نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

برازش فراوانی دو ماهی کفزی *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) و *Neogobius pallasi* (Berg, 1916) با استفاده از رگرسیون فازی

محمد قلی‌زاده*[1]، عبدالسعید توماج [2]، راحله معتمدی [3]

[1] استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

[2] استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران

[3] دانشجوی کارشناسی ارشد شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۸/۱۰/۱۶
پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۹

نویسنده مسئول مکاتبه:
محمد قلی‌زاده، استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران
ایمیل: gholizade_mohammad@yahoo.com

چکیده

آگاهی از نیازهای بیولوژیکی موجودات آبزی در رودخانه‌های دائمی برای حفاظت از تنوع زیستی در اکوسیستم-های رودخانه‌ای ضروری است. دانش زیستگاه شامل استفاده از مدل‌هایی است که با روش‌های ساده و دقیق به‌توان ویژگی‌های خاص از ساختار فیزیکی رودخانه‌ها را برآورد کرد. مدل رگرسیون فازی جهت بررسی الگوی فراوانی و پراکندگی دو ماهی بومی، *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل در شمال ایران در فصل تابستان ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. *P. hircanica* و *N. pallasi* در استفاده از mesohabitat با هم همپوشانی داشتند، هر دو ماهی بخش خیزاب رودخانه را نسبت به بخش عمیق ترجیح دادند. تجزیه و تحلیل بیش‌تر براساس رگرسیون چندگانه نشان‌داد که فراوانی ماهی به‌طور قابل توجهی با پوشش گیاهی ساحلی و بستر برای *P. hircanica* در ارتباط بود، اما در فراوانی *N. pallasi* عمق آب، عرض جریان، سرعت، و دبی اثر بیش‌تری داشت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که رگرسیون فازی می‌تواند یک روش مکمل یا جایگزین مناسب برای رگرسیون آماری باشد هنگامی که رابطه بین متغیرها مبهم باشد یا خطاهایی در ساختار معادله رگرسیون وجود داشته باشد. نتایج نشان‌داد که ترکیب بسترهای مختلف برای همزیستی این دو ماهی کفزی مناسب است. همچنین اطلاعات مهمی برای مدیریت زیستگاه و مهندسی اکولوژیک رودخانه‌های کوهستان در ایران ارائه می-دهد.

واژه‌های کلیدی:
***P. hircanica*، *N. pallasi*، رگرسیون فازی، برنامه‌نویسی خطی، رودخانه زرین‌گل**

۱ | مقدمه

آگاهی از رابطه و همبستگی بین خصوصیات مختلف ماهی‌ها و بیان آنها به‌عنوان مدل‌های آماری، جنبه مهم انتخاب زیستگاه‌های مناسب برای موجودات آبزی است. به‌طورکلی، این مدل‌ها که به‌عنوان مدل‌های مناسب بودن زیستگاه شناخته می‌شوند، شامل مدل‌های رگرسیون آماری هستند که روش‌های ساده و مقرون به‌صرفه‌ای را برای انتخاب ویژگی‌های مهم و ارزیابی مناسب بودن زیستگاه به‌عنوان تابعی از ویژگی‌های ماهی ارائه می‌دهند که به‌طور معمول یک فرآیند وقت‌گیر و گران است (Bain and Stevenson, 1999). به تازگی، محققان استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی را در الگوبرداری از چنین عملکردهایی مورد بررسی قرار داده‌اند (Geblera *et al.*, 2017; Lek and Guegan, 1999; Lek *et al.*, 1996). تمام این روش‌ها براین فرض استوار است‌که متغیرهای مورد بررسی، ارتباط و مشاهده آنها دقیق است. اما در مورد توزیع ماهی در یک اکوسیستم طبیعی، رابطه و مشاهده متغیرها چندان دقیق نیست. بنابراین، لازم است از مدل‌هایی استفاده شود که مطابق با شرایط واقعی، الگوهای بهتری ارائه دهند. ماهیت مبهم یا اندازه‌گیری

© ۱۳۹۹ | دانشگاه گنبدکاووس

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

تقریبی پدیده مربوط به توزیع ماهی، انتخاب زیستگاه و عوامل مرتبط با آنها، اهمیت روش‌های مبتنی بر تئوری مجموعه فازی را برای انتخاب عوامل تأثیرگذار و ارزیابی زیستگاه مناسب برای ماهی‌ها نشان می‌دهد. اخیراً، نظریه مجموعه فازی به‌طور فزاینده‌ای در اکولوژی آبزیان مانند طبقه‌بندی و ارزیابی زیستگاه‌های مختلف به‌کار می‌رود (Salski *et al.*, 2009; Barros *et al.*, 2000).

نظریه‌های مجموعه فازی برای اولین بار توسط زاده معرفی شد (Zadeh, 1965). این تئوری روشی جدید برای تجزیه و تحلیل مفاهیم فازی، متغیرها و سیستم‌ها براساس روابط مناسب ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است که تئوری‌های آماری کلاسیک مربوط به سیستم‌های رویدادهای تصادفی و بدون اطمینان آماری است. بنابراین، هنگامی که عدم اطمینان در یک سیستم یا الگوی فضایی است و به احتمال مربوط نیست، باید از تئوری مجموعه فازی استفاده شود. این بیش‌تر باتوجه به مدل رگرسیون که اساس این مطالعه است توضیح داده خواهد شد. در این مدل، رگرسیون خطا ممکن است به‌دلیل مبهم یا تقریبی بودن رابطه بین متغیرهای مورد بررسی باشد و به عدم قطعیت خطای تصادفی مربوط نمی‌شود. علاوه بر این، ممکن است در یک مدل رگرسیون، مشاهده مبهم وجود داشته باشد. در این موارد می‌توان از مدل‌های رگرسیون فازی به‌جای مدل‌های رگرسیون آماری استفاده کرد (Tanaka *et al.*, 1982; Chang and Ayyub, 2001). مدل رگرسیون فازی توسط تاناکا و همکاران، (Tanaka *et al.*, 1982) معرفی شد. آن‌ها مدل رگرسیون خطی با ضرایب فازی را مطالعه کردند. سپس، بسیاری از محققان سعی در بررسی جنبه‌های مختلف آن کردند. در این روش، تناسب مدل رگرسیون فازی عمدتاً معادل برنامه‌نویسی خطی (یا گاهی غیرخطی) است. روش دیگر برای مطالعه و تناسب مدل‌های رگرسیون فازی، حداقل روش مربع است که توسط سلمینز (Celmins, 1987) و دیاموند (Diamond, 1988) معرفی شد. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 1996) تلاش کردند تا جنبه‌های مختلف رگرسیون خطی و فازی از جمله مفروضات اولیه آنها، ارزیابی پارامترها و جنبه‌های عملکردی آنها را مقایسه کنند.

تحلیل رگرسیون در بسیاری از زمینه ها یک ابزار تحلیلی اساسی است. در واقع، این یک رابطه واضح بین متغیرهای وابسته و مستقل با واریانس خطای اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. به‌طور خاص، مدل رگرسیون خطی چندگانه به‌عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای توصیف رابطه بین متغیر وابسته یا پاسخ (به‌عنوان مثال فراوانی ماهی) و متغیرهای مستقل یا پیش‌بینی کننده (به‌عنوان مثال عوامل محیطی) در مدل‌های اولویت زیستگاه برای ماهیان و رابطه بین زیستگاه و گونه‌های موجود در رودخانه‌ها به‌شمار می‌آید. لازم به ذکر است که مدل رگرسیون خطی چندگانه وقتی متغیرهای پاسخ و پیش‌بینی کننده پیوسته هستند به‌کار می‌رود. اگرچه رگرسیون آماری کاربردهای زیادی دارد ، در صورت وجود شرایط زیر نامناسب است:

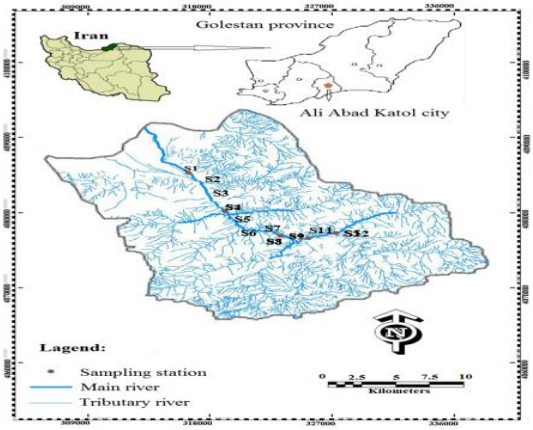
- تعداد مشاهدات ناکافی است
- مشکلات در تأیید مفروضات توزیع
- مبهم بودن در رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی
- ابهام وقایع یا میزان وقوع آنها
- چند خطی؛ به این معنا که یک متغیر پیش‌بینی کننده در یک مدل رگرسیون چندگانه می‌تواند به‌طور خطی از دیگران با درجه قابل توجهی از دقت پیش‌بینی شود.

بنابراین، این محدودیت‌ها ما را برای تدوین مدل‌های تحلیل رگرسیون فازی انگیزه می‌دهد. رگرسیون فازی، یک روش غیرپارامتری، می‌تواند در تخمین روابط بین متغیرهایی که داده‌های موجود بسیار محدود و نادرست هستند، مفید باشد و متغیرها به شکلی نامشخص، کیفی و فازی در تعامل هستند.

این مطالعه با هدف معرفی رگرسیون فازی و نشان دادن پتانسیل عملکردی آن در گسترش مدل‌های خطی برای ارزیابی عملکردها برای انتخاب پارامترهای مناسب زیستگاه برای فراوانی ماهیان *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل در حوضه جنوبی دریای خزر در فصل تابستان انجام شده است.

۲ | مواد و روش‌ها

رودخانه گرگانرود یکی از رودخانه‌های اصلی و مهم در حوضه دریای خزر در استان گلستان، به‌دلیل اهمیت آن در کشاورزی، آبزی‌پروری، تنوع زیستی آبزیان و تأمین آب بسیاری از تالاب‌ها است (Abdoli and Rahmani, 2001). رودخانه زرین‌گل یکی از شاخه‌های حوضه رودخانه گرگان‌رود در طول جغرافیایی ′۵۷ °۳۷ و عرض جغرافیایی ′۵۲ °۳۶ است (Afshin, 1994).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، مکان ایستگاه های نمونه‌برداری دو گونه *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل، استان گلستان

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۹۶ در امتداد مناطق بالادست به پایین‌دست شامل ۱۲ ایستگاه از ۳۶ کوادرات انجام شد (شکل ۱). فاصله بین دو ایستگاه از یکدیگر حدوداً یک کیلومتر، ایستگاه‌ها باتوجه به خصوصیات هیدرولوژیکی و مورفومتریک و پوشش گیاهی ساحلی متفاوت، انتخاب و نمونه‌برداری شد. منطقه تحقیقاتی در ۵ دسته کاربری اراضی واقع شده است: زمین‌های کشاورزی (ایستگاه‌های ۱ ، ۲ و ۳)، فاضلاب روستایی (ایستگاه ۴)، جنگل بومی (ایستگاه‌های ۵ ، ۶ ، ۸ و ۹)، پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (ایستگاه‌های ۷ و ۱۰). برای ایجاد روابط زیستگاهی بدون تأثیر تغییر در کاربری اراضی، از دو ایستگاه (ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۲) در بالادست رودخانه به‌عنوان سایت مرجع استفاده شد (Gholizadeh *et al*., 2017). فراوانی ماهی‌های بنتوری، *P. hircanica* و *N. pallasi* بین ایستگاه‌های مطالعاتی متفاوت بود (جدول ۱). نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های محیطی رودخانه زرین‌گل جهت استخراج ارجحیت زیستگاهی دو گونه کفزی مذکور در این جدول ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های محیطی برای استخراج ارجحیت زیستگاه از فراوانی دو گونه *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل، استان گلستان

ایستگاه	دبی	عمق (متر)	عرض (متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	ارتفاع (متر)	پوشش گیاهی (%)	جنس بستر (سانتی متر)
۱	۱/۲۶	۰/۱۲	۴/۲	۰/۴۳	۲۶۰/۹۴	۰/۳	۱۴
۲	۱/۰۴	۰/۱۳	۳/۶	۰/۵۹	۲۹۴/۳	۰/۴	۲۱
۳	۱/۰۶	۰/۱۳	۲/۲	۰/۶۲	۳۱۲/۷	۰/۵۵	۲۵
۴	۱/۲۳	۰/۱۴	۲/۸	۰/۷۶	۳۳۲/۱۷	۰/۶۱	۱۱
۵	۰/۹۸	۰/۱۳	۴/۸	۰/۷۳	۴۰۰/۱۷	۰/۶۵	۶
۶	۱/۱۶	۰/۱۴	۷/۷	۰/۹۸	۴۶۶/۲۱	۰/۶۶	۶
۷	۱/۴	۰/۱۹	۴/۶	۰/۹۹	۴۹۶/۲۴	۰/۵۸	۱۰
۸	۱/۶	۰/۱۳	۴/۵	۰/۸	۵۳۷/۱۴	۰/۸۴	۱۵
۹	۱/۸	۰/۱	۴/۸	۰/۸۵	۶۲۷/۱۱	۰/۷۱	۱۷
۱۰	۱/۰۴	۰/۱۲	۶	۰/۷۱	۶۸۹/۸۸	۰/۷	۱۴
۱۱	۱/۲	۰/۱۶	۵/۴	۱/۱۱	۷۲۱/۹۲	۰/۶۵	۱۶
۱۲	۱/۲۲	۰/۰۸	۱/۱۷	۱/۱۳	۷۴۸/۵۴	۰/۸	۲۲

برای بررسی خصوصیات زیستگاهی سگ‌ماهی جویباری در مجموع ۷ متغیر عمق، عرض و شیب رودخانه، ارتفاع از سطح دریا، سرعت جریان آب، ساختار بستر و میزان سایه درنظر گرفته شد. ارتفاع (متر) از سطح دریا در هر ایستگاه، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. شیب نیز در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.6.1 باتوجه به نقشه آن به‌دست آمد. عمق (متر) در ۲۰ نقطه از هر ایستگاه، به‌طور تصادفی، عمق رودخانه اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان متوسط عمق در نظر گرفته شد. عرض خیسی رودخانه (متر) در سه ناحیه ابتدا، وسط و انتهای هر ایستگاه اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان متوسط عرض رودخانه برای آن ناحیه در نظر گرفته شد. سرعت جریان (متر بر ثانیه) رودخانه براساس روش جسم شناور تخمین زده شد. برای کاهش خطای احتمالی در این روش، در هر ایستگاه، اندازه‌گیری سرعت جریان سه بار تکرار شد و میانگین آن به‌عنوان متوسط سرعت جریان رودخانه برای آن ناحیه درنظر گرفته ش$A = \pi r^2$د. ساختار بستر باتوجه به میزان قطر سنگ-های غالب بستر رودخانه، ۲۰ نمونه قطر سنگ به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که قطر سنگ‌های غالب اندازه‌گیری شده در محدوده سنگ بستر (بزرگ‌تر از ۴۰۰ میلی‌متر)، تخته‌سنگ (۲۵۶-۴۰۰ میلی‌متر) و سنگ‌فرش (۶۴-۲۵۶ میلی‌متر) بود.

به‌طورکلی، برای مشاهدات n داده شده، مدل رگرسیون خطی چندگانه به شرح زیر است:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \cdots + \beta_k x_{jp} + \varepsilon_j, \quad j = 1,2,\cdots,n,$$

در اینجا Y_j متغیر پاسخ، مشاهدات $x_{j1}, \dots, x_{jp}$ که متغیرهای پیش‌بینی $\beta_1, \dots, \beta_n$ هستند، ضرایب رگرسیون واضح برای هر متغیر پیش‌بینی کننده هستند، β_0 عرض از مبدا رگرسیون است. کمیت ε_j یک اصطلاح خطای تصادفی واضح نامیده می‌شود و متداول‌ترین فرض این است که از توزیع نرمال با میانگین صفر $E(\varepsilon_j) = 0$ ، واریانس ثابت $Var(\varepsilon_j) = \sigma^2$ پیروی می‌کند و از این نظر با یکدیگر همبستگی ندارند $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \ \forall\, i \neq j$.

در مجموعه کلاسیک، ما می‌توانیم با استفاده از عملکرد مشخصه، مقدار عضویت را به هر عنصر مرتبط کنیم، که در آن شماره ۱ نشان‌دهنده عضویت است و شماره ۰ نشان‌دهنده عدم عضویت (بازه [۰ ، ۱]) است.

اگر مجموعه‌ای از اشیاء را X نشان دهد، مشخص می‌کند، مجموعه‌ای از تابع فازی $\tilde{A}$ است که به‌عنوان مجموعه‌ای X از جفت‌های مرتب شده تعریف می‌شود: $\tilde{A} = \{(x, \tilde{A}(x)) | x \in X\}$. به‌عبارت دیگر $\tilde{A}: X \to [0,1]$، تابع عضویت به‌معنای درجه عضویت X در مجموعه فازی $\tilde{A}$ نامیده می‌شود. مقدار $M = \sup_{x \in X} \tilde{A}(x)$ بیش‌تر از $\tilde{A}$ می‌باشد. اگر $M = 1$ ، آنگاه $\tilde{A}$ نرمال نامیده می‌شود. مجموعه فازی $\tilde{A}$ از $\mathbb{R}$ وضعیت محدب نامیده شده اگر $\tilde{A}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\left(\tilde{A}(x_1), \tilde{A}(x_2)\right)$, $x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1]$ باشد.

به‌منظور برآورد ضرایب $\tilde{A}_i, i = 0,1,2, \dots, p$، ما در مدل‌های رگرسیون خطی فازی با بازده فازی، ضرایب فازی و بردار ورودی غیرفازی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

فرض می‌کنیم. ایده اصلی این است که ابهام یا فازی بودن خروجی مدل حداقل باشد (ابهام در مقدار پیش‌بینی متغیر وابسته باید حداقل باشد). در حقیقت فرض بر این است که:

۱. برای کلیه y_j، ارزشهای عضویت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\hat{Y}(y_j) \geq h \quad j = 1,2,\cdots,n. \qquad (2)$$

شایان ذکر است که درجه تناسب مدل خطی فازی توسط تصمیم گیرنده h انتخاب می‌شود.

۲. ضرایب فازی را می‌توان به‌دست آورد که مدل فازی به حداقل برسد. تعیین h، تعیین ضرایب فازی به یک مشکل برنامه‌نویسی خطی منجر می‌شود، که در آن تابع هدف برای مجموعه‌های فازی متقارن، مجموع کشیدگی خروجی‌های فازی است:

$$Z = 2ns_0 + 2\sum_{i=1}^{p} s_i \sum_{j=1}^{n} x_{ji} \qquad (3)$$

۳. با استفاده از روابط (۱) و (۲) ، هر محدودیت مشکل برای مجموعه‌های فازی غیرمتقارن می‌تواند به شرح زیر باشد:

$$1 - \frac{y_j - f^C(x_j)}{f^S(x_j)} \geq h \rightarrow (1-h)s_0 + (1-h)\sum_{i=1}^{p} s_i x_{ji} + a_0^C + \sum_{i=1}^{p} a_i^C x_{ji} \geq y_j \qquad (4)$$

$$1 - \frac{f^C(x_j) - y_j}{f^S(x_j)} \geq h \rightarrow (1-h)s_0 + (1-h)\sum_{i=1}^{p} s_i x_{ji} - a_0^C - \sum_{i=1}^{p} a_i^C x_{ji} \geq -y_j$$

از این رو برای همه $j = 1,2,\ldots,n.$، محدودیت‌هایی وجود دارد. می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌نویسی خطی، مانند روش ساده برای تخمین مقدار حالت و گسترش هر ضریب، تابع هدف (۳) را به حداقل رساند. برای حل الگوریتم‌ها از نرم‌افزار ریاضی بهینه‌سازی $\text{Lingo}_{8.0}$ استفاده شد.

۴. به‌منظور سنجش میزان تفسیر، از شاخص اعتماد (IC) استفاده می‌شود که به شرح زیر است:

$$IC = 1 - \frac{SS_E}{SS_T}$$

که در آن $SS_E = 2\sum_{j=1}^{n}\left(\tilde{Y}_j - \hat{Y}_j^c\right)^2$ خطای مربعات (SS_E) را نشان می‌دهد و $SS_T = 2\sum_{j=1}^{n}\left(\tilde{Y}_j - \hat{Y}_j^s\right)^2$ مجموع مربعات (SS_T) که یک بازه رگرسیون فازی را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است، معیار IC شبیه به ضریب تعیین R^2 در مدل رگرسیون خطی چندگانه است. در حقیقت، میزان تغییرات آن $\tilde{Y}_j$ و $\hat{Y}_j^s$ را اندازه‌گیری می‌کند و می‌توان آن‌را با خط رگرسیون مرکز $\hat{Y}_j^c$ توضیح داد. لازم به ذکر است که $0 \leq IC \leq 1$, ، بنابراین IC پایین‌تر به‌معنای تقریب بهتر مدل است.

۳ | نتایج

جدول ۲ مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده و میانگین برخی از شاخص‌های آماری آنها را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از برازش دو عملکرد ارزیابی کننده با رگرسیون چندگانه برای فراوانی دو ماهی کفزی در جدول ۲ ارائه شده است. مدل تخمین برای فراوانی ماهی در زیستگاه مناسب نشان داد که فراوانی ماهی با بیش از یک ویژگی ارتباط دارد. در این مدل برای *P. hircanica*، متغیرهای پوشش گیاهی بستر و جنس بستر و برای *N. pallasi*، سرعت جریان، عمق، عرض و دبی است که در طی فرآیند رگرسیون چند مرحله‌به‌مرحله به‌عنوان متغیرهای توضیحی انتخاب می‌شوند. میانگین خطای مربعات (MSE) برای توابع *P. hircanica* و *N. pallasi* فراوانی در انتخاب زیستگاه، به‌ترتیب، ۱۱/۵۴ و ۱/۲ بود. مدل فوق نیز با رگرسیون فازی تعبیه شده است و نتایج ذیل به‌دست آمده است (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج متناسب سازی عوامل محیطی با رگرسیون چندگانه برای دو گونه *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل، استان گلستان

معادلات فراوانی	ضرایب مدل(p-value)					
	a	b	c	d	e	R^2
N. pallasi = a+ b (Velocity)+ c (Depth)+ d (Width)+ e (Discharge)	-۱۱/۴۶ (۰/۰۰۴)	۵/۵۶ (۰/۰۰۷)	۹۷/۹ (۰/۰۰۱)	-۱۰/۳۶(۰/۰۰۴)	۰/۶۹ (۰/۰۲)	۰/۹
P.hircanica= a+ b (Substrate)+ c (Riparian Vegetation)	۷/۶۳(۰/۰۴)	-۱/۲۷ (۰/۰۰۳)	۳۲/۵۶ (۰/۰۳)	-	-	۰/۶۹

جدول ۳- نتایج متناسب سازی عوامل محیطی با رگرسیون فازی برای دو گونه *P. hircanica* و *N. pallasi* در رودخانه زرین‌گل، استان گلستان

معادلات فراوانی	ضرایب مدل (مقدار ابهام)				
	$\tilde{A}_0$	$\tilde{A}_1$	$\tilde{A}_2$	$\tilde{A}_3$	$\tilde{A}_4$
N. pallasi =$\tilde{A}_0$+ $\tilde{A}_1$ (Velocity)+ $\tilde{A}_2$ (Depth)+$\tilde{A}_3$ (Width)+ $\tilde{A}_4$ (Discharge)	-۱۰/۵۴	۴/۴۳	۷۹/۶۱	۰/۸۳	-۹
P.hircanica=$\tilde{A}_0$+ $\tilde{A}_1$ (Substrate)+ $\tilde{A}_2$ (Riparian Vegetation)	۱۰/۰۵	-۱/۲۲	۲۶/۰۲	-	-

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

مدل فوق نیز با رگرسیون فازی تعبیه شده است و نتایج به‌دست آمده (جدول ۳) در زیر مورد بحث قرار خواهد گرفت. با استفاده از ۱۲ جفت مشاهدات از جمله *P. hircanica* و *N. pallasi* به‌عنوان یک متغیر وابسته و جنس بستر، پوشش گیاهی، سرعت جریان، عمق، عرض و دبی به‌عنوان متغیرهای مستقل، الگو $\hat{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2$ در مدل رگرسیون فازی در اتصالات اولیه استفاده شد. اگر $\tilde{A}_0$، $\tilde{A}_1$ و $\tilde{A}_2$ اعداد فازی مثلثی هستند که به‌ترتیب به‌عنوان $\tilde{A}_0 = (a_0, s_0)$، $\tilde{A}_1 = (a_1, s_1)$ و $\tilde{A}_2 = (a_2, s_2)$ شناخته می‌شود، بنابراین مطابق معادله (۳) تابع هدف:

$$Z = 24s_0 + 2s_1 \sum_{j=1}^{17} x_{ji} + 2s_2 \sum_{j=1}^{17} x_{ji} \qquad (5)$$

طبق معادله (۴) و باتوجه به ۱۲ جفت مشاهده، ۲۴ محدودیت وجود خواهد داشت. به‌عنوان مثال، در سطح اعتبار از $h = 0.5$ ، ۲ محدودیت مربوط به اولین مشاهده $(j = 1)$ به شرح زیر است:

$$0.5s_0 + 0.5s_1 x_{11} + 0.5s_2 x_{12} + a_0^c + a_1^c x_{11} + a_2^c x_{12} \geq y_1 \quad (۶)$$
$$0.5s_0 + 0.5s_1 x_{11} + 0.5s_2 x_{12} - a_0^C - a_1^c x_{11} - a_2^c x_{12} \geq y_1$$

با در اختیار داشتن تابع هدف (۵) و باتوجه به محدودیت‌های ۲۴ گانه متناظر با رابطه (۶) ادامه محاسبات صورت می‌گیرد. در این حالت، می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌نویسی خطی مانند روش Simplex، تابع هدف (۵) را به حداقل رساند تا ارزش‌های مرکزی و گسترش مقادیر هر ضریب را تخمین بزند. با حل مسئله به حداقل‌رساندن با Lingo 8.0، مدل‌های مختلفی ارائه شد که بالاترین شاخص اطمینان (IC) را در بین مدل‌های مختلف با ضرایب مثلثی متقارن در سطح اعتبار ثبت کردند (جدول ۴، ۵) به شرح زیر:

$P. hircanica$: $\tilde{A}_0 = (10.05, -3.13)$. $\tilde{A}_1 = (26.02, 40.06)$ $\tilde{A}_2 = (-1.22, -0.35)$
N. pallasi: $\tilde{A}_0 = (-10.54, -0.23)$, $\tilde{A}_1 = (5.43, -2.11)$, $\tilde{A}_2 = (79.61, 31.39)$, $\tilde{A}_3 = (0.83, 0.11)$, $\tilde{A}_4 = (-9, 0.67)$

بنابراین ، مدل فازی بهینه با IC = ۰/۷۶ است:

$P. hircanica$= $(10.05, -3.13)_T$+ $(26.02, 40.06)_T$ Substrate + $(161.88, -195.28)_T$ Riparian Vegetation
N. pallasi = $(-10.54, -0.23)_T$+ $(5.43, -2.11)_T$ Velocity + $(79.61, 31.39)_T$Depth+ $(0.83, 0.11)_T$ Width + $(-9, 0.67)_T$ Discharge

اگر به‌ترتیب مقادیر ۱/۲۲ و ۰/۱۲ را برای جنس بستر و پوشش گیاهی در نظر گرفته شود (که از ایستگاه اول به دور از تأثیر فعالیت‌های انسانی به‌دست می‌آید)، پس باتوجه به مدل مناسب در بالا ذکر شده (در سطح $h = 0.5$)، فراوانی از *P. hircanica* حدود ۷/۹۴ ماهی تخمین زده می‌شود که به‌معنی عدد مثلثی متقارن (۱۸/۶۳، ۷/۹۴) است. این نشان می‌دهد که فراوانی *P. hircanica* پایین‌تر از ۷/۹۴ و بالاتر از ۱۸/۶۳ غیرممکن است. در اینجا لازم به یادآوری است که فراوانی *P. hircanica* در ایستگاه ۱۲ حدود ۴ بوده است.

لازم به ذکر است که در مشکلات برنامه‌نویسی خطی فرض بر این است که متغیرها دارای مقادیر مثبت هستند. با این‌حال، در مدل رگرسیون فازی ضرایب می‌توانند مقادیر منفی داشته باشند.

بنابراین، در برنامه به حداقل رساندن عملکرد Z، لازم است متغیرهای مربوط به مراکز ضریب فازی به عنوان مجموع دو متغیر مثبت در نظر گرفته شود. سپس کسر این متغیرها که با بهینه‌سازی به دست می‌آید، به‌عنوان مراکز ضریب در نظر گرفته می‌شود. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، پارامترهای محاسبه‌شده در مدل‌های رگرسیون فازی، اعداد گنگ هستند که نشان‌دهنده مقادیر مرکزی و درجه عدم اطمینان مثبت آن هستند.

به‌منظور ارزیابی مدل‌های به‌دست آمده از رگرسیون فازی، تجزیه و تحلیل حساسیت بر پایه سطح اعتبار (h) و محاسبه مقدار کل ابهام Z و مقدار شاخص اطمینان مدل‌ها محاسبه شد. نتایج در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. به‌طور کلی، افزایش مقدار h دارای ۳ اثر است: در مرحله اول اعتبار مدل را افزایش می‌دهد زیرا مدل با ارزش زیادی از اعتبار h ، بیش‌تر احتمال دارد نقاطی را دربرگیرد که مدل‌سازی براساس آن است. همچنین، باعث افزایش ابهام مقادیر برآورد شده و در نتیجه باعث افزایش ابهام در کل و شاخص اطمینان می‌شود.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که این تأثیر h با مقداری حدود ۰/۵ خطی و پس از آن واضح‌تر است زیرا ارزش h بیش‌تر می‌شود. به‌طور معمول، مقادیر اندک از h اثر معکوس خواهد داشت. به‌عبارت دیگر، از یک سو، ابهام کل مدل، Z کاهش می‌یابد و منجربه یک مدل دقیق‌تر و مشخص‌تر می‌شود و از طرف دیگر اعتبار و شاخص اعتبارسنجی کاهش می‌یابد.

باتوجه به جداول ۴ و ۵، تغییرات در مقدار h هیچ تاثیری در مرکز و اعداد فازی (ضرایب مدل) نداشته و فقط عرض اعداد فازی را تغییر داده است. به‌طور کلی، انتخاب سطح اعتبار مدل و در نتیجه مقدار اعتبار آن، در اختیار کابر است که براساس شناخت و آگاهی وی از پدیده و سیستم مورد مطالعه و توازن موردنظر بین اعتبار و ابهام مدل انتخاب می‌شود. با این‌حال، باتوجه به داده‌های مورد بررسی، اعتبار روایی h= ۰/۵ به‌دلیل ارائه ضریب اطمینان بالا منطقی به‌نظر می‌رسد.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

جدول ۴- نتایج آنالیز حساسیت برای گونه *P. hircanica* در روخانه زرین‌گل استان گلستان

IC	(Z) ابهام کل مدل	ضرایب مدل بهینه	سطح اعتبار(h)
۰/۲۱	۱۹۰/۰۵	(۱۰/۰۵, -۳/۱۳)+ (۲۶/۰۲, ۲۲/۲۶) x_1+(-۱/۲۲, -۰/۱۹)x_2	۰/۱
۰/۳۷	۲۱۳/۸	(۱۰/۰۵, -۳/۵۲)+(۲۶/۰۲ ,۲۵/۰۴) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۲۲) x_2	۰/۲
۰/۵۲	۲۴۴/۳۵	(۱۰/۰۵, -۴/۰۳)+(۲۶/۰۲ ,۲۸/۶۲) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۲۵) x_2	۰/۳
۰/۶۵	۲۸۵/۰۷	(۱۰/۰۵, -۴/۶۹)+(۲۶/۰۲ ,۲۲/۳۹) x_1+(-۱/۲۲, -۰/۲۹) x_2	۰/۴
۰/۷۶	۳۴۲/۰۹	(۱۰/۰۵, -۵/۶۴)+(۲۶/۰۲ ,۴۰/۰۶) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۳۹) x_2	۰/۵
۰/۸۵	۴۲۷/۶۱	(۱۰/۰۵, -۷/۰۵)+(۲۶/۰۲ ,۵۰/۰۸) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۴۳) x_2	۰/۶
۰/۹۱	۵۷۰/۱۵	(۱۰/۰۵, -۹/۳۹)+(۲۶/۰۲ ,۶۶/۷۷) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۵۸) x_2	۰/۷
۰/۹۶	۸۵۵/۲۳	(۱۰/۰۵, -۱۴/۰۹)+(۲۶/۰۲ ,۱۰۰/۱۶) x_1+(-۱/۲۲,-۰/۸۷) x_2	۰/۸
۰/۹۹	۱۷۱۰/۴۵	(۱۰/۰۵, -۲۸/۱۹)+(۲۶/۰۲ ,۲۰۰/۳۲) x_1+(-۱/۲۲,-۱/۷۳) x_2	۰/۹

جدول ۵- نتایج آنالیز حساسیت برای گونه *N. pallasi* در روخانه زرین‌گل استان گلستان

IC	(Z) ابهام کل مدل	ضرایب مدل بهینه	سطح اعتبار(h)
۰/۲۹	۲۸/۵۹	(-۱۰/۵۴,-۰/۲۳)+(۵/۴۳,-۱/۱۷)x_1+(۷۹/۶۱,۱۷/۴۴)x_2+(۰/۸۳,۰/۰۶) x_3+(-۹,۰/۳۷) x_4	۰/۱
۰/۴۱	۳۲/۱۷	(-۱۰/۵۴,-۰/۲۶)+(۵/۴۳ ,-۱/۳۲) x_1+(۷۹/۶۱,۱۹/۶۲) x_2 +(۰/۸۳,۰/۰۷) x_3+(-۹,۰/۴۲) x_4	۰/۲
۰/۵۵	۳۶/۷۶	(-۱۰/۵۴,-۰/۳)+(۵/۴۳ ,-۱/۵) x_1+(۷۹/۶۱,۲۲/۴۲) x_2+(۰/۸۳,۰/۰۸) x_3+(-۹,۰/۴۸) x_4	۰/۳
۰/۶۷	۴۲/۸۹	(-۱۰/۵۴,-۰/۳۵)+(۵/۴۳ ,-۱/۷۵) x_1+(۷۹/۶۱,۲۶/۱۶) x_2+(۰/۸۳,۰/۰۹) x_3+(-۹,۰/۵۶) x_4	۰/۴
۰/۷۷	۵۱/۴۷	(-۱۰/۵۴,-۰/۴۲)+(۵/۴۳ ,-۲/۱۱) x_1+(۷۹/۶۱,۳۱/۳۹) x_2+(۰/۸۳,۰/۱۱) x_3+(-۹,۰/۶۷) x_4	۰/۵
۰/۸۶	۶۴/۳۵	(-۱۰/۵۴,-۰/۵۲)+(۵/۴۳ ,-۲/۶۳) x_1+(۷۹/۶۱,۳۹/۲۴) x_2+(۰/۸۳,۰/۱۴) x_3+(-۹,۰/۸۴) x_4	۰/۶
۰/۹۳	۸۵/۷۸	(-۱۰/۵۴,-۰/۶۹)+(۵/۴۳ ,-۳/۵۱) x_1+(۷۹/۶۱,۵۲/۳۲) x_2+(۰/۸۳,۰/۱۹) x_3+(-۹,۱/۱۲) x_4	۰/۷
۰/۹۷	۱۲۸/۶۸	(-۱۰/۵۴,-۱/۰۵)+(۵/۴۳ ,-۵/۲۶) x_1+(۷۹/۶۱,۱۰۰/۱۶) x_2+(۰/۸۳,۰/۲۸) x_3+(-۹,۱/۶۸) x_4	۰/۸
۰/۹۹	۲۵۷/۳۶	(-۱۰/۵۴,-۲/۰۹)+(۵/۴۳ ,-۱۰/۵۴) x_1+(۷۹/۶۱,۱۵۶/۹۶) x_2+(۰/۸۳,۰/۵۵) x_3+(-۹,۳/۳۵) x_4	۰/۹

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر فاضلاب‌های روستایی، مزارع ماهی و پساب کشاورزی در منطقه زرین‌گل باعث آلودگی شیمیایی آبهای سطحی و زیرزمینی رودخانه زرین‌گل شده است. بنابراین، یافته‌های مطالعه حاضر می‌تواند پارامترهای مهم را برای مدیریت و حفاظت مؤثر از این ماهیان کفزی بومی نشان دهد. این موضوع که بین میانگین مقادیر هر پارامتر زیستگاه دائمی بین دو ماهی کفزی تفاوت معنی‌داری وجود دارد، نشان می‌دهد که آنها ممکن است از زیستگاه‌های مختلفی برای کاهش رقابت در مکان استفاده کنند (Yu and Lee, 2002). در مطالعه حاضر، *N. pallasi* سرعت جریان بالاتر را با آبهای کم‌عمق‌تر انتخاب کرده و بیش‌تر از بخشی با عرض رودخانه بالاتر استفاده می‌کند. اما گونه *P. hircanica* بیش‌تر بستر سنگی و سنگ‌های بستر بزرگ را انتخاب می‌کند. سنگ‌هایی با قطر بزرگ تنها پوشش مورد استفاده توسط *P. hircanica* به‌عنوان گزینش زیستگاه انتخاب شده است. بالاترین ارزش شاخص‌های انتخابی زیستگاه استاندارد برای سگ‌ماهی جویباری در رودخانه زرین‌گل مربوط به ارتفاع (۴۹۰-۵۷۰ متر)، شیب (۱۹/۱۹ درصد ۵/۱۶)، سرعت (۰/۷ تا ۸/۸ متر)، عرض (۴/۳-۵/۷ متر)، عمق (۰/۲-۰/۱متر) و بستر سنگ‌فرشی (Gholizadeh *et al.*, 2018) می‌باشد. این ماهی کفزی، پوشش گیاهی غیرمتراکم و سایه متوسط را می‌پسندد. پوشش گیاهی در حوضه زرین-گل بسیار آشفته و با ساختاری ضعیف است. اگرچه ایستگاه‌های بالادست دارای درختان بومی بودند، اما با محدودیت‌هایی از جمله فعالیت انسانی نادیده گرفته می‌شود. این تغییرات به‌دلیل اثر تجمعی طبیعی (سیل اغلب در تابستان) رخ می‌دهد و اختلالات انسانی که در حوضه‌های کشاورزی شایع است (منجر به وضعیت نامناسب پوشش گیاهی) می‌شود. این به نوبه خود ممکن است عملکرد نواحی پوشش گیاهی ساحلی را کاهش دهد، روی زیستگاه های درون‌نهری، پویایی مواد مغذی و کیفیت آب تأثیر بگذارد و منجر به تغییر در شبکه‌های غذایی خشکی و آبی شود (Hladyz *et al.*, 2011). پوشش گیاهی درون‌نهری انتخاب‌شده توسط *P. hircanica* می‌تواند منبع غذایی را فراهم کند (Opperman and Merenlender, 2004).

ساختارهای زیستگاه درون‌نهری عملکردهای متنوعی را برای ماهیان نهری ارائه می دهد (Quist *et al.*, 2005). ویژگی‌های پوشش محافظت در برابر شکارچیان یا بهبود شرایط نامطلوب جریان نهری یا تغییرات فصلی در هزینه‌های متابولیکی و در نتیجه بر بقاء و حرکت ماهیان تأثیر می‌گذارد (MacKenzie and Greenberg, 1998). نوع بستر می‌تواند برای تخم‌ریزی ماهی حیاتی باشد (Quist *et al.*, 2005). رفتار تغذیه‌ای در برخی از گونه‌های سگ‌ماهی جویباری (Welton *et al.*, 1991) و توزیع گونه‌هایی مانند *Cobitis taenia* (Linnaeus, 1758) در بسترهای با جنس تخته‌سنگ (Copp and Vilizzi, 2004) را تحت تأثیر قرار دهد که در مطالعه حاضر ماهی *P. hircanica* بستر درشت‌تر را در مقایسه با *N. fluviatilis* در رودخانه زرین‌گل انتخاب کرد. در

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

رودخانه زرین‌گل، *N. pallasi* فراوانی آن از *P. hircanica* کم‌تر بود. این فراوانی کم ممکن است به‌دلیل تخصص بیش‌تر آن در استفاده از زیستگاه باشد. الگوهای استفاده از زیستگاه ماهی ممکن است با تغییر شرایط محیطی متفاوت باشد و تحت تأثیر الگوهای فصلی باشد (Gillette *et al.*, 2006). الگوهای فصلی در اینجا مورد ارزیابی قرار نگرفت، اما الگوهای استفاده و انتخاب زیستگاه ماهیان کفزی در تابستان مشخص می‌شود. بنابراین، توصیه می‌شود در مورد استفاده از زیستگاه‌ها و الگوهای ترجیحی در فصول دیگر نیز مطالعه گردد. منحنی‌های صاف برای بیان عدم اطمینان در ترجیح زیستگاه ماهی مناسب است که با استفاده از آن مدل ترجیحی زیستگاه فازی با ورودی فازی به بهترین توانایی پیش‌بینی در بین مدل‌ها می‌رسد. در نتیجه، مطالعه حاضر نشان داد که دو مزیت در فازی وجود دارد: کاهش نوسانات در ارزیابی ارجحیت زیستگاه و بهبود توانایی پیش بینی مدل. بنابراین، درنظر گرفتن فازی برای نشان دادن اولویت زیستگاه ماهی در شرایط طبیعی مناسب است.

پست الکترونیک نویسندگان

محمد قلی‌زاده: gholizade_mohammad@yahoo.com
عبدالسعید توماج: ab.toomaj@gmail.com
راحله معتمدی: gh.model09@gmail.com

REFERENCES

Abdoli A., Rahmani H. 2001. Food habits of two species of *Gobiidae Neogobius fluviatilis*, *Neogobius melanostomus* in the Madarsoo stream, Golestan National Park. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8(1):3-15. (In Persian)

Afshin Y. 1994. Rivers of Iran. Vol. 2, Ministry of Energy, Jamab Consulting Engineers Company. Iran. 1187 p. (In Persian).

Bain M.B., Stevenson N.J. 1999. Aquatic Habitat Assessment: Common Methods. American Fisheries Society, Maryland, USA. 224 p.

Barros L.C., Bassanezi R.C., Tonelli P.A. 2000. Fuzzy modelling in population dynamics. Ecological Modelling, 128: 27-33.

Celmins A. 1987. Least squares model fitting to fuzzy vector data. Fuzzy Sets and Systems, 22(3): 45-269.

Chang Y.H., Ayyub B.M. 2001. Fuzzy regression methods-a comparative assessment. Fuzzy Sets and Systems, 119(2): 187-203.

Copp G., Vilizzi L. 2004. Spatial and ontogenetic variability in the microhabitat use of stream-dwelling spined loach (*Cobitis taenia*) and stone loach (*Barbatula barbatula*). Journal of Applied Ichthyology, 20: 440-451.

Diamond P. 1988. Fuzzy least squares. Information Sciences, 46(3): 141-157.

Geblera D., Szoszkiewicza K., Pietruczukb K. 2017. Modeling of the river ecological status with macrophytes using artificial neural networks. Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters, 65: 46-54.

Gholizadeh M., Patimar P., Harsij H. 2018. Investigation of Selected Habitat Range of the Western Crested Loach *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet et al., 2015) in the Zarin-Gol River, Golestan Province. Journal of Applied Ichthyological Research, 6(2): 1-11. (In Persian).

Gholizadeh M., Toomaj A., Hossiendost S. 2017. Modeling habitat requirements of riverine stone loach, *Paracobitis hircanica* (Teleostei: Nemacheilidae) in the Zarin Gol River, Caspian Sea basin, Iran. Iranian Journal of Ichthyology, 4(4): 340-351.

Gillette D., Tiemann J., Edds D., Wildhaber M. 2006. Habitat use by a Midwestern USA riverine fish assemblage: effects of season, water temperature and river discharge. Journal of Fish Biology, 68: 1494-1512.

Hladyz S., Åbjörnsson K., Giller P.S., Woodward G. 2011. Impacts of an aggressive riparian invader on community structure and ecosystem functioning in stream food webs. Journal of Applied Ichthyology, 48(2): 443-452.

Kim K.J., Moskowitz H., Köksalan M. 1996. Fuzzy versus statistical linear regression. European Journal of Operational Research, 92: 417-434.

Lek S., Delacoste M., Baran P., Dimopoulos I., Lauga J., Aulagnier S. 1996. Application of neural networks to modelling nonlinear relations in ecology. Ecological Modeling, 90: 39-52.

Lek S., Guegan J.F. 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. Ecological Modeling, 120: 65-73.

MacKenzie A.R., Greenberg L. 1998. The influence of instream cover and predation risk on microhabitat selection of stone loach *Barbatula barbatula* (L.). Ecology of Freshwater Fish, 7: 87-94.

Opperman J.J., Merenlender A.M. 2004. The effectiveness of riparian restoration for improving instream fish habitat in four hardwood-dominated California streams. North American Journal of Fisheries Management, 24(3): 822-834.

Quist M., Rahel F., Hubert W. 2005. Hierarchical faunal filters: an approach to assessing effects of habitat and nonnative species on native fishes. Ecological Freshwater Fish, 14: 24-39.

Salski A., Holsten B., Trepe M. 2009. A fuzzy approach to ecological modelling and data analysis. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, 34: 125-140.

Tanaka H., Uegima S., Asai K. 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. IEEE Trans. Systems Man Cybrnet, 12(6): 903-907.

Welton J.S., Mill C.A., Pygott J.R. 1991. The effect of interaction between the stone loach *Noemacheilus barbatulus* (L.) and the bullhead *Cottus gobio* (L.) on prey and habitat selection. Hydrobiologia, 220: 1-7.

Yu S.L., Lee T.W. 2002. Habitat preference of the stream fish, *Sinogastromyzon puliensis* (Homalopteridae). Zoological Study –Taipei, 41: 183-187.

Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. Inform Control, 8(3): 338-353.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

نحوه استناد به این مقاله:

قلی‌زاده م.، توماج ع.س.، معتمدی ر. برازش فراوانی دو ماهی کفزی (*Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) و (*Neogobius pallasi* (Berg, 1916)) با استفاده از رگرسیون فازی. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۳۹۹، ۲۶-۱۸ :(۲)۸ .

Gholizadeh M., Toomaj A.S., Motamedi R. Fitting of two benthic fishes abundance *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) and *Neogobius pallasi* (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2020, 8(2): 18-26.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]

Fitting of two benthic fishes abundance *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) and *Neogobius pallasi* (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression

Gholizadeh M*[1]., Toomaj A.S[2]., Motamedi R[3].
[1]Assistant Prof., Dept. of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran
[1]Assistant Prof., Dept. of Mathematics and Statistics, Faculty of Basic Science and Engineering, Gonbad Kavous University, Iran
[3]M.Sc., Dept. of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

Type:

Original Research Paper

Paper History:

Received: 6-1-2020
Accepted: 8-2- 2020

Corresponding author:
Gholizadeh M. Assistant Prof., Dept. of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran.

Email: gholizade_mohammad@yahoo.com

Abstract
Knowledge of the biological requirements of aquatic organisms in perennial rivers is necessary for the protection of biological diversity in riverine ecosystems. Habitat knowledge includes using models for estimating specific properties from the physical structure of rivers by simple and accurate methods. A fuzzy regression model was used to investigate the abundance and diversity of the two endemic fish species (*Paracobitis hircanica* and *Neogobius pallasi*) in the Zarin Gol River (located in northern Iran) in summer 2017. *P.hircanica* and *N.pallasi* overlapped in mesohabitat use, both fish species preferred riffles to pools. Further analyses based on stepwise multiple regressions showed that fish abundance was significantly correlated with riparian vegetation and substrate for *P.hircanica*, but correlated with water depth, stream width, velocity, and discharge for *N.pallasi tilis*. The results showed that fuzzy regression can be an appropriate complementary or alternative method for statistical regression when the relationship between the variables is vague or there are errors due to vagueness in the regression equation structure. The result recommends that the various substratum compositions may have accounted for the co-existence of these two benthic fish species. It also provides important information for habitat management and ecological engineering of Mountain Rivers in Iran.

Keywords: *P. hircanica, N. pallasi,* Fuzzy numbers, Linear programming, Zarin Gol river

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jair.8.2.18]