Journal of Aquaculture Sciences 13(25): 135-148 (2025)
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

نشریه علوم آبزی‌پروری
دوره ۱۳، شماره ۲۵: ۱۳۵–۱۴۸ (۱۴۰۴)

تعیین حقابه زیست‌محیطی برای حفظ زیستگاه‌های کلیدی ماهیان تجاری با مدل‌سازی اکوهیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، مطالعه موردی: رودخانه چالوس‌رود

ادریس تقوای سلیمی *، وحید غلامی

گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸**

چکیده

تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه‌ها، به‌ویژه در حوضه‌های تحت فشار برداشت آب، نقشی کلیدی در پایداری ذخایر آبزیان و سلامت اکوسیستم‌های وابسته ایفا می‌کند. رودخانه چالوس‌رود، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به دریای خزر، زیستگاه گونه‌های اقتصادی با ارزشی نظیر ماهی سفید (*Rutilus frisii*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) است که در سال‌های اخیر با کاهش جریان پایه مواجه شده است. هدف این پژوهش، تعیین رژیم جریان اکولوژیک بهینه برای حفظ زیستگاه‌های کلیدی ماهیان تجاری با استفاده از یک رویکرد تطبیقی اکوهیدرولیکی بود. بدین‌منظور، پنج روش متداول و پیشرفته برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی شامل روش‌های هیدرولوژیکی (Tennant، منحنی تداوم جریان، جریان پایه آبزیان) و روش‌های اکوهیدرولیکی (محیط خیس‌شده و مدل شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی یا PHABSIM) براساس داده‌های هیدرولوژیکی ۴۵ ساله و مطالعات میدانی دقیق در ۱۲ بازه از رودخانه به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد روش‌های هیدرولوژیکی ساده با ارائه مقادیر ۰/۳۴ تا ۱۵/۱۳ مترمکعب بر ثانیه، توانایی لازم برای حفاظت از زیستگاه گونه‌های ماهی را ندارند. روش محیط خیس‌شده نیز دامنه‌ای وسیع (۱/۷ تا ۸/۷۷ مترمکعب بر ثانیه) را نشان داد که وابستگی شدید نیاز آبی به ریخت‌شناسی مقاطع رودخانه را آشکار ساخت. در مقابل، مدل PHABSIM به‌عنوان دقیق‌ترین روش، یک رژیم جریان پویا و گونه محور را مشخص نمود. به‌طور مثال، حفظ حداقل ۸۵ درصد از زیستگاه مطلوب ماهی سفید در مرحله تخم‌ریزی مستلزم تأمین دبی حدود ۷/۵ مترمکعب بر ثانیه در پایین‌دست رودخانه است. میانگین نیاز آبی برآوردشده توسط این مدل برای کل رودخانه حدود ۴/۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. یافته‌ها نشان می‌دهد نیاز آبی زیست‌محیطی یک مقدار ثابت نیست، بلکه یک رژیم جریان وابسته به گونه و فصل است. تلفیق مدلPHABSIM با روش محیط خیس‌شده به‌عنوان چارچوبی علمی و کاربردی برای تعیین حقابه اکولوژیک رودخانه‌های دارای ارزش شیلاتی بالا توصیه می‌شود. نتایج همچنین هشدار می‌دهد که جریان فعلی رودخانه در بسیاری از فصول، به‌ویژه تابستان، پایین‌تر از حداقل‌های مورد نیاز زیستگاه‌های ماهیان تجاری است و بازنگری فوری در برنامه‌های تخصیص آب را ضروری می‌سازد.

کلید واژگان: نیاز آبی زیست‌محیطی، مدل PHABSIM، زیستگاه ماهیان تجاری، ماهی سفید، حقابه زیست‌محیطی، رودخانه چالوس‌رود

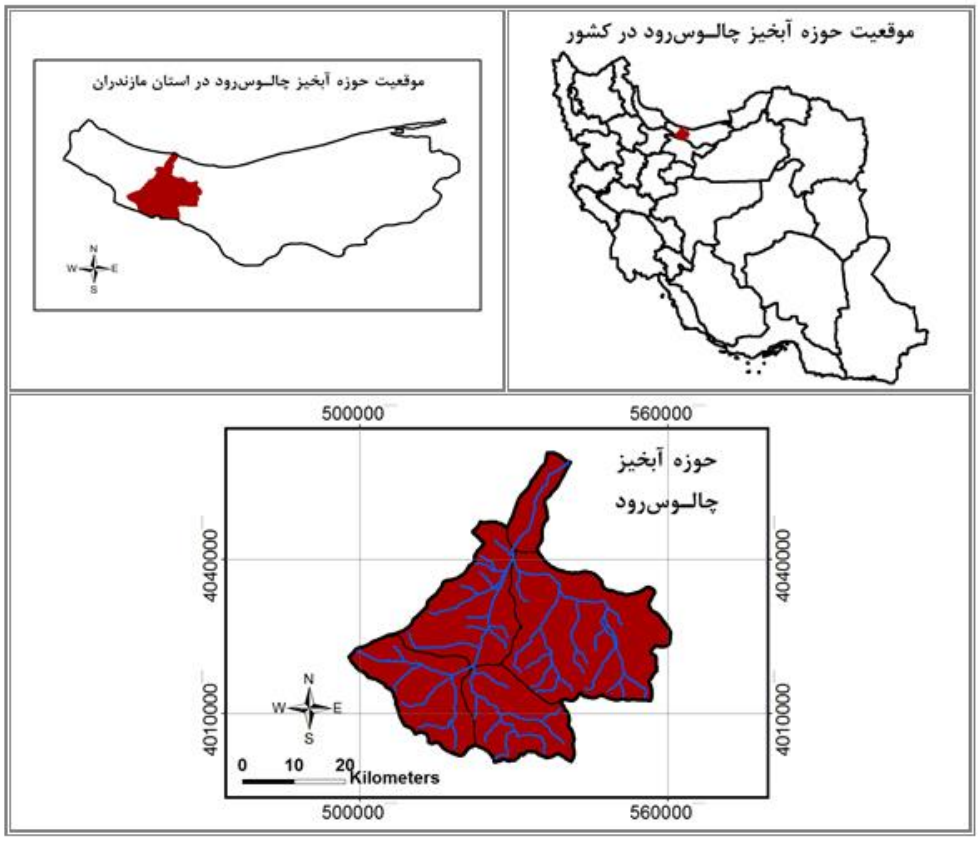
*نویسنده مسئول edristaghvaei@guilan.ac.ir

مقدمه

رودخانه‌ها مهمترین منابع آب برای حیات کره زمین و انسان‌ها می‌باشند. متأسفانه، فعالیت‌های بشر و تغییرات اقلیمی منجر به شرایط قهقرا در رودخانه‌ها به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشکی نظیر ایران شده است. یکی از مسائل مهم در ادامه حیات آنها تحقق حقابه زیست‌محیطی آنها می‌باشد. حقابه زیست‌محیطی حداقل مقادیر آبدهی رودخانه‌هاست که ادامه حیات اکوسیستم آنها و تعادل و پایداری آنها تضمین گردد. این مهم باید با مطالعات دقیق تعیین شده و در نهایت در راستای تأمین و تحقق آن برنامه‌ریزی و عمل نمود. حفظ سلامت و یکپارچگی اکوسیستم‌های آبی در گرو تأمین جریان آبی معین و پایدار است که نیاز آبی محیط‌زیستی (Environmental Water Requirement) نامیده می‌شود (Akhtar *et al*., 2020). این نیاز، متناظر با آستانه بوم‌شناختی یک سیستم است. نقطه‌ای حساس که پس از عبور از آن، یک تغییر نسبتاً کوچک در شرایط هیدرولوژیکی می‌تواند منجر به تغییرات سریع و گاه غیرقابل بازگشت در ساختار و عملکرد اکوسیستم شود (Groffman *et al*., 2006). امروزه فشار فزاینده ناشی از رشد جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، بسیاری از اکوسیستم‌های آبی در سراسر جهان را در معرض عبور از این آستانه و تخریب جبران‌ناپذیر قرار داده است (Cui *et al*., 2012; Anthoni *et al*., 2018). در پاسخ به این بحران، موضوع تعیین و تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی به یک محور کانونی در مطالعات و مدیریت منابع آب تبدیل شده است (Cao *et al*., 2020).

برای برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی، روش‌های متنوعی توسعه یافته‌اند که عموماً در سه دسته کلی روش‌های هیدرولوژیکی (تجربی)، هیدرولیکی (مقطع محور) و شبیه‌سازی زیستگاه قرار می‌گیرند (Dyson *et al*., 2008). اهمیت این امر موجب شده تا بسیاری از کشورها با توجه به شرایط خاص خود، چارچوب‌ها و مطالعاتی را برای ارزیابی نیاز آبی زیست‌محیطی تدوین و اجرا کنند (Tharme, 2003). برای نمونه، می‌توان به تلاش‌های صورت گرفته در استرالیا (Arthington and Zalucki, 1998) و چین (Yang, 2011; Ye *et al*., 2017) اشاره کرد. در ایران نیز با توجه به قرارگیری در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک، لزوم توجه به نیاز آبی زیست‌محیطی مورد تأکید قرار گرفته و مطالعات متعددی در حوزه‌های آبریز مختلف انجام شده است (Sarhadi and Soltani, 2013; Sajedipour *et al*., 2017). یافته‌های این پژوهش‌ها عموماً بر ناکافی بودن روش‌های هیدرولوژیکی ساده و نیاز به به‌کارگیری رویکردهای دقیق‌تر و اکولوژی محورتر صحه می‌گذارند. با این وجود یک شکاف دانش مهم در این حوزه باقی است: انجام مطالعات تطبیقی نظام‌مند که بتواند کارایی و دقت طیف گسترده‌ای از روش‌ها از هیدرولوژیکی ساده تا شبیه‌سازی پیشرفته زیستگاه را در شرایط اکولوژیک و هیدرولوژیک رودخانه‌های دائمی و با ارزش شمال ایران با هدف حفظ زیستگاه‌های کلیدی ماهیان، به‌طور همزمان ارزیابی و مقایسه کند. پژوهش‌های پیشین در منطقه، همچون مطالعات شکوهی و هانگ (۱۳۹۰) و امینی و شکوهی (۱۳۹۳)، نشان داده‌اند که روش‌های رایجی مانند Tennant ممکن است مقادیری کمتر از حداقل نیاز واقعی اکوسیستم ارائه دهند. از سوی دیگر، روش‌های صرفاً هیدرولیکی نیز بدون در نظر گرفتن نیازهای گونه‌ای خاص، ممکن است مقادیری بسیار بزرگ و غیرعملی پیشنهاد کنند (زرعکانی و شکوهی، ۱۳۹۳). بنابراین، مشخص نیست که کدام روش یا ترکیبی از روش‌ها می‌تواند متعادل‌ترین و علمی‌ترین برآورد را برای رودخانه‌های پیچیده‌ای مانند رودخانه‌های منتهی به دریای خزر ارائه دهد.

رودخانه چالوس‌رود به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های ساحل جنوبی دریای خزر، نقش حیاتی در حفظ اکوسیستم‌های ساحلی، تأمین آب شرب و آب کشاورزی و حمایت از ذخایر ارزشمند ماهیان مهاجر دارد. با این حال، این رودخانه نیز تحت فشار فزاینده برداشت آب برای مصارف کشاورزی و شهری قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش، پر کردن شکاف مذکور با اجرای همزمان و مقایسه پنج روش مختلف برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی شامل روش‌های هیدرولوژیکی Tennant، منحنی تداوم جریان و جریان پایه آبزیان، روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و مدل شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی (PHABSIM) بر روی رودخانه چالوس‌رود برای محافظت از زیستگاه ماهیان است. نوآوری تحقیق حاضر در این است که برای اولین بار در این رودخانه، یک تحلیل تطبیقی جامع انجام می‌دهد تا نه تنها مقدار نیاز آبی زیست‌محیطی، بلکه مناسب‌ترین چارچوب روش‌شناسی برای تعیین آن را با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه چالوس‌رود

استناد به معیارهای اکولوژیک (نیاز هشت گونه شاخص ماهی) معرفی کند. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنای علمی مستحکمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در راستای تخصیص پایدار آب و حفاظت از این اکوسیستم با ارزش فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: چالوس‌رود، رودخانه نسبتاً پرآبی است حوزه آن کاملاً کوهستانی و سرچشمه آن ارتفاعات ۴۲۵۰ متری واقع در البرز مرکزی بوده که معروف‌ترین آنها، کندوان می‌باشد. برخی از سرشاخه‌های عمده این رودخانه شامل کندوان، ایلکا، زنگوله، انگوران، برارود، گرم‌دره و هینسک می‌باشد. محدوده مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳۱ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه واقع شده است (شکل ۱). حوزه آبخیز چالوس در حدود ۱۶۸۹ کیلومتر مربع وسعت دارد. مسیر اصلی رودخانه شرقی و شمالی می‌باشد، دو شاخه اصلی رودخانه چالوس‌رود یکی از دامنه شرقی کوه‌های سردشت و تخت سلیمان سرچشمه گرفته و رو به شرق سرازیر می‌شود، نخست روستای اموراک و سپس روستای دلیر را سیلاب می‌سازد و پس از عبور از جنوب روستای الیت با ریزابه‌ای که از دامنه شمالی کوه ابند سرچشمه گرفته و با سرخ دره مخلوط و به دره میان کوه زردک در شمال و کوه حسن‌سرا در جنوب وارد گردیده، با رودخانه انگوران در هم می‌آمیزد و در ۵۰۰ متری شمال روستای انارک با شاخه جنوبی رود چالوس مخلوط می‌گردد. رودخانه چالوس‌رود دارای چهار ایستگاه هیدرومتری مناسب در بازه مطالعاتی تحت عنوان ایستگاه‌های پل ذغال، واسپول، آبشسار و دوآب می‌باشد. جهت برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه چالوس‌رود از اطلاعات ثبت شده در این ایستگاه‌ها با دوره آماری ۴۵ ساله استفاده شده است. دبی ماهانه این رودخانه براساس داده‌های اخذ شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، به‌طور متوسط بین ۱/۲ تا ۲۷/۷۳ مترمکعب بر ثانیه نوسان دارد و میزان دبی رودخانه در سال‌های اخیر کاهش یافته است. همچنین بر روی رودخانه چالوس‌رود سد مخزنی احداث نشده و دبی‌های برآوردی، دبی‌های طبیعی نرمال می‌باشند.

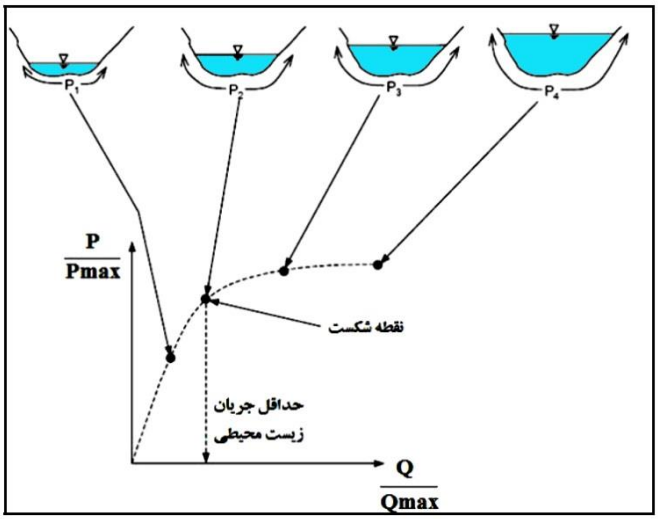
برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی: هدف اصلی در برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه چالوس‌رود، تعیین حداقل آبی است که تداوم حیات این رودخانه را تضمین می‌کند. روش‌های مختلفی از جمله روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های رتبه‌بندی هیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی (PHABSIM) برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه چالوس‌رود به‌کار شد و و مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های هیدرولوژیکی (Tennant، روش جریان پایه آبزیان، منحنی تداوم جریان و روش دامنه تغییرپذیری) برخی از اجزای بحرانی مانند شرایط زیستگاه را نادیده می‌گیرند و بیشتر آنها برای مناطق نیمه‌خشک و خشک مناسب نیستند. روش اکوهیدرولیکی، نیازهای جریان رودخانه برای زیستگاه‌های ماهی را براساس تحلیل سری‌های زمانی داده‌های جریان رودخانه و شناسایی مقاطع بحرانی آن تعیین می‌کند. مدل شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی (PHABSIM) رابطه بین جریان رودخانه و زیستگاه فیزیکی گونه‌های هدف را شبیه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی با استفاده از ساختارهای فیزیکی رودخانه‌ها و جریان رودخانه انجام می‌شود (Brooks, 1997).

در مبحث آبدهی رودخانه‌ها دو پارامتر دبی‌های طبیعی و دبی‌های تنظیمی مطرح است. اگر آبدهی رودخانه تحت تأثیر سدهای مخزنی، سدهای انحرافی و آب‌برداری‌های انسان باشد آن مقادیر دبی اندازه‌گیری شده، دبی‌های تنظیمی می‌باشد. در بحث تعیین حقابه زیست‌محیطی، ملاک تعیین حقابه دبی‌های طبیعی است. بر روی رودخانه چالوس‌رود سد مخزنی یا انحرافی وجود ندارد. بنابراین، می‌توان دبی‌های برآوردی ایستگاه‌های هیدرومتری را تا حد زیادی دبی‌های طبیعی قلمداد نمود.

روش هیدرولوژیکی: روش‌های مبتنی بر شاخص‌های هیدرولوژیکی، ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها برای برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی هستند. در این رویکردها، فرض بر این است که گونه‌های گیاهی و جانوری به رژیم هیدرولوژیکی طبیعی عادت دارند و بنابراین جوان‌سازی اکوسیستم به تجدید رژیم تاریخی وابسته است. در روش‌های هیدرولوژیکی، نیاز آبی یا به‌صورت درصدی از میانگین نرخ نیاز آبی سالانه رودخانه و یا نرخ نیاز آبی با فراوانی بالای تجاوز در مقیاس زمانی (سالانه، فصلی یا ماهانه) از منحنی تداوم جریان تعیین می‌شود. در مطالعه حاضر، روش‌های هیدرولوژیکی شامل روش Tennant، روش جریان پایه آبزیان و روش منحنی تداوم جریان به‌کار گرفته و ارزیابی شدند (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۱).

روش Tennant یک روش ساده است که براساس آن درصدی از جریان رودخانه (۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد) به‌عنوان نیاز آبی بوم‌شناختی در نظر گرفته می‌شود (Tennant, 1976). در روش جریان پایه آبزیان، فرض بر این است که میانگین جریان در خشک‌ترین ماه برای آبزیان در طول یک سال کافی است مگر اینکه جریان اضافی برای تأمین نیازهای بقا و تولیدمثل لازم باشد (Gordon *et al*., 2004). با این حال باید توجه داشت که بسیاری از رودخانه‌های ایران فصلی هستند و در فصل‌های خشک، جریان آب ندارند. بنابراین این روش برای مناطق نیمه‌خشک مناسب نیست. نیازهای جریان برای رودخانه‌ها را همچنین می‌توان از منحنی تداوم جریان استخراج کرد. منحنی تداوم جریان، یک توزیع احتمال تجمعی از جریان مشاهده شده در یک رودخانه، در یک دوره طولانی است (Vogel and Fennessey, 1994). نمودار منحنی تداوم جریان، درصد زمانی دبی رودخانه را برابر یا بیشتر از یک مقدار معین نشان می‌دهد (Shaeri Karimi *et al*., 2012).

روش اکوهیدرولیکی: روش رتبه‌بندی هیدرولیکی در ابتدا برای تعیین نیازهای جریان رودخانه برای زیستگاه‌های ماهی در ایالات متحده توسعه یافت. با استفاده از داده‌های سری زمانی و شناسایی مقاطع عرضی، مناطقی از رودخانه که دارای شیب تند، سرعت بالا و عمق کم (Riffle)، در این روش، هیدرولیک رودخانه به‌عنوان تابعی از جریان مدل‌سازی می‌شود و رابطه‌ای بین پارامترهای هیدرولیکی همچون عمق و سرعت جریان با فراوانی گونه هدف (مثل آنچه که در روش محیط خیس‌شده می‌بینیم) برقرار می‌شود. گروه هدف از گونه‌های در معرض خطر انتخاب می‌شود تا در صورت عدم این جریان، کاهش قابل‌توجهی در تعداد گونه هدف رخ دهد. محیط خیس‌شده پرکاربردترین رویکرد روش رتبه‌بندی هیدرولیکی است و فرض می‌کند که رابطه مستقیمی بین محیط خیس‌شده در یک مقطع عرضی Riffle و زیستگاه ماهی در رودخانه وجود دارد. ماهیان هدف (گونه‌های ماهی مشاهده‌شده) رودخانه چالوس‌رود شامل ماهی سفید (*Rutilus frisii*)، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، کلمه (*Rutilus caspicus*)،



شکل ۲- برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی با استفاده از روش محیط خیس‌شده

سس‌ماهی بزرگ‌سر (*Luciobarbus capito*)، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، سوف سفید (*Sander lucioperca*)، خیاطه‌ماهی طبرستان (*Alburnoides tabarestanensis*) و کاراس (*Carassius gibelio*) است (Esmaeili *et al*., 2018). در این روش، ابتدا هندسه بستر رودخانه‌ها با استفاده از یک افزونه GIS (افزونه HEC-GeoRAS) و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ شبیه‌سازی شد. سپس هندسه وارد مدل هیدرولیکی HEC-RAS شد و مدل هیدرولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از مطالعات میدانی با تعیین دبی، مقاطع عرضی، ضرایب زبری مانینگ و رژیم جریان رودخانه ساخته شد. سپس با استفاده از مدل هیدرولیکی، محیط خیس‌شده و دبی مقاطع رودخانه محاسبه شد. متعاقب آن با استفاده از روش ارائه‌شده در شکل ۲، جریان آبی محیط‌زیستی در هر بخش از رودخانه برآورد شد. در نهایت، برای هر رودخانه، بخش‌ها یا مکان‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و میانگین مقادیر همه بخش‌ها به‌عنوان نیاز آبی زیست‌محیطی آن رودخانه ارائه شد.

روش شبیه‌سازی زیستگاه (PHABSIM): معیارهای تعیین‌کننده در روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه، پارامترهای فیزیکی (مانند عمق آب، سرعت، دما) رودخانه و مناسب بودن آنها برای گونه هدف است. هدف اولیه PHABSIM برقراری رابطه بین ویژگی‌های فیزیکی و بوم‌شناختی یک رودخانه با استفاده از شاخص قابلیت زیستگاه (CSI) و منطقه قابل استفاده وزنی (WUA) است. در روش PHABSIM، هر مقطع از نظر تغییرپذیری مقطع به تعدادی سلول تقسیم می‌شود. سپس، برای هر دبی مورد نظر، توابع مناسب‌سازی مربوط به پارامترهای رودخانه با حالت موجود هر سلول مقایسه می‌شود تا درجه مناسب‌سازی سلول تعریف شود. در نهایت، درجات محاسبه‌شده برای هر پارامتر ترکیب می‌شوند تا شاخص مناسب‌سازی ترکیبی برای هر سلول در مقطع برآورد شود. شاخص نهایی برآوردشده که برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی استفاده می‌شود، منطقه قابل استفاده وزنی (WUA) نامیده می‌شود که به‌صورت مجموع حاصل‌ضرب‌های وزنی‌شده مساحت CSI نقطه‌ای برای مقطع یا بازه، که مساحت همان سلول‌های هیدرولیکی فردی است، محاسبه می‌شود. منطقه قابل استفاده وزنی یا WUA به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Tharme, 2003):

رابطهٔ ۱

$$WUA(Q) = \sum_{i=1}^{m}[CSI_i \cdot A_i]$$

که در آن، A_i مساحت سلول i و CSI_i شاخص قابلیت زیستگاه (سرعت، عمق و کف بستر مناسب) در سلول i است. شرایط مطلوب زیستگاه‌های ماهی هدف با توجه به نرخ جریان، عمق جریان و سرعت جریان، یا شرایط بستر رودخانه و مواد مغذی رودخانه‌ها بررسی شدند. همچنین به‌منظور ارزیابی شرایط رودخانه، مطالعات میدانی به انجام رسید و سپس مدل PHABSIM که یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه است (Arthington, 1998; Sajedipour *et al*., 2017)، به‌کار گرفته شد. یکی از کاستی‌های این روش این است که PHABSIM به زیستگاه گونه‌های ماهی محدود می‌شود و

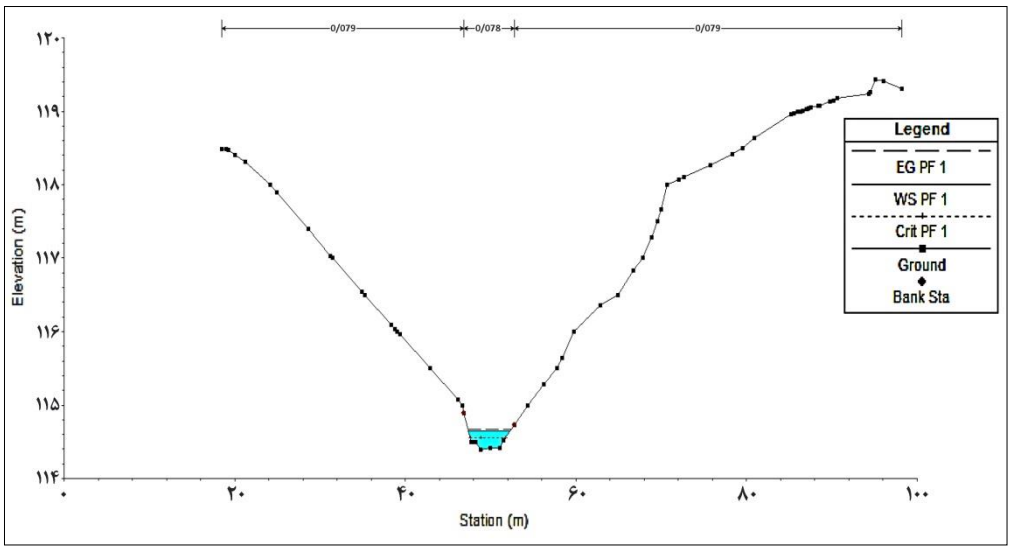
سایر گونه‌های جانوری و گیاهی آبی دیگر را در نظر نمی‌گیرد. این مدل از چهار متغیر هیدرولیکی مرتبط با کیفیت زیستگاه ماهی استفاده می‌کند که با اندازه‌گیری‌های میدانی محاسبه شد. متغیرهای هیدرولیکی موجود در مدل شامل عمق آب، سرعت جریان، بستر (مواد موجود در کف دریا یا رودخانه که موجودات آبزی به آن متصل هستند یا بخشی از آن هستند) و پوشش (مناطق امن در یک رودخانه که موجودات آبزی را از شکارچی حفظ می‌کند) است. ریززیستگاه‌ها، نواحی فیزیکی کوچکی در بخش‌های مختلف یک رودخانه هستند که فرض می‌شود به‌طور مستقیم با توزیع مکانی گونه مورد مطالعه مرتبط هستند. این مدل پیش‌بینی می‌کند که تغییر در نرخ جریان چگونه بر عمق آب، سرعت آب و جنبه‌های مختلف بستر رودخانه و گونه هدف تأثیر می‌گذارد. روش شبیه‌سازی زیستگاه، جریان بهینه زیستگاه‌ها را با مدل‌سازی اثرات تغییر جریان بر زیستگاه‌های آبی تعیین می‌کند. در فرآیند مدل‌سازی با روش شبیه‌سازی زیستگاه، سایت‌های مورد مطالعه با در نظر گرفتن ویژگی‌های هیدرولوژیکی، ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی منطقه و رفتار هیدرولوژیکی رودخانه انتخاب شدند. سپس، مدل هیدرولوژیکی اولیه رودخانه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل هیدرولیکی HEC-RAS توسعه یافت. علاوه بر این، اندازه‌گیری‌های میدانی شامل ارتفاع نشانگرهای آب، سرعت و عمق آب، وضعیت مواد بستر انجام شد. در نهایت، شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و شرایط بستر در مدل PHABSIM شبیه‌سازی شد و براساس هدف نیازهای هیدرولوژیکی ماهی هدف، نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه‌ها برای بخش‌های مختلف هر رودخانه برآورد شد.

ارزیابی روش‌ها: در مطالعه حاضر، معیار برای ارزیابی روش‌های برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی، نرخ جریان رودخانه در حالت طبیعی و جریان سیلابی کامل (bankfull) رودخانه است. هنگامی که یک رودخانه در مقاطع عرضی دارای دبی مقطع پر (حداکثر ظرفیت آبگذری) است، به این معنی است که رودخانه در شرایط خوبی قرار دارد. بنابراین، با استفاده از مدل هیدرولیکی، دبی مقطع پر یا حداکثر ظرفیت آبگذری برای تمام بخش‌های هر رودخانه برآورد شد. در نهایت، نیاز آبی زیست‌محیطی برآوردشده با دبی مقطع پر و آبدهی پایه در شرایط طبیعی مقایسه شد تا کارآیی روش‌ها ارزیابی شود.

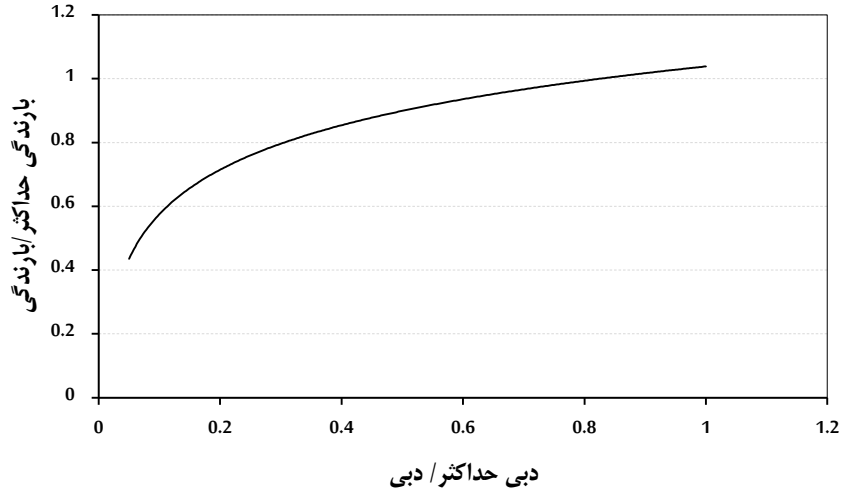
نتایج

در این مطالعه، نیاز آبی زیست‌محیطی (EWR) رودخانه چالوس‌رود با استفاده از پنج روش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی–زیستی برآورد شد. این روش‌ها شامل روش هیدرولوژیکی Tennant، منحنی تداوم جریان (FDC)، جریان پایه آبزیان (Q_b)، روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده (Wetted Perimeter) و شبیه‌سازی زیستگاه با مدل PHABSIM بودند. برخلاف مطالعات در حوضه‌های کم‌آب مازندران (مانند حوزه میانکاله)، رودخانه چالوس‌رود به‌عنوان یک رودخانه دائمی و نسبتاً پرآب، مقادیر نیاز آبی زیست‌محیطی به مراتب بالاتری را نشان داد، به‌طوری‌که برآوردها بسته به روش و موقعیت ایستگاه، از حدود یک تا بیش از ۱۵ مترمکعب بر ثانیه در نوسان بود. روش Tennant که عمدتاً در دستورکار سازمان‌های متولی ایران قرار دارد، برای رودخانه چالوس‌رود نتایج قابل تفسیری ارائه نمود. بر این اساس، حداقل جریان برای زنده‌مانی رودخانه در فصول پر بارش (بهار و تابستان) به‌طور متوسط ۱/۰۱ و در فصول کم بارش ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. دبی مناسب برای حفظ شرایط مطلوب اکوسیستم نیز به‌ترتیب ۳/۰۲ و ۱/۴۵ مترمکعب بر ثانیه تعیین گردید. روش جریان پایه آبزیان (Q_b) نیز با در نظر گرفتن حداقل میانگین جریان ماهانه (۲/۰۹ تا ۶/۶ مترمکعب بر ثانیه بسته به ایستگاه)، یک مقدار حداقلی ثابت برای کل سال پیشنهاد کرد. این روش‌ها اگر چه ساده و کاربردی هستند، اما نوسانات مکانی و زمانی نیازهای اکولوژیک پیچیده‌تر را به‌طور کامل منعکس نمی‌کنند.

روش منحنی تداوم جریان (FDC) با در نظر گرفتن احتمال وقوع ۷۵٪ (Q_{75}) و ۹۰٪ (Q_{90})، بسته به ایستگاه و ماه مقادیر نیاز آبی را در بازه وسیعی (از ۱/۲۷ تا ۱۵/۱۳ مترمکعب بر ثانیه برای Q_{90}) پیشنهاد نمود. این روش تغییرپذیری زمانی، نیاز آبی را بهتر نشان می‌دهد. روش محیط خیس‌شده که براساس شبیه‌سازی هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS و تعیین نقطه شکست در منحنی دبی–محیط استوار است، جامع‌ترین نتایج هیدرولیکی را ارائه داد. نمونه‌ای از مقطع عرضی شبیه‌سازی‌شده برای رودخانه چالوس‌رود و عمق آب در شکل ۳ ارائه شده است. علاوه بر این، شکل ۴ نمونه‌ای از منحنی‌های دبی–محیط خیس‌شده را نشان می‌دهد. نیاز آبی زیست‌محیطی برآورد شده با این



شکل ۳- نمایی از پروفیل عرضی رودخانه چالوس‌رود در شاخه فرعی سرچشمه

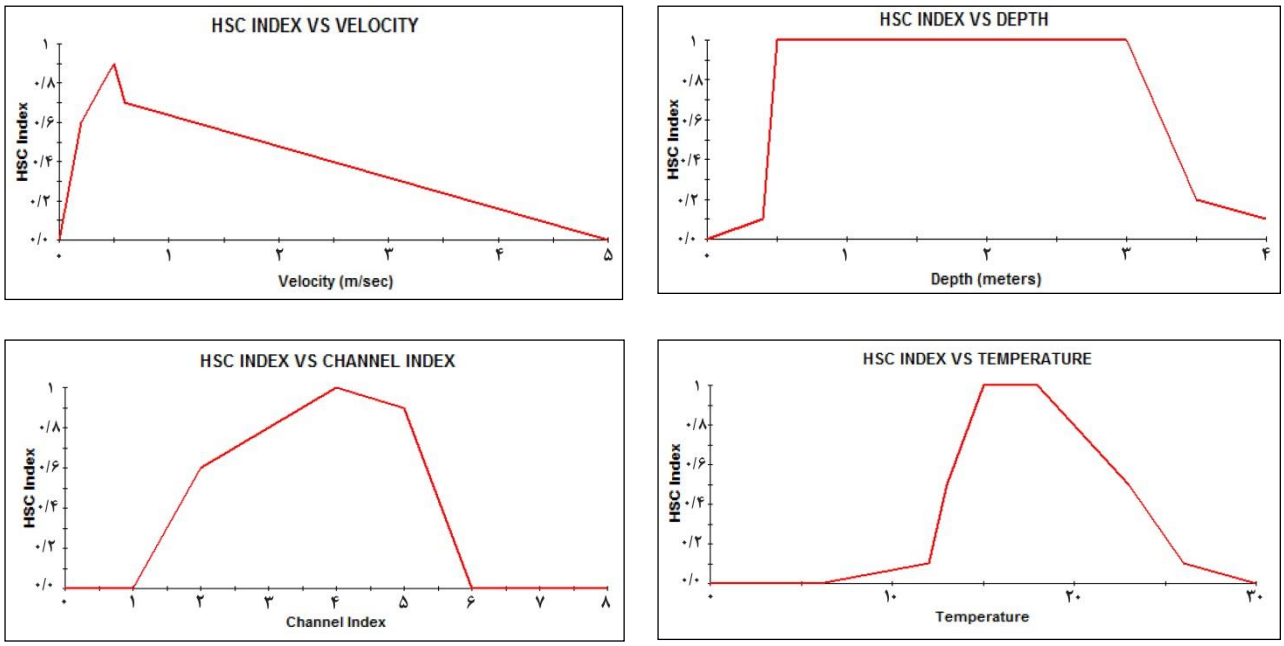


شکل ٤- منحنی تغییرات محیط خیس شده در مقابل دبی شاخه اصلی رودخانه چالوس‌رود در مقطع عرضی به فاصله ۵۰۰ متری از پایین‌دست

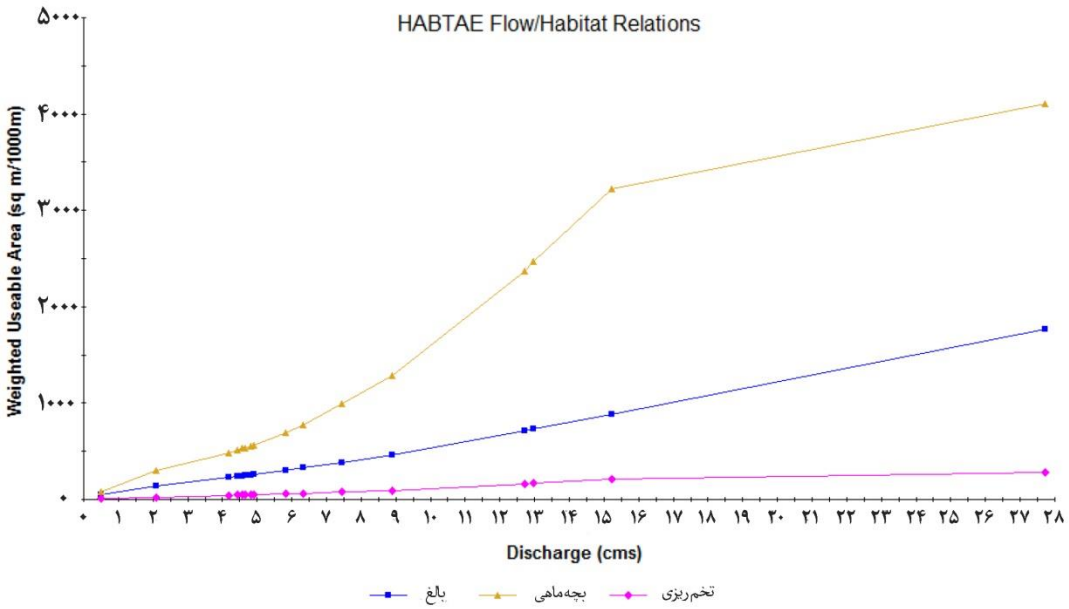
روش در ۱۲ بازه از رودخانه اصلی چالوس‌رود از ۱/۷ در پایین‌دست تا ۸/۷۷ مترمکعب بر ثانیه در بالادست متغیر بود. این دامنه گسترده، نشان‌دهنده حساسیت متفاوت مقاطع مختلف رودخانه به کاهش جریان است.

به‌دلیل اینکه مدل PHABSIM تنها روشی است که شرایط و مطلوبیت زیستگاه را برای گونه‌های مطالعاتی در نظر می‌گیرد، بنابراین دقیق‌ترین و اکولوژی‌محورترین برآوردها با استفاده از این مدل برای هشت گونه شاخص ماهی (شامل کپور معمولی، ماهی سفید، سوف، کلمه، سس، قزل‌آلا، خیاطه‌ماهی و کاراس) در مراحل مختلف زندگی (بالغ، بچه ماهی و تخم‌ریزی) انجام شد. شکل ۵ نمونه‌ای از منحنی مطلوبیت برای زیستگاه ماهی سفید (*Rutilus frisii*) در مرحله تخم‌ریزی در رودخانه چالوس‌رود را نشان می‌دهد. همچنین نمودار دبی–منطقه قابل استفاده وزنی برای مراحل مختلف زندگی گونه ماهی سفید در رودخانه چالوس‌رود در شکل ۶ ارائه شده است.

آنالیز منحنی‌های مساحت قابل استفاده وزنی (WUA) نشان داد که برای جلوگیری از کاهش بیش از ۱۵٪ از زیستگاه مطلوب، نیاز آبی در بازه‌های مختلف می‌تواند از حدود ۱/۴ تا بیش از ۱۴ مترمکعب بر ثانیه (بسته به گونه و مرحله زندگی) متغیر باشد. به‌عنوان مثال، برای گونه با ارزش ماهی سفید در مرحله تخم‌ریزی، این نیاز در ایستگاه پایین‌دست حدود ۷/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی مدل PHABSIM برای نیاز آبی



شکل ۵- منحنی مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید برای مرحله زندگی تخم‌ریزی

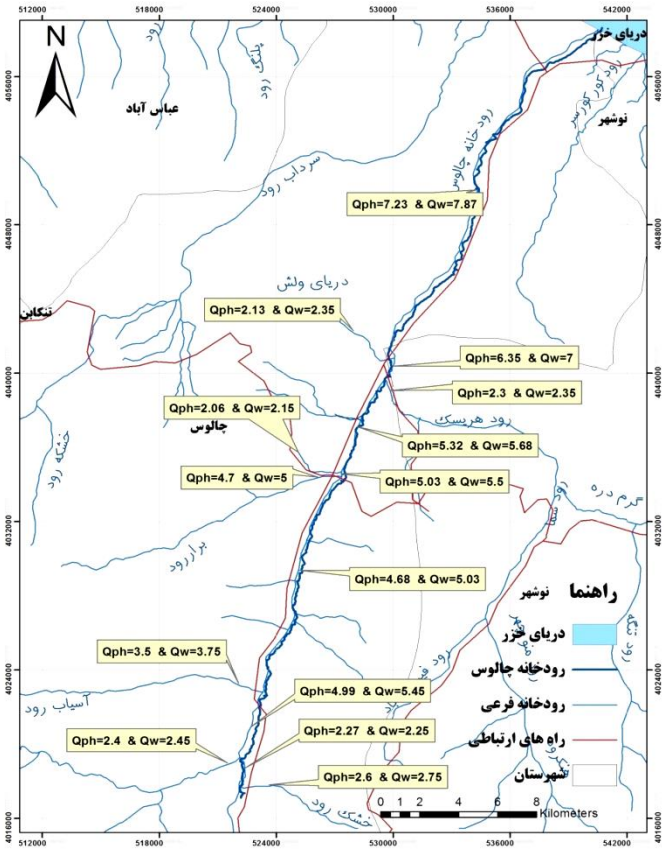


شکل ٦- نمودار دبی-منطقه قابل استفاده وزنی، برای ماهی سفید مربوط به مرحله ماهی بالغ، بچه‌ماهی و تخم‌ریزی

زیست‌محیطی رودخانه چالوس‌رود برای گونه ماهی سفید را نشان می‌دهد. علاوه بر این، دبی نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه چالوس‌رود از سرآب تا دریای خزر براساس روش‌های محیط خیس‌شده و شبیه‌سازی PHABSIM برآورد شده و در شکل ۷ ارائه شده است. جدول ۲ نیز نیاز آبی زیست‌محیطی متوسط رودخانه چالوس‌رود را با استفاده از تمامی روش‌های مورد مطالعه مقایسه کرده است. در نهایت، با توجه به جامعیت، در نظر گرفتن نیازهای ویژه گونه‌ها و قابلیت تعیین دبی بهینه برای جلوگیری از تخریب زیستگاه، روش PHABSIM به‌عنوان روش برتر برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه‌های مهم و دارای تنوع زیستی بالا مانند چالوس‌رود توصیه می‌شود. نتایج این روش می‌تواند مبنای علمی دقیق‌تری برای تخصیص حقابه محیط‌زیستی و مدیریت یکپارچه منابع آب در این حوزه قرار گیرد.

جدول ۱- دبی مورد نیاز زیست محیطی چالوس‌رود برای ماهی سفید (*Rutilus frisii*) در مرحله ماهی بالغ، بچه‌ماهی و تخم‌ریزی

فاصله از پایین دست (متر)	بالغ		بچه‌ماهی		تخم ریزی	
	دبی (ثانیه/مترمکعب)	WUA (متر/مترمربع)	دبی معادل ٪۱۵ کاهش WUA	WUA	دبی معادل ٪۱۵ کاهش WUA	WUA
بازه اول (۰ تا ۹۰۱۷ متر)	۸/۷۷	۵۰۲/۷۸	۷/۵۷	۱۵۱۹/۲۵	۷/۵۳	۹۶/۰۷
بازه دوم (۹۰۱۷ تا ۱۱۰۰۱ متر)	۸/۴۰	۴۷۹/۳۹	۷/۲۶	۲۲۰۹/۲۴	۷/۲۱	۹۱/۸۸
بازه سوم (۱۱۰۰۱ تا ۱۲۵۶۴ متر)	۷/۸۵	۴۴۴/۷۷	۶/۷۹	۲۵۲۱/۰۵	۶/۷۴	۸۵/۷۳
بازه چهارم (۱۲۵۶۴ تا ۱۷۸۵۳ متر)	۷/۳۶	۴۱۳/۹۲	۶/۳۷	۳۰۷۲/۳۲	۶/۳۲	۸۰/۲۴
بازه پنجم (۱۷۸۵۳ تا ۲۴۶۳۱ متر)	۶/۹۷	۳۸۹/۱۵	۶/۰۴	۳۹۴۹/۵۲	۵/۹۸	۷۵/۸۶
بازه ششم (۲۴۶۳۱ تا ۲۵۵۳۳ متر)	۷/۰۰	۳۹۱/۲۵	۶/۰۷	۴۵۹۴/۲۶	۶/۰۱	۷۶/۲۴
بازه هفتم (۲۵۵۳۳ تا ۳۲۰۰۱ متر)	۵/۶۸	۳۰۸/۱۴	۴/۹۵	۵۱۶۳/۴۸	۴/۸۷	۶۱/۵۴
بازه هشتم (۳۲۰۰۱ تا ۳۲۷۳۳ متر)	۵/۵۰	۲۹۶/۸۱	۴/۷۹	۵۷۳۵/۸۴	۴/۷۲	۵۹/۵۹
بازه نهم (۳۲۷۳۳ تا ۴۶۶۵۰ متر)	۵/۰۳	۲۶۷/۲۲	۴/۳۹	۶۷۲۶/۰۲	۴/۳۲	۵۴/۳۴
بازه دهم (۴۶۶۵۰ تا ۵۱۰۰۱ متر)	۵/۴۵	۲۹۳/۶۶	۴/۷۵	۷۸۸۹/۹۸	۴/۶۸	۵۹/۰۱
بازه یازدهم (۵۱۰۰۱ تا ۵۳۰۰۱ متر)	۲/۲۵	۹۲/۱۹	۲/۰۳	۸۳۹۲/۲۳	۱/۹۳	۲۳/۸۳
بازه دوازدهم (۵۳۰۰۱ تا ۵۳۶۶۴ متر)	۱/۷۰	۵۷/۵۶	۱/۵۶	۸۷۲۸/۱۱	۱/۴۶	۱۷/۹۰
متوسط شاخه اصلی	۶/۰۰	۳۲۸/۰۷	۵/۲۱	۵۰۴۱/۷۷	۵/۱۵	۶۵/۱۹



شکل ۷- دبی نیاز آبی زیست محیطی رودخانه چالوس‌رود از سرآب رودخانه تا دریای خزر (ثانیه/مترمکعب)
(Q_{ph}= روش PHABSIM و Q_w= روش محیط خیس شده)

جدول۲- نیاز آبی زیست‌محیطی متوسط رودخانه چالوس‌رود

رودخانه	Tennant	جریان پایه آبزیان	منحنی تداوم جریان	محیط خیس‌شده	PHABSIM
چالوس‌رود	۳/۹۹ (ثانیه/مترمکعب)	۳/۸۶ (ثانیه/مترمکعب)	۴/۸۹ (ثانیه/مترمکعب)	۵/۹۹ (ثانیه/مترمکعب)	۴/۸ (ثانیه/مترمکعب)

بحث

مطالعات هیدرو-اقلیمی در حوضه آبریز رودخانه چالوس‌رود، اگرچه وضعیت تعادل هیدرولوژیکی به مراتب بهتری را نسبت به مناطق خشکی‌زده مانند حوضه میانکاله (Tehrani *et al.*, 2018) نشان می‌دهد، اما روند کاهشی نگران‌کننده‌ای را در دبی رودخانه طی دهه‌های اخیر آشکار ساخته است. چالش اصلی در حوزه رودخانه چالوس‌رود تخصیص نابرابر و مدیریت نشده آب بین بخش کشاورزی، شهری و محیط‌زیست است. بخش عمده‌ای از جریان رودخانه به‌ویژه در فصول پر بارش بهار برای آبیاری مزارع (از جمله شالیزارهای پرآب‌بر) و مصارف شهری برداشت می‌شود. این امر منجر به کاهش چشمگیر جریان پایه رودخانه به‌سمت دریای خزر شده و سلامت اکوسیستم رودخانه و مناطق پایین‌دست ساحلی را تهدید می‌کند. بنابراین تمرکز بر تأمین دقیق نیاز آبی زیست‌محیطی (EWR) به‌عنوان مبنایی برای تخصیص عادلانه و پایدار آب در این حوزه ضروری است. در این تحقیق، روش‌های مختلف تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی سطح متفاوتی از قابلیت‌ها را برای رودخانه چالوس‌رود نشان دادند.

در روش Tennant، نیاز آبی زیست‌محیطی به‌عنوان درصدی از میانگین جریان سالانه برآورد می‌شود. خوشبختانه به‌دلیل فقدان سدهای مخزنی بزرگ در این رودخانه، دبی‌های موجود طبیعی در نظر گرفته شدند. مقادیر نیاز آبی برآوردشده با این روش دامنه‌ای از ۰/۳۴ تا ۱۰/۷۴ مترمکعب بر ثانیه (بسته به ایستگاه و طبقه کیفی مورد نظر) داشت. اگر چه این روش به‌دلیل سادگی و هزینه پایین در دستورکار سازمان‌های مدیریت آب ایران قرار دارد (Shaeri Karimi *et al.*, 2012)، اما برای یک رودخانه پیچیده و غنی از نظر زیستی مانند چالوس‌رود دارای محدودیت‌های جدی است. بزرگترین ضعف آن نادیده گرفتن نوسانات طبیعی فصلی و نیازهای ویژه گونه‌های آبزی در مراحل حساس زندگی است. این روش یک دبی ثابت حداقلی را پیشنهاد می‌دهد که قادر به حفظ تمامی کارکردهای اکولوژیک پویای رودخانه نیست.

روش جریان پایه آبزیان (Q_b) و روش منحنی تداوم جریان (FDC) نیز اگرچه مقادیر معقول‌تری در بازه‌های ۲/۰۹ تا ۶/۶ و ۱/۲۷ تا ۱۵/۱۳ مترمکعب بر ثانیه به‌ترتیب ارائه کردند، اما همچنان رویکردی عمومی و غیر گونه محور (Non-Species-Specific) دارند. این روش‌ها رابطه مستقیم بین هیدرولوژی و سلامت زیستگاه‌های گونه‌های هدف را به‌صورت کمی مدل نمی‌کنند و بنابراین برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی بهینه در یک اکوسیستم با تنوع زیستی بالا کافی نیستند.

در میان روش‌های هیدرولیکی، روش محیط خیس‌شده با شناسایی نقطه شکست (Breakpoint) در منحنی ارتباط دبی-محیط، نتایج ملموس‌تری ارائه داد. نیاز آبی زیست‌محیطی برآوردشده با این روش در ۱۲ بازه رودخانه اصلی، از ۱/۷ تا ۸/۷۷ مترمکعب بر ثانیه متغیر بود. این تغییرپذیری مکانی بالا تأکید می‌کند که یک مقدار مشخص و واحد از نیاز آبی زیست‌محیطی، برای کل رودخانه نمی‌تواند کفایت کند (Gholami *et al.*, 2018). با این حال، ضعف اصلی این روش، فرض تأیید نشده کفایت جریان در نقطه شکست برای برآوردن تمامی نیازهای زیستی، به‌ویژه برای گونه‌های مختلف در مراحل گوناگون زندگی است. نکته محوری که از مقایسه روش‌های فوق حاصل می‌شود، ناکارآمدی رویکردهای ایستا و تک‌عددی در رودخانه‌ای با نوسانات فصلی طبیعی و تنوع گونه‌ای چشمگیر مانند چالوس‌رود است. روش‌های هیدرولوژیک (FDC، Q_b و Tennant) علی‌رغم سادگی و قابلیت اجرا در مقیاس وسیع، تصویری خطی و کاهش‌یافته از نیازهای اکوسیستم ارائه می‌دهند که در آن پیوند میان جریان آب و نیازهای زیستگاهی گونه‌ها گسسته می‌شود. از سوی دیگر، روش محیط خیس‌شده اگرچه گامی به‌سوی درک تغییرپذیری مکانی برمی‌دارد، اما همچنان فاقد توانایی لحاظ کردن نیازهای رفتاری و فیزیولوژیک گونه‌ها در مراحل متفاوت زیستی است. بنابراین، گذار از یک دبی حداقلی ثابت به مفهوم رژیم جریان پویا مستلزم به‌کارگیری روش‌هایی است که بتوانند رابطه دبی-زیستگاه را به‌صورت کمی و گونه‌محور

مدل کنند.

بدون تردید، روش شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی (PHABSIM) به‌عنوان جامع‌ترین روش در این مطالعه ظاهر شد. تجزیه‌وتحلیل منحنی‌های مساحت قابل استفاده وزنی (WUA) برای هشت گونه ماهی شاخص در مراحل زندگی مختلف (بالغ، بچه‌ماهی و تخم‌ریزی)، یک طیف بهینه از نیاز آبی زیست‌محیطی را تعریف کرد. برای مثال نیاز آبی برای حفظ ۸۵٪ از زیستگاه مطلوب گونه با ارزش ماهی سفید در مرحله تخم‌ریزی در پایین‌دست، حدود ۷/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد در حالی‌که برای قزل‌آلای رنگین‌کمان در بالادست، این مقدار متفاوت بود. این یافته به‌وضوح نشان می‌دهد که نیاز آبی زیست‌محیطی، یک عدد واحد نیست، بلکه یک بسته جریان (Flow Regime) پویا است که باید نیازهای بحرانی‌ترین گونه‌ها در حساس‌ترین مراحل زندگی را در فصول مختلف پوشش دهد (Shah *et al.*, 2020). براساس نتایج این تحقیق، روش PHABSIM به‌همراه روش محیط خیس‌شده (به‌عنوان مکملی برای تعیین حداقل‌های هیدرولیکی) به‌عنوان معقول‌ترین و قابل قبول‌ترین روش‌ها برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه‌های دائمی، پیچیده و با ارزش اکولوژیک بالا مانند چالوس‌رود توصیه می‌شوند.

نتیجه‌گیری

متأسفانه رودخانه چالوس‌رود، همانند بسیاری از رودخانه‌های ایران، تحت فشار فزاینده برداشت‌های انسانی (عمدتاً کشاورزی) قرار دارد که تهدیدی جدی برای یکپارچگی اکولوژیک و کارکردهای زیست‌بوم وابسته به آن ایجاد کرده است. بنابراین انجام اقدامات فوری مبتنی بر علم، از جمله تعیین، اختصاص و تضمین تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی (EWR)، برای حفظ این شریان حیاتی ضروری است. با توجه به شرایط هیدرولوژیک و اکولوژیک رودخانه‌های دائمی و پرآب شمال ایران، استفاده صرف از روش‌های هیدرولوژیکی ساده (مانند Tennant) برای تعیین نیاز آبی، کافی و کارآمد نخواهد بود. این روش‌ها قادر به ثبت پیچیدگی‌های اکولوژیک نیستند. با توجه به عملکرد بهبود یافته و خروجی‌های غنی، توجه به روش‌های هیدرولیکی و به ویژه شبیه‌سازی زیستگاه (مانند PHABSIM) یک ضرورت است. این روش‌ها می‌توانند مبنای علمی محکمی برای گفت‌وگو و تصمیم‌گیری بین ذی‌نفعان مختلف (مدیریت آب، محیط‌زیست، کشاورزان) فراهم کنند.

با توجه به روند کنونی برداشت آب در حوزه رودخانه چالوس‌رود، در صورت تداوم وضع موجود، انتظار می‌رود شاهد کاهش بیشتر جریان پایه رودخانه، افزایش دمای آب، تخریب زیستگاه‌های تخم‌ریزی و در نهایت کاهش شدید جمعیت ماهیان با ارزش بومی باشیم. این امر نه‌تنها سلامت اکوسیستم، بلکه معیشت جامعه محلی وابسته به ماهیگیری و گردشگری طبیعت‌محور را نیز تهدید می‌کند. برای مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود یک برنامه پایش بلندمدت برای ردیابی تغییرات در زیستگاه‌های کلیدی و جمعیت ماهیان در پاسخ به نوسانات جریان اجرا شود. همچنین، مدل‌سازی تلفیقی نیاز آبی زیست‌محیطی با مدل‌های تخصیص آب حوضه (WEAP) برای یافتن سناریوهای بهینه تخصیص بین کشاورزی و محیط‌زیست حیاتی است. با این حال، چالش اصلی و تعیین‌کننده‌تر از تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی، یافتن سازوکارهای اجرایی، حقوقی و اجتماعی برای تضمین تأمین آن در رویارویی با تقاضای فزاینده بخش کشاورزی خواهد بود. دستیابی به این هدف، مستلزم عزمی فرابخشی و حرکت به‌سمت مدیریت یکپارچه منابع آب و الگوی کشت سازگار با اقلیم است تا همزمان امنیت غذایی، پایداری محیط‌زیست و توسعه اقتصادی منطقه تضمین گردد.

تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران به جهت تأمین داده‌های مورد نیاز تحقیق حاضر تشکر نمائیم.

منابع

امینی م.، شکوهی ع. ۱۳۹۳. حل تحلیلی تعیین نقطه شکست نمودار محیط تر شده – دبی در روش هیدرولیکی تعیین حداقل جریان زیست محیطی. *نشریه علمی هیدرولیک*، ۹(۱): ۴۳-۲۷.

زرعکانی م.، شکوهی ع. ۱۳۹۳. تعیین جریان لازم برای حفظ مورفولوژی بستر رودخانه و مقایسه چهار روش تعیین جریان

زیست‌محیطی مبتنی بر هیدرولوژی و هیدرولیک جریان. کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط‌زیست، اهواز، ۲۸ بهمن ۱۳۹۳.

شکوهی ع.، هانگ ی. ۱۳۹۰. استفاده از مشخصه‌های مرفولوژیکی در رودخانه‌های دایمی برای تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی. *محیط‌شناسی*، ۳۷(۵۸): ۱۲۸-۱۱۷.

قاسمی ع.، ولی‌نسب ت.، محمدپور، م. ۱۴۰۱. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه با روش‌های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک به‌منظور حفاظت از اکوسیستم آبی و آبزیان. *مجله علمی شیلات ایران*، ۳۱(۴): ۱۱۹-۱۰۷.

Akhtar M.P., Roy L.B., Vishwakarma, K.M. 2020. Assessment of agricultural potential of a river command using geo-spatial techniques: a case study of Himalayan river project in Northern India. *Applied Water Science* 10(3), 81-92.

Anthoni C., Githinji S., Kisternam T. 2018. The impact of water on health and ill-health in a sub-Saharan African wetland: exploring both sides of the coin. *Science of the Total Environment* 624, 1411-1420.

Arthington A.H. 1998. Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of holistic methodologies. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Occasional paper no. 26/98, Canberra, Australia, 149 p.

Arthington A.H., Zalucki J.M. 1998. Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of methods. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Occasional paper no. 27/98, Canberra, Australia, 54 p.

Brooks R.P. 1997. Improving habitat suitability index models. *Wildlife Society Bulletin* 25(1), 163-167.

Cao F., Lu Y., Dong S., Li X. 2020. Evaluation of natural support capacity of water resources using principal component analysis method: a case study of Fuyang district. *Applied Water Science* 10, 192.

Cui M, Zhou J.X., Huang B. 2012. Benefit evaluation of wetlands resource with different modes of protection and utilization in the Dongting Lake region. In: The 18th Biennial conference of international society for ecological modelling. *Procedia Environmental Sciences* 13, 2-17.

Esmaeili H.R., Sayyadzadeh G., Eagderi S., Abbasi K. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3(3), 1–95.

Gholami V., Booij M.J., Tehrani E.N., Hadian M.A. 2018. Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network (ANN) and field plot data. *Catena* 163, 210-218.

Gordon N.D., McMahon T.A., Finlayson B.L., Gippel C.J., Nathan R.J. 2004. Stream hydrology: an introduction for ecologists. 2nd edition, John Wiley and Sons, 448 p.

Groffman P., Baron J., Blett T., Gold A., Goodman I., Gunderson L., Levinson B., Palmer M., Paerl H., Peterson G., LeRoy P.N., Rejesk D., Reynolds J., Turner M., Weathers K., Wiens J. 2006. Ecological thresholds: the key to successful environmental management or an important concept with no practical application?. *Ecosystem* 9(1), 1-13.

Dyson M., Bergkamp G., Scanlon J. 2008. Flow-The essentials of environmental flows. 2nd edition, IUCN, Gland, Switzerland, 134 p.

Sajedipour S., Zarei H., Oryan S. 2017. Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: a case study of Bakhtegan Lake Iran. *Ecological Engineering* 100, 24-255.

Sarhadi A., Soltani S. 2013. Determination of water requirements of the Gavkhuni wetland, Iran: a hydrological approach. *Journal of Arid Environments* 98, 27-40.

Seifi F., Janbaz Ghobadi G.R. 2017. The role of ecotourism potentials in ecological and environmental sustainable development of Miankaleh Protected Region. *Open Journal of Geology* 7(4), 478-487.

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

Shah D., Panchal M., Sanghvi A., Chavda H., Sha M. 2020. Holistic review on geosolar hybrid desalination system for sustainable development. *Applied Water Science* 10, 155.

Tehrani E.N., Sahour H., Booij M.J. 2018. Trend analysis of hydro-climatic variables in the north of Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 136, 85-97.

Tennant D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 4(1), 6-10.

Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19, 397-441.

Vogel R.M., Fennessey N.M. 1994. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management* 120(4), 485-504.

Yang W. 2011. A multi objective optimization approach to allocate environmental flows to the artificially restored wetlands of China's yellow river delta. *Ecological Modelling* 222(2), 261-267.

Ye Z., Li W., Chen Y., Qiu J., Aji D. 2017. Investigation of the safety threshold of eco-environmental water demands for the Boston Lake wetlands, western China. *Quaternary International* 440(B), 130-136.

Journal of Aquaculture Sciences Vol. 13, No 25, 135-148
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

Determining the environmental water rights to preserve key habitats of commercial fish using ecohydraulic modeling and habitat simulation, Case Study: Chalus River

Edris Taghvaye Salimi*, Vahid Gholami

Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran.

*Corresponding author: edristaghvaei@guilan.ac.ir

Received: 16.Jan.2026 **Accepted: 9.Mar.2026**

Abstract

Providing environmental water requirements for rivers supporting commercial fish species is essential for sustaining valuable aquatic stocks and maintaining the integrity of associated ecosystems, particularly in basins experiencing increasing water abstraction pressures. The Chalusroud river, one of the most important rivers discharging into the southern Caspian Sea, provides critical habitats for economically valuable species such as Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), but has experienced a noticeable decline in base flow in recent years. The objective of this study was to determine an optimal ecological flow regime for conserving key habitats of commercial fish species using an integrated ecohydraulic approach. To this end, five widely used and advanced environmental flow assessment methods were comparatively applied, including hydrological methods (Tennant, flow duration curve, and aquatic base flow) and ecohydraulic methods (wetted perimeter and the Physical Habitat Simulation model, PHABSIM). The analysis was based on 45 years of hydrological data combined with detailed field surveys conducted across 12 river reaches. The results indicated that simple hydrological methods, yielding environmental flow estimates ranging from 0.34 to 15.13 cubic meters per second (cms), lack sufficient ecological resolution to effectively protect fish habitats. The wetted perimeter method produced a wide range of flow requirements (1.7 to 8.77 cms), highlighting the strong dependence of environmental flow needs on channel morphology. In contrast, PHABSIM provided the most ecologically robust results by identifying a dynamic, species-specific flow regime. For example, maintaining at least 85% of suitable spawning habitat for Caspian white fish requires a discharge of approximately 5.7 cms in downstream reaches. The mean environmental flow estimated by PHABSIM for the entire river was approximately 4.8 cms. Overall, the findings demonstrate that environmental water requirements cannot be represented by a single fixed discharge, but rather constitute a flow regime that varies with species and life stage. The combined application of PHABSIM and the wetted perimeter method is therefore recommended as a scientifically sound and practical framework for determining ecological water allocations in rivers with high fisheries value. The results further indicate that current river flows during several seasons, particularly summer, fall below the minimum ecological thresholds required to sustain commercial fish habitats, underscoring the urgent need to revise water allocation strategies toward ecosystem-based and integrated water resources management.

Keywords: Environmental water requirements, PHABSIM, commercial fish habitats, Caspian Kutum, ecological flow regime, environmental water rights, Chalusroud River