اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۲۲۲-۲۰۵

بررسی تأثیر شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی و شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه با کاربرد مدل River2D با تکیه بر باززنده‌سازی اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل

محمدحسن نادری[۱]، مهدی ذاکری‌نیا[۲*]، میثم سالاری‌جزی[۳]

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۱۰/۳۰)

چکیده

علم جریان زیست‌محیطی، ابزاری رایج برای ارزیابی پیامدهای تغییر رژیم‌های جریان بر اکوسیستم‌های آبی و تأمین حداقل جریان در حفاظت از گونه‌های آبزی است. هدف از پژوهش حاضر، فراهم‌کردن ملزومات برای مهیاشدن ابزار ارزیابی و طراحی پروژه‌های احیا و باززنده‌سازی زیستگاه رودخانهٔ زرین‌گل با استفاده از شاخص‌های اکوهیدرولیکی، هیدرومورفولوژیکی مبتنی بر شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه است. به این منظور بر پایهٔ چارچوب تحقیق، پس از مطالعات میدانی و توسعهٔ مدل مطلوبیت زیستگاه برای گونهٔ هدف، شبیه‌سازی هیدرودینامیکی جریان صورت گرفت و در نهایت رژیم جریانات اکولوژیک استخراج شد. نتایج نشان داد مدل River2D با برقراری ارتباط بین خصوصیات جریان مورد نیاز گونهٔ سیاه‌ماهی *C.Capoeta gracilis* و استفاده از روابط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، بیشترین و کمترین رژیم جریان مورد نیاز برای حفظ اکوسیستم رودخانهٔ زرین‌گل را با توجه به نیازهای اکولوژیکی در ماه‌های فروردین و مهر به‌ترتیب معادل ۵/۰۹ و ۰/۸۹ مترمکعب بر ثانیه، با میانگین ۱/۷۹ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۴ درصد جریان طبیعی رودخانه) برآورد می کند. طبق نتایج تحقیق حاضر، در مطالعات زیست‌محیطی منابع آب و مهندسی رودخانه، مدل دوبعدی هیدرودینامیکی River2D، قادر به شبیه‌سازی جریان، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونهٔ هدف و پیش‌بینی دینامیک زیستگاه برای محافظت از زیستگاه مناسب ماهی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای است. محاسبهٔ جریان زیست‌محیطی می‌تواند تخمین مناسبی برای ارزیابی پاسخ اکولوژیکی رودخانه به تغییرات مورفولوژیکی ایجادشده بر اثر فرایندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی باشد.

کلیدواژگان: زرین‌گل، مساحت قابل استفادهٔ وزنی، مطلوبیت زیستگاه، River2D.

* نویسندهٔ مسئول

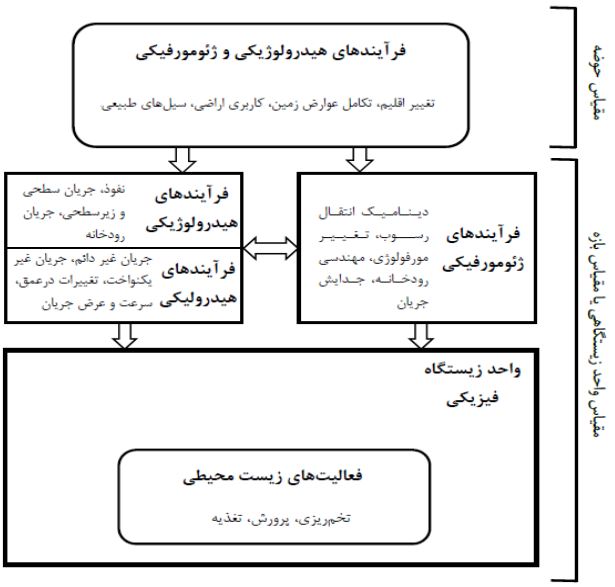
Email: mzakerinia@gau.ac.ir

مقدمه

ارزیابی سلامت رودخانه، امکان تبیین استراتژی‌های مدیریت، حفظ، احیا و بهره‌برداری از اکوسیستم رودخانه، حفظ یکپارچگی، ارزش‌های زیبایی‌شناختی، تعادل رژیم رودخانه و توانایی ارائهٔ خدمات اکوسیستمی را فراهم می‌کند. در مدیریت نوین رودخانه، هماهنگی مداخلهٔ پایدار با سامانه‌های طبیعی، نیازهای زیستگاهی گیاهان و موجودات بومی منطقه در نظر گرفته می‌شود [۱]. طی سال‌های گذشته، پژوهش‌های مهندسی رودخانه در نقاط مختلف جهان به‌وفور اجرا شده که هدف آنها کمک به بهبود ساختار و عملکرد زیست‌محیطی اکوسیستم یک رودخانهٔ رو به تخریب و به‌کاراندختن دوبارهٔ فرایندهای لازم به‌منظور حمایت از اکوسیستم‌های طبیعی و بهبود آنها بوده است [۲ و ۳]. رویکرد جدید در پروژه‌های مهندسی رودخانه در اروپا و سایر نقاط جهان با تمرکز بر بحث عملکردهای واقعی رودخانه‌ها به‌عنوان بخشی از چرخهٔ زندگی و محیط زیست طی سال‌های اخیر شکل گرفت. بر این اساس، برای پرکردن چالش بین عملکرد طبیعی رودخانه‌ها و معیارهای مهندسی رودخانه، محرک‌های اصلی سیاست‌گذاری برای احیا و باززنده‌سازی رودخانه شامل حفاظت از محیط زیست و طبیعت، حفاظت از آب، مدیریت سیل، مدیریت شیلات و طیف وسیعی از رهنمودهایی می‌شود که با محوریت حفظ عملکردهای طبیعی رودخانه گنجانده شده است [۴ و ۵].

با عنایت به تأثیر هم‌زمان پارامترهای مختلف بر سلامت محیط زیستی رودخانه، با توسعهٔ روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه[1]، از حدود ۱۵ سال اخیر علمی با عنوان اکوهیدرولیک، ظهور پیدا کرده است که هدف آن، تحلیل ارتباطات پیچیده میان عوامل مختلف تأثیرگذار بر اکوسیستم آبی است. اکوهیدرولیک یکی از رویکردهای نوین در مهندسی رودخانه است [۶] و با ایجاد رابطه بین علوم هیدرولیک و اکولوژی، که به شکل کنونی از پیشرفت روش‌های ارزیابی زیستگاه آبزیان سرچشمه می‌گیرد [۷] و بنیان‌های پژوهش در حوزهٔ جریان زیست‌محیطی را فراهم کرده است. تحقیقات حوزهٔ اکوهیدرولیک در سه حوزهٔ کلی جریان‌های زیست‌محیطی، طراحی گذرگاه آبزیان در رودخانه‌ها و باززنده‌سازی رودخانه‌ها، تا کنون پیشرفت داشته است [۵]. بررسی تأثیرات هیدرولیکی جریان حاکم بر اکولوژی رودخانه و چگونگی اندرکنش خصوصیات واحد زیستگاه فیزیکی رودخانه (عمق، سرعت، ترکیب بستر) با فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفولوژیکی در مقیاس رودخانه و یا بخشی از حوضه (شکل ۱) و ارائهٔ راه‌کارهای قابل قبول برای جلوگیری از آثار شدید روند تغییرات هیدرومورفولوژیکی بر شرایط زیستگاهی، کمک درخور توجهی به فهم و مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای می‌کنند [۸]. برای مثال، سیل‌های طبیعی موجب تغییر مورفولوژی، ترکیب بستر و هیدرولیک کانال می‌شود و این تغییرات بر عملکرد زیست‌محیطی زیستگاه فیزیکی موجودات آبزی تأثیر می‌گذارد. رویکردهای مرتبط با فعالیت‌های زیستی و فرایندهای فیزیکی به چگونگی ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی دخیل در ایجاد و حفظ زیستگاه‌های مورد نیاز آبزیان کمک می‌کند [۹]. عمده‌ترین رویکردهای به‌کاررفته در مشخص‌سازی زیستگاه فیزیکی رودخانه، شامل شاخص‌های جامع زیستی، شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی، زیستگاه فیزیکی و روابط گونه‌ها، مدل‌سازی دوبعدی زیستگاه، مدل جریان‌های کارکردی و سیستم‌های طبقه‌بندی ژئومورفیکی می‌شود [۱۰]. رویکردهای موجود اغلب در شکل‌گیری مشخصات دقیقی از پارامترهایی مفیدند که یک یا دو مورد از فعالیت‌های زیستگاه را بیان می‌کنند، اما با حذف پارامترهای کلیدی فیزیکی زیستگاه، این رویکردها توانایی ارائهٔ هیدرولیک، ژئومورفیک و اندرکنش زیست‌محیطی زیستگاه را ندارند [۱۰ و ۱۱]. مهم‌ترین نکته دربارهٔ تحلیل جریان درون رودخانه این است که تحلیلگر باید رفتار رودخانه را بفهمد [۱۲]. این شناخت فقط به شرایط هیدرولیکی رودخانه محدود نمی‌شود و هیدرولوژی رودخانه و حوضهٔ آبریز آن، بیولوژی موجودات آبزی و انجام فعالیت‌های سازگار با طبیعت رودخانه را شامل می‌شود [۱۳]. هیدرودینامیک گویای چگونگی جریان آب در رودخانه‌ها، فرسایش و ته‌نشینی مواد رسوبی در نتیجهٔ این جریان و از طرفی، نقش آن در تحول پارامترهای هندسی رودخانه است [۱۴ و ۱۵]. آنچه در اغلب روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی توجه نشده، ترکیب‌سازی و مشارکت رژیم‌های جریان در فرایند رسوب است و به صورت معمول درنظرگرفتن حداقل مقدار آبی است که نیازهای زیستگاهی را برای زنده‌مانی گونه‌های گیاهی و جانوری فراهم می‌کند [۱۶] و عموماً کارکرد دینامیک رژیم جریان در نظر گرفته نمی‌شود [۱۷ و ۱۸].

1. Habitat Simulation



شکل ۱. اندرکنش فرایندهای هیدروژئومورفیکی [۱۰ و ۱۱]

در روش شبیه‌سازی زیستگاه از داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و زیستی برای تحلیل میزان دردسترس‌بودن زیستگاه‌ها، همچنین میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونهٔ هدف استفاده می‌شود [۶ و ۱۵]. روش شبیه‌سازی زیستگاه با درنظرگرفتن سطوح مختلف حفاظت [۶] و قدرت انعطاف‌پذیری خوبی می‌تواند با درنظرگرفتن نیاز بخش‌های دیگر مصرف‌کنندهٔ رودخانه، بده‌های متنوع زیست‌محیطی را ارائه دهد. در این روش، مقدار زیستگاه قابل استفادهٔ ماهی را به‌عنوان مقادیر نسبی زیستگاه ماهی و یا مساحت قابل استفادهٔ وزنی[1] و به‌صورت تابعی از دبی ارائه می‌دهد [۲].

در برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانهٔ تنظیم‌نشدهٔ بیگ‌سور[2] کالیفرنیا با مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیکی زیستگاه River2D، بیان شد که الگوهای رژیم طبیعی جریان با فرایندهای زیست‌محیطی مرتبط‌اند [۱۹]. بر این اساس، مدل هیدرودینامیکی River2D قادر به شبیه‌سازی زیستگاه مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی اکوهیدرولیکی در مقیاس جریان‌های کوچک است [۴]. در تحقیقی جانستون و همکارانش [۲۰] با شبیه‌سازی هیدرودینامیکی با مدل River2D در رودخانهٔ پنوبسکات[3] شمال آمریکا، زیستگاه‌های مناسب تخم‌ریزی ماهیان را با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی و مساحت قابل استفادهٔ وزنی بررسی کردند. افزون بر این، مطالعات متعددی نیز به این واقعیت پی برده‌اند که شبیه‌سازی هیدرودینامیکی زیستگاه گونه‌های ماهیان رودخانه‌ها به‌عنوان شاخص سلامت اکوسیستم به مدیران منابع آب در حفظ تنوع زیستی رودخانه، بهبود سلامت اکوسیستم و حمایت از مدیریت پایدار در حوضه‌های آبریز، کمک شایانی می‌کند [۱، ۳ و ۱۴].

امروزه، بیشتر رودخانه‌های حوضهٔ جنوبی دریای خزر ارزش اکولوژیکی خود را به‌دلیل ورود آلاینده‌ها و سموم کشاورزی، برداشت شن و ماسه، ایجاد سد و موانع در مسیر مهاجرت ماهیان و صید بی‌رویه از دست داده‌اند. طی سالیان گذشته، افزایش دخل و تصرف در محیط طبیعی و تغییر کاربری زمین و افزایش روزافزون فعالیت‌های کشاورزی در سطح حوضهٔ آبخیز زرین‌گل، در تشدید فرایندهای فرسایشی و افزایش میزان رواناب مؤثر بوده که در نهایت در شدت یافتن جریان‌های طغیانی در مسیر رودخانهٔ زرین‌گل در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و مرداد و تخریب زیستگاه طبیعی ماهیان، تأثیر زیادی داشته است. با توجه به این نیاز و ضرورت‌های بیان‌شده، تحقیق حاضر به‌منظور ایجاد زمینهٔ لازم برای گسترش پروژه‌های اکوهیدرولیکی در سطح رودخانه و شناخت و توسعهٔ کاربرد مدل River2D در مطالعهٔ رژیم‌های جریان اکولوژیکی با هدف تخمین میزان جریان‌های

1. Weighted Usable Area (WUA)
2. Big Sur
3. Penobscot

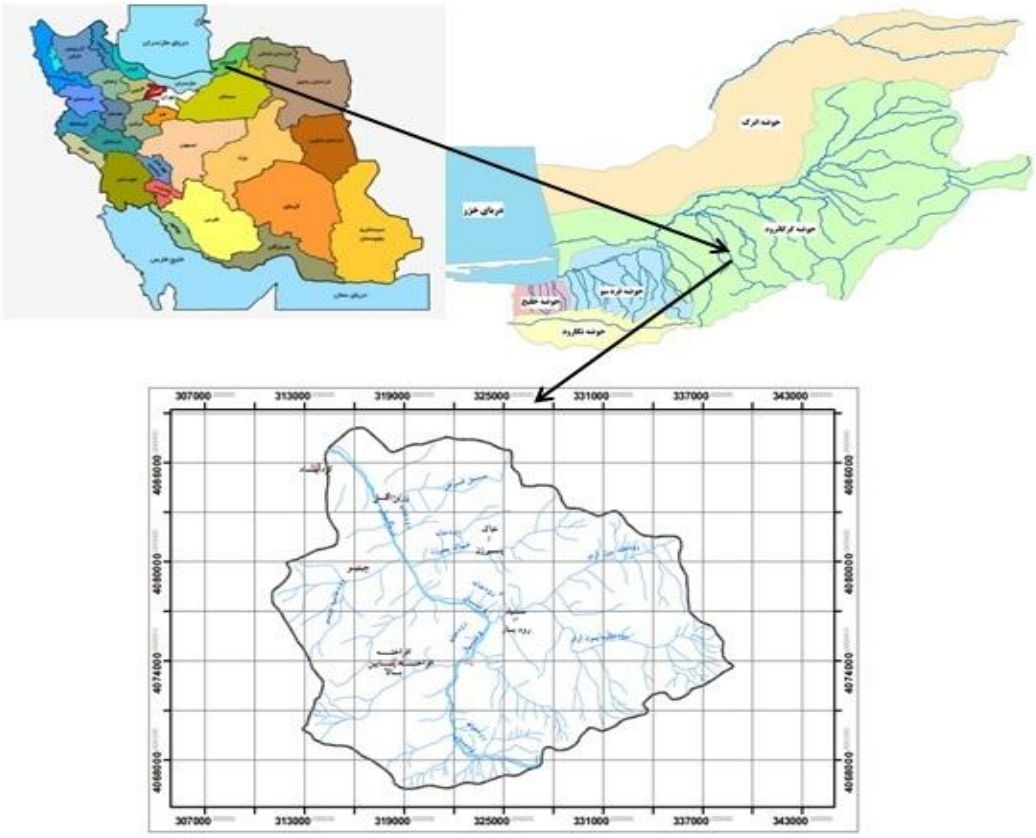
اکولوژیک مورد نیاز برای حفاظت حیات گونهٔ سیاه‌ماهی و نیز تحلیل وضعیت اکوسیستم و ارزیابی اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل، تدوین شده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبخیز زرین‌گل با مساحتی حدود ۳۴۲/۸۲ کیلومترمربع به‌عنوان حوضه‌ای مرطوب در جنوب شرقی شهرستان علی‌آباد کتول 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. این حوضه با بیشترین و کمترین ارتفاع ۲۹۹۷ و ۲۸۰ متر با میانگین ارتفاعی ۱۵۳۵ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۱۲ درصدی دارد و شیب خالص آبراههٔ آن ۲/۶ درصد برآورد شده است (شکل ۲).

رودخانهٔ زرین‌گل به‌عنوان یکی از سرشاخه‌های گرگان‌رود، به طول 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 جنوب شرقی- شمال غربی حرکت خود را شروع کرده و پس از عبور از مناطق کوهپایه‌ای شرق علی‌آباد کتول به سمت شمال جریان دارد و در حوالی روستای باغ‌یلمه‌سالیان به رودخانهٔ گرگان‌رود می‌پیوندد. رودخانهٔ زرین‌گل از جمله رودخانه‌های دائمی استان گلستان است که آبدهی مناسب و سیلاب بالایی دارد. براساس آمار و اطلاعات دورهٔ ۴۲ ساله (۱۳۵۳ــ ۱۳۹۵) ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل، از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، وضعیت هیدرولوژیکی و خصوصیات آبدهی رودخانه به شرح جدول ۱ است. بیشترین دبی آب رودخانه در فروردین و کمترین دبی در شهریور به‌ترتیب معادل ۳۱/۲ و ۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه و میانگین دبی آب رودخانه ۲/۱۱ مترمکعب بر ثانیه است. آبدهی سیستم رودخانه‌ای زرین‌گل، حدود ۶۸/۵ میلیون مترمکعب در سال است.



شکل ۲. موقعیت حوضهٔ آبخیز زرین‌گل

جدول ۱. خصوصیات آبدهی رودخانهٔ زرین‌گل در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل (m^3/s)

جریان	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین دبی ماهانه[1]	۱/۱۶	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۱۷	۱/۵۲	۲/۶۹	۵/۹۳	۴/۴۷	۲/۳۴	۱/۵۷	۱/۲۴	۱/۱۹
بیشترین بده ماهانه	۴/۱۸	۴/۵	۴/۷	۴/۵	۱۷/۶	۲۲/۵	۳۱/۲	۲۸/۵	۲۳/۲	۱۵/۹	۷/۸	۴/۹۵
کمترین بده ماهانه	۰/۲۹۳	۰/۱۷	۰/۲۹۶	۰/۲۱۴	۰/۴۷۵	۰/۳	۰/۳	۰/۱۶۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳۵	۰/۰۱
متوسط آبدهی سالانه[2]	۲/۱۱											

مدل River2D

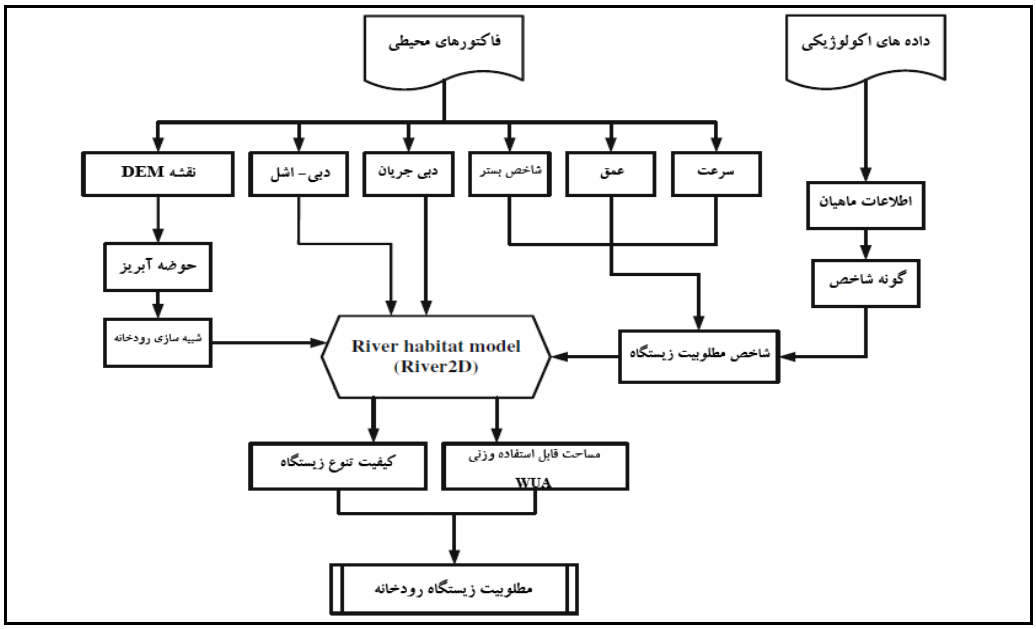
River2D مدلی دوبعدی هیدرودینامیک با روش اجزای محدود است که توسط استفلر و بلک‌بورن [۲۱] در دانشگاه آلبرتای[3] کانادا، برای شبیه‌سازی دوبعدی زیستگاه رودخانه، توسعه یافته و اساس آن بر استفاده از متوسط متغیرها در عمق استوار است. این مدل برای آبراهه‌های طبیعی و برای هر نوع جریان زیربحرانی و فوق بحرانی استفاده می‌شود. مدل یادشده توانایی شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار دارد. از قابلیت‌های این مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی عمق و سرعت، شبیه‌سازی سطوح یخی رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه است. مدل River2D بر مبنای قانون بقای جرم (پیوستگی) و مومنتوم[4] عمل می‌کند. یک معادله مربوط به بقای جرم آب و دو معادلهٔ دیگر به اجزای بردار مومنتوم مربوط‌اند [۲۱ و ۲۲]. مدل می‌تواند مرزهای ورودی و خروجی چندگانه داشته باشد که باید جریان را در هر مرز ورودی مشخص کرد. اگر رودخانه سرشاخه‌های متعددی داشته باشد، باید ورودی را برای هر سرشاخه وارد کرد. روند به کار گرفته‌شده در مدل River2D به‌طور شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

با توجه به آمار و اطلاعات دورهٔ بلندمدت دبی رودخانه، متوسط دبی سالانه، میانگین بیشترین دبی سالانه، میانگین دبی حداقل سالانه، دبی‌هایی در محدودهٔ کمترین و بیشترین دبی سالانه برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شدند. با اجرای مدل، مقدار ضریب زبری مانینگ با توجه به دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه از طریق بازدید میدانی و روابط تجربی، در محدودهٔ مد نظر بین ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۵ متغیر است. پس از واردکردن پارامترهای ورودی و خروجی جریان، گزینهٔ شبیه‌سازی حالت ماندگار توسط River2D انجام شد. با انجام چندین بار مدل‌سازی و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر نتایج مدل، مرحلهٔ بعدی واسنجی مدل دوبعدی River2D است تا از طرفی درصد خطای مدل در پیش‌بینی پارامترها مشخص شود و از طرف دیگر، شرایط استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و اندازه‌گیری پارامترها به وجود آید. به همین منظور، نتایج به‌دست‌آمده از مدل (شبیه‌سازی) با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در حالت میانگین‌گیری‌شده از داده‌ها مقایسه شد تا به دقت مدل در شبیه‌سازی سرعت و عمق پی برده شود. به‌طور کلی، این مدل برای تراز سطح آب، عمق و سرعت‌های اندازه‌گیری‌شده با مقایسهٔ نتایج مدل زمانی که برای تراز سطح آب، عمق و سرعت شبیه‌سازی‌شده است، واسنجی می‌شود.

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه

هدف از تحلیل زیستی، ارزیابی شرایط فرایندها و اندرکنش زیستی و مشخص‌کردن رابطهٔ بین موجودات زنده و غیرزنده است. ماهی‌ها شاخص‌های اکولوژیکی خوبی برای مطالعهٔ آثار بلندمدت (چندین‌ساله) و گسترهٔ تغییرات محیطی به‌شمار می‌روند که به تغییرات محیطی مانند ورود ریزمغذی‌ها، آلاینده‌ها، تغییرات جریان و تغییرات زیستگاهی، پاسخ معنادار و قابل پیش‌بینی می‌دهند [۲۴]. فاکتورهای غیرزیستی (فیزیکی) مانند سرعت جریان آب و بستر رودخانه در پراکنش و فراوانی ماهیان مختلف مؤثرند [۲۵]. واحدهای زیستگاهی ترجیحی ماهی‌ها برای تخم‌ریزی، نواحی شنی کم‌عمق با سرعت ملایم هستند، به‌طوری که ماهی برای ساخت آشیانه به‌راحتی حرکت کند [۲۶]. طی دوره‌های نهفتگی[5] و از تخم درآمدن بچه‌ماهی‌ها، دبی رودخانه باید تنش

1. Mean Monthly Flow (MMF)
2. Mean Annual Flow (MAF)
3. Alberta
4. Momentum
5. Incubation



شکل ۳. فلوچارت مدل [River2D۲۳]

برشی مورد نیاز برای جلوگیری از دپوشدن رسوبات ریز روی شن‌ها را فراهم کند تا تخلخل لازم برای اکسیژن‌دهی رسوبات از طریق جریان آب حفظ شود و نیز مانعی برای خروج بچه‌ماهی‌ها ایجاد نشود. بنابراین، شرایط تنش برشی باید به‌صورتی باشد که علاوه بر فراهم‌کردن شرایط یادشده از تنش برشی آستانه نیز تجاوز نکند تا آبشستگی شن‌ها موجب نمایان و یا مدفون شدن تخم‌ها نشود [۱۸].

گونهٔ سیاه‌ماهی *C. capoeta gracilis* از خانوادهٔ کپورماهیان و یکی از گونه‌های غالب و بومی حوضهٔ آبریز جنوبی دریای خزر با حداکثر طول کل ۳۵ سانتی‌متر است. این گونه از نظر ماهی‌گیری در آب‌های داخلی، صید ورزشی و مطالعات بیوسیستماتیک جانوری نیز اهمیت دارد [۲۶ و ۲۷]. سیاه‌ماهی فراوان‌ترین ماهی موجود در حوضهٔ گرگان‌رود است و پراکنش بسیار وسیعی دارد و بسیار مقاوم به آلودگی و تغییرات دماست. به‌منظور انتخاب یک مدل بیولوژیک دقیق، باید پژوهش‌های دقیق برای دوره‌های زیستی، تولید مثل و سایر موارد بیولوژیک صورت گرفته باشد که در رودخانه‌های استان گلستان به‌طور گسترده، کلیهٔ رفتارهای محیطی خانوادهٔ کپورماهیان بررسی شده است [۲۸ـ ۳۰]. رودخانهٔ زرین‌گل با توجه به دانه‌بندی ذرات بستر از جمله رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه است و پراکنش گونه‌ای مختلف ماهیان بومی منطقه را دارد [۲۸]. در مطالعهٔ حاضر، گونهٔ سیاه‌ماهی بنا به دلایل یادشده و همچنین پراکنش وسیع در رودخانهٔ زرین‌گل، به‌عنوان گونهٔ هدف انتخاب شد.

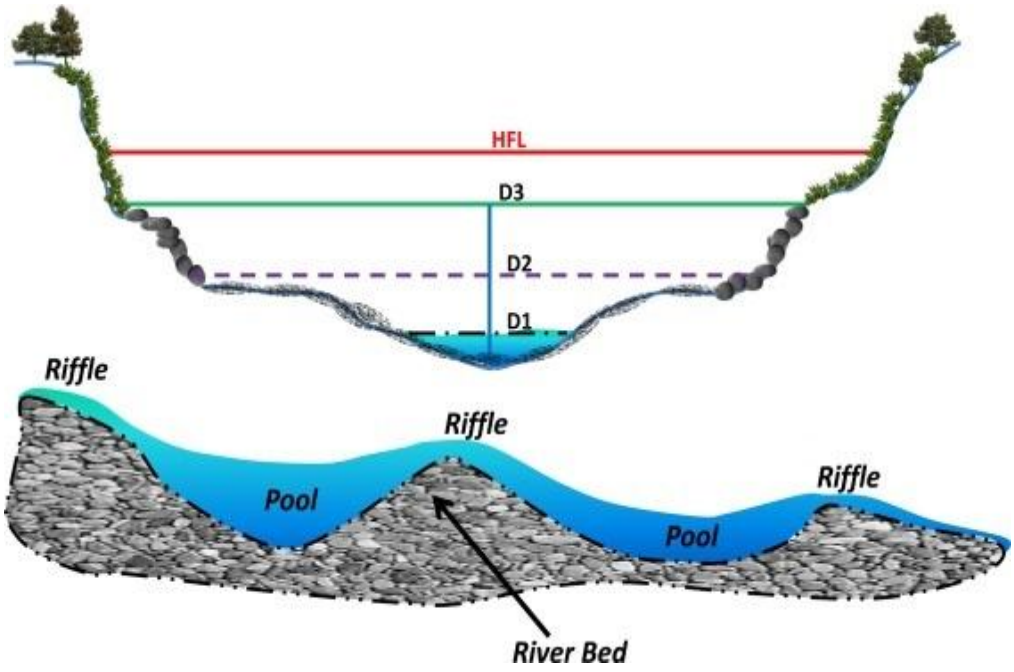
عمق، سرعت جریان آب و بستر، مهم‌ترین متغیرهای فیزیکی و هیدرولیکی برای انتخاب زیستگاه گونهٔ سیاه‌ماهی‌اند. تخم‌ریزی این ماهی بیشتر در اواخر اسفند تا تیرماه و در فصل بهار و در بسترهای سنگی صورت می‌گیرد، اوج تخم‌ریزی ماده‌ها در اردیبهشت و نرها در فروردین است [۲۷]. زیستگاه این ماهی در قسمت‌های پایینی و میانی رودخانه‌ها با آب شفاف تا گل‌آلود، بستر قلوه‌سنگی همراه با ماسه و گل و لای و دمای ۵ تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و pH از ۷ تا ۹ و سرعت جریان آب از ۱ متر بر ثانیه تا راکد است [۳۱].

پارامترهای هیدرولیکی و ریخت‌شناسی رودخانه

نشناختن واحدهای متوسط زیستگاهی رودخانه، موجب استنباط غلط از واقعیت‌های محیط زندگی آبزیان می‌شود. در رودخانه‌ها، ایجاد و توسعهٔ شکل‌های زیستگاه با سلسله روابط پیچیده‌ای همراه است. شکل‌های زیستگاه با توجه به نوع رژیم و نوع رودخانه به صورت گوداب[1]، خیزاب[2] و بینابینی[3] در گسترهٔ وسیعی از رودخانه‌ها مشاهده می‌شوند. ویژگی‌هایی مانند پروفیل‌های یکنواخت مقطع عرضی،

1. Pool
2. Riffle
3. Run

پوشش گیاهی طبیعی، سبب افزایش ناهمگونی عمق و سرعت می‌شود و از این‌رو، زیستگاه‌های متغیری برای گیاهان و جانوران ایجاد می‌کند. با این حال، تأثیر این ویژگی‌ها بر هیدرولیک کانال و انتقال رسوب یک مسئلهٔ پیچیده است [۳۲]. رژیم جریان در زیستگاه گوداب، زیربحرانی و شیب خط انرژی کمتر از شیب سطح آب است. همچنین، ذرات رسوب آن ریزتر از سایر قسمت‌هاست و در آن انتقال جریان به‌کندی صورت می‌گیرد [۳۳]. همچنین، آشفتگی جریان در این نوع زیستگاه‌ها زیاد است و معمولاً اعداد رینولدز بالا در این نوع زیستگاه مشاهده می‌شود. برآمدگی‌های بستر، شکل های ژئومورفولوژیکی مهمی از نظر زیستگاه آبزیان به شمار می‌آیند [۳۴]. این مناطق سبب ایجاد تنوع فیزیکی و به دنبال آن، تغییر در مقدار سرعت، عمق و توربولانس جریان می‌شوند که ایجاد پناهگاه حرارتی و شرایطی مناسب برای زندگی برخی گونه‌های مختلف آبزیان را در پی دارند [۳۵]. جریان در کانال‌های چندین‌ساله، عمق و سرعت لازم برای مهاجرت ماهی‌های بالغ را فراهم می‌کند. پس از مهاجرت، آب آرام گوداب‌ها و کانال‌های جانبی، زیستگاه استقرار ماهی‌های بالغ برای ذخیرهٔ انرژی و تولیدمثل مجدد هستند. ازبین‌رفتن فرم بستر خیزاب سبب به‌هم‌ریختگی و تأثیر روی تمامیت بیولوژیک جریان می شود. همچنین، تغییر در ابعاد ذرات بستر به ماهیان با اندازه‌های گوناگون اجازه می‌دهد تا بتوانند تخم‌های خود را متناسب با اندازهٔ آنها مدفون کنند. شکل بستر رودخانه، تأثیر مشخصی بر زبری بستر و در نتیجه مقاومت جریان دارد. در واقع شکل بستر، تابعی از دبی عبوری، ژئومورفولوژی منطقه و نیروی هیدرودینامیک رودخانه است [۳۲]. هر یک از انواع زیستگاه در مناطق خاصی از رودخانه تشکیل خواهد شد (شکل ۴). از نظر ژئومورفولوژیکی، شرایط مختلفی برای حفظ عمق آب در جریان‌های کم و جریان‌های سیلابی تعیین می‌شود. هنگام تعیین جریان‌های زیست‌محیطی باید به کمترین عمق مورد نیاز جریان آب در دوره‌های نگهداری و پرورش ماهیان (D1) به‌عنوان میانگین طبیعی جریان، حداقل عمق آب لازم برای دوره‌های تخم‌ریزی ماهیان در زیستگاه رودخانه (D2)، D3 به‌عنوان عمق مورد نیاز در جریان‌های سیلابی برای غرق شدن (سیلاب‌دشت)، زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی که یکی از اجزای اکوسیستم رودخانه است و نقش بسیار زیادی در سلامت رودخانه دارد، توجه شود (شکل ۴).



شکل ۴. مفاهیم ارزیابی جریان زیست‌محیطی، نمایش چهار عمق مختلف، توالی تیپ‌های زیستگاه خیزاب و گوداب در مقطع رودخانه [۳۳]

یک مسئلهٔ کلیدی، ارتباط میان فیزیک میکروزیستگاه[1] و جریان در شبیه‌سازی زیستگاه‌هاست [۱۵] که بین میکروزیستگاه و مزوزیستگاه ارتباط برقرار می‌کند و در نهایت در مدیریت جریان رودخانه، نقش خود را نشان می‌دهد. شاخص مطلوبیت زیستگاه[2] معمول‌ترین شاخص استفاده‌شده در بررسی‌های میکروزیستگاهی و ابزاری قدرتمند برای ارزیابی تغییرات زیستگاه در ایستگاه‌های مطالعه‌شده، برای متغیرهای سرعت جریان، عمق و شاخص بستر و به منظور شناسایی نیازهای اکولوژیکی گونهٔ هدف استفاده می‌شود [۶، ۱۴ و ۱۶]. برای هر یک از فاکتورهای زیستگاهی، مقادیر شاخص مطلوبیت[3] بررسی شده در رودخانه که فراوانی افراد گونه‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری است، تعیین می‌شود. مقادیر عددی شاخص مطلوبیت بین صفر و یک است که میزان مناسب‌بودن فاکتورهای زیستگاهی را برای گونهٔ هدف نشان می‌دهد. صفر نشان‌دهندهٔ نامطلوب‌بودن زیستگاه از لحاظ پارامتر مد نظر (عمق، سرعت و...) است و با نزدیک‌شدن به یک، مطلوبیت زیستگاه افزایش می‌یابد [۶]. برای محاسبهٔ شاخص مطلوبیت زیستگاه کل برای گونهٔ مطالعه‌شده در رودخانه، میانگین هندسی $HSI=(SI_1\times SI_2\times\ldots\times SI_n)^{1/n}$ استفاده می‌شود [۱۴].

به‌طور کلی، برای برقراری رابطه میان فرایندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، نیاز به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه[4] است. این منحنی‌ها، امکان ارزیابی شرایط زیست‌محیطی برای باززنده‌سازی زیست‌محیطی، تعیین حقابهٔ زیست‌محیطی، بررسی اثر پدیده‌هایی همچون عملیات تخلیهٔ ناگهانی رسوبات[5] مخزن سد روی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، فرایندهای هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی روی زیستگاه‌های فیزیکی جریان، مدیریت اکوسیستم رودخانه و برنامه‌ریزی منابع آب را دارند [۲۰ و ۳۶]. به‌دلیل نیاز به منحنی‌های مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی و بهره‌مندی از دیدگاه‌های متخصصان اکولوژی آبزیان (گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی گرگان و گنبد کاووس)، داده‌های مورد نیاز برای برازش منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه مهیا شد. نمونه‌برداری از ماهیان برای تولید منحنی‌های مطلوبیت در ماه‌های اردیبهشت و آبان ۱۳۹۶ از ششش ایستگاه نمونه‌برداری (جدول ۲) با حضور تیم عملیاتی (متشکل از پژوهشگران اکولوژی آبزیان و مهندسی آب)، از پایین‌دست رودخانهٔ زرین‌گل به‌صورت نقطه‌ای و دقیق از طریق صید الکتریکی[6] با کمک دستگاه الکتروشوکر (Samus Mp750) به همراه یک تور ساچوک پشتیبان و نیز یک تور گوشگیر ریزچشمه، به سمت بالادست انجام شد. در انتخاب ایستگاه مطالعاتی و نمونه‌برداری میکروزیستگاه، فاکتورهایی شامل قرارداشتن مرزهای محدودهٔ مطالعاتی تحت تأثیر رژیم جریان، داشتن هیدروگراف یکسان در نواحی دارای شرایط مشابه هیدرولوژیکی، تنوع در ریخت‌شناسی رودخانه (عرض کم رودخانه، گودال‌های مسیر رودخانه، زیستگاه‌های سنگلاخی و ایستگاه‌های گیاهی حاشیهٔ رودخانه) و قطعه‌بندی نواحی هیدرولوژیکی به زیرنواحی ژئومورفولوژیکی که هیدروگراف یکسان ولی شیب متفاوت داشته باشند، مد نظر قرار گرفتند. در نقاط حضور ماهی (شکل ۵)، اندازه و تعداد ماهی (برای تخمین سن و مرحلهٔ زندگی آن)، داده‌های مربوط به مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصلهٔ هر مقطع از مقطع پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا (با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی[7])، عمق (با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی)، عرض (با استفاده از متر نواری)، سرعت (با استفاده از سرعت‌سنج[8]) و ساختار بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی)، اندازه‌گیری شده و از ساختار بستر، شکل زیستگاه و پوشش گیاهی اطراف آن، عکس‌برداری شد. ماهیان بعد از بیومتری، بلافاصله در آب تازهٔ رودخانه قرار داده شده و بعد از اطمینان از بازیابی قدرت شنای مجدد، در زیستگاه رهاسازی شدند.

در رودخانهٔ زرین‌گل، سه گونهٔ سیاه‌ماهی، سگ‌ماهی جویباری و ماهی‌خیاطه مشاهده شد که گونهٔ سیاه‌ماهی با بیشترین فراوانی، گونهٔ غالب رودخانه برآورد شد. با توجه به صرف زمان تقریباً برابر در صید نمونه‌ها، فراوانی نسبی ماهیان نیز مشخص شد. این ماهیان (سیاه‌ماهی) در دامنهٔ طبقهٔ طولی ۳۹ـ ۱۵۱ میلی‌متر قرار داشتند. ماهیان صفرساله (بچه‌ماهی) با میانگین طول ۱۱ــ ۶۷ میلی‌متر، بیشترین فراوانی (۵۹ درصد)، ماهیان ۱ تا ۲ ساله (جوان) با اندازهٔ ۹۲ــ

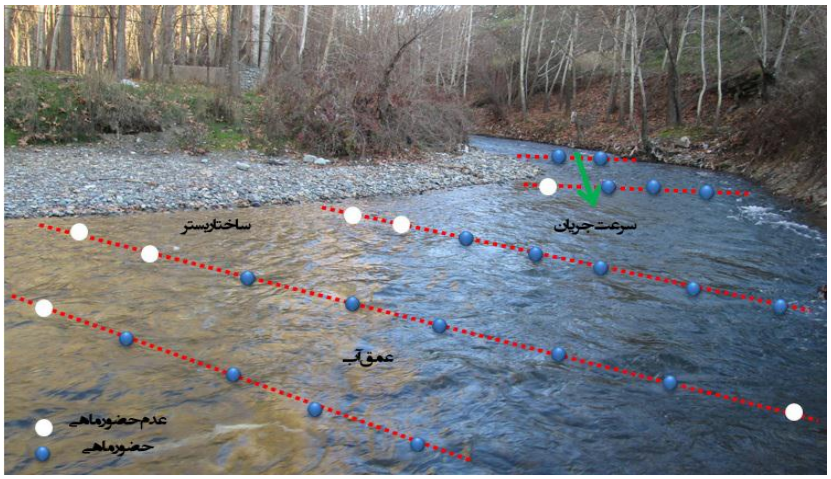
1. Microhabitat
2. Habitat Suitability Index
3. Suitability Index
4. HSC: Habitat Suitability Criteria
5. Sediment Flushing
6. Electrofishing
7. Global Positioning Systems (GPS)
8. Current Meter

۱۱۴ میلی‌متر با فراوانی ۳۰ درصد و ماهیان ۳ و ۴ ساله (بالغ) با اندازهٔ بزرگ‌تر، تعداد و درصد کمتری را به خود اختصاص دادند.

طی بررسی فاکتورهای هیدرولیکی، دبی با عرض رودخانه و عمق، همبستگی مثبت و معنادار داشت و با افزایش این فاکتورها، بر مقدار آن افزوده شد. پارامتر خیزاب با عمق و دبی و پارامتر گوداب همبستگی منفی و معنادار داشت. پارامتر گوداب با عمق همبستگی مثبت و معنادار داشت و در مناطقی که عمق زیاد بود، مناطق زیستگاهی گوداب افزایش می‌یافت، در حالی که با مناطق خیزاب رابطهٔ معکوس داشت. قلوه‌سنگ و گراول نیز همبستگی منفی زیادی با هم داشتند. عرض رودخانه نیز همبستگی مثبت و معنادار داشت (جدول ۳).

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانهٔ زرین‌گل

شمارهٔ ایستگاه	بازه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فرم بستر مزوزیستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	فاصله از پایین‌دست (متر)
۱	پایین‌دست	"۰۳ '۵۳ °۵۴	"۲۹ '۰۴ °۳۷	گوداب	۲۸۷	۰
۲	پایین‌دست	"۱۸ '۵۴ °۵۴	"۰۸ '۰۰ °۳۷	گوداب	۳۳۱	۱۴۲۹
۳	میانی	"۱۶ '۵۷ °۵۴	"۲۵ '۵۲ °۳۶	گوداب	۳۷۹	۴۴۲۶
۴	میانی	"۲۵ '۵۸ °۵۴	"۳۹ '۵۰ °۳۶	خیزاب	۴۶۶	۸۹۳۷
۵	بالادست	"۴۱ '۰۰ °۵۵	"۳۳ '۴۹ °۳۶	خیزاب	۵۱۸	۱۴۹۲۸
۶	بالادست	"۵۲ '۰۱ °۵۵	"۵۱ '۴۸ °۳۶	خیزاب	۵۷۹	۱۹۲۲۳



شکل ۵. نمایش محل‌های حضور و مشاهدهٔ سیاه‌ماهی در رودخانهٔ زرین‌گل در پیچان‌رود

جدول ۳. ضریب همبستگی بین پارامترهای هیدرولیکی و ریخت‌شناسی ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانهٔ زرین‌گل

	سرعت	عرض	عمق	دبی	قلوه‌سنگ	گراول	گوداب	خیزاب
سرعت	۱							
عرض	۰/۲۵	۱						
عمق	۰/۳۴	۰/۳۹	۱					
دبی	۰/۴۵	۰/۸۲**	۰/۷**	۱				
قلوه‌سنگ	-۰/۱	-۰/۳	۰/۰۱	۰/۰۹	۱			
گراول	۰/۱	۰/۳	-۰/۰۱	-۰/۰۹	-۱**	۱		
گوداب	-۰/۱	-۰/۳	۰/۷	۰/۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۱	
خیزاب	۰/۰۶	۰/۴	-۰/۸	-۰/۷**	۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۹**	۱

** سطح معناداری ۰/۰۱

پس از جمع‌آوری داده‌ها، مطابق با اصول اکولوژیک، برای توسعهٔ منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه از شاخص انتخاب زیستگاه ژاکوب[1] استفاده شد [۳۷]. با توجه به مشاهدات میدانی، طبق روش ژاکوب، منحنی‌های مطلوبیت فیزیک زیستگاه توسعه داده شد. در شکل ۶ منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی برای هر سه پارامتر اصلی عمق، سرعت و اندازهٔ ذرات بستر نشان داده شده است. در تقسیم‌بندی ساختار بستر، با توجه به قطر سنگ‌های غالب اندازه‌گیری‌شدهٔ رودخانه، در محدودهٔ شن متوسط (۸ــ ۱۶ میلی‌متر)، شن درشت (۱۶ـ ۱۲۸ میلی‌متر) و شن بسیار درشت و شبیه قلوه‌سنگ (۱۲۸ـ ۲۵۶ میلی‌متر) بودند. در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که جریان‌هایی به‌عنوان جریان زیست‌محیطی مناسب‌اند که بتوانند اعماقی بیش از ۴۰ سانتی‌متر را ایجاد کنند و همچنین سرعت جریان برابر حدود ۰/۵ تا ۰/۸ متر بر ثانیه باشد.

با انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی، منحنی‌های دبی زیستگاهی برای گونهٔ هدف در بازهٔ مطالعه‌شده و در دورهٔ زیستی استخراج می‌شود و با داده‌های سری زمانی دبی جریان رودخانه ترکیب و در نهایت منحنی تداوم فیزیک زیستگاه استخراج می‌شود. با توجه به منحنی تداوم فیزیک زیستگاه، سناریوهای مختلف مدیریت جریان قابل اجراست و تأثیر رژیم‌های مختلف جریان بر میزان زیستگاه در دسترس، بررسی می‌شود. با به‌دست‌آوردن آنالیز سری زمانی زیستگاه با استفاده از منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه گونهٔ آبزی هدف، مقادیر مختلف جریان که سبب افزایش و یا کاهش مطلوبیت زیستگاه می‌شود، تعیین خواهد شد. خروجی مدل River2D، منحنی مساحت قابل استفادهٔ وزنی است، که دبی جریان را به یک شاخص زیستگاه ماهیان برای مراحل مختلف زندگی گونه هدف مرتبط می‌کند.

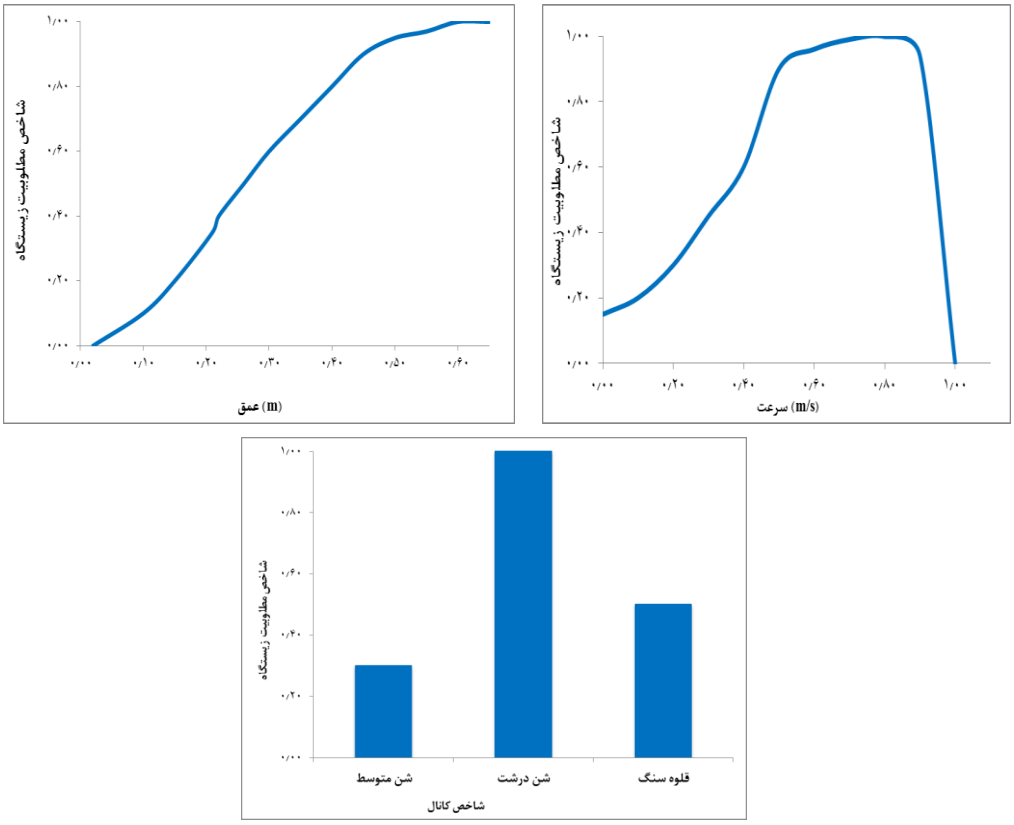
یافته‌ها

در شکل‌گیری طولانی‌مدت فرایندهای اکولوژیکی، رژیم جریان رودخانه و حفظ جریان طبیعی برای دست‌یابی به یکپارچگی، ضروری قلمداد می شود. در رودخانه‌های استان گلستان، دخالت‌های بسیاری مانند سدسازی، فعالیت‌های عمرانی، برداشت شن و ماسه، آلودگی آب، محدودیت برای دسترسی به رودخانه، به رسوبات سیلاب‌دشت و سواحل رودخانه، موجب ازدست‌رفتن سلامت رودخانه از جنبه‌های مختلف اکولوژیکی، مورفولوژیکی و هیدرولیکی شده است [۱۶]. به این منظور، بر پایهٔ چارچوب تحقیق، پس از مطالعات میدانی، برای هر مرحله از زندگی گونهٔ سیاه‌ماهی (نوزادی، جوان و بالغ)، با تولید و توسعهٔ منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه و ورود آن به مدل River2D، مساحت قابل استفادهٔ وزنی همان مرحله استخراج شد و برای دبی‌های مختلف در مدل River2D، منحنی دبی فیزیک زیستگاه به دست آمد. طبق منحنی دبی-فیزیک زیستگاه خیزاب (شکل ۷) در دبی‌های بالا و شرایط سیلابی میزان مساحت قابل استفاده برای هر دو گروه سنی بچه‌ماهی[2] و جوان[3] گونهٔ هدف کاهش می‌یابد، زیرا سیلاب‌ها، مورفولوژی و شرایط زیستگاهی رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌طوری که سیلاب‌های بزرگ و متوالی فرصت بازسازی زیستگاه‌ها را از رودخانه می گیرند و زندگی ماهی‌ها را دچار مخاطره می‌کنند.

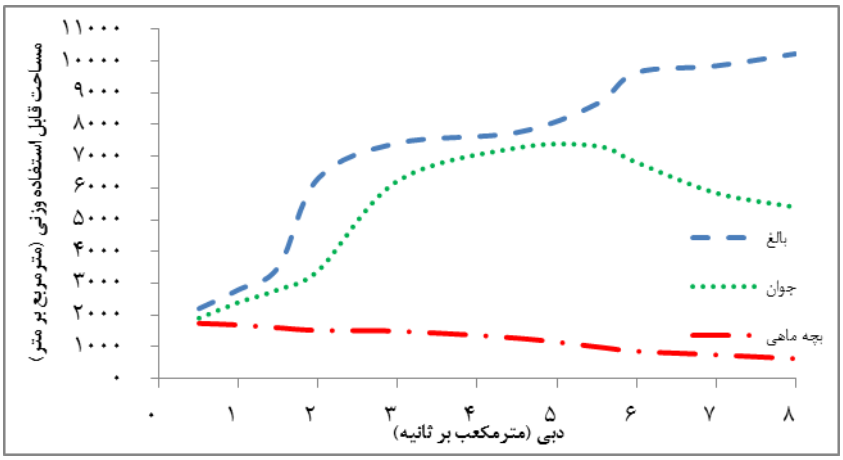
طبق منحنی دبی-فیزیک زیستگاه گوداب (شکل ۸) کاهش جریان به میزان کمتر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۱/۰۵ مترمکعب بر ثانیه است، نیز سبب کاهش میزان مساحت قابل استفاده برای دو گروه سنی جوان و بالغ[4] سیاه‌ماهی شده است، ولی برای بچه‌ماهی شرایط با کاهش میزان دبی جریان مناسب‌تر شده و مساحت قابل استفادهٔ وزنی افزایش یافته است. با استفاده از منحنی دبی–فیزیک زیستگاه خیزاب (شکل ۷) می‌توان نشان داد در دبی معادل ۸ مترمکعب بر ثانیه و حدود ۳۸۰ درصد میانگین دبی سالانه، بیشترین مساحت قابل استفادهٔ وزنی و میزان زیستگاه در دسترس برای سیاه‌ماهی بالغ است و بیشترین مساحت قابل استفادهٔ وزنی برای بچه‌ماهی سیاه‌ماهی در ۲۳ درصد میانگین دبی سالانه (معادل ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه) قرار دارد. همچنین، بیشترین میزان زیستگاه در دسترس برای سیاه‌ماهی جوان در محدودهٔ جریان ۲۶۰ درصد میانگین دبی سالانه (معادل ۵/۵ مترمکعب بر ثانیه) است. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، افزایش جریان به میزان بیش از حداکثر میانگین دبی ماهانهٔ رودخانه (معادل ۵/۹۳ مترمکعب بر ثانیه)، سبب کاهش میزان زیستگاه برای دو گروه سنی بچه‌ماهی و جوان خواهد شد.

1. Jacob Habitat Selection Index

2. Fry
3. Juvenile
4. Adult

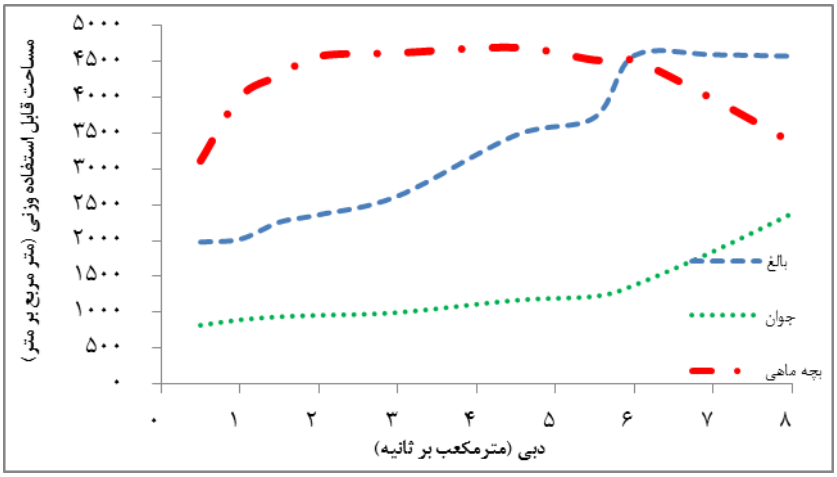


شکل ۶. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی سیاه‌ماهی در رودخانهٔ زرین‌گل



شکل ۷. نمودار دبی-فیزیک زیستگاه برای سه گروه سنی سیاه‌ماهی در زیستگاه خیزاب

در منحنی دبی-فیزیک زیستگاه گوداب (شکل ۸)، بیشترین مساحت قابل استفادهٔ وزنی برای هر یک از گروه‌های سنی بچه‌ماهی، جوان و بالغ به‌ترتیب در دبی‌های ۴/۵، ۸ و ۷ مترمکعب بر ثانیه است. در شکل ۸ واکنش گروه‌های مختلف سنی سیاه‌ماهی نسبت به تغییرات دبی متفاوت است. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دبی، مطلوبیت زیستگاه برای بچه‌ماهی افزایش می‌یابد. واکنش گروه سنی جوان نیز نسبت به تغییرات دبی در ابتدا کم بوده و سپس با افزایش دبی، شرایط زیستگاهی برای این گروه سنی بهبود می‌یابد، اما در گروه سنی بالغ، با افزایش دبی، شرایط فیزیک زیستگاه در حالت بهینه قرار خواهد گرفت.

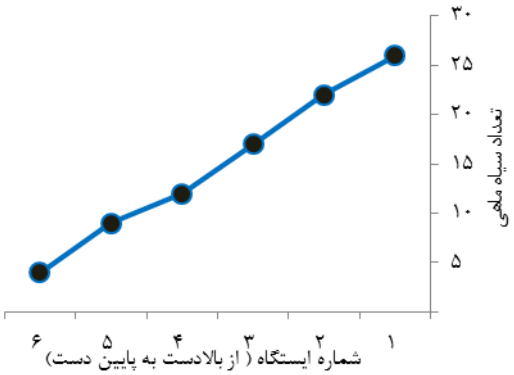


شکل ۸. نمودار دبی-فیزیک زیستگاه برای سه گروه سنی سیاه‌ماهی در زیستگاه گوداب

همچنین، در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود تغییر جریانی که می‌تواند برای یک گروه سنی مفید باشد، ممکن است برای دوره‌ای دیگر مضر باشد. همچنین، جریان آب بیشتر به معنای زیستگاه در دسترس بیشتر نیست، زیرا کیفیت زیستگاه‌های مختلف در آب‌های جاری به‌وسیلهٔ موجودات آنها تعریف شده است و هیچ جریانی بیشترین زیستگاه را برای همهٔ موجودات آبزی حفظ نخواهد کرد که با پژوهش جووت و دیسون [۱۵] مطابقت دارد. عمق، یک شاخص اکوهیدرولیکی مهم در حیات آبزیان رودخانه است. عمق آب می‌تواند محافظی در برابر شکارچیان خشکی و هوایی باشد و فضای بیشتری را برای جست‌وجوی غذا و تغذیه در اختیار قرار دهد. از طرفی، عمق‌های بسیار زیاد هم برای حیات سیاه‌ماهی و خانوادهٔ کپورماهیان مطلوب نیست [۲۵ و ۳۱]، چون ماهی به صرف انرژی بیشتری برای بازگشت به سطح آب برای یافتن غذا نیاز خواهد داشت. ماهیان دارای اندازهٔ بزرگ‌تر، سازگاری بیشتری با تخم‌ریزی در محیط‌های دارای ذرات شنی دارند، زیرا توان آنها برای حفر نسبت به ماهیان با اندازهٔ کوچک‌تر، بیشتر است [۲۹]. نکتهٔ دیگر اینکه، هرچه ماهیان بالغ‌تر می‌شوند، قلمروطلب می‌شوند [۳۰] و به‌همین دلیل ویژگی‌های بستر اهمیت بیشتری خواهد داشت.

افزایش عمق آب، موجب افزایش کنج‌های بوم‌شناسی شده و این مکان‌ها، سبب ایجاد پناهگاه مناسب برای اغلب ماهیان می‌شوند [۲۵]. با افزایش ارتفاع از سطح دریا که از عوامل کنترل‌کنندهٔ مهم در جوامع رودخانه‌زی است [۲۸ و ۳۴]، تعداد سیاه‌ماهیان کاهش می یابد و از آنجا که عامل ارتفاع به‌طور غیر مستقیم بر متابولیسم، تولید مثل، رشد و رفتار ماهیان تأثیر می‌گذارد [۲۶]، این ماهی سازگاری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی با شرایط زیستگاهی بالادست رودخانهٔ زرین‌گل ندارد. با توجه به این موضوع، تنوع گونه‌ای ماهیان از قسمت‌های بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند. سرعت زیاد آب، اثر زیادبودن عمق آب را کاهش می‌دهد و سبب کاهش تنوع گونه‌ای می‌شود، زیرا بسیاری از گونه‌ها، قدرت شنا در برابر جریان آب را ندارند [۳۳]. این اثر را به‌خوبی می‌توان در ایستگاه‌های بالادست رودخانهٔ زرین‌گل مشاهده کرد که با توجه به عمیق‌بودن رودخانه، به علت جریان شدید آب، بسیاری از گونه‌ها، وجود نداشتند. در مطالعهٔ قلی‌زاده و همکارانش [۲۸] نیز زیستگاه مطلوب سگ‌ماهی جویباری *Paracobitis hicanica* در رودخانهٔ زرین‌گل را در شیب کم و سرعت جریان متوسط بیان کرده، به صورتی که تعداد سگ‌ماهیان جویباری با افزایش ارتفاع، کاهش می‌یابد و مناطق زیستی مطلوب ماهیان، مناطق میانی به سمت پایین‌دست است. سرعت جریان آب به‌عنوان یک سد بزرگ در برابر مهاجرت شمار زیادی از گونه‌های ماهی عمل می‌کند [۶]. مهاجرت به بالادست رودخانه به صرف انرژی نیاز دارد که این صرف انرژی، سبب کاهش رفتار مهاجرت به بالادست رودخانه می‌شود. نتایج مشاهدات میدانی (شکل ۹) و توزیع مطلوبیت زیستگاهی در دبی‌های مختلف نشان داد به‌طور کلی محدودهٔ بالادست رودخانهٔ زرین‌گل (با شیب متوسط ۲/۶ درصد) از نظر وضعیت

زیستگاهی در دبی‌های مختلف، ضعیف‌ترین شرایط را دارد و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه، به لحاظ مطلوبیت پارامترهای فیزیک زیستگاه، شرایط مساعدتر خواهد شد. دلیل آن نیز کاهش شیب رودخانه و در نتیجه کاهش سرعت جریان رودخانه و افزایش عمق به سمت پایین‌دست رودخانه است. به بیان دیگر، در صورت حرکت ماهی به بازه‌های بالادست رودخانه، تنش‌های فیزیکی وارد بر آن بیشتر می‌شود و در پی آن، آسیب‌های واردشده بر جوامع گونهٔ سیاه‌ماهی نیز افزایش خواهد یافت. داده‌های میدانی موجود در زمینهٔ تعداد و پراکنش سیاه‌ماهی در ایستگاه‌های مختلف رودخانهٔ زرین‌گل نیز صحت این مطلب را تأیید می‌کند.



شکل ۹. متوسط پراکنش سیاه‌ماهی در رودخانهٔ زرین‌گل

در ادامه، بررسی واسنجی مدل با استفاده از اطلاعات تراز سطح آب و سرعت صورت گرفت. همچنین، اعتبارسنجی بعد از واسنجی انجام شد. در این مرحله مدل واسنجی‌شده با اطلاعات جدید به اجرا درآمد و نتایج محاسبات با اطلاعات اندازه‌گیری‌شده مقایسه شد. سرعت‌های شبیه‌سازی‌شده با سرعت‌های اندازه‌گیری‌شده (در نقاط تصادفی و مقاطع کنترل) مقایسه شد و بر این اساس صحت و دقت نتایج تأیید شد (میانگین خطا کمتر از ۵ سانتی‌متر). فرایندهای مشابه برای سایر پارامترها آزمایش شد. مقادیر دبی-اشل شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده نیز با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین، مدل برای جریان‌های مختلف اجرا شده و جریان‌های مشابه با مدل مناسب زیستگاهی، ارزیابی شد. به‌طور کلی، مدل دوبعدی هیدرولیکی زیستگاه براساس رویکرد قطعی توانایی خوبی را نشان داد. مدل River2D به‌درستی ۸۶ درصد از حضور واقعی و ۸۰ درصد از عدم حضور را پیش‌بینی کرد. همچنین، اختلاف کم خطا بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده، بیان می‌کند که مدل دوبعدی هیدرولیکی درجه‌ای از صحت و دقت زیاد دارد. خطاهای کالیبراسیون مدل می‌تواند مدل‌سازی دوبعدی هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار دهد که می‌تواند به‌دلیل جمع‌آوری داده‌های ناقص و یا نادرست باشد. با این حال، پیش‌بینی عملکرد خوب مدل River2D، توانایی آن را در شبیه‌سازی پارامترهای فیزیک زیستگاه تأیید می‌کند. همچنین، مدل River2D قادر به شبیه‌سازی در حالت جریان غیرماندگار در مقیاس کوچک است.

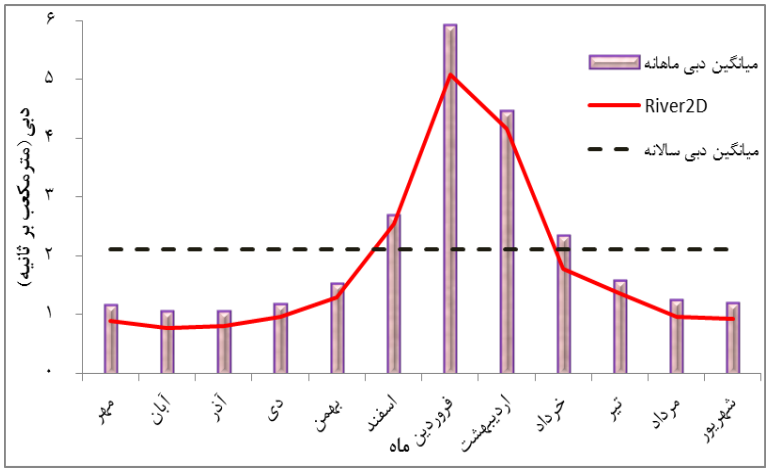
برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی، میزان مساحت قابل استفادهٔ وزنی براساس درصد کاهش زیستگاه، دبی معادل مساحت قابل استفادهٔ وزنی کاهش‌یافته از منحنی دبی- مساحت قابل استفادهٔ وزنی، خوانده شد. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در خروجی نتایج مدل‌های زیستگاهی، همواره باید تحلیل حساسیت صورت گیرد. تحلیل حساسیت این مدل‌ها به این گونه است که احتمال نبود زیستگاه و میزان تأثیرپذیری رودخانه از جریان اکولوژیکی پیشنهادی بررسی می‌شود. عدم تخصیص مناسب جریان زیست‌محیطی، موجب اختلال در فعالیت موجودات آبزی، کاهش قدرت تولید غذای زیستگاه و دسترسی به مناطق مناسب برای تخم‌ریزی و مهاجرت آبزیان می شود [۱۶]. در تحقیقات مختلف، میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونهٔ شاخص حفظ شود، مقادیر مختلفی ارائه شده است [۳ و ۱۹]. همچنین، کمترین سطح حفاظت قابل قبول برای

گونهٔ هدف با توجه به ملاحظات اکولوژیک، معادل ۵۰ درصد بیشترین مساحت قابل استفادهٔ وزنی و به تبع آن ۷۵ درصد حداکثر مساحت قابل استفادهٔ وزنی به عنوان سطح حفاظتی متوسط در تحلیل اکولوژیک در نظر گرفته می‌شود [۶ و ۲۰]. با توجه به شرح روش تحقیق ارائه‌شده، نتایج تحلیل رژیم اکولوژیکی ماهانهٔ پیشنهادی مدل River2D در مقابل میانگین جریان ماهانه در جدول ۴ و شکل ۱۰، آمده است. مطابق با جدول ۴، بیشترین و کمترین جریان زیست‌محیطی برآوردشده برای گونهٔ سیاه‌ماهی در ماه‌های فروردین و مهر به‌ترتیب معادل ۵/۰۹ و ۰/۸۹ مترمکعب بر ثانیه، با میانگین ۱/۷۹ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۴ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که باید درون رودخانهٔ زرین‌گل برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ سیاه‌ماهی (معادل حداقل سطح حفاظت قابل قبول) برقرار باشد. اگر خواهان حفاظت نسبی به معنای ۷۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب هستیم، باید رژیم جریان اکولوژیکی معادل ۲/۶۲ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۱۲۴ درصد جریان طبیعی رودخانه) برای حفاظت از سامانهٔ حیاتی رودخانهٔ زرین‌گل در نظر گرفته شود. بدیهی است که این مقدار تخصیص از جریان رودخانه به رژیم جریان زیست‌محیطی در تمامی ماه‌های سال به شکل پیوسته نمی‌تواند عملی باشد و مشکلات متعددی را برای دیگر بخش‌های منتفع از جریان رودخانه فراهم می‌کند. به این معنا که امکان برداشت کمتری از جریان رودخانه برای مصارف کشاورزی وجود دارد.

در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که مدل River2D قادر به شبیه‌سازی نوسانات طبیعی جریان رودخانهٔ زرین‌گل است، در حالی که رژیم اکولوژیکی به‌دست‌آمده از این روش تقریباً برای همهٔ ماه‌ها کمتر از میانگین جریان ماهانه است. نکتهٔ درخور توجه در این شکل، قرارگرفتن منحنی جریان اکولوژیکی River2D بالای منحنی میانگین دبی سالانه در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت بوده است. با توجه به شکل ۱۰، نتیجه گرفته می‌شود که مدل River2D قادر به ارائهٔ رژیم اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل از دو نظر علمی و عملی است که با نتایج تحقیق فوکودا و همکارانش [۴]، اسچوارتز و همکارانش [۱۳] و یائو و همکارانش [۱۴] مطابقت دارد.

جدول ۴. رژیم اکولوژیکی ماهانهٔ پیشنهادی مدل River2D

جریان	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
جریان زیست‌محیطی	۰/۸۹	۰/۷۶	۰/۸	۰/۹۵	۱/۲۹	۲/۵۴	۵/۰۹	۴/۱۶	۱/۷۷	۱/۳۶	۰/۹۶	۰/۹۲	۱/۷۹



شکل ۱۰. توزیع مقادیر رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی مدل River2D و میانگین دبی ماهانه

میزان فضای مطلوب زیستگاهی در طول رودخانه به‌شدت تحت تأثیر میزان دبی جریان و گروه سنی ماهی است. بنابراین، ضروری است که این توزیع زیستگاهی در مدیریت رودخانه از نظر اکوسیستم آبی و همچنین احیا و بهبود فضاهای زیستگاهی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، مطابق با تحقیقات موئیر و پاسترناک [۸] و یائو و همکارانش [۱۴]، فراوانی گونه‌های مختلف ماهی به توزیع زیستگاه‌های مطلوب در طول رودخانه وابسته است و با افزایش مطلوبیت زیستگاه، تعداد ماهی نیز افزایش خواهد یافت. با شناخت عوامل محدودکنندهٔ مطلوبیت زیستگاه، می‌توان پروژه‌های احیا و بازگردانی زیستگاه رودخانه و بازگشت به وضعیت طبیعی جریان رودخانه را ارائه و اجرا کرد. در زمان وقوع سیلاب‌های با دورهٔ بازگشت زیاد، به‌علت فرسایش‌پذیربودن بستر رودخانهٔ زرین‌گل و رسوب‌گذاری در کف بستر، به مرور زمان از ظرفیت آبگیری رودخانه کاسته می‌شود. به‌همین دلیل، ساماندهی رودخانهٔ زرین‌گل، باززنده‌سازی، حفاظت و بازگردانی زیستگاه ماهیان در پروژه‌های عمرانی مهندسی رودخانه، ضروری به‌نظر می‌رسد. نبودن زیستگاه مناسب به‌دلیل جریان سیلابی، سبب ازبین‌رفتن ماهی‌های سنی پایین‌تر از چهار سال می‌شود. تعداد کم نمونه‌های سیاه‌ماهی به‌خصوص نمونه‌های سنی مسن‌تر، مربوط به سیل مردادماه ۱۳۹۶ در رودخانهٔ زرین‌گل است که خسارت‌های زیادی را به همراه داشت.

خصوصیات هندسی و مورفولوژیکی هر رودخانه از مشخصه‌های اصلی آن به‌شمار می‌آید که به‌واسطهٔ آن‌ها برنامهٔ مدیریتی حوضه و حفظ منابع طبیعی پیرامون آنها و مهندسی رودخانه امکان‌پذیر خواهد بود [۱۷]. تغییرات هیدرومورفولوژیکی به تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم ارتباط دارد. هر گونه دست‌کاری و ایجاد تغییر در اکوسیستم رودخانه‌ها، موجب تغییر در رژیم جریان و بار رسوبی می‌شود [۱۸ و ۲۰]. در مطالعات بسیاری، شرایط فیزیکی زیستگاه، تنوع و ناهمگونی زیستگاه و ویژگی‌های سیمای محیط به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در فراوانی و تراکم گونه‌های ماهی مطرح شده اند [۱۰، ۲۴ و ۳۳]. از جمله خصوصیات سیمای محیط در رودخانهٔ زرین‌گل، قرارگرفتن در ناحیهٔ کوهپایه‌ای و در محیطی جنگلی است. در مطالعات دیگر ثابت شده است که جنگل‌ها با تأثیر بر دمای آب و هوا، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سایه‌اندازی و تولید پناهگاه برای درشت بی‌مهرگان کفزی و ماهیان کفزی، کاهش میزان بار رسوبی، تأثیر زیادی در فراهم‌آوردن زیستگاه مناسب و حفظ ناهمگونی آن دارند [۲۸ و ۳۵]. نتایج مطالعهٔ کیم و همکارانش [۲] در تعیین جریان زیست‌محیطی با استفاده از مدل River2D نشان داد مساحت قابل استفادهٔ وزنی با توجه به میزان جریان تغییر می‌کند، که با نتایج مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد. نتایج پژوهش اروین و همکارانش [۱۲] با مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیکی زیستگاه در پایین‌دست رودخانهٔ میسوری[1] آمریکا نشان داد دسترسی به زیستگاه‌های تولید مواد غذایی، مساحت قابل استفادهٔ وزنی و منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه ماهیان خاردار *Scaphirhynchus albus*، تحت تأثیر تغییرات هیدرولیکی توزیع عمق و سرعت و جریان سیلابی قرار می‌گیرد. ماکورا و همکارانش [۳۶] در مطالعهٔ کیفیت زیستگاه آبراههٔ کوهستانی در اسلواکی بیان کردند که با توسعه و تعمیم منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه در دامنهٔ وسیع جریان رودخانه، می‌توان برای حمایت از احیا و باززنده‌سازی رودخانه استفاده کرد. ضعف مدل‌های ریاضی یک‌بعدی در شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه، ناتوانی در مدل‌سازی هیدرولیکی به‌منظور توصیف تغییرات مقطع عرضی کانال است و همچنین وابستگی زیادی به کیفیت منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه دارد. به‌همین دلیل، قادر به ارائهٔ تغییرات بین مقاطع عرضی نیستند. از سوی دیگر، مدل‌های دوبعدی هیدرودینامیکی مانند مدل River2D در مشارکت‌دادن توپوگرافی بستر رودخانه، مدل‌سازی هیدرولیکی دوبعدی و شاخص‌های ترکیبی مطلوبیت زیستگاهی موفق بوده‌اند. این مدل برای اهداف بازسازی زیستگاه، تخمین دقیق از زیستگاه با کیفیت خوب برای گونهٔ شاخص ارائه می‌کند، اما به‌رغم مشارکت‌دادن پارامترهای هیدرولیکی و هیدرومورفولوژیکی در مدل‌سازی زیستگاه، تغییرات زمانی را در نظر نمی‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

به‌منظور ارزیابی سلامت رودخانه‌ها، استفاده از رویکردهای توسعه‌یافتهٔ مدل‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، ضروری است. روش شبیه‌سازی زیستگاه با مدل‌سازی آثار تغییر

1. Missouri

جریان روی زیستگاه آبزیان در رودخانه، رژیم جریان مطلوب زیستگاه‌ها را تعیین می‌کند. به‌طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد سیاه‌ماهی به تغییرات پارامترهای مختلف از جمله پارامترهای هیدرولیکی در طول رودخانهٔ زرین‌گل واکنش نشان می‌دهد. به دلیل اهمیت جریان‌های بهاره در فرایند تخم‌ریزی آبزیان بومی رودخانه و برای جلوگیری از پرشدن محل تخم‌ریزی آبزیان با رسوبات درشت‌دانه، باید به مدیریت اکولوژیکی جریان‌های زیست‌محیطی توجه زیادی شود تا از بروز تنش آبی شدید بر اکوسیستم رودخانه بکاهد. در برآورد کمترین جریان زیست‌محیطی و در مواردی که در رودخانه، گونهٔ حساس و مهمی موجود باشد، شبیه‌سازی هیدرولیکی زیستگاه کاملاً ضروری است. به این منظور، استفاده از مدل هیدرودینامیکی River2D برای مدل‌سازی فیزیکی زیستگاه و همچنین مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونهٔ هدف، می‌تواند به بهبود عملکرد مدل‌سازی در اکوهیدرولیک و پیش‌بینی دینامیک زیستگاه برای محافظت از زیستگاه مناسب سیاه‌ماهی در اکوسیستم رودخانهٔ زرین‌گل کمک کند. مطالعات بیشتر می‌تواند اعتبار به‌کارگیری این مدل برای رودخانه‌های داخل کشور را نشان دهد.

تقدیر و تشکر

به این وسیله از راهنمایی‌های ارزندهٔ اعضای هیئت‌علمی گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و گنبد کاووس، همچنین از همفکری‌های جناب آقای دکتر Mark Gard بیولوژیست ادارهٔ شیلات و حیات وحش آمریکا، دکتر Rafael Munoz-Mas در انستیتو اکولوژی آبزیان دانشگاه گیرونای اسپانیا، سرکار خانم مهندس مریم محمدی و جناب آقای مهندس سعید نیک‌قلب، همراهی و همکاری تیم مطالعات میدانی، سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

منابع

[1]. Melcher A, Hauer C, Zeiringer B. Aquatic Habitat Modeling in Running Waters. In Riverine Ecosystem Management. Springer, Cham. 2018; pp. 129-149.

[2]. Kim KO, Park YK, Kang JI, Lee, BS. Estimation of Ecological Flow & Habitat Suitability Index at Jeonju-Cheon Upstream. Journal of Korean Society of Environmental Engineers. 2016; 38: 47-55.

[3]. Zhang W, Yao WW, Li L, Zhang, Q. Using an eco-hydrodynamic model to simulate the impact of trunk dam construction on Kraal River fish habitat & community. International Journal of Environmental Research. 2016; 10: 227-236.

[4]. Fukuda S, Tanakura T, Hiramatsu, K, Harada M. Assessment of spatial habitat heterogeneity by coupling data-driven habitat suitability models with a 2D hydrodynamic model in small-scale streams. Ecological informatics. 2015; 29: 147-155.

[5]. Wheaton JM, Bouwes N, Mchugh P, Saunders C, Bangen S, Bailey P, et al. Upscaling site-scale ecohydraulic models to inform salmonid population-level life cycle modeling & restoration actions–Lessons from the Columbia River Basin. Earth Surface Processes & L&forms. 2018; 43(1): 21-44.

[6]. Ayyoubzadeh S.A, Sedighkia M, Hajiesmaeili M. Ecohydraulics and Simulation of River Habitats.Water Engineering Research Institude Tarbiat Modares University. 2018; pp252. [Persian]

[7]. Maddock I., Harby A., Kemp P., Wood P.J. Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons. 2013; 1.

[8]. Moir HJ, Pasternack, GB. Relationships between mesoscale morphological units, stream hydraulics & Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) spawning habitat on the Lower Yuba River, California. Geomorphology. 2008; 100(3): 527-48.

[9]. Escobar-Arias M., Pasternack G.B. A hydrogeomorphic dynamics approach to assess in-stream ecological functionality using the functional flows model, part 1—model characteristics. River Research & Applications. 2010; 26(9): 1103-28.

[10]. Arias MIE. Evaluating streamflow to characterize ecological functions of physical habitat in rivers. University of California, Davis. 2007; 3317922.

[11]. Escobar M, Pasternack G. Differences in river ecological functions due to rapid channel alteration processes in two California rivers using the functional flows model, part 2–model applications. River Research & Applications. 2011; 26(9): 1103-28.

[12]. Erwin S.O., Jacobson R.B., Elliott C.M. Quantifying habitat benefits of channel reconfigurations on a highly regulated river system, Lower Missouri River, USA. Ecological Engineering. 2017; 103: 59-75.

[13]. Schwartz JS, Neff KJ, Dworak FE, Woockman RR. Restoring riffle-pool structure in an incised, straightened urban stream channel using an ecohydraulic modeling approach. Ecological Engineering. 2015; 78: 112-126.

[14]. Yao W, Liu H, Chen Y, Zhang W, Zhong Y, Fan H, Bamal S. Simulating Spawning & Juvenile Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Habitat in Colorado River Based on High-Flow Effects. Water. 2017; 9: 150.

[15]. Jowett IG., Duncan MJ. Effectiveness of 1D & 2D hydraulic models for instream habitat analysis in a braided river. Ecological Engineering. 2012; 48: 92-100.

[16]. Naderi MH, Zakerinia M, Salarizji M. 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. 2018; 5(3): 941-955. [Persian]

[17]. Shokoohi A, Amini M. Introducing a new method to determine rivers' ecological water requirement in comparison with hydrological and hydraulic methods. International Journal of Environmental Science and Technology. 2014; 11(3):747-56.

[18]. Tabatabai MM, Nadushan RM, Hashemi S. Impact of hydrogeomorphic processes on ecological functions of brown trout habits. International Journal of Environmental Science and Technology. 2017; 14(8): 1757-70.

[19]. Holmes RW, Rankin DE, Ballard E, Gard M. Evaluation of Steelhead passage flows using hydraulic modeling on an unregulated coastal California River. River Research & Applications. 2016; 32: 697-710.

[20]. Johnston C, Zydlewski GB, Smith S, Zydlewski J, Kinnison M.T. River Reach Restored by Dam Removal Offers Suitable Spawning Habitat for Endangered Shortnose Sturgeon. Transactions of the American Fisheries Society. 2018; 163-175.

[21]. Steffler P, Blackburn J. River2D: Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics & Fish Habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling & User's Manual. University of Alberta, Edmonton, Canada. 2002; pp120.

[22]. De Souza Castro ERR, Moreira MC, Da Silva DD. Environmental flow in the River Ondas basin in Bahia, Brazilian Cerrado. Environmental monitoring & assessment. 2016; 188(1): 68.

[23]. Chou WC., Chuang MD. Habitat evaluation using suitability index & habitat type diversity: a case study involving a shallow forest stream in central Taiwan. Environmental monitoring & assessment. 2011; 172(1-4): 689-704.

[24]. Oberdorff T, Pont D, Hugueny B, Porcher JP. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health'in France. Freshwater Biology. 2002; 47(9): 1720-1734.

[25]. Ahmadzadeh M, Poorbagher H, Eagderi S. 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. 2018; 6(9): 99-108. [Persian]

[26]. Anvarifar H, Farahm H, Nematollahi MA., Rahmani H, Karami M, Khalili B. Association analysis between morphometric & RAPD markers in siah mahi, Capoeta capoeta gracilis, within tajan river. New genetics. 2012; 7(2): 165-173.

[27]. Abdoli A. The inland water fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife. 2000; pp378. [Persian]

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

[29]. Shamekhi K, Patimar R, Ghorbani R, Kordjazi Z. Comparison relative of abundance of Capoeta capoeta gracilis in five streams of Gorganroud River Basin, Golestan Province, Northern Iran. Journal of Research in Biology. 2012; 1: 19-22.

[30]. Patimar R, Ownagh E, Jafari N, Hosseini M. Intrabasin variation in allometry coefficients of Lenkoran Capoeta capoeta gracilis (Keyserling, 1861) in the Gorganroud basin, southeast Caspian Sea, Iran. Journal of Applied Ichthyology. 2009; 25(6): 776-778.

[31]. Abdoli A., Naderi M. Biodiversity of Fishes of the Southern Basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication. 2009; pp242. [Persian]

[32]. Najafabadi EF., Afzalimehr H, Rowinski PM. Flow structure through a fluvial pool-riffle sequence–Case study. Journal of Hydro-environment Research. 2018; 19: 1-15.

[33]. Tare V, Gurjar SK, Mohanta H, Kapoor V, Modi A, Mathur RP, Sinha R. Eco-geomorphological approach for environmental flows assessment in monsoon-driven highl&

rivers: A case study of Upper Ganga, India. Journal of Hydrology: Regional Studies. 2017; 13: 110-121.

[34]. Tonina D, Buffington JM. Hyporheic exchange in gravel bed rivers with pool-riffle morphology: Laboratory experiments & three-dimensional modeling. Water Resources Research. 2007; 43(1): 1-16.

[35]. White JQ, Pasternack GB, Moir HJ. Valley width variation influences riffle–pool location & persistence on a rapidly incising gravel-bed river. Geomorphology. 2010; 121(3-4): 206-221.

[36]. Macura V, Stefunkova ZS, Majorosova M, Halaj P, Skrinar A. Influence of discharge on fish habitat suitability curves in mountain watercourses in IFIM methodology. Journal of Hydrology & Hydromechanics. 2018; 66(1): 12-22.

[37]. Olsen N. Numerical Modelling & Hydraulics, 3rd Edition, Department of Environmental Engineering: The Norwegian University of Science & Technology. 2012; pp158.