نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال یازدهم. شماره چهل و یکم. پاییز۱۳۹۹

حفاظت اکوسیستم رودخانه قره‌سو بر اساس تنظیم رژیم جریان زیست‌محیطی با کاربرد روش‌های هیدرولوژیکی

محمدحسن نادری[۱]، مهدی ذاکری‌نیا[۲*]، میثم سالاری‌جزی[۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۷/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۵/۱۹

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

با توجه به زوال روز افزون حیات زیستی سیستم‌های رودخانه‌ای در نتیجه دخالت‌های انسانی، خشکسالی و تغییر اقلیم، به رسمیت شناختن جریان زیست‌محیطی به‌منظور حفظ سلامت آن در مطالعات برنامه‌ریزی توسعه منابع آب، کاملاً ضروری می‌باشد. هدف اصلی در این پژوهش، پیاده‌سازی و ارزیابی روش‌های تنانت، منحنی تداوم جریان، کمبود جریان اکولوژیکی، جریان پایه آبزیان، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی جهت برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو در ماه‌های مختلف سال در محدوده مطالعاتی ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب تا محل ورود به خلیج گرگان برای حفاظت و بازگردانی رودخانه مزبور می‌باشد. در مطالعه حاضر با مقایسه نتایج حاصل از مقادیر پیشنهادی رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو مشخص شد که روش تنانت، دبی ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه را برای فروردین تا شهریور ماه و ۰/۱۹ مترمکعب بر ثانیه را برای مهر تا اسفند ماه، روش منحنی تداوم جریان در شرایط نسبتاً مناسب (Q90) و مناسب (Q75) به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۳۹۳ مترمکعب بر ثانیه، روش جریان پایه آبزیان دبی ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه، روش انتقال منحنی تداوم جریان در شرایط نسبتاً تغییر یافته، با میانگین سالانه ۰/۹۴ مترمکعب بر ثانیه، روش کمبود جریان اکولوژیکی ۰/۸۸ مترمکعب بر ثانیه و مدل ذخیره رومیزی در کلاس B، ۰/۶۹ مترمکعب بر ثانیه را برآورد می‌نمایند. بر این اساس با تامین رژیم اکولوژیکی رودخانه قره‌سو با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس مدیریتی C (معادل۴۸/۵ درصد جریان طبیعی رودخانه)، می‌توان شرایط مناسبی را برای حفظ سلامت اکوسیستم فراهم کرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال منحنی تداوم جریان، جریان زیســـت‌محیطی، رودخانه قره‌ســـو، رژیم اکولوژیکی، متوسط جریان سالانه

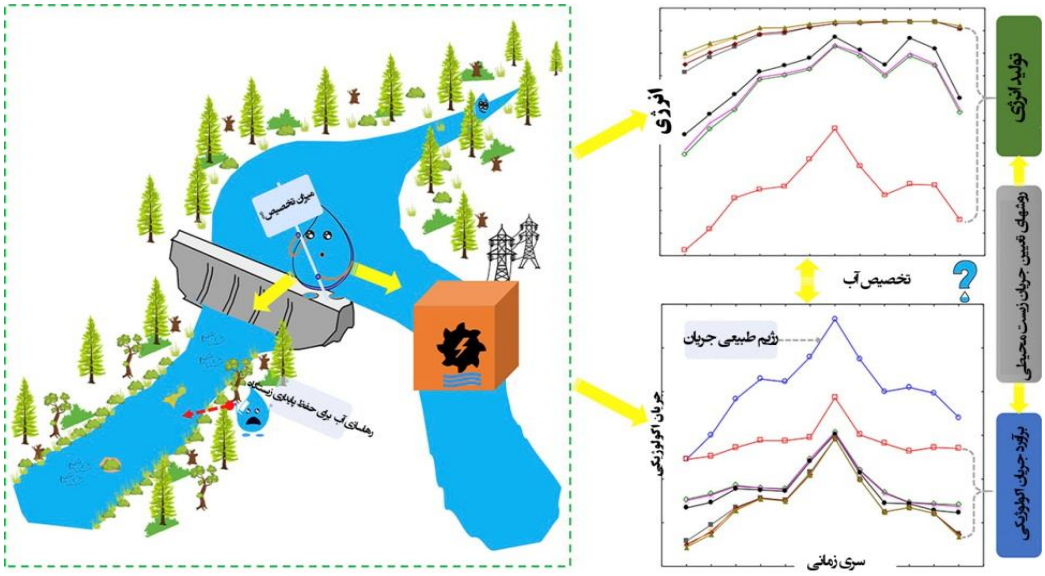
[۱] کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و پژوهشگر اکوهیدرولیک زیستگاه رودخانه، گروه سازه و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران، ۰۹۱۹۴۸۲۵۱۵۷، naderigau@gmail.com

[۲] دانشیار گروه سازه و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران، ۰۹۱۱۱۷۷۳۲۶۵، mzakerinia@gau.ac.ir (نویسنده مسئول)

[۳] استادیار گروه سازه و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران، ۰۹۳۵۵۷۱۵۲۶۶، meysam.salarijazi@gmail.com

مقدمه

جریان رودخانه‌ای یکی از مهم‌ترین منابع آبی است که برای مصارف مختلف حائز اهمیت بوده و روند تغییرات آن در مدیریت منابع آب ضروری است و از طرفی، جریان رودخانه‌ای توسط سدها، انحرافات، جریان‌های برگشتی و توسعه شهری تحت تاثیر قرار گرفته (Gao et al., 2009) و منجر به مسائل مختلفی از جمله وقوع خشکسالی، کاهش آبدهی و مسائل زیست‌محیطی می‌گردد. تغییرپذیری رژیم جریان، نیروی محرکه اصلی در پایداری اکوسیستم رودخانه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران و دانشمندان حوضه علوم آب، محاسبه جریان‌های متغیر طبیعی رودخانه و درک اهمیت حفاظت از منابع آب و تنوع زیستی و زیست بوم وابسته به جریان رودخانه است (Shahriari Nia et al., 2016; Gates et al., 2015). آنچه که مسلم است، در دهه اخیر به دلیل نیاز شدید آبی، با شتاب گرفتن ساخت سازه‌های عمرانی سد، متعاقب آن پیامدهای طبیعی از جمله زیست‌محیطی، هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و ژئومورفولوژیک آن نیز افزایش یافته است (Kuriqi et al., 2019؛ اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷). شاید بتوان گفت اولین اثر سد بر روی رودخانه‌ها، ایجاد اختلال در روند جریان آب باشد. جریان آب رودخانه بر سلامت زیستگاه‌های رودخانه، سیستم‌های وابسته به آب و کارکردهای رودخانه، تأثیر می‌گذارد. نوع جریان بر روی کیفیت آب، انرژی رها شده درون جریان، فیزیک زیستگاه و تعاملات زیستی اثر می‌گذارد (Nikghalb et al., 2016؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۷) و همه این‌ها در نهایت بر روی جامعیت اکولوژیکی رودخانه مؤثر است (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Elhatip and Hinis, 2015). با توجه به خشک سالی سال‌های اخیر، برای حفظ جریان رودخانه و اکوسیستم وابسته به آن (نبوی و همکاران، ۱۳۹۷) بایستی به مدیریت اکولوژیکی جریان‌های زیست‌محیطی (نادری و همکاران، ۱۳۹۷) و تحلیل و ارزیابی سلامت رودخانه‌ها در مدیریت منابع آب توجه خاصی شود (Ahn et al., 2018) تا از بروز تنش آبی شدید بر اکوسیستم وابسته به آب بکاهد (شکل ۱).



شکل (۱): ابعاد مدیریت اکوسیستمی رودخانه به تخصیص بین نیازهای اقتصادی و حفظ شرایط مطلوب اکولوژیکی (Kuriqi et al., 2019)

هدف پژوهش‌های مهندسی رودخانه در نقاط مختلف جهان، کمک به بهبود ساختار و عملکرد زیست‌محیطی اکوسیستم یک رودخانه رو به تخریب و به‌کاراندازی دوباره فرآیندهای لازم به منظور حمایت از اکوسیستم‌های

طبیعی و بهبود آنها است (نادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Shokoohi and Amini, 2014). به رسمیت شناختن جریان‌های زیست‌محیطی در سیاست‌ها و قوانین منابع آب، انگیزه مهمی برای گنجاندن جریان‌های زیست‌محیطی در برنامه‌های مدیریت حوضه و مبنای مهمی برای تصمیمات در سطح پروژه، درباره تخصیص‌های آب فراهم می‌کند (نادری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Arthington et al., 2006).

به منظور حداکثر کردن منافع اقتصادی و اجتماعی به‌دست آمده از منابع آبی و با در نظر گرفتن عدالت و در کنار آن حفظ تنوع زیستی و کارکردهای اکوسیستم، به دامنه‌ای از جریانات با بزرگی، مدت و نرخ تغییرات مشخص در مدیریت رودخانه‌ها، نیاز می‌باشد (همتی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ختار و شکوهی، ۱۳۹۹؛ Elhatip and Hinis, 2015) و ایجاد تغییرات در این اجزا از رژیم جریان، منجر به دست‌کاری و تغییر اکولوژیکی می شود. در واقع تغییرات جریان طبیعی جریان، سنگ بنیاد و اساسی‌ترین عامل در احیای رودخانه است (Arthington et al., 2006). تعداد، مقیاس و هزینه‌های فرآیندهای حفاظت و احیای اکوسیستم‌های آبی در ایالات متحده آمریکا، اروپا، استرالیا و دیگر کشورها در چند دهه اخیر، به سرعت افزایش یافته است (Gates et al., 2015؛ Roni et al., 2012). احیای اکوسیستم‌ها در قرن ۲۱ در آمریکای شمالی و اروپا تبدیل به یک صنعت رو به رشد شده است. این مسأله با درک رو به رشد مردم از اهمیت آب، حوضه و زیستگاه‌ها و کارکردهای زیست‌محیطی آنها و ارتباطی که با مسائل اجتماعی و اقتصادی دارند، همراه می‌باشد (Ahn et al., 2018). برای موفقیت در فرآیند احیاء یا بهبود زیستگاه آبزیان، حفاظت و نگهداری و مدیریت حوضه و اکوسیستم‌های آبی، با رویکرد یکپارچه برای غلبه بر چالش‌ها، نیازمند همکاری با متخصصان شیلات، بوم‌شناسی، هیدرولوژی و منابع آب، ژئومورفولوژی و حتی سیاست‌ها و نهادهای مردمی، اقتصادی و دیگر علوم اجتماعی است.

تعیین حداقل جریان رودخانه‌ای برای تقویت گونه‌های شاخص ماهی، توسط سرویس حیات وحش و شیلات آمریکا از سال ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور انجام شد. در ابتدا ایجاد این نگرش، به بهبود زیستگاه‌های ماهیان و تأمین نیازهای مسیر عبور آنها منحصر بود و بعدها موضوعات دیگر، نظیر حفاظت از چرخه‌های اکوسیستم نیز مورد توجه قرار گرفت. در زمینه برآورد نیازهای آبی زیست‌محیطی رودخانه‌ها در مدیریت یکپارچه منابع آب، نگهداری بوم‌سازگان‌های آبی، حفظ فرآیندهای اکولوژیکی و حمایت از احیا اکوسیستم‌های تخریب شده وابسته به جریان رودخانه، روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی زیستگاه، هیدرولیکی، جامع و ترکیبی با توجه به انعطاف‌پذیری و سازگاری با منطقه، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Shahriari Nia et al., 2016؛ Shokoohi and Hong, 2011؛ Operacz Nia et al., 2018). با توجه به نقش رژیم طبیعی جریان در جهت فعل و انفعالات موجودات زنده، حفاظت و ادامه حیات زیست‌بوم رودخانه‌ها به عنوان مهمترین بوم سازگان‌های آبی، محققین زیادی از زوایای مختلفی به بررسی برقراری تعادل بین نیازهای اکوسیستم‌های آبی و سایر مصارف آب در حوضه آبخیز پرداخته و به نتایج مهمی دست یافته‌اند (Vogel et al., 2007؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ فتاح‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). در ادامه به نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده، پرداخته می‌شود.

در ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی در پنج سایت رودخانه‌های حوضه جنوب‌شرقی ایالات متحده آمریکا برای برآورد مقادیر مناسب رژیم جریان اکولوژیکی، Caldwell et al. (2015) دریافتند که مدل‌های ساده نیز عملکرد مناسبی را در برابر مدل‌های پیچیده داشته و مدل مناسب برای مدل‌سازی جریان زیست‌محیطی نیاز به اطلاعات دقیق در مورد رواناب‌های سطحی، جریان‌های پایه، تغییرات اقلیمی و بارش برای حفظ تعادل بین نیازهای انسانی و موجودات زنده آبزی دارد. همچنین Stamou et al.(2018) با استفاده از یک روش یکپارچه

مدل‌سازی هیدرولوژیکی - هیدرودینامیکی - زیستگاه، جریان زیست‌محیطی رودخانه اسپرچیوس در یونان را در کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان مقدار جریان ۱ مترمکعب بر ثانیه که مطابق با الزامات زیستگاهی، سازگاری با شرایط منطقه و از لحاظ هیدرولوژیکی و اکولوژیکی قابل تخصیص باشد را به عنوان رژیم مطلوب پیشنهاد و مقادیر بیشتر و کمتر از این مقدار را غیرقابل قبول دانستند. در پژوهشی دیگر نادری و همکاران (۱۳۹۷) شرایط اکولوژیکی رودخانه قره‌سو با روش شبیه‌سازی زیستگاه (PHABSIM) را در مقابل روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن و آرکانزانس مورد مطالعه قرار دادند. برای اساس تحقیقات ایشان میانگین نسبت جریان زیست‌محیطی به جریان متوسط ماهانه در روش شبیه‌سازی زیستگاه ۸۵ درصد، روش تنانت ۱۹ درصد، روش آرکانزانس ۶۵ درصد و روش تسمن ۴۴ درصد می‌باشد. همچنین آنها نتایج بدست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه در تبیین رژیم اکولوژیکی جریان در دوره‌های مختلف زندگی گونه شاخص را مناسب و واقع بینانه و حافظ بقای محیط اکولوژیکی بیان کردند. همچنین نبوی و همکاران (۱۳۹۷) با مطالعه روند تغییرات دبی رودخانه زهره در ۳ ایستگاه هیدرومتری و تعیین میزان جریان زیست‌محیطی بر اساس روش تنانت، به این نتیجه رسیدند که در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به‌منظور حفظ محیط‌زیست و حیات اکولوژیک رودخانه، نباید برداشت مازادی از جریان رودخانه به‌منظور تأمین آب شرب شهر هندیحان صورت بگیرد. در توصیف رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های نیوبرانزویک کانادا، Jabi-El and Caissie (2019) بیان کردند، جریانات معادل ۲۵ درصد Q50، میانگین جریان سالانه و ۷۵ درصد Q50، بایستی با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. آنها همچنین نشان دادند برای حفاظت زیستگاه آبزیان، جریان زیست‌محیطی معادل ۱۵ درصد میانگین جریان سالانه، شرایط بهتری را فراهم می‌نماید. مطالعات نادری و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد در پروژه‌های حفاظت و احیای مهندسی رودخانه، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه در عین اعتبار بالا در سطح جهان، نیازمند فراهم کردن داده‌های اکولوژیکی و در نظر گرفتن شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تخمین میزان جریان‌های اکولوژیک موردنیاز برای حفاظت حیات گونه سیاه‌ماهی Capoeta gracilis (Keyserling, 1861) و تحلیل وضعیت اکوسیستم رودخانه زرین‌گل می‌باشد.

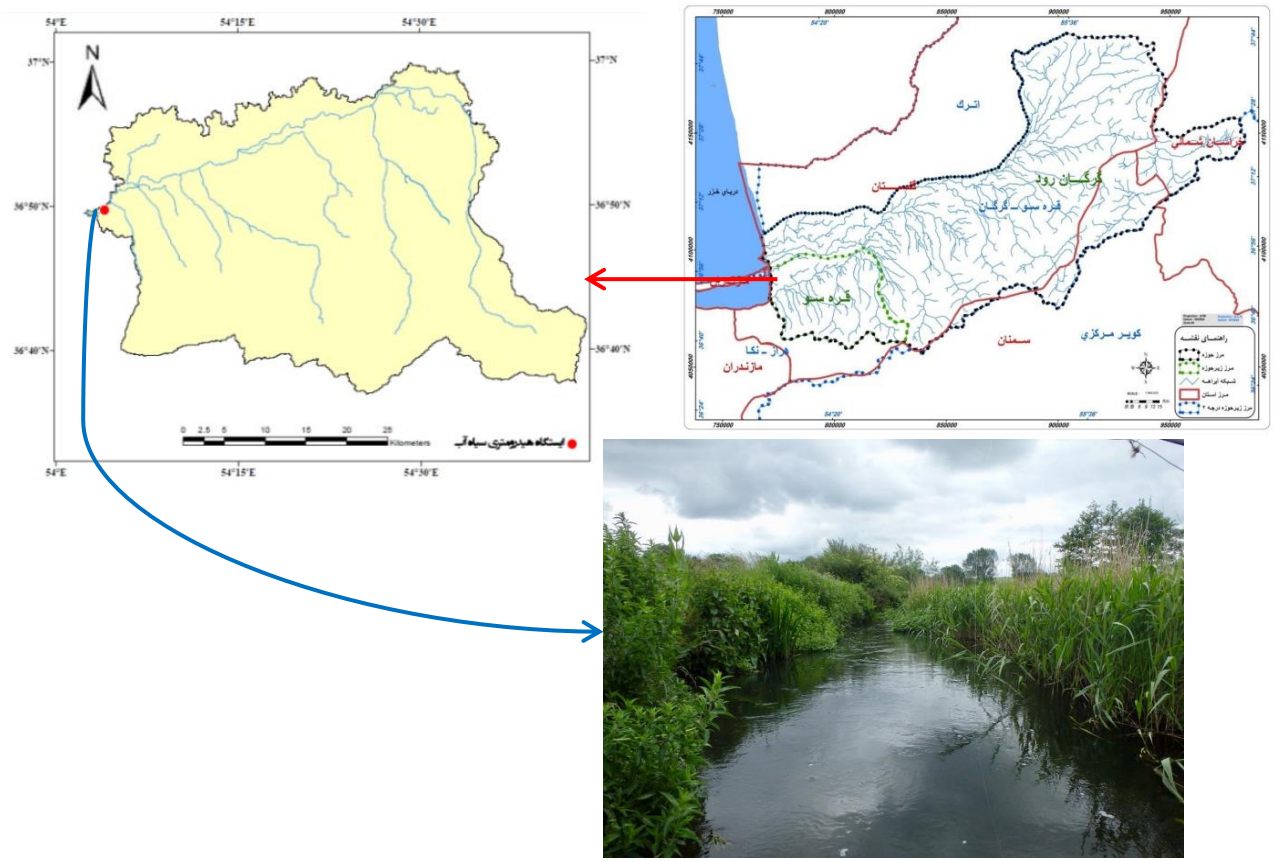
بررسی مطالعات گذشته در مورد وضعیت اکولوژیکی رودخانه قره‌سو توسط نادری و همکاران (۱۳۹۷) و پورصوفی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داده است که این رودخانه نیز همانند دیگر رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر دارای مشکلات زیست‌محیطی شامل آلودگی‌های شهری و روستایی، آلودگی‌های کشاورزی، وجود استخرهای پرورش ماهی، برداشت‌های مکرر شن و ماسه از بستر رودخانه و در نهایت صید بی‌رویه دارد. با توجه به اینکه رودخانه‌های شمالی کشور به دلیل مدیریت ناصحیح حوضه‌آبخیز و آبراهه زیستگاه آبزیان، دچار تغییرات غیرطبیعی شده‌اند و همچنین در اکثر تحقیقات گذشته به تخصیص رژیم آبی موردنیاز برای بقا و حفظ پایداری اکولوژیکی تاکیده کرده‌اند، این پژوهش سعی دارد در غیاب داده‌های اکولوژیکی و با اتکا به داده‌های هیدرولوژیکی (آمارهای تاریخی جریان رودخانه) که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر تداوم حیات موجودات درون رودخانه و تأمین زیستگاه مناسب آبزیان دارد، تنظیم مناسب جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو را به عنوان ذی‌نفعی در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و جایگاه ویژه در اکوسیستم خلیج گرگان با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، رودخانه قره‌سو در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان که با مساحتی حدود ۱۶۳۸ کیلومترمربع، بین مختصات جغرافیایی "۳۷ ´۲ ˚۵۴ تا "۴ ´۴۲ ˚۵۴ طول شرقی و "۲۴ ´۳۶ ˚۳۶ تا "۴۸ ´۵۹ ˚۳۶ عرض شمالی واقع شده است. این رودخانه با طول ۱۰۸ کیلومتر، از ارتفاعات کوه‌های اسب‌چر، سوس و

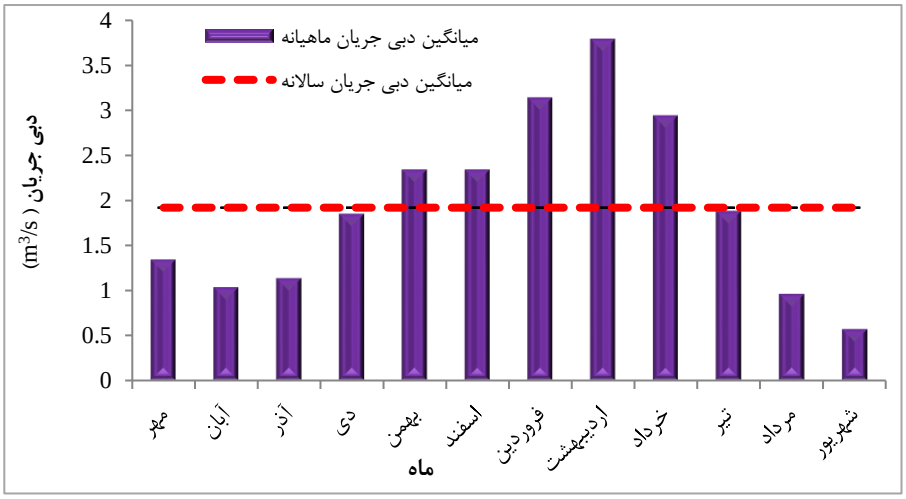
قزیمان سرچشمه می‌گیرد و سرانجام به خلیج گرگان می‌ریزد. حداقل ارتفاع حوضه ۲۶- متر در مصب خلیج گرگان و حداکثر آن ۳۲۰۰ متر در ارتفاعات گرمابدشت است. شکل (۲)، موقعیت منطقه مورد مطالعه، موقعیت ایستگاه هیدرومتری و سیمای کلی رودخانه را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالیانه حوضه آبخیز قره‌سو، ۵۸۱ میلی‌متر در سال است که بالاترین میزان آن، ۷۵۰ میلی‌متر مربوط به منطقه مرکزی و حداقل آن حدود ۴۰۰ میلی‌متر در دشت‌های شمالی و ارتفاعات جنوبی است (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در طول دوره آماری ۴۴ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۴) استفاده شده است. ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۲۶- متری از سطح دریا واقع شده است و دارای حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه در اردیبهشت برابر ۳/۷۹ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه شهریور برابر ۰/۵۷ متر مکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه ۱/۹۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۳).



شکل (۲): نقشه حوضه آبریز قره‌سو و موقعیت ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب و نمایی از سیمای رودخانه

رودخانه قره‌سو زیستگاه و محل تخم‌ریزی گونه‌های کلیدی و دارای اهمیت اکولوژیکی بالا و در معرض خطر خانواده کپورماهیان Cyprinidae (ماهی‌کلمه Rutilus rutilus caspicus، سیاه‌ماهی Capoeta gracilis (Keyserling, 1861) ، شاه‌کولی Chalcalburnus chalcoides، سیاه‌کولی Vimba vimba persa) و گاوماهیان Gobiidae که از جنبه‌های بیولوژیکی و هم از نظر اقتصادی مهم هستند، می‌باشد (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵). تنوع گونه‌های موجودات کفزی (ماکروبنتوزها، بی‌مهرگان آبزی، Ampharetidae،

Balanidae ،Lumbriculidae) و وجود گیاهان آبزی در حاشیه پایین‌دست رودخانه قره‌سو، از خصوصیات این منطقه می‌باشد (پورصوفی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل (۳): سری زمانی میانگین دبی ماهانه رودخانه قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب

روش‌های مورد استفاده در تعیین جریان زیست‌محیطی

در این پژوهش با توجه به هزینه، وقت و اطلاعات موجود، نتایج حاصل از روش‌های پرکاربرد دنیا در گروه روش‌های هیدرولوژیکی شامل تنانت، منحنی تداوم جریان، کمبود جریان اکولوژیکی، جریان پایه آبزیان، انتقال منحنی تداوم جریان[1] و مدل ذخیرهٔ رومیزی[2] برای تعیین جریان زیست‌محیطی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. برخی از این روش‌ها مانند تنانت، جریان پایه آبزیان و اسمختین مراحل تحلیلی ساده‌تری داشته و برخی مانند روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیرهٔ رومیزی پیچیده‌تر بوده و نیاز به اطلاعات جامع‌تری دارند.

در روش «تنانت» حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها به صورت درصد مشخصی از میانگین دبی سالانه[3] رودخانه بدون در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولیکی و تنها با استفاده از هیدروگراف رودخانه محاسبه می‌گردد (همتی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Abdi and Yasi, 2015). در این روش زیستگاه حیاتی کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه (مهر تا اسفند) و زیستگاه حیاتی در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه (فروردین تا شهریور) و زیستگاه عالی برای حیات در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه احراز می‌شوند (ختار و شکوهی، ۱۳۹۹؛ Nikghalb et al., 2016). در استفاده از روش «منحنی تداوم جریان[4]» جهت برآورد جریان زیست‌محیطی، هدف آن تعیین جریان طبیعی (دست نخورده) رودخانه و برگرداندن رودخانه به شرایط طبیعی است. استفاده از صدک‌های ۵۰، ۷۵ و ۹۰ جریان به ترتیب متعلق به جریانات حاکم در شرایط طبیعی یا دست نخورده، خوب و منصفانه جریان می‌باشد (Operacz et al., 2018). در برنامه‌ریزی جریان‌های کم‌آبی استفاده از صدک‌های بالاتر جریان (Q90، Q75) نیز شرایط طبیعی رودخانه را حفظ خواهند کرد (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵). در روش «جریان پایه آبزیان»، حداقل متوسط جریان ماهانه رودخانه مورد مطالعه در یک دوره دراز مدت

1- Flow Duration Curve Shifting (FDC Shifting)
2- Desktop Reserve Model (DRM)
3- Mean Annual Flow (MAF)
4- Flow Duration Curve

جهت حفظ حیات آبزیان و ماهیان به عنوان نیاز آبی زیست‌محیطی تعیین شده و لازم است که این مقدار آب به طور دائم در رودخانه جاری باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹). روش «کمبود جریان اکولوژیکی[1]» به عنوان روشی برای ارزیابی تعاملات نیازهای انسانی و رودخانه در برنامه‌ریزی‌های منابع آب به صورت درصد جریان زیست‌محیطی بیان می‌شود (Vogel et al., 2007) و با استفاده از منحنی تداوم جریان متوسط سالانه که نشان‌دهنده جریان‌های در یک سال نماینده است و عبارتست از متوسط چندین منحنی تداوم جریان سالانه در طول یک دوره آماری چندین ساله می‌باشد، بدست می‌آید (Gao et al., 2009).

در روش «انتقال منحنی تداوم جریان» که توسط Anpurhas and Smakhtin (2006) به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه ارائه گردید طی محاسبات گام به گام، یک رژیم هیدرولوژیکی مناسب برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب ارائه می‌دهد. در این تحقیق برای محاسبه جریان زیست‌محیطی از روش انتقال منحنی تداوم جریان از اولین نسخه نرم‌افزار GEFC استفاده می‌شود. داده‌های موردنیاز ورودی این نرم‌افزار داده‌های بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) جریان ماهانه بوده و بر مبنای منحنی تداوم جریان طبیعی، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس موردنظر از مدیریت زیست‌محیطی تعیین می‌گردد (Abdi and Yasi, 2015؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ همتی و همکاران، ۱۳۹۹). در این روش شش طبقه مدیریتی زیست‌محیطی، برای وضعیت‌های موردنظر جهت حفظ و نگهداری زیست‌بوم رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند (جدول ۱).

جدول (۱): کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی در روش FDC Shifting (Ahn et al., 2018)

کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی[2]	شرایط اکولوژیکی
A	تغییر نیافته
B	تا حد زیادی طبیعی و با تغییرات کم
C	نسبتاً تغییر یافته
D	تا حد زیادی تغییریافته
E	آسیب‌دیدگی زیاد زیستگاه طبیعی
F	تغییرات در سطح بحرانی

در روش «مدل ذخیره رومیزی» که توسط Hannart and Hughes (2003) برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های آفریقای‌جنوبی توسعه یافت است چهار کلاس مدیریت زیست‌محیطی ممکن (A-D) تعریف می‌شود. کلاس A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییرنیافته می شود، کلاس B رودخانه‌های تغییریافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه‌های نسبتاً تغییریافته و کلاس D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییریافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم است. رودخانه‌های کلاس B و C بین این حدود قرار می‌گیرند (Pastor et al., 2014).

نتایج و بحث

در این مطالعه، در ابتدا صحت‌سنجی، بررسی و همگن‌سازی داده‌های اولیه دبی روزانه، به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت. سری زمانی ۴۴ ساله دبی جریان متوسط سالانه رودخانه قره‌سو در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۵۰ با استفاده از آزمون‌های ران‌تست (بررسی استقلال و تصادفی بودن داده‌ها)، من‌کندال (بررسی روند داده‌ها) و ویلکاکسون (بررسی همگنی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که داده‌های مورد استفاده همگن و تصادفی بوده و داده‌های مورد بررسی در سطح اطمینان ۵

1- Ecodeficit

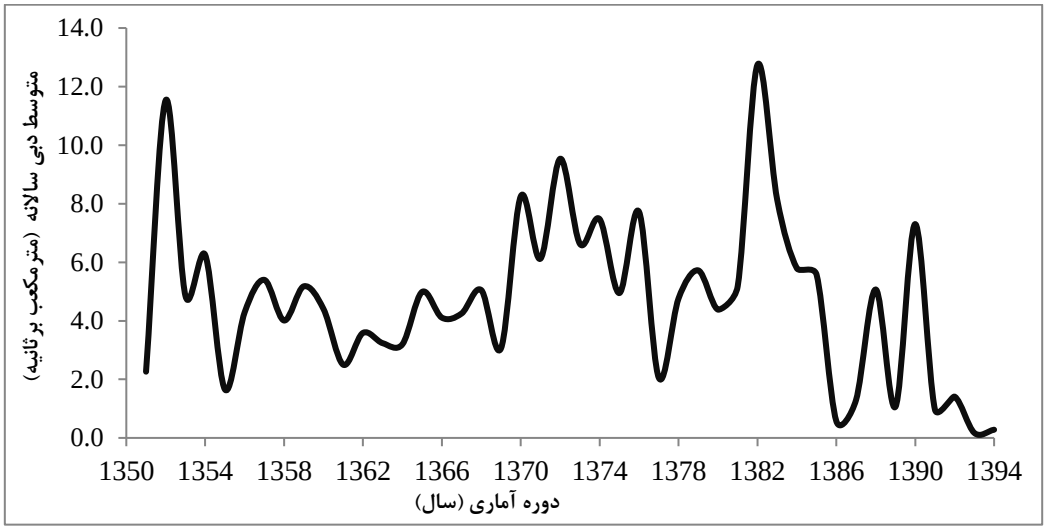
2- Environmental Management Class (EMC)

درصد فاقد روند معنی‌دار می‌باشند. نتایج بررسی اولیه داده‌ها به شرح جدول (۲) ارائه شد. سری زمانی داده‌های دبی متوسط سالانه رودخانه قره‌سو نیز در شکل (۴) نشان داده شده است.

در ادامه رژیم اکولوژیکی رودخانه قره‌سو از روش‌های هیدرولوژیکی مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان، روش منحنی تداوم جریان، جریان پایه آبزیان، کمبود جریان اکولوژیکی و روش تنانت در ماه‌های مختلف برآورد گردید. خلاصه برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو حاصل از روش‌های مختلف در جدول‌های (۳ و ۴) و شکل (۷) نشان داده شده است. با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی برای فروردین تا شهریور ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه (معادل ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه) و برای مهرماه تا اسفند ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه (معادل ۰/۱۹ مترمکعب بر ثانیه) برآورد گردید. بر این اساس ماه‌های فصل زمستان دارای کمترین نسبت تخصیص (در بازه ۸ تا ۱۰ درصد) و ماه‌های فصل تابستان دارای بیشترین نسبت تخصیص (در بازه ۳۰ تا ۱۰۰ درصد) می‌باشد. با توجه به پراکنش این نسبت در ماه‌های مختلف سال اختصاص ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای آبزیان و اکوسیستم رودخانه قره‌سو به وجود آورده، و غیر قابل پذیرش است.

جدول (۲): نتایج بررسی آماری سری زمانی دبی سالانه رودخانه قره‌سو

آزمون	هدف از آزمون	Statistics Value	p-value	نتیجه آزمون
ران‌تست	تصادفی بودن داده‌ها	۱/۴۲	۰/۱۴۳	تصادفی بودن داده‌ها
من‌کندال	روند داده‌ها	۰/۲۴۵	۰/۸۰۲	بدون روند
ویلکاکسون	همگنی داده‌ها	۰/۱۷۳	۰/۷۶۵	همگن بودن داده‌ها



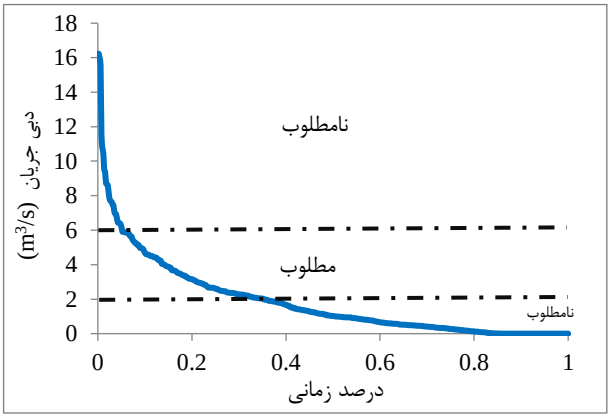
شکل (۴): مقادیر آبدهی متوسط سالانه رودخانه قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب

همان‌طور که از جدول (۳) بر می‌آید، دبی زیست‌محیطی حاصل از روش جریان پایه، نمی‌تواند قابل استناد باشد، زیرا بدون آنکه تغییرات فصلی، درصد تداوم و احتمال وقوع را در نظر بگیرد، کمترین دبی ماهیانه‌ای که رخ داده را به عنوان حداقل دبی زیست‌محیطی عنوان می‌کند. با توجه به اینکه رودخانه‌های بسیاری در ایران فصلی هستند و در فصول خشک هیچ جریانی ندارند، بنابراین کاربرد روش جریان پایه آبزیان در این ماه‌های خشک جریان صفر را پیشنهاد خواهد کرد. از این‌رو، این روش برای مناطق نیمه‌خشک کارایی مناسبی ندارد.

در صورتی‌که بحث تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها وجود داشته باشد، روش جریان پایه آبزیان، جریانی به اندازه میانه میانگین جریان‌های ماهانه را برای دوره تخم‌ریزی و پرورش ماهیان توصیه می‌کند. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقاتشان بیان کردند روش تنانت نسبت به روش جریان پایه آبزیان از اعتماد بیشتری برخوردار است، زیرا برای ماه‌های مختلف سال دبی متفاوتی را که درصدی از میانگین دبی ماهانه است، در نظر می‌گیرد. از آنجا که در روش جریان پایه آبزیان فقط یک میزان ثابت در تمام طول سال به عنوان نیاز آبی زیست‌محیطی ارائه می‌دهد، برای رودخانه قره‌سو نمی‌تواند گزینه برتر باشد، زیرا تغییرپذیری برای سلامت اکوسیستم رودخانه‌ای، حیاتی است. مشخص است که روش تنانت با برقراری جریان مورد نیاز برای فصول مختلف نسبت به روش جریان پایه آبزیان از نظر اقتصادی نیز، بیشتر قابل قبول است و اگر از دیدگاه میزان مصرف که در طول رودخانه صورت می‌گیرد به این روش‌ها توجه شود، باید در نظر داشت که با توجه به آنکه در فصول بهار و تابستان، میزان برداشت آب از رودخانه به جهت مصارف کشاورزی بیشتر می‌باشد، بنابراین در مورد میزان برداشت از رودخانه در این فصول، باید مدیریت صورت گیرد.

با کاربرد روش انتقال منحنی تداوم جریان به منظور حفظ الگوی کلی تغییرپذیری جریان، مشاهده می‌شود که شدت جریان زیست‌محیطی برای حفظ شرایط ایده‌آل (کلاس A) حداقل معادل ۱/۴۹ متر مکعب بر ثانیه، و برای تأمین شرایط متوسط (کلاس C) معادل ۰/۹۴ متر مکعب بر ثانیه ارزیابی می‌شود. در این تحقیق، برای حفظ شرایط مطلوب و حفاظت از اجزای اکوسیستم و زیستگاه جوامع بیولوژیکی رودخانه قره‌سو، کلاس مدیریت زیست‌محیطی C به‌عنوان کلاس موردنظر انتخاب شد. در این کلاس، زیستگاه‌ها دست‌نخورده و اندکی تغییریافته است. بررسی نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان نتایج مشخص می‌سازد که مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای ماه‌های مختلف سال در دامنه ۰/۲۷ تا ۱/۹۳ مترمکعب بر ثانیه با میانگین ۰/۹۴ مترمکعب بر ثانیه است. میانگین نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان به مقدار کاملاً محسوس از میانگین نتایج روش تنانت بالاتر می‌باشد.

در این مطالعه با استفاده از مدل ذخیره رومیزی همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود حفظ رودخانه قره‌سو در کلاس B، جریانی معادل ۴۰ درصد متوسط جریان سالانه مورد نیاز است. بررسی مقدار جریان زیست‌محیطی در روش مدل ذخیره رومیزی نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده در ماه‌های مختلف در محدوده ۰/۴۳ تا ۱/۲۸ مترمکعب بر ثانیه با متوسط ۰/۶۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که در مقایسه با روش تنانت مقادیر دامنه و متوسط جریان زیست‌محیطی برآورد شده بیشتری را ارائه می‌نماید. نیز باید این نکته مدنظر قرار گیرد که مدل ذخیره رومیزی برای ماه شهریور ۸۷ درصد جریان رودخانه را به جریان زیست‌محیطی تخصیص می‌دهد که این نتیجه کاربرد این روش را در عمل محدود می‌سازد. در روش منحنی تداوم جریان، جریان زیست‌محیطی به صورت درصدی از متوسط آورد سالانه اکوسیستم آبی یا به‌صورت جریان با احتمال تجاوز مشخص از روی منحنی تداوم جریان در مقیاس زمانی سالانه یا ماهانه تعیین گردید (شکل ۵).



شکل (۵): منحنی تداوم جریان رودخانه قره‌سو

در برآورد جریان زیست‌محیطی از روش تحلیل منحنی تداوم جریان (FDC) شاخص‌های تداوم مختلفی بکار رفت (Q75 و Q90). بنابراین محدوده جریان‌های کم آبی بین ۰/۸۹۲ (Q75) تا ۰/۳۷۲ (Q90) مترمکعب برثانیه می‌باشد. بنابر اهداف مدیریتی که در منطقه مورد

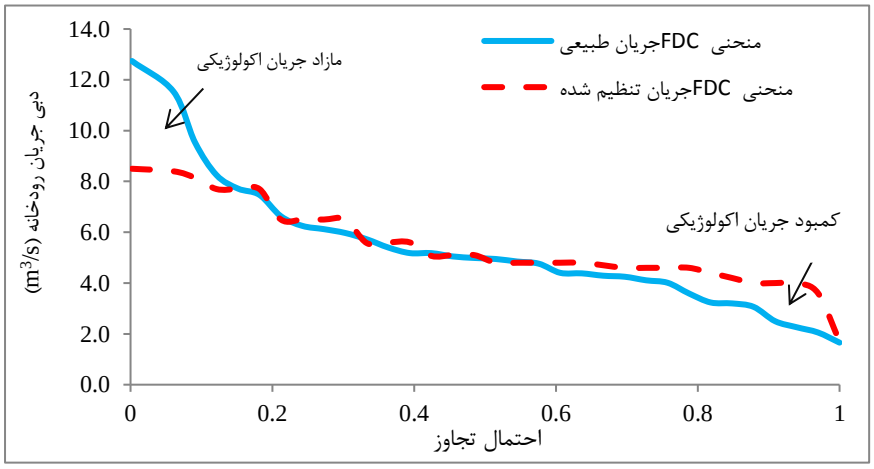
مطالعه توسط مدیران و برنامه‌ریزان درنظرگرفته می‌شود، برای حفظ حداقل جریان زیست‌محیطی در شرایط مناسب، باید در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب، میزان دبی ۰/۳۹۳ مترمکعب برثانیه (معادل ۲۰ درصد متوسط جریان سالانه) باشد و اگر خواهان حفظ شرایط نسبتاً مناسب هستیم، دبی باید ۰/۱۷ مترمکعب برثانیه (معادل ۹ درصد متوسط جریان سالانه) باشد. در شکل (۶)، نمودار FDC برای دو حالت داده‌های تاریخی در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در حالت طبیعی و نیز تنظیم شده رسم گردیده است. با استفاده از منحنی میانگین تداوم جریان سالانه و فصلی (شکل ۶)، مقادیر رژیم ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو با روش کمبود جریان اکولوژیکی در جدول (۴) آورده شده است. در شکل (۶)، مساحت بالای نمودار، «منحنی تداوم جریان طبیعی» و پایین حالت تنظیم شده «کمبود جریان اکولوژیکی» می‌باشد. این مساحت بیانگر حجم خالص آبی است که در حالت جریان تنظیم شده به علت برداشت آب، دیگر برای تأمین نیازهای درون جریانی موجود نمی‌باشد. همچنین مفهوم «مازاد اکولوژیکی» که در شکل (۶) نشان داده شده است بیانگر این است که در این حالت منحنی تداوم جریان طبیعی پایین‌تر از منحنی جریان تنظیم شده قرار می‌گیرد و نشان دهنده آب اضافی به دلیل تغییرات می‌باشد. در واقع این منحنی، میزان انحراف از شرایط رژیم رودخانه را به صورت احجام ماهانه نشان می‌دهد. بر این اساس، نه تنها بخش کمبود جریان اکولوژیکی بلکه مازاد جریان اکولوژیکی نیز می‌تواند برای اکوسیستم رودخانه قره‌سو مخرب بوده و منجر به از بین رفتن تنوع اکولوژیکی آن شود. آنچه که در شکل (۶) به وضوح مشاهده می‌شود، تقارن بین کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی است و همچنین کمبود جریان اکولوژیکی از ۲۴ تا ۳۳ درصد و ۵۵ تا ۹۶ درصد افزایش می‌یابد که معادل درصد جریان زیست‌محیطی تأمین شده، خواهد بود. در شکل (۷) دبی متوسط ماهانه به همراه جریان‌های حداقل محاسبه شده زیست‌محیطی به روش‌های مختلف ارائه شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که در بازه زمانی آبان-تیر مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده توسط همه روش‌ها کمتر از جریان متوسط ماهانه و فقط در ماه شهریور کوچک‌تر و مساوی جریان متوسط ماهانه بوده است و در روش تنانت و جریان پایه آبزیان در ماه شهریور برابر جریان متوسط ماهانه می‌باشد.

با کمی دقت در شکل (۷) می‌توان دریافت، روش تنانت ۳۰ درصد و اسمختین از یک طرف و تنانت ۱۰ درصد و Q90 از طرف دیگر، تقریباً جواب‌های نزدیک بهم دارند. نتیجه به‌دست آمده در خصوص مساوی شدن Q90 و تنانت ۱۰ درصد مخصوص همین رودخانه و مطالعه موردی به‌عمل آمده می‌باشد. به‌طور معمول دبی Q95 در محدوده تنانت ۱۰ درصد بدست می‌آید (Shokoohi and Amini, 2014; Shokoohi and Hong, 2011).

ملاحظات زیست‌محیطی در رابطه با حفظ محیط زیست رودخانه‌ها و حفظ زیبایی مسیر رودخانه‌ها، و حفظ موقعیت خودپالاینده جریانات موجود در رودخانه‌ها، از جمله نگرانی‌هایی هستند که در توسعه منابع آبی حوضه، بایستی به آنها توجه شود. ارزیابی جریان های زیست‌محیطی، جزئی درونی مدیریت یکپارچه منابع آب است که از سه مسیر اصلی با هم مرتبط هستند. اول این که اکوسیستم‌های آبی، مکان سکونت برای ماهی و دیگر جانوران را فراهم می‌کند، بنابراین اکوسیستم‌های آبی همانند بخش‌های کشاورزی، انرژی و مصرف شرب و صنعتی، یک بخش ذی‌نفع آب محسوب می‌شوند. ارتباط دوم، طراحی و بهره‌برداری زیرساخت‌های آبی برای تأمین آب، پساندها، آبیاری، انرژی برق‌آبی و کنترل سیلاب معمولاً برای اکوسیستم بالادست و پایین‌دست زیر ساخت‌ها و جوامع وابسته به اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارند. به‌طور عکس، بهره‌برداری مجدد و توان‌بخشی زیرساخت‌های موجود نیز به‌منظور حمایت از احیای اکوسیستم‌های تخریب شده وابسته به رودخانه استفاده شده‌اند. سوم، برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب با برنامه‌ها، استراتژی‌ها، قانون‌ها و سیاست‌ها ممکن می‌شود که دربرگیرنده بخش‌های مختلف و بر مبنای تخصیص آب به همه کاربردها،

حفاظت از کیفیت آب و کنترل آلودگی، حفاظت و احیاء حوضـــه های رود خا نه ها، آبخوان های آب‌زیرزمینی و تالاب‌ها و کنترل و مدیریت گونه‌های مهاجم می‌باشد.

بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش منحنی تداوم جریان (نظیر Q90)، به‌علت در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نیســت. در رودخانه قره‌ســو، این شــاخص در ماه‌های مختلف سال می‌تواند توازن اکوسیستم را بر هم بزند که با نتایج پژوهش فتاح‌پور و همکاران (۱۳۹۷)، همتی و همکاران (۱۳۹۹) و Operacz et al.(2018) همخوانی دارد. زرعکانی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌شان بر روی رودخانه آزارود بیان کردند روش‌های مبتنی بر درصدهای تجاوز ســـالیانه (مانند Q90) جریان بســـیار کمی را پیشـــنهاد می‌کنند. روش منحنی تداوم جریان نیز برای این مطالعه چندان قابل قبول نیســت، زیرا در یک ســری از ماه‌ها در بعضی از سال‌ها، جریان بسیار پایین و نزدیک به صفر است که نمی‌تواند به عنوان مبنای محاسبات قرار گیرد. در شــکل (۷) نتایج حداقل جریان زیســت‌محیطی به‌دســـت آمده از طریق روش‌های Q90 و تنانت (۱۰ در صد میانگین جریان سالانه) خیلی پایین‌تر از میانگین جریان در تمام ماه‌های یک سال آبی می‌باشد.



شکل (۶): منحنی تداوم جریان طبیعی و تنظیم شده و نمایش معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد اکولوژیکی

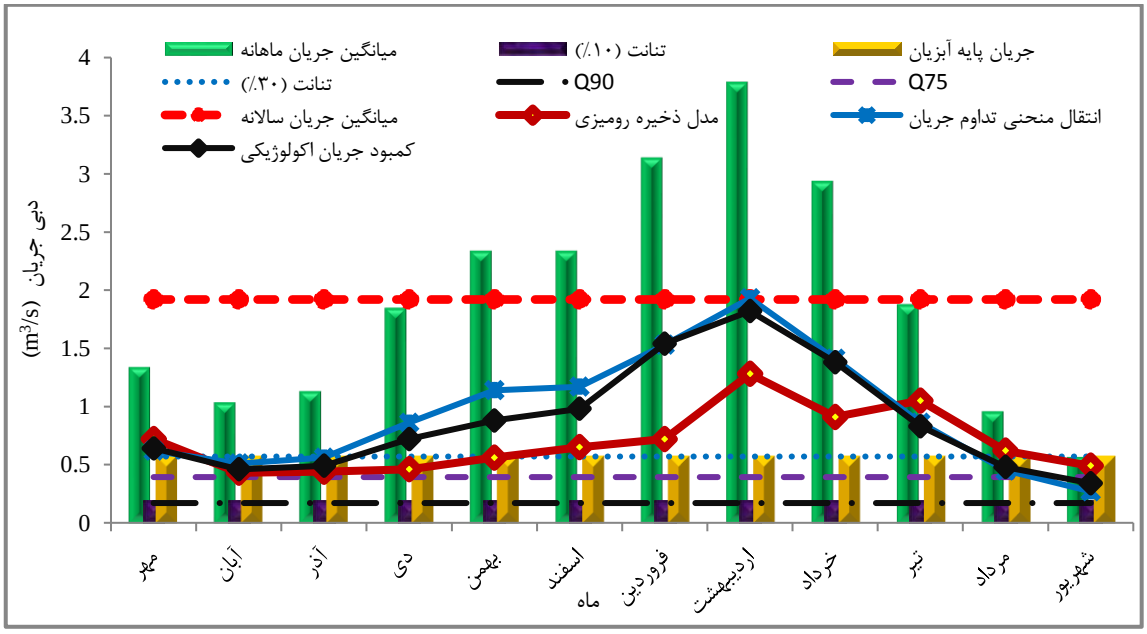
جدول (۳): مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو از روش‌های مختلف

روش		نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو ٪ (MAR)	نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو (m^3/s)
منحنی تداوم جریان	Q75	۲۰	۰/۳۹۳
	Q90	۹	۰/۱۷
جریان پایه آبزیان		۲۹	۰/۵۷
انتقال منحنی تداوم جریان	کلاس A	۷۸	۱/۴۹
	کلاس B	۶۲	۱/۱۹
	کلاس C	۴۸/۵	۰/۹۴
	کلاس D	۳۸	۰/۷۲
	کلاس E	۱۷	۰/۳۲
	کلاس F	۹	۰/۱۷
مدل ذخیره رومیزی	کلاس A	۵۶	۱/۰۷
	کلاس A/B	۴۸	۰/۹۲
	کلاس B	۴۰	۰/۶۹
	کلاس B/C	۳۳	۰/۶۳
	کلاس C	۲۳	۰/۴۴
	کلاس C/D	۱۷	۰/۳۲
	کلاس D	۱۲	۰/۲۳
تنانت	فروردین- شهریور	۳۰	۰/۵۷
	مهر- اسفند	۱۰	۰/۱۹
کمبود جریان اکولوژیکی		۴۵	۰/۸۸

بر اساس آنچه که توسط محققین دیگر گزارش شده است (Shokoohi and Amini, 2014؛ Nikghalb et al., 2016؛ اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فتاح‌پور و همکاران، ۱۳۹۷؛ ختار و شکوهی، ۱۳۹۹) اگر در رودخانه‌ای چنین رژیم اکولوژیکی تجویز شود، زیستگاه رودخانه با فاجعه مواجه خواهد شد. این در حالی است که در فصل بهار و تابستان با افزایش رقابت برای استفاده از آب برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت روبرو هستیم و در این فصول نیز در بخش‌های جنوب‌شرقی خلیج گرگان که دارای آب و هوای معتدل مرطوب خزری است، فصل مهاجرت ماهی‌ها از دریا به رودخانه و تخم‌ریزی و تولیدمثل برای گونه‌های مختلف است (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پورصوفی و همکاران، ۱۳۹۷) و نیاز به تأمین شرایط اکولوژیکی خوب و مناسب برای حفاظت زیستگاه رودخانه و نزدیک به شرایط طبیعی می‌باشد.

جدول (۴): مقادیر توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی با روش‌های مختلف (m^3/s)

ماه	MMF	جریان پایه آبزیان		انتقال منحنی تداوم جریان		FDC (Q75)		FDC (Q90)		مدل ذخیره رومیزی		تنانت		کمبود جریان اکولوژیکی	
		Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
مهر	۱/۳۴	۰/۵۷	۴۲	۰/۶۲	۴۷	۰/۰۹۴	۷	۰/۰۰۷	۰/۵۲	۰/۷۲	۵۴	۰/۱۹	۱۴	۰/۶۴	۴۷
آبان	۱/۰۳۶	۰/۵۷	۵۵	۰/۵۱	۵۰	۰/۲۴۲	۲۳	۰/۲۳۶	۲۲	۰/۴۳	۴۲	۰/۱۹	۱۸	۰/۴۶	۴۴
آذر	۱/۱۳۴	۰/۵۷	۵۰	۰/۵۶	۴۹	۰/۴۶۱	۴۰	۰/۲۶	۲۲	۰/۴۴	۳۹	۰/۱۹	۱۴	۰/۴۹	۴۳
دی	۱/۸۵	۰/۵۷	۳۰	۰/۸۶	۴۷	۰/۶۷۲	۳۶	۰/۳۶۳	۱۹	۰/۴۶	۲۵	۰/۱۹	۱۰	۰/۷۲	۳۸
بهمن	۲/۳۴	۰/۵۷	۲۴	۱/۱۴	۴۹	۰/۷۴۵	۳۱	۰/۳۲۵	۱۴	۰/۵۶	۲۴	۰/۱۹	۸	۰/۸۸	۳۷
اسفند	۲/۳۴	۰/۵۷	۲۴	۱/۱۷	۵۰	۰/۸۶۲	۳۷	۰/۲۶۶	۱۱	۰/۶۵	۲۸	۰/۱۹	۸	۰/۹۸	۴۱
فروردین	۳/۱۴	۰/۵۷	۱۸	۱/۵۳	۴۹	۰/۸۹۲	۲۸	۰/۳۷۲	۱۲	۰/۷۲	۲۳	۰/۵۷	۱۸	۱/۵۴	۴۹
اردیبهشت	۳/۷۹	۰/۵۷	۱۴	۱/۹۳	۵۱	۰/۴۸۷	۱۲	۰/۱۰۵	۳	۱/۲۸	۳۴	۰/۵۷	۱۵	۱/۸۲	۴۸
خرداد	۲/۹۴	۰/۵۷	۱۵	۱/۴۱	۴۸	۰/۱۳۶	۴	۰/۰۸۱	۳	۰/۹۱	۳۱	۰/۵۷	۱۹	۱/۳۸	۴۶
تیر	۱/۸۸	۰/۵۷	۱۹	۰/۸۶	۴۶	۰/۰۸	۴	۰/۰۳	۲	۱/۰۵	۵۶	۰/۵۷	۳۰	۰/۸۳	۴۴
مرداد	۰/۹۶	۰/۵۷	۳۰	۰/۴۵	۴۷	۰/۰۵	۵	۰	۰	۰/۶۲	۶۵	۰/۵۷	۵۹	۰/۴۸	۵۰
شهریور	۰/۵۷	۰/۵۷	۱۰۰	۰/۲۷	۴۹	۰	۰	۰	۰	۰/۴۹	۸۷	۰/۵۷	۱۰۰	۰/۳۴	۵۹
میانگین	۱/۹۲	۰/۵۷	۲۹	۰/۹۴	۴۸/۵	۰/۳۹۳	۲۰	۰/۱۷	۹	۰/۶۹	۴۰	۰/۳۸	۱۹	۰/۸۸	۴۵



شکل (۷): مقادیر دبی متوسط ماهانه، متوسط جریان سالانه و جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش‌های مختلف

مقایسه نتایج جریان برآورد شده زیست‌محیطی از روش انتقال منحنی تداوم جریان با نتایج روش تنانت به‌روشنی نشان می‌دهد که روش انتقال منحنی تداوم جریان در همه ماه‌های سال به استثنای ماه شهریور مقدار جریان زیست‌محیطی را بیشتر از روش تنانت برآورد کرده است. همچنین بررسی تغییرات زمانی جریان زیست‌محیطی برآورده شده با روش‌های مختلف و جریان متوسط ماهانه نشان می‌دهد الگوی جریان زیست‌محیطی برآورده شده با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، بیشترین تشابه را با الگوی جریان

متوسط ماهانه دارد که با نتایج پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۶)، Abdi and Yasi (2015) ، Ahn et al.(2018) ، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) و همتی و همکاران (۱۳۹۹) نیز مورد تایید قرار می‌گیرد. این روش وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود را با درنظر گرفتن شرایط اکولوژیکی مطلوب، شبیه‌سازی می‌کند.

محاسبات انجام شده برای برآورد نیاز زیست‌محیطی از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، جریان پایه آبزیان و منحنی تداوم جریان بر پایه اطلاعات هیدرولوژیکی است و نتایج به‌دست آمده از این روش‌ها به صورت مستقیم به خصوصیات اکولوژیکی سیستم رودخانه‌ای مربوط نمی‌شود (نادری و همکاران، ۱۳۹۷؛ Stamou et al., 2018). آشکار است که مقادیر حاصل از روش‌های تنانت، جریان پایه آبزیان و منحنی تداوم جریان برای تأمین جریان زیست‌محیطی و لزوم تأمین سایرحقابه‌های هر حوضه آبخیز، محافظ کارانه‌تر خواهد بود. با گزینش و تخصیص رژیم اکولوژیکی حاصل از به‌کارگیری روش‌های کمبود جریان اکولوژیکی، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی، کفه ترازو به سمت تأمین حقابه زیست‌محیطی سنگین‌تر خواهد بود. با توجه به جدول (۴) مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو با استفاده از روش کمبود جریان اکولوژیکی در محدوده ۰/۳۴ تا ۱/۸۲ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف سال با میانگین جریان سالانه ۰/۸۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۴۵ درصد جریان طبیعی رودخانه) قرار دارد. نادری و همکاران (۱۳۹۹) با کاربرد روش کمبود جریان اکولوژیکی، مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل را معادل ۶۱ درصد جریان طبیعی رودخانه برآورد کردند. به‌طور کلی باید در نظر داشت که روش‌های هیدرولوژیکی به تنهایی و بدون درنظر گرفتن شرایط هیدرولیکی و اکوسیستم رودخانه، قابل استناد نخواهد بود. باید توجه شود که مولفه‌های بیولوژیکی در روش‌های هیدرولوژیکی برآورد رژیم جریان زیست‌محیطی نقش واضح و روشنی ندارند اما ذکر این نکته ضروری است که بسیاری از این روش‌ها بر پایه برخی مولفه‌های بیولوژیکی، بوجود آمده‌اند (Roni et al., 2012؛ Arthington et al., 2006؛ Operacz et al., 2018). نهایتا پذیرفته می‌شود که جایگاه روش‌های هیدرولوژیکی در برآورد رژیم جریان زیست‌محیطی، کم هزینه و سریع بوده و بهترین و شاید تنها انتخاب کارشناسان در ارزیابی جریان زیست‌محیطی تحت شرایط کمبود داده باشد. Shokoohi and Amini (2014)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷)، نادری و همکاران (۱۳۹۸) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهش‌های صورت گرفته، نتیجه‌گیری کرده‌اند که در نظر گرفتن پارامترهای اکولوژیکی تاثیر بسزائی در برآورد صحیح و واقع‌بینانه جریان زیست‌محیطی دارد و توسعه شاخص‌های هیدرولوژیکی رژیم اکولوژیکی رودخانه، بایستی با روش‌های اکوهیدرولیکی و به‌صورت منطقه‌ای باشد. بارزترین نکته موجود در پژوهش حاضر این است که انتخاب و تخصیص مقادیر دبی زیست‌محیطی در اختیار مدیر حوضه آبخیز رودخانه است که کدام یک از مقادیر گزارش شده توسط روش‌های مورد مطالعه را برگزینند.

با توجه به شکل (۷) و جدول (۴)، تحلیل اساسی بر نیاز زیست‌محیطی در رودخانه قره‌سو می‌توان ارائه داد. در رودخانه قره‌سو با توجه به اختلاف میان دبی در دوره‌های کم‌آبی (شهریور) تا پرآبی (اردیبهشت)، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که برداشت کمتری از آب رودخانه قره‌سو امکان‌پذیر است و در کم‌آبی‌ها، شرایط بحرانی در تخصیص جریان زیست‌محیطی وجود دارد و برداشت بیش از حد آب رودخانه برای مصارف مختلف مانند کشاورزی، صنعت و پروژه‌های احداث سد، عملاً رودخانه را در بحران اکولوژیکی فرو خواهد برد و در مدیریت اکوسیستمی رودخانه باید تمهیدات و برنامه‌ریزی‌هایی را لحاظ کرد. همچنین با توجه به

تنظیم و تثبیت شدن دبی جریان رودخانه قره‌سو و آبگیری جهت تأمین مصارف مختلف در سرشاخه‌های بالادست و پی‌آمد آن کاهش میزان سرعت جریان در بخش‌های پایین‌دست رودخانه، انتظار رسوب‌گذاری در مقاطع مختلف رودخانه، ایجاد جزایر رسوبی و کاسته شدن از مقطع عرضی رودخانه وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان شرایط رژیم جریان رودخانه قره‌سو در پایین‌دست را در اثر عوامل مختلفی مانند ساخت سد مخزنی شصت کلاته و سد نومل و کاهش آب رهاشده به سمت پایین‌دست، کاستن از میزان تغذیه جریان‌های سطحی در اثر کمبود میزان بارش در منطقه، ایجاد شرایط تغییر اقلیم در سطح حوضه آبخیز قره‌سو (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹) و خشک‌سالی‌های مداوم و افزایش مصرف آب در بخش‌های مختلف، دانست.

براساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته، پس از برداشت‌های انجام شده از آب رودخانه قره‌سو جهت مصارف کشاورزی، جریان دچار مقداری کاهش می‌شود و رژیم جریان رودخانه در شرایط فعلی در بازه‌های میانه به پایین دست کافی نبوده و در هیچ زمانی از سال، نیاز اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه را برآورده نمی‌کند. از سوی دیگر، با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۳)، می‌توان گفت تنها در بخشی از فصل بهار، نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبزی در رودخانه قره‌سو، فراهم شده است.

نتیجه‌گیری

مدیریت منابع آب در سطح حوضه آبریز به‌طور فزاینده‌ای به تخصیص جریان زیست‌محیطی به‌عنوان یک ابزار جهت بهبود کیفیت زیستگاه اکوسیستم‌های آبی، حفاظت و ترمیم رژیم جریان رودخانه‌ها و اکولوژی وابسته به آن در پروژه‌های حفاظت و بازگردانی رودخانه مرتبط می‌باشد. با توجه به موارد اشاره شده در این مطالعه در صورت بی توجهی و سهل انگاری، اگر مدیریت صحیحی برای تخصیص رژیم جریان موردنیاز برای حفظ مطلوبیت شرایط اکولوژی رودخانه قره‌سو انجام نگیرد و با توجه به اینکه گونه‌های آسیب‌پذیر و در معرض تهدید در این رودخانه موجود هستند، شرایط روز به روز بدتر شده و مطلوب بودن زیستگاه‌ها نیز از بین خواهند رفت و در نتیجه باززنده‌سازی و احیای آنها شاید امکان‌پذیر نبوده و یا سالیان زیادی زمان ببرد. بر اساس نتایج و تحلیل‌های انجام شده، از میان روش‌های هیدرولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش، روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس اکولوژیکی C، به علت سازگاری بیشتر با شرایط هیدرولوژیکی و اکولوژیکی و با توجه به در نظر گرفتن محدویت‌های اکولوژیکی و انعطاف‌پذیری آن در ماه‌های کم‌آبی و پرآبی نسبت به سایر روش‌ها، جهت محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو پیشنهاد می‌شود. همچنین کیفیت و اعتمادپذیری روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس اکولوژیکی C، در عین عملکرد بسیار سریع و ساده، با پتانسیل جریان رودخانه مطابق خوبی داشته و از لحاظ مدیریتی، مصارف و شرب در منطقه مورد مطالعه، قابل قبول است. از طرفی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی، می‌توانند نمای کلی خوبی از میزان تغییرات یک سری زمانی جریان را ارائه دهند و به طور کلی می‌توان کمبود یا افزایش جریان اکولوژیکی ناشی از تنظیم جریان را در هر دوره زمانی (ماه، فصل و سال) محاسبه و اقدامات مناسب برای حفاظت زیستگاه به‌عمل آورد. در نهایت دستاورد پژوهش حاضر، ایجاد شرایط مطلوب و مناسب برای تأمین سلامت اکوسیستم رودخانه قره‌سو از نظر فراهم نمودن زیستگاه مطلوب موجودات زنده، با اعمال میزان جریان اکولوژیک که بیشترین تشابه را با الگوی طبیعی جریان رودخانه دارد، می‌باشد. این محاسبات، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی منابع آب و پروژه‌های حفاظت از زیستگاه رودخانه، ارائه می‌دهد. در ضمن بررسی تأمین و تخصیص رژیم جریان زیست‌محیطی در شرایط تغییر اقلیم و تأثیرگذاری بر پتانسیل

اکولوژیکی مطلوبیت زیستگاه ماهیان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی جریان (IHA) و مدل‌سازی پیشرفته اکوهیدرولیکی با تلفیق مدل‌های اکوهیدرودینامیکی و مطلوبیت زیستگاه‌های آبی برای حفاظت و باززنده‌سازی اکوسیستم رودخانه، به عنوان مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از مساعدت و همکاری دفتر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان و شرکت مدیریت منابع آب ایران، که آمار و اطلاعات لازم برای انجام تحقیق حاضر را تأمین کردند، و همچنین از راهنمایی‌هایی دکتر علیرضا شکوهی لنگرودی و خانم دکتر سمیه مصطفوی، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اسماعیلی، ک.، ز. صادقی، ع. کابلی و ح. شفائی .۱۳۹۷. کاربرد روش‌های هیدرولوژیکی در برآورد حقابه محیط زیستی رودخانه (مطالعه موردی رودخانه گرگانرود). مجله محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، سال هفتاد و یکم، شماره ۴، ص ۴۳۷-۴۵۱.

پورصوفی، ط.، آ. قجقی و ر. پاتیمار. ۱۳۹۷. شناسایی و تنوع زیستی گونه‌ای کفزیان رودخانه قره‌سو- جنوب‌شرق دریای خزر. فصلنامه علمی پژوهشی محیط زیست جانوری، سال دهم، شماره ۲، ص ۲۹۰-۲۸۳.

ختار، ب و ع. شکوهی. ۱۳۹۹. ارزیابی و اصلاح روش تگزاس به عنوان به روش هیدرولوژیکی برای ارائه رژیم اکولوژیکی در رودخانه‌های دائمی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره ۳، ص ۴۶-۳۱.

زرعکانی، م.، ع. شکوهی، و و. پی‌سینگ. ۱۳۹۶. معرفی رژیم جامع اکولوژیکی در شرایط کمبود داده برای تعیین حق‌آبه زیست‌محیطی رودخانه‌ها. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال سیزدهم، شماره ۲، ص ۱۵۳-۱۴۰.

فتاح‌پور، ف.، ک. ابراهیمی و س. بیات .۱۳۹۷. تعیین دبی زیست‌محیطی بومی سفیدرود. مجله اکوهیدرولوژی، سال پنجم، شماره ۳، ص ۷۶۲-۷۵۳.

کاظمی، آ و ب. قرمزچشمه. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال بیست و سوم، شماره ۲، ص ۱۴۶-۱۳۱.

کریمی، س.، م. سالاری‌جزی و خ. قربانی. ۱۳۹۶. برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی. مجله اکوهیدرولوژی، سال چهارم، شماره ۱، ص ۱۸۹-۱۷۷.

کیوانی، ی.، م. نصری، ک. عباسی و ا. عبدلی. ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آبهای داخلی ایران. سازمان حفاظت محیط زیست، ۲۱۶ص.

مدرسی، ف.، ش. عراقی‌نژاد، ک. ابراهیمی و م. خلقی. ۱۳۸۹. بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری، مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود-قره‌سو. نشریه آب و خاک، جلد بیست و چهارم، شماره ۳، ص ۴۸۹-۴۷۶.

نادری، م.ح.، م. ذاکری‌نیا و م. سالاری‌جزی. ۱۳۹۷. به‌کارگیری مدل PHABSIM در تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه به‌منظور برآورد جریان زیست‌محیطی و مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ قره‌سو). اکوهیدرولوژی، سال پنجم، شماره ۳، ص ۹۵۵-۹۴۱.

نادری، م.ح.، م. ذاکری‌نیا و م. سالاری‌جزی. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی و شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه با کاربرد مدل River2D با تکیه بر باززنده‌سازی اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل. اکوهیدرولوژی، سال ششم، شماره ۱، ص ۲۲۲-۲۰۵.

نادری، م.ح.، م. پورغلام آمیجی، خ. احمدآلی، ز. امیری، آ. قجقی، و ل. قربانی‌مینائی. ۱۳۹۹. تعیین و طراحی محدوده رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل با بررسی مشخصه‌های هیدرومورفو-اکولوژیکی، رویکردهای مبتنی بر شاخص

هیدرولوژیکی و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه. شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، سال هفتاد و سوم، شماره ۱، ص ۴۰-۱۷.

نبوی، س.س.، ر. مصطفی‌زاده، ر. آسیابی‌رهبر و ز. حزباوی. ۱۳۹۷. تعیین حجم آب قابل برداشت ماهانه از رودخانه زهره به منظور تأمین آب شرب شهرستان هندیجان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال هشتم، شماره ۳۱، ص ۱۲۰-۱۰۷.

همتی، م.، س. علیزاده، م. یاسی و ر. ایلخانی‌پور. ۱۳۹۹. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه آجی‌چای با روش‌های اکوهیدرولوژیکی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دهم، شماره ۴۰، ص ۴۵-۳۳.

Abdi, R and M. Yasi. 2015. Evaluation of environmental flow requirements using eco-hydrologic–hydraulic methods in perennial rivers. Water Science and Technology, 72(3): 354-363.

Ahn, J. M., H. G. Kwon, D. S. Yang and Y. S. Kim. 2018. Assessing environmental flows of coordinated operation of dams and weirs in the Geum River basin under climate change scenarios. Science of The Total Environment, 643, 912-925.

Arthington, A. H., S. E. Bunn, N. L. Poff and R. J. Naiman. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. Ecological applications, 16(4): 1311-1318.

Caldwell, P. V., J. G. Kennen, G. Sun, J. E. Kiang, J. B. Butcher, M. C. Eddy, L. E. Hay, J. H. LaFontaine, E. F. Hain, S. A. C. Nelson and S. G. McNulty. 2015. A comparison of hydrologic models for ecological flows and water availability. Ecohydrology, 8(8): 1525-1546.

El-Jabi, Nand D. Caissie. 2019. Characterization of natural and environmental flows in New Brunswick, Canada. River Research and Applications, 35(1): 14-24.

Elhatip, H and M. A. Hinis. 2015. Statistical approaches for estimating the environmental flows in a river basin: case study from the Euphrates River catchment, Eastern Anatolian part of Turkey. Environmental Earth Sciences, 73(8): 4633-4646.

Gao, Y., R. M. Vogel, C. N. Kroll, N. L. Poff and J. D. Olden. 2009. Development of representative indicators of hydrologic alteration. Journal of Hydrology, 374(1-2): 136-147.

Gates, K. K., S. S. Vaughn and J. P. Julian. 2015. Developing environmental flow recommendations for freshwater mussels using the biological traits of species guilds. Freshwater Biology, 60(4): 620-635.

Hughes, D. A and P. Hannart. 2003. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. Journal of Hydrology, 270(3): 167-81.

Kuriqi, A., A. N. Pinheiro, A. Sordo-Ward and L. Garrote. 2019. Influence of hydrologically based environmental flow methods on flow alteration and energy production in a run-of-river hydropower plant. Journal of Cleaner Production.

Nikghalb, S., A. Shokoohi, V. P. Singh and R. Yu. 2016. Ecological Regime versus Minimum Environmental Flow: Comparison of Results for a River in a Semi Mediterranean Region. Water Resources Management, 30(13): 4969-4984.

Operacz, A., A. Wałęga, A. Cupak and B. Tomaszewska. 2018. The comparison of environmental flow assessment-The barrier for investment in Poland or river protection?. Journal of Cleaner Production, 575-592.

Pastor, A.V., F. Ludwig, H. Biemans, H. Hoff and P. Kabat. 2014. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. Hydrology and Earth System Sciences, 18(12): 5041-5059.

Roni, P., T. Beechie, S. Schmutz and S. Muhar. 2012. Prioritization of watersheds and restoration projects. Stream and watershed restoration: a guide to restoring riverine processes and habitats, 189-214.

Shahriari Nia, E. S., G. Asadollahfardi and N. Heidarzadeh. 2016. Study of the environmental flow of rivers, a case study, Kashkan River, Iran. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 65(2): 181-194.

Shokoohi, A and Y. Hong. 2011. Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). Hydrological Processes, 25(22): 3490-3498.

Shokoohi, A and M. Amini. 2014. Introducing a new method to determine rivers' ecological water requirement in comparison with hydrological and hydraulic methods. International Journal of Environmental Science and Technology, 11(3):747-756.

Stamou, A., A. Polydera, G. Papadonikolaki, F. Martinez-Capel, R. Munoz-Mas, C. Papadaki, S. Zogarisc, M. D. Buid, P. Rutschmann and E. Dimitriou. 2018. Determination of environmental flows in rivers using an integrated hydrological-hydrodynamic-habitat modelling approach. Journal of environmental management, 209: 273-285.

Vogel, R. M., J. Sieber, S. A. Archfield, M. P. Smith, C. D. Apse and A. Huber-Lee. 2007. Relations among storage, yield, and instream flow. Water Resources Research, 43(5): 1-12.

Ecosystems Protecting of Gharasoo River based on Regulation of Environmental Flow Regime using Hydrological Methods

Mohammad Hasan Naderi[1], Mehdi Zakerinia*[2], Meysam Salarijazi[3]

Abstract

Due to the increasing deterioration of river life systems because of human intervention, droughts and climate change, the recognition of the environmental flow in planning water resources development studies to maintain the health of it is necessary. The main objective of in this research is to implementation and assessment the methods of Tennant, Flow Duration Curve, Eco deficit, Aquatic Base Flow, Flow Duration Curve shifting (FDC Shifting) and Desktop Reserve Model (DRM) in estimating the environmental flow of Gharasoo River in different months of the year in the range of studies of Siahab hydrometry station to entrance to Gorgan Gulf in order to conservation and restoring of the above river. In the present study by comparing the results of suggested values of environmental flow in Gharasoo River were determined to be estimate Tennant method 0.57 m^3/s for April to September and 0.19 m^3/s for October to March, Flow Duration Curve method in conditions of relatively suitable (Q90) and suitable (Q75) was respectively 0.17 and 0.393 m^3/s, Aquatic Base Flow method 0.57 m^3/s, FDC Shifting method in relatively modest conditions with an annual average of 0.94 m^3/s, Eco deficit method 0.88 m^3/s and in class B DRM model 0.69 m^3/s. Accordingly, by providing the ecological regime of the Gharasoo River, it is possible to maintain proper conditions for maintaining the ecosystem health using FDC Shifting method in C management class (48.5 percent of natural stream of the river).

Keywords: Ecological regime, Environmental Flow, FDC Shifting, Gharasoo River, Mean Annual Flow

[1] M.Sc. of Water Resources Engineering and Ecohydraulic Researcher of River Habitat, Structure and Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran, naderigau@gmail.com

[2] Associate Professor of Structure and Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran, (Corresponding author: mzakerinia@gau.ac.ir)

[3]Assistant Professor, Department of Structure and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, meysam.salarijazi@gmail.com