

ارتباط بین متغیرهای محیطی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه (*Sasanidus kermanshahensis*)

در رودخانه دینورآب با استفاده از مدل تجمعی تعمیم‌یافته (GAM)

علیرضا رادخواه، سهیل ایگدری* و هادی پورباقر

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ارتباط بین فاکتورهای محیطی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه (*Sasanidus kermanshahensis*) در رودخانه دینورآب از حوضه آبریز تیگریس در استان کرمانشاه انجام شد. برای این منظور، نمونه‌برداری از ماهیان در فروردین ماه ۱۳۹۶ در ۷ ایستگاه در مسیر رودخانه انجام شد. به‌منظور تعیین فاکتورهای محیطی مؤثر بر پراکنش جویبارماهی کرمانشاه، ویژگی‌های هر ایستگاه شامل ارتفاع، سرعت جریان آب، عرض رودخانه، عمق آب، ویژگی‌های اجزای بستر از جمله درصد سنگ‌های بستر و قطر متوسط سنگ‌های بستر، بلافاصله پس از نمونه‌گیری ثبت شدند. در این مطالعه، از مدل تجمعی تعمیم یافته (Generalized Additive Model) به‌منظور بررسی اثر پارامترهای محیطی بر پراکنش جویبارماهی کرمانشاه استفاده شد. براساس نتایج از بین متغیرهای مورد بررسی، تنها ارتفاع از سطح دریا، سرعت جریان، عرض رودخانه و شاخص بستر معنی‌دار بودند و دو متغیر قطر متوسط سنگ بستر و عمق آب معنی‌دار نبودند. از این‌رو، براساس ۴ فاکتور معنی‌دار، الگوریتم مدل پراکنش و حضور گونه جویبارماهی کرمانشاه به‌دست آمد. در این مدل، متغیرهای شاخص بستر، عرض رودخانه، سرعت جریان و ارتفاع از سطح دریا در تمامی ترکیب‌های خطی و غیرخطی معنی‌دار بودند و معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC) ۲۷/۴۶ و ضریب همبستگی ۰/۹۶۶ به‌دست آمد. اعتبارسنجی مدل براساس داده‌های موجود در هر ایستگاه نشان داد که ۸۲ درصد از ایستگاه‌ها پیش‌بینی صحیحی ارائه دادند. براساس نتایج، با افزایش شاخص بستر از ۴ تا ۶، و با افزایش ارتفاع از سطح دریا از ۸۴۰ تا ۱۰۵۰ متر، فراوانی جویبارماهی کرمانشاه کاهش یافت. علاوه بر این، با افزایش عرض رودخانه از ۲ تا ۱۵ متر فراوانی ماهیان افزایش یافت. نتایج نشان داد با افزایش سرعت جریان آب از ۰/۴ تا ۰/۹ متر بر ثانیه، فراوانی جویبارماهی کرمانشاه افزایش یافت، اما پس از آن، با افزایش سرعت جریان ۲ تا ۷ متر بر ثانیه به شدت از فراوانی ماهیان کاسته شد. به‌طور کلی، مناطق پایین دست رودخانه به‌ویژه ایستگاه‌های ۶ و ۷ (به سمت بیستون در شهرستان هرسین) که دارای بستر با ذرات ریز و سرعت جریان پایین هستند، می‌توانند زیستگاه مطلوبی برای جویبارماهی کرمانشاه باشند.

واژه‌های کلیدی: مدل تجمعی تعمیم یافته، بستر رودخانه، سرعت جریان، رودخانه دینورآب

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۶۹۵۴۲۰۷، پست الکترونیکی: soheil.eagderi@ut.ac.ir

مقدمه

خانواده در آب‌های داخلی ایران گزارش شده‌اند (۸). از جنس‌های مهم این خانواده *Sasanidus* می‌باشد که یک گونه بوم‌زاد به‌نام جویبارماهی کرمانشاه یا سگ‌ماهی کرمانشاه (*Sasanidus kermanshahensis* Bănărescu & Nalbant, 1966) دارد. مناطق پراکنش این گونه حوضه آبریز

خانواده جویبارماهیان (Nemacheilidae) ماهیانی کوچک هستند که تنوع بالایی در آب‌های داخلی ایران دارند. بسیاری از این ماهیان ساکنان بستر رودخانه‌ها بوده و از بی‌مهرگان کوچک و مواد گیاهی تغذیه می‌کنند (۱۶ و ۲۸). در حال حاضر، حدود ۴۶ گونه متعلق به ۷ جنس از این

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در زیست‌شناسی حفاظت به سرعت در حال رشد است. روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های آبی وجود دارد. تفاوت اصلی بین این روش‌ها نوع کیفیت داده‌های مورد نیاز است. مدل‌هایی که نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور هستند، شامل مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (Generalized Linear Model)، مدل‌های تجمعی تعمیم‌یافته (Generalized Additive Model)، طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل درخت رگرسیونی و روش شبکه عصبی می‌باشند (۱۱). مطالعات انجام شده نشان داده است که مدل GAM به منظور دستیابی به زیستگاه‌هایی با مطلوبیت و احتمال حضور بالا و زیستگاه نیمه‌مطلوب با احتمال حضور پایین دقت بیشتری دارد (۲۱). تاکنون، پژوهش‌های مختلفی با هدف بررسی این مدل در پراکنش جوامع ماهی انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات موراسی و همکاران (۲۰۰۹)، ساگاریس و همکاران (۲۰۱۴) و رضایی و سنگول (۲۰۱۸) اشاره کرد. با توجه به این‌که تاکنون نیازهای زیستگاهی جویبارماهی کرمانشاه (S. *kermanshahensis*) به‌عنوان یک گونه بوم‌زاد در آب‌های داخلی ایران مورد بررسی قرار نگرفته است، لازم است که ارتباط بین پراکنش این گونه و متغیرهای محیطی مورد مطالعه قرار گیرد، چرا که اطلاعات به‌دست آمده از این نوع مطالعات می‌تواند در جهت مدیریت و حفاظت اکوسیستم‌های آبی که زیستگاه گونه‌های بوم‌زاد می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین فاکتورهای محیطی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه در رودخانه دینورآب با استفاده از مدل تجمعی تعمیم‌یافته (GAM) به‌اجرا درآمد. علاوه بر این، بررسی کارایی مدل GAM، هدف دیگر این مطالعه می‌باشد.

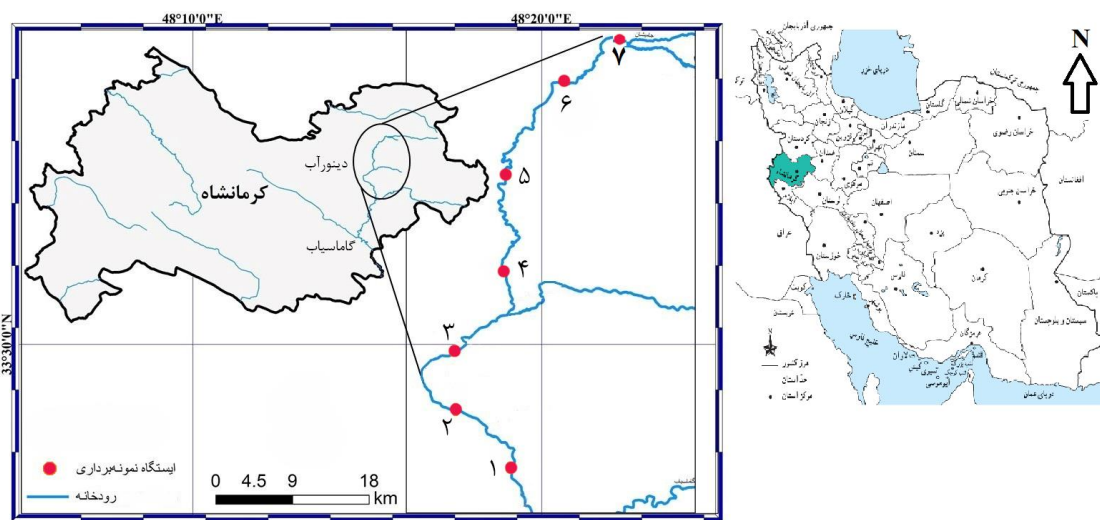
مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: رودخانه دینورآب ازکوه‌های حوله و

تیگریس شامل رودخانه‌های کشکان، گاماسیاب، دینورآب، مارون، کارون، دز، قره‌سو و سیمره است (۱۴). جویبارماهی کرمانشاه دارای بدنی کشیده با ارتفاع یکسان در بخش قدامی و خلفی و دارای ساقه دم نسبتاً ضخیم و فاقد تیغه چربی می‌باشد. در این گونه، خط جانبی ناقص، سیلک‌ها کوتاه و باله دم صاف می‌باشد و عمدتاً از حشرات آبی تغذیه می‌نماید (۷). رودخانه دینورآب یکی از مناطق پراکنش جویبارماهی واقع در استان کرمانشاه دستخوش فعالیت‌های انسانی از قبیل کشاورزی، گردشگری و مسکن‌سازی قرار گرفته است. این روند در طی سال‌های گذشته افزایش یافته است، آن‌چنان که مرگ و میر ماهیان در اثر اتفاقات مختلف مثل صید ماهیان به روش‌های نامناسب، ورود مواد شوینده و پساب خروجی از خانه‌های مسکونی و سموم زمین‌های کشاورزی و از بین رفتن زیستگاه این ماهیان بر اثر برداشت شن و ماسه و سایر عوامل بسیار مشهود است (۲). عدم وجود اطلاعات کافی در مورد زیست‌شناسی و بوم‌شناسی این ماهی از یک سو و دستکاری رو به افزایش رودخانه دینورآب از سوی دیگر، لزوم شناخت هرچه بیشتر خصوصیات زیستگاهی ماهیان این رودخانه را دوچندان کرده است. بیش‌تر گونه‌هایی که در معرض خطر انقراض هستند، به دلیل از دست دادن زیستگاه مطلوب آن‌ها می‌باشد. با تمرکز روی حفاظت زیستگاه‌های خاص و تعیین خصوصیات زیستگاهی مورد پسند به‌وسیله‌ی گونه‌های در معرض خطر، این گونه‌ها می‌توانند قبل از این‌که در معرض خطر قرار بگیرند، تحت حمایت واقع شوند (۱۳). در صورتی که مدیران و محققان ارتباط بین تغییرات فیزیکی زیستگاه و شرایط جوامع را درک کنند، می‌توانند اثر بخشی اقدامات مدیریتی را ارزیابی کرده و برای کمک به حفاظت از گونه، مورد استفاده قرار دهند (۲۳). در واقع، هرگاه گونه‌ای در اثر تخریب زیستگاه دچار تهدید شود، با شناخت از عواملی که گونه به آن‌ها وابستگی دارد، می‌توان طرح‌های حفاظتی را با توجه به آن عوامل ارائه نمود. استفاده از

متماایل شده و از دهستان گاماسیاب گذشته و وارد شهرستان هرسین می‌گردد و سرانجام، در شهرستان هرسین با رودخانه گاماسیاب یکی می‌شود (شکل ۱). حوضه آبریز رودخانه دینورآب بخشی از حوضه آبریز کرخه است که با مساحت ۲۱۲۳/۶۵ کیلومتر مربع در شمال شرق استان کرمانشاه واقع شده است (۳).

شیخ میرزا در دهستان کیوه نانات شهرستان سنقر و کلیایی سرچشمه می‌گیرد و در جهت جنوبی وارد دهستان حر شده و روستاهای سرتخت، سنگ سفید، سربرزه، قره قاقاق، چوبینه را مشروب نموده و به رودخانه جامیشان که از شهرستان سنقر به این دهستان وارد می‌شود، ملحق می‌گردد. رودخانه دینورآب در ادامه به طرف جنوب غربی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه دینورآب و ایستگاه‌های مورد مطالعه

و برگشت انجام شد. در این مطالعه فاصله ایستگاه‌ها به گونه‌ای تعیین شد که علاوه بر عدم هم‌پوشانی بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، متأثر از فعالیت‌های انسانی نباشند و بتوانند چشم‌انداز جامعی از وضعیت اکوسیستم و ویژگی‌های زیستگاهی ماهیان ارائه دهند. در هر مرحله نمونه‌برداری، یک ایستگاه به طول ۳۰ متر در نظر گرفته شد و ۳ بار در امتداد رودخانه تکرار شد.

نمونه‌برداری: در این مطالعه، ۷ ایستگاه در طول رودخانه دینورآب انتخاب شدند. موقعیت، مختصات جغرافیایی و ویژگی‌های بستر و حاشیه رودخانه در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است. نمونه‌برداری در فروردین ماه ۱۳۹۶ در ۷ ایستگاه در مسیر رودخانه با استفاده از دستگاه الکتروشوکر (Samus Mp750) به همراه یک ساچوک و یک تور پشتیبان، به صورت رفت

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری و ویژگی‌های بستر و حاشیه‌ی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف

شماره	نوع بستر	نوع حاشیه رودخانه	طول و عرض جغرافیایی
۱	شنی و سنگی	قلوه‌سنگی و درختان حاشیه‌ای	N34-53-28 E48-31-56
۲	قلوه سنگ	سنگلاخی	N34-52-50 E48-32-11
۳	شنی و سنگی	سنگلاخی و گلی و گیاهان حاشیه‌ای	N34-52-28 E48-32-32
۴	گلی و شنی	شنی و گیاهان حاشیه‌ای	N34-51-58 E48-32-38
۵	قلوه سنگ	سنگلاخی	N34-51-50 E48-32-43
۶	شنی و سنگی	سنگلاخی زیر پل جاده‌ای	N34-51-44 E48-32-55
۷	شن و ماسه	گیاه و علفزار با میانه گیاهی	N34-51-31 E48-31-18

اطمینان از صحت آن‌ها و بازیابی توانایی شنا، به رودخانه رهاسازی شدند. در شکل ۲، تصویری از نمونه زنده جویبارماهی کرمانشاه که در طول نمونه‌برداری از رودخانه دینورآب صید گردید، آورده شده است.



شکل ۲- تصویر جویبارماهی کرمانشاه (*Sasanidus kermanshahensis*) نمونه‌برداری شده از رودخانه دینورآب

میانگین به عنوان عمق رودخانه در هر ایستگاه در محاسبات استفاده شد. درصد سنگ‌های بستر با مشاهده دقیق ترکیب سنگی بستر در هر ایستگاه و با کمک طبقات اندازه سنگ‌ها (جدول بستر) درصد هریک از اجزای بستر در هر ایستگاه ثبت گردید (جدول ۲). قطر متوسط سنگ‌های بستر (cm) با توجه به میزان قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه و اندازه‌گیری قطر سنگ ۲۰ پلات تصادفی ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری و طبقه‌بندی شد و شاخص بستر توسط فرمول زیر محاسبه شد. با توجه به تنوع قطر سنگ‌ها سعی بر آن شد که پلات انتخابی به نحوی انتخاب شود که معرف آن زیستگاه باشد.

$$\begin{aligned} & \text{شاخص بستر} = 0.08 \times (\text{مساحت ناحیه سنگ صخره‌ای}) + \\ & 0.70 \times (\text{مساحت ناحیه تخته سنگی}) + 0.06 \times (\text{مساحت} \\ & \text{ناحیه سنگ فرش}) + 0.05 \times (\text{مساحت ناحیه شنی}) + \\ & 0.35 \times (\text{مساحت ناحیه ماسه‌ای}) \end{aligned}$$

جدول ۲- طبقات قطر متوسط سنگ بستر ایستگاه‌های نمونه‌برداری

قطر متوسط سنگ‌های بستر (mm)	
۴۰۰ <	سنگ‌بزرگ (Bed rock)
۲۵۶ - ۴۰۰	تخته سنگ (Boulder)
۶۴ - ۲۵۶	سنگ‌فرش (Cobble)
۲ - ۶۴	شن (Gravel)
۲ >	ماسه (Sand)

نمونه‌های صید شده در محلول عصاره گل میخک بیهوش شدند و سپس، با استفاده از منابع معتبر (۴، ۷، ۸ و ۹) شناسایی و سپس شمارش شدند. بعد از اتمام این مرحله، نمونه‌ها با احتیاط لازم به آب تازه منتقل شده و بعد از

اندازه‌گیری متغیرهای محیطی: به منظور تعیین فاکتورهای محیطی مؤثر بر زیست گونه جویبارماهی کرمانشاه، ویژگی‌های هر ایستگاه نمونه‌گیری شامل ارتفاع، سرعت جریان آب، عرض رودخانه، عمق آب، ویژگی‌های اجزای بستر از جمله درصد سنگ‌های بستر و قطر متوسط سنگ‌های بستر بلافاصله پس از نمونه‌گیری اندازه‌گیری شدند. ارتفاع (m) از سطح دریا در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System) بت گردید. در شکل ۳ تصاویری از برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری ارائه شده است. سرعت جریان آب (m/s) رودخانه طبق الگوی استفاده از جسم شناور استفاده شد. برای کاهش خطای احتمالی در این روش، در هر ایستگاه اندازه‌گیری سرعت در سه نوبت تکرار و میانگین این مقادیر بعد از ضرب کردن در ضریب اصلاحی مربوطه (۰/۹) به عنوان سرعت جریان آب در ایستگاه در نظر گرفته شد. عرض رودخانه (m) در سه منطقه شامل ابتدا، میانه و انتهای هر ایستگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و سپس میانگین عرض رودخانه در این سه ناحیه، به عنوان عرض رودخانه برای کل زیستگاه تعیین گردید. عمق آب (cm) هر ایستگاه به‌طور تصادفی در سه ترانسکت خطی در طول عرض رودخانه و در هر ترانسکت حدود ۲۰ مرتبه به کمک شاخص متریک ثبت و



ایستگاه ۱



ایستگاه ۲



ایستگاه ۴



ایستگاه ۵

شکل ۳- تصاویر برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه دینورآب، استان کرمانشاه

مطلوبیت‌های زیستگاهی ارائه دهد (۶)، چرا که smoothing در این روش غیرپارامتری، برخلاف منحنی‌های معمول در مدل‌های خطی، هر گونه شکل نمودار را در روابط بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ (حضور و فراوانی) امکان‌پذیر می‌کند و این انعطاف‌پذیری برای آنالیزهای جستجوگرانه مناسب می‌باشد. مدل GAM پاسخ احتمالی را در هر گروه از پراکنش امکان‌پذیر می‌سازد. در تحقیق حاضر، از پراکنش پواسون (Poisson) و تابع لگاریتمی برای به‌دست آوردن مدل استفاده گردید. در این روش، تعداد فراوانی ماهی به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد نرم‌افزار شدند.

مدل تجمعی تعمیم یافته (GAM): از آنجایی که مدل GAM برای بررسی اثر چندین متغیر مستقل بر روی یک متغیر غیر پارامتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد، از این‌رو، برای بررسی اثر فاکتورهای محیطی بر پراکنش سگ‌ماهی در روش GAM از نرم افزار HABSEL Version 1.00 استفاده شد که الگوریتم GAM مورد استفاده در این نرم‌افزار براساس روش (۱۲) می‌باشد. این روش برخلاف سایر روش‌های غیرپارامتری از جمله شبکه‌های عصبی (Artificial Neural Network) یک مدل فرمولی ارائه نمی‌دهد، ولی در زمانی که داده‌ها در مدل‌های خطی با حضور فراوانی گونه تناسب ندارد می‌تواند، نتایج بهتری در بررسی

نتایج

و عمق آب معنی‌دار نبودند. از این‌رو براساس ۴ فاکتور معنی‌دار، الگوریتم مدل پراکنش و حضور گونه جویبارماهی کرمانشاه به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$\begin{aligned} & \text{پیش‌بینی (به‌صورت قدر مطلق)} = \text{ضریب ثابت} + \\ & (-0.037) \cdot (\text{ارتفاع از سطح دریا}) + (-3/587) \cdot \\ & (\text{سرعت جریان}) + (0/483) \cdot (\text{عرض رودخانه}) + \\ & (-4/3) \cdot (\text{شاخص بستر}) \end{aligned}$$

جدول ۳- حداقل، حداکثر و میانگین متغیرهای زیست‌محیطی طی نمونه‌برداری ماهیان در منطقه مورد مطالعه

متغیرهای زیست‌محیطی	کمینه	بیشینه	میانگین
دمای هوا	۱۷	۲۵	۲۱
عرض رودخانه (متر)	۱	۱۲	۴
ارتفاع (متر)	۸۸۷	۱۱۲۳	۹۱۸/۵۷
عمق (سانتی‌متر)	۱۳/۷۶	۴۵/۵	۲۶/۹
سرعت آب (متر بر ثانیه)	۰/۴۴	۰/۹۴	۰/۷۶
قطر سنگ بستر (سانتی‌متر)	۴	۳۲	۱۰/۸۵
شاخص بستر	۳/۸۶	۵/۶۲	۴/۶۲

جدول ۴- درصد سنگ‌های بستر و شاخص بستر در هر ایستگاه

ایستگاه	سنگ بستر	تخته‌سنگ	سنگ‌فرش	شن	ماسه	شاخص بستر
۱	-	٪۱۵	٪۴۵	٪۱۵	٪۲۵	٪۵/۳۷
۲	-	٪۲۰	٪۲۵	٪۴۵	٪۱۰	٪۵/۵
۳	-	٪۴۰	٪۳۰	٪۲۵	٪۵	٪۵/۸۶
۴	-	-	٪۴۰	٪۵۵	٪۵	٪۵/۳۲
۵	-	٪۵	٪۵	٪۷۰	٪۲۰	٪۴/۸۵
۶	-	٪۴۰	٪۲۰	٪۵	٪۱۰	٪۵/۲۶
۷	-	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰	٪۴/۸

هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۸۲ درصد از ایستگاه‌ها پیش‌بینی صحیحی ارائه دادند. داده‌های حاصل از Smoothing در مدل GAM در جدول ۷ ارائه شده است.

در این مدل، متغیرهای شاخص بستر، عرض رودخانه، سرعت جریان و ارتفاع از سطح دریا در تمامی ترکیب‌های خطی و غیرخطی، معنی‌دار بودند (جدول ۵) و مقدار مدل آکائیکه (AIC)، ۲۷/۴۶ و ضریب همبستگی ۰/۹۶۶ بودند (جدول ۶). اعتبارسنجی مدل براساس داده‌های موجود در

جدول ۵- نتایج آنالیز GAM و مقادیر ضرایب فاکتورها، خطای استاندارد، ارزش t و p

پارامتر	ضریب	±SE	ارزش t	ارزش P
ضریب ثابت	۲۷/۶۹۱	۳/۱۷۴	۸/۷۲۲	۰/۰۰۰۹
شاخص بستر	-۴/۳۰۰	۰/۵۳۲	-۰/۰۸۰	۰/۰۰۱
ارتفاع از سطح دریا (متر)	-۰/۰۳۷	۰/۰۰۸	-۴/۶۴۰	۰/۰۰۹
سرعت آب (متر بر ثانیه)	-۳/۵۸۷	۰/۸۰۲	-۴/۴۶۹	۰/۰۱۱
عرض رودخانه (متر)	۰/۴۸۳	۰/۰۹۳	۵/۱۶۳	۰/۰۰۶

جدول ۶- نتایج آنالیز آماره F، r^2 و آکائیکه مدل GAM

آماره	مقدار	ارزش P
ratio F	۹/۱۳۱	***

معنی‌دار	۰/۹۶۶	r^2
	۲۷/۴۶۴	Akaike information (AIC)

جدول ۷- نتایج حاصل از آنالیز مدل (Smoothed)

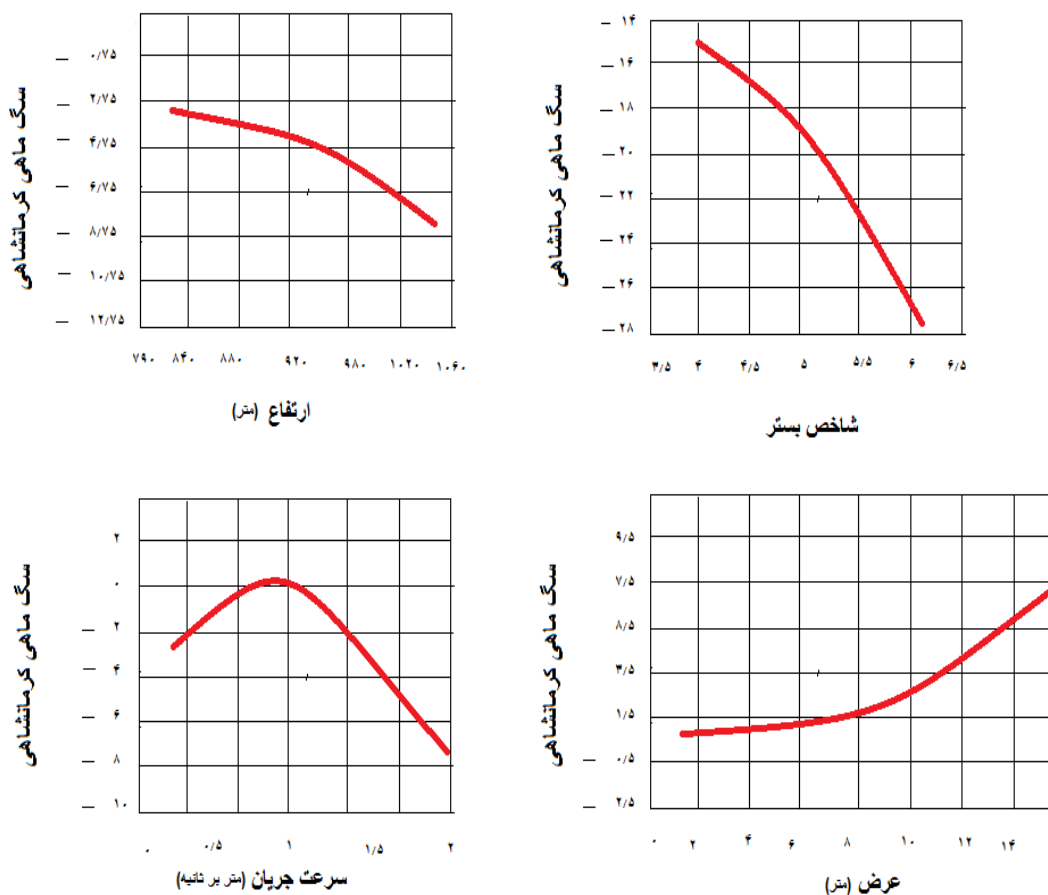
پارامتر	مقدار انحراف	درجه آزادی	MS	F	P(F)
شاخص بستر	۰/۱۳۴	۱۱/۶	۰/۰۸۳	۰/۱۱۲	۰/۵۸۹
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۰/۲۵۲	۱۱/۹۷	۰/۱۲۸	۰/۱۷۲	۰/۸۴۵
سرعت آب (متر بر ثانیه)	۷/۲۱۵	۱/۸۱	۳/۹۹۷	۵/۳۷۵	۰/۰۸۳
عرض رودخانه (متر)	۰/۴۹۹	۱/۷۳	۰/۲۸۹	۰/۳۸۹	۰/۶۷۶

زیست‌شناسان حائز اهمیت باشد. علاوه بر این، بررسی این رابطه می‌تواند پاسخ یک جمعیت به تغییرات اقلیمی را پیش بینی کند (۲۰) و به توضیح تنوع قابل انعطاف گونه‌ها نیز کمک کند (۱۷ و ۲۶). در مطالعه حاضر ارتباط بین پارامترهای محیطی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه در رودخانه دینورآب مورد بررسی قرار گرفت و مکانیسم‌های پراکنش این گونه با استفاده از مدل تجمعی تعمیم یافته (GAM) شناسایی شد. نتایج نشان داد که از بین ۶ متغیر محیطی مورد بررسی، ۴ متغیر رابطه معنی‌داری نشان دادند که این متغیرها شامل عرض رودخانه، سرعت جریان آب، شاخص بستر و ارتفاع از سطح دریا بودند. این نتایج نشان می‌دهد که مدل GAM از کارایی تقریباً مناسبی برای بیان ارتباط بین متغیرهای محیطی و فراوانی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه در رودخانه دینورآب برخوردار است. در این مطالعه، معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC) معیاری برای سنجش نیکویی برازش است و مدلی که دارای کمترین مقدار معیار AIC باشد، بهترین مدل است. با توجه به معیار AIC در مدل GAM، می‌توان کارایی این مدل را برای جویبارماهی کرمانشاه مثبت ارزیابی نمود.

نمودارهای آنالیز GAM مربوط به ویژگی‌های زیستگاهی در شکل ۴ آورده شده است. این نمودارها حضور ماهی در محدوده‌های زیستگاهی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، با افزایش معیار شاخص بستر از ۴ تا ۶، فراوانی جویبارماهی کرمانشاه کاهش یافت. علاوه بر این، فراوانی ماهیان با افزایش ارتفاع از ۸۴۰ تا ۱۰۵۰ متر از سطح دریا با کاهش همراه بود. این در حالی بود که با افزایش عرض رودخانه از ۲ تا ۱۵ متر فراوانی ماهیان افزایش یافت. نتایج نشان داد که واکنش جمعیت ماهیان به سرعت جریان آب در مقایسه با سایر فاکتورها متفاوت بود، به طوری که با افزایش سرعت جریان آب از ۰/۴ تا ۰/۹ متر بر ثانیه، فراوانی جویبارماهی کرمانشاه افزایش یافت، اما پس از آن، با افزایش سرعت جریان ۲ تا ۷ متر بر ثانیه به شدت از فراوانی ماهیان در زیستگاه کاسته شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که فاکتورهای ارتفاع و شاخص بستر، رابطه معکوس و فاکتور عرض رودخانه رابطه مستقیمی با فراوانی جویبارماهی کرمانشاه نشان دادند.

بحث و نتیجه‌گیری

درک رابطه بین فراوانی ماهیان و عوامل محرکه زیست محیطی و بوم‌شناختی توزیع می‌تواند از نظر بوم‌شناسان و



شکل ۴- دامنه ویژگی‌های زیستگاهی مورد استفاده توسط سگ ماهی کرمانشاه (*S. kermanshahensis*) در رودخانه دینورآب (محور افقی تغییرات ویژگی‌های محیطی و محور عمودی فراوانی جویبار ماهی کرمانشاه در رودخانه دینورآب را نشان می‌دهد)

برنامه‌های حفاظتی مهم و برجسته برشمردند (۲۷). این یافته‌ها هم‌سو با نتایج مطالعه حاضر است و کارایی مدل GAM را تایید می‌نمایند.

در مطالعه حاضر، نتایج آنالیز GAM نشان داد که ارتباط معکوسی بین ارتفاع و پراکنش ماهیان وجود دارد، به طوری که با افزایش ارتفاع از ۸۴۰ تا ۱۰۵۰ متر از سطح دریا، از فراوانی ماهیان کاسته می‌شود. طباطبایی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای که پیرامون محدوده زیستگاهی جویبار ماهی سفیدرود (*Oxyneomacheilus bergianus*) رودخانه گردان انجام دادند، به نتیجه مشابهی دست یافتند. آنها بیان کردند که زیستگاه انتخابی جویبار ماهی سفیدرود

تاکنون در پژوهش‌های مختلفی از مدل تجمعی تعمیم یافته استفاده شده است. موراسی و همکاران (۲۰۰۹) از این مدل برای نشان دادن روابط بین عوامل محیطی و پراکنش ماهی‌های دریایی و کریل در خلیج سندای (Sendai) در ژاپن استفاده کردند (۱۹). آنها دریافتند که مدل GAM برای بررسی اثرات عوامل محیطی بر توزیع موجودات زنده و همچنین، پیش‌بینی پراکنش موجودات در مناطق مطالعه نشده، بسیار مفید است. در مطالعه‌ای دیگر، اشمینگ و همکاران (۲۰۱۳) که مدل پیش‌بینی زیستگاه را برای ماهیان صخره‌های مرجانی مورد ارزیابی قرار دادند، به کاربرد مدل GAM اشاره کردند و پتانسیل این روش را برای حمایت از

بیشتر خواهد بود. این نتیجه هم‌سو با یافته‌های طباطبایی و همکاران (۱۳۹۴) در مورد گونه‌ی *Oxynoemacheilus bergianus* می‌باشد. افزایش عرض رودخانه‌ها می‌تواند میکروزیستگاه‌های متعددی را برای گونه‌های مختلف ماهی فراهم کند (۱).

جریان آب تابعی از هیدرولوژی و ژئومورفولوژی یک منطقه است و ویژگی‌های مهمی مانند عرض، عمق، سرعت جریان و ترکیب بستر را کنترل می‌کند و بنابراین نقش اصلی را در اکولوژی رودخانه ایفا می‌کند (۱۰، ۱۵ و ۲۹). نتایج مطالعه حاضر نشان داد با افزایش سرعت جریان آب از ۰/۴ تا ۰/۹ متر بر ثانیه، فراوانی جویبارماهی کرمانشاه افزایش یافت، اما در ادامه، با افزایش سرعت جریان تا ۲ متر بر ثانیه به‌شدت از فراوانی ماهیان کاسته شد. در برخی از مطالعات، ترجیح زیستگاهی گونه‌های جویبارماهی از نظر سرعت جریان آب مورد بررسی قرار گرفته است. ریفلارت و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که جویبارماهی خاردار (*Cobitis taenia*) در آب‌های با سرعت صفر یافت شد و حضورش رابطه نزدیکی با بسترهای ذرات ریز داشت (۲۵). طباطبایی و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند که سرعت جریان ۱/۱ تا ۱/۲ متر بر ثانیه، محدوده زیستگاهی مطلوب برای جویبارماهی سفیدرود (*Oxynoemacheilus bergianus*) در رودخانه گردان است. در تحقیق حاضر بیشترین فراوانی جویبارماهی کرمانشاه در سرعت جریان ۰/۷۵ تا ۱/۱ مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که این گونه در مقایسه با گونه‌های دیگر مانند جویبارماهی سفیدرود جریان‌های آهسته‌تر را ترجیح می‌دهد و مانند سگ‌ماهی خاردار (*C. taenia*) رابطه نزدیکی با بسترهای ذرات ریز دارد. با این حال، در برخی از تحقیقات از جمله ریفلارت و همکاران (۲۰۰۹)، نتایج متناقضی در مورد سایر گونه‌های جویبارماهی ارائه شده است. به عنوان مثال، ریفلارت و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی محدوده پراکنش جویبارماهی سنگی (*Barbatula barbatula*) اظهار داشتند که این گونه بیشتر در آب‌های

در رودخانه گردان در مناطقی است که ارتفاع کمتر باشد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. انتخاب زیستگاه‌های با ارتفاع پایین توسط این گونه را می‌توان با توجه به وضعیت ژئولوژیکی رودخانه دینورآب توجیه نمود. مناطقی که ارتفاع آنها از سطح دریا پایین‌تر است، در واقع ایستگاه‌ها پایین‌دست رودخانه هستند که به دلیل شرایط ویژه مانند افزایش عرض رودخانه، میکروزیستگاه‌های بیشتری را برای سکونت گونه‌های ماهی فراهم می‌کنند (۳۲).

براساس نتایج، ارتباط معکوس بین شاخص بستر و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه مشاهده شد، به‌طوری که با افزایش شاخص بستر از ۴ تا ۶، از فراوانی ماهیان کاسته شد. این نتیجه موید این نکته است که در مناطقی از رودخانه که مقدار شاخص بستر پایین‌تر باشد، بهترین دامنه زیستگاهی برای جویبارماهی کرمانشاه می‌باشد. این وضعیت در مورد گونه‌های دیگر جویبارماهیان از قبیل جویبارماهی سفیدرود نیز صدق می‌کند. طباطبایی و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند که جویبارماهی سفیدرود اغلب بسترهای با ذرات متوسط تا ریز را در رودخانه گردان ترجیح می‌دهد. افزایش شاخص بستر در مطالعه حاضر نشان دهنده این است که بخش بیشتری از بستر رودخانه توسط سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌ها پوشیده شده است. نتایج روش GAM نشان می‌دهد که حضور جویبارماهی کرمانشاه در مناطقی که شاخص بستر پایین‌تر (یعنی ذرات بستر ریزتر هستند) است، بیشتر مشاهده شده است. در توجیه این مسئله، می‌توان این چنین بیان نمود که در هنگام خطر شکارچی، بسترهای رسی و ماسه‌ای می‌توانند زیستگاه‌های مناسبی برای پنهان شدن گونه مورد نظر باشند (۲۲ و ۲۵). مطالعه حاضر نشان داد که ارتباط مستقیمی بین عرض رودخانه و فراوانی ماهیان وجود دارد، به‌طوری که با افزایش عرض رودخانه از ۲ تا ۱۵ متر، فراوانی ماهیان افزایش یافت. بنابراین می‌توان پیش‌بینی نمود در بخش‌هایی از رودخانه که عرض بیشتر است، فراوانی ماهیان نیز

نماید. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که با توجه به متغیرهای محیطی، مناطق پائین‌دست رودخانه دینورآب (در نزدیکی شهر بیستون، شهرستان هرسین) زیستگاه مطلوب-تری برای جویبارماهی کرمانشاه می‌باشد. همچنین در پژوهش حاضر کارایی مدل GAM مطلوب ارزیابی شد و توانست ارتباط بین برخی از فاکتورهای محیطی و فراوانی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه را به خوبی نشان دهد. نتایج این تحقیق می‌تواند در راستای حفاظت و مدیریت زیستگاه ماهیان در برنامه‌های پیش‌رو مورد استفاده قرار گیرد. شایان ذکر است که اهمیت این تحقیقات در مورد گونه‌های بوم‌زاد، منحصر به فرد و در معرض خطر که با کاهش جمعیت در طول زمان همراه هستند، بیشتر احساس می‌شود.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله کلیه نگارندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از حمایت‌های ارزنده دانشگاه تهران در راستای اجرای این پروژه اعلام می‌نمایند.

سطحی با جریان تند یافت می‌شود و حضور آن رابطه مستقیمی با نزدیکی به کناره‌های رودخانه داشت. حضور جویبارماهی کرمانشاه در مناطق با سرعت پایین جریان آب را می‌توان این چنین توجیه نمود که این گونه به دلیل حفظ بقای خود و همچنین، جلوگیری از شکار شدن، اغلب در بسترهای با ذرات ریز حضور دارد، چرا که در هنگام خطر می‌تواند در این مناطق پنهان شود. لازمه حضور این گونه در این نوع از بسترها این است که یک جریان آرام و آهسته و بدون آشفتگی وجود داشته باشد، چرا که سرعت جریان بالاتر ممکن است باعث فرسایش بستر رودخانه و در نتیجه، منجر به کاهش تنوع شود (۳۱). این نتایج با اظهارات میچ و گسلینک (۲۰۰۰) مطابقت دارد که تأیید کردند برای بسیاری از ماهیان، حفظ موقعیت در زیستگاه-هایی که سرعت جریان بالایی دارند، از نظر انرژی هزینه‌بر است (۱۸). بنابراین، این ماهی‌ها باید در آبگیرهای عمیق و همراه با جریان آهسته آب زیست نمایند (۳۰). به عبارت دیگر سرعت پایین آب می‌تواند امکان دسترسی گونه‌های ماهی را به منابع غذایی افزایش دهد و بقای آن را تضمین

منابع

۱. رادخواه، ع.ر.، ایگدری، س.، پورباقر، ه.، شمس، ی.، ۱۳۹۹. بررسی فون ماهیان و عوامل محیطی موثر بر تنوع زیستی در رودخانه زربینه‌رود، حوضه دریاچه ارومیه (استان آذربایجان غربی)، مجله علمی شبلات ایران، دوره ۲۹، شماره ۱، صفحات ۹۱-۸۱.
۲. رادخواه، ع.ر.، ایگدری، س.، و پورباقر، ه.، ۱۳۹۹. شناسایی عوامل موثر بر کاهش جمعیت لامپری خزری (*Caspiomyzon wagneri* Kessler, 1870) و لزوم اتخاذ سیاست‌های مدیریتی-حفاظتی. دومین همایش ملی حفاظت از ماهیان بوم‌زاد ایران؛ با تاکید بر ماهیان حوضه آبریز دریای خزر، دانشگاه گیلان و انجمن ماهی‌شناسی ایران، صفحات ۱۰۱-۹۳.
۳. شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۱۴۰۰. اطلاعات آماری استان کرمانشاه، آدرس وبسایت: <http://www.kshrw.ir>. (تاریخ دسترسی: ۱۴/۲/۱۴۰۰).
۴. عبدلی، ا.، ۱۳۹۵. راهنمای میدانی ماهیان آب‌های داخلی ایران، انتشارات ایران‌شناسی (چاپ اول)، ۲۷۲ صفحه.
۵. طباطبایی، ن.، ایگدری، س.، هاشم‌زاده، ا.، و زمانی، م.، ۱۳۹۴. بررسی محدوده زیستگاهی سگ‌ماهی جویباری سفیدرود *Oxynoemacheilus bergianus* در رودخانه گردان (حوضه دریاچه نمک، استان البرز) در فصل پاییز، مجله پژوهش‌های جانوری، دوره ۲۸، شماره ۳، صفحات ۳۷۰-۳۶۱.
6. Ahmadi-Nedushan, B., ST-Hilare, A., Berube, M., Robichaud, E., Thiemonge, N., and Bobeea, B., 2006. A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. *River Research and Applications*, 22, PP: 503-523.
7. Coad, B.W., 2021. *Freshwater Fishes of Iran*, Website address: <http://www.briancoad.com>. (access date: 03.09.2021).
8. Esmaili, H.R., Sayyadzadeh, G., Eagderi, S., and Abbasi, K., 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa*, 3, PP: 1-95.

9. Froese, R., and Pauly, D., 2021. FishBase, World Wide Web electronic publication, Website address: www.fishbase.org, (access date, 03,10,2021).
10. Gebrekiros, S.T., 2016. Factors affecting stream fish community composition and habitat suitability. *Journal of Aquaculture and Marine Biology*, 4, PP: 00076. DOI: 10.15406/jamb.2016.04.00076.
11. Guisan, A., and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, PP: 147-186. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9.
12. Hastie, T.J., and Tibshirani, R.J., 1990. *Generalized additive models*. 1st edition. Chapman and Hall/CRC, 352 p.
13. Hoghoghi, M., Eagderi, S., and Shams-Esfandabad, B., 2015. Habitat use of *Alburnoides namaki* in the Jajroud River (Namak Lake basin, Iran). *International Journal of Aquatic Biology*, 3, PP: 390-397.
14. Iran Fish Database., 2021. Kermanshah stone loach (*Sasanidus kermanshahensis*). Website address: <http://fishbase.ir>, (access date: 10.17.2021).
15. Jungwirth, M., Muhar, S., and Schmutz, S., 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes, *Freshwater Biology*, 47, PP: 867-887.
16. Kottelat, M., and Freyhof, J., 2007. *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin, 646 p.
17. Link, J.S., and Garrison, L.P., 2002. Trophic ecology of Atlantic cod *Gadus morhua* on the northeast US continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 227, PP: 109-123. DOI:10.3354/meps227109.
18. Mitsch, W.J., and Gosselink, J.G., 2000. *Wetlands*. (3rd edn), John Wiley and Sons, New York, 52, PP: 395-414.
19. Murase, H., Nagashima, H., Yonezaki, S., Matsukura, R., and Kitakado, T., 2009. Application of a generalized additive model (GAM) to reveal relationships between environmental factors and distributions of pelagic fish and krill: a case study in Sendai Bay, Japan, *ICES Journal of Marine Science*, 66, PP: 1417-1424.
20. Nye, J.A., Link, J.S., Hare, J.A., and Overholtz, W.J., 2009. Changing spatial distribution of fish stocks in relation to climate and population size on the North-east United States continental shelf, *Marine Ecology Progress Series*, 393, PP: 111-129.
21. Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., and Chessel, D., 2001. A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment, *Freshwater Biology*, 46, PP: 399-415.
22. Pati, A.K., and Agrawal, A., 2002. Studies on the behavioural ecology and physiology of a hypogean loach, *Nemacheilus evezardi*, from the Kotumsar Cave, India. *Current Science*, 83(9), PP: 1112-1116.
23. Radkhah, A.R., Eagderi, S., and Poorbagher, H., 2019. Book Review: Schmutz, S., Sendzimir, J.: *Riverine ecosystem management: science for governing towards a sustainable future* (Aquatic Ecology Series). *Journal of Landscape Ecology*, 11(3), 3 p.
24. Rezaei, R., and Sengül, H., 2018. Development of generalized additive models (GAMs) for *Salmo trutta* endemic to North-Eastern streams of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19, PP: 29-39.
25. Riffart, R., Carrel, G., Coarer, Y., and Fontez, B.N.T., 2009. Spatio-temporal patterns of fish assemblages in a large regulated alluvial river. *Freshwater Biology*, 54, PP: 1544-1559.
26. Sagarese, S.R., Frisk, M.G., Cerrato, R.M., Sosebee K.A., Musick, J.A., and Rago, P.J., 2014. Application of generalized additive models to examine ontogenetic and seasonal distributions of spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the Northeast (US) shelf large marine ecosystem, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, PP: 1-31.
27. Schmiing, M., Afonso, P., Tempera, F., and Santos, R.S., 2013. Predictive habitat modelling of reef fishes with contrasting trophic ecologies. *Marine Ecology Progress Series*, 474, PP: 201-216.
28. Vasil'eva, E.D., and Vasil'ev, V.P., 2006. *Cobitis pontica* sp. nova—a new spined loach species (Cobitidae) from the Bulgarian waters. *Journal of Ichthyology*, 46, PP: 15-20.
29. Vlach, P., Dusek, J., Svatora, M., and Moravec, P., 2005. Fish assemblage structure, habitat and microhabitat preference of five fish species in a small stream, *Folia Zoologica*, 54, PP: 421-431.
30. Walser, C.A., and Bart, H.L., 1999. Influence of agriculture on instream habitat and fish assemblage structure in Piedmont watersheds of

- the Chattahoochee River system, Ecology of Freshwater Fish, 8, PP: 237-246.
31. Walsh, C.J., Fletcher, T.D., and Ladson, A.R., 2005. Stream restoration in urban catchments through redesigning storm water systems: looking to the catchment to save the stream, Journal of the North American Benthological Society, 24, PP: 690-705.
32. Wootton, R., 1992. Fish Ecology (Tertiary Level Biology), Champion and Hall, New York, Blackie USA, 212 p.

The relationship between environmental variables and distribution of Kermanshah stone loach (*Sasanidus kermanshahensis*) in Dinor River using Generalized Additive Model (GAM)

Radkhah A.R., Eagderi S.* and Poorbagher H.

Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

Abstract

The aim of this study was to investigate the relationship between environmental parameters and the distribution of Kermanshah stone loach (*Sasanidus kermanshahensis*) in Dinor River from Tigris drainage in Kermanshah Province. sampling was performed in April 2017 at 7 stations along the river. In the present study, characteristics of each station including altitude, water flow velocity, river width, water depth, characteristics of bed components including bedrock percentage and average diameter bedrock was measured immediately after fish sampling. The Generalized Additive Model (GAM) was used to investigate the effect of environmental parameters on the distribution of *S. kermanshahensis*. Among the studied variables, the altitude, flow velocity, river width and bed index were significant, while the other two variables i.e. mean average bedrock diameter and water depth were not significant. Therefore, based on four significant factors, the distribution model algorithm and the presence of Kermanshah stone loach were obtained. In this model, bed index, river width, flow velocity and altitude were significant in all linear and non-linear combinations. Also, Akaike information criterion (AIC) was 27.46 and correlation coefficient was 0.96. Validation of the model based on the data available at each station showed that 82% of the stations provided accurate forecasts. According to the results, with the increase of bed index from 4 to 6, and with the increase of altitude from 840 to 1050 m above sea level (MASL), the abundance of *S. kermanshahensis* decreased. In addition, with increasing the width of the river from 2 to 15 m, the abundance of fish increased. The results showed that with increasing the water flow velocity from 0.4 to 0.9 m/s, the frequency of *S. kermanshahensis* increased, but after that, with increasing the flow velocity up to 2 m/s, the fish abundance decreased sharply. Overall, downstream areas of the river, especially stations 6 and 7 (towards Bisotun in Harsin County), which have a river bed with fine particles and low flow velocity, can be a suitable habitat for Kermanshah stone loach.

Key words: Generalized additive model, stream bed, flow velocity, Dinor River.