



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

محمد قلی‌زاده^{۱*}، عبدالسعید توماج^۲، راحله معتمدی^۳

^۱ استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۲ استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

چکیده

آگاهی از نیازهای بیولوژیکی موجودات آبی در رودخانه‌های دائمی برای حفاظت از تنوع زیستی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای ضروری است. دانش زیستگاه شامل استفاده از مدل‌هایی است که با روش‌های ساده و دقیق به توان 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. pallasii* در رودخانه زرین‌گل در شمال ایران در فصل تابستان ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. *P. hircanica* و *N. pallasii* 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 نشان داد که فراوانی ماهی به‌طور قابل توجهی با پوشش گیاهی ساحلی و بستر برای *P. hircanica* در ارتباط بود، اما در فراوانی *N. pallasii* 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 نشان داد 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 می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

P. hircanica، *N. pallasii*، رگرسیون فازی، برنامه‌نویسی خطی، رودخانه زرین‌گل

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 گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
ایمیل: gholizade_mohammad@yahoo.com

۱ | مقدمه

آگاهی از رابطه و همبستگی بین خصوصیات مختلف ماهی‌ها و بیان آنها به‌عنوان مدل‌های آماری، جنبه مهم انتخاب زیستگاه‌های مناسب برای موجودات آبی است. به‌طور کلی، 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 (Gebler et al., 2017; Lek and Guegan, 1999; Lek et al., 1996). تمام این روش‌ها بر این فرض استوار است که 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

خطی چندگانه به‌عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای توصیف رابطه بین متغیر وابسته یا پاسخ (به‌عنوان مثال فراوانی ماهی) و متغیرهای مستقل یا پیش‌بینی‌کننده (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 پیش‌بینی‌کننده پیوسته هستند به کار 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 پیش‌بینی‌کننده 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.

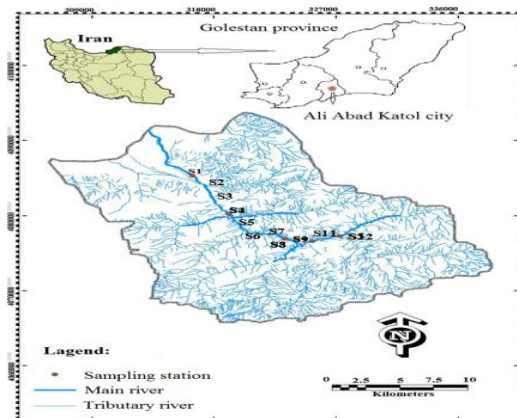
۲ | مواد و روش‌ها

رودخانه گرگان‌رود یکی از رودخانه‌های اصلی و مهم در حوضه دریای خزر در استان گلستان، به‌دلیل اهمیت آن در کشاورزی، آبی‌پروری، 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 $57^{\circ} 37'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 52'$ است (Afshin, 1994).

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 به کار 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 به جای 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 عمده‌تاً 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 زمینه‌ها 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



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

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.

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

جدول ۱- ویژگی‌های محیطی برای استخراج ارجحیت زیستگاه از فراوانی دو گونه *N. pallasi* و *P. hircanica* 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	۴۶۶/۳۱	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

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 $[0, 1]$) 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: $\tilde{A} = \{(x, \tilde{A}(x)) | x \in X\}$. به عبارت دیگر $\tilde{A}: X \rightarrow [0, 1]$ ، تابع عضویت به معنای درجه عضویت $\tilde{A}$ 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 $\tilde{A}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\tilde{A}(x_1), \tilde{A}(x_2))$ ، اگر $x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0, 1]$ 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

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 خیزی 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 شد $A = \pi r^2$. 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:

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

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 $SS_E = 2 \sum_{j=1}^n (\tilde{Y}_j - \hat{Y}_j^c)^2$ مربعات خطای (SS_E) را نشان می‌دهد و $SS_T = 2 \sum_{j=1}^n (\tilde{Y}_j - \hat{Y}_j^s)^2$ 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 $\tilde{Y}_j^s$ و $\tilde{Y}_j^c$ را اندازه‌گیری می‌کند و می‌توان آن‌را با خط رگرسیون مرکز $\tilde{Y}_j^c$ توضیح داد. لازم به ذکر است که $0 \leq IC \leq 1$ ، بنابراین IC پایین‌تر به معنای 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).

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:

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

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:

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

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

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

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

از این رو برای همه $j = 1, 2, \dots, n$ ، 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 Lingo8.0 استفاده شد.

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

معادلات فراوانی	ضرایب مدل (p-value)					
	a	b	c	d	e	R ²
<i>N. pallasi</i> = 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
<i>P.hircanica</i> = a+ b (Substrate)+ c (Riparian Vegetation)	۷/۶۳(۰/۰۰۴)	-۱/۲۷ (۰/۰۰۳)	۳۲/۵۶ (۰/۰۰۳)	-	-	۰/۶۹

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

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

انسانی به دست می آید)، پس باتوجه به مدل مناسب در بالا ذکر شده (در سطح $h = 0.5$ ، فراوانی از *P. hircanica* حدود ۷/۹۴ ماهی تخمین زده می شود که به معنی عدد مثلی متقارن (۱۸/۶۳، ۷/۹۴) است. این نشان می دهد که فراوانی *P. hircanica* پایین تر 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 برنامه نویسی خطی فرض بر این است که متغیرها دارای مقادیر مثبت هستند. با این حال، در مدل رگرسیون فازی ضرایب می توانند 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 بهینه سازی به دست می آید، به عنوان مراکز ضریب در نظر گرفته می شود. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، پارامترهای محاسبه شده در مدل های رگرسیون فازی، اعداد گنگ هستند که نشان دهنده مقادیر مرکزی و درجه عدم اطمینان مثبت آن هستند.

به منظور ارزیابی مدل های به دست آمده از رگرسیون فازی، تجزیه و تحلیل حساسیت بر پایه سطح اعتبار (h) و محاسبه مقدار کل ابهام Z و مقدار شاخص اطمینان مدل ها محاسبه شد. نتایج در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. به طور کلی، افزایش مقدار h دارای ۳ اثر است: در مرحله اول اعتبار مدل را افزایش می دهد زیرا مدل با ارزش زیادی از اعتبار h ، بیش تر احتمال دارد نقاطی را دربرگیرد که مدل سازی براساس آن است. همچنین، باعث افزایش ابهام مقادیر برآورد شده و در نتیجه باعث افزایش ابهام در کل و شاخص اطمینان می شود.

نتایج به دست آمده نشان داد که این تأثیر h با مقداری حدود ۰/۵ خطی و پس از آن واضح تر است زیرا ارزش h بیش تر می شود. به طور معمول، مقادیر اندک از h اثر معکوس خواهد داشت. به عبارت دیگر، از یک سو، ابهام کل مدل، Z کاهش می یابد و منجر به یک مدل دقیق تر و مشخص تر می شود و از طرف دیگر اعتبار و شاخص اعتبارسنجی کاهش می یابد.

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. به طور 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 می شود. با این حال، باتوجه به داده های مورد بررسی، اعتبار راوی $h = 0.5$ به دلیل ارائه ضریب اطمینان بالا منطقی به نظر می رسد.

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

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

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

$$\begin{aligned} (6) 0.5s_0 + 0.5s_1x_{11} + 0.5s_2x_{12} + a_0^c + a_1^c x_{11} + a_2^c x_{12} &\geq y_1 \\ 0.5s_0 + 0.5s_1x_{11} + 0.5s_2x_{12} - a_0^c - a_1^c x_{11} - a_2^c x_{12} &\geq y_1 \end{aligned}$$

با در اختیار داشتن تابع هدف (۵) و باتوجه به محدودیت های ۲۴ گانه متناظر با رابطه (۶) ادامه محاسبات صورت می گیرد. در این حالت، می توان با استفاده از الگوریتم های برنامه نویسی خطی مانند روش Simplex، تابع هدف (۵) را به حداقل رساند تا ارزش های مرکزی و گسترش مقادیر هر ضریب را تخمین بزند. با حل مسئله به حداقل رساندن با Lingo 8.0، مدل های مختلفی ارائه شد که بالاترین شاخص اطمینان (IC) را در بین مدل های مختلف با ضرایب مثلی متقارن در سطح اعتبار ثبت کردند (جدول ۴، ۵) به شرح زیر:

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

بنابراین، مدل فازی بهینه با $IC = 0.76$ است:

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

اگر به ترتیب 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 فعالیت های

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

IC	(Z) ابهام کل مدل	ضرایب مدل بهینه	سطح اعتبار (h)
۰/۲۱	۱۹۰/۰۵	$X_1 + (-1/22, -0/19) X_2 + (10/05, -3/13) X_3 + (26/02, 22/26) X_4$	۰/۱
۰/۳۷	۲۱۳/۸	$X_1 + (-1/22, -0/22) X_2 + (10/05, -3/52) X_3 + (26/02, 25/04) X_4$	۰/۲
۰/۵۲	۲۴۴/۳۵	$X_1 + (-1/22, -0/25) X_2 + (10/05, -4/03) X_3 + (26/02, 28/62) X_4$	۰/۳
۰/۶۵	۲۸۵/۰۷	$X_1 + (-1/22, -0/29) X_2 + (10/05, -4/69) X_3 + (26/02, 22/39) X_4$	۰/۴
۰/۷۶	۳۴۲/۰۹	$X_1 + (-1/22, -0/39) X_2 + (10/05, -5/64) X_3 + (26/02, 40/06) X_4$	۰/۵
۰/۸۵	۴۲۷/۶۱	$X_1 + (-1/22, -0/43) X_2 + (10/05, -7/05) X_3 + (26/02, 50/08) X_4$	۰/۶
۰/۹۱	۵۷۰/۱۵	$X_1 + (-1/22, -0/58) X_2 + (10/05, -9/39) X_3 + (26/02, 66/77) X_4$	۰/۷
۰/۹۶	۸۵۵/۲۳	$X_1 + (-1/22, -0/87) X_2 + (10/05, -14/09) X_3 + (26/02, 100/16) X_4$	۰/۸
۰/۹۹	۱۷۱۰/۴۵	$X_1 + (-1/22, -1/73) X_2 + (10/05, -28/19) X_3 + (26/02, 200/32) X_4$	۰/۹

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

IC	(Z) ابهام کل مدل	ضرایب مدل بهینه	سطح اعتبار (h)
۰/۲۹	۲۸/۵۹	$X_1 + (79/61, 11/44) X_2 + (0/83, 0/06) X_3 + (-9, 0/37) X_4 + (-10/54, -0/23) X_5 + (5/43, -1/17) X_6$	۰/۱
۰/۴۱	۳۲/۱۷	$X_1 + (79/61, 19/62) X_2 + (0/83, 0/07) X_3 + (-9, 0/42) X_4 + (-10/54, -0/26) X_5 + (5/43, -1/32) X_6$	۰/۲
۰/۵۵	۳۶/۷۶	$X_1 + (79/61, 22/42) X_2 + (0/83, 0/08) X_3 + (-9, 0/48) X_4 + (-10/54, -0/3) X_5 + (5/43, -1/5) X_6$	۰/۳
۰/۶۷	۴۲/۸۹	$X_1 + (79/61, 26/16) X_2 + (0/83, 0/09) X_3 + (-9, 0/56) X_4 + (-10/54, -0/35) X_5 + (5/43, -1/75) X_6$	۰/۴
۰/۷۷	۵۱/۴۷	$X_1 + (79/61, 31/39) X_2 + (0/83, 0/11) X_3 + (-9, 0/67) X_4 + (-10/54, -0/42) X_5 + (5/43, -2/11) X_6$	۰/۵
۰/۸۶	۶۴/۳۵	$X_1 + (79/61, 39/24) X_2 + (0/83, 0/14) X_3 + (-9, 0/84) X_4 + (-10/54, -0/52) X_5 + (5/43, -2/63) X_6$	۰/۶
۰/۹۳	۸۵/۷۸	$X_1 + (79/61, 52/32) X_2 + (0/83, 0/19) X_3 + (-9, 1/12) X_4 + (-10/54, -0/69) X_5 + (5/43, -3/51) X_6$	۰/۷
۰/۹۷	۱۲۸/۶۸	$X_1 + (79/61, 100/16) X_2 + (0/83, 0/28) X_3 + (-9, 1/68) X_4 + (-10/54, -1/05) X_5 + (5/43, -5/26) X_6$	۰/۸
۰/۹۹	۲۵۷/۳۶	$X_1 + (79/61, 156/96) X_2 + (0/83, 0/55) X_3 + (-9, 3/35) X_4 + (-10/54, -2/09) X_5 + (5/43, -10/54) X_6$	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 (۰/۲-۰/۱ متر) و بستر سنگ‌فرشی (Gholizadeh et al., 2018) می‌باشد. این ماهی کفزی، پوشش گیاهی غیرمترکم 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 به دلیل 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 زیستگاه‌های 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 می‌دهد (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

- 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., Hossienost 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., Moskowit 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 Cybernet, 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.

رودخانه زرین گل، *N. pallasii* فراوانی آن از *P. hircanica* کم تر بود. این فراوانی کم ممکن است به دلیل تخصص بیش تر 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 می شود. بنابراین، توصیه می شود در مورد استفاده از زیستگاه ها و الگوهای ترجیحی در فصول دیگر نیز مطالعه گردد. منحنی های 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 پیش بینی در بین مدل ها می رسد. 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، در نظر گرفتن فازی برای نشان دادن اولویت زیستگاه ماهی در شرایط طبیعی مناسب است.

پست الکترونیک نویسندگان

محمد قلی زاده: gholizade_mohammad@yahoo.com
عبدالسعید توماج: ab.toomaj@gmail.com
راجله 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., Szoszkiewicz K., Pietruczuk K. 2017. Modeling of the river ecological status with macrophytes using artificial neural networks.

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 pallasii* (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 pallasii* (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2020, 8(2): 18-26.

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

Gholizadeh M^{*1}, Toomaj A.S², Motamedi R³.

¹Assistant Prof., Dept. of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

¹Assistant Prof., Dept. of Mathematics and Statistics, Faculty of Basic Science and Engineering, Gonbad Kavous University, Iran

³M.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 pallasii*) in the Zarin Gol River (located in northern Iran) in summer 2017. *P.hircanica* and *N.pallasii* 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.pallasii 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. pallasii*, Fuzzy numbers, Linear programming, Zarin Gol river