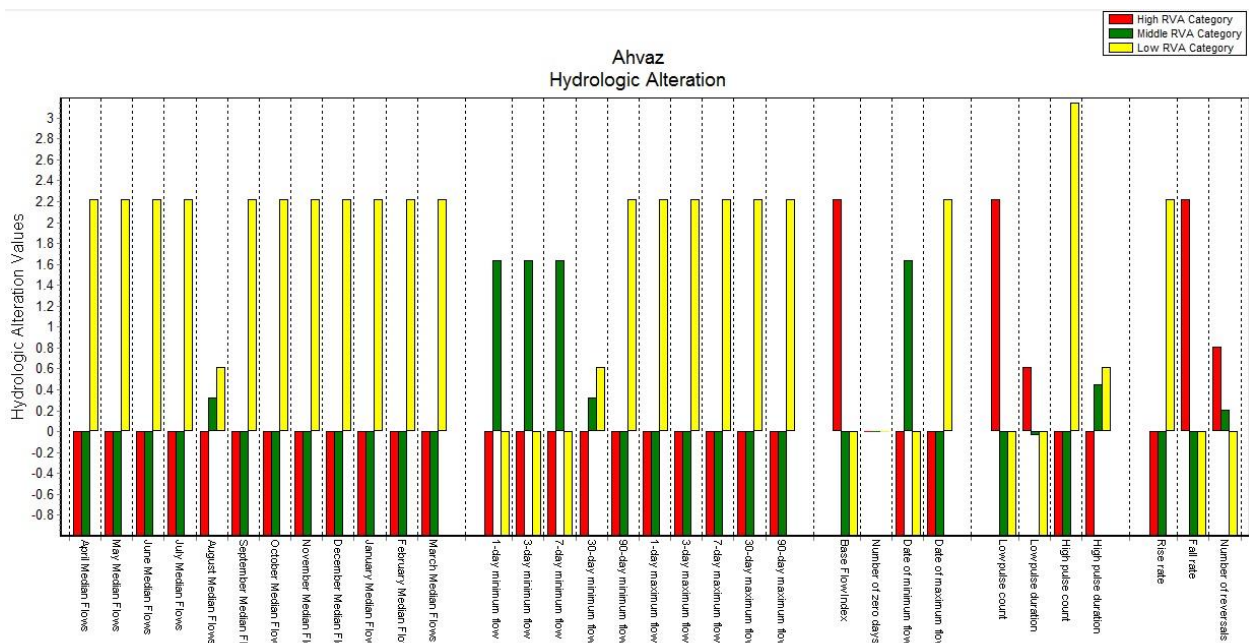
جدول ۳- نتایج تغییرات پارامترهای IHA در روش RVA برای ایستگاه هیدرومتری اهواز در رودخانه کارون

درصد تغییر هیدرولوژیکی	اهداف RVA		رژیم جریان تغییر یافته			رژیم جریان طبیعی			پارامترهای تغییرات IHA
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	
گروه ۱- میزان آبدهی ماهانه									
-۱۰۰ (H)	۴۵۷/۲	۳۳۸/۶	۳۲۳/۶	۲۷۵/۲	۲۹۹/۵	۸۴۳/۸	۱۶۱/۶	۴۱۶/۳	مهر
۳۴ (M)	۴۵۱/۲	۲۸۵/۷	۳۱۴/۵	۲۸۲/۳	۲۹۸/۶	۶۸۶/۵	۱۴۹/۲	۳۳۵/۲	آبان
-۱۰۰ (H)	۳۸۳/۶	۲۷۲/۷	۲۴۵/۴	۲۳۷/۵	۲۴۱/۳	۷۵۴/۴	۱۲۸/۶	۳۳۹/۵	آذر
-۱۰۰ (H)	۳۶۹/۱	۲۷۳/۸	۲۵۱/۶	۲۱۷/۶	۲۳۴/۳	۵۸۴/۲	۱۱۰/۴	۳۳۸/۶	دی
-۱۰۰ (H)	۴۸۰/۲	۳۰۹/۲	۲۷۱/۳	۲۳۵/۲	۲۵۲/۵	۸۴۴/۵	۱۱۶/۳	۴۰۰/۴	بهمن
-۱۰۰ (H)	۵۶۲/۸	۳۷۳/۶	۳۴۳/۵	۲۶۰/۲	۳۰۱/۵	۱۴۳۱/۳	۱۱۴/۲	۴۶۲/۴	اسفند
-۱۰۰ (H)	۶۹۳/۳	۴۰۵/۶	۴۳۶/۴	۲۴۰/۵	۲۹۳/۹	۱۶۶۰/۵	۱۱۹/۵	۵۴۲/۳	فروردین
-۱۰۰ (H)	۷۳۲/۷	۳۵۸/۵	۲۶۳/۵	۲۳۳/۵	۲۴۸/۳	۲۷۲۸/۴	۱۱۷/۶	۵۱۳/۵	اردیبهشت
-۱۰۰ (H)	۸۸۱/۵	۳۸۸/۵	۳۶۰/۵	۲۵۷/۴	۳۰۸/۵	۲۵۸۰/۵	۱۲۱/۴	۷۰۹/۸	خرداد
-۱۰۰ (H)	۱۲۵۵/۶	۴۳۳/۷	۴۲۵/۵	۳۰۴/۶	۳۶۴/۸	۲۲۴۷/۴	۱۴۲/۸	۷۴۸/۴	تیر
-۱۰۰ (H)	۹۱۷/۸	۴۳۵/۶	۳۴۰/۴	۲۳۰/۴	۲۸۵/۴	۳۳۳۸/۵	۱۳۵/۳	۴۶۹/۵	مرداد
-۱۰۰ (H)	۵۳۹/۴	۳۱۴/۲	۲۲۴/۲	۲۱۲/۵	۲۱۸/۴	۹۸۴/۵	۱۱۹/۷	۴۹۰/۵	شهریور
گروه ۲- مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)									
۱۷ (L)	۲۲۴/۹	۱۳۹/۲	۱۷۵/۶	۱۵۲/۴	۱۶۳/۵	۲۹۷/۳	۸۹/۶	۱۷۴/۵	حداقل ۱ روزه
۱۷ (L)	۲۲۸/۸	۱۵۲/۵	۱۸۳/۷	۱۶۸/۳	۱۷۶/۳	۳۰۵/۶	۹۱/۳۳	۱۸۹/۳	حداقل ۳ روزه
۱۷ (L)	۲۵۵/۲	۱۷۰/۸	۲۰۳/۴	۱۸۰/۹	۱۹۲/۱	۳۵۱/۳	۹۲/۸۶	۲۰۵/۷	حداقل ۷ روزه
۳۲ (L)	۳۰۹/۷	۲۱۸/۶	۲۲۹/۲	۱۹۸/۳	۲۳۱/۶	۴۱۴/۷	۱۰۷/۶	۲۵۵/۲	حداقل ۳۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۳۵۷/۳	۲۷۶/۴	۲۴۸/۲	۲۳۶/۴	۲۴۲/۳	۴۵۱/۵	۱۱۹/۶	۳۱۱/۳	حداقل ۹۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۳۴۸۸/۳	۱۹۰۴/۳	۹۹۰/۳	۷۱۵/۵	۸۵۲/۵	۹۵۴۴/۸	۵۷۹/۲	۳۰۱۵	حداکثر ۱ روزه
-۱۰۰ (H)	۳۲۰۲/۳	۱۷۲۴	۹۳۴/۳	۶۸۸/۲	۸۱۱/۲	۴۹۲۶/۵	۵۲۵/۳	۲۷۰۹	حداکثر ۳ روزه
-۱۰۰ (H)	۲۸۳۴/۶	۱۲۳۵/۶	۷۰۳/۳	۵۶۷/۱	۶۳۵/۲	۴۵۷۶/۴	۳۸۱/۴	۲۳۵۶	حداکثر ۷ روزه
-۱۰۰ (H)	۱۸۵۶/۸	۷۷۰/۸	۴۴۰/۴	۴۳۱/۸	۴۳۶/۳	۳۴۲۸/۲	۲۰۱/۳	۱۲۶۱	حداکثر ۳۰ روزه
-۱۰۰ (H)	۱۲۰۵/۴	۶۳۷/۳	۳۶۶/۶	۳۳۹/۳	۳۵۳/۲	۲۱۹۹/۴	۱۶۴/۳	۷۳۱/۲	حداکثر ۹۰ روزه
۰ (L)	.	.	.	.	.	.	.	.	تعداد روزه‌های جریان صفر
-۱۰۰ (H)	۰/۴۸۱	۰/۳۰۴۱	۰/۶۶۹	۰/۶۲۵۷	۰/۶۴۷۸	۰/۶۹۲	۰/۱۹۰۱	۰/۴۱۴۴	شاخص جریان پایه
گروه ۳- زمان وقوع جریان حدی									
۱۶ (L)	۲۶۶	۷۸	۱۶۷	۱۶۱	۱۶۴	۳۵۷	۱	۳۳۰	شماره روز وقوع حداقل جریان سالانه
-۳ (L)	۱۲۱	۸۱	۷۴	۳۲	۵۳	۳۵۸	۳	۷۳	شماره روز وقوع حداکثر جریان سالانه
گروه ۴- تناوب و مدت تداوم پالس‌های کم و زیاد جریان									
-۱۰۰ (H)	۸/۱	۳/۹	۲۴	۱۱	۱۷/۵	۱۸	۰	۵	تعداد پالس جریان کم‌آبی
۴۵ (M)	۶/۸	۲	۷	۲	۴/۵	۵۴	۱/۵	۳	تداوم پالس جریان کم‌آبی
-۱۰۰ (H)	۸/۱	۵	۳	۱	۲	۱۵	۰	۸	تعداد پالس جریان پرآبی
-۴۵ (M)	۴/۴	۲/۸	۳	۲	۲/۵	۳۱	۱	۳/۲۵	تداوم پالس جریان پرآبی
گروه ۵- میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان									
-۱۰۰ (H)	۳۱/۱	۲۰/۷	۱۳/۵	۱۰	۱۱/۷	۵۰	۶	۲۶	میزان افزایش
-۱۰۰ (H)	-۱۹/۴۵	-۳۴/۰۵	-۱۲	-۱۲	-۱۲	-۶	-۴۹	-۲۸	میزان افت
۲۱ (L)	۱۵۱	۱۳۹/۹	۱۶۲	۱۴۹	۱۵۵/۵	۱۶۹	۶۶	۱۴۴	تعداد برگشت‌های هیدرولوژیکی

H= High (> 67%), M=Middle (34-66%) , L=Low (< 33%)



شکل ۵- میانگین جریان ماهانه در دو دوره قبل و بعد از تأثیرات و حد بالا و پایین RVA (خط سبز و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده دوره قبل و بعد از تغییر رژیم جریان) در ایستگاه هیدرومتری اهواز



شکل ۶- نمودار درجه تغییرات ۳۳ پارامتر IHA در ۳ طبقه هدف RVA در ایستگاه هیدرومتری اهواز

عمل آمد که میانگین دبی رودخانه کارون در بازه سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۷ نسبت به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۰ در ایستگاه‌های هیدرومتری بامدژ، ملاثانی و اهواز به ترتیب با ۶۴، ۵۶ و ۵۷ درصد کاهش مواجه بوده‌اند و به تبعیت از آن، تغییرات و کاهش کیفیت آب رودخانه کارون، در بازه ملاثانی تا اهواز، نیز امری انکارناپذیر و ارتباط مستقیم

نتایج مطالعه حاضر موید این مطلب است که نوسانات در مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانه کارون در دوره‌های قبل و پس از احداث سدگنوند، نشان از تغییر دبی جریان می‌باشد و احداث این سد موجب ایجاد اختلال و بی‌نظمی در شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان شده است. در پژوهش شطی و آخوندعلی (۱۳۹۷) این نتیجه‌گیری به

۱۴۰/۷۵ متر مکعب بر ثانیه از روش جریان پایه آبیان، قابل قبول دانستند.

یکی از نقش‌هایی که جریان‌های حداکثر (سیلابی) دارند، حفظ شکل آبراهه رودخانه و محافظت از پوشش گیاهی آبی و کنار رودخانه‌ای است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵)، کوریکی و همکاران (۲۰۱۹)، نادری و همکاران (۱۳۹۸)، ختار و شکوهی (۱۳۹۹) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش‌های صورت گرفته، گزارش کرده‌اند که دبی شستشو، دبی شکل‌دهی به کانال و دبی مورد نیاز برای برقراری ارتباط میان آبراهه اصلی و دشت‌های سیلابی، جریان‌هایی هستند که برای حفاظت اکوسیستم رودخانه، ضروری است (Zhang et al., 2015؛ Kuriqi et al., 2019). در پژوهش‌های مختلفی نشان داده شده است که در مناطق نیمه‌خشک که تغییرات رژیم جریان بیشتر است، به مقدار جریانی نیاز است تا مقطع عرضی رودخانه را پر کند تا رسوباتی که طی زمان‌های طولانی روی هم انباشته شده است، را شستشو دهد و علاوه بر آن هر چند سال یکبار وارد سیلاب‌دشت شود و نیز رسوبات و مواد مغذی در سیلاب‌دشت ترسیب و رطوبت آن ناحیه نیز افزایش یابد و همچنین محیط مناسب را برای رشد گیاهان کنار رودخانه‌ای و زیستگاه، پناهگاه و محلی برای مهاجرت گونه‌های آبی و خشکی‌زی فراهم نماید (Li et al., 2013؛ نادری و رجبی‌زاده، ۱۳۹۸؛ Kumar and Jayakumar, 2020؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین با توضیحات فوق‌الذکر، مدیریت جریان رودخانه، برای حفظ شرایط زیستی و مورفولوژیکی، زمانی بهترین عملکرد را خواهد داشت که با توجه به رژیم هیدرولوژی رودخانه، از تمام اجزای اکوسیستم رودخانه، نگهداری شود. نتایج مطالعه حاضر و سایر تحقیقات (Li et al., 2017؛ اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶، اکبری‌ان و شایان، ۱۳۹۶؛ علی‌اوغلی، ۱۳۹۸؛ عزیز و همکاران، ۱۳۹۸؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹) بر این نکته تاکید دارد که برای حفظ منابع طبیعی، باید روند اجرای طرح‌های توسعه منابع آب را با محدودیت‌ها و قابلیت‌های اکوسیستم هماهنگ کرد. به‌طوری‌که با ایجاد ارتباط بیشتر فرآیندهای زیست‌بومی و منطقه‌ای از مطالعات دقیق زیست محیطی، ارزیابی و توضیح پروژه‌ها بر محیط زیست و ارائه روش‌های کاهش و جبران آثار مخرب پروژه‌های توسعه‌ای می‌توان به این هدف دست یافت و آینده‌ای پایدارتر را رقم زد.

نتیجه‌گیری

رژیم طبیعی جریان عامل مهمی است که بر سلامت اکوسیستم رودخانه‌ای تأثیر می‌گذارد. دخالت‌های انسانی و احداث سد، منجر به تغییر رژیم جریان می‌شود و معمولاً باعث ایجاد یک سری تخریب‌های اکولوژیکی رودخانه‌ها می‌شود. اندازه‌گیری میزان تغییر رژیم جریان برای حفاظت و احیای رودخانه‌ها، ضروری است. در

با میزان دبی رودخانه دارد. کومار و جایاکومار (۲۰۲۰) در مطالعه‌شان گزارش کردند متوسط جریان سالانه رودخانه کریشنا در پایین‌دست سد سرسیالام، بیش از ۳۰ درصد کاهش یافته است و دلیل آن را تأثیر قابل توجه سد در تغییرپذیری هیدرولوژیکی و فصلی بودن رودخانه دانستند (Kumar and Jayakumar, 2020) که نتایج کار این محققان با مطالعه موردی حاضر، مطابقت دارد. علاوه بر این مورد، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌شان بیان کردند با احداث سد مخزنی بر رودخانه گرگانرود، میانگین دبی روزانه که در دوره قبل از احداث سد، ۱۴ متر مکعب بر ثانیه بوده است، در دوره پس از احداث سد به ۱۰/۵ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته و بر این اساس میانگین دبی در طی دو دوره یاد شده، تغییرات کاهشی (۲۵/۶ درصد) داشته است. همچنین باید عنوان نمود، احداث سد که با اهداف مختلف (اقتصادی، تأمین آب شرب، کنترل سیلاب و...) ایجاد می‌شود، علاوه بر دستیابی به اهداف موردنظر، بر روی رژیم جریان تأثیرگذار است، لذا می‌تواند حیات زیستی قسمت پایین‌دست رودخانه را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر، سد گتوند در منطقه می‌تواند بر کنترل سیلاب، دخالت مستقیم داشته باشد. آنچه مسلم است، تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیکی در اثر احداث سد، برای حیات زیستی قسمت پایین‌دست رودخانه، خطرناک است. در شرایط عادی در رودخانه‌ها، گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری خاصی رشد پیدا می‌کنند ولی تغییر رژیم هیدرولوژیکی جریان، ممکن است باعث نابودی و مرگ اکولوژیکی خاصی شود. نصیری خیابوی و رجبی (۱۳۹۸) در مطالعه‌شان به این نتیجه رسیدند که مقادیر جریان محیط زیستی رودخانه زربنه‌رود در دوره قبل از احداث سد شهید کاظمی بوکان با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن و محدوده تغییرپذیری به ترتیب ۱۰/۵۳، ۲۵/۹۶ و ۲۲/۵۵ متر مکعب بر ثانیه و در دوره پس از احداث سد مذکور به ترتیب ۹/۹، ۲۵/۲۹ و ۲۹/۴۳ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش برآورد شده است و این در حالی است که در روش محدوده تغییرپذیری مقدار جریان محیط زیستی رودخانه زربنه‌رود در دوره پس از احداث سد، روند افزایشی داشته است. همچنین علی‌اوغلی (۱۳۹۸) در بررسی آثار توسعه سد کمال‌خان افغانستان بر رژیم هیدرولوژیکی پایین‌دست رودخانه هیرمند با کاربرد مدل IHA، این نتیجه را به عمل آورد که احداث سد مذکور می‌تواند موجب کاهش ۶۱/۲ درصدی جریانات زیست‌محیطی شده و تا ۱۸/۹ درصد، موجب افزایش فراوانی ریزگردها در منطقه شود. همچنین فرهادیان و همکاران (۱۳۹۶) جریان رهاسازی بهینه محیط زیستی از مخزن سد گتوند برای ایجاد تعادل مناسب و با رعایت عدالت در میان ذینفعان با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت، مقدار ۴۵/۴ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان حداقل جریان محیط زیستی و جریان ۲۷۲ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان بیشترین مقدار مناسب جریان محیط زیستی و مقدار جریان

حوضه رودخانه، به عنوان مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

منابع

اسفندیاری درآباد، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، شاهمرادی، ر.، و نصیری خیابوی، ع. ۱۳۹۸. تحلیل تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تأثیر احداث سد در رودخانه‌های زرينه‌رود و ساروق چای (استان آذربایجان غربی). هیدروژئومورفولوژی، ۱۸(۵): ۷۷-۵۷.

اسماعیلی، ر.، لرستانی، ق.، و بازیار، غ. ۱۳۹۶. اثرات احداث سد مخزنی بر ویژگی‌های پیچانرودی قسمت‌های میانی گرگانرود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۹(۴): ۶۶۶-۶۵۷.

اکبریان، م.، و شایان، س. ۱۳۹۶. تحلیل پیامدهای اکوژئومورفولوژیک احداث سد بر پایاب رودخانه‌های ساحلی مطالعه موردی: جلگه‌های سدیج، گابریک و جگین. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳(۳): ۷۸-۶۳.

ختار، ب.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی و اصلاح روش تگزاس به عنوان به روش هیدرولوژیک برای ارائه رژیم اکولوژیک در رودخانه‌های دائمی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۹(۳): ۴۶-۳۱.

دشتی، ر.، ستاری، م.ت.، و نورانی، و. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد الگوریتم تکاملی تفاضلی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۶(۳): ۷۶-۶۱.

رزاقی، پ.، بابازاده، ح.، و شوریان، م. ۱۳۹۲. توسعه سیاست جیره‌بندی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره در شرایط محدودیت منابع آب با استفاده از مدل MODSIM 8.1. حفاظت منابع آب و خاک، ۳(۲): ۲۳-۱۱.

شطی، ص.، و آخوندعلی، ع.م. ۱۳۹۷. بررسی اثرات دوره خشکسالی هیدرولوژیک اخیر بر میزان شوری رودخانه کارون. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۵): ۱۲۰۲-۱۱۸۹.

صادقی، ز.، خدائناس، س.ر.، ثنایی‌نژاد، ح.، و مفتاح‌هلقی، م. ۱۳۹۷. بهره‌برداری از سد گلستان در شرایط سیلابی جهت حداقل نمودن خسارات ناشی از سیل در پایین‌دست سد. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۶): ۱۳۶۱-۱۳۵۰.

عزیزی، م.، خانمحمدی، م.، و پناهنده، م. ۱۳۹۸. بررسی پیامدهای ساختاری احداث سد شفارود بر پوشش جنگلی حوزه آبخیز شفارود با استفاده از محاسبه سنج‌های اکولوژی سیمای سرزمین. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۷(۱): ۱۳-۱.

تحقیق حاضر با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک، تغییرات رژیم هیدرولوژیک در دو دوره آماری رژیم جریان طبیعی و رژیم جریان تغییر یافته در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز واقع در پایاب سد گتوند در رودخانه کارون بررسی شد. براساس نتایج، شاخص‌های هیدرولوژیک مورد بررسی در تحقیق حاضر در اثر احداث سد نوسان داشته‌اند به طوری که در برخی از آن‌ها اثر احداث سد به گونه‌ای بوده است که باعث افزایش آن‌ها در دوره‌های بعد از احداث سد شده است و در برخی از آن‌ها حالت نزولی به خود گرفته است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی و احداث سد، در حوضه آبخیز رودخانه کارون، سبب کاهش مقادیر جریان‌های کم، دبی حداقل و میانگین ماهانه، مدت زمان تداوم جریان، تعداد پالس‌های جریان‌های زیاد، مدت زمان تداوم سیلاب‌های کوچک و بزرگ، میانگین حداقل جریان‌های یک، هفت و ۹۰ روزه و همچنین میانگین حداکثر جریان‌های هفت و ۹۰ روزه در سال‌های آماری شده است و همچنین کاهش یا افزایش مدت تداوم و زمان وقوع رخدادهای جریان‌های خیلی زیاد و خیلی کم سالانه را در پی داشته است. از طرفی، متغیرهای میزان نوسانات کاهش یافته در دبی جریان و تعداد برگشت‌های هیدرولوژیک جریان در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، افزایش داشته است در حالی که متغیر درصد افزایش دبی در دوره پس از احداث سد، حالت کاهش یافته است. به طور کلی احداث سد گتوند، موجب تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در رودخانه کارون شده است و به همین صورت، میزان بی‌نظمی، آشفتگی و تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان افزایش یافته است. در نهایت این نتیجه‌گیری به عمل می‌آید که دامنه اهداف تعیین شده رویکرد محدوده تغییرپذیری در این پژوهش بدین معنی است که عملیات احداث سد در منطقه مورد مطالعه بایستی در تعادل با دامنه دبی گزارش شده در اهداف RVA باشد و عدم رعایت این اصل می‌تواند، به جریان پایه و زیست‌محیطی رودخانه کارون، تأثیر منفی وارد سازد. یاد آور می‌شود روش تحلیل دامنه تغییرپذیری (RVA)، به مدیران منابع آب اجازه تعیین اهداف مدیریتی - کاربردی را به صورت مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های اجرایی یا برنامه احیا و بازسازی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را می‌دهد. با توجه به اهمیت اثرات مثبت سدها، لازم است اثرات منفی زیست‌محیطی سد جهت توسعه پایدار به حداقل رسانده شود. نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در ارزیابی سرزمین، مطالعات محیط زیست و برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه‌های آبخیز به منظور بهره‌برداری مناسب و منطقی از منابع طبیعی و کاهش تخریب منابع مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن، ارزیابی تغییر رژیم جریان با استفاده از مفاهیم شباهت/ تنوع با توجه به روند تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در دوره‌های آماری در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی

- water salinity using Landsat-8 OLI satellite images (Case study: Karun basin located in Iran). *Advances in Space Research* 65(5): 1490-1502.
- Golshan, M., Dastoorpour, M. and Birgani, Y.T. 2020. Fuzzy environmental monitoring for the quality assessment: Detailed feasibility study for the Karun River basin, Iran. *Groundwater for Sustainable Development* 10: 100324.
- Jia, Y., Sui, X. and Chen, Y. 2013. Development of a fish-based index of biotic integrity for wadeable streams in Southern China. *Environmental Management* 52(4): 995-1008.
- Kumar, A.U. and Jayakumar, K.V. 2020. Hydrological alterations due to anthropogenic activities in Krishna River Basin, India. *Ecological Indicators* 108: 105663.
- Kuriqi, A., Pinheiro, A.N., Sordo-Ward, A. and Garrote, L. 2019. Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy* 256: 113980.
- Legleiter, C.J. 2015. Downstream effects of recent reservoir development on the morphodynamics of a meandering channel: Savery Creek, Wyoming, USA. *River Research and Applications* 31(10): 1328-1343.
- Li, J., Dong, S., Peng, M., Yang, Z., Liu, S., Li, X. and Zhao, C. 2013. Effects of damming on the biological integrity of fish assemblages in the middle Lancang-Mekong River basin. *Ecological Indicators* 34: 94-102.
- Li, R., Chen, Q., Tonina, D. and Cai, D. 2015. Effects of upstream reservoir regulation on the hydrological regime and fish habitats of the Lijiang River, China. *Ecological Engineering* 76: 75-83.
- Li, D., Long, D., Zhao, J., Lu, H. and Hong, Y. 2017. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *Journal of Hydrology* 551: 217-232.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M. and Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research* 7(18): 2835-2843.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. and Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10(4): 1163-1174.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R. and Braun, D.P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- Salarijazi, M., Akhond-Ali, A.M., Adib, A. and Daneshkhah, A. 2012. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research* 7(32): 481-491.
- علی‌اوغلی، س. ۱۳۹۸. ارزیابی رژیم و جریان زیست‌محیطی رودخانه هیرمند تحت تاثیر بهره‌برداری از سد کمال‌خان با استفاده از ظرفیت کنوانسیون‌های بین‌المللی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس. ۱۷۸ص.
- عنایتی، ح.، قزلسوفلو، ع.، و خامچین‌مقدم، ف. ۱۳۹۸. بررسی روش‌های هیدرولوژیکی تعیین جریان محیط زیستی رودخانه حفاظت شده کشف‌رود در محدوده شهر مشهد. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۶): ۱۷۰۸-۱۶۹۸.
- فرهادیان، م.، بزرگ‌حداد، ا.، پارکی، م.، و سیف‌اللهی آغمیونی، س. ۱۳۹۶. تعیین جریان رهاسازی بهینه از مخزن سد با در نظر گرفتن نیازهای کمی و کیفی رودخانه. محیط‌شناسی، ۴۳(۱): ۱۸۰-۱۶۳.
- کرمی، م.، سروستان، ر.، و صبوری، ر. ۱۳۹۹. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دبی ماهانه رودخانه کارون با به کارگیری مدل‌های چندگانه خطی. مهندسی و مدیریت آب، ۱۲(۱): ۵۶-۴۴.
- نادری، م.ح.، ذاکری‌نیا، م.، و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی و شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه با کاربرد مدل River2D با تکیه بر بازنده‌سازی اکولوژیکی رودخانه زیرین‌گل. اکوهیدرولوژی، ۱۶(۱): ۲۲۲-۲۰۵.
- نادری، م.ح.، و رجیبی‌زاده، ی. ۱۳۹۸. طراحی رژیم جریان مطلوب اکوهیدرولیکی برای حفظ پتانسیل اکولوژیکی رودخانه جاجرود. دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی (آب، سیل و محیط زیست)، دانشگاه گنبد، ۵۸۹-۵۸۴.
- نصیری خیابوی، ع.، و رجیبی، م.ر. ۱۳۹۸. اثر سد بوکان بر جریان زیست‌محیطی رودخانه زرنه‌رود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و EFC. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه ارومیه، ۷-۱.
- نادری، م.ح.، پورغلام آمیجی، م.، خوش‌روش، م. و رجیبی‌زاده، ی. ۱۳۹۹. تحلیل جنبه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در طراحی رژیم جریان ایده‌آل و بهینه زیست‌محیطی به منظور حفاظت از اکوسیستم رودخانه قره‌سو. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲): ۴۸۱-۴۶۱.
- نصیری خیابوی، ع.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی عوری، ا.، غفارزاده، ا. و گلشن، م. ۱۳۹۸. 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). مهندسی و مدیریت آب، ۱۱(۴): ۸۶۵-۸۵۱.
- Ansari, M. and Akhoondzadeh, M. 2020. Mapping

- and lower Yellow River, China. *Hydrological Processes: An International Journal* 22(18): 3829-3843.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H.R., Zakizadeh, H.R. and Tabibian, S. 2018. Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology* 304: 30-39.
- Zhang, Q., Gu, X., Singh, V.P. and Chen, X. 2015. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology* 529: 711-722.
- Zhang, Q., Zhang, Z., Shi, P., Singh, V.P. and Gu, X. 2018. Evaluation of ecological instream flow considering hydrological alterations in the Yellow River basin, China. *Global and Planetary Change* 160: 61-74.
- Zou, Q. and Liang, S.H. 2015. Effects of Dams on River Flow Regime Based on IHA/RVA. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 368: 275-280.
- 4540-4552.
- Shi, P., Liu, J., Yang, T., Xu, C.Y., Feng, J., Yong, B. and Li, S. 2019. New Methods for the Assessment of Flow Regime Alteration under Climate Change and Human Disturbance. *Water* 11(12): 2435.
- Sojka, M., Jaskula, J., Wischer-Dysarz, J. and Dysarz, T. 2016. 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* 30(1): 119-125.
- Song, X., Zhuang, Y., Wang, X., Li, E., Zhang, Y., Lu, X. and Liu, X. 2020. Analysis of Hydrologic Regime Changes Caused by Dams in China. *Journal of Hydrologic Engineering* 25(4): 05020003.
- Talukdar, S. and Pal, S. 2018. Impact of dam on flow regime and flood plain modification in Punarbhaba River Basin of Indo-Bangladesh Barind tract. *Water Conservation Science and Engineering* 3(2): 59-77.
- The Nature Conservancy. 2009. Indicators of Hydrologic Alteration – Version 7.1 User's Manual. 81pp.
- Yang, T., Zhang, Q., Chen, Y.D., Tao, X., Xu, C.Y. and Chen, X. 2008. A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle

Analysis of Changes in Hydrological Indices of Karun River Flow before and after Periods Gotvand Dam Using Range of Variability Approach

M.H. Naderi^{1*}, S. Alioghli², M. Pourgholam-Amiji³, R. Fazloulou⁴, A. Ghoghji⁵

Recived: Feb.23, 2020

Accepted: Mar.24, 2020

Abstract

Hydrological regimes play a major role in restructuring and operating ecological processes, wetlands and river ecosystems. Hydrological regimes of rivers flowing due to the construction of significant changes in the dam cause spatial and temporal heterogeneity of river systems and degradation of natural ecosystem services and threat to biodiversity. In this regard, effective management of the river ecosystem needs to describe the parameters of the hydrological regime of the natural flow and determine the degree of changes in the two statistical periods before dam construction and altered flow regime (after dam construction). In this study using IHA software, 33 hydrological parameters as indicators of hydrological change, in five statistical groups at Molasani and Ahvaz Hydrometric stations, to evaluate changes in Karun River downstream of Gotvand Dam from 1983 to 2018 in two periods Statistical normal flow regime and modified flow regime were used. According to the results, the hydrological indices at the Molasani and Ahvaz hydrometry stations changed significantly during the changed flow regime, so that the mean discharge values significant decrease in most months. Also, the percentage of hydrological change of 23 parameters in Molasani Hydrometry Station high, and 11 other parameters were low, and in Ahvaz Hydrometry Station, 24 parameter medium to high, and 12 other their changes were low. This indicates the high degree of hydrological changes in the Karun River Basin. The results of maximum daily, weekly, monthly and quarterly flows show that the construction of the dam has a negative effect on the Karun River discharge. The results of the study on the variability of the river variability approach also showed that the appropriate range of monthly discharge values at Molasani Hydrometric Station for the first six months of the water year, provided river life goals proportional to 2231.4 to 532.3 m³/s and for the second six months of the year this range was between 345.5 to 1235.4 m³/s, while at Ahvaz Hydrometric Station, for the first six months of the year, the appropriate range of monthly discharge ranges between 272.7 to 562.8 m³/s and for the second six months of the year this range was between 314.2 to 1255.6 m³/s. Finally, up to the annual values of each hydrological index of the river after the dam construction as far as possible in equilibrium with the flow domain reported inof the range of variability approach, in order to maintain optimal ecological conditions and integrity of the Karun River ecosystem water resources management (Regulatory role of Gotvand dam on flow regime).

Keywords: Dam Construction, Hydrological Flow Regime, Monthly Average Flow, River Ecosystem Management, Water Resources

1- M.Sc. of Water Resources Engineering and Ecohydraulic Researcher of River Habitat, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

۲- M.Sc. Graduated of Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares Univesity, Tehran, Iran

۳- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

۴- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

۵- Fisheries Group, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding Author Email: naderigau@gmail.com)