شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی بالقوه به‌منظور حفاظت از جمعیت‌های آهوی گواتردار (*Gazella subgutturosa*) در مواجه با تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایران مرکزی)

شیما ملکوتی‌خواه[۱]، سیما فاخران[۱*]، محمودرضا هممی[۱]، مصطفی ترکش[۲] و جوزف سن[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۹)

چکیده

طرح‌ریزی حفاظتی بر مبنای پراکنش گونه‌ها در آینده از جمله مهم‌ترین رویکردهای سازشی در کاهش پیامدهای منفی تغییر اقلیم بر گونه‌ها است. در این مطالعه، پیامدهای تغییر اقلیم در آینده (تا سال ۲۰۷۰) بر پراکنش آهوی گواتردار (*Gazellea subgutturosa*) در مناطق مرکزی ایران (استان‌های اصفهان، سمنان، فارس و یزد) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، یک رویکرد مدل‌سازی اجماعی با استفاده از پنج الگوریتم مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای با درنظر گرفتن دو سناریوی اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 استفاده شد. به‌علاوه، با مقایسه پراکنش کنونی و آینده گونه، مناطق زیستگاهی که در آینده مطلوبیت آنها حفظ شده و پتانسیل عملکرد به‌عنوان پناهگاه اقلیمی دارند شناسایی شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، حدود ۶۱۷۰۰ کیلومتر مربع (۱۵/۳ درصد) از کل منطقه مورد مطالعه به‌عنوان زیستگاه مطلوب گونه در شرایط کنونی براورد شد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که آهوی گواتردار تا سال ۲۰۷۰، به‌ترتیب حدود ۴۶ و ۷۰ درصد زیستگاه‌های خود را بر اساس سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 از دست خواهد داد. نتایج همچنین نشان داد که تنها بخشی از زیستگاه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا (در استان‌های سمنان و اصفهان) که شرایط اقلیمی مساعدی دارند پتانسیل عملکرد به‌عنوان پناهگاه اقلیمی در آینده را داشته‌اند که با درنظر گرفتن سناریوی حداکثر تغییر اقلیم (RCP 8.5)، تمامی پناهگاه‌های اقلیمی واقع در استان اصفهان به‌جز مناطق واقع در پناهگاه حیات وحش موته نیز از بین خواهند رفت. توسعه شبکه مناطق حفاظت‌شده کنونی و برقراری ارتباط زیستگاهی بر مبنای پراکنش پناهگاه‌های اقلیمی و همچنین ارتقاء سطح حفاظتی مناطق شکارممنوع و پناهگاه‌های حیات وحش از جمله رویکردهای مدیریتی پیشنهادی در راستای حفاظت مؤثر از آهوی گواتردار در مواجه با تغییر اقلیم آینده هستند.

واژه‌های کلیدی: سم‌داران آسیب‌پذیر، رویکرد مدل‌سازی اجماعی، مناطق حفاظت‌شده، ارتباط سیمای سرزمین، پناهگاه‌های اقلیمی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان اصفهان، ایران

۳. محقق، موسسه فدرال تحقیقات سوئیس(WSL)، سوئیس

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fakheran@cc.iut.ac.ir

مقدمه

پستانداران به‌دلیل گستره وسیع نیازهای بوم‌شناختی می‌توانند به‌عنوان شاخص مناسبی از پیامدهای تغییر اقلیم بر حیات وحش مورد توجه قرار گیرند (۷). نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهند که پستانداران بزرگ‌جثه در مقایسه با گونه‌های کوچک‌تر آسیب‌پذیری بیشتری در برابر تغییر اقلیم از خود نشان می‌دهند (۶) که به‌طور عمده به ویژگی‌های ذاتی آنها از جمله بزرگی وسعت منطقه مورد نیاز برای تأمین نیازهای زیستی، تراکم پایین جمعیت، نرخ پایین تولید مثل و اندازه بزرگ بدن مربوط است (۹). از این‌رو، انقراض پستانداران بزرگ‌جثه درنتیجه تغییر اقلیم که برهمکنش آن با عوامل دیگری از قبیل نابودی زیستگاه، محدودیت انتشار، تغییر کاربری سرزمین و شکار که سبب چندین برابر شدن پیامدهای منفی آن است می‌تواند سریع‌تر از آنچه پیش‌بینی می‌شود اتفاق بیافتد (۶).

یکی از مهم‌ترین رویکردهای پیشنهادی به‌منظور حفاظت از جمعیت‌های حیات وحش در برابر پیامدهای منفی تغییر اقلیم شناسایی و حفاظت از پناهگاه‌های اقلیمی (Climate refugia) است (۲۹). پناهگاه‌های اقلیمی زیستگاه‌های مطلوب واقع در محدوده پراکنش کنونی گونه‌ها هستند (In situ-refugia) که احتمالاً مطلوبیت آنها تحت تأثیر تغییر اقلیم به‌طور محسوس تغییر نخواهد کرد (۵). همچنین، زیستگاه‌هایی که در حال حاضر در داخل محدوده پراکنش کنونی گونه مطلوب نیستند اما، اقلیم آینده سبب مطلوب شدن آنها می‌شود نیز گروه دیگری از پناهگاه‌های اقلیمی بوده که با عنوان Ex situ-refugia شناخته می‌شوند (۵). پناهگاه‌های اقلیمی نقش بسزایی در بقاء گونه‌ها در زمان تغییر اقلیم ایفا می‌کنند. دلیل این امر این است که ماندگاری شرایط زیستگاهی مطلوب این زیستگاه‌ها زمانی که شرایط زیستگاهی سایر مناطق تحت تأثیر تغییر اقلیم نامطلوب می‌شود به‌عنوان بافری، گونه‌ها را در برابر پیامدهای منفی تغییر اقلیم حفظ کرده و به آنها این امکان را می‌دهد که با مطلوب شدن شرایط اقلیمی، محدوده پراکنش خود را گسترش بدهند (۲۲).

در حال حاضر، مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species distribution models, SDMs) از جمله بهترین ابزارهای در دسترس به‌منظور ارزیابی پیامدهای بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها (۳۳) و شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی هستند (۲۸). این مدل‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی و داده‌های حضور، رابطه میان متغیرهای محیطی و پراکنش کنونی گونه را یافته (۱۵) و از این رابطه به‌منظور پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه‌ها گونه (های) هدف تحت شرایط اقلیمی آینده استفاده می‌کنند (۱۴). با وجود این توانایی مدل‌ها، همواره احتمال بروز درجه‌ای از عدم قطعیت در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها در آینده وجود داشته که از جمله نگرانی‌های اصلی مطرح در حیطه مدل‌سازی برای زمان آینده است و منشأ آن نوع مدل پراکنش گونه‌ای، مدل گردش عمومی و سناریوهای اقلیمی استفاده شده است (۳). در ارتباط با مدل‌های پراکنش گونه‌ای، پیشنهاد شده است که به‌منظور کاهش عدم قطعیت، به‌جای استفاده تنها از یک نوع الگوریتم مدل‌سازی، از یک رویکرد مدل‌سازی اجماعی (Ensemble modelling approach) استفاده شود که نتایج چندین الگوریتم مدل‌سازی را با یکدیگر تلفیق می‌کند. با استفاده از این رویکرد، محدوده‌ای از پیش‌بینی‌ها برای پراکنش گونه هدف به‌دست آمده که سبب افزایش صحت پیش‌بینی‌های انجام گرفته و کاهش عدم قطعیت موجود است (۸). با توجه به این توانایی رویکرد مدل‌سازی اجماعی در کاهش بخشی از عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی‌های آینده، استفاده از این رویکرد به‌منظور مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم از اهمیت بسیاری برخوردار است (۲۸).

پیش‌بینی‌های انجام گرفته بر اساس مدل‌های اقلیمی برای ایران نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی‌ها در کشور در سال‌های بعدی است (۱ و ۱۰) که می‌تواند پیامدهای جدی برای تنوع زیستی کشور داشته باشد. با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت ایران را مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی تشکیل می‌دهد، مسئله تغییر اقلیم چالش جدی برای تنوع زیستی این مناطق در ایران به‌شمار می‌آید. در این راستا، مطالعاتی با هدف پیش‌بینی تغییر اقلیم بر گونه‌های حیات وحش در کشور انجام شده است که

گروه‌های مختلف جانوری از قبیل خزندگان (۲۰ و ۳۸)، پرندگان (۴ و ۳۷)، پستانداران (۱۱ و ۳۱) و همچنین گیاهان (۱۶ و ۳۴) را شامل می‌شوند. در میان پستانداران، تنها یک مطالعه مرتبط روی پستانداران سم‌دار توسط رضوانی و همکاران (۱۳۹۶) انجام گرفته است که تأثیر تغییر اقلیم آینده بر پراکنش گوسپند وحشی (*Ovis orientalis*) در محدوده بین پناهگاه حیات وحش موته (استان اصفهان) و منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله (استان مرکزی) را پیش‌بینی کردند (۳۱) اما، مطالعه‌ای که این تأثیرات را در محدوده‌ای گسترده‌تر پیش‌بینی کند انجام نشده است. پستانداران سم‌دار بخش مهمی از تنوع زیستی کشور را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به‌عنوان مهم‌ترین نواحی زیستگاهی برای بخش قابل توجهی از گونه‌های سم‌داران ایران شناخته می‌شوند، پیامدهای تغییر اقلیم بر این گونه‌ها و زیستگاه آنها می‌تواند به‌طور جدی بقا و پویایی جمعیت‌های آنها را تحت تأثیر قرار دهد.

آهوی گواتردار (*Gazella subgutturosa*) از جمله مهم‌ترین پستانداران ساکن مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی کشور است که بخش قابل توجهی از جمعیت‌های آن در زیستگاه‌های حفاظت‌شده واقع در این بخش از کشور از جمله مناطق حفاظت‌شده موته، قمیشلو، کلاه‌قاضی کالمند بهادران و بصیران متمرکز شده‌اند (۱۷). تاکنون، پژوهش‌های متعددی در زمینه پراکنش زیستگاه‌های مطلوب (۲ و ۲۳)، شناسایی کریدروهای ارتباطی (۲۶)، تنوع ژنتیکی و روابط تبارشناختی (۱۳ و ۲۴) آهوی گواتردار انجام شده است. این درحالی است که انجام مطالعات مربوط به تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش این گونه نیز از اهمیت زیادی برخوردار بوده و دستیابی به اطلاعات علمی در زمینه یاد شده می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریت و حفاظت از جمعیت‌های این گونه در برابر تغییرات اقلیم مؤثر واقع شود.

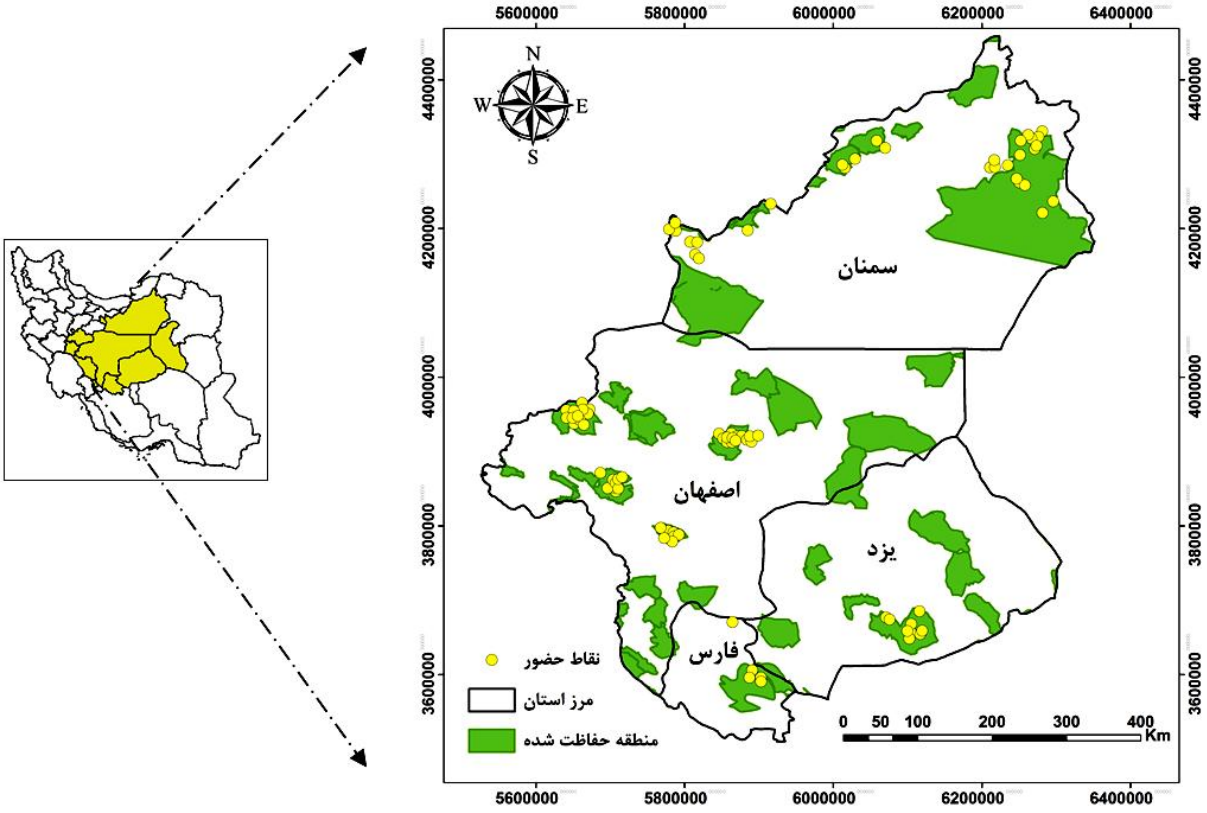
در این مطالعه، ابتدا با استفاده از رویکرد مدل‌سازی اجماعی، پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده در بخش ایران مرکزی انجام شد. در گام بعدی، بر اساس پیش‌بینی پراکنش کنونی و آینده، زیستگاه‌هایی که مطلوبیت آنها در آینده ثابت مانده و تحت عنوان پناهگاه‌های اقلیمی شناخته می‌شوند برای این گونه شناسایی شدند. در گام آخر، کارایی شبکه مناطق حفاظت‌شده در حفاظت از زیستگاه‌های این سم‌دار آسیب‌پذیر در آینده بررسی شد و مناطقی که همچنان کارایی خود را در آینده حفظ خواهند کرد و مناطقی که تحت تأثیر تغییر اقلیم پتانسیل حفاظت از این گونه را نخواهند داشت شناسایی شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های حضور

منطقه مطالعه در این پژوهش، بخش مرکزی کشور در محدوده استان‌های اصفهان، سمنان، فارس و یزد با وسعت تقریبی برابر با ۴۰۴۰۰۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود (شکل ۱). کم‌ارتفاع‌ترین نواحی در بخش‌های شرق، شمال شرق و جنوب شرق با حداقل ارتفاع ۵۱۸ متر و مرتفع‌ترین نواحی در بخش‌های جنوب غرب، غرب و شمال غرب با حداکثر ارتفاع حدود ۴۴۰۰ متر واقع شده‌اند. بخش زیادی از وسعت منطقه توسط اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک احاطه شده است (۳۸) که وسعت قابل توجهی از آن در استان‌های اصفهان، سمنان و یزد قرار گرفته است. شبکه مناطق حفاظت‌شده در این بخش از کشور تقریباً گسترده و شامل بیش از ۴۰ منطقه حفاظت‌شده است که حدود ۲۲ درصد از وسعت کل منطقه مورد مطالعه را تحت پوشش قرار داده است.

داده‌های حضور آهوی گواتردار در محدوده مطالعاتی، در بازه زمانی دوساله (۹۷-۹۵) و از طریق بازدیدهای میدانی و بخشی نیز از طریق سازمان‌ها و اداره‌های محیط زیست شهرستان‌ها (اداره کل حفاظت محیط زیست استان‌های اصفهان، سمنان و یزد، و اداره حفاظت محیط زیست شهرستان آباده) جمع‌آوری شدند. با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و از طرفی تراکم بسیار پایین آهوی گواتردار در خارج از شبکه مناطق حفاظت‌شده، امکان استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک در کل محدوده مطالعاتی وجود نداشت. لذا، از روش نمونه‌برداری غیرسیستماتیک استفاده شد تا حداکثر تلاش برای جمع‌آوری داده‌ها انجام گرفته و تعداد کافی داده حضور در داخل و نیز



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در بخش ایران مرکزی به‌همراه شبکه مناطق حفاظت‌شده و توزیع نقاط حضور جمع‌آوری‌شده برای آهوی گواتردار

خارج از مناطق حفاظت‌شده جمع‌آوری شود. طی بررسی‌های میدانی، نقاط حضور گونه از طریق مشاهده مستقیم افراد و گله‌ها و یا نشانه‌های حضور گونه در زیستگاه، از قبیل ردپا و سرگین به‌وسیله سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت و جمع‌آوری شدند. در کل ۱۵۸ نقطه حضور برای آهو مشخص شد که پس از بررسی میزان خودهمبستگی میان نقاط با استفاده از شاخص Moran و کاهش خودهمبستگی از طریق حفظ تنها یک نقطه در هر پنج کیلومتر (به‌عنوان متوسط اندازه گستره خانگی آهوی گواتردار) (۲۳)، ۷۸ نقطه حضور باقی ماند که برای فرایند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

متغیرها و رویکرد مدل‌سازی

به‌منظور پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار از چهار گروه متغیر محیطی شامل متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، زیست‌شناختی و انسانی استفاده شد. متغیرهای اقلیمی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی بوده که از پایگاه داده CHELSA (۲۱) و با تفکیک مکانی یک کیلومتر دانلود شدند. به‌منظور کمّی‌کردن ویژگی‌های توپوگرافی سیمای سرزمین که تأثیر زیادی در پراکنش سم‌داران ایفا می‌کند، از چهار متغیر توپوگرافی شیب، جهت، ارتفاع و شاخص ناهمواری سیمای سرزمین (Vector of ruggedness measure ,VRM) استفاده شد. لایه رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر از پایگاه USGS.org به‌دست آمد که دقت آن به یک کیلومتر تغییر داده و برای تهیه نقشه‌های شیب (برحسب درصد) و جهت (به‌شکل پیوسته) و شاخص ناهمواری سیمای سرزمین استفاده شد. از گروه متغیرهای زیست‌شناختی، دو متغیر وابسته به پوشش گیاهی شامل تراکم تیپ پوشش گیاهی و شاخص گیاهی SAVI (Soil adjusted vegetation index) استفاده شد.

شاخص SAVI به‌دلیل استفاده از فاکتور ضریب تصحیح خاک (L) که مقدار انعکاس خاک را به حداقل می‌رساند شاخص مناسبی برای براورد بیومس در مناطقی که تراکم پوشش گیاهی بالا نبوده است (مانند منطقه مطالعه) و بازتاب پوشش گیاهی تا حد زیادی تحت تأثیر بازتاب خاک لخت قرار دارد است (۱۹). مقادیر فاکتور L از صفر تا یک است که صفر برای مناطق با تراکم بسیار زیاد و یک برای مناطق با تراکم بسیار پایین پوشش گیاهی استفاده می‌شود (۱۹). در این مطالعه، میزان ضریب تصحیح خاک برابر با ۰/۵ درنظر گرفته شد که مقدار پیش فرض بوده و زمانی استفاده می‌شود که تراکم پوشش در منطقه متوسط باشد. برای تهیه این شاخص، از ۲۳ تصویر برداشت شده توسط سنجده مودیس در سال ۲۰۱۷ (سال بین دوره زمانی جمع‌آوری داده‌های حضور) با دقت ۲۵۰ متر استفاده شد. شاخص SAVI برای تمامی ماه‌ها (هر ماه دو تصویر به فاصله ۱۶ روز) محاسبه شد و درنهایت با اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی ۲۳ شاخص به‌دست آمد، مؤلفه اول با بیشترین میزان واریانس به‌عنوان شاخص نهایی مورد استفاده قرار گرفت. برای تیپ گیاهی با استفاده از نظر کارشناس و همچنین بر اساس توزیع نقاط حضور آهوی گواتردار در هر تیپ، مهم‌ترین تیپ‌های گیاهی انتخاب و سپس تراکم هر تیپ در کل منطقه با استفاده از دستور Focal statistics در محیط نرم‌افزار ArcMap محاسبه شد. به‌منظور دخالت دادن تأثیر متغیرهای انسانی از دو متغیر کشتزارها و تراکم نواحی شهری استفاده شد. سپس این دو متغیر گسسته با محاسبه تراکم هر یک در کل منطقه مطالعه با استفاده از دستور Focal statistics در محیط نرم‌افزار ArcMap به نقشه‌هایی با ارزش پیوسته تبدیل شدند. پس از آماده‌سازی متغیرها، میزان همبستگی میان آنها با استفاده از شاخص اسپیرمن و بر اساس آستانه ۰/۸ مورد بررسی قرار گرفت (۱۲) و مهم‌ترین آنها با توجه به اهمیت متغیر برای گونه و همچنین نظر کارشناس انتخاب شدند (جدول ۱).

مدل اجماعی پراکنش آهوی گواتردار با استفاده از پنج الگوریتم مدل‌سازی شامل GLM (Generalized linear model)، GBM (Generalized boosted regression model)، RF (Random forest)، MARS (Multi adaptive regression splines) و MaxEnt (Maximum entropy algorithm) و با استفاده از بسته مدل‌سازی BIOMOD2 (۳۶) در مقیاس یک کیلومتر پیش‌بینی شد. از کل داده‌های حضور گونه، ۷۵ درصد برای برازش مدل اجماعی و ۲۵ درصد مابقی برای ارزیابی عملکرد آن تعیین شد. از دو شاخص مستقل از آستانه مساحت زیر نمودار AUC (Area under the curve, AUC) و TSS (True skill statistics) به‌منظور ارزیابی عملکرد هر یک از الگوریتم‌های مدل‌سازی استفاده شد. پیش‌بینی‌های آینده با استفاده از داده‌های اقلیمی پنج مدل گردش عمومی GFDL-CM3، CCSM4، MIROC5، GISS-E2-R و HadGEM-AO و دو سناریوی اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 (Representative concentration pathway) انجام شد. مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده در زمره پرکاربردترین مدل‌ها در مطالعات پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها در ایران و سایر مناطق دنیا بوده است (۳۲، ۳۵ و ۳۸) که طبق نتایج به‌دست آمده بالاترین عملکرد را در بین مدل‌های موجود داشته‌اند (۳۵). برای هر سناریوی اقلیمی، پیش‌بینی‌های انجام شده بر اساس هر پنج مدل گردش عمومی میانگین‌گیری شده و به‌عنوان مدل نهایی پراکنش آهوی گواتردار در سال ۲۰۷۰ درنظر گرفته شد.

به‌منظور شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی، ابتدا مدل‌های پراکنش گونه در زمان حال و آینده (تحت هر دو سناریو) بر اساس آستانه ۱۰ درصد پایین مطلوبیت در نقاط حضور به نقشه‌های دوتایی مطلوب/ نامطلوب تبدیل و رویهم‌گذاری شدند. در نتیجه این همپوشانی ۱) پناهگاه‌های اقلیمی در داخل محدوده پراکنش آهوی گواتردار: زیستگاه‌های مطلوبی که در زمان حال و آینده مشترک بوده و به‌عبارتی مطلوبیت ثابت داشتند و ۲) پناهگاه‌های اقلیمی خارج از محدوده پراکنش آهوی گواتردار: مناطقی که تغییر اقلیم سبب افزایش مطلوبیت آنها خواهد بود شناسایی شدند (شکل ۲). به‌علاوه، نقشه‌های پراکنش به‌دست آمده در زمان حال و آینده با نقشه شبکه مناطق حفاظت‌شده رویهم‌گذاری شده و میزان تغییرات رخ داده در

جدول ۱. فهرست متغیرهای مورد استفاده به‌منظور پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار در ایران مرکزی

گروه	متغیر	توضیحات	منبع
اقلیم	Bio5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال	CHELSA-climate.org
	Bio7	میانگین اختلاف حداکثر و حداقل دمای گرم‌ترین و سردترین ماه سال	CHELSA-climate.org
	Bio8	متوسط دمای سه ماه مرطوب سال	CHELSA-climate.org
	Bio15	بارش فصلی	CHELSA-climate.org
	Bio16	بارش سه ماه مرطوب سال	CHELSA-climate.org
توپوگرافی	Vector of ruggedness measure	معیار کمی از درجه ناهمواری سیمای سرزمین که با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و فیلتر ۵×۵ کیلومتر تهیه شد.	DEM(USGS.org)
	جهت	محاسبه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به‌شکل پیوسته	
زیست شناختی	SAVI	–	MODIS images (250 m)
	تیپ پوشش گیاهی	محاسبه تراکم با استفاده از فیلتر ۵×۵ کیلومتر	نقشه کاربری/ پوشش سرزمین (سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۹۳)
انسانی	تراکم نواحی انسان‌ساخت	محاسبه تراکم با استفاده از فیلتر ۵×۵ کیلومتر	نقشه کاربری/ پوشش سرزمین (سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۹۳)
	تراکم کشتزارها	محاسبه تراکم با استفاده از فیلتر ۵×۵ کیلومتر	نقشه کاربری/ پوشش سرزمین (سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۹۳)

وسعت زیستگاه‌های حفاظت‌شده از حال تا آینده به‌عنوان معیاری از تأثیر تغییر اقلیم بر کارایی مناطق حفاظت‌شده کمی شد.

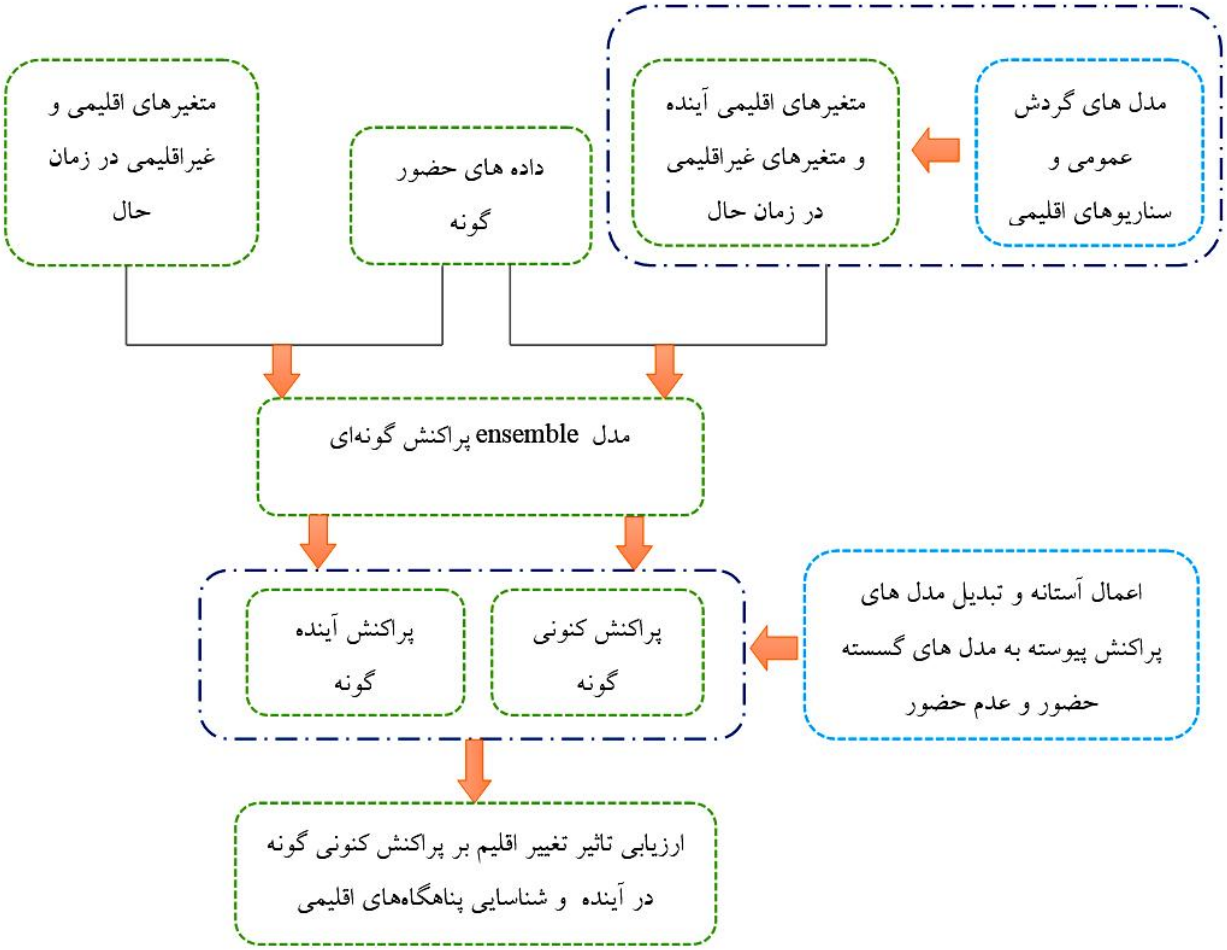
نتایج

عملکرد مدل‌های اجماعی پراکنش گونه‌ای و متغیرهای مهم پیش‌بینی‌کننده

مقدار دو شاخص AUC و TSS هر پنج مدل پراکنش گونه‌ای مورد استفاده نشان‌دهنده عملکرد بالای تمامی مدل‌ها در پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار در منطقه مورد مطالعه است (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اهمیت هر یک از متغیرها در بین پنج الگوریتم مدل‌سازی، چهار متغیر بارش فصلی، تراکم پوشش گیاهی، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال و میانگین بارش سه ماه مرطوب سال بالاترین مشارکت را در پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار در ایران مرکزی نشان دادند. درحالی که، متغیرهای مربوط به پیامدهای ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند تراکم کشتزارها، تراکم نواحی شهری و نیز متغیر زیست‌شناختی شاخص پوشش گیاهی سهم ناچیزی در تعیین پراکنش و احتمال حضور گونه داشتند.

پراکنش کنونی آهوی گواتردار در ایران مرکزی

طبق پیش‌بینی مدل اجماعی، بخش‌های شمال، شمال غرب و

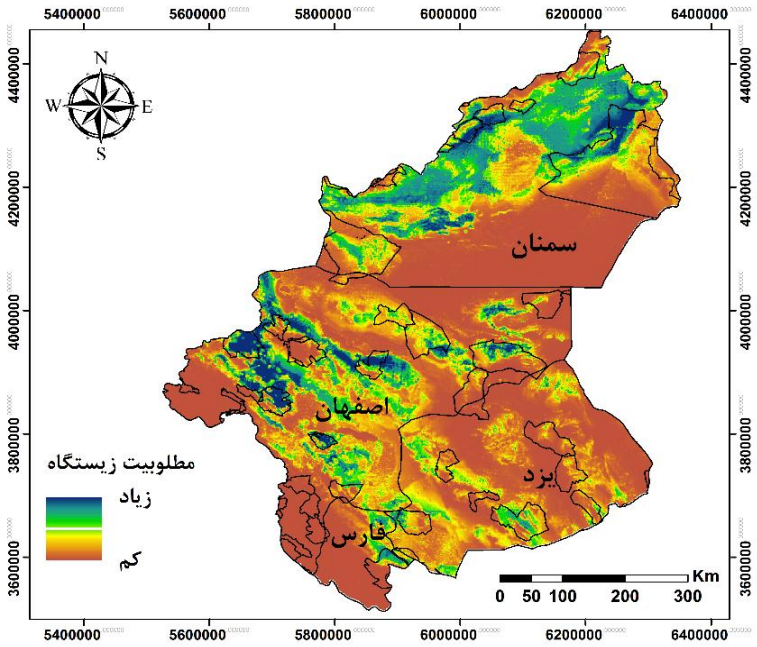


شکل ۲. روندنمای مراحل مربوط به رویکرد مدل‌سازی به‌منظور پیش‌بینی پراکنش و شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی آهوی گواتردار تحت تأثیر تغییر اقلیم

جدول ۲. ارزیابی عملکرد مدل‌های پراکنش گونه‌ای مورد استفاده به‌منظور پیش‌بینی پراکنش آهوی گواتردار با استفاده از دو شاخص AUC و TSS

مدل	شاخص ارزیابی	
	TSS	AUC
GLM	۰/۶۶	۰/۸۸
Maxent	۰/۷۳	۰/۹۴
GBM	۰/۸۵	۰/۹۷
MARS	۰/۷۰	۰/۹۹
RF	۰/۹۹	۰/۹۹

جنوب منطقه بالاترین پتانسیل حضور جمعیت‌های آهوی گواتردار در منطقه را دارند که با وسعتی در حدود ۱۰۰۵۳۱ کیلومتر مربع معادل ۲۵ درصد از کل وسعت منطقه را شامل می‌شود (شکل ۳). نامطلوب‌ترین نواحی زیستگاهی برای آهوی گواتردار در بخش‌های انتهای غرب، شرق و جنوب شرق که دو طیف نواحی زیستگاهی کوهستانی و کویری را دربر می‌گیرند گسترش یافته است. همان‌طور که الگوی پراکنش گونه در منطقه نشان می‌دهد، نواحی زیستگاهی واقع در شمال و بخش

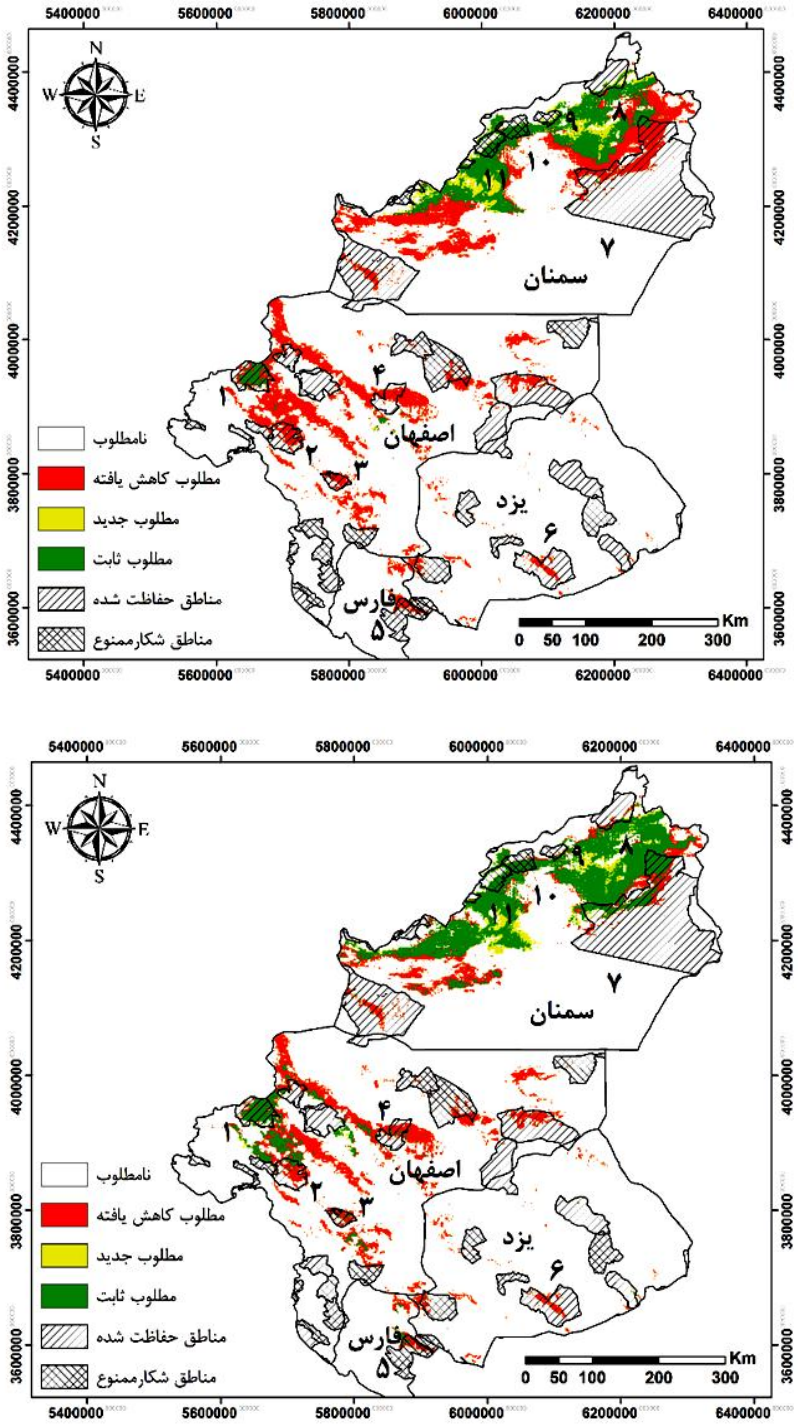


شکل ۳. مطلوبیت زیستگاه آهوی گواتردار (*G. subgutturosa*) در مناطق مرکزی ایران در زمان حاضر بر اساس تجمیع پنج الگوریتم مدل‌سازی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شمال غربی ناحیه تقریباً پیوسته هستند اما، به‌سمت جنوب و نواحی شرقی‌تر، این پیوستگی کاهش یافته و زیستگاه‌های مطلوب به لکه‌های کوچکی محدود شده‌اند که دلیل آن گسترش و تمرکز فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌ها، شهرها و زمین‌های کشاورزی است.

پراکنش آهوی گواتردار تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده

تغییرات رخ داده در پراکنش آهوی گواتردار تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس RCP 2.6، آهوی گواتردار حدود ۴۶ درصد از زیستگاه‌های مطلوب کنونی خود را تا سال ۲۰۷۰ از دست خواهد داد (جدول ۳) که بیشترین کاهش در زیستگاه‌های واقع در بخش جنوبی منطقه در محدوده استان‌های فارس و یزد به چشم می‌خورد. زیستگاه‌هایی که مطلوبیت آنها همچنان در آینده حفظ خواهد شد – پناهگاه‌های اقلیمی در داخل محدوده پراکنش گونه – در بخش شمالی ناحیه و در محدوده استان سمنان و بخشی نیز با وسعت کمتر در شمال غربی منطقه در استان اصفهان واقع شده‌اند. علاوه بر این، طبق نتایج پیش‌بینی‌ها تغییر اقلیم آینده باعث گسترش نواحی مطلوب جدیدی- پناهگاه‌های خارج از محدوده پراکنش- برای آهوی گواتردار خواهد بود که گسترش آنها تنها محدود به بخش شمالی منطقه در استان سمنان است. بر اساس RCP 8.5 که سناریوی حداکثر تأثیر تغییر اقلیم است، کاهش وسعت زیستگاه‌های مطلوب کنونی آهوی گواتردار به‌میزان ۷۰ درصد خواهد رسید که منجر به کاهش وسعت پناهگاه‌های اقلیمی خواهد شد (جدول ۲). طبق محاسبات انجام گرفته، با درنظر گرفتن حداقل تأثیر اقلیم بر زیستگاه‌های آهو در منطقه، حدود ۵۴ درصد از زیستگاه‌های مطلوب کنونی گونه در آینده مطلوبیت خود را به‌عنوان پناهگاه حفظ کرده که میزان این هم‌پوشی بین زیستگاه‌های حال و آینده بر اساس پیش‌بینی سناریوی حداکثر تغییر اقلیم کمتر و تنها برابر با ۳۰ درصد درصد خواهد بود. این در حالی است که برای پناهگاه‌های خارج از محدوده پراکنش گونه نیز همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، میزان وسعت زیستگاه‌های جدید تحت سناریوی حداکثر تغییر اقلیم به اندازه ۳۳۰ کیلومتر مربع افزایش خواهد داشت (در حدود ۰/۶درصد).



شکل ۴. پیش‌بینی تغییرات رخ داده در پراکنش زیستگاه‌های مطلوب آهوی گواتردار در ایران مرکزی بر اساس تجمیع پنج الگوریتم مدل‌سازی و دو سناریوی RCP 2.6 (شکل پایین) و RCP 8.5 (شکل بالا) و پنج مدل گردش عمومی GFDL-CM3، CCSM4، MIROC5، GISS-E2-R و HadGEM-AO تا سال ۲۰۷۰ (اعداد درج شده در نقشه‌ها مربوط به اسامی مناطق حفاظت‌شده هستند)

(رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. مقدار و درصد سه طبقه زیستگاهی برای آهوی گواتردار تحت دو سناریو اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 در آینده (سال ۲۰۷۰)

زمان	زیستگاه مطلوب حال	مطلوب ثابت		مطلوب کاهش یافته		مطلوب جدید	
	کیلومتر مربع	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
حال حاضر	۵۷۸۲۴/۴۰						
RCP 2.6		۳۱۳۴۸/۶۵	۵۴/۲۰	۲۶۴۱۶/۹۵	۴۵/۷۰	۳۲۷۹/۳۰	۵/۶۷
RCP 8.5		۱۷۲۷۶/۹۳	۳۰	۴۰۵۴۷/۹۷	۷۰/۱۲	۳۶۰۹/۷۷	۶/۲۴

کارایی مناطق حفاظت‌شده

کارایی کنونی مناطق حفاظت‌شده در ایران مرکزی در حفاظت از زیستگاه‌های آهوی گواتردار در حدود ۲۲/۷ درصد براورد شد که تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده کاهش قابل توجهی داشته که بر اساس سناریوی حداقل تغییر اقلیم (RCP 2.6) به‌میزان ۱۰/۳ درصد و بر اساس سناریوی حداکثر تغییر اقلیم (RCP 8.5) به‌میزان ۵/۲ درصد خواهد رسید. مقایسه پراکنش آینده آهوی گواتردار با شبکه مناطق حفاظت‌شده نشان می‌دهد که تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5، مناطق مهمی همچون پارک ملی کلاه‌قاضی (شماره ۳)، پناهگاه حیات وحش قمیشلو (شماره ۲) و منطقه حفاظت‌شده کالمند بهادران (شماره ۶) ممکن است کارایی خود را در حفاظت از زیستگاه‌های مطلوب آهوی گواتردار از دست بدهند. بر اساس RCP 2.6، زیستگاه‌های مطلوب آهوی گواتردار تنها در چهار منطقه پناهگاه حیات وحش موته (استان اصفهان) (شماره ۱)، منطقه حفاظت‌شده توران (شماره ۷) و دو منطقه شکارممنوع سفیدکوه (شماره ۱۰) و طالو و شیربند (استان سمنان) (شماره ۱۱) حفظ خواهد شد که به‌دنبال تشدید تغییر اقلیم (سناریوی RCP 8.5) زیستگاه‌های مطلوب در منطقه حفاظت‌شده توران نیز نامطلوب خواهند شد. از نظر پوشش پناهگاه‌های اقلیمی، تنها حدود ۵ و ۸/۲۴ درصد وسعت پناهگاه‌های جدید به‌ترتیب بر اساس سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 داخل شبکه مناطق حفاظت‌شده گسترش داشته که بیشترین میزان آن در پناهگاه حیات وحش خوش‌ییلاق (شماره ۸) و منطقه شکار ممنوع تپال (شماره ۹) در استان سمنان قرار گرفته است. از نظر پوشش پناهگاه‌های داخل محدوده پراکنش نیز تنها حدود ۱۹/۶۵ درصد آن بر اساس سناریوی RCP 2.6 حفاظت‌شده خواهد بود که این مقدار بر اساس سناریوی RCP 8.5 به‌میزان ۹/۹۵ درصد خواهد رسید. (شکل ۴)

بحث

این پژوهش، اولین بررسی انجام گرفته در ارتباط با تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش آهوی گواتردار در ایران است. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مشخص شد که تغییر اقلیم در ایران می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر گستره پراکنش آهوی گواتردار در آینده داشته باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر اقلیم در ایران می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر وسعت زیستگاه‌های مطلوب آهوی گواتردار در آینده داشته باشد (کاهش ۴۵ و ۷۰ درصدی به‌ترتیب بر اساس RCP 2.6 و RCP 8.5)، نتیجه‌ای که با نتایج مشابه مطالعات انجام گرفته روی سایر پستانداران همخوانی دارد. برای مثال، مطالعه لو و همکاران روی ۲۲ گونه سم‌دار در فلات تبت نشان داد که به‌طور میانگین ۵۵ –۳۰ درصد از گستره پراکنش کنونی این گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده کاهش خواهد یافت (۲۵). در مطالعه آنها، افزایش گستره پراکنش گونه‌ها نتیجه افزایش مطلوبیت زیستگاه‌های مطلوب کنونی بوده درحالی که در این مطالعه، زیستگاه‌های مطلوب جدید در آینده زیستگاه‌هایی هستند که در حال حاضر نامطلوب‌اند. در مطالعه‌ای دیگر روی گوسپند مارکوپولو (*Ovis ammon polii*) در مناطق کوهستانی تاجیکستان، کاهش حدود ۶۶ درصدی پراکنش کنونی گونه تا سال ۲۰۷۰ بر اساس سناریوی RCP 8.5 پیش‌بینی شد (۳۲). البته در برخی موارد این کاهش‌های پیش‌بینی شده در پراکنش پستانداران در نتیجه تغییر اقلیم ناچیز بوده است که این مورد برای گونه‌های ساکن مناطق معتدله و گرمسیری گزارش

شده است (۱۰). برای مثال، در مطالعه دب و همکاران مشخص شد که تحت تأثیر تغییر اقلیم و بر اساس سناریوی RCP 8.5 به‌ترتیب تنها حدود ۴۰ و ۵ درصد از زیستگاه‌های کنونی خرس سیاه آسیایی (*Ursus thibetanus*) و فیل آسیایی (*Elephas maximus*) نامطلوب خواهد شد درحالی‌که، هیچ‌گونه کاهشی در پراکنش کنونی ببر بنگال (*Panthera tigris tigris*) رخ نخواهد داد.

همان‌گونه که نتایج حاصل از مدل اجماعی نشان داد، دو متغیر اقلیمی بارش فصلی و حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر پراکنش آهوی گواتردار در منطقه مورد مطالعه هستند. اهمیت متغیر بارش فصلی را می‌توان از جنبه تأثیر محدودکننده آن بر پوشش گیاهی تفسیر کرد. در مناطق خشک مانند منطقه مورد مطالعه، بارش عامل محدودکننده مهمی در رشد پوشش گیاهی است (۱۸) و لذا نقش مهمی در افزایش موقتی علوفه و درنتیجه پراکنش جمعیت‌های آهوی گواتردار دارد. چنانکه بعد از بارش فصلی، متغیر تیپ پوشش گیاهی به‌عنوان دومین متغیر مهم شناسایی شد که نشان‌دهنده وابستگی گونه به این متغیر زیستگاهی است. سایر پژوهش‌های مشابه که در زمینه گونه‌های سم‌دار انجام گرفته‌اند نیز اهمیت پوشش گیاهی را به‌عنوان شاخصی از میزان علوفه در دسترس در پراکنش علف‌خواران بزرگ‌جثه نشان داده‌اند (۳۲). علاوه بر این، پوشش گیاهی می‌تواند از جنبه فراهم کردن پناه برای مخفی شدن از انسان و گونه‌های طعمه‌خوار و همچنین فرار از گرمای زیاد در فصول گرم حائز اهمیت باشد (۳۰). اهمیت متغیر اقلیمی حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال را نیز می‌توان از جنبه تأثیر مستقیم این متغیر بر گونه (افزایش تعرق و تشنگی) و غیرمستقیم به واسطه افزایش تبخیر، خشک‌شدن پوشش گیاهی و کاهش منبع غذایی و پناه توضیح داد.

مقایسه مدل‌های پراکنش آهوی گواتردار بین زمان حال و آینده نشان داد که بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر زیستگاه‌های مطلوب واقع بخش جنوبی منطقه (استان‌های یزد و فارس و اصفهان) است که بیشتر وسعت آن در اقلیم فراخشک واقع شده است. این در حالی است که، زیستگاه‌هایی که در آینده نیز مطلوبیت خود را حفظ خواهند کرد و همچنین زیستگاه‌های جدید نواحی دشتی واقع در بخش‌های شمال و شمال غرب منطقه (استان‌های اصفهان و سمنان) هستند که در منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در عرض جغرافیایی بالاتر گسترش یافته که کمتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارند. بیشتر زیستگاه‌های جدید شناسایی شده وسعت کمی داشته و از این‌رو ممکن است به‌تنهایی برای حمایت از جمعیت‌های گونه کافی در آینده نباشد. اما، به‌دلیل اینکه در حاشیه و در فواصل میان پناهگاه‌های اقلیمی داخل محدوده پراکنش گسترش دارند، می‌توانند کل وسعت زیستگاه‌های مطلوب در دسترس برای جمعیت‌های آهوی گواتردار در آینده را افزایش دهد. هر چند که مطلوبیت این دو گروه از زیستگاه‌ها به‌طور بالقوه امکان حضور جمعیت‌های آهوی گواتردار در آینده را فراهم می‌کنند اما، بخش زیادی از این زیستگاه‌ها در خارج از شبکه مناطق حفاظت‌شده قرار گرفته‌اند. تحت این شرایط، عدم امنیت ناشی از تهدیدهای انسانی مانند شکار، چرای دام و همچنین نابودی و تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها به‌واسطه توسعه کاربری‌های سرزمین از جمله کشتزارها و جاده‌ها می‌تواند در عمل مانع حضور جمعیت‌ها در این زیستگاه‌های حفاظت نشده باشد. لذا، به‌منظور اتخاذ رویکردی سازشی برای کاهش همزمان پیامدهای منفی تغییر اقلیم و تهدیدهای انسانی، افزودن بخشی یا تمام این زیستگاه‌ها به شبکه مناطق حفاظت‌شده از اهمیت بسیاری برخوردار است. نکته قابل توجه این است که تحت برخی شرایط، تغییر اقلیم می‌تواند سبب بروز تضاد میان منافع انسانی و حفاظت از تنوع زیستی شود. برای مثال، تغییر شرایط اقلیمی همزمان با تأثیر بر پراکنش حیات وحش، بر پراکنش گونه‌هایی که به‌عنوان محصولات کشاورزی کشت می‌شوند نیز تأثیرگذار است. تحت این شرایط، هم‌پوشی مناطق مساعد برای توسعه کشتزارها با مناطق مطلوب برای حضور گونه‌ها در آینده می‌تواند سبب بروز چالش‌هایی جدی شود. در این ارتباط، نتایج مطالعه میلر و همکاران نشان داد که زیستگاه‌های مطلوب پیش‌بینی شده به‌منظور گسترش شبکه مناطق حفاظت‌شده Nature 2000 برای ۱۵۶ گونه پرنده در اروپا

با مناطق مستعد کشت گیاهانی که به‌عنوان منبع سوخت گیاهی استفاده می‌شوند هم‌پوشی دارد (۲۷). این تضادها بیانگر ضرورت تعریف معیارهایی دقیق و مشخص در تعیین مناطق اولویت‌دار برای حفاظت و گسترش کاربری‌های سرزمین با هدف برقراری تعادل میان نیازهای انسانی و نیاز حفاظت از تنوع زیستی در مواجه با تغییر اقلیم است.

مشابه نواحی زیستگاهی، از میان مناطق حفاظت‌شده تنها مناطق واقع در عرض‌های بالاتر در استان سمنان و اصفهان که دارای شرایط اقلیمی مطلوبی هستند همچنان کارایی خود را در آینده حفظ خواهند کرد. در استان اصفهان، تحت تأثیر سناریوهای حداقل و حداکثر تغییر اقلیم (RCP 2.6 و RCP 8.5)، تنها زیستگاه‌های واقع در پناهگاه حیات وحش موته مطلوبیت خود را در آینده نیز حفظ خواهند کرد. درنتیجه، پناهگاه حیات وحش موته تنها منطقه حفاظت‌شده در عرض جغرافیایی پایین (نسبت به استان سمنان در عرض پایین) خواهد بود که جمعیت آهوان آن به کمترین میزان، تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهند گرفت. این پناهگاه در حال حاضر یکی از بهترین زیستگاه‌های حفاظت‌شده کشور برای آهوی گواتردار است (۱۷)، که به‌نظر می‌رسد در آینده نیز نقش کلیدی در حفظ جمعیت‌های این گونه آسیب‌پذیر در برابر تغییر اقلیم داشته باشد. مهم‌تر اینکه، این منطقه می‌تواند زیستگاه مقصد مهمی برای آهوان سایر مناطق حفاظت‌شده مانند منطقه قمیشلو و کهیاز (شماره ۴) که تحت تأثیر اقلیم قرار خواهند گرفت باشد. هرچند که در حال حاضر بسیاری از مسیرهای ارتباطی آهوی گواتردار به‌واسطه دخالت‌های انسانی و توسعه شبکه جاده‌ها شرایط چندان مناسبی ندارد، اما همچنان امکان برقراری ارتباط میان مناطق از طریق زیستگاه‌های باقی‌مانده به‌خصوص در نواحی دور از آشفتگی‌های انسانی وجود دارد. از این‌رو، حفاظت از این مسیرها، می‌تواند نقش مهمی در بقای جمعیت‌های گونه در آینده داشته باشد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، به‌منظور حفاظت از جمعیت‌های آهوی گواتردار در برابر پیامدهای تغییر اقلیم آینده در منطقه مورد مطالعه به چند رویکرد مدیریتی و حفاظتی اشاره می‌شود: ۱) گسترش شبکه مناطق حفاظت‌شده از طریق افزایش وسعت یا استقرار مناطق حفاظت‌شده جدید بر اساس موقعیت پناهگاه‌های اقلیمی پیش‌بینی شده. ۲) جلوگیری یا محدودکردن فعالیت‌های انسانی از قبیل توسعه جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی در نواحی زیستگاهی که در آینده پتانسیل حضور جمعیت‌های این گونه را خواهند داشت. ۳) شناسایی و حفاظت از مسیرهای ارتباطاتی که می‌تواند سبب تسهیل جابه‌جایی جمعیت‌های آسیب‌پذیر به‌سمت مناطق حفاظت‌شده با زیستگاهای مطلوب در آینده شود (پناهگاه‌های اقلیمی حفاظت‌شده) و ۴) ارتقاء، سطح حفاظتی مناطق کلیدی از جمله مناطق شکارممنوع سپیدکوه، طالو و شیربند در استان سمنان و پناهگاه حیات وحش موته در استان اصفهان که تحت شرایط اقلیمی آینده می‌توانند نقش مهمی در حفاظت از جمعیت‌های آهوی گواتردار داشته باشند.

تشکر

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند که از صندوق حمایت از پژهشگران و فناوران ریاست جمهوری برای فراهم کردن حمایت‌های مالی انجام این پژوهش (طرح مصوب به شماره ۹۵۸۴۹۷۳۵) صمیمانه قدردانی کنند.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., A. Babaeian, M. Habibi-Nokhandan, L. Mokhtari and Sh. Malbousi. 2010. Evaluating impact of climate change on temperature and precipitation in Iran in future decades. *Iranian Journal of Natural Geography Research* 91: 72-110. (In Farsi).
2. Akbari-Harouni, H., B. Behrouzirad and B. Hasanzadeh-Kiabi. 2008. Investigation on habitat suitability of *Gazella subgutturosa* in Kalmand-Bahadoran protected area in Yazd province. *Iranian Journal of Environmental Studies* 34(46): 113-118. (In Farsi).

3. Araujo, M. B., R. J. Whittaker., R. J. Ladle and M. Erhard. 2005. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14: 529-538.
4. Ashrafzadeh, M. R., N. Habibzadeh and S. Ashrafi. 2019. Effects of climatic change on the geographical distribution of Caspian Snowcock (*Tetraogallus caspius* Gmelin, 1784) in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 7(3): 39-50. (In Farsi).
5. Brambilla, M., E. Caprio, G. Assandri, D. Scridel, E. Bassi, R. Bionda, C. Celada, R. Falco, G. Bogliani, P.Pedrini and A. Rolando. 2017. A spatially explicit definition of conservation priorities according to population resistance and resilience, species importance and level of threat in a changing climate. *Diversity and Distributions* 23(7): 727-738.
6. Cardillo, M., G. M. Mace, K. E. Jones, J. Bielby, O. R. Bininda-Emonds, W. Sechrest, C. D. L. Orme and A. Purvis. 2005. Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science* 309: 1239-1241.
7. Ceballos, G., and P. R. Ehrlich. 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* 296: 904-907.
8. Clemen, R. T. 1989. Combining forecasts: A review and annotated bibliography. *International Journal of Forecasting* 5: 559-583.
9. Davidson, A. D., M. J. Hamilton, A. G. Boyer, J. H. Brown and G. Ceballos. 2009. Multiple ecological pathways to extinction in mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:10702-10705.
10. Deb, J. C., S. Phinn, N. Butt and C. A. McAlpine. 2019. Adaptive management and planning for the conservation of four threatened large Asian mammals in a changing climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 24(2): 259-280.
11. Ebrahimi, A., A. Farashi and A. Rashki. 2017. Habitat suitability of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in Iran in future. *Environmental Earth Sciences* 76(20): 697.
12. Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudık, S. Ferrier, A. Guisan and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
13. Fadakar, D., H. Rezaei, M. Naseri, M. Mirzakhah, S. Naderi and W. Zamani. 2013. Phylogenetic analysis of Persian Gazella, *Gazella subgutturosa* (Artiodactyla: Bovidae) based on cytochrome b in central Iran. *Molecular Biology Research Communications* 2(4): 151-159.
14. Forester, B. R., E. G. De Chaine and A. G. Bunn. 2013. Integrating ensemble species distribution modelling and statistical phylogeography to inform projections of climate change impacts on species distributions. *Diversity and Distributions* 19(12): 1480-1495.
15. Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
16. Haidarian Aghakhani, M., R. Z. Tamartash, M. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani and M. Tatian. 2017. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using Species Distribution Modelling in Central Zagros for conservation planning. *Iranian Journal of Environmental Studies* 43(3): 497-511. (In Farsi).
17. Hemami, M. R. and C. P. Groves. 2001. Global antelope survey and regional action plans: Iran. pp. 114 -118. *In*: Mallon D. P. and S. C. Kingswood (Eds.), Antelopes: Part 4. North Africa, the Middle East and Asia. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
18. Hsu, J. S., J. Powell and P. B. Adler. 2012. Sensitivity of mean annual primary production to precipitation. *Global Change Biology* 18(7): 2246-2255.
19. Huete, A. R. A. 1988. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25: 295-309.
20. Kafash, A., M. Kaboli and G. Kohler. 2014. Predicting the impacts of climate change on the Mesopotamian Spiny-tailed Lizard (*Saara loricata*): Using maximum entropy algorithm and Bioclim. *Iranian Journal of Animal Biology* 7(1): 75-82. (In Farsi).
21. Karger, D. N., O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R. W. Soria-Auza, N. E. Zimmermann, H. P. Lider and M. Kessler. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4: 170122.
22. Keppel, G., K. P. Van Niel, G. W. Wardell-Johnson, C. J. Yates, M. Byrne, L. Mucina, A. G. Schut., S. D. Hopper and S. E. Franklin. 2012. Refugia: Identifying and understanding safe havens for biodiversity under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 21: 393-404.
23. Khosravi, R., M. R. Hemami, M. Malekian, A. Flint and L. Flint. 2016. Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model. *Turkish Journal of Zoology* 40(4): 574-585.
24. Khosravi, R., M. R. Hemami, M. Malekian, T. L. Silva, H. R. Rezaei and J. C. Brito. 2018. Effect of landscape features on genetic structure of the goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*) in Central Iran. *Conservation Genetics* 19(2): 323-336.
25. Luo, Z., Z. Jiang and S. Tang. 2015. Impacts of climate change on distributions and diversity of ungulates on the Tibetan Plateau. *Ecological Applications* 25(1): 24-38.
26. Malakoutikhah, Sh., S. Fakheran and A. R. Soffianian. 2013. Applying circuitscape theory to identify migration

corridors between Mooteh and Ghamishloo wildlife refuges in Isfahan province-Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2(5): 77-98. (In Farsi).
27. Meller, L., M. Cabeza, S. Pironon, M. Barbet-Massin, L. Maiorano, D. Georges and W. Thuiller. 2014. Ensemble distribution models in conservation prioritization: from consensus predictions to consensus reserve networks. *Diversity and Distributions* 20(3): 309-321.
28. Michalak, J. L., J. J. Lawler, D. R. Roberts and C. Carroll. 2018. Distribution and protection of climatic refugia in North America. *Conservation Biology* 32(6): 1414-1425.
29. Morelli, T. L., C. Daly, S. Z. Dobrowski, D. M. Dulen, J. L. Ebersole, S. T. Jackson, J. D. Lundquist, C. I. Millar, S. P. Maher and W. B. Monahan. 2016. Managing climate change refugia for climate adaptation. *PLoSone* 11: e0159909.
30. Patton, D. R. 1992. Wildlife habitat relationships in forested ecosystems. Timber Press, p. 442.
31. Rezvani, A., S. Fakhran and A. Sofianian. 2016. Modeling the geographic distribution of wild ram in the face of climate change. The First International Conference on the Geographic Information System of the Silk Road, Isfahan, Isfahan University of Technology, Isfahan, 24 May. (In Farsi).
32. Salas, E. A. L., R. Valdez, S. Michel and K. G. Boykin. 2018. Habitat assessment of Marco Polo sheep (*Ovis ammon polii*) in Eastern Tajikistan: Modeling the effects of climate change. *Ecology and Evolution* 8(10): 5124-5138.
33. Selwood, K. E., J. R. Thomson, R. H. Clarke, M. A. McGeoch and R. MacNally. 2015. Resistance and resilience of terrestrial birds in drying climates: Do floodplains provide drought refugia? *Global Ecology and Biogeography* 24(7): 838-848.
34. Taleshi, H., S. Jalali, J. Alavi, S. Hosseini and B. Naimi. 2018. Climate change impacts on the distribution of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipski) in the Hyrcanian Forests of Iran. *Iranian Journal of Forest* 10(2): 251-266. (In Farsi).
35. Tang, C. Q., Y. F. Dong, S. Herrando-Moraira, T. Matsui, H. Ohashi, L.Y. He, K. Nakao, N. Tanaka, M. Tomita, X. S. Li and H. Z. Yan. 2017. Potential effects of climate change on geographic distribution of the tertiary relict tree species Davidia involucrata in China. *Scientific Reports* 7: 43822.
36. Thuiller, W., B. Lafourcade, R. Engler and M. B. Araújo. 2009. BIOMOD- A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-373.
37. Yousefi, M., M. Ahmadi, E. Nourani, A. Rezaei, A. Kafash, A. Khani, M. E. Sehhatisabet, M. A. Adibi, F. Goudarzi and M. Kaboli. 2017. Habitat suitability and impacts of climate change on the distribution of wintering population of Asian Houbara Bustard (*Chlamydotis macqueenii*) in Iran. *Bird Conservation International* 27(2): 294-304.
38. Yousefi, M., M. Ahmadi, E. Nourani, R. Behrooz, M. Rajabizadeh, P. Geniez and M. Kaboli. 2015. Upward altitudinal shifts in habitat suitability of mountain vipers since the last glacial maximum. *PloSone* 10(9): p.e0138087.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Identifying Potential Climatic Refugia to Protect Populations of Goitered Gazelle (*Gazelle subgutturosa*) in the Face of Climate Change (A case Study: Central Iran)

SH. Malakutikhah[1], S. Fakheran[1*], M. R. Hemami[1], M. Tarkesh[1] and J. Senn[2]

(Received: February 05-2019; Accepted: June 09-2019)

Abstract

Currently, conservation planning based on the future distribution of species is among the most important adaptive conservation approaches to reduce the negative impacts of climate change on species. In this study, by adapting an ensemble modelling approach, scenarios of RCP 2.6 and RCP 8.5 and five global circulation models, the distribution of Goitered gazelle (*Gazellea subgutturosa*) under climate change was predicted in the central Iran (Isfahan, Semnan, Markazi, Fars and Yazd provinces). In addition, by comparing the current and future distributions, suitable habitats that would remain so in the future with the potential to function as climatic refugia were identified. The results revealed that by 2070, Goitered gazelle will have lost 46% and 70% of its habitats based on RCP 2.6 and RCP 8.5, respectively. Across central Iran, only proportions of habitats in Isfahan and Semnan at higher latitudes were predicted to function as the climatic refugia. Based on RCP 8.5, however, all refugia in Isfahan, except for those in Mooteh Wildlife Refuge, were projected to disappear. According to the findings of this study, expanding the protected network and increasing connectivity in the areas where refugia are distributed, and enhancing the protection status of key no-hunting areas and wildlife refugees are recommended as the management approaches for the effective conservation of this species against climate change.

Keywords: Vulnerable ungulates, Ensemble modelling approach, Protected areas, Landscape connectivity, Climatic refugia

1. Faculty of Environ. Sci., Dept. of Natur. Resour., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
2. Faculty of Range and Watershed Manag., Dept. of Natur. Resour., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
3. Community Ecology Research Unit, Swiss Research Federal Institute (WSL), Switzerland.
*: Corresponding Author, Email: fakheran@cc.iut.ac.ir