نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد - شهریور ۱۴۰۰، ص. ۶۶۴-۶۴۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 645-664

مقاله علمی - پژوهشی

تحلیل کاربرد رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرومورفواکولوژیکی در برآورد نیاز آبی اکولوژیکی و مطلوبیت زیستگاهی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای

محمدحسن نادری[۱*]، امید جهاندیده[۲]، عماد خان‌احمدی[۳]، نرگس عرب[۴]، عاطفه عرب[۵]، میثم سالاری‌جزی[۶]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸

چکیده

بررسی وضعیت اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و مطلوبیت زیستگاه جوامع آبزی، از عناصر کلیدی در مدیریت اکوسیستمی رودخانه است. در این راستا در پژوهش حاضر، تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه لیقوان‌چای با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت بر اساس اطلاعات هیدرولوژیکی و برآورد نیاز آبی مطلوب اکولوژیکی با کاربرد مدل شبیه‌سازی زیستگاه و نیز تحلیل هیدرومورفواکولوژیکی و مطلوبیت زیستگاهی گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، شبیه‌سازی مزوزیستگاه بر مبنای منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه با مطالعات میدانی و نمونه‌برداری پارامترهای هیدرولیکی (عمق، سرعت و شاخص بستر) و اکولوژیکی انجام گرفت و مطابق با آن یک روش طبقه‌بندی جدید رژیم جریان اکولوژیکی با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه (عمق آب، سرعت جریان و بستر)، در نظر گرفته شد. ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه لیقوان‌چای 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 هیدرومورفواکولوژیکی و زیستگاهی در مدل MesoHABSIM، صورت گرفت. در این مدل اکوهیدرولیکی، رابطه بین هیدرولیک جریان و نیازهای زیستگاهی گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز با استفاده از مساحت قابل استفاده وزنی، برقرار گردیده و منحنی‌های دبی - مطلوبیت زیستگاه گونه شاخص در دبی‌های مختلف استخراج شد. با استخراج منحنی دبی - مطلوبیت زیستگاه، مطلوبیت رودخانه از لحاظ مقدار و موقعیت، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد سرعت جریان مطلوب اکولوژیکی در محدوده بین ۰/۲۷ تا ۰/۷۶ متر بر ثانیه و عمق آب اکولوژیکی در محدوده بین ۰/۳ تا ۰/۷ متر در فصول و بخش‌های مختلف رودخانه، بایستی برقرار باشد. بر اساس محاسبات، محدوده رژیم جریان اکولوژیکی مطلوب برای تأمین نیازهای زیستگاهی گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه مورد مطالعه، بین ۰/۲۷ تا ۲/۸۴ مترمکعب برثانیه به ترتیب در ماه‌های مهر و اردیبهشت، می‌باشد. همچنین یافته‌های پژوهش نشان داد نیاز آبی اکولوژیکی گونه قزل‌آلای خال‌قرمز برای فعالیت‌های زیستی، تنها در دو فصل زمستان و بهار و در بازه‌های بالادست و میانی رودخانه، فراهم می‌شود. بر این اساس، بایستی مقدار برداشت کمتری از رودخانه لیقوان‌چای در محدوده میانی و پایین‌دست برای مصارف دیگر صورت گیرد تا نیاز آبی اکولوژیکی و شرایط مطلوب زیستگاهی برآورده شده و این در حالی است که رژیم جریان فعلی رودخانه در فصول کم‌آبی، ۵۰ درصد پتانسیل زیستگاه مطلوب را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیستگاه رودخانه، رژیم اکولوژیکی، شبیه‌سازی زیستگاه، منابع آب، MesoHABSIM

مقدمه

تعیین حداقل نیاز آبی اکولوژیکی یا به بیان دیگر جریان

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و پژوهشگر مدل‌سازی اکوهیدرولیکی زیستگاه ماهیان رودخانه، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، گروه مهندسی علوم آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۶- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: naderigau@gmail.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.14.8

زیست‌محیطی در حوضه رودخانه، یکی از مهم‌ترین مولفه‌های مدیریت پایدار منابع آب است (Zhao et al., 2017؛ Minjian et al., 2012) و پیشرفته‌ترین روش برای تجزیه و تحلیل آن، مدل‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی می‌باشد (Boets et al, 2018؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۸). امروزه عموماً در سراسر دنیا در این باره توافق نظر وجود دارد که پتانسیل جریان رودخانه، به طور مؤثری در تنوع زیستگاه‌های مورفولوژیکی، حفظ تعادل فرآیندهای اکولوژیکی و پراکنش و فراوانی ماهیان تأثیرگذار است (Koutrakis et al., 2019؛ De-Miguel-Gallo et al., 2019؛ Naderi et al., 2021) و مدل‌سازی اکوهیدرولیکی- هیدروموراکولوژیکی حوضه رودخانه‌ها، باید به عنوان یک جز ضروری در مدیریت پایدار منابع آب، در نظر گرفته شود (نادری و همکاران، ۱۳۹۸). در همین راستا به منظور درک شرایط هیدرولوژیکی- هیدرولیکی و پویایی اکولوژیکی، مدل‌سازی ارتباط بین زیستگاه‌های فیزیکی و موجودات آبزی در مقیاس‌های مکانی مختلف، به ابزاری مهم در مدیریت اکوسیستمی رودخانه تبدیل شده است (نادری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Hajiesmaeili et al, 2018). پس از سال‌ها مطالعات گسترده، روش‌های نسبتاً زیادی برای برآورد تقاضای آب اکولوژیکی ایجاد شده است و این روش‌ها را می‌توان تقریباً به چهار دسته تقسیم کرد: روش‌های هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و روش تجزیه و تحلیل تلفیقی (Stuart et al., 2020؛ Adamczyk et al., 2019). روش برآورد انتخاب شده باید از یافته‌های مربوط به متخصصان و دانشمندان از آخرین تحقیقات در مورد جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها گرفته شود و بایستی بر اساس شرایط مختلف منابع آب رودخانه، پاسخگویی به تقاضای مناسب منابع آب برای توسعه اقتصادی و اجتماعی، تأمین الزامات حفاظت زیست‌محیطی، وضعیت تأمین و تقاضای آب و تقاضای جریان اکولوژیکی، منطقی باشد (Yu et al., 2021).

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[1]، شاخص مطلوبیت زیستگاه[2] و شاخص یکپارچگی بیولوژیکی[3] دارای اهمیت است (Zhao et al., 2017). و دیدگاه دیگر، از منظر جریان است. قدیمی‌ترین و بیشترین عنصر مورد مطالعه جریان‌ها «حداقل بیولوژیکی» است که حداقل دبی را برای حفظ هر چه بیشتر مقیاس رودخانه، در نظر گرفته است (Minjian et al., 2012). در حالی که در پژوهش‌های مختلف بیان شده است که وضعیت اکولوژیکی تحت تأثیر مجموعه‌ای دیگر از ویژگی‌های هیدرولوژیکی مربوط به «جریان اکولوژیکی مطلوب» است (Zhao et al., 2017؛ Koutrakis et al., 2019؛ Parasiewicz et al., 2012). در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است که جریان اکولوژیکی، پایه و اساس حفاظت از زیستگاه ماهیان رودخانه‌ای و اکوسیستم‌های آبی است (نادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Stuart et al., 2020؛ Parasiewicz et al., 2017).

روش‌های هیدرولوژیکی از پرکاربردترین تکنیک‌های ارزیابی جریان زیست‌محیطی هستند (Karimi et al., 2021). این روش‌ها بر این فرض بنا شده‌اند که نیازهای اکولوژیکی توسط شرایط هیدرولوژیکی منعکس می‌شوند. تعیین جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، بر اساس شاخص‌های رژیم هیدرولوژیکی، مانند میانگین جریان سالانه، متوسط جریان کم‌آبی و مقادیر حاصل از منحنی‌های تداوم جریان انجام می‌شود (Stuart et al., 2020؛ Minjian et al., 2012؛ Tennant, 1976). روش‌های هیدرولوژیکی برای استفاده در تعیین جریان زیست‌محیطی شامل دو دسته روش‌های جریان ثابت و روش‌های جریان متغیر است. روش‌های جریان ثابت، مقدار واحدی از جریان زیست‌محیطی را تعیین می‌کنند که برای کل سال هیدرولوژیکی معتبر است (ختار و شکوهی، ۱۳۹۹؛ روزگاری و همکاران، ۱۳۹۹). این مقدار از میانگین جریان سالانه، متوسط جریان کم‌آبی محاسبه می‌شود. از روش‌های جریان متغیر برای یافتن مقدار متغیر جریان زیست‌محیطی بر اساس شاخص‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود و بر این اساس، متغیرهای جریان طبیعی و فصلی در نظر گرفته می‌شوند (Ksiazek al, 2019؛ رئوف و علی‌اوغلی، ۱۳۹۹).

یکی از جنبه‌های مهم در مدیریت اکوسیستمی رودخانه، شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای است. هدف اصلی روش شبیه‌سازی زیستگاه در محاسبه رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها، حفظ شرایط مطلوب زندگی ماهیان درون رودخانه است و این روش برای حفظ زیستگاه‌های اکولوژیکی که برای منطقه مهم هستند، توسعه یافته است (Naderi et al., 2020؛ Adamczyk et al., 2019؛ Parasiewicz and Walker, 2007). در این راستا، روش افزایشی جریان درون رودخانه‌ای، یک سیستم طراحی و پشتیبانی است که به مدیریت منابع طبیعی و فرآیندهای مدیریت آب کمک کرده و در ارزیابی‌های زیستی و مدیریت منابع آبی، به بررسی جریان درون رودخانه‌ای، زمان‌بندی تنظیم جریان آب، تخصیص رژیم جریان مطلوب زیستگاه‌ها و بررسی اثرات کاهش جریان آب یا نوسان در نرخ جریان می‌پردازد (نادری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Koutrakis et al., 2019؛ Parasiewicz et al., 2012). بنابراین برای بررسی زندگی ماهیان در آب‌های جاری، به یک رویکرد جامع نیاز داریم تا بتوانیم وقوع و استفاده از زیستگاه را پیش‌بینی کنیم. در همین راستا، ابزارهای مدل‌سازی مختلفی در دسترس قرار دارد که یکی از آنها شبیه‌سازی

1- Adapted Ecological Hydraulic Radius Approach: AEHRA
2- Habitat Suitability Index: HSI
3- Index of Biological Integrity: IBI

زیستگاه است. اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به درک ویژگی‌های بیولوژیکی و شرایط موردنیاز زیستگاه آبزیان بومی رودخانه دارد.

در تحقیقات مختلفی، به برآورد و ارزیابی نیاز زیست محیطی برخی از رودخانه‌های ایران با استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی، اکوهیدرولیکی پرداخته شده است که می‌توان به مطالعه روزگاری و همکاران (۱۳۹۹) در برآورد نیاز محیط زیستی رودخانه آجی‌چای در حوضه دریاچه ارومیه با روش‌های هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های جریان ماهانه ایستگاه هیدرومتری کوتر و بیطاس در بالادست سد مهاباد، پژوهش رئوف و علی اوغلی (۱۳۹۹) در برآورد حقابه محیط‌زیستی رودخانه بالیخوچای با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی بر اساس دوره آماری ۴۳ ساله داده‌های دبی جریان ایستگاه هیدرومتری پل الماس، تحقیق ختار و شکوهی (۱۳۹۹) در برآورد رژیم اکولوژیکی رودخانه کاظم‌رود در غرب مازندران با ارزیابی و اصلاح روش هیدرولوژیکی تگزاس[1] در مقایسه با روش تنانت با استفاده از داده‌های آماری ۳۰ ساله دبی‌های متوسط روزانه ایستگاه هیدرومتری ماشل‌آباد، پژوهش سرچشمه و همکاران (۱۳۹۹) در محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه زرینه‌رود واقع در پایین‌دست سد شهید کاظمی بوکان با آنالیز داده‌های دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری نظام آباد با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت و اسمختین، تحقیق نادری و همکاران (۱۳۹۹) در تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه جاجرود با درنظرگرفتن مشخصه‌های اکوهیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هیدرومورفواکولوژیکی و همچنین مطالعه کریمی و همکاران در محاسبه جریان مورد نیاز زیست‌محیطی برای حفاظت از محیط‌زیست رودخانه زهره در جنوب‌غربی ایران با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی (Karimi et al., 2021)، اشاره کرد. همچنین در مطالعات دیگری، برقراری جریان‌های زیست‌محیطی را به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت آب در کاهش تأثیر تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی رودخانه و در دستیابی به وضعیت اکولوژیکی قابل قبول، توصیف کرده‌اند (نادری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Adamczyk et al., 2019؛ Naderi et al., 2021).

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه در مطالعات بررسی مطلوبیت زیستگاه ماهیان و برآورد رژیم جریان ایده‌آل اکولوژیکی رودخانه‌ها، مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است، از جمله: مطالعه پارازیویچ و والکر در مقایسه مدل مزوزیستگاهی MesoHABSIM[2] با مدل‌های میکروزیستگاهی PHABSIM[3] و HARPHA به منظور بررسی رابطه بین پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه و حضور ماهی در رودخانه کوئینباگ ماساچوست آمریکا (Parasiewicz and Walker, 2007)، مطالعه پارازیویچ و همکاران در شبیه‌سازی زیستگاه جوامع آبزی در بالادست رودخانه دلاور ایالات متحده آمریکا در مقیاس واحدهای هیدرومورفولوژیکی با کاربرد مدل MesoHABSIM (Parasiewicz et al., 2012)، پژوهش حاجی‌اسماعیلی و همکاران در بررسی تأثیر شاخص‌های اکوهیدرولیکی بر مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Rainbow Trout*) در رودخانه دلیچای (Hajiesmaeili et al., 2018)، همچنین مطالعه فاضل‌نجف‌آبادی و افضلی‌مهر به منظور شبیه‌سازی میزان مطلوبیت زیستگاه ماهیان در رودخانه بابلرود با کاربرد مدل هیدرودینامیکی River2D (Fazelnajafabadi and Afzalimehr, 2019)، تحقیق نادری و همکاران در شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه سگ‌ماهی جویباری (*Paracobitis hicanica*) و طراحی رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل بر اساس مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی و کاربرد مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM (Naderi et al., 2020)، مطالعه یو و همکاران در ارائه یک روش جدید برای محاسبه جریان اکولوژیکی در حوضه رودخانه هوکسی یانگ‌تسه چین بر اساس زیستگاه‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرودینامیکی با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی River2D (Yu et al., 2021)، که نتایج بررسی این تحقیقات بر این دلالت دارد که مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه، عملکرد قابل قبولی در محاسبه میزان تخصیص آب برای تأمین نیاز آبی اکولوژیکی جوامع آبزی و تجزیه و تحلیل‌های نیازهای استفاده از آب در اهداف مهم حفاظت زیستگاه رودخانه، دارند.

از آنجا که با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، تغییرات منطقه قابل استفاده وزنی در رودخانه و اثر نوسان‌های جریان سالانه بر زیستگاه رودخانه، دقیق‌تر و واضح‌تر مشخص می‌شود، استفاده از این مدل‌ها مانند مدل MesoHABSIM برای بهبود وضعیت زیستی رودخانه‌ها و انجام تحقیقات متعدد با استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی- هیدرومورفواکولوژیکی و مقایسه نتایج آنها در کشور پیشنهاد می‌شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته کتابخانه‌ای و میدانی، ضرورت تحقیقاتی به منظور حفاظت از سامانه حیاتی رودخانه‌ها و احیا و باززنده‌سازی زیستگاه هیدرولیکی ماهیان در مدیریت و برنامه‌ریزی اکوسیستم رودخانه جهت دستیابی به مدیریت صحیح حوضه آبریز و تضمین پایداری اکوسیستم‌های رودخانه‌های حوزه جنوبی دریای خزر، احساس می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، تاکنون از مدل MesoHABSIM در ایران استفاده نشده است. سرشاخه‌های رودخانه لیقوان‌چای به عنوان یکی از زیستگاه‌های بومی نادر ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در ایران است. در این مطالعه به دلیل اهمیت زیستگاه رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر، رودخانه لیقوان‌چای به منظور بررسی دقیق شرایط زیستگاهی و برآورد نیاز آبی اکولوژیکی با استفاده از روش هیدرولوژیکی و همچنین

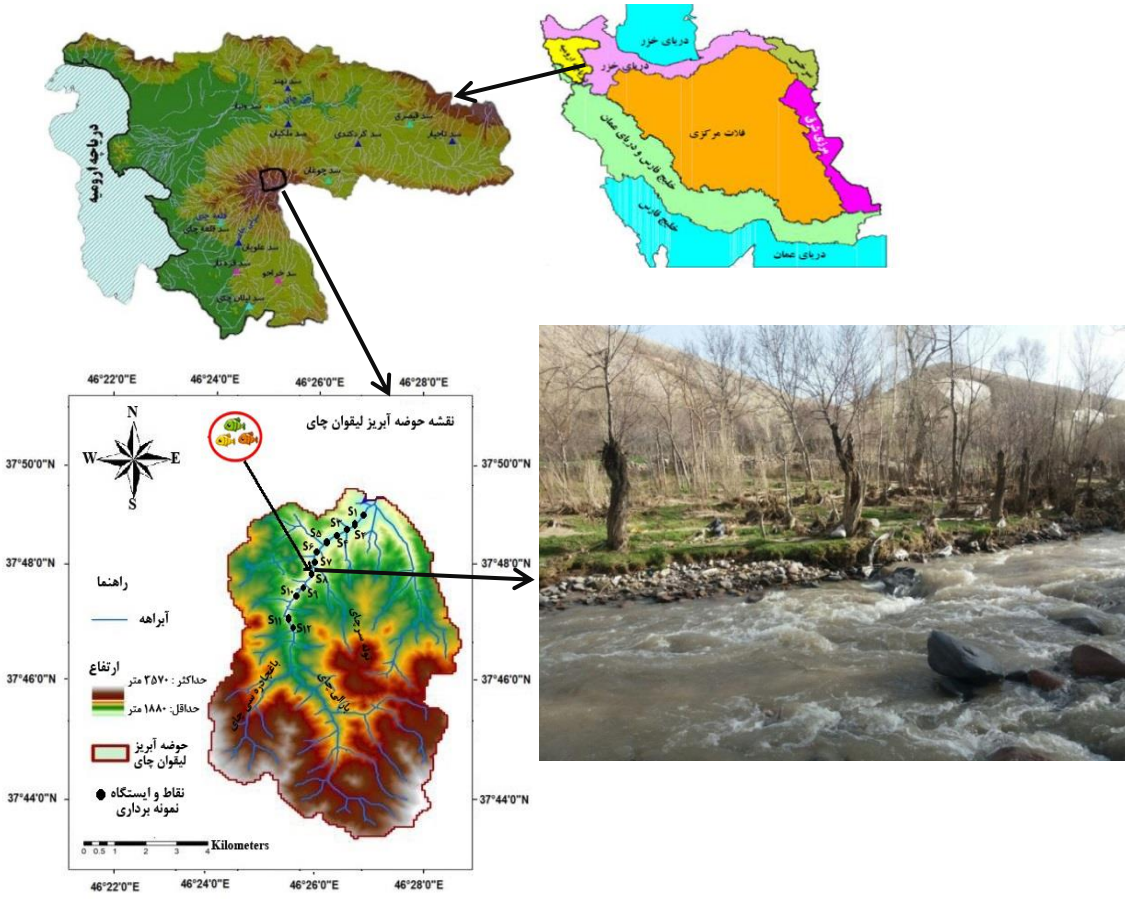
1- Texas
2- Mesohabitat Simulation System
3- Physical HABitat SIMulation: PHABSIM

با بهره‌گیری از مدل‌سازی هیدرومورفواکولوژیکی- مزوزیستگاهی، مورد تمرکز قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

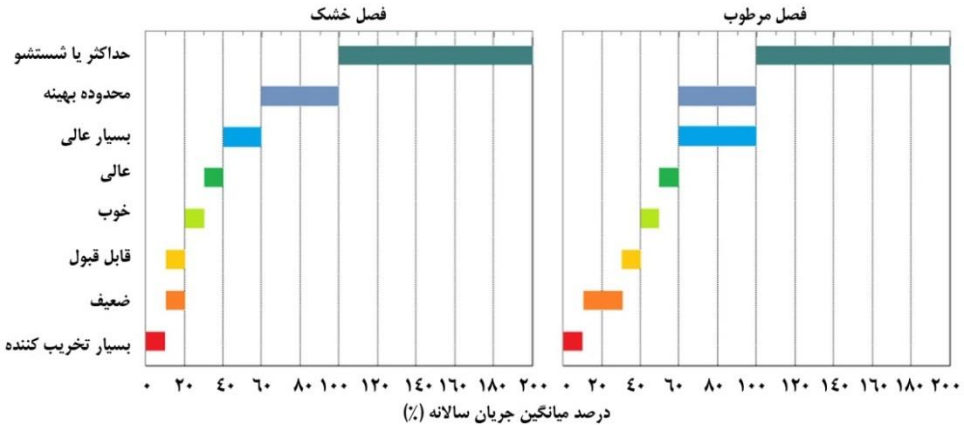
منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز لیقوان‌چای یکی از زیرحوضه‌های فرعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مختصات جغرافیایی "۳۰ ´۴۳ °۳۷ تا "۵۵ ´۳۷ °۳۷ عرض شمالی و "۲۵ ´۲۲ °۴۶ تا "۱۵ ´۲۹ °۴۹ طول شرقی در دامنه شمالی سهند واقع شده است. محدوده مورد مطالعه از سرشاخه‌های بالادست رودخانه لیقوان‌چای تا روستای هروی است و دارای ۷۶ کیلومتر مربع، وسعت می‌باشد (شکل ۱). طول شاخه اصلی رودخانه در محدوده مورد مطالعه ۲۸/۵ کیلومتر، شیب اصلی آبراهه ۴/۶ درصد و حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۸۸۰ تا ۳۵۷۰ متر بوده که از بهم پیوستن آبراهه‌های متعددی مانند باغچادره سی‌چای، توله سرچای و بارالی چای که از کوه‌های کمال داغ، برکت، داغ و لیقوان داغ، سرچشمه می‌گیرد (Kanani et al, 2020). رژیم رودخانه مذکور از جریانات حاصله از ذوب برف، ریزش‌های جوی در فصول بهار و تابستان و چشمه‌سارهای دائمی، تغذیه می‌شود. متوسط بارش سالانه در حوضه، ۲۸۳ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه حوزه آبخیز لیقوان‌چای، ۶/۴ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل دما به ترتیب در مرداد و بهمن‌ماه به ترتیب برابر ۱۸/۲ و ۵- درجه سانتی‌گراد است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، آب و هوای منطقه، نیمه‌خشک سرد می‌باشد که به سمت ارتفاعات به اقلیم نیمه مرطوب سرد، تغییر می‌کند (خالقی، ۱۳۹۵؛ کنعانی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین در حاشیه رودخانه لیقوان‌چای و شعبات فرعی آن، باغات بزرگ و پوشش درختی متراکم، واقع شده‌اند.



شکل ۱ - موقعیت حوضه آبریز رودخانه لیقوان‌چای و نمایی از بازه مطالعاتی رودخانه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

در راستای بررسی سناریوهای مختلف برآورد رژیم جریان اکولوژیکی زیستگاه رودخانه لیقوان‌چای، در پژوهش حاضر روش‌های هیدرولوژیکی تانت و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفتند که در ادامه به شرح مبانی و اصول اولیه این

روش‌ها، پرداخته می‌شود. پرکاربردترین و شناخته شده‌ترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین و ارزیابی جریان درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «تنانت» می‌باشد (Tennant, 1976). روش تنانت امکان ایجاد روابط بین درصد مشخصی از میانگین جریان سالانه و کیفیت زیستگاه‌های ماهیان را بدون در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولیکی و تنها با استفاده از هیدروگراف رودخانه، فراهم می‌کند (ختار و شکوهی، ۱۳۹۹؛ روزگاری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Karimi et al., 2021) (شکل ۲).



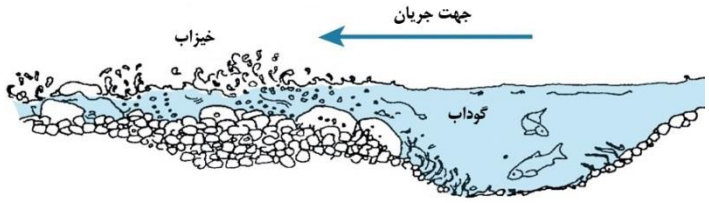
شکل ۲- درصد متوسط جریان سالانه مورد نیاز ماهیان، حیات وحش، تفریح مرتبط در جریان زیست‌محیطی روش تنانت (Ksiazeket al, 2019)

به منظور تحلیل نیاز آبی اکولوژیکی با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت، آمار و اطلاعات دبی رودخانه لیقوان‌چای در ایستگاه هیدرومتری هروی طی دوره آماری ۲۲ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۵) از دفتر اطلاعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی دریافت و میانگین جریان ماهانه مورد استفاده قرار گرفت.

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه به عنوان ابزاری جهت تخمین زیستگاه مطلوب، درون گستره وسیعی از مطالعات مربوط به تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌های آبی گنجانده شده است. علاوه بر این که مدل‌سازی زیستگاه، دانش توزیع مکانی گونه‌ها و ارتباط آنها را با متغیرهای محیطی افزایش می‌دهد، می‌تواند کاربرد زیادی در جهت ارزیابی اثرات تصمیمات مدیریتی و یا مخاطرات محیط زیستی بر توزیع گونه‌ها، داشته باشد. مدل MesoHABSIM، توسط پارازیویچ به‌عنوان یک روش نوآورانه مدل‌سازی زیستگاه هیدرومورفولوژیکی به منظور حفاظت از جوامع آبزی (Parasiewicz, 2007؛ Parasiewicz, 2001)، برآورد جریان اکولوژیکی مورد نیاز ماهیان (Parasiewicz et al, 2017) و برنامه‌ریزی احیای زیستی رودخانه (Parasiewicz et al, 2017؛ Parasiewicz et al, 2012؛ Parasiewicz, 2001)، ارائه شد. MesoHABSIM، مدلی اکوهیدرولیکی-هیدرومورفواکولوژیکی است که اکوسیستم رودخانه را در یک مقیاس مزو (منطقه مورد استفاده گونه‌های آبزی در بازه رودخانه) با استفاده از نرم‌افزار Sim-Stream مدل‌سازی می‌کند (Koutrakis et al, 2019؛ Parasiewicz, 2007). به منظور محاسبه جریان‌های اکولوژیکی، مدل MesoHABSIM، ارزیابی مناسب بودن و در دسترس بودن زیستگاه، داده‌های جمع‌آوری شده میدانی را با مشاهدات بیولوژیکی و اطلاعات هیدرولوژیکی وهیدرومورفولوژیکی، ترکیب کرده و تغییرات هیدرومورفولوژی رودخانه را تحت رژیم‌های متعدد جریان شبیه‌سازی می‌کند و در نهایت یک زیستگاه مطلوب را نمایش می‌دهد که تحت شرایط خاص جریان شکل می‌گیرد. شرایط خاص جریان نشان دهنده جریان‌های اکولوژیکی است. خروجی مدل شبیه‌سازی مزوزیستگاه، تجزیه و تحلیل سری زمانی مطلوبیت زیستگاه در دوره‌های مختلف زیستی گونه هدف می‌باشد (Parasiewicz et al, 2017؛ Parasiewicz et al, 2012؛ Parasiewicz, 2001).

مدل شبیه‌سازی MesoHABSIM، شامل ۳ زیرمدل هیدروموفولوژیکی، بیولوژیکی و زیستگاهی است (Adamczyk et al, 2019). توانایی MesoHABSIM این است که مقیاس مزو، امکان بررسی بخش‌های بزرگ رودخانه و مشاهده ارتباط بین زیستگاه‌ها را فراهم کرده و این امکان برای شناخت تنوع هیدرومورفواکولوژیکی را در طول کل رودخانه به روشی مناسب برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی رودخانه می‌دهد (Adamczyk et al, 2019؛ Parasiewicz, 2007؛ Parasiewicz, 2001). در مقیاس مزوزیستگاه خصوصیاتی مانند سرعت متوسط جریان، نوع مورفولوژیکی زیستگاه و پوشش و ساختار بستر آبراهه، تاثیرگذار هستند. بررسی منابع علمی مختلف نشان می‌دهد عموماً پژوهش‌ها و شبیه‌سازی‌های اکوهیدرولیکی در محدوده و مقیاس مزوزیستگاه (سیستم‌های خیزآب و گودآب) صورت می‌گیرد (Koutrakis et al, 2019؛ Naderi et al, 2019؛ De-Miguel-Gallo et al, 2019).

بسترهای شامل توپوگرافی گوداب-خیزاب محل پرورش و تخم‌ریزی آبزیان از جمله ماهی‌ها می‌باشد (شکل ۳). ماهیان رودخانه‌ای بر اساس سازگاری‌های رفتاری، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، زیستگاه خاصی را ترجیح می‌دهند که برای بقا و پایداری افراد و جمعیت‌ها، حائز اهمیت می‌باشند (Mouton et al, 2007؛ Boets et al, 2018). در همین راستا، اطلاعات مهم در مورد خصوصیات اکولوژیکی ماهی (مانند عدم حضور، حضور یا فراوانی)، پوشش و ساختار بستر، سرعت جریان و عمق آب به مدل MesoHABSIM، وارد می‌شود. در منابع مختلفی (Koutrakis et al, 2019؛ Parasiewicz et al, 2017؛ Parasiewicz et al, 2012؛ Parasiewicz, 2007) ، شرح تفصیلی این مدل آمده است.



شکل ۳- نمایش مورفولوژی زیستگاه‌های بستر رودخانه

اندازه‌گیری و نمونه‌برداری پارامترهای اکولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه

بررسی رودخانه در بازه‌های مختلف و از دشت‌های سیلابی تا کانال رودخانه، سبب درکی قوی از یکپارچگی این اکوسیستم‌های آبی می‌شود. تغییرات دوره‌ای ناشی از تغییر فصول بر محیط‌های آبی به صورت مستقیم بر شرایط زیستی آبزیان رودخانه‌ای تاثیر می‌گذارند و همچنین برای بررسی وضعیت زیستگاه این موجودات باید حداقل یک دوره زندگی آبزی که ۴ فصل یا یک سال می‌باشد، مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در حوضه شرق دریاچه ارومیه و سرشاخه‌های رودخانه آجی‌چای (رودخانه لیقوان‌چای)، گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (*Salmo trutta* L.1758) در برخی از آبراهه‌های کوهستانی دیده می‌شود (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ هاشم‌زاده سقرلو، ۱۳۹۱). ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز از راسته آزاد ماهی شکلان (Salmonifores) و خانواده آزاد ماهیان (Salmonidae) می‌باشد. این ماهی از اواخر 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، ارزش بومی و مطالعات بیوسیستماتیک جانوری نیز حائز اهمیت می‌باشد. این گونه یکی از گونه‌های بسیار مهم ماهیان رودخانه‌ای است که در بسیاری از تحقیقات بدان توجه شده است (Boets et al, 2018؛ Ghasemi et al, 2018؛ هاشم‌زاده سقرلو، ۱۳۹۱) و می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب در مطالعات زیست‌محیطی آبراهه‌ها به آن توجه شود. در مطالعه حاضر، چرخه سالانه زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، به دو بخش «فعالیت‌های زیستی وابسته به تخم‌ریزی و تکثیر» و «فعالیت‌های زیستی دوران رشد» تقسیم‌بندی می‌گردد. فعالیت‌های زیستی وابسته به تکثیر، شامل تخم‌ریزی و ظاهر شدن آبزی به صورت آلوین و فرای می‌باشد. در این مرحله جریان‌های با شدت کم، بدون ایجاد هیچ حرکتی در بستر و جریان‌های با شدت متوسط، با ایجاد زیستگاه‌های بیشتر در بستر، محدوده جریان مناسب برای ادامه فعالیت‌های زیستی آبزی و یا محدوده دبی اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. 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 در نظر گرفته می‌شود.

به‌دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی از رودخانه لیقوان‌چای با حضور تیم عملیاتی (متشکل از پژوهشگران اکولوژی آبزیان و محیط‌زیست) و همراهی کارشناسان دفتر تنوع زیستی و حیات‌وحش اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان‌شرقی و بهره‌مندی از نظرات کارشناسان با تجربه در زمینه اکولوژی آبزیان در پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه تهران (بر اساس اطلاعات بلندمدت اجرای مطالعات بیولوژیکی و بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی و خصوصیات زیست‌شناختی فون ماهیان در منطقه)، 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 (با دقت ۰/۵ سانتی‌متر)، عرض مقاطع با استفاده از مترنواری، سرعت جریان در نقطه بالادست و پایین دست مقطع با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه صحرایی مدل MCF:DL با دقت ۰/۰۰۵ متر بر ثانیه) در ۰/۴ عمق آب به منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقطه نمونه‌گیری، ساختار و پوشش بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر

رودخانه در پلات تصادفی)، ضریب مانینگ و شکل مورفولوژی زیستگاه (گوداب و خیزاب)) در نقاط حضور ماهی، صورت پذیرفت. در این راستا نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) به صورت نقطه‌ای و دقیق، با استفاده از تور ساچوک پشتیبان و نیز یک تور گوشگیر ریز چشمه، از ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری (شکل ۱ و جدول ۱) از پایین‌دست رودخانه لیقوان‌چای (ایستگاه ۱، محدوده ایستگاه هیدرومتری هروی به سمت بالادست (ایستگاه ۱۲)، جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۷، انجام شد (داده‌ها برای ۶۸ نمونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز با طول کل ۱۱۲-۳۱۷ میلیمتر، ثبت شد).

بازه‌های مشاهداتی و ایستگاه های مطالعاتی در نظر گرفته شده در این مطالعه، طولی از بازه رودخانه به صورت 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 بر اساس فاکتورهایی شامل قرار داشتن مرزهای محدوده مطالعاتی تحت تأثیر 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 ریخت‌شناسی رودخانه (عوارضی همچون پیچ وخم‌های مقاطع عرضی رودخانه، شیب و ساختار بستر، زیستگاه‌های قلوه‌سنگی و ایستگاه‌های گیاهی حاشیه رودخانه)، انتخاب شدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری و میانگین پارامترهای هیدرولیکی و اکولوژیکی در رودخانهٔ لیقوان‌چای

شماره ایستگاه	بازه	فاصله از پایین‌دست (متر)	مساحت مقطع عرضی (متر مربع)	ضریب مانینگ (بدون واحد)	دبی مقطع (متر مکعب بر ثانیه)	عرض مقطع (متر)	عمق متوسط (متر)	سرعت متوسط (متربرثانیه)	مورفولوژی زیستگاه بستر	فراوانی ماهی قزل آلای خال قرمز (قطعه در مترمربع)
S۱	پایین‌دست	۰	۵/۶۲	۰/۰۴	۱/۲۴	۳/۵۳	۰/۷۲	۰/۳۴	گوداب	۰/۱۲۴
S۲	پایین‌دست	۸۵۴	۴/۹۸	۰/۰۴	۱/۳۶	۳/۶۸	۰/۵۶	۰/۳۸	گوداب	۰/۱۳۹
S۳	پایین‌دست	۱۷۲۳	۱۰/۹۵	۰/۰۴	۲/۶۴	۳/۴۳	۰/۶۳	۰/۴۶	گوداب	۰/۱۸۷
S۴	پایین‌دست	۳۶۷۳	۱۰/۱۵	۰/۰۵	۲/۲۴	۳/۸۳	۰/۵۴	۰/۷۴	خیزاب	۰/۰۸۵
S۵	میانی	۵۴۷۲	۱۲/۴	۰/۰۵	۲/۵۱	۴/۱۷	۰/۴۶	۰/۸۶	خیزاب	۰/۱۳۴
S۶	میانی	۸۷۴۸	۳/۴۶	۰/۰۶	۱/۶۷	۴/۲۲	۰/۴۸	۰/۵۳	گوداب	۰/۳۵۳
S۷	میانی	۱۰۷۰۴	۵/۰۹	۰/۰۶	۱/۸۳	۴/۲۸	۰/۶۲	۰/۶۸	گوداب	۰/۳۸۴
S۸	میانی	۱۲۵۲۶	۱/۱۲	۰/۰۴	۱/۸۵	۳/۴۶	۰/۵۷	۰/۵۴	گوداب	۰/۴۵۱
S۹	بالادست	۱۴۷۸۲	۵/۸	۰/۰۳	۲/۲۴	۲/۲۸	۰/۳۲	۰/۶۸	خیزاب	۰/۱۶۵
S۱۰	بالادست	۱۶۴۱۸	۳/۶۵	۰/۰۳	۱/۲۵	۲/۶۹	۰/۳۶	۰/۶۴	خیزاب	۰/۲۸۷
S۱۱	بالادست	۱۷۱۸۱	۷/۲۶	۰/۰۳	۱/۶۳	۳/۱۴	۰/۵۶	۰/۴۲	گوداب	۰/۴۹۷
S۱۲	بالادست	۱۸۶۱۷	۱/۸	۰/۰۳	۰/۶۲	۳/۳۴	۰/۳۷	۰/۷۴	خیزاب	۰/۳۲۵

در این مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه لیقوان‌چای و نرم‌افزار Arc-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد و سپس داده‌های هندسی مقاطع عرضی به دست 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 MesoHABSIM شده و شبیه‌سازی هیدرمورفولوژیکی- زیستگاهی رودخانه، صورت گرفت. در مرحله بعد به منظور تولید معیارهای مناسب بودن زیستگاه برای دوره‌های مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای در الحاقیه SimStream QGIS، تولید و توسعه داده شد. در نهایت منحنی‌های سری زمانی دبی- میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس (مساحت قابل استفاده وزنی) استخراج و با توجه به منحنی‌های استخراج شده، سناریوهای مختلف مدیریت جریان برای بهبود وضعیت زیستگاهی رودخانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

مدیریت اکوسیستمی رودخانه لیقوان‌چای، نیاز به ابزارهای ارزیابی و حمایت از جوامع آبزی دارد که شامل حفاظت، احیا و بازطبیعی‌سازی و همچنین پیش‌بینی شرایط آینده دارد. بنابراین در مطالعه حاضر، تخصیص نیاز آبی اکولوژیکی، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن با توجه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بوم، بوجود

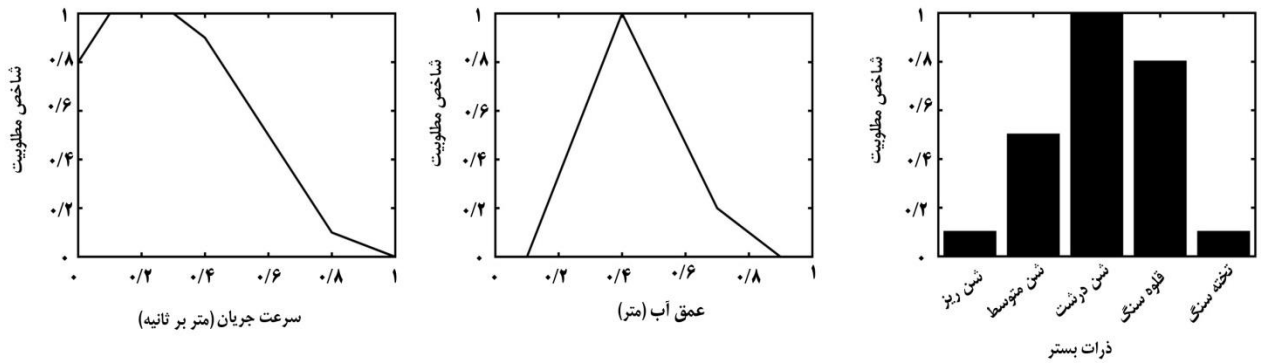
آوردن شرایط مناسب برای تخم‌ریزی آبزیان و احیا اکوسیستم رودخانه دارد، مورد محاسبه و تحلیل قرار گرفت. در در ادامه نتایج برآورد مقادیر ماهانه نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه لیقوان‌چای برای روش‌های مختلف، ارائه شده است.

روش تنانت: روش تنانت بر اساس درصدهایی از میانگین جریان سالانه و در گروه‌های مختلفی از بسیار ضعیف تا محدوده بهینه، تعریف شده است. نکته‌ای که باید در مورد استفاده از روش تنانت در رودخانه لیقوان‌چای مدنظر قرار گیرد این است که به میانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه نیاز است. میانگین جریان سالانه رودخانه لیقوان‌چای در ایستگاه هیدرومتری هروی، برابر با ۱/۲۷ مترمکعب بر ثانیه است. بر این اساس با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی برای شرایط قابل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای فروردین تا شهریور (معادل ۰/۳۸ مترمکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای مهرماه تا اسفند (معادل ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه) برآورد گردید (جدول ۲ و جدول ۵). 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. طبق روش تنانت، بیش از ۱۰ درصد از میانگین جریان سالانه باید برای حفظ حیات رودخانه اختصاص یابد. اگر دبی جریان کمتر از این مقدار باشد، برای حفظ کیفیت آب رودخانه و زندگی آبزیان ناکافی بوده و عملاً رودخانه به عنوان یک محیط مرده در نظر گرفته می‌شود. همچنین در شرایط تخصیص ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه در روش تنانت به نیاز آبی اکولوژیکی، عرض مقطع، عمق آب و سرعت جریان برای پراکنش و حضور ماهیان در زیستگاه‌های گوداب و خیزاب، شرایط قابل قبولی را فراهم می‌کند. کیفیت زیستگاه «قابل قبول یا عادلانه» برای تأمین حداقل جریان جریان اکوسیستم رودخانه در مهر تا اسفندماه است. در طی فروردین تا شهریورماه، کیفیت زیستگاهی که به عنوان «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. نیاز آب اکولوژیکی بر اساس استاندارد روش تنانت، در جدول ۲ نشان داده شده است که تقاضای شرایط مختلف اکوسیستم رودخانه لیقوان‌چای را نشان می دهد.

جدول ۲- نیاز آب اکولوژیکی برآورد شده رودخانه لیقوان‌چای با روش تنانت طی دوره‌های مختلف (مترمکعب برثانیه)

ملاحظات	عالی		خوب		قابل قبول یا عادلانه		ماه
	۵۰ درصد میانگین جریان سالانه	۳۰ درصد میانگین جریان سالانه	٤٠ درصد میانگین جریان سالانه	۲۰ درصد میانگین جریان سالانه	۳۰ درصد میانگین جریان سالانه	۱۰ درصد میانگین جریان سالانه	
دوره تخم‌ریزی و نوزادی ماهیان	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	فروردین
	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	اردیبهشت
	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	خرداد
	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	تیر
	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	مرداد
	۰/۶۳	–	۰/۵	–	۰/۳۸	–	شهریور
دوره مصارف عمومی از آب	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	مهر
	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	آبان
	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	آذر
	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	دی
	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	بهمن
	–	۰/۳۸	–	۰/۲۴	–	۰/۱۲	اسفند

با اجرای مدل اکوهیدرولیکی MesoHABSIM به عنوان یک روش شبیه‌سازی زیستگاه معتبر برای رودخانه لیقوان‌چای، پس از تولید و توسعه منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه و انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس) برای دبی‌های مختلف (منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی) برای هر مرحله از زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (نابالغ و بالغ)، استخراج گردید و در ادامه نیاز آبی اکولوژیکی حداقل و مطلوب بدست آمد. همچنین میزان مطلوبیت شاخص‌های هیدرولیکی رودخانه از لحاظ مقدار و موقعیت در فصول تخم‌ریزی و غیرتخم‌ریزی، مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- منحنی‌های شاخص مطلوبیت مشخصه‌های اکوهیدرولیکی زیستگاه (سرعت، عمق و بستر) گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در زیستگاه رودخانه لیقوان‌چای

به منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانه لیقوان‌چای، باتوجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، منحنی‌های مطلوبیت مشخصه‌های هیدرولیکی- هیدرومورفولوژیکی- زیستگاهی ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص بستر تولید شد (شکل ۳).

در ادامه بر اساس الزامات سرعت جریان در مراحل مختلف زندگی (تخم‌ریزی، نابالغ، بالغ) گونه شاخص، سرعت جریان مطلوب مورد نیاز ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در ماه‌ها و بازه‌های مختلف رودخانه لیقوان‌چای، تعیین شد (جدول ۳). در این راستا مطابق جدول ۳ پیشنهاد می‌شود که سرعت جریان در محدوده بین ۰/۴۶ تا ۰/۷۵ متر بر ثانیه در بازه بالادست و بین ۰/۲۸ تا ۰/۷۶ متر بر ثانیه در بخش میانی و بین ۰/۲۷ تا ۰/۶۲ متر بر ثانیه در بازه پایین‌دست، در فصول غیرتخم‌ریزی حفظ شود. بر این اساس انتظار می‌رود دامنه سرعت جریان بین ۰/۲۷ تا ۰/۷۶ متر بر ثانیه در حفظ سلامت زیستگاه رودخانه لیقوان‌چای، مفید و موثر باشد. همچنین محدوده عمق آب اکولوژیکی مطلوب برای بخش بالادست رودخانه ۰/۴ متر و بین ۰/۴ تا ۰/۶ متر برای بخش‌های میانی و پایین‌دست در فصول غیرتخم‌ریزی بایستی مدنظر قرار گیرد. نتایج مطالعات دیگر نیز به این مطلب اشاره داشته‌اند که برای تخم‌ریزی موفقیت‌آمیز ماهیان، حداقل به ۰/۳ متر عمق آب در رودخانه در شرایط مطلوب، مورد نیاز است (Zhao et al, 2017؛ Li et al, 2019؛ Koutrakis et al, 2019).

جدول ۳-عمق آب و سرعت جریان اکولوژیکی مطلوب ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در ماه‌ها و بازه‌های مختلف رودخانه لیقوان‌چای

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	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
اردیبهشت	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
خرداد	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
تیر	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
مرداد	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
شهریور	<۰/۴	۰/۴۶-۰/۶۳	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲
مهر	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۳*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۸-۰/۵۴*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۷-۰/۴۸*
آبان	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۳*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۸-۰/۵۴*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۷-۰/۴۸*
آذر	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۳*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۸-۰/۵۴*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۷-۰/۴۸*
دی	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۳*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۸-۰/۵۴*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۷-۰/۴۸*
بهمن	۰/۳-۰/۴*	۰/۴۶-۰/۶۳*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۸-۰/۵۴*	۰/۵-۰/۷*	۰/۲۷-۰/۴۸*
اسفند	<۰/۴	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۴-۰/۶	۰/۳۴-۰/۷۶	۰/۴-۰/۶	۰/۳۶-۰/۶۲

* فصول تخم‌ریزی

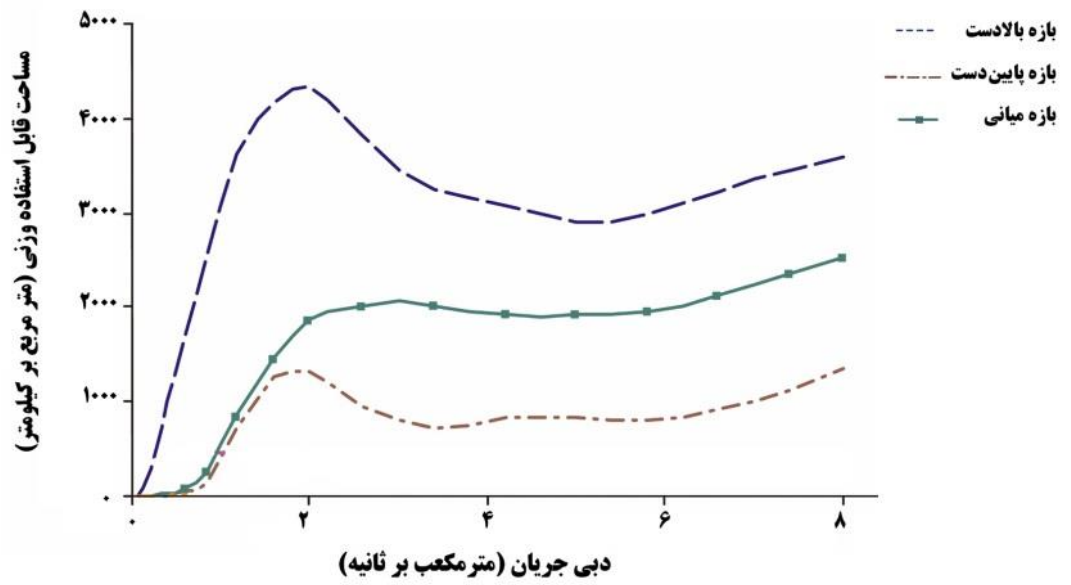
از سوی دیگر مطابق جدول ۳، عمق آب بین ۰/۴ تا ۰/۳ متر در بخش بالادست رودخانه در طول دوره تخم‌ریزی (ماه مهر تا بهمن) باید مدنظر قرار گیرد، در حالی‌که عمق بین ۰/۵ تا ۰/۷ متر به عنوان عمق آب اکولوژیکی در بخش‌های میانی و پایین‌دست در فصول تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای مورد نیاز است. همچنین به این نکته مهم نیز باید توجه کرد که در طول دوره رشد و زندگی ماهیان، برخی از فصول مهم برای تولیدمثل ماهی وجود دارد. در فصول تخم‌ریزی، ماهیان برای زنده ماندن موفقیت آمیز تخم/لارو، یا سرعت مهاجرت از پایین‌دست به مناطق بالادست رودخانه، به شرایط ویژه‌ای از نظر سرعت جریان و عمق آب نیازمند هستند و آن شرایط خاص در فصول تخم‌ریزی ماهی، باید کاملاً در نظر گرفته شود (Parasiewicz, 2007؛ Li et al., 2019). سرعت جریان را می‌توان مهم‌ترین پارامتر هیدرولیکی تأثیرگذار بر زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای دانست که نقش اساسی به‌عنوان یک شاخص اکوهیدرولیکی بازی می‌کند. وجود سرعت‌های بسیار کم نیز برای این ماهیان مطلوب نیست، زیرا عملاً می‌تواند بر سطح اکسیژن محلول آب، اثرگذار باشد. در پژوهش حاضر، مطابق شکل ۳ و جدول ۲، می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که جریاناتی به عنوان جریان اکولوژیکی در رودخانه لیقوان‌چای برای ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز مناسب است که بتواند در زیستگاه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه، اعماقی بین ۰/۳۵ تا ۰/۷۵ متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان در این زیستگاه‌ها، حدود ۰/۳ تا ۰/۶ متر بر ثانیه باشد.

بر اساس مدل اکوهیدرولیکی MesoHABSIM، مساحت قابل استفاده وزنی[1] برای دبی‌های مختلف جریان، در مراحل مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در بازه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه لیقوان‌چای در شکل ۴، ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه ماهی شاخص در بازه بالادست، با افزایش دبی جریان، افزایش می‌یابد و در دبی ۲ مترمکعب بر ثانیه (محدوده حداکثر میانگین جریان رودخانه) به حداکثر ۴۳۶۰ مترمربع بر کیلومتر می‌رسد. سپس با افزایش دبی، به تدریج کاهش می‌یابد و در دبی ۵/۲۴ مترمکعب بر ثانیه (دبی اوج لحظه‌ای رودخانه) به حداقل ۲۸۷۰ مترمربع بر کیلومتر می‌رسد. افزایش دبی تا حداکثر میانگین جریان سالانه، باعث افزایش عمق و حجم آب می‌شود و از این طریق زیستگاه مناسب‌تری برای گونه ماهی شاخص فراهم می‌کند. با این حال، با توجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه، شاخص مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی هدف در صورت دبی بیش از حد، کاهش می‌یابد و این باعث می‌شود، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه در دسترس) کاهش یابد. همچنین در منحنی دبی- میزان مطلوبیت زیستگاه (شکل ۴) ملاحظه می‌گردد، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی در بازه‌های میانی و پایین‌دست به ترتیب در محدوده دبی‌های ۳ و ۲ مترمکعب بر ثانیه، به میزان ۲۰۰۰ و ۱۳۶۰ متر مربع بر کیلومتر قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس شکل ۴ می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که جریان آب بیشتر، به معنی زیستگاه در دسترس بیشتر نمی‌باشد، زیرا کیفیت زیستگاه‌های مختلف در آب‌های جاری به‌وسیله موجودات آن‌ها تعریف شده است و هیچ جریانی حداکثر زیستگاه را برای همه موجودات آبزی حفظ نخواهد کرد.

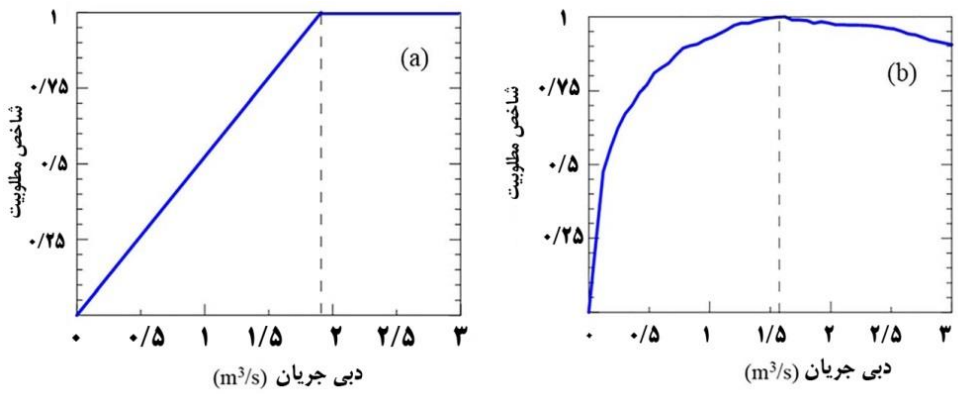
شکل ۵، رابطه بین شاخص مطلوبیت – دبی جریان را برای دو روش برآورد نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه لیقوان‌چای، نشان می‌دهد. برای روش هیدرولوژیکی، فرض بر این است که میانگین جریان سالانه، جریان بهینه بر اساس روش تنانت است. رابطه بین شاخص مطلوبیت – دبی جریان برای روش شبیه‌سازی زیستگاه، با نرمال‌سازی منحنی دبی جریان- مساحت قابل استفاده وزنی (شکل ۴) به دست آمده است. همچنین در شکل ۵، مشاهده می‌شود که رابطه شاخص مطلوبیت- دبی جریان برای دو روش هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، دارای ویژگی‌های متمایز است. این رابطه برای روش هیدرولوژیکی، خطی است اما برای روش شبیه‌سازی زیستگاه، غیرخطی است. به نظر می‌رسد که روش هیدرولوژیکی، مطلوب بودن برای جریان‌های کمتر از ۲ مترمکعب برثانیه را در مقایسه با روش شبیه‌سازی زیستگاه، دست کم گرفته است. دلیل این امر، این است که مطلوبیت زیستگاه در رژیم‌های کم جریان برای روش شبیه‌سازی زیستگاه، به شدت افزایش می‌یابد. این بدان دلیل است که عرض کانال، عمق آب و سرعت جریان با دبی جریان در چنین رژیم‌هایی، به سرعت افزایش می‌یابد.

همچنین در شکل ۵، قابل توجه است که در روش شبیه‌سازی زیستگاه، اگر دبی جریان، به اندازه بیش از حداکثر میانگین جریان ماهانه افزایش یابد، باعث کاهش مطلوبیت زیستگاه می‌شود و این مطابق با یافته‌های تحقیقات نادری و همکاران، ۱۳۹۹، کوتراکیس و همکاران، حاجی اسماعیلی و همکاران و نادری و همکاران (Naderi et al., 2021؛ Koutrakis et al., 2019؛ Hajiesmaeili et al, 2018) است. همچنین قابل ذکر است که روش شبیه‌سازی زیستگاه، برآورد می‌نماید که مطلوب بودن زیستگاه در دبی ۱/۶ متر مکعب بر ثانیه، بهینه باشد و در صورت افزایش بیشتر دبی جریان، میزان مطلوب بودن زیستگاه، به تدریج کاهش می‌یابد و این به دلیل عمق آب و سرعت جریان بیش از حد برای زیستگاه ماهی است که دبی جریان بیش از ۲ مترمکعب بر ثانیه باشد (همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است).

1- Weighted Usable Area: WUA

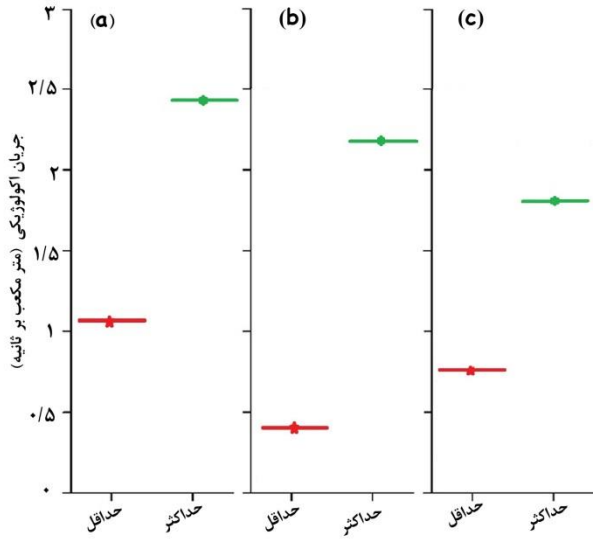


شکل ٤- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز رودخانه لیقوان‌چای در بازه‌های مختلف



شکل ٥- رابطه بین شاخص مطلوبیت و دبی جریان در روش‌های هیدرولوژیکی (a) و شبیه‌سازی زیستگاه (b)

با بررسی سرعت جریان و عمق آب مطلوب اکولوژیکی (جدول ۳) برای ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در بازه‌های مورد بررسی رودخانه لیقوان‌چای و نیز تحلیل منحنی‌های دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف گونه شاخص و در زیستگاه‌های هیدرومورفولوژیکی، نیاز آبی اکولوژیکی ماهانه برای بازه‌های بالادست، میانه و پایین‌دست با استفاده از مدل مزوزیستگاهی MesoHABSIM محاسبه شد (جدول ۴ و شکل ۶). همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، به‌طور کلی محدوده جریان اکولوژیکی در بازه بالادست رودخانه لیقوان‌چای بین ۱/۱۲ تا ۲/۴۳ مترمکعب بر ثانیه، بازه میانی رودخانه بین ۰/۴۶ تا ۲/۲۴ مترمکعب بر ثانیه و بازه پایین دست بین ۰/۹۲ تا ۱/۷۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردیده است. بر این اساس از شکل ۶ دریافت می‌شود که بیشترین حداکثر جریان اکولوژیکی مورد نیاز، در بازه‌های بالادست و میانی رودخانه می‌باشد و این در حالی است که کمترین حداقل جریان اکولوژیکی، در بازه میانی رودخانه لیقوان‌چای، مورد نیاز است. همچنین می‌توان بیان کرد کمترین حداکثر و حداقل جریان اکولوژیکی در بازه میانی رودخانه، تعیین شده است. این یافته‌ها با افزایش زیستگاه مطلوب ماهیان نشان داده شده در شکل ۴، مورد تأیید قرار می‌گیرد و بر این اساس حداکثر کاهش مطلوبیت زیستگاه مربوط به زمانی است که رژیم رودخانه، زیر آستانه جریان‌های اکولوژیکی است.



شکل ٦– توزیع مقادیر نیاز آبی اکولوژیکی برای بازه‌های بالادست (a)، میانی (b) و پایین‌دست (c) رودخانه لیقوان‌چای

در جدول ۴، رژیم طبیعی جریان رودخانه (میانگین جریان ماهانه) لیقوان‌چای در مقابل رژیم جریان حداقل و مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی مزوزیستگاه MesoHABSIM و روش هیدرولوژیکی تنانت نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر نیاز آبی اکولوژیکی پیشنهادی روش شبیه‌سازی مزوزیستگاه در ماه‌های کم جریان (مرداد تا بهمن) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (اسفند تا تیر) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه لیقوان‌چای را نیاز دارند. نکته جالب در نتایج به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی مزوزیستگاه این است که رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی مدل MesoHABSIM، بیشتر از میانگین دبی سالانه (۱/۲۶ مترمکعب بر ثانیه) در ماه‌های اردیبهشت و خرداد بوده است.

جدول ٤– نتایج برآورد نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه لیقوان‌چای (متر مکعب بر ثانیه)

ماه	میانگین جریان ماهانه	تنانت	دبی ۲۵ درصد مساحت قابل استفاده وزنی	دبی ۷۵ درصد مساحت قابل استفاده وزنی	حداقل جریان اکولوژیکی	جریان اکولوژیکی مطلوب
فروردین	۱/۶۱	۰/۳۸	۰/۶۴	۱/۱۸	۰/۶۴	۱/۱۸
اردیبهشت	۳/۸۱	۰/۳۸	۰/۹۵	۲/۸۴	۰/۹۵	۲/۸۴
خرداد	۲/۷۲	۰/۳۸	۰/۶۲	۲/۲۶	۰/۶۲	۲/۲۶
تیر	۱/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۶	۱/۱۳	۰/۳۸	۱/۱۳
مرداد	۰/۷۳	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۶۴
شهریور	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۱	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۶
مهر	۰/۳۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۲۷
آبان	۰/۴۷	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۳۸
آذر	۰/۶۵	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۵۴	۰/۲۲	۰/۵۴
دی	۰/۸۷	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۶۸	۰/۲۷	۰/۶۸
بهمن	۰/۹۳	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/۳۱	۰/۷۲
اسفند	۱/۲۷	۰/۱۲	۰/۴۳	۱/۰۴	۰/۴۳	۱/۰۴

در ادامه مدل‌سازی زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای شامل شبیه‌سازی رفتار گونه در دو گروه سنی بالغ و نابالغ، تحت ۵ رژیم جریان، مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۵، نتایج این شبیه‌سازی و به ویژه مساحت مرطوب، زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه را در سناریوهای مختلف جریان ارائه می‌دهد. مطابق با جدول ۵، با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه و افزایش دبی به میزان بیشتر از حداکثر میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۳/۸۱ متر مکعب بر ثانیه است و در شرایط سیلابی میزان

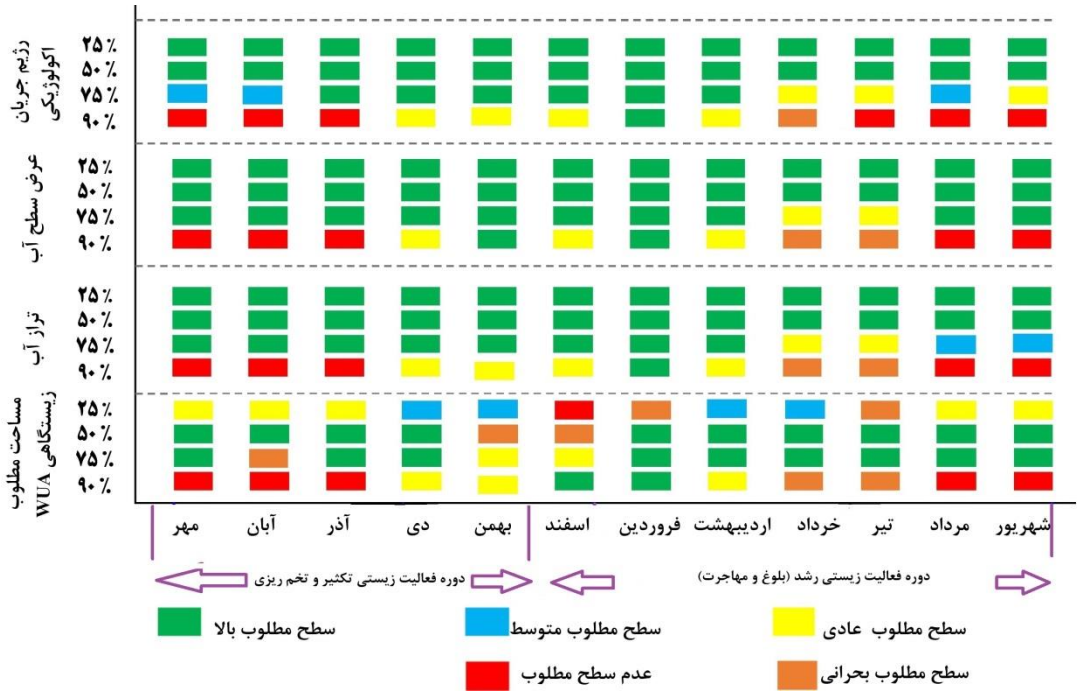
مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره‌های مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، کاهش می‌یابد. کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۰/۳۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیانگر پایین بودن میزان مساحت قابل استفاده برای دوره بالغ گونه هدف است، ولی برای دوره نابالغ با کاهش میزان دبی جریان، شرایط مناسب‌تری از نظر میزان مطلوبیت حاکم بوده و میزان مساحت قابل استفاده وزنی نسبت به دوره بالغ، بیشتر است. از سویی دیگر، با افزایش جریان پایه رودخانه (مقدار متوسط سری تاریخی جریان) به ۴ متر مکعب بر ثانیه، باعث می شود که حداقل زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه در گروه سنی بالغ، افزایش یابد. با این حال، با توجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه و مساحت قابل استفاده وزنی، حداکثر زیستگاه بهینه و مطلوب در دوره‌های بالغ و نابالغ گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، در صورت دبی بیش از حد کاهش می‌یابد و می‌توان بیان داشت مطابق جدول ۳ و شکل ۶، توزیع جریان اکولوژیکی مطلوب، در طول سال برابر نیست.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل مطلوبیت زیستگاه گونه هدف، تحت تأثیر رژیم های چندگانه جریان به عنوان درصدی از حداکثر مساحت (منطقه) مرطوب

ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (بالغ)	ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (نابالغ)	مساحت مرطوب (متر مربع)	دبی (متر مکعب بر ثانیه)
زیستگاه موجود (درصد منطقه خیس شده)			
۶/۲	۲۶/۶	۳۵/۶	۱
۳۲/۶	۵۶/۵	۴۶/۳	۲
۵۱/۶	۷۴/۲	۷۸/۲	۳
۵۹/۳	۶۵/۳	۱۷۶/۵	۴
۴۵/۲	۴۱/۶	۲۳۶/۶	۵
زیستگاه مطلوب (درصد منطقه خیس شده)			
۲۴/۶	۲۹/۳	۳۵/۶	۱
۳۳/۳	۵۲/۸	۴۶/۳	۲
۴۳/۱	۴۶/۲	۷۸/۲	۳
۵۴/۶	۵۵/۳	۱۷۶/۵	۴
۱۲/۲	۳۸/۲	۲۳۶/۶	۵
زیستگاه بهینه و ایده آل (درصد منطقه خیس شده)			
۲۵/۲	۱۴/۱	۳۵/۶	۱
۳۵/۳	۲۵/۶	۴۶/۳	۲
۷۳/۲	۴۶/۳	۷۸/۲	۳
۶۱/۸	۵۳/۸	۱۷۶/۵	۴
۳۹/۲	۳۶/۲	۲۳۶/۶	۵

شکل ۷، سطوح مناسب رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم با رژیم‌های مختلف ماهانه جریان رودخانه لیقوان‌چای را نشان می‌دهد. 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. با توجه به شکل ۱۰، سطح مطلوب نیاز آب 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 نیاز آب اکولوژیکی، در فصول مرطوب حداقل ۵۵ درصد افزایش یافته و در فصل خشک، ۲ برابر می‌شود. از طرفی دیگر، نیاز آب اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب در ماه فروردین، در وضعیت «سطح مطلوب بالا» است، و در ماه‌های خرداد و تیر (دوره رشد) در وضعیت «سطح مطلوب بحرانی» می‌باشد و این در حالی است که نیاز آب اکولوژیکی، تراز آب، مساحت قابل استفاده وزنی و عرض سطح آب از مرداد تا آذرماه در وضعیت «عدم سطح مطلوب» است. با توجه به شکل ۷، این نتیجه‌گیری به‌عمل می‌آید که مدل هیدرومورفواکولوژیکی – مزوزیستگاهی MesoHABSIM، قادر به ارائهٔ نیاز آبی اکولوژیکی رودخانهٔ لیقوان‌چای از دو نقطه‌نظر علمی و عملی است. آنچه از شکل ۷ دریافت می‌گردد، تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز از طریق تخصیص بهینه

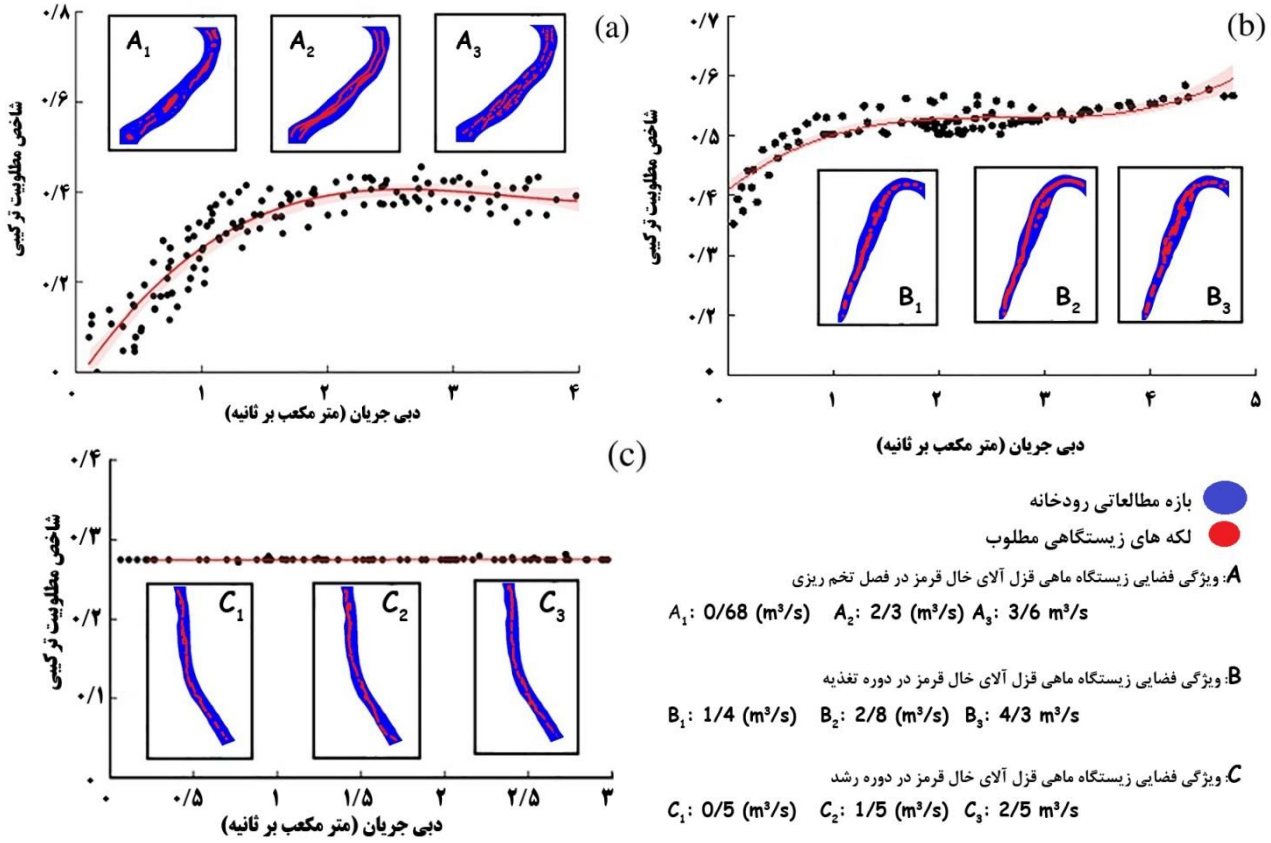
رژیم جریان اکولوژیکی با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی، فرآیندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و درک پویایی زیستگاه در رودخانه لیقوان‌چای و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ بیولوژیکی گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز طی فعالیت‌های زیستی (دوران رشد، تخم‌ریزی و تکثیر)، در زمینه مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای، نقش مهم و بارزی ایفا می‌کند.



شکل۷- نمایش سطح مطلوب و مناسب رژیم جریان اکولوژیکی در دوره‌های زیستی گونه هدف و مقادیر مهم شاخص‌های هیدرولیکی در بخش‌های مختلف در دوره‌های ماهانه رژیم جریان رودخانه لیقوان‌چای

در شکل ۸، لکه‌های زیستگاهی مطلوب در فصل تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای تحت دبی‌های ۰/۶۸، ۲/۳ و ۳/۶ متر مکعب بر ثانیه (A1، A2، A3) نشان داده شده است. به طور مشابه در شکل ۸، لکه‌های زیستگاهی مطلوب مربوط به دبی‌های ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۳ متر مکعب بر ثانیه در مرحله تغذیه (B_1، B_2، B_3) و همچنین لکه‌های زیستگاهی مطلوب در دوره رشد ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز تحت تحت دبی‌های ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه (C_1، C_2، C_3) ارائه شده است. از این رو منحنی رابطه بین دبی و شاخص مطلوبیت ترکیبی برای مراحل مختلف زندگی (تخم‌ریزی، تغذیه و رشد) ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای به‌دست آمد (شکل ۸). با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که شاخص مطلوبیت ترکیبی در فصل تخم‌ریزی به سرعت افزایش یافته و در دبی ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه به آرامی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، منحنی جریان- شاخص مطلوبیت ترکیبی در طول دوره تغذیه به صورت لگاریتمی بوده و در طول دوره رشد، بسیار کم نوسان است.

با توجه به اینکه گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در آب‌های زلال و فاقد آلودگی با جریان نسبتاً زیاد و اکسیژن کافی زندگی می‌کند (Boets et al, 2018؛ کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵) و بر اساس بررسی مشاهدات میدانی و نیز بررسی تحقیقات گذشته (هاشم‌زاده سقرلو، ۱۳۹۱)، در حال حاضر زیستگاه و پراکنش این گونه در رودخانه لیقوان‌چای به علت استفاده بی‌رویه از آب رودخانه برای مصارف کشاورزی و مسدود شدن مسیرهای مهاجرت ماهی با احداث سد برای مهار آب، محدود گشته و زمینه را برای تغییر ساختار فون ماهیان فراهم نموده است. کنعانی و همکاران (۱۳۹۹) و کنعانی و همکاران نیز در مطالعه‌شان گزارش کردند که روند تغییرات جریان در بازه‌های بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه لیقوان‌چای در ماه‌های مختلف سال، بسیار معنی‌دار بوده و روند نزولی تدریجی آبدهی حوضه به دلیل اقدامات انسانی مانند برداشت آب برای مصارف کشاورزی و شرب نیز شدیدتر می‌باشد (Kanani et al, 2020) و همچنین ضرورت بازنگری در برنامه‌های مدیریت منابع آب و خاک و اتخاذ راهکارهای مناسب در جهت حفاظت منابع آب را مهم دانستند که در پژوهش حاضر نیز مورد تأکید قرار می‌گیرد.



شکل ۸- رابطه کمی سناریوهای جریان و شاخص مطلوبیت ترکیبی در مراحل مختلف زندگی ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه لیقوان‌چای

برای آماده‌سازی زیستگاه رودخانه جهت تخم‌ریزی ماهیان در فضای بین ذرات درشت دانه، نیاز است که زمان و شدت جریان در مطالعات زیست‌محیطی منطقه، مشخص گردد. در تحقیقات متعددی اثبات شده است زیستگاه مطلوب گونه‌های مختلف ماهیان در دو دوره رشد بالغ و نابالغ به طور متفاوتی، تحت تأثیر نوسانات جریان سالانه رودخانه است (نادری و همکاران، ۱۳۹۸؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹؛ Naderi et al., 2021؛ Koutrakis et al, 2019). از سوی دیگر، در تحقیقات مختلفی گزارش شده است جریان‌های با شدت بالا، سبب فرسایش آبراهه‌ها و توزیع مجدد رسوبات و شاخ و برگ درختان که پناهگاه مهمی برای ماهی‌ها، هستند، می‌شود (Hajiesmaeili et al, 2018؛ Mouton et al, 2007). همچنین جریان‌های با شدت کم، باعث ایجاد تنگاهای زیستگاهی در آبراهه‌ها می‌شود (Parasiewicz et al, 2017) و جریان‌های با شدت بسیار کم، نیز باعث کاهش جمعیت ماهی‌ها حتی به میزان کمتر از ظرفیت حمل آبراهه می‌شود. بر اساس مشاهدات و بازدید میدانی صورت گرفته از رودخانه لیقوان‌چای، جریان سیلابی رخ داده در سال ۹۶ سبب کاهش جمعیت ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز در زیستگاه‌های رودخانه مورد مطالعه شده است که با نتایج مطالعه هاشم‌زاده سقرلو و همکاران (۱۳۹۱) و قاسمی و همکاران مبنی بر تغییرات جوامع ماهیان (خانواده کپور ماهیان و آزاد ماهیان) در حوضه آبریز ارومیه در اثر تغییرات هیدرولوژیکی، در یک راستا است (Ghasemi et al, 2015).

بر اساس محاسبات پژوهش حاضر (جدول ۴) ملاحظه می‌گردد، توزیع حداقل میزان جریان اکولوژیکی در طول سال، نسبتا یکنواخت و در محدوده جریان پایه رودخانه است (حداکثر مقدار ۰/۹۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه اردیبهشت و حداقل ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه در ماه مهر). با این حال، توزیع تقاضای آب اکولوژیکی مناسب در طول سال، نابرابر است. تقاضای آب اکولوژیکی مطلوب در فصل جاری شدن سیل (فروردین – خرداد) از فصل غیر سیلابی بیشتر است. حداکثر مقدار مورد نیاز جریان اکولوژیکی مطلوب در اردیبهشت برابر با ۲/۸۴ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار جریان اکولوژیکی مطلوب در مهر برابر با ۰/۲۷ مترمکعب بر ثانیه است. در پژوهش کوتراکیس و همکاران برای ارزیابی جریان‌های اکولوژیکی حوضه آبریز مدیترانه‌ای رودخانه نستوس در یونان، با اندازه‌گیری مشخصه‌های هیدرومورفولوژیکی (عمق آب، دبی جریان و بستر) و از طریق

نقشه‌برداری و نمونه‌برداری از ۷۵۳۲ نمونه ماهی، با استفاده از مدل شبیه‌سازی زیستگاه MesoHABSIM، این نتیجه‌گیری به‌عمل آمد که محدوده رژیم جریان ۱۵-۱۰ متر مکعب برثانیه، به عنوان میزان جریان مورد نیاز اکولوژیکی برای پایداری جمعیت گونه‌های ماهی، درنظر گرفته شود (Koutrakis et al, 2019).

در بازه‌های میانی رودخانه لیقوان‌چای پس از پیوستن شاخه‌های فرعی، عمق جریان رودخانه از منظر نیاز جریان اکولوژیکی در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد برآورده می‌شود و پاسخگوی نیازهای اکولوژیکی آبزیان است. در ادامه بر اساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته، پس از برداشت‌های انجام شده از آب رودخانه جهت مصارف کشاورزی، جریان دچار مقداری کاهش می‌شود و رژیم جریان رودخانه در شرایط فعلی در بازه‌های میانی به پایین‌دست کافی نبوده و در هیچ زمانی از سال، نیاز اکولوژیکی را برآورده نمی‌کند. با توجه به تغییرات فصلی جریان می‌توان گفت تنها در بخشی از فصل بهار، نیازهای اکولوژیکی گونه آبزی در رودخانه لیقوان‌چای، فراهم شده است. با توجه به تغییرات فصلی جریان می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در دو فصل زمستان و بهار در بخش‌های بالادست و میانی فراهم می‌شود. در تحقیق موتون و همکاران با بررسی و مشاهده شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه (اندازه‌گیری مقاطع، سرعت جریان، عمق آب و بستر غالب) به منظور شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه گربه‌ماهی (*Cottus gobio L*) با ترکیب مدل هیدرولیکی یک‌بعدی HEC-RAS و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، در پایین‌دست آب‌بند این نتیجه‌گیری به عمل آمد، نرخ جریان، تأثیر متوسطی بر نتایج مطلوبیت داشته و زیستگاه‌های مطلوب گونه هدف، در بازه‌های پایین‌دست آب‌بند مشاهده می‌شود (Mouton et al, 2007). موتون و همکاران، پارازیویچ و والکر، نادری و همکاران (۱۳۹۸)، استوارت و همکاران و نادری و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقاتشان اشاره داشتند (Stuart et al, 2020؛ Parasiewicz and Walker, 2007؛ Mouton et al, 2007) که شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه رودخانه با بررسی روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی و رژیم جریان، می‌تواند نتایج قابل اعتمادی را در محاسبه رژیم جریان اکولوژیکی و بررسی نیازهای زیستگاهی و زیستگاه مطلوب گونه هدف، در پی داشته باشد. همچنین دی‌میگوئل‌دالو و همکاران در ارزیابی پویایی زیستگاه مطلوب سگ‌ماهی (*Lefua echigonia*) در یک رودخانه شهری در توکیو ژاپن با استفاده از توسعه منحنی‌های مطلوب زیستگاه عمق آب، سرعت جریان و بستر در مدل شبیه‌سازی زیستگاهی سیفا، نشان دادند حداکثر شاخص مطلوب زیستگاهی در دبی ۰/۰۲ متر مکعب بر ثانیه (نزدیک به جریان پایه رودخانه) بوده و کاهش تدریجی شاخص مطلوب زیستگاهی برای جریان‌های بالاتر مشاهده می‌شود (De-Miguel-Gallo et al, 2019). آدامسزیک و همکاران نیز در مطالعه‌شان گزارش کردند که مدل MesoHABSIM، امکان بررسی واکنش ماهی در برابر تغییرات شرایط محیطی و برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب در مقیاس رودخانه و حوضه را فراهم می‌کند (Adamczyk et al, 2019). در مطالعات مختلفی از جمله پژوهش بوئتس و همکاران و استوارت و همکاران این نتیجه‌گیری به‌عمل آمده است که با افزایش رژیم جریان اکولوژیکی در رودخانه‌های تنظیم شده، می‌توان به بازیابی گونه‌های در معرض انقراض و بهبود زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان، کمک کرد (Stuart et al, 2020؛ Boets et al, 2018). در مطالعه حاضر می‌توان این گونه تفسیر کرد هنگامی که دبی جریان بالاتر از یک آستانه مشخص باشد، سطح آب مقطع رودخانه لیقوان‌چای در کانال اصلی جاری می‌شود و شرایط هیدرودینامیکی (مانند عمق آب و سرعت جریان) مناسب برای زیستگاه گونه ماهی هدف در ساحل رودخانه، فراهم می‌شود. در نهایت دستاورد پژوهش حاضر را می‌توان این گونه بیان کرد که با افزایش فراوانی جریان، حداقل میزان نیاز آبی اکولوژیکی در سال‌های خشک تأمین می‌شود و می‌توان تقاضای جریان اکولوژیکی مطلوب را در سال‌های مرطوب، تأمین کرد. این امر اکوسیستم پایین‌دست رودخانه را از تخریب محافظت کرده و زیستگاه بهتری را برای گونه‌های آبزی فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، تخصیص نیاز آبی اکولوژیکی، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن با توجه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بوم، بوجود آوردن شرایط مناسب برای تخم‌ریزی آبزیان و احیا اکوسیستم رودخانه دارد، مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، مدل شبیه‌سازی زیستگاه MesoHABSIM را به عنوان رویکردی نو در مدیریت جامع زیستگاهی رودخانه لیقوان‌چای مطرح می‌کند. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، محدوده رژیم جریان موردنیاز برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه گونه شاخص در رودخانه لیقوان‌چای با استفاده از مدل MesoHABSIM، بین ۰/۲۷ و ۲/۸۴ مترمکعب برثانیه، با میانگین دبی سالانه ۱/۰۳ مترمکعب بر ثانیه، بایستی در داخل رودخانه لیقوان‌چای برای حفظ شرایط مطلوب زیستگاه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز و محافظت از اجزای اکوسیستم رودخانه برقرار باشد. از سوی دیگر مطابق روش تنانت، برای آنکه وضعیت عادلانه‌ای (قابل قبول) در رودخانه لیقوان‌چای برقرار باشد، در شش ماه اول سال (برای فروردین تا شهریور)، باید جریانی معادل ۰/۳۸ مترمکعب برثانیه و در شش ماه دوم سال (برای مهرماه تا اسفند)، دبی برابر ۰/۱۲ مترمکعب برثانیه با میانگین ۰/۲۵ مترمکعب برثانیه در رودخانه لیقوان‌چای برقرار باشد. همچنین بر اساس

خصوصیات هیدرومورفواکولوژیکی رودخانه لیقوان‌چای و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مزوزیستگاه، حداکثر میزان زیستگاه در دسترس در بازه بالادست و در دوره پرآبی رودخانه (فصل بهار) معادل ۴۲۶۰ مترمربع بر متر و در بازه پایین‌دست رودخانه در متوسط جریان سالانه برابر ۱۳۶۰ مترمربع بر متر می‌باشد. یافته‌های پژوهش حاضر مبین آن است که جریان اکولوژیکی، بسته به میزان و نوع خاص زیستگاه (گوداب-خیزاب)، می‌تواند اثرات حفاظتی معنی‌دار و مطلوبی در ترکیب جوامع آبزیان و درشت مهرگان داشته باشد. همچنین با توجه به نتایج مشاهدات میدانی و توزیع میزان مطلوبیت زیستگاهی در دبی‌های مختلف، می‌توان این نتیجه گیری را به عمل آورد که به‌طورکلی محدوده بالادست رودخانهٔ لیقوان‌چای (با شیب متوسط ۴/۶ درصد) در فصول زمستان و بهار، به لحاظ وضعیت زیستگاهی، دارای شرایط مساعدتری بوده و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه در فصول تابستان و پاییز، به لحاظ مطلوبیت شاخص‌های هیدرومورفواکولوژیکی زیستگاه قزل‌آلای خال‌قرمز، شرایط ضعیف‌تر خواهد شد. در این پژوهش با تولید و توسعه منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز و با مدل‌سازی پیشرفته هیدرومورفواکولوژیکی- مزوزیستگاهی، به نتایج قابل استنادی ختم گردید که نتیجه نهایی قابلیت استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه را در مطالعات برآورد رژیم جریان اکولوژیکی جهت پایش سلامت رودخانه و پروژه‌های احیای اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. این محاسبات، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی منابع آب و پروژه‌های حفاظت از زیستگاه رودخانه، ارائه می‌دهد. در ضمن بررسی عوامل هیدرولیکی-هیدرومورفواکولوژیکی بر تنوع و چرخه کفزیان در طول زمان و مکان در رودخانه‌های کوهستانی، به عنوان مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از راهنمایی‌ها و همفکری‌های ارزنده آقای دکتر پائولو وزا در دپارتمان مهندسی محیط زیست و زمین دانشگاه تورینو ایتالیا و آقای دکتر پیوتر پارازیویچ (توسعه دهنده مدل شبیه سازی زیستگاه رودخانه)، همراهی و همکاری تیم عملیات میدانی دانشجویان گروه اکولوژی آبزیان دانشگاه تهران و همکاری اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان‌شرقی، تشکر و قدردانی ویژه می‌گردد.

منابع

روزگاری. ن.، ستاری.، م.ت. و فیضی، ه. ۱۳۹۹. مقایسه روش‌های مختلف هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه مهاباد. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۱ (۹): ۷۰-۵۷.

رئوف. م. و علی‌اوغلی، س. ۱۳۹۹. برآورد جریان محیط زیستی رودخانه بالیخلوچای و بررسی تأثیر بهره‌برداری از سد یامچی بر رژیم جریان هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی رودخانه. مجله محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران. ۷۳ (۲): ۳۱۲-۲۹۹.

خالقی، س. ۱۳۹۵. تعیین دبی مقطع پر و توان جریان رودخانه لیقوان‌چای بر اساس ویژگی‌های مورفومتری کانال. مجله پژوهش‌های دانش زمین. ۷ (۲۸): ۱۵۲-۱۳۹.

ختار، ب. و شکوهی، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی و اصلاح روش تگزاس به عنوان یک روش هیدرولوژیکی برای ارائه رژیم اکولوژیکی در رودخانه‌های دائمی. مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۹ (۳): ۴۶-۳۱.

سرچشمه، ب.، بهمنش، ج. و رضاوردی نژاد، و. ۱۳۹۹. بررسی کمبود آب با درنظرگرفتن همزمان کمیت و کیفیت آب و جریان زیست‌محیطی زرینه‌رود. مجله آب و خاک. ۳۴ (۳): ۵۷۷-۵۶۵.

کنعانی، ر.، فاخری‌فرد، ا.، قربانی، م.ع. و دین‌پژوه، ی. ۱۳۹۹. تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه لیقوان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۱ (۲۲): ۱۹-۱۱.

کیوانی، ی.، نصری، م.، عباسی ، ک. و عبدلی، ا. ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آب‌های داخلی ایران. سازمان حفاظت محیط زیست. ۲۱۶ص.

نادری، م ح.، ذاکری‌نیا، م. و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی و شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه با کاربرد مدل River2D با تکیه بر باززنده‌سازی اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل. مجله اکوهیدرولوژی. ۶ ۱: ۲۲۲-۲۰۵.

نادری، م.ح.، علی‌اوغلی، س.، جهاندیده، ا.، رجبی‌زاده، ی. و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۹. تعیین جریان رهاسازی بهینه و مطلوب زیست‌محیطی از مخزن سد لتیان با درنظرگرفتن مشخصه‌های اکوهیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هیدرومورفواکولوژیکی جهت حفاظت زیستگاه رودخانه جاجرود. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۴): ۱۳۰۰-۱۲۷۷.

هاشم‌زاده سقرلو، ا.، فرحمند، ح.، عبدلی، ا.، برناتچز، ل. و کرمی، م. ۱۳۹۱. تشخیص ماهیان قزل‌آلای خال‌قرمز متعلق به رودخانه مردق در رودخانه لیقوان با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره‌ای. مجله شیلات. ۶۵ (۳): ۳۳۷-۳۲۷.

hydraulic and hydrological methods to calculate the environmental flow: Wisloka river, Poland: case study. Environmental monitoring and assessment. 191(4): 1-17.

Minjian, C., Gaoxu, W., Huali, F. and Liqun, W. 2012. The calculation of river ecological flow for the Liao Basin in China. Procedia Engineering. 28: 715-722.

Mouton, A.M., Schneider, M., Depestele, J., Goethals, P.L. and De Pauw, N. 2007. Fish habitat modelling as a tool for river management. Ecological engineering. 29(3): 305-315.

Naderi, M.H., Arab, n., Jahandideh, o, Salarijazi, M. and Arab, A. 2021. Estimation of optimal release flow range from jamishan dam considering of the optimal instream ecological water demand for conservation the habitat potential of the dinavar river. Journal of Water and Soil. 35(2):203-225.

Naderi, M.H, Pourgholam-Amiji, M., Ahmadaali, K., Amiri, Z., Ghojoghi, A. and Ghorbani Minaei, L. 2020. Determining the range of optimal environmental flow in zarin-Gol river through hydromorphological characteristics, hydrological regime and habitat suitability simulation ecohydraulic model. Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Recources), 71(3): 317-328.

Parasiewicz, P. 2001. MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. Fisheries. 26(9): 6-13.

Parasiewicz, P. 2007. The MesoHABSIM model revisited. River Research and Applications. 23(8): 893-903.

Parasiewicz, P. and Walker, J.D. 2007. Comparison of MesoHABSIM with two microhabitat models (PHABSIM and HARPHA). River Research and Applications. 23(8): 904-923.

Parasiewicz, P., Castelli, E., Rogers, J.N. and Plunkett, E. 2012. Multiplex modeling of physical habitat for endangered freshwater mussels. Ecological Modelling. 228: 66-75.

Parasiewicz, P., Castelli, E., Rogers, J.N., Vezza, P. and Kaupsta, A. 2017. Implementation of the natural flow paradigm to protect dwarf wedgemussel (Alasmidonta heterodon) in the upper Delaware River. River Research and Applications. 33(2): 277-291.

Stuart, I., Sharpe, C., Stanislawski, K., Parker, A. and Mallen-Cooper, M. 2019. From an irrigation system to an ecological asset: adding environmental flows establishes recovery of a threatened fish species. Marine and Freshwater Research. 70(9): 1295-1306.

Yu, Z., Zhang, J., Zhao, J., Peng, W., Fu, Y., Wang, Q.

Adamczyk, M., Parasiewicz, P., Vezza, P., Prus, P. and De Cesare, G. 2019. Empirical validation of MesoHABSIM models developed with different habitat suitability criteria for bullhead Cottus Gobio L. as an indicator species. Water. 11(4): 726.

Boets, P., Gobeyn, S., Dillen, A., Poelman, E. and Goethals, P . 2018.Assessing the suitable habitat for reintroduction of brown trout (Salmo trutta forma fario) in a lowland river: A modeling approach. Ecology and Evalution. 8: 5191- 5205.

De-Miguel-Gallo, M., Martinez-Capel, F., Munoz-Mas, R., Aihara, S., Matsuzawa, Y. and Fukuda, S. 2019. Habitat evaluation for the endangered fish species Lefua echigonia in the Yagawa River, Japan. Journal of Ecohydraulics. 4(2): 147-157.

Fazelnajafabadi, E. and Afzalimehr, H. 2019. Comparison of Two-and Three-Dimensional Flow and Habitat Modeling in Pool–Riffle Sequences. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 1-10.

Hajiesmaeili, M., Ayyoubzadeh, S.A. and Sedighkia, M. 2018. Effects of stream hydraulic characteristics on habitat suitability for rapid habitat assessment of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). International Journal of Fisheries and Aquatic Studie. 6(5): 10-19.

Ghasemi, H., jouladeh Rodbar, A., Eagderi, S., Abbasi, K., Vatandoust, S. and Esmaeili, H.R. 2015. Ichthyofauna of Urmia basin: Taxonomic diversity, distribution and conservation. Iranian Journal of Ichthyology. 2(3): 177-193.

Li, F.F., Liu, C.M. and Qiu, J. 2019. Quantitative identification of natural flow regimes in fish spawning seasons. Ecological Engineering. 138: 209-218.

Kanani, R., Fard, A.F., Ghorbani, M.A. and Dinpashoh, Y. 2020. Analysis of the role of climatic and human factors in runoff variations (case study: Lighvan River in Urmia Lake Basin, Iran). Journal of Water and Climate Change. 11(1): 291-302.

Karimi, S., Salarijazi, M., Ghorbani, K. and Heydari, M. 2021. Comparative assessment of environmental flow using hydrological methods of low flow indexes, Smakhtin, Tennant and flow duration curve. Acta Geophysica. 1-9.

Koutrakis, E.T., Triantafillidis, S., Sapounidis, A.S., Vezza, P., Kamidis, N., Sylaios, G. and Comoglio, C. 2019. Evaluation of ecological flows in highly regulated rivers using the mesohabitat approach: a case study on the Nestos River, N. Greece. Ecohydrology & Hydrobiology. 19(4): 598-609.

Ksiazek, L., Wos, A., Florek, J., Wyrebek, M., Mlynski, D. and Walega, A. 2019. Combined use of the

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.

and Zhang, Y. 2021. A new method for calculating the downstream ecological flow of diversion-type small hydropower stations. Ecological Indicators. 125: 107530.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 645-664

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد – شهریور ۱۴۰۰، ص. ۶۶۴-۶۴۵

Analysis of Application of Hydrological and Hydromorphocological Approaches in Estimating the Ecological Water Demand and Habitat Suitability *Salmo trutta* in the Liqvanchay River

M. H. Naderi[1]*, O. Jahandideh [2] , E. Khanahmadi[3], N. Arab[4] , A. Arab[5] ,M. Salarijazi[6]

Recived: Feb.21, 2021 Accepted: Mar.28, 2021

Abstract

Investigation of ecological, hydrological and habitat suitability status of aquatic communities is one of the key elements in river ecosystem management. In this regard, in the present study, the determination of the minimum environmental flow of Liqvanchay River using hydrological method of Tennant based on hydrological Information and estimation of ecologically optimal water requirement using Habitat Simulation Model as well as hydromorphocological analysis and habitat suitability of index fish *Salmo trutta* L.1758 were investigated. For this purpose, mesohabitat simulation based on curves habitat suitability index were performed by field studies and sampling of hydraulic (depth, velocity and bed index) and ecological parameters and accordingly, a new method of classifying the ecological flow regime according to the echohydraulic indices of habitat suitability (water depth, flow velocity and bed) was considered. First, the geometry of the Liqvanchay River model and cross sections was created using the topography map of Liqvanchay River and Arc-GIS software. Then the hydraulic simulation of the river was performed with HEC-RAS software. In the next step, hydromorphocological and habitat simulation were performed in MesoHABSIM model. In this Echohydraulic Model, the relationship between the hydraulic flow and the habitat needs of the species *Salmo trutta* was established by Weighted Usable Area, and the discharge- habitat suitability curves of the target species were extracted in different discharges in both adult and juvenile life stages. By extracting the discharge- habitat suitability curve, the desirability of the river in terms of quantity and location was investigated. The results showed that the optimal ecological flow velocity should be in the range between 0.27 to 0.76 m/s and the ecological water depth should be in the range between 0.3 to 0.7 m in different seasons and parts of the river. According to the calculations, the range of the Optimal Ecological Flow regime to the habitat needs of the indicator *Salmo trutta* in the studied river is between 0.27 to 2.84 m^3/s in October and May, respectively. Also, the research findings showed that the ecological needs of the indicator species for biological activities of growth and spawning are provided only in two seasons of winter and spring and in the upper and middle periods of the river. According to the results of this study, the distribution of habitat suitability along the ligvanchay river, under the influence of geometric, hydraulic parameters and flow rate, indicates the suitability habitat conditions of of *Salmon trutta* species in the upstream area and poor habitat conditions in the downstream area.

Keywords: Ecological Regime, Habitat Simulation, MesoHABSIM, River Habitat, Water Resources

1-M.Sc, Department of Water Resources Engineering and Researcher of EchoHydraulic Modeling of River Fish Habitats, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- M.Sc, Department of Water Engineering, College of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- M.Sc, Department of Department of Water Structures Engineering, College of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- PH.D Candidate of Environmental assessment and Landuse Planning, Department of Environmental, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5- M.Sc., Department of Water Structures Engineering, Mashhad University of Ferdousi, Mashhad, Iran
6- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: naderigau@gmail.com)