



تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش یکی از ماهیان مهاجم ایران: گامبوزیا (*Gambusia holbrooki* (Girard, 1859)

نکتم مکی^۱، حسین مصطفوی^{۲*}، علی‌اکبر متکان^۳، حسین عقیقی^۴

^۱ دانشجوی دکتری محیط‌زیست، گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

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

^۳ استاد، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۴ استادیار، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

امروزه، گونه‌های مهاجم به‌عنوان یکی از تهدیدات مهم برای تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آیند. انتظار می‌رود زیستگاه مطلوب این گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده گسترش یابد که در این صورت حیات گونه‌های بومی را احتمالاً با مشکل مواجه کنند. شناسایی محدوده پراکنش کنونی و بالقوه گونه‌های مهاجم برای مدیریت این نوع گونه‌ها ضروری است. در این مطالعه، زیستگاه‌های مطلوب ماهی گامبوزیا (*Gambusia holbrooki*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP 4.5 و RCP 8.5) سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در مقیاس ایران پیش‌بینی شده است. بر مبنای پیش‌بینی‌های مدل، زیستگاه‌های مطلوب این گونه نه تنها شامل مناطق حضور کنونی آن می‌شود بلکه در برخی از حوضه‌های دیگر ممکن است گسترش یابد. با عبارتی دیگر انتظار می‌رود این گونه در مناطق مطلوب جدیدی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در آینده، گسترش یابد. مطالعه ما نشان داد که میزان پراکندگی این گونه مهاجم در سطح ۱۹ حوضه اصلی نسبتاً زیاد است و در صورت عدم اقدامات پیشگیرانه، تأثیرات منفی گونه‌های مهاجم بر تنوع زیستی و پویایی اکوسیستم بالا خواهد بود. بنابراین، نتایج این مطالعه برای سیاست‌گذاران در مدیریت این گونه مهاجم و حفظ تنوع زیستی مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی:

گونه مهاجم، مدل‌سازی پراکنش گونه، تنوع زیستی، حفاظت

نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۹/۱۰/۲۴

پذیرش: ۰۰/۰۳/۰۴

DOI: 10.22034/jair.9.1.1

نویسنده مسئول مکاتبه:

حسین مصطفوی، استادیار، گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

ایمیل: hmostafaviw@gmail.com

۱ | مقدمه

گونه‌های مهاجم گونه‌های غیربومی هستند که به‌طور عمدی یا سهوی وارد یک منطقه جغرافیایی جدید می‌شوند و بر عملکرد اکوسیستم و ثبات آن تأثیر منفی می‌گذارند (Mack et al., 2000). در حقیقت، زمانی که گونه‌ای به زیستگاهی خارج از زیستگاه طبیعی خود وارد می‌شود، برای آن زیستگاه گونه بیگانه محسوب می‌شود. این گونه‌ها زمانی مهاجم به‌حساب می‌آیند که به‌علت قدرت سازگاری بالا در رقابت با گونه‌های بومی موفق‌تر عمل کرده و به‌سرعت در زیستگاه جدید رشد و تکثیر می‌یابند (Pimentel et al., 2005). مطالعات عمدتاً نشان داده‌اند که گونه‌های غیربومی به‌خصوص مهاجم می‌توانند به تنوع زیستی و اقتصاد آسیب جدی وارد کنند (Ciruna et al., 2004; Hellmann et al., 2008; Shrestha and Shrestha, 2019). تغییر اقلیم با مکانیسم‌های مختلفی از جمله حذف موانع اقلیمی و افزایش دامنه پراکنش گونه‌های مهاجم، موجب تشدید تهدیدات اکوسیستمی

می‌شود (Dullinger et al., 2017; Pyšek et al., 2020). با این‌حال، موفقیت ماهی‌های آب شیرین معرفی‌شده به کشورهای جدید در استقرار با نواحی جدید به میزان مطابقت اقلیم آن نواحی با اقلیم محدوده جغرافیایی آنها ارتباط دارد (Bomford et al., 2010). در طول قرن گذشته، افزایش دما در سطح جهانی حدود ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد بوده است و پیش‌بینی می‌شود دما تا سال ۲۱۰۰ بین ۲/۶ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2014). ایران نیز از این امر مستثنا نبوده (Abbaspour et al., 2009; Amiri and Eslamian, 2010) و با توجه به تنوع زیستی قابل توجه این کشور (Coad, 2021) لزوم توجه به پراکنش بالقوه گونه‌های مهاجم در آینده دوچندان می‌شود. در این راستا یکی از روش‌های مؤثر در بررسی وضعیت الگوی پراکنش این گونه‌ها، مدل‌سازی آشیان اکولوژیکی است (Franklin, 2010). در واقع، مدل‌سازی آشیان اکولوژیکی ابزاری تجربی برای

شبیه‌سازی توزیع مکانی گونه‌ها و ارزیابی پاسخ‌های احتمالی موجودات نسبت به تغییرات اقلیمی است (Guillera-Arroita *et al.*, 2015). در میان مدل‌های مختلف آشیان اکولوژیکی، مدل حداکثر آنترپی (MaxEnt) به‌عنوان یک تکنیک یادگیری ماشینی کاربرد فراوانی دارد (Hijmans *et al.*, 2017; Abolmaali *et al.*, 2018) زیرا با بخش کوچکی از داده‌های حضور گونه‌ها و متغیرهای محیطی پیش‌بینی با دقت بالایی انجام می‌دهد (Shrestha and Phillips *et al.*, 2006; Shrestha, 2019). بنابراین با توجه به مطالب بالا پیش‌بینی روند هجوم گونه‌های مهاجم در آینده برای یک منطقه به‌خصوص کشور ما با تنوع زیستی برجسته، یکی از ابزارهای مدیریت تنوع زیستی محسوب می‌گردد. در حقیقت، نتایج حاصل از این ابزار مدل‌سازی می‌تواند در انجام اقدامات پیشگیرانه برای مقابله با گونه‌های مهاجم در حفظ تنوع زیستی بسیار مؤثر واقع شود (Hulme, 2006) زیرا اقدامات پیشگیرانه نسبت به اقدامات کنترلی و ریشه‌کن کردن، مقرون به‌صرفه‌تر است (Leung *et al.*, 2002). در این راستا، تصمیم گرفته شد تا با مطالعه در مقیاس کشور، تهاجم یا گسترده‌ی بیولوژیکی یکی از گونه‌های مهاجم ایران تحت عنوان ماهی گامبوزیا (*Gambusia holbrooki*) تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی مورد بررسی قرار گیرد. همان‌طور که در بالا اشاره شد نتایج این مطالعه بسیار کمک‌کننده در حفظ تنوع زیستی خواهد بود و اطلاعات ارزنده‌ای را به مدیران و تصمیم‌گیران در راستای حفاظت از تنوع زیستی خواهد داد.

۲ | مواد و روش‌ها

مقیاس مورد مطالعه ما کشور ایران بوده است (شکل ۱). ایران، با وسعت ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر مربع شامل ۱۹ حوضه آبریز اصلی می‌باشد

(Coad, 1980). همچنین منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوا و محیط بسیار متنوعی است که به‌دلیل جغرافیای منحصربه‌فرد خود زیستگاهی برای انواع گونه‌های خشکی و آبی می‌باشد و نیز به‌عنوان مرکزی برای منشأ بسیاری از گونه‌ها در نظر گرفته می‌شود (Coad, 2021). از نظر شرایط اقلیمی، کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و در بیش از ۸۰ درصد سطح کشور، میزان بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر برآورد شده است. به‌علاوه، یکی از عناصر مهم اقلیمی تغییرات شدید دما است که گاهی اوقات محدوده تغییرات بین ۲۰- تا ۵۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Coad, 1980).

ماهی گامبوزیا ((*Gambusia Holbrooki* (Givord, 1859) از راسته کپور دندان ماهی شکلان (Cyprinodontiforms) و از خانواده گامبوزیا ماهیان (Poeciliidae) است که منشأ اصلی آن آمریکای شمالی می‌باشد (Naderi et al., 2013). یک گونه غیربومی و مقاوم است که اولین بار آن را به‌منظور مبارزه با بیلوژیک با پشه مالاریا به ایران وارد نمودند (Abdoli, 2000). این گونه با طول عمر ۶ سال و حداکثر طول ۱۸ سانتی‌متر در نهرها و آب‌بندان‌های بدون پوشش یا با پوشش گیاهی و حاشیه رودخانه‌ها و دریاچه‌های پر گیاه با آب شیرین یا لب‌شور بر بستر گلی یا شنی، ساکن است. دارای قابلیت تحمل شوری تا ۱۰٪ و دمای بین ۰/۵ تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Keivany et al., 2016).

داده‌های مربوط به این گونه مستخرج از داده‌های جمع‌آوری شده توسط مصطفوی و همکاران (Mostafavi et al., 2014) در ۱۴۸۱ ایستگاه است که موقعیت نقاط حضور این گونه در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱- نقاط حضور (دایره قرمز) ماهی گاموز با در مقیاس ایران و در حوضه‌های مختلف آبریز

سیستم (ROC) برآورده شده است. این منحنی یکی از متداول‌ترین روش‌های آماری است که در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود؛ سطح زیر منحنی (AUC) بیانگر میزان پیش‌بینی مدل از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست نقاط حضور و عدم حضور است (Phillips *et al.*, 2006). مقادیر سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه سطح زیر منحنی برابر با ۰/۵ باشد بیان‌کننده تصادفی بودن مدل است. اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو می‌تواند نقاط حضور و عدم حضور را مشخص نماید. مدل‌هایی که مقدار آنها بالای ۰/۷۵ باشد جزو مدل‌های خوب دسته‌بندی می‌شوند (Elith and Burgman, 2002).

همچنین، مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در تعیین پراکنش گونه مورد نظر در منطقه مطالعاتی با استفاده از آزمون جک‌نایف مشخص و در نهایت نقشه پراکندگی ماهی گامبوزیا در ایران تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تولید شد.

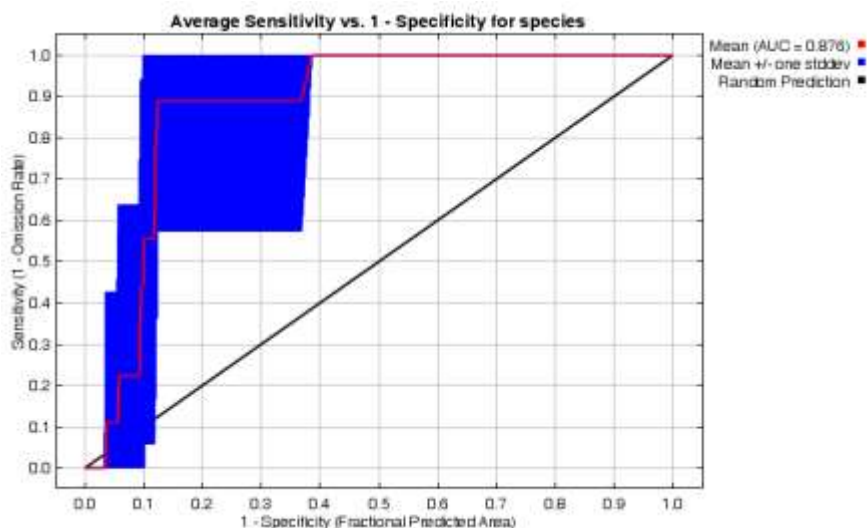
۳ | نتایج

بعد از آزمون همبستگی، متغیرهای حداکثر عرض رودخانه، ارتفاع، شیب، میانگین بارش، میانگین دمای سالانه، اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه برای مدل‌سازی باقی مانده‌اند. نتیجه حاصل از ارزیابی کارایی مدل مکسنت نیز با استفاده از شاخص AUC نشان می‌دهد که این مدل دارای توانایی خوبی در پیش‌بینی پراکنش ماهی گامبوزیا می‌باشد ($AUC = 0.876$). شکل ۲). همچنین براساس نتایج، متغیر ارتفاع، میانگین دمای سالانه و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه به ترتیب دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر متغیرها در تعیین پراکنش این گونه بوده اند (شکل ۳).

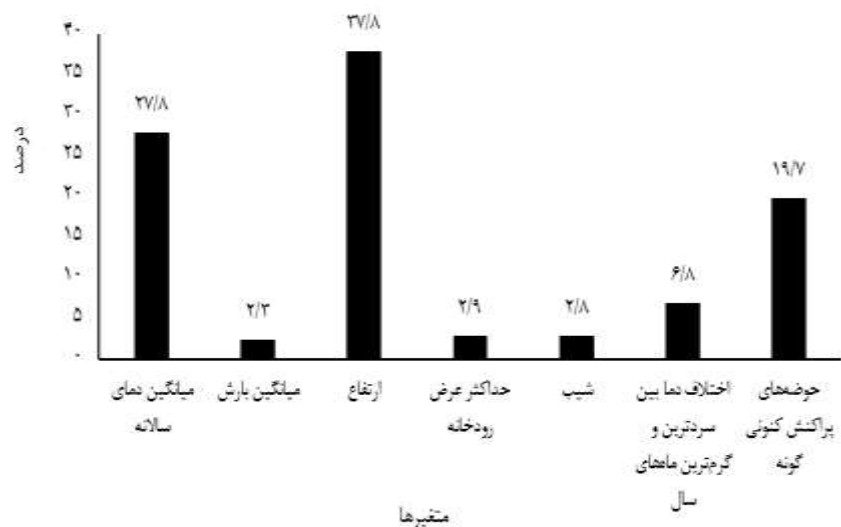
در ابتدا، نه متغیر محیطی (حداکثر عرض رودخانه، ارتفاع، شیب، میانگین بارش، میانگین دمای سالانه، میانگین کمترین دمای سالانه، میانگین بیشترین دمای سالانه، میانگین اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سالانه و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه) برای این مطالعه انتخاب شدند که پس از انجام آزمون همبستگی اسپیرمن (که اگر دو متغیر دارای همبستگی بالا ($r > 0.75$) داشتند یکی از آنها با نظر کارشناسی انتخاب می‌گردید (Filipe *et al.*, 2013)، تعدادی برای مدل‌سازی استفاده شده‌اند. لازم به ذکر است همه این متغیرها به غیر از متغیر حوضه‌های پراکنش کنونی گونه براساس روش‌های ذکر شده در مطالعه مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.*, 2014) انتخاب و انجام شد. متغیر اخیر نیز براساس حوضه‌های آبریز دسته‌بندی شده توسط کد (Coad, 2021) انتخاب شده‌اند.

متغیرهای اقلیمی برای مدل‌سازی آینده براساس سناریوی RCP4.5 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO_2 ۶۵۰ ppm و میزان جمعیت ۸/۷ میلیارد نفر) به عنوان سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی RCP8.5 (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت CO_2 ۱۳۷۰ ppm و میزان جمعیت ۱۲ میلیارد نفر) به عنوان سناریوی بدبینانه (IPCC, 2014) و مدل اقلیمی گردش عمومی جو (GCMs) در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از سایت www.ccafs-climate.org تهیه شد و در محیط نرم‌افزاری Desktop Arc GIS 10.7.1 (ESRI© 1999–2008) آماده و ویرایش شدند.

در این مطالعه مدل‌سازی توسط مدل مکسنت در محیط نرم‌افزار R (R-4.0.3) انجام شد. در برآورد حداکثر تراکم آنروپی، پراکنش واقعی یک گونه به صورت توزیع احتمال p بر مجموعه X از سایت‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده می‌شود (Phillips and Dudík, 2008) و میزان دقت مدل نیز به کمک منحنی مشخصه عملکرد



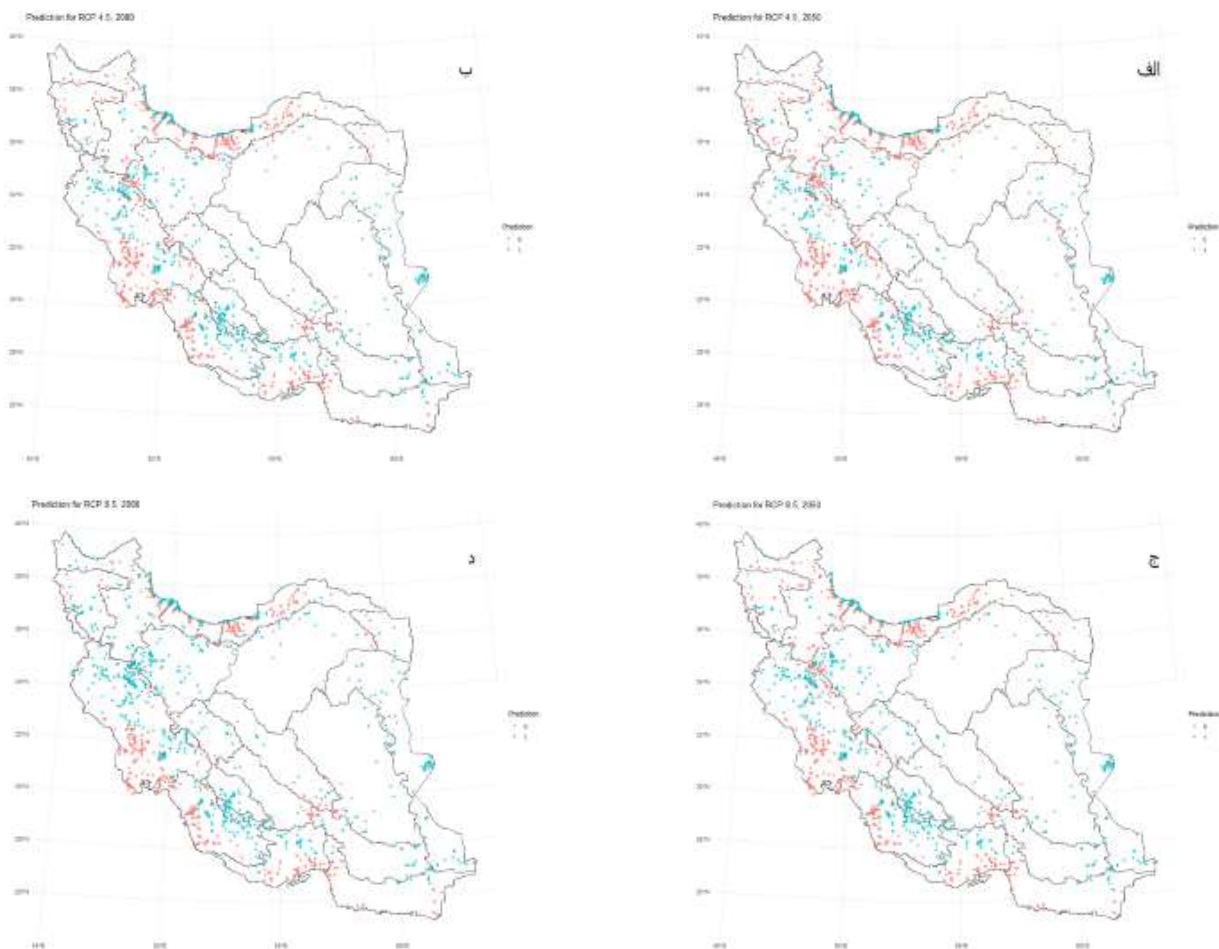
شکل ۲- ارزیابی عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه ماهی گامبوزیا (Sensitivity = حساسیت، Specificity = اختصاصیت، Omission Rate = نرخ حذف) بر اساس شاخص AUC



شکل ۳- اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر در تعیین پراکنش ماهی گامبوزیا

طوری که در سطح ۱۹ حوضه آبریز کشور امکان پراکنش آن در آینده وجود دارد (شکل ۴، جدول ۱).

همان‌طور که در نقشه‌های پراکنش این گونه مشاهده می‌شود، نقاط پراکنش جدیدی برای این گونه تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، پیش‌بینی شده به



شکل ۴- پراکنش ماهی گامبوزیا تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ (الف- سناریوی RCP 4.5 در سال ۲۰۵۰، ب- سناریوی RCP 4.5 در سال ۲۰۸۰، ج- سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۵۰، د- سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰). نقاط سبز یا ۱ پیش‌بینی شدند و نقاط قرمز یا صفر پیش‌بینی نشدند.

جدول ۱ - حوضه‌های فعلی و بالقوه پراکنش ماهی گامبوزیا تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی در آینده

پراکنش تحت RCP 8.5		پراکنش تحت RCP 4.5		پراکنش حال حاضر
دوره ۲۰۸۰	دوره ۲۰۵۰	دوره ۲۰۸۰	دوره ۲۰۵۰	
حوضه ۱۹	حوضه ۱۹	حوضه ۱۹	حوضه ۱۹	حوضه خزر، ارومیه، نمک، دجله، اصفهان، کر، مهارلو، هرمز، خلیج، مکران، مشکید، جازموریان، لوت، بجستان

ملاحظه شد. به علاوه، در این ارتباط، بیشترین درصد افزایش معادل ۱۷۰/۰۳ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شد (جدول ۲). به عبارتی دیگر، نسبت افزایش پراکنش گونه در مقایسه با کاهش پراکنش آن بسیار قابل توجه بوده است طوری که دامنه تغییرات پراکنش گونه مثبت و قابل توجه بوده و بیشترین آنها در سناریوی بدبینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ می‌باشد (جدول ۲).

همچنین نتایج نشان می‌دهد که تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش و افزایش پراکنش این گونه در آینده است به طوری که حداکثر میزان کاهش در محدوده پراکنش این گونه، تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP 4.5) در سال ۲۰۵۰ بوده که معادل ۱۰/۴۲ درصد می‌باشد. در مقابل، درصد افزایش قابل ملاحظه‌ای در محدوده پراکنش این گونه در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه (به ترتیب RCP 4.5 و RCP 8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰

جدول ۲ - پیش‌بینی پراکنش ماهی گامبوزیا تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰

RCP 8.5		RCP 4.5		
دوره ۲۰۸۰	دوره ۲۰۵۰	دوره ۲۰۸۰	دوره ۲۰۵۰	
۱/۳۰	۷/۸۲	۸/۷۹	۱۰/۴۲	درصد کاهش
۱۷۰/۰۳	۹۶/۷۴	۹۰/۲۳	۶۶/۱۲	درصد افزایش
۱۳۸/۷۳	۸۸/۹۳	۸۱/۴۳	۵۵/۷	دامنه تغییرات پراکنش گونه

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم موجب تسهیل پراکنش گونه گامبوزیا در آینده می‌شود و مکان‌ها و حوضه‌های جدیدی به غیر از مکان‌ها و حوضه‌های پراکنش فعلی این گونه پتانسیل وجود آن را پیدا می‌کنند که این نتیجه با ثنوری و مطالعه دیگران (Moyle and Hellmann *et al.*, 2008; Marchetti, 2006; Rahel and Olden, 2008) نیز سازگار است. به عبارتی دیگر، علاوه بر اینکه آشیان‌های اکولوژیکی فعلی این گونه‌های مهاجم تا حدود زیادی حفظ می‌شود، مناطقی نیز به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی آنها در آینده اضافه خواهد شد.

براساس هلمان و همکاران (Hellmann *et al.*, 2008)، یکی از دلایل مهم موفقیت گونه‌های غیربومی مهاجم در تغییرات اقلیم، مزیت آنها نسبت به گونه‌های بومی است. گونه‌های غیربومی مهاجم اغلب دارای یکسری ویژگی‌هایی هستند که آنها را به مهاجمان موفق تبدیل می‌کند (به عنوان مثال توانایی زنده ماندن در شرایط نامساعد، تحمل در دامنه وسیعی از شرایط محیطی، سرعت رشد سریع و پراکندگی گسترده)، زیرا این ویژگی‌ها برای فرآیند تهاجم انتخاب می‌شوند و اغلب به آنها کمک می‌کند تا در رقابت با گونه‌های بومی تحت تأثیر تغییر اقلیم موفق شوند. با این حال، همه گونه‌های مهاجم این توانایی‌ها را ندارند بلکه همان‌طور که در بالا اشاره شد، برخی از گونه‌ها وجود دارند

تأثیر تغییر اقلیم بر گونه‌های غیربومی مهاجم از موضوعات مهمی شمرده شده که بر تنوع زیستی در سطوح مختلف آن تأثیرگذار است. مطالعه‌ای که در این راستا انجام شده است به خوبی اثرات تغییر اقلیم بر گونه غیربومی مهاجم را نشان داده است. به طور کل گونه‌ها در مواجهه با تغییر اقلیم یکی از این چهار سناریوی "کاهش مطلوبیت زیستگاه یا همان کاهش پراکنش گونه"، "افزایش مطلوبیت زیستگاه یا همان افزایش پراکنش گونه، هم کاهش و هم افزایش مطلوبیت زیستگاه یا همان افزایش و کاهش پراکنش گونه و یا ثابت بودن یا بدون تغییر در پراکنش گونه" را انتخاب می‌کنند (Buisson *et al.*, 2008; Carosi *et al.*, 2019; Yousefi *et al.*, 2020). در این میان گونه‌هایی که دامنه پراکنش آنها محدود یا کاهش می‌یابد در حقیقت با تأثیر منفی تغییر اقلیم مواجه هستند و برعکس گونه‌هایی که پراکنش آنها افزایش می‌یابد در حقیقت از تغییر اقلیم سود می‌برند. دسته آخر گروه‌هایی هستند که تغییر اقلیم هیچ تأثیری بر آنها ندارد (Simpson *et al.*, 2013; Carosi *et al.*, 2019). براساس مطالب مذکور، تغییر اقلیم سبب افزایش و کاهش در پراکنش گونه مورد مطالعه ما خواهد شد اما نسبت افزایش بیشتر از کاهش بوده به طوری که این گونه بیشتر از تغییر اقلیم نفع می‌برد تا زیان. بنابراین، نتایج این مطالعه نشان داده است که

- Abbaspour K.C., Faramarzi M., Ghasemi S.S., Yang H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45(10): 1-16.
- Abdoli A. 2000. *The Inland Water Fishes of Iran*. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran, Iran. 276p. (In Persian).
- Abolmaali S.M.R., Tarkesh M., Bashari H. 2018. MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. *Ecological Informatics*, 43: 116-123.
- Amiri M.J., Eslamian S.S. 2010. Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4): 208-216.
- Bomford M., Barry S.C., Lawrence E. 2010. Predicting establishment success for introduced freshwater fishes: a role for climate matching. *Biological Invasions*, 12(8): 2559-2571.
- Buisson L., Thuiller W., Lek S., Lim P.U.Y., Grenouillet G. 2008. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology*, 14(10): 2232-2248.
- 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): 23-49.
- Ciruna K., Meyerson L., Gutierrez A. 2004. The ecological and socio-economic impacts of invasive alien species in inland water ecosystems. Report to the Conservation on Biological Diversity on behalf of the Global Invasive Species Programme, Washington, DC, USA. Report number: 34.
- Coad B.W. 1980. Environmental change and its impact on the freshwater fishes of Iran. *Biological Conservation*, 19(1): 51-80.
- Coad B.W. 2021. *Freshwater Fishes of Iran*. Updated 1 January 2021. [Cited 1 January 2021]. Available from: www.briancoad.com.
- Dullinger I., Wessely J., Bossdorf O., Dawson W., Essl F., Gatringer A., Klonner G., Kreft H., Kuttner M., Moser D., Pergl J. 2017. Climate change will increase the naturalization risk from garden plants in Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 26(1): 43-53.
- Elith J., Burgman M.A. 2002. Predictions and their validation: rare plants in the Central Highlands, Victoria, Australia. In: Scott JM, Heglund PJ, Morrison ML, Raphael MG, Wall WA, Samson FB (Eds.). *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*. Island Press, Covelo, CA, USA. pp: 303-314.
- Filipe A.F., Markovic D., Pletterbauer F., Tisseuil C., De Wever A., Schmutz S., Bonada N., Freyhof J. 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, United Kingdom.
- Guillera-Arroita G., Lahoz-Monfort J.J., Elith J., Gordon بومی دارای ویژگی‌های مناسب هستند که در نتیجه فرآیند انتخاب در طول مسیر مهاجم، آنها را در یک محیط متغیر مورد علاقه قرار می‌دهد. یا به عبارتی دیگر، برخی از گونه‌های بومی وابسته به روابط متقابل، کاهش ایستادگی و توانایی رقابتی خود را مشاهده خواهند کرد در نتیجه اثرات تغییر اقلیم بر سایر گونه‌ها در این زمینه. زیرا گونه‌های غیربومی به‌ندرت به روابط متقابل بستگی دارند و کمتر تحت‌تأثیر این مکانیسم قرار خواهند گرفت. تغییر اقلیم همچنین سازگاری گونه‌های بومی را از طریق تغییر در شرایط محیطی به چالش می‌کشد، بقای گونه‌های بومی را دشوار می‌کند و غلبه گونه‌های غیربومی مهاجم بر زیستگاه‌ها یا مکان‌های خالی را آسان می‌کند (Hellmann et al., 2008; Moyle and Marchetti, 2006; Rahel and Olden, 2008). تغییرات در محیط همچنین می‌تواند توانایی گونه‌های بومی را برای رقابت با مهاجمان، که اغلب عمومی هستند، به‌خطر بیندازد. گونه‌های مهاجم برای آسیب رساندن به اکوسیستم‌ها به تغییرات آب و هوایی احتیاج ندارند، با این حال، تغییرات آب و هوایی ممکن است آسیب‌هایی را که باعث می‌شوند، تشدید کند (Mainka and Howard, 2010).
- همچنین براساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، "ارتفاع" به‌عنوان مهمترین متغیر در تعیین پراکنش این گونه نشان داده شد که با مطالعه پولوس و همکاران (Poulos et al., 2012) مطابقت دارد.
- در کشور ما بیش از ۳۰ گونه غیربومی و مهاجم وجود دارد که تا کنون به‌خاطر افزایش زیستگاه‌های مطلوب آنها اثرات مخربی بر تنوع زیستی، خدمات اکوسیستمی و امنیت غذایی در برخی نقاط ایران داشته‌اند (Valikhani et al., 2018)، به‌طوری که سیرونا و همکاران (Ciruna et al., 2004) اشاره نمودند گسترش گونه‌های غیربومی مهاجم سبب تغییر در رژیم هیدرولیکی، تغییر در رژیم شیمیایی آب، تغییر در زیستگاه فیزیکی و ارتباط آنها، تأثیر در جوامع و ترکیبات بیولوژیکی، تأثیر ژنتیکی و تغییر در ساختار، فرآیند و پایداری اکوسیستم‌ها می‌شود. بنابراین، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک الگو جهت تذکر پیشگیرانه و کمک به ایجاد استراتژی در مدیریت این گونه‌ها، مفید باشد. الگوریتم مکسنت نیز مدل مناسبی برای پیش‌بینی بوده چون پیش‌بینی را به‌صورت نمایی انجام می‌دهد (Nejat, 2017) و باتوجه به اینکه برای گونه‌های غیربومی مهاجم حداکثر پراکنش مورد نظر است بنابراین استفاده آن برای سایر گونه‌های غیربومی و مهاجم در ایران توصیه می‌شود. این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی مکسنت می‌تواند یکی از راه‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌های ماهیان مهاجم باشد.
- پست الکترونیک نویسندگان**
- تکتم مکی: t.makky14@gmail.com
حسین مصطفوی: hmostafaviw@gmail.com
علی اکبر متکان: a-matkan@sbu.ac.ir
حسین عقیقی: h_aghghi@sbu.ac.ir

- fit for purpose? Matching data and models to applications: Matching distribution models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3): 276-292.
- Hellmann J.J., Byers J.E., Bierwagen B.G., Dukes J.S. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation biology*, 22(3): 534-543.
- Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J., Hijmans M.R.J. 2017. Package 'dismo.' *Circles*, 9(1): 1-68.
- Hulme P.E. 2006. Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. *Journal of Applied Ecology*, 43(5): 835-847.
- IPCC 5AR. 2014. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (Eds.)]. Geneva, Switzerland. Report number: AR5.
- Keivany Y., Nasri M., Abbasi K., Abdoli A. 2016. Atlas of Inland Water Fishes of Iran. Iran Department of Environment Press, Tehran, Iran. 234p. (In Persian).
- Leung B., Lodge D.M., Finnoff D., Shogren J.F., Lewis M.A., Lamberti G. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1508): 2407-2413.
- Mack R.N., Simberloff D., Mark Lonsdale W., Evans H., Clout M. Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological applications*, 10(3): 689-710.
- Mainka S.A., Howard G.W. 2010. Climate change and invasive species: double jeopardy. *Integrative Zoology*, 5 (2): 102-111.
- 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. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 2(46):1-8.
- Moyle P.B., Marchetti M.P. 2006. Predicting Invasion Success: Freshwater Fishes in California as a Model. *BioScience*, 56(6): 515-524.
- Naderi M., Zare P., Eshghi H.R., Rahmani H. 2013. Comparative study of some biological parameters of mosquito fish (exotic species) *Gambusia holbrooki*, living in Baba Sheikh Khalil subterranean and Ghomp-atashkadeh spring, Fasa city. *Iranian journal of biology*, 25(4): 578-588. (In Persian).
- 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).
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4): 231-259.
- Phillips S.J., Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2): 161-175.
- Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52(3): 273-288.
- Poulos H.M., Chernoff B., Fuller P.L., Butman D. 2012. Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes. *Aquatic Invasions*, 7(2): 59-72.
- Pyšek P., Hulme P.E., Simberloff D., Bacher S., Blackburn T.M., Carlton J.T., Dawson W., Essl F., Foxcroft L.C., Genovesi P., Jeschke J.M. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6): 1511-1534.
- Rahel F.J., Olden J.D. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22(3): 521-533.
- Shrestha U.B., Shrestha B.B. 2019. Climate change amplifies plant invasion hotspots in Nepal. *Diversity and Distributions*, 25(10): 1599-1612.
- Simpson S.D., Blanchard J.L., Genner M.G. 2013. Impacts of climate change on fish. *Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review*, pp: 113-124.
- Valikhani H., Abdoli A., Hasanzadeh Kiabi B., Nejat F., Sadeghsaba M., Khosravi M. 2018. A study on the status of invasive tilapia species (*Coptodon zillii* gervais, 1848 and *Oreochromis aureus* steindachner, 1864) in aquatic ecosystems of Khuzestan province, IRAN. *Environmental Sciences*, 15(4): 29-44. (In Persian).
- Yousefi M., Jouladeh-Roudbar A., Kafash A. 2020. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators*, 112: 106-137.

نحوه استناد به این مقاله:

مکی ت.، مصطفوی ح.، متکان ا.، عقیقی ح. تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش یکی از ماهیان مهاجم ایران: گامبوزیا (*Gambusia holbrooki* (Girard, 1859). نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۰، ۸-۱: ۹(۱).

Makki T., Mostafavi H., Matkan A.A., Aghighi H. The effects of climate change on the distribution of an invasive fish in Iran: *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859). *Journal of Applied Ichthyological Research*, University of Gonbad Kavous. 2021, 9(1): 1-8.

The effects of climate change on the distribution of an invasive fish in Iran: *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859)

Makki T¹, Mostafavi H^{*2}, Matkan A.A³, Aghighi H⁴.

¹ PhD Student in Environment, Dept. of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Assistant Prof., Dept. of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Prof., Remote Sensing and GIS Center, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Prof., Remote Sensing and GIS Center, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Type:

Original Research Paper

Paper History:

Received: 13-01-2021

Accepted: 25-05- 2021

Corresponding author:

Mostafavi H. Assistant Prof., Dept. of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: hmostafaviw@gmail.com

Abstract

Today, invasive species are considered as one of the major threats to biodiversity and ecosystem functions. The suitable habitats of these species are expected to be expanded under the effects of future climate change hence it is likely to threaten the existence of native species. Consequently, identifying the current and potential distribution range of invasive species is essential for management of such species. In this study, suitable habitat of *Gambusia holbrooki* was predicted by using Maximum Entropy (MaxEnt) under optimistic and pessimistic (RCP 4.5 and RCP 8.5) scenarios of 2050 and 2080 at the scale of Iran. According to the modeling predictions, the suitable habitats of this species not only will include its current distribution range but also may expand in some other basins. In other words, it is expected to extend to new favorable regions under future climate change scenarios. Our study showed that the distribution of this invasive species in the 19 main basins is relatively high. If preventive measures are not employed, the negative effects of invasive species on biodiversity and ecosystem dynamics will be high. Therefore, this study will be helpful to policymakers for management of this invasive species and the conservation of biodiversity.

Keywords: Invasive species, Species Distribution Modeling, Biodiversity, Conservation