بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲/ صفحات ۱ تا ۱۰

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش ماهی غیربومی آمورچه، *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸)

چکیده

کاهش تنوع‌زیستی و تأثیرات سوء آن بر گونه‌های گیاهی و جانوری یکی از تبعات افزایش دمای کره زمین است. در این میان، انتشار گسترده گونه‌های غیربومی علاوه بر تاثیرات منفی ذاتی بر سایر گونه‌ها و اکوسیستم‌ها، ممکن است در آینده به علت تغییرات اقلیم تهدید مضاعف و جدی‌تری بر تنوع‌زیستی باشند. برای این منظور، آگاهی از وضعیت پراکنش این گونه‌ها در آینده می‌تواند در حفاظت از تنوع‌زیستی موثر باشد. در مطالعه حاضر، پراکنش ماهی غیربومی آمورچه (*Pseudorasbora parva*) در دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با استفاده از مدل مکسنت پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد که عملکرد مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه براساس معیار (Area Under the Curve, AUC) عالی (۰/۹۸۸) بوده است. بعلاوه، با توجه به نتایج مدل‌سازی پیش‌بینی شده است که پراکنش گونه در هر دوسال و سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، بصورت قابل‌توجهی افزایش (بیشتر از ۱۰۰ درصد) پیدا خواهد کرد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، گسترش قابل‌توجه ماهی آمورچه در آینده و اثرات بالقوه آن بر سایر گونه‌ها و تنوع‌زیستی، باید بیشتر مورد توجه مدیران و تصمیم‌گیران قرار گرفته و برنامه‌ریزی‌های لازم جهت مدیریت اثرات نامطلوب این گونه بر محیط زیست انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: تنوع‌زیستی، آمورچه، تغییر اقلیم، مدل‌سازی پراکنش گونه

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

۲. گروه تنوع‌زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mosavii.h@gmail.com

مقدمه

پیامدهای حاصل از افزایش دمای جهانی و تغییرات اقلیمی، از مشکلات بسیار مهمی هستند که بشر در حال حاضر با آن مواجه است. از طرفی با گذشت زمان و افزایش جمعیت، این مشکلات گسترده‌تر شده و به همان اندازه، حل آنها سخت‌تر خواهد شد. بنابراین، درصورت عدم توجه لازم به این مسائل، طی سال‌های آینده با فجایع زیست‌محیطی بسیاری رو به‌رو خواهیم شد که دیگر قادر به اصلاح آنها نخواهیم بود. طبق گزارش IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) تا سال ۲۱۰۰ دمای متوسط زمین در سناریوهای مختلف از ۱ تا ۴ درجه افزایش پیدا خواهد کرد (۱۴). یکی از عوامل مهم که در افزایش دمای جهانی دخالت دارد فعالیت‌های انسانی است. افزایش دما نیز باعث تغییرات زیادی در سیستم اقلیمی خواهد شد (۱۵). از این رو، بشر برای روبه‌رو شدن با این تغییرات و کاهش آثار پدیده تغییر اقلیم، نیازمند آمادگی است و این آمادگی جز با آگاهی و شناخت، تحقیق و پژوهش، پیش‌بینی و شبیه‌سازی آینده و در نهایت انتخاب بهترین روش‌های مدیریتی فراهم نخواهد شد (۳۸).

در حال حاضر، یکی از فشارهای موجود بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، تغییرات اقلیمی است (۳۴ و ۲۴). به دنبال افزایش گرمای جهانی و تغییر در سیستم اقلیم، دمای آب که یکی از مهمترین فاکتورها در محیط فیزیکو-شیمیایی آبزیان است دچار تغییر خواهد شد(۳۵). تغییر دمای آب نیز با ایجاد اختلال در روندهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی آبزیان، فشارهای بسیاری بر آنها وارد خواهد کرد. فشارهای ناشی از تغییر اقلیم سبب کاهش یا افزایش جمعیت برخی گونهها و جابجایی دامنه پراکنش آنها به ارتفاعات بالاتر و یا به عبارت دیگر جابجایی به سوی زیستگاه‌های مطلوب‌تر می‌شود و در صورت عدم وجود نقاط مطلوب، احتمال نابودی گونه‌ها وجود خواهد داشت. ماهیان رودخانه‌ای به علت گسترش شهرسازی و افزایش حضور انسان‌ها در اطراف رودخانه‌ها، در معرض فشارهای متعددی قرار دارند. علاوه بر این، افزایش حضور گونه‌های غیربومی و مهاجم (۲۸، ۲۳، ۲۱ و ۱) نیز ماهیان بومی هر منطقه را تهدید می‌کند. گونه‌های غیربومی هنگامیکه به یک گونه مهاجم تبدیل شوند، دامنه وسیعی از مشکلات اکولوژیکی را ایجاد می‌کنند. این ماهیان، زیستگاه اکولوژیک بسیاری از گونه‌های بومی را اشغال کرده و باعث ایجاد آشفتگی ژنتیکی، رقابت غذایی، رقابت اکسیژنی، دگرگونی زیستگاه‌ها و از دست رفتن تنوع‌زیستی می‌شوند (۱۰، ۷ و ۶). بنابراین، تهدیدی برای بقاء گونه‌های بومی به‌شمار می‌روند و نیاز است که وضعیت آنها بیشتر مورد بررسی قرار گیرد (۳۷). در نقاط مختلف جهان، وجود گونه‌های غیربومی خسارت‌های بسیاری را به محیط‌زیست وارد کرده است. به عنوان مثال، در آمریکای شمالی گونه‌های غیربومی گیاهی و جانوری، سالانه حدود ۱۳۷ میلیارد دلار به محیط زیست خسارت وارد می‌کنند (۳۲).

یک راه مؤثر برای ارزیابی وضعیت گونه‌های غیربومی در اکوسیستم‌ها این است که، از الگوی پراکنش آنها اطلاعات کافی به دست آورده شود (۱۱). در این راستا، یکی از روش‌های پرکاربرد در بررسی گستره پراکنش گونه‌ها، مدل‌سازی پراکنش گونه (Species Distribution Modelling, SDM) می‌باشد. مدل‌سازی همیشه پیچیدگی کمتری نسبت به سیستم اصلی دارد. به عبارت دیگر، می‌توان با دستکاری کمتری در طبیعت، از رخدادهای آینده مطلع شد و برای آنها برنامه‌ریزی کرد (۳۱). در حقیقت، با کمک این روش و با استفاده از داده‌های اقلیمی، محیطی و موقعیت فعلی گونه، مدلی از پراکنش آن در آینده پیش‌بینی می‌شود (۲۶). این پیش‌بینی نشان می‌دهد که در سال‌های آینده، محدوده پراکنش گونه‌ها کم می‌شود یا افزایش پیدا می‌کند و یا اینکه ثابت می‌ماند. حوضه جنوبی دریای خزر با دارا بودن بیش از ۱۱۷ گونه، از تنوع بیشتری نسبت به سایر حوضه‌های کشور برخوردار است (۲۵، ۹ و ۵). در این میان، ماهی آمورچه با نام علمی *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) و متعلق به خانواده Gobionidae است که در حوضه خزر یک گونه غیربومی به‌شمار می‌رود و زیستگاه اصلی این گونه در کشور ژاپن

می‌باشد. ماهی آمورچه نسبت به شرایط آلودگی مقاوم است و انعطاف‌پذیری صفات، این گونه را قادر می‌سازد که به سرعت در آب‌های متنوع ساکن شود (۴). به گفته محققین، میزان حضور و عدم‌حضور این ماهی با نوع بستر، ارتفاع، شیب و عمق آب در ارتباط است (۴۰). در کشور ما، در زمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌های غیربومی و تاثیرات نامطلوب آنها (به‌دنبال افزایش پراکنش) بر سایر گونه‌ها مطالعات کمی انجام شده است (۲۲ و ۱۸). از این رو در این مطالعه، گستره پراکنش ماهی غیربومی آمورچه، تحت تاثیر تغییر اقلیم در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی مورد ارزیابی قرار گرفت.

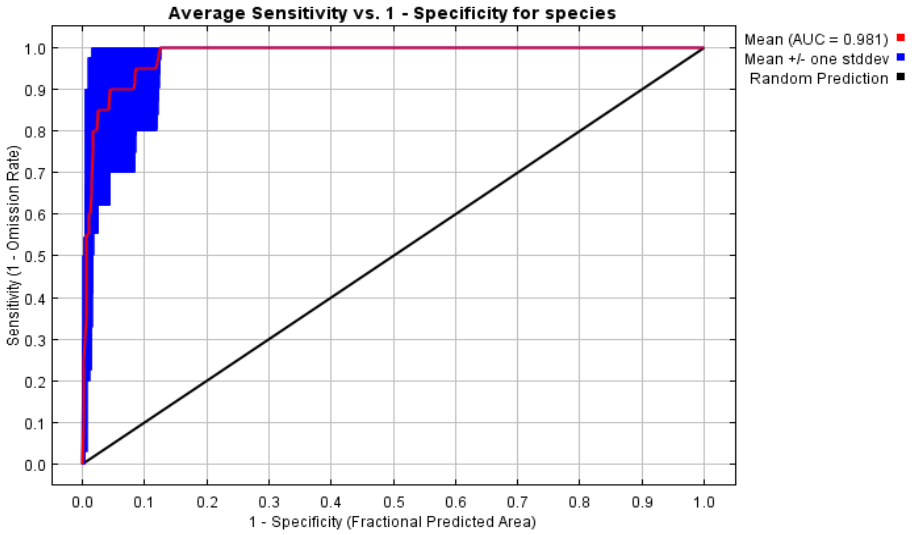
مواد و روش‌ها

این مطالعه در مقیاس حوضه آبریز خزر جنوبی انجام شده است. داده‌های توزیع گونه بصورت داده‌های حضور (مکان‌های ثبت‌شده که گونه در آن مشاهده شده‌است) برای تعیین اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Pseudorasbora parva* مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای محیطی و اقلیمی از سایت‌های معتبر خارجی مانند www.worldclim.org و داخلی (از سازمان‌های داخل کشور مانند منابع‌طبیعی و محیط‌زیست) استخراج شدند. پس از آن، آزمون همبستگی اسپیرمن جهت بررسی عدم 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 (۲۰). در مطالعه حاضر پس از آزمون همبستگی، ۵ متغیر برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند که عبارت‌اند از، میانگین دمای سالیانه (Annual Mean Temprature, BIO1) محدوده دمای سالیانه (BIO7, Temperature Annual Range) میزان بارش سالیانه (BIO12, Annual Precipitation) شیب و جریان تجمعی. متغیرهای اقلیمی برای مدل‌سازی آینده براساس سناریوی (Representative Concentration Pathway, RCP2.6) (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO2 650 ppm، میزان جمعیت ۸/۷ میلیارد نفر) و سناریوی RCP 8.5 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO2 1370 ppm، میزان جمعیت ۱۲ میلیارد نفر) به عنوان سناریو بدبینانه (۱۴) و مدل اقلیمی گردش عمومی جو (GCMs, General Circulation Model) در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از سایت www.worldclim.org تهیه و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ver. 10.8 آماده و ویرایش شدند.

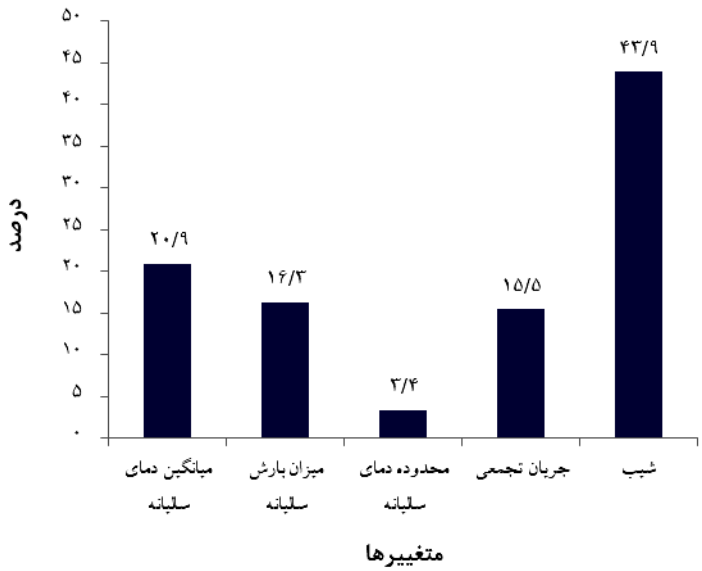
در این مطالعه، برای انجام مدل‌سازی گونه نام‌برده از روش SDM استفاده شد. داده‌های مربوط به این گونه از مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده توسط مصطفوی و همکاران (۲۰) استخراج شد. در ابتدا داده‌ها به دو دسته داده‌های واسنجی (Calibration data) جهت مدل‌سازی و داده‌های آزمون (Test set) برای ارزیابی دقت مدل‌ها به نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد تقسیم‌بندی شدند (۲۰). سپس مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از مدل MaxEnt (Maximum Entropy) (۳۰) در محیط نرم‌افزاری R v3.2.3 (R Core Team, 2018) و بسته نرم‌افزاری dismo v1.1-4 (۱۲) انجام شد. مدل MaxEnt یک روش یادگیری ماشین است که حضور یک گونه را در یک فضای جغرافیایی بدون در نظر گرفتن مکان‌های عدم‌حضور آن گونه، و تنها براساس نقاط حضور و متغیرهای زیست‌محیطی، پیش‌بینی می‌کند (۳۱). متغیرهای استفاده شده در این مطالعه، براساس روش‌های ذکر شده در مطالعه مصطفوی و همکاران (۲۰) استخراج و اندازه‌گیری شدند. جهت ارزیابی صحت عملکرد مدل و نتایج مدل‌سازی، ناحیه زیر منحنی (AUC, Area Under Curve) (جدول ۱) منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC, Receiver Operation Characteristic) محاسبه شد (۱۷). 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 (۸). همچنین از بین متغییرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی، متغیری که بیشترین تاثیر را در تعیین پراکنش گونه مورد مطالعه داشت با استفاده از آزمون جک نایف مشخص گردید. در نهایت پس انجام مدل‌سازی، نتایج تحلیل و مقایسه شدند.

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



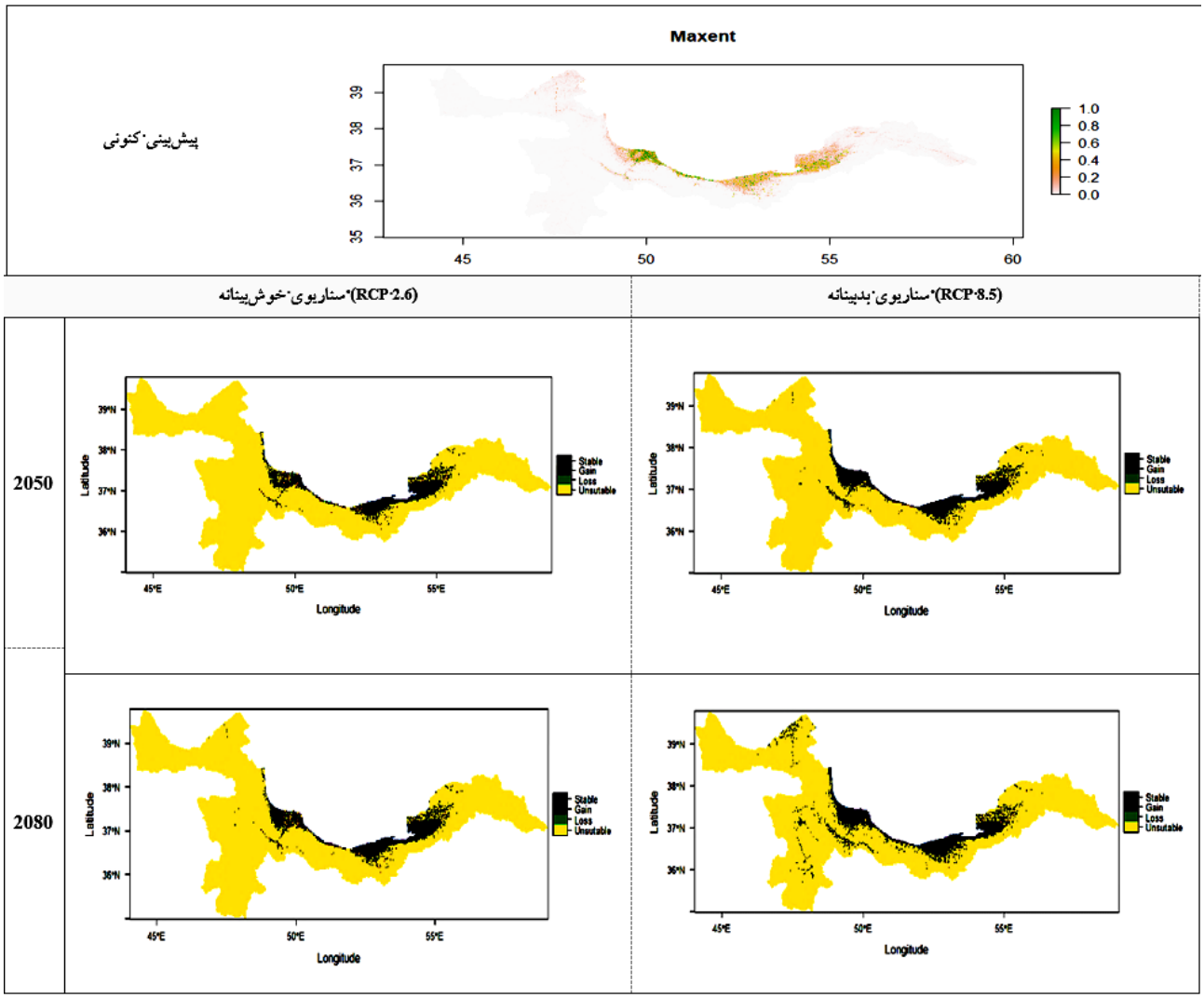
شکل ۱. ارزیابی عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی پراکنش ماهی آمورچه بر اساس شاخص AUC (Sensivity= حساسیت، Specifity= اختصاصیت، Omission= میزان حذف)



شکل ۲. میزان اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در تعیین پراکنش ماهی آمورچه

نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده، عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی پراکنش ماهی آمورچه، با توجه به مقدار AUC (۰/۹۸۸) در سطح عالی قرار گرفت (شکل ۱). همچنین، نتایج مدل‌سازی نشان داد که مهمترین متغییر در توزیع گونه آمورچه شیب (Slope) می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۳. نتایج مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه آمورچه 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 بر اساس مدل‌سازی در حال حاضر، که هرچه به سمت رنگ سبز نزدیک شود احتمال وقوع گونه افزایش می‌یابد. Stable = گستره سایت‌های پایدار؛ Gain = گستره سایت‌های به دست آمده؛ Loss = گستره سایت‌های از دست رفته؛ Unsuitable = گستره سایت‌های نامطلوب

با توجه به شکل ۳ نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییرات اقلیم، در تمام سال‌ها و سناریوهای خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) و در هر دو مقیاس زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) میزان افزایش محدوده پراکنش گونه آمورچه بیشتر از میزان کاهش محدوده پراکنش آن بوده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، افزایش قابل‌توجهی در محدوده پراکنش گونه ماهی آمورچه در هر دو سناریوی اقلیمی (RCP 2.6 و RCP 8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مشاهده شد. در این خصوص، بیشترین درصد افزایش معادل ۲۶۷/۲۳ درصد تحت سناریوی بدبینانه در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شد. همچنین، حداکثر میزان کاهش در محدوده پراکنش گونه معادل ۷/۸۴ درصد تحت سناریوی خوش‌بینانه در سال ۲۰۵۰ رخ خواهد داد (جدول ۲). بصورت کلی پیش‌بینی شده است که پراکنش این گونه در تمام سناریوهای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بصورت قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۲. دامنه‌ی تغییرات پراکنش گونه آمورچه (*Pseudorasbora parva*) 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 کاهش	۷/۸۴	۷/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
درصد افزایش	۱۸۵/۲۵	۲۰۳/۱۰	۲۴۵/۳۹	۲۶۷/۲۳
درصد تغییرات محدوده پراکنش	۱۷۷/۴۱	۱۹۶/۰۹	۲۴۵/۳۸	۲۶۷/۲۲

بحث

حفاظت از تنوع‌زیستی اکوسیستم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا ادامه حیات کل موجودات کره زمین به وجود این تنوع بستگی دارد و در غیاب آن، بسیاری از سیستم‌های طبیعی دچار اختلال خواهند شد. امروزه بشر برای حفاظت از تنوع‌زیستی، نسبت به گذشته از روش‌های جدیدتر مانند مدل‌سازی استفاده می‌کند (۳۶). با توجه به اینکه، حضور ماهیان مهاجم و غیربومی در اکوسیستم‌های آبی باعث تخریب زیستگاه، تخریب مکان‌های تخم‌ریزی، کاهش کیفیت آب، ایجاد رقابت غذایی با ماهیان بومی، ایجاد نسل هیبرید و معرفی انگل و عوامل بیماری‌زا می‌گردد، می‌توان آنها را به‌عنوان یک تهدید جدی برای نابودی گونه‌های بومی و تنوع‌زیستی در نظر گرفت. مطالعات نشان دادند که مقاومت ماهی غیربومی *H. leucisculus* در مقابل شیوع بیماری، در اکوسیستم‌های آبی از جمله تالاب انزلی، بیشتر از ماهیان بومی بوده است (۲۹). از سوی دیگر، افزایش فراوانی ماهیان غیربومی به دلیل داشتن دامنه وسیع زیستی (۱۶) می‌تواند در آینده خطراتی را برای گونه‌های بومی یک اکوسیستم ایجاد کند. همچنین، باید به این نکته توجه داشت که، شاید وجود یک گونه غیربومی در یک حوضه، هم اکنون تهدیدی برای سایر گونه‌ها محسوب نشود اما انتظار می‌رود که در سال‌های آینده، با پیشرفت روند تغییرات اقلیم و در نتیجه افزایش گستره پراکنش، آن گونه تبدیل به یک گونه مهاجم و یک تهدید بزرگ برای سایر گونه‌ها گردد. بنابراین جهت کنترل این گونه‌ها، آگاهی از وضعیت آنها در آینده می‌تواند بسیار مفید واقع شود. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP 2.6 و RCP 8.5)، پراکنش گونه آمورچه بصورت قابل‌توجهی افزایش (بیشتر از ۱۰۰درصد) پیدا خواهد کرد. در حقیقت، تغییرات اقلیم به نفع گونه مورد مطالعه ما خواهد بود و گستره پراکنش آن را در آینده افزایش خواهد داد. به گفته محققین، گونه‌های غیربومی یکی از عوامل اصلی انقراض در سراسر جهان به‌شمار می‌روند. در این خصوص، گونه‌های مهاجم عامل ۴۸-۶۲ درصد از انقراض ماهی‌ها هستند (۳). در حقیقت، تغییرات اقلیمی گاهی به واسطه حذف موانع اقلیمی و افزایش دامنه پراکنش برخی گونه‌های غیربومی و مهاجم، باعث تشدید تهدیدات اکوسیستمی برای گونه‌های بومی می‌شوند (۳۳).

در یک مطالعه، مصطفوی و همکاران (۱۸) پراکنش ماهی غیربومی و مهاجم گامبوزیا (*Gambusia holbrooki*) را تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP 4.5 و RCP 8.5) سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه پیش‌بینی کرد که پراکنش گونه مورد نظر تحت سناریوهای تغییر اقلیم در آینده گسترش می‌یابد (۱۸). مصطفوی و همکاران (۳۷) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی گونه غیربومی ماهی حوض (*Carrassius* sp.) پرداختند. در مدل‌سازی این گونه از ۹ الگوریتم مختلف استفاده شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در تمامی سناریوها افزایش نزدیک به ۱۰۰٪ در محدوده‌ی پراکنش این گونه اتفاق خواهد افتاد (۳۷). برخی از گونه‌های غیربومی مانند تعدادی از کپورماهیان، برای آسیب زدن به اکوسیستم‌ها نیازی به تغییر اقلیم ندارند و خود به تنهایی قادر هستند اثرات مخربی در محیط به وجود آورند. با این حال، تغییر در سیستم اقلیم می‌تواند کمک کند که آسیب‌ها شدت بیشتری داشته باشند (۲۱ و ۲). از طرفی، برخی گونه‌های

دیگر تا زمانیکه شرایط اقلیمی به نفع آنها تغییر نکند توانایی کمتری برای آسیب زدن به محیط دارند. از این رو، ممکن است فراوانی یک گونه غیربومی در یک محیط آبی هم اکنون به اندازه‌ای باشد که تهدیدی برای آن محیط به‌شمار نرود، اما مشکل زمانی ایجاد خواهد شد که شرایط اقلیمی به شکلی تغییر کند که به علت تغییر پارامترهای فیزیکوشیمیایی محیط، زیستگاه‌های مناسبی برای افزایش گستره پراکنش گونه‌های غیربومی ایجاد و تبدیل به گونه مهاجم شوند (۳۹). بنابراین، باید از وضعیت پراکنش گونه‌های غیر بومی در سال‌های آتی مطلع شویم تا هم‌اکنون بتوان با تدابیر صحیح، از گسترش آن در آینده جلوگیری کرد. در مطالعه دیگری، هانگ و همکاران (۱۳) به پیش‌بینی تغییرات زیستگاه دو گونه غیربومی مهاجم *Micropterus salmoides* و *Lepomis macrochirus* تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP 4.5 و RCP 8.5) سال ۲۱۰۰ پرداختند. نتایج مدل‌سازی این مطالعه نیز نشان داد که زیستگاه بالقوه گونه‌های نام‌برده در هر دو سناریوی زمانی گسترش پیدا خواهد کرد (۱۳). ماروشکاک و همکاران (۲۷) با استفاده از مدل مکسنت، مدل‌سازی پراکنش دو گونه *Poecilia reticulata* و *Gambusia holbrooki* به عنوان گونه‌های غیربومی و مهاجم را تحت تاثیر تغییر اقلیم جهانی در شرق اروپا، انجام دادند. نتایج مدل‌سازی زیستگاه این ماهیان تا سال ۲۰۹۰ نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش گستره پراکنش این دو گونه خواهد شد و افزایش دما، بیشترین تاثیر را بر تعیین پراکنش مکانی گونه‌ها داشت (۲۷). نتایج مطالعه ما با نتایج مطالعاتی که در بالا به آن اشاره شد هم سو می‌باشد. در بسیاری مناطق، پیامدهای حضورگونه‌های غیربومی مهاجم بر سایر گونه‌ها و اکوسیستم‌ها نادیده گرفته می‌شود. اغلب انتظار می‌رود که پراکنش و سازگاری طبیعی این گونه‌ها قابل کنترل باشد اما این کار همیشه انجام شدنی نیست زیرا علاوه بر فعالیت‌های انسانی که موجب جابه‌جایی و گسترش گونه‌های غیربومی می‌شود، تغییر اقلیم نیز بر گسترش آنها تاثیر بسیاری دارد (۲۷). از جمله شرایط تغییر یافته‌ای که منجر به افزایش موفقیت گونه‌های مهاجم در برخی زمینه‌ها می‌شوند می‌توان به افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفری، تغییر رژیم‌های بارندگی، گرم شدن جریان‌های آبی، دمای افزایش یافته محیط و تغییر توزیع نیتروژن اشاره کرد (۴۳، ۴۲، ۴۱ و ۱۹).

به گفته محققین، اثرات متقابل بین عوامل استرس‌زا و گونه‌های مهاجم، ممکن است اثرات تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌ها را تشدید کند. در حقیقت، برخی پیامدهای حاصل از حضور گونه‌های مهاجم، با تغییر شرایط فیزیکو شیمیایی یک اکوسیستم می‌تواند روند اثرگذاری تغییرات اقلیم بر محیط را تسریع کند و برعکس این موضوع نیز صادق است (۲).

نتیجه‌گیری

مدیریت گونه‌های مهاجم در یک اقلیم در حال تغییر، نیازمند برنامه‌ریزی و اقدامات بسیاری مانند تحقیق برای ارزیابی تهدیدات تهاجمی فعلی و آینده، شناسایی گونه‌های مهاجم که به تازگی در یک اکوسیستم مستقر شده‌اند، ایجاد مقررات برای گونه‌های غیربومی در خصوص واردات، معرفی یا رهاسازی آنها (مانند صدور مجوز)، ایجاد مقررات حمل و نقل و ترابری، قرنطینه کردن قبل از معرفی، تلاش برای افزایش آگاهی عمومی، کنترل و مدیریت گونه‌ها، آمادگی واکنش اضطراری و در نهایت بازسازی مناطق تخریب شده برای افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تهاجم‌های مجدد است (۳۹). در خاتمه تاکید می¬شود که جهت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای حفاظت از تنوع‌زیستی و کنترل گونه‌های غیربومی در رودخانه‌های کشور باید چنین مطالعاتی بیشتر انجام شود تا اطلاعات بیشتری در این خصوص بدست آید. هرچند که این اطلاعات برای حفاظت از تنوع‌زیستی و ذخایر ژنتیکی، بسیار لازم است اما پس از آن، به‌کارگیری و استفاده از این یافته‌های به دست آمده برای مدیریت صحیح و اقدامات محافظتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

سپاسگزاری

از دانشگاه گیلان جهت حمایت‌های پژوهشی در خصوص انجام این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Bond, N., J. Thomson, P. Reich, J. Stein. 2011. Using species distribution models to infer potential climate change-induced range shifts of freshwater fish in south-eastern Australia. *Journal of Marine and Freshwater Research* 62(9): 1043-1061.
2. Charles, H. and J.S. Dukes. 2007. Impacts of invasive species on ecosystem services. pp. 217–337, In: Netwing, W; (ed.), Biological invasions. Springer, New York.
3. Clavero, M. and E. García-Berthou. 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends* in *Ecology* & *Evolution* 20(3): 110.
4. Coad, B.W. 2019b. Review of the gobionids of Iran (Family Gobionidae). *Iranian Journal of Ichthyology* 6(1): 1-20.
5. Coad, B.W. 2021. Freshwater fishes of Iran. Updated 1 January 2021. Available from: www.briancoad.com. Accessed 1 January 2021.
6. Dukes, J.S. and H.A. Mooney 2004. Disruption of ecosystem processes in western North America by invasive species. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 411-437.
7. Ehrenfeld, J.G. 2003. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems* 6(6): 503–523.
8. Elith, J.H., C.P. Graham, R. Anderson, M. Dudı´k, S. Ferrier, A. Guisan et al 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Journal of Ecography* 29(2): 129–151.
9. Esmaeili, H.R., G. Sayyadzadeh, S. Eagderi, K. Abbasi. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3(3): 1-95.
10. Findlay, S., P. Groffman, S. Dye. 2003. Effects of *Phragmites australis* removal on marsh nutrient cycling. *Wetlands Journal Of Ecology Management* 11(3): 157–165.
11. Franklin, J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction: Cambridge University Press.
12. Hijmans, R.J., S. Phillips, J. Leathwick, J. Elith, M.R.J. Hijmans. 2017. Package 'dismo.' *Circles*, 9(1): 1-68.
13. Hong, S., I. Jang, D. Kim, S. Kim, H. Su Park, K. Lee. 2022. Predicting potential habitat changes of two invasive alien fish species with climate change at a regional scale. *Sustainability* 14, 6093.
14. IPCC, 5AR. 2014. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland. Report number: AR5. Available online at: http://www.ipcc.ch. Accessed 1 November 2014.
15. IPCC. 2015. Climate change and water, Cambridge University Press, Cambridge.
16. Kottelat, M. and J. Freyhof. 2007. Handbook of european freshwater fishes. Publications kottelat, cornol and freyhof, Berlin. 646 P.
17. Lobo, J.M., A. Jime´nez-Valverde, R. Real. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology Biogeography* 17(2): 145–151.
18. Makki, T., H. Mostafavi, A.A. Matkan, H. Aghighi. 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. (In Persian).
19. McCarty, J. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2): 320-331.
20. Mostafavi, H., F. Pletterbauer, B.W. Coad, A.S. Mahini, R. Schinegger, G. Unfer and S. Schmutz. 2014. Predicting presence and absence of trout (*Salmo trutta*) in Iran. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 2(46): 1-8.
21. Mostafavi, H., R. Schinegger, A. Melcher, K. Moder, C. Mielach, S. Schmutz. 2015. A new fish-based multi-metric assessment index for cyprinid streams in the Iranian Caspian Sea Basin. *Limnologica Ecology and Management of Inland Waters* 51: 37-52.
22. Mostafavi, H., M. Rashidian Doliskani, R. Valavi. 2018. 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).
23. Mostafavi, H., A. Teimori, R. Schinegger, S. Schmutz. 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.
24. Mostafavi, H. and J. Kambouzia. 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.
25. Mostafavi, H., A.R. Mehrabian, A. Teimori, H. Shafizade-Moghadam, J. Kambouzia. 2021. The ecology and modelling of the freshwater ecosystems in Iran. In: Jawad, L.A. (eds) Tigris and euphrates rivers: Their environment from headwaters to mouth. *Aquatic Ecology Series* vol 11. Springer, Cham.
26. Nejat, F. 2017. A study on distribution of non-native and invasive fish species of Iranian freshwater ecosystems, regarding to climate change. Master's thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian).

27. Nekrasova, O., V. Tytar, M. Pupins, A. Ceirans, O. Marushchak. 2021. A GIS Modeling study of the sistribution of viviparous invasive alien fish species in eastern europe in terms of global climate change, as exemplified by *Poecilia reticulata* Peters, 1859 and *Gambusia holbrooki* Girarg, 1859. *Journal of Diversity* 13: 385.
28. Novacek, M.J. and E.E. Cleland. 2001. The current biodiversity extinction event: scenarios for mitigation and recovery. Proc. *Natl Acad Science* 98(10): 5466–5470.
29. Pazooki, J., F. Tajbakhsh Goorabzarmakhi, M. Masoumian. 2011. Parasitic Infection of an Endemic Fish (Blicca bjoerkna) and an Exotic Fish (*Hemiculter beucisculus*) In Anzali Lagoon, Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal Parasitology* 6(3): 66-73.
30. Phillips, S.J., R.P. Anderson, R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecology* 190(3): 231–259.
31. Phillips, S.J., R.P. Anderson, M. Dudík, R.E. Schapire, M.E. Blair. 2017. Opening the black box: an opensource release of MaxEnt. *Ecography* 40(7): 887–893.
32. Pimentel, D., R. Zuniga, D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien invasive species in the United States. *Journal of Ecological economics* 52(3): 273-288.
33. Pyšek, P., P.E. Hulme, D. Simberloff, S. Bacher, T.M. Blackburn, J.T. Carlton et al. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews* 95(6): 1511- 1534.
34. Raven, P.H. 2020. Biological extinction and climate change. pp. 11-21, In: W.K. Al-Delaimy, V. Ramanathan, M. Sánchez Sorondo (eds.), Health of People, Health of Planet and Our Responsibility. (Cham: Springer).
35. Schmutz, S., T. Hein, J. Sendzimir. 2018. Landmarks, advances, and future challenges in riverine ecosystem management. pp. 563-572, In: S. Schmutz, J. Sendzimir (eds.), Riverine ecosystem management, aquatic ecology Series 8. (Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland).
36. Selman, P. 2006. Planning at the landscape scale. By Routledge, Sheffield.
37. Sharfzadeh, R., H. Mostafavi, A. Shakiba, R. Valavi. 2018a. Modelling of the climate change effects on the spatial distribution of *Carassius* sp. under different climatic scenarios in Iran. In: The 6th Iranian Conference of Ichthyology, Shshid Bahonar University of Kerman, 27-28 August 2018. (In Persian).
38. Sharfzadeh, R., H. Mostafavi, A. Shakiba, R. Valavi. 2018b. Adaptive management of aquatic ecosystems in chalenge with climate change. In: The 6th Iranian Conference of Ichthyology, Shshid Bahonar University of Kerman, 27-28 August 2018. (In Persian).
39. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2008. Effects of climate change for aquatic invasive species and implications for management and research. Available online at: http://www.epa.gov/ncea. Accessed February 2008.
40. Zamani Faradonbe, M., S. Eagderi, H. Poorbagher. 2017. Niche overlap in fish assemblages inferred from canonical correspondence analysis: A case study with the Totkabon River, north of Iran. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 34(2): 151-156.
41. Ziska, L.H. 2003a. Evaluation of yield loss in field sorghum from a C_3 and C_4 weed with increasing CO_2. *Weed Science* 51(6): 914–918.
42. Ziska, L.H. 2003b. Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present and future atmospheric carbon dioxide. *Journal of Experimental Biology* 54(381): 395-404.
43. Ziska, L.H., K. George, D.A. Frenz. 2007. Establishment and persistence of common ragweed (*Ambartemisiifolia* L.) in disturbed soil as a function of an urban-ruralnacro-environment. *Global Change Biol*ogy 13(1): 266-274.

Predicting the impact of climate change on the distribution of non-native Stone moroko fish (*Pseudorasbora parva*) in the rivers of the southern basin of the Caspian Sea

N. Tabasinezhad[1], H. Mousavi-Sabet[1*] and H. Mostafavi[2]

(Received: July 18-2023; Accepted: August 30-2023)

Abstract

The reduction of biodiversity and its adverse effects on plant and animal species is one of the consequences of global warming. The wide spread of non-native species has inherent negative effects on other species and ecosystems and may pose a double and more serious threat to biodiversity in the future due to climate change. Knowing the future distribution of these species can be used for biodiversity conservation. In the current study, the distribution of non-native stone moroko fish was predicted under two optimistic and pessimistic (RCP 2.6 and RCP 8.5) scenarios for the years 2050 and 2080 by the MaxEnt model. The results showed that the performance of the model in predicting species distribution was excellent (0.988) based on the Area Under the Curve (AUC) criterion. In addition, it is predicted that the distribution of the species is likely to increase significantly (more than 100%) in all years and optimistic and pessimistic scenarios. Therefore, managers and decision-makers should consider the significant expansion of this species in the future as well as, its potential effects on biodiversity and take necessary and appropriate management actions.

Keywords: Biodiversity, Stone moroko, Climate change, Species distribution modeling

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, Email: mosavii.h@gmail.com