فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

۹۴-۸۱

مقاله پژوهشی

مدلسازی نیازهای زیستگاهی ماهی کولی ارومیه (*Alburnus atropatenae*) در رودخانه حفاظت شده جاجرود

صالح محمودی و اصغر عبدلی*

گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۸

محمودی، ص. و ا. عبدلی. ۱۴۰۲. مدلسازی نیازهای زیستگاهی ماهی کولی ارومیه (*Alburnus atropatenae*) در رودخانه حفاظت شده جاجرود. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۲): ۸۱-۹۴.

سابقه و هدف: یافتن نیازهای زیستگاهی برای ماهیان در اکوسیستم‌های آب‌های جاری عامل کلیدی در حفاظت و تصمیم‌گیری برای مدیریت آن‌هاست که متأسفانه اطلاعات علمی کافی در این زمینه وجود ندارد. هدف از انجام این مطالعه، شناخت طیف‌های بهینه از متغیرهای تاثیرگذار زیستگاهی برای گونه کولی ارومیه و مقایسه رویکردهای مختلف ترکیبی در مدل‌سازی این گونه است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، زیستگاه گونه کولی ارومیه در رودخانه جاجرود در قالب ۷۱ نقطه در تابستان ۱۳۹۸ نمونه‌برداری شد. متغیرهای فیزیکی زیستگاه از جمله عمق، سرعت آب و بستر اندازه گیری شدند. پس از نمونه‌برداری ماهیان با روش الکتروفیشینگ، طول کل ماهیان اندازه‌گیری شدند. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی با روش تک متغیره توسعه داده شدند و سپس مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی با روش های ضرب، حداقل، میانگین حسابی و میانگین هندسی محاسبه گردید. برای اعتبار سنجی نتایج از دو سنجه‌ی آماری میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد.

نتایج و بحث: در مجموع تعداد ۲۳۵ قطعه ماهی گونه کولی ارومیه شامل ۲۲۱ فرد بالغ و ۱۴ فرد نابالغ صید شد که اندازه طول کل بدن آن‌ها از ۲۳ میلیمتر تا ۱۴۸ میلیمتر متغیر بود. متغیرهای فیزیک زیستگاه شامل عمق ۵۶-۶ سانتیمتر، سرعت جریان ۲۹-۴ سانتیمتر بر ثانیه، و بستری با اندازه ذرات «شن خیلی ریز» تا «قلوه سنگ» بود. زیستگاه ترجیحی و بهینه برای این گونه شامل عمق ۲۵-۱۶ سانتیمتر، سرعت جریان ۱۰-۵ سانتیمتر بر ثانیه و بستری با ساختار قلوه سنگی بود و در این میان مدل تک متغیره مبتنی بر بستر دارای کمترین خطا بود. از میان مدل های مطلوبیت زیستگاه ترکیبی روش های ضرب و حداقل با داشتن کمترین مقادیر سنجه‌های MAE و RMSE مدل‌های کم خطا، و روش های میانگین حسابی و میانگین هندسی با داشتن مقادیر بالاتر این سنجه‌ها، مدل‌های پر خطا تشخیص داده

* Corresponding Author: *Email Address*. a_abdoli@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1201
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.4.2

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

شد.

نتیجه‌گیری: این نخستین مطالعه در رابطه با اکولوژی گونه کولی ارومیه در ایران است که به شناسایی زیستگاه بهینه این گونه پرداخته است. متغیر ساختار بستر بیش از دو متغیر عمق و سرعت جریان در انتخاب زیستگاه توسط این گونه تعیین کننده‌ست. همچنین در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی روش‌های ضرب و حداقل از اولویت و اهمیت برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت رودخانه، شاخص مطلوبیت ترکیبی، طیف‌های بهینه، RMSE، کولی ارومیه، رودخانه جاجرود.

مقدمه

درک روابط بین جامعه زیستی یا زی‌سازند[1] و متغیرهای محیطی همیشه یکی از مهمترین اهداف بوم شناسی بوده است. ماهیان گروه بزرگی از این جامعه زیستی را تشکیل می‌دهند که تنوع زیادی داشته و تقریباً ۳۰ هزار گونه از آنها شناسایی شده است (Abdoli, 2016). در این میان، در مطالعه جغرافیای جانوری، ماهیان آب‌های شیرین دارای ارزش فراوانی هستند. ماهیان در زیستگاه‌هایی رشد و بقا می‌یابند که دارای ویژگی‌های محیطی برای تأمین نیازهای خود باشند. یافتن نیازهای زیستگاهی برای ماهیان در اکوسیستم‌های آب‌های جاری عامل کلیدی در حفاظت و تصمیم‌گیری برای مدیریت است. متأسفانه اطلاعات علمی کافی در زمینه اکولوژی ماهیان‌آب‌های شیرین ایران وجود ندارد و این مهمترین مسأله در حفاظت آن‌هاست (Abdoli *et al.*, 2011).

با توجه به رشد جمعیت و توسعه صنعتی، میزان تقاضا و مصرف آب در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت و این به معنای برداشت بیشتر آب از اکویسیستم‌های آب شیرین و به طور خاص رودخانه‌ها خواهد بود (Sedighkia and Abdoli, 2021). از طرفی دیگر، برداشت آب و تغییر اقلیم منجر به کاهش جریان آب خواهد شد که در نتیجه آن مطلوبیت زیستگاه زیستمندان این اکوسیستم‌ها به‌ویژه ماهیان آب شیرین را تحت تأثیر قرار خواهد داد (Yousefi *et al.*, 2020). بنابراین، مفهوم جریان محیط زیستی یا نیاز آبی محیط زیستی به وجود آمد و روش هایی برای تعیین آن توسعه یافته است. در این میان، روش‌های مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه گونه‌های شاخص به عنوان ابزاری قوی جهت ارزیابی جریان محیط زیستی (Sedighkia *et al.*, 2017) و مدیریت رودخانه (Mouton *et al.*, 2007) به کار می رود.

برای مدیریت اکوسیستم‌های آبی درک نیازها و روابط بین گونه و زیستگاه و شناسایی چگونگی و مکانیسم انتخاب زیستگاه حائز اهمیت فراوان است. مدلسازی، انبوهی از اطلاعات پراکنده در این رابطه را در قالب مدل، توسعه داده و به ارائه چارچوبی مناسب جهت تصمیم‌گیری برای مدیریت زیستگاه می انجامد. بنابراین مدلسازی نیاز زیستگاهی ماهیان در اکوسیستم‌های آبی و به کار بردن آن در استراتژی‌های مدیریتی و حفاظتی مهم تلقی می‌شود (Mostafavi *et al.*, 2014).

ساختار فیزیکی زیستگاه نقش تعیین کننده ای در فراوانی و تنوع جوامع ماهیان دارد. سه متغیر مهم در توزیع و فراوانی ماهیان در مقیاس مزوزیستگاه در رودخانه عبارتند از عمق، سرعت جریان، و ساختار بستر (Vlach and Dusek, 2005; Olsen, 2012). از این سه متغیر به عنوان ویژگی های فیزیکی رودخانه یاد می شود که در مدلسازی مطلوبیت زیستگاه ماهیان به کار می رود (Boavida, *et al.*, 2011) و امکان ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای ارگانیسم‌های آبزی بر اساس این متغیرهای فیزیکی زیستگاه می‌دهند (Bovee 1982). شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) دارای مقادیر صفر تا یک است که در آن صفر نشان دهنده زیستگاه بسیار نامطلوب و عدد یک بیانگر زیستگاه با مطلوبیت عالی است. شاخص های مطلوبیت (SI) برای هر یک از متغیرهای زیستگاهی بطور مستقل و جداگانه محاسبه می‌شوند اما برای

نیل به مدل‌هایی با شاخص‌های مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی (CSI)، شاخص های مستقل را با روش های جبری و ریاضی در یکدیگر ترکیب و ادغام می کنند. چهار روش متداول در این زمینه شامل میانگین حسابی، میانگین هندسی، روش ضرب و روش کمینه یا حداقل می‌باشد (Zhang *et al.*, 2018).

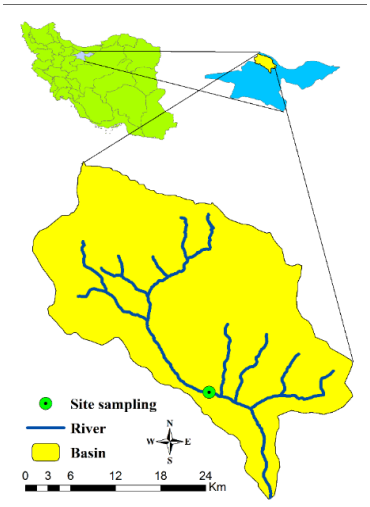
گونه‌های بومزاد (Endemic) دارای ارزش های اکولوژیک و اقتصادی بوده و از این جهت حائز اهمیت هستند که این گونه ها در زیستگاه‌های معدود و محدودتری زیست می-نمایند بنابراین برای حفاظت از این گونه ها و ارزش های اکولوژیک آنها شناخت نیازها و ویژگی های زیستگاهی آن الزامی است. ماهی کولی ارومیه یا شاه کولی ارومیه با نام علمی (*Alburnus atropatenae*) متعلق به خانواده کپور ماهیان (Cyprinidae) از راسته کپور ماهی شکلان (Cypriniformes) می باشد که در حوضه های ارومیه و نمک پراکنش دارد. سابقاً اعتقاد بر این بود که این گونه فقط در حوضه ارومیه پراکنش دارد تا اینکه اولین گزارش از حضور این گونه در رودخانه قره چای واقع در حوضه نمک به ثبت رسید (Khataminejad *et al.*, 2013). مطالعات پیشین در رابطه با این گونه شامل ریخت شناسی (Mouludi-Saleh *et al.*, 2022)، تنوع ریختی (Eagderi *et al.*, 2019)، ریخت سنجی و پارامترهای زیستی (Abbasi Ranjbar *et al.*, 2020)، و زیست سنجی جمعیت های این گونه در حوضه ارومیه (Tajik and Keivany, 2019) بوده است و پژوهشی در رابطه با اکولوژی این گونه انجام نشده است. با توجه به فقدان اطلاعات در مورد جمعیت و اکولوژی این گونه، شناخت ویژگی های زیستگاهی و بوم شناختی این گونه برای مدیریت و حفاظت از این جمعیت از اهمیت به سزایی برخوردار است.

این مطالعه سعی دارد که با مدل‌سازی ساختار فیزیکی زیستگاه و شناخت طیف های حیاتی این ویژگی‌های زیستگاهی برای گونه کولی ارومیه، آشیان مکانی و اکولوژیکی آن را در رودخانه جاجرود نمایان سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز جاجرود دارای وسعت ۱۹۸۲ کیلومتر مربع در قسمت شمال شرق تهران قرار گرفته که در سه حوضه آبریز لواسانات، دماوند و ورامین واقع شده است و از حوضه های آبریز "بزرگ" به شمار می‌رود (Fieseler and Wolter, 2006). بخشی از حوضه با مساحت ۶۹۴ کیلومتر مربع که بالاتر از سد لتیان قرار دارد، قسمت عمده آب رودخانه دائمی جاجرود را تأمین می‌کند.



شکل ۱- موقعیت مکانی رودخانه جاجرود و مکان نمونه برداری
Fig. 1- Geographical location of Jajroud River and sampling site

نمونه‌برداری

نمونه برداری در اواخر تابستان ۱۳۹۸، در طول روز و زمانی که دمای آب در بالاترین سطح خود است و جوامع ماهیان هنوز در زیستگاه های تغذیه ای باقی مانده اند (Wyżga *et al*., 2014) با دستگاه الکتروشوکر و با ولتاژ ۲۰۰ تا ۳۰۰ ولت در رودخانه جاجرود انجام شد. نمونه برداری در بازه پیوسته ۳۵۰ متری از رودخانه قبل از سد لتیان (N: 51° 36', E: 35° 48') بصورت زیگزاگ (Gosselin, *et al.*, 2012) در ۷۱ پلات و در تمامی اشکال مزوزیستگاه از قیبل گوداب[۲]، خیزاب[۳] و بینابینی[۴] صورت پذیرفت. پس از صید، گونه مورد مطالعه توسط کارشناس خبره و با بهره‌گیری از کتاب راهنمای میدانی ماهیان آب‌های داخلی ایران (Abdoli, 2016) شناسایی و طول کل بدن (±1 mm)، اندازه گیری و سپس بلافاصله به محیط بازگردانده شدند.

بعد از نمونه برداری از ماهیان، متغیرهای سرعت جریان، عمق و ساختار بستر به ترتیب زیر انجام شد. سرعت جریان آب در عمق ۶۰ درصدی هر پلات در سه نقطه بطور تصادفی به وسیله سرعت سنج مولینه ساخت ایران اندازه‌گیری، میانگین‌گیری و ثبت شد. عمق هر پلات نیز از میانگین سه نقطه در پلات با استفاده از میله مدرج اندازه‌گیری گردید. در مرکز هر پلات، یک کوادرات ۲۵ در ۲۵ سانتیمتری قرار داده شد و تمامی ذرات موجود در ان اعم از قلوه سنگ، شن و ماسه برداشته شد و در پس-زمینه‌ای کاملا روشن و مدرج از آنها عکسبرداری و سپس در نرم افزار ImageJ اندازه گیری و مرقوم سازی گردیدند. اعداد بدست آمده در هر پلات مطابق طبقه‌بندی (1986) Bovee در دسته‌های ۱) شن خیلی ریز mm ۲-۴، ۲) شن ریز mm ۴-۸، ۳) شن متوسط mm ۸-۱۶، ۴) شن درشت mm ۱۶-۳۲، ۵) شن بسیار درشت mm ۳۲-۶۴، و ۶) قلوه سنگ mm ۶۴-۱۲۸ جای گرفتند. همچنین، ویژگی‌های مزوزیستگاه (گوداب، بینابینی، خیزاب) که در جدول ۱ آورده شده است، مطابق توصیفات (1993) Jowett توسط شخص متخصص و باتجربه بصورت بصری تشخیص داده شد. به منظور به حداقل رساندن خطای انسانی در نمونه‌برداری، این عملیات توسط یک تیم مجرب چهار نفره (Piria, *et al*., 2019) که تا پایان پژوهش ثابت بودند، انجام شد.

جدول ۱- توصیف انواع مزوزیستگاه (برگرفته از (Jowett, 1993))

Table 1. Description of meso-habitat types (adapted from (Jowett, 1993)

مزوزیستگاه Meso-habitat	توصیف Description
گوداب Pool	جریان آرام با سطح صاف و فاقد شکستگی سطح آب، در اغلب موارد عمیق تر از عمق متوسط با ترکیبات ریز بستر Slow flowing with smooth and unbroken water surface, in most cases deeper than mean reach depth with finer substrate composition
خیزاب Riffle	جریان سریع با سطح شکسته و مواج آب Swiftly flowing with a wavy and broken water surface
بینابینی Run	امواج سطحی با شیب کم، حد واسط گوداب و خیزاب Little surface gradient waves, the middle ground between pool and riffle

مطلوبیت زیستگاهی

بعد از ثبت مقادیر اندازه گیری طول کل بدن ماهیان، با ترسیم نمودار فراوانی آنها، دو گروه متمایز سنی (نابالغ و بالغ) بر حسب اندازه طول کل بدن مشخص شد. برای هرگروه، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه توسعه داده شد و مطلوبیت فیزیک زیستگاه محاسبه گردید. برای این منظور، نخست ، فراهمی زیستگاه (HA) و سپس زیستگاه مورد استفاده (HU) محاسبه شد. در منحنی فراهمی زیستگاه در محور طولی دسته های آماری هر متغیر مورد مطالعه و محور عرضی فراوانی هر دسته در مقیاس صفر تا یک می باشد. برای زیستگاه مورد استفاده نیز که بر اساس اندازه‌گیری‌های مشاهدات میدانی ثبت شده است

به همین روال انجام شد. سپس با استفاده از رابطه ۱ که به شاخص ژاکوب نیز معروف است شاخص انتخاب زیستگاه در هر دسته آماری i محاسبه شد (Jacobs, 1974).

$$D_i = \frac{\mathrm{ri} - \mathrm{pi}}{\mathrm{ri} + \mathrm{pi} - 2\mathrm{ri}\,\mathrm{pi}} \quad (۱)$$

در این رابطه D_i شاخص انتخاب زیستگاه، r_i و p_i به ترتیب زیستگاه استفاده شده و فراهمی زیستگاه در دسته آماری هستند. همچنین در این رابطه اگر مقدار شاخص بیشتر از ۰/۲ باشد زیستگاه مطلوب و در مقادیر کمتر از ۰/۲- زیستگاه آن نامطلوب و مقادیر بین این دو مقدار نیز به عنوان زیستگاه بینابینی تلقی می شود. با استفاده از روش درون یابی خطی، تبدیل مقیاس شاخص انتخاب زیستگاه به مقیاس صفر تا یک از طریق رابطه ۲ منحنی مطلوبیت نهایی استخراج شد.

$$SI_i = \frac{D_i - D_{min}}{D_{max} - D_{min}} \quad (۲)$$

در این رابطه SI_i، شاخص مطلوبیت در نقطه i، D_i شاخص انتخاب زیستگاه در نقطه i، D_{min} و D_{max} به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار شاخص انتخاب زیستگاه است.

مطلوبیت زیستگاه ترکیبی

پس از بدست آوردن مطلوبیت زیستگاهی به تفکیک هر متغیر، مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی (Composite Suitability Indecies) که به اختصار CSI نشان داده می شود با بکارگیری چهار رویکرد یا روش که در ادامه آمده است محاسبه شد. روش میانگین حسابی (رابطه ۳) که از میانگین حسابی(AM) شاخص انتخاب زیستگاه یا مطلوبیت سه متغیر عمق، سرعت، و ساختار بستر به دست آمده است. به همین ترتیب، میانگین هندسی (GM) (رابطه ۴)، ، ضرب (MU) مقادیر سه متغیر (رابطه ۵) ، و مقدار کمینه یا حداقل (MI) در میان سه متغیر (رابطه ۶) به دست می آید (Ahmadi-Nedushan *et al.*, 2006).

$$CSI_{AM} = \frac{SI_v + SI_d + SI_s}{3} \quad (۳)$$

$$CSI_{GM} = \sqrt[3]{SI_v \times SI_d \times SI_s} \quad (۴)$$

$$CSI_{MU} = SI_v \times SI_d \times SI_s \quad (۵)$$

$$CSI_{MI} = \min(SI_v, SI_d, SI_s) \quad (۶)$$

که در این روابط، SI_v شاخص مطلوبیت متغیر سرعت، SI_d شاخص مطلوبیت متغیر عمق، و SI_s شاخص مطلوبیت متغیر بستر است.

اعتبارسنجی مدل

برآورد میزان خطا در هریک از روش های فوق از طریق محاسبه میانگین قدرمطلق خطا یا MAE[۵] (رابطه ۷) و ریشه میانگین مربع خطا که به اختصار RMSE[۶] نشان داده می‌شود (رابطه ۸) محاسبه گردید (Sedighkia *et al.*, 2021). این دو سنجه آماری فاقد حد بالایی هستند و هرچه مقدار آن به صفر نزدیکتر باشد، میزان خطا کمتر و مدل به واقعیت نزدیکتر است.

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \quad (۷)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۸)$$

در این روابط، MAE سنجه میانگین قدر مطلق خطا، RMSE ریشه میانگین مربع خطا، Oi مقادیر مشاهده شده یا اندازه‌گیری شده در محل، و Pi مقادیر مدل شده یا پیش‌بینی شده در هر پلات است.

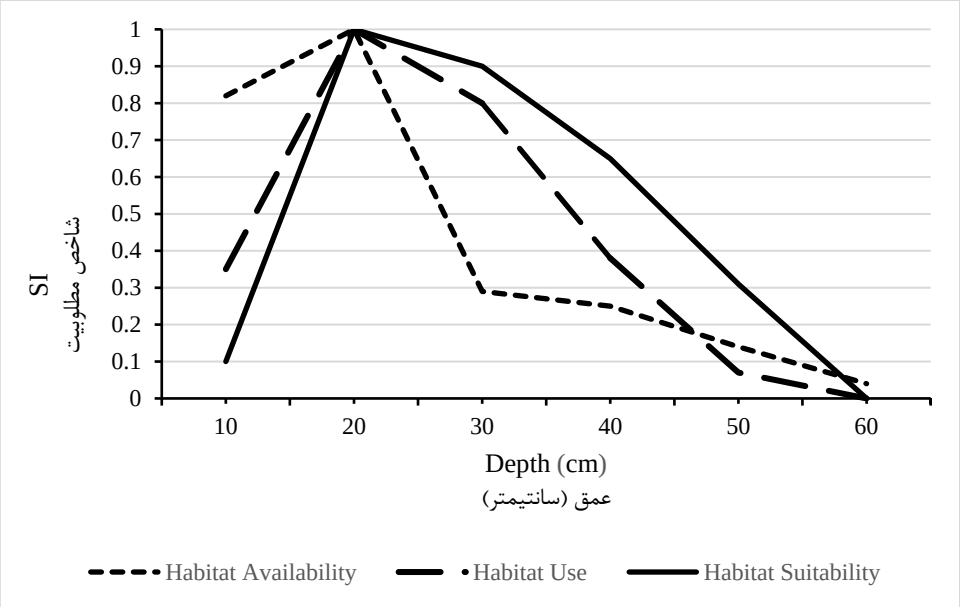
نتایج و بحث

طی نمونه برداری در ۷۱ پلات، تعداد ۲۳۵ قطعه ماهی گونه کولی ارومیه صید شد که اندازه طول کل بدن آنها از ۲۳ میلیمتر تا ۱۴۸ میلیمتر متغیر بود. پس از ترسیم نمودار فراوانی مشخص شد که تعداد ۲۲۱ فرد به گروه بالغ (اندازه طول بدن بیشتر از ۱۰۰ میلیمتر) و تعداد ۱۴ فرد به گروه نابالغ (اندازه طول بدن کمتر از ۱۰۰ میلیمتر) تعلق دارد. بنابراین به دلیل تعداد اندک گروه نابالغ، مدلسازی صرفاً برای گروه بالغ صورت گرفت. اندازه‌گیری متغیرهای فیزیک زیستگاه شامل عمق ۵۶-۶ سانتیمتر، سرعت جریان ۲۹-۴ سانتیمتر بر ثانیه، و بستری با اندازه

ذرات «شن خیلی ریز» تا «قلوه سنگ» مطابق دسته بندی Bovee (1986) بود. همچنین بازه مورد مطالعه رودخانه، دارای هر سه نوع مزوزیستگاه شامل گوداب، خیزاب، و بینابینی بود.

مدل مبتنی بر متغیر عمق

زیستگاه در دسترس برحسب هر متغیر از طریق تقسیم فراوانی بیشترین دسته بر سایر دسته‌ها به دست آمد. برای متغیر عمق، عمق‌های ۲۵-۱۶ سانتیمتر بیشترین و ۶۰-۵۶ سانتیمتر کمترین تعداد عمق در دسترس بود. زیستگاه مورد استفاده یا زیستگاه اشغال شده نیز همانند درجه فراهمی زیستگاه محاسبه شد. مطابق شکل ۲، بیشترین گروه یا فراوانی گونه کولی ارومیه زیستگاه با عمق (۲۵-۱۶) سانتیمتر که مرکز این دسته منطبق با عدد ۲۰ سانتیمتر در نمودار است را مورد استفاده قرار داده است. باتوجه به موارد فوق و نتایج محاسبه از طریق روابط (۱) و (۲)، مطلوبیت زیستگاهی برای متغیر عمق به صورتی است که در شکل ۲ آمده است. پلات هایی با عمق ۲۵-۱۶ سانتیمتر دارای بیشترین درجه مطلوبیت که دارای ارزش ۱ است و پلات های با عمق کمتر از این مقادیر و بیشتر از ۴۵ سانتیمتر از کمترین درجه مطلوبیت برخودار است. با اینکه Ayllón *et al.* (2010) بیان کردند که انتخاب زیستگاه دارای عمق‌های بالاتر توسط ماهی های قزل آلای بالغ به منظور کاهش مصرف انرژی است، اما گونه کولی ارومیه عمق های نسبتاً کم را ترجیح می دهد و مطلوبیت در عمق های بالاتر بلافاصله و با شیب تند کاهش می‌یابد.

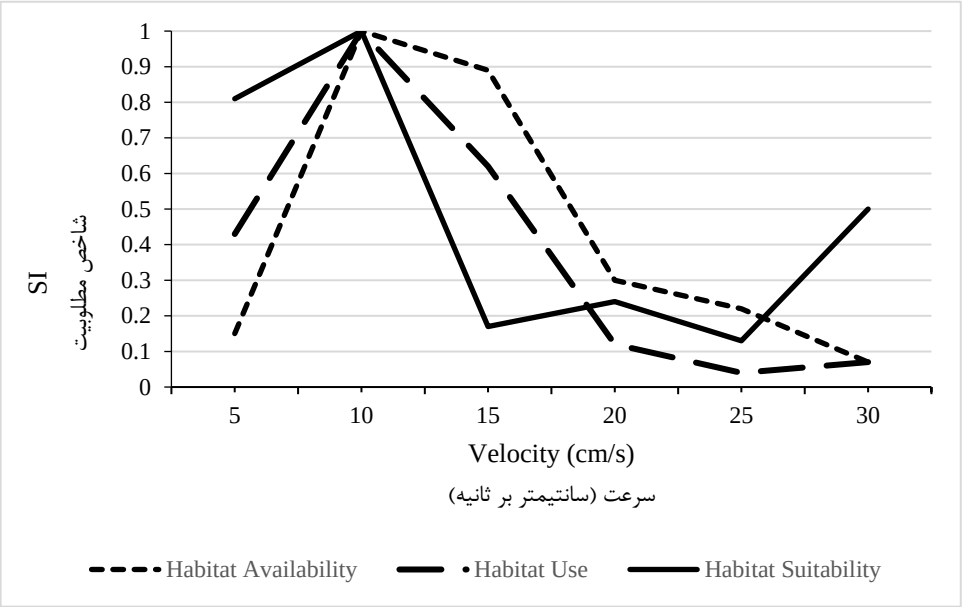


شکل ۲- شاخص انتخاب زیستگاه برای گونه کولی ارومیه در متغیر عمق

Fig. 2- Habitat selection index for *A. atropatenae* in depth variable

مدل مبتنی بر متغیر سرعت

در متغیر سرعت جریان آب، بیشترین زیستگاه در دسترس دارای سرعت ۱۰سانتیمتر برثانیه بود و پلات های با سرعت های خیلی کند (۵-۰ سانتیمتر بر ثانیه) و خیلی تند (۳۰-۲۶ سانتیمتر بر ثانیه) دارای کمترین تعداد و کمترین میزان فراهمی زیستگاه را داشتند (شکل ۳). همچنین میزان زیستگاه مورد استفاده در سرعت‌های ۵-۱۰ سانتیمتر برثانیه دارای بیشترین تعداد بود و بر همین اساس زیستگاه دارای سرعت ۱۰ سانتیمتر برثانیه مطلوبترین زیستگاه تشخیص داده شد و دارای حداکثر درجه مطلوبیت ۱ بود (شکل ۳). ماهی‌های رودخانه در قسمت‌هایی از رودخانه و در سرعت هایی دیده می شوند که انرژی دریافتی از تغذیه حداکثر باشد (Ayllón *et al.*, 2010).

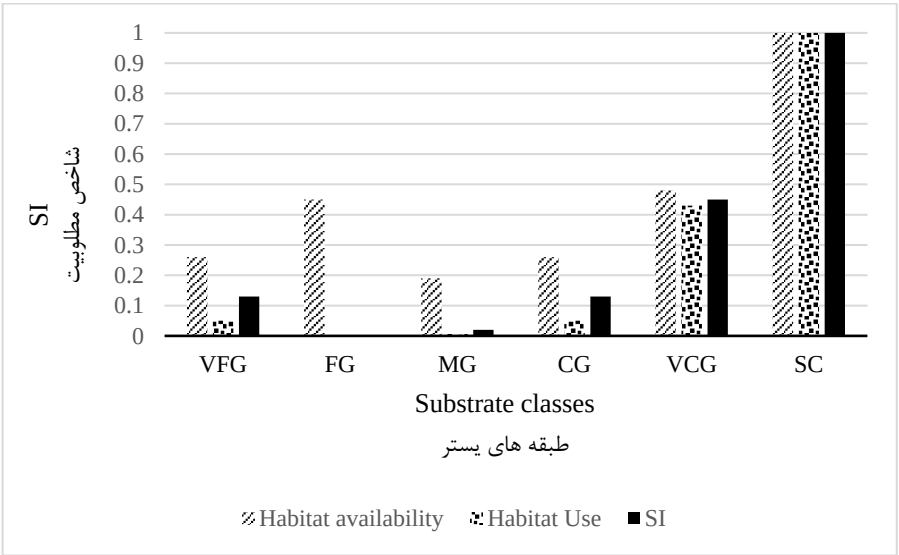


شکل ۳- شاخص انتخاب زیستگاه برای گونه کولی ارومیه در متغیر سرعت

Fig. 3- Habitat selection index for *A. atropatenae* in velocity variable

مدل مبتنی بر متغیر بستر

در ساختار بستر، پلات های با طبقه «قلوه سنگ» دارای بیشترین درجه فراهمی زیستگاه، زیستگاه استفاده شده و در نتیجه آن مطلوبیترین زیستگاه و دارای ارزش ۱ بود. سایر طبقات ساختار بستر حتی در صورت وجود، به ندرت مورد استفاده واقع شده و به تبع این امر دارای درجه مطلوبیت اندک و در زمره زیستگاه پرهیزی قرار گرفته اند. (شکل ۴). همچنین این مدل در میان مدل‌های تک متغیره از میزان خطای کمتری نسبت یه سایر مدل های تک متغیره برخوردار بود که مؤید این مطلب است که این گونه وابستگی زیادی به ساختار بستر دارد و زیستگاه با ساختار بستر قلوه سنگی را ترجیح می دهد (Keyvani *et al.*, 2016). بسترهای قلوه سنگی پوشش پناهی (Boavida *et al.*, 2011) و مکان‌های استراحتی (Ayllón *et al.*, 2010) برای ماهیان فراهم می‌کند.



شکل ۴- شاخص انتخاب زیستگاه برای گونه کولی ارومیه در متغیر بستر (شن خیلی ریز (VFG)، شن ریز (FG)، شن متوسط (MG)، شن درشت (CG)، شن خیلی درشت (VCG)، قلوه سنگ (SC))

Fig. 4- Habitat selection index for *A. atropatenae* in substrate variable (very fine gravel (VFG), fine gravel (FG), medium gravel (MG), coarse gravel (CG), very coarse gravel (VCG), small cobble (SC)

اعتبارسنجی مدل‌های تک متغیره

از دو سنجه MAE و RMSE برای اعتبار سنجی مدل ها استفاده شد. مقادیر این دو سنجه آماری که فاقد حد بالایی هستند، نشان‌دهنده میزان خطا یا فاصله مقادیر مدل شده از مقادیر مشاهده شده هستند. نتایج نشان داد که از میان مدل‌های سه گانه، مدل مبتنی بر بستر از میزان خطای کمتری برخوردار بود که نشان‌دهنده صحت و کارایی مدل برای این متغیر است. به علاوه، مدل های مبتنی بر متغیرهای سرعت و عمق نیز دارای میزان خطایی نزدیک به مدل بهینه را داشتند که این مطلب نیز مؤید کارایی و درجه صحت قابل قبول این مدل‌ها است. نتایج اعتبار سنجی این مدل ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج اعتبار سنجی مدل‌های تک متغیره
Table 2. The result of univariate models validation

سنجه Metric	مدل Model		
	عمق Depth	سرعت Velocity	بستر Substrate
MAE	0.56	0.48	0.43
RMSE	0.08	0.07	0.07

مدل‌های ترکیبی

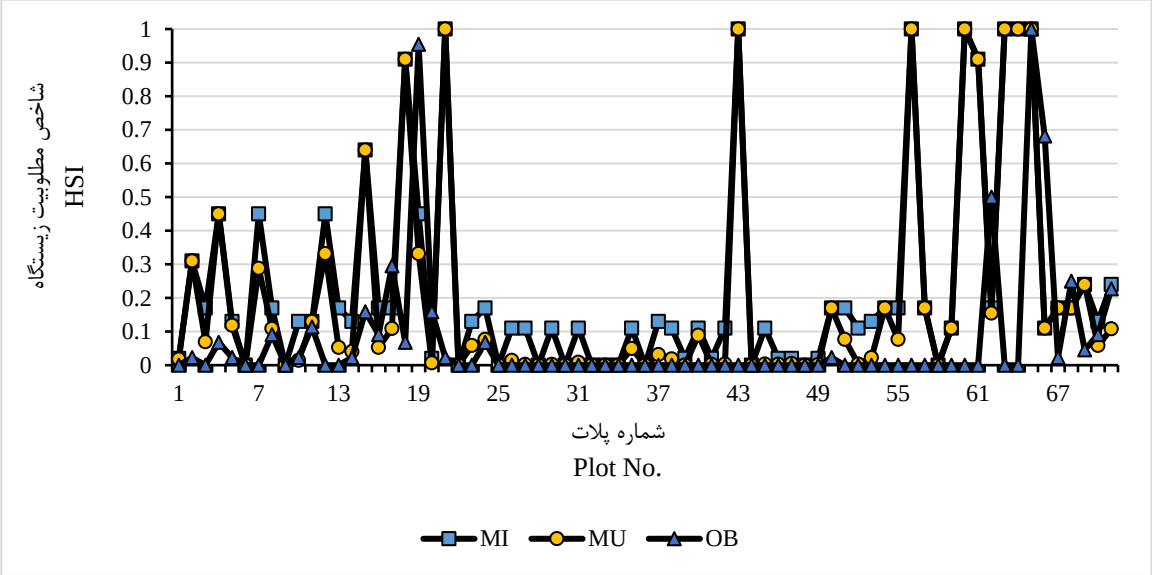
مدل های ترکیبی از ترکیب مدل‌های تک متغیره مطلوبیت زیستگاه با چهار رویکرد میانگین حسابی، میانگین هندسی، روش ضرب و روش حداقل برای گونه کولی ارومیه محاسبه شد. از میان چهار مدل ذکر شده، روش ضرب با مقادیر ۰/۱۹ و ۰/۰۴ در سنجه های MAE و RMSE دارای کمترین میزان خطا در مدل بود که در جدول ۳ با اعداد پررنگ نشان داده شده است. روش حداقل، با داشتن عدد ۰/۰۴ در RMSE و ۰/۲۲ در MAE دیگر روش کم خطا بود. روش های میانگین حسابی و میانگین هندسی دارای خطاهای بالاتری نسبت به دو روش قبلی بودند. این نتایج در جدول ۳ آورده شده است. شکل های ۵ و ۶ مدل های کم خطا و پر خطا را دو به دو با مشاهدات و اندازه گیری های میدانی را به نمایش می گذارد.

هرکدام از روش های ترکیبی پیشفرض های خاص خود را دارند مثلاً در روش میانگین حسابی مفروض است که شرایط مطلوب در یک متغیر، نقصان و کمبود درسایر متغیرها را جبران می کند (Zhang *et al.*, 2018) و بر همین اساس مشاهده گردید که میزان خطای مشاهده شده در این روش در مقایسه با سه روش ترکیبی دیگر بالاتر بود. در نتیجه استفاده از این روش برای مدلسازی نیازهای زیستگاهی و برآورد مطلوبیت زیستگاهی پیشنهاد نمی شود. در مقابل، روش ضرب دارای کمترین میزان خطا بود و مدل حاصل از آن، تقریباً با مشاهدات میدانی و داده های اندازه گیری شده منطبق بود . نتایج سنجه-های اعتبار سنجی در روش حداقل حاکی از مقدار کم و قابل قبول خطا نیز به این دلیل است که در روش حداقل، مقدار حداقلی SI در میان همه متغیرها به عنوان فاکتور کنترل کننده عمل می کند. باید اضافه نمود که در صورت استفاده از شاخص های مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی، روش ضرب از کمترین خطا برخوردار است بنابراین دارای اهمیت و اولویت در بکارگیری است. به همین ترتیب، روش میانگین حسابی دارای بیشترین خطاست و در نتیجه استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

جدول ۳- نتایج اعتبار سنجی مدل های ترکیبی

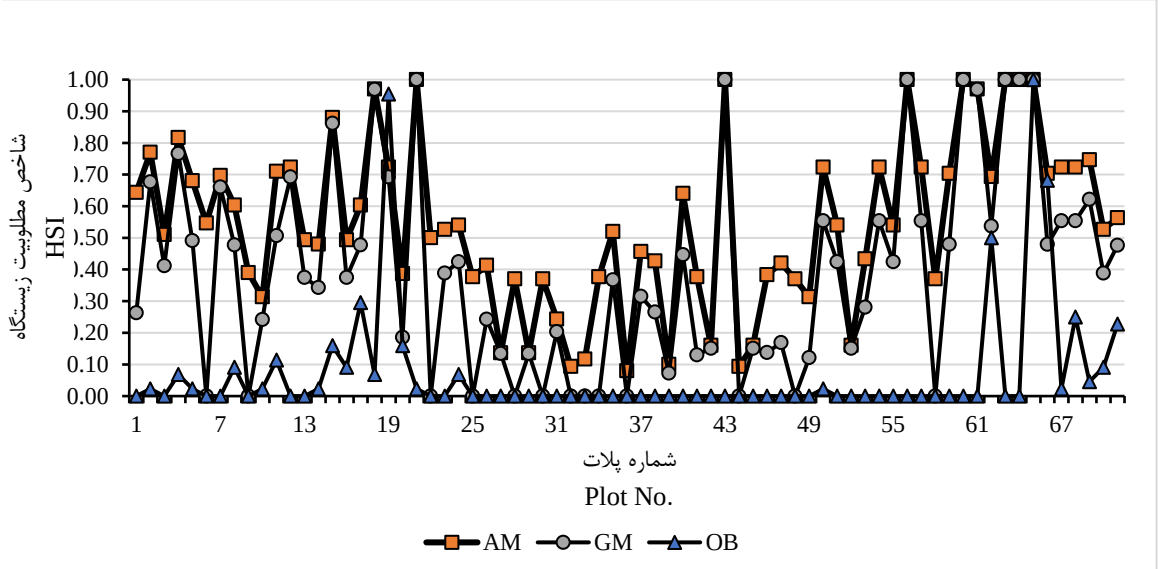
Table 3. The result of composite models validation

سنجه Metric	مدل Model			
	حداقل MI	ضرب MU	میانگین هندسی GM	میانگین حسابی AM
MAE	0.22	0.19	0.34	0.48
RMSE	0.04	0.04	0.05	0.07



شکل ۵- نمودار مقایسه دو مدل کم خطا (ضرب و حداقل) با مشاهدات میدانی

Fig. 5- Comparison diagram of two low error models (multiplication and minimum) and field observation



شکل ۶- نمودار مقایسه دو مدل پر خطا (میانگین حسابی و میانگین هندسی) با مشاهدات میدانی

Fig. 6- Comparison diagram of two high error models (arithmetic mean and geometric mean) and field observation

نتیجه‌گیری

یافتن نیازهای زیستگاهی برای ماهیان در اکوسیستم‌های آب‌های جاری عامل کلیدی در حفاظت و تصمیم‌گیری برای مدیریت است. در میان مدلسازی مطلوبیت زیستگاهی، طیف های بهینه از متغیرهای زیستگاهی برای گونه مورد مطالعه را آشکار می‌کند. بر اساس نتایج حاصله از پژوهش حاضر علاوه بر دستیابی به این طیف‌های بهینه، مشخص گردید که متغیر بستر و ساختار آن در توزیع و فراوانی گونه کولی ارومیه در رودخانه تعیین کننده است بنابراین هرگونه تغییر و دستکاری زیستگاه از جمله برداشت آب، برداشت شن و ماسه، و کانالیزه کردن مسیل رودخانه که منجر به تغییر این ساختار بستر گردد، زیستگاه این گونه را به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد و در برنامه‌های مدیریت و حفاظت رودخانه این موارد باید لحاظ گردد.

به دلیل اهمیت بوم‌شناختی گونه‌های انحصاری و همچنین فقدان یا کاستی دانش اکولوژی در مورد این گونه پیشنهاد می‌شود، مطلوبیت زیستگاهی برای این گونه با سایر روش‌های شناخته شده در دیگر حوضه پراکنش آن یعنی حوضه ارومیه انجام شود تا با مقایسه نتایج حاصل از آن با پژوهش حاضر به درک صحیحی از اکولوژی این گونه نائل شویم.

پی‌نوشت‌ها

[1] Biocenose
[2] Pool
[3] Riffle
[4] Run
[5] Mean Absolute Error
[6] Root Mean Squared Error

منابع

Abbasi Ranjbar, K., Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S. and Sarpanah, A., 2020. Morphometric, meristic characters and biological parameters of Urmia bleak Alburnus atropatenae Berg, 1925 from affluents of Lake Urmia. Journal of Applied Ichthyological Research. 8, 89-96. (In Persian with English abstract).

Abdoli, A., 2016. The field guide of the inland water fishes of Iran. Iran-shenasi Press. Tehran. (In Persian with English abstract).

Abdoli, A., Golzarianpour, K., Kiabi, B., Naderi M. and Patimar, R., 2011. Status of the endemic loaches of Iran. Folia Zoologica. 60, 362-367.

Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Bérubé, M., Robichaud, É., Thiémonge, N. and Bobée, B., 2006. A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. River Research and Applications. 22(5), 503-523.

Ayllón, D., Almodóvar, A., Nicola, G.G. and Elvira, B., 2010. Modelling brown trout spatial requirements through physical habitat simulations. River Research and Applications. 26(9), 1090-1102.

Boavida, I., Santos, J.M., Pinheiro, A.N. and Ferreira, M.T., 2011. Fish habitat availability simulations using different morphological variables. Limnetica. 30(2), 393-404.

Bovee, K.D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, Instream Flow Information Paper 12. USA.

Bovee, K.D., 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology, National Ecology Center. USA.

Eagderi, S., Moshaiedi, F. and Nasri, M., 2019. The morphological variation of four population of Urmia Kingfish (Alburnus atropatenae) in Urmia Lake basin using geometric morphometric

technique. Experimental Animal Biology. 7(4), 19-28. (In Persian with English abstract).

Fieseler, C. and Wolter, C., 2006. A fish-based typology of small temperate rivers in the northeastern lowlands of Germany. Limnologica. 36(1), 2-16.

Gosselin, M.P., Maddock, I. and Petts, G., 2012. Mesohabitat use by brown trout (Salmo trutta) in a small groundwater-dominated stream. River Research and Applications. 28(3), 390-401.

Jacobs, J., 1974. Quantitative measurement of food selection. Oecologia. 14(4), 413-417.

Jowett, I.G., 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 27(2), 241-248.

Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. and Abdoli, A., 2016. Atlas of Inland Water Fishes of Iran. Iran Department of Environment. (In Persian with English abstract).

Khataminejad, S., Mousavi Sabet, H., Sattari, M., Vatandoust, S. and Eagderi, S., 2013. A comparative study on body shape of the genus Alburnus (Rafinesque, 1820) in Iran, using geometric morphometric analysis. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 11(2), 205-215.

Mostafavi, H., Pletterbauer, F., Coad, B.W., Salman mahini, A., Schinegger R., Unfer, G., Trautwein, C. and Schmuz, S., 2014. Predicting presence and absence of trout (Salmo trutta) in Iran. Limnologica. 46, 1-8.

Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Abbasi, K. and Nasri, M., 2022. Validation of two sympatric fish species of Urmia chub, Petroleuciscus ulanus and Urmia bleak, Alburnus atropatenae, based on morphologic characters in Mahabad-Chai River. Nova Biologica Reperta. 8(4), 289-296. (In Persian with English abstract).

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

Olsen, N.R.B., 2012. Numerical Modelling and Hydraulics. Third ed.

Piria, M., Simonović, P., Zanella, D., Ćaleta, M., Šprem, N., Paunović, M., Tomljanović, T., Gavrilović, A., Pecina, M., Špelić, I. and Matulić, D., 2019. Long-term analysis of fish assemblage structure in the middle section of the Sava River–The impact of pollution, flood protection and dam construction. Science of the Total Environment. 651, 143-153.

Sedighkia, M. and Abdoli, A., 2021. Efficiency of coupled invasive weed optimization-adaptive neuro fuzzy inference system method to assess physical habitats in streams. SN Applied Sciences. 3(2), 1-13.

Sedighkia, M., Ayyoubzadeh, S.A. and Hajiesmaeli, M., 2017. Modification of tennant and wetted perimeter methods in Simindasht basin, Tehran province. Civil Engineering Infrastructures Journal. 50(2), 221-231.

Sedighkia, M., Datta, B. and Abdoli, A., 2021. Utilizing classic evolutionary algorithms to assess the brown trout (Salmo trutta) habitats by ANFIS-based physical habitat model. Modeling Earth Systems and Environment. *8*(1), 857-869.

Tajik, Z. and Keivany, Y., 2019. Biometry of the Urmia bleak populations, Alburnus atropatenae. Journal of Animal Research. 31, (4), 382-394. (In Persian with English abstract).

Vlach, P. and Dusek, J., 2005. Fish assemblage structure , habitat and microhabitat preference of five fish species in a small stream. Folia Zoologica. 54, 421-431.

Wyżga, B., Amirowicz, A., Oglęcki, P., Hajdukiewicz, H., Radecki-Pawlik, A., Zawiejska, J. and Mikuś, P., 2014. Response of fish and benthic invertebrate communities to constrained channel conditions in a mountain river: Case study of the Biała, Polish Carpathians. Limnologica. 46, 58-69.

Yousefi, M., Jouladeh-Roudbar, A. and Kafash, A., 2020. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. Ecological Indicators. 112, 1-9.

Zhang, P., Cai, L., Yang, Z., Chen, X., Qiao, Y. and Chang, J., 2018. Evaluation of fish habitat suitability using a coupled ecohydraulic model: Habitat model selection and prediction. River Research and Applications. 34(8), 937-947.

Environmental Sciences Vol.21 / No.2 / Summer 2023

81-94

Original Article

Modelling habitat requirements of *Alburnus atropatenae* in Jajroud protected river

Saleh Mahmoudi and Asghar Abdoli*

Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Institute of Environmental Sciences Research, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.06.11 Accepted: 2022.08.30

Mahmoudi, S. and Abdoli, A., 2023. Modeling habitat requirements of *Alburnus atropatenae* in Jajroud protected river. Environmental Sciences. 21(2): 81-04.

Introduction: Finding habitat requirements for fish in fluvial water ecosystems is a key factor in conservation and decision-making for their management, which unfortunately does not have enough scientific information in this field. The purpose of this study is to identify the optimal range of habitat variables for *Alburnus atropatenae* in the Jajroud protected river and compare different composite approaches in the modeling of this species.

Material and methods: In this study, the habitat of *A. atropatenae* was sampled in the form of 71 points in the Jajroud River. Physical variables of habitat measured including depth, water velocity and substrate type. After sampling the fish by electrofishing, the total length of the fish was measured. Habitat suitability curves were developed by univariate method and were then combined with habitat suitability calculated by multiplication, minimum, arithmetic mean and geometric mean methods. To validate the results, two statistical metrics of mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) were used.

Results and discussion: Overall, 235 individual of *A. atropatenae* were caught including 221 adults and 14 juveniles whose total body length varied from 23 mm to 148 mm. Physical habitat variables included a depth

* Corresponding Author: *Email Address*. a_abdoli@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1201
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.4.2

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

of 6-56 cm, a flow velocity of 4-29 cm/s, and a riverbed with a particle size of "very fine gravel" to "small cobble". The preferred and optimal range habitat for this species included a depth of 16-25 cm, a flow velocity of 5-10 cm/s and a bed with a small cobble structure. Among univariate models, the riverbed-based model had the lowest error. Among the models of combined habitat suitability, the multiplication method had the lowest values of MAE and RMSE measures, and was a low-error model. The arithmetic mean method had the highest values of these measures and was detected as the high-error model.

Conclusion: This is the first study related to the ecology of *A. atropatenae* in Iran, which has identified the optimal habitat of this species. The variable of bed structure is determinative of more than two variables of depth and flow velocity in habitat selection by this species. Also in combined habitat suitability modeling, the multiplication method has priority and importance.

Keywords: River management, Composite suitability indices, Optimal ranges, RMSE, *A. atropatenae*, Jajroud River.