نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

مطالعه روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی و اکوهیدرولیکی رژیم جریان بر مطلوبیت زیستگاهی سیاه‌ماهی *Capoeta gracilis* (Keyserling, 1861): درک پویایی جمعیت ماهیان و سناریوهای جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل

محمدحسن نادری*[1]، مسعود پورغلام آمیجی[2]، رامین فضل‌اولی[3]، آلتین قجقی[4]، نرگس عرب[5]

[1] مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[2] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[3] دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[4] دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[5] دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

بدین منظور، شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه بر مبنای منحنی‌های معیارهای مطلوبیت زیستگاه با مطالعات میدانی و نمونه‌برداری پارامترهای هیدرولیکی (عمق، سرعت و شاخص بستر) و اکولوژیکی (جوامع آبزیان) انجام گرفت. ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه زرینگل و نرم‌افزار ARC-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد. سپس شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه با نرم‌افزار HEC-RAS انجام گرفت. در مرحله بعد شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی در مدل PHABSIM صورت گرفت. در این مدل اکولوژیکی-هیدرولیکی، رابطه بین هیدرولیک جریان و نیازهای زیستگاهی گونه هدف با استفاده از مساحت قابل استفاده وزنی برقرار گردیده و منحنی دبی –مطلوبیت زیستگاه گونه هدف در دبی‌های مختلف در دو گروه سنی بالغ و نابالغ استخراج شد و مطابق با آن یک روش طبقه‌بندی جدید رژیم جریان اکولوژیکی باتوجه به شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه (عمق آب، سرعت جریان و بستر)، درنظر گرفته شد. با استخراج منحنی دبی – مطلوبیت زیستگاه، مطلوبیت رودخانه از لحاظ مقدار و موقعیت، مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصله، رژیم جریان اکولوژیکی مطلوب برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه گونه شاخص با ترکیب روش‌های مختلف برای بازه‌های مورد بررسی در طول سال متفاوت بوده و بر این اساس، برای حفظ شرایط مطلوب و حفاظت از اجزای اکوسیستم و زیستگاه جوامع بیولوژیکی، محدوده رژیم جریان موردنیاز بین ۱/۴۳ (در ماه تیر - بهمن) تا ۳/۷۶ مترمکعب برثانیه (در ماه فروردین)، با میانگین دبی سالانه زیستی ۱/۷۴ مترمکعب برثانیه (معادل ۷۴/۳ درصد جریان طبیعی رودخانه) بایستی در داخل رودخانه زرین‌گل، برقرار باشد. همچنین حساسیت گونه سیاه‌ماهی به تغییرات سرعت و مواد بستری زیاد می‌باشد و با ثابت ماندن عمق در شرایط مطلوب، مساحت قابل استفاده وزنی، نیز افزایش می‌یابد. براساس نتایج این مطالعه، توزیع مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه زرین‌گل، تحت‌تأثیر پارامترهای هندسی، هیدرولیکی و میزان دبی جریان، بیانگر شرایط مطلوب زیستگاهی گونه سیاه‌ماهی در محدوده پایین‌دست و شرایط ضعیف در محدوده بالادست رودخانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:
رژیم اکولوژیکی، شبیه‌سازی زیستگاه، مطلوبیت زیستگاه، میانگین دبی سالانه، PHABSIM

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۸/۱۱/۲۶
پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۷
DOI: 10.22034/jair.9.1.51

نویسنده مسئول مکاتبه:
محمدحسن نادری، مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
ایمیل: naderigau@gmail.com

۱ | مقدمه

بررسی بیولوژی و اکولوژی زیستگاه ماهیان در رودخانه، یکی از موضوعات موردتوجه در مدیریت منابع آبی است. ماهیان رودخانه‌ای براساس سازگاری‌های رفتاری، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، زیستگاه خاصی را ترجیح می‌دهند که برای بقا و پایداری افراد و جمعیت‌ها حائز اهمیت می‌باشند (Ahmadzadeh *et al.*, 2018; Ghanavi *et al.*, 2016; Asadi *et al.*, 2014). ماهیان برای ادامه حیات و رشد و نمو به زیستگاه‌هایی نیاز دارند که شرایط لازم برای بقا و موفقیت آن‌ها را فراهم سازد. شرایط هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها پیوسته درحال تغییر بوده و زیستگاه‌های متنوعی را برای ماهیان و دیگر آبزیان فراهم می‌سازد (Naderi *et al.*, 2018; Yi *et al.*, 2017). از منظر هیدرومورفواکولوژیکی، شرایط مختلفی برای حفظ عمق آب در جریان‌های کم و جریان‌های حداکثری تعیین می‌گردد. در هنگام تعیین جریان‌های

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

اکولوژیکی بایستی به حداقل عمق موردنیاز جریان آب در دوره‌های نگهداری و پرورش ماهیان به‌عنوان میانگین طبیعی جریان، حداقل عمق آب لازم برای دوره‌های تخم‌ریزی ماهیان در زیستگاه رودخانه و عمق موردنیاز در جریان‌های سیلابی برای غرق‌شدن (سیلاب‌دشت)، زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی که یکی از اجزای اکوسیستم رودخانه بوده و نقش بسیار زیادی در سلامت رودخانه دارد، توجه گردد (Zhao *et al*., 2020; Naderi *et al*., 2019). رژیم جریان اکولوژیکی یا به بیان دیگر جریان زیست‌محیطی، میزان گردش مقدار آب موردنیاز برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه، حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای و همچنین حفظ شرایط مطلوب بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای دوره‌های مختلف زندگی ماهیان است (Liu *et al*., 2020; Naderi *et al*., 2019; Sedighkia *et al*., 2017; Nikghalb *et al*., 2016). روش‌های اصلی برای محاسبه رژیم جریان اکولوژیکی، شامل روش‌های مختلف هیدرو-لوژیکی، هیدرولیکی، روش‌های زیستگاهی و جامع است که در نگاهی کلی می‌توان بیان کرد اکثر این روش‌ها برای حفظ اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و خصوصاً محیط زندگی ماهیان تولید و توسعه داده شده‌اند (Naderi *et al*., 2020; Yi *et al*., 2017; Li *et al*., 2015). با عنایت به اهمیت رژیم جریان اکولوژیکی برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهی‌ها و ایجاد پناهگاه مناسب برای بی‌مهرگان و نیز جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای و سیلاب‌دشت، تحقیقات در حوزه مطلوبیت زیستگاه رودخانه، در سال‌های اخیر در مدیریت اکوسیستمی حوضه‌های آبریز، موردتوجه قرار گرفته است (Naderi *et al*., 2019; Nakvachara *et al*., 2018; Sedighkia *et al*., 2017). روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای، یک روش تحقیقاتی زیستگاهی است که معمولاً برای شبیه‌سازی رابطه کمی بین جریان و در دسترس بودن زیستگاه‌های آبزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhao *et al*., 2020; Liu *et al*., 2020). شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تاثیرات بیولوژیک تغییرات جریان، یکی از جنبه-های مهم در روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای و به‌عنوان ابزاری قدرتمند و یک روش جامع‌نگر برای بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، محسوب می‌گردد (Sedighkia *et al*., 2017; Bourgeois *et al*., 1996). به‌منظور ارزیابی اکوسیستم رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، روش‌های زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های مطلوبیت زیستگاه از پرکاربردترین این روش‌ها می‌باشند. عدم تخصیص مناسب جریان اکولوژیکی، موجب اختلال در فعالیت موجودات آبزی، کاهش قدرت تولید غذای زیستگاه و دسترسی به مناطق مناسب جهت تخم‌ریزی و مهاجرت آبزیان می‌گردد (Naderi *et al*., 2019; Nakvachara *et al*., 2018).

در چند سال اخیر در تحقیقات مختلفی، استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه به‌منظور تعیین جریان اکولوژیکی در رودخانه‌ها، موردتوجه قرار گرفته است که می‌توان به مطالعه بورگیوس و همکاران (Bourgeois *et al*., 1996) در بررسی رابطه بین تراکم جمعیت و مساحت قابل استفاده وزنی ماهی قزل‌آلا در رودخانه کاتاماران بروک کانادا با مدل شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه، پژوهش وای و همکاران (Yi *et al*., 2017) در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه آبزیان به‌منظور تعیین جریان اکولوژیکی باتوجه به پارامترهای هیدرولوژیکی و ویژگی‌های اکولوژیکی گونه شاخص و با استفاده از مدل یک‌بعدی شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه (PHABSIM)، تحقیق ناکاچاوا و همکاران (Nakvachara *et al*., 2018) در مطالعه ارزیابی جریان اکولوژیکی رودخانه ناخون نایوک تایلند با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، مطالعه لی و همکاران (Li *et al*., 2015) در برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه لیجیانگ چین با درنظر گرفتن مقدار و کیفیت زیستگاه ماهیان بومی در مراحل رشد و تخم‌ریزی با ایجاد رابطه بین رژیم جریان و مدل مطلوبیت زیستگاه، مطالعه نیک قلب و همکاران (Nikghalb *et al*., 2016) در برآورد رژیم اکولوژیکی جریان رودخانه کاظم‌رود واقع در جنوب‌غربی دریای خزر برای ماهی زرده‌پر *Luciobarbus capito* با روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، همچنین پژوهش صدیق‌کیا و همکاران (Sedighkia *et al*., 2017) در شبیه‌سازی اکولوژیکی-هیدرولیکی زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز *Salmo trutta* در رودخانه‌های الرم، آب سفید و دلیچای واقع در پارک ملی لار در حوضه‌جنوبی دریای‌خزر با مدل شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه و مطالعه نادری و همکاران (Naderi *et al*., 2018) در به‌کارگیری روش‌های هیدرولوژیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه PHABSIM جهت تأمین حداقل شرایط زیستگاه گونه سیاه‌ماهی *Capoeta gracilis* (Keyserling, 1861) در رودخانه قره‌سو استان گلستان، اشاره کرد که نتایج بررسی این تحقیقات بر این دلالت دارد که استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ها همراه با مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، برای تعادل بخشیدن به تخصیص رژیم جریان طبیعی و نیازهای دیگر مصارف، احساس می‌شود.

از آنجاکه با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، تغییرات منطقه قابل استفاده وزنی در رودخانه و اثر نوسان‌های جریان سالانه بر زیستگاه آبزیان رودخانه، دقیق‌تر و واضح‌تر مشخص می‌شود (Yi *et al*., 2017; Nikghalb *et al*., 2016; Holmes *et al*., 2016)، استفاده از این مدل‌ها برای بهبود وضعیت زیستی رودخانه‌ها و انجام تحقیقات متعدد با استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی-هیدرومورفواکولوژیکی و مقایسه نتایج آنها در کشور، احساس می‌شود. در این مقاله باتوجه به هزینه، زمان و اطلاعات موجود، سعی می‌شود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، جهت محاسبه و تحلیل محدوده رژیم جریان اکولوژیکی برای حفظ پتانسیل مطلوب رودخانه زرینگل، راهکارهای مفید و مؤثر برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان، معرفی نماید.

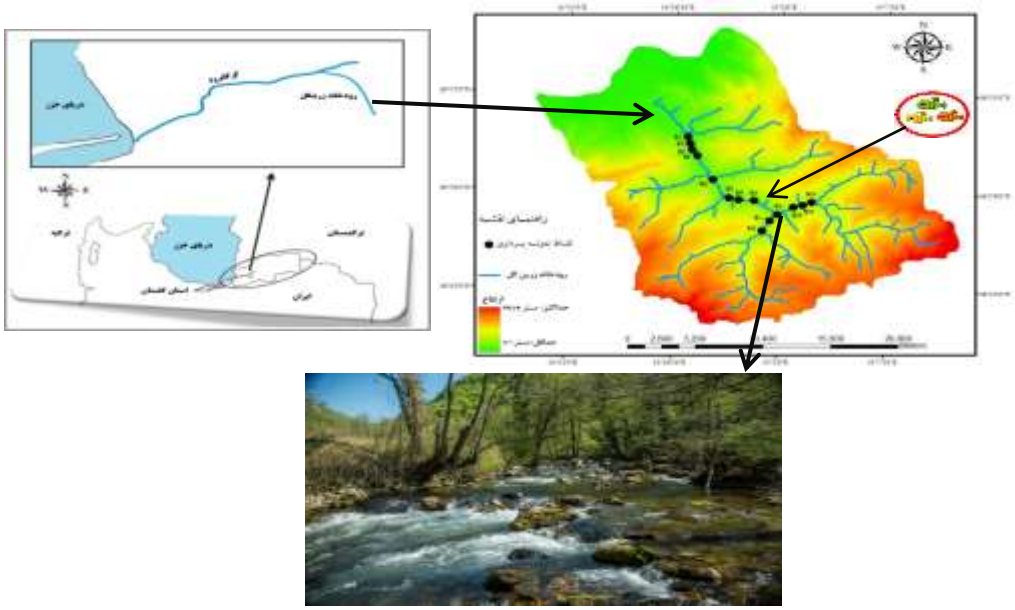
۲ | مواد و روش‌ها

حوضهٔ آبریز زرین‌گل با مساحتی درحدود ۳۴۲/۸۲ کیلومترمربع به‌عنوان

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

حوضه‌ای مرطوب در جنوب‌شرقی شهرستان علی‌آبادکتول استان گلستان، در مختصات جغرافیایی "۳۰ '۴۳ °۳۶ تا "۳۰ '۵۴ °۳۶ عرض شمالی و "۱۰ '۵۳ °۵۴ تا "۳۶ '۱۱ °۵۵ طول شرقی گسترده شده است (شکل ۱). این حوضه با حداکثر و حداقل ارتفاع ۲۹۹۷ و ۲۸۰ متر با میانگین ارتفاعی ۱۵۳۵ متر از سطح دریا، دارای شیب متوسط ۱۲ درصدی می‌باشد و شیب خالص آبراهۀ آن ۲/۶ درصد برآورد شده است. رودخانۀ زرین‌گل به‌عنوان یکی از سرشاخه‌های گرگانرود، به‌طول ۲۲ کیلومتر و با بستر سنگی- شنی در عرض شمالی '۵۷ °۳۷ و طول شرقی '۵۲ °۳۶، از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و ارتفاعات سرخان، میلان، آقند و کمر، سرچشمه گرفته و با جهت عمومی جنوب‌شرقی- شمال غربی حرکت خود را شروع نموده و پس از عبور از مناطق کوهپایه‌ای شرق علی‌آبادکتول به‌سمت شمال جریان داشته و در حوالی روستای باغه‌یلمه‌سالیان به رودخانۀ گرگانرود می‌پیوندد (Naderi *et al.*, 2019; Gholizadeh *et al.*, 2018). رودخانۀ زرین‌گل از جمله رودخانه‌های دائمی استان گلستان است که از آبدهی مناسب و سیلاب بالایی برخوردار است و در فصل زمستان به‌علت بارش‌های فصلی باران و همچنین ذوب برف‌ها در ماه‌های انتهایی قابلیت سیلابی شدن را دارد. رودخانۀ زرین‌گل باتوجه به دانه‌بندی ذرات بستر از جمله رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه است و دارای پراکنش گونه‌ای مختلف ماهیان بومی منطقه می‌باشد (Gholizadeh *et al.*, 2020; Fazel *et al.*, 2019; Gholizadeh *et al.*, 2017).



شکل ۱ - موقعیت حوضه آبخیز رودخانه زرین‌گل و نمایی از بازه مطالعاتی رودخانه به‌همراه موقعیت ایستگاه نمونه‌برداری

در راستای بررسی سناریوهای مختلف برآورد رژیم جریان اکولوژیکی زیستگاه رودخانه زرین‌گل، در پژوهش حاضر روش‌های هیدرولوژیکی تنانت و جریان پایه آبزیان، روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفتند که در ادامه به شرح مبانی و اصول اولیه این روش‌ها، پرداخته می‌شود. پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین جریان درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «تنانت» می‌باشد. تنانت (Tennant, 1976) جریان‌های مشخصی که هر یک معرف کیفیت زندگی ماهیان بودند را در قالب سه پارامتر عمق، سرعت و درصد محیط خیس شده همراه با ملاحظات بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای زندگی ماهیان به‌صورت زیستگاه بقای کوتاه مدت، زیستگاه حیاتی و زیستگاه عالی برای بقاء، تعریف کرد. زیستگاه بقای کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه تأمین می‌شود. زیستگاه حیاتی، در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات، در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه فراهم می‌شوند (Nikghalb *et al.*, 2016; Shokoohi and Hong, 2011; Tennant, 1976). در روش «جریان پایه آبزیان»، حداقل متوسط جریان ماهانه رودخانه مورد مطالعه در یک دوره دراز مدت، جهت حفظ حیات آبزیان و ماهیان به‌عنوان نیاز آبی اکولوژیکی تعیین شده و لازم است که این مقدار آب به‌طور دائم در رودخانه جاری باشد (Naderi *et al.*, 2020). برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در روش‌های تنانت و جریان پایه آبزیان، از آمار و اطلاعات جریان رودخانه زرین‌گل در طول دوره آماری (دبی متوسط روزانه و ماهانه) در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل، دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، به‌عنوان شاخص تعیین میزان نیاز آبی اکولوژیکی، استفاده شده است. روش‌های هیدرولیکی مانند روش R2CROSS و روش محیط خیس‌شده رژیم جریان اکولوژیکی را بر اساس پارامترهای خاص هیدرولیکی تعیین می‌کنند و از سوی دیگر می‌توان گفت روش‌های هیدرولیکی عملاً پیشگامان مدل‌های پیشرفته مورد استفاده برای شبیه‌سازی محیط‌های بیولوژیکی هستند که از مدل‌های هیدرولیکی به‌عنوان جزئی اصلی در کنار داده‌های محیط اکولوژیکی-بیولوژیکی استفاده می‌کنند (Shokoohi and Hong, 2011). پرکاربردترین روش هیدرولیکی برای تعیین جریان‌های درو

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «محیط خیس‌شده» می‌باشد. این روش به رابطه عمومی بین دبی رودخانه و محیط خیس‌شده می‌نگرد. روش محیط خیس‌شده از اندازه‌گیری‌های صحرایی یا مدل‌سازی هیدرولیکی برای تعیین اینکه چطور محیط خیس‌شده یک آبراهه مورد مطالعه با جریان تغییر می‌کند، استفاده می‌نماید (Yi *et al.*, 2017; Shokoohi and Hong, 2011). در این روش فرض می‌شود که با حفظ محیط خیس‌شده مناسب آبراهه در محل زیستگاه‌های مهم، حیات آبزیان حفظ خواهد شد. در این روش، منحنی محیط خیس‌شده در مقابل دبی جریان ترسیم می‌شود و نقطه تغییر شیب منحنی (نقطه شکست) به‌عنوان جریان مورد نیاز برای حفظ زندگی گیاهان و جانوران آبزی فرض می‌شود. پارامترهای هیدرولیکی نظیر سرعت جریان، عرض سطح آب، عمق هیدرولیکی، تنش برشی و شعاع هیدرولیکی همگی به نوعی وابسته به دبی جریان رودخانه هستند (Yi *et al.*, 2017; Holmes *et al.*, 2016). اشکال مختلف بستر به‌صورت خیزاب و گوداب می‌باشد. شکل بستر گوداب، شکل طبیعی بستر رودخانه است و با عمق زیاد و سرعت کم شناسایی می‌شوند و یک زیستگاه حیاتی برای موجودات آبزی و ماهیان به‌شمار می‌روند (Naderi *et al.*, 2020; Naderi *et al*, 2019). در همین راستا، شکل هندسی مقاطع رودخانه در طراحی، برنامه‌ریزی و ساماندهی رودخانه و همچنین شبیه‌سازی زیستگاه آبزیان، اهمیت اساسی دارد.

در زمینه شبیه‌سازی زیستگاه، مدل هیدرولیکی-زیستگاهی PHABSIM، مجموعه‌ای از ابزار را برای مدل‌سازی هیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه‌های ماهیان فراهم می‌نماید که توسط مرکز مطالعات ژئوفیزیک آمریکا در دهه ۱۹۷۰ ارائه شد (Naderi *et al.*, 2018; Sedighkia *et al.*, 2017). این مدل دارای دو توانایی مهم است. نخست شرایط هیدرولیکی حاکم بر رودخانه را به صورت یک‌بعدی شبیه‌سازی می‌کند و دوم شرایط زیستی حاکم بر گونه هدف را در بازه مطالعاتی، شبیه‌سازی و مساحت قابل استفاده از لحاظ زیست‌محیطی را برای گونه ماهی در اختیار قرار می‌دهد. در این مدل دبی رودخانه، فراهمی زیستگاه و میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه هدف در قالب مدل شبیه‌سازی به هم مرتبط می‌شوند. عملکرد مدل به این صورت است که در ابتدا اطلاعات هیدرولیکی مربوط به رودخانه، شامل دبی، عمق و سرعت‌جریان و همچنین هندسه مقاطع معرف رودخانه وارد نرم‌افزار می‌شوند (Nikghalb *et al.*, 2016; Bourgeois *et al.*, 1996). زیرمدل هیدرولیکی نرم‌افزار به‌کمک این اطلاعات قادر است شرایط جریان را برای دبی‌های دلخواه شبیه‌سازی نماید. در منابعی مانند (Naderi *et al.*, 2018; Nakvachara *et al.*, 2018; Sedighkia *et al.*, 2017) شرح تفصیلی این مدل آمده است.

شاخص مطلوبیت زیستگاه به‌عنوان یک فناوری کلیدی از روش افزایشی جریان درون رودخانه‌ای، می‌تواند به‌طور کمی رفتار خاص یک گونه را توصیف کند (Ahmadzadeh *et al.*, 2018; Gholizadeh *et al.*, 2017). شاخصی که معمولاً استفاده می‌شود منحنی مطلوبیت متغیر منفرد است، که مقدار مناسب بودن زیستگاه ماهی را بین ۰ تا ۱، تعریف می‌کند. که در آن ۰، نامناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی نامطلوب) و ۱، مناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی مطلوب) است. 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.*, 2020; Sedighkia *et al.*, 2017; Gholizadeh *et al.*, 2017). پس از ایجاد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای هر یک از مؤلفه‌های فیزیکی زیستگاه، شاخص‌های مطلوبیت برای به‌دست آوردن شاخص مطلوبیت ترکیبی باهم ادغام می‌شوند (مقدار شاخص مطلوبیت ترکیبی، از رابطه ۱ به‌دست می‌آید). مدل PHABSIM با شبیه‌سازی رابطه مطلوبیت گونه‌های شاخص با فاکتورهای جریان، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه مطلوب در دسترس) را محاسبه می‌کند. مساحت قابل استفاده وزنی، حاصل از شاخص مطلوبیت ترکیبی و مساحت هر بازه زیستگاه می‌باشد (رابطه ۲).

رابطه ۱: $$CSI = SI_d \times SI_v \times SI_b$$

رابطه ۲: $$WUA = \sum_{i=1}^{n} A_I \times CSI_i = f(Q)$$

که در روابط ۱ و ۲، A_i: سطح هر بازه زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی، WUA (مساحت قابل استفاده وزنی) تابعی از Q (دبی جریان) و SI_i شاخص مطلوبیت هر متغیر (عمق، سرعت و بستر) می‌باشند.

به‌دلیل نیاز به منحنی‌های مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی در فصول مختلف سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، داده‌های مورد نیاز جهت برازش منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه مهیا شد. در مطالعه حاضر، برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، گونه سیاه‌ماهی *Capoeta gracilis* (Keyserling, 1861) از خانواده کپورماهیان و یکی از گونه‌های غالب و بومی حوضه آبریز جنوبی دریای‌خزر، به‌دلیل حضور و فراوانی در فصول و بازه‌های مختلف مطالعاتی، پراکنش وسیع در رودخانهٔ زرین‌گل و همچنین بر اساس اطلاعات بلندمدت اجرای مطالعات بیولوژیکی و بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی و خصوصیات زیست‌شناختی فون ماهیان در منطقه، به عنوان گونه هدف در نظر گرفته شد. گونه سیاه‌ماهی از لحاظ حفظ ذخایر ژنتیکی، صید ورزشی و مطالعه جغرافیای جانوری حائز اهمیت است (Ghanavi *et al.*, 2016; Abdoli and Naderi, 2009). حداکثر طول‌کل سیاه‌ماهی ۳۵ سانتی‌متر و بیشینه وزن آن ۲۲۵ گرم و میانگین طول کل ۲۲ سانتی‌متر و میانگین وزن آن ۷۵ گرم است. تولیدمثل سیاه‌ماهی عمدتاً در فصل بهار از فرودین تا خرداد ماه صورت می‌گیرد. تخم‌ریزی در ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری آب در شن و ماسه و بر روی تخته سنگ‌ها رخ می‌دهد. تخم‌ریزی درحال حرکت در داخل آب اتفاق افتاده و تخم‌های توسط شن و ماسه و یا سنگ‌های کوچک پوشانده می‌شوند (Ahmad-zadeh *et al.*, 2018; Abdoli and Naderi, 2009). بالغین این ماهی هرساله جهت تخم‌ریزی در داخل رودخانه محل زیست خود مهاجرت‌های تولیدمثلی دارند و از قسمت پایین‌دست به بالادست مهاجرت می‌کنند و پس از تخم‌ریزی دوباره به‌سمت پایین‌دست مراجعت می‌کنند (Gholizadeh *et al.*, 2018; Gholizadeh *et al.*, 2017). همچنین از موجودات کفزی، لار، حشرات و گیاهان آبزی تغذیه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

می‌کنند. ترجیح زیستگاهی سیاه‌ماهی، اعماق میانه با سرعت نسبتاً آرام و بسترهای سنگی با اندازه کوچک تا متوسط می‌باشد (Asadi *et al.*, 2014).

به‌دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی در طول ۲۵ کیلومتر از مسیر رودخانه زرین‌گل، اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای اکولوژیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی (مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصله هر مقطع از مقطع پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی، عمق آب با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی، عرض مقاطع با استفاده از مترنواری، سرعت جریان در نقطه بالادست و پایین‌دست مقطع با استفاده از سرعت‌سنج در ۰/۴ عمق آب به‌منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقطه نمونه‌گیری، ساختار و پوشش بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی)، ضریب مانینگ و شکل مورفولوژی زیستگاه) در نقاط حضور سیاه‌ماهی، صورت پذیرفت (Lotfi, 2012). در این راستا نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) به‌صورت نقطه‌ای و دقیق، با استفاده از تور سالیک با اندازه چشمه ۱۵ میلی‌متری، از پایین‌دست رودخانه زرین‌گل به‌سمت بالادست در ۱۴ ایستگاه (شکل ۱ و جدول ۱)، جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، انجام شد (داده‌ها برای ۸۲ نمونه سیاه‌ماهی با طول‌کل ۱۰-۲۵ سانتی‌متر، ثبت شد). ماهیان بعد از بیومتری (اندازه‌گیری و تعیین فاکتورهای طول و وزن ماهی 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 زرین‌گل، رهاسازی شدند.

بازه‌های مشاهداتی و ایستگاه های مطالعاتی درنظر گرفته شده در این مطالعه، طولی از بازه رودخانه به‌صورت ضریبی از حداکثر عرض رودخانه (۱۰ تا ۲۰ برابر عرض خیس شده مقطع در بالادست و پایین‌دست) که در امتداد مسیر نسبتاً مستقیم رودخانه واقع و براساس فاکتورهایی شامل قرار داشتن مرزهای محدوده مطالعاتی تحت‌تأثیر رژیم جریان (با بررسی نقشه توپوگرافی و نیز سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و الحاقیه HEC-GeoRAS)، دارا بودن هیدروگراف یکسان در نواحی دارای شرایط مشابه هیدرولوژیکی، تنوع در ریخت-شناسی رودخانه (عوارضی همچون پیچ وخم‌های مقاطع عرضی رودخانه، شیب و ساختار بستر، زیستگاه‌های قلوه‌سنگی و ایستگاه‌های گیاهی حاشیه رودخانه)، انتخاب شدند.

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

	متوسط پارامترهای محیطی				موقعیت جغرافیایی		
مورفولوژی بستر	فراوانی سیاه‌ماهی	عمق آب	سرعت جریان	مواد بستر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
	(قطعه در متر مربع)	(متر)	(متر بر ثانیه)	-			
گودآب	۰/۳۲۴	۰/۵۴	۰/۴۵	شن متوسط	"۴۱ ۹۰ °۳۶	"۰۷ ۹۳' °۵۴	S۱
گودآب	۰/۴۸۲	۰/۶۸	۰/۴۲	شن متوسط	"۹۸ ۸۹' °۳۶	"۴۷ ۹۳' °۵۴	S۲
گودآب	۰/۴۷۶	۰/۵۱	۰/۴۳	شن متوسط	"۶۸ ۸۸' °۳۶	"۶۵ ۹۴' °۵۴	S۳
گودآب	۰/۴۳۶	۰/۵۶	۰/۵۲	شن متوسط	"۱۸ ۸۸' °۳۶	"۱۳ ۹۵' °۵۴	S۴
خیزآب	۰/۲۶۴	۰/۳۵	۰/۶۴	شن درشت	"۴۶ ۸۷' °۳۶	"۴۳ ۹۵' °۵۴	S۵
خیزآب	۰/۲۵۳	۰/۳۲	۰/۳۶	شن درشت	"۱۴ ۸۷' °۳۶	"۵۵ ۹۵' °۵۴	S۶
گودآب	۰/۳۷۵	۰/۴۲	۰/۵۲	شن متوسط	"۹۱ ۸۵' °۳۶	"۶۷ ۹۶' °۵۴	S۷
خیزآب	۰/۲۱۴	۰/۳۸	۰/۳۳	شن درشت	"۲۹ ۸۵' °۳۶	"۹۳ ۹۶' °۵۴	S۸
گودآب	۰/۳۰۴	۰/۴۲	۰/۴۶	شن متوسط	"۷۵ ۸۴' °۳۶	"۰۲ ۹۷' °۵۴	S۹
خیزآب	۰/۱۸۴	۰/۳۷	۰/۴۲	شن درشت	"۶۷ ۸۱' °۳۶	"۲۸ ۰۲' °۵۵	S۱۰
گودآب	۰/۲۳۸	۰/۳۹	۰/۴۶	شن متوسط	"۴۵ ۸۱' °۳۶	"۱۵ ۰۳' °۵۵	S۱۱
خیزآب	۰/۱۴۷	۰/۴۲	۰/۳۶	شن درشت	"۷۸ ۸۱' °۳۶	"۴۹ ۰۳' °۵۵	S۱۲
خیزآب	۰/۱۲۷	۰/۶۸	۰/۴۴	قلوه‌سنگ	"۸۲ ۸۱' °۳۶	"۵۶ ۰۳' °۵۵	S۱۳
خیزآب	۰/۱۱۴	۰/۵۴	۰/۳۲	قلوه‌سنگ	"۹۶ ۸۱' °۳۶	"۶۸ ۰۳' °۵۵	S۱۴

در پژوهش حاضر جهت تولید و توسعه منحنی‌های مطلوبیت فیزیک زیستگاه (عمق آب، سرعت جریان و بستر)، از شاخص انتخاب زیستگاه ژاکوب استفاده گردیده است. شایان ذکر است باتوجه به اینکه مطالعات قبلی در زمینه بررسی خصوصیات زیستگاه ماهیان در رودخانه زرینگل صورت پذیرفته است (Fazel *et al.*, 2019; Gholizadeh *et al.*, 2018) و همچنین در بررسی‌های میدانی مطالعه نیز، این اطلاعات بیش از پیش تکمیل گردید، لذا مناسب‌ترین روش برای توسعه منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه، روش ژاکوب می‌باشد. با استفاده از رابطه ۳، شاخص انتخاب زیستگاه ژاکوب، محاسبه خواهد شد. در نمودار فراهمی زیستگاه روش ژاکوب، محور طولی دسته‌های آماری هر پارامتر مورد مطالعه مانند عمق و سرعت و محور عرضی، فراوانی هر دسته در مقیاس ۰ تا ۱ است و با حرف P نشان داده شده و نمودار زیستگاه استفاده شده نیز براساس مشاهدات میدانی در نقاط حضور ماهی، با حرف r نشان داده می‌شود و در نهایت برای مرکز هر دسته آماری، i محاسبه می‌شود (Sedighkia *et al.*, 2017; Olsen, 2012).

رابطه ۳:

$$\mathbf{D_i} = \frac{r_i - r_i}{r_i + P_i - 2r_iP_i}$$

در این مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه زرین‌گل و نرم افزار Arc-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد و سپس

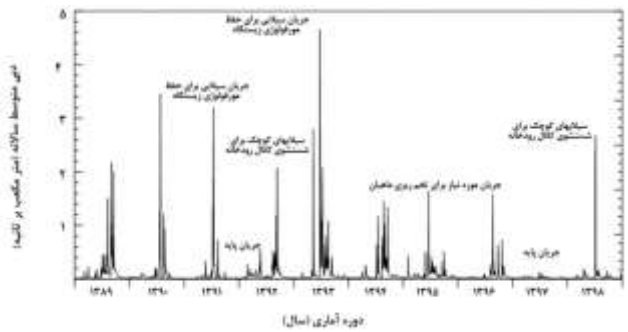
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

داده‌های هندسی مقاطع عرضی به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و HEC-GeoRAS، به مدل HEC-RAS ارسال و شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه انجام گرفت. در ادامه با استفاده از داده‌های عمق آب، سرعت جریان و تراز سطح آب تولید شده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS و همراه با مشاهدات میدانی، وارد مدل PHABSIM شده و شبیه‌سازی هیدرمورفولوژیکی-زیستگاهی رودخانه صورت گرفت. در مرحله بعد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل، تولید و توسعه داده شد. در نهایت منحنی‌های سری زمانی دبی- میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس (مساحت قابل استفاده وزنی) استخراج و باتوجه به منحنی‌های استخراج شده، سناریوهای مختلف مدیریت جریان برای بهبود وضعیت زیستگاهی رودخانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳ | نتایج

مدیریت اکوسیستمی رودخانه زرین‌گل، نیاز به ابزارهای ارزیابی و حمایت از جوامع آبزی دارد که شامل حفاظت، احیا و بازطبیعی‌سازی و همچنین پیش‌بینی شرایط آینده دارد. در مطالعه حاضر، چرخه سالانه زندگی سیاه‌ماهی، به دو بخش «فعالیت‌های زیستی وابسته به تخم‌ریزی و تکثیر» و «فعالیت‌های زیستی دوران رشد» تقسیم‌بندی گردیده است. فعالیت‌های زیستی وابسته به تکثیر، شامل مراحل تخم‌ریزی، نهفتگی و از تخم درآمدن بچه‌ماهی‌ها می‌باشد. در این مرحله جریان‌های با شدت کم، تنش برشی مورد نیاز برای جلوگیری از دپوشدن رسوبات ریزدانه را فراهم کرده و همچنین جریان‌های با شدت متوسط، با ایجاد زیستگاه‌های بیشتر در بستر، محدوده جریان مناسب برای ادامه فعالیت‌های زیستی آبزی و یا محدوده دبی اکولوژیکی را در نظر می‌گیرد. فعالیت‌های زیستی دوران رشد، شامل دوران بلوغ و مهاجرت آبزی می‌باشد. در این مرحله، جریان‌های با شدت زیاد نیز با ایجاد جابه‌جایی در بستر، در محدوده دبی اکولوژیکی درنظر گرفته می‌شود. بنابراین درمطالعه حاضر، تخصیص رژیم جریان اکولوژیکی، 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 گرفت. سری زمانی داده‌های ۱۰ ساله دبی متوسط سالانه رودخانه زرین‌گل در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل در دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۸۹، نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین توزیع مقادیر ماهانه رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، به‌دست آمده برای روش‌های مختلف، در جدول ۵، ارائه شده است.



شکل ۲- رژیم طبیعی رودخانه زرینگل در ایستگاه هیدرومتری زرینگل در طول دوره آماری

روش تنانت: روش تنانت براساس درصدهایی از میانگین جریان سالانه و در گروه‌های مختلفی از بسیار ضعیف تا محدوده بهینه، تعریف شده است. بر این اساس با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل برای شرایط قابل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای فروردین تا شهریور (معادل ۰/۷ مترمکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای مهرماه تا اسفند (معادل ۰/۲۳ مترمکعب بر ثانیه) برآورد گردید (جداول ۲ و ۵).

جدول ۲- رژیم جریان اکولوژیکی محاسبه شده رودخانه زرین‌گل با روش تنانت طی دوره‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

ملاحظات	عالی		خوب		قابل قبول یا عادلانه		ماه
	۵۰ درصد میانگین جریان سالانه	۳۰ درصد میانگین جریان سالانه	۴۰ درصد میانگین جریان سالانه	۲۰ درصد میانگین جریان سالانه	۳۰ درصد میانگین جریان سالانه	۱۰ درصد میانگین جریان سالانه	
دوره تخم‌ریزی و نوزادی ماهیان	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	فروردین
	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	اردیبهشت
	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	خرداد
	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	تیر
	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	مرداد
	۱/۱۷	–	۰/۹۳	–	۰/۷	–	شهریور
دوره مصارف عمومی از آب	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	مهر
	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	آبان
	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	آذر
	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	دی
	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	بهمن
	–	۰/۷	–	۰/۴۶	–	۰/۲۳	اسفند

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

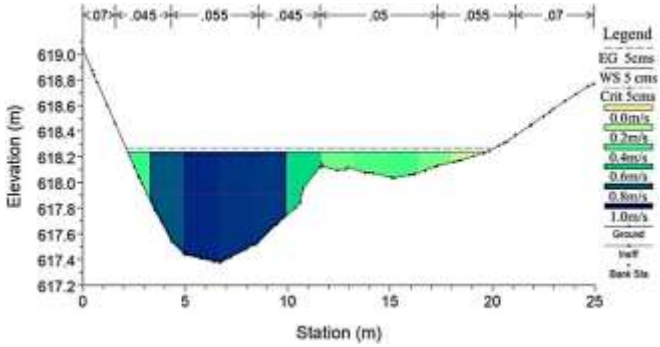
طبق روش تنانت، ۱۰ درصد از میانگین جریان سالانه نشان‌دهنده حداقل حالت جریان برای حفظ سلامت اکوسیستم رودخانه است. تحت شرایط تخصیص ۱۰ درصد میانگین جریان سالانه، عمق و سرعت به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، یک سوم بستر نمایان شده و از طرفی پوشش کف آبراهه کاهش یافته و متناسب با آن، پراکنش و حضور ماهیان در زیستگاه‌های گوداب بیشتر شده و در این شرایط عمق کم جریان در زیستگاه خیزاب برای ماهیان با طول بیشتر، مانع حرکت و شنای آنها می‌گردد. همچنین در شرایط تخصیص ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه، عرض مقطع، عمق آب و سرعت جریان برای پراکنش و حضور ماهیان در زیستگاه‌های گوداب و خیزآب، شرایط قابل قبولی را فراهم می‌کند. کیفیت زیستگاه «قابل قبول یا عادلانه» برای تأمین حداقل جریان اکوسیستم رودخانه در مهر تا اسفندماه است. در طی فروردین تا شهریورماه، کیفیت زیستگاهی که به‌عنوان «قابل قبول یا عادلانه» تعریف می‌شود، نیاز به حفظ شرایط مطلوب برای موجودات آبزی دارد. کیفیت زیستگاه «عالی» زیستگاه خوبی برای زندگی آبزیان است. کیفیت زیستگاه «خوب» وضعیت زیستگاهی بین «عادلانه» و «عالی» است. رژیم جریان براساس استاندارد روش تنانت، در جدول ۲ نشان داده شده است که تقاضای شرایط مختلف اکوسیستم رودخانه زرین‌گل را نشان می‌دهد.

روش جریان پایه آبزیان: بررسی نتایج روش جریان پایه آبزیان در جدول مشخص می‌سازد که مقدار جریان اکولوژیکی برآورد شده برای ماه‌های مختلف سال برابر با ۱/۱۶ مترمکعب‌برثانیه (معادل ۴۹/۵۷ درصد متوسط جریان سالانه) در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل است.

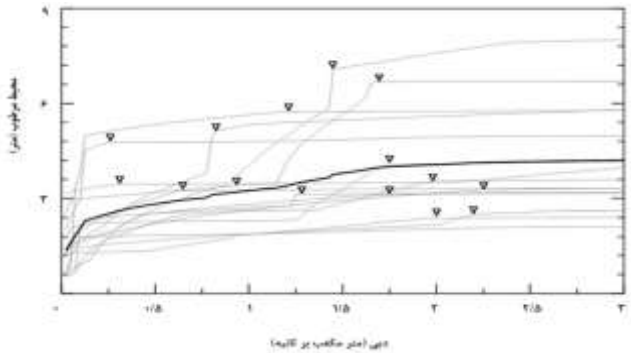
روش محیط خیس‌شده: نتایج حاصل از به‌کارگیری روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده در جدول ۳ و جدول ۵، ارائه شده است. نتایج روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده بین اعداد ۵۲ تا ۷۴ درصد متوسط جریان سالانه به‌دست آمده است. با متوسط‌گیری مشخص می‌شود که روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده ، دبی معادل ۶۱ درصد از جریان متوسط سالانه (۱/۴۳ مترمکعب برثانیه) رودخانه زرین‌گل را به‌خود اختصاص می‌دهد. همچنین به‌عنوان نمونه شبیه‌سازی هیدرو-لیکی و توزیع سرعت در مقطع عرضی منتخب رودخانه زرین‌گل برای برآورد رژیم جریان اکولوژیکی، با تقسیم هر مقطع به تعدادی سلول در نرم‌افزار HEC-RAS، در شکل ۳ نشان داده شده است. خاطر نشان می‌سازد که ضریب مانینگ رودخانه مورد مطالعه در بازه‌های مختلف بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۷ بوده و باتوجه به توپوگرافی بستر، نوع جریان در مقطع عرضی منتخب رودخانه، از نوع زیربحرانی است. در شکل ۴، نمودار دبی – محیط خیس شده در مقاطع عرضی رودخانه زرین‌گل ارائه شده است.

جدول ۳- رژیم جریان اکولوژیکی محاسبه شده رودخانه زرین‌گل بر اساس روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده (مترمکعب برثانیه)

شماره مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
دبی پیشنهادی	۱/۴۵	۱/۳۷	۱/۶۱	۱/۶۸	۱/۷۵	۱/۶۳	۱/۴۸
شماره مقطع	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
دبی پیشنهادی	۱/۳۵	۱/۴۷	۱/۲۵	۱/۴۲	۱/۱۸	۱/۲۸	۱/۲۲



شکل ۳- مقطع عرضی منتخب برای برآورد رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل

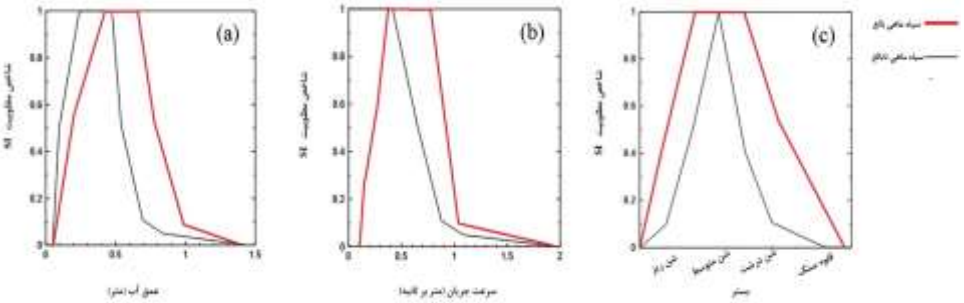


شکل ۴- منحنی تغییرات دبی -محیط مرطوب (خیس شده) رودخانه زرین‌گل در ۱۴ مقطع عرضی

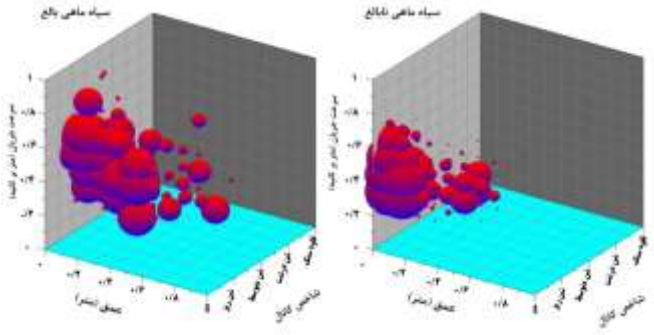
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

روش شبیه‌سازی زیستگاه: به‌منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، باتوجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و بستر تولید شد (شکل ۵). در پژوهش حاضر، مطابق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی (شکل ۵) می‌توان نتیجه گرفت که جریاناتی به‌عنوان جریان اکولوژیکی در رودخانه زرین‌گل برای گونه سیاه‌ماهی در مراحل مختلف زندگی، مناسب است که بتواند اعماقی بین ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان حدود ۰/۱ تا ۰/۶ متر برثانیه باشد. همان‌طور که در شکل ۵ و شکل ۶ نشان داده شده است، با افزایش سن ماهی و در دوره بالغ، گونه هدف اعماق و سرعت‌های بیشتری را نسبت به گروه سنی نابالغ ترجیح می‌دهد. یکی از دلایل این امر نیاز به پوشش برای این گروه سنی به‌عنوان پناهگاه استراحتگاه و ایستگاه‌های تغذیه می‌باشد که با افزایش عمق، توربولانس سطحی و زیرلایه‌ای که شامل مواد درشت‌تر می‌باشد فراهم می‌شود و وضعیت مطلوبیت زیستگاه بهتر شده است. با افزایش عمق و سرعت جریان مطلوبیت زیستگاه گروه سنی نابالغ کاهش می‌یابد و این گروه سنی اعماق و سرعت‌های کم‌تر را ترجیح می‌دهند، زیرا سرعت بالای جریان آب سبب صرف انرژی ماهیان برای مقابله با شدت جریان و حفظ تعادل و شناوری در آب می‌شود. درحالت کلی مناسب‌ترین محدوده که احتمال ایجاد کم‌ترین آسیب را به میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس گونه سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل خواهد داشت، محدوده عمق ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و سرعت ۰/۳ تا ۰/۶ متر برثانیه است. ذرات شن متوسط به‌دلیل اینکه برای تخم‌ریزی سیاه‌ماهی ایده‌آل است، دارای مطلوبیت مناسبی برای ماهیان بالغ است. درهمین حال، شن متوسط نیز، مطلوبیتی مناسبی برای گروه سنی سیاه‌ماهی دارد. بالاتر بودن مطلوبیت بسترهایی که قطعات سنگی بزرگ دارند به‌دلیل این است که قطعات بزرگ سنگی می‌توانند به منزله پناهگاهی در برابر دبی زیاد جریان استفاده شوند و به‌علت ایجاد سطح بزرگتر و فضای مرده بیشتر در پشت سنگ، تراکم بیشتری از مواد غذایی آبزی دارند که در زیر سنگ‌های بستر رشد می‌کنند.



شکل ۵- منحنی‌های شاخص مطلوبیت پارامترهای عمق آب (a)، سرعت جریان (b) و بستر (c) گونه سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل



شکل ۶- نحوه پراکنش گونه ماهی هدف در زیستگاه رودخانه زرین‌گل در برابر پارامترهای فیزیک زیستگاه (سرعت، عمق و شاخص کانال (بستر))

در ادامه براساس الزامات سرعت جریان در مراحل مختلف زندگی (تخم‌ریزی، غیر تخم‌ریزی) گونه شاخص، سرعت جریان مطلوب مورد نیاز سیاه‌ماهی در ماه‌ها و بازه‌های مختلف رودخانه زرین‌گل، تعیین شد (جدول ۴). در این راستا مطابق جدول ۴ پیشنهاد می‌شود که سرعت جریان در محدوده بین ۰/۴۶ تا ۰/۶۳ متر برثانیه در بازه بالادست و بین ۰/۲۶ تا ۰/۴۸ متر بر ثانیه در بخش میانی و بین ۰/۲۶ تا ۰/۴۲ متر برثانیه در بازه پایین‌دست، در فصول غیرتخم‌ریزی حفظ شود. بر این اساس انتظار می‌رود دامنه سرعت جریان بین ۰/۲۲ تا ۰/۶۳ متر بر ثانیه در حفظ سلامت زیستگاه رودخانه زرینگل، مفید و مؤثر باشد. همچنین محدوده عمق آب اکولوژیکی مطلوب برای بخش بالادست رودخانه ۰/۴ متر و بین ۰/۴ تا ۰/۵ متر برای بخش‌های میانی و پایین‌دست در فصول غیرتخم‌ریزی بایستی مدنظر قرار گیرد. از سوی دیگر مطابق جدول ۴، عمق آب بین ۰/۳ تا ۰/۴ متر در بخش بالادست رودخانه در طول دوره تخم‌ریزی (ماه فروردین تا خرداد) باید مدنظر قرار گیرد، درحالی‌که عمق بین ۰/۴ تا ۰/۶ متر به‌عنوان عمق آب اکولوژیکی در بخش‌های میانی و پایین‌دست در فصول تخم‌ریزی سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل موردنیاز است. سرعت جریان را می‌توان مهم‌ترین پارامتر هیدرولیکی تأثیرگذار بر زیستگاه سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل دانست که نقش اساسی به‌عنوان یک شاخص اکوهیدرولیکی بازی می‌کند. وجود سرعت‌های بسیار بالا نیز برای این ماهیان مطلوب نیست.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

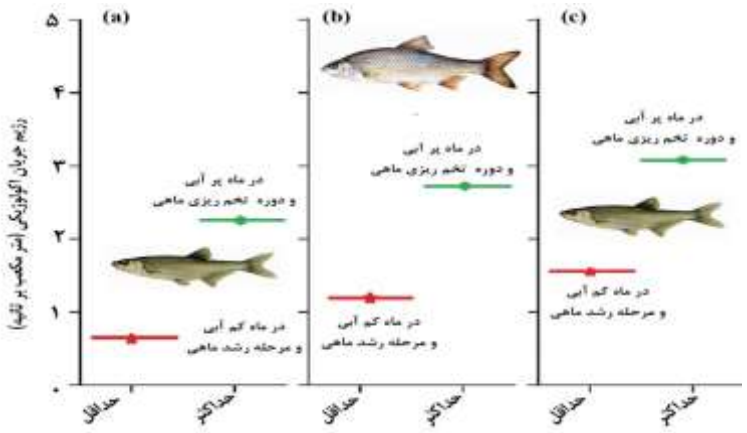
جدول ۴- عمق آب و سرعت جریان اکولوژیکی مطلوب سیاه‌ماهی در ماه‌ها و بازه‌های مختلف رودخانه زرین‌گل

ماه	بازه بالادست		بازه میانی		بازه پایین‌دست	
	عمق آب (متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	عمق آب (متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	عمق آب (متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
فروردین	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۵*	۰/۴-۰/۶*	۰/۳۴-۰/۵۶*	۰/۴-۰/۶*	۰/۴۵-۰/۶۸*
اردیبهشت	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۵*	۰/۴-۰/۶*	۰/۳۴-۰/۵۶*	۰/۴-۰/۶*	۰/۴۵-۰/۶۸*
خرداد	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۵*	۰/۴-۰/۶*	۰/۳۴-۰/۵۶*	۰/۴-۰/۶*	۰/۴۵-۰/۶۸*
تیر	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
مرداد	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
شهریور	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
مهر	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
آبان	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
آذر	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
دی	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
بهمن	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲
اسفند	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	<۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۸	۰/۴-۰/۵	۰/۲۶-۰/۴۲

* فصول تخم ریزی

با بررسی سرعت جریان و عمق آب مطلوب اکولوژیکی (جدول ۴) برای سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل و نیز تحلیل منحنی‌های دبی-مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف گونه شاخص و در زیستگاه‌های هیدرومورفولوژیکی، رژیم جریان اکولوژیکی ماهانه برای بازه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM محاسبه شد (جدول ۵ و شکل ۷). همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، به طور کلی محدوده جریان اکولوژیکی در بازه بالادست رودخانه زرین‌گل بین ۰/۷ تا ۲/۲۳ مترمکعب بر ثانیه، بازه میانی رودخانه بین ۱/۱۵ تا ۲/۷۴ مترمکعب بر ثانیه و بازه پایین‌دست بین ۱/۶۲ تا ۳/۱۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردیده است. بر این اساس از شکل ۷ دریافت می‌شود که بیشترین حداکثر جریان اکولوژیکی مورد نیاز، در بازه‌های پایین دست و میانی رودخانه می‌باشد و این در حالی است که کمترین حداقل جریان اکولوژیکی، در بازه بالادست رودخانه زرین‌گل، مورد نیاز است. همچنین می‌توان بیان کرد کمترین حداکثر و حداقل جریان اکولوژیکی در بازه بالادست رودخانه، تعیین شده است. آنچه مسلم است این که در فصل بهار و تابستان با افزایش رقابت برای استفاده از آب برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت روبرو هستیم.

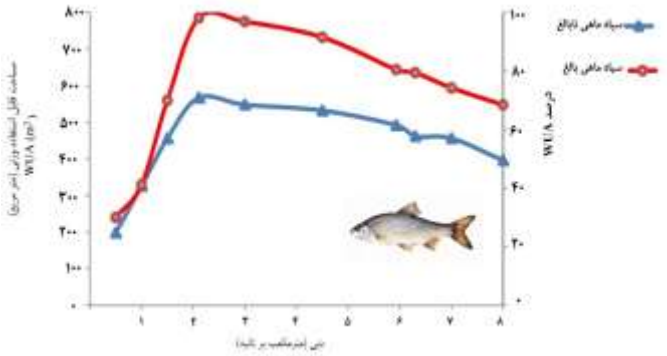
با تولید و توسعهٔ منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه و ورود آن به مدل PHABSIM، مساحت قابل استفادهٔ وزنی برای گروه‌های سنی مختلف سیاه‌ماهی در دبی‌های مختلف استخراج گردید (شکل ۸). تفاوت بین حداقل و حداکثر مقادیر مساحت قابل استفاده وزنی با توجه به دبی جریان در زیستگاه‌های مختلف و مراحل زندگی سیاه‌ماهی نشان می‌دهد که نیاز به تجزیه و تحلیل‌های دقیق مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه در تمامی مراحل زندگی این گونه داریم. طبق منحنی دبی-فیزیک زیستگاه (شکل ۸) کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۱/۱۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد، نیز باعث کاهش میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای گروه سنی بالغ شده است. در گروه سنی بالغ، با افزایش دبی، شرایط فیزیک زیستگاه در حالت بهینه قرار خواهد گرفته است. از منحنی دبی–فیزیک زیستگاه گروه سنی بالغ (شکل ۸) می‌توان نشان داد که در دبی معادل ۲/۳۴ مترمکعب بر ثانیه و حدود ۱۰۰ درصد میانگین دبی سالانه، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی برای سیاه‌ماهی بالغ و نیز سیاه‌ماهی نابالغ است.



شکل ۷– توزیع مقادیر جریان اکولوژیکی مطلوب برای بازه‌های بالادست (a)، میانی (b) و پایین دست (c) رودخانه زرین‌گل

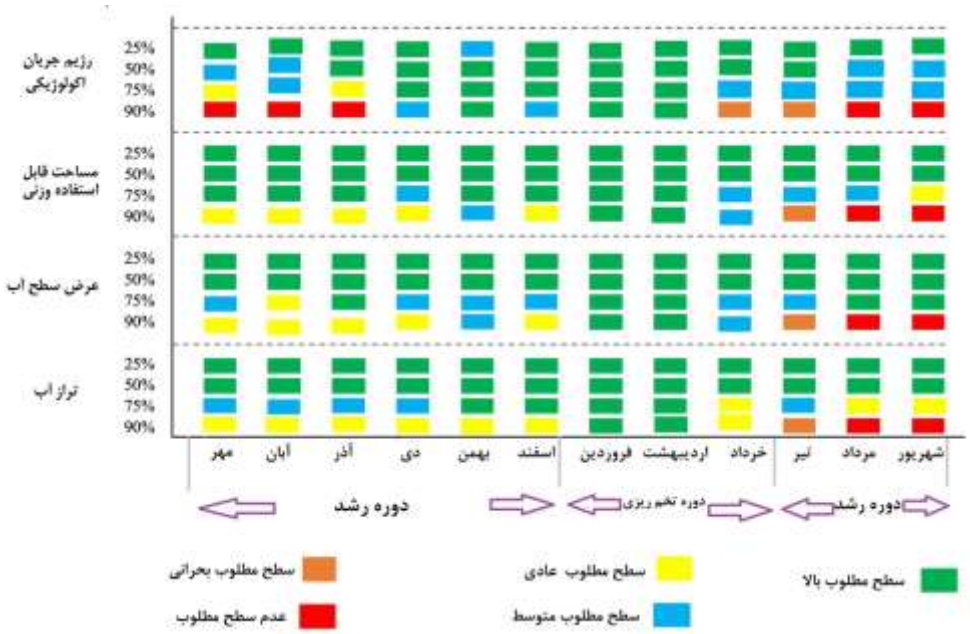
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]



شکل ۸- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی سیاه‌ماهی در دوره های مختلف زندگی در رودخانه زرین‌گل

سطوح مناسب رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم با رژیم‌های مختلف ماهانه جریان رودخانه زرین‌گل در شکل ۹ ارائه شده است. مطابق شکل ۹، فراوانی‌های جریان ۹۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد به ترتیب به عنوان سطح یک فصل خشک، فصل نیمه‌خشک، فصل طبیعی و فصل مرطوب، انتخاب شدند. باتوجه به شکل ۱۰، سطح مطلوب رژیم جریان اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب، در شرایطی می‌تواند در وضعیت «سطح مطلوب بالا» باشد که فراوانی جریان، کمتر از ۷۵ درصد باشد. همچنین هنگامی که فراوانی جریان از ۹۰ به ۷۵ درصد کاهش می‌یابد، مقدار رژیم جریان اکولوژیکی، در فصول مرطوب حداقل ۵۵ درصد افزایش یافته و در فصل خشک، ۲ برابر می‌شود. از طرفی دیگر، رژیم جریان اکولوژیکی، تراز آب و عرض سطح آب در ماه فروردین در دوره تخم‌ریزی ماهی، در وضعیت «سطح مطلوب بالا» است، و در ماه تیر (دوره رشد) در وضعیت «سطح مطلوب بحرانی» می‌باشد و این درحالی است که نیاز آب اکولوژیکی، تراز آب، مساحت قابل استفاده وزنی و عرض سطح آب از مرداد تا شهریور در وضعیت «عدم سطح مطلوب» است. در جدول ۵، رژیم طبیعی جریان رودخانه (میانگین جریان ماهانه) زرین‌گل در مقابل رژیم جریان حداقل و مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش‌های تنانت، جریان پایه آبزیان، محیط خیس شده و مدل شبیه‌سازی زیستگاه PHABSIM، نشان‌داده شده است. برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی با استفاده از مدل PHABSIM، میزان مساحت قابل استفاده وزنی براساس درصد کاهش زیستگاه، دبی معادل مساحت قابل استفاده وزنی کاهش یافته از منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی، قرائت گردید. باتوجه به توضیحات ارائه شده درباره میزان زیستگاه در دسترس برای گونه هدف در رودخانه زرین‌گل، همچنین ملاحظات اکولوژیکی و میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونه شاخص حفظ شود، معادل ۲۵ درصد از زیستگاه‌های مطلوب در دسترس و به تبع آن ۸۰-۶۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاهی به‌عنوان سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی کمتری را داشته باشند) و ۱۰۰-۹۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس به‌عنوان حداکثر حفاظت (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی بالایی دارا باشند)، در تحلیل رژیم جریان اکولوژیکی مطلوب، درنظر گرفته می‌شود.



شکل ۹- نمایش سطوح مختلف رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم شاخص‌های هیدرولیکی در بخش‌های مختلف و دوره‌های ماهانه رژیم جریان رودخانه زرین‌گل در دوره‌های زیستی گونه هدف

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

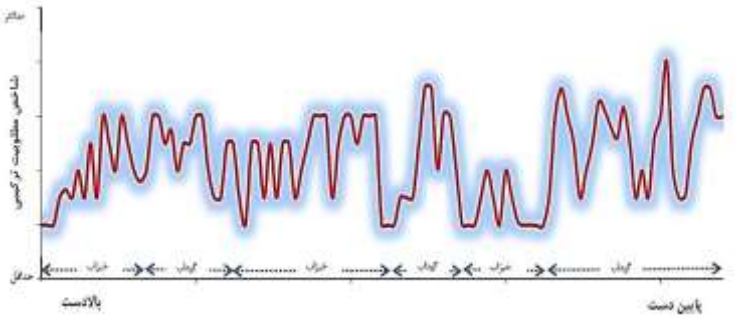
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

همچنین مطابق با جدول ۵، برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونه سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل معادل سطح حفاظت قابل قبول (۷۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بایستی میانگین رژیم جریان اکولوژیکی معادل ۱/۵۲ مترمکعب برثانیه (معادل ۶۴ درصد جریان طبیعی رودخانه) برای حفاظت از سامانه حیاتی رودخانهٔ زرینگل درنظر گرفته شود. براساس محاسبات پژوهش حاضر در جدول ۵، توزیع حداقل میزان جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل در طول سال با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه (۲۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بین حداقل ۰/۲۷ مترمکعب برثانیه در ماه شهریور (در محدوده جریان پایه رودخانه) و حداکثر مقدار ۱/۱۸ مترمکعب برثانیه در ماه فروردین است. مطابق جدول ۵، حداکثر مقدار موردنیاز جریان اکولوژیکی مطلوب در فروردین برابر با ۳/۷۶ مترمکعب برثانیه و کمترین مقدار در ماه های تیر تا بهمن برابر با ۱/۴۳ مترمکعب برثانیه است. لذا با افزایش فراوانی جریان، حداقل میزان نیاز اکولوژیکی در سال‌های خشک تأمین می‌شود و می‌توان نیاز آبی اکولوژیکی مناسب و مطلوب را در سال‌های مرطوب، تأمین کرد. با این‌حال، توزیع نیاز آب اکولوژیکی مناسب در طول سال، نسبتاً نابرابر است. در شکل ۱۰، توزیع مکانی مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه زرین‌گل برای دبی متوسط سالانه (۲/۳۴ مترمکعب بر ثانیه) برای گونه سیاه‌ماهی نشان داده شده است. محور عمودی در این شکل، شاخص مطلوبیت ترکیبی است که در رابطه ۲ نشان داده شده است.

باتوجه به شکل ۱۰، مشاهده می‌شود میزان مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه شرایط کاملاً متفاوتی دارد. توزیع مطلوبیت زیستگاهی در دبی‌های مختلف نشان داد که به‌طورکلی محدوده بالادست رودخانه به‌لحاظ مطلوبیت پارامتر-های فیزیک زیستگاه در دبی‌های مختلف دارای ضعیف‌ترین شرایط بوده و در محدوده پایین‌دست رودخانه شرایط مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. دلیل آن نیز کاهش شیب رودخانه و در نتیجه کاهش سرعت جریان رودخانه و افزایش عمق به سمت پایین-دست رودخانه می‌باشد. همان‌طور که در شکل مربوط به بررسی توزیع مطلوبیت در طول رودخانه دیده می‌شود، نوسانات مشاهده شده در پراکنش سیاه‌ماهی در ایستگاه‌های مختلف نیز به‌دلیل تغییر در شرایط هندسی و هیدرولیکی در طول رودخانه می‌باشد.

جدول ۵- نتایج محاسبه رژیم جریان اکولوژیک ماهانه رودخانه زرین‌گل با روش‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

ماه	میانگین جریان سالانه	Q تنانت	Q جریان پایه آبزیان	Q هیدرولیکی	Q 25% WUA	Q 75% WUA	حداقل جریان اکولوژیکی	جریان اکولوژیکی مطلوب
فروردین	۴/۹۳	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۱/۱۸	۳/۷۶	۱/۴۳	۳/۷۶
اردیبهشت	۳/۸۷	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۱/۰۸	۲/۶۴	۱/۴۳	۲/۶۴
خرداد	۳/۳۴	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۹	۲/۷۱	۰/۹	۲/۷۱
تیر	۲/۵۷	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۷۷	۱/۳۴	۰/۷۷	۱/۴۳
مرداد	۱/۲۴	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۴۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۴۳
شهریور	۱/۱۹	۰/۷	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۲۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۴۳
مهر	۱/۱۶	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۳۳	۰/۷۴	۰/۷۴	۱/۴۳
آبان	۱/۵۲	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۴۲	۱/۱۸	۰/۴۲	۱/۴۳
آذر	۱/۶۳	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۵۳	۱/۲۶	۰/۵۳	۱/۴۳
دی	۱/۸۹	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۶۴	۱/۱۲	۰/۶۴	۱/۴۳
بهمن	۲/۱۲	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۶۸	۱/۳۳	۰/۶۸	۱/۴۳
اسفند	۲/۶۹	۰/۲۳	۱/۱۶	۱/۴۳	۱/۰۲	۱/۸۲	۱/۰۲	۱/۸۲
میانگین	۲/۳۴	۰/۴۶	۱/۱۶	۱/۴۳	۰/۶۸	۱/۵۲	۰/۷۷	۱/۷۴



شکل ۱۰- توزیع مطلوبیت زیستگاهی گونه سیاه‌ماهی دربازه‌های رودخانه زرین‌گل

باتوجه به موارد مطرح شده و مشاهدات میدانی، می‌توان این گونه تفسیر کرد که سیاه‌ماهی، یک ماهی مهاجر بالارو بوده و در زیستگاه-هایی که دارای سرعت جریان حدود ۰/۴ متر برثانیه و با عمق ۰/۴ تا ۰/۷ متر می‌باشد، تخم‌ریزی می‌نمایند (در بین گیاهان یا در آب‌های آهسته و ساکن). باتوجه به نتایج این بخش مشاهده می‌شود که میزان فضای مطلوب زیستگاهی در طول رودخانه به‌شدت تحت تأثیر میزان دبی جریان و دوران زندگی ماهی بوده، لذا ضروری است که این توزیع زیستگاهی در مدیریت اکوسیستم رودخانه موردتوجه قرار گیرد. این یافته‌ها با افزایش زیستگاه مطلوب ماهیان نشان داده شده در جدول ۶، مورد تأیید قرار می‌گیرد و بر این اساس حداکثر کاهش مطلوبیت زیستگاه مربوط به زمانی است که رژیم رودخانه، زیر آستانه جریان‌های اکولوژیکی است. با این‌حال، باتوجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

و مساحت قابل استفاده وزنی، حداکثر زیستگاه بهینه و مطلوب در دوره‌های بالغ و نابالغ گونه سیاه‌ماهی، در صورت دبی بیش‌از حد کاهش می‌یابد و می‌توان بیان داشت مطابق جدول ۵ و شکل ۹، توزیع رژیم جریان اکولوژیکی مناسب، در طول سال برابر نیست. آنچه از جدول ۶ دریافت می‌شود این است که عکس‌العمل سیاه‌ماهی نابالغ در زیستگاه‌های مختلف، نسبت به تغییرات دبی متفاوت می‌باشد. طبق منحنی دبی-مسحت قابل استفاده وزنی (شکل ۸) و نیز بررسی جدول ۶، در دبی‌های بالا و شرایط سیلابی میزان مساحت قابل استفاده برای سیاه‌ماهی نابالغ کاهش می‌یابد، زیرا سیلاب‌ها، مورفولوژی و شرایط زیستگاهی رودخانه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که سیلاب‌های بزرگ و متوالی فرصت بازسازی زیستگاه‌ها را از رودخانه گرفته و زندگی ماهی‌ها را دچار مخاطره می‌کند.

جدول ۶ - تجزیه و تحلیل مطلوبیت زیستگاه گونه هدف، تحت تأثیر رژیم‌های چندگانه جریان به عنوان درصدی از حداکثر مساحت (منطقه) مرطوب

سیاه‌ماهی (بالغ)	سیاه‌ماهی (نابالغ)	مساحت مرطوب (متر مربع)	دبی (متر مکعب بر ثانیه)
زیستگاه موجود (درصد مساحت خیس شده)			
۵/۷	۷۵/۶	۵۳/۱۱	۱
۱۵/۶	۶۲/۵	۸۷/۲۴	۲
۳۶/۶	۴۶/۹	۱۲۸/۴۲	۳
۵۲/۹	۳۸/۳	۱۶۵/۱۷	۴
۷۳/۲	۲۴/۶	۲۵۷/۸۶	۵
۴۷/۴	۷/۶	۳۲۶/۶۹	۶
زیستگاه مطلوب (درصد مساحت خیس شده)			
۶/۶	۴۷/۳	۵۳/۱۱	۱
۲۱/۳	۶۳/۸	۸۷/۲۴	۲
۳۴/۱	۴۹/۲	۱۲۸/۴۲	۳
۵۴/۲	۳۹/۳	۱۶۵/۱۷	۴
۶۵/۲	۳۶/۲	۲۵۷/۸۶	۵
۴۹/۲	۷/۱	۳۲۶/۶۹	۶
زیستگاه بهینه و ایده‌آل (درصد مساحت خیس شده)			
۸/۲	۸۶/۱	۵۳/۱۱	۱
۳۴/۳	۶۲/۶	۸۷/۲۴	۲
۴۸/۲	۴۵/۳	۱۲۸/۴۲	۳
۶۶/۸	۳۵/۸	۱۶۵/۱۷	۴
۴۳/۲	۲۳/۲	۲۵۷/۸۶	۵
۲۷/۴	۱۱/۶	۳۲۶/۶۹	۶

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش دبی مناسب و مطلوب اکولوژیکی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه زرین‌گل همراه با مدل اکوهیدرولیکی-میکروزیستگاهی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، برای تعادل بخشیدن به تخصیص رژیم جریان طبیعی و نیازهای دیگر مصارف، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی در نتایج مطاله حاضر می توان این گونه تفسیر کرد که، مقادیر رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی روش شبیه‌سازی زیستگاه در ماه‌های کم جریان (مرداد تا دی) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (فروردین تا خرداد) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه زرین‌گل را نیاز دارند. از طرفی، بر اساس مطالعه حاضر نتایج به‌دست آمده با ترکیب روش‌های تنانت، جریان پایه آبزیان، محیط خیس شده و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، منطقی‌تر از نتایج به‌دست آمده از یک روش واحد به‌دلیل توجه همزمان به خصوصیات بیولوژیکی و خصوصیات جریان است که این نتیجه‌گیری در مطالعات دیگری (Zhao *et al*., 2020; Yi *et al*., 2017; Shokoohi and Hong, 2011) نیز موردتوجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، رژیم جریان اکولوژیکی مطلوب رودخانه زرین‌گل در فصل جاری شدن سیل (اسفند تا اردیبهشت) از فصل غیر سیلابی، بیشتر است. مطابق با نتایج برآورد رژیم جریان اکولوژیکی در این مطالعه، حداکثر و حداقل جریان مطلوب اکولوژیکی برآورد شده از ترکیب روش‌های مختلف (هیدرولوژیکی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه) در ماه‌های فرودین و مهر به‌ترتیب معادل ۳/۷۶ و ۱/۴۳ مترمکعب برثانیه، با میانگین جریان سالانه ۱/۷۴ مترمکعب برثانیه (معادل ۷۴/۳ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که بایستی در داخل رودخانه زرین‌گل برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی و حفاظت اکولوژیکی گونه هدف (معادل سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول) برقرار باشد. همچنین باتوجه به میزان مساحت قابل استفاده وزنی، اجرای کلی محدوده مطلوب جریان اکولوژیکی در فصول خشک و کم‌آبی، زیستگاه‌های مناسبی را برای دوره‌های مختلف زندگی گونه سیاه‌ماهی در زیستگاه رودخانه زرین‌گل فراهم کرده و پیش‌بینی می‌شود تأثیرات مثبتی بر احیا و عملکرد اکوسیستم رودخانه داشته باشد.

آنچه که بایستی مدنظر قرار بگیرد این است که مقدار جریان مشخصی از آب موردنیاز است تا آلودگی‌های موجود را از بین ببرد و باعث تغییراتی در مورفولوژی و کیفیت آب در قسمت‌های پایین‌دست رودخانه شود. به‌طور خاص، چنین تغییر شکل مورفولوژی، اکوسیستم‌های آبی را تغییر می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش مطلوبیت زیستگاه و زیستگاه‌های تخم‌ریزی گونه‌های آبزی می‌شود. با بررسی نتایج برآورد

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

رژیم جریان حاصل از روش‌های مختلف می‌توان گفت، دبی حاصل از روش تنانت، نمی‌تواند قابل استناد باشد، زیرا بدون آنکه تغییرات فصلی، درصد تداوم و احتمال وقوع را در نظر بگیرد، کمترین دبی ماهیانه‌ای که رخ داده را به‌عنوان حداقل دبی اکولوژیکی عنوان می‌کند. در صورتی‌که بحث تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها وجود داشته باشد، روش تنانت، جریانی به اندازه ۳۰ درصد میانگین جریان‌های ماهانه را برای دوره تخم‌ریزی و پرورش ماهیان توصیه می‌کند. از سوی دیگر میزان جریان اکولوژیکی تخصیص یافته، می‌بایست بیشتر از مقدار جریان اندک باشد. باتوجه به آنکه این جریان معادل حالتی است که رودخانه دارای دبی کافی بوده و جریان به‌صورت مداوم و پایدار است و از اکوسیستم محافظت می‌نماید، درنتیجه جهت برآورد جریان اکولوژیکی می‌بایست جریان رودخانه از این مقدار افزون شود. اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2014)، لی و همکاران (Li *et al*., 2015)، نادری و همکاران (Naderi *et al*., 2019) و ژائو و همکاران (Zhao *et al*., 2020) در تحلیل عوامل مختلف بر جریان اکولوژیکی رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان 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 در نهایت منجربه افزایش تعداد گونه‌های اصلی ماهی در رودخانه می‌شود که در مطالعه حاضر سیاه‌ماهی در سرعت‌های بالا از فراوانی نسبتاً کمتری برخوردار است. نتایج مطالعات مختلفی حاکی از آن است که زیستگاه یک گونه ماهی، تحت تأثیر عوامل مختلف هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی قرار می‌گیرد (Naderi *et al*., 2020; Ahmadzadeh *et al*., 2018; Asadi *et al*., 2014) و از سویی پارامترهای سرعت جریان و عمق آب، دو فاکتور غالب و موثر در پراکنش و فراوانی گونه‌های ماهیان در زیستگاه است، این در حالی است که تأثیرات متغیر سرعت در ترجیح زیستگاهی ماهیان بیشتر از عمق است (Fazel *et al*., 2019; Gholizadeh *et al*., 2018; Ahmadzadeh *et al*., 2018; Holmes *et al*., 2016)، که نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از همسو بودن با آن مطالعات را دارد. براساس تحقیقات غنوی و همکاران (Ghanavi *et al*., 2016) و قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh *et al*., 2017) گونه‌های ماهی، معمولاً زیستگاه‌هایی را که بیشتر با آنها سازگار هستند، انتخاب و اشغال می‌کنند (حضور دارند)، بنابراین رابطه بین گونه سیاه‌ماهی و متغیرهای هیدرولیکی سرعت جریان، عمق آب، دبی جریان و بستر، معمولاً بالا است. نتایج بررسی‌های این پژوهش نشان داد ترجیح زیستگاهی گونه سیاه‌ماهی در رودخانه زرین‌گل، مناطق گوداب و جریان‌دار می‌باشد و بر این اساس حداکثر میزان زیستگاه در دسترس برای سیاه‌ماهی بالغ و برای سیاه‌ماهی نابالغ در متوسط جریان سالانه به‌ترتیب معادل ۸۰۰ مترمربع و ۵۶۴ مترمربع می‌باشد. فاضل و همکاران (Fazel *et al*., 2019) در بررسی ارتباطات خصوصیات مورفولوژیکی زیستگاه‌های درون رودخانه‌ای بر جمعیت‌های ماهیان رودخانه‌های استان گلستان دریافتند زیستگاه بستر، عرض ساحل و شعاع هیدرولیکی حداقل جریان، می‌تواند با تأثیر بر دو مکانیزم عمق و سرعت جریان آب، در پراکنش ماهیان تأثیر داشته باشد.

در پژوهش ناکاچاوا و همکاران (Nakvachara *et al*., 2018) در ارزیابی جریان اکولوژیکی رودخانه ناخون نایوک تایلند با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه این نتیجه‌گیری به‌عمل آمد که برای حفاظت از زیستگاه رودخانه، رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، رژیم جریان اکولوژیکی را خیلی زیاد و یا خیلی کم برآورد کرده درحالی‌که مدل شبیه‌سازی زیستگاه، نیازهای اکولوژیکی را باتوجه به شرایط بیولوژیکی و تعاملات موجودات آبزی در رودخانه پیشنهاد داده است که در مطالعه حاضر نیز کاربرد مدل اکوهیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه (PHABSIM)، نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند وضعیت موجود زیستگاه رودخانه زرین‌گل را به‌طور دقیق، مورد مطالعه قرار دهد و از طرفی دیگر مطابق با نتایج به‌دست آمده از بررسی روش‌های مختلف رژیم جریان اکولوژیکی در پژوهش حاضر می‌توان به این مطلب اشاره کرد که حداقل جریان برآوردی توسط روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، ممکن است در تأمین حداقل نیاز برای زیستگاه رودخانه زرینگل، کافی نباشد. نتایج پژوهش بورگیوس و همکاران (Bourgeois *et al*., 1996) نشان داد، با اجرای سناریوهای مختلف جریان، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی ماهی قزل‌آلا در زیستگاه‌های مختلف رودخانه کاتاماران بروک، در ۸۵ درصد متوسط جریان سالیانه می‌باشد. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه از اعتبار بالایی در سطح جهان برخوردار می‌باشند (Naderi *et al*., 2020; Nikghalb *et al*., 2016; Li *et al*., 2015) و بر خلاف روش‌های هیدرولوژیکی که نیاز آبی اکولوژیکی را به‌عنوان درصدی از جریان رودخانه برآورد می‌نمایند، به‌صورت دینامیکی و با برقراری ارتباط بین خصوصیات جریان مورد نیاز گونه شاخص ماهی و استفاده از اطلاعات اکولوژیکی و خصوصیات زیستگاهی رودخانه، این نیاز را تعیین می‌کنند (Liu *et al*., 2020; Naderi *et al*., 2019; Nakvachara *et al*., 2018; Holmes *et al*., 2016).

در بازه‌های پایین‌دست رودخانه زرین‌گل پس از پیوستن شاخه‌های فرعی، عمق جریان رودخانه از منظر نیاز اکولوژیکی در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد برآورده می‌شود و پاسخگوی نیازهای اکولوژیکی آبزیان است. همچنین هولمز و همکاران (Holmes *et al*., 2016) در مطالعه‌شان به این مطلب اشاره داشته‌اند که شهریور و مهر ماه، چالش برانگیزترین ماه‌ها برای جریان‌های طبیعی رودخانه از منظر برقراری جریان در مسیر مهاجرت ماهیان در دوره‌های مختلف زندگی آبزیان است که این مطلب در مطالعه حاضر نیز مورد تأئید قرار گرفته و بر این اساس، در نظر گرفتن دقیق پویایی تنوع و تغییرپذیری جریان فصلی و بین سالی، از اجزای حیاتی یک استراتژی مدیریت مؤثر برای نگهداری و حفاظت برقراری جریان زیستگاهی بین بالادست و پایین‌دست رودخانه زرین‌گل است. همچنین در بررسی تحقیق حاضر این نتیجه‌گیری به‌عمل می‌آید که مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM، قادر به ارائه رژیم اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل از دو نقطه نظر علمی و عملی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

است. آنچه از نتایج بررسی پژوهش حاضر دریافت می‌گردد این است که تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی سیاه‌ماهی از طریق تخصیص بهینه رژیم جریان اکولوژیکی با درنظر گرفتن همبستگی لازم بین روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی، فرآیندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و درک پویایی زیستگاه ماهیان در رودخانه زرین‌گل و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ بیولوژیکی گونه سیاه‌ماهی طی فعالیت‌های زیستی در دوران رشد و تخم‌ریزی و تکثیر، در زمینه مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای، نقش مهم و بارزی ایفا می‌کند. به‌طورکلی می‌توان گفت استفاده از مدل PHABSIM، به‌دلیل کاهش هزینه و زمان موردنیاز برای تحلیل مسائل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهیان در رودخانه، می‌تواند جزو راهکارهای ایده‌آل به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب در مدیریت حوضه آبریز و حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه، قلمداد شود. در ضمن مدل‌سازی زیستگاه فیزیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفولوژیکی رودخانه، با توسعه مطالعات بیولوژیکی، اکوهیدرولیکی با کاربرد مدل مزوزیستگاهی MesoHABSIM، برای محاسبه رژیم جریان اکولوژیکی جهت حفظ شرایط مطلوب زندگی ماهیان درون رودخانه، به‌عنوان مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

پست الکترونیک نویسندگان

محمدحسن نادری: naderigau@gmail.com

مسعود پورغلام آمیجی: mpourgholam6@ut.ac.ir

رامین فضل اولی: raminfazl@yahoo.com

آلتین قجقی: altin.ghojoghi@gmail.com

نرگس عرب: narges.arab87@gmail.com

REFERENCES

Abdoli A., Naderi M. 2009. Biodiversity of Fishes of the Southern Basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication. 327p. (In Persian).

Ahmadzadeh M., Poorbagher H., Eagderi S. 2018. Calculating the habitat suitability index of Siahmahi (*Capoeta buhsei*, Kessler 1877) using the kernel smoothing in the Jajrood River, Namak basin of Iran. Journal of Aquaculture Sciences, 6(9): 99-108. (In Persian).

Asadi H., Sattari M., Eagdari S. 2014. Investigation of the determinants of selectivity and preferential habitat *Capoeta capoeta gracilis* (Keyserling 1891) in the Siahrood River. Iranian Journal of Fisheries Science, 23(3): 1-9. (In Persian).

Bourgeois G., Cunjak R.A., Caissie D., El-Jabi N. 1996. A spatial and temporal evaluation of PHABSIM in relation to measured density of juvenile Atlantic salmon in a small stream. North American Journal of Fisheries Management, 16(1): 154-166.

Fazel A., Ghorbani R., Bahremand A., Salman mahini A. 2019. Influence of Stream channel morphology and in-stream habitats on fish community in Golestan province Streams. Journal of Applied Ichthyological Research, 7 (3):17-30. (In Persian).

Ghanavi H.R., Gonzalez E.G., Doadrio I. 2016. Phylogenetic relationships of freshwater fishes of the genus *Capoeta* (Actinopterygii, Cyprinidae) in Iran. Ecology and Evolution, 6(22): 8205-8222.

Gholizadeh M., Toomaj A., Hossiendost S. 2017. Modeling habitat requirements of riverine stone loach, *Paracobitis hircanica* (Teleostei: Nemacheilidae) in the Zarin-Gol River, Caspian Sea basin, Iran. Iranian Journal of Ichthyology, 4(4): 340-351.

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).

Gholizadeh M., Toomaj A.S., Motamedi R. 2020. Fitting of two benthic fishes abundance *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) and Neogobius pallasi (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression. Journal of Applied Ichthyological Research, 8(2): 18-26. (In Persian).

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 & Applications, 32: 697-710.

Li W., Chen Q., Cai D., Li R. 2015. Determination of an appropriate ecological hydrograph for a rare fish species using an improved fish habitat suitability model introducing landscape ecology index. Ecological Modelling, 311: 31-38.

Liu F., Qin T., Yan D., Wang Y., Dong B., Wang J., Nie H., He S., Liu S. 2020. Classification of instream ecological water demand and crucial values in a semi-arid river basin. Science of the Total Environment, 712: 136409.1-13.

Lotfi A. 2012. Guideline on rapid assessment of environmental features of rivers. Environment Protection Department of Iran Publication. 120p. (In Persian).

Naderi M.H., Zakerinia M., Salarizji M. 2018. Application of the PHABSIM model in Explaining the Ecological Regime of the River in order to Estimate the Environmental Flow and Compare with Hydrological Methods (Case Study: Gharasoo River). Ecohydrology, 5(3): 941-955. (In Persian).

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

Naderi M.H, Alioghli S., Jahandideh O., Rajabizadeh Y., Salarijazi M. 2020. Determination of Optimal and Desirable Environmental Flow Release from Latian Dam reservoir with Consideration of Ecohydraulic, Hydrological and Hydromorphological Characteristics to Protect the Habitat of the Jajrood River. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 14(4): 1277-1300. (In Persian).

Nakvachara P., Rittima A., Talaluxmana Y. 2018. Quantification of Environmental Flow Requirement of

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

Khun Dan Prakan Chon Dam Using Hydrological-hydraulic-ecological Methods. Applied Environmental Research, 40(2): 76-90.

Nikghalb S., Shokoohi A., Singh V.P., Yu R. 2016. Ecological regime versus minimum environmental flow: comparison of results for a river in a semi Mediterranean region. Water resources management, 30(13): 4969-84.

Olsen N.2012. Numerical Modelling & Hydraulics, 3rd Edition, Department of Environmental Engineering: The Norwegian University of Science & Technology. 158p.

Sedighkia M., Abdoli A., Ayyoubzadeh S.A., Ahmadi A.A., Gholizadeh M. 2017. Development of the native method of environmental flow in the rivers of the southern basin of Kaspian-Lar National Park. Journal of Ecology, 43(3): 543-560. (In Persian).

Shokoohi A., Hong Y. 2011. Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). Hydrological Processes, 25(22): 3490-3498.

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

Yi Y., Cheng X., Yang Z., Wieprecht S., Zhang S., Wu Y. 2017. Evaluating the ecological influence of hydraulic projects: A review of aquatic habitat suitability models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68: 748-762.

Zhao C.S., Yang Y., Yang S.T., Xiang H., Ge Y.R., Zhang Z., Yu Q. 2020. Effects of spatial variation in water quality and hydrological factors on environmental flows. Science of the Total Environment, 13: 86-95.

نحوه استناد به این مقاله:

نادری م.ح.، پورغلام آمیجی م.، فضل اولی ر.، قجقی آ.، عرب ن. مطالعه روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی و اکوهیدرولیکی رژیم جریان بر مطلوبیت زیستگاهی سیاه‌ماهی Capoeta gracilis (Keyserling, 1861) درک پویایی جمعیت ماهیان و سناریوهای جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۰، ۵۶-۴۱ :(۱)۹ .

Naderi M.H., Pourgholam Amiji M., Fazloula R., Ghojoghi A., Arab N. 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, University of Gonbad Kavous. 2021, 9(1): 41-56.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]

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

Naderi M.H[*1]., Pourgholam Amiji M[2]., Fazloula R[3]., Ghojoghi A[4]., Arab N[5].

[1] Instructor, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] PhD Student, Dept. of Irrigation and Development Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
[4] PhD students, Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[5] PhD students, Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Type:
Original Research Paper

Paper History:

Received: 15-02-2020
Accepted: 27-06- 2020

Corresponding author:

Naderi M.H. Instructor, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Email: naderigau@gmail.com

Abstract

Investigation of ecological, hydrological status and habitat Suitability of river is one of the key elements in river ecosystem management. In this regard, in the present study, in order to evaluate the ecological sustainable conditions in Zarrin-Gol River of Golestan Province, during stepwise calculations, echo-hydraulic and hydromorphoco-logical analysis of the habitat of Capoeta gracilis (Keyserling, 1861) and ecological flow were studied estimation using hydrological and flow methods (Tennant and Aquatic base Flow) during the 10-year statistical period (2009-2019), hydraulic method (wetted perimeter) and habitat simulation model in different seasons of 2017 and 2018. For this purpose, physical simulation of habitat based on habitat suitability criteria curves was performed by field studies and sampling of hydraulic (depth, velocity and bed index) and ecological (aquatic communities) parameters. First, the geometry of the river model and cross sections were created using the topographic map of Zarrin-Gol River and ARC-GIS software. Then hydraulic simulation of river was performed with HEC-RAS software. In the next step, hydraulic and habitat simulations were performed in PHABSIM model. In this ecological-hydraulic model, the relationship between hydraulic flow and habitat needs of the target species was established using the Weighted Usable Area and the flow- suitability curve of the target species was extracted in different discharges in both adult and juvenile tow age group and new method of classifying the ecological flow regime was considered according to the indices of habitat suitability (water depth, flow velocity and bed). By elicitation of flow-habitat suitability curve, Suitability River in terms of quantity and location was investigated. Based on the results, the optimal ecological flow regime to provide the ecological potential of habitat of index species is different by combining different methods for the studied periods during the year and accordingly, to maintain optimal conditions and protect the ecosystem and habitat components of biological communities, The required flow between 1.43 (in July-February) to 3.76 m^3/s (in April), with an mean annual bio-flow of 1.74 m^3/s (equivalent to 74.3% of natural stream of the river) should be inside of Zarrin-Gol River. Also, the susceptibility of the Capoeta gracilis species to changes in velocity and bed materials is high and the weighted usable area increases with the depth remaining in optimal conditions. According to the results of this study, the distribution of habitat suitability along the Zarrin-Gol River, under the influence of geometric, hydraulic parameters and flow rate, indicates the favorable habitat conditions of the Capoeta gracilis species in the downstream area and poor conditions in the upstream area.

Keywords: Ecological Regime, Habitat Simulation, Habitat Suitability, Mean Annual Flow, PHABSIM

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.22034/jair.9.1.51]