



# Comparison of the performance of the linear and non-linear models in habitat suitability estimation

(case study: Razi scraper, *Capoeta razi*)

Hadi Poorbagher<sup>1</sup> | Soheil Eagderi<sup>2</sup> | Fateh Moëzzi<sup>3</sup>

1. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [poorbagher@ut.ac.ir](mailto:poorbagher@ut.ac.ir)

2. Corresponding Author, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [soheil.eagderi@ut.ac.ir](mailto:soheil.eagderi@ut.ac.ir)

3. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [moezifateh@ut.ac.ir](mailto:moezifateh@ut.ac.ir)

## Article Info

### Article type:

Research Article

### Article history:

Received 22 October 2023

Received in revised form 07  
December 2023

Accepted 21 December 2023

Published online 22 July 2024

### Keywords:

*Habitat variables,*

*Modelling,*

*Species distribution,*

*Taleghan River.*

## ABSTRACT

The statistical models with the best performance in habitat suitability studies of fish species are of high importance. The present study compared the performance of linear (linear regression model (LM) and generalized linear model (GLM)) and non-linear models (artificial neural networks (ANN) and support vector machine (SVM)) in estimating habitat suitability index (HSI) for *Capoeta razi* in a southern Caspian Sea basin. The environmental parameters were altitude, depth, width, velocity, temperature, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), bottom stone diameter, and total count of stones with diameter > 15 cm per m<sup>2</sup>. The linear models had weak predictive performance (higher RMSE values) compared to ANN and SVM models. The SVM was the best model with the predictors of altitude, pH, temperature, and stone diameter, and ANN was the best model using the rest of the parameters. The arithmetic mean model (AMM) showed better performance in estimating HSI compared to the geometric mean model (GMM). The distribution of HSI values along the sampling stations in the Caspian Sea basin (the Taleghan River) showed high diversity in the habitat condition of the fish species.

**Cite this article:** Poorbagher, H., Eagderi, S., & Moëzzi, F. (2024). Comparison of the performance of the linear and non-linear models in habitat suitability estimation (case study: Razi scraper, *Capoeta razi*). *Journal of Natural Environment*, 77 (Special Issue), 49-60. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.367109.2610>



## مقایسه عملکرد مدل‌های خطی و غیرخطی در برآورد شایستگی زیستگاه (مطالعه سیاه‌ماهی رازی، *Capoeta razii*)

هادی پورباقر<sup>۱</sup> | سهیل ایگدری<sup>۲</sup> | فاتح معزی

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران. رایانامه: [poorbagher@ut.ac.ir](mailto:poorbagher@ut.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران. رایانامه: [soheil.eagderi@ut.ac.ir](mailto:soheil.eagderi@ut.ac.ir)
۳. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران. رایانامه: [moezifateh@ut.ac.ir](mailto:moezifateh@ut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	یافتن مدل‌های آماری دارای بهترین عملکرد پیش‌بینی در مطالعات شایستگی زیستگاه گونه‌های ماهیان از اهمیت بالایی برخوردار است. در مطالعه حاضر، عملکرد مدل‌های خطی (مدل رگرسیون خطی (LM)، مدل رگرسیون خطی تعدیم‌یافته (GLM)) و غیرخطی (مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)) در برآورد نمایه شایستگی زیستگاه (HSI) گونه سیاه‌ماهی رازی <i>Capoeta razii</i> در تعداد ۳۲ ایستگاه در امتداد بازه حدود ۹۰ کیلومتری از رودخانه طالقان، حوضه جنوبی دریای خزر مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای محیطی اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ارتفاع از سطح دریا، عمق رودخانه، عرض رودخانه، سرعت جریان آب، دما، pH، EC، TDS، قطر سنگ و تعداد سنگ‌های با قطر $< 15$ سانتی‌متر در بستر. نتایج نشان داد که مدل‌های خطی در مقایسه با مدل‌های غیرخطی از عملکرد پیش‌بینی ضعیف‌تری (مقدار RMSE بالاتری) برخوردارند. بهترین مدل‌ها برای پارامترهای ارتفاع از سطح دریا، pH، دما و قطر سنگ مربوط به مدل SVM و برای دیگر پارامترها مربوط به مدل ANN بود. مدل میانگین حسابی (AMM) در مقایسه با مدل میانگین هندسی (GMM) عملکرد مناسب‌تری را در برآورد HSI نشان داد. توزیع مقادیر HSI در ایستگاه‌های بررسی شده در رودخانه طالقان نشان داد که نقاط دارای سطوح شایستگی زیستگاه کم تا زیاد برای گونه سیاه‌ماهی رازی در امتداد این رودخانه وجود دارد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱	
کلیدواژه‌ها: توزیع گونه، رودخانه طالقان، متغیرهای زیستگاهی، مدل‌سازی.	

استاد: پورباقر، هادی؛ ایگدری، سهیل؛ و معزی، فاتح (۱۴۰۳). مقایسه عملکرد مدل‌های خطی و غیرخطی در برآورد شایستگی زیستگاه (مطالعه سیاه‌ماهی رازی،

*Capoeta razii*). محیط زیست طبیعی، ۷۷ (ویژه نامه)، ۶۰-۴۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.367109.2610>



## مقدمه

مدل‌سازی زیستگاه از جمله زمینه‌های تحقیقاتی مهم در امر حفاظت آبریان می‌باشد (Harborne *et al.*, 2011; Mouton *et al.*, 2011). پیش‌بینی حضور گونه‌ها بر مبنای متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی در محیط اساس ایجاد مدل‌های زیستگاهی را تشکیل می‌دهد (Pitman *et al.*, 2007) که به‌طور گسترده جهت برآورد توزیع گونه‌های ماهیان بر مبنای کیفیت زیستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Li *et al.*, 2016). در این بین، مدل‌سازی نمایه شایستگی زیستگاه (HSI)<sup>۱</sup> یک ابزار ارزشمند بوم‌شناختی است که به‌طور گسترده در تشخیص ترجیح، کمیت و کیفیت زیستگاه ماهیان کاربرد دارد (Vinagre *et al.*, 2006). در این روش، پاسخ زیستی یک گونه ماهی به‌صورت تابعی مجزا برای هر متغیر زیستگاهی برآورد شده و به یک نمایه شایستگی (Suitability Index: SI) براساس مقیاس‌دهی پاسخ مورد اشاره در بازه ۰ تا ۱ (که به‌ترتیب بیانگر زیستگاه‌های نامطلوب و مطلوب هستند) تبدیل می‌گردد (Brown *et al.*, 2000). این نمایه‌های شایستگی در نهایت بر مبنای روش‌های میانگین حسابی یا هندسی ادغام شده و نمایه شایستگی زیستگاه را بر مبنای کل متغیرها ارائه می‌دهند.

روش‌های مختلف مورد استفاده در ارائه مدل‌های SI ممکن است نتایج متفاوتی را در مدل‌سازی HSI سبب شوند. ساختارهای مختلف مدل‌های HSI از نظر ادغام مقادیر SI و همچنین تعداد متغیرهای محیطی مورد استفاده در ارائه مدل می‌تواند پیش‌بینی‌های مربوط به سطوح نهایی HSI را تحت تأثیر قرار دهد (Tian *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010; Moëzzi *et al.*, 2022). به‌طور کلی دو رویکرد مدل میانگین حسابی (AMM)<sup>۲</sup> و مدل میانگین هندسی (GMM)<sup>۳</sup> جهت یکپارچه‌سازی مقادیر SI و محاسبه مقادیر HSI مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعات انجام شده عملکردهای متفاوتی برای هر یک از این مدل‌ها از نظر بهینگی سطوح نهایی HSI به‌دست آمده ذکر شده است (Chen *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2012).

روش‌های مدل‌سازی مورد استفاده در مطالعات شایستگی زیستگاه عمدتاً مبتنی بر روش‌های مدل‌سازی خطی بوده‌اند (Berger and Possingham, 2008). مدل‌های خطی از دو ویژگی محدودکننده: (۱) لحاظ نمودن فرض خطی بودن روابط بین فراوانی ماهی و متغیرهای محیطی و (۲) عدم توانایی پرداختن به اثرات متقابل بین متغیرها، برخوردار هستند که تا حدودی کارایی عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهند (Knudby *et al.*, 2010). این محدودیت‌ها منتج به توسعه روش‌های جدید مدل‌سازی شده‌اند که ارتباطات غیرخطی و اثرات متقابل متغیرها را نیز در فرآیند مدل‌سازی دخالت می‌دهند. از مهمترین این تکنیک‌ها شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۴</sup> و ماشین بردار پشتیبان (SVM)<sup>۵</sup> است (Pittman *et al.*, 2009; Muñoz-Mas *et al.*, 2016). این روش‌ها در مطالعات متعددی در رابطه با بررسی شایستگی زیستگاهی گونه‌های ماهیان مورد استفاده قرار گرفته و سطوح کارایی مختلفی برای آن‌ها بیان شده است (Pittman *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2015; Muñoz-Mas *et al.*, 2016).

هدف از مطالعه حاضر بررسی و مقایسه عملکرد روش‌های مختلف مدل‌سازی خطی و غیرخطی در برآورد روابط بین متغیرهای زیستگاهی با فراوانی ماهیان بود. بدین‌منظور گونه سیاه‌ماهی رازی، *Capoeta razii*، گونه بومی، از خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) (Eagderi *et al.*, 2022) در رودخانه طالقان (Anvarifar *et al.*, 2014)، به‌عنوان گونه مورد بررسی انتخاب گردید. این گونه یکی از گونه‌های غالب آب شیرین در حوضه جنوبی خزر به‌شمار می‌آید (Zamani Faradonbe *et al.*, 2015a). سیاه‌ماهی رازی به‌عنوان یکی از گونه‌های جنس *Capoeta*، دارای ارزش شیلاتی در آب‌های داخلی، اهمیت آبروری، صید ورزشی و همچنین مطالعات جغرافیای جانوری است (Sammaee *et al.*, 2006; Eagderi *et al.*, 2015). در این راستا (۱) مقایسه عملکرد روش‌های رگرسیون خطی (LM)، رگرسیون خطی تعمیم‌یافته (GLM)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) در برآورد منحنی‌های SI، (۲) برازش منحنی‌های SI پارامترهای محیطی مورد بررسی در تعیین شایستگی زیستگاه بر مبنای مدل‌های انتخابی و (۳) سطوح HSI مربوط به گونه مورد بررسی براساس روش‌های میانگین حسابی (AMM)

<sup>۱</sup>Habitat Suitability Index

<sup>۲</sup>Arithmetic Mean Model

<sup>۳</sup>Geometric Mean Model

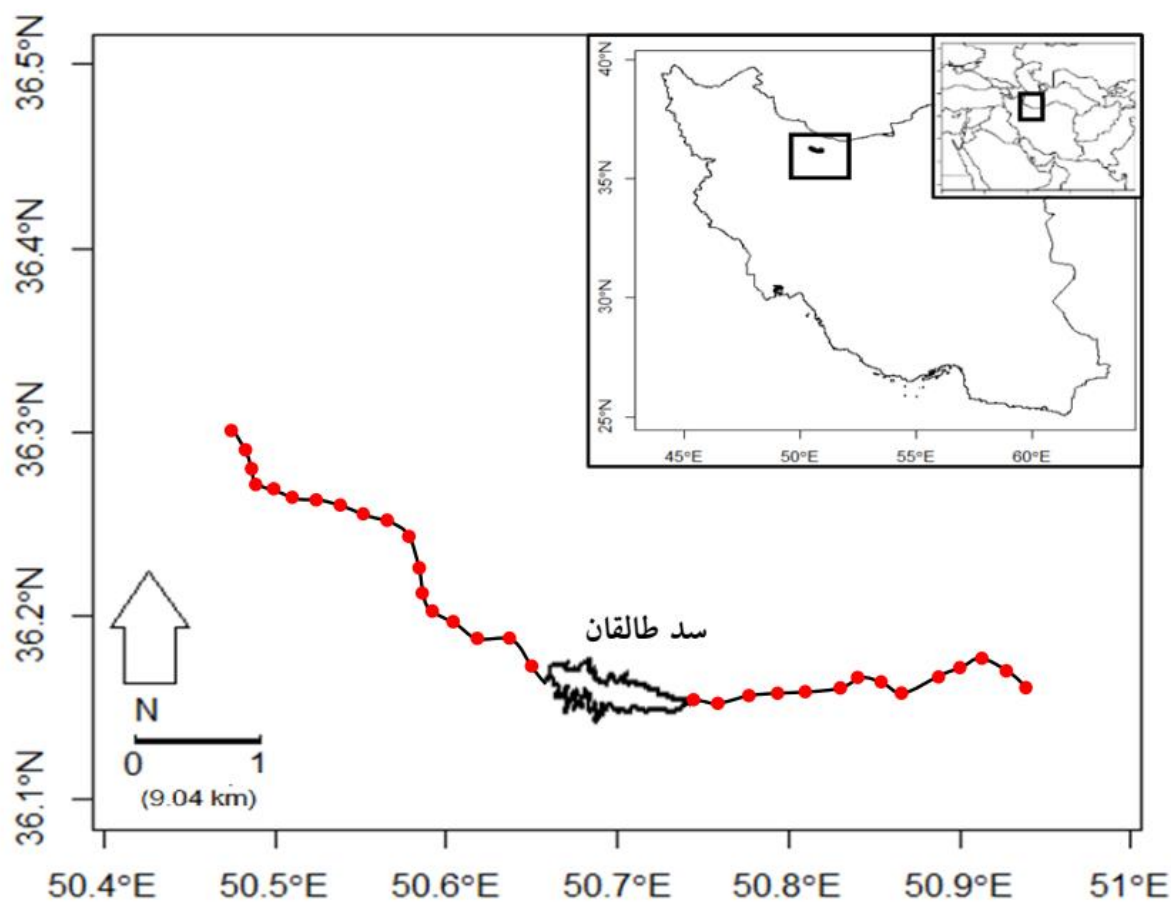
<sup>۴</sup>Artificial Neural Network

<sup>۵</sup>Support Vector Machine

و میانگین هندسی (GMM) مورد بررسی قرار گرفت.

### روش‌شناسی پژوهش

**نمونه‌برداری:** نمونه‌های ماهی در فصل پاییز سال ۱۳۹۳ در تعداد ۳۲ ایستگاه در امتداد رودخانه طالقان، استان البرز از زیرحوضه‌های جنوبی دریای خزر (شکل ۱؛ ۱۴ ایستگاه قبل از سد و ۱۸ ایستگاه بعد از سد) از طریق صید الکتریکی با شدت جریان پایین (الکتروشوکر؛ Samus 750) صید شدند. محل‌های ایستگاه‌ها براساس معیارهای ارائه شده توسط Lotfi (2012) تعیین گردید. در هر ایستگاه، سه بازه ۳۰ متری از امتداد مسیر رودخانه مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. در هر ایستگاه دو طرف بازه نمونه‌برداری با استفاده از تور پشتیبان با چشمه ۰/۵ سانتی‌متر مسدود گردید و ماهیان درون ایستگاه پس از شمارش و اطمینان از شنای فعال در همان محل صید رهاسازی شدند.



شکل ۱- محل‌های نمونه‌برداری *Capoeta razii* (●) در رودخانه طالقان

**اندازه‌گیری پارامترهای محیطی:** متغیرهای دما، pH، هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity: EC) و کل محتوای مواد محلول (Total Dissolved Solids: TDS) در هر ایستگاه با استفاده از دستگاه پرتابل (Eutech Cyber Scan, Singapore) اندازه‌گیری شد. ارتفاع از سطح دریا در محل نمونه‌برداری با استفاده از GPS دستی (Garmin etrex30, USA) تعیین گردید. عمق آب در هر ایستگاه با یک تیرک چوبی مدرج در فواصل یک متر در طول مقطع عرضی رودخانه اندازه‌گیری و سپس میانگین آن به‌عنوان عمق رودخانه در نظر گرفته شد (Lotfi, 2012). میانگین عرض رودخانه با استفاده از یک متر نواری فلزی در ابتدا، میانه و انتهای هر ایستگاه به‌عنوان عرض رودخانه محاسبه گردید. سرعت جریان نیز با بکارگیری یک جسم شناور در سه مقطع موازی با جریان رود در هر ایستگاه نمونه‌برداری اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه شد. قطر سنگ‌های بستر رودخانه با یک متر

فلزی اندازه‌گیری شد و تعداد سنگ‌های دارای قطر بزرگ‌تر از ۱۵ سانتی‌متر پس از شمارش آن‌ها در یک کوادرات یک متر مربعی ثبت گردید.

تهیه منحنی‌های نمایه شایستگی (SI) و ارزیابی آن‌ها: در ابتدا رابطه بین تعداد ماهی صید شده در هر ایستگاه و هر یک از پارامترهای آب با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی بررسی شد. مدل‌های خطی مورد استفاده عبارت بودند از مدل‌های رگرسیون خطی (LM) و رگرسیون خطی تعمیم‌یافته (GLM)، و مدل‌های غیرخطی نیز شامل مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) بودند. برای شبکه‌های عصبی یک لایه مخفی با ۱ تا ۲۰ سلول عصبی مورد آزمایش قرار گرفت و سه مقدار decay (معادل ۰، ۰/۰۱ و ۰/۱) بررسی شد. حداکثر تکرار<sup>۶</sup> برابر با ۵۰۰ در نظر گرفته شد. جهت بررسی کیفیت مدل‌ها از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید و مدل دارای مقدار RMSE کمتر برای هر پارامتر انتخاب شد. در تمامی مدل‌سازی‌های آماری، برای جلوگیری از بیش‌برازش<sup>۸</sup> از درست‌نمایی متقابل چندبخشی<sup>۹</sup> با ۵ تکرار استفاده گردید (Kuhn and Johnson, 2013). برای هر پارامتر محیطی، منحنی SI با توجه به مدل دارای کمترین مقدار RMSE ترسیم گردید. به‌منظور ترسیم تعداد ماهی پیش‌بینی شده توسط مدل در دامنه ۰ تا ۱ روی محور Y از فرمول زیر استفاده شد:

$$SI = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

محاسبه نمایه شایستگی زیستگاه (HSI) و ارزیابی مدل‌ها: محاسبه نمایه شایستگی زیستگاه (HSI) بر مبنای روش‌های میانگین حسابی (AMM)<sup>۱۱</sup> و میانگین هندسی (GMM)<sup>۱۲</sup> با استفاده از روابط زیر انجام شد (Moëzzi et al., 2022):

$$HSI_{AMM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SI_i$$

$$HSI_{GMM} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n SI_i}$$

که در آن  $SI_i$  مقدار SI برای متغیر  $i$ ، و  $n$  تعداد متغیرهای مورد بررسی می‌باشد. جهت مقایسه برآوردهای HSI حاصل از روش‌های AMM و GMM از معیار اطلاعاتی آکایکه اصلاح شده ( $AIC_c$ )<sup>۱۳</sup> استفاده شد. این معیار در زمانی که نسبت تعداد مشاهدات به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده کمتر از ۴۰ باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است (Burnham and Anderson, 2002, 2004):

$$AIC_c = n \cdot \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2 \cdot k + \left(\frac{2 \cdot k \cdot (k + 1)}{n - k - 1}\right)$$

که در آن  $RSS$ ، مجموع مربعات باقیمانده‌ها،  $n$  تعداد مشاهدات و  $k$  تعداد متغیرها می‌باشد. مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. کلیه محاسبات و رسم نمودارها در محیط نرم‌افزار R نسخه 4.1.2 (R Core Team, 2021) صورت گرفت.

<sup>6</sup>Iteration

<sup>7</sup>Root Mean Square Error

<sup>8</sup>Overfitting

<sup>9</sup>k-fold cross validation

<sup>10</sup>Habitat Suitability Index

<sup>11</sup>Arithmetic Mean Method

<sup>12</sup>Geometric Mean Method

<sup>13</sup>Corrected Akaike Information Criterion

## یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به عملکرد مدل‌های مورد استفاده (جدول ۱) نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل‌های غیرخطی (ANN و SVM) در شناخت ارتباط بین فراوانی ماهی و متغیرهای زیستگاهی، با داشتن مقادیر کمتر RMSE در مقایسه با مدل‌های خطی (LM و GLM) بود. بهترین برازش مدل‌های SI برای متغیرهای ارتفاع، pH، دما و قطر سنگ مربوط به مدل SVM و مناسب‌ترین مدل‌های SI برای متغیرهای عمق، عرض، سرعت، EC، TDS و تعداد سنگ با قطر  $< 15$  سانتی‌متر مربوط به مدل ANN بود. در مجموع، در میان متغیرهای زیستگاهی، کمترین مقادیر RMSE منحنی‌های SI برای متغیرهای ارتفاع از سطح دریا (RMSE = ۱۲/۴۰) و درجه حرارت (RMSE = ۱۲/۶۳) از مدل SVM به‌دست آمد.

جدول ۱- مقادیر RMSE مربوط به منحنی‌های شاخص مطلوبیت (SI) برازش‌یافته (مدل رگرسیون خطی (LM)؛ مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته (GLM)؛ مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)؛ مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای گونه سیاه‌ماهی رازی (Capoeta razi) در رودخانه طالقان. مقادیر پررنگ در هر سطر نشان‌دهنده کمترین مقادیر RMSE به‌دست آمده برای هر متغیر بین مدل‌های مختلف است.

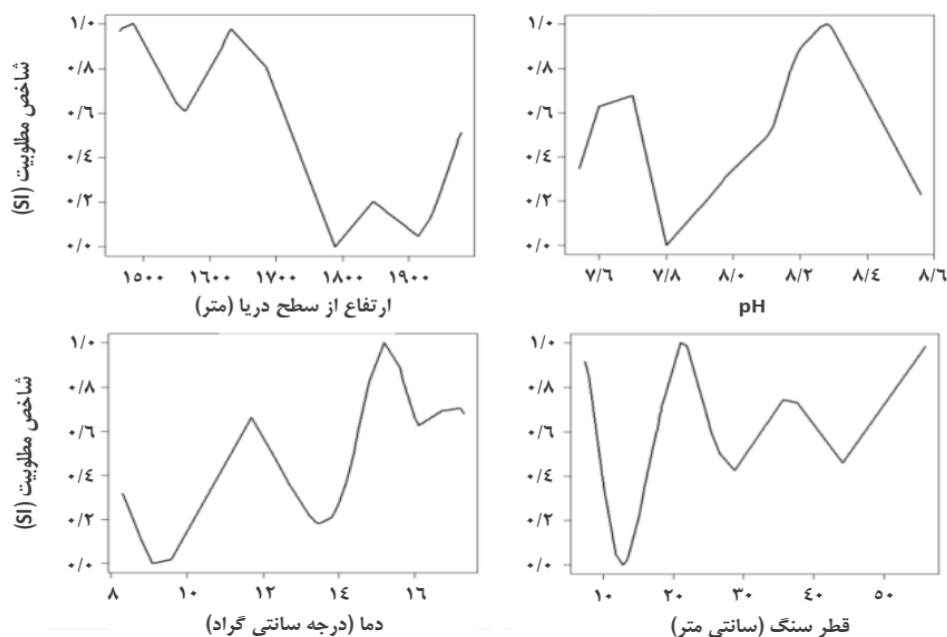
RMSE				پارامترها
SVM	ANN	GLM	LM	
۱۲/۴۰	۱۳/۸۹	۱۵/۵۳	۱۵/۵۳	ارتفاع
۱۶/۶۹	<b>۱۶/۰۸</b>	۱۹/۱۳	۱۹/۱۳	عمق
۱۶/۵۸	<b>۱۵/۷۹</b>	۱۷/۱۱	۱۷/۱۱	عرض
۱۴/۵۵	<b>۱۳/۸۷</b>	۱۵/۳۴	۱۵/۳۴	سرعت
<b>۱۵/۶۷</b>	۱۶/۰۴	۱۸/۸۸	۱۸/۸۸	pH
<b>۱۲/۶۳</b>	۱۵/۲۶	۱۷/۴۸	۱۷/۴۸	دما
۱۲/۹۶	<b>۱۲/۶۷</b>	۱۸/۶۵	۱۸/۶۵	EC
۱۴/۰۷	<b>۱۳/۴۴</b>	۱۷/۴۳	۱۷/۴۳	TDS
<b>۱۳/۴۵</b>	۱۷/۰۲	۱۸/۱۳	۱۸/۱۳	قطر سنگ
۱۷/۱۱	<b>۱۶/۷۰</b>	۱۷/۷۸	۱۷/۷۸	تعداد سنگ ( $> 15$ cm قطر)

منحنی‌های SI برازش یافته متغیرهای زیستگاهی حاصل از مدل‌های SVM و ANN به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. منحنی‌های مربوط به متغیرهای ارتفاع، pH، دما و قطر سنگ که با استفاده از مدل SVM به‌دست آمدند (شکل ۲)، روندهای نسبتاً نامنظم و دارای نوسان را در بازه تغییرات این متغیرها نشان دادند. در مقابل منحنی‌های مربوط به متغیرهای عمق، عرض، سرعت، EC، TDS و تعداد سنگ‌های با قطر بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر حاصل از مدل ANN (شکل ۳)، روندهای کاهشی یا افزایشی مشخص و تقریباً منظمی را در محدوده تغییرات این پارامترها به‌دست دادند.

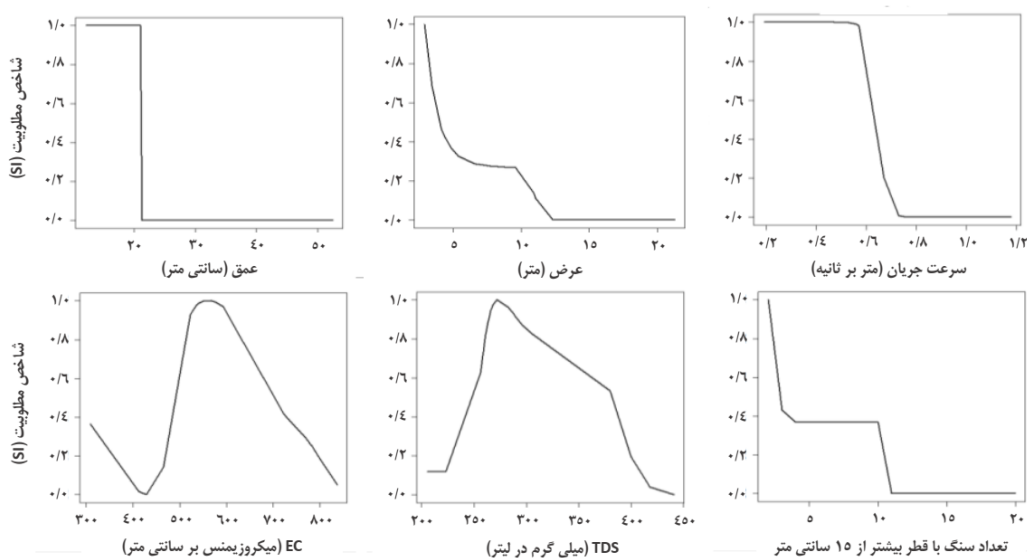
منحنی SI پارامتر ارتفاع، نشان‌دهنده کاهش سطح مطلوبیت زیستگاهی با افزایش مقدار این پارامتر بود به طوری که بیشترین مطلوبیت زیستگاهی در نقاط دارای کمترین ارتفاع به‌دست آمد که در واقع نقاط ایستگاهی پایین‌دست بودند. بیشترین سطوح مطلوبیت زیستگاهی برای متغیر عمق در نقاط دارای عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متر وجود داشت. عرض رودخانه ارتباط معکوسی را با سطح مطلوبیت زیستگاهی نشان داد به طوری که نقاط با عرض کمتر از ۵ متر بیشترین شایستگی را نشان دادند. از نظر پارامتر سرعت آب، میزان شایستگی زیستگاهی در سرعت‌های جریان کمتر از ۰/۶ متر بر ثانیه بیشترین مقدار بوده و در سرعت‌های بالاتر از این سطح، مقدار مطلوبیت نزدیک به صفر بود. بالاترین سطوح شایستگی از نظر پارامتر pH در دامنه ۸/۲ تا ۸/۴ به‌دست آمد. منحنی SI مربوط به متغیر دما نیز یک روند افزایشی کلی را نشان داد به طوری که بیشترین مقادیر شایستگی زیستگاهی در دماهای نزدیک به ۱۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. منحنی‌های SI حاصل برای پارامترهای EC و TDS، روندهای زنگوله‌ای مشخصی را نمایان ساختند به طوری که بیشترین سطوح مطلوبیت زیستگاهی گونه سیاه‌ماهی رازی برای این پارامترها به ترتیب در مقادیر ۵۵۰ تا ۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. از نظر تعداد قطعه‌سنگ در بستر، یک الگوی کاهشی مقدار SI با افزایش تعداد سنگ‌ها مشاهده گردید به گونه‌ای که نقاط دارای کمترین تعداد سنگ، بالاترین سطح شایستگی

زیستگاهی را دارا بودند. با این حال، منحنی SI مربوط به قطر سنگ، الگوی معنی‌دار قابل توجهی را در ارتباط با حضور ماهی و تغییرات اندازه قطر سنگ نشان نداد و نوسانات متعددی در سطوح مختلف شایستگی در بازه مقادیر قطر اندازه‌گیری شده، مشاهده گردید.

جدول ۲ نشان‌دهنده مقادیر شاخص AICc محاسبه‌شده مبتنی بر سطوح HSI به‌دست آمده با استفاده از دو مدل AMM و GMM با ترکیب مقادیر SI برآورد شده از پارامترهای مورد بررسی است. مقدار این شاخص برای روش AMM (۲۷/۴۳۳-) کمتر از روش GMM (۱۱/۰۷۹-) بود که نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل AMM می‌باشد. توزیع مقادیر HSI در مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، بازه تغییرات HSI ایستگاه‌های مورد بررسی بیانگر وجود طیف متنوعی از شرایط زیستگاهی از ایستگاه‌های فقیر (HSI نزدیک به صفر) تا ایستگاه‌های مطلوب (HSI نزدیک به ۱) در محدوده منطقه مورد مطالعه برای گونه مورد بررسی بود.



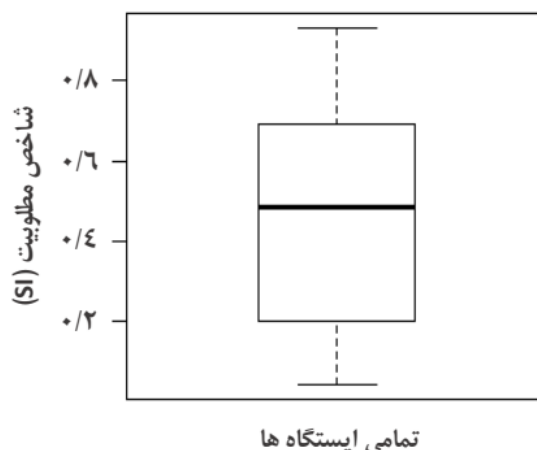
شکل ۲- منحنی‌های شاخص مطلوبیت (SI) ترسیم شده برای متغیرهای ارتفاع، pH، دما و قطر سنگ با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای گونه سیاه‌ماهی رازی (*Capoeta razii*) در رودخانه طالقان



شکل ۳- منحنی‌های شاخص مطلوبیت (SI) ترسیم شده برای متغیرهای عمق، عرض، سرعت، EC، TDS و تعداد سنگ‌های با قطر < ۱۵ سانتی‌متر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای گونه سیاه‌ماهی رازی (*Capoeta razii*) در رودخانه طالقان

جدول ۲- مقادیر AICc (معیار اطلاعاتی آکایکه اصلاح شده) محاسبه شده براساس سطوح شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) به دست آمده با استفاده از مدل‌های میانگین حسابی (AMM) و میانگین هندسی (GMM) برای گونه سیاه ماهی رازی (*Capoeta razii*) در رودخانه طالقان

رودخانه طالقان		
مدل میانگین حسابی (AMM)	مدل میانگین هندسی (GMM)	AIC
-۲۷/۴۳۳	-۱۱/۰۷۹	



شکل ۴- توزیع مقادیر شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) محاسبه شده برای تمامی ایستگاه‌ها (۳۲ ایستگاه) براساس روش مدل میانگین حسابی (AMM) برای گونه سیاه ماهی رازی (*Capoeta razii*) در رودخانه طالقان

## بحث و نتیجه‌گیری

طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های مدل‌سازی در زمینه مطالعات شایستگی زیستگاه ماهیان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Le Pape *et al.*, 2003; Su *et al.*, 2008; Zainuddin *et al.*, 2008; Fukuda *et al.*, 2013; Muñoz-Mas *et al.*, 2016; Yi *et al.*, 2022). عملکردهای متفاوتی برای مدل‌های بکارگرفته شده در مطالعات مختلف ذکر شده است (Moëzzi *et al.*, 2022, 2023). در مطالعه حاضر، مدل‌های خطی در مقایسه با مدل‌های ANN و SVM از عملکرد ضعیف‌تری (یا به عبارتی مقادیر RMSE بالاتر) در برآورد پارامترهای محیطی مورد استفاده برخوردار بودند. مدل ANN بهترین پیش‌بینی را برای بیشترین تعداد از متغیرهای مورد بررسی (شامل عمق، عرض، سرعت جریان آب، EC، TDS و تعداد سنگ با قطر  $< 15$  سانتی‌متر) به دست داد، اما از نظر معیار RMSE، کمترین مقادیر مربوط به مدل SVM و برای پارامترهای ارتفاع از سطح دریا و دما به دست آمد. مدل‌های خطی در مدل‌سازی زیستگاه آبزیان در اکثر مطالعات انجام شده در مقایسه با سایر مدل‌های جدیدتر از عملکرد ضعیف‌تری برخوردار بوده‌اند (Gevrey *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2023; Moëzzi *et al.*, 2017). البته در برخی از مطالعات صورت گرفته تفاوت قابل توجهی بین عملکرد مدل‌های خطی و سایر مدل‌ها مشاهده نشده است (Lin *et al.*, 2015; Muñoz-Mas *et al.*, 2016) که این وضعیت ممکن است ناشی از پارامترهای مورد استفاده و همچنین وضعیت داده‌های مربوط به فراوانی ماهیان مورد مطالعه در مدل بوده باشد. در مجموع، عملکرد پیش‌بینی مناسب‌تر مدل‌های غیرخطی می‌تواند نشان‌دهنده وجود روابط غیرخطی بین متغیرهای محیطی در ارتباط با فراوانی ماهی باشد که مدل‌های خطی از پرداختن به آن‌ها ناتوان هستند.

برازش منحنی‌های SI مربوط به متغیرهای مختلف در مطالعه حاضر بر مبنای یکی از دو مدل ANN و SVM صورت گرفت به طوری که برای هر پارامتر، مدلی که کمترین مقدار RMSE را به دست داده بود، مورد استفاده قرار گرفت. در رابطه با پارامترهایی که SI آنها با استفاده از مدل ANN برازش داده شد (عمق، عرض، سرعت جریان آب، EC، TDS و تعداد سنگ با قطر  $< 15$  سانتی‌متر) الگوهای نسبتاً منظم و مشخصی مشاهده گردید. پارامترهای عمق و سرعت جریان آب بازه محدودی را برای بالاترین سطوح SI نشان دادند به طوری که یک بازه معین از کمترین مقادیر این پارامترها را شامل می‌شد. دو فاکتور عمق و سرعت آب



به‌عنوان دو فاکتور غالب در پراکنش ماهیان رودخانه‌ای از جمله در سیاه‌ماهیان جنس *Capoeta* معرفی شده‌اند (Baker and Ross, 1981; Teresa and Casatti, 2013; Zamani Faradonbe and Eagderi, 2015; Zamani Faradonbe et al., 2015b). برای پارامترهای عرض و تعداد سنگ نیز روندی تقریباً مشابه اما با شیب ملایم‌تر وجود داشت به‌طوری که با افزایش عرض و تعداد سنگ با قطر  $< 15$  سانتی‌متر در یک بازه مشخص، کاهش مقدار SI اتفاق افتاده است. عرض رودخانه به‌عنوان عامل دارای ارتباط عکس با فراوانی ماهیان برشمرده شده است (Littlejohn et al., 1985). همچنین وجود قطعات سنگی بزرگ در بستر رودخانه به‌عنوان عاملی در افزایش شاخص شایستگی زیستگاه در محیط‌های رودخانه‌ای عنوان گردیده است (Li et al., 2009)، به‌ویژه در سیاه‌ماهیان که تغذیه آن‌ها از پریفیتون‌های روی سنگ‌های بستر و حشرات آبی زیر آن‌ها است، قطعات سنگی بزرگ در بستر رودخانه اهمیت بالایی دارد (Zamani Faradonbe and Eagderi, 2015; Zareii et al., 2016). متغیرهای EC و TDS روندی متفاوت از تغییرات SI را نشان دادند به‌طوری که برای این دو پارامتر می‌توان به‌خوبی بازه بهینه دارای بیشترین SI را مشاهده نمود که پیرامون آن، تغییر مقادیر هر پارامتر سبب کاهش میزان SI شده است. در مقابل برای متغیرهایی که مدل SVM کمترین مقدار RSME (بهترین پیش‌بینی) را نشان داده بود، الگوهای تقریباً نامنظمی نمایان گردید به‌طوری که برای هیچ یک از پارامترهای ارتفاع، pH، دما و قطر سنگ نمی‌توان روند تغییر مشخص یا بازه‌های مطلوب هر متغیر در ارتباط با سطوح SI را مشخص نمود. این در حالی است که فاکتور ارتفاع و به‌تبع آن، دما به‌عنوان عوامل مهم اثرگذار بر فراوانی و توزیع ماهیان در بسیاری از رودخانه‌ها ذکر شده‌اند (Porter et al., 2000). همچنین در مطالعات انجام شده ارتباط مثبتی بین قطر متوسط سنگ بستر و افزایش نمایه شایستگی بیان شده است (Gore et al., 2001) که در تطابق با نتایج مطالعه حاضر نیست، اما همسو با روند مشاهده شده با تعداد قطعات سنگی با قطر بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. بازه تغییرات pH اندازه‌گیری شده در این مطالعه نیز گستره محدودی از pH را شامل می‌شود و در مجموع نوسانات SI برای این متغیر نیز گویای نکته قابل توجهی نیست. براساس الگوهای تغییر مورد اشاره می‌توان گفت که پارامترهای دارای روندها و بازه‌های تغییر مشخص مرتبط با سطوح SI بالا از اهمیت بیشتری در تعیین شایستگی زیستگاهی گونه ماهی مورد مطالعه برخوردار می‌باشند در صورتی که برای دیگر پارامترها چنین وضعیتی وجود ندارد.

مقادیر HSI نهایی برآورد شده براساس تمامی فاکتورهای محیطی نشان داد که استفاده از روش AMM در مقایسه با GMM منتج به برآورد مناسب‌تری از نمایه شایستگی زیستگاه می‌گردد. براساس مطالعات انجام شده، مدل مورد استفاده جهت ادغام سطوح SI متغیرهای محیطی در یک مدل HSI کلی تا حد زیادی می‌تواند پیش‌بینی‌های حاصل از مدل HSI را تحت تأثیر قرار دهد (Chen et al., 2010; Moëzzi et al., 2022). در مطالعه Chang و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است که مدل AMM در مقایسه با GMM بر مبنای نکویی برازش ارتباط بین داده‌های حاصل از صید ماهی و مقادیر پیش‌بینی شده HSI از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. همچنین در مطالعه Chen و همکاران (۲۰۱۲)، روش AMM به‌عنوان مدل بهینه HSI در مطالعه شایستگی زیستگاه ماهی ماکرل مطرح شده است. به‌طور کلی، روش AMM در شرایط بکارگیری تعداد یکسان از متغیرهای محیطی، به‌عنوان روش مناسب‌تر در مقایسه با GMM گزارش شده است (Chang et al., 2012). در میان ایستگاه‌های بررسی شده در مطالعه حاضر، تعداد بیشتر ایستگاه‌ها از سطوح شایستگی زیستگاه متوسط و تا حدودی به پایین برخوردار بودند که نشان‌دهنده تنوع شرایط زیستگاهی بالا در امتداد مسیر رودخانه طالقان برای گونه سیاه‌ماهی رازی است.

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شد.

## References

- Anvarifar, H., Farahmand, H., Rahmani, H., Nematollahi, M.A., Karami, M., Akbarzade, A., 2012. Investigation of morphometric variation and differentiation Siah Mahi, *Capoeta capoeta gracilis*, in Tajan River. Iranian Journal of Biology 25(4), 517-535.
- Baker, J.A., Ross, S.T., 1981. Spatial and temporal resource utilization by south eastern cyprinids. Copeia 178-189.

- Beger, M., Possingham, H.P., 2008. Environmental factors that influence the distribution of coral reef fishes: modeling occurrence data for broad-scale conservation and management. *Marine Ecology Progress Series* 361, 1-13.
- Brown, S.K., Buja, K.R., Jury, S.H., Monaco, M.E., Banner, A., 2000. Habitat suitability index models for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot Bays, Maine. *North American Journal of Fisheries Management* 20, 408-435.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, Second ed. Springer, New York.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research* 33(2), 261-304.
- Chang, Y.J., Sun, Ch. L., Chen, Y., Yeh, S.Z., Dinardo, G., 2012. Habitat suitability analysis and identification of potential fishing grounds for swordfish, *Xiphias gladius*, in the South Atlantic Ocean. *International Journal of Remote Sensing* 33(23), 7523-7541.
- Chen, X.J., Tian, S.Q., Chen, Y., Liu, B., 2010. A modelling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 108, 1-14.
- Chen, X.J., Li, G., Feng, B., Tian, S.Q., 2009. Habitat suitability of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea. *Journal of Oceanography* 65, 93-102.
- Eagderi, S., Zamani-Faradonbeh, M., Poorbagher, H., Mouludi-Saleh, A., 2021. Habitat preference of Sefid river loach, *Oxynoemacheilus bergianus* (Steindachner, 1897) in Jajroud River by comparing its preference in autumn and winter. *Journal of Natural Environment* 74(1), 1-11. (In Persian)
- Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Esmaeli, H.R., Sayyadzadeh, G., Nasri, M., 2022. Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology* 46(6), 500-522.
- Eagderi, S., Esmaeilzadegan, E., Pirgeigi, A., 2015. Morphological responses of *Capoeta gracilis* and *Alburnoides eichwaldii* populations (Cyprinidae) fragmented due to Tarik Dam (Sefidrud River, Caspian Sea basin, Iran). *Iranian Journal of Ichthyology* 1(2), 114-120.
- Fukuda, S., De Baets, B., Waegeman, W., Verwaeren, J., Mouton, A.M., 2013. Habitat prediction and knowledge extraction for spawning European grayling (*Thymallus thymallus* L.) using a broad range of species distribution models. *Environmental Modelling and Software* 47, 1-6.
- Gevrey, M., Park, Y.S., Verdonchot, P.F.M., Lek, S., 2005. Predicting Dutch macroinvertebrate species richness and functional feeding groups using five modelling techniques. *Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 158-186.
- Gore, J.A., Layzer, J.B., Mead, J. 2001. Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: a role in stream management and restoration. *Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management* 17(45), 527-542.
- Harborne, A.R., Mumby, P.J., Kennedy, E.V., Ferrari, R., 2011. Biotic and multi-scale abiotic controls of habitat quality: their effect on coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series* 437, 201-214.
- Knudby, A., Brenning, A., LeDrew, E., 2010. New approaches to modelling fish-habitat relationships. *Ecological Modelling* 221(3), 503-511.
- Kuhn, M., Johnson, K., 2013. Applied predictive modeling. Springer. 560 p.
- Le Pape, O., Chauvet, F., Mahévas, S., Lazure, P., Guérault, D., Désaunay, Y., 2003. Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population. *Journal of Sea Research* 50(2-3), 139-149.
- Li, M., Zhang, Ch., Xu, B., Xue, Y., Ren, Y., 2017. Evaluating the approaches of habitat suitability modelling for whitespotted conger (*Conger myriaster*). *Fisheries Research* 195, 230-237.
- Li, G., Cao, J., Zou, X., Chen, X., Runnebaum, J. 2016. Modeling habitat suitability index for Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the South East Pacific. *Fisheries Research* 178, 47-60.
- Li, F., Cai, Q., Fu, X., Liu, J., 2009. Construction of habitat suitability models (HSMs) for benthic macroinvertebrate and their applications to instream environmental flows: a case study in Xiangxi River of Three Gorges Reservoir region, China. *Progress in Natural Science* 19(3), 359-367.
- Lin, Y., Lin, W., Wu, W., 2015. Uncertainty in various habitat suitability models and its impact on habitat suitability estimates for fish. *Water* 7(8), 4088-4107.

- Littlejohn, S., Holland, L., Jacobson, R., Huston, M., Hornung, T., 1985. Habits and Habitats of Fishes in the Upper Mississippi River. U.S. Fish and Wildlife Service, La Crosse, Wisconsin.
- Lotfi, A. 2012. Guideline on rapid assessment of environmental features of rivers. Environment protection agency 120 p. (In Persian)
- Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Poorbagher, H., 2022. Using kernel smoothing method in evaluating habitat preference of Mesopotamian barb, *Capoeta damascina* (Valenciennes, 1842) in Sirvan River. Journal of Natural Environment 75(4), 642-651.
- Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Fegghi, J., Dormann, C.F., Khorshidi Nergi, S., Amiri, K., 2022. Modelling habitat preference of Caspian Kutum, using non-linear habitat suitability indices and generalized additive models. Regional Studies in Marine Science 56, 102715
- Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Fegghi, J., 2023. Comparing the performance of generalized linear model (GLM) and random forest (RF) models in predicting catch distribution of Caspian Kutum (*Rutilus kutum*). Journal of Fisheries 76(1), 27-38. (In Persian)
- Mouton, A.M., Alcaraz-Hernández, J.D., De Baets, B., Goethals, P.L., Martínez-Capel, F., 2011. Data-driven fuzzy habitat suitability models for brown trout in Spanish Mediterranean rivers. Environmental Modelling & Software 26(5), 615-622.
- Muñoz-Mas, R., Lopez-Nicolas, A., Martínez-Capel, F., Pulido-Velazquez, M., 2016. Shifts in the suitable habitat available for brown trout (*Salmo trutta* L.) under short-term climate change scenarios. Science of the Total Environment 544, 686-700.
- Pittman, S.J., Costa, B.M., Battista, T.A., 2009. Using lidar bathymetry and boosted regression trees to predict the diversity and abundance of fish and corals. Journal of Coastal Research (1053), 27-38.
- Pittman, S.J., Christensen, J.D., Caldow, C., Menza, C., Monaco, M.E., 2007. Predictive mapping of fish species richness across shallow-water seascapes in the Caribbean. Ecological Modelling 204(1-2), 9-21.
- Porter, M.S., Rosenfeld, J., Parkinson, E.A., 2000. Predictive models of fish species distribution in the Blackwater drainage, British Columbia. North American Journal of Fisheries Management 20(2), 349-359.
- R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Samaee, S.M., Mojazi-Amiri, B., Hosseini-Mazinani, S.M., 2006. Comparison of *Capoeta gracilis* (Cyprinidae, Teleostei) populations in the south Caspian Sea River basin, using morphometric ratios and genetic markers. Folia Zoologica 55(3), 323-335
- Su, N.J., SUN, C.L., Punt, A.E., YEH, S.Z., 2008. Environmental and spatial effects on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) as inferred from data for longline fisheries in the Pacific Ocean. Fisheries Oceanography 17(6), 432-445.
- Teresa, F.B., Casatti, L. 2013. Development of habitat suitability criteria for Neotropical stream fishes and an assessment of their transferability to streams with different conservation status. Neotropical Ichthyology 11(2), 395-402.
- Tian, S., Chen, X., Chen, Y., Xu, L., Dai, X., 2009. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommatrephe brastramii* in the northwestern Pacific Ocean. Fisheries Research 95(2-3), 181-188.
- Vinagre, C., Fonseca, V., Cabral, H., Costa, M.J., 2006. Habitat suitability index models for the juvenile soles, *Solea solea* and *Solea senegalensis*, in the Tagus estuary: defining variables for species management. Fisheries Research 82(1-3), 140-149.
- Yi, Y.J., Sun, J., Zhang, S.H., 2016a. A habitat suitability model for Chinese sturgeon determined using the generalized additive method. Journal of Hydrology 534, 11-18.
- Zainuddin, M., Saitoh, K., Saitoh, S.I., 2008. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. Fisheries Oceanography 17(2), 61-73.
- Zamani Faranonbe, M., Eagderi, S., 2015. Fish assemblages as influenced by environmental factors in Taleghan River (the Caspian Sea Basin, Alborz Province, Iran). Caspian Journal of Environmental Science 13(4), 363-371.
- Zamani Faradonbe, M., Eagderi, S., Moradi, M., 2015a. Patterns of body shape variation in *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae) in relation to environmental variables in Sefidrud River Basin, Iran. Journal of Applied Biological Sciences 9(1), 36-42.

- Zamani Faradonbe, M., Eagderi, S., Zarei, N., 2015b. Determination of habitat suitability index of *Capoeta gracilis*, Keyserling 1861 from Taleghan River. Journal of Fisheries, Iranian Journal of Natural Resources 68(3), 409-419. (In Persian)
- Zareii, N., Eagderi, S., Zamani Faradonbe, M., Naderi, M., 2016. The study of the relationship between body length of *Capoeta gracilis*, Keyserling 1861, and physical habitat parameters in Taleghan River. Animal Environment 8(1), 105-112. (In Persian)