

بررسی شاخص های جریان زیست محیطی و مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM در برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه اکولوژیکی از مخزن سد لتیان

محمدحسن نادری^{۱*}، مرضیه باقری خانقاهی^۲، میثم سالاری جزی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

چکیده

در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب و مدیریت اکوسیستمی رودخانه های تنظیم شده، ضرورت دارد تأثیر جنبه های مختلف رژیم طبیعی جریان رودخانه در تعیین نیاز جریان مطلوب اکولوژیکی در چارچوب پروژه های سد و نیروگاه برق آبی، در نظر گرفته شود. تعیین جریان زیست محیطی یکی از روش های مؤثر است که می تواند پتانسیل مناسبی برای کاهش تأثیرات منفی تنظیم رودخانه و محافظت زیستگاه ایجاد کند. در این مطالعه، از سه روش مبتنی بر هیدرولوژی، روش تنانت، کمبود جریان اکولوژیکی و روش تغییرپذیری شاخص های هیدرولوژیکی برای ارزیابی جریان زیست محیطی و از مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM برای به دست آوردن مطلوبیت زیستگاه و رژیم جریان اکولوژیکی در پایین دست سد لتیان استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، جریان زیست محیطی با ترکیب روش های هیدرولوژیکی و شبیه سازی زیستگاه در محدوده ۱۸/۵۵-۲/۵ مترمکعب بر ثانیه به عنوان میزان جریان رهاسازی مورد نیاز، که باعث پایداری گونه های ماهی و زیستگاه رودخانه جاجرود می شوند، محاسبه شدند. ماه های کم جریان (تیر تا آبان) در مقایسه با ماه های پرآبی جریان (اسفند تا خرداد)، نیاز خواهد بود نسبت بیشتری از متوسط جریان ماهانه نسبت به میانگین جریان سالانه (در محدوده ۳۶-۱۳ درصد) به عنوان حداقل جریان مورد نیاز زیست محیطی در نظر گرفته شود. سرانجام این نتیجه به دست آمد که دبی رودخانه جاجرود کمتر از نیاز آبی اکولوژیکی است که نشان می دهد میزان دبی آب مناسب را برای گونه های آبی فراهم نمی کند. از سوی دیگر، مقدار کلی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانه جاجرود ۶۴ درصد محاسبه و مقدار متوسط جریان ماهانه و جریان حداکثر به ترتیب ۷۳ و ۸۲ درصد، در مقایسه با قبل از احداث سد لتیان، کاهش یافته است. این مطالعه چارچوبی مفید برای رهاسازی جریان مطلوب از مخزن سد با در نظر گرفتن تجزیه و تحلیل شرایط طبیعی هیدرولوژیکی و اکولوژیکی زیستگاه های آبی به منظور احیا و مدیریت اکوسیستم رودخانه ارائه می دهد.

واژه های کلیدی:

زیستگاه رودخانه، رژیم طبیعی جریان، رودخانه جاجرود، منابع آب، میانگین جریان سالانه

مقدمه

و این امر باعث نادیده گرفتن نیاز آبی درون رودخانه به عنوان اولین ذی نفع، می شود (Sedighkia & Datta, 2023); رژیم های جریان از بسیاری از فرآیندهای اکولوژیکی اساسی و عملکردهای مورد نیاز برای حفظ رودخانه های سالم حمایت و نگهداری می کنند (Sahami et al., 2022).

نیروگاه های برق آبی، منبع اصلی انرژی های تجدیدپذیر هستند که پیک های روزانه تقاضای برق را تأمین می کنند (Judes et al., 2023). مخزن سد، آب رودخانه را برای تأمین نیازهای تولید برق، کشاورزی و شرب، تنظیم می کند

هیدرولوژیکی اکوسیستم های آب شیرین تغییر یافته در قوانین آب خود گنجانده اند (Wang؛ Naderi et al., 2020)؛ (Stamou et al., 2018؛ et al., 2018) ، از این رو یکی از موضوع های مهم در زمینه بهره برداری از منابع آب، به ویژه مخازن سدها، توجه به موضوع پایش زیست محیطی در مرحله بهره برداری از سد و تعیین حقایق زیست محیطی اکوسیستم های پایین دست است. با این حال، اثبات سیاست های تخصیص جریان زیست محیطی دشوار به نظر می رسد. آنچه از تحقیقات مختلف استنباط می شود این است که لحاظ نکردن جریان زیست محیطی رودخانه نقطه ضعفی در برنامه ریزی های جامع منابع آب است (Mianabadi et al., 2021؛ Sedighkia et al., 2023)؛ (Boavida et al., 2020). در دهه های اخیر، مدیریت جریان زیست محیطی شاهد پیشرفت های چشمگیری در زیربنای علمی بوده است، با این حال اثربخشی ارزیابی و اجرای جریان های زیست محیطی در عمل هنوز با چالش هایی روبه روست مانند: (۱) اثربخش نبودن در احیای اکولوژیکی (عدم پیشرفت مورد انتظار) و (۲) وجود تعارض بین تقاضای آب زیست محیطی و منافع اقتصادی و اجتماعی (Ban et al., 2022). پیچیدگی اکولوژیکی قابل توجه از جمله هدف های زیست محیطی متعدد، روش های مختلف برای ارزیابی نتایج، تنوع قابل توجه هیدرولوژیکی در سیستم های رودخانه ای و ابعاد متعدد فرآیندهای هیدرولوژیکی موجب شده است توانایی تجویز و تخصیص جریان های زیست محیطی با مشکل روبه رو شود. به طور کلی، «جریان زیست محیطی» به «جریان اصلی و مناسب زیست محیطی» تقسیم می شود (Naderi et al., 2022). اولی «حداقل جریان برای نیازهای اساسی اکوسیستم های رودخانه» و دومی «مناسب ترین جریان برای ایجاد زیستگاه مطلوب رودخانه ها» است (Kim et al., 2022).

امروزه با توجه به تصمیم گیری در مورد مسائل مدیریت پایدار منابع آب برای تدوین برنامه مدیریت حوضه آبخیز، در مطالعات ارزیابی جریان زیست محیطی در مواجهه با برداشت بی رویه آب از رودخانه ها، این مطلب را قلمداد

(al., 2022). فعالیت های انسانی مانند ساخت سد یا منحرف کردن آب باعث تغییر قابل توجه الگوهای جریان طبیعی شده است (Ban et al., 2022؛ Kim et al., 2022). مدیریت آب از طریق سدسازی و برداشت، جریان آب رودخانه را نیز کاهش می دهد (Wang et al., 2022؛ Hamidifar et al., 2022). به عقیده بسیاری از محققان، سدها باعث تغییر قابل توجه الگوهای جریان طبیعی رودخانه ها در سراسر جهان می شوند (Naderi et al., 2022؛ Karimi et al., 2021)؛ (Sofi et al., 2020). از سوی دیگر، عملیات نیروگاه برق آبی در پاسخ به تغییرات تقاضای انرژی در جامعه و تولید برق می تواند نوسان های سریع و مکرر رهاسازی جریان را در رودخانه های پایین دست ایجاد کند. این پدیده که در ناهمگونی جریان در مسیر رودخانه و افزایش ناهمگونی ساختار مطلوب زیستگاه موجودات رودخانه تأثیر دارد، ممکن است بر جمعیت ماهی ها تأثیر منفی بگذارد (Yu et al., 2023؛ Sedighkia & Datta, 2023)؛ (Judes et al., 2023)؛ (al., 2021). به طور خاص، سدهای بزرگ امروزه یکی از عوامل اصلی تنش را در اکوسیستم های آب شیرین شناخته می شوند، زیرا رژیم جریان دینامیکی طبیعی رودخانه ها را مختل می کنند. این رژیم جریان طبیعی نقش اساسی در شکل گیری زیستگاه های رودخانه ای و جوامع زیست شناختی، تحریک استراتژی های تاریخ زندگی گونه های آبی، حفظ اتصال جانبی و طولی و کنترل مهاجم گونه های مهاجم و غیربومی در رودخانه ها دارد (Sedighkia et al., 2023؛ Naderi et al., 2021). از طرفی، نتایج دیگر پژوهش ها نشان می دهد که احداث سد تأثیر مثبت بر تأمین جریان های کمینه دارد که برای حفاظت از زیست بوم های رودخانه ای با اهمیت است (Shi et al., 2019؛ Kuriqi et al., 2019)؛ (Zhang et al., 2018). احداث سد همچنین موجب کنترل سیلاب و تأمین آب مورد نیاز بخش های صنعت، کشاورزی و شرب می شود.

در پاسخ به این چالش ها، بسیاری از کشورها جریان های زیست محیطی را برای کاهش تغییرات هیدرولوژیکی و کاهش تخریب اکوسیستم ایجاد کرده اند و در همین راستا جریان های زیست محیطی را برای بهبود شرایط

مطالعات متعدد این واقعیت را نیز نشان داده‌اند که ارزیابی شرایط اکوهیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌ها، باید گامی اساسی در ارزیابی شرایط اکولوژیکی رودخانه و درک ارتباط بهتر پیوستگی فرآیندهای رودخانه‌ای و در نهایت مدیریت بهینه رودخانه در نظر گرفته شوند (Ban et al., 2022؛ Naderi et al., 2022؛ Wang et al., 2018؛ Kim et al., 2022). در زمینه بررسی و تحلیل مباحث مربوط به کاربرد شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تحلیل جریان زیست‌محیطی، نقش رژیم هیدرولوژیکی و متغیرهای هیدرولیکی بر میزان مطلوبیت زیستگاه جوامع بیولوژیکی، و مدیریت جریان‌های زیست‌محیطی برای پایداری اکوسیستم‌های رودخانه‌ای تحقیقاتی شده است که به‌نتایج بعضی از آنها اشاره می‌شود. کوریکی و همکاران (Kuriqi et al., 2019) در پژوهشی رایج‌ترین تاثیرهای اکولوژیکی نیروگاه‌های برق‌آبی بر جنبه‌های مختلف اکوسیستم رودخانه (موجودات آبی، تغییرات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی) را کاهش کیفیت آب، کاهش جریان آب در پایین‌دست سد، از بین رفتن اتصال طولی و تخریب زیستگاه، عنوان کردند. بر اساس نتایج تحقیقات آنها، یکی از راهکارهای کاهش اثرهای اکولوژیکی تخریب زیستگاه آبیان، برقراری جریان زیست‌محیطی مطلوب برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه است. بنابراین، برای محاسبه متغیرهای جریان اکولوژیکی در حفظ اتصال بین سیلاب‌دشت و بستر رودخانه و تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی باید تلاش‌های بیشتری بشود. مریک (Meric, 2022) ارزیابی اثرهای اکولوژیکی یکپارچه نیروگاه‌های برق‌آبی و سازه‌های هیدرولیکی بر اکوسیستم رودخانه‌ای در شرایط اقلیمی و جغرافیایی ترکیه را مطمئن‌ترین روش تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی، بیان کرد. در پژوهش حمیدی‌فر و همکاران (Hamidifar et al., 2022) با ارزیابی تاثیر احداث سد برق‌آبی ملاصدرا بر رژیم طبیعی جریان رودخانه کر و روش‌های مختلف

کرده‌اند که پتانسیل جریان رودخانه به‌طور مؤثری در تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی، حفظ تعادل فرآیندهای اکولوژیکی، حفاظت از پوشش گیاهی آبی و کنار رودخانه‌ای و پراکنش و فراوانی ماهیان تأثیرگذار است و تنظیم نامناسب جریان‌های رودخانه‌ای، می‌تواند باعث حذف تدریجی گونه‌های ماهی در زیستگاه‌های آبی شود (Stamou et al., 2018؛ Sedighkia et al., 2023؛ Kim et al., 2022). از سوی دیگر، عملکرد پوشش گیاهی ساحلی ارتباط نزدیکی با هیدرولوژی رودخانه و دینامیک دشت‌سیلابی دارد، به‌طوری که تغییرات در جریان بر ترکیب و عملکرد پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (Kuriqi et al., 2019). رژیم جریان رودخانه با پنج مؤلفه اصلی مشخص می‌شود: مقدار، فراوانی، تداوم، زمان‌بندی و میزان تغییر. تغییرات در هر جزء رژیم جریان می‌تواند بر ساختار و عملکرد اکوسیستم ساحلی تأثیر بگذارد. برای مثال، تثبیت جریان یا کاهش در تنوع بزرگی می‌تواند منجر به تهاجم گونه‌های غیربومی، کاهش استقرار و کاهش میزان رشد پوشش گیاهی شود. از دست دادن جریان‌های زیاد فصلی (زمان‌بندی) می‌تواند میزان رشد پوشش گیاهی را کاهش دهد که منجر به نابودی بیشتر گیاهان می‌شود و تهاجم گونه‌های ساحلی را به داخل آبراهه کانال اصلی رودخانه تقویت می‌کند (Meric, 2022). رویدادهای جریان کم طولانی مدت مربوط به تغییرات در جریان (تداوم) باعث کاهش پوشش گیاهی و کاهش تنوع گونه‌های گیاهی می‌شود. وقوع سریع سیل می‌تواند استقرار نهال‌های درختان را در دشت سیلابی ناممکن کند. ترکیبی از این تغییرات جریان به کاهش تنوع گونه‌های ساحلی و تغییر در ترکیب تنوع زیستی ساحلی رودخانه می‌انجامد. موفقیت باروری ماهی به اتصال جانبی (رودخانه-دشت سیلابی) نیز بستگی دارد، زیرا تخم‌بسیاری از گونه‌های ماهیان، رشد خود را در دشت سیلابی کامل می‌کند (Kim & Yu et al., 2021؛ Choy, 2019).

روش شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه در تعیین میزان جریان مطلوب برای بهبود کیفیت زیستگاه ماهیان در بلند مدت. بر این اساس، در مطالعه حاضر مدل‌سازی اکوهیدرولیکی زیستگاه ماهیان به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای مدیریت جریان رودخانه و ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی تغییرات پارامترهای فیزیکی در رودخانه‌ها، ضروری قلمداد می‌شود.

در این پژوهش، با توجه به مطالعات گسترده میدانی و کتابخانه‌ای سعی می‌شود برای نخستین بار گام‌های ارزشمند در شناسایی تعادل بین نیازها برای مصارف مختلف از نظر اجتماعی، اقتصادی و حفظ رژیم طبیعی رودخانه معرفی شود. روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، محدوده تغییرپذیری و کمبود جریان اکولوژیکی و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه و با درک مشخصه‌های اکولوژیکی - اکوهیدرولیکی رژیم جریان و نیز پویایی جمعیت ماهیان، به‌منظور برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد لتیان بررسی می‌شود، و سناریوهای نیاز آب اکولوژیکی برای حفظ پتانسیل مطلوب رودخانه جاجرود در پایین‌دست سد، راهکارهای مفید و موثر برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان، جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی آبی و کنار رودخانه‌ای تحلیل می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

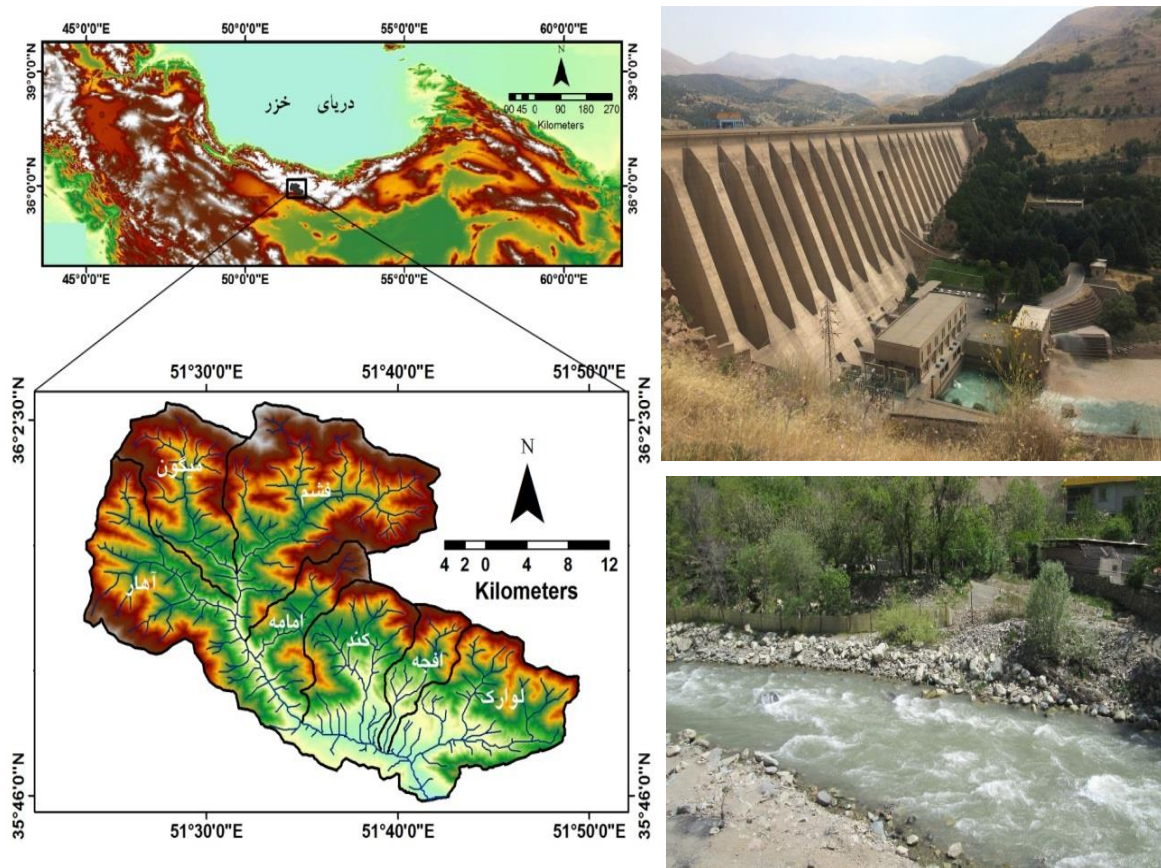
منطقه مورد مطالعه رودخانه جاجرود، حدفاصل سد لتیان در شمال و سد ماملو در جنوب منطقه بخشی از حوضه آبریز لواسانات است که از شمال به حوضه آبریز رودخانه لار، از جنوب به دشت ورامین و رودخانه شور و از شرق به حوضه آبریز حبله‌رود و از غرب به حوضه‌های تهران و رودخانه کرج محدود گردیده است. حوضه آبخیز جاجرود

هیدرولوژیکی برای تعیین جریان زیست‌محیطی، مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنها، تأمین جریان زیست‌محیطی در برخی ماه‌ها به طور متوسط در شرایط نسبتاً قابل قبولی بوده، اما عدم رهاسازی جریان در زمان و به مقدار مناسب، منجر به از بین رفتن تعادل مورفولوژیکی رودخانه و اختلال در وضعیت طبیعی زیستگاه‌های تخم‌ریزی ماهی شده است. همچنین نادری و همکاران (Naderi et al., 2022) سناریوهای تنظیم، مقدار و زمان‌بندی رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه کردان مبتنی بر شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهی و سری تاریخی داده‌های جریان روزانه در شرایط طبیعی و تغییر یافته تحت تأثیر بند انحرافی را بررسی و ارزیابی کردند و نشان دادند تنظیم طولانی مدت جریان رودخانه در الگوهای جریان طبیعی، اختلال ایجاد می‌کند و مقدار جریان در مناطق پایین‌دست را به مقیاس‌های کم، محدود می‌کند.

در ایران، رودخانه‌ها به شدت تحت تأثیر بیش از ۱۸۵ سد بزرگ تنظیم شده‌اند. ساخت آنها کمک قابل توجهی به توسعه اجتماعی - اقتصادی کشور در دهه‌های ۷۰ تا ۹۰ کرده است. با این حال، اکوسیستم‌های آب شیرین در رودخانه‌های ایران به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات رژیم جریان مربوط به سد قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، اکثر تحقیقات گذشته با هدف ارزیابی جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌های کشور ایران، تنها به کاربرد برخی روش‌های هیدرولوژیکی مانند روش تنانت متمرکز شده‌اند که در سطح جهان اعتبار چندانی ندارند. برای بهبود رضایت‌مندی از نیازهای اکولوژیکی رودخانه و کاهش اختلاف بین رهاسازی جریان از مخزن سد و جریان طبیعی اکولوژیکی و نیز برای متعادل‌سازی نیازهای مختلف، ضروری است روش‌های معتبر و قابل قبول بررسی شوند از جمله روش‌های هیدرولوژیکی با عملکرد واقع‌گرایانه در بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی جریان در سال‌های مرطوب و خشک مانند روش محدوده تغییرپذیری و کمبود جریان اکولوژیکی، و نیز

برای محاسبات هیدرولوژیکی است که در ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است، که یک ایستگاه درجه یک و تجهیزات موجود در آن شامل اشل، لیمنوگراف و پل تلفریک است. بر اساس آمار و اطلاعات دوره ۷۲ ساله (سال ۱۳۲۴ تا ۱۳۹۵) ایستگاه هیدرومتری لتیان، دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه^۱ رودخانه جاجرود در ماه اردیبهشت و برابر ۱۹/۹۴ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه مهر و برابر ۱/۶۲ مترمکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه^۲، ۶/۸۲ مترمکعب بر ثانیه است.

با مساحتی حدود ۱۸۹۰ کیلومتر مربع از مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست است که بین مختصات جغرافیایی ۵۱°۲۲' تا ۵۴°۵۲' طول شرقی و ۳۵°۴۵' تا ۳۶°۵۰' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه دارای زمستان‌های سرد، تابستان‌های گرم و براساس اقلیم نمای دومارتن، دارای اقلیم نیمه خشک سرد است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه حدود ۲۶۵ میلی‌متر است که رژیم مدیترانه‌ای را تداعی می‌کند که دارای رژیم برفی بارانی است (Shafie et al., 2023). همچنین حداکثر، حداقل و متوسط دما در منطقه به ترتیب ۲۲، ۹ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. لتیان، ایستگاه هیدرومتری استفاده شده



شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه جاجرود و نمای از سد لتیان و رودخانه جاجرود
 Fig. 1- Location of the Jajrood river basin and a view of the Latyan dam and Jajrood river

2- Mean Annual Flow: MAF

1- Mean Monthly Flow: MMF

روش های تعیین جریان اکولوژیکی

برای بررسی سناریوهای مختلف برآورد رژیم جریان اکولوژیکی زیستگاه رودخانه جاجرود، در پژوهش حاضر روش های هیدرولوژیکی تنانت، شاخص تغییرات هیدرولوژیکی و کمبود جریان اکولوژیکی و مدل شبیه سازی مطلوبیت زیستگاه به کار گرفته شدند. در اینجا به شرح مبانی و اصول اولیه این روش ها، پرداخته می شود.

روش های هیدرولوژیکی از پر کاربردترین روش های ارزیابی جریان زیست محیطی هستند (Karimi et al., 2021؛ Zhang et al., 2018). این روش ها بر این فرض بنا شده اند که نیازهای اکولوژیکی توسط شرایط هیدرولوژیکی منعکس می شوند. جریان زیست محیطی با استفاده از روش های هیدرولوژیکی، بر اساس شاخص های رژیم هیدرولوژیکی، مانند میانگین جریان سالانه، متوسط جریان کم آبی و مقادیر حاصل از منحنی های تداوم جریان تعیین می شود (Wu et al., 2022؛ Hamidifar et al., 2022). روش های هیدرولوژیکی برای استفاده در تعیین جریان زیست محیطی شامل دو دسته روش های جریان ثابت و روش های جریان متغیر است. روش های جریان ثابت، مقدار واحدی از جریان زیست محیطی را تعیین می کنند که برای کل سال هیدرولوژیکی معتبر است (Sofi et al., 2020). این مقدار از میانگین جریان سالانه، متوسط جریان کم آبی محاسبه می شود. از روش های جریان متغیر برای یافتن مقدار متغیر جریان زیست محیطی بر اساس شاخص های هیدرولوژیکی استفاده می شود و بر این اساس، متغیرهای جریان طبیعی و فصلی در نظر گرفته می شوند (Zhang et al., 2021؛ Mianabadi et al., 2021؛ Shi et al., 2019). (al., 2015).

روش های هیدرولوژیکی

روش تنانت

پرکاربردترین و شناخته شده ترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین و ارزیابی جریان درون رودخانه ای مورد نیاز ماهی ها، روش تجربی پیشنهاد شده «تنانت» است (Hamidifar et al., 2022؛ Naderi et al., 2020). روش تنانت برای قضاوت در مورد زیستگاه انتخابی و جریان پایه اکولوژیکی در دوره های مختلف، امکان ایجاد روابط بین درصد مشخصی از میانگین جریان سالانه و کیفیت زیستگاه های ماهیان را بدون در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولیکی و تنها با استفاده از هیدروگراف رودخانه، فراهم می کند (Sahami et al., 2022؛ Karimi et al., 2021).

روش شاخص های تغییر هیدرولوژیکی

برای ارزیابی ویژگی ها و اثرهای اکولوژیکی تغییرات رژیم جریان، شاخص های هیدرولوژیکی اغلب برای تعیین کمیت میزان تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از مخازن یا سدها مورد نیاز هستند. معیارهای گسترده ای که برای توصیف تغییرات رژیم جریان رودخانه استفاده می شود، شاخص های تغییر هیدرولوژیکی هستند که بر اساس ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی در پنج گروه میزان جریان ماهانه، مقدار و مدت جریان های شدید سالانه، فراوانی و مدت زمان پالس های بالا و پایین و سرعت و فراوانی تغییرات جریان قرار می گیرند (Shi et al., 2019). ارزیابی منطقی از تغییر رژیم هیدرولوژیکی پیش شرط استفاده از جریان رودخانه، احیا و محافظت از آن است. تغییر هیدرولوژیکی به عنوان تغییر در شاخص های مختلف مشخص شده توسط روش محدوده تغییرپذیری، تعیین می شود (Mianabadi et al., 2021؛ Zhang et al., 2018). سی و سه پارامتر شاخص های تغییرات هیدرولوژیکی در ۵ گروه، طبقه بندی می شوند و هر گروه دارای اهمیت اکولوژیکی، متفاوت است (جدول ۱).

جدول ۱- سی و سه پارامتر شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی

Table 1- The 33 indicators of hydrologic alteration

گروه ۳- زمان وقوع جریان حدی		گروه ۲- مقدار و مدت وقایع حدی (حداقل و حداکثر سالانه)		گروه ۱- میزان آبدهی ماهانه	
Group 3: Timing of annual extreme water conditions		Group 2: Magnitude and duration of annual extreme water conditions (annual minimum and maximum)		Group 1: Magnitude of monthly water conditions	
شماره روز وقوع حداقل جریان سالانه Julian date of each annual 1-day minimum	IHA25	حداقل ۱ روزه 1 d minimum	IHA13	میانگین جریان ماه دی Mean flow in January	IHA1
شماره روز وقوع حداکثر جریان سالانه Julian date of each annual 1 day maximum	IHA26	حداقل ۳ روزه 3 d minimum	IHA14	میانگین جریان ماه بهمن Mean flow in February	IHA2
گروه ۴- تناوب و مدت تداوم پالس‌های کم و زیاد جریان		حداقل ۷ روزه 7 d minimum	IHA15	میانگین جریان ماه اسفند Mean flow in March	IHA3
Group 4: Frequency and duration of high and low pulses					
تعداد پالس جریان پرآبی number of high pulses within each water year	IHA27	حداقل ۳۰ روزه 30 d minimum	IHA16	میانگین جریان ماه فروردین Mean flow in April	IHA4
تداوم پالس جریان پرآبی mean or median duration of high pulses (days)	IHA28	حداقل ۹۰ روزه 90 d minimum	IHA17	میانگین جریان ماه اردیبهشت Mean flow in May	IHA5
تعداد پالس جریان کم‌آبی number of low pulses within each water year	IHA29	حداکثر ۱ روزه 1 d maximum	IHA18	میانگین جریان ماه خرداد Mean flow in June	IHA6
تداوم پالس جریان کم‌آبی mean or median duration of low pulses (days)	IHA30	حداکثر ۳ روزه 3 d maximum	IHA19	میانگین جریان ماه تیر Mean flow in July	IHA7
گروه ۵- میزان و فراوانی تغییرات وضعیت جریان		حداکثر ۷ روزه 7 d maximum	IHA20	میانگین جریان ماه مرداد Mean flow in August	IHA8
Group 5: Rate and frequency of water condition changes					
میزان افت rise rates	IHA31	حداکثر ۳۰ روزه 30 d maximum	IHA21	میانگین جریان ماه شهریور Mean flow in September	IHA9
میزان افزایش fall rates	IHA32	حداکثر ۹۰ روزه 90 d maximum	IHA22	میانگین جریان ماه مهر Mean flow in October	IHA10
تعداد برگشت‌های هیدرولوژیکی number of hydrologic reversals	IHA33	تعداد روزهای جریان صفر number of zero-flow days	IHA23	میانگین جریان ماه آبان Mean flow in November	IHA11
-	-	شاخص جریان پایه Base flow index	IHA24	میانگین جریان ماه آذر Mean flow in December	IHA12

جریان‌های شدید، زمان وقوع جریان‌های شدید، فراوانی و مدت زمان افزایش و کاهش جریان‌های آب و فراوانی تغییرات در میزان جریان آب را توصیف می‌کنند (Shi et al., 2019; Zhang et al., 2018). در این مطالعه، برای تعیین کمیت درجه تغییرات هر پارامتر از شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی از روش محدوده تغییرپذیری استفاده

روش تجزیه و تحلیل روش تغییرپذیری^۱ همراه با شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی^۲ در ارزیابی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی موفق و قدرتمند به اثبات رسیده است. شاخص تغییرات هیدرولوژیکی پنج دسته از ویژگی‌های رژیم هیدرولوژیکی رودخانه را پوشش می‌دهد. این پنج دسته مقدار متوسط جریان‌های ماهانه، مقدار و مدت

2 -Indicator of Hydrologic Alteration: IHA

1 -Range of Variability Approach: RVA

سی و سه صدم تا شصت و هفت صدم (۰/۰-۳۳/۶۷) باشد، به معنای تغییر متوسط و در دامنه شصت و هفت صدم و یک (۰/۱-۶۷)، به معنای تغییر بزرگ است.

روش کمبود جریان اکولوژیکی

وگل و همکاران (Vogel et al., 2007) مجموعه ای کوچک از شاخص های معرف به عنوان مثال، معیارهای غیربعدي «کمبود جریان اکولوژیکی^۱» و «مازاد جریان اکولوژیکی^۲»، را پیشنهاد کردند که بر اساس منحنی های تداوم جریان رودخانه هستند و در هر دوره زمانی مدنظر (ماه، فصل یا سال) محاسبه می شوند (Zhang et al., 2015). کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی منعکس کننده از دست دادن یا سود کلی جریان ناشی از تنظیم جریان توسط احداث سدهاست (Wang et al., 2017)، که در مطالعه حاضر، سری های هیدرولوژیکی داده های جریان روزانه در ایستگاه هیدرومتری لتیان، در دوره قبل از احداث سد (رژیم طبیعی جریان) و پس از احداث سد (جریان تنظیم شده)، برای محاسبه کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی تجزیه و تحلیل شدند.

روش شبیه سازی زیستگاه

پیشرفته ترین روش برای تجزیه و تحلیل جریان زیست محیطی، مدل سازی هیدرولیکی-زیستگاهی است. در زمینه شبیه سازی زیستگاه، مدل هیدرولیکی-زیستگاهی PHABSIM^۳، مجموعه ای از ابزارها را برای مدل سازی هیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه های ماهیان فراهم می کند (Naderi et al., 2020؛ Kim & Choy, 2019). در برآورد رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از شاخص های اکوهیدرولیکی، پس از مطالعات میدانی و با تولید و توسعه منحنی های مطلوبیت زیستگاه، برای هر مرحله از زندگی گونه هدف (تخم ریزی، بچه ماهی، نابالغ و بالغ) و ورود آن به مدل شبیه سازی زیستگاه PHABSIM، مساحت قابل استفاده وزنی برای دی های مختلف (منحنی

شد. همچنین برای اهداف این تجزیه و تحلیل، تنوع شاخص های تغییر هیدرولوژیکی در توصیف جریان های پایین دست سد به تنوع آنها در بالای مخزن ارجاع داده شد و در ادامه تغییرات در مقدار پارامترهای شاخص های تغییر هیدرولوژیکی منفرد در سه دامنه مورد تجزیه و تحلیل، قرار گرفت. بر این اساس، مرز بین دامنه ها هنگام استفاده از آمار غیرپارامتری یا انحراف معیار برای آمار پارامتری، با مقادیر صدک تعیین می شود. با توجه به ماهیت توزیع داده های هیدرولوژیکی، انتخاب آمار غیر پارامتری گزینه بهتری است (Richter et al., 1996؛ Zhang et al., 2015).

برای ارزیابی کمی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی بین سری جریان قبل از احداث و پس از احداث سد، این مقاله از محدوده تغییرپذیری استفاده می کند که یک روش آماری است که مقدار جریان را بین صدک ۲۵ و ۷۵ هدف قرار می دهد. مقادیر صدک ۷۵ و شناسایی تغییر رژیم هیدرولوژیکی به دسته پایین، متوسط و بالا از رابطه ۱ محاسبه می شوند:

$$D_i = \left| \frac{N_0 - N_e}{N_e} \right| \times 100\% ,$$

$$D_0 = \left(\frac{1}{33} \sum_{i=1}^{33} D_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times 100\%$$

که در آن N_0 فراوانی مورد انتظار در دوره رژیم طبیعی جریان، N_e فراوانی مشاهداتی یا تعداد سال هایی که مقدار پارامتر هیدرولوژیکی مربوطه در دوره رژیم تغییر یافته است و مقدار آن در این مقاله برابر ۱۰ است. D_0 تغییر رژیم هیدرولوژیکی کلی و D_i تغییر هیدرولوژیکی پارامتر Δ است (Richter et al., 1996).

مقدار شاخص تغییر هیدرولوژیکی مثبت به این معنی است که میزان وقوع یک پارامتر مشخص در پایین دست سد افزایش یافته است و مقدار منفی آن کاهش وقوع آن پارامتر را نشان می دهد. اگر مقدار شاخص تغییر هیدرولوژیکی پارامتر در محدوده صفر تا سی و سه صدم (۰-۳۳) باشد، از آن به عنوان عدم تغییر یا تغییر کوچک تعبیر می شود. همچنین اگر مقدار شاخص تغییر هیدرولوژیکی در دامنه

عرض مقاطع با استفاده از مترنوری؛ تعیین سرعت جریان در نقطه بالادست و پایین‌دست مقطع با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه صحرایی مدل MCF:DL با دقت ۰/۰۰۵ متر بر ثانیه) در ۰/۴ عمق آب به منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقاط مختلف نمونه‌گیری با روش میانگین ریاضی؛ بررسی ساختار و پوشش بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی)؛ و همچنین محاسبه ضریب مانینگ و مقایسه شکل مورفولوژی زیستگاه در نقاط حضور ماهی (جدول ۲). در این مطالعه گونه سه‌پایه ماهی البرزی (Capoeta alborzensis) از خانواده کپورماهیان به دلیل ارزش بومی و مطالعات بیوسیستماتیک جانوری، به عنوان گونه هدف در رودخانه جاجرود انتخاب گردید (Jouladeh-Roudbar et al., 2018). به‌منظور تخمین سن و مرحله زندگی ماهیان، از آنان به صورت نقطه‌ای و دقیق با استفاده از تور سالیک با اندازه چشمه ۱۵ میلی‌متری، از پایین‌دست رودخانه جاجرود به سمت بالادست (محدوده سد لتیان) در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۲) به‌منظور تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی البرزی در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ نمونه‌برداری شد (داده‌ها برای ۱۵۶ نمونه سیاه‌ماهی البرزی با طول کل ۷-۳۳ سانتی‌متر ثبت شد).

دبی - مساحت قابل استفاده وزنی^۱ در بازه‌های مورد مطالعه استخراج گردید و در ادامه رژیم ماهانه جریان اکولوژیکی به دست آمد. بدین منظور پس از ایجاد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای هر یک از مولفه‌های فیزیکی زیستگاه، شاخص‌های مطلوبیت برای به‌دست آوردن شاخص مطلوبیت ترکیبی^۲ با هم ادغام می‌شوند (مقدار شاخص مطلوبیت ترکیبی، از رابطه ۲ به دست می‌آید). مدل PHABSIM با شبیه‌سازی رابطه مطلوبیت گونه‌های شاخص با فاکتورهای جریان، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه مطلوب در دسترس) را محاسبه می‌کند (Wang et al., 2018). مساحت قابل استفاده وزنی، حاصل از شاخص مطلوبیت ترکیبی و مساحت هر بازه زیستگاه است (رابطه ۳).

$$CSI = SI_d \times SI_v \times SI_b \quad (1)$$

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \times CSI_i = f(Q) \quad (3)$$

در رابطه‌های ۲ و ۳، A_i مساحت هر بازه زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی، WUA (مساحت قابل استفاده وزنی) تابعی از Q (دبی جریان) و SI_i شاخص مطلوبیت هر متغیر (عمق آب، سرعت جریان و شاخص بستر) است (Wang et al., 2018؛ Wu et al., 2022). در منابعی مانند (Wang et al., 2018؛ Kim & Choy, 2019) شرح تفصیلی این مدل آمده است.

به دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی در طول ۱۸ کیلومتر از مسیر رودخانه جاجرود، این موارد اجرا شد: اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای اکولوژیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی (مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصله هر مقطع از مقطع پایین‌دست؛ اندازه‌گیری و بررسی موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی؛ اندازه‌گیری عمق آب با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی (با دقت ۰/۵ سانتی‌متر) در نقاط مختلف؛ تعیین

1 - Weighted Usable Area : WUA

2 - Combined Suitability Index: CSI

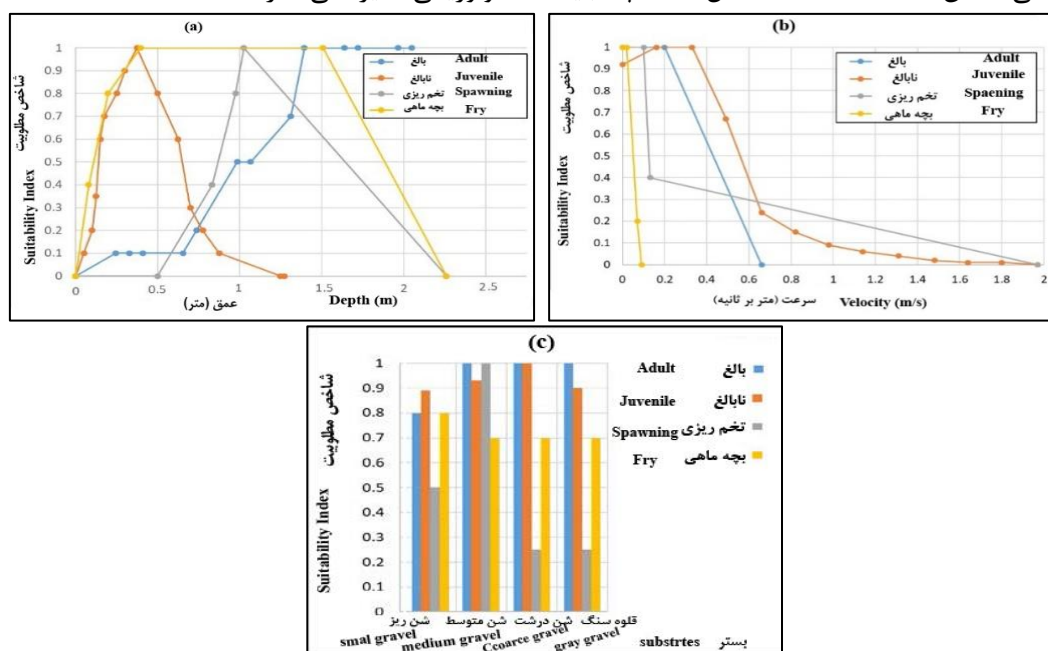
جدول ۲- موقعیت جغرافیایی، مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری و میانگین پارامترهای هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی در رودخانه جاجرود

Table 2- Geographical location, characteristics of measuring stations and average hydraulic and hydromorphoecological parameters in Jajrood river

ایستگاه	بازه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ذرات بستر (میلی‌متر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	فاصله از پایین‌دست (متر)	عمق متوسط (متر)	سرعت متوسط (متر بر ثانیه)	مورفولوژی بستر	سیاه‌ماهی (قطعه در متر مربع)
Station	Range	Longitude	Latitude	Substrate (mm)	Above Sea Level (m)	Distance from downstream (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Bed morphology	Frequency (Piece /m ²)
1	downstream	" 2'42° 51	'44° 35 "28	66	1363	0	0.36	0.64	خیزاب Riffle	0.034
2	downstream	" 41° 51 "40	'44° 35 "2	72	1372	2370	0.32	0.73	خیزاب Riffle	0.069
3	downstream	" 8'39° 51	'46° 35 "30	52	1411	4740	0.48	0.46	گوداب Pool	0.087
4	middle	" 39° 51 "23	'46° 35 "44	63	1424	6820	0.36	0.67	خیزاب Riffle	0.054
5	middle	" 39° 51 "43	'47° 35 "4	47	1435	7570	0.42	0.52	خیزاب Riffle	0.134
6	upstream	" 38° 51 "13	'47° 35 "32	59	1442	9320	0.58	0.56	گوداب Pool	0.253
7	upstream	" 38° 51 "36	'48° 35 "45	64	1452	10670	0.64	0.64	خیزاب Riffle	0.349
8	upstream	" 9'38° 51	'49° 35 "8	57	1463	11340	0.71	0.58	گوداب Pool	0.456

مدنظر قرار گیرد این است که عدم قطعیت منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه، منجر به عدم قطعیت مدل شبیه‌سازی زیستگاه می‌شود. اگر چه شکل و موقعیت قابل استفاده وزنی می‌تواند نامشخص باشد، اما بر قضاوت آستانه نیاز آبی اکولوژیکی تأثیر نمی‌گذارد

در مطالعه حاضر باتوجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، مطابق با اصول اکولوژیک، منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاهی برای هر ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص کانال در دوره‌های مختلف زندگی ماهی، نشان داده شده است (شکل ۲). آنچه باید



شکل ۲- منحنی‌های شاخص مطلوبیت پارامترهای عمق (a)، سرعت (b) و بستر (c) در دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی البرزی در رودخانه جاجرود
Fig. 2- Habitat Suitability Curves parameters depth (a), velocity (b) and substrate (c) of *Capoeta alborzensis* in Jajrood river

نتایج و بحث

روش تنانت: روش تنانت بر اساس درصدهایی از میانگین جریان سالانه و در گروه‌های مختلفی از بسیار ضعیف تا محدوده بهینه، تعریف شده است. نکته‌ای که باید در مورد استفاده از روش تنانت در رودخانه جاجرود مدنظر قرار گیرد این است که به میانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه نیاز است. میانگین جریان سالانه رودخانه جاجرود در ایستگاه هیدرومتری لتیان برابر با ۸/۸۵ مترمکعب بر ثانیه است. بر این اساس، با استفاده از روش تنانت مقدار جریان زیست‌محیطی برای شرایط قابل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای فروردین تا شهریور (معادل ۲/۶۵ مترمکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای مهر ماه تا اسفند (معادل ۰/۸۸ مترمکعب بر ثانیه) برآورد گردید (جدول ۳ و جدول ۵). همچنین با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و نتایج مطالعه حاضر، طبق روش تنانت، ۱۰ درصد از میانگین جریان سالانه نشان‌دهنده حداقل حالت جریان برای حفظ سلامت اکوسیستم رودخانه است (Hamidifar et al., 2022؛ Karimi et al., 2021). از دیدگاه دیگر، به عنوان یکی دیگر از پیامدهای تنظیم جریان رودخانه جاجرود، تحت شرایط تخصیص ۱۰ درصد میانگین جریان سالانه، عمق آب و سرعت جریان در محدوده پایین دست سد لتیان به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، یک سوم بستر نمایان می‌شود و از طرفی پوشش کف آبراهه کاهش می‌یابد و متناوباً با آن، پراکنش و حضور ماهیان در زیستگاه‌های گوداب بیشتر خواهد شد و در این شرایط عمق کم جریان در زیستگاه خیزاب برای ماهیان با طول بیشتر، مانع حرکت و شنای آنها می‌گردد که نادری و همکاران (Naderi et al., 2022) و بان و همکاران (Ban et al., 2022)

(2022) نیز در تحقیقاتشان این مطلب را گزارش کرده‌اند. شایان ذکر است طبق روش تنانت، بیش از ۱۰ درصد از میانگین جریان سالانه باید برای حفظ حیات رودخانه اختصاص یابد. اگر دبی جریان کمتر از این مقدار باشد، برای حفظ کیفیت آب رودخانه جاجرود و زندگی آبزیان نا کافی خواهد بود و رودخانه عملاً محیطی مرده در نظر گرفته می‌شود. همچنین با درک بهتر از تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از عوامل فیزیکی ساخته از سان و نیز بررسی مشخصه‌های هیدرولیکی - مورفولوژیکی رودخانه جاجرود می‌توان این گونه بیان کرد، در شرایط تخصیص ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه در روش تنانت به نیاز آبی اکولوژیکی، عرض مقطع، عمق آب و سرعت جریان برای پراکنش و حضور ماهیان در زیستگاه‌های گوداب و خیزاب، شرایط قابل قبولی را فراهم می‌کند که این مطلب، مطابق با یافته‌های استامو و همکاران (Stamou et al., 2018) و نادری و همکاران (Naderi et al., 2020) است. کیفیت زیستگاه «قابل قبول یا عادلانه» برای تأمین حداقل جریان اکوسیستم رودخانه در مهر تا اسفندماه است. در فروردین تا شهریورماه، کیفیت زیستگاهی که به عنوان «قابل قبول یا عادلانه» تعریف می‌شود، نیاز به حفظ شرایط مطلوب برای موجودات آبی دارد. کیفیت زیستگاه «عالی» زیستگاه خوبی برای زندگی آبزیان است. کیفیت زیستگاه «خوب» وضعیت زیستگاهی بین «عادلانه» و «عالی» است. به طور خاص، هرچه دامنه آستانه جریان پایه اکولوژیکی بزرگ‌تر باشد، توانایی بخش کنترل برای مقاومت در برابر مخاطرات زیست محیطی بیشتر است. نیاز آب اکولوژیکی براساس استاندارد روش تنانت، در جدول ۳ نشان داده شده است که تقاضای شرایط مختلف اکوسیستم رودخانه جاجرود را نشان می‌دهد.

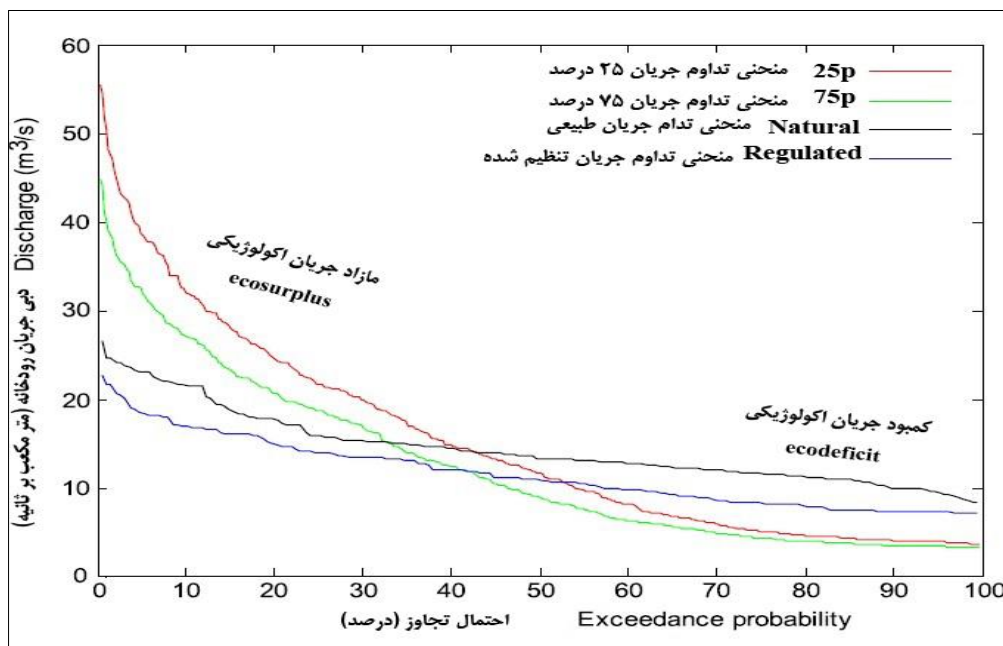
جدول ۳- نیاز آب اکولوژیکی برآورد شده رودخانه جاجرود با روش تنانت طی دوره های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

Table 3- Ecological water demand of Jajrood river by Tennant method during different periods (m³/s)

Month ماه	قابل قبول یا عادلانه Fair or degrading		خوب Good		عالی Excellent		Remarks ملاحظات
	10% MAF (7-12)	30% MAF (1-6)	20% MAF (7-12)	40% MAF (1-6)	30% MAF (7-12)	50% MAF (1-6)	
April فروردین	-	2.65	-	3.54	-	4.42	
May اردیبهشت	-	2.65	-	3.54	-	4.42	
June خرداد	-	2.65	-	3.54	-	4.42	Fish spawning and nursery period
July تیر	-	2.65	-	3.54	-	4.42	
August مرداد	-	2.65	-	3.54	-	4.42	دوره تخم ریزی و نوزادی ماهیان
September شهریور	-	2.65	-	3.54	-	4.42	
October مهر	0.88	-	1.77	-	2.65	-	
November آبان	0.88	-	1.77	-	2.65	-	General water utilization period
December آذر	0.88	-	1.77	-	2.65	-	دوره مصارف عمومی از آب
January دی	0.88	-	1.77	-	2.65	-	
February بهمن	0.88	-	1.77	-	2.65	-	
March اسفند	0.88	-	1.77	-	2.65	-	

احداث سد، به دلیل مولفه جریان بالای کمتر از ۲۵ درصد منحنی تداوم جریان است و جزء جریان کم معمولاً در محدوده مناسب جریان زیست محیطی است. بر این اساس، نه تنها بخش کمبود جریان اکولوژیکی بلکه مازاد جریان اکولوژیکی نیز می تواند برای اکوسیستم رودخانه جاجرود مخرب باشد و منجر به از بین رفتن تنوع اکولوژیکی آن شود. آنچه در شکل ۳ به وضوح مشاهده می شود تقارن شکلی خاصی بین کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی است و همچنین کمبود جریان اکولوژیکی از ۵۱ تا ۹۶ درصد افزایش می یابد که معادل درصد جریان زیست محیطی تأمین شده خواهد بود. با استفاده از منحنی میانگین تداوم جریان (شکل ۳)، مقادیر رژیم ماهانه جریان زیست محیطی رودخانه جاجرود با روش کمبود جریان اکولوژیکی در جدول ۵ آورده شده است. برخی از مطالعات نشان داده اند که معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی در مقایسه با استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی پیچیده تر مانند شاخص های تغییر هیدرولوژیکی و محدوده تغییر پذیری، نمایش ساده و کافی از اثرهای هیدرولوژیکی را ارائه می دهند (Naderi et al., 2020; Zhang et al., 2015).

روش کمبود جریان اکولوژیکی: در شکل ۳، منحنی تداوم جریان برای دو حالت داده های تاریخی در ایستگاه هیدرومتری لتیان در حالت طبیعی و تنظیم شده رسم شده است. در شکل ۳، مساحت پایین نمودار منحنی تداوم جریان طبیعی «کسری یا کمبود جریان اکولوژیکی» و بالای حالت تنظیم شده «مازاد جریان اکولوژیکی» است. مساحت بین دو منحنی نشان دهنده حجم خالص آبی است که به دلیل تنظیم جریان توسط خروجی های سد، دیگر برای برآوردن نیازهای اکولوژیکی رودخانه در دسترس نیست. مفهوم «کمبود جریان اکولوژیکی» نیز که در شکل ۳ نشان داده شده است بیانگر این است که در این حالت منحنی تداوم جریان طبیعی پایین تر از منحنی جریان تنظیم شده قرار می گیرد و نشان دهنده آب اضافی به دلیل تغییرات است. در واقع، این منحنی میزان انحراف از شرایط رژیم رودخانه را به صورت احجام ماهانه نشان می دهد. بنابراین، مازاد جریان اکولوژیکی پس از احداث سد به مولفه جریان کم بالاتر از ۷۵ درصد منحنی تداوم جریان نسبت داده می شود و جزء جریان بالا به طور کلی در محدوده جریان زیست محیطی است یعنی بین ۲۵ تا ۷۵ درصد منحنی تداوم جریان. با این حال، کسری جریان اکولوژیکی پس از



شکل ۳- منحنی تداوم جریان طبیعی و تنظیم شده و نمایش معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد اکولوژیکی در رودخانه جاجرود
 Fig. 3- Natural and regulated flow duration curve and display of ecodeficit and ecosurplus in Jajrood river

مورفولوژیکی شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی، بازتابی است از تغییرات رژیم جریان از نظر روند جریان رودخانه. در این راستا، شاخص‌های گروه چهارم IHA، پالس‌های بالا و پایین فراوانی حوادث جریان شدید را در طول یک سال محاسبه می‌کنند. فراوانی جریان‌های شدید از سالی به سال دیگر متفاوت است و تأثیرات آنها بر اکوسیستم‌ها، نیز متفاوت است. این نوع نوسان‌ها، تأثیرات شدیدی بر اکوسیستم رودخانه دارد، زیرا ممکن است مورفولوژی رودخانه را تغییر دهد و بر بهره‌وری آب تأثیر بگذارد. مطالعات قبلی این واقعیت را نشان می‌دهد که حوادث جریان پرآبی به دلیل سرعت جریان بالای آن منجر به فرسایش شده و مشکلات را برای سکونت موجودات آبی افزایش می‌دهد و بر عکس، حوادث کم جریان منجر به افزایش رسوب و جلبک در رودخانه می‌شود (Zhang et al., 2018؛ Wu et al., 2022).

روش محدوده تغییرپذیری: جدول ۴، نمایش دقیق از رژیم هیدرولوژیکی برای ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی را ارائه می‌دهد. بر این اساس، متغیرهای مقدار جریان ماهانه در بیشتر ماه‌ها (با درجه تغییر هیدرولوژیکی متوسط و زیاد) به طور معنی‌داری کاهش یافته و نیز مقادیر حداقل جریان ماهانه به طور محسوسی تغییر کرده است. همچنین متوسط حداقل جریان‌های ماهانه در دوره‌های سیلابی برای دوره با رژیم تغییر یافته، به طور قابل توجهی در مقایسه با دوره رژیم جریان طبیعی کاهش داشته است. با توجه به مقادیر تغییرات هیدرولوژیکی، مشخص می‌شود که متوسط جریان ماهانه در همه ماه‌های سال به جز اردیبهشت ماه (دوره پرآبی) به مقدار قابل توجهی، یا در حد متوسطی، دچار تغییر شده است.

برخلاف مورفولوژی رودخانه که همانند شکل بدنه آبی انسان است، مورفولوژی سری زمانی نحوه تغییر سری زمانی را با زمان نشان می‌دهد. در زمینه هیدرولوژی، داده‌های جریان و شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی همه متعلق به سری‌های زمانی هستند که ویژگی‌های ریخت‌شناسی دارند. بنابراین، در مطالعه حاضر تمرکز فقط بر مورفولوژی سری زمانی هیدرولوژیکی بوده و تغییر در ویژگی‌های

جدول ۴- نتایج تغییرات پارامترهای شاخص های تغییر هیدرولوژیکی در روش محدوده تغییرپذیری برای ایستگاه هیدرومتری لتیان در رودخانه جاجرود

Table 4- The results of changes in parameters of indicators of hydrological alteration in the range of variability approach for Latyan hydrometric station in Jajrood river.

درصد تغییر هیدرولوژیکی Hydrologic alteration	اهداف RVA		رژیم جریان تغییر یافته			جریان رژیم طبیعی			پارامترهای شاخص های تغییر هیدرولوژیکی Parameter Indicators of Hydrological Alteration
	RVA boundaries		Changed Flow Regime			Natural Flow Regime			
	حداکثر max	حداقل min	حداکثر max	حداقل min	متوسط Ave	حداکثر max	حداقل min	متوسط Ave	
	Magnitude of monthly water conditions								
	میزان آبدهی ماهانه								
-95 (H)	4.9	3.06	8.7	0.24	1.2	6.2	2.2	4.1	دی January
-84 (H)	4.42	3.6	11.1	0.29	1.01	7.5	2.1	5.7	بهمن February
-68 (H)	12.2	8.92	41.3	0.59	8.38	28	4	10.52	اسفند March
-57 (M)	15.67	6.3	2.92	0.75	10.48	23.42	3.1	۱۱/۵۵	فروردین April
-46 (M)	23.5	18.2	51.5	0.54	15.58	57	11	24.3	اردیبهشت May
-84 (H)	30.4	16.24	48	0.44	5.73	59	6.6	21.3	خرداد June
-68 (H)	16.3	8.56	24.5	0.35	3.44	28.5	3.7	11.5	تیر July
-68 (H)	7.44	4.7	12.8	0.23	2.74	7	1.9	5.9	مرداد August
-52 (M)	4.74	2.5	12.1	0.14	1.83	7.5	1.3	3.7	شهریور September
-69 (H)	3.46	2.56	9.75	0.13	0.5	6.2	1.5	2.75	مهر October
-68 (H)	3.74	2.72	12.98	0.14	3.97	6.2	1.8	1.3	آبان November
-73 (H)	4.76	3.4	15.8	0.4	2.77	5.3	2.3	3.6	آذر December

L = کم (< ۳۳٪) : M = متوسط (۳۳-۶۶٪) : H = زیاد (> ۶۷٪)
H= High (> 67%), M= Middle (33-66%), L= Low (< 33%)

تر از سمت راست (قبل از احداث سد) هستند، اما نتایج برای (IHA1 ~ IHA3) و (IHA9 ~ IHA12) کاملاً مخالف است. به این معنی که جریان رودخانه جاجرود در پایین دست سد لتیان، در فصل خشک کم و در فصل سیلابی قبل از ساخت سد، زیاد است که با ویژگی های بارندگی منطقه نیز مطابقت دارد، اما پس از ساخت سد تحت عملیات مخزن ذخیره آب در هنگام سیل، به دلیل بالا بردن سطح آب مخزن، بر عکس می شود. برای تولید انرژی برق آبی در فصل خشک در میان پارامترهای گروه مقدار و مدت وقایع حدی (IHA13 ~ IHA24)، نشان دهنده جریان شدید، ۱۱ پارامتر اول به جز (IHA24)، در سمت راست (قبل از احداث سد) کم رنگ تر از سمت چپ (پس از احداث سد) هستند، به این معنی که حداکثر اوج جریان، کاهش می یابد و سری

این مقاله ۳۳ پارامتر شاخص های تغییر هیدرولوژیکی (IHA1 ~ IHA33) را محاسبه می کند، مقادیر محاسبه شده از صفر تا ۱ که با درجه رنگ های مختلف نشان داده شده در شکل ۴ منعکس شده است، تا رژیم هیدرولوژیکی قبل و پس از احداث سد لتیان را مقایسه کند. شکل چپ و راست دارای ۲۰ مربع از هر پارامتر است که به ترتیب مقادیر نرمال شده ۲۰ سال قبل از ساخت و ۲۰ سال پس از ساخت سد لتیان را نشان می دهد. هر چه رنگ تیره تر باشد، ارزش آن بیشتر است. در شکل ۴، درجه رنگ مربع اکثر پارامترها در شکل سمت راست با سمت چپ متفاوت است. در میان پارامترهای گروه میزان آبدهی رودخانه، (IHA1 ~ IHA12) نشان دهنده میانگین جریان ماهانه است که از دی تا آذر (IHA4 ~ IHA8) در سمت چپ (پس از احداث سد) تیره

داشته است. بنابراین، کنترل بیشتر استفاده از منابع آب در حوضه رودخانه جاجرود به ویژه تخصیص منطقی مصارف برق آبی و شرب توصیه می‌شود. برای حصول اطمینان از نبود جریان صفر در پایین دست سد، تدوین مقررات سخت‌گیرانه مدیریت منابع آب، ضروری است.

جریان در زیر سطح صاف می‌شود. همچنین در هیچ روزی قبل از ساخت مخزن سد، جریان صفر وجود ندارد، در حالی که این تعداد جریان صفر پس از ساخت سد، بسیار افزایش می‌یابد که می‌تواند توسط (IHA24) منعکس شود. روزهای صفر جریان بیشتر در دوره‌های پیوسته رخ می‌دهد که قطعاً تأثیر جدی و غیرقابل برگشتی بر اکولوژی رودخانه جاجرود



شکل ۴- نمایش ۳۳ پارامتر سری جریان قبل و بعد از تأثیرات احداث سد

Fig. 4- The 33 parameters of pre-impact and post-impact flow series dam construction

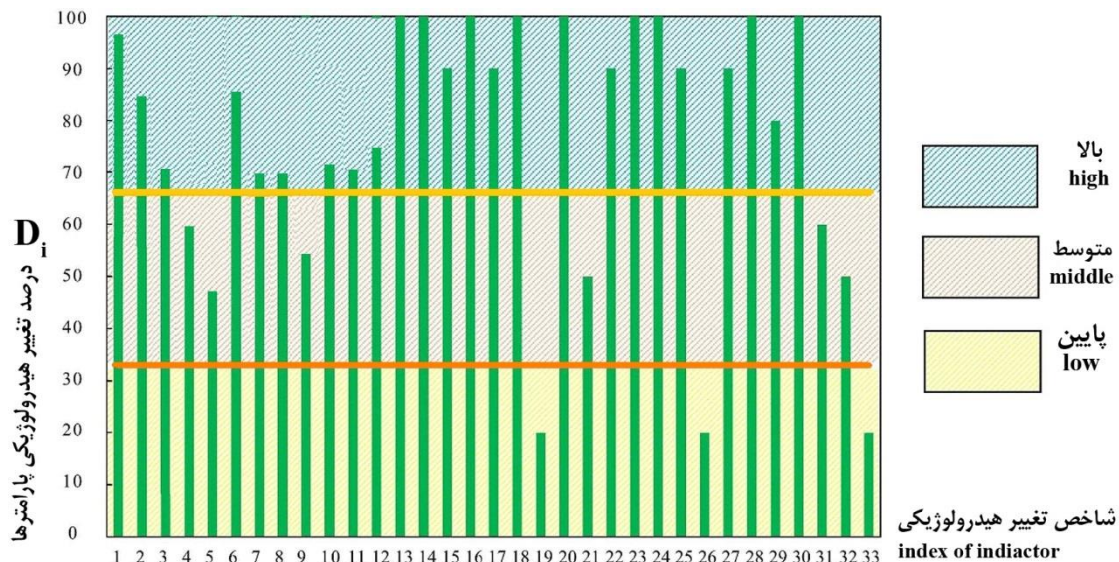
مقایسه با سری جریان قبل از ساخت افزایش می‌یابد. در مجموع بدیهی است که پارامترهای هیدرولوژیکی جریان طبیعی به دلیل ساخت و بهره‌برداری از مخزن سد دگرگونی شدیدتری دارند که ممکن است ساختار پایین دست رودخانه را تغییر دهند و تنوع زیستی آب شیرین را تهدید کنند.

در میان پارامترهای (IHA25 ~ IHA33)، تفاوت بین سمت چپ و راست در پارامترهای تداوم پالس جریان پرآبی (IHA28) و تداوم پالس جریان کم‌آبی (IHA30) مشهود است و عمدتاً به این دلیل که عملیات مخزن باعث یکسان شدن سری جریان می‌شود و مدت زمان یک پالس در

درصد) که منجر به افزایش تعامل زیستی مانند رقابت و شکار می شود.

با توجه به موارد اشاره شده، در مقایسه با دوره پس از ساخت سد، سد لتیان تأثیر بیشتری در مقدار متوسط جریان ماهانه از فروردین تا شهریور دارد. چون سد لتیان جریان رودخانه را برای تولید برق و شرب شهر تهران تنظیم می کند، رژیم جریان بسیار تغییر کرده است. نتایج حاصل از تغییرات شاخص های هیدرولوژیکی رودخانه جاجرود نشان می دهد که سد لتیان، قابل توجه ترین تنظیم جریان در فصل های تابستان و زمستان را برای دوره پس از ساخت سد داشته است. بر این اساس کاهش جریان ماهانه، به ویژه در طول تابستان، ممکن است منجر به تخریب زیستگاه های آبی، افزایش شدید دمای آب رودخانه و کاهش قابل توجه اکسیژن محلول شود که این امر تجزیه میکروبی مواد آلی را تسریع می کند و باعث کاهش عرضه مواد غذایی به ماهی و بی مهرگان می شود و نیز مرگ و میر گونه های کم سن سیاه ماهی البرزی را افزایش می دهد.

شکل ۵، تغییر هیدرولوژیکی ۳۳ پارامتر را نشان می دهد. تنها تغییرات ۵ پارامتر (میانگین جریان در ماه اسفند، میانگین جریان در مرداد، حداکثر ۳۰ روز، تاریخ حداقل، تعداد معکوس ها) در رده پایین قرار دارند، اما تغییر ۱۳ پارامتر حتی به ۱۰۰ درصد می رسد. مقدار کلی تغییر رژیم هیدرولوژیکی ۶۴ درصد است که در رده بالا قرار می گیرد که نشان می دهد رژیم هیدرولوژیکی سری جریان پس از احداث سد (قبل از شروع تغییرات)، تغییرات زیادی در مقایسه با قبل از احداث سد دارد، که با نتایج نشان داده شده در شکل ۴ مطابقت دارد. در شکل ۴ و ۵، تغییرات بالای IHA ها (کاهش مقدار جریان و افزایش تعداد پالس های کم)، کاهش یکپارچگی بیولوژیکی ماهی را تا حدودی توضیح می دهد. از منظری دیگر، مقدار جریان ماهانه و جریان حداکثر، کاهش می یابد (به ترتیب ۷۳ و ۸۲ درصد)، که منجر به کاهش عمق رودخانه و کاهش تبادل مواد مغذی بین رودخانه و دشت سیلابی می شود. همچنین تعداد پالس های کم هر سال به وضوح افزایش می یابد (۹۰



شکل ۵- تغییرات ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی
 Fig. 5- Hydrological alteration of the 33 parameters.

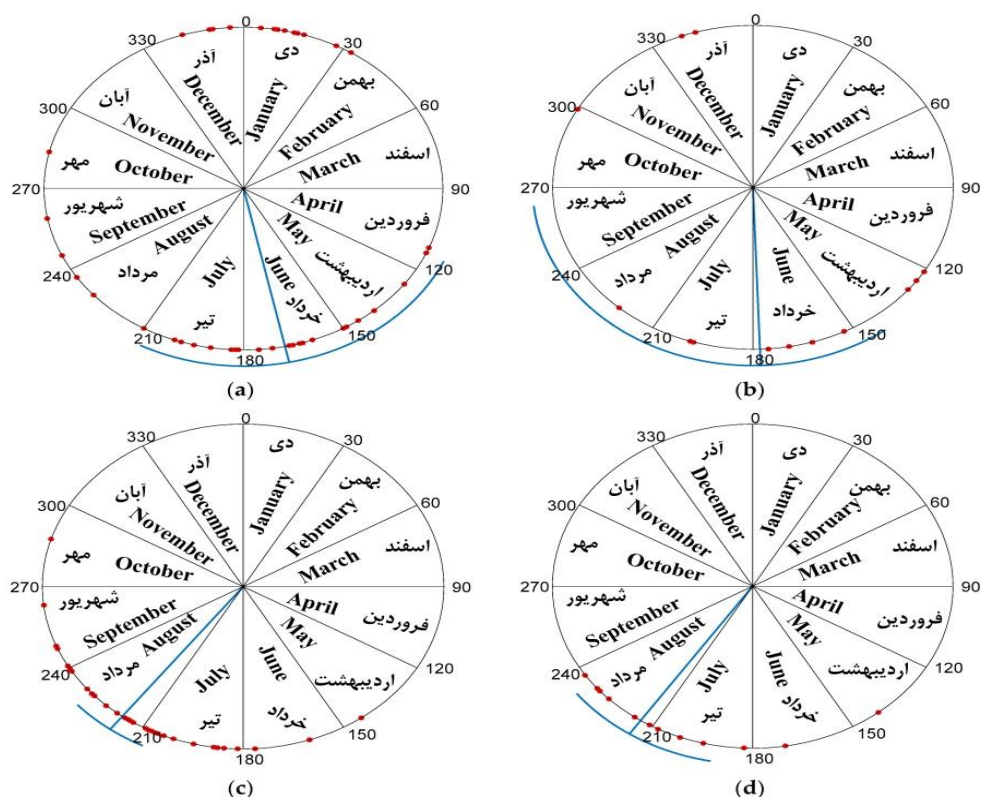
شکل ۶، زمان وقوع شرایط جریان شدید سالانه را نشان می دهد. در مورد حداقل جریان ۱ روزه سالانه، تقریباً در هر ماه در طول دوره قبل از احداث سد، به جز آبان و اسفند نشان می دهد (a). همچنین فراوانی وقوع حداقل جریان ۱

روزه سالانه در ماه اردیبهشت، خرداد و تیر رخ می دهد، و میانگین وقوع این پارامتر در خرداد اتفاق می افتد (a). در مقایسه، میانگین وقوع حداقل جریان ۱ روزه سالانه در دوره پس از احداث سد، ۱۰ روز به تاخیر می افتد (b). از سوی

جากรود، هر دو، کاهش یافته و در بازدیدهای میدانی این موضوع مورد تأیید قرار گرفته است. با این حال، روش محدوده تغییرپذیری، تغییرات هیدرولوژیکی را به طور کامل ارزیابی نمی‌کند زیرا فقط تغییرات وقوع در محدوده متوسط به‌عنوان رژیم‌های هیدرولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند و همچنین این روش، پارامترها را در مقیاس سالانه و تفاوت‌های فصلی درون سالانه رژیم‌های جریان در نظر نمی‌گیرد (Mianabadi et al., 2021). با توجه به استراتژی‌های حفاظت در سیستم رودخانه‌های تنظیم‌شده، رویدادهای سیل باید هر ۲ یا ۳ سال، با زمان‌بندی مناسب (مهر تا آبان)، جریان (تا ۱۵ مترمکعب بر ثانیه) و مدت (حداقل ۵۰ روز بدون وقفه) رخ دهد. در این راستا، فاصله-های زمانی بیشتر از ۳ سال یا نامناسب بودن زمان، شدت و مدت سیل می‌تواند به طور چشمگیری تنوع عملکردی را کاهش دهد و خدمات اکوسیستم را به خطر بیندازد.

دیگر، حداکثر جریان ۱ روزه سالانه، از ماه بهمن تا مهر در دوره قبل از احداث سد رخ می‌دهد که عمدتاً در تیر و مرداد متمرکز است (C). با این حال میانه در ماه مرداد قرار دارد. در مقایسه، میانگین وقوع حداکثر جریان ۱ روزه سالانه در دوره پس از احداث سد ۳ روز به جلو می‌افتد (d).

بزرگ‌ترین و ثابت‌ترین تغییرات هیدرولوژیکی پس از احداث سد لتیان در رودخانه جاجرود مربوط می‌شود به فراوانی و مدت رویدادهای جریان بالا و سرعت تغییر شرایط آب زیاد و کم. فراوانی و تداوم رویدادهای جریان زیاد بر تعداد دفعات و مدت زمان وقوع سیلاب دشت سیلابی، تأثیر می‌گذارد. همچنین پالس‌های سیل، نیروی اصلی محرک پویایی جوامع آبی در دشت‌های سیلابی هستند. مطالعه حاضر بینشی در مورد تغییرات هیدرولوژیکی در دشت سیلابی رودخانه جاجرود تحت تأثیر سد لتیان را ارائه می‌دهد. بر اساس یافته‌های تحقیق پس از سدسازی، وسعت دشت سیلابی و دوره پر آبی جریان در پایین‌دست رودخانه

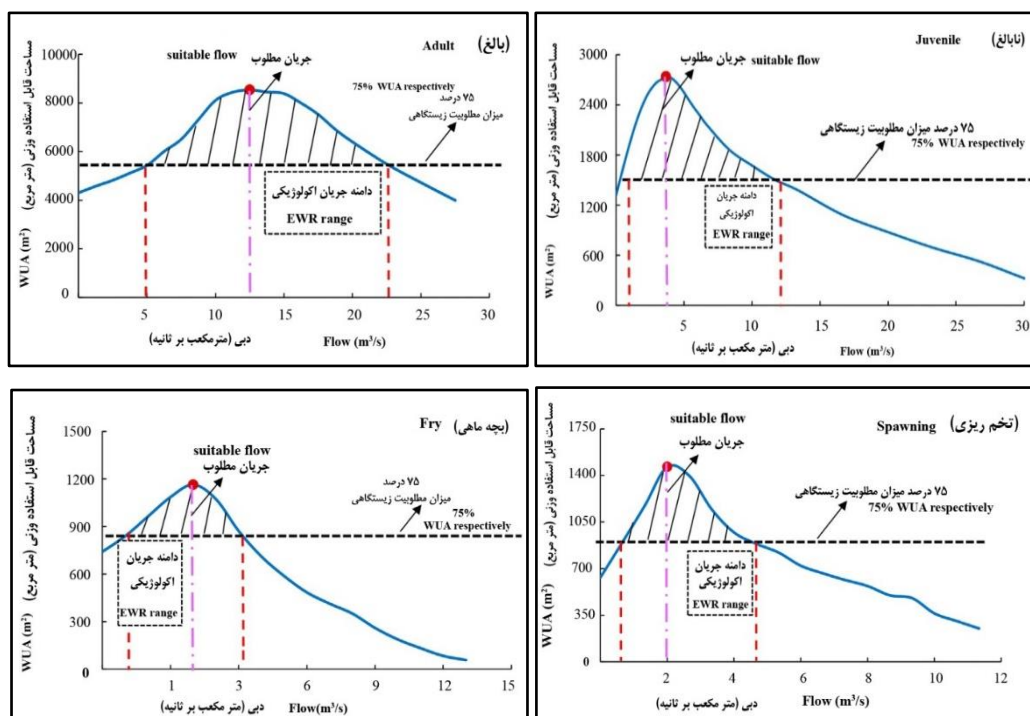


شکل ۶- زمان وقوع حداقل جریان یک روزه سالانه در دوره قبل از تأثیر احداث سد (a) و پس از تأثیر احداث سد (b)، حداکثر جریان یک روزه سالانه در دوره قبل از تأثیر احداث سد (c) و پس از تأثیر احداث سد (d)

Fig. 6- Timing of annual 1-day minimum in (a) the pre-impact period and (b) the post-impact period, and the timing of annual 1-day maximum in (c) the pre-impact period and (d) the post-impact period

ماه های مختلف سال و مراحل زندگی سیاه ماهی البرزی نشان می دهد که نیاز به تجزیه و تحلیل های دقیق مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه در تمامی مراحل زندگی این گونه، وجود دارد. بر اساس این تحلیل ها، ۷۵ و ۱۰۰ درصد حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی، برای تعیین آستانه های به ترتیب پایین و بالای محدوده جریان مطلوب اکولوژیکی، در نظر گرفته شده است. در نتیجه پیشنهاد می شود که محدوده جریان مطلوب اکولوژیکی برای حفاظت اکولوژیکی زیستگاه گونه ماهی هدف در رودخانه جاجرود در محدوده ۵-۲۲ مترمکعب بر ثانیه باشد که دبی ایده آل و مناسب آن، ۱۳ مترمکعب بر ثانیه و حداقل دبی جریان اکولوژیکی ۵ مترمکعب بر ثانیه است. به طور مشابه، محدوده جریان اکولوژیکی در دوره های تخم ریزی، بچه ماهی و نابالغ گونه ماهی هدف در رودخانه جاجرود به ترتیب ۱-۵، ۰/۵-۳ و ۱-۱۲ مترمکعب بر ثانیه است که در این میان حداقل دبی جریان اکولوژیکی به ترتیب ۱، ۰/۵ و ۳ مترمکعب بر ثانیه و دبی ایده آل و مناسب به ترتیب ۲، ۱/۵ و ۴ مترمکعب بر ثانیه، است

مدل شبیه سازی زیستگاه: بر اساس مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM، شکل ۷ رابطه مساحت قابل استفاده وزنی برای دبی های مختلف جریان در مراحل مختلف زندگی سیاه ماهی البرزی را نشان می دهد. به عنوان مثال، با در نظر گرفتن دوره بالغ، می توان به روشنی دید که در محدوده ۱-۱۳ مترمکعب بر ثانیه، مساحت قابل استفاده وزنی سیاه ماهی البرزی با افزایش جریان، افزایش می یابد. این روند افزایش سریعی را در محدوده ۱۰-۵ مترمکعب بر ثانیه، نشان داد و به آرامی در محدوده ۱۳-۱۰ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. با این حال، در محدوده ۱۳-۱۵ مترمکعب بر ثانیه، مساحت قابل استفاده وزنی با افزایش جریان، کاهش می یابد و جریان مطلوب اکولوژیکی به آرامی در محدوده ۱۳-۱۵ مترمکعب بر ثانیه کاهش می یابد که همچنان در سطح بالایی، حفظ می شود. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود افزایش جریان به میزان بیش از حداکثر میانگین دبی ماهانه رودخانه، باعث کاهش میزان مطلوبیت زیستگاهی خواهد شد. تفاوت بین حداقل و حداکثر مقادیر مساحت قابل استفاده وزنی با توجه به دبی جریان در



شکل ۷- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره های مختلف زندگی سیاه ماهی البرزی زیستگاه جاجرود
 Fig. 7- Curve Discharge - Weighted Usable Area in different periods of life *Capoeta alborzensis* in jajrood river

در جدول ۵، رژیم طبیعی جریان رودخانه (میانگین جریان ماهانه) جاجرود در مقابل نیاز آبی جریان حداقل و مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش‌های تنانت، کمبود جریان اکولوژیکی، محدوده تغییرپذیری و مدل شبیه‌سازی زیستگاه نشان داده شده است. بر اساس محاسبات پژوهش حاضر، در جدول ۵ توزیع حداقل میزان جریان اکولوژیکی در طول سال با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه (۲۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بین حداقل ۰/۴ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مهر، آبان و دی (در محدوده جریان پایه رودخانه) و حداکثر مقدار ۵/۹۳ مترمکعب بر ثانیه در ماه اردیبهشت (در فصل مرطوب) و در دوره‌ای است که بیشترین نیاز آبی اکولوژیکی درون سالانه را دارد. همچنین مطابق با جدول ۵، برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونه سیاه‌ماهی البرزی در رودخانه جاجرود معادل سطح حفاظت قابل قبول (۷۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، باید میانگین رژیم جریان اکولوژیکی معادل ۵/۹۱ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۰ درصد جریان طبیعی رودخانه) برای حفاظت از سامانه حیاتی رودخانه جاجرود در نظر گرفته شود. حداکثر مقدار مورد نیاز جریان اکولوژیکی مطلوب در اردیبهشت برابر با ۱۸/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار در شهریور برابر با ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه است. از این رو با افزایش فراوانی جریان، حداقل میزان نیاز اکولوژیکی در سال‌های خشک تأمین می‌شود و می‌توان نیاز آبی اکولوژیکی مناسب و مطلوب را در سال‌های مرطوب تأمین کرد. با این حال، توزیع نیاز آب اکولوژیکی مناسب در طول سال نابرابر است. نیاز آب اکولوژیکی مطلوب در فصل جاری شدن سیل (اسفند - اردیبهشت) از فصل غیرسیلابی، بیشتر است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی روش شبیه‌سازی زیستگاه در ماه‌های کم جریان

(تیر تا آبان) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (بهمن تا خرداد) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه جاجرود را نیاز دارند. بر اساس مطالعه حاضر، نتایج به‌دست آمده با ترکیب روش‌های تنانت، کمبود جریان اکولوژیکی، محدوده تغییرپذیری و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، منطقی‌تر از نتایج به‌دست آمده از یک روش واحد به‌دلیل توجه همزمان به خصوصیات بیولوژیکی و خصوصیات جریان است که این نتیجه‌گیری در مطالعات دیگر (Boavida et al., 2020; Stamou et al., 2018) مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ماه‌های کم‌جریان (تیر تا آبان) در مقایسه با ماه‌های پرآبی جریان (اسفند تا خرداد)، نیاز خواهد بود نسبت بیشتری از متوسط جریان ماهانه نسبت به میانگین جریان سالانه به عنوان حداقل جریان مورد نیاز زیست‌محیطی، در نظر گرفته شود. بنابراین، تمامی روش‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر نشان‌دهنده سطحی از تأمین ناکافی جریان زیست‌محیطی رودخانه جاجرود در پایین دست سد لتیان است.

جدول ۵- نتایج برآورد نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با روش های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

Table 5- The estimate results ecological water requirement of Jajrood river with different methods (m³/s)

جریان اکولوژیکی مطلوب Suitable EF	حداقل جریان اکولوژیکی Min EF	دبی ۷۵ درصد مساحت قابل استفاده وزنی Q 75% WUA	دبی ۲۵ درصد مساحت قابل استفاده وزنی Q 25% WUA	محدوده تغییر پذیری RVA	کمبود جریان اکولوژیکی Ecodeficit	تنانت Tennant	میانگین جریان ماهانه MMF	ماه Month
9.44	6.3	9.44	3.64	6.3	7.11	2.65	11.01	April فروردین
18.55	5.93	18.55	5.93	18.2	13.68	2.65	19.94	May اردیبهشت
11.56	4.37	11.56	4.37	16.24	8.52	2.65	13.51	June خرداد
6.47	2.86	6.47	2.86	8.56	4.08	2.65	7.47	July تیر
4.7	2.65	3.34	1.04	4.7	2.52	2.65	4.32	August مرداد
2.5	1.65	2.02	0.7	2.5	1.65	2.65	2.76	September شهریور
2.65	1.24	1.24	0.4	2.65	1.17	0.88	1.62	October مهر
2.72	1.82	1.9	0.4	2.72	1.82	0.88	2.63	November آبان
3.4	2.29	2.39	0.8	3.4	2.29	0.88	3.18	December آذر
3.06	1.79	2.15	0.4	3.06	1.79	0.88	2.65	January دی
3.6	2.33	2.97	0.87	3.6	2.33	0.88	3.5	February بهمن
8.92	3.36	8.92	3.36	8.92	5.91	0.88	9.45	March اسفند

رویکردهایی مبتنی بر واکنش های اکولوژیکی به تغییرات جریان درون رودخانه ای که بتوانند تعادل بهتری را بین تأمین نیازهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی برقرار کنند منجر به کارایی مخزن سد و مدیریت اکوسیستم رودخانه می گردد.

با توجه به موارد مطرح شده و نتایج برآورد روش ها، اکثر گزینه های جریان زیست محیطی را نمی توان به سادگی در طول سال های خشک از مخزن سد لتیان رهاسازی کرد. در مطالعه حاضر می توان این نتیجه را گرفت که روش تنانت، عملاً در ماه های گرم و کم آب تابستان، تخصیصی برای جریان اکولوژیکی توصیه می کند که ممکن است در برخی سال ها و به خصوص سال های خشک فراهم نباشد و با الگوهای رژیم طبیعی جریان رودخانه جاجرود مطابقت نداشته باشد. از این رو الگوی جریان زیست محیطی اختصاص یافته برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه جاجرود، زمانی قابل اعتماد است و پذیرفته می شود که با تغییرات متوسط جریان رودخانه در دوره های خشک و

با بررسی دبی تخصیص یافته در رودخانه جاجرود در ماه های مختلف، استنباط می شود که تأمین دبی زیست محیطی در ماه های آذر، دی و بهمن به طور متوسط در شرایط نسبتاً قابل قبولی قرار دارد، اما کمبودی در تخصیص جریان زیست محیطی در محدوده ۳۶-۱۳ درصد در ماه های تیر تا آبان در رودخانه وجود دارد. این دوره کمبود در جریان مورد نیاز زیست محیطی اهمیت حیاتی دارد زیرا همزمان با دوره تخم ریزی و رشد گونه های ماهی غالب در رودخانه جاجرود است. علاوه بر این، تخصیص ناکافی جریان زیست محیطی منجر به قطع ارتباط بین کانال اصلی رودخانه و دشت های سیلابی اطراف آن می شود (Ban et al., 2022؛ Kim et al., 2022) و عملکرد بسیاری از زیستگاه ها را مختل می کند. با بررسی تحقیقات مختلف (Wang et al., 2021؛ Hamidifar et al., 2022؛ Yu et al., 2018) و نتایج مطالعه حاضر می توان این گونه بیان کرد که با افزایش نیاز به تولید انرژی و ایجاد رقابت بین مصرف کنندگان در استفاده از منابع آب رودخانه ها، کاربرد

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، شاخص تغییرات هیدرولوژیکی و کمبود جریان اکولوژیکی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه برای برآورد رژیم جریان اکولوژیکی زیستگاه رودخانه جاجرود و محدوده جریان مطلوب اکولوژیکی برای حفاظت اکولوژیکی زیستگاه گونه ماهی هدف به‌کار گرفته شدند. نتایج پژوهش نشان داد تأثیر، انعطاف‌پذیری و اثربخشی روش‌های ساده هیدرولوژیکی مانند روش تنانت برای تأمین شرایط مطلوب اکوسیستمی رودخانه مورد مطالعه کافی نیست و روش شبیه‌سازی زیستگاه با مدل‌سازی اثرهای تغییر جریان روی زیستگاه آبزیان در رودخانه جاجرود، رژیم جریان مطلوب زیستگاه‌های گونه سیاه‌ماهی البرزی را در حد بهینه و ایده‌آل، تعیین می‌کند. بر این اساس، دامنه جریان زیست‌محیطی معقول‌تر و قابل اطمینان‌تری را می‌توان بر اساس مدل شبیه‌سازی زیستگاه در مطالعه حاضر به‌دست آورد که بهترین سناریو را برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در حوضه رودخانه جاجرود فراهم می‌کند. از دیدگاه دیگر، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که محدوده تقاضای جریان اکولوژیکی پایه ۱/۶۵-۵/۹۳ مترمکعب بر ثانیه، محدوده تقاضای جریان اکولوژیکی مناسب ۲/۵-۱۸/۵۵ مترمکعب بر ثانیه است و اجرای کلی محدوده مطلوب جریان اکولوژیکی در فصل‌های خشک و کم‌آبی، زیستگاه‌های مناسبی برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی البرزی در رودخانه جاجرود فراهم می‌آورد. همچنین در فرآیند بررسی نیاز آبی اکولوژیکی در طول سال، تقاضا از اسفند تا خرداد بیشترین میزان تقاضا را دارد و در حالی که تقاضا از تیر تا آبان، کمترین میزان است. همچنین به‌عنوان یکی از پیامدهای تنظیم جریان رودخانه جاجرود، مقدار کلی تغییر رژیم هیدرولوژیکی ۶۴ درصد است که در رده بالا قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد رژیم هیدرولوژیکی سری جریان پس از احداث سد (قبل از شروع تغییرات)، تغییرات زیادی در مقایسه با قبل از احداث سد دارد و از سوی دیگر مقدار متوسط جریان ماهانه و جریان حداکثر به ترتیب ۷۳ و ۸۲ درصد، در مقایسه با قبل از احداث سد لتیان، کاهش

مرطوب در طول سال مطابقت داشته باشد و از آن پیروی کند که یو و همکاران (Yu et al., 2021)، نادری و همکاران (Naderi et al., 2020) و کریمی و همکاران (Karimi et al., 2021) نتایج مشابهی را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند. علاوه بر این، رهاسازی برنامه‌ریزی نشده آب از سد لتیان برای تولید برق یا زیرساخت‌ها یا کمبود آب برای اکوسیستم، می‌تواند اثر منفی در پی داشته باشد (Sedighkia & Datta, 2023; Sofi et al., 2020; Stamou et al., 2018). بر اساس تجزیه و تحلیل صورت گرفته در این مطالعه، شاخص‌های جریان زیست‌محیطی مازاد جریان اکولوژیکی و کمبود جریان اکولوژیکی و شاخص تغییرات هیدرولوژیکی، همبستگی خوبی با مدیریت رژیم‌های جریان رودخانه جاجرود دارند از جمله حفظ وقایع جریان حداکثر و تنوع جریان در برآورد محدوده مطلوب جریان اکولوژیکی در فصل‌های خشک و کم‌آبی. این در حالی است که مقادیر جریان پیشنهادی روش تنانت در تهیه برنامه زمانی الگوی رهاسازی جریان آب در پایین دست سد لتیان و تأمین نیازهای زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان، باعث برهم زدن رژیم هیدرولوژیک رودخانه و کاهش تنوع مکانی و زمانی زیستگاه و در نهایت کاهش تنوع زیستی در دوره‌های کم‌آبی و جریان کم می‌شود. بررسی موارد مطرح شده در پژوهش حاضر، این واقعیت را برجسته می‌کند که شاخص‌های مازاد جریان اکولوژیکی و کمبود جریان اکولوژیکی را می‌توان برای ارزیابی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی رودخانه جاجرود، به کار برد. از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش حاضر مبین آن است که مدل‌سازی پیامدهای اجرای جریان زیست‌محیطی رودخانه جاجرود در دوره‌های زمانی طولانی مدت که شامل سال‌های شدید هیدرولوژیکی باشد، به پیش‌بینی موقعیت‌های مشکل‌ساز، کمک می‌کند و در نهایت، این امر می‌تواند با تجزیه و تحلیل سوابق تاریخی هیدرولوژیکی و پیش‌بینی شرایط آینده با شرایط هیدرولوژیکی غیر ثابت، تکمیل شود.

یافته است. علاوه بر این، شاخص‌های حداکثر و حداقل ۹۰ روزه و نیز فراوانی و مدت تعداد پالس‌های بالا و پایین، تغییرات زیادی را پس از ساخت سد لتیان، نشان داده‌اند. نتایج این مطالعه، تصویری روشن از تأثیر تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از احداث سدها بر تغییرات رژیم جریان زیست‌محیطی ترسیم می‌کند و افق جدیدی بر علل و مکانیسم‌های اثرهای زیست‌محیطی مخازن سدها بر سیستم اکولوژیکی رودخانه‌ها متصور می‌سازد.

سپاسگزاری

از مساعدت و همکاری‌های اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران، شرکت آب منطقه‌ای تهران و امور بهره‌برداری و نگهداری سد و نیروگاه‌های لتیان و کلان سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- Ban, X., Qi, T., Wang, H. Z., Du, H., Diplas, P., Xiao, F. & Huang, W. (2022). Comprehensive Environmental Flows Assessment for Multi Guilds in the Riparian Habitats of the Yangtze River. *Water Resources Research*, 58(9), e2021WR030408.
- Boavida, I., Caetano, L. & Pinheiro, A. N. (2020). E-flows to reduce the hydropeaking impacts on the Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*) habitat. An effectiveness assessment based on the COSH Tool application. *Science of The Total Environment*, 699, 134209.
- Hamidifar, H., Akbari, F. & Rowiński, P. M. (2022). Assessment of Environmental Water Requirement Allocation in Anthropogenic Rivers with a Hydropower Dam Using Hydrologically Based Methods—Case Study. *Water*, 14(6), 893.
- Judes, C., Capra, H., Gouraud, V., Pella, H. & Lamouroux, N. (2023). Past hydraulics influence microhabitat selection by invertebrates and fish in hydropeaking rivers. *River Research and Applications*, 39(3), 375-388.
- Jouladeh-Roudbar, A., Ghanavi, H. R. & Doadrio, I. (2020). Ichthyofauna from Iranian freshwater: Annotated checklist, diagnosis, taxonomy, distribution and conservation assessment. *Zoological Studies*, 59, 21.
- Karimi, S., Salarijazi, M., Ghorbani, K. & Heydari, M. (2021). Comparative assessment of environmental flow using hydrological methods of low flow indexes, Smakhtin, Tennant and flow duration curve. *Acta Geophysica*, 69(1), 285-293.
- Kim, S. K. & Choi, S. U. (2019). Comparison of environmental flows from a habitat suitability perspective: A case study in the Naeseong cheon Stream in Korea. *Ecohydrology*, 12(6), 1-10.
- Kim, S., Jung, K. & Kang, H. (2022). Response of fish community to building block methodology mimicking natural flow regime patterns in Nakdong River in South Korea. *Sustainability*, 14(6), 3587.
- Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A. & Garrote, L. (2019). Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy*, 256, 113980.
- Meric, B. T. (2022). Environmental flow methodology approach based on ecological impact assessment for hydroelectric power plants and hydraulic structures on stream ecosystems in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), 1-13.
- Mianabadi, H., Alioghli, S. & Morid, S. (2021). Quantitative evaluation of 'No-harm' rule in international transboundary water law in the Helmand River basin. *Journal of Hydrology*, 599, 126368.
- Naderi, M, H, Pourgholam Amiji, M., Ahmadaali, K., Amiri, Z., Ghojoghi, A. & Ghorbani Minaei, L. (2020). Determine and Design Range of Optimal Environmental Flow Zarin-Gol River by Investigation the Hydromorphological Characteristics, Hydrological Regime and Habitat Suitability Simulation Ecohydraulic Model. *Journal of Fisheries*, 73(1), 17-40. (In Persian)
- Naderi, M, H., Arab, N., Jahandideh, O., Salarijazi, M. & Aarb, A. (2021). Estimation of Optimal Release Flow Range from Jamishan Dam Considering the Optimal Instream Ecological Water Demand for Conservation the Habitat Potential of the Dinavar River. *Water and Soil*, 35(2), 203-225. (In Persian)
- Naderi, M, H., Pourgholam-Amiji, M., Khoshravesh, M., Salarijazi, M., mohammadi, E. & Gholizade, M. (2022). Investigating the Relationships between Hydromorphological and Hydrological Characteristics on Habitat Suitability under Scenarios of Changing the Environmental Flow Regime based on Kordan River Ecosystem Restoration. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(11), 2789-2814. (In Persian)

- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J. & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation biology*, 10(4), 1163-1174.
- Sahami, S., Shokoohi, A., Khatar, B. & Chehrzad, F. (2022). Qualitative Modeling for Managing Water Allocation in Rivers. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(3), 31-46. (In Persian)
- Sedighkia, M. & Datta, B. (2023). Linking SVM based habitat model and evolutionary optimisation for managing environmental impacts of hydropower plants. *River Research and Applications*, 1-14.
- Sedighkia, M., Badrzadeh, N., Fathi, Z., Abdoli, A. & Datta, B. (2023). An integrated simulation-optimization framework for assessing environmental flows in rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 292.
- Shafie, B., Javid, A. H., Behbahani, H. I., Darabi, H. & Lotfi, F. H. (2023). Modeling land use/cover change based on LCM model for a semi-arid area in the Latian Dam Watershed (Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(3), 363.
- Shi, P., Liu, J., Yang, T., Xu, C. Y., Feng, J., Yong, B. & Li, S. (2019). New methods for the assessment of flow regime alteration under climate change and human disturbance. *Water*, 11(12), 2435.
- Sofi, M. S., Bhat, S. U., Rashid, I. & Kuniyal, J. C. (2020). The natural flow regime: A master variable for maintaining river ecosystem health. *Ecohydrology*, 13(8), 2247.
- Stamou, A., Polydera, A., Papadonikolaki, G., Martinez-Capel, F., Muñoz-Mas, R., Papadaki, C., & Dimitriou, E. (2018). Determination of environmental flows in rivers using an integrated hydrological-hydrodynamic-habitat modelling approach. *Journal of environmental management*, 209, 273-285.
- Vogel, R. M., Sieber, J., Archfield, S. A., Smith, M. P., Apse, C. D. & Huber Lee, A. (2007). Relations among storage, yield, and instream flow. *Water Resources Research*, 43(5), 1-12.
- Wang, Y., Wang, D., Lewis, Q. W., Wu, J. & Huang, F. (2017). A framework to assess the cumulative impacts of dams on hydrological regime: A case study of the Yangtze River. *Hydrological Processes*, 31(17), 3045-3055.
- Wang, H., Wang, H., Hao, Z., Wang, X., Liu, M. & Wang, Y. (2018). Multi-objective assessment of the ecological flow requirement in the upper Yangtze national nature reserve in China using PHABSIM. *Water*, 10(3), 326.
- Wu, H., Shi, P., Qu, S., Zhang, H. & Ye, T. (2022). Establishment of watershed ecological water requirements framework: A case study of the Lower Yellow River, China. *Science of the Total Environment*, 820, 153205.
- Yan, M., Fang, G. H., Dai, L. H., Tan, Q. F. & Huang, X. F. (2021). Optimizing reservoir operation considering downstream ecological demands of water quantity and fluctuation based on IHA parameters. *Journal of Hydrology*, 600, 126647.
- Yu, Z., Zhang, J., Zhao, J., Peng, W., Fu, Y., Wang, Q. & Zhang, Y. (2021). A new method for calculating the downstream ecological flow of diversion-type small hydropower stations. *Ecological Indicators*, 125, 107530.
- Zhang, Q., Gu, X., Singh, V. P. & Chen, X. (2015). Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology*, 529, 711-722.
- Zhang, Q., Zhang, Z., Shi, P., Singh, V. P. & Gu, X. (2018). Evaluation of ecological instream flow considering hydrological alterations in the Yellow River basin, China. *Global and Planetary Change*, 160, 61-74.



Original Research

Study Indicators of Environmental Flow and PHABSIM Eco Hydraulic Model to Estimation of Ecological Optimal Release Flow Range from Latyan Dam Reservoir

Mohammad Hasan Naderi*, Marzieh Bagheri Khaneghahi, Meysam Salarijazi

*M.Sc. of Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 7 January 2023, Accepted: 23 June 2023, Email: naderigau@gmail.com

<https://doi.org/10.22092/IDSER.2023.361807.1537>

Extended Abstract

Introduction

The study of fish habitats is important for us to understand better the impacts of reservoir construction on river ecosystems. Hydropeaking hydropower plants are the main source of renewable energy, meeting sub-daily peaks in electricity demand. Dam reservoir that regulates river water to supply different sectors demands such as drinking water, agriculture, and hydropower generation and this ignores the need for water in the river as the first beneficiary. The development of a rational watershed planning and management plan (develop a suitable ecological flow scenarios) is significant for the survival, reproduction, and development of fish. Recently, several classical approaches were used to estimate ecological flow, including hydrologic, hydraulic, and a habitat suitability modeling approach. The hydrological approach determines ecological flow based on historical hydrological data, of which one representative method is the Tennant method. The hydraulic approach determines the ecological flow according to the wetted perimeter of the cross section of the river. Hydrological and hydraulic approaches are favored because of their simplicity and ease of calculation, but both of them lack the biological mechanisms and biological requirements. Fortunately, the habitat suitability modeling approach combines the knowledge of hydraulics and biology to establish the relationship between habitat and hydraulic factors. It has certain advantages in the evaluation of ecological flow and has attracted more and more researchers' attention. The most classical habitat suitability modeling approach is the instream flow incremental methodology (IFIM) and its physical habitat simulation component (PHABSIM), which includes the suitability of habitat target species to a series of hydraulic factors such as flow velocity and water depth to build a habitat suitability index model. The habitat suitability modeling approach provides the best range of hydraulic factors such as flow for habitat target species, which has certain reference significance for guiding reservoir operation. Therefore, environmental flow determination is one of the effective methods that can create a suitable potential to reduce the negative effects of river regulation and habitat protection.

Methodology

In this study, three methods based on hydrology, Tennant method, Ecodeficit, and the method of variability of hydrological indicators were used to evaluate environmental flow, and the PHABSIM ecohydraulic model was used to obtain habitat suitability and ecological flow regime in the downstream of of Latyan Dam. Also, the effect of the ecological flow regime on the habitat conditions and flow

fluctuations caused by the operation of the hydroelectric power plant was evaluated. Based on the hydrological data and field investigation results, the Tennant method describes the status of the river flow regime by the percentage of the mean annual flow. The Tennant method determines the relationships between the river flow regime and aquatic organisms, river landscapes and entrainment. The alterations of the river flow downstream of the dam in the conditions of the hydropeaking regime of hydroelectric plant operation and after its change to the run-of-river and interventional operation were characterized. Ecodeficit and surplus are two comprehensive measures to illustrate the overall impact of dam on stream flow character. The non-dimensional metrics of ecodeficit and ecosurplus are relying on the flow duration curve (FDC). The ecosurplus and ecodeficit can be computed using either a period of recorded FDC or a median annual FDC. The Physical Habitat Simulation Model (PHABSIM) is proposed to simulate the relationship between streamflow and physical habitat for various life stages of target fish species, and thus to determine the optimal ecological flow of the representative river reach. The classical PHABSIM includes two components, namely hydraulic simulation and habitat modeling. On the basis of that, one-dimension hydraulic simulation model is proposed to determine characteristics of the stream in terms of depth and velocity as a function of discharge. As for habitat modelling, the river sectors and aquatic species most vulnerable to the variation of streamflow should be identified initially. Then, the Habitat Suitability Index (HSI) is introduced to reflect the preferences of target fish species with regards to the flow velocity, depth, and channel properties. Basically, HSI was determined according to the number of fish population appearing at the target point. The maximum value of HSI is set at 1.0, and the rest of the HSI values are determined in terms of relative ratio to the maximum value. Then, the Weighted Usable Areas (WUA) is employed to reflect the amount of physical habitat that available can be calculated for fish species at different flow condition, which as an aggregate of the product of a composite HSI. In terms of ecological constraint, maintaining at least 75% of largest WUA is set as an example in optimization modelling, to describe the detailed process to incorporate the ecological demand into reservoirs operation under one certain recovery level.

Results and Discussion

Based on the results, the environmental flow in the range of 2.5-18.55 m³/s was calculated as the amount of release flow needed to stabilize the fish species and habitat of Jajrood River. Also, the low flow months (July to November) compared to the high flow months (March to June), need to consider a higher proportion of the average monthly flow than the mean annual flow as the minimum required environmental flow. The reservoir operation makes flow series flat and the duration of a single pulse increases compared with flow series before construction. It is obvious that the hydrological parameters of natural flow have a larger alteration due to the construction and operation of reservoir, which may change the downstream riverine structure and threaten freshwater biodiversity. It was demonstrated that the operation of the hydroelectric power plant in the hydropeaking system is the cause of a large flow alteration in respect of the frequency and duration of low- and high-flow pulses and the rate and frequency of change in the flow. The change in the manner of operation of the hydroelectric power plant affected the reduction in the degree of transformation of most features of the flow. The magnitude of monthly flow and extreme flow decreases (73% and 82%, respectively), leading to lower river depth and decreased nutrient exchanges between rivers and floodplains. The number of low pulses each year increases obviously (90%), leading to increased biotic interaction, such as competition and predation. Trend of maximum and mean flow ratio and maximum and minimum flow ratio has attenuated in reservoir after dam construction. The hydrological variation may cause losses of habitats, disconnectedness from upstream riverine habitats and adjacent backwaters, and loss of recreational access. These changes will weaken the aquatic ecosystem of the Jajrood River itself and reduce its ecological status. In this case, promoting the regulation capacity of hydropower stations in the Jajrood River may be one way to avoid this damage.

Conclusions

Preoptimized measures, such as ecological instream structures and joint eco-operation schemes of mainstreams and tributaries, may be used to cope with the impacts of climate change on the process of migrating, spawning, hatching and other critical periods in the fish life cycle. A more reasonable and reliable ecological flow range can be obtained based on the habitat model in this paper, which provides the best scenario for water resources planning and management in the Jajrood River Basin. The results show that the range of basic ecological flow demand range is 1.65–5.93 m³/s, the range of suitable ecological flow demand is 2.5–18.55 m³/s. In the demand process across the year, the demand is the largest from March to June, while the demand is the smallest from July to November. This study provides a useful framework for releasing the desired flow from the dam reservoir by considering the analysis of the natural hydrological and ecological conditions of aquatic habitats, in order to restore and manage the river ecosystem.

Keywords: Jajrood River, Habitat River, Mean Annual Flow, Natural Flow Regime, Water Resources.