Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص ۷۳۷-۷۱۹

مدیریت بوم‌سازگان‌های آبی و احیای رودخانه‌ها با پیاده‌سازی رژیم جریان زیست‌محیطی

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

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۱/۲۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۳/۲۰)

چکیده

مدیریت بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای و جریان آب لازم برای تداوم حیات و پایداری اکولوژیکی سیستم‌های وابسته به رودخانه، نیازمند به رسمیت شناختن جریان‌های زیست‌محیطی در سیاست‌ها و تصمیم‌های طرح‌های توسعهٔ منابع آب و گنجاندن آن در برنامه‌های مدیریت حوضهٔ آبخیز است. به این منظور، در پژوهش حاضر کاربرد روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت، تسمن، منحنی تداوم جریان، اسمختین، آرکانزاس، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیرهٔ رومیزی) و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه (سیفا) در ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی رودخانهٔ قره‌سو واقع در استان گلستان در بازهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری غازمحله تا سیاه‌آب به‌ترتیب با دبی متوسط سالانه ۰/۲۶ و ۱/۹۲ مترمکعب بر ثانیه به منظور احیای زیستگاه، تجدید حیات طبیعی و حفظ تنوع زیستی تجزیه و تحلیل شدند. بررسی تأمین جریان مطلوب زیست‌بوم با مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی روی مشخصات هیدرولیکی و کیفی رودخانه برای شناسایی شرایط مطلوب زیستگاه سیاه‌ماهی *C.capoeta gracilis* نشان داد حداکثر و حداقل رژیم جریان مورد نیاز برای حفظ اکوسیستم رودخانهٔ قره‌سو با توجه به نیازهای اکولوژیکی در ماه‌های اردیبهشت و شهریور به‌ترتیب معادل ۳/۱۱ و ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه، با میانگین سالانه ۱/۶ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۳ درصد جریان طبیعی رودخانه) است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از روش‌های سادهٔ هیدرولوژیکی تنانت، اسمختین و منحنی تداوم جریان در برنامه‌ریزی منابع آب این رودخانه تهدیدهای زیست‌محیطی به دنبال خواهد داشت و در مقابل، مدل اکوهیدرولیکی سیفا می‌تواند یک ایدهٔ کلی از مطلوبیت زیستگاه را در بازه‌های مختلف رودخانه نسبت به تغییرات رژیم جریان طبیعی و دست‌یابی به شرایط جریان مطلوب و پایدار بودن اکوسیستم آبی فراهم کند.

کلیدواژگان: جریان متوسط سالانه، رودخانهٔ قره‌سو، مدل اکوهیدرولیکی، مطلوبیت زیستگاه، منابع آب.

* نویسندهٔ مسئول

Email:mzakerinia@gau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رودخانه‌ها دارای اهمیت بسیار زیاد اکولوژیکی و محل رویش تعداد زیادی از گیاهان و زیستگاه‌های متنوعی از آبزیان بوده [۱] و ساختار زیست‌محیطی پیچیده‌ای دارند. در حوضهٔ رودخانه‌ها، رژیم طبیعی جریان در حفظ تنوع زیستی، بومی و یکپارچگی اکوسیستم کارکرد زیادی دارد. از مهم‌ترین اصول در یکپارچه‌سازی موضوعات مربوط به مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و رژیم جریان آب، این است که فعالیت‌های شدید انسانی روی جریان رودخانه که سبب تغییرات زیستگاه طبیعی و زیست‌محیطی جانداران در اکوسیستم‌های آبی می‌شود، تشخیص داده شود [۲ و ۳]. برقراری تعادل بین نیازهای اکوسیستم‌های آبی و سایر مصارف آب در یک حوضهٔ آبخیز، اصلی‌ترین مشغلهٔ فکری در مدیریت کلان آب است [۴ و ۵]. تحقیقات و فعالیت‌های بازطبیعی‌سازی رودخانه، شامل بهبود کیفیت و کمیت آب، بهبود مناظر و چشم‌اندازهای طبیعی و احیای محیط زیست و اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود [۶ و ۷]. احیای یک رودخانه به معنای بازگرداندن سامانهٔ طبیعی رودخانه به حالت پیشین (دست‌نخورده) است. به بیان دیگر، احیای رودخانه را می‌توان به بهبود کیفیت و کاهش آلودگی آب رودخانه، احیای زیستگاه دشت‌های سیلابی و ایجاد شرایط بهتر زیست‌محیطی تعریف کرد [۶، ۸ و ۹]. مدیریت رودخانه‌ها با رویکرد احیا به طور جامع از پیاده‌سازی مدیریت رودخانه‌ها با هدف حفظ یا بازطبیعی‌سازی زیست‌بوم و چشم‌انداز متنوع رودخانه‌ها با لحاظ فرایندهای طبیعی سیستم رودخانه است. تعیین و پیاده‌سازی جریان زیست‌محیطی[1] یکی از موضوعات مهم و چالش‌برانگیزی است که در سال‌های اخیر به منظور کاهش مسائل زیست‌محیطی ایجادشده توسط توسعهٔ طرح‌های منابع آبی مطرح شده است [۱۰ و ۱۱]. مدیریت جریان زیست‌محیطی باید براساس اصول یک رویکرد زیست‌بومی و بخشی جدایی‌ناپذیر از مدیریت یکپارچهٔ منابع آب باشد [۱۲ و ۱۳]. در مدیریت اکوسیستمی رودخانه‌ها، جریان زیست‌محیطی از دو جنبه بررسی می شود: ۱. جریان مورد نیاز برای حفظ زیستگاه‌های موجودات وابسته به آب رودخانه اعم از گیاهان و جانوران و نیز مصارف صنعتی و کشاورزی، ۲. جریان مورد نیاز برای حفظ بستر رودخانه که ارتباط نزدیکی با کنترل سیلاب دارد. برای برآورد حقابهٔ زیست‌محیطی رودخانه‌ها در مدیریت پایدار منابع آب و حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوضه‌های آبخیز، روش‌های مختلف با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، هیدرولیکی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با منطقه، بررسی می‌شود [۱۴ــ ۱۷]. بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد 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 طی سال‌های اخیر پرداخته‌اند [۵، ۱۸و ۱۹]. در این زمینه تحقیقاتی انجام شده است که نتایج بعضی از آنها در ادامه بیان می‌شود.

ورما و همکاران [۲۰] تغییرات جریان زیست‌محیطی حوضهٔ رودخانهٔ دامودار[2] در بنگال غربی را با استفاده از سه روش تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان بررسی کردند. آنها بیان کردند که توصیه‌های جریان زیست‌محیطی به‌دست‌آمده از این روش‌ها، بدون در نظر گرفتن تنوع زیستی و اطلاعات اکولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه است. براساس مطالعهٔ یادشده، نتایج به‌دست‌آمده از روش منحنی تداوم جریان، قدرت انعطاف‌پذیری خوبی برای هماهنگی با مصارف دیگر در طرح‌های توسعهٔ منابع آب دارد. کاراکویان و همکاران [۲۱] با هدف بررسی تأثیر اتخاذ جریان‌های زیست‌محیطی پیشنهادی از روش‌های هیدرولوژیکی (جریان‌های تاریخی) بر حفظ کارایی نیروگاه برق آبی کمباسی[3] رودخانهٔ هالدی زدن واقع در ترکیه، از روش‌های تسمن، تنانت و منحنی تداوم جریان استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد برقراری جریان پیشنهادی روش تسمن سبب حفظ کارایی نیروگاه برق آبی می‌شود. همچنین، پیشنهادهای روش تنانت (برای شرایط خوب اکوسیستم) می‌تواند جریان مورد نیاز برای حفظ کارایی نیروگاه را تأمین کند. یاسی و عاشوری [۲۲] در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانهٔ زرینه‌رود با استفاده از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی بیان کردند که برای حفظ این رودخانه در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول، باید شدت جریان معادل ۴/۴، ۱۷/۲ و ۷ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۳، ۳۵ و ۱۷ درصد میانگین جریان طبیعی

1. Environmental Flow

2. Damodar
3. Combasi

www.SID.ir

Archive of SID

رودخانه) در ایستگاه‌های هیدرومتری پل‌آنیان، ساریقمیش و نظام‌آباد باشد. براساس نتایج مطالعهٔ یادشده، برآورد جریان زیست‌محیطی از روش انتقال منحنی تداوم جریان (در کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، تطابق بهتری با پتانسیل جریان رودخانهٔ زرینه‌رود و روش مدیریت زیست‌محیطی آن دارد. در پژوهشی دیگر نادری و همکاران [۹] در تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانهٔ زرین‌گل با استفاده از شاخص‌های اکوهیدرولیکی و شبیه‌سازی هیدرودینامیکی جریان نشان دادند به جریان مورد نیاز برای دوره‌های تخم‌ریزی ماهیان در زیستگاه رودخانه و جریان‌های سیلابی برای زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی باید توجه شود. آنان همچنین بیان کردند که جریان‌های زیست‌محیطی در حفظ انرژی، تغییرات هیدرودینامیکی و شرایط زیستگاهی گونه‌های مختلف ماهیان اهمیت دارند. بررسی منابع علمی و مطالعات نشان می‌دهد برای تعیین جریان زیست‌محیطی از روش‌های متداول هیدرولوژیکی استفاده شده و بر ارزش‌های اکولوژیکی و تأمین نیازهای بیولوژیکی تمرکز نشده است [۲۰ و ۲۲]. روش افزایشی جریان درون رودخانه[1] به عنوان ابزاری قدرتمند و نوعی روش جامع‌نگر به بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تأثیرات بیولوژیک تغییرات جریان رودخانه می‌پردازد [۸]. این روش با استفادهٔ هم‌زمان از مدل‌های هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، آثار تغییرات کاهشی در دبی رودخانه را روی ساختار کانال، کیفیت آب و فراهمی زیستگاه‌های کوچک برای گونه‌های هدف بررسی می‌کند. مطالعات متعددی نیز به این واقعیت پی برده‌اند که رژیم جریان رودخانه و سطوح مختلف آن در فرایندهای اصلی و مهم اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تغییرات رژیم‌های طبیعی جریان، جدی‌ترین و دامنه‌دارترین تهدید در زمینهٔ پایداری شرایط اکولوژیکی رودخانه‌ها و تالاب هستند [۱، ۳ و ۲۳]. بسیاری از آنها معتقدند که هر گونه تغییر در رژیم طبیعی جریان رودخانه به گونه‌ای روی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای اثر می‌گذارد [۸، ۹ و ۲۴]. بر این اساس، با ارزیابی جریان زیست‌محیطی اکوسیستم رودخانه، می‌توان میزان تغییرات به‌وجودآمده در شرایط پایدار رودخانه را بررسی کرده و در صورت بروز تغییرات با اعمال مدیریت مناسب در رژیم جریان موجود در رودخانه، به بازگشت شرایط اکولوژیکی بهینهٔ رودخانه کمک کرد [۲۴ و ۲۵] که در نهایت به مدیریت صحیح و پایدار منابع آب منجر می‌شود.

در تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد که یکی از منابع مهم تأمین آب نیازهای شهری، صنعتی و کشاورزی است، به تأمین جریان زیست‌محیطی به‌دلیل نداشتن صرفهٔ اقتصادی زیاد، توجه کافی نمی‌شود [۴ و ۲۱]. بنابراین، باید تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد علاوه بر در نظر گرفتن نیازهای آبی اهداف اصلی شامل نیازهای شهری، صنعتی و کشاورزی، به صورتی باشد که به‌طور هم‌زمان تأمین جریان زیست‌محیطی و کنترل آلودگی رودخانه‌ها مد نظر قرار گیرد و موجب بروز اختلاف در میان ذی‌نفعان رودخانه نشود [۲۶] (شکل ۱). ایجاد سد روی رودخانه‌ها سبب ایجاد تغییرات حرارتی و محیط زیستی در آب رودخانه می‌شود که بر زیست آبزیان تأثیرگذار است [۲۳]. اگر در پایین‌دست سدها، آب به صورت پیوسته برای حفظ شرایط زیستگاه‌های موجودات وابسته به آب به صورت ثابت جریان یابد، به مرور تغییراتی در بستر رودخانه به دلیل سرعت کم و ایجاد رسوب، به وجود خواهد آمد و این خود عاملی برای کاهش ظرفیت عبور آب از رودخانه خواهد بود [۲۳ و ۲۵]. شرایط طبیعت نیز موارد نامطلوبی دارد که در صورت وجود رژیم کاملاً طبیعی رودخانه در یک سیکل صحیح قرار می گیرد، اما زمانی که رژیم رودخانه دستکاری می‌شود، گاه این عدم مطلوبیت‌ها باید کنترل شود. در زمینهٔ جریان‌های شدید بر حیات زیستی رودخانه، نقش جریان زیست‌محیطی بسته به نوع بستر و هندسه رودخانه به منظور شست‌وشوی زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان و حفظ انتقال رسوب از بستر رودخانه، عاملی برای عدم کاهش ظرفیت رودخانه است [۱۷]. به دلیل مدیریت اکوسیستم‌های آبی در حوضه‌های آبخیز، باید تفکر حکمرانی آبخیز کاملاً همسو با نگاه اکوسیستم‌محور و راه حل‌های مبتنی بر طبیعت باشد [۱۰] و از این منظر بی‌توجهی به حفظ طبیعت جریان رودخانه و حقابهٔ مطالبه‌شدهٔ محیط زیست و رهاسازی جریان از سد، سبب عدم کارکرد حقیقی مخزن سد در کنترل سیلاب می‌شود. مطالعات متعددی نشان می‌دهد رهاسازی جریان از سد جهت تأمین جریان زیست‌محیطی، عملکرد مخزن را در کنترل سیل افزایش

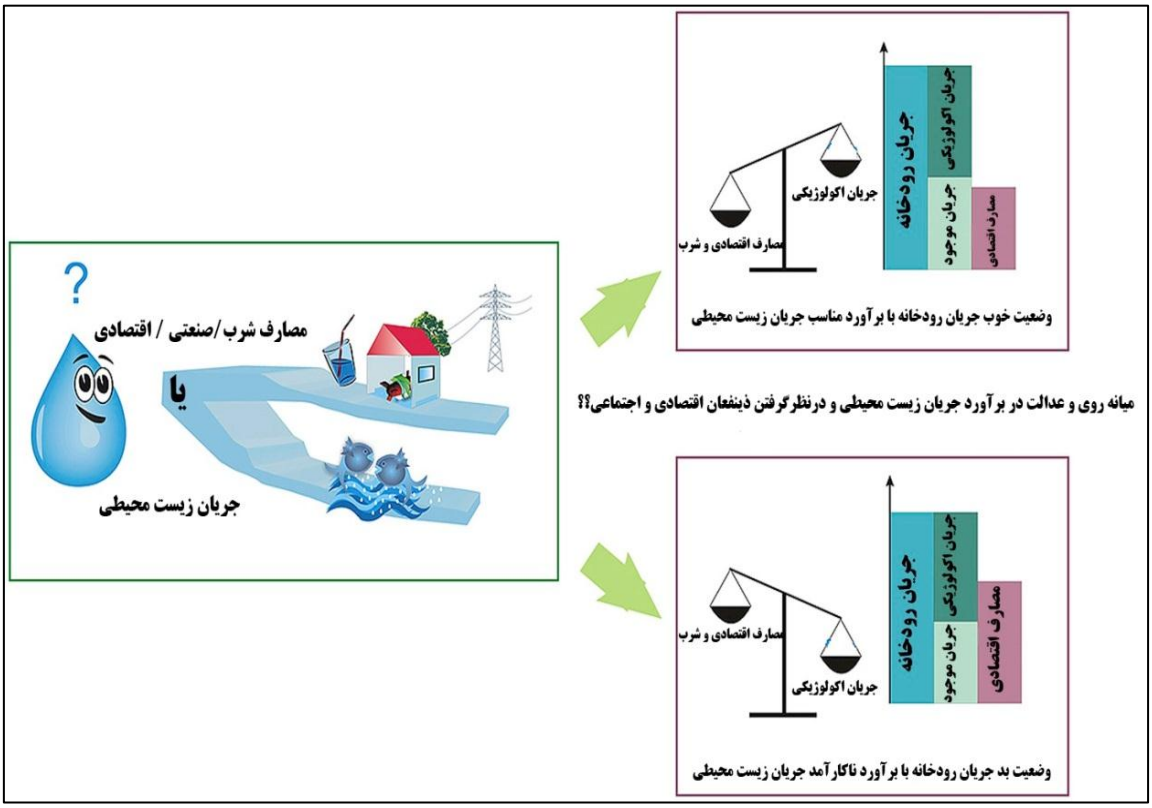
1. Instream Flow Incremental Methodology: IFIM

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد و این تأمین جریان، لزوماً از عملکرد مخزن در تأمین نیازهای دیگر نمی‌کاهد [۲۴ و ۲۵]. در پایین‌دست سد، عرض رودخانه بر اثر تجاوز به بستر رود و رسوب‌گذاری حاصل از کاهش سرعت آب توسط سد، کاهش پیدا می‌کند. کاهش عرض رودخانه، کاهش ظرفیت انتقال سیلاب را نیز در پی دارد [۲ و ۲۳].

با توجه به وقوع سیلاب‌های بهاری، رعایت نکردن حقابهٔ زیست‌محیطی ماهانه و رهاسازی آن برای حفظ اکوسیستم که روی فرایند رسوب‌گذاری تأثیر مستقیم دارد، می‌تواند در تغییر مورفولوژی در پایین‌دست سدهای استان گلستان تأثیرگذار باشد که در نهایت به کاهش ظرفیت حمل مجاری هیدرولیکی منجر شده است. این چالش‌ها می‌تواند به دلیل بی‌توجهی به اکوهیدرولیک زیستگاه رودخانه پس از احداث سد باشد. معمولاً، در ماه‌های فصل زمستان، حقابهٔ مورد نیاز زیست‌محیطی از طریق سیلاب‌ها تأمین می‌شود، اما در فصول تابستان و پاییز، حجم زیادی از آب رهاشده در رودخانهٔ قره‌سو، برای مصارف کشاورزی برداشت می‌شود که کاهش شدید جریان آب در مناطق پایین‌دست را در پی دارد. عدم تأمین آب مورد نیاز بخش زیست‌محیطی به خشکی و آسیب فراوان به ارزش‌های زیستگاهی و اکولوژیکی حوضهٔ آبخیز قره‌سو منجر شده است. با توجه به جدید بودن علم مدل‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای در جهان، مطالعات اندکی در زمینهٔ تعیین رژیم جریان زیست‌محیطی با مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای در کشور ایران صورت گرفته است. بر این اساس، در پژوهش حاضر برای برنامه‌ریزی و مدیریت اکولوژیکی رودخانهٔ قره‌سو در استان گلستان، برای نخستین‌بار به کاربرد مدل اکوهیدرولیکی سیفا که نرم‌افزاری جامع و توسعه‌یافته در شبیه‌سازی و ارزیابی وضعیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای است، پرداخته شده و سعی می‌شود ضمن پیاده‌سازی و ارزیابی رژیم جریان زیست‌محیطی با روش‌های مختلف هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، شناخت لازم برای اجرای پروژه‌های احیا و بازطبیعی‌سازی بوم‌سازگان آبی به منظور بهبود سلامت رودخانه فراهم شود.



شکل ۱. تعیین مقدار جریان برای بهره‌برداری از آب رودخانه با رعایت عدالت در میان ذی‌نفعان [۲۶]

www.SID.ir

Archive of SID

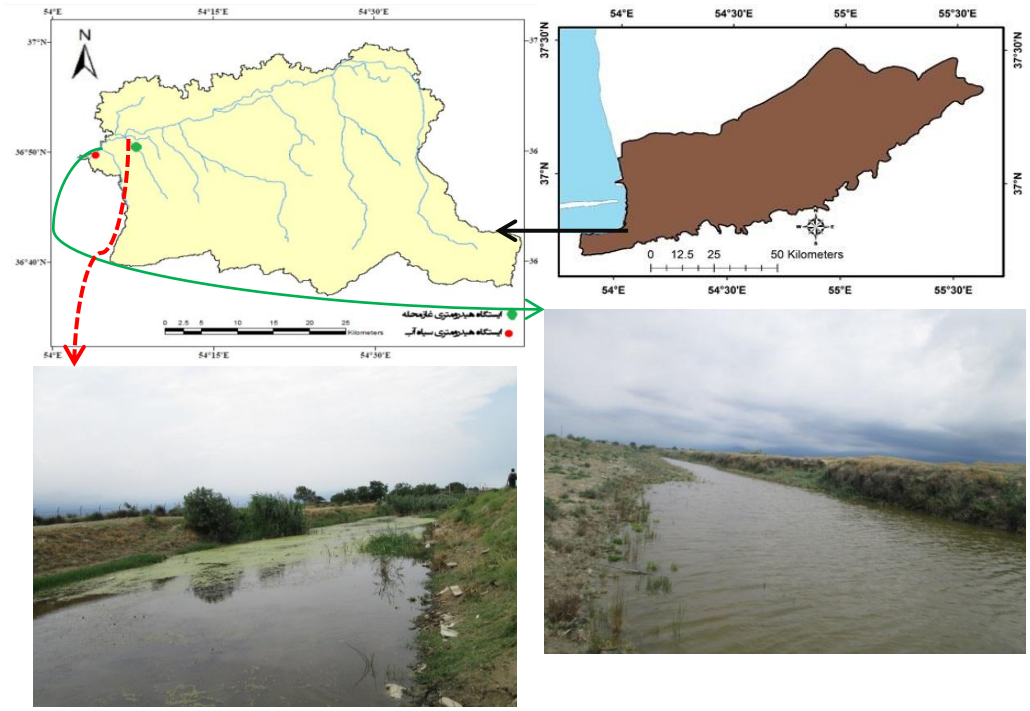
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبخیز قره‌سو یکی از سه زیرحوضهٔ آبخیز اصلی جاری در دامنهٔ شمالی البرز و پهنهٔ گسترده جلگهٔ گرگان در جنوب غربی استان گلستان با مساحتی حدود ۱۶۳۸ کیلومترمربع است که بین مختصات جغرافیایی "۳۷ ۲ ۵۴ تا "۴´۴۲ ۵۴ ۵۴ طول شرقی و "۲۴ ۳۶ ۳۶ تا "۴۸´۵۹ ۳۶ ۳۶ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع حوضه ۲۶- متر در مصب خلیج گرگان و حداکثر آن ۳۲۰۰ متر در ارتفاعات گرمابدشت با میانگین ارتفاعی ۶۲۴ متر است. حداکثر بارش سالانه در این منطقه، ۵۷۰ میلی‌متر است. منطقهٔ مطالعه شده در قسمت جلگه‌ای، آب‌وهوای معتدل مرطوب و در قسمت کوهستانی، آب‌وهوای معتدل کوهستانی دارد. رودخانهٔ قره‌سو نیازهای آبی استان گلستان را در بخش کشاورزی تأمین می‌کند و در پایین‌دست به خلیج گرگان می‌ریزد [۲۷ و ۲۸]. آبدهی سالیانهٔ رودخانهٔ قره‌سو در محل ایستگاه سیاه‌آب و غازمحله به ترتیب حدود ۶۰/۵ و ۵ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. جدول ۱ مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مطالعه‌شده، شکل ۲، نقشهٔ منطقهٔ مطالعه‌شده، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سیمای کلی رودخانه را نشان می‌دهد. محدودهٔ مطالعه شده، بازه‌ای از رودخانهٔ قره‌سو واقع در جنوب غربی حوضهٔ آبخیز قره‌سو در استان گلستان است که از پایین‌دست مصب ورودی خلیج گرگان تا ایستگاه هیدرومتری غازمحله که ارزش زیستگاهی دارد (بازه‌ها در محدودهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری در نظر گرفته شدند) را در بر می‌گیرد.

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در بازه‌های منتخب رودخانهٔ قره‌سو

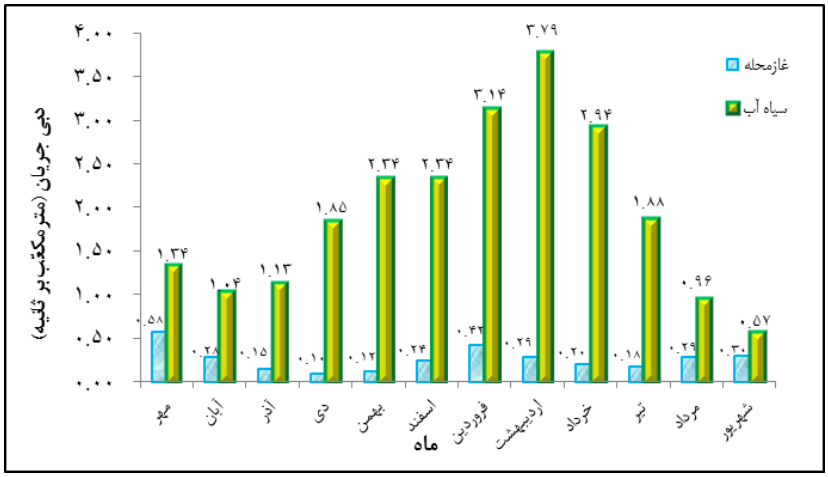
بازه	فاصله از پایین‌دست (کیلومتر)	طول بازه (متر)	ایستگاه هیدرومتری	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دورهٔ آماری	متوسط آبدهی سالانه (MCM)	جریان متوسط سالانه (m^3/s)
سیاه‌آب	۳	۲۵۰	سیاه‌آب	-۲۶	۱۳۵۰ تا ۱۳۹۴	۶۰/۵	۱/۹۲
غازمحله	۱۱	۲۸۰	غازمحله	۵	۱۳۵۳ تا ۱۳۹۴	۵	۰/۲۶



شکل ۲. موقعیت حوضهٔ آبخیز قره‌سو، ایستگاه‌های هیدرومتری و نمایی از سیمای رودخانه در بازه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمودار جریان‌های ماهانهٔ رودخانهٔ قره‌سو در ایستگاه‌های مختلف هیدرومتری

برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در حوضهٔ رودخانهٔ قره‌سو از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری سیاه‌آب و غازمحله بهره گرفته شد. مناسب‌ترین بخش داده‌های هیدرولوژیکی که برای ارزیابی حداقل دبی زیست‌محیطی محاسبه‌شده می‌تواند استفاده شود، دبی متوسط و حداقل ماهانهٔ مشاهده‌شده در مدت زمانی طولانی است [۱۴ و ۱۷]. در پایین‌دست حوضهٔ آبخیز قره‌سو و مصب ورودی به خلیج گرگان ناحیهٔ ارتباط‌دهندهٔ اکوسیستم دریایی با رودخانه است و از سوی دیگر حفظ و نگهداری گونه‌های مختلف گیاهان در مصب تأثیر زیادی در حفظ اکوسیستم‌های آبی و تشکیل زیستگاهی مناسب برای آبزیان مختلف دارد، بنابراین محاسبهٔ میزان جریان زیست‌محیطی در این منطقه اهمیت زیادی دارد. در شکل ۳، نمودار جریان‌های ماهیانهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری سیاه‌آب و غازمحله نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر میانگین دبی جریان ماهانهٔ رودخانهٔ قره‌سو در ایستگاه سیاه‌آب در ماه اردیبهشت و برابر ۳/۷۹ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه شهریور و برابر ۰/۵۷ مترمکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه[1] ۱/۹۲ مترمکعب بر ثانیه است. همچنین، حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه در ایستگاه غازمحله در مهرماه برابر ۰/۵۸ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در دی‌ماه برابر ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه ۰/۲۶ مترمکعب بر ثانیه است.

در پژوهش حاضر، روش‌های هیدرولوژیکی شامل تنانت، تسمن، منحنی تداوم جریان، آرکانزاس، اسمختین، انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیرهٔ رومیزی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های آبی[2] (مدل سیفا) برای تعیین جریان زیست‌محیطی ارزیابی و مقایسه شدند. برخی از این روش‌ها مانند تنانت، تسمن، اسمختین و آرکانزاس مراحل تحلیلی ساده‌تری دارند و برخی مانند روش انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیرهٔ رومیزی و مدل سیفا پیچیده‌ترند و نیاز به اطلاعات جامع‌تری دارند.

روش‌های هیدرولوژیکی

تنانت[3] از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های ایالات مرکزی و غربی آمریکا، برای برقراری رابطه بین جریان رودخانه و حفظ طبیعت اطراف رودخانه (پوشش گیاهی و جوامع زیستی محیط‌های آبی و تالابی جنب رودخانه‌ها) توسعه داده شده است. در این روش حداقل میزان رهاسازی به صورت درصد مشخصی از میانگین دبی سالانه (MAF) رودخانه بدون در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولیکی و فقط با استفاده از هیدروگراف رودخانه محاسبه می‌شود [۱۰ و ۲۹]. 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 در نظر گرفته می‌شوند. تسمن[4] به عنوان روش تنانت اصلاح‌شده، بر پایهٔ تجزیه و تحلیل سوابق درازمدت ایستگاه‌های هیدرومتری است. در این روش برای

1. Mean Annual Flow: MAF

2. Simulation Suitability of Aquatic Habitats Model
3. Tennant
4. Tessman

www.SID.ir

Archive of SID

لحاظ کردن شرایط و تغییرپذیری هیدرولوژیکی رودخانه، توصیه‌های جریان به جای آنکه در دو دورهٔ خشک و تر از سال تعیین شود، به صورت ماهانه مشخص شده و نتایج آن به صورت درصدی از میانگین جریان ماهانه[1] یا سالانه بیان می‌شود [۲۱ و ۲۲]. دستورالعمل‌های جریان حداقل به روش تسمن به این شرح است: اگر MAF > MMF ۰/۴ باشد، MMF به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. اگر MAF < MMF ۰/۴ باشد، MAF ۰/۴ به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. اگر MAF < MMFباشد، MMF ۰/۴ به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. منحنی تداوم جریان نوعی ابزار گرافیکی برای نمایش دبی‌های جریان کم و مقادیر سیلابی جریان رودخانه است. بررسی منحنی تداوم جریان و تعیین دبی‌های شاخص (دبی نرمال و دبی میانه) در برنامه‌ریزی‌های آب رودخانه و مدیریت جریان زیست‌محیطی اهمیت دارد. در استفاده از منحنی تداوم جریان برای برآورد جریان زیست‌محیطی، هدف آن تعیین جریان طبیعی (دست‌نخورده) رودخانه و برگرداندن رودخانه به شرایط طبیعی است. استفاده از صدک‌های ۵۰، ۷۵ و ۹۰ جریان به‌ترتیب متعلق به جریان های حاکم در شرایط طبیعی یا دست‌نخورده، خوب و منصفانه جریان است [۲۶]. در برنامه‌ریزی جریان‌های کم‌آبی استفاده از صدک‌های بالاتر جریان (Q90، Q75) نیز شرایط طبیعی رودخانه را حفظ خواهند کرد [۳۰]. در روش اسمختین[2] نیاز آب زیست‌محیطی به‌صورت 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 Q90 در نظر گرفته شود. Q90 جریانی است که ۹۰ درصد مواقع سال، دبی رودخانه از آن مقدار بیشتر است. اگر رودخانه دارای جریان متغیر باشد، به‌صورتی که Q90 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 Q90 بیشتر از ۳۰ درصد MAF باشد، HFR مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. در رودخانه‌هایی که Q90 بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و ۲۰ تا ۳۰ درصد MAF است، مقدار HFR به‌ترتیب 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 [۲۲ و ۲۹]. در روش آرکانزاس[5] با ایجاد تغییراتی در روش تنانت از میانگین جریان ماهانه به جای سالانه استفاده می‌شود تا نسبت به روش تنانت به تغییرپذیری جریان ها طی سال بیشتر استفاده شود. در روش آرکانزاس، جریان توصیه‌شده در ماه‌های آبان تا اسفند که ۶۰ درصد متوسط جریان ماهانه را در بر می‌گیرد، در فرایندهای حمل رسوبات ریزدانه و تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. همچنین، ۷۰ درصد میانگین جریان ماهانه طی ماه‌های فروردین تا تیر برای برآوردن نیازهای ماهیان به منظور تخم‌ریزی و حداقل جریان پیشنهادی برای فصل تولید مثل و جبران کاهش میزان اکسیژن محلول بر اثر کاهش دبی رودخانه‌ها، ۵۰ درصد از میانگین جریان ماهانهٔ مرداد تا مهر در نظر گرفته می‌شود [۱۵].

در روش انتقال منحنی تداوم جریان[6] طی محاسبات گام‌به‌گام یک رژیم هیدرولوژیکی مناسب برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه ارائه می‌شود. در تحقیق حاضر برای محاسبهٔ جریان زیست‌محیطی از روش تغییر منحنی تداوم جریان از اولین نسخهٔ نرم‌افزار GEFC استفاده می‌شود [۵]. این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۷ توسط مؤسسهٔ 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 مورد نیاز ورودی این نرم‌افزار داده‌های بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) جریان ماهانه است و بر مبنای منحنی تداوم جریان طبیعی، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مد نظر از مدیریت زیست‌محیطی تعیین می‌شود [۱۳ و ۲۹]. در این روش محور احتمالاتی منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های ماهانهٔ جریان تهیه می شود. در این روش شش طبقهٔ مدیریتی زیست‌محیطی، برای وضعیت‌های مد نظر برای حفظ و نگهداری زیست‌بوم رودخانه استفاده می‌شوند که شامل

1. Mean Monthly Flow: MMF
2. Smakhtin
3. Environmental Low-Flow Requirement: LFR
4. Environmental high -flow requirement: HFR
5. Arkansas
6. Flow Duration Curve Shifting

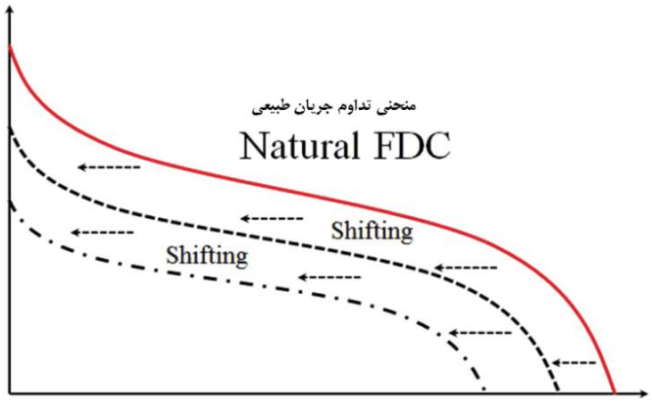
www.SID.ir

Archive of SID

طبقهٔ A، وضعیت دست‌نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه؛ طبقهٔ B، زیستگاه‌های اندک تغییریافته؛ طبقهٔ C، زیستگاه نسبتاً تغییر یافته که گونه‌های حساس تا حدودی کاهش یافته‌اند؛ طبقهٔ D، تغییرات وسیعی در زیستگاه رخ داده؛ طبقهٔ E، تعداد و تنوع زیستگاه‌ها به‌شدت کاهش یافته و طبقهٔ F، اکوسیستم دچار تغییرات بحرانی و جبران‌ناپذیر شده است. در مرحلهٔ بعد با استفاده از تغییرات شیفت عرضی به سمت چپ طی محور احتمال، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه می‌شود (شکل ۴). 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 B و به همین صورت، برای رودخانه‌های کلاس C و D به‌ترتیب از سه و چهار شیفت عرضی استفاده می‌شود. مدل ذخیرهٔ رومیزی[1] یکی از روش‌هایی است که می‌تواند نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی که داده‌های موجود محدودند و ارزیابی سریع مورد نیاز است، برآورد کند. در مدل ذخیرهٔ رومیزی چهار کلاس مختلف مدیریت زیست‌محیطی از A تا D جریان‌های مختلفی را ارائه می‌دهد. طبقهٔ A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییرنیافته می‌شود، طبقهٔ B رودخانه‌های تغییریافته ولی تا حد زیادی طبیعی، طبقهٔ C رودخانه‌های نسبتاً تغییریافته و طبقهٔ D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییریافته با خسارت‌های زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم است. در این دسته‌بندی‌ها، طبقه‌بندی‌های انتقالی (برای مثال، A/B و B/C) نیز برای افزایش محدودهٔ جریان‌های زیست‌محیطی ممکن استفاده می‌شوند. از این سیستم طبقه‌بندی در مدل ذخیرهٔ رومیزی به کار می‌رود و نیازهای جریان براساس آن محاسبه می‌شود. به کلاس بالاتر، آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده شده و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می‌شود [۱۱ و ۱۴]. شایان یادآوری است هیچ‌یک از روش‌های هیدرولوژیکی استفاده‌شده در پژوهش حاضر مطابق با بررسی در منابع تأییدشده [۵، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۱۹و ۲۱]، نیاز به صحت‌سنجی ندارند.

مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه

مدل اکوهیدرولیکی سیفا[2]، نرم‌افزاری جامع به منظور ارزیابی زیست‌محیطی در روش افزایشی جریان جاری رودخانه توسط جووت و همکاران [۳۱] با هدف بهبود زیستگاه‌های رودخانه‌ای توسعه داده‌شده است. چگونگی عملکرد این نرم‌افزار و بخش‌های کلی آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، برای تعیین ارتباط بین هیدرولوژی و اکولوژی، مدل‌سازی رودخانه با اجرای مدل‌های توسعه داده‌شدهٔ زیستگاهی، منحنی‌های مطلوبیت گونهٔ آبزی هدف، آنالیز انتقال رسوب، شبیه‌سازی دمای آب و اکسیژن محلول و آنالیز سری زمانی زیستگاه و مشخص کردن چگونگی تغییرات رودخانه و تأثیر آن بر پارامترهای فیزیکی و کیفی زیستگاه انجام می‌شود. با به دست آوردن این اطلاعات در زمینهٔ گونهٔ هدف، مقادیر مختلف جریان که سبب افزایش یا کاهش مطلوبیت زیستگاه می‌شود، تعیین خواهد شد [۳۲].

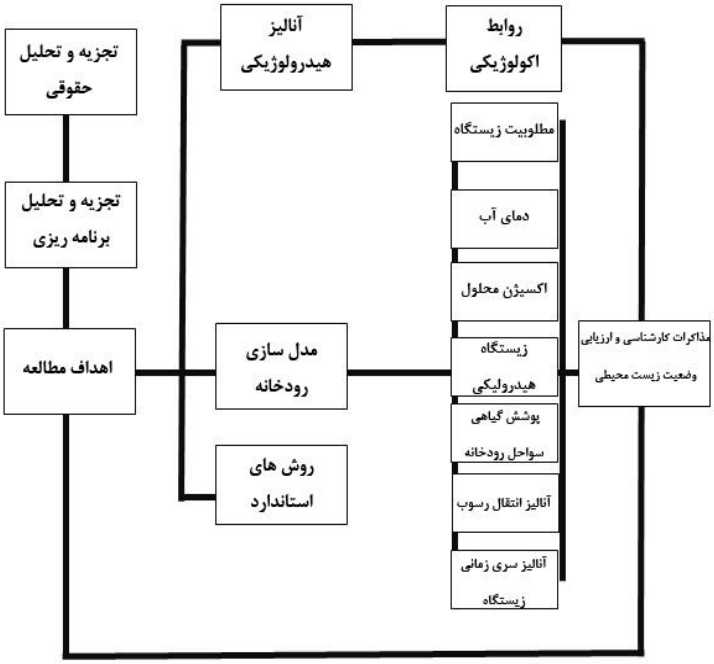


شکل ۴. برآورد منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی از طریق شیفت عرضی [۵]

1. Desktop Reserve Moel: DRM
2. System for Environmental Flow Analysis: SEFA

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. فلوچارت مدل سیفا [۳۰]

شبیه‌سازی هیدرولیکی در مدل سیفا، شامل شبیه‌سازی تراز سطح آب با استفاده از دو روش منحنی دبی- اشل و پروفیل طولی تراز سطح آب و همچنین شبیه‌سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی می شود. در قسمت هیدرولیکی مدل، سرعت با استفاده از معادلات جابه‌جایی –پراکندگی (انتقال) و مانینگ، محاسبه و شبیه‌سازی می‌شود. معادلهٔ استفاده شده در این مدل به صورت رابطهٔ ۱ است.

$$Q = K \times S^{\frac{1}{2}} \quad K = \frac{\left(A \times R^{\frac{2}{3}}\right)}{N} \qquad (1)$$

که در رابطهٔ ۱، Q دبی جریان، S شیب و K ضریب پراکندگی از طریق داده‌های مربوط به هندسهٔ کانال (N ضریب مانینگ، A سطح مقطع و R شعاع هیدرولیکی) در مرزهای جریان تعیین می‌شود [۳۱]. برای هر سلول زیستگاهی در یک مقطع، نسبت دبی جریان به پراکندگی برابر با کل جریان تقسیم بر مجموع پراکندگی است (رابطهٔ ۲) و سرعت در هر سلول از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

$$\frac{Q_1}{K_1} = \frac{Q_2}{K_2} = \frac{\sum Q}{\sum K} \qquad (2)$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} \quad V_1 = \frac{R_1^{\left(\frac{2}{3}-\beta\right)}}{N_1 \times \frac{Q}{K}} = \frac{R_1^{\left(\frac{2}{3}-\beta\right)}}{N_1 \times S^{\frac{1}{2}}}$$

$$V_1 = \frac{R_1^{\left(\frac{2}{3}-\beta\right)}}{N_1} \times \frac{(QN)}{\left(AR^{\frac{2}{3}}\right)} = R_1^{\left(\frac{2}{3}-\beta\right)} \times \frac{Q}{\left(AR^{\frac{2}{3}}\right)} \qquad (3)$$

$$VDF = \frac{V_1}{V} \quad VDF = \frac{N_1}{N}$$

$$V_i = VDF_i \times R_1^{\left(\frac{2}{3}-\beta\right)} \times \frac{Q}{\left(AR^{\frac{2}{3}}\right)} \qquad (4)$$

در رابطهٔ ۴، VDF فاکتور توزیع سرعت، V سرعت محاسباتی و V_1 سرعت اندازه‌گیری‌شده در سطح مقطع جریان است. واسنجی مدل از طریق سعی و خطا برای انتخاب مقدار ضریب β برای حداقل کردن اختلاف بین تراز سطح آب مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در تمامی دبی‌های اندازه‌گیری‌شده، انجام می‌شود. ضریب β برای هر مقطع عرضی طی بازهٔ مطالعه‌شده، متفاوت است. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی به همراه منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی در مرحلهٔ شبیه‌سازی زیستگاهی استفاده می شوند. پس از انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی،

www.SID.ir

Archive of SID

منحنی‌های دبی- زیستگاه در هر دورهٔ زیستی گونهٔ هدف استخراج و آنالیز جریان زیست‌محیطی با محاسبهٔ شاخص کمی زیستگاه یا مطلوبیت وزن داده‌شده سطحی[1] صورت می‌گیرد. شاخص AWS از رابطهٔ ۵ بر حسب واحد طول (مترمربع بر متر) یا به عنوان شاخص مطلوبیت ترکیبی متوسط برای محدوده یا مقطع بیان می‌شود.

$$AWS = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i CSI_i}{L} \quad (۵)$$

در رابطهٔ ۵، A_i سطح سلول زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی سلول iام و n تعداد کل سلول‌ها در بازهٔ مد نظر به طول L است.

به منظور ارزیابی اکوسیستم رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، از روش‌های زیادی استفاده می شود. مدل‌های مطلوبیت زیستگاه از پرکاربردترین این روش‌ها هستند [۹، ۱۰و ۳۳]. برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، گونهٔ سیاه‌ماهی *C.capoeta gracilis* از ردهٔ ماهیان استخوانی حقیقی Teleostei و از خانوادهٔ کپورماهیان (Cyprinidae) با حداکثر طول کل ۳۵ سانتی‌متر، که یکی از گونه‌های غالب و بومی حوضهٔ آبریز جنوب دریای خزر است [۳۴] با توجه به ارزش‌های اکولوژیکی، بومی، صید تفریحی، مطالعات بیوسیستماتیک جانوری و به دلیل مهاجرت به سرشاخه‌های حوضهٔ رودخانهٔ قره‌سو برای تخم‌ریزی در فصل بهار، به عنوان گونهٔ هدف در نظر گرفته شد. به‌دلیل نیاز به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه، با بازدیدهای میدانی و حضور تیم عملیاتی متشکل از پژوهشگران اکولوژی آبزیان و مهندسی آب در فصل بهار ۱۳۹۶ (اردیبهشت و خرداد) و بهره‌مندی از دیدگاه‌های متخصصان اکوهیدرولیک، داده‌برداری برای سنجش متغیرهای محیطی و اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی و کیفی آب رودخانه از شش ایستگاه نمونه‌برداری (جدول ۲) از پایین‌دست (ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب) به سمت بالادست (ایستگاه هیدرومتری غازمحله) رودخانهٔ قره‌سو، انجام شد. بازه‌های مشاهداتی و مطالعاتی در نظر گرفته‌شده، طولی از بازهٔ رودخانه به صورت ضریبی از حداکثر عرض رودخانه (۱۰ تا ۲۰ برابر عرض خیس‌شدهٔ مقطع در بالادست و پایین‌دست) است که در امتداد مسیر نسبتاً مستقیم رودخانه قرار دارد و تأثیرات ژئومورفولوژیکی و بوم‌شناختی رودخانه را به گونهٔ مناسبی پوشش می‌دهد [۳۵]. نمونه‌برداری از ماهیان (اندازه و تعداد ماهی) برای تخمین سن و مرحلهٔ زندگی آنها، به صورت نقطه‌ای و دقیق به روش صید الکتریکی با کمک دستگاه الکتروشوکر (Samus Mp750) و تور ساچوک پشتیبان انجام شد. داده‌های مربوط به مقاطع عرضی رودخانه که شامل فاصلهٔ هر مقطع از پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی (با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی)، عمق (با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی)، عرض (با استفاده از مترنواری)، سرعت (با استفاده از سرعت‌سنج) و ساختار بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی) می‌شود، اندازه‌گیری شد. همچنین، از ساختار بستر، شکل زیستگاه و پوشش گیاهی اطراف آن، عکس‌برداری شد.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانهٔ قره‌سو

شمارهٔ ایستگاه	بازه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	قطر ذرات بستر (سانتی‌متر)	عرض متوسط (متر)	عمق متوسط (متر)	سرعت متوسط (متربرثانیه)	فرم بستر مزوزیستگاه	فراوانی سیاه‌ماهی (قطعه در مترمربع)
۱	پایین‌دست	"۵۴ ۵ ۶۴	"۳۶ ۸۲ ۶۶	۰/۱۶	۸/۷۵	۰/۷۴	۰/۵۳	خیزاب	۰/۱۳۱
۲	پایین‌دست	"۵۴ ۶ ۲	"۳۶ ۸۲ ۶۳	۰/۲۶	۸/۴۷	۰/۷۶	۰/۴۸	گوداب	۰/۱۳۹
۳	میانی	"۵۴ ۶ ۹۰	"۳۶ ۸۳ ۳۴	۰/۳۲	۷/۴۴	۰/۴۹	۰/۴۳	گوداب	۰/۳۸۴
۴	میانی	"۵۴ ۷ ۴۲	"۳۶ ۸۳ ۸۴	۰/۳۹	۶/۵۳	۰/۶۵	۰/۵۱	گوداب	۰/۲۵۱
۵	بالادست	"۵۴ ۸ ۸۵	"۳۶ ۸۳ ۱۵	۰/۴۴	۶/۸۸	۰/۴۲	۰/۴۴	خیزاب	۰/۱۱۳
۶	بالادست	"۵۴ ۹ ۳۹	"۳۶ ۸۲ ۸۸	۰/۴۸	۶/۳۱	۰/۳۶	۰/۴۷	خیزاب	۰/۰۷۲

1. Area Weighted Suitability: AWS

www.SID.ir

Archive of SID

یافته‌ها

در نظر گرفتن دبی زیست‌محیطی رودخانهٔ قره‌سو به دلیل شرایط اکوسیستم بحرانی رودخانه، به خصوص در محدودهٔ مصب و پایین‌دست آن، به دلیل داشتن ارزش‌های اکولوژیکی و اهمیت رودخانهٔ یادشده برای تأمین حقابهٔ خلیج گرگان، که تأثیر زیادی در بقای اکوسیستم و گونه‌های آبزیان و پرندگان آبزی دارد و سلامتی زیست‌بوم آن، در گروی احیای رژیم تاریخی جریان است، ضرورت دارد. براساس بازدیدهای میدانی، حدود ۱۰ کیلومتر پایین‌دست رودخانه در محل ورود به خلیج گرگان شرایط طبیعی خود را از دست داده است [۳۳]. در روش‌های هیدرولوژیکی، دبی جریان زیست‌محیطی عموماً به صورت درصدی از متوسط آبدهی رودخانه ارزیابی می‌شود. بدیهی است که مقادیر دبی جریان زیستی در سال‌ها و ماه‌های مختلف هر سال یکسان نیست و تابعی از رژیم آبدهی رودخانه (شرایط نرمال، ترسالی یا خشکسالی) خواهد بود. در جدول ۳، مقادیر متوسط سالانهٔ شدت جریان زیست‌محیطی در رودخانهٔ قره‌سو از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی آمده است. در جدول ۴، توزیع ماهانهٔ مقادیر به‌دست‌آمده برای روش‌های مختلف آورده شده است. در روش تنانت پیشنهاد شده است که پایین‌ترین حد ممکن برای نیاز آب زیست‌محیطی مطابق با شرایط بسیار ضعیف یک اکوسیستم رودخانه‌ای، ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای ماه‌های مهر تا اسفند و ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای ماه‌های فروردین تا شهریور در نظر گرفته شود که وضعیت‌های بقای نسبتاً قابل قبول را حفظ می‌کند. دبی حداقل پیشنهادی روش تنانت برای این رودخانه ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب و غازمحله به‌ترتیب معادل ۰/۱۹ و ۰/۰۲ مترمکعب بر ثانیه برای مهرماه تا اسفند و ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب و غازمحله به‌ترتیب معادل ۰/۵۷ و ۰/۰۷ مترمکعب بر ثانیه برای فروردین تا شهریور برآورد شد. اختصاص ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای آبزیان و اکوسیستم رودخانه به وجود آورد و غیر قابل پذیرش است. این میزان به عنوان دبی حداقل زیست‌محیطی در حالی از روش تنانت به دست می‌آید که براساس منحنی تداوم جریان، دبی Q90 در ایستگاه‌های هیدرومتری سیاه‌آب و غازمحله به‌ترتیب معادل ۰/۱۷ و ۰/۰۱۵ مترمکعب بر ثانیه به‌دست می‌آید. به این معنا که دبی پیشنهادی روش تنانت در حدی است که براساس رژیم کنونی رودخانهٔ قره‌سو، تقریباً در کمتر از یک درصد از ایام سال در این رودخانه جریان دارد. مطابق با پژوهش‌های نیک‌قلب و همکاران [۱۰]، زرعکانی و همکاران [۱۷] و ژانگ و همکاران [۱۹] می‌توان دریافت که با پذیرش دبی پیشنهادی روش‌های تنانت و منحنی تداوم جریان، به عنوان آستانهٔ قابل تحمل موجودات آبزی، در هر ماه که حداقل دبی ماهانهٔ تاریخی رودخانه از دبی پیشنهادی روش‌های یادشده کوچک‌تر باشد، نیاز زیست‌محیطی رودخانه را برطرف نمی‌کند و نیازمند تأمین جریان زیست‌محیطی با مدیریت جریان طبیعی رودخانه برای برآورده کردن شرایط لازم برای زندگی گونه‌های آبزی و همچنین آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان است. با توجه به جدول ۳ می‌توان بیان کرد که حداقل جریان معادل ۱۰ درصد پیشنهادی تنانت نمی‌تواند برای شرایط رودخانهٔ قره‌سو با توجه به طبقهٔ مدیریت زیست‌محیطی انتخاب شده، مناسب باشد. در روش تسمن متوسط جریان زیست‌محیطی محاسباتی معادل ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۴۶/۱ درصد متوسط جریان سالانه) برای ایستگاه غازمحله و ۰/۸۵۶ مترمکعب برثانیه (معادل ۴۴/۵ درصد متوسط جریان سالانه) برای ایستگاه سیاه‌آب است. از تحقیقات رزاقی‌رضائیه و همکاران [۱۱]، ورما و همکاران [۲۰] و یاسی و عاشوری [۲۲] و نادری [۳۳] استنباط می‌شود روش تسمن به دلیل اینکه تابع کلاس‌های مدیریتی نیست و برای همهٔ رودخانه‌ها از یک الگو پیروی می‌کند، نمی‌تواند نتایج دقیقی ارائه دهد، اما این روش نسبت به روش تنانت ارجحیت دارد، چرا که نسبت به جریان‌های ماهانهٔ رودخانه بی‌تفاوت نیست و در هر ماه میزان جریان متفاوتی را ارائه می‌دهد [۱۳ و ۲۹]. کاراکویان و همکاران [۲۱] در ارزیابی جریان زیست‌محیطی در پایین‌دست نیروگاه برق آبی کمباسی در ترکیه، بیان کردند روش تسمن و روش تنانت ۲۰ درصد متوسط جریان سالانه در دورهٔ کم‌آبی و ۴۰ درصد متوسط جریان سالانه در دورهٔ پرآبی، نتایج قابل قبولی را در برآورد جریان زیست‌محیطی پیشنهاد می‌دهند. در بیشتر تحقیقات تعیین جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش تنانت فرض بر این است که دبی پیشنهادی، معیارهای لازم را برای دست‌یابی به بهبود سلامت کیفیت آب رودخانه و تأمین شرایط مطلوب زیستی گونه‌های شاخص ارضا می‌کند که این فرض فقط در شرایط ایده‌آل (۶۰ درصد متوسط

www.SID.ir

Archive of SID

جریان سالانه برای بهار و تابستان و ۴۰ درصد متوسط جریان سالانه برای پاییز و زمستان) صادق است [۴، ۱۴ و ۲۱]. روش تنانت که در حال حاضر روش مصوب وزارت نیرو برای تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های کشور است، قادر به تأمین شرایط اکوسیستمی مناسب رودخانهٔ قره‌سو نیست. در روش منحنی تداوم جریان، جریان زیست‌محیطی به صورت درصدی از متوسط آورد سالانهٔ اکوسیستم آبی یا به صورت جریان با احتمال تجاوز مشخص از روی منحنی تداوم جریان در مقیاس زمانی سالانه یا ماهانه تعیین شد. در برآورد جریان زیست‌محیطی از روش تحلیل منحنی تداوم جریان شاخص‌های تداوم مختلفی به کار رفت (Q75 و Q90). بنابراین، محدودهٔ جریان‌های کم‌آبی بین ۰/۸۹۲ (Q75) تا ۰/۳۷۲ (Q90) مترمکعب بر ثانیه برای ایستگاه سیاه‌آب و بین ۰/۰۵۴ (Q75) تا ۰/۰۱۵ (Q90) مترمکعب بر ثانیه برای ایستگاه غازمحله است. بنا بر اهداف مدیریتی که در منطقهٔ مطالعه‌شده توسط مدیران و برنامه‌ریزان در نظرگرفته می‌شود، برای حفظ حداقل جریان زیست‌محیطی در شرایط مناسب (صدک ۷۵ جریان که در ۹ ماه از ۱۲ ماه سال، جاری است)، باید در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب، میزان دبی ۰/۳۹۳ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۰/۴ درصد متوسط جریان سالانه) باشد و اگر خواهان حفظ شرایط نسبتاً مناسب (صدک ۹۰ جریان که در ۱۱ ماه از ۱۲ ماه سال، جاری است) هستیم، حداقل دبی باید ۰/۱۷ مترمکعب بر ثانیه (معادل۸/۸ درصد متوسط جریان سالانه) باشد. مطابق شکل ۳ و جدول ۳، رودخانه در ماه‌های مرداد و شهریور در صورت برداشت آب از آن می‌تواند دچار مشکل شود. در هریک از این دو ماه، متوسط جریان رودخانه کمتر از ۵ درصد جریان کل سالانه را تشکیل می‌دهد. در چنین حالتی استفاده از معیارهایی نظیر Q90 و تنانت ۱۰ درصد می‌تواند برای محیط اکولوژیکی مخاطره‌آمیز باشد [۱۰ و ۲۰].

جدول ۳. مقایسهٔ مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانهٔ قره‌سو از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی

روش		رژیم جریان زیست‌محیطی ایستگاه سیاه‌آب		رژیم جریان زیست‌محیطی ایستگاه غازمحله	
		درصد میانگین جریان سالانه	مترمکعب (برثانیه	درصد میانگین جریان سالانه	(مترمکعب برثانیه)
تنانت	فروردین- شهریور	۳۰	۰/۵۷	۳۰	۰/۰۷
	مهر- اسفند	۱۰	۰/۱۹	۱۰	۰/۰۲
اسمختین		۲۷/۷	۰/۵۳۲	۲۵/۷	۰/۰۶۷
انتقال منحنی تداوم جریان	کلاس A	۷۸/۷	۱/۴۹	۷۴/۴	۰/۲۱
	کلاس B	۶۲/۳	۱/۱۹	۵۷/۶	۰/۱۷
	کلاس C	۴۸/۹	۰/۹۴	۴۶/۱	۰/۱۲
	کلاس D	۳۶/۴	۰/۷۲	۲۹/۲	۰/۰۸
	کلاس E	۱۹/۶	۰/۳۲	۱۸/۱	۰/۰۴
	کلاس F	۱۰/۲	۰/۱۷	۹/۹	۰/۰۲
مدل ذخیرهٔ رومیزی	کلاس A	۵۴/۷	۱/۰۷	۴۷/۳	۰/۱۲
	کلاس A/B	۴۸/۶	۰/۹۲	۳۷/۱	۰/۱
	کلاس B	۴۵/۴	۰/۶۹	۳۰/۷	۰/۰۸
	کلاس B/C	۴۰/۳	۰/۶۳	۲۷/۶	۰/۰۷
	کلاس C	۳۵/۹	۰/۴۴	۲۱/۲	۰/۰۵
	کلاس C/D	۲۷/۳	۰/۳۲	۱۷/۸	۰/۰۴
	کلاس D	۱۶/۲	۰/۲۳	۱۴/۲	۰/۰۳
منحنی تداوم جریان	Q75	۲۰/۴	۰/۳۹۳	۲۰/۷	۰/۰۵۴
	Q90	۸/۸	۰/۱۷	۵/۷	۰/۰۱۵
تسمن		۴۴/۵	۰/۸۵۶	۴۶/۱	۰/۱۲
آرکانزاس		۶۳/۵	۱/۲۲	۵۳/۸	۰/۱۴

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴.توزیع ماهانهٔ جریان زیست‌محیطی با روش‌های مختلف هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانهٔ قره‌سو (مترمکعب برثانیه)

ماه	ایستگاه سیاه‌آب								ایستگاه غازمحله							
	تنانت	تسمن	Q75	Q90	اسمختین	آرکانزاس	FDC-Shifting	DRM	تنانت	تسمن	Q75	Q90	اسمختین	آرکانزاس	FDC-Shifting	DRM
مهر	۰/۱۹	۰/۷۶۸	۰/۰۹۴	۰/۰۰۷	۰/۵۳۲	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۰۲۹	۰	۰/۰۶۷	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۳
آبان	۰/۱۹	۰/۷۶۸	۰/۲۴۲	۰/۲۳۶	۰/۵۳۲	۰/۵۱۸	۰/۵۱	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۴۳	۰/۰۰۶	۰/۰۶۷	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱
آذر	۰/۱۹	۰/۷۶۸	۰/۴۶۱	۰/۲۶	۰/۵۳۲	۰/۶۷۸	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۷	۰/۰۶۷	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۴
دی	۰/۱۹	۰/۷۶۸	۰/۶۷۲	۰/۳۶۳	۰/۵۳۲	۱/۱۱	۰/۸۶	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۱۵	۰	۰/۰۶۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۲
بهمن	۰/۱۹	۰/۹۳۶	۰/۷۴۵	۰/۳۲۵	۰/۵۳۲	۱/۴۰۴	۱/۱۴	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۶۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۲
اسفند	۰/۱۹	۰/۹۳۶	۰/۸۶۲	۰/۲۶۶	۰/۵۳۲	۱/۴۰۴	۱/۱۷	۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۹۸	۰/۰۱۵	۰/۰۶۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۴
فروردین	۰/۵۷	۱/۲۵۶	۰/۸۹۲	۰/۳۷۲	۰/۵۳۲	۲/۱۹۸	۱/۵۳	۰/۷۲	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۲۹	۰/۲	۰/۰۵
اردیبهشت	۰/۵۷	۱/۵۱۶	۰/۴۸۷	۰/۱۰۵	۰/۵۳۲	۲/۶۵۳	۱/۹۳	۱/۲۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۴۵	۰	۰/۰۶۷	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۷
خرداد	۰/۵۷	۱/۱۷۶	۰/۱۳۶	۰/۰۸۱	۰/۵۳۲	۲/۰۵	۱/۴۱	۰/۹۱	۰/۰۷	۰/۱	۰	۰	۰/۰۶۷	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۶
تیر	۰/۵۷	۰/۷۶۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۵۳۲	۱/۳۱۶	۰/۸۶	۱/۰۵	۰/۰۷	۰/۱	۰	۰	۰/۰۶۷	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۵
مرداد	۰/۵۷	۰/۷۶۸	۰/۰۵	۰	۰/۵۳۲	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۱۱	۰	۰	۰/۰۶۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۶
شهریور	۰/۵۷	۰	۰	۰	۰/۵۳۲	۰/۲۸۵	۰/۲۷	۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۱۲		۰	۰/۰۶۷	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۸
میانگین	۰/۳۸	۰/۸۵۶	۰/۳۹۳	۰/۱۷	۰/۵۳۲	۱/۲۲	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۱۵	۰/۰۶۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱

بررسی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد استفاده از روش منحنی تداوم جریان (نظیر Q90)، به‌علت در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه، گزینهٔ مناسبی نیست، که با مطالعهٔ کاراکویان و همکاران [۲۱] و یاسی و عاشوری [۲۲] و نادری [۳۳] همخوانی دارد. در رودخانهٔ قره‌سو، این شاخص در ماه‌های مختلف سال می‌تواند توازن اکوسیستم را بر هم بزند. بررسی نتایج روش اسمختین مشخص می‌سازد که مقدار جریان زیست‌محیطی برآوردشده برای ماه‌های مختلف سال ۰/۵۳۲ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۷/۷ درصد متوسط جریان سالانه) در ایستگاه سیاه‌آب و ۰/۰۶۷ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۵/۷ درصد متوسط جریان سالانه) در ایستگاه غازمحله است. نتایج برآورد سایر روش‌های هیدرولوژیکی آرکانزاس، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیرهٔ رومیزی در جدول‌های ۳ و ۴، نشان داده شده است. بررسی روش آرکانزاس نشان می‌دهد میانگین جریان زیست‌محیطی سالانهٔ برآوردشده با این روش به‌ترتیب معادل ۱/۲۲ و ۰/۱۴ مترمکعب بر ثانیه برای ایستگاه‌های سیاه‌آب و ایستگاه غازمحله است. شهریاری‌نیا و همکاران [۱۵] و نادری [۳۳] گزارش دادند که مقدار جریان زیست‌محیطی برآوردشده در روش آرکانزاس، از روش‌های تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان در تمام ماهای سال، بیشتر است.

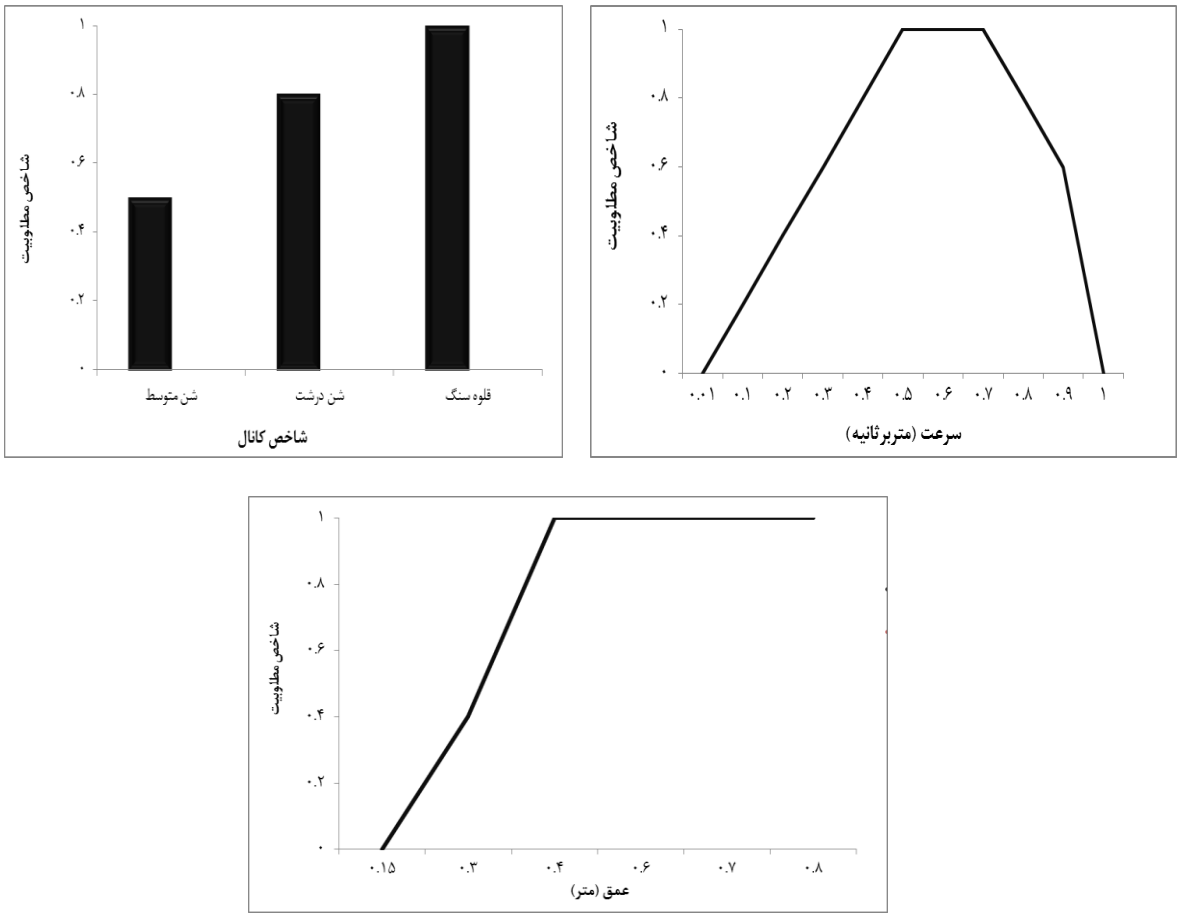
با توجه به جدول‌های ۳ و ۴، نتایج به‌دست‌آمده از کلاس مدیریت زیست‌محیطی A/B در روش مدل ذخیرهٔ رومیزی، به جریان زیست‌محیطی پیشنهادی کلاس مدیریت زیست‌محیطی C در روش انتقال منحنی تداوم جریان نزدیک است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل ذخیرهٔ رومیزی نشان می‌دهد که به‌طور متوسط برای حفظ حیات رودخانهٔ قره‌سو، شدت جریان ۰/۶۹ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۴۵/۴ درصد متوسط جریان سالانه) در ایستگاه سیاه‌آب در طبقهٔ مدیریتی B، و جریان ۰/۰۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۳۰/۷ درصد متوسط جریان سالانه) در ایستگاه غازمحله در طبقهٔ مدیریتی A/B، مورد نیاز است. در روش مدل ذخیرهٔ رومیزی با انتخاب کلاس زیست‌محیطی بالاتر، حجم آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده می‌شود و در این حالت تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ خواهد شد و جریان پایدارتر است. با توجه به طبقه‌بندی رودخانه به کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی مختلف، کلاس C در روش انتقال منحنی تداوم جریان، چون از نظر اکولوژیکی شرایط متوسط و مطلوبی دارد، در تحقیق حاضر به‌عنوان کلاس مدیریت مطلوب انتخاب شده است. در این کلاس، زیستگاه‌ها دست‌نخورده و اندکی تغییر یافته است [۵، ۱۳ و ۲۲]. از سوی دیگر، بررسی تغییرات زمانی جریان زیست‌محیطی برآوردشده با روش‌های مختلف و جریان متوسط ماهانه در این پژوهش نشان می‌دهد الگوی جریان زیست‌محیطی برآوردشده با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، بیشترین تشابه را با الگوی جریان متوسط ماهانهٔ رودخانهٔ قره‌سو دارد که رزاقی‌رضائیه و همکاران [۱۱] و شاعری‌کریمی و همکاران [۱۴] نیز در مطالعه‌شان ثابت کردند روش انتقال منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیکی-اکولوژیکی، در عین عملکرد بسیار سریع و ساده، قادر به تعیین رژیم اکولوژیکی جریان است، به طوری که با رژیم تاریخی جریان رودخانه سازگار

www.SID.ir

Archive of SID

باشد. رزاقی‌رضائیه و همکاران [۱۱] و اسماعیلی و همکاران [۱۳] نتایج مشابهی را در پژوهش‌های خود گزارش داده‌اند که روش تغییر منحنی تداوم جریان به‌دلیل در نظر گرفتن وضعیت اکولوژیکی رودخانه و انعطاف‌پذیری آن نسبت به تغییرات جریان های ماهیانۀ رودخانه نسبت به سایر روش‌های هیدرولوژیکی نتایج معقولانه‌تری ارائه می‌دهد که نتایج کار دو تحقیق یادشده، در مطالعۀ حاضر تأیید می شود. در روش تغییر منحنی تداوم جریان هر چه کلاس مدیریت زیست‌محیطی بهتر باشد، میزان جریان زیست‌محیطی نیز بیشتر خواهد بود که این نتیجه‌گیری با توجه به نتایج مطالعۀ یاسی و عاشوری [۲۲]، اسماعیلی و همکاران [۱۳] و آهن و همکاران [۵] قطعیت بیشتری می‌یابد. مقایسۀ توزیع ماهانۀ جریان زیست‌محیطی با روش‌های مختلف هیدرولوژیکی در جدول ۴ نشان می‌دهد حداقل نیاز آب زیست‌محیطی رودخانۀ قره‌سو در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت، بیشتر از دیگر ماه‌ها بوده است که رزاقی‌رضائیه و همکاران [۱۱] نتایج مشابهی را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند.

در ادامه، به منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانۀ قره‌سو، با توجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی سه پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص کانال تولید شد (شکل ۶). در پژوهش حاضر، مطابق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی (شکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت که جریان هایی با عنوان جریان زیست‌محیطی در رودخانۀ قره‌سو برای گونۀ سیاه‌ماهی مناسب است که بتواند اعماقی بیشتر از ۴۰ سانتی‌متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان حدود ۰/۴ تا ۰/۷ متر بر ثانیه باشد. نتایج مطالعات دیگر نشان می‌دهد فاکتور سرعت و عمق دو فاکتور غالب و مؤثر در ترجیح زیستگاهی و پراکنش ماهیان در رودخانه هستند [۱، ۹ و ۱۶].



شکل ۶. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی (عمق، سرعت و شاخص کانال) سیاه‌ماهی در رودخانۀ قره‌سو

www.SID.ir

Archive of SID

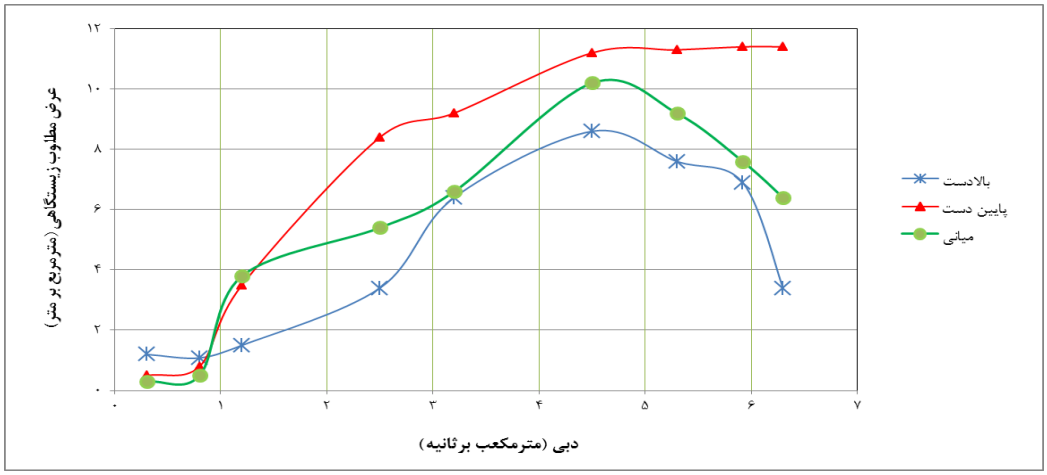
سپس، با استفاده از مدل زیستگاهی سیفا، منحنی عرض مطلوب زیستگاهی (AWS) در مقابل دبی جریان برای سیاه‌ماهی در رودخانهٔ قره‌سو استخراج شد. براساس شبیه‌سازی پارامتر عرض مطلوب زیستگاهی در جریان های رودخانه‌ای، نتایج نشان داد مطلوبیت زیستگاهی برای گونهٔ هدف در بازهٔ بالادست حداقل و در بازهٔ پایین‌دست رودخانهٔ قره‌سو حداکثر است. در شکل ۷ منحنی دبی- عرض مطلوب زیستگاهی برای سیاه‌ماهی در بازه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانهٔ قره‌سو نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در دبی‌های زیاد، عرض مطلوب زیستگاهی نیز بیشتر است. نتایج پژوهش نشان داد در دو بازهٔ بالادست و پایین‌دست رودخانهٔ قره‌سو و در ماه‌های پرآبی (اسفند- فروردین و اردیبهشت) در حداکثر دبی، مطلوب زیستگاهی سیاه‌ماهی حداکثر است. نتایج نشان داد میزان زیستگاه‌های مطلوب در دسترس برای سیاه‌ماهی در ماه‌های مختلف سال متغیر است (شکل ۸) و در ماه اردیبهشت (حداکثر دبی متوسط ماهانه) میزان مطلوبیت زیستگاهی در بالاترین مقدار است. متوسط جریان سالیانهٔ رودخانهٔ قره‌سو در ایستگاه سیاه‌آب ۱/۹۲ مترمکعب بر ثانیه است. احتمال وقوع جریان با این مقدار حدود ۳۶ درصد است. با توجه به نمونه‌برداری‌های انجام‌شده در بازه‌های مختلف منطقهٔ مطالعاتی، پراکنش ماهی در بازه‌های میانی بیشترین فراوانی را دارند (جدول ۲) و این مطلب با بررسی شکل ۸، گویای آن است که میزان مطلوبیت زیستگاهی برای گونهٔ سیاه‌ماهی در این بازه در جریان‌های با دبی کم، یعنی در ماه‌های کم‌آبی (مرداد، شهریور، آبان و آذر)، کاهش می‌یابد. نادری و همکاران [۲۸] و خالدیان و همکاران [۲۷] در بررسی کیفیت آب رودخانهٔ قره‌سو بیان کردند که در پایین‌دست رودخانهٔ قره‌سو، غلظت اکسیژن محلول کم است. به علاوه، با توجه به بازدیدهای میدانی صورت‌گرفته، جریان آب در پایین‌دست این رودخانه تلاطم کمتری دارد. این مسئله تا حدی در تغییر مکان نسبی گونه‌های ماهیان در طول رودخانهٔ قره‌سو نیز مؤثر است. روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه در تعیین جریان زیست‌محیطی، اجزای ریز اکوسیستم علاوه بر آبزیان رودخانه را در نظر می‌گیرند. ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی هر رودخانه، تعیین‌کنندهٔ زیستگاه مناسب برای انواع موجودات آبزی است [۱، ۳ و ۶]. شکل های مختلف بستر رودخانه، موضوع مهمی در شرایط اکولوژیکی و چرخهٔ مواد غذایی ماهیان در زیستگاه‌های رودخانه‌ای است. زیستگاه‌های طبیعی در رودخانه‌ها از طریق برآمدگی‌ها (خیزاب[1]) و فرورفتگی‌های (گوداب[2]) بستر، ایجاد می‌شوند و توسعه می‌یابند [۹]. ایجاد و توسعهٔ شکل‌های بستر با سلسله روابط پیچیده‌ای همراه است. از این‌رو، شکل بستر و برهمکنش آنها با ساختار جریان در توسعهٔ زیستگاه‌های طبیعی و تحکیم آنها از موضوعات مهم در ریخت‌شناسی رودخانه است [۲۶].

بررسی منحنی عرض مطلوب زیستگاهی در دبی‌های مختلف نشان داد بازهٔ بالادست رودخانه از نظر مطلوبیت پارامترهای فیزیک زیستگاه در دبی‌های مختلف، بدترین شرایط را دارد و در بازهٔ پایین‌دست رودخانه شرایط مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. از بین مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه، مدل سیفا به صورت محدود قادر به شبیه‌سازی اکسیژن محلول، با در نظر گرفتن تأثیرات دما و BOD از منابع نقطه‌ای است و قادر به شبیه‌سازی آلاینده‌های غیرنقطه‌ای نیست [۳۱]، در صورتی که سایر مدل‌های تعیین جریان زیست‌محیطی، توجهی به شبیه‌سازی کیفی جریان زیست‌محیطی ندارند [۳۲]. با توجه به توضیحات ارائه‌شده دربارهٔ عرض مطلوب زیستگاهی و میزان زیستگاه در دسترس برای گونهٔ هدف در رودخانهٔ قره‌سو، همچنین ملاحظات اکولوژیکی و میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونهٔ شاخص حفظ شود، معادل ۵۰ درصد حداکثر عرض مطلوب زیستگاهی و به تبع آن، ۷۵ درصد حداکثر عرض مطلوب زیستگاهی به عنوان سطح حفاظتی متوسط در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی ماهانهٔ پیشنهادی مدل سیفا در جدول ۵ در نظر گرفته می‌شود. مطابق با جدول ۴، حداکثر و حداقل جریان زیست‌محیطی برآوردشده برای گونهٔ سیاه‌ماهی در ماه‌های اردیبهشت و شهریور به‌ترتیب معادل ۳/۱۱ و ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه، با میانگین سالانهٔ ۱/۶ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۳ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که باید درون رودخانهٔ قره‌سو برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ سیاه‌ماهی (معادل سطح حفاظتی متوسط) برقرار باشد.

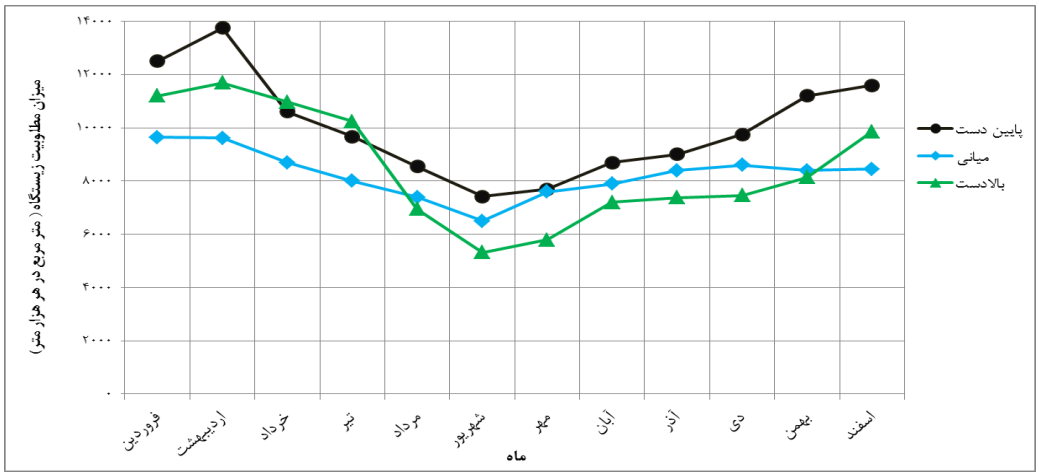
1. Riffle
2. Pool

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. منحنی دبی – عرض مطلوب زیستگاهی سیاه‌ماهی در بازه‌های مختلف رودخانهٔ قره‌سو



شکل ۸. منحنی سری زمانی میزان مطلوبیت زیستگاهی سیاه‌ماهی در بازه‌های مختلف رودخانهٔ قره‌سو

جدول ۵. توزیع ماهانهٔ جریان زیست‌محیطی پیشنهادی مدل سیفا (مترمکعب بر ثانیه)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
جریان زیست‌محیطی	۱/۱۴	۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۵۸	۱/۹۳	۱/۸۵	۲/۶۴	۳/۱۱	۲/۴۹	۱/۵۳	۰/۷۸	۰/۴۷	۱/۶

مرور مطالعات نشان می‌دهد اغلب تحقیقات داخلی از روش‌های هیدرولوژیکی برای تخمین جریان زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند. در برخی مطالعات داخلی و خارجی صورت‌گرفته به اهمیت توجه به الزامات اکولوژیکی و ناکارآمدی روش‌های بسیار سادهٔ هیدرولوژیکی اشاره شده است [۱۰، ۱۲ و ۱۷]. در حقیقت، تنها نیاز تمام روش‌های هیدرولوژیکی، داده‌های دبی رودخانه است [۴، ۱۸ و ۲۲]. معایب این روش‌ها، دقت کم، تعیین مقداری ثابت برای جریان مورد نیاز زیست‌محیطی در فصول آبی بدون در نظر گرفتن تغییرات طبیعی جریان و نوع و وضعیت موجودات زندهٔ رودخانه و نیازهای اکولوژیکی در مراحل مختلف زندگی گونهٔ هدف است [۹، ۱۰ و ۲۰]. اما در سال‌های اخیر در تحقیقات خارج از کشور تمرکز بیشتر روی تأمین الزامات زیستگاه مناسب برای آبزیان (عمق و سرعت مناسب) و بررسی ارتباط بین هیدرولوژی و تأمین الزامات اکولوژیکی رودخانه بوده است. انجام مطالعات اکولوژیکی رودخانه مستلزم زمان، هزینه و اطلاعات زیاد است و به همین دلیل، در مطالعات کمتر به تأمین این الزامات توجه شده است. این نکته واضح است که هر چه روش گسترده‌تر و پیچیده‌تر باشد، بر قابلیت دفاع‌پذیری آن افزوده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

تعیین و تخصیص جریان زیست‌محیطی جزء درونی مدیریت یکپارچهٔ منابع آب بوده و مؤثرترین نگرش برای جلوگیری از تأثیرات تنظیم جریان رودخانه‌هاست. حفاظت و ترمیم رژیم جریان رودخانه‌ها و اکولوژی وابسته به آن به‌وسیلهٔ اختصاص جریان زیست‌محیطی برای حفظ زیست‌بوم و افزایش ظرفیت اکولوژی سرزمین، در مطالعات مدیریت به‌هم‌پیوستهٔ منابع آب ضروری است. سازمان‌های مربوطه باید حقوق ذی‌نفعان و حقابهٔ پایین‌دست رودخانه را قبل از اجرای هر یک از طرح‌های توسعهٔ منابع آب رعایت کنند. بنابراین، باید مفاهیم مدیریت و ارزیابی جریان زیست‌محیطی، بین مدیران منابع آب ارتقا یابد و در برنامه‌های آمایش سرزمین و مدیریت یکپارچهٔ منابع آب در طرح‌های توسعه آبی در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر نشان داده شد روش‌های مختلف تعیین جریان زیست‌محیطی، جریان‌های مختلفی را برای نگهداری و بازطبیعی‌سازی اکوسیستم حوضهٔ رودخانهٔ قره‌سو پیشنهاد می‌کنند. با مقایسهٔ برآوردهای جریان زیست‌محیطی مشخص می‌شود تأثیر انعطاف‌پذیری و اثربخشی روش‌های ساده هیدرولوژیکی تنانت، اسمختین و منحنی تداوم جریان برای تأمین شرایط مطلوب اکوسیستمی رودخانهٔ مطالعه‌شده کافی نیست. بررسی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد رهاسازی جریان در بالادست رودخانهٔ قره‌سو با مدیریت صحیحی همراه نبوده است و پس از برداشت‌های انجام‌شده برای مصارف کشاورزی، جریان بسیار محدود شده و پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان نیست. با توجه به تغییرات فصلی جریان و عرض مطلوبیت زیستگاهی، می‌توان گفت که تنها در مقاطع میانی و پایین‌دست پس از پیوستن سرشاخه‌های بالایی رودخانه، با افزایش عمق جریان در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت، نیازهای اکولوژیک گونهٔ آبزی هدف تأمین شده است. در مطالعهٔ حاضر، مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه سیفا را به عنوان رویکردی نو در آنالیز جریان زیست‌محیطی رودخانهٔ قره‌سو مطرح می‌کند. نتایج بررسی‌ها نشان داد حداکثر عرض مطلوب زیستگاهی برای گونهٔ سیاه‌ماهی در رودخانهٔ قره‌سو در بازهٔ پایین‌دست و در دبی جریان ماه‌های پرآبی بوده و بر این اساس در مدیریت اکوسیستمی رودخانه باید حداکثر و حداقل شدت جریان در ماه‌های اردیبهشت و شهریور به ترتیب معادل ۳/۱۱ و ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه برقرار باشد. نکتهٔ درخور توجه اینکه روش‌های هیدرولوژیکی بدون در نظر داشتن شرایط زیستی-هیدرولوژیکی رودخانه‌ها عمل می‌کنند و در مقابل روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه می‌توانند نزدیک‌ترین جواب به حالت طبیعی رودخانه‌ها را به منظور نگهداری از تنوع زیستی آبزیان و حفظ اجزای مهم اکولوژیکی رژیم جریان طبیعی ارائه دهند. با توجه به موارد یادشده می‌توان پذیرفت که اگر برداشت آب از رودخانهٔ قره‌سو به‌دقت مدیریت شود، می‌توان تأثیرات کاهش جریان روی موجودات زنده و فرایندهای رسوبی که سبب حفاظت از مورفولوژی رودخانه می‌شود را به حداقل رساند، یا دست‌کم در سطح قابل قبولی نگه داشت. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد نیاز فراوانی به مدل مدیریت زیستگاهی سیفا به منظور زمان‌بندی تنظیم جریان و بررسی آثار کاهش جریان آب در سامانهٔ حیاتی رودخانه وجود دارد. با استمرار گام‌های برداشته‌شده در زمینهٔ ارزیابی علم جریان درون‌رودخانه‌ای و حفاظت جریان زیست‌محیطی، نه تنها شرایط اکولوژیکی و زیستگاه‌های رودخانه‌ای بهبود می‌یابد، بلکه سبب ایجاد فرصت بهتری برای انعطاف‌پذیری در سطح مدیریت زیستی رودخانه و موفقیت‌آمیز بودن پروژه‌های احیا و بازطبیعی‌سازی در طرح‌های توسعهٔ منابع آب در سامانهٔ رودخانه می‌شود. در ضمن، استفاده از مدل inSTREAM در زمینهٔ شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای با توسعهٔ رویکرد بیوانرژی (بررسی تأثیر هم‌زمان عوامل زیستی، غیرزیستی، هیدرولیکی و ویژگی‌های مورفومتری آبزی بر توزیع انرژی) برای مدیریت و مهندسی اکوسیستم رودخانه و تخمین جریان‌های اکولوژیک، به عنوان مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر حاصل مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای گسترده در راستای حفاظت و باززنده‌سازی زیستگاه ماهیان رودخانه قره‌سو استان گلستان در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد به رشته تحریر درآمده است. نویسندگان مقاله از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر IAN G. JOWETT از کشور نیوزلند و دکتر مهدی صدیق‌کیا، همراهی و همکاری تیم عملیات میدانی، کمال امتنان و قدردانی را می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1]. Tabatabai MM, Nadushan RM, Hashemi S. Impact of hydrogeomorphic processes on ecological functions of brown trout habits impact of hydrogeomorphic processes on brown trout habits. International Journal of Environmental Science and Technology. 2017; 14(8): 1757-1770.

[2]. Cooper AR, Infante DM, Daniel WM, Wehrly KE, Wang L, Brenden TO. Assessment of dam effects on streams and fish assemblages of the conterminous USA. Science of the Total Environment. 2017; 586: 879-889.

[3]. Stamou A, Polydera A, Papadonikolaki G, Martinez-Capel F, Munoz-Mas R, Papadaki C, and Dimitriou E. Determination of environmental flows in rivers using an integrated hydrological-hydrodynamic-habitat modelling approach.Journal of environmental management. 2018;209: 273-285.

[4]. Fahadiyan M, Bozorg-Haddad O, Pazooki M, Seifollahi-Aghmiuni S. Determine the optimal release flow rate from the dam reservoir, taking into account the quantitative and qualitative river requirements. Journal of Ecology. 2017; 43: 163-180. [Persian]

[5]. Ahn JM, Kwon HG, Yang DS, Kim YS. Assessing environmental flows of coordinated operation of dams and weirs in the Geum River basin under climate change scenarios. Science of The Total Environment. 2018; 643: 912-925.

[6]. Langhans SD, Gessner J, Hermoso V, Wolter C. Coupling systematic planning and expert judgement enhances the efficiency of river restoration. Science of the Total Environment. 2016; 560: 266-273.

[7]. Mrozinska N, GlinskaLewczuk K, Burandt, P, Kobus S, Gotkiewicz W, Szymanska M, Bakowska M, Obolewski K. Water Quality as an Indicator of Stream Restoration Effects—A Case Study of the Kwacza River Restoration Project. Water. 2018; 10(9): 1-19.

[8]. Macura V, Stefunkova ZS, Majorosova M, Halaj P, Skrinar A. Influence of discharge on fish habitat suitability curves in mountain watercourses in IFIM methodology. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2018; 66(1): 12-22.

[9]. Naderi MH, Zakerinia M, Salarijazi M. Investigation of Ecohydraulic Indices in Environmental Flow Regime and Habitat Suitability Simulation Analysis using River2D Model with Relying on the Restoration Ecological in Zarrin-Gol River. Journal of Ecohydrology. 2019; 6(1): 205-222. [Persian]

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

[11]. Razzaghi Rezaeieh A, Ahmadi H, Haghdoust NA, Hessari B. The evaluation of river environmental flow by using the ecohydrological methods (Case study: Mahabad-Chai River). Journal of Water and Soil Conservation. 2019; 25(6): 47-65. [Persian]

[12]. Overton IC, Smith DM, Dalton J, Barchiesi S, Acreman MC, Stromberg JC, Kirby JM. Implementing environmental flows in integrated water resources management and the ecosystem approach.Hydrological Sciences Journal. 2014;59(3-4): 860-877.

[13]. Esmaili K, Sadeghe Z, Kaboli A, Shafaei H. Application Hydrological methods for estimating River Environmental water rights (Case Study of Gorganroud River). Journal of Natural Environmenatal (Iranian Journal of Natural Recorces). 2018; 71(4): 437-451. [Persian]

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

[15]. Shahriari Nia E, Asadollahfardi G, Heidarzadeh NStudy of the environmental flow of rivers, a case study, Kashkan River, Iran. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. 2016; 65(2):181-94.

[16]. Sedighkia M, Ayyoubzadeh SA, Hajiesmaeli M. Modification of Tennant and Wetted Perimeter Methods in Simindasht Basin, Tehran Province. Civil Engineering Infrastructures Journal. 2017; 50: 221-231.

[17]. Zarakani M, Shookohi A, Pising V. Introducing a comprehensive ecological diet in the absence of data to determine the true environmental status of rivers. Iranian Water Resources Research Journal. 2017; 13(2): 140-153. [Persian]

[18]. Gopal B. Environmental Flows: An Introduction for Water Resources Managers. National Institute of Ecology, New Delhi. 2013; pp 248.

[19]. Zhang Q, Xiao M, Liu CL, Singh VP. Reservoir-induced hydrological alterations and environmental flow variation in the East river, the Pearl river basin, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2014; 28 (8): 2119-2131.

www.SID.ir

Archive of SID

[20]. Verma RK, Murthy S, nd Tiwary RK. Assessment of environmental flows for various sub-watersheds of Damodar river basin using different hydrological methods. Journal Waste Resources. 2015; 5(182): 2.

[21]. Karakoyun Y, Yumurtaci Z, Donmez AH. Environmental flow assessment for energy generation sustainability employing different hydraulic evaluation methods: Cambasi hydropower plant case study in Turkey. Clean Technologies and Environmental Policy. 2016; 18(2): 583-591.

[22]. Yasi M, Ashori M. Environmental flow contributions from in-basin rivers and dams for saving Urmia lake.Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering.2017; 41 (1): 55-64.

[23]. Cheng F, Li W, Castello L, Murphy BR, nd Xie S. Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2015; 25(3): 569-585.

[24]. Hajdukiewicz H, Wyzga B, Amirowicz A, Oglecki P, Radecki-Pawlik A, Zawiejska J, Mikus P. Ecological state of a mountain river before and after a large flood: Implications for river status assessment. Science of the Total Environment. 2018; 610: 244-257.

[25]. Talukdar S, Pal S. Impact of dam on flow regime and flood plain modification in Punarbhaba River Basin of Indo-Bangladesh Barind tract. Water Conservation Science and Engineering. 2018; 3(2): 59-77.

[26]. Operacz A, Walega A, Cupak A, Tomaszewska B. The comparison of environmental flow assessment-The barrier for investment in Poland or river protection?. Journal of cleaner production. 2018; 193: 575-592.

[27]. Khaledian Y, Ebrahimi S, Natesan U, Basatnia N, Nejad BB, Bagmohammadi H, Zeraatpisheh M. Assessment of water quality using multivariate statistical analysis in the Gharaso River, Northern Iran. In Urban ecology, water quality and climate change. 2018; 227-253.

[28]. Naderi MH, Zakerinia M, Salarijazi M. Evaluation of the Influential Factors on Water Quality Components of Qarasoo River in Golestan Province. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2018; 12(5): 1240.1252. [Persian]

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

[30]. Kazemi R, Ghermez Cheshmeh B. Investigation of different base flow separation methods using flow duration indices (Case study: Khazar region). Journal of Water and Soil Conservation. 2016; 23(2): 131-146. [Persian]

[31]. Jowett I, Payne T, Milhous R. System for Environmental Flow Analysis Software Manual Version 1.21. Aquatic Habitat Analysts, Inc. 2014; pp 223.

[32]. Ayyoubzadeh SA, Sedighkia M, Hajiesmaeili M. Ecohydraulics and Simulation of River Habitats.Water Engineering Research Institude Tarbiat Modares University. 2018; pp 252. [Persian]

[33]. Naderi MH. Evaluation Environmental Flow of River Using of Hydrological and Habitat Simulation Methods (Case Study: The Qarasoo River, species *C.capoeta*). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2018; pp 195. [Persian]

[34]. Abdoli A., Naderi M. Biodiversity of Fishes of the Southern Basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication. 2009; pp 242. [Persian]

[35]. Lotfi, A. Guideline on rapid assessment of environmental features of rivers. Environment Protection Department of Iran Publication. 2012; pp 120. [Persian]

www.SID.ir