

تعیین شاخص مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی مرکزی (*Capoeta buhsei*, Kessler, 1877) با استفاده از هموارسازی هسته‌ای در رودخانه جاجرود، حوضه دریاچه نمک ایران

مهسا احمدزاده، هادی پورباقر^{*}، سهیل ایگدري

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^{*}نویسنده مسئول: poorbagher@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۲۳

چکیده

ماهیان در زیستگاه‌هایی رشد کرده و ادامه حیات می‌دهند که ویژگی‌های زیست محیطی لازم برای زنده‌مانی آن‌ها را داشته باشد و همه نیازهای آن‌ها را مرتفع سازد. هدف این مطالعه محاسبه شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) سیاه‌ماهی مرکزی (*Capoeta buhsei*) بر اساس هموارسازی هسته‌ای در رودخانه جاجرود بود. در این مطالعه روشی برای تعیین پهنای باند مورد نیاز برای هموارسازی هسته‌ای ارائه گردید، به این صورت که ۱۰۰۰ پهنای باند از یک تا ۱۰۰۰ در تابع هموارسازی قرار داده شد و بهترین آن‌ها بر اساس ریشه میانگین مربع خطا انتخاب شد. ۹ فاکتور محیطی pH، دما، EC، TDS، DO، عمق، عرض رود، سرعت جریان آب و قطر سنگ بستر آب اندازه‌گیری شدند. منحنی‌های SI برازش داده شدند. چهار روش محاسبه HSI شامل حساسی، هندسی، مینیمم و ماکزیمم مورد بررسی قرار گرفت. اولویت انتخاب زیستگاه برای سیاه‌ماهی مرکزی در رودخانه جاجرود مناطقی با سرعت بالای آب، با عمق و عرض زیاد، دمای پایین‌تر و بستر با قطر سنگ‌بستر بزرگ‌تر بود. براساس نتایج ایستگاه اول (بالادست شهر جاجرود) با شاخص مطلوبیت زیستگاه ۰/۷۹۶ دارای بالاترین مقدار شاخص مطلوبیت زیستگاه برای سیاه‌ماهی مرکزی و مناسب‌ترین محل برای این‌گونه در رودخانه جاجرود بود.

واژگان کلیدی: شاخص مطلوبیت زیستگاه، سیاه‌ماهی مرکزی، هموارسازی هسته‌ای، رودخانه جاجرود.

مقدمه

ماهیان در زیستگاه‌هایی رشد کرده و ادامه حیات می‌دهند که ویژگی‌های زیست‌محیطی لازم برای زنده‌مانی آن‌ها را داشته و نیازهای آن‌ها را مرتفع سازد (زمانی‌فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۴). حضور جمعیتی از ماهیان در یک پیکره آبی می‌تواند بیانگر شرایط زیستی مناسب آن زیستگاه باشد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۹۲). معمولاً موجودات در جاهایی تراکم بالاتری دارند که کیفیت زیستگاه بهتری داشته باشد، زیرا کیفیت زیستگاه در یک رودخانه با فراوانی نسبی موجودات آن رابطه‌ی مستقیم دارد (دولت‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). امروزه به علت فعالیت‌های توسعه‌های انسانی بر پیکر رودخانه‌ها و جوامع ماهیان شناخت نیازهای زیستگاهی گونه‌ها و داشتن اطلاعات پیرامون مطلوبیت زیستگاه برای گونه‌ها ضروری است (رستمیان و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین زیستگاه ماهیان یک جز اساسی و مهم برای مدیریت شیلاتی بر پایه اکوسیستم بوده و درک خوبی از زیستگاه‌های

آن‌ها و تعاملات آن با پویایی جمعیت ماهیان، بسیار

مهم است (Tian et al., 2009).

در پراکنش ماهیان ویژگی‌های هیدروبیولوژیکی رودخانه نقش به‌سزایی دارد و متغیرهای زیست محیطی در ترجیح و اولویت انتخاب زیستگاه به‌وسیله ماهیان در اکوسیستم‌های آبی دخیل هستند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی کیفیت زیستگاه آبزیان وجود دارد که یکی از این روش‌ها ارزیابی مطلوبیت زیستگاه می‌باشد. اگر یک ماهی با تراکم بیشتری در ایستگاه خاصی دیده شود، آن ایستگاه برای آن ماهی مطلوب در نظر گرفته می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ رستمیان و همکاران، ۱۳۹۶). شاخص مطلوبیت زیستگاه اطلاعاتی چون حضور، عدم حضور و تعداد افراد را با شاخص‌های فیزیکی عوامل مرتبط با زیستگاه گونه‌ی مورد مطالعه ترکیب می‌کند و از جمله معمول‌ترین شاخص‌ها به‌منظور بررسی شرایط زیستگاهی آبزیان در محیط‌های آبی به‌شمار می‌رود (مرید و همکاران، ۱۳۹۴؛ Nukazaw

(et al., 2011). به عبارت دیگر این شاخص یک نمایه عددی برای نشان دادن مطلوب بودن یک زیستگاه برای گونه می باشد که دامنه صفر (نامطلوب) تا یک (مطلوب) را در بر می گیرد (رستمیان و همکاران، ۱۳۹۶)، که بر این اساس ایستگاه های با کیفیت عالی (۰/۷-۱)، ایستگاه هایی با کیفیت متوسط (۰/۷-۰/۳) و ایستگاه هایی با کیفیت کم (۰-۰/۳) در نظر گرفته می شوند (زمانی فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۴).

سیاه ماهیان از خانواده کپور ماهیان (Cyprinidae) و جنس سیاه ماهی (Capoeta) می باشند. جنس سیاه ماهی در محدوده ی آسیای صغیر، آفریقا، سراسر ناحیه ی قفقاز در محدوده آسیا و همچنین سوریه و جنوب آسیای مرکزی، جنوب کشور چین و شمال هند پراکنش یافته و در حوضه های آبریز داخلی ایران نیز پراکنش فراوانی دارد (خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۲؛ شجیعی و همکاران، ۱۳۸۷، مظاهری کوهانستانی و همکاران، ۱۳۹۶). اعضای این جنس به جز جنوب شرقی ایران تقریباً در همه ی آب های داخلی اعم از آبگیرها، دریاچه ها، چشمه ها، قنات ها و رودخانه ها حضور گسترده دارند (Jouladeh-Roudbar et al., 2017). تا به حال ۱۹ گونه از این جنس در ایران مورد شناسایی قرار گرفتند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مظاهری کوهانستانی و همکاران، ۱۳۹۶). سیاه ماهی مرکزی (Capoeta buhsei) از ماهیان بومزاد ایران به شمار می آید که از حشرات آبی مانند شیرونومیدها و جلبک هایی از قبیل دیاتومه ها تغذیه می کنند (Jouladeh-Roudbar et al., 2017).

در ارزیابی مطلوبیت زیستگاه به روش HSI می توان از رگرسیون لجستیک که حضور و عدم حضور گونه را بررسی می نماید، همچنین از مدل های جمعی تعمیم یافته (Generalized additive models) استفاده نمود. یکی از روش های ناپارامتری برای تبیین رابطه بین متغیرها استفاده از هموارسازی می باشد. در هموارسازی از روش های مختلفی استفاده

می شود، نظیر اسپلاین، هموارسازی جمعی، نمایی، هسته ای و غیره. از این میان، هموارسازی هسته ای تکنیکی آماری است که مقدار یک تابع با استفاده از میانگین وزنی نقاط مشاهده شده همجوار تخمین زده می شود. وزن با استفاده از هسته (Kernel) تعریف می شود، به طوری که نقاط نزدیکتر وزن بالاتری می گیرند. نتیجه کار یک هموار (Smooth) می باشد. میزان همواری (Smoothness) توسط پارامتری به نام پهنای باند تعیین می شود. هر چه پهنای باند بیشتر باشد، میزان همواری منحنی برازش یافته بیشتر می شود. با توجه به اهمیت روش به کار گرفته شده در تعیین رابطه بین تعداد نمونه و پارامتر محیطی، مطالعه حاضر در نظر دارد تا الگوریتمی را برای برازش منحنی های اندیکس مطلوبیت (Suitability index) با استفاده از هموارسازی هسته ای برای سیاه ماهی مرکزی رودخانه جاجرود ارائه دهد. چالش پیش رو یافتن روشی است برای تعیین پهنای باند بهینه است که در مقاله حاضر به آن پرداخته خواهد شد.

مواد و روش ها

محدوده مورد مطالعه: رودخانه جاجرود واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شرق تهران بوده و یکی از رودخانه های مهم استان تهران به شمار می رود. این رودخانه از ارتفاعات رشته جبال البرز و از کوه های خلنو با ارتفاع حداکثری ۴۳۷۵ متر از سطح دریا بوده و از شمال غرب منشأ گرفته و به سمت جنوب شرق در جریان است و در نهایت وارد سد لتیان می گردد (ارکيا و همکاران، ۱۳۹۶؛ دستورانی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین طول آن در حدود ۱۴۰ کیلومتر و حوضه ی آبریز آن وسعتی بالغ بر ۲۸۰۰ کیلومترمربع را دارا می باشد. آب این رودخانه به صورت دائمی بوده و از ذوب برف های البرز پدیدار می شود و همچنین دارای رژیم برفی بارانی است (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۱).

نمونه برداری: در ابتدا ایستگاه های نمونه برداری با

جدول ۱- فاکتورهای محیطی سنجش شده در ۴ ایستگاه مورد مطالعه در رودخانه جاجرود.

ایستگاه ۴ (پایین دست و بدور از شهر)	ایستگاه ۳ (پایین دست)	ایستگاه ۲ (مجاور شهر جاجرود)	ایستگاه ۱ (بالادست و زیر سد)	پارامترهای محیطی/ایستگاه
N 35°43'53.9" E "51°41'43.4"	N 35°44'0.4" E "51°41'42.1"	N 35°44'0.79" E "51°41'38.0"	N 35°45'53.4" E "51°41'35.1"	طول و عرض جغرافیایی
۱۹	۱۳	۷	۲۱	تعداد ماهی
۶/۲	۷	۸/۵	۷/۸	دما (°C)
۸/۴۳	۹/۱۴	۷/۸۹	۷/۵۱	pH
۵۳۰	۶۲۰	۶۳۸	۶۳۴	EC (μs/cm)
۲۵۳	۲۹۲	۳۱۸	۳۱۷	TDS (ppm)
۱۸/۴	۱۸/۸	۱۶/۵	۱۶/۹	DO (ppm)
۲۵/۱۵	۲۱	۲۰/۱۶	۲۴/۵	عمق متوسط (متر)
۱۶/۴	۱۶/۳۶	-	۲۸/۹۵	عرض رودخانه (متر)
۰/۵	۰/۶	۰/۴۷	۰/۵۶	متوسط سرعت جریان آب (m/s)
۱۳/۰۵	۱۴/۸	۱۶/۷۵	۲۹/۳	متوسط قطر سنگ بستر (cm)

جسم شناور، عمق متوسط آب با متر فلزی، درجه حرارت آب، pH، EC، TDS با دستگاه پرتابل (Eutech)، اکسیژن با اکسیژن متر (Lutron 5510) عرض رودخانه در محل نمونه برداری با متر لیزری (Hyundai 504DM) و قطر متوسط سنگ های بستر رود با متر فلزی در هر ایستگاه نمونه برداری اندازه گیری شد (جدول ۱).

تعیین شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI): برای محاسبه HSI از روش ناپارامتری هموارسازی هسته ای استفاده شد. با استفاده از این روش رابطه ی بین تعداد ماهی در هر ایستگاه و متغیرهای محیطی محاسبه گردید. این محاسبه در چند مرحله انجام گرفت: (۱) به دست آوردن پهنای باند مناسب برای کشیدن منحنی (بر اساس هموارسازی هسته ای) برای هر متغیر محیطی با استفاده از محاسبه ی مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE= Root mean squares error)، (۲) محاسبه ی شکل های SI (شاخص مطلوبیت) و (۳) محاسبه ی HSI که در نهایت رابطه ی بین تعداد ماهی در هر ایستگاه و HSI به صورت گراف برازش داده شد و برای تعیین بهترین روش محاسبه HSI مورد استفاده قرار گرفت. محاسبه مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE): برای محاسبه رابطه بین تعداد ماهی و

استفاده از تصاویر ماهواره ای و سپس بازدیدهای میدانی از رودخانه جاجرود، انتخاب شدند. در طول رودخانه چهار ایستگاه تعیین شد. نمونه برداری در آذرماه ۱۳۹۵ در رودخانه جاجرود از بالادست به سمت پایین دست انجام شد. نمونه گیری با استفاده از صید الکتریکی با دستگاه SAMUS 725 با الکتریسیته مستقیم پالس دار با ولتاژ ۱۰۰۰ انجام گرفت، سپس نمونه های صید شده، مورد شناسایی قرار گرفت و تعداد آن ها ثبت گردید. پس از آن نمونه ها در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

اندازه گیری پارامترهای محیطی: بعد از صید نمونه ها، به منظور تعیین شاخص شایستگی زیستگاه محل نمونه برداری، تعداد ۹ متغیر محیطی اندازه گیری شدند. متغیرهای مورد بررسی عبارت بودند از عمق (cm)، عرض (m)، سرعت جریان آب (m/s)، pH، EC (ضریب هدایت الکتریکی)، TDS (مواد جامد محلول کل)، DO (اکسیژن محلول)، قطر متوسط سنگ بستر (cm) و درجه حرارت (جدول ۱). همچنین طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی (Garmin etrex 30) ثبت گردید. پارامترهای محیطی شامل سرعت جریان آب با استفاده از روش

مربعات؛ x_i متغیرهای مستقل و n ، تعداد متغیرهای مستقل هستند. پهنای باندی که منجر به کمترین RMSE شده بود به عنوان مقدار اپتیمم پذیرفته شد. محاسبه‌ی شکل‌های SI: برای ترسیم شکل‌های SI تعداد ماهیان در هر ایستگاه با استفاده از رابطه‌ی ۲ به عددی بین صفر تا یک تبدیل شد و به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. همچنین مقادیر هر پارامتر محیطی اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه به عنوان متغیر مستقل آمد، سپس شکل‌های SI با استفاده از روش هموارسازی هسته‌ای و با پهنای باند اپتیمم به دست آمده برای هر پارامتر برازش داده شد (Poorbagher, 2018).

$$\frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad \text{رابطه ۲}$$

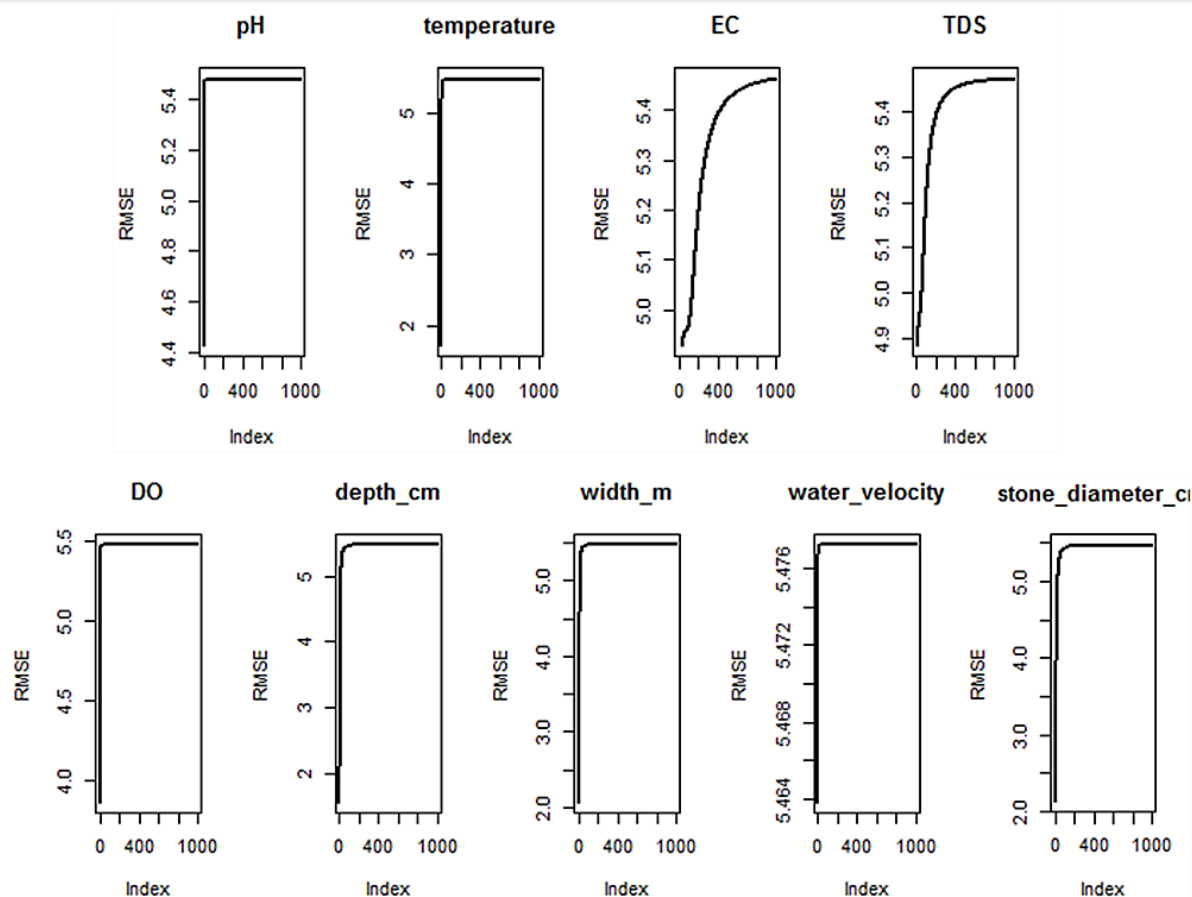
که در این معادله x_i متغیرهای محیطی، $\min(x)$ مقدار مینیمم هر متغیر و $\max(x)$ مقدار ماکزیمم هر متغیر است. سپس شکل این مقادیر استانداردسازی شده و برای هر یک از متغیرهای محیطی شکل SI رسم شد.

محاسبه‌ی HSI: برای محاسبه شاخص مطلوبیت ایستگاه‌ها (HSI) میانگین حسابی، هندسی، حداقل و حداکثر شکل‌های SI متغیرهای محیطی در هر ایستگاه نمونه‌برداری محاسبه شد. سپس رابطه‌ی بین این مقادیر (میانگین شکل‌های SI) به عنوان متغیر مستقل و تعداد ماهی به عنوان متغیر وابسته در هر ایستگاه محاسبه و به عنوان HSI هر ایستگاه در نظر گرفته شد، همچنین بعد از برازش رگرسیون خطی بین تعداد ماهی و HSI، معیار اطلاعات اکایکه (Akaike Information Criterion = AIC) محاسبه شد. کمترین (= بهترین) مقدار AIC مربوط به میانگین هندسی بود اما به دلیل این که مقادیر منفی در SI محاسبه شد، AIC به دست آمده با میانگین هندسی مناسب نبوده در نتیجه بهترین AIC، AIC براساس میانگین حسابی بود که به عنوان روش برای محاسبه HSI ایستگاه‌ها در نظر

متغیرهای محیطی از هموارسازی استفاده شد. پهنای باند در روش هموارسازی هسته‌ای مقدار همواری پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن آن از RMSE استفاده شد. در ابتدا برای به دست آوردن بهترین پهنای باند و در نتیجه همواری، مقادیر عددی ۱ تا ۱۰۰۰ در تابع (ksmooth) به عنوان پهنای باند در نرم‌افزار R قرار داده شد. هر چه پهنای باند بیشتر باشد، همواری خط برازش داده شده بیشتر خواهد شد. مقادیر بسیار کم باعث می‌شود که نتوان برای یک متغیر مستقل مقداری پیش‌بینی نمود. بنابراین ابتدا با یک ماکرو تعیین گردید که حداقل مقدار پهنای باند که بتواند به یک هموارسازی منجر شود، یعنی برای تمام مقادیر یک متغیر مستقل بتوان عددی را پیش‌بینی نمود، را پیدا نمود. سپس از این مقدار حداقل تا عدد ۱۰۰۰ به عنوان پهنای باند قرار داده شد. ماکرویی دیگر نوشته شد که در آن به ازای هر پهنای باند مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) را برای خط هموار برازش داده شده تعیین نمود. چون هموارسازی هسته‌ای روشی ناپارامتری است و معادله ایجاد نمی‌نماید، امکان قرار دادن مقدار هر داده متغیر مستقل (x) در آن به منظور دریافت مقدار پیش‌بینی شده وجود ندارد. برای حل این مشکل با استفاده از رگرسیون چندجمله‌ای با مرتبه بالا (مثلاً ۲۵) بین هر متغیر محیطی و مقدار پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای رابطه‌ای به دست آمد. داده‌های هر متغیر مستقل در معادله‌ی محاسبه شده برای مقادیر پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای قرار داده شد و مقدار پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای به دست آمد. با دانستن مقادیر پیش‌بینی شده برای آن متغیر مستقل و با استفاده از رابطه زیر RMSE محاسبه گردید (Kuhn and Johnson, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن RMSE، مقدار خطای جذر میانگین



شکل ۱ - RMSE مربوط به پهنای باندهای ۱ تا ۱۰۰۰ برای متغیرهای محیطی.

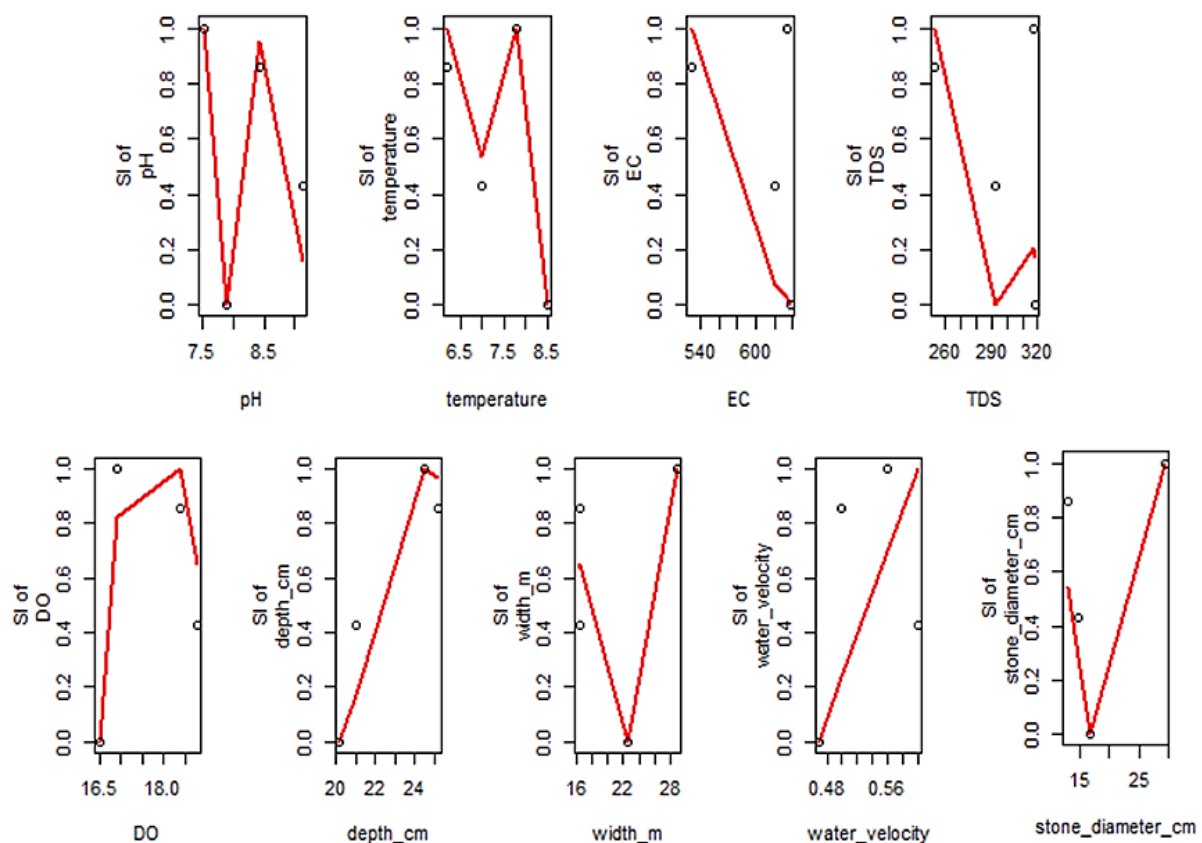
گرفته شد. در نهایت رابطه‌ی بین تعداد ماهی و HSI چهار ایستگاه در ۴ گراف بر اساس ۴ روش محاسبه (میانگین حسابی، میانگین هندسی، حداقل، حداکثر) HSI ترسیم شد.

نتایج

نتایج RMSE مربوط به پهنای باندهای ۱ تا ۱۰۰۰ برای متغیرهای مستقل در شکل ۱ نمایش داده شده است. به عبارت دیگر با وارد کردن مقادیر ۱ تا ۱۰۰۰ در تابع (ksmooth) در نرم‌افزار R و به دست آوردن RMSE‌های مربوطه، شکل آن‌ها برحسب اعداد وارده (۱ تا ۱۰۰۰) به عنوان متغیر مستقل و RMSE‌های به دست آمده به عنوان متغیر وابسته رسم شد (شکل ۱). همچنین در شکل ۲، نتایج شاخص مطلوبیت متغیرهای محیطی به تفکیک آمده است. نتایج نشان داد با افزایش EC و TDS شاهد کاهش شاخص مطلوبیت و با افزایش عمق، سرعت

جریان آب و قطر سنگ‌بستر شاخص مطلوبیت افزایش می‌یابد. در pH‌های ۷/۵ و ۸/۵ شاخص مطلوبیت بالا بوده است. همچنین شاخص مطلوبیت در دماهای نزدیک به ۸ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش اکسیژن محلول شاخص مطلوبیت و به تبع آن تعداد ماهیان افزایش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش عرض رودخانه شاخص مطلوبیت افزایش یافت.

مقادیر AIC مربوط به محاسبه‌ی HSI از ۴ روش (میانگین حسابی، هندسی، حداقل و حداکثر) در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج مقدار AIC به دست آمده از روش میانگین حسابی که کم‌ترین مقدار بود، از همه بهتر است. همچنین در جدول ۳ مقادیر HSI محاسبه شده به ۴ روش میانگین حسابی، هندسی، مینیمم و ماکزیمم نشان داده شده است. به گونه‌ای که در هر ایستگاه ۱۲ پارامتر محیطی به ۴ روش میانگین گرفته شدند.



شکل ۲ - شکل‌های شاخص مطلوبیت متغیرهای محیطی.

جدول ۲- مقادیر AIC مربوط به محاسبه HSI.

شاخص اکایکه			
روش حداکثر	روش حداقل	HSI (میانگین هندسی)	HSI (میانگین حسابی)
۳/۷۴۱۳۶۲	-۹/۸۴۴۴۱۴	-Inf ^۱	-۱۴/۲۶۵۸۱

^۱ به علت وجود مقادیر صفر در میزان مطلوبیت برخی ایستگاهها مقدار میانگین هندسی قابل محاسبه نبود

جدول ۳- مقادیر HSI محاسبه شده با ۴ روش میانگین حسابی، هندسی، مینیمم و ماکزیمم.

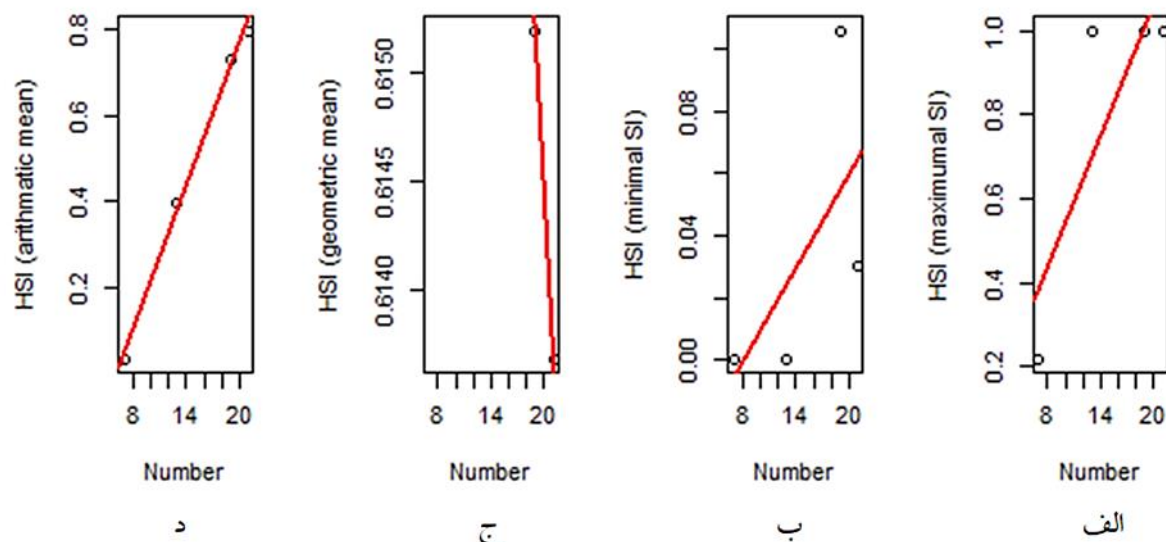
ایستگاه	HSI میانگین حسابی	HSI میانگین هندسی	HSI روش حداکثر	HSI روش حداقل
۱	۰/۷۹۶۹۱۰۸۹	۰/۶۱۳۶۸۳۸	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۳۰۰۷۸۲۷
۲	۰/۰۳۲۴۱۰۲۳	NA	۰/۲۱۶۰۶۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰
۳	۰/۳۹۴۴۲۴۵۷	NA	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
۴	۰/۷۳۱۴۶۹۳۸	۰/۶۱۵۱۸۹۶	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۱۰۵۹۳۳۶۹

شکل حاصل از رگرسیون HSI حسابی و تعداد ماهی (شکل ۳ - د) نسبت به شکل دیگر بهتر بیان شد.

بحث

نتایج این مطالعه بر روی پارامترهای محیطی در رودخانه جاجرود نشان داد که ترجیح زیستگاهی

نتایج نشان داد که میانگین هندسی برای دو ایستگاه قابل محاسبه نبودند (جدول ۳). در شکل ۳-الف و ب رگرسیون نتوانست رابطه‌ی بین HSI و تعداد ماهی را به خوبی بیان کند و نقاط اصلی خارج از خط رگرسیونی افتاد درحالی که رابطه‌ی بین شاخص مطلوبیت زیستگاه و تعداد ماهی در ایستگاه‌ها در



شکل ۳ - رابطه‌ی بین تعداد ماهی و HSI.

سیاه‌ماهی مرکزی قسمت‌هایی از رودخانه با سرعت بالا و عمق بیشتر است. به عبارت دیگر با افزایش سرعت و عمق شاخص مطلوبیت افزایش می‌یابد. مطالعات قبلی نشان داد که سیاه ماهی رازی (*C. razii*) سرعت‌های متوسط به بالا را ترجیح می‌دهد (رستمیان و همکاران، ۱۳۹۵). می‌توان علت این موضوع را با نیاز بالای اکسیژنی این گونه مرتبط دانست. Baker و Ross (۱۹۸۱) بیان کردند سرعت جریان و عمق آب در پیش‌بینی وقوع گونه‌ها اهمیت بسیار زیادی دارند. یک گرایش عمومی وجود دارد که سرعت مورد پسند و مطلوب ماهیان با افزایش عمق آب افزایش می‌یابد (Armstrong et al., 2003). در نواحی با سرعت‌های بالاتر احتمالاً یک افزایش در غذای در دسترس نیز وجود دارد (Armstrong et al., 2003). Damalas و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند پارامترهای زیست‌محیطی از قبیل دما، نور، تراکم مواد غذایی و میزان تولیدات اولیه و ثانویه متأثر از فاکتور عمق آب می‌باشد.

بر اساس نتایج با افزایش عرض رودخانه برشمار سیاه ماهی مرکزی در رودخانه افزوده شد. به عبارت دیگر این گونه در عرض‌هایی از رودخانه نزدیک به ۲۸ متر دارای بیشترین فراوانی بود و در این پهنای شاخص مطلوبیت در بالاترین حد خود بود. مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش عرض رودخانه پوشش جلبکی و

حشرات آبی که غذای این گونه به شمار می‌آید، افزایش می‌یابد (Baker and Ross, 1981). با توجه به نتایج اولویت سیاه ماهی مرکزی برای زیستن، بسترهایی با قطر سنگ‌بستر بالاتر بود و در جاهایی با قطر سنگ بستر ۲۵ سانتی‌متر به بالا فراوان‌تر بودند. Ahmadi-Nedushan و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند بستر یکی از فاکتورهای مهم در ایجاد فضاهای زیستی در یک زیستگاه به شمار می‌آید و در مقابله با جریانات آبی و تأمین مواد غذایی برای گونه دخالت دارد. مطالعات همچنین نشان می‌دهد که اندازه اجزای بستر در مراحل مختلف زندگی به خصوص فصل تخم‌ریزی با سرعت آب ارتباط نزدیکی دارد زیرا گراول‌های بزرگتر با سرعت‌های بالاتر ارتباط و همبستگی دارند (Kondolf and Wolman, 1993).

نتایج همچنین نشان داد که دما عامل مهم دیگر در فراوانی سیاه ماهی مرکزی در طول رودخانه است. به‌طور کلی با افزایش دما شاخص مطلوبیت کاهش می‌یافت و این گونه تمایل بیشتری به زیستن در دماهای کمتر را داشت. با توجه به رابطه‌ی معکوس دما و حلالیت اکسیژن، با افزایش دما اکسیژن محلول آب کاهش می‌یابد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶) و بر طبق نتایج، زیستگاه انتخابی سیاه ماهی مرکزی مناطقی با اکسیژن محلول بالای آب بود. همچنین در

در استان فارس، محیط زیست جانوری، دوره ۹، شماره ۲، صفحات: ۲۴۲-۲۳۱.

حسینی، ع.، ستوده، ا.، موسوی، ز.، محمدی، م.، عباس-زاده، ا. ۱۳۹۶. زیست شناسی تولید مثل سیاه ماهی (*Capoeta capoeta intermedia*) در رودخانه شاپور (استان بوشهر). مجله پژوهش‌های جانوری، دوره ۳۰، شماره ۱، صفحات: ۵۹-۵۱.

خیراندیش، آ.، م.، عبدلی، ا.، عبدلی، ل. ۱۳۹۲. بررسی سن و رشد سیاه ماهی *Capoeta damascina* (Valenciennes in cuvier and valenciennes (1842) در رودخانه دالکی استان بوشهر. مجله پژوهش‌های جانوری، دوره ۲۶، شماره ۴، صفحات: ۴۳۴-۴۲۵.

دستورانی، م.، ت.، بحری، م.، پناهی، م. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تاثیر آن بر دبی رودخانه جاجرود، هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، خرم‌آباد، ایران.

دولت‌پور، ا.، پورباقر، ه.، ایگدری، س.، جوانشیر، آ. ۱۳۹۵. مطالعه ترجیح زیستگاهی سیاه ماهی توئینی (*Capoeta damascina*) در رودخانه گردان با استفاده از شاخص مطلوبیت زیستگاه. نشریه شیلات، دوره ۶۹، شماره ۳، صفحات: ۳۶۶-۳۵۹.

رستمیان، ن.، ایگدری، س.، وطن‌دوست، صابر. سالار، ح. ۱۳۹۶. بررسی خصوصیات زیستگاهی سیاه ماهی *Capoeta capoeta gracilis* (Keyserling, 1861) در رودخانه کلارود واقع در استان مازندران. محیط زیست جانوری، دوره ۹، شماره ۲، صفحات: ۱۴۶-۱۴۱.

رستمیان، ن.، سعیدپور، ب.، ایگدری، س.، رامین، م. ۱۳۹۵. بررسی مطلوبیت زیستگاهی سگ ماهی *Cobitis keyvani* Mousavi-Sabet *et al.*, 2012 در رودخانه توتکابن (شاخه فرعی رودخانه سفیدرود) با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته (GAM). پژوهش‌های ماهی شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۴، صفحات: ۱۲-۱.

زمانی فردنبه، م.، ایگدری، س.، زارعی، ن. ۱۳۹۴. بررسی شاخص مطلوبیت زیستگاه سیاه ماهی (*Capoeta gracilis*, Keyserling 1861) در رودخانه طالقان. نشریه شیلات، دوره ۶۸، شماره ۳، صفحات: ۴۱۹-۴۱۶.

نواحی از رودخانه که EC و TDS بالاتر بودند، تعداد گونه‌ی مورد مطالعه کمتر مشاهده شد و با افزایش EC و TDS شاخص مطلوبیت کاهش می‌یافت. در مطالعه‌ای وطن دوست و عبدلی (۲۰۱۰) دریافتند، با افزایش مقادیر TDS شمار ماهی قزل‌آلای خال قرمز در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر کاهش می‌یابد.

در مجموع شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد و با توجه به نتایج، اولویت انتخاب زیستگاه برای سیاه ماهی مرکزی در رودخانه‌ی جاجرود مناطقی با سرعت بالای آب، با عمق و عرض زیاد، دمای پایین‌تر و با بستری با قطر سنگ‌بستر بزرگ‌تر بود. با مطالعه‌ی صورت گرفته ایستگاه اول در بالاترین نقطه زیر سد لتیان با شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) ۰/۷۹۶ دارای بالاترین مقدار شاخص مطلوبیت زیستگاه برای سیاه ماهی مرکزی و مناسب‌ترین زیستگاه برای این گونه در رودخانه جاجرود باکیفیت عالی شناخته شد. در ضمن مطالعه حاضر روشی ناپارامتری را برای ترسیم رابطه بین هر متغیر محیطی و تعداد ماهی در زیستگاه مورد استفاده قرار داد. روش هموارسازی هسته‌ای نیازمند محاسبه پهنای باند است که مطالعه حاضر روشی برای محاسبه مقدار مطلوب آن ارائه داد.

منابع

ارکیا، س.، یوسفی سیاه کلرودی، س.، خردپیر، ن.، کرمی، ا. ۱۳۹۶. بررسی فونستیک شیرونومیده در رودخانه جاجرود. محیط‌زیست جانوری، دوره ۹، شماره ۴، صفحات: ۳۲۲-۳۱۵.

اسدی، ه.، ستاری، م.، ایگدری، س. ۱۳۹۳. بررسی عوامل تعیین‌کننده در انتخاب پذیری و ترجیح زیستگاه سیاه ماهی *Capoeta capoeta gracilis* (Keyserling 1891) در رودخانه سیاهرود (از سرشاخه‌های حوضه رودخانه سفیدرود)، مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۳، شماره ۳، صفحات: ۹-۱.

جعفری، م.، خدادادی، م.، رجب‌زاده، ا. ۱۳۹۶. شناسایی و بررسی فراوانی و تنوع ماکروبن‌توزهای رودخانه شاپور

- Research and Applications 22(5), 503-523.
- Baker J.A., Ross S.T. 1981. Spatial and temporal resource utilization by southeastern cyprinids. *Copeia* 178-189.
- Damalas D., Maravelias C.D., Katsanevakis S., Karageorgis A.P., Papaconstantinou C. 2010. Seasonal abundance of non-commercial demersal fish in the eastern Mediterranean Sea in relation to hydrographic and sediment characteristics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89(1), 107-118.
- Jouladeh-Roudbar A., Eagderi S., Murillo-Ramos L., Ghanavi H.R., Doadrio I. 2017. Three new species of algae-scraping cyprinid from Tigris River drainage in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *FishTaxa* 2(3), 134-155.
- Kondolf G.M., Wolmana M.G. 1993. The sizes of salmonid spawning gravels. *Water Resources Researches* 29, 2265-2274.
- Nukazawa K., Shiraiwa J.-I., Kazama S. 2011. Evaluations of seasonal habitat variations of freshwater fishes, fireflies, and frogs using a habitat suitability index model that includes river water temperature. *Ecological Modelling* 222(20-22), 3718-3726.
- Poorbagher H. 2018. Analyzing data in aquatic ecology with R. University of Tehran Press. 482 p.
- Tian S., Chen X., Chen Y., Xu L., Dai X. 2009. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommatrephe bratramii* in the northwestern Pacific Ocean. *Fisheries Research* 95(2-3), 181-188.
- ۴۰۹.
- سهرابی، ت.، حیدری، آ.، احمدپور، ط.، لیاقت، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی زیست محیطی رودخانه جاجرود با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شجیعی، ه.، فضل، ح.، بانی، ن. ۱۳۸۷. بررسی بیولوژی تولید مثل در سیاه ماهی *Capoeta capoeta gracilis* در سواحل جنوبی دریای خزر استان مازندران (رودخانه تجن). زیست‌شناسی جانوری، دوره ۱، شماره ۲، صفحات: ۳۱-۳۵.
- طباطبائی، س.ن.، ایگدري، س.، کابلی، م.، جوانشیر، آ.، هاشم‌زاده سقرلو، ا.، زمانی، م. ۱۳۹۲. بررسی فاکتورهای محیطی مؤثر در پراکنش سگ ماهی جویباری (*Oxynoemacheilus bergianus*) در رودخانه کردان. نشریه شیلات، دوره ۶۶، شماره ۲، صفحات: ۱۷۱-۱۵۹.
- مرید، ر.، ایگدري، س.، دلاور، م. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاهی آبزیان رودخانه کردان - مطالعه موردی: سگ ماهی جویباری (*Oxynemacheilus bergianus*). تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات: ۱۴۵-۱۵۸.
- مظاهری کوهانستانی، ز.، حاجی مرادلو، عبدالمجید.، قربانی، ر. ۱۳۹۶. بررسی پارامترهای خونی سیاه ماهیان (*Capoeta capoeta gracilis*) آلوده به انگل پوستودیپلوستوم کوتیکولا (*Posthodiplostomum cuticola*) نهر زرین گل استان گلستان. زیست‌شناسی جانوری تجربی، دوره ۶، شماره ۱، صفحات: ۷۰-۵۹.
- وطن دوست، ص.، عبدلی، ا. ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر بر فراوانی و پراکنش ماهی قزل‌آلای خال قرمز در رودخانه‌های مرکزی حوضه جنوبی دریای خزر، همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
- Armstrong J.D., Kemp P.S., Kennedy G.J.A., Ladle M., Milner N.J. 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research* 62, 143-170.
- Ahmadi-Nedushan B., St-Hilaire A., Bérubé M., Robichaud É., Thiémonge N., Bobée B. 2006. A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. *River*

Calculating the habitat suitability index of Siahmahi (*Capoeta buhsei*, Kessler 1877) using the kernel smoothing in the Jajrood River, Namak basin of Iran

Mahsa Ahmdzadeh, Hadi Poorbagher*, Soheil Eagderi

Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding author: poorbagher@ut.ac.ir

Received: 2018/8/14

Accepted: 2018/11/21

Abstract

Fishes grow and survive in the habitats that have environmental essentials for living to fulfill their needs. The present study aimed to calculate habitat suitability index of *Capoeta buhsei* using the kernel smoothing in the Jajrood River. A method was provided to calculate the bandwidth needed for the kernel smoothing, i.e. 1000 band width (0-1000) were separately examined and the one with the lowest root mean square error was selected as the best. Nine environmental factors were measured: pH, temperature, EC, TDS, DO, depth, width of the river, water current velocity, and diameter of the substrate stones. The suitability curves were fitted. Four methods of calculating HSI were examined: arithmetic and geometric mean, maximum and minimum methods. This species preferred the habitats with fast water current, deep and wide areas of the river with low temperature having large stones. The first station (upstream) with a habitat suitability index of 0.796 was the most suitable living place for *Capoeta buhsei* in the Jajrood River.

Keywords: Habitat Suitability Index, *Capoeta buhsei*, Kernel Smoothing, Jajrood River.