وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی

Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir

ISSN: 2423-6349

دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۸۴-۶۲.

گنجاندن نیازهای زیستگاهی چرخه زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (*Salmo trutta*) در برآورد رژیم جریان اکولوژیک رودخانه کرج

محمد حسن نادری[1*]، میثم سالاری جزی[1]، حامد شعبانلو[2]

[1]گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[2]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۰۲/۰۱/۲۱
پذیرش: ۰۲/۱۱/۰۴

نویسنده مسئول مکاتبه:
محمد حسن نادری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

ایمیل:naderigau@gmail.com

چکیده

حفظ جریان مناسب در یک رودخانه، شرط لازم برای تضمین بقای موجودات آبزی است. در این مطالعه، برای برآورد نیاز آبی اکولوژیک رودخانه کرج از روش شبیه‌سازی هیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه (مدل River2D) به‌منظور بررسی ویژگی‌ها و نیازهای زیستگاهی تعداد ۸۴ گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز نمونه‌برداری شده در ۱۰ ایستگاه مورد مطالعه با تحلیل اثر متغیرهای عمق آب، سرعت جریان و شاخص بستر با جمع‌آوری داده‌ها و بر پایه مطالعات و مشاهدات میدانی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶، استفاده شد. سپس منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای تعیین عمق آب، سرعت جریان مناسب و تعیین مساحت قابل استفاده وزنی مورد نیاز برای دوره‌های تخم‌ریزی، بچه ماهی، نابالغ و بالغ ماهی در مدل River2D، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد سرعت جریان مطلوب اکولوژیک ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در محدوده بین ۰/۳۷ تا ۱/۴ متر بر ثانیه و عمق آب مطلوب اکولوژیک این ماهی در محدوده بین ۰/۴ تا ۰/۸ متر در فصول و بخش‌های مختلف رودخانه کرج است. نتایج مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه نشان داد که زمانی که دبی بین ۱۵-۸ مترمکعب بر ثانیه است، مقادیر مساحت قابل استفاده وزنی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در سطح بالایی در محدوده ۳۰۰۰-۲۶۰۰ مترمربع قرار دارد. براساس بررسی‌های میدانی و توزیع جریان‌های مطلوب اکولوژیک محاسبه شده برای ۱۰ ایستگاه مورد مطالعه در رودخانه کرج و معیارهای نسبی زیستی، در نواحی بالادست رودخانه کرج شرایط مساعدی جهت زیست ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز از نظر پارامترهای هیدرولیکی-اکولوژیک، فراهم است و این در حالی است که در بازه‌های میانی و پایین‌دست این رودخانه به‌علت عدم برقراری جریان مطلوب اکولوژیک، از فراوانی ماهیان قزل‌آلای خال‌قرمز کاسته شده است. همچنین براساس نتایج خروجی مدل River2D، محدوده جریان مطلوب اکولوژیک برای حفاظت اکولوژیکی زیستگاه رودخانه کرج برای انجام فعالیت‌های زیستی و بقای گونه ماهی در دوره‌های تخم‌ریزی، بچه‌ماهی، نابالغ و بالغ به‌ترتیب در محدوده ۹/۷۴-۶/۸۳، ۶/۹۳-۳/۶۷، ۸/۷۲-۴/۸۲ و ۱۱/۸۳-۸/۲۶ متر مکعب بر ثانیه، بایستی در نظر گرفته شود. مطالعه حاضر این نتیجه مهم را نشان می‌دهد که مقادیر محاسبه شده از دقت خاصی برخوردار بوده است زیرا آستانه‌های جریان اکولوژیک برآورد شده توسط روش شبیه‌سازی زیستگاه نسبت به تغییرات منحنی‌های مطلوبیت حساس بودند. با تأمین عمق آب و سرعت جریان مناسب، نیازهای اکولوژیک گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج طی فعالیت‌های زیستی فراهم شده و از این جهت مدل‌سازی اکوهیدرودینامیکی زیستگاه می‌تواند نقش مهم و آشکاری در مدیریت اکوسیستمی جریان درون رودخانه‌ای ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: رژیم هیدرولوژیکی، رودخانه کرج، مدل‌سازی اکوهیدرولیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، مطلوبیت زیستگاه

۱ | مقدمه

در مدیریت نوین و اکوسیستمی رودخانه، پشتیبانی از احیای زیستگاه‌های آبی، حفظ عملکردهای تنوع زیستی و خدمات اکوسیستم با درک الگوها و فرآیندهای ژئومورفیک و موجود در سامانه‌های طبیعی رودخانه‌ای از جمله شار مواد مغذی، بهبود زیستگاه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

فیزیکی، ایجاد شرایط مناسب برای زیستگاه تخم‌ریزی ماهی و ایجاد بستر مطلوب برای اکوسیستم رودخانه در نظر گرفته می‌شود، به‌عنوان مثال مدیریت نوین اکوسیستم محور رودخانه، نیازهای زیستگاهی گیاهان و موجودات بومی منطقه را در نظر می‌گیرد (Zhou *et al*., 2021; Wu *et al*., 2022). خصوصیات زیستگاه‌های فیزیکی در رودخانه‌ها حاصل واکنش بین فرآیندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و ژئومورفیکی و فعالیت‌های زیست‌محیطی موجودات زنده با یکدیگر است (Zhao *et al*., 2017). در اکوسیستم رودخانه، عوامل محیطی و زیستی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف عمل می‌کنند و بر الگوهای توزیع تنوع زیستی آب تأثیر می‌گذارند (Jiao *et al*., 2019; Naderi *et al*., 2021). از این‌رو خصوصیات اصلی هیدرولیکی (سرعت جریان و عمق آب) و زیستگاه (نوع بستر) و تأثیر ترکیبی آنها به‌عنوان محرک‌های اصلی توزیع فضایی جوامع آبزی در مقیاس ریززیستگاه ارزیابی می‌شود (Kelly *et al*., 2015; Mostafavi *et al*., 2020). مطالعه زیستگاه‌های ماهیان از این جهت مهم است، تا بتوان تأثیر ساخت مخزن بر اکوسیستم‌های رودخانه را بهتر شناخت (Jiao *et al*., 2019; Yang et al., 2021; Naderi *et al*., 2023).

جوامع آبزیان به‌عنوان احیاگران طبیعت رودخانه و ساختار اکولوژیک اکوسیستم، برای انجام فعالیت‌های زیستی و زنده‌مانی، سه نیاز کلیدی دارند: رژیم‌های جریان قابل زندگی (رژیم جریان اکولوژیک)، فضایی که در آن زندگی و فعالیت کنند (زیستگاه مطلوب) و شبکه غذایی قابل اعتماد (تغذیه) (Nan *et al*., 2022; Splendiani *et al*., 2020; Johnson *et al*., 2021; Zhu *et al*., 2020). نکته مهم در بحث احیای رودخانه، وجود زیستگاه‌های مناسب جهت زندگی گونه های مختلف آبزیان می‌باشد. وجود انواع زیستگاه‌های خیزاب و گوداب در مسیر رودخانه برای زندگی آبزیان (برای تخم‌ریزی، شرایط زندگی بچه‌ماهی‌ها، ماهی‌های نیمه بالغ و بالغ) لازم می‌باشد. بنابراین در بحث احیای اکولوژیک رودخانه‌ها، سعی در ایجاد زیستگاه‌های مناسب می‌گردد (Shearer *et al*., 2015; Naderi *et al*., 2021; Zang *et al*., 2018).

برای درک روابط جریان–اکولوژی، دو دیدگاه وجود دارد. یکی تخمین زمان و میزان حرکات ماهیان نسبت به عوامل محیطی است که از منظر پویایی جمعیت ماهیان، مانند رویکرد شعاع سازگار هیدرولیکی اکولوژیکی (Adapted Ecological Hydraulic Radius Approach: AEHRA)، شاخص مطلوبیت زیستگاه (Habitat Suitability Index: HSI) و شاخص یکپارچگی زیستی (Index of Biological Integrity: IBI) دارای اهمیت است (Zhao *et al*., 2017). و دیدگاه دیگر، از منظر جریان است. بنیان‌های پژوهش در حوزه جریان اکولوژیک و پیشرفت روش‌های ارزیابی زیستگاه آبزیان، کمک قابل توجهی به فهم و مدیریت آینده اکوسیستم‌های رودخانه‌ای می‌کنند. جریان مناسب زیست‌محیطی ابزاری مهم است که در ترمیم و احیای زیستگاه‌های ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نقش مهمی در حفاظت از محیط‌زیست از شاخه‌های مختلف ایفا می‌کند (Davie and Mitrovic, 2014; Zhang *et al*., 2021; Johnson *et al*., 2021) ، با این حال، الزامات جریان اکولوژیک اغلب با منافع اقتصادی مدیران سد و نیروگاه‌های برق‌آبی در تضاد است، که دستیابی به تضمین پایدار کیفیت و کمیت را دشوار می‌کند. بنابراین ضروری است که تضاد بین این دو کاهش یابد. چگونگی حل یا کاهش تضاد بین الزامات رهاسازی جریان اکولوژیک و منافع اقتصادی حکمرانان و مدیران منابع آبی به موضوعی کلیدی در حفاظت و احیای زیستگاه‌های رودخانه‌های حفاظت شده و کوهستانی تبدیل شده است (Holmes *et al*., 2015; Karimi *et al*., 2021; Nan *et al*., 2022). استفاده از رژیم‌های جریان اکولوژیک به‌طور گسترده برای بهبود کیفیت زیستگاه ماهی در تلاش برای بازسازی و احیای رودخانه اجرا شده است. با این حال، طرح‌های جریان زیست‌محیطی (برآورد نیاز آبی اکولوژیک) که تنها بر یک مرحله حیاتی کلیدی گونه‌های ماهیان (مثلاً تخم‌ریزی)

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

تمرکز می‌کنند (Zhang *et al*., 2021; Wu *et al*., 2022) ، بدون در نظر گرفتن نیازهای بالقوه اکولوژیک در مراحل دیگر (به‌عنوان مثال، پرورش و تغذیه) می‌توانند منجر به بهبود اندک یا بدون هیچ‌گونه بهبودی شوند (Naderi *et al*., 2021). علاوه بر این، هنوز درک کافی از چگونگی تخصیص جریان‌های اکولوژیک برای دستیابی به بهترین نتایج ممکن برای حفاظت از تنوع زیستی، وجود ندارد (Zhao *et al*., 2017). بسیاری از پروژه‌های کوچک برق‌آبی بدون در نظر گرفتن جریان اکولوژیک ساخته شده‌اند، یا اینکه در آن پروژه‌ها، از روش‌های ساده هیدرولوژیکی برای تعیین جریان پایه اکولوژیک استفاده می‌شود (Zhang *et al*., 2018). از سوی دیگر، نتایج برآورد جریان پایه اکولوژیک با روش‌های هیدرلوژیکی، از نظر کمی ناچیز است (Karimi *et al*., 2021) و فقط می‌تواند از بقای اولیه کوتاه‌مدت ماهیان و جوامع آبزی، نگهداری و حفاظت کند.

رایج‌ترین مدل‌های زیستی مورد استفاده در ارزیابی جریان اکولوژیک رودخانه، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای سرعت جریان، عمق آب و بستر می‌باشند (Shearer *et al*., 2015; Gholizadeh *et al*., 2018; Johnson *et al*., 2021) ، که معمولاً عملکردهای انتخاب زیستگاه را براساس فراوانی مشاهده‌شده در ریززیستگاه‌های مختلف نسبت به زیستگاه موجود نشان می‌دهند (Vazquez *et al*., 2020). منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه نشان‌دهنده ارتباط زیستگاهی و محدوده‌های مطلوب یا نامطلوب از لحاظ پارامترهای مورد نظر برای یک گونه شاخص است که تابعی از روابط مختلف و بر پایه اصول بیولوژیکی هستند (Jiao *et al*., 2019; Mostafavi *et al*., 2021a). نگرانی خاص این است که فراوانی استفاده از زیستگاه (یا تراکم ماهی) ممکن است به‌طور دقیق پیامدهای مناسب استفاده از زیستگاه را منعکس نکند، به‌ویژه برای گونه‌های غیربومی مانند ماهی قزل‌آلا که در آن افراد تحت سلطه ممکن است به زیستگاه با کیفیت پایین در تراکم بالا منتقل شوند (Kelly *et al*., 2019; Ferguson *et al*., 2019; Vazquez *et al*., 2020).

روش شبیه‌سازی زیستگاه، که به‌طور گسترده در ارزیابی جریان اکولوژیک اکوسیستم‌های آبی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Naderi *et al*., 2023؛ Holmes Jiao *et al*., 2019; Wu *et al*., 2022; *et al*., 2015) ، براساس رابطه بین کیفیت زیستگاه آبی و جریان در رودخانه است و محیط رودخانه را در شرایط مناسب برای بقای گونه‌هایی که باید محافظت شوند، تأمین می‌کند (Naderi *et al*., 2021; Yang *et al*., 2021). در سال‌های اخیر در مطالعات بررسی مطلوبیت زیستگاه ماهیان و برآورد رژیم جریان ایده‌آل اکولوژیک رودخانه‌ها، از مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه استفاده شده است. برای مثال Zhang و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی بیان کردند که یک رژیم جریان زیست‌محیطی با ترکیبی از جریان‌های کم و زیاد و فراوانی جریان حداکثر و سیلابی، نقش مهمی در عملکردهای اکولوژیک، تضمین تخم‌ریزی و افزایش بقای ماهیان و تحریک مراحل جدید زندگی موجودات آبزی دارد. همچنین Zhang و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه مشابه، توسعه یک چارچوب یکپارچه که متغیرهایی از چندین مرحله زندگی گونه‌های ماهی است و فراهم کردن دسترسی عملکردی برای فعالیت‌های زیستی، تأمین نیازهای کیفیت زیستگاه و دسترسی به مناطق دشت‌سیلابی برای تغذیه و تخم‌ریزی ماهیان از طریق فرآیندهای جریان اکولوژیک را موجب بهبود زیستگاه رودخانه برای بقا و تخم‌ریزی ماهی، بیان کردند. Zhou و همکاران (۲۰۲۱) شبیه‌سازی توزیع دوبُعدی هیدرودینامیکی و شاخص مطلوبیت زیستگاه را برای تعیین نیاز آبی و اتصال زیستگاه‌های مناسب رودخانه، مورد مطالعه قرار دادند و آن را مرجعی برای تنظیم منابع آب و حفاظت از زیستگاه اکولوژیک جوامع آبزی، ارائه کردند. Naderi و همکاران (۲۰۲۱) توزیع مطلوبیت زیستگاهی و تأمین پتانسیل اکولوژیک رودخانه زرین‌گل در دبی‌های مختلف در فصول خشک و کم آبی و ایجاد رابطه بین

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

هیدرولیک جریان و نیازهای زیستگاهی ماهیان با شبیه‌سازی اکوهیدرولیکی زیستگاه را نیازمند درک پویایی زیستگاه ماهیان و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ زیستی ماهی طی فعالیت‌های زیستی در دوران رشد و تخم‌ریزی و تکثیر، بیان کردند. Nan و همکاران (۲۰۲۲) در برآورد جریان اکولوژیک ماهیان رودخانه شایینگ با استفاده از مدل دوبعدی شبیه‌سازی زیستگاه، مفهوم حداقل جریان اکولوژیک را به‌عنوان حداقل جریان در یک رودخانه برای حفظ تنوع زیستی و شکل اولیه اکولوژیک رودخانه، پیشنهاد کردند. Mazloomi و همکاران (۲۰۲۲) ارائه الگوی زمانی تأمین جریان محیط‌زیستی رودخانه بشار در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مطابق رژیم طبیعی جریان و تأمین نیازهای زیستگاهی در مراحل مختلف چرخه زندگی ماهیان را با مقایسه مشخصات عمق آب و سرعت جریان مطلوب در مزوزیستگاه‌های رودخانه، ملاک قرار دادند. Kim و همکاران (۲۰۲۴) یک رویکرد جامع با توسعه روش‌های نظارت بلندمدت و مدل‌سازی دینامیک جریان اکولوژیک رودخانه و ادغام تجزیه و تحلیل‌های آب حوضه با سناریوهای رشد جمعیت ماهی تحت شرایط مختلف جریان در مدیریت مؤثر اکوسیستم رودخانه، ارائه کردند.

رودخانه حفاظت شده کرج که حیات اقتصادی-اجتماعی استان البرز و شهر تهران به آن وابسته است، به‌عنوان اولین رودخانه حفاظت شده کشور از ارزش‌های زیستگاهی بالایی برخوردار است و در حال حاضر گونه حائز اهمیت قزل‌آلای خال‌قرمز در این رودخانه، حیات زیستی فعالی دارد (Karimi *et al.*, 2021; Mostafavi *et al.*, 2021b; Samadi-kouchaksaraei and Rezaei Tavabe, 2023). در مطالعه حاضر، برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (*Salmo trutta* L.1758) از راسته آزاد ماهی‌شکلان (Salmonifores) و خانواده آزادماهیان (Salmonidae) به‌دلیل حضور و فراوانی در فصول و بازه‌های مختلف مطالعاتی و همچنین براساس اطلاعات بلندمدت اجرای مطالعات بیولوژیک و بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی و خصوصیات زیست‌شناختی فون ماهیان در منطقه (Mostafavi *et al.*, 2021a; Samadi-kouchaksaraei and Rezaei Tavabe, 2023) به عنوان گونه هدف در نظر گرفته شد. این ماهی دارای سر کوچک و دهان بزرگ است و اغلب به رنگ قهوه‌ای مایل به طلایی و یا روشن در قسمت پشتی، نقره‌ای رنگ در پهلو و سفید مایل به زرد در بخش شکمی و دارای خال‌های زیادی بر بدن و تعدادی خال قرمزرنگ به ویژه بر خط جانبی است. از دیگر ویژگی‌های ظاهری این ماهی، حاشیه باله چربی نارنجی یا قرمز است و بلوغ این ماهی در سن ۵-۲ سالگی اتفاق می‌افتد. افراد نابالغ معمولاً از حشرات آبزی و خشکی‌زی تغذیه می‌کنند، درحالی که افراد بالغ از نرم‌تنان، سخت‌پوستان، ماهیان کوچک، قورباغه‌ها، سمندر و حتی پستانداران کوچک به‌صورت تصادفی و غیرانتخابی، تغذیه می‌کنند. این ماهی از اوایل فصل پاییز (مهر تا بهمن) عکس جهت جریان آب به سمت قسمت‌های فوقانی رودخانه حرکت و بر بستر شنی و سنگریزه‌ای تخم‌ریزی می‌کند. این گونه به لحاظ ماهی‌گیری در آب‌های داخلی، صید ورزشی و مطالعات بیوسیستماتیک جانوری نیز حائز اهمیت می‌باشد (Ferguson *et al.*, 2019; Mostafavi *et al.*, 2020). این گونه ماهی یکی از گونه‌های بسیار مهم ماهیان رودخانه‌ای است که در بسیاری از تحقیقات به‌آن توجه شده است (Splendiani *et al.*, 2020; Mostafavi *et al.*, 2021b) و می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب در مطالعات زیست‌محیطی آبراهه‌ها به آن توجه شود.

با احداث سد مخزنی امیرکبیر در سال ۱۳۴۰ بر روی رودخانه کرج و عدم پیش‌بینی مکانیزمی جهت مهاجرت ماهی‌ها به بالادست آن، مسیر مهاجرت آزادماهیان و کپورماهیان به سرشاخه‌های رودخانه کرج قطع شده و بخش عظیمی از زیستگاه‌های تخم‌ریزی از دسترس این ماهیان خارج شد. همچنین در پایین‌دست سد امیرکبیر به‌دلیل تغییر رژیم‌های جریان و رسوب،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، عدم پیش‌بینی مناسب حق‌آبه زیست‌محیطی، مدیریت نامناسب منابع‌آب و انتقال تونلی آب از محل سد امیرکبیر برای مصارف شرب کلانشهر تهران، موجب تخریب زیستگاه‌های فیزیکی جریان شده و تکثیر طبیعی ماهیان را با مشکلات بسیاری، مواجه کرده است (Mostafavi *et al*., 2020; Mostafavi *et al*., 2021b). از سوی دیگر، برای بهبود رضایت‌مندی از نیازهای اکولوژیک رودخانه و کاهش اختلاف بین رهاسازی جریان از مخزن سد و جریان طبیعی اکولوژیک و متعادل‌سازی نیازهای مختلف، ضروری است روش‌های معتبر و قابل قبول از جمله روش شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه در تعیین میزان جریان مطلوب برای بهبود کیفیت زیستگاه ماهیان در بلند مدت، مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش با توجه به مطالعات گسترده میدانی و کتابخانه‌ای، سعی می‌شود با استفاده از مدل اکوهیدرودینامیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه و با درک مشخصه‌های اکولوژیک-اکوهیدرولیک و هیدرومورفواکولوژیک رژیم جریان و نیز پویایی جمعیت ماهیان، جهت برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد امیرکبیر و تحلیل سناریوهای نیاز آب اکولوژیک برای حفظ پتانسیل مطلوب رودخانه کرج در پایین‌دست سد، راهکارهای مفید و مؤثری برای بهبود مدیریت زیستگاه‌های آبزی، آماده‌سازی زیستگاه رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان، بهبود عملکرد اکوسیستم و فرآیندهای اکولوژیک رودخانه، معرفی گردد.

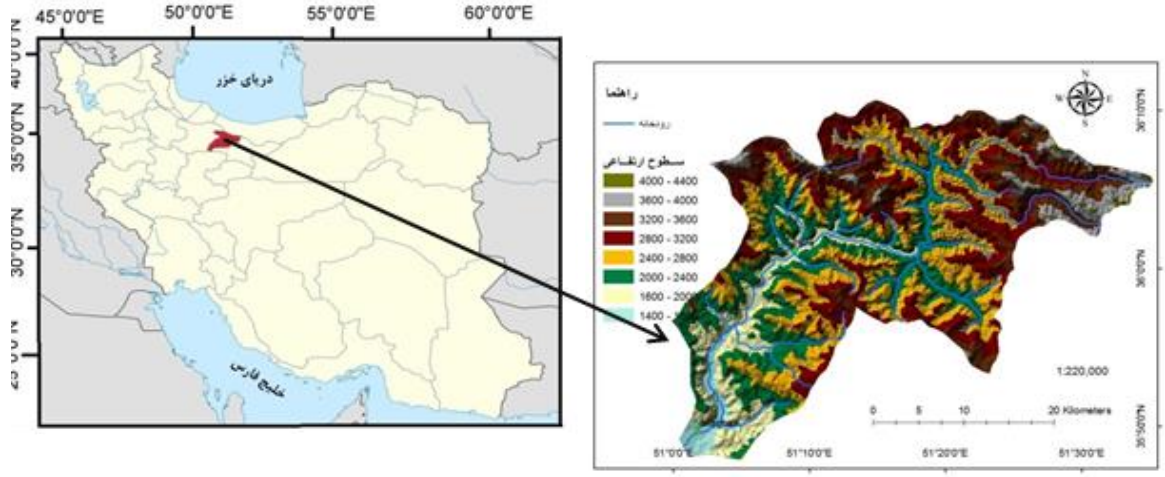
۲ | مواد و روش‌ها

رودخانه کرج از جمله مهم‌ترین محدوده‌های حوضه آبخیز دریاچه نمک، در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی بین مختصات ´۰۲،°۵۱ تا ´۳۵،°۵۱ طول شرقی و ´۰۲،°۳۵ تا ´۱۱،°۳۶ عرض شمالی و در محدوده ارتفاعی ۴۲۰۰-۱۲۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این حوضه با مساحت ۱۰۶۷ کیلومتر مربع، از شمال به خط تقسیم آب رودخانه‌های حوضه آبریز دریای مازندران، از غرب به حوضه کردان و طالقان، از جنوب به دشت کرج و شهریار، از شرق به حوضه‌های شمال تهران و از جنوب‌شرقی به دشت تهران و رباط‌کریم، محدود می‌گردد. شکل ۱، نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رودخانه کرج در مسیر شمال به جنوب با طول تقریبی ۷۷ کیلومتر جریان داشته، رژیم آبی آن برفی- بارانی و دائمی و دوران پرآبی آن، فصل بهار بوده که پس از طی ۶۰ کیلومتر از سرچشمه به دریاچه سد امیرکبیر منتهی شده و در نهایت به دریاچه نمک در نزدیکی شهر قم می‌ریزد (Karimi *et al*., 2021; Ghaforpuranbaran *et al*., 2023). میانگین دمای سالانه و بارندگی در این حوضه به‌ترتیب ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۸۰ میلی‌متر است. همچنین اقلیم منطقه براساس اقلیم نمای دومارتن، نیمه‌خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود. رودخانه مورد مطالعه، به‌دلیل تأمین آب مورد نیاز منطقه برای آبیاری کشاورزی و مصارف شرب، گردشگری و نیز مطالعات بیوسیستماتیک جانوری، حائز اهمیت بوده و مکان مناسبی برای تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها و دیگر آبزیان بومی منطقه است (Saeidi *et al*., 2022). دو سازه آبی بسیار مهم در مسیر رودخانه کرج سد امیرکبیر و آبگیر بیلقان، به‌عنوان مهم‌ترین نقطه تأمین و انتقال آب شهر تهران محسوب شده و در آبگیر بیلقان نیز بخشی از منابع آب تخصیص کشاورزی برداشت شده و وارد کانال آبیاری می‌شود که به اراضی کشاورزی جنوب کرج، ماهدشت و شهریار هدایت می‌گردد. در پژوهش حاضر محدوده مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه کرج در پایین‌دست سد امیرکبیر و ایستگاه هیدرومتری بیلقان تا بازه شهری پارک چمران به‌طول تقریبی ۱۵ کیلومترکه دارای ارزش زیستگاهی است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مدل شبیه‌سازی زیستگاه: به‌منظور ارزیابی اکوسیستم رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، روش‌های زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر، مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه رودخانه به‌طور عمده شامل مدل یک

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



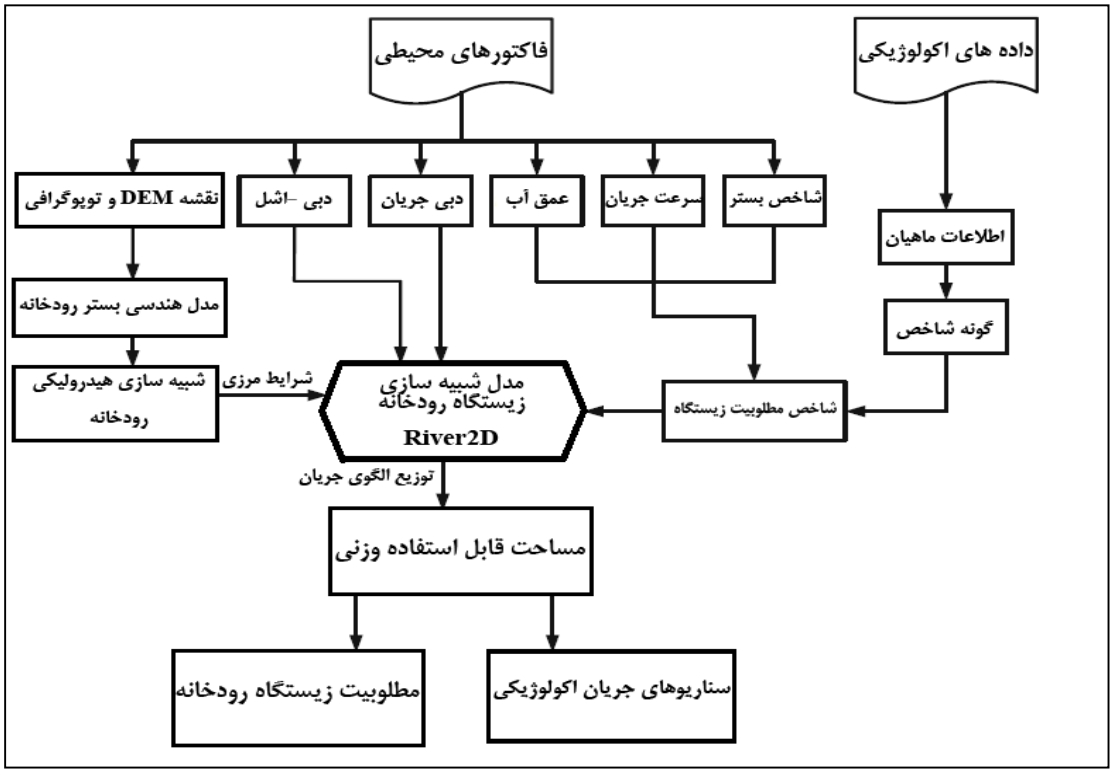
شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز کرج و منطقه مورد مطالعه

بُعدی PHABSIM، مدل EVHA، مدل HABITAT، مدل دو بعدی River2D و مدل سه بعدی DELFT3D است (Naderi *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2021). اگرچه مدل یک بعدی با تعمیق تحقیقات از مزایای بسیاری مانند استفاده ساده و کالیبراسیون راحت برخوردار است، اما مدل دو بعدی به‌دلیل دقت بالاتر شبیه‌سازی، به‌تدریج مورد توجه محققان قرار گرفته است (Zhu *et al*., 2020; Yang *et al*., 2022; Wu *et al*., 2022). مدل اکوهیدرودینامیکی-هیدرومورفولوژیکی River2D سرعت آب و عمق جریان هر نقطه شبکه را شبیه‌سازی می‌کند و نیز شبیه‌سازی زیست‌محیطی را با شبیه‌سازی هیدرولیکی ترکیب می‌کند تا مساحت قابل استفاده وزنی (Weighted Usable Area) را به‌دقت پیش‌بینی کند (Holmes *et al*., 2015; Wu *et al*., 2022). بنابراین، در مطالعه حاضر از مدل River2D برای شبیه‌سازی هیدرودینامیکی دو بعدی و شبیه‌سازی زیستگاه ماهی بخش رودخانه استفاده شد. جزء زیستگاه ماهی در مدل اکوهیدرودینامیکی River2D براساس مفهوم مساحت قابل استفاده وزنی استفاده شده در مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه ماهی مانند مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM است (Zhu *et al*., 2020). مدل River2D، سه فرض دارد: ۱- مناسب بودن زیستگاه و جریان از همبستگی خاصی برخوردار هستند، ۲- تغییر در عمق آب، سرعت جریان، بستر کانال یا پوشش عوامل اصلی مؤثر بر توزیع و کمیت گونه‌ها هستند و ۳- توپوگرافی کنار رودخانه با تغییر جریان ثابت می‌ماند (Jiao *et al*., 2019; Yang *et al*., 2021; Wu *et al*., 2022). همچنین از مدل HEC-RAS برای انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه استفاده شد و خط طبیعی سطح آب رودخانه به‌عنوان شرط مرجع شبیه‌سازی دو بعدی، محاسبه شد. در نهایت مقدار مساحت قابل استفاده وزنی به‌عنوان پایه اصلی برای قضاوت در مورد میزان جریان مورد نیاز در زیستگاه رودخانه، مورد استفاده قرار گرفت. روند بکار گرفته شده در مدل River2D، به‌طور شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

شاخص مطلوبیت زیستگاه می‌تواند به‌طور کمی، رفتار خاص یک گونه را توصیف کند (Ghazlikor *et al*., 2023). شاخص مطلوبیت زیستگاه دارای ۴ سطح مختلف (۰/۷۵<HSI≤۱ خیلی مطلوب؛ ۰/۵<HSI≤۰/۷۵ مطلوب؛ ۰/۲۵<HSI≤۰/۵ نامطلوب؛ ۰≤HSI≤۰/۲۵ خیلی نامطلوب) می‌باشد (Naderi *et al*., 2021; Gholizadeh *et al*., 2018; Shearer *et al*., 2015). پس از ایجاد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای هر یک از مؤلفه‌های فیزیکی زیستگاه، شاخص‌های مطلوبیت برای به‌دست آوردن شاخص

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



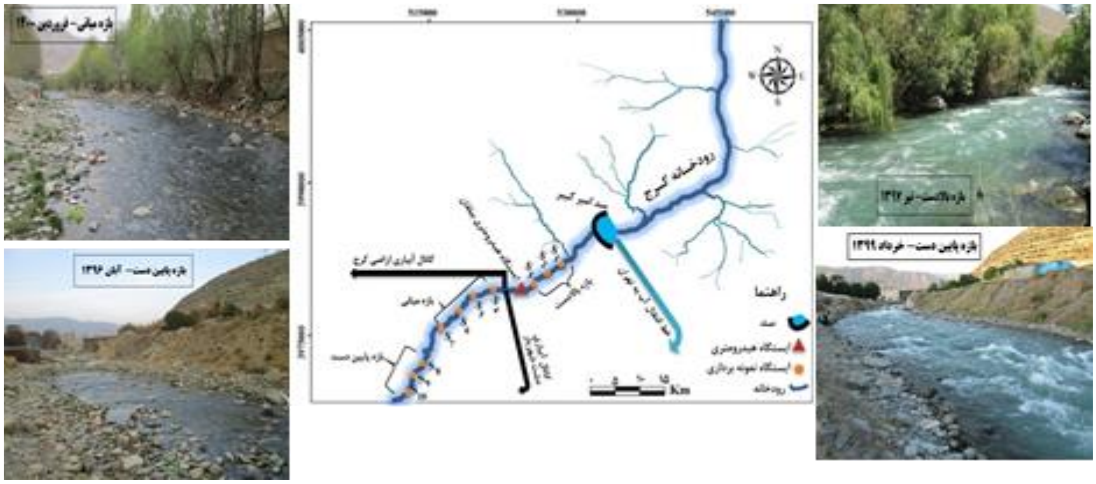
شکل ۲- فلوچارت مدل River2D

مطلوبیت ترکیبی با هم ادغام می‌شوند. فرض اصلی شاخص مطلوبیت ترکیبی این است که گونه تمایل دارد زیستگاهی را انتخاب کند که به بهترین وجه نیازهای بقای خود را داشته باشد. هرچه مقدار مطلوبیت زیستگاه بیشتر باشد، فراوانی وقوع گونه‌ها نیز بیشتر است (Mostafavi *et al*., 2020; Mostafavi *et al*., 2021b; Kim *et al*., 2024). شاخص مطلوبیت ترکیبی در هر سلول زیستگاهی (گره) به‌عنوان ترکیبی از شاخص‌های مناسب بودن جداگانه برای عمق آب، سرعت جریان و شاخص بستر محاسبه می‌شود. شاخص مناسب بودن برای هر پارامتر با درون‌یابی خطی از یک منحنی ترجیح ماهی که به‌طور جداگانه تهیه می‌شود، ارزیابی می‌شود. عمق آب و سرعت جریان به‌طور مستقیم از قسمت هیدرودینامیکی مدل گرفته می‌شود. مقادیر شاخص بستر ممکن است به بستر کانال یا پوشش برای گونه‌های مختلف ماهی و مراحل زندگی بستگی داشته باشد. مساحت قابل استفاده وزنی، حاصل از شاخص مطلوبیت ترکیبی و مساحت هر بازه زیستگاه، می‌باشد (Kelly *et al*., 2015; Zhu *et al*., 2020; Vazquez et al., 2020).

اندازه‌گیری و نمونه‌برداری پارامترهای اکولوژیک و هیدرولیک رودخانه: با هدف تحلیل اکوهیدرولیک-هیدرومورفولوژیک، عملیات بازدید از اکوسیستم رودخانه کرج در ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری (بازه‌ها در محدوده ایستگاه هیدرومتری بیلقان و پایین‌دست سد امیرکبیر در نظر گرفته شدند)، در حوضه رودخانه کرج در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶، صورت گرفت. ارتفاع ایستگاه‌های اصلی رودخانه از سطح دریا، بین ۱۳۰۰ تا ۱۳۸۰ متر توزیع شده‌اند. برای ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری، اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، اکولوژیک و هیدرولیک در دوره‌های مرطوب و خشک سال (فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان) انجام شد (شکل ۳ و جدول ۱). یک بازه ۲۰۰ متری برای پایش هر ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. جهت پوشش زیستگاه‌های رودخانه‌ای، نمونه‌برداری به‌صورت الگوی زیگزاگی و متوالی از ساحل راست به ساحل چپ مقطع رودخانه و در خلاف جهت جریان از پایین‌دست به سمت بالادست ایستگاه انتخابی، انجام شد. انتخاب بازه مطالعاتی براساس قابلیت دسترسی برای اهداف نظارتی و به‌نحوی که نماینده همه زیستگاه محل

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



شکل ۳- نمایی از بازه‌های مطالعاتی رودخانه

مطالعه بود (براساس فاکتورهایی شامل قرار داشتن مرزهای محدوده مطالعاتی تحت تأثیر رژیم جریان، دارا بودن هیدروگراف یکسان در نواحی دارای شرایط مشابه هیدرولوژیک، تنوع در ریخت‌شناسی رودخانه (عوارضی همچون پیچ و خم‌های مقاطع عرضی رودخانه، شیب و ساختار بستر، زیستگاه‌های قلوه‌سنگی و پوشش گیاهی نوارهای بافر ساحلی رودخانه))، مدنظر قرار گرفت.

نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) به‌صورت نقطه‌ای و دقیق با استفاده از تور ساچوک و نیز یک تور گوشگیر ریزچشمه با اندازه چشمه ۶ میلی‌متر، ارتفاع ۲ متر و طول حدود ۱۰ متر، انجام شد. تور در بالا و پایین ایستگاه منتخب در عرض رودخانه، نصب شد و با استفاده از ساچوک، صید ماهی انجام شد. اکثر نمونه‌های صید شده در محل پس از صید به داخل سطل‌های از پیش تهیه شده، منتقل و مراحل شناسایی، زیست‌سنجی و عکس‌برداری انجام شده و در ادامه طول نمونه‌های صید شده با استفاده از تخته مندرج اندازه‌گیری، ثبت و تعداد آنها نیز شمارش شده و برخی از آنها که نیاز به بررسی بیشتر داشتند در فرمالین ۱۰ درصد، تثبیت شده، به آزمایشگاه منتقل گردید. برای مشخص نمودن فراوانی نسبی گونه‌های ماهی در منطقه مورد بررسی، تمام نمونه‌های صید شده، شمارش شدند. از مجموع ایستگاه‌های تعیین شده بر روی رودخانه کرج در بازه‌های مختلف مطالعاتی، تعداد ۸۴ نمونه گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز با طول کلی ۲۵۴-۸۲ میلی‌متر، به‌دست آمد. ماهیان بعد از زیست‌سنجی (اندازه‌گیری و تعیین فاکتورهای طول برای تعیین سن و دوره زندگی)، بلافاصله در آب تازه رودخانه قرار داده شده و بعد از اطمینان از بازیابی قدرت شنای مجدد در زیستگاه رودخانه، رهاسازی شدند. همچنین موقعیت ایستگاه نمونه‌برداری و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی، شرایط آب و هوایی در زمان نمونه‌برداری، نوع کاربری اراضی غالب حاشیه ۲۰ متری ایستگاه، پوشش گیاهی اطراف رودخانه، عرض متوسط رودخانه با استفاده از مترنواری (در نقاط پایین، میانی و بالای محدوده)، مساحت سطح نمونه‌برداری، عمق متوسط جریان با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی (با دقت ۰/۵ سانتی‌متر)، رژیم سرعت جریان در نقاط مختلف مقطع با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه صحرایی مدل MCF:DL با دقت ۰/۰۰۵ متر بر ثانیه) در ۰/۴ عمق آب به‌منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقطه نمونه‌گیری، وضعیت جریان، تغییرات کانال، شکل مورفولوژی و میزان فراوانی گوداب و خیزاب، وضعیت پیچان‌رودی بودن رودخانه و سایر خصوصیات زیستگاه در نقاط حضور ماهی، ثبت گردیدند. دبی جریان در هر ایستگاه و موقعیت نمونه‌برداری با استفاده از روش یکپارچه‌سازی سرعت،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی، مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری و میانگین پارامترهای هیدرولیکی و محیطی در رودخانه کرج

موقعیت جغرافیایی			پارامترهای محیطی در دوره نمونه‌برداری					
ایستگاه	بازه	ذرات غالب بستر	ارتفاع از سطح دریا	سرعت جریان (انحراف معیار ± میانگین)	عمق آب (انحراف معیار ± میانگین)	عرض مقطع مرطوب (انحراف معیار ± میانگین)	فراوانی قزل آلای خال‌قرمز	
			(متر)	(متر بر ثانیه)	(متر)	(متر)	(قطعه در متر مربع)	
S_1	بالادست	قلوه‌سنگ درشت	۱۳۷۸	۱/۳۱ ± ۰/۱۴	۰/۸۶ ± ۰/۱۴	۴/۳ ± ۱/۳	۰/۳۸۳	
S_2	بالادست	قلوسنگ درشت	۱۳۶۲	۱/۳۶ ± ۰/۱۶	۰/۸۷ ± ۰/۱۴	۴/۱ ± ۱/۲	۰/۳۶۲	
S_3	بالادست	قلوه‌سنگ درشت	۱۳۵۴	۱/۱۸ ± ۰/۲۳	۰/۶۳ ± ۰/۱۲	۳/۸ ± ۱/۴	۰/۲۷۷	
S_4	میانی	قلوه سنگ ریز	۱۳۴۲	۰/۸۶ ± ۰/۱۶	۰/۵۸ ± ۰/۱۶	۵/۳ ± ۱/۶	۰/۲۴۶	
S_5	میانی	قلوه سنگ ریز	۱۳۳۹	۰/۷۶ ± ۰/۱۵	۰/۵۷ ± ۰/۲۶	۶/۴ ± ۱/۴	۰/۲۶۴	
S_6	میانی	قلوه سنگ ریز	۱۳۳۴	۰/۷۶ ± ۰/۱۴	۰/۵۵ ± ۰/۱۳	۶/۶ ± ۱/۶	۰/۱۵۳	
S_7	میانی	قلوه سنگ ریز	۱۳۲۶	۰/۶۸ ± ۰/۱۳	۰/۴۵ ± ۰/۲۶	۷/۳ ± ۱/۴	۰/۰۷۵	
S_8	پایین دست	قلوه سنگ ریز	۱۳۱۴	۰/۶۳ ± ۰/۱۶	۰/۳۶ ± ۰/۱۶	۶/۷ ± ۲/۶	۰/۰۲۴	
S_9	پایین دست	قلوه سنگ ریز	۱۳۰۶	۰/۵۸ ± ۰/۲۸	۰/۳۳ ± ۰/۱۷	۶/۷ ± ۲/۳	۰/۰۱۸	
S_{10}	پایین دست	قلوه سنگ ریز	۱۳۰۲	۰/۵۶ ± ۰/۲۶	۰/۳۲ ± ۰/۱۳	۵/۶ ± ۲/۴	۰/۰۳۴	

برآورد شد. علاوه بر این، ساختار، پوشش بستر و نسبت انواع ذرات بستر در هر نقطه نمونه‌برداری (با در نظر گرفتن سطح خالص ۹۰۰ سانتی متر مربع)، طبق دستورالعمل‌های ارائه شده (Blair and McPherson, 1999) با استفاده از طبقه‌بندی ساده به‌صورت زیر، تعیین شد: تخته سنگ (>۲۵۶ میلی متر)، قلوه‌سنگ درشت (۲۵۶-۱۲۸ میلی‌متر)، قلوه‌سنگ ریز (۱۲۸-۶۴ میلی متر)، سنگریزه بسیار درشت (۶۴-۳۲ میلی متر)، سنگریزه درشت (۳۲-۱۶ میلی‌متر)، سنگ ریزه متوسط (۱۶-۸ میلی‌متر)، سنگریزه ریز (۸-۴ میلی‌متر)، شن گرانول (۴-۲ میلی‌متر)، شن و ماسه (۲-۰/۰۶ میلی‌متر)، سیلت (۰/۰۶-۰/۰۰۴ میلی‌متر) و خاک رس (<۰/۰۰۴ میلی‌متر).

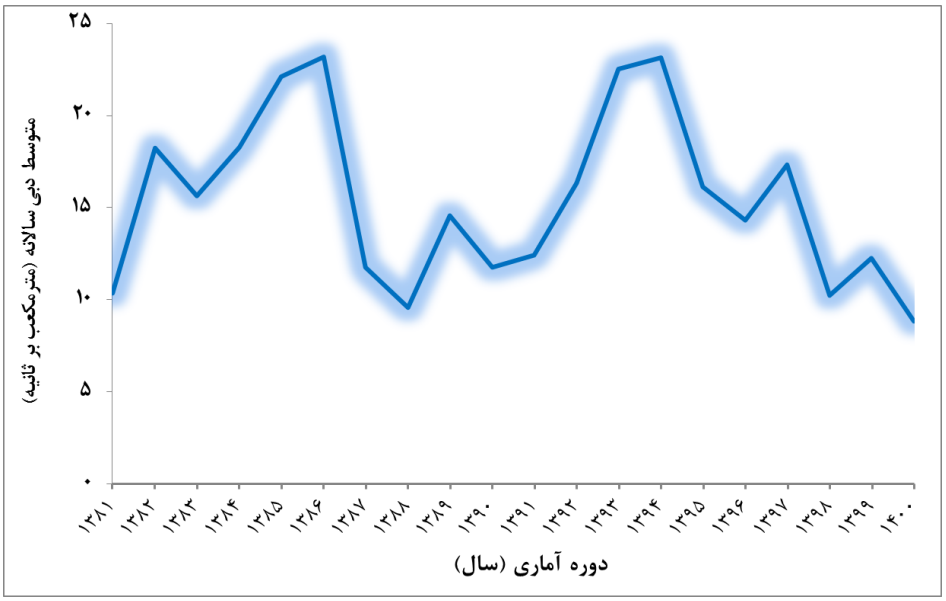
در این مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه کرج و نرم‌افزار Arc-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد و سپس داده‌های هندسی مقاطع عرضی به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و HEC-GeoRAS، به مدل HEC-RAS ارسال و شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه انجام گرفت. در ادامه با استفاده از ویژگی‌های هیدرولیکی رودخانه (داده‌های عمق آب و سرعت جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مطالعاتی و داده‌های عمق آب، سرعت جریان و تراز سطح آب تولید شده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS)، همراه با مشاهدات میدانی حضور و فراوانی ماهی (شاخص مطلوبیت زیستگاه مشروط ماهی در شرایط طبیعی و وضعیت خوب اکولوژیک)، وارد مدل River2D شده و شبیه‌سازی هیدرمورفولوژیکی-زیستگاهی رودخانه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج، صورت گرفت. همچنین سناریوهای مختلف مدیریت جریان بر میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس و منحنی‌های سری زمانی دبی-مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی گونه ماهی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳ | نتایج

در مطالعه حاضر، تخصیص رژیم جریان اکولوژیک، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن با توجه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بوم، به‌وجود آوردن شرایط مناسب برای تخم‌ریزی آبزیان و احیا اکوسیستم رودخانه دارد، مورد محاسبه و تحلیل قرار

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



شکل ۴- مقادیر آبدهی متوسط سالانه رودخانه کرج در ایستگاه هیدرومتری بیلقان در طول دوره آماری

جدول ۲– متوسط دبی ماهانه جریان (مترمکعب بر ثانیه) و درصد فصلی دبی جریان رودخانه کرج در ایستگاه هیدرومتری بیلقان از سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰

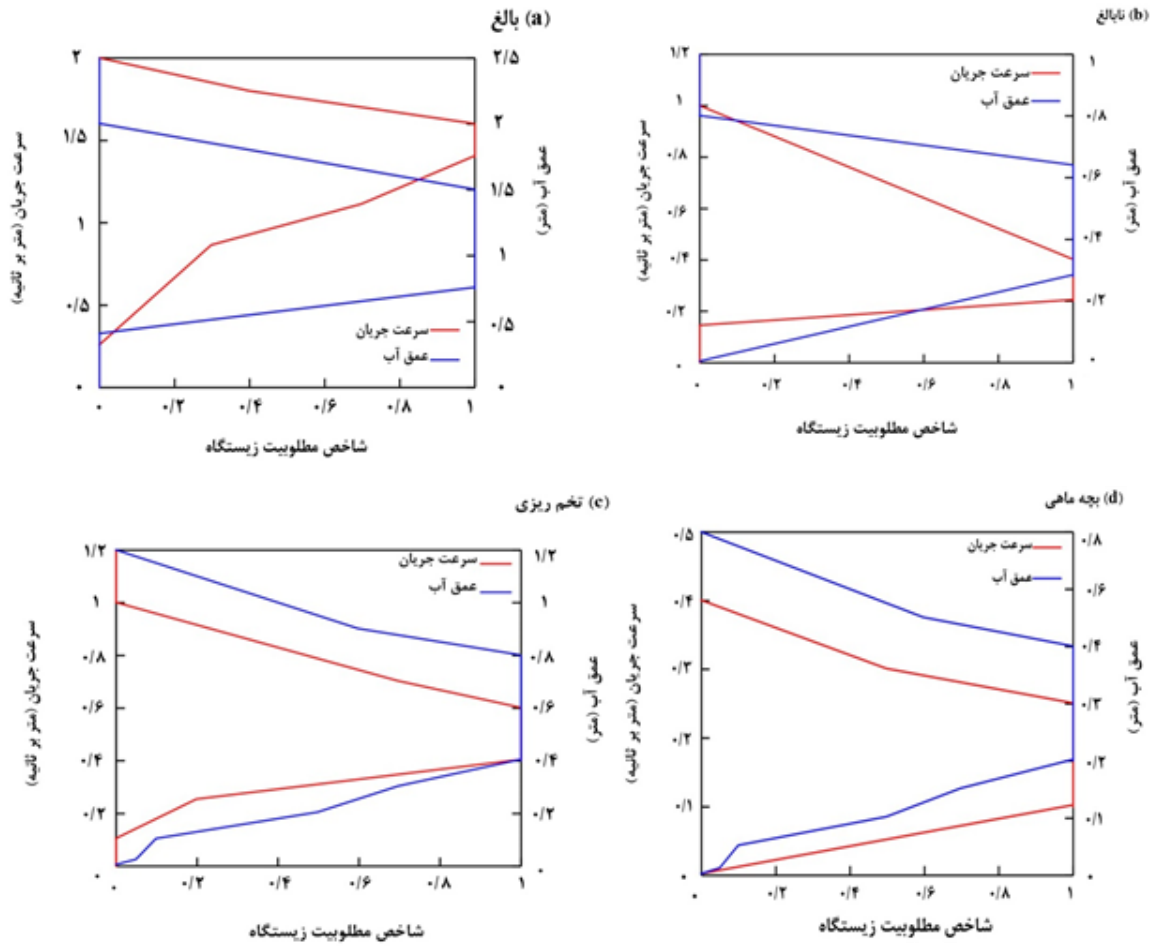
فصل		پاییز			زمستان			بهار			تابستان		
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	
دبی متوسط ماهانه	۱۲/۴۳	۱۰/۹۷	۱۰/۱۹	۹/۵۱	۸/۷۷	۱۰/۷	۱۵/۰۷	۲۹/۲۱	۲۷/۰۱	۱۸/۴۶	۱۵/۵۱	۱۴/۳	
درصد ماهانه	۶/۸۲	۶/۰۲	۵/۶	۵/۲۲	۴/۸۲	۵/۸۷	۸/۲۷	۱۶/۰۴	۱۴/۸۳	۱۰/۱۳	۸/۵۲	۷/۸۵	
درصد فصلی		۱۸/۴۴			۱۵/۹۱			۳۹/۱۴			۲۶/۵		

گرفت. سری زمانی داده‌های ۲۰ ساله دبی متوسط سالانه رودخانه کرج در ایستگاه هیدرومتری بیلقان در دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۸۱، نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس آمار و اطلاعات دوره ۲۰ ساله (از سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰) ایستگاه هیدرومتری بیلقان، دریافتی از دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان البرز، حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه رودخانه کرج در ماه اردیبهشت و برابر ۲۹/۳۱ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه بهمن و برابر ۸/۷۷ مترمکعب بر ثانیه و میانگین دبی سالانه، ۱۵/۱۸ مترمکعب برثانیه است (جدول ۲). مطابق نتایج، بیشترین درصد آبدهی رودخانه کرج در ایستگاه هیدرومتری بیلقان در فصل بهار (۳۹/۱۴ درصد) و کمترین میزان آن در فصل زمستان (۱۵/۹۱ درصد) می باشد.

با انجام بازدید و اندازه‌گیری‌های میدانی از زیستگاه رودخانه کرج در بازه‌های مختلف و ترکیب تحقیقات انجام شده میدانی با اطلاعات بلندمدت اجرای مطالعات زیستی و بررسی ویژگی‌های ریخت‌سنجی و خصوصیات زیست‌شناختی و عادات زیست‌محیطی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی پارامترهای عمق آب و سرعت جریان به‌عنوان عوامل مؤثر بر بقای ماهی در مراحل مختلف زندگی، توسعه و تولید گردید (شکل ۵). همچنین در شکل ۵، قابل توجه است که هر چه مقدار شاخص مطلوبیت زیستگاه بالاتر باشد، آن پارامتر، میزان مناسب بودن (مطلوبیت) بهتری دارد. مرحله رشد ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز را می‌توان به دو مرحله جوان و بالغ طبقه‌بندی کرد. با توجه به موارد مطرح شده، در مرحله نابالغ (خرداد تا مرداد)، محدوده سرعت جریان

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



شکل ۵- منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه در دوره‌های مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (بالغ (a)، نابالغ (b)، تخم‌ریزی (c) و بچه‌ماهی (d))

بهینه ۰/۴-۰/۲۵ متر بر ثانیه و محدوده عمق آب مطلوب ۰/۶۵-۰/۳ متر است. همچنین محدوده سرعت بهینه ماهی بالغ (خرداد تا آبان) ۲-۱/۴ متر بر ثانیه و محدوده بهینه عمق آب ۱/۵-۰/۸ متر است. دامنه عمق آب مناسب در مرحله تخم‌ریزی (مهر تا بهمن)، ۰/۸-۰/۴ متر و مناسب‌ترین عمق آب برای بچه‌ماهی، ۰/۴-۰/۲ متر است. همچنین سرعت جریان مطلوب در مرحله تخم‌ریزی از ۰/۳۷ تا ۰/۶ متر بر ثانیه و سرعت جریان مطلوب برای بچه‌ماهی از ۰/۱ تا ۰/۲۵ متر بر ثانیه، متغیر است (شکل ۵). شایان ذکر است، در این مطالعه به‌طور عمده به بهبود شرایط زیستگاه ماهی با برآورد جریان اکولوژیک رودخانه پرداخته شده است؛ بنابراین براساس بازدیدهای میدانی، مشخص گردید که بستر کانال یا پوشش در بخش پایین‌دست رودخانه کرج شرایط تقریباً مشابهی را دارد. بیشتر لایه‌های پوشش بستر رودخانه، قلوه‌سنگ درشت یا قلوه‌سنگ ریز با اندازه ذرات ۲۵-۶ سانتی متر است (جدول ۱)، و شاخص مطلوبیت این پارامتر برای ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، زیاد است. بنابراین، تأثیر تفاوت بین بستر کانال یا پوشش در نظر گرفته نشده است. به‌طور خاص، شاخص بستر کانال هر نقطه در بخش رودخانه، ۱ در نظر گرفته شده است.

الگوهای در دسترس بودن زیستگاه ماهی با اثرات مختلف تغییرات عمق آب و سرعت جریان که وابسته به رژیم جریان می‌باشد، با ویژگی‌های بستر رودخانه و به‌دنبال آن طیف وسیعی از جریان‌های کم تا زیاد، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که به‌دنبال آن، در دسترس بودن زیستگاه را برای مراحل مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج به حداکثر می‌رساند. مرحله تخم‌ریزی حیاتی‌ترین و مهم‌ترین مرحله در چرخه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

زندگی ماهی است، شرایط زیستگاه هیدرودینامیک رودخانه در این مرحله برای حفاظت از منابع گونه‌های ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز و احیای زیستگاه از اهمیت بالایی برخوردار است. تخم‌های ماهی باید برای مدتی در آب حرکت کنند تا بتوانند به لارو ماهی با توانایی شنا تبدیل شوند. در این فرآیند، اگر تخم‌ها به پایین فرو بروند و بشکنند یا در شن‌ها مدفون شوند، باعث مرگ تخم‌ها می‌شوند. از این‌رو، برای معلق نگه داشتن تخم‌ها در آب، باید شرایط هیدرودینامیکی خاصی را رعایت کرد. محیط هیدرولیک در یک رودخانه به‌شدت تغییر می‌کند، که ممکن است منجر به سرعت جریان، الگو و سایر شرایطی شود که نمی‌توانند تخم‌های ماهی را حفظ کنند و بدین‌ترتیب چرخه زندگی کامل ماهی را از بین ببرد و در نتیجه بر تعداد جوامع آبزی تأثیر بگذارد و حتی زندگی آنها را به‌خطر بیندازد. برای همین منظور، محدوده جریان‌های مطلوب اکولوژیک برای مراحل مختلف زندگی گونه ماهی قزل‌آلای خال قرمز در ایستگاه‌های مورد مطالعه، با توجه به مساحت مرطوب زیستگاه، درصد زیستگاه بهینه و ایده‌آل، مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شد. پس در نظر گرفتن دامنه جریان مطلوب اکولوژیک، می‌تواند بیشترین تأثیر را بر میزان زیستگاه مطلوب برای دوره زندگی بالغ گونه ماهی، داشته باشد. از جهت دیگر، با توجه به نتایج مشاهدات میدانی (جدول ۱) و برآورد توزیع جریان مطلوب اکولوژیک در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۳) مشاهده می‌شود که حداکثر جریان مطلوب اکولوژیک مورد نیاز، در بازه‌های بالادست و میانی رودخانه کرج می‌باشد و این در حالی است که حداقل جریان مطلوب اکولوژیک، در بازه پایین‌دست رودخانه کرج، محاسبه شده است. به‌طور کلی در مطالعه حاضر، فراوانی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، ارتباط خاصی با سرعت و دبی جریان در بازه بالادست رودخانه کرج دارد که در ناحیه کوهپایه‌ای و در محیطی با پوشش متراکم درختان واقع شده است. نتایج محاسبات مساحت قابل استفاده وزنی برای دبی‌های مختلف جریان براساس مدل River2D، در مراحل مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در زیستگاه‌های رودخانه کرج در شرایط قطعی و فاصله اطمینان ۹۰ درصد در شکل ۶، ارائه شده است. بر این اساس، نتایج شبیه‌سازی در شرایط قطعی در بازه اطمینان ۹۰ درصد قرار می‌گیرند که بایستی به این مطلب اشاره کرد که خروجی مدل River2D با پارامترهای شاخص مطلوبیت زیستگاه مطابقت دارد. همچنین با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در تمامی دوره‌های زندگی (بالغ، نابالغ، بچه‌ماهی و تخم‌ریزی)، با افزایش دبی جریان افزایش می‌یابد. به‌طور خاص، افزایش دبی تا حداکثر میانگین جریان سالانه، باعث افزایش عمق و حجم آب می‌شود، و از این طریق، زیستگاه مناسب‌تری برای گونه ماهی شاخص بالغ فراهم می‌کند. با این حال، با توجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه، شاخص مطلوبیت زیستگاه گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در دیگر مراحل چرخه زندگی، در صورت دبی بیش از حد، کاهش می‌یابد و این امر باعث می‌شود مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه در دسترس) کاهش یابد (شکل ۶). همچنین در شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می‌شود، تغییر جریانی که می‌تواند برای یک مرحله زندگی قزل‌آلای خال قرمز مفید باشد، ممکن است برای مرحله دیگری، مطلوب نباشد. از سوی دیگر، جریان آب بیشتر به معنی زیستگاه در دسترس بهینه و ایده‌آل، نمی‌باشد زیرا کیفیت زیستگاه‌های مختلف در رودخانه به‌وسیله موجودات آن‌ها تعریف شده است و هیچ جریانی حداکثر زیستگاه در دسترس را برای همه موجودات آبزی، حفظ نخواهد کرد.

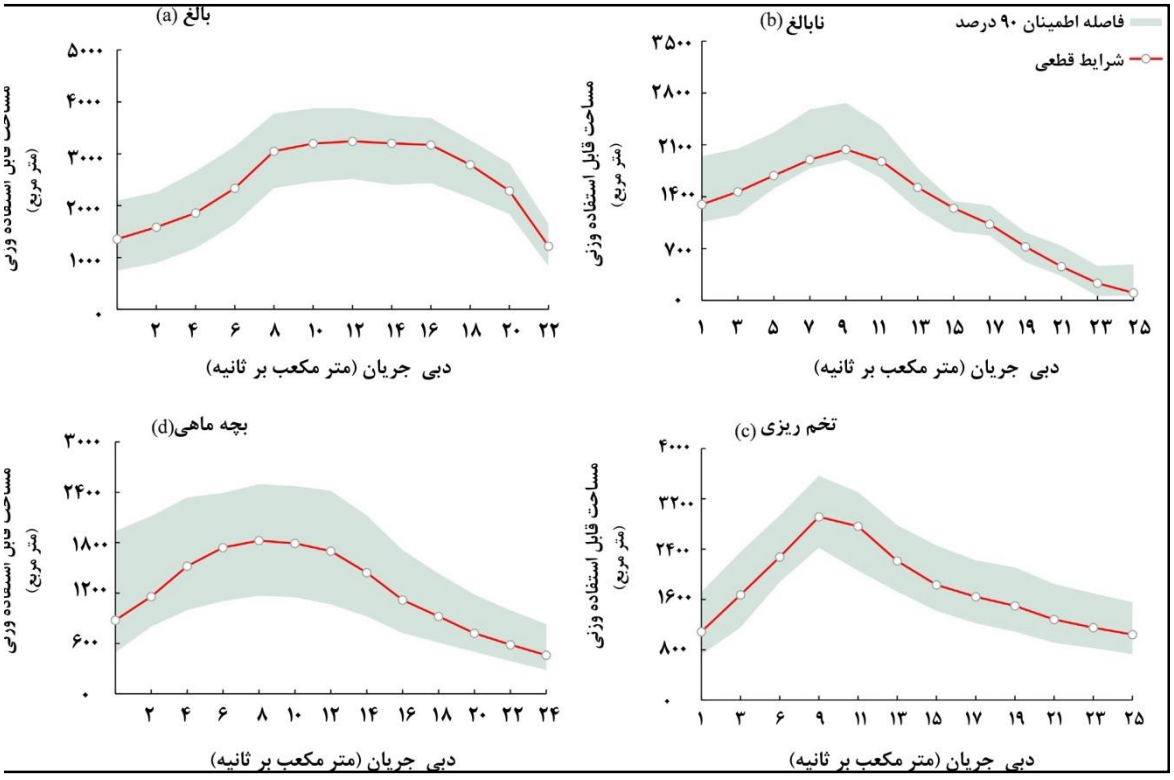
همچنین شکل ۶، نشان می‌دهد منطقه زیستگاه ماهیان بالغ قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج، کمتر تحت تأثیر تغییر دبی جریان قرار می‌گیرد. نقطه عطف آشکار منحنی دبی-مساحت قابل استفاده وزنی قزل‌آلای خال‌قرمز بالغ، ۸ متر مکعب بر ثانیه است و دبی جریان به‌عنوان حداقل دبی اکولوژیک رودخانه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

جدول ۳- توزیع جریان‌های مطلوب اکولوژیکی محاسبه شده برای ۱۰ ایستگاه مورد مطالعه در رودخانه کرج و معیارهای نسبی بیولوژیکی در محدوده قابل قبول رژیم جریان

ایستگاه	جریان مطلوب اکولوژیکی (متر مکعب بر ثانیه)	مساحت مرطوب (مترمربع)	زیستگاه بهینه و ایده‌آل (درصد)			
		بالغ	نابالغ	تخم ریزی	بچه ماهی
S_1	۱۱/۴۳	۲۳۶	۸۷	۵۸	۶۶	۳۶
S_2	۱۱/۲۷	۲۲۳	۸۴	۶۸	۶۷	۳۵
S_3	۱۰/۶۸	۱۸۶	۷۸	۷۷	۶۶	۴۵
S_4	۹/۸۳	۱۶۳	۷۲	۷۷	۸۴	۶۶
S_5	۹/۷۴	۱۵۳	۷۸	۸۳	۸۷	۸۵
S_6	۸/۵۸	۱۳۶	۷۳	۸۷	۷۶	۸۴
S_7	۸/۲۵	۱۲۲	۶۶	۸۲	۷۱	۹۸
S_8	۷/۷۶	۱۰۸	۶۳	۸۶	۶۶	۹۶
S_9	۷/۲۴	۹۳	۵۴	۶۴	۶۴	۹۶
S_{10}	۶/۸۳	۸۷	۴۳	۶۷	۵۳	۱۰۰



شکل ۶- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج

اصلی تعیین می‌شود. هنگامی که دبی جریان ۱۲ متر مکعب بر ثانیه است، مساحت قابل استفاده وزنی رودخانه به حداکثر مقدار ۳۱۰۰ متر مربع می‌رسد. مطابق نتایج شکل ۶، درصد مساحت قابل استفاده یا درصد مساحت موجود برای هر دوره زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز دارای مقادیر مختلفی است، بنابراین محدوده دبی ۱۴-۸ متر مکعب بر ثانیه به‌عنوان جریان اکولوژیک مناسب رودخانه کرج در دوره بالغ این ماهی، تعیین می‌شود. با افزایش تدریجی دبی جریان، مساحت قابل استفاده وزنی به‌تدریج کاهش می‌یابد و بین ۹۰۰

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

جدول ۴-مساحت قابل استفاده وزنی مربوط به دبی‌های مختلف در دوران زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج

مساحت قابل استفاده وزنی (مترمربع)				درصد میانگین جریان سالانه	جریان (متر مکعب بر ثانیه)
بچه‌ماهی	تخم‌ریزی	نابالغ	بالغ		
۸۴۳	۱۲۶۴	۱۳۰۶	۱۴۵۳	۱۰	۱/۵۱
۱۳۲۶	۱۵۷۴	۱۴۱۶	۱۸۲۶	۲۰	۳/۰۳
۱۴۴۷	۱۸۵۴	۱۵۸۵	۲۲۶۲	۳۰	۴/۵۵
۱۶۸۵	۲۴۸۳	۱۶۶۷	۲۴۶۸	۴۰	۶/۰۷
۱۷۸۲	۲۵۵۸	۱۷۵۳	۲۷۳۸	۵۰	۷/۵۹
۱۶۳۹	۲۷۸۶	۱۹۸۶	۲۹۱۷	۶۰	۹/۱
۱۵۴۷	۲۸۶۷	۱۶۹۵	۳۰۵۴	۷۰	۱۰/۶۲
۱۲۴۶	۲۲۳۷	۱۵۴۲	۳۱۴۷	۸۰	۱۲/۱۴
۱۱۶۵	۱۷۴۲	۱۳۴۸	۲۸۶۵	۹۰	۱۳/۶۶
۷۸۲	۱۵۲۳	۱۱۴۶	۲۶۳۴	۱۰۰	۱۵/۱۸
۱۵۸۲	۲۱۵۶	۱۹۵۷	۷۹۸۶	۲۰۰	۳۰/۳۶

تا ۱۰۰۰ مترمربع، تثبیت می‌شود. هنگامی که دبی بیشتر از ۱۵ متر مکعب بر ثانیه (میانگین جریان سالانه) باشد، جریان در منطقه دشت سیلابی وارد شده و در این حالت مساحت قابل استفاده وزنی دوباره افزایش می‌یابد و از سوی دیگر، با دبی حداکثر ۳۰ مترمکعب بر ثانیه (در محدوده حداکثر جریان ماهانه) مساحت قابل استفاده وزنی به ۸۰۷۷ متر مربع می‌رسد (جدول ۴). اگرچه افزایش سطح آب در منطقه سیلاب‌دشت، باعث افزایش رطوبت آن ناحیه، فراهم آوردن محیط مناسب برای رشد گیاهان کنار رودخانه‌ای و بهبود زیستگاه زیستی می‌شود، اما نمی‌توان از آن به‌عنوان یک زیستگاه پایدار برای ماهی استفاده کرد. بنابراین، دبی حداکثر به‌عنوان یک جریان اکولوژیک در نظر گرفته نمی‌شود.

در جدول ۴، تاثیر تغییرات رژیم جریان بر کیفیت زیستگاه در دوره‌های مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز رودخانه کرج، ارائه شده است. پس از شروع طرح انتقال آب از سد امیرکبیر به تهران در سال ۱۴۰۰، دبی در محل خروجی سد تا ایستگاه هیدرومتری بیلقان (به‌عنوان ایستگاه هیدرولوژیک در پایین‌دست سد) تنها ۴/۴۵ متر مکعب بر ثانیه است که تقریباً ۳۰ درصد متوسط دبی سالانه (رژیم طبیعی رودخانه) است و مساحت قابل استفاده وزنی در این وضعیت (دبی ۴/۴۵ مترمکعب برثانیه) در بخش مورد مطالعه، ۲۲۶۰ مترمربع است. با افزایش دبی خروجی از سد امیرکبیر، مساحت قابل استفاده وزنی بخش پایین‌دست رودخانه رشد سریعی را نشان داد و به آرامی به مقدار اوج خود افزایش یافت و در نهایت اندکی کاهش یافت و به یک روند پایدار نزدیک شد. مقدار مساحت قابل استفاده وزنی مربوط به هر جریان رهاسازی از مخزن سد امیرکبیر در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به روش شبیه‌سازی زیستگاه، جریان اکولوژیک مناسب برای رهاسازی از مخزن سد امیرکبیر، ۱۲/۱۴ متر مکعب بر ثانیه (۸۰ درصد متوسط جریان سالانه) بود. در این زمان، مساحت قابل استفاده وزنی به حداکثر مقدار ۳۱۴۷ مترمربع، رسید. در ادامه با توجه به موارد مطرح شده و بررسی دقیق جدول ۴ و تجزیه و تحلیل‌های دقیق مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه، آستانه‌های حداقل و مناسب محدوده جریان مطلوب اکولوژیک ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در مراحل تخم‌ریزی، بچه‌ماهی، نابالغ و بالغ در رودخانه کرج برآورد شد و نتایج در جدول ۵ نشان

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

جدول ۵- برآورد جریان اکولوژیک در دوران زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج (مترمکعب بر ثانیه)

مرحله زندگی	جریان اکولوژیکی		
	محدوده آستانه نیاز اکولوژیک فعالیت‌های زیستی	حداقل	مطلوب
نابالغ	۴-۱۲	۴/۸۲	۸/۷۲
بالغ	۸-۱۶	۸/۲۶	۱۱/۸۳
بچه‌ماهی	۳-۱۰	۳/۶۷	۶/۸۳
تخم‌ریزی (مهر- بهمن)	۶-۱۱	۶/۸۳	۹/۷۴

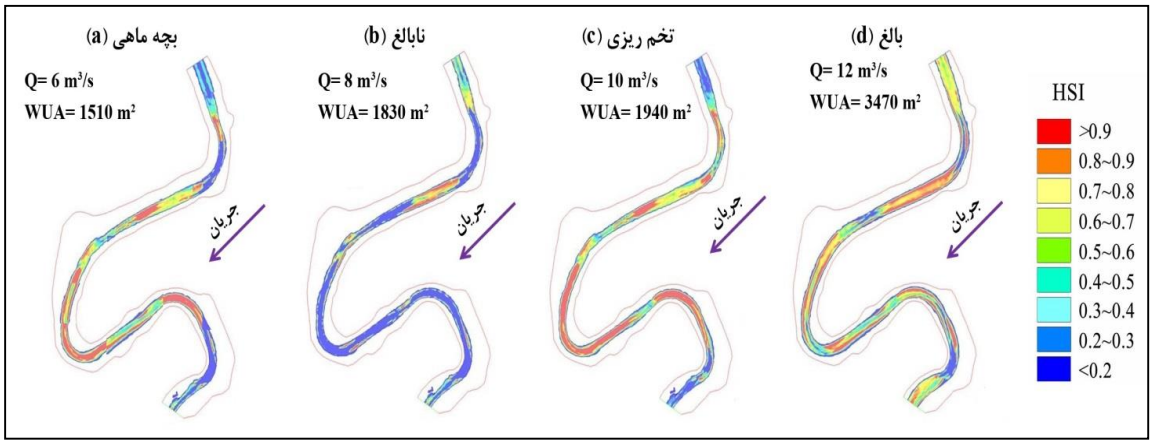
داده شده است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که محدوده جریان مطلوب اکولوژیک برای حفاظت اکولوژیک زیستگاه گونه ماهی هدف در مرحله بالغ در رودخانه کرج در محدوده ۱۶-۸ مترمکعب بر ثانیه باشد که دبی ایده‌آل و مناسب آن، ۱۱/۸۳ مترمکعب بر ثانیه و حداقل دبی جریان اکولوژیک دوره بالغ ماهی، ۸/۲۶ مترمکعب بر ثانیه است. به‌طور مشابه، محدوده آستانه جریان اکولوژیک فعالیت‌های زیستی در دوره‌های تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و نابالغ گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج به‌ترتیب ۱۱-۶ مترمکعب بر ثانیه، ۱۰-۳ مترمکعب بر ثانیه و ۱۲-۴ مترمکعب بر ثانیه است (جدول ۵) که در این میان حداقل دبی جریان اکولوژیک دوره‌های تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و نابالغ گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز به‌ترتیب ۶/۸۳ مترمکعب بر ثانیه، ۳/۶۷ مترمکعب بر ثانیه و ۴/۸۲ مترمکعب بر ثانیه و دبی ایده‌آل و مطلوب دوره‌های مذکور به‌ترتیب ۹/۷۴ مترمکعب بر ثانیه، ۶/۸۳ مترمکعب بر ثانیه و ۸/۷۲ مترمکعب بر ثانیه، است. بنابراین مشاهده می‌شود که حداقل جریان اکولوژیک برای مرحله تخم‌ریزی ماهی قزل آلای خال قرمز (مهر تا بهمن) در رودخانه کرج، ۶/۸۳ متر مکعب بر ثانیه است. از سوی دیگر، جریان مطلوب اکولوژیک برآورد شده رودخانه کرج در بخش مورد مطالعه در دوره بالغ، ۱۱/۸۳ مترمکعب بر ثانیه (۷۷ درصد متوسط دبی سالانه) است و میزان جریان اکولوژیک در مقایسه با حالت فعلی که ۴/۴۵ مترمکعب بر ثانیه (۳۰ درصد متوسط دبی سالانه) است (به‌عنوان دبی ایستگاه هیدرومتری بیلقان در پایین‌دست سد)، ۲۶۵/۸۴ درصد افزایش یافته است. شکل ۷، توزیع فضایی مطلوبیت زیستگاه‌های ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در دوران مختلف زندگی را در رودخانه کرج تحت چندین سناریو جریان اکولوژیک نشان می‌دهد. با تخصیص جریان مطلوب اکولوژیک در مراحل مختلف زندگی قزل‌آلای خال‌قرمز، زیستگاه‌های پیوسته با شاخص مطلوبیت‌های متفاوت در رودخانه کرج تشکیل می‌شود. با مقایسه مشخصات توزیع فضایی ۴ سناریوی مختلف در شکل ۷، مطلوبیت کلی در ۱۲ متر مکعب بر ثانیه، بهینه است. مطلوبیت زیستگاه زمانی که دبی جریان رهاسازی از سد کمتر از ۶ متر مکعب بر ثانیه باشد بسیار ضعیف است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان، مساحت زیستگاه تخم‌ریزی افزایش یافته است. از سوی دیگر، وقتی جریان اکولوژیک رهاسازی شده از سد بیش از حد بزرگ یا کوچک باشد، مطلوبیت زیستگاه آنقدر ضعیف است که شرایط هیدرولیکی نمی‌تواند نیازهای تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز را فراهم کند.

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه موردی حاضر بر روی رودخانه کرج اولین مطالعه منسجم در این رودخانه است که به بررسی تأثیر متغیرهای فیزیکی و ساختار زیستگاه بر برآورد جریان اکولوژیک در دوران زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز می‌پردازد. براساس بازدیدهای میدانی و دیگر مطالعات (Mostafavi *et al*., 2020; Mostafavi *et al*., 2021b; Ghaforpuranbaran *et al*., 2023)، متأسفانه ساخت و بهره‌برداری از سد امیرکبیر و انتقال

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]



شکل ۷- نقشه پراکنش مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در مرحله بچه‌ماهی (a)، نابالغ (b)، تخم‌ریزی (c) و بالغ (d) در دبی‌های مختلف

آب به تهران، به‌طور چشم‌گیری شرایط هیدرودینامیکی-هیدرومورفولوژیکی را در بخش پایین‌دست رودخانه کرج تغییر داده است و منجر به کاهش شدید نرخ تولیدمثل کپور ماهیان و آزادماهیان شده است. فراوانی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز طی سال‌های اخیر در بخش پایین‌دست رودخانه کرج کاهش چشم‌گیری داشته است. یکی از دلایل اصلی این موضوع این است که شرایط هیدرودینامیکی-هیدرولوژیکی محل تخم‌ریزی نمی‌تواند نیازهای پرورشی این گونه را برآورده کند. مرحله تخم‌ریزی نیاز به شرایط عمق آب و سرعت جریان مناسبی در رودخانه دارد. در زمانی که دبی جریان، عمق آب و سرعت جریان، کم است، زیستگاه رودخانه نمی‌تواند نیاز تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز را برآورده کند و میزان مساحت قابل استفاده وزنی ۱۲۶۴ مترمربع و بسیار ناپیوسته است، در حالی‌که مرحله تخم‌ریزی مهم‌ترین مرحله در چرخه زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز است. در نتیجه به‌علت کمبود جریان اکولوژیک در سال‌های اخیر در رودخانه کرج، جمعیت گونه قزل‌آلای خال قرمز، به‌شدت کاهش یافته است. از سوی دیگر، نوسانات متغیرهای هیدرولیکی در بازه‌های مختلف رودخانه کرج، موجب توزیع متفاوت قزل‌آلای خال‌قرمز در امتداد رودخانه ناشی از تغییرات شرایط زیستی و به‌صورت کاهش ماهیان در جریان پایین‌دستی می‌گردد که این نتیجه‌گیری در مطالعات مشابه (Zhao *et al*., 2017; Vazquez *et al*., 2020) مورد توجه قرار گرفته است. توجه به تأمین آب مورد نیاز اکولوژیک در پایین‌دست سدها برای کاهش آثار بهره‌برداری از طرح‌های توسعه منابع آب در ایران یک ضرورت غیرقابل انکار می‌باشد و با توجه به اهمیت موضوع انتقال آب رودخانه کرج به تهران، وضعیت حق‌آبه زیست‌محیطی این رودخانه در پایین‌دست سد امیرکبیر با چالش‌های زیادی روبه‌رو می‌باشد، به‌طوری که نیاز اکوسیستم آبزی و کنار آبزی در امتداد رودخانه کرج و همچنین حق‌آبه زیست‌محیطی برای حوزه آبخیز مرکزی به‌درستی بررسی نشده است. شایان ذکر است که در مطالعات دیگری، حق‌آبه زیست‌محیطی رودخانه کرج از خروجی سد تنظیمی امیرکبیر تا آبگیر بیلقان براساس روش‌های هیدرولوژیک، سالانه معادل ۶۴/۵ میلیون مترمکعب برای حفظ حیات آبزیان در حد مطلوب، مشخص شده است (Karimi *et al*., 2021). این در حالی است که در مطالعه حاضر با درنظر گرفتن نیازهای اکولوژیک گونه ماهی شاخص و با کاربرد مدل اکوهیدرودینامیک شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه River2D، حجم جریان اکولوژیک مورد نیاز سالانه به‌صورت حداقل (پایه) و حداکثر (مطلوب) به‌ترتیب برابر ۱۷۵/۸۵ و ۲۹۲/۸۷ میلیون مترمکعب، برآورد می‌گردد. همچنین بررسی نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کمبود آب سالانه در حال حاضر، در فاصله زمانی بین ماه‌های تیر تا آذر در رودخانه کرج اتفاق

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

می‌افتد و همزمان با آن، شرایط جریان زیست‌محیطی «ضعیف» و «تخریب شده» است. به‌عنوان یکی از پیامدهای تنظیم نامناسب جریان رودخانه کرج، می توان این‌گونه تفسیر کرد که رژیم کم جریان و دخالت های انسانی، بر اتصال رودخانه (بازه‌های بالادست و پایین‌دست) تأثیر می‌گذارد و در نتیجه منجر به تکه تکه شدن زیستگاه و اختلال در مسیرهای مهاجرت ماهیان قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج می‌شود. همچنین براساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته، پس از برداشت‌های انجام شده از آب رودخانه جهت مصارف کشاورزی (انتقال آب به اراضی جنوب کرج و دشت شهریار در آبگیر بیلقان)، جریان دچار مقدار زیادی کاهش می‌شود و رژیم جریان رودخانه در شرایط فعلی در بازه‌های میانی به پایین‌دست کافی نبوده و در هیچ زمانی از سال نیاز اکولوژیک را برآورده نمی‌کند. با توجه به تغییرات فصلی جریان می‌توان گفت تنها در بخشی از فصل بهار، نیازهای اکولوژیک گونه آبزی در رودخانه کرج فراهم شده است. با توجه به تغییرات فصلی جریان می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیک گونه قزل‌آلای خال‌قرمز، تنها در دو فصل زمستان و بهار در بخش بالادست فراهم می‌شود. در حالی‌که در سایر تحقیقات مرتبط با برآورد جریان اکولوژیک در کشورهای پیشرفته، از گونه‌های آبزی برای ارزیابی کلی اثرات طبیعی یا انسانی بر وضعیت اکولوژیک رودخانه‌ها استفاده می‌شود (Holmes *et al*., 2015; Zhang *et al*., 2018; Zhu *et al*., 2020)، در کشور ایران قانون جریانات زیست‌محیطی عمدتاً با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تجربی و بدون درنظر گرفتن تأثیر تنوع فیزیکی یا هیدرولیکی بر روی زیست آبزیان تعیین می شود (Karimi *et al*., 2021; Naderi *et al*., 2021). علاوه بر این، در مناطق مختلف ایران به‌دلیل ساخت سدها یا مخازن آب با اندازه‌های مختلف، تغییر در زیستگاه‌های آبی و خشکی در حال افزایش است، که احتمالاً باعث قطع ارتباط زیستگاه‌های رودخانه می شود و از این طریق بر روی جوامع آبزی تأثیر می‌گذارد (Mostafavi et al., 2021a; Mazloomi *et al*., 2022; Naderi *et al*., 2023). به‌ندرت بازگرداندن رژیم جریان طبیعی رودخانه به پیش از تغییرات احداث سد عملی است و تغییرات در الگوهای زمانی رژیم‌های رودخانه‌ای پس از احداث سد، تأثیر عمده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی جریان و ناهمگونی مکانی و زمانی سیستم‌های رودخانه‌ای دارند و رژیم هیدرولوژیک جدیدی را به‌وجود می‌آورند که به‌طور عمده با رژیم طبیعی جریان قبل از آبگیری سد متفاوت است و به‌عبارت دیگر رژیم‌های جریان آینده در هر صورت با گذشته متفاوت خواهند بود. در نتیجه برای ایجاد یک رژیم جریان قابل قبول و مناسب برای زندگی جوامع ماهیان، لزوماً نیازی به تکرار گذشته نمی‌باشد. آنچه مورد نیاز است دامنه و الگوهای فصلی وقایع هیدرولوژیک درون رودخانه و بالای آستانه است که برای برآوردن نیازهای مرحله حیات موجودات کلیدی آبزی، پایداری سواحل رودخانه و پویایی هیدرولوژیک دشت‌سیلابی کافی است و آنها را قادر می‌سازد تا فرآیندهای اکولوژیک-مورفولوژیک را هدایت و محافظت نمایند. بنابراین حفظ توزیع الگوی طبیعی ماهیان نیاز به دارا بودن شرایط مناسب زیستی، پویایی دینامیکی زیستگاه طبیعی رودخانه، تعادل سیستم اکولوژیک و ساختار زیستگاهی مناسب جهت زیست گونه قزل‌آلای خال‌قرمز به‌ویژه توالی زیستگاه‌های هیدرومورفولوژیک گوداب و خیزاب دارد.

بیشتر مطالعات در مورد پاسخ ماهی به تنوع زیستگاه هیدرولیکی نشان می‌دهد محرک‌های هیدرولیکی و زیستگاهی اولیه توزیع زیستی، سرعت جریان و عمق آب است (Zhao *et al*., 2017; Vazquez *et al*., 2020; Johnson *et al*., 2021). Shearer و همکاران (۲۰۱۵)، Naderi و همکاران (۲۰۲۱) و Nan و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که مطالعات اکوهیدرولیکی، دانش اساسی را برای توسعه مدل‌های زیستگاه ایجاد کرده است که سناریوهای تخلیه جریان مختلفی را در بر می‌گیرد و سطوح مختلف تأثیرات انسانی را در مدیریت اکوسیستم رودخانه منعکس می‌کند. همچنین Zhang و همکاران

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

(۲۰۲۱) و Johnson و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش رژیم جریان اکولوژیک در رودخانه‌های تنظیم شده، می‌توان به بازیابی گونه‌های در معرض انقراض و بهبود زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان کمک کرد. مطالعه حاضر نشان داد هنگامی که آستانه دبی جریان در محدوده حداکثر جریان ماهانه (بالاتر از میانگین جریان سالانه) باشد، سطح آب مقطع رودخانه کرج در کانال اصلی جاری می‌شود و شرایط هیدرودینامیکی مناسب (مانند عمق آب و سرعت جریان) برای زیستگاه گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در دوره‌های مختلف زندگی (تخم‌ریزی، بچه‌ماهی، بالغ و نابالغ) در ناحیه سیلاب‌دشت رودخانه فراهم می‌شود. براساس آنچه که توسط محققین دیگر گزارش شده است (Yang *et al*., 2021; Johnson *et al*., 2021; Jiao *et al*., 2019) می‌توان این نتیجه‌گیری را به‌عمل آورد که کاهش تغییرات رژیم جریان ناشی از فعالیت‌های انسانی و استفاده از اقدامات مدیریت جریان نیاز به استفاده از مدل‌های پیش‌بینی کننده برای تعیین کمیت رژیم‌های جریان اکولوژیک برای حفظ فرآیندهای زیست و غیرزنده در سیستم‌های رودخانه‌ای دارد که در مطالعه حاضر مدل‌سازی اکوهیدرولیکی با مدل River2D بر پایه مطالعات و مشاهدات میدانی در سناریوهای مختلف رژیم جریان، این واقعیت را برجسته کرده است که اجرای کلی محدوده مطلوب جریان اکولوژیک در فصول خشک و کم‌آبی، زیستگاه‌های مناسبی را برای دوره‌های مختلف زندگی گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در زیستگاه رودخانه کرج فراهم کرده و پیش‌بینی می‌شود تأثیرات مثبتی بر میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس و پراکنش ماهیان داشته باشد. با این حال، قبل از استفاده از چنین مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاهی، توانمندی و دانش علمی در مورد پاسخ موجودات آبزی به تأثیر تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و توصیف مطلوبیت زیستگاه ضروری است. با بررسی مطالعات دیگر می‌توان این گونه تفسیر کرد که تجزیه و تحلیل سازگاری زیست‌محیطی و زیستگاه مناسب گونه‌های هدف ماهی تحت رژیم‌های مختلف جریان با مدل‌سازی یکپارچه هیدرودینامیکی زیستگاه، نقش بارزی در بررسی جریان درون رودخانه‌ای، زمان‌بندی تنظیم جریان آب، تخصیص رژیم جریان مطلوب زیستگاه‌ها و بررسی اثرات کاهش جریان آب یا نوسان در نرخ جریان، ایفا می‌کند که نتایج مطالعه حاضر گویای این مطلب است که شبیه‌سازی اکوهیدرودینامیکی زیستگاه حاصل از بررسی‌های میدانی واحدهای هیدرومورفولوژیکی و تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی محدوده‌های هیدرولیکی مطلوب عمق آب و سرعت جریان، نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل River2D در ارتباط قابل توجه بین شاخص مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز و شرایط مورفولوژیک زیستگاه رودخانه کرج تحت سناریوهای مختلف جریان بوده است و بر این اساس نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از همسو بودن با آن مطالعات (Zhao *et al*., 2017; Wu *et al*., 2020; Yang *et al*., 2021) را دارد.

در بررسی منحنی‌های مطلوبیت سرعت جریان و عمق آب ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج و نیز تحلیل منحنی‌های دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی گونه شاخص، دریافت می‌گردد با تأمین عمق آب و سرعت جریان مطلوب اکولوژیک در بخش‌های میانی و پایین‌دست منطقه مورد مطالعه در فصول تخم‌ریزی و دوره رشد و زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس افزایش یافته و زیستگاه مناسب جهت تخم‌ریزی ماهیان و ایجاد شرایط پایداری گونه‌های ماهی، جوامع آبزیان و درشت مهرگان، فراهم می‌گردد که Zhao و همکاران (۲۰۱۷)، Zhu و همکاران (۲۰۲۰)، Naderi و همکاران (۲۰۲۱) و Wu و همکاران (۲۰۲۲) در تحلیل عوامل مختلف بر جریان اکولوژیک رودخانه‌ها گزارش کردند که سرعت جریان و عرض رودخانه، تأثیرات مثبتی بر ماهی‌ها داشته و از طرفی افزایش سرعت جریان می‌تواند مکان‌های تولیدمثل و زیستگاه‌های بیشتری را برای ماهیان فراهم کند، که

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

در نهایت منجر به افزایش تعداد گونه‌های اصلی ماهی در رودخانه می‌شود و این نتیجه را می‌توان به مطالعه حاضر تعمیم داد. همچنین در نواحی بالادست رودخانه کرج شرایط مساعدی جهت زیست قزل‌آلای خال‌قرمز فراهم است (به‌همین دلیل این بخش از رودخانه ناحیه قزل‌آلا نامیده می‌شود) و این در حالی است که با کاهش ارتفاع (در بازه‌های میانی و پایین‌دست) از فراوانی آزاد ماهیان کاسته شده است. در مطالعه حاضر، رابطه و همبستگی شاخص مطلوبیت زیستگاه متغیرهای هیدرولیکی-هیدرومورفولوژیکی و پویایی جمعیت ماهیان با الگوی توزیع جریان و میزان فضای مطلوب زیستگاهی در رودخانه کرج تحت تأثیر میزان دبی جریان و دوران مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، مورد بررسی قرار گرفت و این مطلب می‌تواند با این واقعیت برجسته شود چنانچه مطالعات مطلوبیت زیستگاه با تفکیک مراحل چرخه زندگی ماهیان انجام شود، شناخت عمیق‌تری از تفاوت مطلوبیت زیستگاه بین ماهیان بالغ و نابالغ را ایجاد می‌کند و مدیریت و حفاظت از منابع اکولوژیکی را بهینه می‌نماید (Naderi Mazloomi et al., 2022; Wu *et al*., 2022; Kelly *et al*., 2015; *et al*., 2021). در همین راستا، تغییرات در میزان جریان، ساختار فضایی، الگوهای ناهمگن مکانی، الگوی پیوستگی طولی (بالادست و پایین‌دست) و عرضی (سیلاب‌دشت)، اتصال جانبی و طولی و کیفیت زیستگاه متفاوتی را برای گونه‌های ماهیان در آبراهه ایجاد می‌کند. به‌طور خاص، کاهش آب و کم‌آبی اغلب در قسمت‌های میانی و پایین‌دست رودخانه کرج در فصل خشک اتفاق می‌افتد که به‌طور جدی زیستگاه‌ها را تخریب، مسیر مهاجرت ماهی‌ها را مختل و در نتیجه جمعیت موجودات آبزی را کاهش می‌دهد. از دیدگاه دیگر، مقادیر بالای جریان آب رهاسازی شده از سد امیرکبیر، نقش مهمی در زیستگاه‌های پایین‌دست سد دارد. با توجه به موارد بیان شده، در ماه‌های تیر تا بهمن نیاز به رهاسازی دبی بیشتری از مخزن سد امیرکبیر در برآورده کردن رژیم جریان اکولوژیک رودخانه کرج بوده و تخلیه جریان فعلی از سد در فصول کم آبی و خشک ۴۰ درصد پتانسیل زیستگاه مطلوب را تأمین می‌کند و درنظر گرفتن جریان مطلوب اکولوژیک، اکوسیستم پایین‌دست رودخانه کرج را از تخریب محافظت می‌کند و زیستگاه بهتری را برای زیست قزل‌آلای خال‌قرمز فراهم می‌کند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشتر فعالیت های تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در سطح بالایی از مساحت قابل استفاده وزنی رخ می‌دهد و زیستگاه بهینه و مطلوب برای تخم‌ریزی با مقدار مساحت قابل استفاده وزنی افزایش می‌یابد. بنابراین، رهاسازی، تخصیص و برقراری جریان بین ۶ تا ۱۰ مترمکعب بر ثانیه از سد کرج، می‌تواند به‌عنوان جریان‌های مطلوب اکولوژیک توصیه شود. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که رهاسازی و انتشار زیاد جریان اکولوژیک، لزوماً حداکثر در دسترس بودن و مناسب بودن زیستگاه را در تمام فصول و مراحل زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز فراهم نمی‌کند. مرحله زندگی ماهی بالغ منجر به آسیب‌پذیری بیشتر در برابر تغییرات جریان آب، به ویژه در فصل بهار می‌شود. شایان ذکر است واحدهای هیدرومورفولوژیک خیزاب (زیستگاه با عمق آب کم) بیشترین افت زیستگاه را در برابر تخلیه زیاد جریان اکولوژیک خواهند داشت. به‌طور کلی در مطالعه حاضر، با توجه به مساحت مرطوب و زیستگاه بهینه و ایده‌آل، جریان‌های اساسی اکولوژیک مورد نیاز برای دوره تخم‌ریزی (مهر-بهمن)، دوره جوانی (نابالغ) و دوره رشد (بالغ) ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج به‌ترتیب در محدوده ۱۱-۶ متر مکعب در ثانیه، ۱۲-۴ متر مکعب در ثانیه و ۱۶-۸ متر مکعب در ثانیه، است. نکته قابل توجه در پژوهش حاضر این است که استفاده از یک منحنی مطلوبیت زیستگاه در طیف وسیعی از جریان‌ها نیز ممکن است مشکل ساز باشد زیرا فرض می‌شود کیفیت زیستگاه مستقل از دبی جریان است. با این حال، زیستگاه موجود، مساحت منطقه مرطوب، زیستگاه مرطوب، زیستگاه بهینه و

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

ایده‌آل ممکن است همگی با تخلیه جریان از سد متفاوت باشند، که با فرض این که منحنی های مطلوبیت زیستگاه ثابت هستند، حساسیت نادرست نتایج مدل را ایجاد می‌کند. همچنین مطالعات کمی وجود دارند که دقت زیستی مدل‌سازی جریان رودخانه را تأیید کرده باشند، به‌عنوان مثال، به‌ندرت گزارش شده است که تغییرات پیش‌بینی‌شده در زیستگاه موجود با واکنش جمعیت ماهی به جریان‌های تغییریافته مطابقت دارد، که این امر اعتماد به پیش‌بینی‌های مدل را تضعیف می‌کند (Zhou *et al*., 2019; Kim *et al*., 2024).

۵ | نتیجه‌گیری نهایی

نتایج پژوهش حاضر گویای این مطلب است که روش شبیه‌سازی دو بعدی زیستگاه River2D، توانسته است نیازهای زیستگاهی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه کرج را با دقت بالایی تحت شرایط قطعی و بازه اطمینان مناسب، شبیه‌سازی و پاسخ اکولوژیک ماهیان به تغییرات هیدرودینامیک- هیدرولوژیک- هیدرولیک را در نظر بگیرد. بنابراین، راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مبنای مهمی برای محاسبه کمی تقاضای جریان اکولوژیک است، که می‌تواند یک روش ارزیابی عملی و مفید برای تعیین سلامت حوزه آبخیز فراهم کند. بنابراین، این روش (راهکارهای مبتنی بر طبیعت و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه رودخانه) مبنای مهمی برای توصیف ارزش‌های طبیعی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای است و می‌تواند ایده جدیدی برای حفظ فرآیندهای هیدرودینامیک –مورفولوژیک در تعیین جریان اکولوژیک فراهم کند. توسعه مدیریت سیستماتیک جریان اکولوژیک با بهینه‌سازی منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه هیدرومورفولوژیک ماهیان، فراهم می‌شود.

۶| ملاحظات اخلاقی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تقدیر و تشکر

از همکاری دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان البرز و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز، تقدیر می‌گردد.

REFERENCES

Blair T.C., McPherson J.G. 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 69(1): 6-19.

Davie A.W., Mitrovic S.M. 2014. Benthic algal biomass and assemblage changes following environmental flow releases and unregulated tributary flows downstream of a major storage. Marine and Freshwater Research, 65(12): 1059-1071.

Johnson J.A., Watham T., Gopi G.V., Sivakumar K. 2021. Development of habitat suitability criteria for conservation of the black necked crane in Nyamjang Chu River in eastern Himalaya, India in connection with a proposed hydropower dam. River Research and Applications, 37(3): 321-329.

Jiao W., Zhang P., Chang J., Tao J., Liao X., Zhu B. 2019. Variation in the suitability of Chinese sturgeon spawning habitat after construction of dams on the Yangtze River. Journal of Applied Ichthyology, 35(3): 637-643.

Karimi S., Pourebrahim S., Salajegheh A., Malekian A., Strauch M., Volk M., Witing F. 2021. Environmental flow requirements of Karaj River's sub-watersheds using Flow Duration Curve and Indicators of Hydrological Alteration. Pasture and Watershed Journal, Journal of Natural Resources of Iran. 74(2): 393-405. (In Persian).

Kelly D.J., Hayes J.W., Allen C., West D., Hudson H. 2015. Evaluating habitat suitability curves for predicting variation in macroinvertebrate biomass with weighted usable area in braided rivers in New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 49(3): 398-418.

Kim Y.J., Wu D., Lee J.H., Kim J.S., Park S.Y. 2024. Evaluation and securing of ecological

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

flow by linking fish growth scenarios and basin water budget analysis. Ecological Indicators, 158: 111468.

Ghaforpuranbaran P., Ahmadabadi A., Ghanavati E., Yasi M. 2023. Hydro-Morphological Analysis of Karaj River in the Urban Area from Beylqan to the Railway Bridge. Geography and Environmental Sustainability, 13(1): 21-39. (In Persian)

Gholizadeh M., Patimar R., Harsij M. 2018. Investigation of Selected Habitat Range of the Paracobitis hicanica in the Zarin-Gol River, Golestan Province. Journal of Applied Ichthyological Research, 6(2): 1-12 .(In Persian)

Ghazlikor M., Gholizadeh M., Adineh H., Harsij M., Fazel A. 2023. Ecological assessment of organic pollution of Bustan dam reservoir using Palmer and Carlson indexes. Journal of Aquatic Ecology, 12(3): 34-47. (In Persian)

Ferguson A., Reed T.E., Cross T.F., McGinnity P., Prodohl P.A. 2019. Anadromy, potamodromy and residency in brown trout Salmo trutta: the role of genes and the environment. Journal of Fish Biology, 95(3): 692-718.

Holmes R.W., Rankin D.E., Ballard E., Gard M. 2016. Evaluation of Steelhead passage flows using hydraulic modeling on an unregulated coastal California River. River Research and Applications, 32(4): 697-710.

Mazloomi Z., Nemati Varnosfaderany M., Modarres R. 2022. Evaluating the Environmental Flow of Beshar River, Using Tennant's Hydrological Method Based on the Biological Requirements of Indicator Fishes. Iran. J. Appl. Ecol. 11(3):1-19. (In Persian)

Mostafavi S.M., Rahmani M., Kaboli M., Abdoli A. 2020.The effect of different environmental factors on habitat selection by Salmo trutta in Karaj River. Scientific Research Journal of Animal Environment, 12(3): 251-258. (In Persian).

Mostafavi S.M., Rahmani M., Kaboli M Abdoli A. 2021a. Influence of environmental and human factors on fish distribution pattern of Karaj River. Animal Research Journal (Iranian Biology Journal) 34(2): 110-125. (In Persian)

Mostafavi S.M., Rahmani M., Kaboli M., Abdoli A. 2021b. Determinants of fish distribution pattern and habitat preference in protected Karaj River, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 20(2): 410-429.

Naderi M. H., Pourgholam Amiji M., Fazloula R., Ghojoghi A., Arab N. 2021. Relationship between Hydromorphological and Ecohydraulic Characteristics Flow Regime to Habitat Suitability Capoeta gracilis (Keyserling, 1861): Understanding Habitat–Population Dynamics Fishes and Ecological Flow Scenarios of Zarrin-Gol River. Journal of Applied Ichthyological Research, 9(1): 41-56. (In Persian)

Naderi M.H., Bagheri Khaneghahi M., Salarijazi M. 2023. Study Indicators of Environmental Flow and PHABSIM EcoHydraulic Model to Estimation of Ecological Optimal Release Flow Range from Latyan Dam Reservoir. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 23(89):21-46. (In Persian)

Nan J., Liu Y., Chen Y., Zhang S. 2022. Evaluation of habitat quality and ecological flow in regulation waterway. Water Supply, 23 (2): 546.

Saeidi S., Mirkarimi S., Saadatpour M. 2022. Modeling of Water Quality Parameters of Karaj River Using CE-QUAL-W2 Model. Environmental Researches, 13(25): 3-18. (In Persian)

Samadi-kouchaksaraei B., Rezaei Tavabe K. 2023. Studies of biotic, quality and pollution parameters of the Karaj protected river. Journal of Fisheries, 76(1): 121-136. (In Persian)

Shearer K.A., Hayes J.W., Jowett I.G., Olsen D.A. 2015. Habitat suitability curves for benthic macroinvertebrates from a small New Zealand river. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 49(2): 178-191.

Splendiani A., Fioravanti T., Ruggeri P., Giovannotti M., Carosi A., Marconi M., Caputo Barucchi V. 2020. Life history and genetic characterisation of sea trout Salmo trutta in the Adriatic Sea. Freshwater Biology, 65(3): 460-473.

Vazquez R.F., Vimos-Lojano D., Hampel, H. 2020. Habitat suitability curves for freshwater macroinvertebrates of Tropical Andean Rivers. Water, 12(10): 2703.

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.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

Science of the Total Environment, 820: 153205.

Zhang P., Li K.F., Wu Y.L., Liu, Q.Y., Zhao P.X., Li Y. 2018. Analysis and restoration of an ecological flow regime during the Coreius guichenoti spawning period. Ecological Engineering, 123; 74-85.

Zhang P., Li K., Liu Q., Liu R., Qin L., Wang H., Zhu Z. 202. Linking bait and feeding opportunities to fish foraging habitat for the assessment of environmental flows and river restoration. Science of the Total Environment, 768: 144580.

Zhang J., Fu Y., Peng W., Zhao J., Chen H. 2023. Calculation and evaluation of suitable ecological flows for eco-environmental recovery of cascade-developed rivers. Science of The Total Environment, 162918.

Zhao C.S., Yang S.T., Zhang H.T., Liu C.M., Sun Y., Yang Z.Y. and Lim R.P. 2017. Coupling habitat suitability and ecosystem health with AEHRA to estimate E-flows under intensive human activities. Journal of Hydrology. 551: 470-483.

Zhou Z., Deng Y., Li Y., An R. 2019. The ecological water demand of Schizothorax in Tibet based on habitat area and connectivity. International journal of environmental research and public health, 16(17): 3045.

Zhu Z.X., Li Y., Li K. F., Cheng B.X., Yang S.R., Liu Q.Y., Liang, R. F. 2020. Study of quality maintenance of fish habitats in small-and medium-sized mountain rivers with low flow rate. Ecological Engineering, 147: 105780.

Yang L., Hou J., Cheng L., Wang P., Pan Z., Wang T., Liu N. 2021. Application of habitat suitability model coupling with high-precision hydrodynamic processes. Ecological Modelling, 462: 109792.

نحوه استناد به مقاله:

نادری م.ح.، سالارجزی م.، شعبانلو ح. گنجاندن نیازهای زیستگاهی چرخه زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (*Salmo trutta*) در برآورد رژیم جریان اکولوژیک رودخانه کرج. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۲. ۱۱(۴): ۸۴-۶۲.

Naderi M.H.., Salarijazi M., Shabanloo H. Incorporating habitat requirements of the life cycle of *Salmo trutta* into the estimation of the ecological flow regime of Karaj River. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2023, 11(4): 62-84.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]

Journal of Applied Ichthyological Research Vol. 11, No 3, 62-84
Print ISSN: 2423-6349
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir

Incorporating habitat requirements of the life cycle of *Salmo trutta* into the estimation of the ecological flow regime of Karaj River

Mohammad Hassan Naderi*[1], Meysam Salarijazi[1], Hamed Shabanloo[2]

[1]Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Type:
Original Research Paper

Paper History:

Received: 10-04-2023
Accepted: 24-01- 2024

Corresponding author:

Mohammad Hassan Naderi. Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Email: naderigau@gmail.com

Abstract

Maintaining a suitable flow in a river is a prerequisite for ensuring the survival of aquatic organisms. In this study, to estimate ecological water requirement of the Karaj River, the method of hydrodynamic simulation habitat suitability (River2D model) in order to investigate the characteristics and habitat requirements of 84 *salmo trutta* species sampled in 10 studied stations by analyzing the effect of water depth variables, flow velocity and the substrate index was used by collecting data and based on field studies and observations during of the years 2017-2021. Then, habitat suitability curves were used for definition water depth and flow velocity suitable and definition weighted usable area required for the spawning, fry, juvenile and adult periods of the fish in River2D model. The results showed that the optimal ecological flow velocity *salmo trutta* fish should be between 0.37 and 1.4 m/s and the ecological optimal water depth should be between 0.4 and 0.8 m in different seasons and parts of the Karaj River. The results of the habitat suitability simulation model showed that when the flow rate is between 8-15 m^3/s, the weighted usable area values *salmo trutta* fish are at a high level in the range of 2600-3000 m^2. According to field surveys and the distribution of ecologically suitable flows calculated for 10 studied stations in the Karaj River and relative biological criteria, there are favorable conditions for the life of red spotted *salmo trutta* of the viewpoint hydraulic-ecological parameters in the upstream areas of the Karaj River, while the abundance of *salmo trutta* fish has decreased due to the lack of ecologically suitable flow in the middle and downstream areas this river. Also, based on the output results of the River2D model, the optimal ecological flow range for the ecological protection of the Karaj River habitat should be considered for carrying out biological activities and the survival of fish species in the spawning, fry, juvenile and adult periods, respectively, is in the range of 6.83-9.74, 3.67-6.93, 4.82-8.72 and 8.26-11.83 m^3/s. The present study obtains this important result that the calculated values were particularly accurate, because the ecological flow thresholds estimated by the habitat simulation method were sensitive to the changes in the Suitability curves. By providing the appropriate water depth and flow speed, the ecological needs of the red spotted *salmo trutta* species in the Karaj River are provided during biological activities, and from this point of view, ecohydrodynamic modeling of the habitat can play an important and prominent role in the ecosystem management of the river flow.

Keywords: Hydrological regime, Karaj River, Ecohydraulic modeling, Weighted usable area, habitat suitability

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/jair.11.3.7]