Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 464-481

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۸۱-۴۶۴

تحلیل جنبه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در طراحی رژیم جریان ایده‌آل و بهینه زیست‌محیطی به منظور حفاظت از اکوسیستم رودخانه قره‌سو

محمدحسن نادری[۱*]، مسعود پورغلام آمیجی[۲]، مجتبی خوش‌روش[۳]، یوسف رجبی‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۸

چکیده

درک خوب از رژیم جریان طبیعی رودخانه در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی نقش مهمی ایفا می‌کند. در مدیریت یکپارچه منابع آب، تعیین جریان زیست‌محیطی در سامانه‌های رودخانه‌ای که بر سلامت زیستگاه‌های رودخانه‌ای، سیستم‌های وابسته به آب و حیات آبزیان تأثیرگذار است، ضروری است. در مطالعه حاضر روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت، Q_{50} و Q_{90}، اسمختین، انتقال منحنی تداوم جریان، تگزاس و کیفیت آب) و هیدرولیکی (محیط خیس شده) در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو در ماه‌های مختلف سال، مورد محاسبه و بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، برای حفاظت رودخانه قره‌سو در حداقل شرایط زیست‌محیطی قابل‌قبول، روش انتقال منحنی تداوم جریان با دبی ۰/۹۶ متر مکعب بر ثانیه در کلاس مدیریتی C (معادل ۵۳/۹۳ درصد جریان طبیعی رودخانه)، به‌دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی و انعطاف پذیری آن نسبت به تغییرات جریانات ماهانه رودخانه مورد مطالعه، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. از طرفی دیگر، تأثیر، انعطاف‌پذیری و اثربخشی روش‌های تنانت، Q_{90} و اسمختین به دلیل برآورد جریان زیست‌محیطی تقریباً نامناسب، برای حفاظت زیستگاه رودخانه مورد مطالعه، کافی نیست. همچنین مقایسه میزان تخصیص آب برای تأمین جریان زیست‌محیطی با روش‌های محیط خیس شده و تنانت در رودخانه مورد مطالعه نشان داد، کمبود جریان در فصول تابستان و زمستان (جریان رودخانه کمتر از جریان زیست‌محیطی است) مشاهده می‌شود. در نهایت این نتیجه به عمل آمد که روش‌های دیگر تأمین جریان زیست‌محیطی، مقادیر بالاتر از ۲۰ درصد میانگین جریان سالانه را فراهم می‌کند، که محافظت بهتر جریان را برای زیستگاه رودخانه فراهم می‌کنند. قابل ذکر است که روش‌های محیط خیس شده و تنانت با اختصاص سهم بیشتری از رژیم جریان رودخانه به بخش محیط زیست، باید در تابستان با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. رژیم بهینه جریان زیست‌محیطی، هنگامی اثربخش خواهد بود که در زمان مناسبی برای ادامه فعالیت‌های زیستی، عملکرد زیستگاه‌های رودخانه‌ای و حفظ شرایط مورفولوژیکی بستر رودخانه، در رودخانه رهاسازی و فراهم شود.

واژه‌های کلیدی: جریان زیست‌محیطی، رژیم هیدرولوژیکی، زیستگاه رودخانه، منابع آب، میانگین جریان سالانه

مقدمه

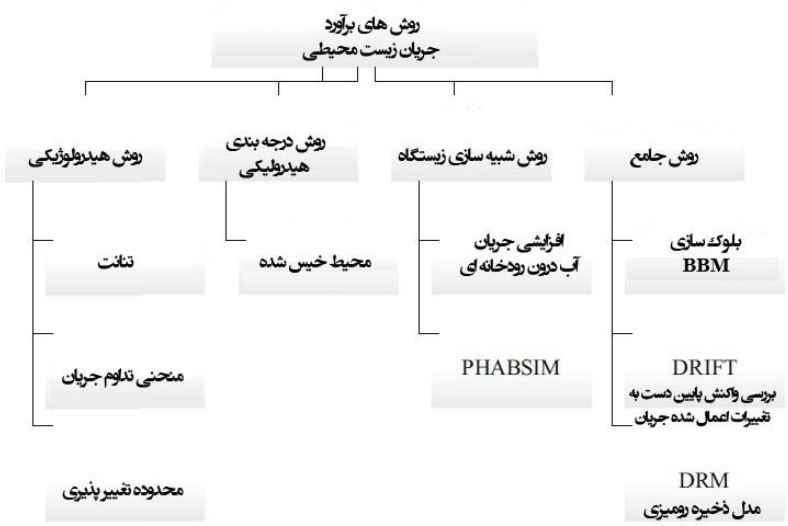
در دهه اخیر مفهوم رژیم طبیعی جریان، به عنوان یک الگو جهت حفاظت و نگهداری رودخانه‌ها پدید آمده است. پتانسیل جریان رودخانه، نمادی از شرایط اکولوژیکی و زیستی سامانه رودخانه و از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌ها می‌باشد (Wang et al., 2013). تغییرپذیری رژیم جریان، نیروی محرکه اصلی در پایداری اکوسیستم رودخانه می‌باشد (Tare et al., 2017). در حال حاضر با توجه به بحران آب کشور و خشک شدن اغلب رودخانه‌ها، تالاب‌ها و همچنین چالش‌های حاصله از طراحی و اجرای بعضی پروژه‌های توسعه منابع آبی از جمله سدها و خطوط انتقال آب، بدون بررسی‌های دقیق علمی و جامع کارشناسی و لحاظ نمودن جنبه‌های مختلف از جمله پایداری منابع آب در پایین‌دست و الزامات محیط زیستی (Li et al., 2018؛ Mezger et al., 2019)، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران و دانشمندان حوزه علوم آب، محاسبه جریان‌های متغیر طبیعی رودخانه و درک اهمیت حفاظت از منابع آب و تنوع زیستی و زیست‌بوم وابسته به جریان رودخانه است (Bahukandi and Ahuja, 2013؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۷؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹). جریان زیست‌محیطی به تخصیصی از آب با یک توزیع تجویزی گفته می‌شود که بایستی در رودخانه رها شود (Kuriqi et al., 2019) تا

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

www.SID.ir

Archive of SID

سلامت رودخانه و تمامیت اکوسیستم‌هایی که به وسیله جریان رودخانه پایدار نگه داشته شده‌اند را مدیریت کند (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). روش‌های تعیین حداقل جریان رودخانه‌ای برای تقویت گونه‌های شاخص ماهی، قبل از سال ۱۹۴۰ در آمریکا به وجود آمد. با افزایش نگرانی در مورد تأثیر سدها و طرح‌های توسعه آبی بر سامانه حیاتی رودخانه‌ها، روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی در چهار دسته رویکردهای: (۱) هیدرولوژیکی، (۲) نرخ هیدرولیکی، (۳) شبیه‌سازی زیستگاه و (۴) روش‌های جامع‌نگر، طبقه‌بندی می‌شوند (Arthington et al., 2018 ؛Sahoo et al., 2016). شکل ۱، نشان‌دهنده دسته‌بندی موجود در زمینه روش‌های گوناگون برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه به همراه معرف‌ترین روش‌های هر دسته، که به صورت کلی ارائه شده است.



شکل ۱- روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه (Baghel et al., 2019)

روش‌های هیدرولوژیکی که معمولاً به عنوان روش جدول‌های در دسترس شناخته می‌شوند، تابعی از یک یا چند شاخص رژیم جریان طبیعی آب رودخانه می‌باشد (Shaeri Karimi et al., 2012) و درصدی از میانگین شاخص جریان آب رودخانه را که گاهی با نیازهای بیولوژیکی تطبیق داده می‌شود (صدیق‌کیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۷)، برای تنظیم جریان آب محیط زیستی پس از بهره‌برداری از سدها تعیین می‌نماید (سودی و همکاران، ۱۳۹۸). مهم‌ترین داده‌ها در این روش، مقدار جریان طبیعی رودخانه در مقیاس‌های روزانه، ماهانه یا سالانه هستند (Wang et al., 2013؛ Godinho et al., 2014). در روش هیدرولیکی، از ارتباط بین یکی از مشخصه‌های هیدرولیکی کانال رودخانه‌ها (محیط خیس شده، عمق، سرعت) و دبی جریان، برای تأمین شرایط بهینه زیستگاه گونه‌های هدف در رودخانه استفاده می‌شود (Abdi and Yasi, 2015؛ Arthington et al., 2018). در روش شبیه‌سازی زیستگاه از داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اکولوژیکی برای تحلیل میزان در دسترس بودن زیستگاه‌ها و همچنین میزان مطلوبیت زیستگاه گونه‌های ماهی استفاده می‌شود (Li et al., 2018) و جریان زیست‌محیطی با استفاده از منحنی شاخص مطلوبیت زیستگاه بر حسب دبی جریان بدست می آید (نادری و همکاران، ۱۳۹۸). در روش‌های جامع با یک دید جامع‌نگر، تأثیر تمامی عوامل مؤثر بر جریان زیست محیطی بررسی می شوند (Bahukandi and Ahuja, 2013). این روش‌ها نیازمند اطلاعات کاملی از نظر هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، زیستگاهی، اکولوژیکی آبزیان و گیاهان، آب‌های زیرزمینی و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی هستند (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۶). شرایط محیطی به‌خصوص دبی جریان رودخانه از عواملی می‌باشد که بر تنوع و تراکم کفزیان موجود در رودخانه‌ها در فصول مختلف تاثیر می‌گذارد که در فصل تابستان کمتر از بقیه فصول می‌باشد و این اثر در فصول سیلابی بسیار زیاد است (Morid et al., 2020). تغییرات رژیم جریانات در ماهیان رودخانه از طریق تغییر مکان ماهیان به پایین‌دست در مراحل اولیه زندگی و اختلال در تخم‌ریزی تأثیرگذار است. بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که محققان بسیاری در مطالعات خود به بررسی و تحلیل مباحث مربوط به برآورد جریان زیست‌محیطی برای حفظ شرایط مطلوب و محافظت از اجزای اکوسیستم رودخانه، باززنده‌سازی زیستگاه اکولوژیکی و مدیریت اکوسیستم رودخانه در طی سال‌های اخیر پرداخته‌اند که نتایج بعضی از آن‌ها در ادامه بیان می‌گردد.

تنانت (۱۹۷۶) بر طبق داده های مطالعات میدانی خود بیان کرد که حداقل جریان زیست‌محیطی در ۱۰ درصد میانگین جریان

www.SID.ir

Archive of SID

سالانه[1]، ۵۰ درصد حداکثر محیط خیس شده در آبراهه را ایجاد می‌کند و وقتی جریان بیش از ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه گرد، محیط خیس شده به حداکثر خود نزدیک خواهد شد (Tennant, 1976). شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) تغییرات جریان زیست‌محیطی رودخانه صفارود در استان مازندران را با ۲ روش هیدرولوژیکی تنانت و تگزاس و روش هیدرولیکی محیط خیس شده بررسی کردند. نتایج بدست آمده از پژوهش آنها نشان داد، برقراری جریان پیشنهادی روش محیط خیس شده برای حفظ شرایط محیط اکولوژیکی در حداقل قابل قبول، نیاز به استفاده از ۶۰ درصد متوسط جریان متوسط سالانه دارد که این مقدار پذیرفتنی‌تر از روش‌های هیدرولوژیکی نظیر تنانت که بدون توجه به محیط زندگی موجودات زنده رودخانه‌ای، به تخصیص جریان اقدام می‌کند، است (Shokoohi and Hong, 2011). در تحقیقی دیگر، عبدی و یاسی (۲۰۱۵) در بررسی نیاز اکولوژیکی گونه شاخص زیستی رودخانه فرامرزی زاب در شمال غرب ایران با تلفیق روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، مقادیر پیشنهادی روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس زیستی B (حفاظت پایدار از تنوع زیستی)، معادل شدت جریان ۲/۳ مترمکعب برثانیه در بازه بالادست رودخانه را برای رژیم جریان زیست‌محیطی، گزینه مناسبی دانستند. آنها همچنین نشان دادند دبی متوسط جریان زیست‌محیطی با کاربرد روش شبیه‌سازی زیستگاه در بازه‌های میانی و پایین‌دست رودخانه، با درنظر گرفتن خصوصیات گونه زرده‌ماهی (*Barbus Capito*)، هندسه رودخانه و ظرفیت طبیعی جریان، مناسب‌تر است (Abdi and Yasi, 2015). در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه مهابادچای با استفاده از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، رزاقی‌رضائیه و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند جریان پیشنهادی روش تغییر منحنی تداوم جریان در کلاس C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد دبی متوسط جریان را در ایستگاه‌های هیدرومتری کوتر و بیطاس به عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر می‌گیرد، با پتانسیل جریان رودخانه در ماه‌های مختلف مطابقت خوبی داشته، و به دلیل درنظر گرفتن شرایط مدیریت اکولوژیکی، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. در پژوهشی دیگر، آرتینگتون و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند برآورد و اختصاص حداقل جریان زیست‌محیطی جهت حفاظت از کارکردهای اکوسیستم‌های طبیعی و بومی و تنوع‌زیستی آنها برای مدیریت اکوسیستم رودخانه‌ای و سایر اکوسیستم‌های آبی یک امر ضروری است (Arthington et al., 2018). همچنین در تحقیقی دیگر، نادری و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند به جریان موردنیاز برای دوره‌های تخم‌ریزی سیاه‌ماهی (*C.Capoeta gracilis*) در زیستگاه رودخانه و جریان‌های سیلابی برای زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی بایستی توجه گردد. نتایج مطالعه آنها نشان داد حداکثر و حداقل جریان زیست‌محیطی برآورد شده در ماه‌های فروردین و آبان به ترتیب معادل ۵/۰۹ و ۰/۷۶ متر مکعب بر ثانیه، با میانگین دبی سالانه ۱/۷۹ متر مکعب برثانیه (معادل ۸۴ درصد جریان طبیعی رودخانه) بوده که بایستی در داخل رودخانهٔ زرین‌گل برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ سیاه‌ماهی برقرار باشد. مزگر و همکاران (۲۰۱۹) برقراری جریان‌های زیست‌محیطی را به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت آب در کاهش تأثیر تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی رودخانه و در دستیابی به وضعیت اکولوژیکی قابل قبول، توصیف کردند (Mezger et al., 2019). در سال‌های اخیر، عدم تامین آب مورد نیاز بخش زیست‌محیطی منجر به خشکی و آسیب فراوان به ارزش‌های زیستگاهی و اکولوژیکی حوضه آبخیز رودخانه قره‌سو شده است و نیز از سوی دیگر رهاسازی جریان در بالادست رودخانه قره‌سو با مدیریت صحیحی همراه نبوده و پس از برداشت‌های انجام شده برای مصارف کشاورزی، جریان بسیار محدود شده و پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان نیست. در همین ارتباط، مطالعه حاضر بر روی جنبه‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رژیم جریان تمرکز دارد، که سعی می‌شود به بهترین نحو توصیف رژیم جریان طبیعی رودخانه قره‌سو و همچنین کمیت جریان‌های زیست‌محیطی این رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت، Q_{50} و Q_{90}، اسمختین، انتقال منحنی تداوم جریان، تگزاس و کیفیت آب) و هیدرولیکی (محیط خیس شده)، راهی نو را بر اساس نتایج این تحقیق معتبرتر و سازگارتر با شرایط جریان رودخانه‌ای، معرفی نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

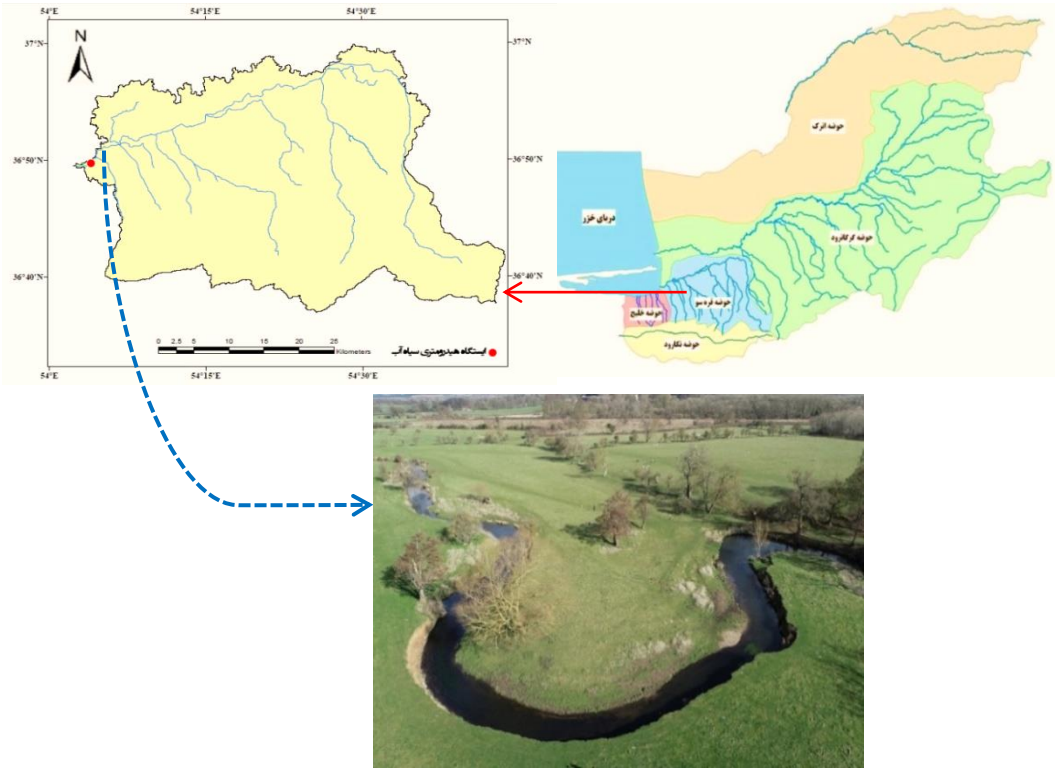
حوضه آبخیز قره‌سو در محدوده مختصات "۳۷ ˚۲ ´۵۴ تا "۴ ´۴۲ ˚۵۴ طول شرقی و "۲۴ ´۳۶ ˚۳۶ تا "۴۸ ´۵۹ ˚۳۶ عرض شمالی واقع در جنوب‌غربی استان گلستان است. شاخه اصلی رودخانه قره‌سو به طول ۵۰ کیلومتر، از ارتفاعات کوه قلعه ماران و علاوه بر شاخه اصلی چندین شاخه فرعی دیگر شامل رودخانه زیارت، رودخانه گرمابدشت، رودخانه شصت‌کلا، رودخانه غازمحله کردکوی که از نقاط و ارتفاعات مختلفی سرچشمه می‌گیرند. کم‌ترین ارتفاع حوضه ۲۶- متر در مصب خلیج گرگان و بیش‌ترین آن ۳۲۰۰ متر در ارتفاعات گرمابدشت است. شکل عمومی حوضه پهن است و امتداد شرقی – غربی دارد و میانگین ارتفاعی حوضه، ۶۲۴ متر است. متوسط بارندگی سالیانه حوضه، 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 (نادری و

1- Mean Annual Flow: MAF

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران، ۱۳۹۷). حداکثر دمای سالانه حوضه متعلق به مناطق دشت که مقدار آن ۱۸ سانتی‌گراد و کمترین آن مربوط به مناطق کوهستانی که مقدار آن ۲ درجه سانتی‌گراد است. ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده برای محاسبات هیدرولوژیکی، ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب می‌باشد که در ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و در قسمت انتهایی رودخانه قره‌سو واقع شده است (شکل ۲). شیب کف این رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب حدود ۰/۰۰۰۵ و عرض مقطع رودخانه در شرایط جریان پایه حدود ۶ متر که در شرایط سیلابی تا ۲۵ متر افزایش می‌یابد (ظهیری و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس آمار و اطلاعات دوره ۴۶ ساله (سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۶) ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب، دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه رودخانهٔ قره‌سو در ماه فروردین و برابر ۳/۶۷ متر مکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه شهریور و برابر ۰/۴۳ متر مکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه، ۱/۷۸ متر مکعب برثانیه است. حفظ اکوسیستم سامانه رودخانه قره‌سو به عنوان مهم‌ترین تامین کننده حق‌آبه خلیج گرگان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در رودخانه قره‌سو ۹ خانواده، ۱۸ جنس و ۲۱ گونه ماهی شناسایی شده است. خانواده کپورماهیان با ۹ جنس و ۱۰ گونه یکی از متنوع‌ترین خانواده‌های ماهیان این رودخانه است. خانواده گاوماهیان دارای ۲ جنس و ۴ گونه است و سایر خانواده‌ها هر یک دارای یک جنس و یک گونه هستند. ۶ گونه غیر بومی در این رودخانه شناسایی شده که تمامی آنها جزء فراوان‌ترین ماهیان رودخانه هستند. رودخانهٔ قره‌سو زیستگاه و محل تخم‌ریزی گونه‌های سیاه‌ماهی (*Capoeta gracilis*)، کاراس (*Carassius auratus*)، ماهی‌کلمه (*Rutilus rutilus caspicus*)، ماهی سفید (*Rutius frisii kutum*) و سوف (*Sander lucioperea*) که جزو گونه‌های کلیدی و دارای اهمیت اکولوژیکی بالا بوده و همچنین از جنبه بیولوژیک و هم از نظر اقتصادی حائز اهمیت و توجه ویژه است، می‌باشد (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پورصوفی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز قره‌سو، ایستگاه هیدرومتری و منطقه مورد مطالعه و نمایی از سیمای رودخانه

روش‌های مورد استفاده در تعیین جریان زیست‌محیطی

پرکاربردترین روش هیدرولیکی برای تعیین جریان‌های درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «محیط خیس شده» می‌باشد. این روش به رابطه عمومی بین دبی رودخانه و محیط خیس شده می‌نگرد. روش محیط خیس شده از اندازه‌گیری‌های صحرایی یا مدل‌سازی هیدرولیکی برای تعیین اینکه چطور محیط خیس شده یک آبراهه مورد مطالعه با جریان تغییر می‌کند استفاده می‌نماید (Shokoohi and Amini, 2014; Shokoohi and Hong, 2011). در این روش فرض می‌شود که با حفظ محیط خیس شده مناسب آبراهه در محل زیستگاه‌های مهم، حیات آبزیان حفظ خواهد شد. در این روش،

www.SID.ir

Archive of SID

منحنی محیط خیس شده در مقابل دبی جریان ترسیم می‌شود و نقطه تغییر شیب منحنی (نقطه شکست) به عنوان جریان مورد نیاز برای حفظ زندگی گیاهان و جانوران آبزی فرض می‌شود. این منحنی نشان می‌دهد که محیط خیس شده (جانشینی برای زیستگاه ماهیان) در بالای نقطه شکست به ازای هر واحد تغییر در دبی در مقایسه با نقاط زیرین نقطه شکست مقدار نسبتاً کمی افزایش می‌یابد (امینی و شکوهی، ۱۳۹۳؛ Tare et al., 2017). مراحل کار در این روش به ترتیب زیر می باشد:

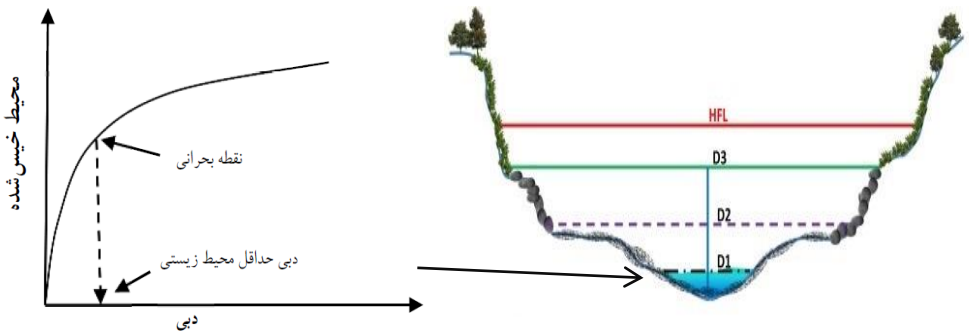
- تعیین رابطه بین محیط خیس شده در محل زیستگاه‌های خاص با دبی جریان. رابطه مانینگ (رابطه ۱) برای به دست آوردن دبی به صورت زیر است:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، Q معرف دبی (m^3/s)، n ضریب زبری مانینگ، A، سطح مقطع عرضی رودخانه (m^2)، R شعاع هیدرولیکی (m)، که R=A/P و محیط خیس شده (m)، S، شیب طولی رودخانه و بدون بعد است.

- ترسیم منحنی بی بعد محیط خیس شده بر حسب دبی جریان (مقادیر محیط خیس شده و دبی به صورت نسبتی از مقادیر حداکثر آنها نشان داده می‌شود) (شکل ۳).
- تشخیص نقطه شکست در منحنی محیط خیس شده- دبی جریان (نقطه شکست بیانگر محلی است که به ازای تغییرات کمی در دبی جریان، تغییرات زیادی در محیط جریان رخ می‌دهد. از لحاظ ریاضی، نقطه شکست منحنی جایی است که شیب مماس بر آن یک باشد (زاویه ۴۵ درجه تشکیل دهد)).
- در مواقعی که به علت وجود مقاطع عرضی مختلف، شکل منحنی نامنظم شده و چندین نقطه شکست تشخیص داده می‌شود، نقطه شکست معادل کمترین دبی در نظر گرفته می‌شود.
- با تعیین نقطه شکست، دبی معادل آن به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود.

در روش محیط خیس شده برای تعیین نقطه شکست (نقطه بحرانی)، از دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا استفاده می‌شود. در روش شیب منحنی، نقطه بحرانی جایی تعریف می‌شود که شیب برابر با یک است و در روش انحنا، این نقطه جایی تعریف می‌شود که انحنا، حداکثر است. در روش شیب منحنی، با مشتق گرفتن از منحنی، می‌توان معادله‌ای را بدست آورد که به ازای هر نقطه تماس، شیب منحنی خیس شده، دبی را در همان نقطه بدست می‌دهد (Shokoohi and Hong, 2011؛ امینی و شکوهی، ۱۳۹۳). از منظر ژئومورفولوژیکی، شرایط مختلفی برای حفظ عمق آب در جریان‌های کم و جریان‌های سیلابی تعیین می‌گردد. در هنگام تعیین جریان‌های زیست‌محیطی بایستی به حداقل عمق موردنیاز جریان آب در دوره‌های نگهداری و پرورش ماهیان (D1) به‌عنوان میانگین طبیعی جریان، حداقل عمق آب لازم برای دوره‌های تخم‌ریزی ماهیان در زیستگاه رودخانه (D2)، D3 به‌عنوان عمق مورد نیاز در جریان‌های سیلابی برای غرق شدن (سیلاب‌دشت)، زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی که یکی از اجزای اکوسیستم رودخانه بوده و نقش بسیار زیادی در سلامت رودخانه دارد، توجه گردد (نادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Tare et al., 2017) (شکل ۳).



شکل ۳- نمایش رابطه میان دبی جریان و محیط خیس شده- نقطه بحرانی و جریان زیست‌محیطی معادل آن

بر اساس شکل ۳، می‌توان مفهومی اکولوژیکی برای مشخصه‌های مربوط به هیدرولیک جریان قائل شد و آن این است که در پایین نقطه بحرانی شرایط به سرعت عوض می‌شود، زیرا با یک تغییر کوچک در دبی، محیط خیس شده به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد ولی در بالای نقطه بحرانی، تغییر زیاد در دبی، تأثیر کمی بر افزایش محیط خیس شده دارد. بدین مفهوم که زیستگاه رودخانه به دبی‌های بالاتر از نقطه بحرانی حساس نبوده، ولی به همان نسبت برای دبی‌های پایین‌تر از خود حساسیت نشان می‌دهد. در نتیجه اگر دبی حد بحرانی در رودخانه‌ای تأمین شود، می‌توان ادامه حیات اکولوژیکی آن رودخانه را تضمین کرد (امینی و شکوهی، ۱۳۹۳؛

www.SID.ir

Archive of SID

Najafabadi et al., 2018).

در روش «انتقال منحنی تداوم جریان» طی محاسبات گام به گام یک رژیم هیدرولوژیکی مناسب برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه ارائه می‌شود. در این تحقیق برای محاسبه جریان زیست‌محیطی از روش تغییر منحنی تداوم جریان از اولین نسخه نرم‌افزار GEFC استفاده می‌شود. این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۷ توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب در سریلانکا، برای ارزیابی اولیه و سریع نیاز زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با همکاری گروه تحلیل سیستم‌های آبی دانشگاه نیوهمپ‌شیر آمریکا توسعه یافته است. 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 (Archfield et al., 2013؛ رزاقی‌رضائیه و همکاران، ۱۳۹۷). در این روش، محور احتمالاتی منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های ماهانه جریان تهیه می‌گردد. در این روش شش طبقه مدیریتی زیست‌محیطی، برای وضعیت‌های موردنظر جهت حفظ و نگهداری زیست‌بوم رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل طبقه A، وضعیت دست نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه، طبقه B، زیستگاه‌های اندک تغییریافته، طبقه C، زیستگاه نسبتا تغییر یافته که گونه‌های حساس تا حدودی کاهش یافته‌اند، طبقه D، تغییرات وسیعی در زیستگاه رخ داده، طبقه E، تعداد و تنوع زیستگاه‌ها به شدت کاهش یافته و طبقه F، اکوسیستم دچار تغییرات بحرانی و جبران‌ناپذیر شده است. در مرحله بعد با استفاده از تغییرات شیفت عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه می¬شود. از یک شیفت عرضی برای استخراج منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای رودخانه‌های کلاس A استفاده می‌شود، از دو شیفت عرضی به چپ برای رودخانههای کلاس Bو به همین ترتیب برای رودخانه‌های کلاس C و D به ترتیب از سه و چهار شیفت عرضی استفاده می‌شود (Archfield et al., 2013؛ Shaeri Karimi et al., 2012؛ حبیبی‌آلاگوز و یاسی، ۱۳۹۸).

روش «تنانت» یا «مونتانا» از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌های هیدرولوژیکی جهت برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه¬ها محسوب می‌شود که درصدی از میانگین جریان سالانه را به عنوان جریان زیست‌محیطی برای حفظ شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و شرایط زیستی ماهیان در نظر می‌گیرد (Tennant, 1976). جریان‌های معین مرتبط با درجه‌بندی‌های کیفی زیستگاه مطلوب، به صورت جز به جز در جدول ۱، ارائه شده است. بر طبق جدول پیشنهادی تنانت، زیستگاه حیاتی کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه باقی می‌ماند. زیستگاه حیاتی در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه احراز می‌شوند (Abdi and Yasi, 2015; Baghel et al., 2019; Shaeri Karimi et al., 2012).

جدول ۱- جریان زیست‌محیطی برای حیات ماهیان و مقاصد تفریحی در روش تنانت (Tennant, 1976)

هدف (نوع جریان)	رژیم‌های پیشنهادی جریان پایه (درصدی از متوسط جریان سالیانه)	
	مهر - اسفند	فروردین - شهریور
شست و شوی سریع یا حداکثر	۲۰۰	۲۰۰
محدوده بهینه	۶۰-۱۰۰	۶۰-۱۰۰
بسیار عالی	۴۰	۶۰
عالی	۳۰	۵۰
خوب	۲۰	۴۰
قابل‌قبول	۱۰	۳۰
ضعیف	۱۰	۱۰
بسیار ضعیف	<۱۰	<۱۰

روش «تگزاس» در واقع برگرفته از روش تنانت می‌باشد و برای رودخانه‌هایی که گونه جانوری شاخصی دارند و زنجیره غذایی آنها شناخته شده است، به کار برده می‌شود. در این روش درصدهای متغیری از میانگین ماهانه جریان برای تعیین حقابه زیست‌محیطی به کار می‌رود. این روش در برابر روش‌های اولیه یک روش پیشرفته است چرا که اولین روش از روش‌های هیدرولوژیکی است که درصد جریانات ماهانه را به‌عنوان متغیری از مشخصه‌های بیولوژیکی (دوره تخم‌ریزی، مهاجرت و غیره) و ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای (جریانات ماهانه با تغییرات شدید با چولگی مثبت) در نظر می‌گیرد (Bounds and Lyons, 1979). در روش تگزاس، ۴۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا فوریه (مهر-بهمن) و ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های مارس تا سپتامبر (اسفند-شهریور) به عنوان جریان حداقل برای حفاظت از بوم‌سازگان رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود (Shokoohi and Hong, 2011).

www.SID.ir

Archive of SID

روش «Q_{50}» و «Q_{90}» دیگر روش‌های هیدرولوژیکی مهم است که در آن، جریان زیست‌محیطی با تحلیل منحنی تداوم جریان به دست می‌آید. منحنی تداوم جریان[1] یکی از روش‌های مناسب برای خلاصه کردن خصوصیات فراوانی جریان رودخانه است (Shaeri Karimi et al., 2012). این منحنی از طریق تقسیم‌بندی هیدروگراف جریان (معمولاً متوسط جریان روزانه) و مرتب کردن داده‌ها، به صورت نزولی، حاصل می‌شود (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵). در روش Q_{50} و Q_{90}، با استفاده از منحنی تداوم جریان، به ترتیب جریانی قرائت می‌شود که ۵۰ و ۹۰ درصد از ایام سال در رودخانه برقرار است.

در روش «اسمختین» نیاز آب زیست‌محیطی[2] به صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان زیست‌محیطی[3] و نیاز حداکثر جریان زیست‌محیطی[4] در نظر گرفته می‌شود. در این روش برای آنکه شرایط رودخانه به‌صورت نسبتاً خوب باشد، باید حداقل جریان زیست‌محیطی (LFR) در آن رودخانه مساوی Q_{90} باشد. Q_{90} جریانی است که ۹۰ درصد مواقع سال، دبی رودخانه از آن مقدار بیشتر است. اگر رودخانه دارای جریان متغیر باشد به‌صورتی که Q_{90} کمتر از ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه باشد، حداکثر جریان زیست‌محیطی (HFR) مساوی ۲۰ درصد MAF در نظر گرفته می‌شود. در رودخانه‌هایی که جریان ثابتی دارند، به‌صورتی که Q_{90} بیشتر از ۳۰ درصد MAF باشد، HFR مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. در رودخانه‌هایی که Q_{90} بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و ۲۰ تا ۳۰ درصد MAF می‌باشد، مقدار HFR به ترتیب مساوی ۱۵ درصد و ۷ درصد MAF در نظر گرفته می‌شود. مقدار نیاز آب زیست‌محیطی کل سالیانه نیز از جمع دو جزء HFR و LFR به‌دست می‌آید (Smakhtin et al., 2004).

در پژوهش حاضر از روش «کیفیت آب» با استفاده از آمار ثبت شده سازمان حفاظت محیط زیست استان گلستان در رودخانه قره‌سو، برای کنترل تغییرات در پارامترهای کیفی آب که باعث اختلال گونه‌های گیاهی و جانوری می‌شود، استفاده می‌شود. اگر آلاینده‌های ارگانیک به طور مستمر وارد رودخانه شوند، غلظت اکسیژن محلول کاهش می‌یابد و زندگی موجودات آبزی با خطر جدی مواجه خواهد شد و برای جلوگیری از این پیشامد باید ورود آلاینده‌ها به رودخانه کنترل شود تا بیش از حد مجاز تخلیه نشود. در فرآیند تعیین نیاز زیست‌محیطی ابتدا با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی اکوسیستم، نیازآبی به لحاظ کمی تعیین شده و سپس در گام بعد کنترل کیفیت آب انجام می‌گیرد، تا بررسی شود که با رژیم جریان پیشنهادی و کنترل سایر منابع آلاینده آیا صرفاً بخاطر رژیم جریان پیشنهادی منبع آب با مشکل مواجه می‌شود یا خیر (Abdi and Yasi, 2015؛ احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳). مهمترین پارامترهای کیفیت آب از نظر اثرات روی اکوسیستم‌های آبی عبارتند از: دما، جامدات محلول (TDS)، اکسیژن‌محلول (DO)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی پنج روزه (BOD_5)، موادغذایی (N و P)، اسیدیته (pH). با توجه به اینکه منبع آبی دیگری ممکن است در موارد مختلفی استفاده شود، پارامترها پایش دیگری علاوه بر پارامترهای یاد شده، بسته به نوع مصرف آب (مانند سدیم، COD، سختی و ...) مدنظر قرار می‌گیرد. برای بررسی اثر کیفیت آب در جریان زیست‌محیطی، از رابطه ۲، با عنوان رابطه Q استفاده می‌شود.

$$(Q_1+ Q_c)\times C_0 = (Q_2\times C_2)+(Q_1\times C_1) \quad (۲)$$

که در آن Q_1 دبی اولیه، Q_2 دبی ثانویه، Q_c دبی لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب رسید، C_1 غلظت اولیه، C_2 غلظت ثانویه و C_0 غلظت مطلوب است.

نتایج و بحث

رودخانه‌ها اکوسیستم‌های دینامیکی می‌باشند که زیستگاه بسیاری از آبزیان و به خصوص ماهیان آب شیرین محسوب می‌شوند و در تولیدمثل ماهیان به عنوان مسیر مهاجرت آنها به سمت محل تخم‌ریزی، نقش حیاتی را ایفا می‌کنند (Morid et al., 2020). تغییرات طبیعی جریان رودخانه، سنگ بنیاد و اساسی‌ترین عامل در احیای رودخانه، حفظ تنوع زیستی و کارکردهای اکوسیستم است و ایجاد تغییرات در اجزای رژیم جریان، منجر به دستکاری و تغییر اکولوژیکی می‌شود (Baghel et al., 2019؛ Tare et al., 2017). ماهیان برای ادامه حیات و رشد و نمو به زیستگاه‌هایی نیاز دارند که شرایط لازم برای بقا و موفقیت آن‌ها را فراهم سازد. شرایط هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها پیوسته در حال تغییر بوده و زیستگاه‌های متنوعی را برای ماهیان و دیگر آبزیان فراهم می‌سازد (Najafabadi et al., 2018؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۸). در این مطالعه، در ابتدا صحت‌سنجی، بررسی و همگن‌سازی داده‌های اولیه به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو از روش‌های هیدرولوژیکی مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان، روش منحنی تداوم جریان، اسمختین و روش تنانت در ماه‌های مختلف برآورد گردید. روش‌های مختلف، جریان‌های مختلفی را برای نگهداری و احیای اکوسیستم رودخانه پیشنهاد می‌کنند. در روش‌های هیدرولوژیکی، بده جریان زیست‌محیطی عموماً به صورت درصدی از متوسط آبدهی رودخانه ارزیابی می‌شود. بدیهی است که مقادیر بده جریان زیستی در سال‌ها و در ماه‌های مختلف هر سال همسان نبوده، و تابعی از رژیم آبدهی رودخانه (شرایط نرمال، ترسالی یا خشکسالی) خواهد بود. در برنامه

1- Flow Duration Curve: FDC
2- Environmettal Water Requirement: EWR
3- Environmental Low-Flow Requirement: LFR
4- Environmental High -Flow Requirement: HFR

www.SID.ir

Archive of SID

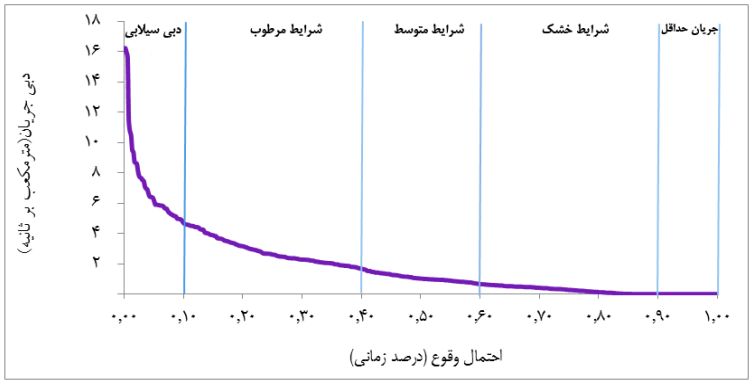
مدیریت رودخانه، از این درصدها برای تخصیص بده جریان زیستی در شرایط موجود جریان (نرمال، ترسالی یا خشکسالی) استفاده می‌شود. خلاصه برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو حاصل از روش‌های مختلف در جداول ۲، ۳ و ۷ و شکل ۷ نشان داده شده است.

روش تنانت: با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی برای شرایط قابل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای فروردین تا شهریور (معادل ۰/۵۳ متر مکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای مهرماه تا اسفند (معادل ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه) برآورد گردید (جدول ۲). با در نظر گرفتن نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش تنانت به مقدار متوسط جریان ماهانه مشخص می‌گردد که این نسبت در بازه ۷ تا ۱۲۵ درصد با میانگین ۱۹ قرار دارد (جدول ۳). بر این اساس ماه‌های فصل زمستان دارای کمترین نسبت تخصیص (در بازه ۵ تا ۸ درصد) و ماه‌های فصل تابستان دارای بیشترین نسبت تخصیص (در بازه ۴۷ تا ۱۲۵ درصد) می‌باشد. با توجه به پراکنش این نسبت در ماه‌های مختلف سال روش تنانت منجر به تخصیص بیشتر از ۱۰۰ درصد جریان رودخانه به جریان زیست‌محیطی در ماه مرداد و شهریور می‌شود که این تخصیص در عمل مشکلات متعددی را برای دیگر بخش‌های منتفع از جریان رودخانه فراهم می‌کند (جدول ۳). اختصاص ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای آبزیان و اکوسیستم رودخانه به وجود آورده و غیر قابل پذیرش است.

جدول ۲- جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب با استفاده از روش تنانت

هدف (توصیف جریان)	روش تنانت (درصدی از متوسط جریان سالیانه)		جریان پیشنهادی (m^3/s)	
	مهر- اسفند	فروردین - شهریور	مهر- اسفند	فروردین - شهریور
شستشوی سریع	۲۰۰			۳/۵۴
محدوده بهینه	۶۰-۱۰۰			۱/۰۶-۱/۷۷
بسیارعالی	۴۰	۶۰	۰/۸۸	۱/۰۶
عالی	۳۰	۵۰	۰/۵۳	۰/۸۸
خوب	۲۰	۴۰	۰/۳۵	۰/۷
قابل قبول	۱۰	۳۰	۰/۱۷	۰/۵۳
ضعیف	۱۰	۱۰	۰/۱۷	۰/۱۷
بسیار ضعیف	<۱۰	<۱۰	<۰/۱۷	<۰/۱۷

روش منحنی تداوم جریان: در روش منحنی تداوم جریان، جریان زیست‌محیطی به صورت درصدی از متوسط دبی سالانه اکوسیستم آبی یا به صورت جریان با احتمال تجاوز مشخص از روی منحنی تداوم جریان (شکل ۴) در مقیاس زمانی سالانه یا ماهانه تعیین گردید.



شکل ٤- منحنی تداوم جریان رودخانه قره‌سو

www.SID.ir

Archive of SID

در برآورد جریان زیست‌محیطی از روش تحلیل منحنی تداوم جریان (FDC) شاخص‌های تداوم Q_{50} و Q_{90} بکار رفت. بنابر اهداف مدیریتی که در منطقه مورد مطالعه توسط مدیران و برنامه‌ریزان درنظر گرفته می‌شود، برای حفظ شرایط طبیعی و دست نخورده، جریان درون رودخانه‌ای برابر ۰/۹۲ متر مکعب برثانیه (معادل ۵۱ درصد متوسط جریان سالانه) و همچنین برای حفظ حداقل جریان زیست‌محیطی در شرایط نسبتاً مناسب، باید در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب، میزان دبی ۰/۱۷ متر مکعب برثانیه (معادل ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه) برقرار باشد.

جدول ۳- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو با استفاده از روش‌های مختلف

روش	شرح	نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو	
		درصد میانگین جریان سالانه	(m^3/s)
تنانت	فروردین- شهریور	۳۰	۰/۵۳
	مهر- اسفند	۱۰	۰/۱۷
اسمختین	-	۲۷/۵۲	۰/۴۹
انتقال منحنی تداوم جریان	کلاس A	۸۵/۳۹	۱/۵۲
	کلاس B	۶۹/۱	۱/۲۳
	کلاس C	۵۳/۹۳	۰/۹۶
	کلاس D	۴۱/۵۷	۰/۷۴
	کلاس E	۳۲/۹۷	۰/۵۸
	کلاس F	۱۰/۱۱	۰/۱۸
محیط خیس شده	شیب منحنی	۹۰	۱/۶
	حداکثر انحنا	۷۸/۶۵	۱/۴
منحنی تداوم جریان	Q_{90}	۱۰	۰/۱۷
	Q_{50}	۵۱/۶۸	۰/۹۲
کیفیت آب	-	۲۲۹/۲	۴/۰۸
تگزاس	-	۵۱/۶۶	۰/۹

روش کیفیت آب: با بررسی آمار و اطلاعات دریافتی از سازمان حفاظت محیط زیست استان گلستان، در بین پارامترهای کیفی رودخانه قره‌سو، مقدار COD به دلیل بحرانی بودن مقدار آن انتخاب و بده جریان مورد نیاز با کابرد رابطه Q تعیین گردید. در رابطه Q، بده جریان روزانه متناظر با بحرانی‌ترین مقدار آلودگی در روز پایش شده، Q_1 بکار برده می‌شود و غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر (براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا) به عنوان مقدار COD مطلوب در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه در محل‌های پایش شده جریان دیگری به رودخانه وارد نمی‌گردد، لذا مقادیر Q_0 و Q_2 برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. بده جریان جدید Q_C برای رودخانه قره‌سو از رابطه Q تعیین می‌شود. دراین تحقیق در بحرانی‌ترین مقدار آلودگی، در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب بده جریان Q_1 برابر با ۰/۲۶۹ متر مکعب بر ثانیه و مقدار C_1 برابر با ۲۴۳ میلی‌گرم در لیتر است. غلظت ۱۵ میلی‌گرم برلیتر به عنوان مقدار COD مطلوب در نظر گرفته شد. بر طبق جدول ۴، بده جریان جدید، در رودخانه قره‌سو ۴/۰۸ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد. برای حفظ کیفیت مطلوب باید حداقل مقدار Q_C در رودخانه جریان داشته باشد. در صورتی که ورود آلاینده‌ها مدیریت نشود، حداقل می‌توان با افزایش جریان، کیفیت را بهتر کرد و از بالا رفتن غلظت و رسیدن به حد بحرانی جلوگیری کرد.

جدول ٤- اطلاعات موردنیاز برای محاسبه متوسط جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو با استفاده از رابطه کیفیت آب

Q_1 (m^3/s)	C_1 (mg/l)	Q_2 (m^3/s)	C_2 (mg/l)	Q_C (m^3/s)	C_0 (mg/l)
۰/۲۶۹	۲۴۳	۰	۰	۴/۰۸	۱۵

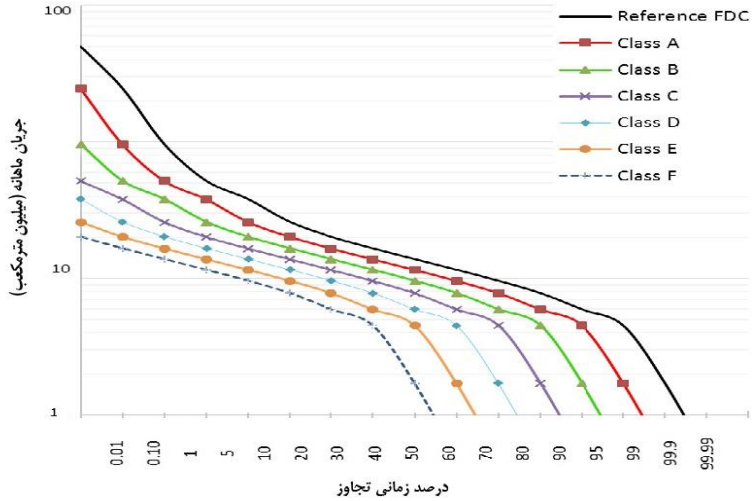
روش اسمختین: در روش اسمختین، نیاز آبی زیست‌محیطی به صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان زیست‌محیطی و نیاز حداکثر جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. بررسی نتایج روش اسمختین مشخص می‌کند که مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای ماه‌های مختلف سال ۰/۴۹ متر مکعب بر ثانیه برآورده شده است. با در نظر گرفتن نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش اسمختین به مقدار متوسط جریان ماهانه مشخص می‌گردد که

www.SID.ir

Archive of SID

این نسبت در بازه ۱۴ تا ۹۳ درصد با میانگین ۲۷ درصد قرار دارد.

روش انتقال منحنی تداوم جریان: منحنی تداوم جریان برای شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی A تا F در جدول ۵ و شکل ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۵، برای حفظ اکوسیستم رودخانه قره‌سو در کلاس A (طبیعی)، ۸۵/۳۹ درصد متوسط جریان سالیانه، در کلاس B (اندکی تغییر یافته)، ۶۹/۱ درصد، در کلاس C (نسبتا تغییر یافته)، ۵۳/۹۳ درصد و در کلاس D (تا حد زیادی تغییر یافته)، که حداقل کلاس قابل قبول است، ۴۱/۵۷ درصد متوسط جریان سالیانه مورد نیاز است. با توجه به طبقه‌بندی رودخانه به کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی مختلف، چون کلاس C از نظر اکولوژیکی دارای شرایط متوسط و مطلوبی بوده و در این کلاس دینامیک زیستگاه‌ها و اجزای جوامع زنده آبزی، نسبتاً تغییر یافته ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست نخورده‌اند، در این تحقیق به عنوان کلاس مدیریت مطلوب انتخاب شده است. در روش انتقال منحنی تداوم جریان هر چه کلاس مدیریت زیست‌محیطی بهتر باشد، میزان جریان زیست‌محیطی نیز بیشتر خواهد بود. بررسی نتایج روش انتقال منحنی تداوم نتایج مشخص می‌سازد که مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای ماه‌های مختلف سال در دامنه ۰/۲۷ تا ۱/۹۷ متر مکعب بر ثانیه (به ترتیب برای ماه‌های شهریور و اردیبهشت) با میانگین دبی سالانه ۰/۹۶ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۵۳/۹۳ درصد جریان طبیعی رودخانه) است (جدول ۶). میانگین نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان به مقدار کاملاً محسوس از میانگین نتایج روش تنانت بالاتر می‌باشد. بررسی نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش انتقال منحنی تداوم جریان به مقدار متوسط جریان ماهانه نشان می‌دهد که این نسبت در بازه ۳۲ تا ۷۵ درصد با میانگین ۵۳/۹۳ درصد قرار دارد.



شکل ۵- منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی در کلاس‌های مختلف مدیریتی رودخانه قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب

روش محیط خیس‌شده: با استفاده از مشخصات هندسی مقطع با کاربرد رابطه مانینگ برای بدست آوردن دبی جریان و اعمال دبی با فرض جریان یکنواخت در بازه مطالعاتی، محیط خیس شده (P) به صورت تابعی از دبی به دست می‌آید (شکل ۶). برای ترسیم شکل ۶، بدین نحو عمل شده است که برای دبی‌های مختلف ۱ متر مکعب بر ثانیه تا دبی مقطع پر، مساحت، محیط خیس شده و از تقسیم این دو مشخصه برهم، شعاع هیدرولیکی در مقطع عرضی که مهم‌ترین مشخصه‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه‌ها محسوب می‌شوند، به ازای دبی متناظر، به دست آورده می‌شود (با داشتن مشخصه‌های مذکور، می‌توان با استفاده از رابطه مانینگ، دبی جریان را محاسبه کرد). به این ترتیب و با ایجاد نمودار محیط خیس شده- دبی و با توجه به اینکه نمودار حاصل با برازش توانی نسبت به لگاریتمی، ضریب همبستگی بیشتری دارد، با استفاده از ۲ روش محیط خیس شده (شیب منحنی و حداکثر انحنا)، برای بدست آوردن دبی زیست‌محیطی اقدام گردید (جدول ۵).

جدول ۵- روابط حاصل از برازش منحنی محیط خیس شده-دبی در مقطع انتخابی رودخانه قره‌سو

برازش توانی (Power)		برازش لگاریتمی (Logaritmic)	
رابطه برازش شده	ضریب تعیین (R^2 درصد)	رابطه برازش شده	ضریب تعیین (R^2 درصد)
$P=6.3Q^{0/25}$	۹۹	P=2.32 ln (Q) + 4.2	۹۸

www.SID.ir

Archive of SID

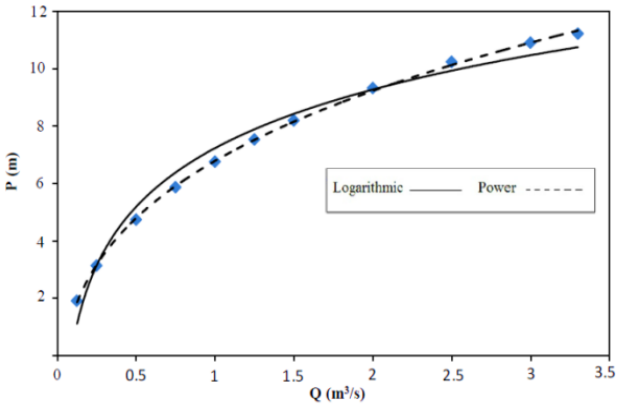
برای بدست آوردن دبی زیست‌محیطی در بازه مطالعاتی مورد مطالعه رودخانه قره‌سو، روابط حاصل از برازش توانی و لگاریتمی، برای ۲ الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا، حل گردید که نتایج آن در جدول ۶، ارائه شده است. دبی زیست‌محیطی در هر بازه انتخابی رودخانه، مستقیماً از شرایط هیدرولوژیکی و متوسط آورد سالانه در آن بازه انتخابی متأثر است. لذا با وجود اینکه ضریب تعیین در برازش توانی، اندکی بیشتر از ضریب تعیین برازش لگاریتمی است، نتایج برای هر دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا، مورد قبول است. در روش شیب منحنی، دبی زیست‌محیطی برای رودخانه قره سو، ۱/۶ متر مکعب بر ثانیه (۹۰ درصد میانگین جریان سالانه) و در روش حداکثر انحنا، دبی زیست‌محیطی، برابر ۱/۴ متر مکعب بر ثانیه (۷۸ درصد میانگین جریان سالانه) است.

جدول ٦- دبی زیست‌محیطی برآورد شده به روش محیط خیس شده (m^3/s)

شیب منحنی		حداکثر انحنا	
برازش توانی	برازش لگاریتمی	برازش توانی	برازش لگاریتمی
۲/۸	۱/۶	۱/۲	۱/۴

از بین دو روش اشاره شده، دبی حاصل از روش حداکثر انحنا، مورد قبول است، چرا که با بررسی و مقایسه میانگین جریان ماهانه در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب، با دبی حاصل از روش شیب منحنی، مشخص می‌شود، در برخی ماه‌ها دبی زیست‌محیطی، بیشتر از میانگین جریان ماهانه است. از طرفی دیگر، با در نظر گرفتن مقادیر مربوط به میانگین جریان ماهانه و مقایسه با دبی حاصل از روش حداکثر انحنا، مشاهده می‌گردد در برخی ماه‌ها، دبی زیست‌محیطی بیشتر از میانگین جریان ماهانه است که با شرایط هیدرولوژیکی آن مطابقت ندارد (جدول ۷).

در پژوهش شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) نیز روش شیب منحنی را غیرقابل قبول دانستند زیرا مقادیر به دست آمده از این روش، از دبی متوسط دراز مدت رودخانه صفارود بیشتر است که با نتایج تحقیق حاضر نیز همسو است (Shokoohi and Hong, 2011). در پژوهش‌های احمدی‌پور و یاسی (۱۳۹۳) و شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) و عبدی و یاسی (۲۰۱۵)، نتایج روش حداکثر انحنا را بهتر از روش شیب منحنی گزارش دادند و دریافتند نتایج روش حداکثر انحنا، نسبت به متوسط جریان ماهانه رودخانه، منطقی‌تر است (Shokoohi and Hong, 2011؛ Abdi and Yasi, 2015). با توجه به موارد فوق الذکر است، آنچه که مشخص است در پایین‌تر از نقطه بحرانی، و عدم تأمین محیط خیس شده، شن و قلوه‌سنگ کف رودخانه، از آب بیرون افتاده و خاصیت خود را به عنوان بستر مناسب برای تولید غذا با ارگانیزم‌های آبی از دست می‌دهد. از طرف دیگر، پوشش گیاهی دیواره‌های رودخانه، به عنوان غذای دسته‌جاتی از ماهیان از بین می‌رود و در نهایت با کاهش کیفیت آب و احتمال تجمع بیش از حد ماهی‌ها در محدوده‌ای کوچک، منجر به رقابت میان آنها برای زنده ماندن خواهد شد.



شکل ٦- منحنی نمایش تغییرات محیط خیس شده- دبی در مقطع انتخابی ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب

روش تگزاس: نتایج محاسباتی ماهانه جریان زیست‌محیطی روش تگزاس برای ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در جدول ۷، ارائه شده است. متوسط جریان زیست‌محیطی سالانه پیشنهادی توسط روش تگزاس، ۰/۹ متر مکعب بر ثانیه، معادل ۵۱ درصد متوسط جریان سالانه می‌باشد. روش تگزاس را می‌توان برای رودخانه قره‌سو، روش نسبتاً مناسبی دانست، زیرا در این روش، احتمال تجاوز جریان‌های ماهانه پیشنهادی در ماه‌های کم‌آبی، بیشتر از ۴۰ درصد می‌باشد و جریان پیشنهادی در این ماه‌ها تطابق خوبی با وضعیت این

www.SID.ir

Archive of SID

رودخانه دارد. از طرفی دیگر، با بررسی شکل ۷، مشاهده می‌شود روش تگزاس در ماه‌های اسفند و فروردین، جریانی بالاتر از میانگین جریان سالانه را برای تأمین حداقل جریان زیست‌محیطی، پیشنهاد داده است.

در شکل)، مقادیر دبی متوسط ماهانه به همراه مقادیر پیشنهادی توزیع جریان‌های حداقل محاسبه شده زیست‌محیطی به روش‌های مختلف ارائه‌شده 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 در ماه شهریور برابر جریان متوسط ماهانه می‌باشد که کریمی و همکاران (۱۳۹۶)، نادری و همکاران (۱۳۹۷) و رزاقی‌رضائیه و همکاران (۱۳۹۷) نتایج مشابهی را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند. با کمی دقت در شکل (۷) می‌توان دریافت، روش تنانت ۳۰ درصد و اسمختین از یک‌طرف و تنانت ۱۰ درصد و Q_{90} از طرف دیگر، تقریباً جواب‌های نزدیک بهم دارند که این نتیجه‌گیری با توجه به مطالعه عبدی و یاسی (۲۰۱۵)، زرعکانی و همکاران (۱۳۹۶) قطعیت بیشتری می‌یابد (Abdi and Yasi, 2015).

جدول ۷- مقادیر ماهانه جریان زیست‌محیطی به روش‌های مختلف (m^3/s)

ماه	MMF	تنانت		اسمختین		تگزاس		FDC (Q_{50})		FDC (Q_{90})		انتقال منحنی تداوم جریان		محیط خیس شده	
		Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
مهر	۰/۹۶	۰/۱۷	۱۷/۷	۰/۴۹	۵۱/۰۴	۰/۳۸	۴۰	۰/۳۸	۳۹/۵۸	۰/۰۷	۷/۲۹	۰/۶۸	۷۰/۸۴	۱/۴	۱۴۵/۸
آبان	۱/۰۵	۰/۱۷	۱۶/۱۹	۰/۴۹	۴۶/۷	۰/۴۲	۴۰	۰/۵۲	۴۹/۵۲	۰/۲۴	۲۲/۸۵	۰/۶۴	۶۰/۹۵	۱/۴	۱۳۳/۴
آذر	۱/۷۱	۰/۱۷	۹/۹۴	۰/۴۹	۲۸/۶۵	۰/۶۸	۴۰	۱/۱۲	۶۵/۴۹	۰/۲۷	۱۵/۷۸	۰/۵۶	۳۲/۷۴	۱/۴	۸۱/۸۷
دی	۲/۱۳	۰/۱۷	۷/۹۸	۰/۴۹	۲۳	۰/۸۵	۴۰	۱/۲۵	۵۸/۶۸	۰/۳۵	۱۶/۴۳	۰/۸۶	۴۰/۳۷	۱/۴	۶۵/۷۲
بهمن	۲/۳۹	۰/۱۷	۷/۱۱	۰/۴۹	۲۰/۵	۰/۹۵	۴۰	۱/۳۱	۵۴/۸۱	۰/۳۴	۱۴/۲۲	۱/۱۸	۴۹/۳۷	۱/۴	۵۸/۵۷
اسفند	۳/۰۶	۰/۱۷	۵/۵۵	۰/۴۹	۱۶/۰۱	۱/۸۳	۶۰	۱/۳۴	۴۳/۷۹	۰/۲۷	۸/۸۲	۱/۴۲	۴۶/۴	۱/۴	۴۵/۷۵
فروردین	۳/۶۷	۰/۵۳	۱۴/۴۴	۰/۴۹	۱۳/۳۵	۲/۲	۶۰	۲/۳۳	۶۳/۴۸	۰/۳۶	۹/۸	۱/۷۶	۴۷/۹۵	۱/۴	۳۸/۱۴
اردیبهشت	۲/۷۸	۰/۵۳	۱۹/۰۶	۰/۴۹	۱۷/۶۵	۱/۶۶	۶۰	۱/۳۶	۴۸/۹۲	۰/۱۲	۴/۳۱	۱/۹۷	۷۰/۸۶	۱/۴	۵۰/۳۵
خرداد	۱/۸۴	۰/۵۳	۲۸/۸	۰/۴۹	۲۶/۶۳	۱/۱	۶۰	۱/۲۴	۶۷/۳۹	۰/۰۷	۳/۸	۱/۲۳	۶۶/۸۴	۱/۴	۷۶/۰۸
تیر	۰/۹	۰/۵۳	۴۷/۷	۰/۴۹	۵۴/۵	۰/۵۴	۶۰	۰/۱۶	۱۷/۷۸	۰/۰۸	۷/۲	۰/۶۸	۷۵/۵۶	۱/۴	۱۵۵/۶
مرداد	۰/۵۲	۰/۵۳	۱۰۱/۹۲	۰/۴۹	۹۴/۲۳	۰/۳۱	۶۰	۰/۰۷	۱۳/۴۶	۰	۰	۰/۳۸	۷۳/۰۷	۱/۴	۲۶۹/۲
شهریور	۰/۴۳	۰/۵۳	۱۲۳/۲۵	۰/۴۹	۱۱۳/۹	۰/۲۵	۶۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۷	۶۲/۷۹	۱/۴	۳۲۵/۵
میانگین	۱/۷۸	۰/۳۵	۱۹/۶۶	۰/۴۹	۲۷/۵۲	۰/۹	۵۱/۶۶	۰/۹۲	۵۱/۶۸	۰/۱۷	۱۰	۰/۹۶	۵۳/۹۳	۱/۴	۷۸/۶۵

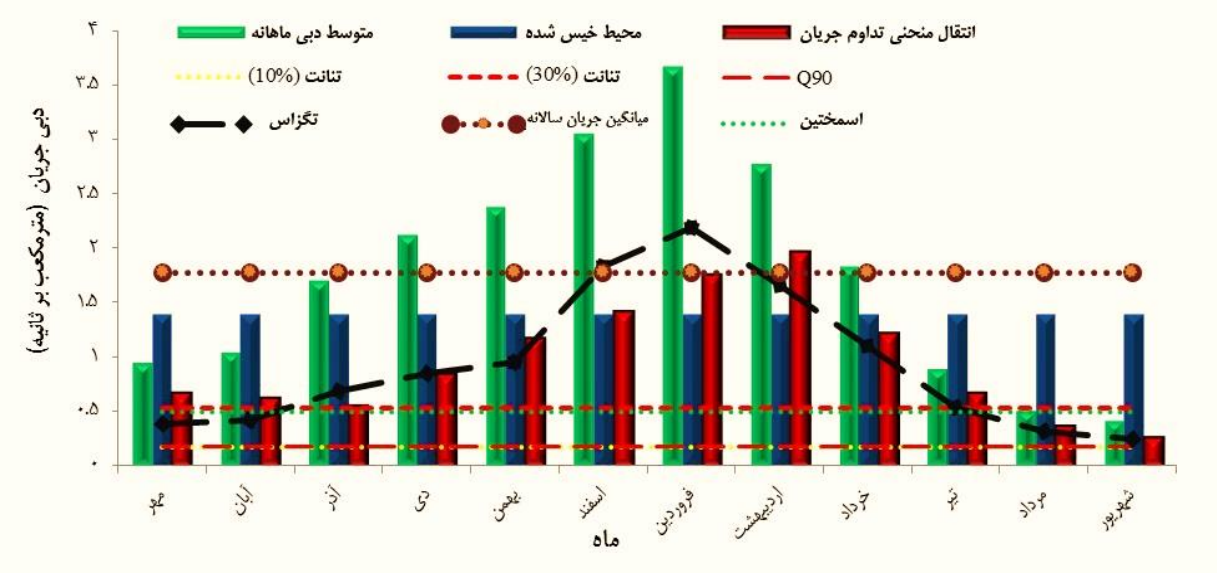
نتیجه به‌دست آمده در خصوص مساوی شدن Q_{90} و تنانت ۱۰ درصد مخصوص همین رودخانه و مطالعه موردی به‌عمل آمده می‌باشد. به‌طور معمول دبی Q_{90} در محدوده تنانت ۱۰ درصد بدست می‌آید. با تخصیص Q_{50}، سهم بالاتری از رژیم جریان رودخانه به بخش محیط زیست تعلق می‌گیرد. شایان ذکر است، شکل منحنی تداوم جریان، انعکاسی از تأثیر پارامترهای آب و هوایی و فیزیوگرافی بر جریان رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه است (Baghel et al., 2019). همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در بخش فوقانی آن، انعکاسی از رژیم جریان سیلابی حاکم بر حوضه است، در حالی که بخش انتهایی آن، نماینده مشخصه‌های ذاتی حوضه برای تأمین جریان پایه و تداوم جریان در زمان‌های کم آبی می‌باشد. آنچه مشخص است در این تحقیق، برای رودخانه مورد مطالعه، ۱۰ درصد میانگین جریان سالانه در کلاس مدیریتی F (تغییرات بحرانی در زیستگاه) به دست می‌آید، بنابراین می‌توان گفت که ۱۰ درصد پیشنهادی روش تنانت، نمی‌تواند برای شرایط این رودخانه مناسب باشد. شایان ذکر است هیچ‌کدام از روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این پژوهش مطابق با بررسی در منابع تایید شده (Sahoo et al., 2016؛ Abdi and Yasi, 2015؛ Godinho et al., 2014؛ Nikghalb et al., 2016)، نیاز به صحت‌سنجی ندارند. بر مبنای نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، در صورت کمبود جریان در رودخانه (برخی ماه‌ها) نسبت به دبی زیست‌محیطی محاسبه شده، دبی زیست‌محیطی محدود به دبی جاری در رودخانه شده و برداشت از رودخانه ممنوع خواهد بود. در پژوهش حاضر، روش هیدرولیکی محیط خیس شده با دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا، حداقل جریان زیست‌محیطی را معادل Q_{25} برآورد می‌کنند که خارج از توان رژیم هیدرولوژیکی رودخانه در فصول تابستان و پاییز می‌باشد.

روش‌های هیدرولوژیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی، اولین قدم ضروری در برنامه‌ریزی تخصیص جریان زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه بوده و می‌توان از ویژگی‌های محیطی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی استفاده کرد تا بتواند برآوردهای موثری

www.SID.ir

Archive of SID

از جریان‌های زیست‌محیطی حتی در شرایط محدود داده داشته باشد (Smakhtin et al., 2004؛ احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ رزاقی‌رضائیه و همکاران، ۱۳۹۷). روش‌های هیدرولوژیکی بر مبنای معیارهای هیدرولوژیکی هستند و بایستی نیازهای اکولوژیکی رودخانه به عنوان معیارهای تعیین جریان زیست‌محیطی در مرحله برنامه‌ریزی طرح‌های منابع آب در نظرگرفته شوند. روش تنانت در سال‌های اخیر به عنوان روشی مطمئن در پروژه‌های توسعه منابع آب کشور استفاده شده است. برخی مطالعات داخلی استفاده از این روش را زیر سوال برده است (صدیق‌کیا و همکاران ۱۳۹۴؛ Nikghalb et al., 2016؛ Shaeri Karimi et al., 2012). بر اساس مطالعات صدیق‌کیا و همکاران (۱۳۹۶) در رودخانه دلیچای، امینی و شکوهی (۱۳۹۳) در رودخانه کاظم‌رود در غرب مازندران و زرعکانی و همکاران (۱۳۹۶) در رودخانه آزارود زیرحوضه چالوس ثابت شد، استفاده از روش تنانت با توجه به آن‌که بدون توجه به محیط اکولوژیکی به تخصیص جریان اقدام می‌کند، می‌تواند به برآوردی نامناسب از جریان زیست‌محیطی، در دراز مدت منجر به تخریب محیط‌زیست و مرگ اکولوژیکی رودخانه شود. نتایج کار این محققان در مطالعه موردی حاضر نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد. در پژوهش‌هایی که توسط احمدی‌پور و یاسی (۱۳۹۳) در رودخانه نازلو در حوضه آبریز ارومیه، شکوهی و امینی (۲۰۱۴) در رودخانه کاظم‌رود و حبیبی‌آلاگوز و یاسی (۱۳۹۸) در رودخانه گدارچای انجام شده است نیز ثابت شد، استفاده از روش تنانت با تحمیل تنش بر سیستم هیدرولوژیکی می‌تواند انتخابی نامناسب برای تعیین جریان حداقل برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها باشد (Shokoohi and Amini, 2014). سودی و همکاران (۱۳۹۸) در برآورد حجم آب رهاسازی از سد در رودخانه برای تأمین نیاز آب زیست‌محیطی دریاچه ارومیه، ۸۰ درصد میانگین جریان سالانه را به عنوان یک سناریو مؤثر که نزدیک به هیدروگراف طبیعی رودخانه است، را پیشنهاد دادند. بررسی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از روش Q_{90}، به علت در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نیست. در رودخانه قره‌سو، این شاخص در ماه‌های مختلف سال می‌تواند توازن اکوسیستم را برهم بزند که با نتایج پژوهش احمدی‌پور و یاسی (۱۳۹۳) و زرعکانی و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد.



شکل ۷- مقادیر دبی متوسط ماهانه، میانگین جریان سالانه و جریان زیست‌محیطی برآورد شده به روش‌های مختلف

همچنین بررسی تغییرات زمانی جریان زیست محیطی 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 شاعری کریمی و همکاران (۲۰۱۲)، ساهو و همکاران (۲۰۱۶)، کریمی و همکاران (۱۳۹۶)، رزاقی‌رضائیه و همکاران (۱۳۹۷) و حبیبی‌آلاگوز و یاسی (۱۳۹۸) نیز مورد تایید قرار می‌گیرد (Sahoo et al., 2016؛ Shaeri Karimi et al., 2012). شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) و حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش‌های خود ثابت کردند که روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده به دلیل رویکرد دقیق و تعریف صریح ریاضی از طریق تعیین نقطه‌ی بحرانی در رابطه‌ی بین محیط خیس شده و دبی جریان، از قابلیت اعتماد بیش‌تری نسبت به روش‌های هیدرولوژیکی برخوردار است (Shokoohi and Hong, 2011). نقطه ضعفی که روش هیدرولیکی

www.SID.ir

Archive of SID

حداکثر انحنا دارد این است که در ماه‌های مختلف سال، انعطاف‌پذیری لازم را ندارد و برای تمام ماه‌های سال، یک دبی زیست‌محیطی ثابت را در نظر می‌گیرد که پژوهش‌های احمدی‌پور و یاسی (۱۳۹۳) و عبدی و یاسی (۲۰۱۵) نیز این نکته را تأیید می‌کند که این نتیجه را می‌توان به مطالعه حاضر تعمیم داد (Abdi and Yasi, 2015). در تحقیق حاضر، نتایج روش شیب منحنی، اختلاف زیادی با نتایج روش تنانت دارد و درصد از متوسط جریان سالانه را به عنوان نیاز زیست‌محیطی پیشنهاد می‌کند. شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) نیز بیان کردند که روش شیب منحنی در مناطق خشک و شبه مدیترانه‌ای، مطابقت مناسبی با رژیم طبیعی جریان رودخانه ندارد (Shokoohi and Hong, 2011).

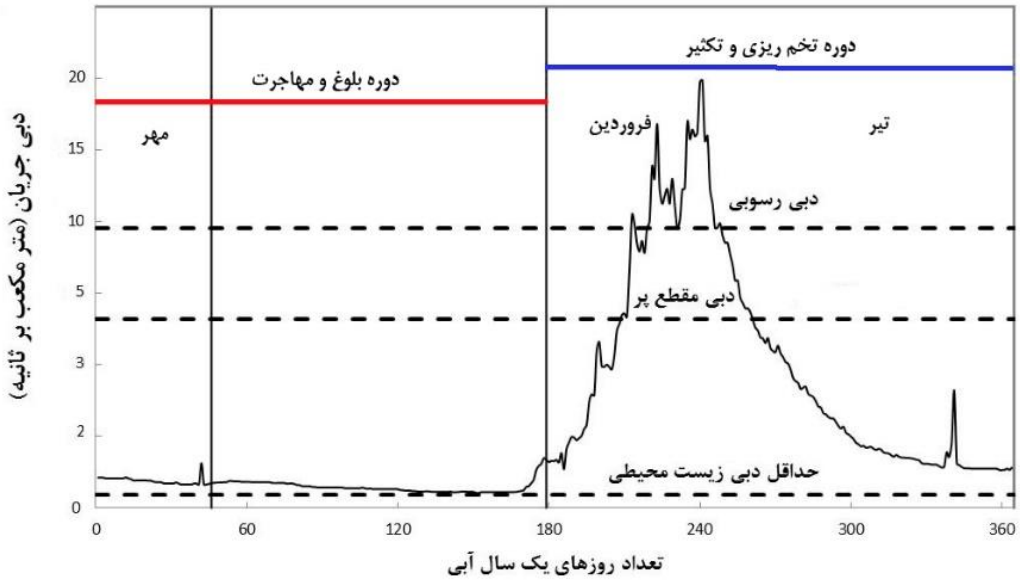
صدیق‌کیا و همکاران (۱۳۹۶)، نادری و همکاران (۱۳۹۷) و کوریکی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهش‌های صورت گرفته، نتیجه‌گیری کرده‌اند که در نظر گرفتن پارامترهای اکولوژیکی تاثیر بسزائی در برآورد صحیح و واقع‌بینانه نیاز زیست‌محیطی دارد و توسعه شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان زیست‌محیطی رودخانه، بایستی با روش‌های هیدرواکولوژیکی و به صورت منطقه‌ای باشد (Kuriqi et al., 2019). نادری و همکاران (۱۳۹۷) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌شان گزارش کردند برای احیا و بازگردانی رودخانه‌ها، بایستی اولویت برنامه‌ریزی منابع آب با حفظ زیستگاه و توسعه پایدار باشد و روش هیدرولوژیکی تنانت نمی‌تواند برای تعیین جریان زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی رهاسازی آب و ایجاد شرایط مناسب برای تخم‌ریزی ماهی در رودخانه مناسب باشد. امینی و شکوهی (۱۳۹۳) و لی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند ویژگی که روش‌های هیدرولیکی دارند، ارائه دبی‌هایی است که در پایین‌تر از آن، قدرت تولید غذای زیستگاه رو به کاهش می‌گذارد (Li et al., 2019). در مجموع، بررسی‌های انجام شده بر تحقیقات گذشته در کشور نشان می‌دهد که تنها روش‌های غیراکولوژیکی که بر مبنای معیارهای هیدرولوژیکی هستند و بر شرایط اکولوژیکی زیست‌بوم‌های ایران تمرکز ندارند در برآورد جریان زیست‌محیطی استفاده شده است، که نقطه ضعف مهمی در توسعه روش‌های تخمین جریان زیست‌محیطی در کشور است (Shokoohi and Hong, 2011؛ صدیق‌کیا و همکاران، ۱۳۹۴؛ Nikghalb et al., 2016).

ارتباط فعالیت‌های زیستی آبزیان با مقادیر دبی جریان سالانه ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب در شکل ۸ نمایش داده شده است. فعالیت‌های زیستی وابسته به تکثیر شامل تخم‌ریزی و ظاهر شدن آبزی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در مرحله تکثیر و تخم‌ریزی، جریان‌های با شدت کم، بدون ایجاد هیچ‌گونه حرکتی در بستر و جریان‌های با شدت متوسط، با ایجاد زیستگاه‌های بیشتر در بستر، محدوده جریان مناسب برای ادامه فعالیت‌های زیستی آبزیان و یا محدوده دبی زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. فعالیت‌های زیستی دوران رشد، شامل دوران بلوغ و مهاجرت آبزی می‌باشد. در این مرحله جریان‌های با شدت زیاد نیز با ایجاد جابه‌جایی در بستر، در محدوده دبی زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. مطالعات مشابه نشان داده است که با توجه به تأثیری که دبی جریان بر فعالیت‌های زیستی موجودات و عملکرد زیستی زیستگاه‌های رودخانه‌ای می‌گذارد، آستانه دبی زیست‌محیطی که در دبی‌های جریان کمتر از آن، به دلیل افزایش دما و کاهش اکسیژن آب در ماه‌های گرم و امکان یخ‌زدگی کامل آب و خفگی ماهیان در ماه‌های سرد سال بوجود می‌آید، شرایط خطرناکی برای جمعیت ماهیان ایجاد می‌شود (Shokoohi and Amini, 2014؛ Li et al., 2019؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه بر این مورد، زرعکانی و همکاران (۱۳۹۶) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌شان بیان کردند برای حفظ شرایط مورفولوژیکی بستر رودخانه، با ایجاد جریان‌های سیلابی کوچک با فراوانی نسبتاً بالا در زمان مناسب، شرایط برای آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهی‌ها و ایجاد پناهگاه مناسب برای بی‌مهرگان آبزی فراهم می‌شود. در پژوهش‌های تاره و همکاران (۲۰۱۷)، صدیق‌کیا و همکاران (۱۳۹۶)، نادری و همکاران (۱۳۹۸) و نادری و همکاران (۱۳۹۹) این نتیجه‌گیری به‌عمل آمده است که جریان‌هایی برای حفظ مورفولوژی بستر مناسب خواهند بود که علاوه بر داشتن سرعت مناسب برای شستن ذرات سیلت، ماسه و شن ریز، با احتمال قابل قبولی هر ساله در رودخانه جریان داشته باشند (Tare et al., 2017). همچنین برای انتقال رسوبات درشت دانه و حفظ شکل کانال، نیاز به جریان‌هایی با سرعت بالا و بیشتر از دبی پر (جریانی که آبراهه اصلی را کامل از آب پر می‌کند) می‌باشد تا سبب انتقال مؤثر بار رسوبات بستر شود. این جریان می‌بایست هر ساله یا یک سال در میان، در رودخانه وجود داشته باشد. از طرفی دیگر، اکوسیستم رودخانه برای برقراری ارتباط بین سیلابدشت و آبراهه اصلی نیاز به جریان‌های قوی دارد تا سطح آب در کانال به اندازه‌ای بالا بیاید که سیلابدشت را برای رشد گیاهان بپوشاند (مانند شکل ۳)، تا مواد مغذی و سیلت در سیلابدشت، ترسیب شده و رطوبت آن بخش نیز افزایش یابد و بدین ترتیب شرایط را برای زنده‌مانی پوشش گیاهی، مناسب گرداند که نتایج پژوهش‌های امینی و شکوهی (۱۳۹۳)، وانگ و همکاران (۲۰۱۳)، نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۱۸) و نادری و همکاران (۱۳۹۸) نیز این نکته را تأیید می‌نماید (Wang et al., 2013؛ Najafabadi et al., 2018).

بنابراین جریان زیست‌محیطی تعیین شده با توضیحات فوق‌الذکر، زمانی بهترین عملکرد را خواهد داشت که از تمام اجزای اکوسیستم رودخانه نگهداری شود. بدیهی است جریان پیشنهادی برای حفظ شرایط زیستی و مورفولوژیکی، نیز باید با توجه به هیدرولوژی رودخانه تعیین گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- ارتباط فعالیت‌های زیستی آبزیان با مقادیر رژیم آبدهی متوسط سالانه رودخانه قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب

نتیجه‌گیری

محاسبه جریان زیست‌محیطی برای رودخانه در شرایط کنونی یک ضرورت است. به منظور تأمین نیاز اکوسیستم رودخانه لازم است تا بخشی از جریان رودخانه تحت عنوان جریان محیط‌زیستی به خود رودخانه تخصیص یافته تا تضمین کننده پایداری زندگی در اکوسیستم رودخانه‌ها باشد، زیرا بهره‌برداری از اکوسیستم‌ها و خدمات اکولوژیکی رودخانه‌ها هم‌چون تأمین آب نمی‌بایست توان اکولوژیکی آن‌ها را در داشتن یک زندگی پایدار به خطر بیاندازد. 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 مرداد و شهریور مقدار جریان زیست‌محیطی را بیشتر از روش تنانت برآورد کرده است. روش انتقال منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیکی-اکولوژیکی، جریان زیست‌محیطی را بر اساس دید اکولوژیکی در طبقه‌های مدیریت زیستی مختلف با توجه به شرایط زیستی رودخانه و با استفاده از آمار دبی‌های ماهیانه ایستگاه هیدرومتری موجود بر روی رودخانه ارائه می‌کند. محاسبات انجام شده برای برآورد نیاز زیست‌محیطی از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، اسمختین، تگزاس و Q_{90} بر پایه اطلاعات هیدرولوژیکی است و نتایج به دست آمده از این روش‌ها به صورت مستقیم به خصوصیات اکولوژیکی سیستم رودخانه‌ای مربوط نمی‌شود. از میان روش‌های هیدرولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش، روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس مدیریت زیستی C (معادل ۵۳/۹۳ درصد جریان طبیعی رودخانه)، به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، جهت محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو پیشنهاد می‌شود. روش انتقال منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش پیشنهادی، به‌علت درنظرگرفتن شرایط اکولوژیکی رودخانه‌ها و انعطاف پذیری آن نسبت به تغییرات جریانات ماهیانه رودخانه نسبت به سایر روش های هیدرولوژیکی، برای محاسبه جریان زیست‌محیطی قابل توصیه است. با توجه به بررسی نتایج پژوهش حاضر، برقراری حداقل جریان اکولوژیکی در رودخانه قره‌سو به دلیل تأمین نیازهای زیستی گونه‌های جانوری و گیاهی زیستگاه رودخانه‌ای که تأثیر مستقیم و غیرمستقیمی بر سلامت اکوسیستم این رودخانه و حفظ تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی آن دارد، موجب کاهش اثرات منفی اختصاص رژیم جریان به بخش‌های مختلف در حوضه آبخیز قره‌سو بر زیستگاه آبزیان شده و مؤید اثربخشی برای یکپارچگی هیدرولوژیکی و اکولوژیکی است.

منابع

احمدی‌پور، ظ.، یاسی، م. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های اکو-هیدرولوژیکی- هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). مجله هیدرولیک. ۹ (۲): ۸۲-۶۹.

امینی، م.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۳. حل تحلیلی تعیین نقطه شکست نمودار محیط خیس شده – دبی در روش هیدرولیکی تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی. مجله هیدرولیک. ۹ (۱): ۴۳-۲۷.

www.SID.ir

Archive of SID

پورصوفی، ط.، قجقی، آ.، و پاتیمار، ر. ۱۳۹۷. شناسایی و تنوع زیستی گونه‌ای کفزیان رودخانه قره‌سو- جنوب‌شرق دریای خزر. فصلنامه علمی پژوهشی محیط زیست جانوری. ۱۰ (۲): ۲۹۰-۲۸۳.

حبیبی‌آلاگوز، س.، و یاسی، م. ۱۳۹۸. تعیین سهم جریان زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از رودخانه گدارچای با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی. نشریه دانش آب و خاک. ۲۹ (۲): ۸۴-۷۳.

حسین‌پور، د.، زارع بیدکی، ر.، و کریمیان کاکلی، ر. ۱۳۹۸. استفاده از روش هیدرولیکی در برآورد حداقل جریان زیست‌محیطی بخشی از رودخانه دوآب صمصامی استان چهارمهال و بختیاری. مجله محیط زیست طبیعی. ۷۲ (۱): ۷۲-۵۹.

رزاقی‌رضائیه، آ.، احمدی، ح.، حقدوست، ن.، و حصاری، ب. ۱۳۹۷. ارزیابی جریان زیست‌محیطی با روش‌های اکوهیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه مهابادچای). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵ (۶): ۶۵-۴۷.

زرعکانی، م.، شکوهی، ع.، و پی‌سینگ، و. ۱۳۹۶. معرفی رژیم جامع اکولوژیکی در شرایط کمبود داده برای تعیین حق‌آبه زیست‌محیطی رودخانه‌ها. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳ (۲): ۱۵۳-۱۴۰.

سودی، م.، احمدی، ح.، یاسی، م.،سیبیلا، ا.، و حمیدی، س. ۱۳۹۸. تنظیم منحنی فرمان سدها با استفاده از مفهوم جریان زیست‌محیطی (مطالعه موردی: رودخانه‌های منتخب منتهی به دریاچه ارومیه). مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵ (۲): ۳۴۱-۳۲۹.

صدیق‌کیا، م.، ایوب‌زاده، س.ع.، و حاجی‌اسماعیلی، م. ۱۳۹۴. بررسی الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با روش‌های هیدرواکولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه دلیچای واقع در استان تهران). مجله اکوهیدرولوژی. ۲ (۳): ۳۰۰-۲۸۹.

صدیق‌کیا، م.، عبدلی، ا.، ایوب‌زاده، س.ع.، احمدی، ا.ع.، و قلی‌زاده، م. ۱۳۹۶. توسعه روش بومی جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌های حوضه جنوبی خزر-پارک ملی لار. مجله محیط‌شناسی. ۴۳ (۳): ۵۶۰-۵۴۳.

ظهیری، ع.، قلی‌نژاد.، و دهقانی، ا. ۱۳۹۸. محاسبه ظرفیت انتقال رسوب در رودخانه‌ها به کمک مدل ریاضی شبه دوبعدی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۰ (۱۹): ۱۵۳-۱۴۲.

کاظمی، آ.، و قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۲): ۱۴۶-۱۳۱.

کریمی، س.، سالاری‌جزی، م.، و قربانی، خ. ۱۳۹۶. برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی. مجله مجله اکوهیدرولوژی. ۴ (۱): ۱۸۹-۱۷۷.

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

نادری، م.ح.، ذاکری‌نیا، م.، و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۷. به‌کارگیری مدل PHABSIM در تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه به‌منظور برآورد جریان زیست‌محیطی و مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ قره‌سو). مجله اکوهیدرولوژی. ۵ (۳): ۹۵۵-۹۴۱.

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 باززنده‌سازی اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل. مجله اکوهیدرولوژی. ۶ (۱): ۲۲۲-۲۰۵.

نادری، م.ح.، پورغلام آمیجی، م.، احمدآلی، خ.، امیری، ز.، قجقی، آ.، و قربانی‌مینائی، ل. 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. ۷۳ (۱): ۴۰-۱۷.

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

Archfield, S.A., Steeves, P.A., Guthrie, J.D and Ries, K.G. 2013. Towards a publicly available, map-based regional software tool to estimate unregulated daily streamflow at ungauged rivers. Geoscientific Model Development. 6 (1): 101-15.

Arthington, A.H., Kennen, J.G., Stein, E.D and Webb, J. A. 2018. Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. Freshwater Biology. 1-13.

Baghel, D.S., Gaur, A., Karthik, M and Dohare, D. 2019. Global Trends in Environmental Flow Assessment: An Overview. Journal of the Institution of Engineers (India). 100 (1): 191-197.

Bahukandi, K.D., Ahuja, N.J. 2013. Building block methodology assisted knowledge-based system for

www.SID.ir

Archive of SID

environmental flows assessment methods in lower reach of Mahanadi River. International Journal of Engineering Trends and Technology. 32 (2): 82-90.

Shaeri Karimi, S., Yasi, M., and Eslamian, S. 2012. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. International J. of Environmental Science and Technology, 9: 549-558.

Shokoohi, A. and Amini, M. 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.

Shokoohi, A. and Hong, Y. 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.

Smakhtin, V.U., Revenga, C. and Dooll, P. 2004. Taking into account environmental water requirements in global scale water resources assessments. Research Report 2 of the CGIAR Comprehensive Assessment Program of Water Use in Agriculture. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 24 pp.

Tare, V., Gurjar, S.K., Mohanta, H., Kapoor, V., Modi, A., Mathur, R.P. and Sinha, R. 2017. Eco-geomorphological approach for environmental flows assessment in monsoon-driven highl & rivers: A case study of Upper Ganga, India. Journal of Hydrology: Regional Studies. 13: 110-121.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources.Fisheries. 1: 6–10.

Wang, J., Dong, Z., Liao, W., Li, C., Feng, S., Luo, H. and Peng, Q. 2013. An environmental flow assessment method based on the relationships between flow and ecological response: A case study of the Three Gorges Reservoir and its downstream reach. Science China Technological Sciences. 56 (6):1471-1484.

environmental-flow assessment of Suswa River of Dehradun Dist., India: A reminiscent framework, International Research Journal of Environment Sciences. 2 (12): 74-80.

Bounds, R.L. and Lyons, B.W. 1979. Existing Reservoir and Stream Management Recommendations Statewide Minimum Streamflow Recommendations. Federal Aid Project F30-R-4. Performance Report. Texas Parks and Wildlife Department, Austin, Texas. 28pp.

Godinho, F., Costa, S., Pinheiro, P., Reis, F. and Pinheiro, A. 2014. Integrated procedure for environmental flow assessment in rivers. Environmental Processes. 1 (2): 137-147.

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.

Li, F.F., Liu, C.M. and Qiu, J. 2019. Quantitative identification of natural flow regimes in fish spawning seasons. Ecological Engineering. 138: 209-218.

Mezger, G., De Stefano, L. and del Tánago, M. G. 2019. Assessing the Establishment and Implementation of Environmental Flows in Spain. Environmental Management. 1-15.

Morid, R., Shimatani, Y. and Sato, T. 2020. An integrated framework for prediction of climate change impact on habitat suitability of a river in terms of water temperature, hydrological and hydraulic parameters. Journal of Hydrology. 1-15.

Najafabadi, E.F., Afzalimehr, H. and Rowinski, P.M. 2018. Flow structure through a fluvial pool-riffle sequence–Case study. Journal of Hydro-environment Research. 19: 1-15.

Nikghalb, S., Shokoohi, A., Singh, V.P. and Yu, R. 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.

Sahoo, S., Khare, D., Mishra, P.K., Behera, S. and Krishan, R. 2016. A comparative study on

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 464-481

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۸۱-۴۶۴

Analysis of Hydrological and Hydraulic Aspects in Designing Ideal and Optimal Environmental Flow Regime for Conservation of Qarasoo River Ecosystem

M.H. Naderi[1]*, M. Pourgholam-Amiji[2], M. Khoshravesh[3], Y. Rajabizadeh[4]

Recived: Nov.26, 2019 Accepted: Dec.29, 2019

Abstract

A good understanding of the river natural flow regime plays an important role in many hydrological studies. In integrated water resources management, it is necessary to determine the environmental flow in river systems that affect the health of river habitats, water-dependent systems and aquatic life. In the present study were calculated and evaluated hydrological methods (Tennant, Q_{50} and Q_{90}, Esmakhtin, flow duration curve shifting (FDC Shifting), Texas and Water Quality) and hydraulic (Wetted Primer) estimating the environmental flow of the Qarasoo River in different months of the year. Based on the results of this study, for the protection of the Qarasoo River in the minimum acceptable environmental conditions, FDC Shifting method in management class C with a flow of 0.96 m^3/s (53 Percent Mean Annual Flow) in this study due to the consideration of biodiversity management classes and the proper adaptation of the pattern changes within the year of environmental flow and the mean annual flow and its flexibility with respect to changes in the monthly flows river under study. On the other hand, the efficacy, flexibility and effectiveness of the Tenntant, Q_{90} and Smakhtin methods are not sufficient to protect the river habitat under study due to an inappropriate estimate environmental flow. Also, comparison of water allocation for environmental flow with Wetted Primer and Tennant methods in the studied river showed that shortage of flow is observed in summer and winter seasons (river flow is less than environmental flow). Finally, it was concluded that other environmental flow methods provide values above 20% of the mean annual flow, which provide better flow protection for the river habitat. It is noteworthy that the Wetted Primer and Tennant methods, with assigning a more portion of the river flow regime to the environmental segment, should be used with caution in summer. The optimal environmental flow regime will be effective when released and provided in the river at the appropriate time to continue bio-activities, river habitat performance and the preservation of the river bed morphological conditions.

Keywords: Environmental Flow, Hydrological Regime, Mean Annual Flow, River Habitat, Water Resources.

1- M.Sc. of Water Resources Engineering and Ecohydraulic Researcher of River Habitat, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- M.Sc. of Department of Water Structures Engineering, Tarbiat Modares Univesity, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: naderigau@gmail.com)

www.SID.ir