مقاله علمی – پژوهشی:

مدل‌سازی اثرات تغییرات اقلیم بر پراکنش سس ماهی بزرگ (زرده‌پر) (*Luciobarbus capito*) در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر

رضا فرضی[۱]، سید حامد موسوی ثابت*[۱]، حسین مصطفوی*[۲]

*mosavii.h@gmail.com; hmostafaviw@gmail.com

۱-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

۲-گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۳

چکیده

کشور ایران یکی از نواحی مهم تنوع زیستی در جهان است. اما در حال حاضر اکثر گونه‌های ماهی‌های اکوسیستم آب شیرین در این کشور به دلیل فعالیت‌های انسانی با تهدید جدی روبه‌رو هستند. علاوه بر این تهدیدات، تغییرات اقلیمی نیز تهدید مضاعفی بوده که ممکن است سبب تسریع انقراض یا کاهش جمعیت گونه‌ها شود. سس ماهی بزرگ (*Luciobarbus capito*) یکی از گونه‌های بومی و باارزش شیلاتی حوضه جنوبی دریایی خزر است که در آخرین فهرست ارائه شده از اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)[۱]، در طبقه آسیب‌پذیر (VU)[۲] قرار دارد. بدین منظور از ۹ متغیر به عنوان متغیرهای اولیه در نظر گرفته شدند، پس از انجام آزمون همبستگی اسپیرمن اگر دو متغیر همبستگی بالای ۷۵٪ داشتند، یکی از آنها با توجه به نظر کارشناسی و مطابق با نیاز اکولوژیک گونه انتخاب گردید. همچنین در این مطالعه پراکنش گونه مذکور در دو رویکرد خوش‌بینانه (RCP2.6)[۳] و بدبینانه (RCP8.5) سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) پیش‌بینی‌شده است. نتایج نشان داد که عملکرد مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه بر اساس معیار ارزیابی AUC[۴]، عالی (۰/۹۳۴) بوده است. بر اساس پیش‌بینی‌های مدل شده، مشخص کرد که این گونه احتمالاً در آینده در تمامی رویکردهای خوش‌بینانه و بدبینانه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با کاهش مطلوبیت زیستگاه روبرو خواهد بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود، مدیران و تصمیم گیرندگان حفاظت از این گونه اقتصادی را در اولویت خود قرار دهند و با برنامه‌ریزی‌های فوری و تصمیمات قابل اجرا و اقدامات مؤثر مانع از کاهش جمعیت آنها در آینده شوند. در ضمن، چنین مطالعه‌ای برای سایر گونه‌های حوضه‌های ایران می‌تواند به حفاظت از تنوع زیستی ارزشمند کشوردر برابر تهدیدات مختلف به‌خصوص تغییر اقلیم کمک موثری نماید.

لغات کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌سازی توزیع گونه، مکسنت، حفاظت، دریای خزر

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[1] International Union for conservation of nature (IUCN)
[2] Vulnerable (VU)
[3] Representative concentration pathways (RCP)
[4] Area under the curve (AUC) (مختصات منطقه تحت منحنی)

مقدمه

امروزه پدیده تغییرات اقلیمی به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها و تهدیدات جدی تنوع زیستی اکوسیستم‌های آبی تبدیل شده است (Mostafavi *et al*., 2017). براساس مطالعات، تغییرات اقلیمی در حال حاضر بر توزیع و پراکنش آبزیان تأثیر گذاشته است (Lam *et al*., 2020; Alegria *et al*., 2023). این پدیده به دلیل نقش عوامل انسانی با سرعت و شدت بیشتری در حال رخ دادن است، به همین دلیل، ممکن است که گونه‌ها و اکوسیستم‌ها فرصت کافی برای سازگاری و هماهنگی با تغییرات محیطی را نداشته باشند (Lovejoy and Hannah, 2006) و در نهایت با تغییرات در جوامع گونه‌ها (Zurell *et al*., 2020)، تغییرات مکانی و زمانی در سطح فعل‌وانفعالات گونه‌ها (Kelly *et al*., 2012; Forrester, 2014)، جابه‌جایی آشیان‌های اکولوژیک و حوضه پراکنش (Bellard *et al*., 2012) و انقراض یا سازگاری گونه‌ها (Román-Palacios *et al*., 2020)، رخ دهد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در طول چند دهه آینده، تغییرات اقلیمی می‌تواند یکی از بزرگ‌ترین تهدید تنوع زیستی در جهان باشد (Mostfavi *et al*., 2014, 2015; Makki *et al*., 2023). به‌علاوه، تغییراتی که در توزیع گونه‌ها، جمعیت و ساختار جوامع ایجاد می‌شود، تهدیدات متعددی را در آینده به‌همراه خواهد داشت (Moss *et al*., 2009). در طول قرن گذشته، آسیب‌پذیرترین زیستگاه‌ها در برابر تغییرات اقلیمی، اکوسیستم‌های آب شیرین بودند (Bouska *et al*., 2015). کاهش دبی رودخانه‌ها، کاهش بارندگی و افزایش دما در این اکوسیستم‌ها همگی پیامدهای منفی بر ماهیان آب شیرین داشته‌اند (Harrod, 2015). پیش‌بینی این‌که چگونه گونه‌های آب شیرین و بومی تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی قرار می‌گیرند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا آنها فقط در مناطق جغرافیایی محدود زیست می‌کنند و نسبت به تغییرات محیطی حساس‌تر و آسیب‌پذیرترند و اغلب ممکن است ارزش اقتصادی و اکولوژیک بالایی داشته باشند (Arthington, 2016; Mostafavi *et al*., 2015, 2017, 2019, 2021; Makki *et al*., 2023).

سس ماهی بزرگ (زرده‌پر) (Güldenstaedt, 1773) *Luciobarbus capito* یکی از گونه‌های حوضه خزر که دارای ارزش اقتصادی و ورزشی است (Jouladeh-Roudbar *et al*., 2020). این گونه معمولاً آبهای گرم، با عمق زیاد و آرام با بستر سنگریزه‌ای یا شنی را ترجیح می‌دهد. نمونه‌های بزرگ این ماهی از ماهی‌های کوچکتر و قورباغه‌ها تغذیه می‌کنند (Keivany *et al*., 2016)، نمونه‌های کوچک از سخت‌پوستان، حشرات و نرم‌تنان تغذیه می‌کنند (Coad, 2021). سس ماهی بزرگ معمولاً توانایی بازسازی متوسطی دارد و حداقل زمان دو برابر شدن آن ۱۴-۴/۵ سال است (Keivany *et al*., 2016). بر اساس گزارش‌های ارائه شده، سس ماهی بزرگ در طبقه VU (آسیب پذیر) قرار دارد (Keivany *et al*., 2016; Jouladeh-Roudbar *et al*., 2020). همچنین این‌گونه برای بقاء به اکوسیستم‌های رودخانه‌ای وابسته است و در واقع، برای تخم‌ریزی به رودخانه‌های شرق تا غرب حوضه خزر در کشورمان مهاجرت می‌نماید (Keivany *et al*., 2016; Coad, 2021).

مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (SDM)[1] ابزار کمی برای توصیف رابطه بین گونه‌ها و محیط آنهاست و معمولاً برای بررسی اثرات احتمالی تغییرات محیطی بر توزیع فضایی گونه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Elith and Leathwick, 2009). ازنظر اکولوژی ماهی، دانشمندان از این روش برای ارزیابی اثرات تغییر زیستگاه (Makki *et al*., 2021)، زیستگاه‌های مناسب (Sutela *et al*., 2023)، احتمال تهاجم گونه‌ها (Poulos *et al*., 2012) و روابط بین گونه‌های مختلف و محیط‌های آنها استفاده می‌کنند (Valavi *et al*., 2019). با این‌حال، عمدتاً به دلیل فعالیت و تهدیدات انسانی جمعیت این گونه‌ها در رویشگاه‌های اصلی آنها رو به کاهش است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی چگونگی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات اقلیم بر پراکنش سس ماهی بزرگ (زرده‌پر) (*L. capito*) در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر تحت رویکردهای مختلف تغییر آب‌وهوایی در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ انجام پذیرفت.

[1] Species distribution modelling (SDM)

مواد و روش کار

منطقه مورد مطالعه، رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر است که دارای گونه‌های بومی باارزش اقتصادی و شیلاتی است (شکل ۱). در این مطالعه برای انجام مدل‌سازی از روش حضور استفاده شد. داده‌های محیطی و اقلیمی مورداستفاده برای مدل‌سازی شامل داده‌های زیستگاهی و اقلیمی از سایت‌های معتبر خارجی مانند www.worldclim.org و داخلی (از سازمان‌های داخل کشور همچون منابع طبیعی و محیط‌زیست) استخراج شدند. در این ارتباط، ۹ متغیر شامل بیشترین عرض رودخانه[۱]، ارتفاع[۲]، شیب[۳]، جریان تجمعی[۴]، میانگین اختلاف دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال (رِنج دمای)[۵]، متوسط دمای میانگین[۶]، میانگین کمترین دما[۷]، میانگین بیشترین دما[۸] و میانگین بارش[۹] به عنوان متغیرهای اولیه در نظر گرفته شدند که پس از انجام آزمون همبستگی Spearman[۱۰] که اگر دو متغیر همبستگی بالای ۷۵٪ داشتند، یکی از آنها با توجه به نظر کارشناسی و مطابق با نیاز اکولوژیک گونه انتخاب می‌گردد (Mostafavi *et al*., 2014; Makki *et al*., 2023).

متغیرهای اقلیمی برای مدل‌سازی آینده

براساس رویکرد RCP 2.6 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO2 650 ppm، میزان جمعیت ۸/۷ میلیارد نفر) به عنوان رویکرد خوش‌بینانه و رویکرد RCP 8.5 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO2 1370 ppm، میزان جمعیت ۱۲ میلیارد نفر) به عنوان رویکرد بدبینانه (IPCC, 2014)[۱۱] و مدل اقلیمی گردش عمومی جو (GCMs)[۱۲] در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از سایت www.worldclime.org تهیه و در محیط نرم افزاری ArcGIS ver. 10.8 آماده و ویرایش شدند.

سپس مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از مدل مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) (Phillips *et al*., 2017) در محیط نرم‌افزاری R v3.2.3 (R Core Team, 2018) و بسته نرم‌افزاری dismo v1.1-4 (Hijmans *et al*., 2017) انجام شد. جهت ارزیابی صحت عملکرد مدل و نتایج مدل‌سازی، ناحیه زیر منحنی (AUC) (جداول ۱و ۲) و مشخصه عملکرد سیستم (ROC)[۱۳] محاسبه شد (Lobo *et al*., 2008). با توجه به دامنه AUC بین ۰ و ۱، مقادیر کمتر از ۰/۵ عملکرد پیش‌بینی تصادفی و مقادیر ۱ با پیش‌بینی کامل را نشان می‌دهند. در واقع، مقادیر کمتر از ۰/۵ نشانگر مدل‌های نامناسب است (Elith *et al*., 2009). همچنین با استفاده از آزمون Jackknife متغیری که بیشترین تأثیر را در تعیین پراکنش گونه مورد مطالعه داشت، تعیین شد. در نهایت نقشه پراکنش سس ماهی بزرگ در حوضه آبریز خزر تحت رویکردهای اقلیمی در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تولید گردید.

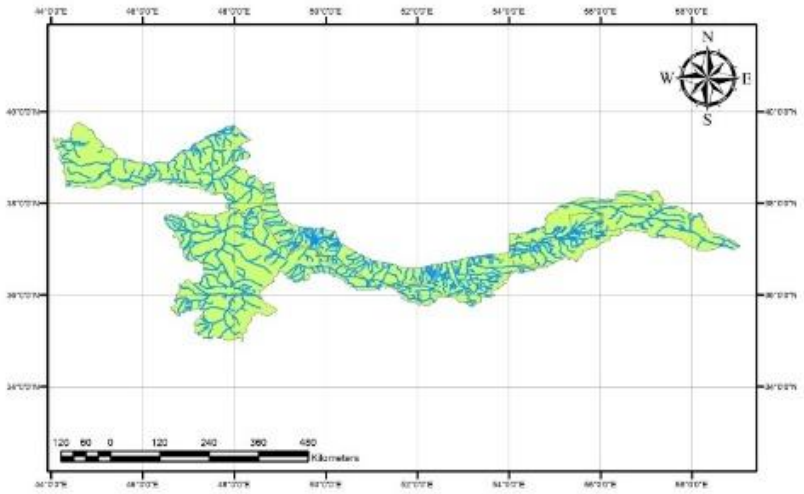
نتایج

از میان ۹ متغیر اولیه، ۵ متغیر: محدوده متوسط دمای روزانه[۱۴]، میانگین دمای سالانه[۱۵]، میزان بارش سالانه[۱۶]، شیب، جریان تجمعی، پس از آزمون برای مدل‌سازی انتخاب شدند.

عملکرد مدل

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی کارایی مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) با استفاده از شاخص AUC، عملکرد مدل برای گونه *L. capito* در سطح عالی بود (AUC =۰/۹۲۲) (شکل ۲).

[1] Max-width
[2] Elevation
[3] Slope
[4] Flow accumulation
[5] Ave-trange
[6] Ave-tmean
[7] Tmin
[8] Tmax
[9] Ave-precipitation
[10] Spearman Rank correlation
[11] Intergovernmental panel on climate change (IPCC)
[12] Gas chromatography-mass spectrometry (GCMs)
[13] Relative operating characteristic (ROC)
[14] Temperature annual range
[15] Annual mean temperature
[16] Annual precipitation



شکل ۱: رودخانه‌های ایران در محدوده حوضه جنوبی دریای خزر (Arc GIS ver. 10.8)

Figure 1: Iranian rivers in the southern basin of the Caspian Sea (Arc GIS ver. 10.8)

جدول ۱: طبقه‌بندی کمی و کیفی عملکرد مدل بر اساس شاخص AUC

Table 1: A quantitative and qualitative classification of model performance based on the AUC index

Model performance	Value AUC
Very Poor	0.6-0.7
Poor	0.7-0.8
Good	0.8-0.9
Excellent	0.9-1

اهمیت متغیرها

بر اساس نتایج، متغیر میزان بارش سالانه، میانگین دمای سالانه و جریان تجمعی، به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرهای این‌گونه در انتخاب زیستگاه مناسب هستند (شکل ۳).

پیش‌بینی پراکنش گونه

بر اساس پیش‌بینی‌های مدل شده، مشخص شد که این‌گونه احتمالاً در آینده در تمامی سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با کاهش مطلوبیت زیستگاه روبرو خواهد بود. این بدان معناست که محدوده تغییرات در همه حالت‌های مذکور منفی است (میزان درصد کاهش مطلوبیت زیستگاه بیشتر است) (جدول ۳ و شکل ۴). در شکل ۵ نیز نحوه تاثیرگذاری متغیرهای محیطی و اقلیمی بر پراکنش این‌گونه در محیط مطلوب نشان داده شده است.

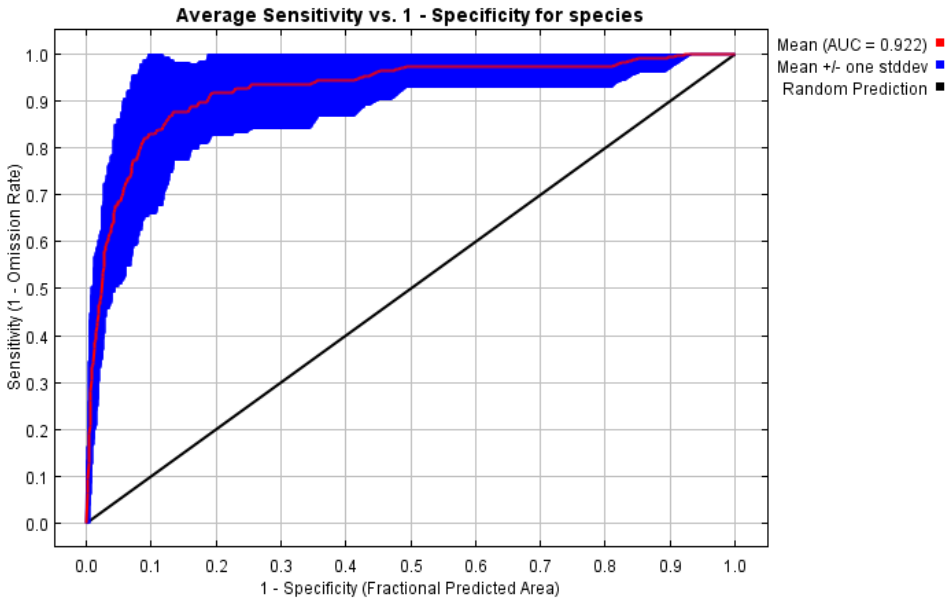
جدول ۲: نحوه اندازه‌گیری تغییرات گستره پراکنش گونه‌ها

Table 2: How to measure changes in species distribution range

Parameter	Gain (%)	Loss (%)	Range of change in distribution
Formula	Gain/NC * 100	Loss/NC *100	Loss (%) _Gain (%)

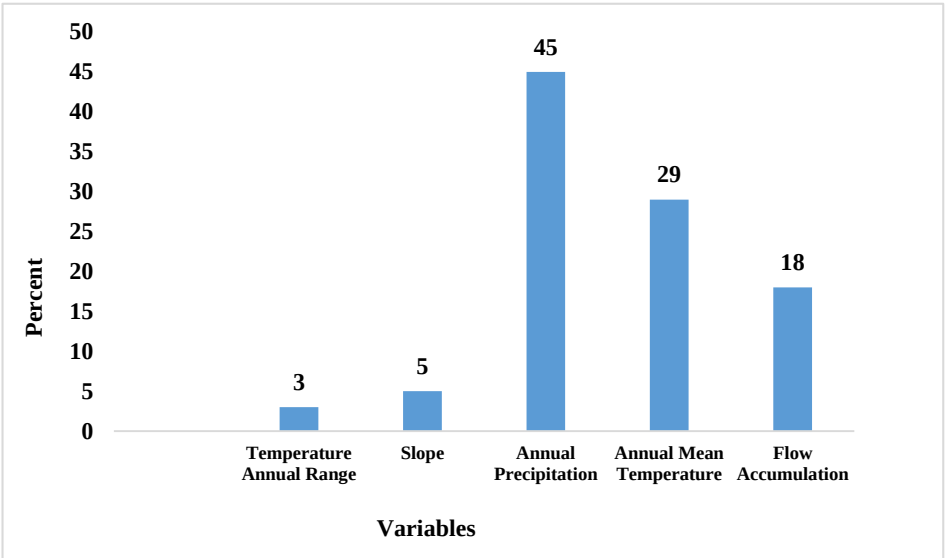
میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌های پایدار: (Stable)، میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌های از دست‌رفته: (Loss)، میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌هایی که زیستگاه مطلوب دارند: (Gain)، توزیع کنونی گونه‌ها: NC (Stable + Loss)

The amount of rivers or stable habitats: (Stable), the amount of lost rivers or habitats: (Loss), the amount of rivers or habitats that have favorable habitats: (Gain), current distribution Types: NC (Stable + Loss)



شکل ۲: نمودار ارزیابی عملکرد مدل MaxEnt در پیش‌بینی پراکنش سس ماهی بزرگ

Figure 2: Receiver operating characteristic (ROC) curve and AUC index



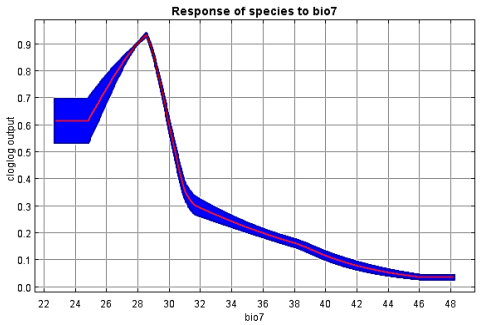
شکل ۳: اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر در تعیین پراکنش گونه سس ماهی بزرگ

Figure 3: Variables relative importance for distribution of *Luciobarbus capito*

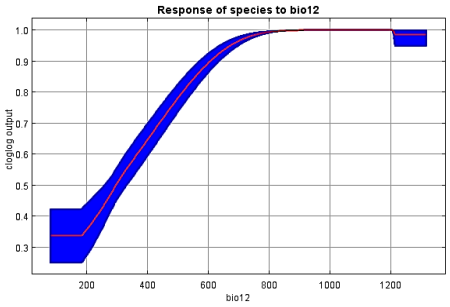
جدول ۳: درصد آتی کاهش/ افزایش/ گستره تغییرات گونه *L. capito* در هر یک از دوره‌های زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) بر اساس سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5

Table 3: Percentage of gain, loss, and range change of species under scenarios for 2050 and 2080

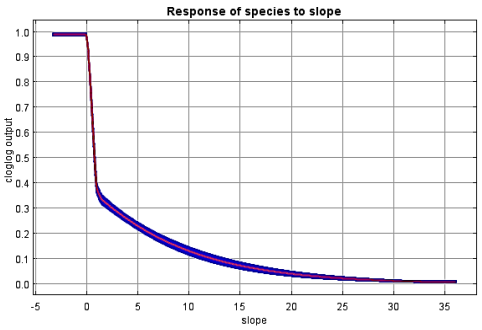
Species	Climate scenarios	RCP2.6		RCP8.5	
	Time period	2050	2080	2050	2080
L. capito	Loss (%)	-51.97	-55.16	-50.88	-47.76
	Gain (%)	24.91	27.09	33.21	36.04
	Range of change in distribution	-27.06	-28.07	-17.66	-11.71



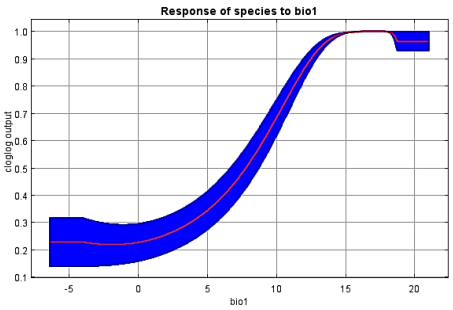
Temperature Annual Range



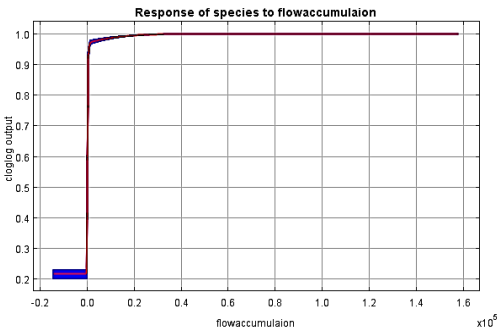
Annual Precipitation



Flow Accumulation



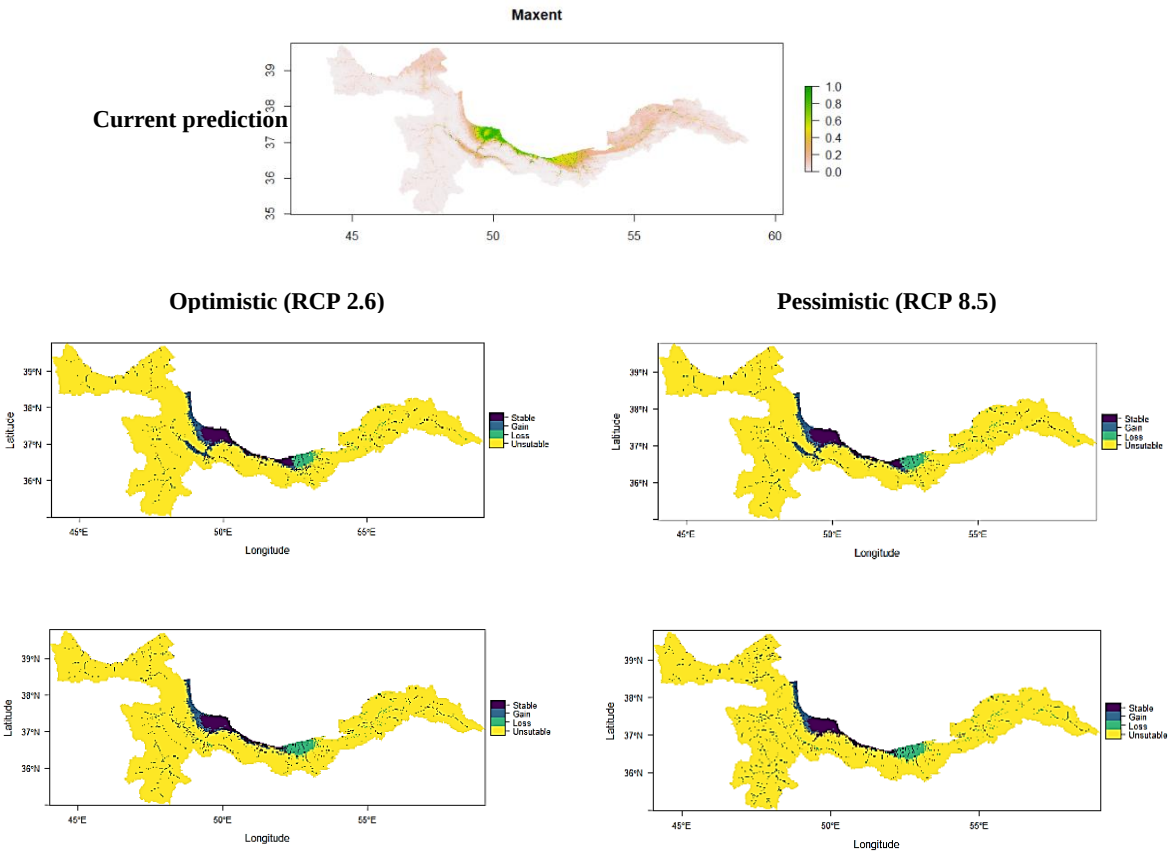
Annual Mean Temperature



Slope

شکل ۴: منحنی پاسخ منغیرها در رابطه با پراکنش سس ماهی بزرگ

Figure 4: Response curve of environmental variables concerning distribution of *Luciobarbus capito*



شکل ۵: نتایج مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سس ماهی بزرگ در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی و تحت رودیکردهای اقلیمی خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5). Stable: گستره زیستگاه‌های پایدار؛ Gain: گستره زیستگاه‌های مطلوب به‌دست آمده؛ Loss: گستره زیستگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته؛ Unsuitable: گستره زیستگاه‌های نامطلوب

Figure 5: Results of modeling the effect of climate change on distribution of species *L.capito* under different climate change scenarios (RCP2.6 and RCP8.5) for 2050 and 2080.

بحث

نتایج حاصل از مدل‌سازی حاضر نشان داد که با تغییر اقلیم در رویکردهای مختلف خوش‌بینانه و بدبینانه سال‌های مختلف، مطلوبیت زیستگاه و پراکنش سس ماهی بزرگ نیز تغییر خواهد کرد. تغییرات اقلیمی و محیطی تأثیر مختلفی بر اکوسیستم‌ها و گونه‌های متفاوت خواهد داشت و ماهیان نیز از این قاعده مستثنا نیستند و در پاسخ به تغییرات، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Buisson *et al.*, 2008). گونه‌ها معمولاً در پاسخ به پدیده تغییر اقلیم یکی از چهار سناریوی: کاهش مطلوبیت زیستگاه، افزایش مطلوبیت زیستگاه، کاهش و افزایش مطلوبیت زیستگاه یا بدون تغییر در زیستگاه را انتخاب می‌کنند (Carosi *et al.*, 2019; Yousefi *et al.*, 2020). همچنین نتایج نشان داد که میزان بارش سالانه، میانگین دمای سالانه و جریان تجمعی، عوامل اصلی تأثیرگذار بر پراکنش این گونه هستند که این عوامل سبب کاهش زیستگاه مطلوب سس ماهی در سناریوهای ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در هر دو حالت خوش و بدبینانه خواهد شد.

با توجه به نتایج حاضر، میزان درصد زیستگاه‌های نامطلوب بیشتر از مطلوب است و گونه مجبور به مهاجرت به مکان‌های جدید خواهد شد. البته این موفقیت در تغییر مکان یا مهاجرت به عوامل مختلفی نظیر مناسب بودن

شرایط فیزیکی و بیولوژیک زیستگاه و پیوسته بودن رودخانه بستگی دارد (Mostafavi *et al*., 2015, 2019). این در حالی است که وضعیت طبیعی رودخانه‌های حوضه جنوبی خزر طبق بررسی‌های محققین در چند دهه اخیر متأثر از عواملی نظیر تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت، استفاده بی‌رویه از آبهای جاری و زیرزمینی برای گسترش کشاورزی، سدسازی در مسیر مهاجرت ماهی‌های آب شیرین، صید بی‌رویه برخی از گونه‌های ماهیان، برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه (تخریب زیستگاه)، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، فقدان برنامه مدیریت زیست‌محیطی و ورود گونه‌های غیربومی سبب فشار مضاعف بر اکوسیستم‌های آبی شده که همه این مسائل باعث تغییرات زیاد زیستگاهی و محدود شدن عرصه زیستی و تنوع زیستی بسیاری از ماهیان در رودخانه‌های حوضه جنوبی خزر شده است (Mostafavi *et al*., 2015, 2019a,b; Abbasi *et al*., 2023; Mousavi-Sabet *et al*., 2023). در نتیجه، ماهی‌ها فرصت و شانس کمتری برای رسیدن به قسمت مناسب رودخانه پیدا خواهند کرد. بنابراین، لازم است تمام موانع و مشکلات موجود برای این‌گونه باارزش بومی با مدیریت مناسب کاهش داده شود، همچنین با استراتژی‌های حفاظتی مناسب در هر منطقه سبب تسهیل مهاجرت و حرکت ماهیان آب شیرین در رودخانه‌ها شوند (Mostafavi *et al*., 2022). در صورت عدم سازگاری و مهاجرت گونه با تغییرات اکوسیستم‌ها، گونه محکوم به انقراض خواهد بود (Bednarek and Mołoniewicz, 2023; Makki *et al*., 2023).

در میان ماهی‌های آب شیرین، گونه‌های مهاجر به‌ویژه آنهایی که برای تکمیل چرخه‌های زندگی خود نیاز به مهاجرت بین محیط‌های (رودخانه‌ها و دریا) یا درون سیستم‌های رودخانه‌ای دارند، در معرض تهدید بیشتری هستند. عدم قطعیت زیادی در مورد این‌که چگونه تهدیدها و فعالیت‌های مختلف انسانی بر گونه‌های مختلف ماهی‌های مهاجر تأثیر می‌گذارد، وجود دارد (Bower *et al*., 2015; Costa *et al*., 2021).

حتی موانع نسبتاً کوچک مانند سرریزها یا سدهای کم ارتفاع که اغلب ماهیان مهاجر با آن مواجه می‌شوند، ممکن است محدودیت‌های شدیدی را برای مهاجرت ماهیان ایجاد کنند (Rolls, 2011; Olden, 2016; Hershey et al., 2022; Cox et al., 2023; Bravo-Córdoba et al., 2023). با توجه به این‌که سس ماهی بزرگ یک گونه مهاجر است و برای تخم‌ریزی وارد رودخانه‌های حوضه‌ی جنوبی دریای خزر می‌شود، اما در نتیجه فعالیت‌های انسانی این رودخانه‌ها ممکن است دچار چالش‌های شدید بشود که لازم است مدیران برای حل این معضلات برنامه‌ریزی لازم را انجام دهند.

اگرچه امروزه علت اصلی انقراض گونه‌ها را تخریب زیستگاه عنوان می‌کنند، اما به‌نظر می‌رسد که اولین عامل در چند دهه آینده تغییرات آب‌وهوایی خواهد بود (Leadley, 2010). نتایج اکثر بررسی‌ها نشان می‌دهد، هر یک از گونه‌های ماهیان نسبت به تغییرات محیطی حاصل از تغییر اقلیم، با توجه به شرایط اولیه اکوسیستم‌ها خود واکنش خاصی نشان می‌دهند که در هر گونه، می‌تواند متفاوت باشد (Buisson *et al*., 2008; Carosi *et al*., 2019). این تغییرات در توزیع پتانسیل می‌تواند برای هر گونه به دلیل ویژگی‌های اکولوژیک خاص، نیازهای آنها و تنوع در سناریوهای اقلیمی متفاوت باشد (Moëzzi *et al*., 2022). نتایج اکثر مطالعات ثابت کرده است، امروزه ماهی‌ها با تغییر زیستگاه خود مواجه هستند. Carosi و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای با هدف بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر ماهیان بومی آب شیرین رودخانه‌های Tiber واقع در ایتالیا انجام دادند. در مطالعه آنها نشان داده شده است که دو گونه *S. lucumonis* و *T. muticellus* به دلیل افزایش دمای آب در پایین دست رودخانه به سمت بالا دست رودخانه حرکت کرده‌اند، اما گونه *P. nigricans* مهاجرتی انجام نداده و در پایین دست رودخانه به بقاء خود ادامه داده است. همچنین مشخص گردید، متغیر ارتفاع از مهم و تاثیرگذارترین متغیر محیطی بر پراکنش این گونه‌هاست (Carosi *et al*., 2019). Makki و همکاران (۲۰۲۳) به منظور پیش‌بینی اثرات گرمایش آب و هوا بر تنوع گونه‌های بومی ماهیان رودخانه‌های کشور ایران مطالعه‌ای انجام دادند. از مدل‌سازی حداکثر آنتروپی (MaxEnt) برای پیش‌بینی توزیع پتانسیل گونه‌ها و نه متغیر پیش‌بینی‌کننده محیطی، استفاده کردند.

نتایج نشان داد مهم‌ترین متغیر تعیین‌کننده پراکنش ماهی، مکان گونه و به دنبال آن ارتفاع و شیب بود. پیش‌بینی شد که ۳۷ گونه، پراکنش بالقوه زیستگاه خود را در تمام رویکردهای آینده کاهش دهند. جنوب خزر با بیشترین کاهش گونه در آینده مواجه است و به دنبال آن زاگرس غربی و شمال غرب ایران به‌ترتیب دارای بیشترین کاهش گونه خواهند بود (Tabasinezhad and Makki *et al*., 2023). همکاران (۲۰۲۳) به منظور مدل‌سازی پراکنش ماهی سفید (*Rutilus kutum*) تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در بازه‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ سال آینده مطالعه‌ای انجام دادند، اعلام نمودند پراکنش این گونه در تمامی سال‌ها و شرایط اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه، به صورت قابل‌توجهی کاهش پیدا خواهد کرد. این محققین محدوده دمای سالانه را همچون نتایج مطالعه حاضر به عنوان مهم‌ترین متغیر محیطی اعلام کردند که بر پراکنش این گونه بومی در سال‌های آینده تأثیر می‌گذارد (Tabasinezhad *et al*., 2023). Rezaei و همکاران (۲۰۲۴) به منظور مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش ماهی سونگ (*Luciobarbus esocinus*) در رویکردهای مختلف اقلیمی، مطالعه‌ای انجام دادند. مدل‌سازی پراکنش مکانی ماهی سونگ با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) در دو مقیاس زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی) تحت رویکردهای اقلیمی خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) در محیط نرم‌افزاری R انجام شد. در این مطالعه متغیرهای محیطی شیب، محدوده سالانه دما، جریان تجمعی، بارش سالانه، دمای متوسط سالانه و مساحت حوضه بالادست در نظر گرفته شد. نتایج آنها نشان داد، عملکرد مدل در پیش‌بینی گونه بر اساس معیارAUC، عالی (۰/۹۸۹) بود. همچنین دمای متوسط سالانه و شیب به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر در تعیین پراکنش این گونه است. به‌علاوه، دامنه پراکنش این گونه در هر دو رویکرد خوش‌بینانه و بدبینانه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی با کاهش مواجه خواهد شد (Rezaei *et al*., 2024). Yousefi و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای با هدف استفاده از ماهی‌های آب شیرین بومی به عنوان نمونه‌ای از اکوسیستم‌های آنها برای شناسایی رودخانه‌های با اولویت بالا برای حفاظت تحت تغییرات آب و هوایی مطالعه‌ای انجام دادند. برای تعیین اکوسیستم‌های حساس آب شیرین به تغییرات آب و هوایی، از مدل سازی توزیع گونه‌ها استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که پنج گونه در اثر تغییرات اقلیمی بخش‌هایی از محدوده مناسب فعلی خود را از دست خواهند داد درحالی‌که ۱۰ گونه زیستگاه‌های مناسب جدیدی به‌دست خواهند آورد. با توجه به گستره محدود، گونه‌های بومی مورد توجه ویژه حفاظتی قرار دارند (Yousefi *et al*., 2020). در مطالعه دیگر Mostafavi و همکاران (۲۰۱۹)، اثرات تغییر اقلیم را با استفاده از مدل توزیع گونه بر پراکنش ماهی کولی کورا (*Alburnus filipii*) با استفاده از ۹ الگوریتم مختلف (GLM, GM,A GBM, RF, SRE, ANN, MARS, FDA, CTA) در دو مقیاس زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی) تحت رویکردهای خوش‌بینانه و بدبینانه پیش‌بینی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که پراکنش این گونه در تمامی رویکردهای اقلیمی در دو مقیاس زمانی ۱۰۰ درصد کاهش خواهد یافت و هیچ منطقه بالقوه جدیدی برای پراکنش این گونه پیش بینی نشده است (Mostafavi *et al*., 2019). Hejazi و همکاران (۲۰۲۳) محدوده پراکنش سیاه ماهی ریز پولک (*Capoeta damascina*) را تحت شرایط اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی این محققین نیز نشان داد که گستره پراکنش این ماهی در سال‌های آینده به شکل قابل‌توجهی کاهش پیدا خواهد کرد (Hejazi *et al*., 2023).

همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، معمولاً گونه‌های مختلف واکنش‌های مختلفی جدا از در معرض خطر بودن، بومی انحصاری بودن، غیر بومی بودن از خود نشان می‌دهند که این مسئله احتمالاً به خصوصیات ذاتی و ژنتیکی آنها مربوط می‌شود (Mostafavi *et al*., 2019). به‌علاوه، نکته بسیار مهم دیگر این است که عدم قطعیت در مدل‌سازی را برای تمامی مطالعات و گونه‌ها حتماً باید در نظر گرفت که شامل موارد ذیل خواهد بود:

نمونه‌برداری با دقت و روش‌های استاندارد (Mostafavi *et al*., 2015, 2019)

- استفاده از نقاط بیشتر در مدل‌سازی
- استفاده از متغیرهای با دقت بیشتر و جدید

- استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی و مقایسه نتایج به‌علاوه، باید در آینده با تکمیل داده‌ها و به‌روز نمودن داده‌ها و روش‌ها، این مدل‌سازی‌ها تکرار شود تا به قطعیت بیشتری دست یافت.

در مطالعه حاضر تأثیر تغییرات اقلیم بر پراکنش سس ماهی بزرگ دریای خزر نشان داده شده است. این نتایج، بر اساس داده‌های حضور بوده است و می‌تواند برای برنامه‌ریزی رویکردهای مدیریت آینده مفید باشد، با توجه به این واقعیت که مدل‌های آب‌وهوایی اثرات قوی بیشتری را بر ماهی‌های آب شیرین پیش‌بینی می‌کنند. به طور خاص، راهبردهای حفاظتی که می‌توان برای حفاظت از تنوع زیستی ماهی تحت تأثیرات ناشی از آب و هوا پیشنهاد کرد شامل: (الف) حفظ جریان اکولوژیک درحالی‌که تنوع طبیعی نرخ جریان برای حفظ زیستگاه مناسب برای زندگی ماهیان آب شیرین ضروری است، (ب) احیاء اتصال رودخانه‌ها به منظور ایجاد فرصت برای گونه‌های ماهی با تحمل دمای پایین و حرکت به سمت دمای بهینه با در نظر گرفتن امکان حفظ موانع، (پ) تعیین و ایجاد مناطق حفاظتی که در آن مجموعه‌های مستقل حفظ می‌شوند و نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی ایفاء می‌کنند، (ت) بهبود کیفیت آب در رودخانه‌های آلوده برای کاهش عوامل تنش‌زای انسانی، (ث) بازسازی نواحی ساحلی برای ایجاد سایه و تأثیر مستقیم خنک کنندگی بر دمای رودخانه، هستند. در حال حاضر، تردیدی وجود ندارد که افزایش فعالیت‌های انسانی، به‌نحوی مسئول تغییرات اقلیمی است که تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر اکوسیستم‌های آب شیرین دارد. با توجه به این‌که گونه مورد مطالعه در فهرست IUCN در طبقه UV قرار دارد و جزو گونه‌های با ارزش حوضه دریای خزر است، سیاست‌گذاران و مدیران موسسه شیلات کشور با بهره‌گیری از اطلاعات این چنین مطالعاتی می‌توانند از وضعیت پراکنش گونه‌های بومزاد، حساس در معرض خطر و اقتصادی را شناسایی نمایند و با احیاء زیستگاه، از انقراض آنها جلوگیری کرده و راهکار مناسبی برای حفظ ذخایر این گونه‌ها اتخاذ و عملی نمایند.

منابع

Abbasi, K., Mirzajani, A. and Moradi, M., 2023. Diversity and abundance of fish in the Sefidroud River. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 32(3):1-12. DOI:2023.129719ISFJ1 (In Persian)

Alegria, C., Almeida, A. M., Roque, N., Fernandez, P. and Ribeiro, M.M., 2023. Species distribution modelling under climate change scenarios for maritime Pine (*Pinus pinaster Aiton*) in Portugal. *Forests*, 14(3):591. DOI:10.3390/f14030591

Arthington, A.H., Dulvy, N. K., Gladstone, W. and Winfield, I.J., 2016. Fish conservation in freshwater and marine realms: status, threats and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5):838-857.

Bednarek, P. and Mołoniewicz, L., 2023. River fragmentation in the northern Sandomierz Basin (SE Poland). *River Research and Applications*, 39(8):1497-1505.

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. and Courchamp, F., 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4):365-377. DOI:10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x

Bouska, K.L., Whitledge, G.W. and Lant, C., 2015. Development and evaluation of species distribution models for fourteen native central US fish species. *Hydrobiologia*, 747:159-176. DOI:10.1007/s10750-014-2134-8

Bower, S.D., Lennox, R.J. and Cooke, S.J., 2015. Is there a role for freshwater protected areas in the conservation of migratory fish? *Inland Waters*, *5*(1), 1-6.

Bravo-Córdoba, F. J., García-Vega, A., Fuentes-Pérez, J. F., Fernandes-Celestino, L., Makrakis, S., & Sanz-Ronda, F. J., 2023. Bidirectional connectivity in fishways: A mitigation for impacts on fish migration of small hydropower facilities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *33*(6), 549-565.

Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P. and 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

Carosi, A., Padula, R., Ghetti, L. and Lorenzoni, M., 2019. Endemic freshwater fish range shifts related to global climate changes: A long-term study provides some observational evidence for the Mediterranean Area. *Water*, 11(11):23-49. DOI:10.3390/w11112349

Change, I.P.O.C., 2014. Ipcc. Climate change: Synthesis Report. 169. P.

Coad, B.W., 2021. Freshwater fishes of Iran. Updated 1 January 2021. Available from: www.briancoad.com (Accessed on January 2021).

Costa, M.J., Duarte, G., Segurado, P. and Branco, P., 2021. Major threats to European freshwater fish species. *Science of the Total Environment*, 797, 149105.

Cox, R.X., Kingsford, R.T., Suthers, I. and Felder, S., 2023. Fish injury from movements across hydraulic structures: A review. *Water*, *15*(10), 1888.

Elith, J. and Leathwick, J.R., 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40:677-697. DOI:10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159

Forrester, D.I., 2014. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *Forest Ecology and Management*, 312:282-292. DOI:10.1016/j.foreco.2013.10.003

Harrod, C., 2015. Climate change and freshwater fisheries. *Freshwater Fisheries Ecology*, 641-694

Hejazi, M., Rahimi, R., Vatandoost, S., Mostafavi, H. and Babaei, S., 2023. Prediction of climate change impact on the members of *Capoeta damascina* species group in Central Zagros, Iran. *International Journal of Aquatic Biology*, 11(4): 354-362.

Hershey, H., DeVries, D.R., Wright, R.A., McKee, D. and Smith, D.L., 2022. Evaluating fish passage and tailrace space use at a low-use low-head lock and dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, 151(1), 50-71.

Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J. and Elith, J., 2017. Dismo: Species distribution modeling. *R Package Version*, 1(4):1-1.

Jouladeh-Roudbar, A., Ghanavi, H.R. and Doadrio, I., 2020. Ichthyofauna from Iranian freshwater: Annotated checklist, diagnosis, taxonomy, distribution and conservation assessment. *Zoological Studies*, 59. DOI:10.6620/ZS.2020.59-21

Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. and Abdoli, A., 2016. Atlas of Inland Water

Fishes of Iran. *Iran Department of Environment Press*, Iran. 234 P. [In Persian].

Kelly, M.W., Sanford, E. and Grosberg, R.K., 2012. Limited potential for adaptation to climate change in a broadly distributed marine crustacean. Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 279(1727):349-356. DOI:10.1098/rspb.2011.0542

Lam, V.W., Allison, E. H., Bell, J.D., Blythe, J., Cheung, W.W., Frölicher, T.L. and Sumaila, U.R., 2020. Climate change, tropical fisheries and prospects for sustainable development. *Nature Reviews Earth and Environment*, 1(9):440-454. DOI:10.1038/s43017-020-0071-9

Leadley, P., 2010. Biodiversity scenarios: projections of 21st century change in biodiversity, and associated ecosystem services: a technical report for the global biodiversity outlook 3. Number 50. UNEP/Earthprint.

Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A. and Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 145-151.

Lovejoy, T.E. and Hannah, L.J., 2006. Climate change and biodiversity. Yale University Press, New Haven, CT. Millennium Ecosystem Assessment. 2005a. Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis, edn. Island Press, Washington D.C. 155 P.

Makki, T., Mostafavi, H., Matkan, A. and Aghighi, H., 2021. Modelling climate-change impact on the spatial distribution of *Garra rufa* (Heckel, 1843) (Teleostei: Cyprinidae). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45, 795-804. DOI:10.1007/s40995-021-01088-2

Makki, T., Mostafavi, H., Matkan, A.A. and Aghighi, H., 2021. The effects of climate change on the distribution of an invasive fish in Iran: *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859). *Journal of Applied Ichthyological Research*, 9(1):1-10. DOI:10.22034/ijab.v11i4.1498

Makki, T., Mostafavi, H., Matkan, A.A., Aghighi, H., Valavi, R., Chee, Y.E. and Teimori, A., 2023. Impacts of climate change on the distribution of riverine endemic fish species in Iran, a biodiversity hotspot region. *Freshwater Biology*, 68(6):1007-1019. DOI:10.1111/fwb.14081

Makki, T., Mostafavi, H., Matkan, A.K., Valavi, R., Hughes, R.M., Shadloo, S., Aghighi, H., Abdoli, A., Teimori, A., Eagderi, S. and 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

Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Feghhi, J., Dormann, C.F., Nergi, S. K. and Amiri, K., 2022. Modelling habitat preference of Caspian Kutum, *Rutilus kutum*, using non-linear habitat suitability indices and generalized additive models. *Regional Studies in Marine Science*, 56, 102715. DOI:10.1016/j.rsma.2022.102715

Moss, B., Hering, D., Green, A.J., Aidoud, A., Becares, E., Beklioglu, M., Bennion, H.,

Boix, D., Brucet, S. and Carvalho, L., 2009. Climate change and the future of freshwater biodiversity in Europe: a primer for policy-makers. *Freshwater Reviews*, 2(2):103-130.

Mostafavi, H., Mehrabian, A. R., Teimori, A., Shafizade-Moghadam, H. and Kambouzia, J., 2021. The ecology and modelling of the freshwater ecosystems in Iran. Tigris and Euphrates rivers: Their environment from headwaters to mouth. pp. 1143-1200. DOI:10.1007/978-3-030-57570-0_52

Mostafavi, H., Pletterbauer, F., Coad, B.W., Mahini, A.S., Schinegger, R., Unfer, G. and Schmutz, S., 2014. Predicting presence and absence of trout (*Salmo trutta*) in Iran. *Limnologica*, 46:1-8. **Mostafavi, H., Rashidian, D.M. and Valavi, R., 2019.** Modelling the effects of climate change on the distribution of Kura bleak (*Alburnus filippii* Kessler, 1877) on the Iranian scale. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 6(4):1-12. (In Persian)

Mostafavi, H., Schinegger, R., Melcher, A., Moder, K., Mielach, C., Schmutz, S., 2015. A new fish-based multi-metric assessment index for cyprinid streams in the Iranian Caspian Sea Basin. *Limnologica*, 51:37-52. DOI:10.1016/j.limno.2014.10.006

Mostafavi, H., Teimori, A., Schinegger, R. and Schmutz, S., 2019. A new fish based multi-metric assessment index for cold-water streams of the southern Caspian Sea Basin in Iran. *Environmental Biology of Fishes*, 102, 645-662. DOI:10.1007/s10641-019-00860-z

Mostafavi, H., Valavi, R., Rashidian, M. and Makki, T., 2017. Prediction climate change effects on the Iranian Sturgeon fishes (Acipenseridae) distribution under different climatic scenarios. The Fifth Iranian Conference of Ichthyology, Islamic Azad University of Babol, Iran. (In Persian)

Mousavi-Sabet, H., Vasil'eva, E.D., Eagderi, S., Vasil'ev, V.P., Vatandoust, S. and Abbasi, K., 2023. Ichthyodiversity and abundance of fishes in Masule River, the southern Caspian Sea basin. *Journal of Aquaculture Sciences*, 11(20):185-197. (In Persian)

Olden, J.D., 2016. Challenges and opportunities for fish conservation in dam-impacted waters. *Conservation of Freshwater Fishes*, 107-148.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E. and Blair, M.E., 2017. Opening the black box: An open-source release of MaxEnt. *Ecography*, 40(7):887-893. DOI:10.1111/ecog.03049

Poulos, H.M., Chernoff, B., Fuller, P.L. and Butman, D., 2012. Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes. *Aquatic Invasions*, 7(1):59–72.

Rezaei, M., Pazira, A., Mostafavi, H., Teimori, A. and Amiri, F., 2024. Modeling the impacts of climate change on the distribution of the Song fish *Luciobarbus esocinus* under various climate scenarios. *Environmental Sciences*, 22(2):197-210. DOI: 10.48308/envs.2024.1322

Rolls, R.J., 2011. The role of life-history and location of barriers to migration in

the spatial distribution and conservation of fish assemblages in a coastal river system. *Biological Conservation*, 144(1), 339-349.

Román-Palacios, C. and Wiens, J.J., 2020. Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(8):4211-4217.

Sutela, T., Vehanen, T., Jounela, P., Aroviita, J. and Lehtonen, T.K., 2023. Species–environment relationships, clusters, and thermal ranges of fish species inhabiting boreal rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 81(1):52-62. DOI:10.1139/cjfas-2023-0016

Tabasinezhad, N., Mosavi Sabet, H. and Mostafavi, H., 2023. Modeling the distribution of *Rutilus kutum* (Nordmann, 1840) under climate changes, over the next 30 and 60 years. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 32(5):49-61. DOI:10.22092/isfj.2024.130685

Team, R.C., 2020. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical. Computing. Vienna, Austria. www.r-project.org

Valavi, R., Shafizadeh-Moghadam, H., Matkan, A., Shakiba, A., Mirbagheri, B. and Kia, S.H., 2019. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches. *Theoretical and Applied Climatology*, 137:1015-1025. DOI:10.1007/s00704-018-2625-z

Yousefi, M., Jouladeh-Roudbar, A. and 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

Yousefi, M., Naderloo, R. and Keikhosravi, A., 2022. Freshwater crabs of the Near East: Increased extinction risk from climate change and underrepresented within protected areas. *Global Ecology and Conservation*, 38(e02266):1-10. DOI:10.1016/j.gecco.2022.e02266

Zurell, D., Zimmermann, N.E., Gross, H., Baltensweiler, A., Sattler, T. and Wüest, R.O., 2020. Testing species assemblage predictions from stacked and joint species distribution models. *Journal of Biogeography*, 47(1):101-113. DOI:10.1111/jbi.13608

Predicting impacts of climate change on Bulatmai barbel (*Luciobarbus capito*) distribution in the rivers of the southern part of the Caspian Sea basin

Farzi R.[1]; Mousavi Sabet S.H.[1*]; Mostafavi H.[2*]

*mosavii.h@gmail.com; hmostafaviw@gmail.com

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran
1-Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Introduction

Today, the phenomenon of climate change has become one of the biggest challenges and serious threats to the biodiversity of aquatic ecosystems (Mostafavi *et al*., 2017). Based on studies, climate change has already affected the distribution of aquatic life (Lam *et al.*, 2020; Alegria *et al*., 2023). Due to the role of human factors, this phenomenon is occurring with a greater speed and intensity, therefore species and ecosystems may not have enough time to adapt and harmonize with environmental changes (Lovejoy and Hannah, 2006) and Finally, it is possible with changes in species communities (Zurell *et al*., 2020), spatial and temporal changes in the level of species interactions (Kelly *et al*., 2012; Forrester, 2014), displacement of ecological niches and distribution basins (Bellard *et al.*, 2012) as well as extinction or adaptation of species (Román-Palacios *et al*., 2020). The results of studies show that during the next few decades, climate change can be one of the biggest threats to biodiversity in the world (Mostfavi *et al.*, 2014, 2015; Makki *et al.*, 2023). In addition, changes in the distribution of species, population and structure of communities will bring many threats in the future (Moss et al., 2009). During the last century, the most vulnerable habitats to climate change were freshwater ecosystems (Bouska *et al.*, 2015). The decrease in river flow, the decrease in rainfall, and the increase in temperature in these ecosystems have all had negative consequences on freshwater fish (Harrod, 2015).

Methodology

The studied area is the rivers of the southern basin of the Caspian Sea, which has native species with economic and fishery value. In this study, attendance method was used for modeling. Environmental and climatic data used for modeling including habitat and climatic data were extracted from reliable foreign sites such as www.worldclim.org and internal (from domestic organizations such as natural resources and environment). In this connection, 9 variables include the maximum width of the river, Elevation, slope, Flow Accumulation, temperature range, average The average temperature, the average minimum temperature, the average maximum temperature and (Ave-Precipitation) were considered as primary variables, which after performing the Spearman correlation test If two variables have a correlation above 75%, one of them is selected according to the expert opinion and according to the ecological needs of the species (Mostafavi *et al.*, 2014; Makki *et al*., 2023) (Fig. 1).

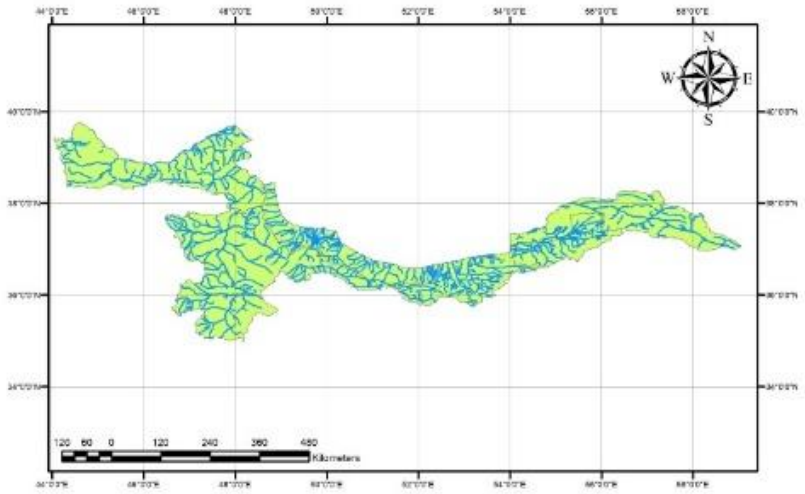


Figure 1: Iranian rivers in the southern basin of the Caspian Sea (Arc GIS ver. 10.8)

Then species distribution modeling using MaxEnt model (Phillips *et al.*, 2017) in R v3.2.3 software environment (R Core Team, 2020) and dismo v1.1-4 software package (Hijmans *et al.*, 2017) was done. In order to evaluate the accuracy of the model performance and modeling results, the area under the curve (AUC) (Table 1) of the system performance characteristic (ROC) was calculated (Lobo *et al.*, 2008). According to the range of AUC between 0 and 1, values less than 0.5 indicate random prediction performance and 1 values with perfect prediction. In fact, values less than 0.5 indicate inappropriate models (Elith *et al*., 2009). Also, using the jackknife test, the variable that had the greatest effect in determining the distribution of the studied species was determined. Finally, the distribution map of big fish sauce in the Caspian watershed was produced under climate scenarios in 2050 and 2080 (Tables 1 and 2).

Table 1: A quantitative and qualitative classification of model performance based on the AUC index

Model performance	Value AUC
Very Poor	0.6-0.7
Poor	0.7-0.8
Good	0.8-0.9
Excellent	0.9-1

Table 2: How to measure changes in species distribution range

Parameter	Gain (%)	Loss (%)	Range of change in distribution
Formula	Gain/NC * 100	Loss/NC *100	Loss (%) _Gain (%)

The amount of rivers or stable habitats: (Stable), the amount of lost rivers or habitats: (Loss), the amount of rivers or habitats that have favorable habitats: (Gain), current distribution Types: NC (Stable + Loss)

Results

Model performance: According to the results of the performance evaluation of the MaxEnt model using the AUC index, the model performance for the species *L. capito* was at an excellent level (AUC = 0.922), so the results of this model show that it has excellent ability in predicting the distribution of large-bodied fish (large-bodied fish, steelhead fish, fish, yellowtail) in the southern basin of the Caspian Sea (Fig. 2). Importance of variables: Based on the results, the annual precipitation variable (BIO12) is more important than other variables in determining the distribution of this species (Fig. 3). Species distribution prediction:

According to Table (3), the potential distribution of L. capito species is affected by RCP2.6 and RCP8.5 climate scenarios in the years 2050 and 2080, and these changes are increasing.

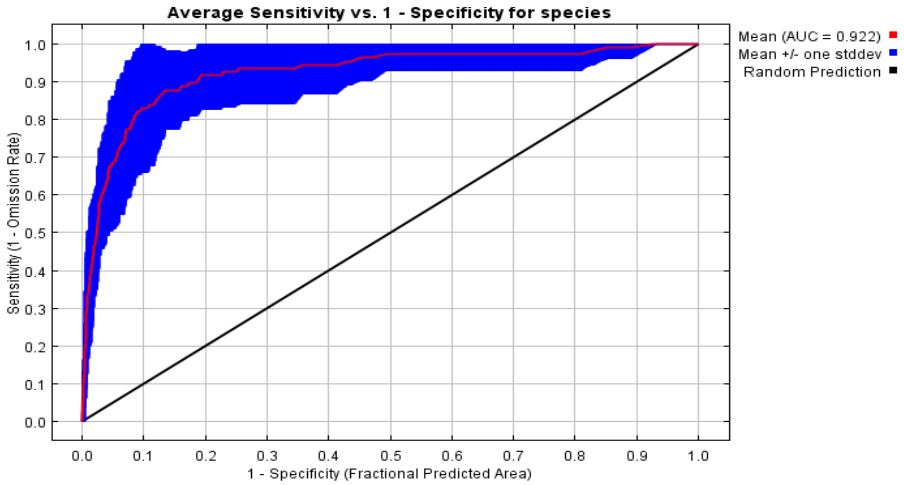


Figure 2: Receiver operating characteristic (ROC) curve and AUC index

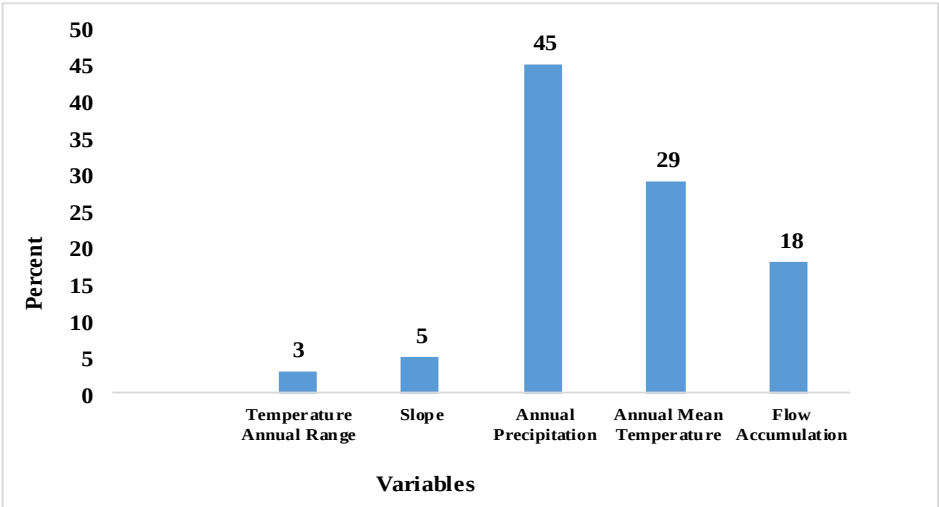


Figure 3: Variables relative importance for distribution of *Luciobarbus capito*

Table 3: Percentage of gain, loss, and range change of species under scenarios for 2050 and 2080

Species	Climate scenarios	RCP2.6		RCP8.5	
	Time period	2050	2080	2050	2080
L. capito	Loss (%)	-51.97	-55.16	-50.88	-47.76
	Gain (%)	24.91	27.09	33.21	36.04
	Range of change in distribution	-27.06	-28.07	-17.66	-11.71

Discussion and conclusion

In response to the phenomenon of climate change, species usually choose one of four scenarios: a decrease in habitat desirability, an increase in habitat desirability, both a decrease and an increase in habitat desirability, or no change in habitat (Carosi *et al*., 2019; Yousefi *et al*., 2020). Also, the results showed that annual rainfall, average annual temperature and cumulative flow are the main factors affecting the distribution of this species, and these factors will reduce the favorable habitat of fish sauce in the scenarios

of 2050 and 2080 in both optimistic and pessimistic scenarios. According to the present results, the percentage of unfavorable habitats is more than favorable and the species will be forced to migrate to new places. Of course, this success in changing location or migration depends on various factors such as the suitability of the physical and biological conditions of the habitat and the continuity of the river (Mostafavi *et al*., 2015, 2019). This is despite the fact that the natural condition of the rivers of the southern Caspian basin, according to the studies of researchers in the last few decades, has been affected by factors such as climate change, population increase, excessive use of running and underground water for the expansion of agriculture. , construction of dams in the migration path of freshwater fish, overfishing of some species of fish, overtaking of sand from the riverbed (destruction of the habitat), increase in environmental pollution, lack of a plan Environmental management as well as the introduction of non-native species have caused double pressure on aquatic ecosystems, and all these issues have caused a lot of habitat changes and limited the habitat and biodiversity of many fish in the rivers of the southern Caspian basin. (Mostafavi *et al*., 2015 and 2019; Mousavi-Sabet *et al*., 2023; Abbasi *et al*., 2023). As a result, the fish will have less chance to reach the right part of the river. Therefore, it is necessary to reduce all the obstacles and problems in the way of this type with local value and proper management, and also with proper protection strategies in each region to facilitate the migration and movement of freshwater fish in the rivers. (Mostafavi *et al*., 2022). If the species does not adapt and migrate to the changes in ecosystems, the species will be doomed to extinction (Bednarek and Mołoniewicz, 2023; Makki *et al*., 2023). It is important that the managers do the necessary planning to solve these problems Although today the main cause of species extinction is habitat destruction, it seems that the first factor in the next few decades will be climate change (Leadley, 2010). The results of most studies show that each of the fish species show a specific reaction to the environmental changes resulting from climate change, according to the initial conditions of their ecosystems, which in each species can be different (Buisson *et al*., 2008; Carosi *et al*., 2019). These changes in potential distribution can be different for each species due to specific ecological characteristics, their needs, as well as diversity in climatic scenarios (Moëzzi *et al.*, 2022). As can be seen, usually different species show different reactions apart from being under threat, exclusive nativeness, non-nativeness, which is probably related to their inherent and genetic characteristics. Mustafavi *et al*., 2017). In addition, another very important point that should be noted is that uncertainty in modeling must be considered for all studies and species, which will include: - Sampling with precision and standard methods (such as Mostafavi *et al.*, 2015, 2019) - Using more points in modeling - Use of more accurate and new variables - Using different modeling methods and comparing the results The present study has shown the effect of climate change on the distribution of large fish sauce in the Caspian Sea. Considering that the studied species is in the UV category in the IUCN list and is one of the valuable species of the Caspian Sea basin, the policy makers and managers of the country's fisheries institute can make use of the information of such studies. Identify the distribution of native, sensitive, endangered and economic species and prevent their extinction by restoring their habitat and adopt and implement a suitable strategy to preserve the reserves of these species.