Journal of Aquaculture Sciences 12(22): 39-48 (2024)
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

نشریه علوم آبزی‌پروری
دوره ۱۲، شماره ۲۲: ۳۹-۴۸ (۱۴۰۳)

مدل‌سازی محدوده پراکنش ماهی کلمه *Rutilus lacustris* (Pallas, 1814) تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰

نجمه طبسی‌نژاد، سید حامد موسوی ثابت[۱]، حسین مصطفوی[۲*]

[۱]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
[۲]گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵**

چکیده

با توجه به نقش ویژه اکوسیستم‌های آب شیرین و گونه‌های آبزی در پایداری امنیت غذایی و معیشت جوامع محلی، ارزیابی و حفاظت از این سرمایه‌های طبیعی از اهمیت خاصی برخوردار است. مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی پراکنش آینده ماهی کلمه (*Rutilus lacustris*) در دو سناریوی خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با استفاده از مدل مکسنت صورت گرفت. در این مطالعه، از مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده توسط نویسندگان و منابع علمی مختلف در دسترس مربوط به یک بازه زمانی ۵۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۷۰میلادی) استفاده گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده، عملکرد مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه براساس معیار (Area Under the Curve) AUC عالی (۰/۹۱۰) ارزیابی شد. همچنین براساس نتایج آزمون جک‌نایف، از بین متغیرهای انتخاب شده برای مدل‌سازی، محدوده دمای سالیانه (۵۴/۷ درصد) بیشترین تأثیر را در تعیین محدوده پراکنش این ماهی داشت. به‌علاوه، نتایج مدل‌سازی نشان داد که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پراکنش این گونه در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه و در هر دو سال ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، به‌صورت قابل توجهی کاهش پیدا خواهد کرد. در این خصوص، بیشترین درصد کاهش معادل ۶۲/۰۵ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شد. بنابراین، کنترل و کاهش اثرات تغییر اقلیم در جهت جلوگیری از تخریب و نابودی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و حفظ ماهیان خوراکی با ارزش، امری ضروری می‌باشد.

کلید واژگان: ماهیان خوراکی، تغییر اقلیم، مدل مکسنت، مطلوبیت زیستگاه، حفاظت

*نویسنده مسئول hmostafaviw@gmail.com

مقدمه

اکوسیستم‌های آب شیرین از اهمیت بالایی برخوردار بوده (Mousavi-Sabet *et al*., 2021; Visser *et al*., 2023) و خدمات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف به بشر ارائه می‌دهند، بنابراین حفظ و بازیابی تمام آب‌های سطحی جهت دستیابی به وضعیت اکولوژیک ایده‌آل، دارای اهمیت ویژه‌ای است (Mostafavi *et al*., 2021). در حال حاضر، یکی از مهمترین عوامل تخریب محیط‌زیست و نابودی گونه‌ها، اتفاقاتی است که به‌دنبال تغییر در سیستم اقلیم رخ داده است (Carosi *et al*., 2019; Mostafavi *et al*., 2019). این رخداد با تغییر شرایط فیزیکو-شیمیایی موجب نابودی زیستگاه‌ها و حذف موجودات بسیاری از طبیعت شده است. براساس شواهد موجود، تغییر اقلیم به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت و معیشت انسان‌ها تأثیرگذار است (Smith *et al*., 2014). اختلال در فرآیندهای اکوسیستمی، تخریب محیط‌زیست و نابودی گونه‌ها که از پیامدهای تغییر اقلیم هستند، به‌طور غیرمستقیم سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Liu and Gao, 2020). به‌طور مثال، تخریب رودخانه‌ها و سایر بدنه‌های آبی و در نتیجه نابودی موجودات آبزی از جمله ماهیان خوراکی که جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی جوامع محلی دارند، امنیت غذایی آنها را به‌واسطه کمبود این منابع با ارزش تهدید خواهد نمود. آبزیان از جمله ماهی‌ها، یک منبع مهم غذایی برای جوامع مختلف بوده و بخش مهمی از پروتئین مصرفی آنها را تشکیل می‌دهد (شوقی و همکاران، ۱۳۹۸) با این حال، به گفته بسیاری از محققین طی سالیان اخیر با افزایش خشکسالی و کاهش منابع آبی و تخریب بستر رودخانه‌ها و محیط‌زیست، شاهد کاهش چشمگیر تعداد ماهیان خوراکی و غیرخوراکی (ماهیان خاویاری، اردک ماهی، ماهی سیم و غیره) در بدنه‌های آبی کشور بوده‌ایم (مصطفوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ موسوی ثابت و همکاران، ۱۴۰۲؛ عباسی و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، با تشدید تغییرات اقلیمی به احتمال زیاد در آینده‌ای نه‌چندان دور کاهش بسیاری از گونه‌های آبزی علاوه بر تهدید امنیت غذایی، تنوع زیستی را نیز به‌خطر خواهد انداخت. از این‌رو، ارزیابی وضعیت بدنه‌های آبی و آبزیان امری بسیار ضروری است و می‌تواند در جهت حفظ شرایط موجود و مدیریت رویدادهای آینده سودمند واقع گردد. امروزه، روش‌های پیشرفته و کاربردی بسیاری جهت انجام تحقیقات علمی تولید شده و در نتیجه محدوده اطلاعات بشر در زمینه علوم مختلف به‌شکل قابل توجهی گسترش یافته است. یکی از این تکنیک‌های سودمند که از سال‌ها پیش استفاده از آن توسط محققین مختلف (Bond *et al*., 2011; Filipe *et al*., 2013; Mostafavi *et al*., 2014; Esmaeili *et al*., 2018; Ellender and Weyl, 2019; Mostafavi and Kambouzia, 2019; Yousefi *et al*., 2020; Hosseini *et al*., 2021; Makki *et al*., 2023 a, b) آغاز شده است، مدل‌سازی وقایع آینده تحت شرایط تعریف شده‌ای می‌باشد (Franklin, 2010; Phillips *et al*., 2017) که با استفاده از آن می‌توان از اتفاقاتی که در آینده رخ خواهد داد مطلع شده و جهت کنترل آنها برنامه‌ریزی نمود. در این راستا، مدل ماکسیمم انتروپی (MaxEnt) یک روش یادگیری ماشین است که حضور یک گونه را در یک فضای جغرافیایی بدون در نظر گرفتن مکان‌های عدم حضور آن گونه، و تنها براساس نقاط حضور و متغیرهای زیست‌محیطی، پیش‌بینی می‌کند (Phillips *et al*., 2017).

ایران دارای تنوع بالایی از ماهیان بوده (Mouludi-Saleh *et al*., 2022) و تاکنون تعداد ۳۰۰ گونه ماهی از آب‌های داخلی گزارش شده است (Sayyadzadeh and Esmaeili, 2024). گونه *Rutilus lacustris* (Pallas, 1814) متعلق به خانواده Leuciscidae می‌باشد و در حوضه آبریز جنوبی دریای خزر پراکنش دارد (Eagderi *et al*., 2022). ماهی کلمه هم مهاجر و هم ساکن است و مورد صید ورزشی قرار می‌گیرد (Abbasi *et al*., 2019; Coad, 2021)، و یک گونه اقتصادی-تغذیه‌ای است که توسط بسیاری از جوامع محلی مصرف می‌گردد (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ عبدلی، ۱۳۹۵). در ایران، مطالعات متعددی با ابعاد مختلف (ساختار استخوانی، ساختار ژنتیکی، رژیم غذایی و غیره) درخصوص ماهی کلمه انجام شده است. به‌طور مثال Pourshabanan و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از آنالیزهای مولکولی به مطالعه جنس *Rutilus* در بخش جنوبی حوضه دریای خزر پرداختند. همچنین، توسعه ساختار چشم، طی مراحل اولیه رشد در گونه *R. lacustris* توسط Eagderi و همکاران (۲۰۲۱) مورد مطالعه قرار گرفت. با این حال تاکنون اثر تغییرات اقلیم بر پراکنش این ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو، در مطالعه حاضر مدل‌سازی گستره پراکنش ماهی کلمه تحت دو سناریوی اقلیمی

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

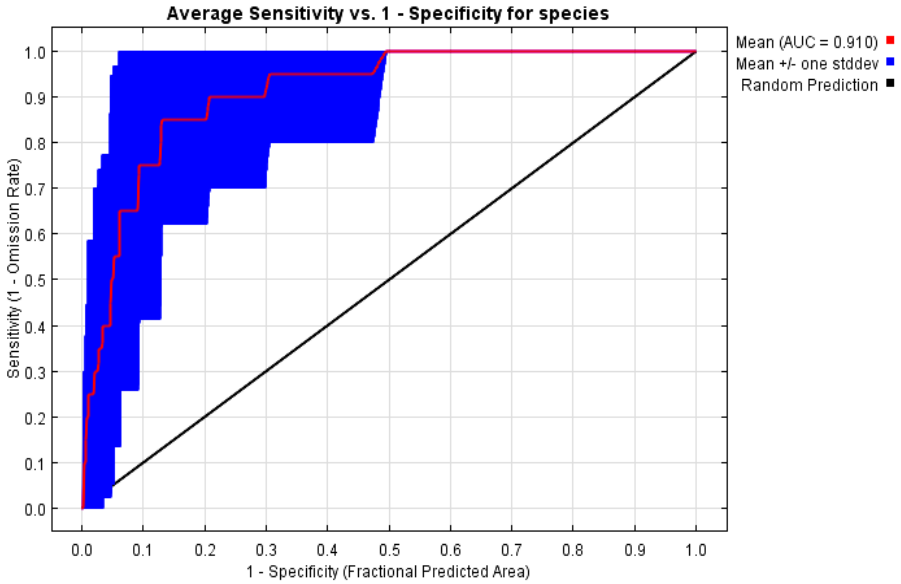
ارزش AUC	عملکرد مدل
۰/۶ -۰/۷	ضعیف
۰/۷ -۰/۸	متوسط
۰/۸ -۰/۹	خوب
۰/۹ -۱	عالی

خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در رودخانه‌های حوضه آبریز جنوبی دریای خزر جهت تعیین محدوده زیستگاه‌های آینده این ماهی انجام پذیرفت تا به این واسطه اطلاعاتی در خصوص نحوه پاسخ احتمالی این گونه به تغییر شرایط محیطی به‌دست آید و سپس با تکیه بر نتایج حاصل، تصمیم‌های لازم در راستای حفاظت از ذخایر این گونه از هم‌اکنون اتخاذ گردد.

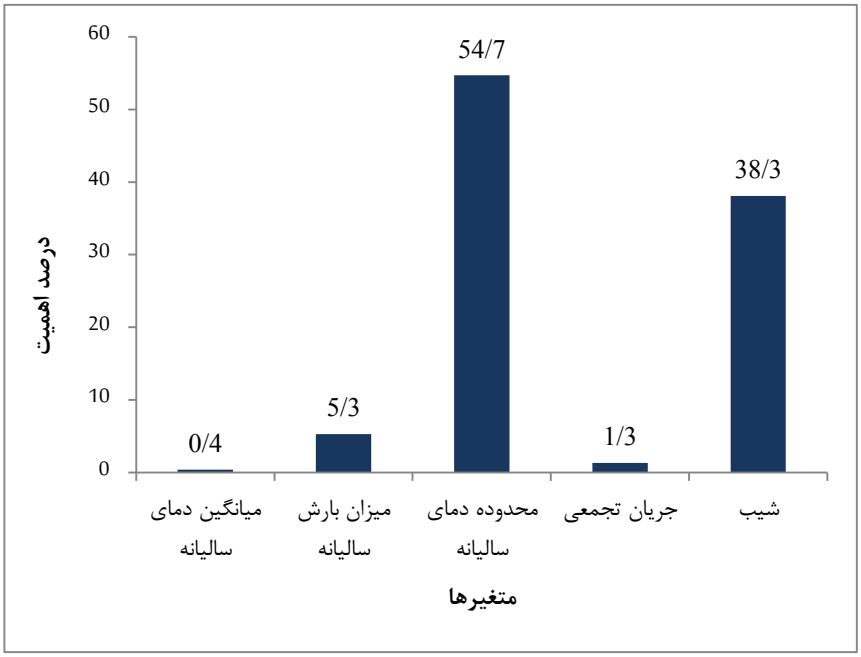
مواد و روش‌ها

این مطالعه در مقیاس رودخانه‌های حوضه آبریز جنوبی دریای خزر انجام شده است. داده‌های توزیع گونه به‌صورت داده‌های حضور (مکان‌های ثبت‌شده که گونه در آن مشاهده شده است) برای تعیین اثر تغییر اقلیم بر پراکنش ماهی کلمه مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا، پنج متغیر اقلیمی شامل میانگین دمای سالیانه (BIO1)، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال (BIO5)، حداقل دمای سردترین ماه سال (BIO6)، محدوده دمای سالیانه (BIO7)، میزان بارش سالیانه (BIO12) و سه متغیر محیطی شامل شیب (Slope)، جریان تجمعی (Flow Accumulation) و عرض رودخانه (River Width) برای این مطالعه از سایت‌های معتبر مانند www.worldclim.org استخراج و تهیه شدند. پس از آن، آزمون همبستگی اسپیرمن جهت بررسی همبستگی خطی بین متغیرها انجام شد که بر این اساس، دو متغیر که همبستگی بالای ۷۵٪ داشتند، یکی از آنها با توجه به نظر کارشناسی حذف گردید (Filipe *et al*., 2013). در مطالعه حاضر پس از آزمون همبستگی، ۵ متغیر برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند که عبارت‌اند از، میانگین دمای سالیانه (BIO1)، محدوده دمای سالیانه (BIO7)، میزان بارش سالیانه (BIO12)، شیب و جریان تجمعی. متغیرهای اقلیمی برای مدل‌سازی آینده براساس سناریوی RCP 2.6 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO_2 ۶۵۰ ppm و میزان جمعیت ۸/۷ میلیارد نفر) به‌عنوان سناریو خوش‌بینانه و سناریوی RCP 8.5 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO_2 ۱۳۷۰ ppm و میزان جمعیت ۱۲ میلیارد نفر) به‌عنوان سناریو بدبینانه (IPCC, 2014) و مدل اقلیمی گردش عمومی جو (GCMs) در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تهیه و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ver. 10.8 آماده و ویرایش شدند. داده‌های مربوط به این گونه از مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده توسط Makki و همکاران (۲۰۲۳ a, b) استخراج شد. در ابتدا داده‌ها به دو دسته داده‌های واسنجی (Calibration data) جهت مدل‌سازی و داده‌های آزمون (Test set) برای ارزیابی دقت مدل‌ها به نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد تقسیم‌بندی شدند. سپس مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از مدل MaxEnt (Phillips *et al*., 2006) در محیط نرم‌افزاری R v3.2.3 (R Core Team, 2018) و بسته نرم‌افزاری dismo v1.1-4 (Hijmans *et al*., 2017) انجام پذیرفت.

مدل ماکسیمم انتروپی (Maximum Entropy Modeling) یک روش یادگیری ماشین است که حضور یک گونه را در یک فضای جغرافیایی بدون در نظر گرفتن مکان‌های عدم حضور آن گونه، و تنها براساس نقاط حضور و متغیرهای زیست‌محیطی، پیش‌بینی می‌کند (Phillips *et al*., 2017). جهت ارزیابی صحت عملکرد مدل و نتایج مدل‌سازی، ناحیه زیر منحنی (AUC) (جدول ۱) منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) محاسبه شد (Elith *et al*., 2006). دامنه AUC بین ۰ و ۱ است. مقادیر کمتر از ۰/۵ عملکرد پیش‌بینی تصادفی و مقادیر ۱ با پیش‌بینی کامل را نشان می‌دهند. در حقیقت، مقادیر کمتر از ۰/۵ نشانگر مدل‌های نامناسب است (Hosmer *et al*., 2013). همچنین از بین متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی، متغیری که بیشترین تأثیر را در تعیین پراکنش گونه مورد مطالعه داشت با استفاده از آزمون جک‌نایف مشخص گردید. در نهایت پس انجام مدل‌سازی، نتایج تحلیل و نقشه پراکنش ماهی کلمه در حوضه آبریز جنوبی



شکل ۱- نمودار ارزیابی عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی پراکنش ماهی کلمه

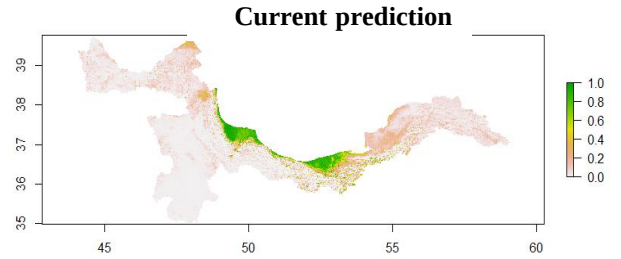


شکل ۲- میزان اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در تعیین پراکنش ماهی کلمه

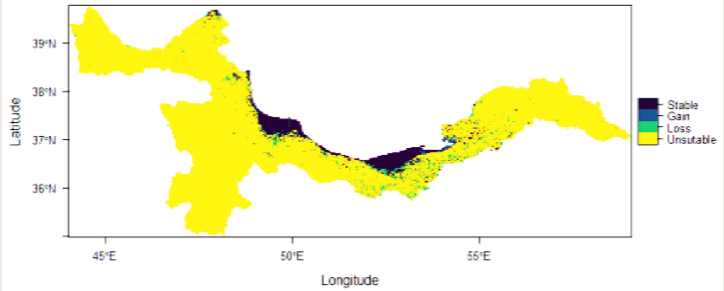
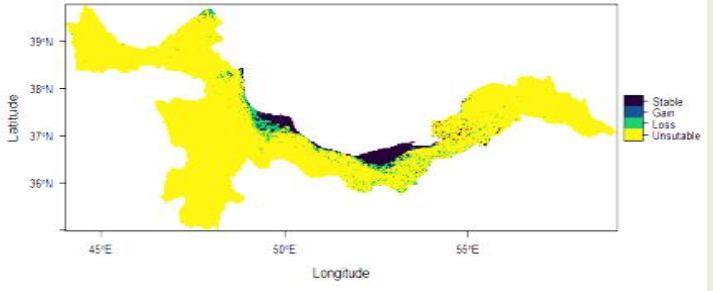
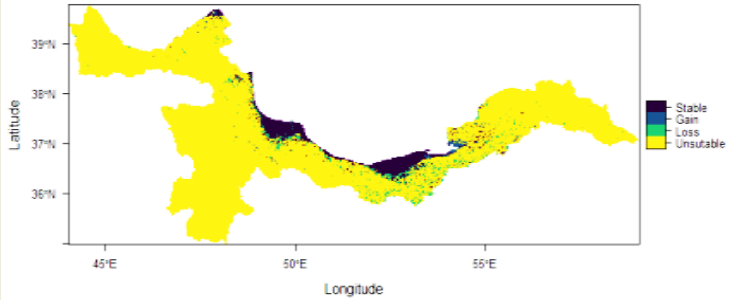
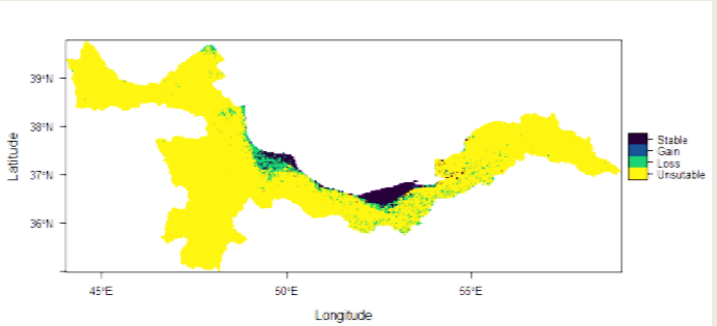
دریای خزر تحت سناریوهای اقلیمی در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ فراهم شد.

نتایج

براساس نتایج به‌دست آمده، عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی پراکنش ماهی کلمه، با توجه به مقدار AUC (۰/۹۱۰) در سطح عالی قرار گرفت (شکل ۱). همچنین، نتایج آزمون جک‌نایف نشان داد که مهمترین متغیر در توزیع این گونه، محدوده دمای سالیانه (Temperature Annual Range) می‌باشد (شکل ۲). با توجه به نتایج شکل ۳، ارزیابی مدل‌سازی نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییرات اقلیم، در هر دو سال و هر دو سناریوی خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) و در هر دو مقیاس زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) محدوده پراکنش ماهی کلمه هم کاهشی و هم افزایشی بوده، اما میزان کاهش آن بیشتر می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کاهش قابل‌توجهی در محدوده پراکنش ماهی کلمه در هر دو سناریوی اقلیمی (RCP 2.6 و RCP 8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مشاهده می‌شود. در این خصوص، بیشترین درصد کاهش معادل ۶۲/۰۵ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شد.



شکل ۳- نتایج مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر توزیع ماهی کلمه در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی و تحت سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5). Current Prediction= نقاط پیش‌بینی شده حضور گونه براساس مدل‌سازی در حال حاضر، که هرچه به سمت رنگ سبز نزدیک شود احتمال وقوع گونه افزایش می‌یابد. Stable= گستره سایت‌های پایدار؛ Gain= گستره سایت‌های به‌دست آمده؛ Loss= گستره سایت‌های از دست رفته و Unsuitable= گستره سایت‌های نامطلوب

	Optimistic (RCP 2.6)	Pessimistic (RCP 8.5)
2050		
2080		

جدول ۲- دامنه تغییرات پراکنش ماهی کلمه تحت سناریوهای خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰

سناریوهای اقلیمی	RCP 2.6	RCP 8.5	
دوره زمانی	سال ۲۰۵۰	سال ۲۰۸۰	سال ۲۰۵۰	سال ۲۰۸۰
درصد افزایش	۷/۲۳	۹/۰۸	۳/۹۹	۱/۵۱
درصد کاهش	۳۵/۶۵	۳۵/۳۷	۵۳/۰۵	۶۲/۰۵
درصد تغییرات محدوده پراکنش	-۲۸/۴۱	-۲۶/۲۸	-۴۹/۰۶	-۶۰/۵۴

همچنین، حداکثر میزان افزایش در محدوده پراکنش گونه، معادل ۹/۰۸ درصد تحت سناریوی RCP 2.6 در سال ۲۰۸۰ رخ خواهد داد (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه نگرانی در خصوص کمبود منابع آب و غذا و تلاش جهت حفظ و تأمین آنها یکی از مهمترین دغده‌های بشر به‌شمار می‌رود. در این راستا جوامع مختلف در سراسر جهان، جهت دستیابی به منابع بیشتر و نگهداری منابع موجود، به تولید روش‌های جدید روی آورده و همواره با تکنیک‌های مختلف و ایجاد صنایع مدرن، سعی در پایداری و حفظ منابع آبی و غذایی دارند. در این رابطه یک نکته بسیار حائز اهمیت وجود دارد و به این موضوع اشاره می‌نماید که یکی از اصلی‌ترین دلایل تخریب زیستگاه‌ها و نابودی سرمایه‌های طبیعی، گسترش فعالیت‌های صنعتی خود انسان‌ها جهت تولید انرژی بیشتر و متعاقب آن افزایش انتشار گازهای آلاینده (Reid *et al*., 2019; Ramanathan, 2020) و درنتیجه تغییرات اقلیمی می‌باشد که در نهایت با اعمال فشار مضاعف بر طبیعت و گونه‌های مختلف باعث نابودی آنها خواهد شد (Raven, 2020). از سوی دیگر، در سراسر جهان، اکوسیستم‌های آب شیرین به‌واسطه عوامل انسانی متعدد، از جمله سدسازی‌ها، توسعه کشاورزی، گسترش شهرسازی، برداشت آب، کانالیزه کردن، صید بی‌رویه، گونه‌های مهاجم غیربومی و آلودگی آب تحت فشارهای بسیاری قرار گرفته‌اند (Mousavi-Sabet *et al*., 2021; Su *et al*., 2021; Makki *et al*., 2023b). با این وجود، در حال حاضر مهمترین تهدید برای اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، تغییرات اقلیمی است که باعث کاهش مطلوبیت زیستگاه‌ها، تغییر دامنه پراکنش گونه‌ها و نابودی آنها گردیده است (Makki *et al*., 2023b; Mostafavi *et al*., 2019). علاوه بر این، دما و دسترسی گونه‌ها به آب نیز تحت تأثیر تغییرات اقلیم قرار دارد (Pletterbauer *et al*., 2018; Schmutz *et al*., 2018). براساس برخی مطالعات، تغییر اقلیم اثرات متفاوتی بر موجودات مختلف دارد (Araújo *et al*., 2006). به‌عبارت دیگر، گونه‌های مختلف نسبت به تحولات محیطی پاسخ یکسانی از خود بروز نمی‌دهند. یکی از مهمترین پیامدهای تغییرات اقلیمی افزایش دمای جهانی است که باعث تغییر دمای آب که یکی از مهمترین فاکتورها در محیط فیزیکو-شیمیایی آبزیان است، خواهد شد (Kovach *et al*., 2016; Schmutz *et al*., 2018). تغییر دمای آب نیز با ایجاد اختلال در روندهای فیزیولوژیک و اکولوژیک آبزیان، فشار زیادی بر آنها اعمال خواهد کرد که درصورت عدم سازگاری با شرایط، با خطر انقراض مواجه خواهند شد (Liu and Gao, 2020; Makki *et al*., 2023b). پیامدهای اکولوژیک آینده تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای تا حد زیادی به سرعت و بزرگی تغییرات (دما و جریان آب) مرتبط با شدت عمل اقلیم بستگی دارد (Pletterbauer *et al*., 2018). همچنین، گرمایش جهانی و تغییرات ایجاد شده متعاقب آن با از دسترس خارج کردن زیستگاه‌های مطلوب باعث محدود شدن گستره پراکنش بسیاری از گونه‌ها می‌شود. بنابراین با تداوم و شدت گرفتن این اتفاقات، از دست رفتن تنوع زیستی در اکوسیستم‌های آب شیرین رویدادهای ناخوشایندی را به دنبال خواهد داشت که جبران آن زمان و هزینه هنگفتی می‌طلبد (Dasgupta and Ehrlich 2019; WWF, 2020). از این‌رو، جهت حفاظت از منابع طبیعی و گونه‌های موجود در محیط‌زیست ازجمله ماهیان در برابر اثرات تغییر اقلیم، اتخاذ دستورالعمل‌های مبتنی بر حفاظت و بازسازی اکوسیستم‌های آبی و همچنین کاهش عوامل انسانی مؤثر بر دگرگونی اقلیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌علاوه، اقداماتی همچون حفظ حریم رودخانه‌ها، کاهش فشار فعالیت‌های انسانی، جلوگیری از دفع زباله در اطراف رودخانه، جلوگیری از صید بی‌رویه، کاهش ساختمان‌سازی، تصویب قوانین لازم در خصوص حفظ محیط‌های آبی آسیب‌پذیر

می‌تواند مؤثر واقع گردد (Pletterbauer *et al*., 2018; Mousavi-Sabet *et al*., 2021; Mostafavi *et al*., 2021).

در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم بر آبزیان، در یک مطالعه دارابی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل مکسنت پراکنش آینده گونه *Cyprinion tenuiradius* را مدل‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که زیستگاه‌های مطلوب این گونه در سناریوی خوش‌بینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ اندکی کاهش ولی در سناریوی بدبینانه ۲۰۵۰ اندکی افزایش و در همین سناریو در سال ۲۰۸۰ افزایش قابل‌توجهی خواهد داشت. در پژوهشی دیگر، پراکنش آینده ماهی‌سفید (*Rutilus frisii*) به‌عنوان یک گونه اقتصادی–خوراکی با ارزش، تحت تأثیر تغییرات قلیمی در دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه و در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با استفاده از مدل مکسنت توسط طبسی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲) پیش‌بینی شده است. نتایج مدل‌سازی آنها نشان داد که پراکنش این گونه در هر دو سال و هر دو سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه، به‌صورت قابل‌توجهی کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به تنوع خصوصیات ژنتیکی و میزان مقاومت گونه‌ها در برابر شرایط نامطلوب اقلیمی (رشیدیان و همکاران، ۱۳۹۵) برخی با ماندن و سازگار شدن و برخی دیگر با حرکت به‌سوی مناطق مطلوب، عکس‌العمل نشان داده و گروهی دیگر به‌علت عدم توانایی مهاجرت یا سازگاری، مسیر نابودی و انقراض را پیش می‌گیرند.

در مطالعه حاضر پیش‌بینی گستره پراکنش ماهی کلمه و مدل‌سازی زیستگاه‌های به‌دست آمده (gain) و از دست رفته (loos) این گونه در سال‌های آینده اطلاعات سودمندی جهت مدیریت و حفاظت از این گونه ارائه نموده است. براساس نتایج حاصل، کاهش قابل‌توجهی در محدوده پراکنش ماهی کلمه در هر دو سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) و در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مشاهده شد. به هر حال، بیشترین درصد کاهش معادل ۶۲/۰۵ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شد. بنابراین، کاهش پراکنش این ماهی به‌عنوان یک گونه خوراکی می‌تواند بر سفره غذایی بسیاری از جوامع محلی اثر منفی گذاشته و امنیت غذایی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر، با افزایش جمعیت تقاضای جامعه برای انواع مواد غذایی از جمله ماهی نیز افزایش پیدا خواهد کرد و عرضه بیشتر این محصول مستلزم افزایش تولید در محیط‌های مصنوعی یا مهیا نمودن شرایط مطلوب برای حفظ و گسترش فراوانی آنها در محیط طبیعی می‌باشد. از این‌رو، جهت پایداری این منابع غذایی باید با ایجاد یک تعادل بین میزان منابع موجود در یک سرزمین و مصرف آنها توسط جوامع، این فرصت برای طبیعت ایجاد شده تا زمان لازم جهت ترمیم و بازتولید منابع خود را داشته باشد. از طرفی، با افزایش تغییرات اقلیمی و به‌دنبال آن کاهش منابع آب و تخریب رودخانه‌ها، نابودی هر چه بیشتر انواع گونه‌های آبزی دور از انتظار نیست. درنتیجه، مسئولان و تصمیم‌گیران این حوزه جهت حفاظت از آب‌ها و آبزیان نیازمند تمرکز و تلاش بیشتر بر این مؤلفه مهم هستند و لازم است که هرچه سریع‌تر اقدامات اساسی جهت کنترل و کاهش اثرات تغییر اقلیم را به‌طور جدی آغاز نموده و به جایگزینی تصمیم‌سازی‌های ناکارآمد و مخرب، با راهبردهای جدید مدیریتی و دوستدار محیط‌زیست بپردازند. همچنین، تلاش جهت افزایش آگاهی عمومی، برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، اجرای شیوه‌های صحیح مدیریتی، اقدامات پیشگیرانه و تخصیص بودجه بیشتر جهت بازسازی و احیاء اکوسیستم‌های آبی، از جمله اقداماتی هستند که به حفظ منابع‌طبیعی موجود کمک شایانی خواهند نمود. طبق گفته محققین، اثر اقدامات پیشگیرانه، کاهش اثر و سازگاری با تغییرات اقلیمی، به‌همراه یک تأخیر زمانی است. بدین‌گونه که پیامدهای یک اقدام مؤثر درحال حاضر ممکن است در دهه بعدی و یا حتی در سده آینده مشاهده شود (Hasanli, 2020). بنابراین، واضح است که باید در کنار کاهش اثرات تغییر اقلیم، سایر فشارهای انسانی موجود بر رودخانه‌ها تا حد ممکن کاهش یابد تا به این واسطه از نابودی بیشتر این اکوسیستم‌ها و ماهیان با ارزش جلوگیری گردد (Winfield *et al*., 2016; Mousavi-Sabet, 2021).

منابع

دارابی م.، مصطفوی ح.، رحیمی ر.، تیموری آ.، فرشچی پ.، بالی ع. ۱۴۰۰. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه بوتک فارس، *Cyprinion tenuiradius* Heckel, 1849 و تعیین تأثیر اقلیم بر پراکنش آن در استان فارس. *نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس*. ۸(۵): ۴۶-۴۱.

رشیدیان م. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر پراکنش گونه‌های ماهیان حساس آب شیرین در سری‌های مختلف زمانی و مقیاس‌های مختلف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ ص.

عبدلی ا. ۱۳۹۵. راهنمای میدانی ماهیان آب‌های داخلی ایران. انتشارات ایران‌شناسی. ۲۷۲ ص.

طبسی‌نژاد ن.، موسوی ثابت ح.، مصطفوی ح. ۱۴۰۲. مدل‌سازی پراکنش ماهی سفید (*Rutilus frisii* Nordmann, 1840) تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در بازه‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ سال آینده. *مجله علمی شیلات ایران*. ۳۲(۵): ۶۱-۴۹.

کیوانی ی.، نصری م.، عباسی ک.، عبدلی ا. ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آب‌های داخلی ایران. انتشارات اداره محیط زیست ایران. تهران. ۲۳۴ ص.

موسوی ثابت ح.، واسیلوا ک.، ایگدری س.، واسیلو و.، وطن‌دوست ص.، عباسی رنجبر ک. ۱۴۰۲. بررسی تنوع زیستی و فراوانی ماهیان رودخانه ماسوله، حوضه آبریز جنوبی دریای خزر. *نشریه علوم آبزی‌پروری*. ۱۱(۲): ۱۹۷-۱۸۵.

Abbasi K., Moradi M., Mirzajani A., Nikpour M., Zahmatkesh Y., Abdoli A., Mousavi-Sabet, H. 2019. Ichthyo diversity in the Anzali Wetland and its related rivers in the southern Caspian Sea basin, Iran. *Journal of Animal Diversity* 1(2), 90-135.

Bond N., Thomson J., Reich P., Stein, J. 2011. Using species distribution models to infer potential climate change-induced range shifts of freshwater fish in south-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research* 62(9), 1043-1061.

Carosi A., Padula R., Ghetti L., 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), 2349. 1-21.

Coad B.W. 2021. Freshwater Fishes of Iran. Updated 1 January 2021. [Cited 1 January 2021]. Available from: www.briancoad.com.

Dasgupta P., Ehrlich P.R. 2019. Why we are in the Sixth Extinction and what it means to humanity. In: Al-Delaimy W.K., Ramanathan V., Sorondo M.S. (ed.). Health of People, Health of Planet and Our Responsibility Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 262-284.

Eagderi S., Mouludi-Saleh A., Esmaeili H.R., Sayyadzadeh G., Nasri M. 2022. Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology* 46(6), 500-522.

Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J.M.M., Townsend Peterson A., Phillips S.J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S., Wisz M. S., Zimmermann N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2), 129–151.

Ellender B.R., Weyl O. 2019. Modelling expected trout rannges under current and future water temperature regimes in the Eastern Cape, South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 44(1), 35-42.

Sayyadzadeh G., Esmaeili H.R. 2024. Freshwater lamprey and fishes of Iran: Reappraisal and updated checklist with a note on Eagderi *et al*. (2022). *Zootaxa* 5402(1), 1-99.

Esmaeili H.R., Gholamhosseini A., Mohammadian-Kalat T., Aliabadian M. 2018. Predicted changes in climatic niche of *Alburnus* species (Teleostei: Cyprinidae) in Iran until 2050. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 18, 995-1003.

Filipe A.F., Markovic D., Pletterbauer F., Tisseuil C., Wever A., Schmutz S. 2013. Forecasting fish distribution along stream networks: brown trout (*Salmo trutta*) in Europe. *Diversity and Distributions* 19(8), 1059-1071.

Franklin J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction: Cambridge University Press.

Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J., Hijmans M.R.J. 2017. Package 'dismo.' Circles, 9(1), 1-68.

Hosmer D.W., Lemeshow S., Sturdivant R.X. 2013. *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons. New York. 369 p.

IPCC 2014. Climate Change 2014: Impacts Adaptation & Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

[PDF]. Cambridge University Press

Liu Q., Gao J. 2020. Public Health Co-benefits of Reducing Greenhouse Gas Emissions. In: Al-Delaimy W.K., Ramanathan, V., Sánchez Sorondo, M. (ed.). Health of People, Health of Planet and Our Responsibility (Cham: Springer).

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

Makki T., Mostafavi H., Matkan A.A., 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), 1-8.

Makki T., Mostafavi H., Matkan A.A., Aghighi H., Valavi R., Chee,Y.E., Teimori A. 2023a. Impacts of climate change on the distribution of riverine endemic fish species in Iran, a biodiversity hotspot region. *Freshwater Biology* 68(6), 1007-1079.

Makki T., Mostafavi H., Matkan A.A., Valavi R., Hughes R.M., Shadloo S., Aghighi H., Abdoli A., Teimori A., Eagderi S., Coad B.W. 2023b. Predicting climate heating impacts on riverine fish species diversity in a biodiversity hotspot region. *Scientific Reports* 13, 14347.

Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Poorbagher H. 2022. Ichthyofauna of the Iranian part of the Sirvan River drainage with the first record of *Cobitis avicenna* and *Oxynoemacheilus euphraticus*. *International Journal of Aquatic Biology* 10(3), 242-253.

Mcmahan C.D., Fuentes-Montejo C.E., Ginger L., Carrasco J.C., Chakrabarty P., Matamoros W.A. 2020. Climate change models predict decreases in the range of a microendemic freshwater fish in Honduras. *Scientific reports* 10(1), 1-10.

Mostafavi H., Pletterbauer F., Coad B.W., Mahini A.S., Schinegger R., Unfer G., Schmutz S. 2014. Predicting presence and absence of trout (*Salmo trutta*) in Iran. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 2(46), 1-8.

Mostafavi H., Kambouzia, J. 2019. Impact of climate change on the distribution of brown trout, *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Teleostei: Salmonidae) using ensemble modelling approach in Iran. *Iranian Journal of Ichthyology* 6(1), 73-81.

Mostafavi H., Mehrabian A.R., Teimori A., Shafizade-Moghadam H., Kambouzia J. 2021. The Ecology and Modelling of the Freshwater Ecosystems in Iran. In: Jawad L.A. (ed.). Tigris and Euphrates Rivers: Their Environment from Headwaters to Mouth. Aquatic Ecology Series, vol 11. Springer, Cham.

Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecology*. Modell. vol. 190, nos. 3-4, pp. 231-259.

Phillips S.J., Anderson R.P., Dudík M., Schapire R.E., Blair M.E. 2017. Opening the black box: an opensource release of Maxent. *Ecography* 40(7), 887-893.

Pletterbauer F., Melcher A.H., Graf W. 2018. Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. *Hydrobiologia* 744, 235-254.

Ramanathan V. 2020. Climate Change, Air Pollution, and Health: Common Sources, Similar Impacts, and Common Solutions. In: Al-Delaimy, W.K., Ramanathan V., Sánchez Sorondo M. (ed.). Health of People, Health of Planet and Our Responsibility (Cham: Springer). pp. 49-59.

Raven P.H. 2020. Biological Extinction and Climate Change. In: Al-Delaimy, W.K., Ramanathan V., Sánchez Sorondo M. (ed.)., Health of People, Health of Planet and Our Responsibility (Cham: Springer). pp: 11-20.

Reid A.J., Carlson A.K., Creed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T.J., Kidd K.A., MacCormack T.J., Olden J.D., Ormerod S.J., Smol J.P., Taylor W.W., Tockner K., Vermaire J.C., Dudgeon D., Cooke S.J. 2019. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews* 94(3), 849-873.

R Core TEAM. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Yousefi M., Jouladeh-Roudbar A., Kafash A. 2020. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicate* 112, 106137.

World Wildlife Fund 2020. Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss (Almond, R.E.A., Grooten M., Petersen T. Eds.). Retrieved August 15, 2021, from https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/ 4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf.

Journal of Aquaculture Sciences Vol. 12, No 22, 39-48
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

Modeling the distribution range of the Roach, *Rutilus lacustris* (Pallas, 1814) under the influence of climate change in 2050 and 2080

Najmeh Tabasinezhad[1], Hamed Mousavi-Sabet[1], Hossein Mostafavi[2]*

[1]Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran.

[2]Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*Corresponding author: hmostafaviw@gmail.com

Received: 1.Mar.2024 **Accepted: 4.May.2024**

Abstract

Considering the special role of freshwater ecosystems and aquatic species on the sustainability of food security and livelihood of local communities, the evaluation and protection of these natural resources is of great importance. In the current study, the distribution of the Roach (*Rutilus lacustris*) was predicted under two optimistic and pessimistic (RCP 2.6 and RCP 8.5) scenarios of 2050 and 2080 by Maxent model. The set of data collected by the authors and various available scientific sources from a period of 50 years (1970 to 2020 AD) was used. Also, the environmental and climate variables used in the modeling were extracted and prepared from www.worldclim.org. The results showed that the performance of the model in predicting species distribution was excellent (0.910) based on the AUC (Area Under the Curve) criterion. According to the jackknife test, annual temperature range variable had the greatest impact (54.7) on determining the distribution of the studied species among the environmental variables used in modeling. In addition, it is predicted that under climate change the distribution of the species is likely to decrease significantly in years 2050 and 2080, optimistic and pessimistic scenarios. Also, the highest severity is the pessimistic scenario of 2080 (62.05 %). Therefore, control and reduce the effects of climate change in order to prevent the destruction of riverine ecosystems and preserve valuable edible fish is necessary.

Keywords: Edible aquatics, Climate change, MaxEnt, Habitat suitability, Conservation