



Using the Ensemble Model of Climate Change to Predict and How to Sustainability the *Luciobarbus barbulus* in the Ecosystems Under its Distribution

Hadi Khoshnamvand¹ | Asghar Abdoli² | Faraham Ahmadzadeh³

1. Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_abdoli@sbu.ac.ir
3. Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 29 Jul 2024

Received in revised form:
15 Sep 2024

Accepted: 17 Sep 2024

Available online: 22 Sep 2024

Keywords:

Climate change,
Biodiversity,
Freshwater fish,
Ensemble modeling,
Conservation.

Climate change, widely acknowledged as one of the most pressing global threats in recent decades, has significantly impacted biodiversity and natural ecosystems across the planet. The use of appropriate predictive tools can greatly aid conservation managers in their efforts to protect and preserve biodiversity. In this study, we investigated the effects of climate change on the spread and distribution of *Luciobarbus barbulus* (Heckel, 1847), a freshwater fish species, by employing an ensemble modeling approach using the Biomod2 package. We utilized six distinct algorithms to analyze current conditions and two future scenarios for the years 2070 and 2090, specifically focusing on the Shared Socioeconomic Pathways (SSP) includes SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios. To build our predictive model, we incorporated a comprehensive dataset comprising eight variables, including climatic, topographic, and anthropogenic factors. The results indicated that the model's predictive performance was robust, with evaluation metrics—specifically the Area Under the Curve (AUC) and True Skill Statistic (TSS)—showing values ranging from very good to excellent ($AUC \geq 0.87$). Our analysis revealed that the most significant factors influencing the distribution of *Luciobarbus barbulus* were Annual Mean Temperature (Bio 1), Annual Precipitation (Bio 12), and Mean Temperature of the Warmest Quarter (Bio 10). Alarmingly, the model forecasts a decrease in the species distribution range under both optimistic and pessimistic scenarios for the years 2070 and 2090. In conclusion, it is imperative for managers and decision-makers in the field of biodiversity conservation to recognize and address the impacts of climate change. Identifying and implementing effective measures to protect this valuable species will be essential for ensuring its survival in a rapidly changing environment.

Cite this article: Khoshnamvand, H., Abdoli, A., & Ahmadzadeh, F. (2024). Using the Ensemble Model of Climate Change to Predict and How to Sustainability the *Luciobarbus barbulus* in the Ecosystems Under its Distribution. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (3), 85-96. <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10925.2772>



© The Author (s).

DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10925.2772>

Publisher: Razi University

استفاده از مدل اجماعی تغییر اقلیم جهت پیش‌بینی و نحوه پایداری سس ماهی لب پهن (*Luciobarbus barbulus*) در اکوسیستم‌های تحت پراکنش آن

هادی خوش‌ناموند^۱ | اصغر عبدلی^۲ | فراهم احمدزاده^۳

۱. گروه محیط زیست- زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست- زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. گروه محیط زیست- زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_abdoli@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>تغییر اقلیم، تنوع زیستی، ماهی آب شیرین، مدل‌سازی تلفیقی، حفاظت.</p>	<p>تغییرات اقلیمی، به طور گسترده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدات جهانی در دهه‌های اخیر شناخته می‌شود که به طور قابل توجهی بر تنوع زیستی و اکوسیستم‌های طبیعی در سراسر سیاره تأثیر گذاشته است. استفاده از ابزارهای پیش‌بینی مناسب می‌تواند به مدیران حفاظت در تلاش‌هایشان برای حفاظت و حفظ تنوع زیستی کمک زیادی کند. در مطالعه حاضر، اثرات تغییر اقلیم بر گسترش و نحوه پراکنش گونه سس ماهی لب پهن (<i>Luciobarbus barbulus</i>, Heckel, 1847) با استفاده از یک مدل تلفیقی توسط بسته Biomod2 با شش الگوریتم مختلف برای زمان حال و همچنین تحت دو سری زمانی ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ با دو مدل خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای زمان آینده انجام گردید. در مجموع از هشت متغیر اقلیمی، متغیر توپوگرافی و متغیر انسانی برای ساخت مدل استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، عملکرد پیش‌بینی مدل بر اساس دو پارامتر AUC و TSS از محدوده خیلی خوب تا عالی ≥ 0.87 بود. همچنین طبق پیش‌بینی مدل، مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بر پراکنش گونه سس ماهی لب پهن، متغیرهای درجه حرارت سالیانه (Bio 1)، مجموع بارندگی سالانه (Bio 12) و میانگین گرم‌ترین فصل سال (Bio 10) بودند. به‌طور نگران‌کننده ای، این مدل‌ها، کاهش در محدوده پراکنش گونه‌ها را در هر دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه برای سال‌های ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ پیش‌بینی می‌کنند. در نتیجه، برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان در زمینه حفاظت از تنوع زیستی ضروری است که تأثیرات ناشی از تنوع زیستی را شناسایی و رسیدگی کنند. شناسایی تغییرات اقلیمی و اجرای اقدامات موثر برای حفاظت از این گونه ارزشمند برای تضمین بقای آن در محیطی که به سرعت در حال تغییر است ضروری خواهد بود.</p>

استناد: خوش‌ناموند، هادی؛ عبدلی، اصغر؛ احمدزاده، فراهم (۱۴۰۳). استفاده از مدل اجماعی تغییر اقلیم جهت پیش‌بینی و نحوه پایداری سس ماهی لب پهن (*Luciobarbus barbulus*) در اکوسیستم‌های تحت پراکنش آن. *جغرافیا و مابرداری محیط*، ۱۴ (۳)، ۸۵-۹۶. <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10925.2772>

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.
DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10925.2772>



مقدمه

گرمایش جهانی به عنوان یکی مهم‌ترین تهدیدات پیش‌رو که عمده آن ناشی از فعالیت‌های انسانی است، سبب پدیدار شدن خیل عظیمی از اثرات زیست‌محیطی به هم پیوسته مانند تغییر الگوی آب و هوایی، اختلال در روند طبیعی اکوسیستم‌ها، بالا آمدن آب دریاها و در نهایت بلایای طبیعی مکرر در سراسر جهان شده است (Ashrafzadeh et al., 2023; Ghane-Ameleh et al., 2021; Saberi-Pirooz et al., 2021). یکی از چالش‌های مدیریت در رابطه با محیط‌های طبیعی و جانوران، پیچیدگی واکنش حیات وحش به تغییرات ناشی از اقلیم و تعامل آن با سایر محرک‌ها مانند توسعه‌های انسانی، آلودگی‌ها و گونه‌های مهاجم است (Ghaedi et al., 2021; Malekian et al., 2019; Sayahnia et al., 2024). اثرات سینرژیک تغییرات آب‌وهوایی و فشارهای ذکر شده ممکن است منجر به افزایش نرخ انقراض در آینده شود (Khoshnamvand et al., 2024; Shukla et al., 2021). به همین دلیل پیش‌بینی و نظارت بر اکوسیستم‌ها برای حفظ حیات وحش بومی و تنوع زیستی که از عناصر ضروری برای حفظ تعادل چشم انداز اکولوژیکی هستند، بسیار حیاتی است (Ashrafzadeh et al., 2020).

مطالعات فراوانی توسط محققین این نکته را بیان داشته‌اند که اکوسیستم‌های آب‌شیرین به میزان بیشتری نسبت به اکوسیستم‌های خشکی و دریایی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرند (Bimie-Gauvin et al., 2023; Reid et al., 2021; Van Rees et al., 2019). به گونه‌ای که این زیستگاه‌ها را از جمله در معرض خطرترین سیستم‌های روی کره‌زمین محسوب می‌کنند (Khoshnamvand et al., 2019; Malmqvist & Rundle, 2002; Rolls et al., 2012). به عنوان مثال همگن شدن دمای محیط، آب رودخانه‌ها از نظر حرارتی یکی از پیامدهای مهم رخداد تغییر اقلیم و گرمایش جهانی محسوب می‌شود (Hannah & Garner, 2015; Mousavi et al., 2024). خطرات ناشی از همگن شدن زمانی نمایان می‌شود که ارگانسیم‌های آب شیرین برای فرآیندهای فیزیولوژیکی خود، نیاز به دمای آب پایین‌تری داشته باشند (Khoshnamvand et al., 2019; Mousavi et al., 2024; Petsch, 2016).

ماهیان به عنوان یکی از گروه‌های جانوری در اکوسیستم‌های آبی نقش فعال و مهمی را در تعادل ظرفیت این اکوسیستم‌ها در سراسر جهان ایفا می‌کنند. با این وجود، اثرات تغییرات ناشی از اقلیم به طور قابل توجهی بر جمعیت ماهی‌ها و زیستگاه آنها تأثیر می‌گذارد (Bongaerts & Smith, 2019; Keppel & Wardell-Johnson, 2012; Pavey et al., 2017). با افزایش دما و تغییر الگوهای آب‌وهوایی، ماهی‌ها با چالش‌های متعددی همانند از دست دادن زیستگاه، تغییر الگوهای مهاجرت، تغییرات در دسترس بودن غذا و افزایش حساسیت به بیماری‌ها مواجه می‌شوند (Cowan et al., 2021). با این وجود، از یک سو حفاظت از ماهیان در این اکوسیستم‌ها با توجه به نقش مهم آنها در پایداری اکوسیستم‌های طبیعی و از سوی دیگر تنوع ژنتیکی قابل توجه آنها به عنوان یک بخش با ارزش از تنوع زیستی محیط طبیعی کشور اهمیت فراوانی در برنامه‌های حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی دارد (Abdoli, 2016). به همین منظور آگاهی از وضعیت اکوسیستم‌های محیط‌های آبی و پایش آنها نیازمند استفاده از ابزارهایی برای درک وضعیت اکوسیستم‌های هدف جهت ارزیابی آنها برای مدیران و محققین است.

استفاده کردن از روش‌های مدل‌سازی، امروزه یکی از مهم‌ترین تکنیک‌هایی است که به وفور در بررسی مسائل و تولید اطلاعات و داده‌ها از آن استفاده می‌شود. کاربرد روش‌های مدل‌سازی در علوم زیست‌محیطی با توجه به پیشرفت‌های فناوری و نظری در چند دهه اخیر، به عنوان یکی از روش‌های نوین و قابل قبول در مطالعات کاربردی جهت اهداف گوناگون در ارزیابی و حفاظت از منابع طبیعی توسعه یافته است (Ashrafzadeh et al., 2023; Bagheri et al., 2023).

مدل‌سازی توزیع گونه‌های (SDM) به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در حوضه مطالعات مربوط به تنوع زیستی و محیط‌طبیعی شناخته شده است (Aksu, 2021; Ashrafzadeh et al., 2023; Buisson et al., 2008; Harter et al., 2015). که در واقع هدف این روش، بررسی ارتباط بین داده‌های توزیع جغرافیایی گونه (حضور یا فراوانی در مکان‌های شناخته شده) با اطلاعات در مورد ویژگی‌های زیست‌محیطی گونه می‌باشد. مدل اشاره شده کاربردهای مختلفی در حوزه‌های زیست‌محیطی دارد که از جمله این کاربردها می‌توان، به منظور ارزیابی اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر محدوده پراکندگی گونه‌ها و درک آسیب‌پذیری آنها در برابر این تغییرات، ارزیابی فرضیه‌های جغرافیایی زیستی، تحلیل تأثیرات و خطرهای تهداجم و تکثیر گونه‌ها، طراحی و انتخاب ذخیره‌گاه‌ها و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی، اشاره نمود (Armstrong et al., 2013).

(Ashcroft, 2010; Hahlbeck et al., 2022). در این پژوهش از یک مدل اجماعی^۱ استفاده گردید که در حال حاضر این مدل به‌عنوان یکی از قوی‌ترین و کارآمدترین روش‌های معرفی شده بر اساس داده‌های نقاط حضور و عدم حضور گونه، در زمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها محسوب می‌شود (Ashrafzadeh et al., 2022). این روش با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و در نهایت تلفیق کردن آنها، در مقایسه با سایر روش‌ها کارایی بهتری از خود نشان داده است.

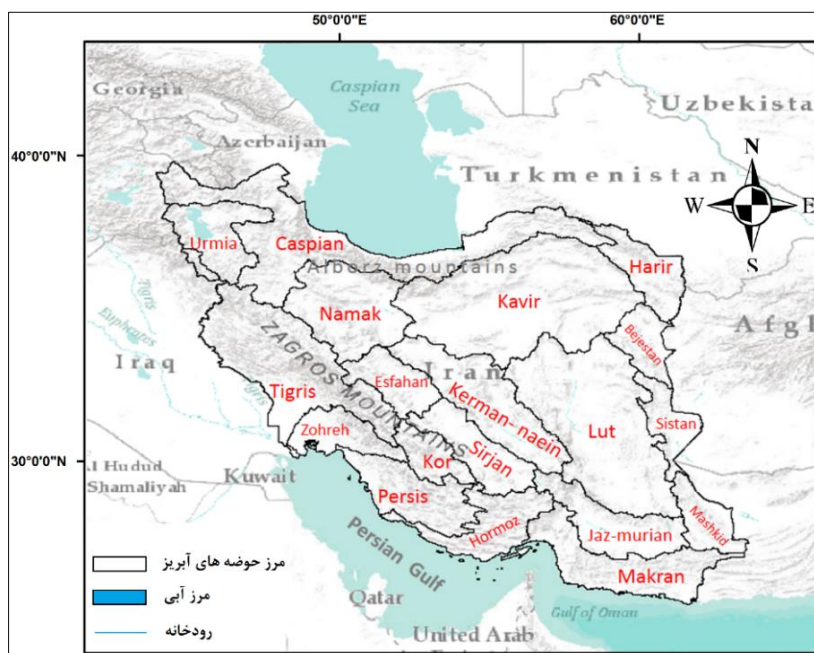
گونه مورد مطالعه، گونه *Luciobarbus barbulus* (Cypiniformes: Cyprinidae: Torinae) از خانواده کپورماهیان که جزو گونه‌های ماهی بومی کشور ایران محسوب و زیستگاه آن رودخانه‌های بخش‌های غربی، جنوب‌غربی، جنوب و تا حدی مرکزی ایران گزارش شده است (Abdoli, 2016; Jouladeh-Roudbar et al., 2020; Sayyadzadeh & Esmaili, 2024). به دلیل داشتن پراکنش گسترده‌ای که در زیستگاه‌های آب شیرین در حوضه‌های ایران، از آن می‌توان به عنوان یک مدل گونه‌ای مناسب جهت آگاهی از اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های آب شیرین، به‌منظور تعدیل این آثار و بیان راهکارهای مناسب حفاظتی با هدف تدوین و تنظیم برنامه‌های مدیریتی در آینده، استفاده نمود.

با توجه کمبود مطالعات مرتبط با مدل‌سازی بر روی گونه‌های ماهی آب شیرین در ایران و اهمیت گونه سس ماهی لب پهن در آب‌های داخلی ایران، مطالعه حاضر باهدف پیش‌بینی و تعیین زیستگاه‌های مطلوب *L. barbulus* با استفاده از یک رویکرد اجماعی که حاصل از الگوریتم‌های مختلف تحت سناریوی سری‌های زمانی متفاوت، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، کشور ایران با مساحت بیش از یک میلیون و ششصد هزار کیلومتر مربع است. ارتفاع آن از ۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریا در سواحل خزر تا حدود ۵۶۱۰ متر بالاتر از سطح دریا در قله دماوند متغیر است (Ajirlu et al., 2016). ایران از لحاظ جغرافیای زیستی و غنای گونه‌ای دارای حیات گیاهی و جانوری بی‌نظیری در خاورمیانه است که این ناشی از تلاقی فلات ایرات در میان سه منطقه زیستی پالتارکتیک، اتیوپی و اورینتال است. (Kafash et al., 2020). آب‌های داخلی ایران از نظر حیات ماهی دارای ۱۹ حوضه آبریز مطابق شکل ۱ است (Abdoli, 2016; Mostafavi et al., 2021).



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های آبریز ایران بر اساس فون ماهی. نقشه برگرفته از ArcGIS نسخه 10.7 آنلاین

نقاط حضور

به‌منظور تهیه نقشه پراکنش و شناسایی زیستگاه‌های مناسب برای گونه *L. barbulus*، گردآوری نقاط حضور به چندین روش مختلف از جمله الف) بازدیدهای میدانی گسترده در فصول مختلف در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ ب) استفاده از کتب و مقالات علمی معتبر چاپ شده، ج) استفاده از پایگاه‌های داده‌های آنلایین علمی معتبر مانند Eschmeyer's Catalog of Fishes (<https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) و GBIF (<https://www.gbif.org/>) انجام گردید. در مجموع تعداد ۱۸۷ نقطه حضور برای گونه *L. barbulus* در سراسر پراکنش آن در ایران گردآوری شد. برای کاهش دادن خودهمبستگی داده‌های گردآوری شده، از بین نقاط شعاع ۱ کیلومتر تنها یک نقطه برای تحلیل‌ها در نظر گرفته شد. در نهایت تعداد ۱۴۴ نقطه وقوع در تحلیل‌های مرتبط با مدل‌سازی توزیع گونه‌ای *L. barbulus* در ایران استفاده شدند.

متغیرهای محیطی

به‌منظور تعیین و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار و مهم بر انتخاب زیستگاه *L. barbulus*، پژوهش‌های پیشین که مشابه مطالعه حاضر بودند بررسی شدند (Makki et al., 2023; Yousefi et al., 2020). در پژوهش حاضر از متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و انسانی بصورت هم‌زمان استفاده شدند. به منظور بررسی متغیرهای اقلیمی، ۱۹ متغیر اقلیمی از پایگاه داده www.worldclim.org با دقت ۳۰ ثانیه (حدوداً یک کیلومتر مربع) استخراج گردید. نقشه DEM جهت استخراج متغیر شیب که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای موثر بر ناهمگونی توپوگرافی است، استفاده گردید. همچنین به منظور کمی کردن اثرات فعالیت‌های انسانی بر اکوسیستم‌ها، مدل ردپای انسان مورد استفاده قرار گرفت (Sanderson et al., 2002). سپس تمامی لایه‌های به‌دست‌آمده در مرحله قبل، از لحاظ محدوده، تعداد پیکسل و سیستم مختصات در محیط نرم افزار ArcGIS 10.7 یکسان‌سازی شدند. قبل از اجرا کردن مدل، جهت بررسی هم‌خطی بین متغیرهای به‌دست‌آمده از ضریب همبستگی پیرسون (≥ 0.75) استفاده گردید. پس از بررسی هم‌خطی متغیرها، در مجموع تعداد هفت متغیر شامل درجه‌حرارت سالیانه^۱، تغییرات فصلی دما^۲، کمینه دمای سردترین ماه سال^۳، میانگین گرم‌ترین فصل سال^۴، مجموع بارندگی سالانه^۵، شیب و ردپای انسانی در مدل‌سازی استفاده گردید.

در نهایت، جهت پیش‌بینی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، متغیرهای پیش‌بینی شده آب‌وهوایی آینده که برای سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (میانگین ۲۰۷۰) و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ (میانگین ۲۰۹۰) بودند از وب سایت www.worldclim.com استخراج شدند. به منظور ارزیابی توزیع بالقوه آینده، از بین ۱۴ مدل گردش عمومی^۶ موجود در وب سایت ذکر شده، مدل MRI-ESM2-0 انتخاب و از آن، دو مسیر معرف غلظت^۷ برای گازهای گلخانه‌ای استفاده شد که شامل (سناریوی بد بینانه) SSP5-8.5 و SSP1-2.6 (سناریوی خوش‌بینانه) با وضوح ۳۰ ثانیه (حدوداً یک کیلومتر مربع) بودند.

مدل‌سازی زیستگاه

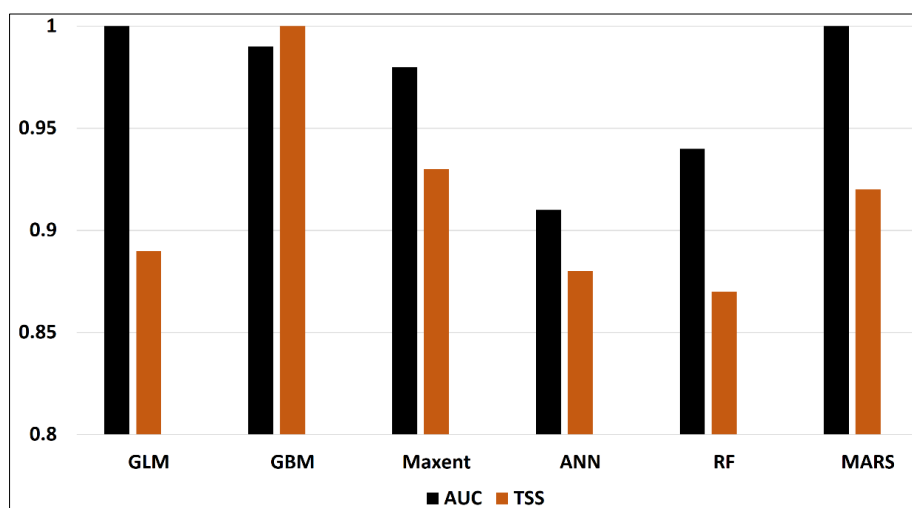
به‌منظور تعیین و پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب حال و آینده برای گونه *L. barbulus*، از بسته نرم‌افزاری Biomod2 (Thuiller et al., 2009) در محیط R (V 4.3.1) (R Development Core Team, 2021) استفاده شد. جهت تخمین و برآورد زیستگاه‌های مطلوب از چندین الگوریتم مختلف شامل مدل خطی تعمیم یافته^۸، روش تعمیمی تقویت‌شده^۹، حداکثر

1. Bio 1
2. Bio 4
3. Bio 6
4. Bio 10
5. Bio 12
6. General Circulation Model (GCM)
7. Representative Concentration Pathways (RCPs)
8. GLM
9. GBM

آن‌روپی^۱، شبکه عصبی مصنوعی^۲، جنگل تصادفی^۳ و رگرسیون چندمتغیره تطبیقی^۴ استفاده گردید. به دلیل وابستگی و نیاز تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده به داده‌های عدم حضور کاذب، در این مطالعه حاضر تعداد ۱۴۴ نقطه (برابر تعداد نقاط حضور) به صورت تصادفی در منطقه مورد مطالعه و خارج از سلول‌های حضور ایجاد شدند. همچنین برای ارزیابی مدل (بررسی دقت) از دو معیار ناحیه زیر منحنی^۵ و آماره TSS استفاده گردید (Allouche et al., 2006). همچنین به منظور واسنجی مدل‌ها، ۸۰ درصد نقاط حضور به عنوان داده تعلیمی و ۲۰ درصد باقی‌مانده نیز برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شدند.

نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده، ارزیابی کارایی حاصل از مدل اجماعی با استفاده از شاخص‌های AUC و TSS نشان دادند که مدل مورد استفاده توانایی پیش‌بینی خیلی خوب تا عالی در پراکنش ماهی *L. barbulus* داشته است. در این نتایج ارزش معیار $TSS \geq 0.87$ و $AUC \geq 0.9$ به ترتیب عالی و خیلی خوب قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل ۲. برآورد سطح زیر منحنی (AUC) و آماره TSS در الگوریتم‌های مختلف اجرا شده جهت پیش‌بینی مدل‌سازی

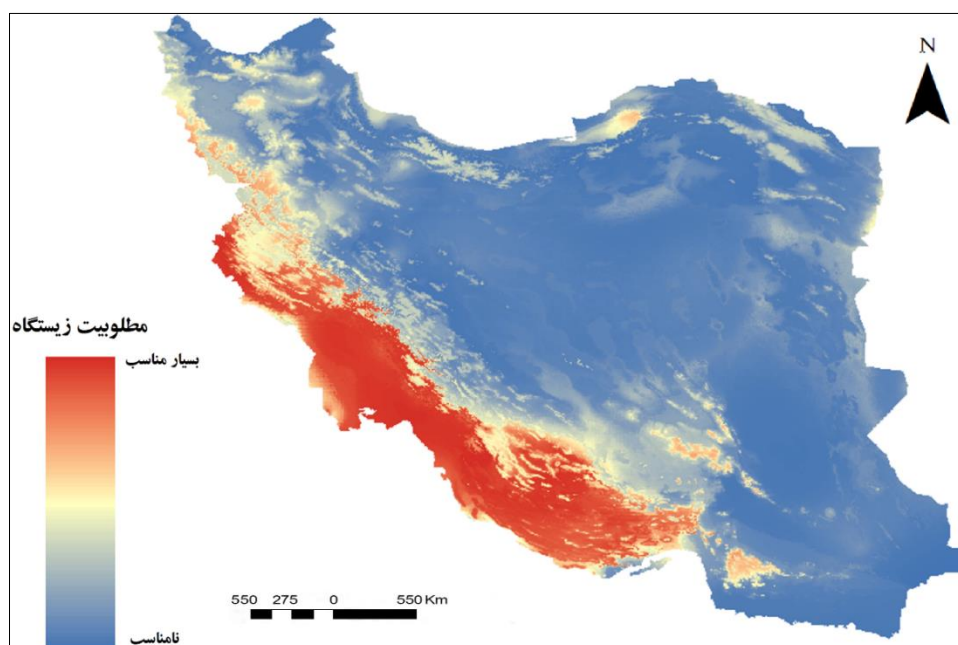
بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها، از میان متغیرهای مورد استفاده برای ساخت مدل، متغیرهای درجه حرارت سالیانه (۰.۳۰۴۳)، مجموع بارندگی سالانه (۰.۲۶۰۷) و گرم‌ترین فصل سال (۰.۲۰۸۴) به عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار و مهم بر انتخاب زیستگاه ماهی *L. barbulus* در منطقه پراکنش آن شناسایی شدند (جدول ۱).

جدول ۱. درصد مهم‌ترین متغیرهای زیستگاهی تاثیرگذار بر پراکنش سس ماهی لب پهن

درصد تأثیر	متغیرها
۳۰/۴۲	درجه حرارت سالیانه (Bio 1)
۲۸/۱۴	مجموع بارندگی سالانه (Bio 12)
۱۹/۲۵	میانگین گرم‌ترین فصل سال (Bio 10)
۹/۱۷	ردپای انسانی
۶/۸۸	کمینه دمای سردترین ماه سال (Bio 6)
۳/۲۱	تغییرات فصلی دما (Bio 4)
۲/۹۳	شیب

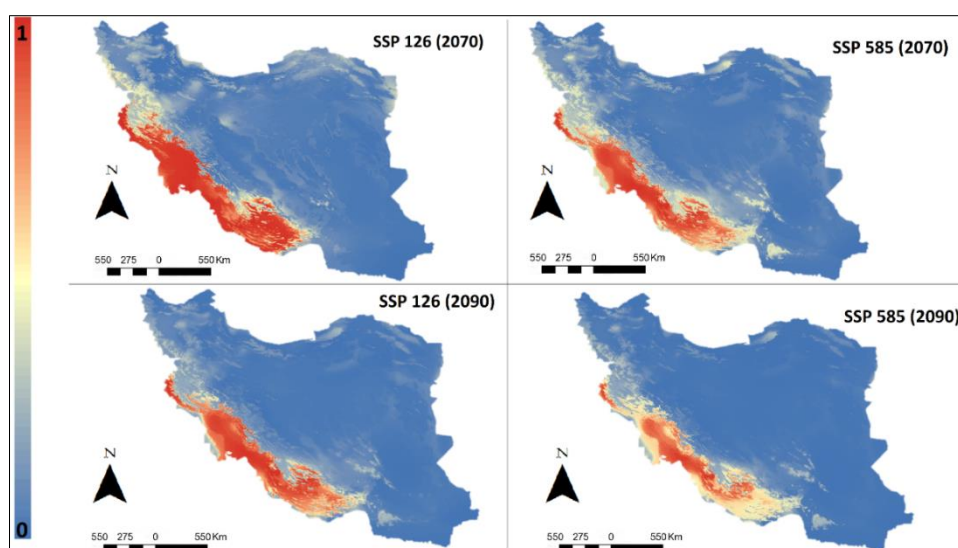
1. MAXENT
2. ANN
3. RF
4. MARS
5. AUC

نتایج حاصل از نقشه مطلوبیت زیستگاه بر اساس روش اجماعی نشان داد که این گونه در قسمت‌های غربی، جنوب‌غربی و جنوب ایران دارای پراکنش است و در واقع مناطق ذکر شده دارای زیستگاه‌های مطلوب و مناسبی برای پراکنش گونه *L. barbulus* هستند (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه حال مطلوبیت زیستگاه پراکنش گونه سس ماهی لب پهن در ایران

همچنین نقشه‌های به‌دست‌آمده از مدل‌های اقلیمی در دو سری زمانی ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ به‌طور واضح نشان دادند که دامنه پراکنش گونه سس ماهی لب پهن تحت دو سناریوی خوش‌بینانه^۱ و بدبینانه^۲ با کاهش محسوس بخصوص در سال ۲۰۹۰ مواجه خواهد بود (شکل ۴). در واقع این گونه تا سال ۲۰۹۰ بیشتر از ۳۰٪ مناطق پراکنش خود را از دست خواهد داد و در معرض تهدید قرار خواهد گرفت (جدول ۲).



شکل ۴. نقشه‌های پراکنش زیستگاهی ماهی *L. barbulus* تحت سناریوهای متفاوت اقلیمی (SSP 585 و SSP 126) در مقیاس‌های زمانی سال ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰

1. SSP1-2.6
2. SSP5-8.5

جدول ۲. نتایج پیش‌بینی میزان پراکنش ماهی *L. barbulus* تحت تاثیر سناریوها و بازه‌های زمانی ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰

SSP 585		SSP 126		<i>Luciobarbus barbulus</i>
۲۰۹۰	۲۰۷۰	۲۰۹۰	۲۰۷۰	
۲/۷۹	۵/۱۸	۶/۸۲	۹/۵۶	درصد افزایش
۵۳/۹	۴۶/۴۳	۴۲/۶۵	۳۳/۳۴	درصد کاهش
-۵۱/۵۵	-۴۱/۲۵	-۳۵/۸۳	-۲۳/۷۸	تغییرات محدوده

بحث

باتوجه به قرارگیری موقعیت فلات ایران در جهان، به نظر می‌رسد بیش از ۸۰ درصد آن در رده خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، لذا در دهه‌های آینده انتظار می‌رود کشور ایران با افزایش بیش از ۲/۵ درجه سانتیگراد در میانگین دما و کاهش بیش از ۳۵ درصدی بارش مواجه شود (Mansouri Daneshvar et al., 2019). با توجه به روند افزایشی دمای کره زمین و اقلیم ایران، انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم در آینده‌ای نه چندان دور منجر به اثرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های کشور، مخصوصاً اکوسیستم‌های آب شیرین و اجزای آن و آسیب‌پذیری تنوع زیستی آن، خصوصاً ماهیان خواهد شد (Bagheri et al., 2023; Makki et al., 2023). گونه‌ها در مواجهه با تغییرات ناشی از اقلیم واکنش‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. Buisson و همکاران (۲۰۰۸) در مورد این واکنش‌ها در مورد تاکسون ماهی بیان نمودند که آنها ممکن است سه استراتژی مختلف را نسبت به این پدیده در پیش بگیرند. این استراتژی‌ها شامل سازگاری و انطباق با محیط، مهاجرت به مکان‌های مساعد تر و یا در نهایت انقراض هستند.

برای سازگاری و تطبیق با محیط، لازمه آن وجود سازگاری در بستر ژنی و توانایی گونه برای سازگاری‌های ژنتیکی است (Hawlitshchek et al., 2011). از سوی دیگر، در صورتی که تاکسون مورد نظر گزینه مهاجرت و جابه‌جایی را برگزیند، عوامل مختلفی در این فرایند نقش پیدا می‌کنند که از جمله این عوامل می‌توان به توانایی ذاتی گونه در قدرت پراکنش، بهینه بودن شرایط فیزیولوژیکی و بیولوژیکی، و در نهایت پیوستگی و نبود مانع فیزیکی در مهاجرت اشاره نمود (Darab et al., 2020). در صورت انتخاب راهبرد مهاجرت و جابه‌جایی توسط گونه، متأسفانه در طی سال‌های اخیر فعالیت‌های گسترده انسانی همچون تغییر کاربری اراضی، دگرگونی در زیستگاه‌ها، ورود مواد آلاینده و پساب‌های شهری و کشاورزی و همچنین ورود معرفی گونه‌های غیر بومی باعث تخریب گسترده و فشارهای مضاعفی بر بسیاری از اکوسیستم‌ها شده که این فشارها خود مانعی برای مهاجرت و جابه‌جایی گونه‌ها محسوب می‌شود (Mostafavi et al., 2021). از طرفی با توجه به اینکه زمان به‌عنوان یکی از منابع اصلی اکولوژیکی برای گونه‌ها است، با توجه به سرعت روند افزایشی تغییرات اقلیمی، در صورتی که گونه نتواند از لحاظ زمانی خود را با آن شرایط تطبیق دهد و یا مهاجرت کند، بنابراین محکوم به انقراض و نابودی خواهد شد (Cox & Moore, 2005).

باتوجه به اینکه این گونه آخرین حد پراکنش خود در جنوب شرقی خاورمیانه است، یافته‌های پژوهش حاضر نیز روی گونه *L. barbulus* نشان دادند که زیستگاه مطلوب برای این گونه محدود به قسمت‌های غربی، جنوب‌غرب و قسمت‌هایی از جنوب ایران است. این نتایج با پژوهش Joulade-Roudbar و همکاران (۲۰۲۰) هم‌راستا بود.

باتوجه به یافته‌های حاصل از خروجی نقشه‌های اثرات اقلیم روی گونه *L. barbulus* برای دو سری زمانی ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ بصورت واضح مشخص شد که این گونه در اثر تغییرات اقلیمی کاهش محسوسی را در زیستگاه مطلوب خود نشان خواهد. به‌طور کلی گونه‌ها در صورت وقوع و مواجهه شدن با تغییرات اقلیمی ممکن است به یکی از چهار سناریوی؛ کاهش پراکنش، افزایش پراکنش، افزایش و کاهش پراکنش و یا ثبات در پراکنش، روی بیآورند (Yousefi et al., 2020). مطالعه حاضر نشان‌دهنده روی آوردن گونه ماهی *L. barbulus* به سناریوی "افزایش و کاهش پراکنش" در پاسخ به اثرات تغییر اقلیم است. البته با توجه به نتایج میزان کاهش پراکنش در سال ۲۰۷۰ در مقابل افزایش آن به مقدار بسیار بیشتری است که این خود سبب منفی شدن دامنه تغییرات پراکنش گونه شده است.

مطالعاتی که اخیراً در زمینه مدل‌سازی روی گونه‌های مختلف ماهی صورت گرفته نشان از پاسخ‌های متفاوت این گونه‌ها

در مقابل اثرات اقلیمی است. از مطالعات اخیر که هم‌راستا با نتایج ما انجام شده می‌توان به پژوهش Makki و همکاران (۲۰۲۱) اشاره نمود. آنها در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم را بر پراکنش گونه ماهی *Garra rufa* برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مدل‌سازی نمودند که نتیجه این پژوهش نشان داد دامنه پراکنش گونه مورد مطالعه روند افزایشی و کاهش را تجربه خواهد کرد، با این تفاوت که میزان کاهشی بودن پراکنش در منطقه مورد مطالعاتی بسیار بیشتر از روند پراکنش افزایشی است. از دیگر مطالعات مربوط به مدل‌سازی روی گونه‌های ماهی، می‌توان به پژوهش رضایی و همکاران (۱۴۰۳) اشاره نمود که این پژوهش اثرات تغییر اقلیم را روی گونه ماهی سونگ^۱ نمایان ساخت. در این پژوهش از دو سناریوی بدبینانه و خوش‌بینانه استفاده گردید که در هر دو سناریو محدوده پراکنش این گونه برای زمان‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ کاهش یافته است. از سوی دیگر بر خلاف نتایج ما، Darabi و همکاران (۲۰۲۰) به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی بوتک فارس^۲ (Heckel, 1849) نتیجه گرفتند که در سناریوی خوش‌بینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ دامنه پراکنش آن اندکی کاهش ولی در سناریوی بدبینانه سال ۲۰۵۰ دامنه پراکنش اندکی افزایش، در حالی که در سناریوی بدبینانه سال ۲۰۸۰ بر زیستگاه‌های مطلوب این گونه به میزان قابل توجهی افزوده خواهد شد.

باتوجه به مطالعه حاضر و مطالعات قبلی صورت‌گرفته اثرات تغییر اقلیم روی ماهیان، به‌وضوح مشخص است که گونه‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی دارای پاسخ‌های متفاوتی از جانب خود هستند که این پاسخ‌ها، ارائه راهکارها و راهبردهای مدیریتی متناسب و خاص را برای هر گونه می‌طلبد.

نتیجه‌گیری

ماهی *L. barbulus* یکی از ماهیان مهم رودخانه‌ای واقع در قسمت‌های غربی، جنوب‌غرب و جنوب ایران است. این ماهی در استان‌های واقع در مناطق ذکر شده به‌عنوان یک گونه خوراکی باارزش بالا شناخته شده که این خود عاملی سبب صید گسترده و بیش از حد آن در بسیاری از رودخانه‌های آب شیرین توسط صیادان است. تغییرات ناشی از اقلیم از یک‌سو و فشار صیادی از سوی دیگر می‌تواند سبب کاهش چشمگیری را در اندازه جمعیت این گونه باارزش در طی چند دهه آینده شود. البته این نکته شایان ذکر است که باتوجه به عدم قطعیت و وجود خطا در مدل‌ها، پیشنهاد می‌شود مدل‌های اقلیمی با تعداد متغیرها و داده‌های بیشتر آزموده شوند. باتوجه به کاهش محدوده پراکنش این گونه و فشارهای انسانی که روی گونه و زیستگاه آن وجود دارد، توصیه می‌شود از نتایج این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق و زیستگاه‌های مطلوب این گونه جهت اقدامات مدیریتی لازم و تعدیل نمودن اثرات و شاید سازگاری این گونه با تغییرات اقلیمی استفاده گردد. در نهایت از نتایج این پژوهش می‌توان در زمینه مدیریت و حفاظت از گونه و زیستگاه استفاده نمود، به‌طوری‌که پژوهش حاضر اطلاعات مفیدی را برای مدیران جهت ارائه راهبردهای گوناگون حفاظت فراهم آورده است.

منابع

- اشرف‌زاده، محمدرضا؛ نقی‌پور، علی‌اصغر؛ خوش‌ناموند، هادی؛ حیدریان، مریم؛ اسماعیلی، سیامک (۱۳۹۸). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های تغذیه‌ای کرکس مصری (*Neophron percnopterus*) در استان کرمانشاه. *بوم‌شناسی کاربردی*، ۸ (۴)، ۳۵-۵۱.
doi: 10.47176/ijae.8.4.10022
- اشرف‌زاده، محمدرضا؛ نقی‌پور، علی‌اصغر؛ محمدی، علیرضا؛ حیدریان، مریم؛ خوش‌ناموند، هادی (۱۴۰۲). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus*) در استان لرستان. *زیست‌شناسی جانوری تجربی*، ۱۱ (۴)، ۹۵-۱۰۸.
doi: 10.30473/EAB.2023.67107.1903
- دارابی، مستوره؛ مصطفوی، حسین؛ رحیمی، راضیه؛ تیموری، آزاد؛ فرشچی، پروین (۱۳۹۹). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه بوتک فارس، *Cyprinion tenuiradius* Heckel, 1849 و تعیین تأثیر اقلیم بر پراکنش آن در استان فارس. *نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی*، ۸ (۵)، ۶۰-۵۱.
doi: 10.22034/jair.8.5.6
- خوش‌ناموند، هادی؛ ملکیان، منصوره؛ کیوانی، یزدان (۱۳۹۶). امکان‌سنجی استفاده از ریخت‌سنجی هندسی لاروها در گونه سمندر

لرستانی جهت شناسایی جمعیت‌های آن. مجله پژوهش‌های جانوری (زیست‌شناسی ایران). ۳۲ (۱)، ۱۱-۲۱. doi: 20.1001.1.23832614.1398.32.1.2.5

References

- Abdoli, A. (2016). *Field guide of fishes of inland waters of Iran* (First). Iran-shenasi.
- Ajirlu, M. S., Moazzen, M., & Hajialioghli, R. (2016). Tectonic evolution of the Zagros Orogen in the realm of the Neotethys between the Central Iran and Arabian Plates: An ophiolite perspective. *Central European Geology*, 59(1-4), 1-27. doi: 10.1556/24.59.2016.001
- Aksu, S. (2021). Current and future potential habitat suitability prediction of an endemic freshwater fish species *Seminemacheilus lendlii* (Hankó, 1925) using Maximum Entropy Modelling (MaxEnt) under climate change scenarios: Implications for conservation. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 7(1), Article 1. doi: 10.17216/limnofish.758649
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x
- Arash Jouladeh-Roudbar, Hamid Reza Ghanavi, & Ignacio Doadrio. (2020). Ichthyofauna From Iranian Freshwater: Annotated Checklist, Diagnosis, Taxonomy, Distribution and Conservation Assessment. *Zoological Studies*, 59(59). doi: 10.6620/ZS.2020.59-21
- Armstrong, J. B., Schindler, D. E., Ruff, C. P., Brooks, G. T., Bentley, K. E., & Torgersen, C. E. (2013). Diel horizontal migration in streams: Juvenile fish exploit spatial heterogeneity in thermal and trophic resources. *Ecology*, 94(9), 2066-2075. doi: 10.1890/12-1200.1
- Ashcroft, M. B. (2010). Identifying refugia from climate change. *Journal of Biogeography*, 37(8), 1407-1413. doi: 10.1111/j.1365-2699.2010.02300.x
- Ashrafzadeh, M. R., Khosravi, R., Mohammadi, A., Naghipour, A. A., Khoshnamvand, H., Haidarian, M., & Penteriani, V. (2022). Modeling climate change impacts on the distribution of an endangered brown bear population in its critical habitat in Iran. *Science of The Total Environment*, 837, 155753. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155753
- Ashrafzadeh, M. R., Naghipour, A. A., Khoshnamvand, H., Haidarian, M., & Esmaili, S. (2020). Distribution Modeling of Foraging Habitats for Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) in Kermanshah Province, Iran. *Iranian Journal Of Applied Ecology*, 8(4), 35-51. doi: 10.47176/ijae.8.4.10022 (In Persian)
- Ashrafzadeh, M. R., Naghipour, A. A., Mohammadi, A., Haidarian, M., & Khoshnamvand, H. (2023). Habitat suitability modeling of Persian leopard (*Panthera pardus*) in Lorestan province, Iran. *Experimental Animal Biology*, 11(4), 95-108. doi: 10.30473/EAB.2023.67107.1903. (In Persian)
- Bagheri, M., Azimi, M., Khoshnamvand, H., Abdoli, A., & Ahmadzadeh, F. (2023). The threat of a non-native oligochaete species in Iran's freshwater: Assessment of the diversity and origin of *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) and its response to climate change. *Biology Open*, bio.060180. doi: 10.1242/bio.060180
- Birnie-Gauvin, K., Lynch, A. J., Franklin, P. A., Reid, A. J., Landsman, S. J., Tickner, D., Dalton, J., Aarestrup, K., & Cooke, S. J. (2023). The RACE for freshwater biodiversity: Essential actions to create the social context for meaningful conservation. *Conservation Science and Practice*, 5(4), e12911. doi: 10.1111/csp2.12911
- Bongaerts, P., & Smith, T. B. (2019). Beyond the "Deep Reef Refuge" Hypothesis: A Conceptual Framework to Characterize Persistence at Depth. In Y. Loya, K. A. Puglise, & T. C. L. Bridge (Eds.), *Mesophotic Coral Ecosystems* (pp. 881-895). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-92735-0_45
- Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P., & Grenouillet, G. (2008). Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology*, 14(10), 2232-2248. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01657.x
- Cowan, M. A., Callan, M. N., Watson, M. J., Watson, D. M., Doherty, T. S., Michael, D. R., Dunlop, J. A., Turner, J. M., Moore, H. A., Watchorn, D. J., & Nimmo, D. G. (2021).

- Artificial refuges for wildlife conservation: What is the state of the science? *Biological Reviews*, 96(6), 2735–2754. doi: 10.1111/brv.12776
- Cox, C. B., & Moore, P. D. (2005). *Biogeography: An ecological and evolutionary approach* (7th ed). Blackwell Pub.
- Darab, M., Mostafavi, H., Rahimi, R., Teimori, A., & Farshchi, P. (2020). Modeling the Habitat Suitability of Botak-e-Fars, Cyprinion Tenuiradius Heckel, 1849 and Determining the Impact of Climate Change on its Distribution in Fars Province. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 8(5), 51–60. doi: 10.22034/jair.8.5.6 (In Persian)
- Ghaedi, Z., Badri, S., Saberi-Pirooz, R., Vaissi, S., Javidkar, M., & Ahmadzadeh, F. (2021). The Zagros Mountains acting as a natural barrier to gene flow in the Middle East: More evidence from the evolutionary history of spiny-tailed lizards (Uromasticinae: Saara). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 192(4), 1123–1136. doi: 10.1093/zoolinnean/zlaa113
- Ghane-Ameleh, S., Khosravi, M., Saberi-Pirooz, R., Ebrahimi, E., Aghbolaghi, M. A., & Ahmadzadeh, F. (2021). Mid-Pleistocene Transition as a trigger for diversification in the Irano-Anatolian region: Evidence revealed by phylogeography and distribution pattern of the eastern three-lined lizard. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01839. doi: 10.1016/j.gecco.2021.e01839
- Hahlbeck, N., Tinniswood, W. R., Sloat, M. R., Ortega, J. D., Wyatt, M. A., Hereford, M. E., Ramirez, B. S., Crook, D. A., Anlauf-Dunn, K. J., & Armstrong, J. B. (2022). Contribution of warm habitat to cold-water fisheries. *Conservation Biology*, 36(3), e13857. doi: 10.1111/cobi.13857
- Hannah, D. M., & Garner, G. (2015). River water temperature in the United Kingdom: Changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 39(1), 68–92. doi: 10.1177/0309133314550669
- Harter, D. E. V., Irl, S. D. H., Seo, B., Steinbauer, M. J., Gillespie, R., Triantis, K. A., Fernández-Palacios, J.-M., & Beierkuhnlein, C. (2015). Impacts of global climate change on the floras of oceanic islands – Projections, implications and current knowledge. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17(2), 160–183. doi: 10.1016/j.ppees.2015.01.003
- Hawlitshchek, O., Porch, N., Hendrich, L., & Balke, M. (2011). Ecological Niche Modelling and nDNA Sequencing Support a New, Morphologically Cryptic Beetle Species Unveiled by DNA Barcoding. *PLoS ONE*, 6(2), e16662. doi: 10.1371/journal.pone.0016662
- Kafash, A., Ashrafi, S., Yousefi, M., Rastegar-Pouyani, E., Rajabizadeh, M., Ahmadzadeh, F., Grünig, M., & Pellissier, L. (2020). Reptile species richness associated to ecological and historical variables in Iran. *Scientific Reports*, 10(1), 18167. doi: 10.1038/s41598-020-74867-3
- Keppel, G., & Wardell-Johnson, G. W. (2012). Refugia: Keys to climate change management. *Global Change Biology*, 18(8), 2389–2391. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02729.x
- Khoshnamvand, H., Malekian, M., & Keivani, Y. (2019). Feasibility of using geometric morphometrics on larvae of Loristan newt for population identifications. *Journal of Animal Research*, 32(1), 11–19. doi: 10.1001.1.23832614.1398.32.1.2.5. (In Persian)
- Khoshnamvand, H., Malekian, M., Keivani, Y., & Goudarzi, F. (2019). DNA barcoding of the Luristan newt (*Neurergus kaiseri*) in south-western Iran. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 3(2). doi: 10.22120/jwb.2019.34933
- Khoshnamvand, H., Vaissi, S., Azimi, M., & Ahmadzadeh, F. (2024). Phylogenetic climatic niche evolution and diversification of the *Neurergus* species (Salamandridae) in the Irano-Anatolian biodiversity hotspot. *Ecology and Evolution*, 14(8), e70105. doi: 10.1002/ece3.70105
- Makki, T., Mostafavi, H., Matkan, A. A., Valavi, R., Hughes, R. M., Shadloo, S., Aghighi, H., Abdoli, A., Teimori, A., Eagderi, S., & Coad, B. W. (2023). Predicting climate heating impacts on riverine fish species diversity in a biodiversity hotspot region. *Scientific Reports*, 13(1), 14347. doi: 10.1038/s41598-023-41406-9
- Malekian, M., Khoshnamvand, H., & Keivani, Y. (2019). Morphological assessment raises the possibility of cryptic species within the Luristan newt, *Neurergus kaiseri* (Amphibia: Salamandridae). *Herpetological Journal*, 29(4), 237–244. doi: 10.33256/hj29.4.237244

- Malmqvist, B., & Rundle, S. (2002). Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29(2), 134–153. doi: 10.1017/S0376892902000097
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: Facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 7. doi: 10.1186/s40068-019-0135-3
- Mostafavi, H., Mehrabian, A. R., Teimori, A., Shafizade-Moghadam, H., & Kambouzia, J. (2021). The Ecology and Modelling of the Freshwater Ecosystems in Iran. In L. A. Jawad (Ed.), *Tigris and Euphrates Rivers: Their Environment from Headwaters to Mouth* (pp. 1143–1200). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-57570-0_52
- Mousavi, S.-M., Mobarghaee Dinan, N., Ansarifard, S., Darvishi, G., Borhani, F., & Naghibi, A. (2024). Assessing the impact of global carbon dioxide changes on atmospheric fluctuations in Iran through satellite data analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 15(6), 2774–2791. doi: 10.2166/wcc.2024.702
- Pavey, C. R., Addison, J., Brandle, R., Dickman, C. R., McDonald, P. J., Moseby, K. E., & Young, L. I. (2017). The role of refuges in the persistence of Australian dryland mammals. *Biological Reviews*, 92(2), 647–664. doi: 10.1111/brv.12247
- Petsch, D. K. (2016). Causes and consequences of biotic homogenization in freshwater ecosystems. *International Review of Hydrobiology*, 101(3–4), 113–122. doi: 10.1002/iroh.201601850
- R Development Core Team. (2021). *R: a Language and Environment for Statistical Computing* (Vienna) [Computer software].
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., & Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873. doi: 10.1111/brv.12480
- Rolls, R. J., Leigh, C., & Sheldon, F. (2012). Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems: Ecological principles and consequences of alteration. *Freshwater Science*, 31(4), 1163–1186. doi: 10.1899/12-002.1
- Saberi-Pirooz, R., Rajabi-Maham, H., Ahmadzadeh, F., Kiabi, B. H., Javidkar, M., & Carretero, M. A. (2021). Pleistocene climate fluctuations as the major driver of genetic diversity and distribution patterns of the Caspian green lizard, *Lacerta strigata* Eichwald, 1831. *Ecology and Evolution*, 11(11), 6927–6940. doi: 10.1002/ece3.7543
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V., & Woolmer, G. (2002). The Human Footprint and the Last of the Wild. *BioScience*, 52(10), 891. doi: 10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2
- Sayahnia, R., Ommi, S., Khoshnamvand, H., Salmanpour, F., Sadeghi, S. M. M., & Ahmadzadeh, F. (2024). Fire protection priorities in the oak forests of Iran with an emphasis on vertebrate habitat preservation. *Scientific Reports*, 14(1), 15624. doi: 10.1038/s41598-024-65355-z
- Sayyadzadeh, G., & Esmaeili, H. R. (2024). Freshwater lamprey and fishes of Iran: Reappraisal and updated checklist with a note on *Eagderi* et al. (2022). *Zootaxa*, 5402(1), Article 1. doi: 10.11646/zootaxa.5402.1.1
- Shukla, K., Shukla, S., Upadhyay, D., Singh, V., Mishra, A., & Jindal, T. (2021). Socio-Economic Assessment of Climate Change Impact on Biodiversity and Ecosystem Services. In D. K. Choudhary, A. Mishra, & A. Varma (Eds.), *Climate Change and the Microbiome* (Vol. 63, pp. 661–694). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-76863-8_34
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369–373. doi: 10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x
- Van Rees, C. B., Waylen, K. A., Schmidt-Kloiber, A., Thackeray, S. J., Kalinkat, G., Martens, K., Domisch, S., Lillebø, A. I., Hermoso, V., Grossart, H., Schinegger, R., Decler, K., Adriaens, T., Denys, L., Jarić, I., Janse, J. H., Monaghan, M. T., De Wever, A., Geijzenorffer, I., ... Jähnig, S. C. (2021). Safeguarding freshwater life beyond 2020: Recommendations for the new global biodiversity framework from the European experience. *Conservation Letters*,

14(1), e12771. doi: 10.1111/conl.12771

Yousefi, M., Jouladeh-Roudbar, A., & Kafash, A. (2020). Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators*, 112, 106137. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106137