

شبیه‌سازی و ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی رودخانه با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی SEFA (مطالعه موردی: رودخانه کردان)

مهتاب قمبری محمدی^۱، سید علی ایوب‌زاده^{۲*}، مهدی یاسی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۷/۱، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱/۲۵)

چکیده

هدف اصلی از مطالعه حاضر، بررسی شرایط مطلوبیت زیستگاهی در یک بازه معرف از رودخانه کردان برای گونه هدف آبی (سگ‌ماهی جویباری)، با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی SEFA است. طبق بررسی‌های انجام‌شده تا کنون از این نرم‌افزار در ایران استفاده نشده است. نخست با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه کردان و نرم‌افزار ArcGIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد. محاسبات و شبیه‌سازی هیدرولیکی در این مدل شامل شبیه‌سازی تراز سطح آب با استفاده از دو روش منحنی بده-اشل و پروفیل طولی تراز سطح آب (WSP) است. واسنجی مدل WSP از طریق تنظیم ضریب زبری مانینگ برای ایجاد انطباق مناسب بین تراز سطح آب مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل است. پس از شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی در مدل SEFA، بین هیدرولیک جریان و نیازهای زیستگاهی، با استفاده از شاخص مطلوبیت زیستگاهی (AWS)، رابطه برقرار شد و منحنی‌های بده-زیستگاه گونه هدف در بازه مطالعه شده استخراج شد. با بررسی بازه رودخانه، بهترین بده‌های ارزیابی شده (۲/۰۵-۲/۰۶۳ m³/s) برای گونه هدف، مشخص شد. بر اساس سری زمانی ماهانه جریان و زیستگاه، در ماه بهمن میزان مطلوبیت در ۷۵ درصد روزهای این ماه بیشتر از ۲/۰۳ m²/m است که نسبت به سایر ماه‌ها در این ماه حداکثر مطلوبیت رخ می‌دهد و کمترین مساحت مطلوب وزنی (شهریور) ۱۳ درصد است. توزیع مطلوبیت زیستگاهی در بده‌های مختلف نشان داد مطلوبیت در بخش‌های میانی و پایین‌دست بیشتر است.

کلیدواژگان: جریان محیط زیستی، رودخانه کردان، گونه سگ‌ماهی جویباری، مدل اکوهیدرولیکی SEFA، مساحت مطلوب وزنی (AWS).

مقدمه

تغییرات رژیم رودخانه و حجم آب طی سال، موجب تغییرات هیدروفیزیکی، هیدروشیمیایی و دمای آب می‌شود و تغییرات کمی و کیفی آب، تغییر در اکوسیستم رودخانه را به همراه دارد. همچنین، تغییرات اخیر در فناوری به لزوم بهبود رویکردها برای مدل‌سازی زیستگاه رودخانه و ارزیابی جامع‌تر جریان محیط زیستی منجر شده است. رویکرد جریان افزایشی رودخانه‌ای^۱ (IFIM) چارچوب مؤثری برای ارزیابی جریان محیط زیستی ارائه کرد، ولی نرم‌افزار جامعی که امکان اجرای کامل این چارچوب را داشته باشد، ارائه نکرد. SEFA^۲ نرم‌افزار جدیدی برای پیاده‌سازی چارچوب IFIM است [۱]. IFIM ابتدا توسط گروه جریان رودخانه‌ای^۳ (IFG) سرویس حیات وحش آمریکا^۴ (USFWS) در کلرادو برای تنظیم قواعدی برای ارزیابی آثار پروژه‌های توسعه آب روی اکوسیستم‌های آبی توسعه داده شد [۲ و ۳]. مدل‌های کامپیوتری سازوکاری را برای کیفیت زیستگاه آبریان در واحد طول رودخانه ایجاد می‌کنند. این مدل‌ها به وسیله ارتباط هیدرولیک جریان با منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه شاخصی به نام مساحت قابل استفاده وزنی^۵ (WUA) را برای زیستگاه ایجاد می‌کنند. در مدل SEFA، اصطلاح AWS^۶ به جای WUA استفاده می‌شود. علت تغییر یادشده این است که WUA معرف مساحت واقعی نیست و این مسئله به گمراهی منجر می‌شود، در حالی که AWS شاخص مطلوبیت ترکیبی (CSI) است برای هر نقطه اندازه‌گیری شده (یک‌بعدی یا دوبعدی) و به وسیله مساحت، وزن داده شده است [۴]. مدل‌های دیگری می‌توانند شاخص زیستگاه را به هیدرولوژی پیوند دهند تا این شاخص را در متن تغییرپذیری جریان رودخانه قرار داده و تحلیلی برای سری زمانی کل زیستگاه ارائه دهند. مجموعه مدل‌ها برای کمی‌سازی مطلوبیت زیستگاه در واحد طول رودخانه به‌طور کلی به عنوان PHABSIM^۷ یا شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه شناخته می‌شوند (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه مراجعه شود به منابع ۱، ۵ و ۶). طی سال‌ها علاوه بر نسخه فعلی

PHABSIM، چندین نسخه نرم‌افزاری برای کمی‌سازی مطلوبیت سطح زیستگاه در واحد طول رودخانه مانند PHABSIM توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۸ (USGS)، RHYHABSIM در نیوزلند، EVHA در فرانسه، RSS در نروژ و... به وجود آمد [۴]. مدل اکوهیدرولیکی SEFA از طریق ارتباط نسخه‌های اولیه نرم‌افزار شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه با همکاری برنامه‌نویسان مدل‌های اکوهیدرولیکی PHABSIM، RHYHABSIM، RHABSIM و به کار بردن تجربه‌های ارزشمندشان در توسعه و استفاده این نرم‌افزارها، در یک برنامه ۳۲ بیتی سازگار با ویندوز ۷، توسعه داده شد [۴]. از قابلیت‌های گسترده این مدل، استفاده از نتایج مدل‌های هیدرولیکی یک‌بعدی مانند PHABSIM و دوبعدی نظیر River2D است. همچنین، به تحلیل سری‌های زمانی جریان، مدل‌سازی اکسیژن محلول، مدل‌سازی دمای آب و مدل‌سازی سواحل رودخانه نیز می‌توان اشاره کرد [۴].

در سال‌های اخیر روش شبیه‌سازی زیستگاه‌ها به‌طور گسترده به کار برده شده است و از یک سری داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اکولوژیکی استفاده می‌کنند [۷] که در آمریکا به عنوان روش‌های قابل اعتماد و قابل دفاع مطرح هستند و نسبت به سایر روش‌ها، مطمئن‌ترند [۸]. استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی بر نتایج ارزیابی زیستگاه رودخانه و نتیجه‌گیری حاصل از این ارزیابی در مدیریت رودخانه مؤثر است. در مطالعه‌ای که به این منظور انجام گرفته است، از سه مدل PHABSIM، HARPFA و MesoHABSIM برای بخشی از رودخانه Quinebaug ایالت ماساچوست آمریکا استفاده شده و منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه تولیدشده توسط هر یک از مدل‌ها مقایسه شد. برای بررسی تأثیر انتخاب مدل در پاسخ به سؤال‌هایی مانند «کدام موقعیت یا جریان زیستگاه بیشتری را فراهم می‌کند؟»، از همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن^۹ استفاده شده است. ارتباط بین پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه و حضور ماهی (آبزی) در همان مکان با مشاهدات تخصصی ماهی بررسی شد. این مطالعه نشان داد: ۱- از مدل‌های به کار برده‌شده، فقط پیش‌بینی‌های MesoHABSIM با مشاهدات ماهی همبستگی دارد. ۲- اختلاف در مدل‌های ریزمقیاس (PHABSIM & HARPFA) بزرگ‌تر از اختلاف بین

1. IFIM: Instream Flow Incremental Methodology
2. SEFA: System for Analysis Flow Flow
3. IFG : Instream Flow Group
4. USFWS :U.S. Fish and Wildlife Service
5. WUA: weighted usable area
6. AWS: Area Weighted Suitability
7. PHABSIM : Physical Habitat Simulation

8. USGS: U.S. Geological Survey
9. Spearman's Correlation of Ranks

شاخص زیستگاه در SEFA به صورت مساحت مطلوب وزنی (AWS) در واحد m^2/m یا ft^2/ft به صورت شاخص مطلوبیت ترکیبی (CSI) برای بازه بررسی شده یا مقطع بیان می‌شود [۱۲]. CSI براساس متغیرهای فیزیکی (عمق آب، سرعت، مواد بستری و ویژگی‌های دیگر در صورت نیاز) در منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه است. اگر مطلوبیت زیستگاه مناسب باشد، وزن آن یک است و اگر نامناسب باشد، وزن آن صفر است [۴]. SEFA روش‌های استاندارد را برای ارتباط هیدرولیک رودخانه و منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه پیاده‌سازی می‌کند و نتایج را در بازه، در مقطع، در نقاط یک مقطع و به صورت تغییرات زیستگاه یا متغیر زیستگاه^۴ نشان می‌دهد [۴]. تغییرات زیستگاه می‌تواند به صورت ضرب، میانگین هندسی یا حداقل مطلوبیت ترکیب شود. دو مدل آماری مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته^۵ و رگرسیون چندگانه^۶ خطی که مکان‌های احتمال استفاده یا فراوانی گونه را پیش‌بینی می‌کنند، در SEFA در دسترس است و می‌تواند به جای CSI در مقاطع، در بازه بررسی شده استفاده شود [۴].

با توجه به مدیریت نادرست حوضه‌های آبریز در سال‌های اخیر، آبراهه زیستگاه آبریان دچار تغییرات غیرطبیعی شده‌اند که این مسئله تأثیرات بدی بر زیستگاه طبیعی ماهیان رودخانه دارد. با استفاده از نتایج تحقیقات اکوهیدرولیکی می‌توان عوامل هیدرولیکی، کیفی و اکولوژیکی مؤثر بر زیستگاه طبیعی آبریان را کمی کرده و تحلیل کرد. در پژوهش حاضر، هدف اصلی شبیه‌سازی و بررسی تغییرات مساحت مطلوب وزنی در رودخانه کردن برای سگ‌ماهی جویباری، با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی SEFA است. طبق بررسی‌های انجام‌شده تا کنون از این مدل اکوهیدرولیکی در ایران استفاده نشده است. با توجه به اطلاعات محدودی که در مورد زیستگاه و نیازهای اکولوژیکی سگ‌ماهی جویباری در دسترس است [۱۳]، این‌گونه آبرزی از لحاظ اکولوژیک و ذخایر ژنتیکی کشور اهمیت زیادی دارد، ولی هنوز به‌طور دقیق شناسایی نشده است [۱۴]. با توجه به اینکه اطلاعات زیادی در ارتباط با بوم‌شناسی و زیستگاه این گونه آبرزی وجود ندارد، در تحقیق حاضر از اطلاعات تحقیق طباطبایی (۱۳۹۱) در رودخانه کردن استفاده شده است.

مدل‌های ریز^۱ (HARPHA) و متوسط مقیاس^۲ (MesoHABSIM) در این مطالعه پیشنهاد شده است که این اختلاف در نتایج مدل ممکن است به نتیجه‌گیری نادرست منجر شود، به‌خصوص اگر تحلیل تغییرات منحنی زیستگاه- جریان^۳ نقطه پایان مطالعه جریان رودخانه‌ای باشد [۹]. مدل PHABSIM نخستین و رایج‌ترین مدل به‌کاررفته در زمینه شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه است [۷]. مهم‌ترین ایراد این مدل، نبود اطلاعات لازم برای جامعیت بخشیدن به آن برای انتقال نتایج از مکانی به مکان دیگر است. همچنین، ایراد دیگر این مدل محدودیت گونه‌هایی است که این مدل برای کار روی زیستگاه آنها توسعه داده شده است [۱۰]. از سوی دیگر، با توجه به مسئله کم‌آبی در کشور و رقابت مصرف‌کنندگان برای تخصیص آب و همچنین، مدیریت نادرست حوضه آبریز و افزایش استحصال آب برای مصارف کشاورزی، شهری و... که به تغییر رودخانه‌ها و آثار منفی بر اکوسیستم آنها منجر شده است [۷]. لزوم استفاده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی زیستگاه رودخانه به دلیل ارائه نتایج دقیق‌تر و همچنین برای حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و بهره‌برداری پایدار از منابع آبی در کشور توصیه می‌شود. یکی از پارامترهای بسیار مهم در ارزیابی سلامت محیط زیستی رودخانه، حضور و وضعیت زیستی موجودات زنده در رودخانه است. توزیع و فراوانی ماهی‌ها در رودخانه به‌شدت تحت تأثیر فرایندهای بستر رودخانه است که مورفولوژی رودخانه و ساختار زیستگاه رودخانه آن را کنترل می‌کند [۱۱]. از آنجا که با استفاده از نتایج مدل‌های شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه، تغییرات مساحت مطلوب وزنی در رودخانه و اثر نوسان‌های جریان سالانه بر زیستگاه رودخانه دقیق و واضح‌تر مشخص می‌شود، استفاده از این مدل‌ها مانند مدل اکوهیدرولیکی SEFA برای بهبود وضعیت زیستی رودخانه‌ها و انجام تحقیقات متعدد با استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی و مقایسه نتایج آنها در کشور توصیه می‌شود. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه در SEFA سبب می‌شود تا کیفیت نسبی زیستگاه‌های مختلف از فراوانی موجودات زنده در آنها تعیین شود. معمولاً، در جاهایی که کیفیت بهتر است، فراوانی موجودات زنده بیشتر است.

4. Habitat Variable
5. GAMS: Generalized Additive Models
6. Multiple Linear Regression

1. Microscale Models
2. Mesoscale Models
3. Flow-habitat

کیلومترمربع، از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه نمک واقع در شمال غربی کشور است. این حوضه آبریز و سرشاخه‌های آن در شمال غربی استان البرز واقع شده است. در شکل ۱ نمایی از نقشه ایران، استان البرز و جانمایی نقشه DEM رودخانه کردان نمایش داده شده است (جهت جریان شمال شرقی به سمت جنوب غربی است).

به منظور انجام پژوهش حاضر، برای بررسی دقیق‌تر تأثیر پارامترها، طول رودخانه کردان (۱۰ کیلومتر) به ۲۴ بازه تقسیم شد به طوری که بازه اول در پایین دست رودخانه و بازه ۲۴ در بالادست رودخانه واقع شده است. در گام اول، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه و نرم افزار ArcGIS، ایجاد شد. قبل از ورود به مدل زیستگاهی SEFA و شبیه سازی هیدرولیکی توسط این مدل، با ارسال اطلاعات تهیه شده به نرم افزار HEC-RAS شبیه سازی هیدرولیکی رودخانه انجام گرفت. در مرحله بعد با ورود داده های مورد نیاز به مدل SEFA شبیه سازی هیدرولیکی و شبیه سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی و بعد از آن، شبیه سازی زیستگاهی انجام شد. منحنی های مطلوبیت عمق، سرعت و مواد بستری برای سگ ماهی جویباری با توجه به نتایج تحقیقات طباطبایی (۱۳۹۱) وارد مدل شد [۱۷]. با استخراج منحنی های بده فیزیک زیستگاه، مطلوبیت رودخانه از لحاظ مقدار و موقعیت بررسی شد. منحنی سری زمانی زیستگاه و منحنی تداوم زیستگاه برای گونه هدف استخراج شد. در شکل ۲ نمایش یکی از مقاطع عرضی رودخانه در محیط نرم افزار ArcGIS و انطباق آن با واقعیت ارائه شده است.

رودخانه کردان معرف مناسبی از رودخانه های جنوبی البرز است و وضعیت زیستی این گونه آبرزی می تواند به خوبی کیفیت زیستگاهی این رودخانه ها را تبیین کند [۱۵].

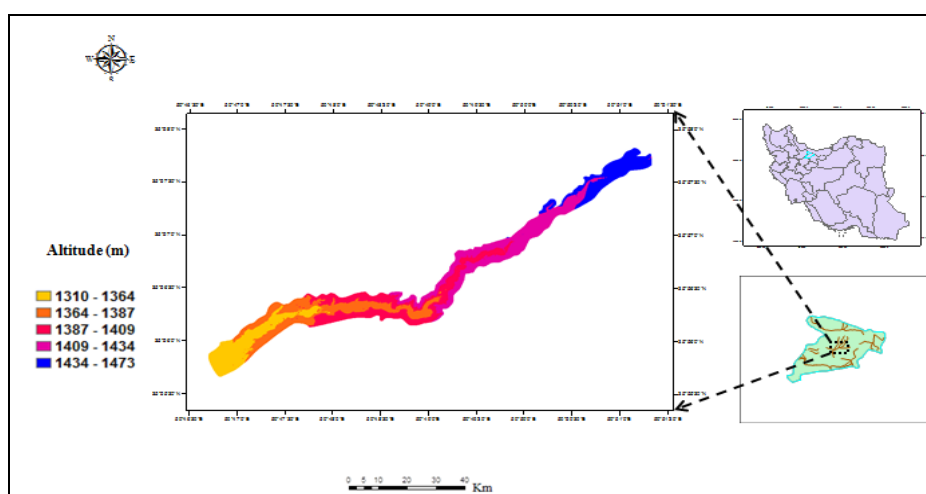
به منظور انجام تحقیق حاضر، نخست با استفاده از اطلاعات توپوگرافی منطقه، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی تولید شد. در مرحله بعد، به منظور بررسی دقیق تر تأثیر پارامترهای مختلف اکوهیدرولیکی، طول رودخانه به بازه های متعددی تقسیم شد. در نهایت، با استخراج منحنی های بده فیزیک زیستگاه، مطلوبیت رودخانه از لحاظ مقدار و تغییرات در نیمرخ های مختلف مکانی بررسی شد. همچنین، منحنی های سری زمانی زیستگاه و تداوم زیستگاه برای گونه هدف استخراج شد.

مواد و روش ها

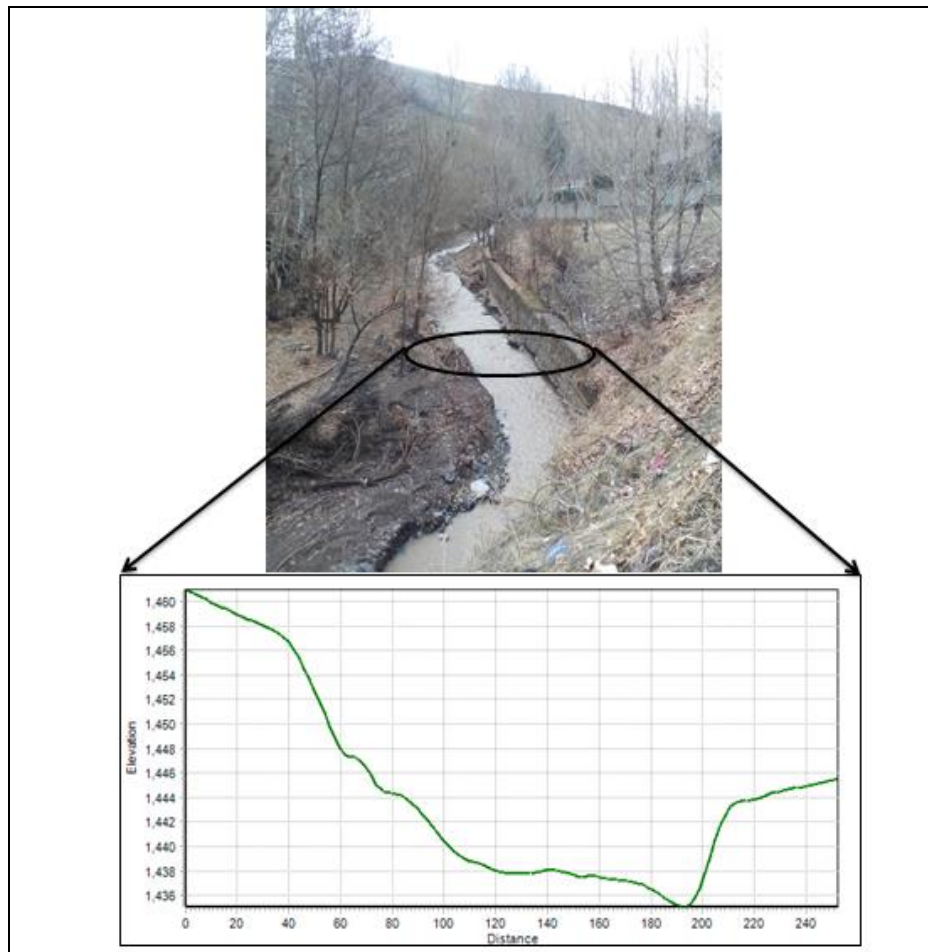
در مطالعه حاضر، تغییرات مساحت مطلوب وزنی در رودخانه کردان برای سگ ماهی جویباری (*Oxynemacheilus bergianus*) یا سگ ماهی سفیدرود که در برخی موارد *Oxynemacheilus Angorae* نیز نامیده می شود، با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی SEFA بررسی شده است. این گونه متعلق به خانواده Nemacheilidae است و در حوضه دریاچه های خزر، نمک و ارومیه پراکنش دارد [۱۶]. از دیگر آبریان رودخانه کردان می توان به سیاه ماهی مرکزی ایران (*Capoeta buhsei*) و سگ ماهی ایرانی (*Paracobitis iranica*) اشاره کرد [۱۴].

محدوده مطالعه شده

حوضه آبریز رودخانه کردان با وسعت ۴۳۴/۳۵۵



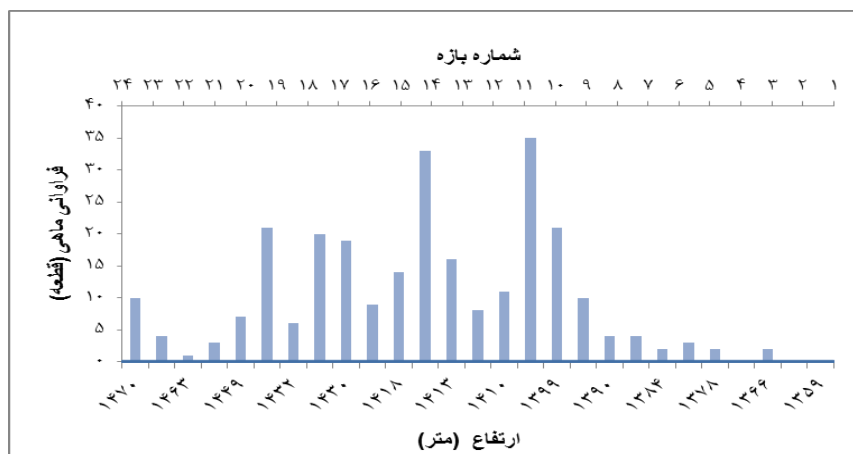
شکل ۱. نمایی از نقشه ایران، استان البرز و جانمایی نقشه DEM رودخانه کردان



شکل ۲. نمایش مقطع عرضی در محیط نرم‌افزار GIS و انطباق آن با واقعیت (واقع در بازه ۲۴)

به شکل ۳، مجموع فراوانی نسبی این گونه در این محدوده ۲۶۵ قطعه ماهی است. با توجه به اینکه نمودار شکل ۳ با بررسی فراوانی ماهی در ۶۶ ایستگاه از نتایج تحقیق طباطبایی (۱۳۹۱) ترسیم شده است، بنابراین برای مقایسه دقیق‌تر نتایج تحقیق حاضر با آن، باید مساحت مطلوب وزنی در مقاطع عبوری از این ایستگاه در بده آبان ۱۳۹۱ در تحقیق حاضر با تحقیق یادشده مقایسه شود. همچنین، در بازدید میدانی صورت‌گرفته، گونه هدف در ارتفاعات ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر حضور داشته است (صید ماهی با الکتروشوکر و تور انجام شده است) و در ارتفاعات بالاتر عدم حضور گونه هدف ثبت شد. بنابراین، بررسی مطلوبیت زیستگاه در این بازه رودخانه (در مناطق حضور گونه) صورت گرفته است.

با توجه به آمار و اطلاعات دریافت‌شده از شرکت مدیریت منابع آب ایران، بده سالانه رودخانه کردان در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ برابر ۲/۶۳ مترمکعب بر ثانیه، حداکثر بده ماهانه در ماه فروردین ($7.49 \text{ m}^3/\text{s}$) و حداقل بده ماهانه در ماه شهریور ($0.23 \text{ m}^3/\text{s}$) است. شایان یادآوری است در پژوهش حاضر ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای همین سال انجام شده است. در شکل ۳ فراوانی نسبی سگ‌ماهی جویباری در طول رودخانه کردان از ارتفاع ۱۵۱۲ تا ۱۳۵۹ متر، در فصل پاییز ۱۳۹۱ با توجه به نتایج پژوهش طباطبایی و همکاران ارائه شده است. محدوده مطالعه‌شده در تحقیق حاضر از ارتفاع ۱۳۵۹ شروع تا ارتفاع ۱۴۷۰ با شیب ۰/۰۳۳ ادامه دارد. یعنی جایی که بیشترین فراوانی گونه مطالعه‌شده است. با توجه



شکل ۳. تغییرات فراوانی سگ ماهی جویباری در طول رودخانه کردن

شبیه‌سازی هیدرولیکی

در شبیه‌سازی هیدرولیکی یک‌بعدی در مدل SEFA، ارتفاع سطح آب در هر یک از مقاطع می‌تواند با منحنی‌های لگاریتم بده-اشل و اسنجی شود [۴]. سرعت آب از الگوهای اندازه‌گیری شده ناشی از روابط عمق آب یا به‌دست‌آمده از مشاهده (تجربه) و اسنجی و شبیه‌سازی می‌شود [۱۲]. در شبیه‌سازی سرعت در این مدل الگوریتم جدیدی ارائه شده است که هیچ محدودیتی در تعداد مقاطع یا تعداد عمودهایی که مقاطع را مشخص می‌کند، وجود ندارد [۴]. اسنجی مدل‌ها با اسنجی پیش‌فرض شروع می‌شود که می‌تواند از طریق گرافیک‌های تعاملی اصلاح شود. قبل از ورود به مدل زیستگاهی SEFA و شبیه‌سازی هیدرولیکی توسط این مدل، با ارسال اطلاعات تهیه‌شده از بازدید میدانی منطقه مطالعه‌شده شامل موقعیت جغرافیایی (طول، عرض و ارتفاع با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی^۱)، عمق (با استفاده از متر)، عرض (با استفاده از متر)، سرعت (با استفاده از رابطه مانینگ و مولینه) و ساختار بستر رودخانه و اطلاعات دریافتی هواشناسی، آب‌سنجی، نقشه توپوگرافی و... از شرکت مدیریت منابع آب ایران به نرم‌افزارهای HEC-RAS و SEFA شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه انجام گرفت. به‌منظور بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی سرعت و عمق نتایج حاصل از مدل با داده‌های اندازه‌گیری مقایسه شد.

محاسبات و شبیه‌سازی هیدرولیکی

محاسبات و شبیه‌سازی هیدرولیکی در این مدل شامل

شبیه‌سازی تراز سطح آب با استفاده از دو روش منحنی بده-اشل و پروفیل طولی تراز سطح آب^۲ و همچنین شبیه‌سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی است. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی (تراز سطح آب و سرعت‌های شبیه‌سازی شده) به همراه منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه در شبیه‌سازی زیستگاه استفاده خواهد شد [۱۲].

بده استفاده‌شده برای اسنجی مدل^۳، بهترین ارزیابی بده جریان در مقطع عرضی در زمان انجام بازدیدهای میدانی از رودخانه کردن است. ارزیابی دقت روش منحنی بده-اشل در پیش‌بینی تراز سطح آب از طریق مشاهده پروفیل سطح آب در بده‌های مدل شده امکان‌پذیر است [۱۲]. اسنجی مدل WSP از طریق تنظیم ضریب زبری مانینگ برای ایجاد انطباق مناسب بین تراز سطح آب مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل است. شبیه‌سازی توزیع سرعت در مدل SEFA با استفاده از فاکتور توزیع سرعت^۴ که عبارت است از: نسبت سرعت اندازه‌گیری شده واقعی به سرعت محاسبه‌شده انجام می‌شود [۱۲]. محاسبات توزیع سرعت در مدل SEFA با استفاده از فاکتور انتقال^۵، معادله مانینگ و با استفاده از رابطه ۱ است [۱۲]:

$$Q = KS^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Q بده، S شیب و K فاکتور انتقال است که با استفاده از معادله مانینگ طبق رابطه ۲ به دست می‌آید.

2. WSP: Water Surface Profile

3. Survey Flow

4. VDF: Velocity Distribution Factor

5. Conveyance

1. GPS: Global Positioning System

در رابطه ۷، V سرعت پیش‌بینی شده در سلول یک با فرض ثابت بودن n مانینگ در کل مقطع و V_1 سرعت اندازه‌گیری شده است. بنابراین، پیش‌بینی سرعت در نقطه i از رابطه ۸ انجام خواهد شد:

$$V_i = VDF_i \times R_i^{\frac{2-\beta}{3}} \times \frac{Q}{AR_i^{\frac{2}{3}}} \quad (۸)$$

در رابطه ۸، VDF_i فاکتور توزیع سرعت نقطه i ، A سطح مقطع و R شعاع هیدرولیکی در بده Q است. این رابطه مشابه رابطه استفاده شده در مدل PHABSIM است، با این تفاوت که در مدل نام‌برده عمق نقطه i ام به جای شعاع هیدرولیکی سلول و مقادیر n_1 به جای نسبت n (VDF) به کار برده می‌شود [۱۲].

شبیه‌سازی زیستگاهی

پس از شبیه‌سازی هیدرولیکی در مدل SEFA و همچنین شبیه‌سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی، نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی شامل تراز سطح آب و سرعت‌های شبیه‌سازی شده، به همراه منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (به عنوان تابع انتقال) در بخش مربوط به شبیه‌سازی زیستگاهی استفاده خواهد شد. در شکل ۴ منحنی‌های مطلوبیت عمق، سرعت و مواد بستری برای سگ‌ماهی جویباری کردن در مدل اکوهیدرولیکی SEFA ارائه شده است.

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} \quad (۲)$$

بر اساس رابطه ۳ برای هر سلول در مقطع عرضی [۱۸]، سرعت در یک سلول از مقطع عرضی از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شود.

$$\frac{Q_1}{K_1} = \frac{Q_2}{K_2} = \frac{\sum Q}{\sum K} \quad (۳)$$

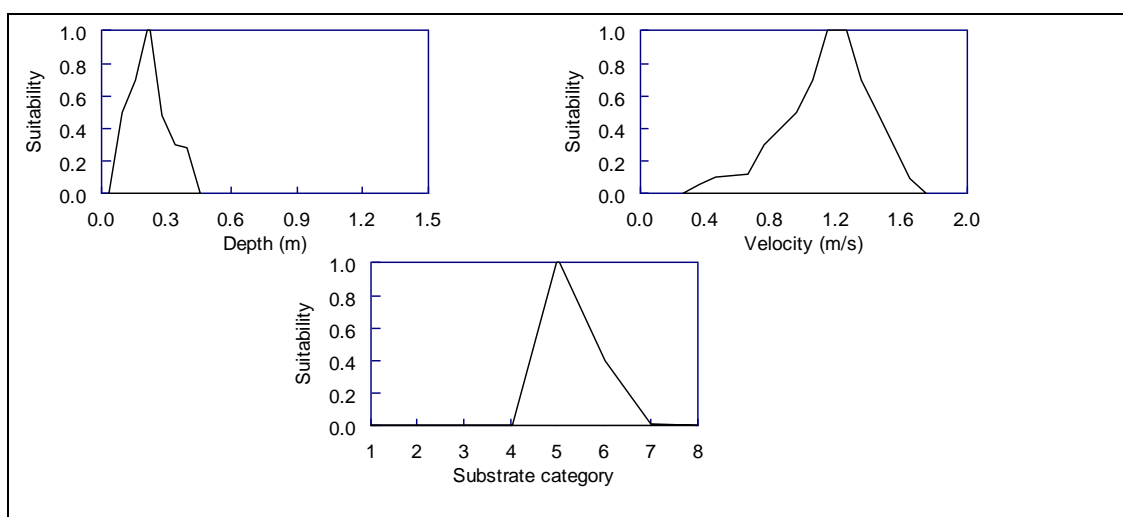
$$V_1 = \frac{R_1^{\frac{2-\beta}{3}}}{n_1} \frac{Q}{K} = \frac{R_1^{\frac{2-\beta}{3}}}{n_1} S^{\frac{1}{2}} \quad (۴)$$

$$V_1 = \frac{R_1^{\frac{2-\beta}{3}}}{n_1} \frac{nQ}{AR^{\frac{2}{3}}} \quad (۵)$$

در روابط یادشده، n_1 ضریب زبری مانینگ و R_1 شعاع هیدرولیکی مربوط به یک سلول مقطع، Q بده، K فاکتور انتقال و n ضریب زبری مانینگ کل مقطع است. ثابت β نشان‌دهنده تغییرات زبری (n مانینگ و VDF) با بده جریان است. با توجه به تعریف فاکتور توزیع سرعت در قبل و با این فرض که ضریب مانینگ مقطع (n) برای همه سلول‌ها به کار برده خواهد شد، روابط ۶ و ۷ به دست می‌آید:

$$V = R_1^{\frac{2-\beta}{3}} \frac{Q}{AR^{\frac{2}{3}}} \quad (۶)$$

$$VDF = \frac{V_1}{V} = \frac{n}{n_1} \quad (۷)$$



شکل ۴. نمونه منحنی‌های مطلوبیت عمق، سرعت و مواد بستری برای سگ‌ماهی جویباری کردن (برگرفته از نتایج پژوهش طباطبایی و

استخراج منحنی سری زمانی مطلوبیت زیستگاه در مدل SEFA

برای استخراج منحنی سری زمانی مطلوبیت زیستگاه ابتدا باید نمودار بده- فیزیک زیستگاه (Q-AWS) مربوط به گونه هدف که از نتایج به دست آمده از شبیه سازی زیستگاه موجود است، انتخاب شود. در مرحله بعد با استفاده از نمودار سری زمانی بده جریان که تحلیل سری زمانی نیز پیش تر فراخوانی شده بود و همچنین نمودار بده- فیزیک زیستگاه انتخاب شده برای گونه هدف محاسبات مربوط به سری زمانی زیستگاه انجام شده و نمودار سری زمانی مطلوبیت زیستگاه قابل مشاهده است.

نتایج

نتایج شبیه سازی هیدرولیکی رودخانه کردان به منظور بررسی دقت شبیه سازی هیدرولیکی مدل SEFA، نتایج شبیه سازی تراز سطح آب^۲ و سرعت دو مدل HEC- RAS و SEFA مقایسه شد. در جدول ۱ اختلاف تراز سطح آب و سرعت متوسط شبیه سازی شده در هر دو مدل در چند مقطع منتخب ارائه شده است.

جدول ۱. اختلاف سرعت متوسط و تراز سطح آب شبیه سازی شده توسط دو مدل

شماره مقطع	$\Delta WSE(m)$	$\Delta v(m/s)$
۱	۰/۰۱	۰/۰۲
۲	۰	۰/۰۱
۳	۰/۰۲	۰/۰۱
۴	۰/۰۱	۰/۱۶

نتایج شبیه سازی زیستگاهی رودخانه کردان با

استفاده از مدل SEFA

بررسی مطلوبیت رودخانه کردان از لحاظ مقدار در جریان های مختلف

همان طور که پیش تر گفته شد، روی گونه هدف در تحقیق حاضر مطالعات مورفومتریک صورت نگرفته است و برای این گونه دوره های سنی تعریف نشده است. با توجه به تغییرات درصد مساحت مطلوب وزنی برای جریان های مختلف در بازه های رودخانه کردان برای گونه هدف (شکل ۵)، میزان AWS^* به طور متوسط در بده های ۰/۲۳، ۰/۳۱ و ۰/۵۶

شاخص مطلوبیت زیستگاه

مساحت قابل استفاده وزنی در یک بده خاص در بازه رودخانه از رابطه ۹ محاسبه می شود [۶].

$$WUA = \left[\frac{\sum_{i=1}^n A_i * CSI_i}{L} \right] * 1000 \quad (9)$$

که در آن، A_i سطح هر سلول، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی^۱ هر سلول و L طول بازه است.

شاخص زیستگاه در SEFA یا مطلوبیت وزن داده شده سطحی (AWS) بر حسب واحد طول (به طور مثال، m) یا به عنوان شاخص مطلوبیت ترکیبی متوسط (CSI) برای محدوده یا مقطع بیان شده است. محاسبه AWS در نرم افزار SEFA بر حسب مترمربع در هر متر از طول رودخانه از رابطه ۱۰ محاسبه می شود [۱۹].

$$AWS = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * CSI_i}{L} \quad (10)$$

در رابطه ۱۰، A_i سطح، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی سلول i و n تعداد کل سلول ها در بازه مد نظر به طول L است [۱۲].

$$CSI_i = (SI_D)_i (SI_V)_i (SI_{sub})_i \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، $(SI_{sub})_i$ ، $(SI_D)_i$ و $(SI_V)_i$ به ترتیب شاخص مطلوبیت مربوط به شاخص کانال (پوشش کف یا زیرلایه)، عمق و سرعت حاصل از منحنی های مطلوبیت زیستگاه برای هر سلول است [۱۹]. با توجه به اینکه روی گونه هدف در تحقیق حاضر (سگ ماهی جویباری) مطالعات مورفومتریک انجام نشده است. بنابراین، برای این گونه دوره زیستی تعریف نشده است. در شکل ۴ تغییرات درصد مساحت مطلوب وزنی رودخانه کردان برای سگ ماهی جویباری در بده های مختلف در ۲۴ بازه ارائه شده است.

$$AWS^* = \frac{AWS}{AWS(max)} \quad (12)$$

در رابطه ۱۲، AWS^* مساحت مطلوب وزنی بدون بعد است و مطلوبیت نسبی زیستگاه را بیان می کند. AWS مقدار مساحت مطلوب وزنی در هر بازه، $AWS(max)$ بالاترین مقدار مساحت مطلوب وزنی بازه هاست.

2. WSE (Water Surface Elevation)

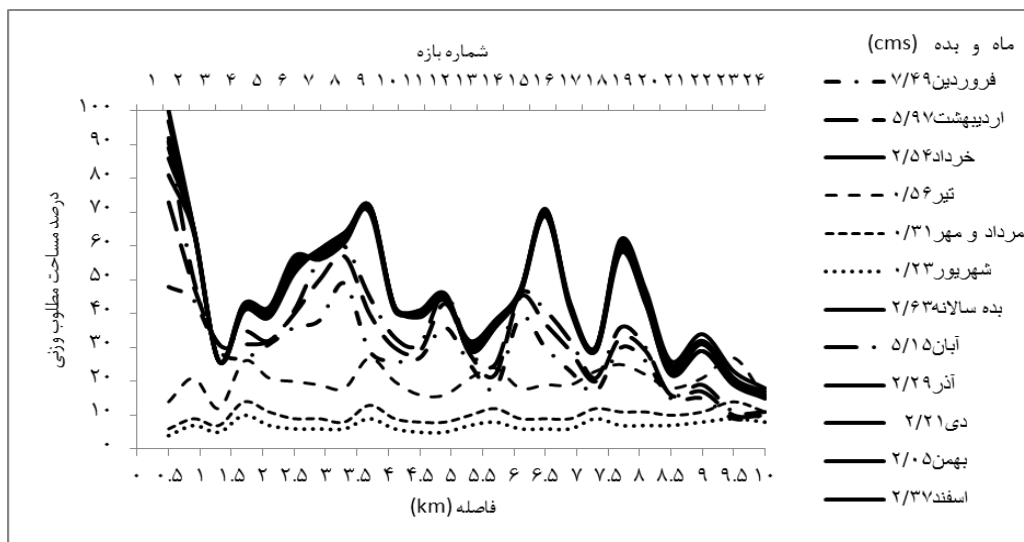
1. CSI: Combined Suitability Index

گونه هدف در رودخانه کردان در دو بازه که نسبت به سایر بازه‌ها مطلوبیت بیشتری دارد، به صورت نمونه ارائه شده است (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه مراجعه شود به منبع ۲۰). در شکل ۷ توزیع مطلوبیت زیستگاهی سگ‌ماهی جویباری در رودخانه کردان در بازه ۱، در بده ۲/۶۳ مترمکعب بر ثانیه نشان داده شده است. طول این بازه ۵۸۲ متر و عرض متوسط آن ۱۵ متر و ۹۰ درصد آن زیستگاه خیزاب است. در شکل ۸ توزیع مطلوبیت زیستگاهی سگ‌ماهی جویباری در رودخانه کردان در بازه ۹، در بده - ۲/۶۳ مترمکعب بر ثانیه نشان داده شده است. طول این بازه ۵۰۵ متر، متوسط عرض آن ۱۱ متر، ۸۱ درصد آن خیزاب و مطلوبیت ترکیبی متوسط ۰/۱۵ است.

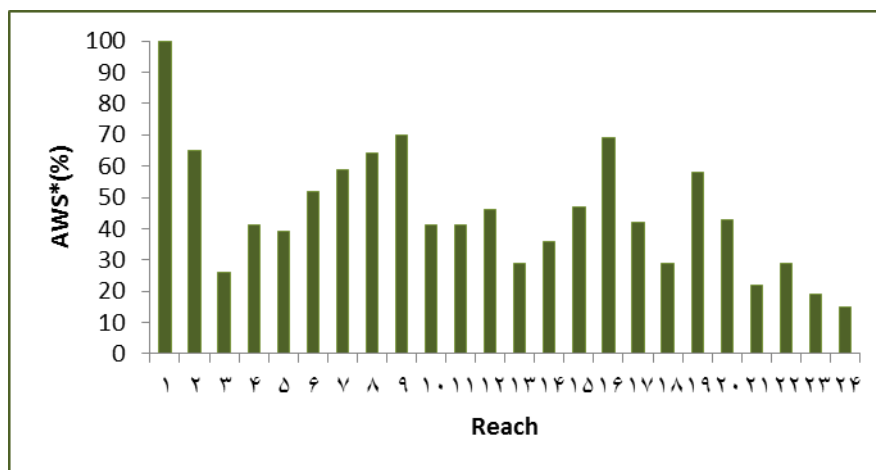
(ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر) از ۲۰ درصد کمتر است و در سایر بده‌ها (ماه‌ها) با حرکت به سمت پایین دست به صورت کلی مطلوبیت برای گونه هدف بیشتر است.

بررسی مطلوبیت رودخانه کردان از لحاظ موقعیت در طول رودخانه

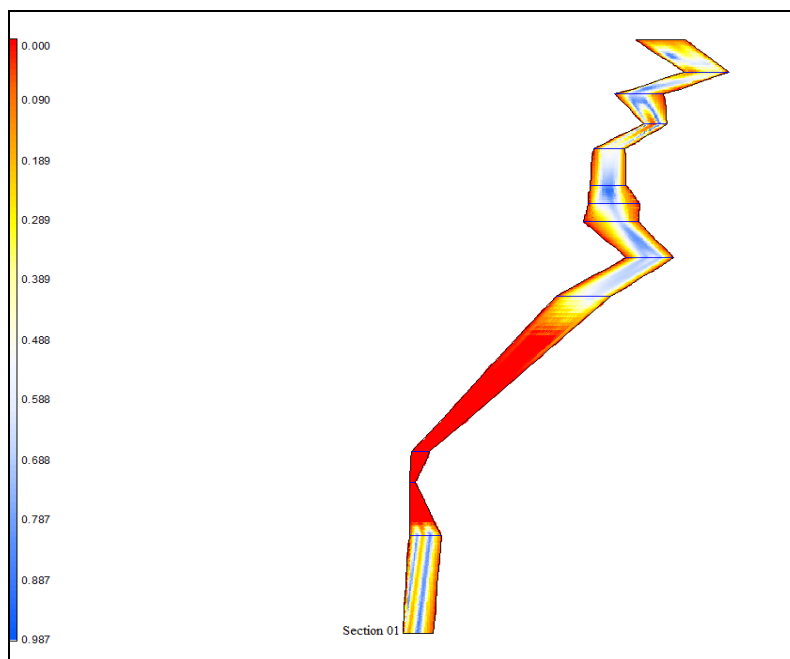
در شکل ۶ تغییرات درصد مساحت مطلوب وزنی در ۲۴ بازه رودخانه کردان در بده متوسط سالانه در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ ($2/63 \text{ m}^3/\text{s}$) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این بده میزان مطلوبیت بازه‌های ۱، ۲، ۹ و ۱۶ نسبت به سایر بازه‌ها حداکثر (بیشتر از ۶۵ درصد) است و در بازه ۲۴ کمترین مطلوبیت (۱۵ درصد) را دارد. در ادامه، توزیع مطلوبیت زیستگاهی



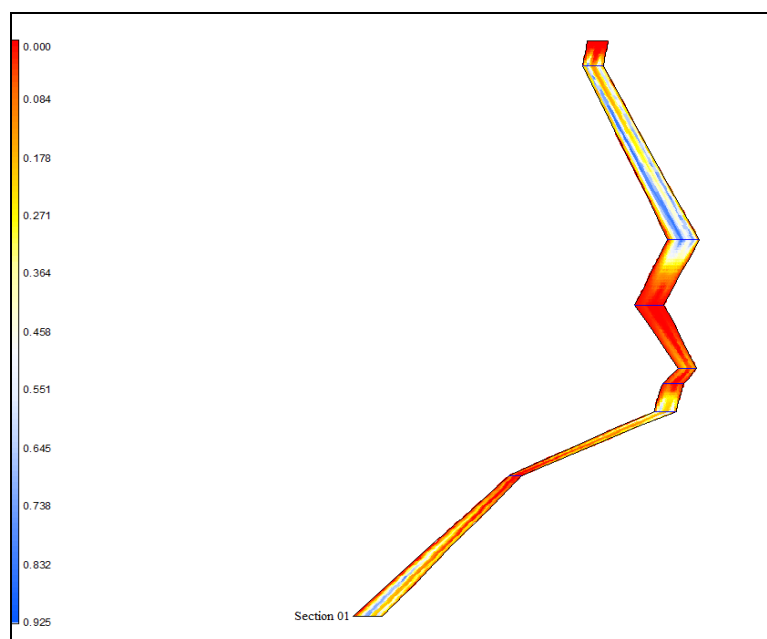
شکل ۵. تغییرات درصد مساحت مطلوب وزنی برای جریان‌های مختلف در بازه‌های رودخانه کردان برای سگ‌ماهی جویباری کردان



شکل ۶. تغییرات درصد مساحت مطلوب وزنی در بازه‌های رودخانه کردان برای سگ‌ماهی جویباری در بده $2/63 \text{ cms}$



شکل ۷. پلان رودخانه کردان و توزیع مطلوبیت زیستگاهی سگماهی جویباری در رودخانه کردان در بازه ۱



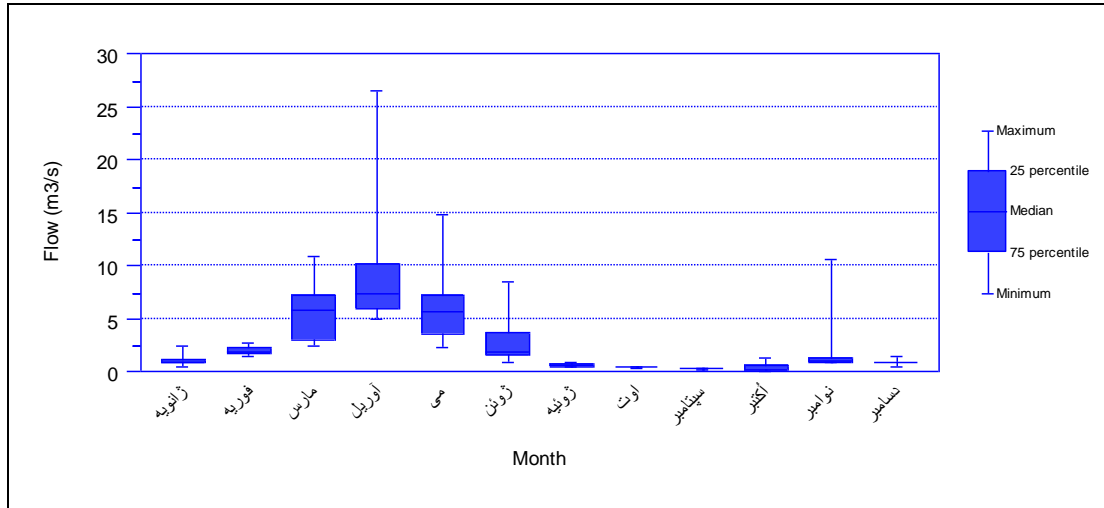
شکل ۸. پلان رودخانه کردان و توزیع مطلوبیت زیستگاهی سگماهی جویباری در رودخانه کردان در بازه ۹

شد. در این نمودارها ماه‌های سال به صورت میلادی است، اما تفسیر محقق بر اساس ماه‌های معادل شمسی است.

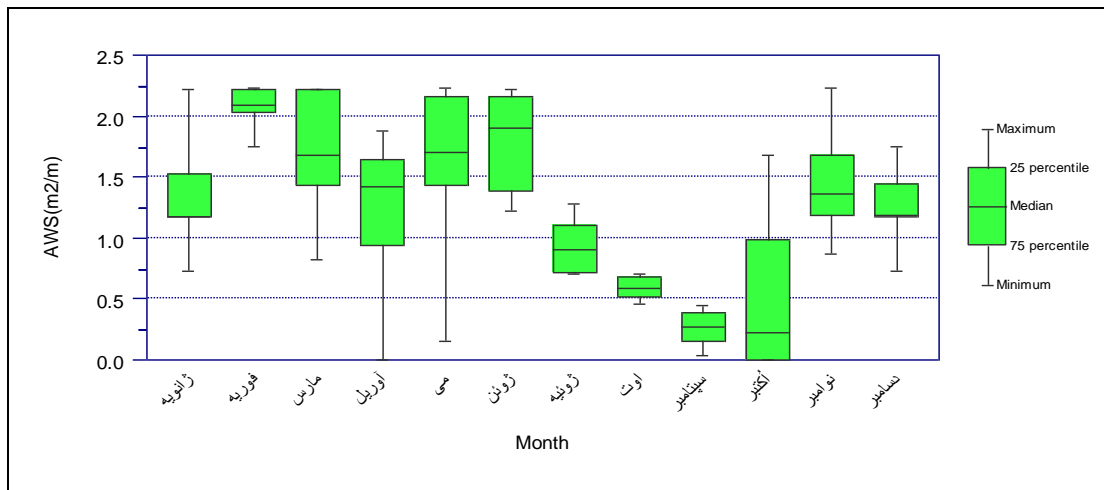
استخراج منحنی تداوم زیستگاه برای رودخانه کردان شکل ۱۱ معرف منحنی تداوم مطلوبیت زیستگاه رودخانه کردان است. با استفاده از این منحنی احتمال وقوع هر یک از مقادیر AWS قابل تعیین است.

استخراج منحنی سری زمانی زیستگاه برای رودخانه کردان

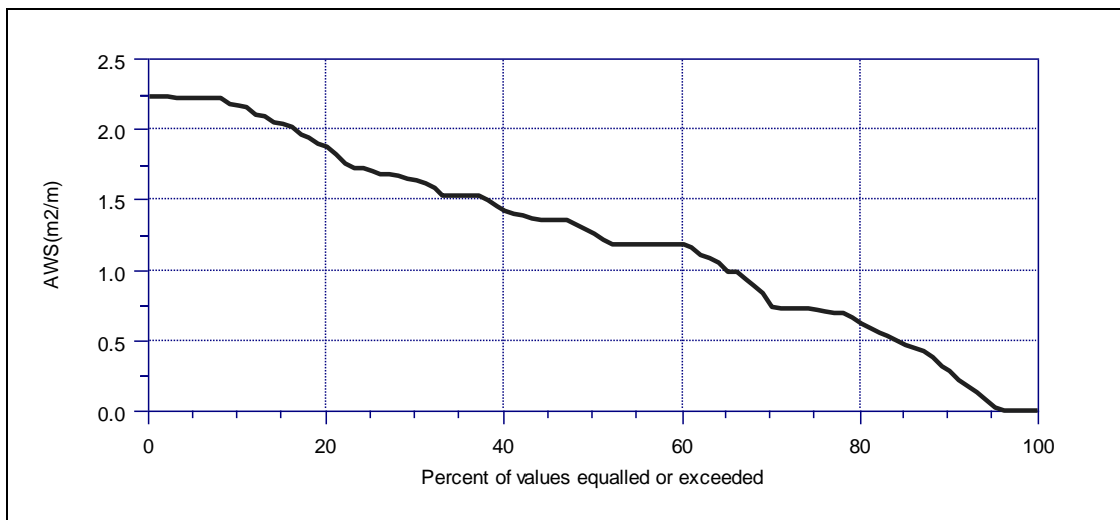
با توجه به نمودار سری زمانی جریان ماهانه رودخانه (شکل ۹)، و مقایسه آن با سری زمانی ماهانه زیستگاه برای سگماهی جویباری (شکل ۱۰) با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه سناریوی تنظیم جریان رودخانه و اثر عمق و سرعت بر میزان مساحت مطلوب وزنی (AWS) بررسی



شکل ۹. سری زمانی جریان ماهانه رودخانه کردان



شکل ۱۰. سری زمانی ماهانه زیستگاه برای سگ‌ماهی جویباری



شکل ۱۱. نمودار تداوم مطلوبیت زیستگاه رودخانه کردان برای سگ‌ماهی جویباری

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، شرایط مطلوبیت زیستگاهی در یک بازه معرف از رودخانه کردان (حوضه دریاچه نمک) برای گونه سگ‌ماهی جویباری با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی SEFA در ۲۴ بازه شبیه‌سازی و ارزیابی شد. با بررسی نتایج جدول ۱ سازگاری مناسبی بین تراز سطح آب شبیه‌سازی‌شده در دو مدل HEC-RAS و SEFA موجود است. بررسی مساحت مطلوب وزنی در ۲۴ بازه (شکل ۵) نشان داد مطلوبیت در بازه اول نسبت به سایر بازه‌ها در تمامی بده‌ها به‌جز بده‌های ۰/۲۳، ۰/۳۱، ۰/۵۶ و ۷/۴۹ مترمکعب بر ثانیه، بیشینه است. همچنین، به‌طور کلی در مقایسه تمامی جریان‌ها در بده ۲/۰۵ مترمکعب بر ثانیه (بهمن‌ماه) در کل بازه‌ها مطلوبیت بیشتر است. با بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر مطلوبیت حداقل است، در حالی که در شرایط سیلابی (ماه فروردین با بده ۷/۴۹ مترمکعب بر ثانیه و اردیبهشت با بده ۵/۹۷ مترمکعب بر ثانیه) درصد مساحت مطلوب وزنی به‌طور متوسط از ۳۳ کمتر است. بنابراین، شرایط مطلوبیت در ماه‌های گرم سال در پایین‌ترین حد خود است، به‌طوری که از شرایط سیلابی هم کمتر است. همچنین، کمترین میزان مطلوبیت در بده ۰/۲۳ مترمکعب بر ثانیه رخ می‌دهد که در این بده در بین ۲۴ بازه، در بازه یکم مقدار آن به کمترین میزان (۰/۱۷۲ m²/m) یعنی درصد مساحت مطلوب وزنی ۴ درصد می‌شود.

بررسی ۲۴ بازه رودخانه کردان در بده ۲/۶۳ مترمکعب بر ثانیه برای گونه هدف (شکل ۶) نشان داد به‌صورت کلی بیشترین درصد مساحت مطلوب وزنی در بازه‌های ۱، ۹ و ۱۶ است. بنابراین، می‌توان گفت که تغییرات عرض متوسط در شرایط حداکثر مطلوبیت، ۱۱ تا ۱۵ متر است. با بررسی مطلوبیت ۲۴ بازه در بده‌های مختلف (شکل ۴) بهترین بده ارزیابی‌شده برای گونه هدف ۲/۰۵ - ۲/۶۳ m³/s است. با بررسی توزیع مطلوبیت زیستگاهی در بازه‌های ۱ و ۹، مشاهده شد در نخستین بازه در نزدیکی خط مرکزی^۱ در قسمت بالادست بازه، مطلوبیت ترکیبی (CSI) بیشتر بوده و مقدار آن ۰/۹۹ است. به‌طور متوسط، مطلوبیت ترکیبی در این بازه ۰/۲۸ است و در خم رودخانه با کاهش شدید عرض مطلوبیت کاهش می‌یابد (۰/۱۸۹ - ۰).

عریض‌تر و عمق آب کمتر است. در بازه ۹، مطلوبیت در بالادست نسبت به سایر نواحی بیشتر است. با توجه به متغیر بودن توپوگرافی رودخانه، عمق جریان در بخش‌های مختلف متغیر است، ولی به‌طور کلی در محدوده مطالعه‌شده عمق جریان با حرکت به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. در مجموع، با توجه به پراکنش گونه هدف در پایین‌دست و کاهش مطلوبیت در جریان‌های سیلابی به نظر می‌رسد این گونه سرعت جریان‌های کم را می‌پسندد و به سرعت جریان‌های زیاد حساس است.

توزیع مطلوبیت زیستگاهی در بده ثابتی مانند ۲/۶۳ مترمکعب بر ثانیه نشان داد که به‌طور کلی محدوده بالادست رودخانه به لحاظ وضعیت زیستگاهی در بده‌های مختلف ضعیف‌ترین شرایط را دارد و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه با افزایش عرض رودخانه و کاهش عمق جریان و کاهش شیب رودخانه و در نتیجه، کاهش سرعت رودخانه به لحاظ مطلوبیت زیستگاه در شرایط مساعدتری است. به بیان دیگر، در صورت حرکت ماهی به سمت بالادست، تنش‌های فیزیکی وارد بر آن بیشتر می‌شود و در پی آن، آسیب‌های واردشده بر جوامع ماهیان نیز افزایش می‌یابد. داده‌های میدانی موجود در رابطه با تعداد و پراکنش سگ‌ماهی جویباری مؤید این مطلب است. با افزایش عرض رودخانه، احتمال حضور گونه هدف نیز کمتر خواهد بود و اثر منفی افزایش عرض رودخانه بر حضور سگ‌ماهی جویباری در مقادیر بیش از ۱۵ متر ثبت شده است [۲۱].

با توجه به سری‌های زمانی ماهانه زیستگاه و جریان افزایش بده رودخانه در ماه‌های فروردین (۷۵ درصد مواقع بده بیشتر از ۵/۹۵ مترمکعب بر ثانیه) و اردیبهشت (۷۵ درصد مواقع بده بیشتر از ۳/۵۵ مترمکعب بر ثانیه) سبب کاهش میزان مساحت مطلوب وزنی در این ماه‌ها می‌شود. به‌طوری که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت فقط در ۲۵ درصد روزهای این ماه‌ها مطلوبیت به‌ترتیب بیشتر از ۱/۶۴۲ و ۲/۱۶۲ مترمربع بر متر است. در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر که با کاهش بده مواجهیم، مساحت مطلوب وزنی نیز کاهش می‌یابد، به‌طوری که در شهریورماه که حداقل بده وجود دارد، مساحت مطلوب وزنی فقط در ۲۵ درصد مواقع بیشتر از ۰/۳۸۸ مترمربع بر متر و در ۵۰ درصد روزهای این ماه کمتر از ۰/۲۶۸ مترمربع بر متر است. با مقایسه میزان مساحت مطلوب وزنی در ماه‌های شهریور و

[۲۱]، در تحقیقات آینده اصلاح منحنی‌های مطلوبیت عمق و سرعت برای گونه‌های سگ‌ماهی جویباری و سگ‌ماهی ایرانی در رودخانه کردان، استخراج منحنی‌های مطلوبیت عمق و سرعت برای گونه سیاه‌ماهی مرکزی ایران در رودخانه کردان و تخمین جریان محیط زیستی برای رودخانه کردان با در نظر گرفتن هم‌زمان سه گونه یادشده پیشنهاد می‌شود.

منابع

- [1]. Milhous RT, Wegner DL, Waddle T. User's guide to the physical habitat simulation system (PHABSIM). Department of the Interior, US Fish and Wildlife Service; 1984.
- [2]. Bovee KD. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Western Energy and Land Use Team, Office of Biological Services, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior; 1982.
- [3]. Bovee KD, Lamb BL, Bartholow JM, Stalnaker CB, Taylor J. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Geological Survey Reston Va Biologicalresources Div; 1998.
- [4]. Payne TR, Jowett IG. SEFA-Computer software system for environmental flow analysis based on the instream flow incremental methodology. Georgia Institute of Technology.
- [5]. Bovee KD, Milhous RT, Turow J. Hydraulic simulation in instream flow studies: theory and techniques. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Western Energy and Land Use Team, Cooperative Instream Flow Service Group; 1978.
- [6]. Waddle T. PHABSIM for Windows user's manual and exercises. 2001.
- [7]. Dehzad B, Sima S. Guide to Determining Water Requirements for Aquatic Ecosystems. Vice President of Strategic Planning and Monitoring, Ministry of Energy. 2011. [Persian]
- [8]. Annear TC, Conder AL. Relative bias of several fisheries instream flow methods. North American Journal of Fisheries Management. 1984 Oct;4(4B):531-9.
- [9]. Parasiewicz P, Walker JD. Comparison of MesoHABSIM with two microhabitat models (PHABSIM and HARPFA). River Research and Applications. 2007 Oct;23(8):904-23.
- [10]. Hudson HR, Byrom AE, Chadderton WL. A critique of IFIM: instream habitat simulation in the New Zealand context. Wellington: Department of Conservation; 2003 Oct.

فروردین این نتیجه به دست می‌آید که به زیستگاه گونه هدف در شرایط سیلابی در ماه فروردین نسبت به شهریورماه که بده رودخانه در شرایط حداقل است، تنش کمتری وارد می‌شود. بر اساس سری زمانی جریان ماهانه در ماه بهمن که در ۷۵ درصد مواقع جریان بیشتر از ۱/۷۶ متر بر ثانیه است، میزان مطلوبیت نیز در ۷۵ درصد روزهای این ماه بیشتر از ۲/۰۳ مترمربع بر متر است و نسبت به سایر ماه‌ها در این ماه حداکثر مطلوبیت برای گونه هدف رخ می‌دهد. با توجه به نمودارهای شکل‌های ۱۰ و ۱۱ در ماه‌های آبان تا اسفند و خرداد میزان مطلوبیت در ۷۵ درصد مواقع بیشتر از ۱/۱۷۹ مترمربع بر متر است.

با توجه به منحنی تداوم مطلوبیت زیستگاه (شکل ۱۱)، کمترین مقدار AWS با احتمال وقوع ۹۵ درصد برابر ۰/۰۱۷ مترمربع بر متر است و بیشترین مقدار AWS با احتمال وقوع ۱۰ درصد برابر ۲/۱۶۱ مترمربع بر متر است. به این معنا که فقط ۱۰ درصد اوقات مقدار مساحت مطلوب وزنی برابر یا بیشتر از ۲/۱۶۱ مترمربع بر متر برای گونه بررسی شده است. متوسط مقدار AWS با احتمال وقوع ۵۰ درصد برابر ۱/۲۵۳ مترمربع بر متر است. یعنی در ۵۰ درصد اوقات مساحت مطلوب وزنی ۱/۲۵۳ مترمربع بر متر است.

از مطالعه نتایج تحقیقات مختلف در زمینه اکوهیدرولیک و مقایسه نتایج آنها با یکدیگر اختلاف درخور توجه میزان مطلوبیت زیستگاه در هر بده برای هر گروه سنی آبریزان مشاهده می‌شود. این امر نشان‌دهنده تأثیر منطقه بررسی شده، ژئومتری رودخانه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، اقلیم و حتی نوع گونه بر میزان مطلوبیت زیستگاه است [۲۲].

همان‌طور که اشاره شد، بررسی‌های مطالعه حاضر با استفاده از منحنی‌های مطلوبیت عمق، سرعت و مواد بستری منتج از تحقیق طباطبایی (۱۳۹۱) انجام گرفته است. و مطابق با نتایج به دست آمده از مدل SEFA در تحقیق حاضر و با توجه به توزیع مطلوبیت در طول و عرض رودخانه، مشاهده شد که میزان مطلوبیت در محدوده زیستگاه‌های رودخانه بررسی شده کم است. با توجه به اینکه در مطالعه طباطبایی (۱۳۹۱) زیستگاه انتخابی با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی زیستگاه و در نظر نگرفتن سایر شرایط صورت گرفته است و با توجه به اینکه شناخت محدودی در رابطه با نیازهای زیستگاهی ماهی بومی (سگ‌ماهی جویباری) وجود دارد

- [11]. Remshardt WJ, Fisher WL. Effects of variation in streamflow and channel structure on smallmouth bass habitat in an alluvial stream. *River Research and Applications*. 2009 Jul;25(6):661-74.
- [12]. Jowett IG, Payne TR, Milhous RT. SEFA-System for Environmental Flow Analysis. Software Manual. Version. 2014;1.
- [13]. Coad BW. Fishes of Canada: an annotated checklist. Accessed online at <http://www.briancoad.com/Complete%20List.htm> (revised: 2011-12-12). 2011.
- [14]. Taghian H, SHahpouri M, Mohammadi V, Alizadeh A. Biodiversity and Frequency and Distribution of Fish in the River Dinor Ab Kermanshah Province. *Iranian Journal of Reproduction and Aquaculture Science*. 2016. [Persian]
- [15]. Reyhaneh M, Eagderi S, Delaware M. Investigating the effect of climate change on the habitat suitability of the Kordan River-Case study: (*Oxynoemacheilus bergianus*). *Iranian Water Resources Research*. 2016. [Persian]
- [16]. Tabatabaei SN, Segherloo IH, Eagderi S, Faradonbeh MZ. Habitat use of two nemacheilid fish species, *Oxynoemacheilus bergianus* and *Paracobitis* sp. in the Kordan River, Iran. *Hydrobiologia*. 2015;762(1):183-93.
- [17]. Tabatabaei SN, Hashemzadeh Segherloo I, Eagderi S, Zamani M. Length-weight relationships of fish species in Kordan River (Namak Lake basin), Iran. *Journal of Applied Ichthyology*. 2015;31(4):800-1.
- [18]. Henderson MN. Open channel flow. 1st ed. Canada: Collier Macmillan; 1996.
- [19]. Bovee KD. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. National Ecology Center, Division of Wildlife and Contaminant Research, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior; 1986.
- [20]. GHambari Mohammadi M. Simulation of River Habitat Suitability Using SEFA Software Model (Case Study: Kordan River). MSc Thesis. Tarbiat modares University. 2018. [Persian]
- [21]. Tabatabaei SN, Eagderi S, kaboli M, Javanshir A, Hashemzadeh Segherloo I, Zamani M. Investigation of Environmental Factors Affecting Distribution (*Oxynoemacheilus bergianus*) in Kordan River. *Journal of Fisheries, Iranian Journal of Natural Resource*. 2014. [Persian]
- [22]. Hajiesmaeili M. Effect of Flow Hydraulic Parameters on Rainbow Trout in the River Using Physical Habitat Simulation Model (PHABSIM). MSc Thesis. Tarbiat modares University. 2014. [Persian]