

مقاله علمی - پژوهشی:

مدل سازی 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 پذیرش: مهر ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: خرداد 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 دریای 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 بالایی (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) پیش‌بینی شده 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 تصمیم‌گیرندگان 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 مطالعاتی برای سایر گونه‌های حوضه‌های ایران می‌تواند به حفاظت از تنوع زیستی ارزشمند کشور در برابر تهدیدات مختلف به‌خصوص تغییر اقلیم کمک موثری نماید.

کلمات 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 بزرگ ترین چالش ها و تهدیدات جدی تنوع زیستی اکوسیستم های 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 گونه ها و اکوسیستم ها فرصت کافی برای سازگاری و هماهنگی با تغییرات محیطی را نداشته باشند (Lovejoy and Hannah, 2006) و در نهایت با تغییرات در جوامع گونه ها (Zurell et al., 2020)، تغییرات مکانی و زمانی در سطح فعل و انفعالات گونه ها (Kelly et al., 2012; Forrester, 2014)، جابه جایی آشیان های اکولوژیک و حوضه پراکنش (Bellard et al., 2012) و انقراض یا سازگاری گونه ها (Román-Palacios et al., 2020)، رخ دهد. نتایج مطالعات نشان می دهد که در طول چند دهه آینده، تغییرات اقلیمی می تواند یکی از بزرگ ترین تهدید تنوع زیستی در جهان باشد (Mostfavi et al., 2014; Makki et al., 2023). به علاوه، تغییراتی که در توزیع گونه ها، جمعیت و ساختار جوامع ایجاد می شود، تهدیدات متعددی را در آینده به همراه خواهد داشت (Moss et al., 2009). در طول قرن گذشته، آسیب پذیرترین زیستگاه ها در برابر تغییرات اقلیمی، اکوسیستم های آب شیرین بودند (Bouska et al., 2015). کاهش دبی رودخانه ها، کاهش بارندگی و افزایش دما در این اکوسیستم ها همگی پیامدهای منفی بر ماهیان آب شیرین داشته اند (Harrod, 2015). پیش بینی این که چگونه گونه های آب شیرین و بومی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار می گیرند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا آنها فقط در مناطق جغرافیایی محدود زیست می کنند و نسبت به تغییرات محیطی حساس تر و آسیب پذیرترند و اغلب ممکن است ارزش اقتصادی و اکولوژیک بالایی داشته باشند (Arthington, 2016; Mostafavi et al., 2015, 2017, 2023). (2019, 2021; Makki et al., 2023).

سس ماهی بزرگ (زرده پر) (Güldenstaedt, 1773) *Luciobarbus capito* یکی از گونه های حوضه خزر که دارای ارزش اقتصادی و ورزشی است (Jouladeh Roudbar et al., 2020). این گونه معمولاً آب های گرم، با عمق زیاد و آرام با بستر سنگریزه ای یا شنی را ترجیح می دهد. نمونه های بزرگ این ماهی از ماهی های کوچکتر و قورباغه ها تغذیه می کنند (Keivany et al., 2016). نمونه های کوچک از سخت پوستان، حشرات و نرم تنان تغذیه می کنند (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 گزارش های ارائه شده، سس ماهی بزرگ در طبقه VU (آسیب پذیر) قرار دارد (Keivany et al., 2016; Jouladeh-Roudbar et al., 2020). همچنین این گونه برای بقا به اکوسیستم های رودخانه ای وابسته است و در واقع، برای تخم ریزی به رودخانه های شرق تا غرب حوضه خزر در کشورمان مهاجرت می نماید (Keivany et al., 2016; Coad, 2021).

مدل سازی توزیع گونه ها (SDM)^۱ ابزار کمی برای توصیف رابطه بین گونه ها و محیط آنهاست و معمولاً برای بررسی اثرات احتمالی تغییرات محیطی بر توزیع فضایی گونه ها مورد استفاده قرار می گیرد (Elith and Leathwick, 2009). از نظر اکولوژی ماهی، دانشمندان از این روش برای ارزیابی اثرات تغییر زیستگاه (Makki et al., 2021)، زیستگاه های مناسب (Sutela et al., 2023)، احتمال تهاجم گونه ها (Poulos et al., 2012) و روابط بین گونه های مختلف و محیط های آنها استفاده می کنند (Valavi et al., 2019). با این حال، عمدتاً به دلیل فعالیت و تهدیدات انسانی جمعیت این گونه ها در رویشگاه های اصلی آنها رو به کاهش است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی چگونگی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات اقلیم بر پراکنش سس ماهی بزرگ (زرده پر) (*L. capito*) در رودخانه های حوضه جنوبی دریای خزر تحت رویکردهای مختلف تغییر آب و هوایی در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ انجام پذیرفت.

¹ Species distribution modelling (SDM)

مواد و روش کار

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 مدل سازی پراکنش گونه با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) (Phillips *et al.*, 2017) در محیط نرم افزاری R v3.2.3 (R Core Team, 2018) و بسته نرم افزاری dismo v1.1-4 (Hijmans *et al.*, 2017) انجام شد. جهت ارزیابی صحت عملکرد مدل و نتایج مدل سازی، ناحیه زیر منحنی (AUC) (جداول ۱ و 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 پیش بینی تصادفی و مقادیر ۱ با پیش بینی کامل را نشان می دهند. در واقع، مقادیر کمتر از ۰/۵ نشانگر مدل های 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 سال های 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 مدل سازی 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).

منطقه مورد مطالعه، رودخانه های حوضه جنوبی دریای خزر است که دارای گونه های بومی با ارزش اقتصادی و شیلاتی است (شکل ۱). در این مطالعه برای انجام مدل سازی از روش حضور استفاده شد. داده های محیطی و اقلیمی مورد استفاده برای مدل سازی شامل داده های زیستگاهی و اقلیمی از سایت های معتبر خارجی مانند www.worldclim.org و داخلی (از سازمان های داخل کشور همچون منابع طبیعی و محیط زیست) استخراج شدند. در این ارتباط، ۹ متغیر شامل بیشترین عرض رودخانه^۱، ارتفاع^۲، شیب^۳، جریان تجمعی^۴، میانگین اختلاف دمای سردترین و گرم ترین ماه سال (رنج 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 می گردد (Mostafavi *et al.*, 2014; Makki *et al.*, 2023).

متغیرهای اقلیمی برای مدل سازی آینده

براساس رویکرد RCP 2.6 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO₂ 650 ppm، میزان جمعیت ۸/۷ میلیارد نفر) به عنوان رویکرد خوش بینانه 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

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)

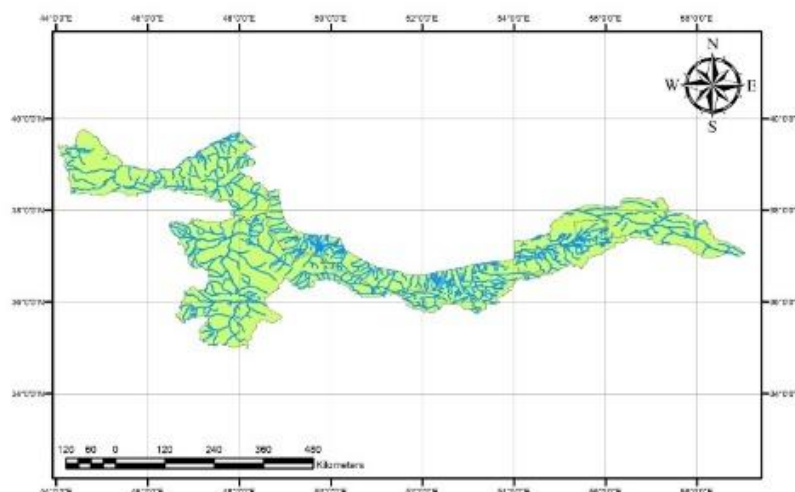
¹² Gas chromatography-mass spectrometry (GCMs)

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)

این گونه در انتخاب زیستگاه مناسب هستند (شکل ۳).

پیش‌بینی پراکنش گونه

بر اساس پیش‌بینی‌های مدل شده، مشخص شد که این گونه احتمالاً در آینده در تمامی سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه ۲۰۵۰ 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 این گونه در محیط مطلوب نشان داده شده است.

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

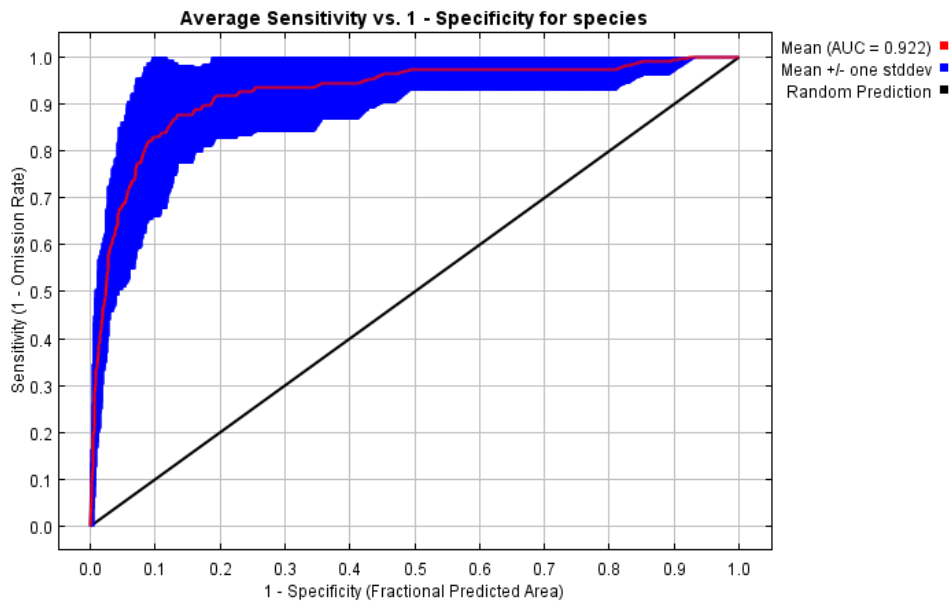
جدول ۲: نحوه اندازه‌گیری تغییرات گستره پراکنش گونه‌ها

Table 2: How to measure changes in species distribution range

Parameter	Gain (%)	Loss (%)	Range of change in distribution
Formula	$\text{Gain/NC} * 100$	$\text{Loss/NC} * 100$	$\text{Loss} (\%) - \text{Gain} (\%)$

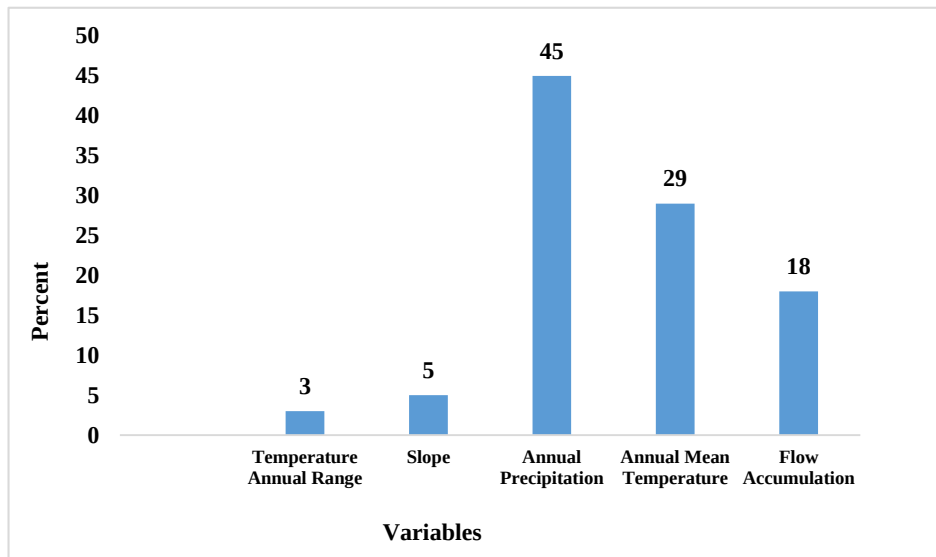
میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌های پایدار: (Stable)، میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌های از دست‌رفته: (Loss)، میزان رودخانه‌ها یا زیستگاه‌هایی که زیستگاه مطلوب دارند: (Gain)، توزیع کنونی گونه‌ها: (Stable + Loss)

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

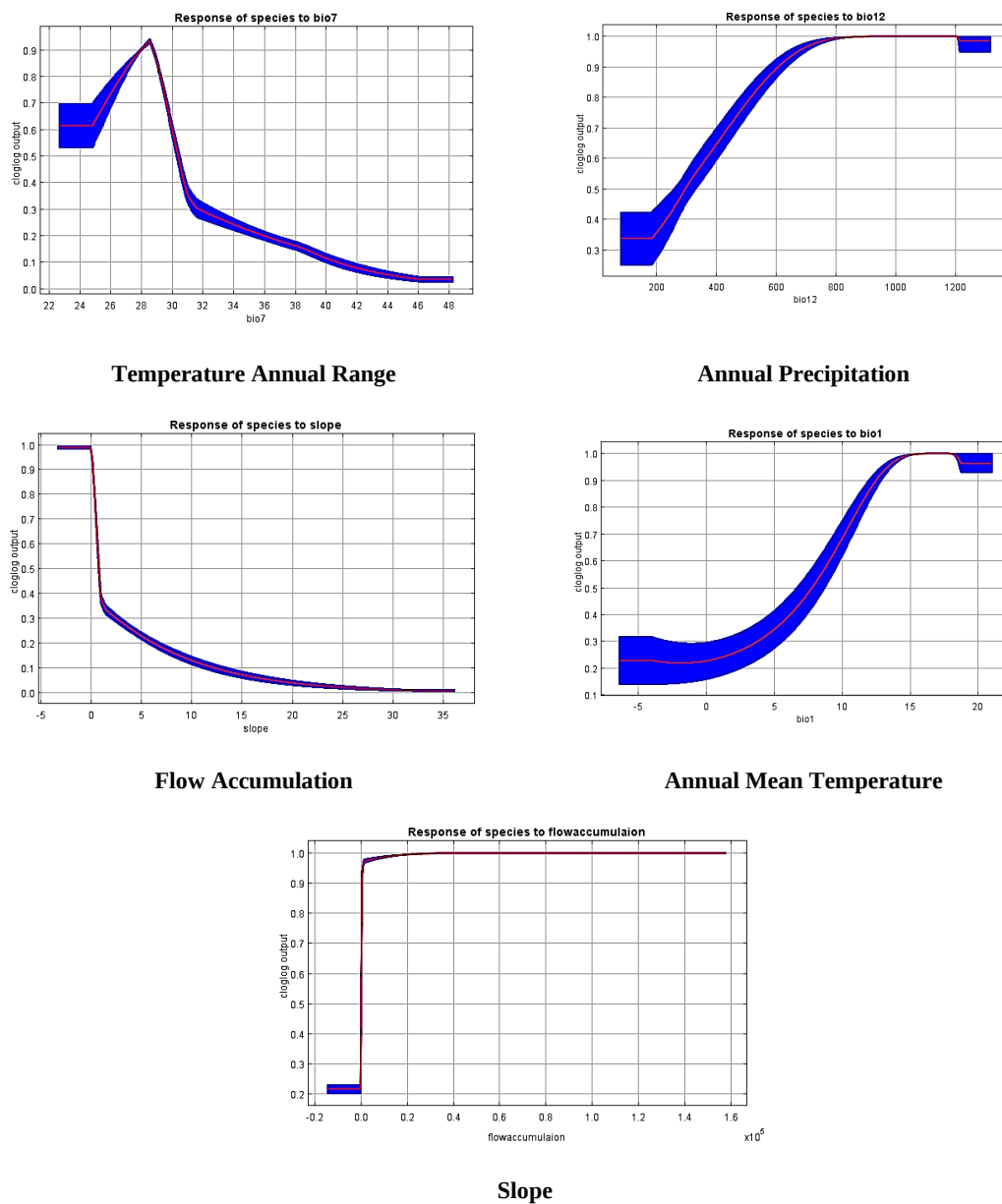
Figure 3: Variables relative importance for distribution of *Luciobarbus capito*

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

RCP 8.5 و RCP 2.6

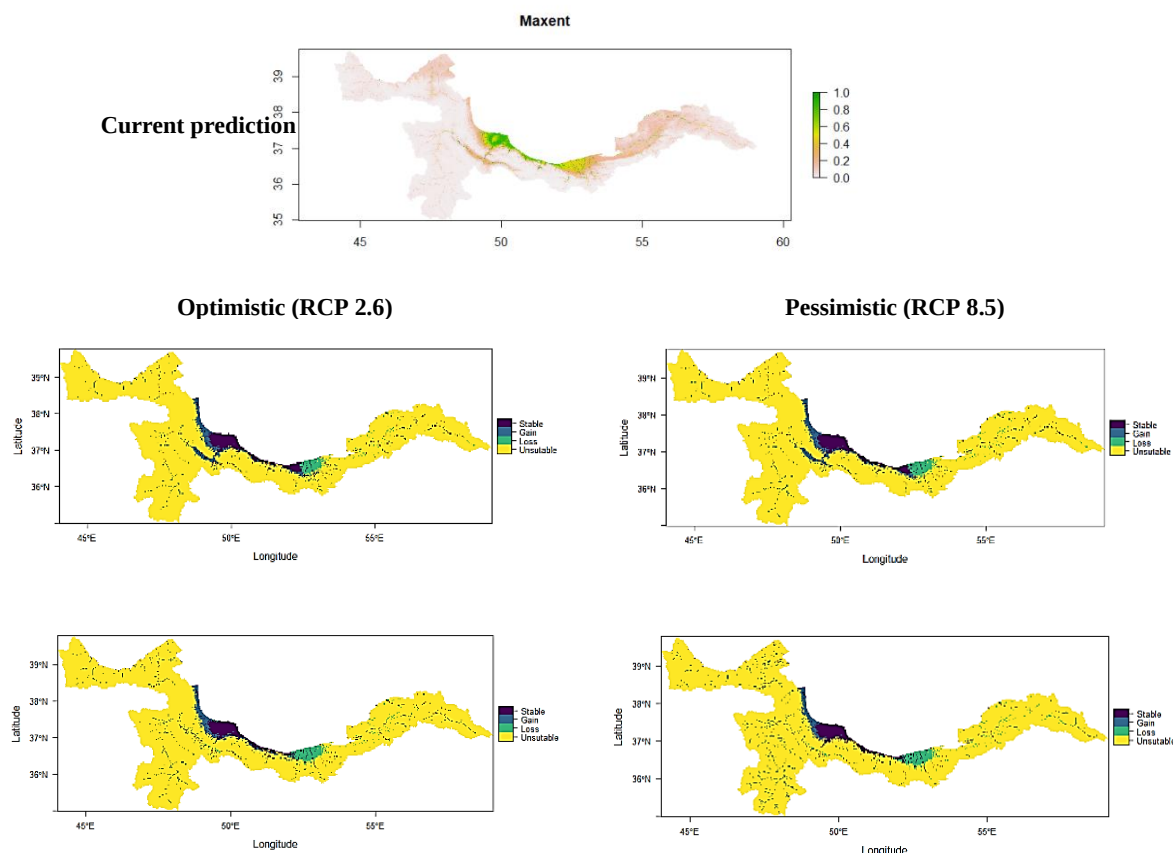
Table 3: Percentage of gain, loss, and range change of species under scenarios for 2050 and 2080

Species	Climate scenarios		RCP2.6		RCP8.5	
	Time period		2050	2080	2050	2080
<i>L. capito</i>	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



شکل ۴: منحنی پاسخ متغیرها 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 به دست آمده؛ Loss: گستره زیستگاه‌های مطلوب از دست رفته؛ 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

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

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

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 این که 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 به نظر 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 تأثیرات 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 تأثیرگذارترین 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.

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 این گونه با ارزش 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 این که 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

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 به ترتیب دارای بیشترین کاهش گونه خواهند بود (Makki et al., 2023). Tabasinezhad و 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 معیار AUC، عالی (۰/۹۸۹) بود. همچنین دمای متوسط سالانه و شیب به ترتیب مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر در تعیین پراکنش این گونه است. به علاوه، 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 مدل‌سازی 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 به دست 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 پیش‌بینی 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).

همان‌طوری که 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). به علاوه، 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

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 Moloniewicz, 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., Whitley, 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.

- استفاده از روش های مختلف مدل سازی و مقایسه نتایج به علاوه، باید در آینده با تکمیل داده ها و به روز نمودن داده ها و روش ها، این مدل سازی ها 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 داده های حضور بوده است و می تواند برای برنامه ریزی رویکردهای مدیریت آینده مفید باشد، با توجه به این واقعیت که مدل های آب و هوایی اثرات قوی بیشتری را بر ماهی های آب شیرین پیش بینی می کنند. به طور خاص، راهبردهای حفاظتی که می توان برای حفاظت از تنوع زیستی ماهی تحت تأثیرات ناشی از آب و هوا پیشنهاد کرد شامل: (الف) حفظ جریان اکولوژیک درحالی که تنوع طبیعی نرخ جریان برای حفظ زیستگاه مناسب برای زندگی ماهیان آب شیرین ضروری است، (ب) احیاء اتصال رودخانه ها به منظور ایجاد فرصت برای گونه های 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 مجموعه های مستقل حفظ می شوند و نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی ایفاء می کنند، (ت) بهبود کیفیت آب در رودخانه های آلوده برای کاهش عوامل تنش زای 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 فعالیت های انسانی، به نحوی مسئول تغییرات اقلیمی است که تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر اکوسیستم های آب شیرین دارد. با توجه به این که گونه مورد مطالعه در فهرست IUCN در طبقه UV قرار دارد و جزو گونه های با ارزش حوضه دریای خزر است، سیاست گذاران و مدیران موسسه شیلات کشور با بهره گیری از اطلاعات این چنین مطالعاتی می توانند از وضعیت پراکنش گونه های 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 گونه ها اتخاذ و عملی نمایند.

- 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.** Ippcc. 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., Fegghi, 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).

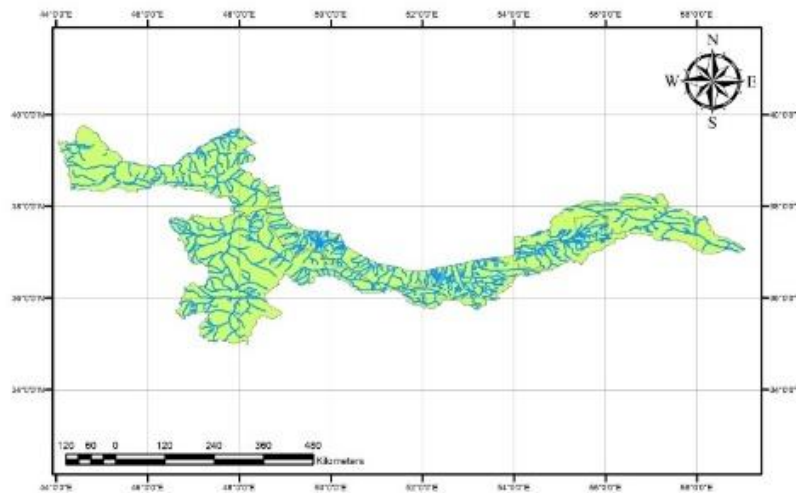


Figure 1: Iranian rivers in the southern basin of the Caspian Sea (Arc GIS ver. 10.8)

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.

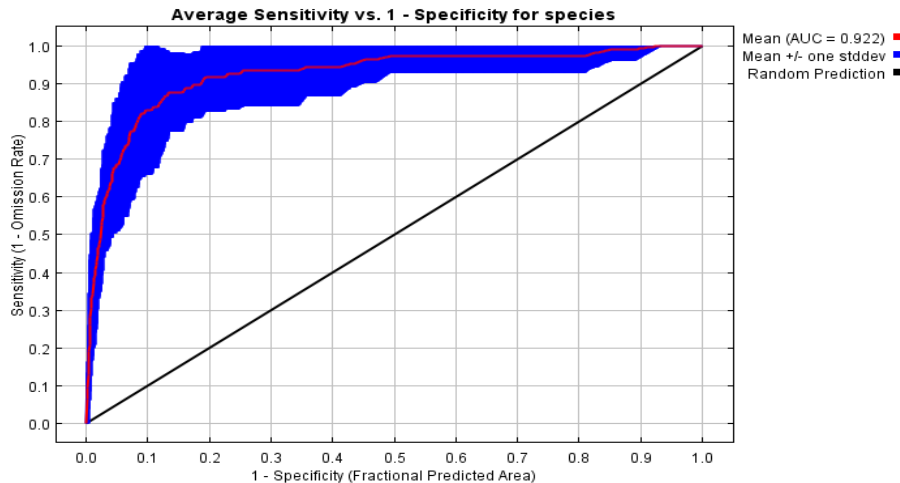


Figure 2: Receiver operating characteristic (ROC) curve and AUC index

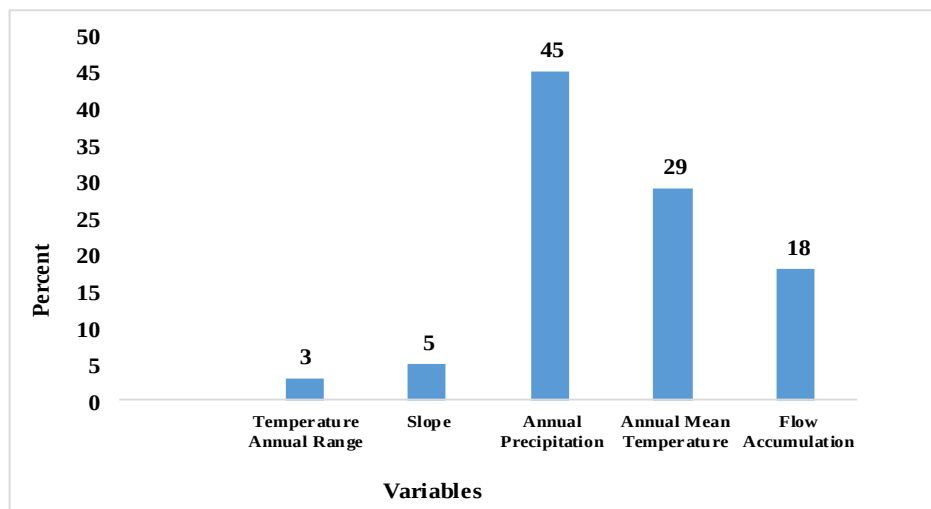


Figure 3: Variables relative importance for distribution of *Luciobarbus capito*

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
<i>L. capito</i>	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.