مدل‌سازی پراکنش حال حاضر و آینده لاک‌پشت برکه‌ای خزری (*Mauremys caspica*) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

محمدرضا اشرف‌زاده[۱*]، زهرا شجاعی[۲]، فردین شالویی[۳]، علی‌اصغر نقی‌پور[۴] و مریم حیدریان[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵)

چکیده

لاک‌پشت‌ها در معرض تهدیدترین گروه آرایه‌شناختی در میان خزندگان هستند. با این وجود، دانش چندانی در زمینه پاسخ این گروه از موجودات در برابر تغییرات اقلیمی وجود ندارد. این پژوهش، با هدف ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی لاک‌پشت برکه‌ای خزری (*Mauremys caspica*) انجام شد. به این منظور، از رویکرد مدل‌سازی اجماعی شامل شش مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش تعمیمی تقویت شده، مدل خطی تعمیم‌یافته، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، جنگل تصادفی و رگرسیون چند متغیره تطبیقی استفاده شد. پیش‌بینی پراکنش زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی گونه مورد مطالعه بر اساس مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 و چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای (RCP) برای سال ۲۰۷۰ صورت گرفت. بر اساس یافته‌ها، سطح زیستگاه مطلوب اقلیمی گونه مورد مطالعه در حدود ۸۳۵۹۴۱/۵ کیلومتر مربع (حدود ۸/۷۳ درصد) از کل منطقه مورد مطالعه برآورد شد. مجموع بارندگی سالیانه (۲۴/۵۶ درصد)، مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال (۲۴/۲۸ درصد)، تغییرات فصلی بارندگی (۱۶/۹۳ درصد) و تغییرات فصلی دما (۱۴/۶۴ درصد) بیشترین مشارکت را در مطلوبیت اقلیمی این گونه داشتند. در حدود ۲۶ تا ۳۳ درصد از وسعت زیستگاه‌های لاک‌پشت برکه‌ای خزری به واسطه تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ مطلوبیت اقلیمی خود را از دست خواهد داد. یافته‌های این پژوهش بر ضرورت درک پیامدهای پیچیده تغییر اقلیم بر حیات وحش به ویژه گونه‌های تهدید شده تاکید دارد.

واژه‌های کلیدی: لاک‌پشت برکه‌ای آب شیرین، مدل‌سازی آشیان اقلیمی، تغییر اقلیم، پراکنش جغرافیایی، حفاظت

۱. دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبزیان گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. استادیار گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۵. دانش‌آموخته دکتری گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mrashrafzadeh@sku.ac.ir

مقدمه

امروزه تنوع زیستی به واسطه طیف متنوعی از عوامل تهدید کننده انسانی در حال تجربه یک کاهش بی‌سابقه است (۲۴). در حالی که تخریب زیستگاه و تجزیه متعاقب آن به عنوان یک عامل اصلی تهدید گونه‌ها به شمار می‌رود (۲۰)، تغییر اقلیم می‌تواند این پیامدها را تشدید نموده و با ایجاد شرایط اقلیمی نامطلوب خطر انقراض گونه‌ها را افزایش دهد (۴۱). تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای متنوعی بر گونه‌های جانوری و گیاهی داشته باشد (۳۴). تغییر در محدوده پراکنش جغرافیایی و الگوهای توزیع (۱۱)، سازش‌های حیاتی تاریخی و فنولوژیکی، تغییر در اندازه جمعیت و انقراض از پاسخ‌های احتمالی گونه‌ها در برابر تغییر اقلیم هستند (۵). برخی از دانشمندان پیش‌بینی کرده‌اند که ممکن است یک پنجم تا یک سوم گونه‌های خشک‌زی در معرض خطر انقراض قرار گیرند (۴۶). همچنین، گونه‌های ساکن زیستگاه‌های آبی از جمله دریاها و تالاب‌ها ممکن است تحت تأثیر پیامدهای تغییر اقلیم قرار گیرند (۱۰).

پژوهش‌های متعدد اشاره دارند که گونه‌ها، در پاسخ به تغییر اقلیم، در حال جابه‌جایی گستره جغرافیایی‌شان هستند؛ به عنوان نمونه، جابه‌جایی به مناطق مرتفع‌تر و عرض‌های جغرافیایی بالاتر (۵۰). این پژوهش‌ها تاکید دارند که تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای قابل توجهی، در مقیاس‌های بزرگ و کوچک، بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها داشته باشد (۱۴). در نتیجه تغییر اقلیم، گستره پراکنش جغرافیایی برخی از گونه‌ها ممکن است افزایش یابد، در حالی که گستره حضور بسیاری از گونه‌های دیگر احتمالاً کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، پاسخ مهره‌داران آب‌های شیرین در برابر تغییر اقلیم نامشخص است و در عین حال پیش‌بینی دقیقی از چگونگی وضعیت پراکنش آتی این گونه‌ها در دسترس نیست. لاک‌پشت‌های ساکن آب‌های شیرین از جمله لاک‌پشت‌های برکه‌ای از گونه‌های با نیازمندی‌های حیاتی ویژه به شمار می‌روند. بقای این گونه‌ها به دلایل مختلف از جمله پایین بودن توانایی پراکنش، کاهش اندازه جمعیت و کاهش جریان ژنی و تغییرات اقلیمی در معرض تهدید قرار دارد (۲۵).

در گروه خزندگان، لاک‌پشت‌ها به عنوان تهدید شده‌ترین گروه آرایه‌شناختی به شمار می‌روند (۳۷ و ۳۸). بر اساس برآوردها ۲۰ درصد از تمامی گونه‌های لاک‌پشت در طبقه گونه‌های به شدت در خطر انقراض (Critically Endangered) فهرست شده‌اند و ۶۰ درصد از آنها نیز در رده در خطر انقراض (Endangered) طبقه‌بندی شده‌اند (۳۱ و ۳۸). از حدود ۲۶۳ گونه لاک‌پشت آب شیرین و خشک‌زی، ۱۱۷ گونه در تهدید قرار دارند، که ۷۳ گونه در خطر انقراض (Endangered) و یا به شدت در خطر انقراض (Critically Endangered) هستند و یک گونه منقرض شده است (۳۷). تخریب زیستگاه، آلودگی‌های محیط زیستی و مدیریت نامناسب منابع آب از مهمترین عوامل تهدید کننده جمعیت لاک‌پشت‌های برکه‌ای در سراسر گستره جغرافیایی آنها هستند (۴۷). در سال‌های اخیر، خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها در کشورهای مختلف از جمله ایران، جمعیت لاک‌پشت‌های برکه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است و باعث نابودی بخشی از جمعیت آنها شده است (۴۷ و ۵۲). علاوه بر این، دلایلی از قبیل افزایش آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی و فلزات سنگین می‌توانند صدمات بسیاری بر زندگی این گونه‌ها وارد سازند. برداشت غیرمجاز از جمعیت و استفاده از لاک‌پشت‌های برکه‌ای به عنوان حیوان خانگی، جمع‌آوری و استفاده از تخم لاک‌پشت‌ها، تلفات جاده‌ای، شیوع بیماری‌ها و ورود گونه‌های مهاجم از دیگر عوامل تهدید کننده جمعیت‌های لاک‌پشت‌های برکه‌ای هستند (۲۷، ۳۶ و ۵۲).

امروزه، تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر زیستگاه‌ها و جمعیت‌ها به یک نگرانی اصلی در هنگام تدوین برنامه‌ها و تعیین اولویت‌های حفاظتی تبدیل شده است (۲۸). استفاده از مدل‌های پیش‌بینی کننده پراکنش به عنوان یکی از ابزارهای شناسایی زیستگاه‌ها و نیازهای حیاتی مورد نیاز گونه‌ها به شمار می‌رود، که مبنای آنها بررسی ارتباط بین گونه‌ها و متغیرهای مختلف محیط زیستی است (۱۹ و ۳۹). مدل‌های ذکر شده، ابزار مناسبی برای بررسی پراکنش گونه‌های در تهدید در شرایط حال حاضر و

تغییرات اقلیمی آتی هستند (۴، ۱۲، ۲۵ و ۳۰)، که می‌توانند در توسعه رویکردهای حفاظتی سودمند باشند (۲۵). پژوهش‌های پیشین، با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم آینده، شواهد گسترده‌ای در زمینه پیامدهای تغییر اقلیم بر خزندگان و دوزیستان (مانند از دست رفتن زیستگاه، جابه‌جایی و تغییر در گستره پراکنش جغرافیایی) ارائه می‌دهند (از جمله: ۶ و ۸).

لاک‌پشت برکه‌ای خزری (*Mauremys caspica*) پراکنش گسترده‌ای در خاورمیانه و شرق مدیترانه دارد (۴۷). این گونه در آناتولی مرکزی، قفقاز شرقی و ماورای قفقاز، سوریه، عراق، ایران و ترکمنستان حضور دارد. جنوبی‌ترین زیستگاه‌های آن در جنوب خلیج فارس، در بحرین و عربستان سعودی قرار دارند (۱۶). لاک‌پشت برکه‌ای خزری، زیستگاه‌های آب شیرین پوشیده با نیزارها همراه با بسترهای گلی و باتلاق‌ها را ترجیح می‌دهد. با در نظر گرفتن تعداد گونه‌های لاک‌پشت در سراسر جهان و آسیب‌پذیری آنها در برابر تغییر اقلیم، تاکنون، پژوهش‌های اندکی به منظور پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر وضعیت زیستی لاک‌پشت‌ها در مناطق مختلف جهان به انجام رسیده است (۱، ۲۶، ۳۳ و ۳۶). درک چگونگی اثرات تغییر اقلیم بر زیستگاه‌های مطلوب لاک‌پشت‌های برکه‌ای اهمیت زیادی در برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی این گونه خواهد داشت. در این پژوهش، بررسی پیامدهای بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی لاک‌پشت‌های برکه‌ای خزری در گستره جهانی حضور این گونه مورد توجه قرار گرفته است.

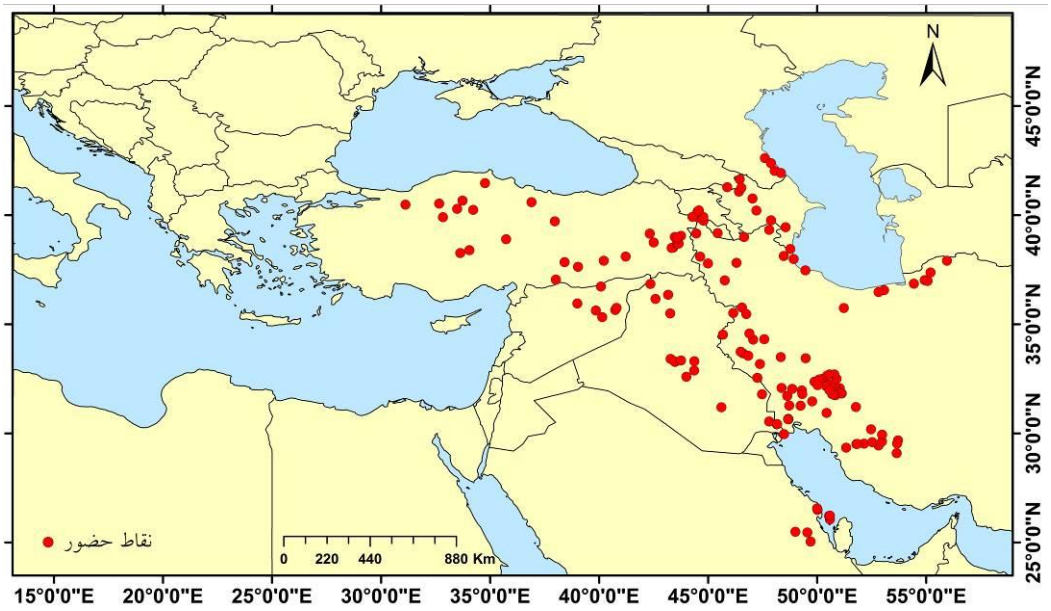
مواد و روش‌ها

گردآوری داده‌های حضور

در این پژوهش، گستره جهانی پراکنش جغرافیایی لاک‌پشت برکه‌ای خزری مورد توجه قرار گرفته است. در مجموع، مساحت منطقه مورد مطالعه در حدود ۹۵۷۰۱۱۳ کیلومتر مربع است (شکل ۱). تعداد ۲۱۱ موقعیت حضور برای لاک‌پشت برکه‌ای خزری گردآوری شد. از این تعداد، ۷۸ نقطه حضور با استفاده از بررسی‌های میدانی تیم مطالعاتی پژوهش مذکور و همکاری اداره کل حفاظت محیط زیست استان‌های مختلف گردآوری شد. تعداد ۶۴ نقطه حضور متعلق به کشورهای مختلف با استفاده از پژوهش‌های پیشین (۱۷، ۴۷ و ۴۸) به دست آمد. تعداد ۶۹ نقطه حضور از پایگاه داده‌ای تسهیلات اطلاعات تنوع زیستی جهانی (GBIF) استخراج شد. در این پژوهش، تنها نقاطی مورد استفاده قرار گرفتند که به تایید تیم مطالعاتی و کارشناسان متخصص حیات وحش رسیده باشد و نقاط فاقد اعتبار از پایگاه داده‌ای پژوهش مذکور حذف شدند. به منظور کاهش خود همبستگی مکانی نقاط حضور خوشه‌ای که ممکن است در یافته‌ها اریبی ایجاد کند، موقعیت‌های حضور چندگانه در یک شبکه یک کیلومتری حذف شد و برای هر سلول فقط یک موقعیت حضور در نظر گرفته شد (۳۵). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که بیشینه مسافت طی شده توسط شماری از گونه‌های لاک‌پشت برکه‌ای تقریباً ۲۵۰ متر در روز است. همچنین، میانگین سالانه طول گستره خانگی برای این گونه‌ها در حدود یک کیلومتر ارزیابی شده است (۲۲). در نهایت، تعداد ۱۶۰ نقطه حضور به منظور مدل‌سازی پراکنش لاک‌پشت برکه‌ای خزری استفاده شد (شکل ۱).

مدل‌سازی پراکنش گونه

تعداد ۱۹ متغیر اقلیمی مستخرج از اطلاعات دما و بارش از پایگاه داده‌های اقلیمی WorldClim به نشانی https://www.worldclim.org دریافت شد. به منظور بررسی همبستگی بین متغیرها از ضریب پیرسون ($r<0/7$) استفاده شد. در نهایت، هفت متغیر اقلیمی میانگین دمای سالیانه (BIO1)، میانگین دامنه دمای روزانه (BIO2)، تغییرات فصلی دما (BIO4)، میانگین پربارش‌ترین فصل سال (BIO8)، مجموع بارندگی سالانه (BIO12)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO15) و مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال (BIO16) در مدل‌سازی پراکنش لاک‌پشت برکه‌ای خزری استفاده شد. به منظور مدل‌سازی پراکنش گونه مورد مطالعه از یک رویکرد مدلسازی اجماعی با استفاده از نرم‌افزار R v. 3.1.2



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی داده‌های حضور لاک‌پشت برکه‌ای خزری

(R Development Core Team, 2014) و بسته Biomod2 (۴۵) استفاده شد. خروجی یک رویکرد اجماعی، مدل قدرتمندتری در مقایسه با هر کدام از مدل‌های انفرادی به دست می‌دهد و یافته‌های با اطمینان بیشتری را در مقایسه با آن‌ها نمایش می‌دهد (۳). در این پژوهش، از شش مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF)، مدل خطی تعمیم یافته (GLM)، روش افزایشی تعمیم یافته (GBM)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی (MARS) استفاده شد. تعداد نقاط شبه غیاب برای اجرای مدل‌ها برابر نقاط حضور تعیین شد (۷ و ۴۲) و اجرای مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار انجام شد. برای جلوگیری از بروز مشکل سلول‌های دربرگیرنده همزمان نقاط حضور و شبه غیاب از بافر یک کیلومتر استفاده شد. نقاط شبه‌غیاب به صورت تصادفی با استفاده از ابزار Creat Random Point در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تولید شدند.

به‌منظور واسنجی مدل‌ها، ۸۰ درصد نقاط حضور به عنوان داده‌های تعلیمی و ۲۰ درصد نقاط باقیمانده برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شدند. در ادامه، مدل اجماعی با استفاده از میانگین وزن‌دهی شده مدل‌های انفرادی در شرایط حال حاضر تولید شد (۳۲). برای ارزیابی مدل‌ها از معیار مساحت زیر منحنی (AUC) و آماره TSS (True Skill Statistic) استفاده شد (۲). مدل‌های دارای ارزش‌های AUC بیش از ۰/۹۰ به عنوان مدل‌های با قدرت تشخیص عالی، ۰/۹۰–۰/۸۰ خوب، ۰/۸۰–۰/۷۰ متوسط و ۰/۷۰–۰/۶۰ ضعیف تعیین شدند. مدل‌های دارای ارزش‌های TSS بالاتر از ۰/۷۵ با قدرت تشخیص عالی، ۰/۷۵–۰/۴۰ خوب و کمتر از ۰/۴۰ ضعیف تعیین شدند (۲).

ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم

مدل‌های گردش عمومی (GCMs)، که چهار سناریوی مستقل افزایش گازهای گلخانه‌ای (RCPs) را استفاده می‌کنند، برآوردهای کمی قابل اعتمادی از اقلیم آینده را فراهم می‌سازند. در این پژوهش، متغیرهای مدل اجماعی به دست آمده به منظور پیش‌بینی پراکنش آینده لاک‌پشت‌های برکه‌ای خزری تا سال ۲۰۷۰ بر اساس چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای (RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5) و مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 (Meteorological Research Institute, Japan) استفاده شدند. مدل گردش عمومی مذکور به عنوان یکی از مناسب‌ترین مدل‌ها برای پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم منطقه‌ای در

ایران پیشنهاد شده است و نسبت به بسیاری از مدل‌های گردش عمومی درستی بالاتری را در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی نشان می‌دهد (۶). برای برآورد اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه مورد مطالعه، ابتدا مدل از یک آستانه (بر اساس معیار ROC) که بالاترین مقدار باشد، برای رده‌بندی نقشه مطلوبیت زیستگاه به دو ارزش مطلوب و نامطلوب استفاده می نماید. در ادامه، وسعت زیستگاه‌های جدید و زیستگاه‌های از دست رفته به واسطه تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ در سناریوهای مختلف برآورد شدند. تمامی نقشه‌ها با استفاده از ArcGIS 10.3 تهیه شدند.

نتایج

بر اساس یافته‌ها، مقدار AUC بین ۰/۸۷تا ۰/۹۹ و مقدار TSS بالای ۰/۶ برآورد شد، که نشان‌دهنده کارایی خوب تا عالی مدل در پیش‌بینی آشیان اقلیمی گونه است (جدول ۱). مدل‌های جنگل تصادفی، تعمیمی تقویت شده و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب بالاترین مقادیر AUC و TSS را به خود اختصاص دادند. بر اساس یافته‌ها، در حدود ۸۳۵۹۴۱/۵ کیلومتر مربع (حدود ۸/۷۳ درصد) از محدوده مورد مطالعه به عنوان زیستگاه مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری شناسایی شد (شکل ۲). بر این اساس، گستره‌های زیستگاهی مطلوب لاک‌پشت برکه‌ای خزری در کشورهای ایران، ترکمنستان، آذربایجان، ارمنستان، روسیه، ترکیه، عراق، سوریه، بحرین و عربستان قابل مشاهده هستند.

نتایج ارزیابی اهمیت متغیرها نشان داد که به ترتیب متغیرهای مجموع بارندگی سالیانه (Bio12)، مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال (Bio16)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و تغییرات فصلی دما (Bio4) بیشترین سهم (در مجموع ۸۰/۴۱ درصد) را در مطلوبیت زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای خزری دارند (جدول ۲).

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی اجماعی، طبق سناریوی RCP2.6 در حدود ۲۶ درصد (۲۲۰۹۵۵ کیلومتر مربع) از زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای خزری مطلوبیت اقلیمی خود را به واسطه تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ از دست خواهد داد و حدود ۳۲ درصد (۲۶۷۵۰۱ کیلومتر مربع) به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی این گونه اضافه می‌شود. در همین دوره زمانی، طبق سناریو RCP8.5 در حدود ۳۳ درصد از زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی این گونه از دست خواهد رفت و ۲۹ درصد به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی اضافه خواهد شد (جدول ۳). شکل‌های ۳ تا ۶ تغییرات سطح زیستگاه‌های مطلوب را بر اساس رویکرد اجماعی حاصل از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ نشان می‌دهند.

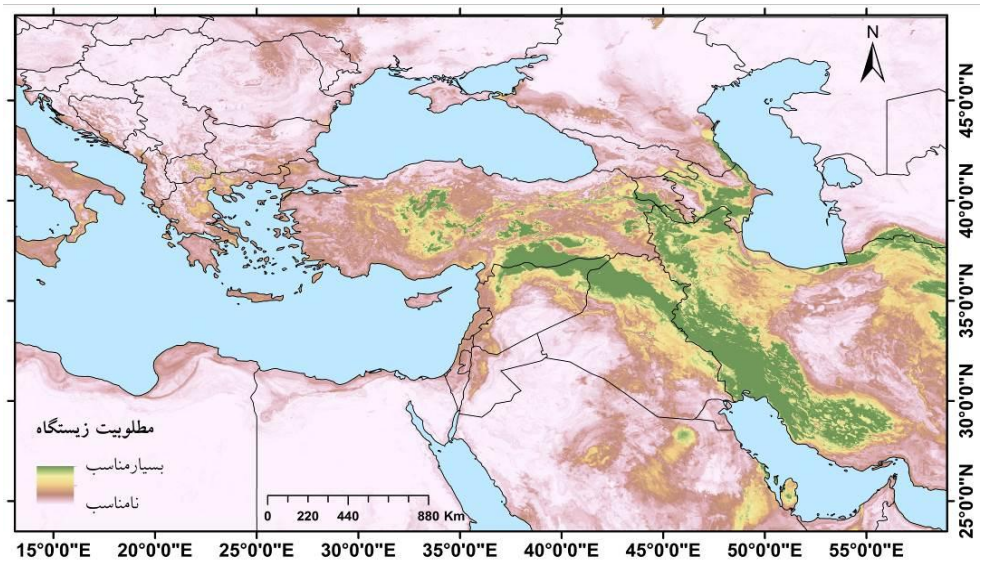
بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی اجماعی، طبق سناریوی RCP2.6 در حدود ۲۶ درصد (۲۲۰۹۵۵ کیلومتر مربع) از زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای خزری مطلوبیت اقلیمی خود را به واسطه تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ از دست خواهد داد و حدود ۳۲ درصد (۲۶۷۵۰۱ کیلومتر مربع) به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی این گونه اضافه می‌شود. در همین دوره زمانی، طبق سناریو RCP8.5 در حدود ۳۳ درصد از زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی این گونه از دست خواهد رفت و ۲۹ درصد به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی اضافه خواهد شد (جدول ۳). شکل‌های ۳ تا ۶ تغییرات سطح زیستگاه‌های مطلوب را بر اساس رویکرد اجماعی حاصل از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ نشان می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌های متعدد اشاره دارند که لاک‌پشت‌های ساکن آب‌های شیرین با کاهش اندازه جمعیت و کاهش گستره جغرافیایی مواجه هستند (۲۵، ۳۶، ۴۷ و ۵۱). در حالی که این پژوهش‌ها تاکید دارند که دخالت‌های انسانی مانند تجزیه و تخریب زیستگاه، شکار غیرقانونی، شیوع بیماری‌ها، و تلفات جاده‌ای از مهمترین عوامل کاهش اندازه جمعیت و انقراض محلی این گونه‌ها هستند، دانش چندانی در زمینه پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش و زیستایی بسیاری از لاک‌پشت‌ها وجود ندارد. در این پژوهش، زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی حال حاضر لاک‌پشت

جدول ۱. برآورد سطح زیر منحنی (AUC) و آماره TSS در مدل‌های مختلف اجرا شده

شاخص‌ها	RF	GLM	ANN	GBM	FDA	MARS	میانگین
AUC	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۹۲
TSS	۰/۹۹	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۸۴	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۷۳



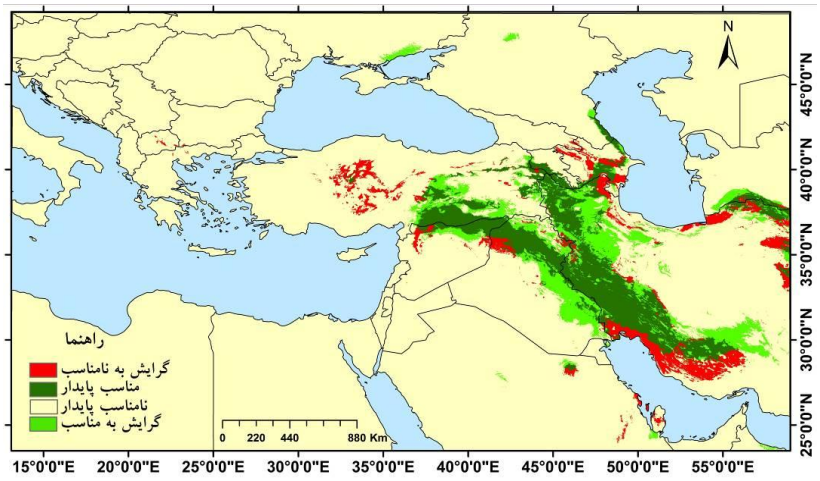
شکل ۲. زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی امروزی لاک‌پشت برکه‌ای خزری

جدول ۲. سهم نسبی هر یک از متغیرهای استفاده شده در مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی لاک‌پشت برکه‌ای خزری

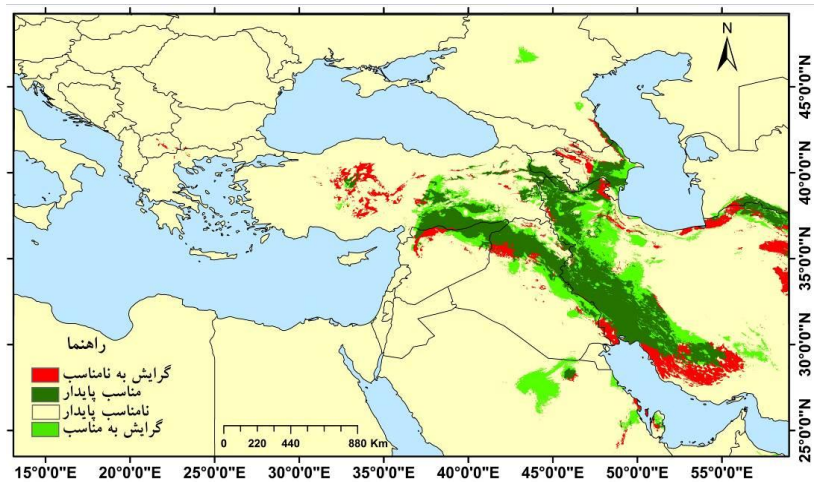
متغیر محیطی	RF	GLM	ANN	GBM	FDA	MARS	میانگین سهم نسبی در مدل‌ها (٪)
Bio12	۱۰/۵۵	۳۱/۳۳	۲۱/۷۸	۱/۲۷	۵۴/۶۶	۲۷/۷۷	۲۴/۵۶
Bio16	۲۴/۹۴	۱۳/۹۰	۳۴/۰۵	۳۶/۹۹	۱۸/۲۲	۱۷/۵۸	۲۴/۲۸
Bio15	۱۳/۰۳	۲۶/۳۳	۱۰/۲۶	۱۲/۸۲	۱۳/۵۶	۲۵/۵۹	۱۶/۹۳
Bio4	۲۱/۲۲	۱۵/۸۳	۹/۴۹	۲۶/۰۳	۵/۰۶	۱۰/۲۰	۱۴/۶۴
Bio8	۹/۴۳	۴/۸۶	۱۱/۶۷	۱۴/۵۸	۴/۲۵	۷/۰۷	۸/۶۴
Bio1	۱۲/۶۶	۲/۶۲	۷/۴۸	۷/۱۴	۲/۰۱	۷/۲۳	۶/۵۸
Bio2	۸/۱۹	۵/۱۲	۴/۹۲	۱/۱۷	۲/۲۴	۴/۵۷	۴/۳۷

جدول ۳. تغییر در وسعت زیستگاه‌های مطلوب (کیلومتر مربع) لاک‌پشت برکه‌ای خزری تا سال ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و مدل گردش عمومی MRI- CGCM3

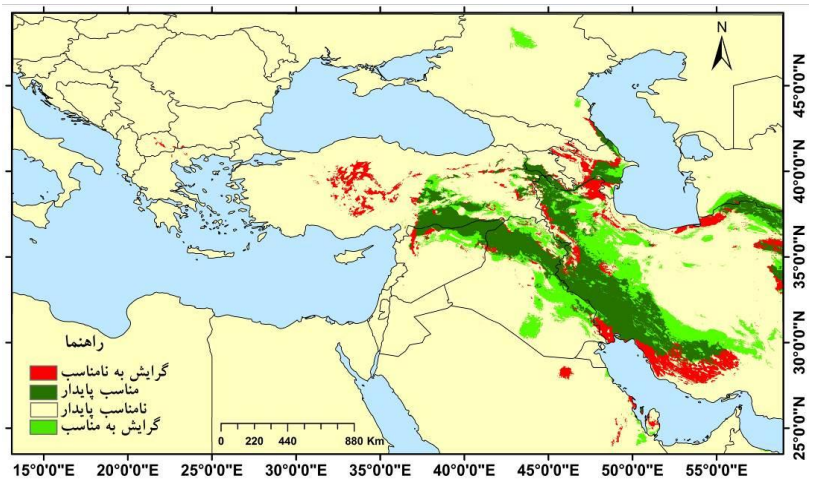
سناریو	حضور پایدار	غیاب پایدار	زیستگاه از دست رفته		زیستگاه جدید		تغییرات در زیستگاه
			مساحت	درصد	مساحت	درصد	
RCP2.6	۶۱۴۹۸۶/۱	۸۴۶۶۶۷۰/۳	۲۲۰۹۵۵/۴	۲۶	۲۶۷۵۰۱/۴	۳۲	۶
RCP4.5	۶۱۰۳۹۲/۹	۸۴۸۳۳۸۸/۵	۲۲۵۵۴۸/۶	۲۶	۲۵۰۷۸۳/۹۰	۳۰	۴
RCP6	۶۱۲۵۶۱/۹	۸۵۳۱۳۹۲/۲	۲۲۳۳۷۹/۷	۳۱	۲۰۲۷۷۹/۶	۲۹	-۲
RCP8.5	۵۶۰۰۷۸/۱	۸۴۹۱۷۴۸/۶	۲۷۵۸۶۳/۶	۳۳	۲۴۲۴۲۳/۷	۲۹	-۴



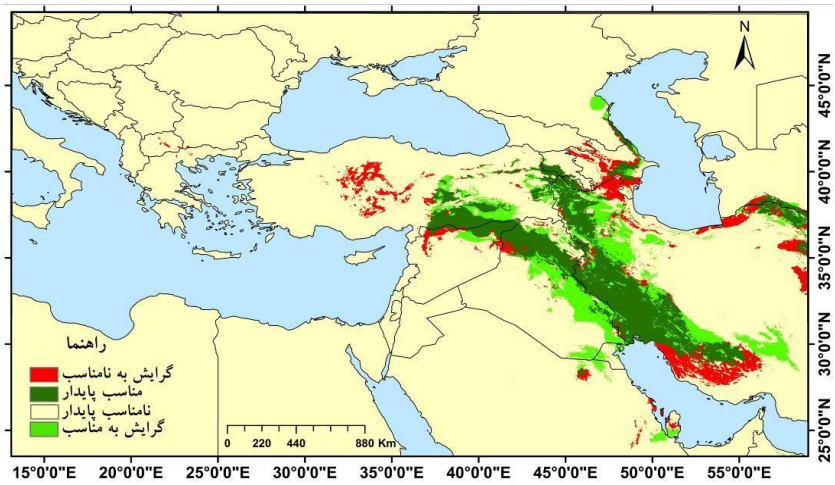
شکل ۳. تغییر در پراکنش زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری بر اساس مدل گردش عمومی MRI- CGCM3 و سناریوی RCP2.6 تا سال ۲۰۷۰



شکل ۴. تغییر در پراکنش زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری بر اساس مدل گردش عمومی MRI- CGCM3 و سناریوی RCP4.5 تا سال ۲۰۷۰



شکل ۵. تغییر در پراکنش زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری بر اساس مدل گردش عمومی MRI- CGCM3 و سناریوی RCP6 تا سال ۲۰۷۰



شکل ۶. تغییر در پراکنش زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری بر اساس مدل گردش عمومی MRI- CGCM3 و سناریوی RCP8.5 تا سال ۲۰۷۰

برکه‌ای خزری در سراسر گستره جهانی حضور این گونه مدل‌سازی شد. سپس، پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی آن تا سال ۲۰۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس یافته‌ها، در حدود ۸۳۵۹۴۲ کیلومتر مربع (حدود ۸/۷۳ درصد) از محدوده مورد مطالعه به عنوان زیستگاه مطلوب اقلیمی لاک‌پشت برکه‌ای خزری شناسایی شد. پژوهش‌های پیشین از جمله فریتز و فیزچاف (۱۹۹۷)، ومبرگر و همکاران (۲۰۱۳) و ون‌دیجک و همکاران (۲۰۱۴) حضور لاک‌پشت برکه‌ای خزری را در بخش‌های به نسبت گسترده‌ای از خاورمیانه تأیید کرده‌اند. تعیین درصد سهم نسبی هر متغیر در مدل، امکان شناسایی متغیرهای دارای بیشترین اهمیت در حضور گونه‌های مختلف جانوری را به محققان می‌دهد (۱۷، ۴۸ و ۴۹). بنابراین، محققان قادر خواهند بود با صرفه‌جویی در هزینه و زمان تحقیقات، دقت مدل‌های پیش‌بینی را افزایش داده و تنها بر متغیرهای مهم متمرکز شوند. بر اساس یافته‌ها، متغیرهای مجموع بارندگی سالیانه (Bio12)، مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال (Bio16)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و تغییرات فصلی دما (Bio4) بیشترین مشارکت (۸۰/۴۱ درصد) را در مدل‌سازی پراکنش لاک‌پشت برکه‌ای خزری داشتند. اینلا و همکاران (۲۰۱۸) مهمترین متغیرهای اقلیمی موثر بر انتخاب زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای *Emys trinacris* را به ترتیب پربارش‌ترین فصل سال (Bio16)، مجموع بارندگی سردترین فصل سال (Bio19) و مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال (Bio18) معرفی نمودند (۲۵). اینلا و همکاران (۲۰۱۸) پیشنهاد دادند که یک گستره معینی از بارش بر مطلوبیت زیستگاهی لاک‌پشت برکه‌ای *E. trinacris* اثر مثبت دارد (۲۵). پژوهش ذکر شده اشاره دارد که پراکنش بالقوه *E. trinacris* به طور معنی‌داری به متغیرهای مرتبط با بارش، به ویژه بارش در پربارش‌ترین (Bio16) و سردترین فصل سال (Bio19) وابسته است. بر اساس نتایج، مدل جنگل تصادفی، به عنوان کارآمدترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد. پژوهش‌های متعددی نیز بر قابلیت بالای مدل جنگل تصادفی در مقایسه با مدل‌های دیگر در مدل‌سازی‌های پراکنش گونه‌ای تاکید نموده‌اند (۶ و ۲۹).

برآوردها نشان می‌دهند که بخش‌هایی از زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی گونه مورد مطالعه در اثر تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ نامطلوب خواهند شد. به هر حال ممکن است، در همین دوره زمانی، بخش‌هایی از زیستگاه‌های نامطلوب به زیستگاه‌های مطلوب اقلیمی این گونه، تبدیل شوند. بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی، احتمالاً بین ۲۶ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۷۰) تا ۳۳ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) از

زیستگاه‌های امروزی لاک‌پشت برکه‌ای خزری به واسطه تغییر اقلیم نامطلوب خواهند شد. بر اساس یافته‌ها، سناریو RCP8.5 نسبت به سه سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره زیستگاه‌های مطلوب لاک‌پشت برکه‌ای خواهد داشت. این موضوع با توجه به شدت تغییرات اقلیمی در این سناریو قابل پیش‌بینی بود. بسیاری از پژوهش‌ها کاهش گسترده در زیستگاه‌های مطلوب لاک‌پشت‌ها را به واسطه رخداد پدیده تغییر اقلیم پیش‌بینی کرده‌اند. همیلتون و همکاران (۲۰۱۸) برآورد کردند که سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پیامدهای معنی‌داری بر مطلوبیت زیستگاه لاک‌پشت نیمه‌آبزی *Emydoidea blandingii* خواهد داشت، به نحوی که در سناریوی با بیشینه انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5) تقریباً هیچ زیستگاه مطلوبی در ویسکانسین (آمریکا) تا سال ۲۰۵۰ برای این گونه باقی نخواهد ماند (۲۳). در سیسیلی (ایتالیا)، به نظر می‌رسد زیستگاه مطلوب لاک‌پشت برکه‌ای *E. trinacris* کاهش‌های گسترده‌ای را تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تجربه خواهد کرد (۲۵). ون‌دیجک و همکاران (۲۰۱۴) پیش‌بینی نمودند که زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای بالکانی (*M. rivulata*) در آینده به مناطق با ارتفاعات بالاتر جا به جا خواهد شد (۴۹). موتس و همکاران (۲۰۲۰) پیش‌بینی کردند که زیستگاه‌های مطلوب لاک‌پشت آب شیرین *Glyptemys insculpta* در شمال شرق ایالات متحده آمریکا با کاهش اندازه بین ۲۹ تا ۵۲ درصد تا سال ۲۰۷۰ مواجه خواهد شد (۳۶). از آنجایی که لاک‌پشت گونه *G. insculpta* وابستگی بالایی به جویبارهای با آب سرد و جریان سریع دارد، که فراهم کننده پناهگاه‌های دمایی و تامین کننده منابع تغذیه‌ای هستند (۱۵)، افزایش دمای آب این جویبارها احتمالاً منجر به کاهش شدید کیفیت این زیستگاه‌ها خواهد شد. بر این اساس، افزایش دمای آب، پیامدهای منفی بر تولید پایدار این بوم‌سازگان‌های جویباری خواهد داشت، الگوهای جریان و ترکیب جوامع ماهیان را تغییر خواهد داد، کاهش فراوانی بقای درشت‌بی‌مهرگان را در پی خواهد داشت و فراوانی شکوفایی جلبکی را افزایش خواهد داد (۱۳). بنابراین، تغییرات دمایی به واسطه تغییر اقلیم می‌تواند کاهش گسترده بوم‌سازگان‌های کناررودی گونه *G. insculpta* را در پی داشته باشد، که یک اثر معنی‌داری بر زیستایی این گونه خواهد داشت (۳۶).

آیهالو و همکاران (۲۰۱۲) پراکنش ۷۸ درصد از گونه‌های موجود لاک‌پشت‌ها را مدل‌سازی نموده و پیش‌بینی کردند که گستره‌های حضور ۸۶ درصد گونه‌های بررسی شده با کاهش مواجه خواهد شد (۲۶). از آنجایی که لاک‌پشت‌ها گونه‌هایی با عمر طولانی هستند، افراد بالغ ممکن است در زیستگاه‌های با مطلوبیت اندک برای سال‌ها یا دهه‌ها باقی بمانند (۴۴). مدل‌سازی‌ها در برخی موارد با پیچیدگی‌های بیشتری همراه است. برای نمونه، پیش‌بینی شده است که گستره زیستگاه‌های مطلوب برای لاک‌پشت برکه‌ای *Pseudemys gorzugi* تا ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت و سپس تا سال ۲۰۷۰ با یک کاهش اساسی مواجه خواهد شد (۴۰). در پژوهشی پراکنش پنج گونه لاک‌پشت از جنس *Kinosternon* تحت سناریوهای اقلیمی مختلف مدل‌سازی شده است. نتایج مطالعه مذکور نشان داده است گستره جغرافیایی دو گونه با کاهش اساسی مواجه خواهد شد، گستره پراکنش یک گونه بدون تغییر باقی خواهد ماند و گستره جغرافیایی دو گونه دیگر انتظار می‌رود به طور اساسی با افزایش مواجه شود (۹). شرایط زیست‌اقلیمی مطلوب برای لاک‌پشت گوش قرمز (*Trachemys scripta elegans*) که گونه‌ای مهاجم است در سطح حوضه دریاچه‌های بزرگ (Great Lakes Basin) در ایالات متحده آمریکا به نظر می‌رسد تا سال ۲۰۵۰ از ۲۶ درصد وسعت این ناحیه تا ۵۰ درصد افزایش پیدا کند (۴۳).

این نکته قابل ذکر است که آشیان بوم‌شناختی بالقوه اقلیمی گونه مورد مطالعه از آشیان بوم‌شناختی واقعی این گونه متفاوت است. در این مطالعه، مدل‌سازی تنها بر اساس متغیرهای اقلیمی به انجام رسیده است. علاوه بر تغییر اقلیم، عوامل دیگری از جمله توسعه کشاورزی، مدیریت نامناسب منابع آب، افزایش سموم دفع آفات کشاورزی، رهاسازی پساب‌ها و ورود منابع

آلاینده شامل فلزات سنگین (۵۳)، بر پایداری و بقا لاک‌پشت‌های برکه‌ای تأثیرگذار هستند (۵۲). بنابراین، به منظور تصمیم‌گیری‌های بهتر، توجه به سایر متغیرهای زیستگاهی (از جمله عوامل انسانی، رقابت‌ها، کیفیت منابع آب، بیماری‌ها) ضروری است. برای نمونه، در یک پژوهش پیشنهاد شده است که متغیرهای فاصله از رودخانه (۴۳/۶ درصد)، فاصله از زمین‌های کشاورزی (۱۴/۵ درصد) و کمینه درجه حرارت سردترین ماه (BIO6) (۱۱/۲ درصد) به عنوان مهمترین متغیرهای مشارکت‌کننده در مدل‌سازی زیستگاه لاک‌پشت برکه‌ای خزری در استان چهارمحال و بختیاری هستند (۱۸). به هر حال، در نظر گرفتن تمامی متغیرهای محیطی در فرآیند مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای امکان‌پذیر نیست و به منظور مدل‌سازی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس‌های جغرافیایی بزرگ ضرورت چندانی بر استفاده از تمامی متغیرهای محیطی وجود ندارد (۲۱). از سوی دیگر، عوامل اقلیمی به عنوان مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر انتخاب زیستگاه در مقیاس گسترده، می‌توانند اثرات قابل توجهی بر زیستایی این جمعیت‌ها داشته باشند (۵۴). یافته‌های این پژوهش بر خطر بالقوه‌ای که ممکن است سناریوهای اقلیمی آینده بر بسیاری از گونه‌ها وارد سازد تاکید دارد. بنابراین، تلاش‌ها برای یافتن موقعیت‌های حضور جدید، شناسایی زیستگاه‌های بالقوه مطلوب در شرایط کنونی و تحت سناریوهای اقلیمی مختلف برای مدیریت و حفاظت بهتر از گونه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. از سوی دیگر، استفاده از کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی، جلوگیری از برداشت غیرقانونی تخم لاک‌پشت‌ها، جلوگیری از تخلیه پساب کارخانه‌ها و مراکز تولیدی در منابع آب (۵۲) از موارد مهم در راستای حفاظت از جمعیت لاک‌پشت‌های برکه‌ای به شمار می‌روند.

منابع مورد استفاده

1. Agha, M., J. R. Ennen, D. S. Bower, A. J. Nowakowski, S. C. Sweat and B. D. Todd. 2018. Salinity tolerances and use of saline environments by freshwater turtles: implications of sea level rise. *Biological Reviews* 93(3): 1634-1648.
2. Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43: 1223-1232.
3. Araújo, M. B. and M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 42-47.
4. Ashrafzadeh, M. R., R. Khosravi, M. Ahmadi and M. Kaboli. 2018. Landscape heterogeneity and ecological niche isolation shape the distribution of spatial genetic variation in Iranian brown bears, *Ursus arctos* (Carnivora: Ursidae). *Mammalian Biology* 93: 64-75.
5. Ashrafzadeh, M. R., A. A. Naghipour, M. Haidarian and I. Khorozyan. 2019a. Modeling the response of an endangered flagship predator to climate change in Iran. *Mammal Research* 64: 39-51.
6. Ashrafzadeh, M. R., A. A. Naghipour, M. Haidarian, S. Kusza and D. S. Pilliod. 2019b. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. *Global Ecology and Conservation* 19: e00637.
7. Barbet-Massin, M., F. Jiguet, C. H. Albert and W. Thuiller. 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution* 3: 327-338.
8. Barrett, D. M., N. Singh, X. Liu, S. Jiang, C. H. June, S. A. Grupp and Y. Zhao. 2014. Relation of clinical culture method to T-cell memory status and efficacy in xenograft models of adoptive immunotherapy. *Cytotherapy* 16: 619-630.
9. Butler, C. J., B. D. Stanila, J. B. Iverson, P. A. Stone and M. Bryson. 2016. Projected changes in climatic suitability for Kinosternon turtles by 2050 and 2070. *Ecology and Evolution*, 6(21): 7690-7705.
10. Croxall, J. P., J. R. Silk, R. A. Phillips, V. Afanasyev and D. R. Briggs. 2005. Global circumnavigations: tracking year-round ranges of nonbreeding albatrosses. *Science* 307: 249-250.
11. Doswald, N., S. G. Willis, Y. C. Collingham, D. J. Pain, R. E. Green and B. Huntley. 2009. Potential impacts of climatic change on the breeding and non-breeding ranges and migration distance of European Sylvia warblers. *Journal of Biogeography* 36: 1194-1208.
12. Duan, R.-Y., X. -Q. Kong, M. -Y. Huang, S. Ji and X. Varela. 2016. The potential effects of climate change on

amphibian distribution, range fragmentation and turnover in China. *PeerJ* 4: e2185.
13. Durance, I. and S. J. Ormerod. 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology* 13(5): 942-957.
14. Early, R., and D. F. Sax. 2014. Climatic niche shifts between species' native and naturalized ranges raise concern for ecological forecasts during invasions and climate change. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1356-1365.
15. Ernst, C. H. and J. E., Lovich. 2009. Turtles of the United States and Canada, second ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
16. Fritz, U. 1997. Zur Systematik westasiatish-sudosteuropaischer Bachschildkrote (Gattung Mauremys) (Reptilia: Testudines: Bataguridae). *Zool Abh St Mus Tierk Dresden* 49: 223-260.
17. Fritz, U. and T. Wischuf. 1997. Zur systematic westasiatisch-südosteropäischer Bachschilkröten (Gattung Mauremys) (Reptilia: Testudines: Bataguridae). *Zoologische Abhandlungen, Staatliches Museum für Tierkunde Dresden* 49: 223-260.
18. Ghaedi Bardeh, F., M. R. Ashrafzadeh, I. Hashemzadeh Segherloo and R. Rahimi. 2021. Modelling habitat suitability and connectivity of the Caspian pond turtle (*Mauremys caspica*) in Central Zagros, Iran. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 5(2): 1-14.
19. Guisan, A., R. Tingley, J. B. Baumgartner, I. Naujokaitis-Lewis, P. R. Sutcliffe, A. I. Tulloch, T. J. Regan, L. Brotons, E. McDonald-Madden, C. Mantyka-Pringle. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters* 16: 1424-1435.
20. Haddad, N. M., L. A. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzalez, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, J. O. Sexton, M. P. Austin, C. D. Collins and W. M. Cook. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2):e1500052.
21. Hamann, A., and T. Wang. 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology* 87: 2773-2786.
22. Hamernick, M. G. 2001. Home Ranges and Habitat Selection of Blanding's Turtles (*Emydoidea blandingii*) at the Weaver Dunes. Nongame Wildlife Program Final Report; Minnesota Department of Natural Resources: St. Paul, MN, USA, 2000; p. 18. Available online: http:// dnr. state. mn. us/eco/nongame/projects/research_reports/abstracts/reptiles/hamernick20. Citeseer.
23. Hamilton, C. M., B. L. Bateman, J. M. Gorzo, B. Reid, W. E. Thogmartin, M. Z. Peery, P. J. Heglund, V. C. Radeloff and A. M. Pidgeon. 2018. Slow and steady wins the race? Future climate and land use change leaves the imperiled Blanding's turtle (*Emydoidea blandingii*) behind. *Biological Conservation* 222: 75-85.
24. Hoffmann, M., C. Hilton-Taylor, A. Angulo, Böhm, M., T. M. Brooks, S. H. Butchart, K. E. Carpenter, J. Chanson, B. Collen, N. A. Cox and W. R. Darwall. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. S*cience*, 330(6010): 1503-1509.
25. Iannella, M., F. Cerasoli, P. D'Alessandro, G. Console and M. Biondi. 2018. Coupling GIS spatial analysis and ensemble niche modelling to investigate climate change-related threats to the Sicilian pond turtle *Emys trinacris*, an endangered species from the Mediterranean. *PeerJ* 6: e4969.
26. Ihlow, F., J. Dambach, J. O. Engler, M. Flecks, T. Hartmann, S. Nekum, H. Rajaei and D. Rödder. 2012. On the brink of extinction? How climate change may affect global chelonian species richness and distribution. *Global Change Biology* 18(5): 1520-1530.
27. Jazayeri, B., M. R. Ashrafzadeh, R. Rahimi and S. I. Hashemzadeh. 2020. Phylogeny and genetic diversity of Caspian pond turtle (*Mauremys caspica* Gmelin, 1774) in Chaharmahal va Bakhtiari province, Iran. Journal of Natural Environment, 72(4), pp. 417-430. (In Persian)
28. Jetz, W., D. S. Wilcove and A. P. Dobson. 2007. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biology* 5: e157.
29. Lin, C. -T. and C. -A., Chiu. 2019. The relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc.(Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests* 10: 7.
30. Lötter, D. and D. le Maitre. 2014. Modelling the distribution of *Aspalathus linearis* (Rooibos tea): implications of climate change for livelihoods dependent on both cultivation and harvesting from the wild. *Ecology and Evolution* 4: 1209-1221.
31. Lovich, J.E., C. B. Yackulic, J. Freilich, M. Agha, M. Austin, K. P. Meyer, T. R. Arundel, J. Hansen, M. S. Vamstad and S. A. Root. 2014. Climatic variation and tortoise survival: has a desert species met its match?. *Biological Conservation* 169: 214-224.
32. Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R. K. Heikkinen and W. Thuiller. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and distributions* 15: 59-69.
33. Martin, A. K. and K. V. Root. 2020. Challenges and opportunities for *Terrapene carolina carolina* under different climate scenarios. *Remote Sensing 12*(5):836.

34. Meynecke, J. -O. 2004. Effects of global climate change on geographic distributions of vertebrates in North Queensland. *Ecological Modelling* 174: 347-357.
35. Millar, C. S. and G. Blouin-Demers. 2012. Habitat suitability modelling for species at risk is sensitive to algorithm and scale: a case study of Blanding's turtle, *Emydoidea blandingii*, in Ontario, Canada. *Journal for Nature Conservation* 20: 18-29.
36. Mothes, C. C., H. J. Howell and C. A. Searcy. 2020. Habitat suitability models for the imperiled wood turtle (*Glyptemys insculpta*) raise concerns for the species' persistence under future climate change. *Global Ecology and Conservation* 24: e01247.
37. Rhodin, A. G. J., A. D. Walde, B. D. Horne, P. P. van Dijk, T. Blanck and R. Hudsoneds. 2011. Turtles in Trouble: The World's 25+ Most Endangered Tortoises and Freshwater Turtles—2011. Lunenburg, MA: Turtle Conservation Coalition.
38. Rhodin, A. G., C. B. Stanford, P. P. Van Dijk, C. Eisemberg, L. Luiselli, R. A. Mittermeier, R. Hudson, B. D. Horne, E. V. Goode, G. Kuchling and A. Walde. 2018. Global conservation status of turtles and tortoises (order Testudines). *Chelonian Conservation and Biology* 17(2): 135-161.
39. Rodríguez-Castañeda, G., A. R. Hof, R. Jansson, L. E. Harding. 2012. Predicting the fate of biodiversity using species' distribution models: enhancing model comparability and repeatability. *PLoS One* 7: e44402.
40. Salas, E. A. L. V. A. Seamster, N. M. Harings, K. G. Boykin, G. Alvarez and K. W. Dixon. 2017. Projected future bioclimate-envelope suitability for reptile and amphibian species of concern in South Central USA. *Herpetol Conservation Biol*ogy 12(2): 522-547.
41. Segan, D. B., K. A. Murray and J. E. Watson. 2016. A global assessment of current and future biodiversity vulnerability to habitat loss–climate change interactions. *Global Ecology and Conservation* 5: 12-21.
42. Senay, S. D., S. P. Worner and T. Ikeda. 2013. Novel three-step pseudo-absence selection technique for improved species distribution modelling. *PloS One* 8: e71218.
43. Spear, M. J. 2018. Current and projected distribution of the Red-eared Slider Turtle, *Trachemys scripta elegans*, in the Great Lakes Basin. *The American Midland Naturalist* 179(2): 191-221.
44. Spinks, P. Q., G. B. Pauly, J. J. Crayon and H. B. Shaffer. 2003. Survival of the western pond turtle (Emys marmorata) in an urban California environment. *Biological Conservation*, 113(2): 257-267.
45. Thuiller, W., D. Georges, R. Engler and F. Breiner. 2016. Biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling. R package version 3.
46. Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. Erasmus, M. F. De Siqueira, A. Grainger, L. Hannah. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
47. Vamberger, M., H. Stuckas, D. Ayaz, E. Graciá, A. A. Aloufi, J. Els, L. F. Mazanaeva, H. G. Kami and U. Fritz, 2013. Conservation genetics and phylogeography of the poorly known Middle Eastern terrapin Mauremys caspica (Testudines: Geoemydidae). *Organisms Diversity and Evolution* 13: 77-85.
48. Vamberger, M., H. Stuckas, M. Vargas-Ramírez, C. Kehlmaier, D. Ayaz, A. A. Aloufi, P. Lymberakis, P. Široký and U. Fritz, 2017. Unexpected hybridization patterns in Near Eastern terrapins (*Mauremys caspica*, *M. rivulata*) indicate ancient gene flow across the Fertile Crescent. *Zoologica Scripta* 46: 401-413.
49. Van Dijk, P. P., J. Iverson, A. Rhodin, H. B. Shaffer and R. Bour, 2014. Turtles of the world: annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution with maps, and conservation status. *Chelonian Research Monographs* 5: 329-479.
50. Wiens, J. J., 2016. Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. PLoS Biology 14(12): e2001104.
51. Willoughby, J. R., M. Sundaram, T. L. Lewis and B. J. Swanson. 2013. Population decline in a long-lived species: the wood turtle in Michigan. *Herpetologica* 69(2): 186-198.
52. Yadollahvand, R. and H. G. Kami. 2014. Habitat changes and its impacts on the caspian pond turtle (*Mauremys caspica*) population in the Golestan and Mazandaran Provinces of Iran. Journal of Aquaculture Research and Development 5: 2-3.
53. Yadollahvand, R., H. G. Kami, A. Mashroofeh, A. R. Bakhtiari, 2014. Assessment trace elements concentrations in tissues in Caspian pond turtle (*Mauremys caspica*) from Golestan province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 101: 191-195.
54. Zhang, K., L. Yao, J. Meng, J. Tao. 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of the Total Environment* 634: 1326-1334.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Modeling Current and Future Potential Distributions of Caspian Pond Turtle (*Mauremys caspica*) under Climate Change Scenarios

M. R. Ashrafzadeh[1*], Z. Shojaei[2], F. shaluei[2], A. A. Naghipour[3] and M. Haidarian[4]

(Received: February 08-2022; Accepted: March 06-2022)

Abstract

Although turtles are the most threatened taxonomic group within the reptile class, we have a very limited understanding of how turtles respond to climate change. Here, we evaluated the effects of climate changes on the geographical distribution of Caspian pond turtle (*Mauremys caspica*). We used an ensemble approach by combining six species distribution models including artificial neural network, generalized boosted model, generalized linear model, flexible discriminant analysis, random forest and multivariate adaptive regression splines. To predict the future distribution, modelling projection of MRI-CGCM3 was used for the year 2070 under four scenarios of representative concentration pathways (RCP). Based on the findings, the suitable habitat of Caspian pond turtle was estimated to be about 835941 km^2 (about 8.73%) of the study area. Our model projections showed that about 26 to 33% of the current suitable habitats will be unsuitable by 2070 due to climate change. The annual precipitation (24.56%), precipitation of wettest quarter (24.28%), precipitation seasonality (16.93%) and temperature seasonality (14.64%) had the highest contribution to model performance of Caspian pond turtles. Overall, our findings emphasize the need for a comprehensive understanding of the complex effects of climate change on the species, specially turtles.

Keywords: Freshwater Pond turtle, Climate change, Climatic niche modeling, Geographical distribution, Conservation

1. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord Univesity, Shahrekord, Iran.
2. Department of Fish Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Deptartment of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mrashrafzadeh@sku.ac.ir