پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۰، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۳۹۸، از صفحه ۱۶۱ تا ۱۷۲

تاثیر تغییرات اقلیمی در تعیین مناطق مطلوب زیستگاهی خرگوش‌های ایران؛ خرگوش غربی (*Lepus europeus*) و خرگوش شرقی (*Lepus tolai*)

الهام ابراهیمی[۱]، فراهم احمدزاده*[۲]، بابک نعیمی[۲]

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران
۲ دانشیار گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران
۳ گروه علوم محیط زیست، انستیتو تکنولوژی فدرال زوریخ، دانشگاه زوریخ (Zurich ETH) سوئیس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۴/۱۰)

چکیده

تنوع‌زیستی جهانی در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری در مقایسه با دوران‌های گذشته تجربه کرده است. تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی شامل تخریب زیستگاه، گونه‌های معرفی‌شده و آلودگی از مهم‌ترین منابع تهدیدات کنونی برای تنوع زیستی هستند و اینکه تلفات گونه‌های جانوری و گیاهی یک اثر چشمگیر منفی بر خدمات اکوسیستم دارند. هدف از مطالعه حاضر تهیه مدل توزیع گونه‌ای خرگوش غربی (*Lepus europeus*) به عنوان یک گونه با توزیع بالا و خرگوش شرقی (*Lepus tolai*) به‌عنوان یک گونه ساکن در مناطق شمال، شمال غربی و شمال شرقی ایران است. ابتدا لایه‌های متغیر اقلیمی از پایگاه داده Bioclime استخراج شد. در مرحله بعدی، همبستگی بین متغیرها برای هریک از گونه ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سپس متغیرهای دارای همبستگی بالا از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. درنهایت ۹ مدل توزیع گونه‌ای بسته آماری sdm (GLM, GAM, BRT, SVM, RF, MARS, CART, FDA, MaxEnt) در نرم افزارهای R مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد عموما مناسب‌ترین مناطق برای توزیع خرگوش غربی، مناطق غرب و جنوب غرب ایران و برای خرگوش شرقی مناطق جنگلی نیمه انبوه در بخش‌های شمال و شمال‌شرق کشور است. به علاوه این که حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال (BIO5) و بارش گرم‌ترین فصل (BIO18) به ترتیب مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی برای گونه‌های خرگوش غربی و خرگوش شرقی بودند. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند برای مدیریت بهتر مناطق ذکر شده با تاکید بر حفاظت تنوع‌زیستی گونه‌های خرگوش غربی و خرگوش شرقی استفاده شود.

کلید واژه‌ها: خرگوش شرقی، خرگوش غربی، مدل‌سازی توزیع گونه‌ای، پکیج *sdm*، مدل اجتماعی

*نویسنده مسئول: Email: F_ahmadzade@sbu.ac.ir

سرآغاز

کشور ایران دربرگیرنده تنوع نسبتاً بالایی از پستانداران با حدود ۱۹۵ گونه است (Karami et al., 2016). این ویژگی، سبب تمایز ایران از نظر تنوع پستانداران در بین سایر کشورهای جنوب غرب آسیا شده است (Hatt, 1959; Harrison & Bates, 1991; Habibi, 2003). در دهه‌های اخیر نرخ انقراض گونه‌ها به‌طور پیوسته در جهان افزایش یافته است و عدم به‌کارگیری راهکارهای حفاظتی مؤثر و کارآمد، به انقراض شمار زیادی از گونه‌ها منجر شده است (Ceballos & Ehrlich, 2002). پستانداران نیز امروزه به‌شدت تحت تاثیر بحران انقراض‌اند، به‌طوری که بر اساس برآوردها حدود یک چهارم از پستانداران موجود در دنیا در معرض خطر انقراض قرار دارند (Hoffmann et al., 2011). در سالیان گذشته محدوده توزیع برخی از پستانداران در غرب آسیا به واسطه عواملی مانند تخریب زیستگاه، شکار و تعارض با مردم محلی کاهش گسترده‌ای داشته است (Farhadinia, 2004)، بنابراین به نظر می‌رسد مطالعات بوم‌شناسی توزیع گونه‌ها در جهت دست یافتن به راهکارهای حفاظتی الزامی است.

توسعه روش‌های مدل‌سازی انقلابی در افزایش دانش بوم‌شناسی به خصوص ماکرواکولوژی[۱] به وجود آورده و سبب افزایش آگاهی‌های جهانی در ارتباط با عوامل محیطی شکل‌دهنده پراکنش گونه‌ها شده است (Shams Esfandabadi et al., 2010). مدل‌سازی توزیع گونه‌ها یک روش مدل‌سازی در علوم محیط‌زیست است که تلاش می‌کند روابط بین توزیع گونه‌ها و ویژگی‌های محیطی آن‌ها را بیان کند (Franklin, 2010). فراتر از پیش‌بینی توزیع گونه، این مدل‌ها تبدیل به یک ابزار مهم تصمیم‌گیری برای انواع برنامه‌های کاربردی جغرافیای‌زیستی، مانند مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی، شناسایی مناطق حفاظتی بالقوه، تعیین مکان‌های بالقوه برای توزیع گونه‌های حساس و گونه‌های مهاجم و نقشه‌برداری گسترش بیماری‌های خطرناک به‌طور گسترده‌ای به کار گرفته شد (Miller, 2010).

خرگوش‌ها یکی از حلقه‌های اصلی زنجیره غذایی در طبیعت بوم‌سازگان‌ها بوده و نقش آن‌ها از نظر زیان‌های وارده بر محصولات کشاورزی و پوشش گیاهی، انتقال بیماری‌ها به انسان و حیوانات مهم است. خرگوش‌های ایران شامل خرگوش غربی و خرگوش شرقی، متعلق به راسته‌ی Lagomorpha و خانواده Leporidae هستند و از گونه‌های بزرگ جثه جوندگان ایران به شمار می‌آیند که در دهه‌های اخیر تحت تاثیر فعالیت‌های جنگل‌زدایی و کاربری اراضی قرار گرفته‌اند. خرگوش شرقی در مناطق نیمه بیابانی، استپ‌ها و بوته‌زارهای شمال‌شرقی ایران، از شبه جزیره میانکاله در حاشیه دریای خزر تا سرخس پراکندگی دارد (Karami et al., 2016) و خرگوش غربی در اکثر زیستگاه‌ها و در مواردی در مناطق کشاورزی زندگی می‌کند. و بر خلاف خرگوش شرقی که دارای پراکندگی بسیار محدودی در ایران است، این گونه به غیر از مناطق شمال شرقی در اکثر مناطق ایران پراکندگی دارد. تاکنون در کشور مطالعه پیوسته‌ای در مورد وضعیت زیستگاه‌های خرگوش‌های ایران صورت نگرفته است بنابراین، حفاظت از این گونه‌ها نیازمند پژوهش‌های بوم‌شناسی و شناسایی دقیق زیستگاه‌های آن‌ها است (Karami et al., 2016). در این مطالعه با استفاده از رویکرد حداکثر آنتروپی[۲] (Maxent) و مدل‌های مختلف بسته آماری sdm[۳] شامل مدل خطی تعمیم یافته (GLM)[۴]، مدل افزایشی تعمیم یافته (GAM)[۵]، رگرسیون درختی پیشرفته (BRT)[۶]، مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)[۷]، مدل جنگل تصادفی (RF)[۸]، مدل رگرسیون سازشی چند متغیره (MARS)[۹]، مدل درختی رگرسیونی و طبقه‌بندی (CART)[۱۰]، مدل آنالیز تفکیکی انعطاف پذیر (FDA)[۱۱] زیستگاه‌های مطلوب این دو گونه در ایران مورد شناسایی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در ساخت مدل‌های توزیع گونه‌ای وجود رابطه میان وقوع گونه با شرایط محیطی یک فرض اساسی است، بنابراین برای ساخت یک مدل حداقل به دو گروه از داده‌های ورودی نیاز داریم که این داده‌ها شامل داده‌های بیولوژیک و داده‌های محیطی می‌باشند (Franklin, 2010). در این مطالعه نقاط حضور (۲۰۳ نقطه حضور برای خرگوش غربی و ۴۳ نقطه حضور برای خرگوش شرقی) از طریق پایگاه داده شخصی، اطلس پستانداران ایران، تسهیلات اطلاعات تنوع زیستی جهانی (GBIF)[۱۲] و اطلاعات سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور گردآوری شد، داده‌های محیطی مورد استفاده نیز از بانک داده اقلیمی www.worldclim.org تهیه شد. این بانک داده شامل ۱۹ متغیر آب و هوایی (جدول ۱) از مناطق خشکی کره زمین است

که بر اساس درون‌یابی داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ حاصل شده است.

جدول (۱): متغیرهای اقلیمی مورد استفاده برای تهیه مدل توزیع گونه‌ای خرگوش غربی و خرگوش شرقی

متغیر	توضیح	متغیر	توضیح
BIO11	دمای متوسط سردترین فصل	BIO1	دمای متوسط سالانه
BIO12	بارندگی سالانه	BIO2	میانگین دمای روزانه
BIO13	بارش مرطوب‌ترین ماه سال	BIO3	میانگین دمای مطلق هوا
BIO14	بارش خشک‌ترین ماه سال	BIO4	دمای فصلی
BIO15	بارش فصلی	BIO5	حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال
BIO16	بارش در مرطوب‌ترین فصل	BIO6	حداقل دما در سردترین ماه سال
BIO17	بارش در خشک‌ترین فصل	BIO7	محدوده دمای سالانه
BIO18	بارش در گرم‌ترین فصل	BIO8	متوسط دمای فصل مرطوب
BIO19	بارش در سردترین فصل	BIO9	متوسط دمای فصل خشک
		BIO10	متوسط دمای گرمترین فصل

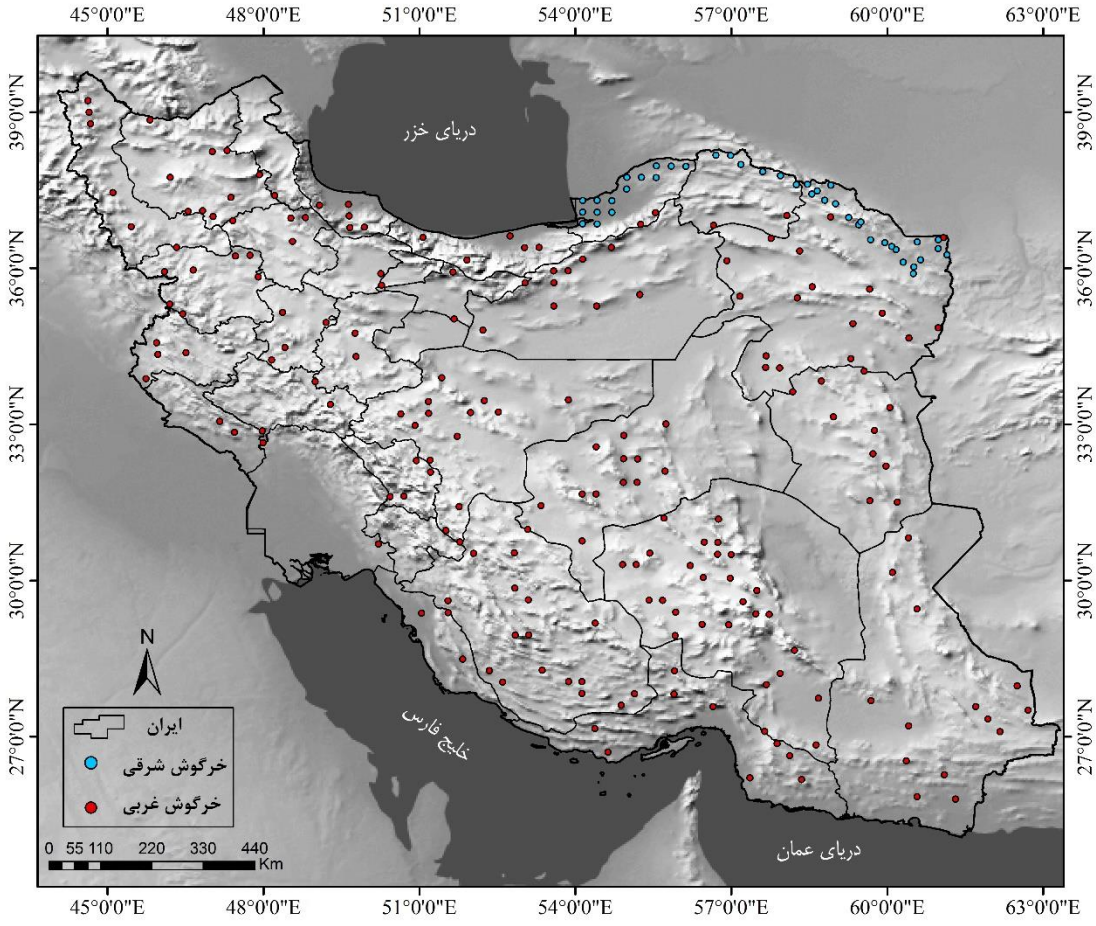
در این مطالعه به‌منظور انتخاب متغیرهای مستقل و وابسته تاثیر گذار بر حضور خرگوش غربی و خرگوش شرقی از آزمون پیرسون با ضریب دقت ۰/۷۵ در نرم افزار Spss استفاده شد، نتایج حاصل از این آزمون به انتخاب متغیرهای حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال (Bio5)، بارش سردترین فصل (Bio19)، دمای متوسط سالانه (Bio1)، بارش فصلی (Bio15)، دمای متوسط فصل مرطوب (Bio8)، دمای مطلق روزانه (Bio3)، دمای فصلی (Bio4) برای خرگوش غربی و متغیرهای بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18)، بارش مرطوب‌ترین ماه سال (Bio13)، میانگین روزانه دما (Bio2)، دمای متوسط فصل مرطوب (Bio8)، دمای متوسط سالانه (Bio1)، میانگین دمای سردترین فصل (Bio11) برای خرگوش شرقی منجر شد و از بین ۱۹ متغیر اقلیمی، متغیرهای مذکور با فرمت Ascii برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

منطقه مورد مطالعه

ایران در منطقه معتدل شمال از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه و با مساحت متوسط ۱/۶*۱۰^{۶} کیلومترمربع در جنوب غرب آسیا واقع شده است (شکل ۱). به جز بیابان‌های داخلی و زمین‌های پست در امتداد دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان، حدود نیمی از ایران متشکل از کوه‌های بلند است. رشته‌کوه‌های اصلی در ایران شامل البرز، زاگرس، کپه داغ، خراسان و مکران هستند. ایران دارای ارتفاعات متعدد و زون‌های مختلف آلپی بوده، علاوه بر این ایران در کمربند خشک آسیایی (بیابان‌های گرم) واقع شده است (Breckle, 2002) و فقط جنگل‌های هیرکانی واقع در حاشیه‌ی جنوبی دریای خزر دارای آب‌وهوای مرطوب با پوشش گیاهی غنی از دشت و جنگل و کوهستان هستند (Akhani, 1998).

در این مطالعه از بسته آماری sdm در نرم‌افزار R version 3.3.2 (Naimi & Araújo, 2016) برای پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل توزیع گونه‌ای خرگوش غربی و خرگوش شرقی در ایران استفاده شد. بسته آماری sdm نیز توسط (Naimi & Araújo, 2016) طراحی شد، شامل مجموعه‌ای از مدل‌ها و چندین گزینه برای ارزیابی نتایج مدل و طرح‌ریزی توزیع بالقوه گونه در فضا و زمان است. چارچوب طراحی شده برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی در بسته آماری sdm شامل ۶ رویکرد است: الف. یک ساختار استاندارد و یکپارچه برای داده‌های توزیع گونه‌ای و روش‌های مختلف مدل‌سازی؛ ب. پشتیبانی از رویکردهای مختلف مدل‌سازی از جمله همبستگی و مدل‌های ماشینی برداری؛ ج. امکان اصلاح روش‌های موجود توسط پژوهشگران و توسعه روش‌های جدید متناسب با نوع پژوهش؛ د. کنترل داده‌های مکانی برای یک یا چند گونه؛ ه. راهکارهای محاسباتی با کارایی بالا برای سرعت بخشیدن به مدل‌سازی و شبیه‌سازی؛ و. استفاده از یک رابط کاربری گرافیکی ساده و قابل انعطاف. علاوه بر این با توجه به اینکه مدل‌های توزیع گونه‌ای همواره در معرض عدم قطعیت می‌باشند و این موضوعی است

که نمی‌توان از آن چشم‌پوشی نمود، یک راه‌حل ممکن برای برآورد تغییرات بین مدلی و کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها، استفاده از مدل اجتماعی[۱۳] به‌جای استفاده از یک روش مدل‌سازی واحد است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که نتایج پیش‌بینی مدل اجتماعی نسبت به سایر مدل‌های توزیع گونه‌ای قوی‌تر بوده و از اطمینان بیشتری برخوردار است (Saberfer et al., 2017). به همین منظور در بسته آماری sdm مدل اجتماعی ارائه شده و به این ترتیب می‌توان با اطمینان بیشتر به نتایج آن اتکا کرد.



شکل(۱): موقعیت منطقه مورد مطالعاتی (کشور ایران)

به طورکلی در به‌کار گیری بسته آماری sdm می‌توان مراحل کار را به سه مرحله تقسیم‌بندی کرد: پیش پردازش، پردازش و پس از پردازش؛ پیش پردازش شامل تمام مراحل طراحی شده توسط sdm برای پردازش اطلاعات و پس از پردازش شامل نتایج مدل‌ها پس از پردازش با تنظیمات مشخص شده توسط کاربر است که این تنظیمات قابل انعطاف بوده و شامل مجموعه‌ای از توابع است که می‌تواند توسط کاربر وارد مدل شود. برای مدیریت داده‌ها و پیش پردازش مجموعه‌ای از توابع مفید در چارچوب sdm وجود دارد که در اجرای داده‌های محیطی و اطلاعات حضور–عدم حضور گونه‌ها استفاده شده است. بسته آماری sdm قادر است اطلاعات مربوط به گونه‌ها و لایه‌های محیطی را با ساختارهای رایج مختلف مورد آنالیز قرار دهد و نیاز به یک فرمت خاص ندارد. در این مطالعه اطلاعات حضور گونه‌ها به صورت یک لیست از مختصات مکانی گونه و متغیرهای محیطی به صورت داده‌های فضایی با فرمت Ascii به نرم‌افزار معرفی شدند. در نهایت از چهار شاخص مختلف شامل AUC، COR، TSS وDeviance برای ارزیابی کارایی مدل‌ها استفاده شد که در میان این شاخص‌ها، شاخص‌های TSS و Deviance وابسته به آستانه و شاخص‌های AUC و COR مستقل از آستانه هستند. این شاخص‌ها کارایی مدل‌ها را بر اساس میزان عددی از ۰ تا ۱

نشان می‌دهند. افزایش میزان عددی شاخص‌های AUC،COR و TSS نشان افزایش کارایی مدل‌ها و افزایش میزان عددی Deviance نشان دهنده کاهش کارایی مدل‌ها است.

نتایج و یافته‌ها

اهمیت متغیرها اقلیمی در توزیع خرگوش‌های ایران

نتایج حاصل از مدل‌سازی توزیع گونه‌ای نشان داد متغیر حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال، بارش سردترین فصل، متوسط دمای سالانه بیشترین تاثیر و متوسط دمای روزانه و بارش فصلی کم‌ترین تاثیر را بر توزیع خرگوش غربی و متغیر بارش گرم‌ترین فصل، بارش مرطوب‌ترین ماه سال، میانگین روزانه دما بیشترین و میانگین دمای سردترین فصل کم‌ترین تاثیر را بر پیش‌بینی حضور خرگوش شرقی دارند (جدول ۲و ۳).

جدول (۲): اهمیت نسبی متغیرها بر توزیع خرگوش غربی

متغیر	اهمیت نسبی هر متغیر
حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال	۲۱
بارش در سردترین فصل	۱۷/۱
دمای متوسط سالانه	۱۴/۱
بارش فصلی	۱۲/۶
متوسط دمای فصل مرطوب	۱۲/۴
میانگین دمای مطلق هوا	۱۱/۳
دمای فصلی	۱۱/۳

جدول (۳): اهمیت نسبی متغیرها بر توزیع خرگوش شرقی

متغیر	اهمیت نسبی هر متغیر
بارش در گرم‌ترین فصل	۳۹/۸
بارش مرطوب‌ترین ماه سال	۲۲/۵
میانگین دمای روزانه	۱۴/۹
متوسط دمای فصل مرطوب	۱۱/۵
دمای متوسط سالانه	۸/۵
دمای متوسط سردترین فصل	۷/۲

ارزیابی عملکرد مدل‌سازی توزیع خرگوش‌های ایران

خرگوش غربی: طبق جدول ۴ با توجه به شاخص‌های مختلف صحت سنجی مدل‌های مختلف مورد استفاده، شاخص TSS و COR وضعیت بهتری را برای مدل‌های مورد استفاده نشان دادند و مطلوب‌ترین عملکرد با شاخص COR برای مدل MARS، با شاخص TSS برای مدل GLM و با شاخص برای مدل ارزیابی شده است. با توجه به جدول ۴، به نظر می‌آید شاخص AUC شاخص سختگیرانه‌تری در صحت‌سنجی مدل‌ها به‌خصوص برای SVM می‌باشند. همچنین در مجموع با توجه به کل شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی کارایی مدل‌ها به نظر می‌رسد مدل MARS دارای اعتبار به مراتب بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها است.

جدول(۴): ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف برای خرگوش غربی

Model	AUC	COR	TSS	Deviance
GLM	۰/۵۹	۰/۶	۰/۹۱	۰/۰۹
GAM	۰/۶	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۰۹
BRT	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۸۱	۰/۰۶
SVM	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۰۹
RF	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۰۵
MARS	۰/۶	۰/۹۹	۰/۸	۰/۰۹
CART	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۰۳
FDA	۰/۵۹	۰/۶	۰/۸۹	۰/۰۸
MaxEnt	۰/۶۳	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۰۸

خرگوش شرقی: طبق جدول (۵) با توجه به شاخص‌های مختلف صحت سنجی مدل‌های مختلف مورد استفاده، شاخص AUC و TSS وضعیت بهتری را برای مدل‌های مورد استفاده نشان دادند و به نظر می‌رسد شاخص‌های COR و Deviance شاخص‌های سختگیرانه‌تری در صحت سنجی مدل‌ها می‌باشند. در مجموع با توجه به کل شاخص‌های صحت‌سنجی به نظر می‌رسد مدل‌های GAM، CART و MARS دارای اعتبار به مراتب بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها باشند. علاوه بر این کمترین میزان عددی صحت سنجی (۰/۰۶) توسط شاخص Deviance برای مدل RF نشان داده شده که بیانگر کارایی بالای این مدل است. بیش‌ترین میزان عددی صحت‌سنجی (۰/۹۹) نیز توسط شاخص‌های TSS و AUC برای مدل‌های SVM و RF به‌دست آمد که کارایی بالای این دو مدل را مشخص می‌کند.

جدول (۵): ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف برای خرگوش شرقی

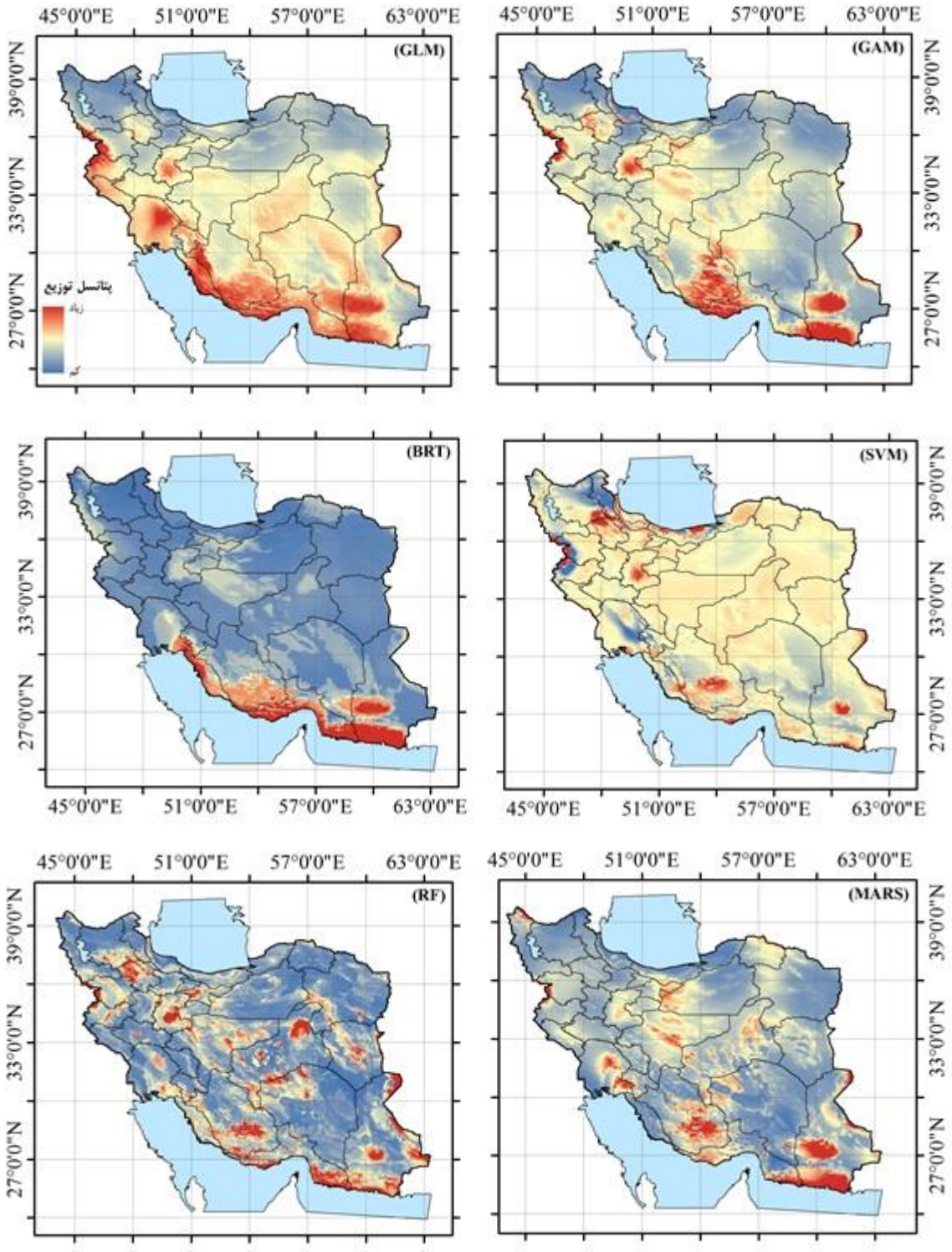
Model	AUC	COR	TSS	Deviance
GLM	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۹۴	۰/۱۲
GAM	۰/۹۵	۰/۶۷	۰/۹	۰/۹۴
BRT	۰/۹۶	۰/۳۵	۰/۹	۰/۱۴
SVM	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۱
RF	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۰۶
MARS	۰/۹۸	۰/۵۶	۰/۹۵	۰/۱۳
CART	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۱۶
FDA	۰/۹۶	۰/۴	۰/۹۴	۰/۱۲
MaxEnt	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۱۱

پیش‌بینی توزیع خرگوش غربی و خرگوش شرقی با بسته آماری sdm

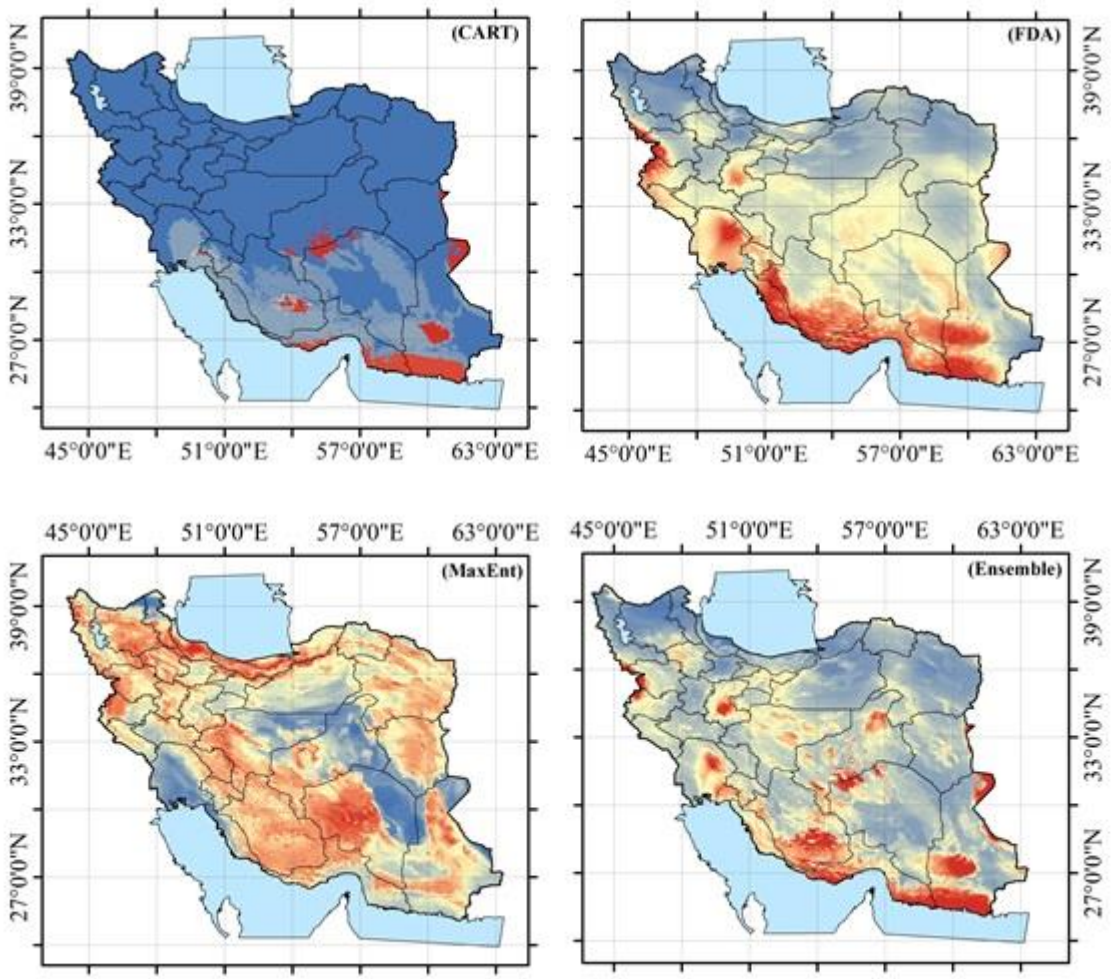
خرگوش غربی: پیش‌بینی مدل‌های مختلف بسته آماری sdm برای خرگوش غربی نتایج متفاوتی ارائه داده‌است (شکل ۲). مدل MARS که بر اساس ارزیابی عملکرد، دارای اعتبار بیشتری نسبت به سایر مدل‌های ارزیابی شده است، بیشترین پتانسیل توزیع این گونه را در مناطق جنوب و جنوب‌شرقی ایران پیش‌بینی نموده است، مدل SVM نیز که بر اساس ارزیابی عملکرد مدل‌ها دارای کم‌ترین میزان عددی صحت سنجی است، به صورت پراکنده بخش‌هایی از شمال غرب و جنوب ایران را دارای پتانسیل توزیع برای این گونه پیش‌بینی نموده است.

مدل GLM، GAM و FDA نیز بخش‌های جنوب، جنوب‌غرب و غرب ایران را به عنوان مناطق دارای پتانسیل توزیع گونه‌ای پیش‌بینی کرده است با این تفاوت که محدوده مساحت پیش‌بینی GAM محدودتر بوده و مناطق جنوب غربی ایران را دربر نمی‌گیرد، مدل RF نیز به صورت پراکنده بخش‌های مرکزی، جنوب، جنوب شرقی و شمال غربی ایران را به‌عنوان بهترین مناطق برای توزیع این گونه نشان داده است. اما در میان تمام مدل‌ها مدل CART نتایج متفاوت‌تری ارائه است، این مدل بخش‌های مرکزی، جنوب‌شرق و شرق ایران را به‌عنوان مناطقی با بیشترین پتانسیل زیستگاهی برای خرگوش غربی پیش‌بینی کرده است. مدل MaxEnt به جز بیابان‌های مرکزی و جنوب غربی کشور، محدوده وسیعی از کشور را به‌عنوان زیستگاه‌های دارای پتانسیل برای توزیع این گونه پیش‌بینی کرده است.

در نهایت، نتایج حاصل از مدل اجتماعی برای خرگوش غربی در ایران نشان داد لکه‌هایی در جنوب، جنوب شرقی، مرکز و غرب ایران که شامل بخش‌هایی از استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، بوشهر، فارس، ایلام، کرمانشاه، یزد، اصفهان، مرکزی و خراسان جنوبی است، دارای پتانسیل توزیع بالا برای این گونه هستند (شکل ۲).



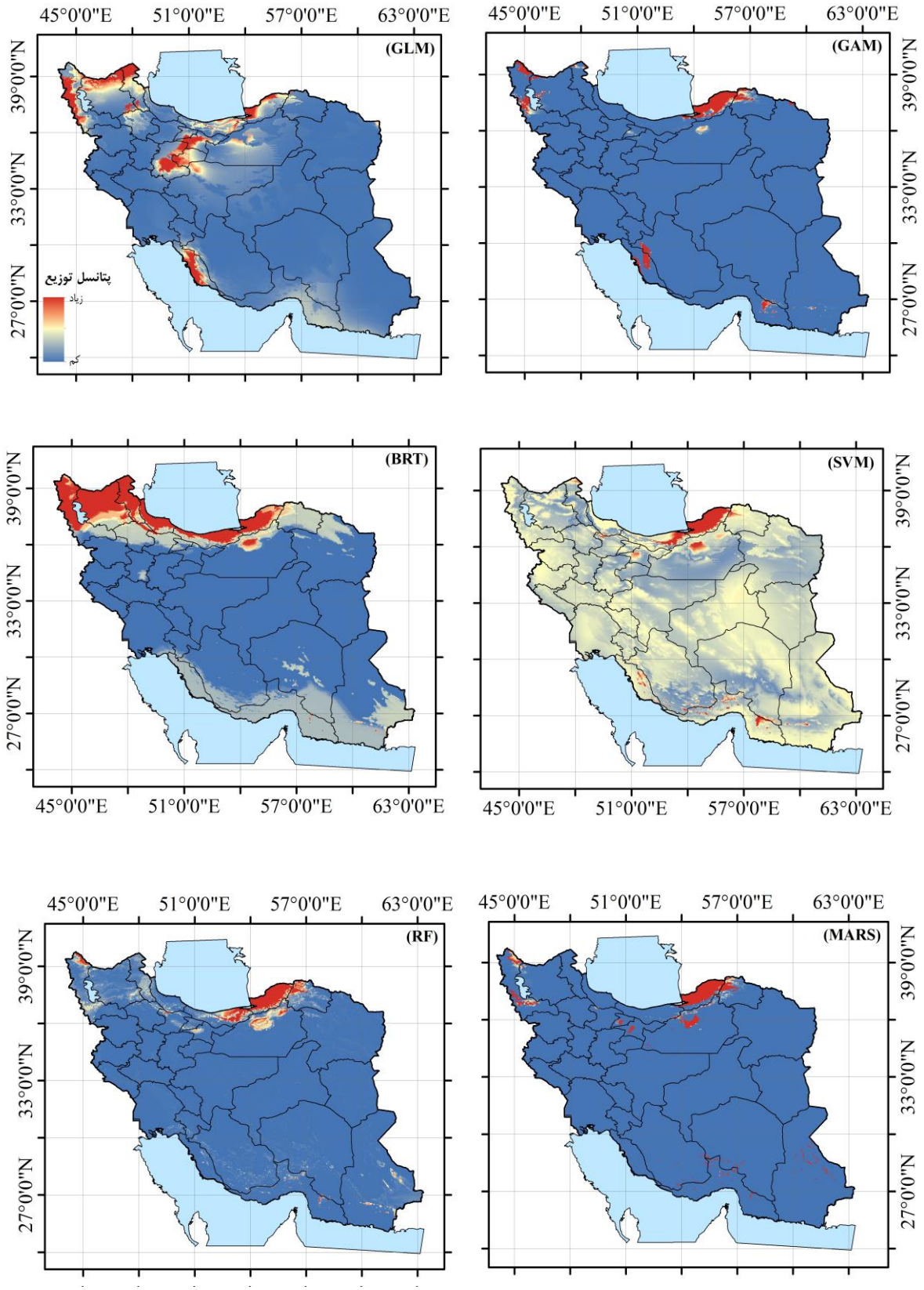
شکل(۲): نقشه توزیع گونه‌ای خرگوش غربی با استفاده از مدل‌های مختلف

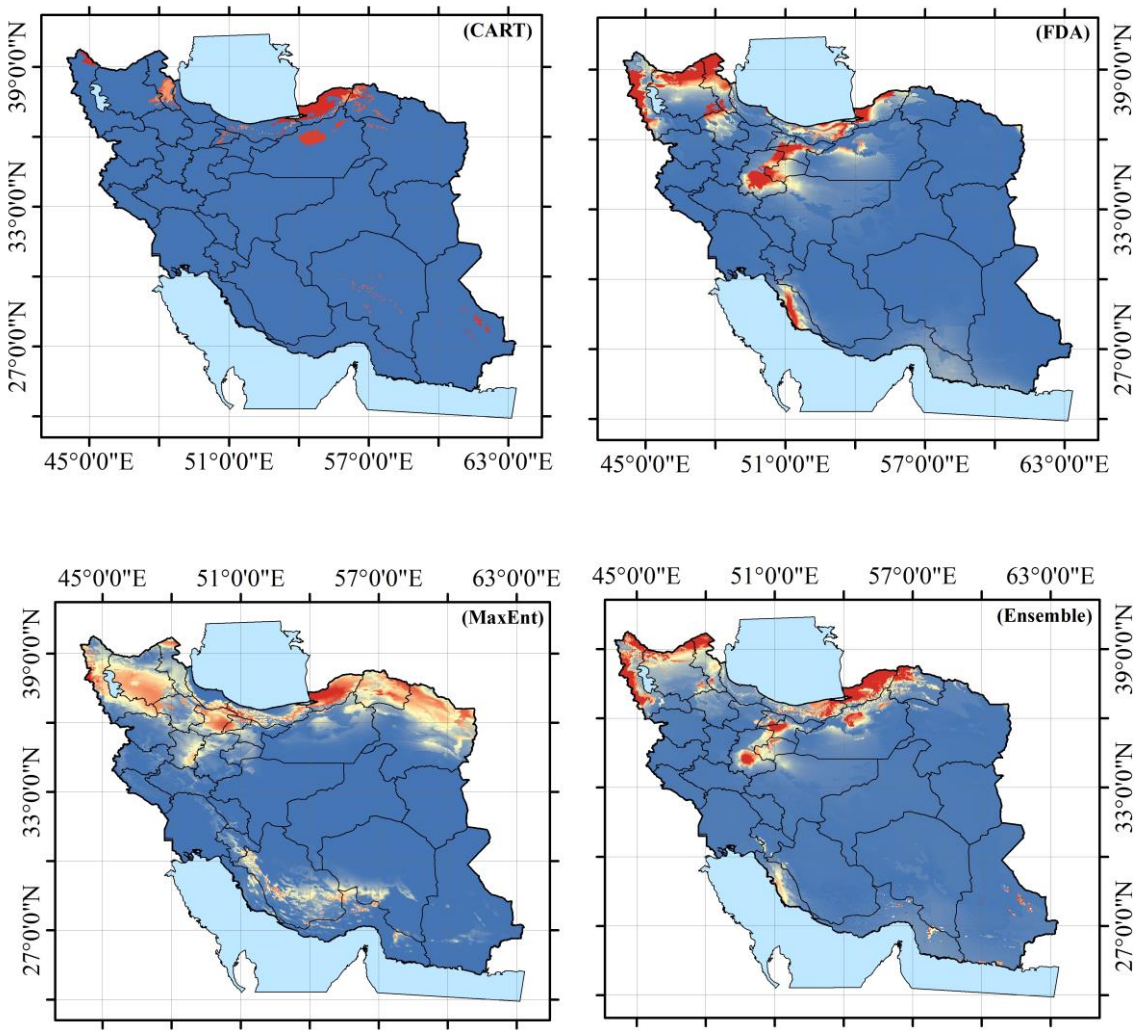


ادامه شکل(۲): نقشه توزیع گونه‌ای خرگوش غربی با استفاده از مدل‌های مختلف

خرگوش شرقی: پیش‌بینی مدل‌های مختلف بسته آماری sdm برای خرگوش شرقی تقریباً نتایج مشابهی ارائه داده است (شکل ۳)، مدل‌های GAM، CART و MARS که دارای اعتبار به مراتب بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها هستند، مشترکاً بخش شرقی دریای خزر در استان گلستان، شمال استان سمنان و غرب استان آذربایجان غربی را به عنوان بهترین زیستگاه خرگوش شرقی پیش‌بینی کرده‌اند. علاوه بر این، مدل‌های SVM و RF نیز نتایجی مشابه مدل‌های مذکور ارائه داده‌اند. مدل‌های FDA و GLM نیز از نظر نتایج پیش‌بینی شده شباهت بسیاری به یکدیگر داشته و بخش‌هایی از استان‌های گلستان، مازندران، تهران، قزوین، مرکزی، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و بوشهر را به عنوان مناطق دارای پتانسیل توزیع گونه‌ای پیش‌بینی کرده است، نقشه پیش‌بینی مدل MaxEnt نواری باریکی شامل زیستگاه‌های شمال غرب تا شمال شرق ایران را نشان داد که طبق همین نقشه، حداکثر پتانسیل توزیع این گونه در منتهی الیه شرقی دریای خزر تا شمال شرق ایران پیش‌بینی شده است. مدل BRT نیز علاوه بر تعیین حاشیه دریای خزر و شمال غربی ایران به عنوان بهترین مناطق زیستگاهی خرگوش شرقی، حاشیه‌ی دریای عمان و خلیج فارس را نیز به عنوان مناطقی با پتانسیل زیستگاهی متوسط نشان داده است.

نتایج مدل اجتماعی برای پتانسیل توزیع خرگوش شرقی در ایران نشان داد لکه‌هایی در استان‌های گلستان، مازندران، خراسان شمالی، سمنان، مرکزی، تهران، قم، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل دارای حداکثر پتانسیل توزیع برای این گونه هستند.


(GLM)
(GAM)
(BRT)
(SVM)
(RF)
(MARS)
پتانسل توزیع
زیاد
کم
45°0'0"E
51°0'0"E
57°0'0"E
63°0'0"E
39°0'0"N
33°0'0"N
27°0'0"N



شکل (۳): نقشه توزیع گونه‌ای خرگوش شرقی با استفاده از مدل‌های مختلف

بحث و نتیجه گیری

خرگوش‌های ایران در زیستگاه‌هایی که در مجاورت زمین‌های کشاورزی قرار دارند یا زیستگاه‌های استپی و علفزارها زیست می‌کنند (Karami et al., 2016). نتایج این پژوهش نشان داد شمال ایران فاقد پتانسیل زیستگاهی برای توزیع خرگوش غربی است ولی در عوض همین مناطق (شمال ایران) و به خصوص مناطق جنگلی منتهی الیه شرقی دریای خزر، بهترین مناطق برای توزیع خرگوش شرقی هستند، البته به نظر می‌رسد در میان مناطق جنگلی کشور، خرگوش شرقی جنگل‌های نیمه انبوه را بر سایر مناطق جنگلی ترجیح می‌دهد و خرگوش غربی بیشتر با مراتع و اراضی کشاورزی غرب و جنوب غرب ایران سازگاری دارد.

مطالعات متعدد نشان داده توزیع جمعیت خرگوش‌غربی در مناطق وسیعی از اراضی کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها متمرکز است (Barnes & Tapper, 1985; Lewandowski & Nowakowski, 1993; Hutching & Harris, 1996; Mclaren et al., 1997; Paniek & Kamieniarz, 1999; Meriggi & Alieri, 1989; Rosa et al., 1993) و توزیع خرگوش‌شرقی در تمام مناظر باز به جز زیستگاه‌های جنگل‌های مخروطی متمرکز شده است (Sokolov & Orlov, 1980; Tsevegmid & Tsendjav, 2004). بنابراین، با توجه به

شکل‌های (۲ و ۳) به نظر می‌رسد پیش‌بینی مدل‌ها در این مطالعه در خصوص توزیع خرگوش‌غربی و خرگوش‌شرقی در ایران با تکیه بر متغیرهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای تاثیر گذار در مقیاس کلان، با نتایج مطالعات یاد شده تطبیق داشته و قابل اعتماد است. .

علاوه بر این نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشـان داد متغیرهای حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال و بارش در گرم‌ترین فصل سال به ترتیب مهمترین متغیرهای اقلیمی در نحوه توزیع خرگوش غربی و خرگوش شرقی در ایران هستند (جدول‌های ۲ و ۳)، بنابراین، به‌نظر می‌رسد به دلیل این که پوشش گیاهی با دما رابطه مستقیم دارد و توزیع خرگوش‌غربی به جز جنگل‌های مرطوب شمال کشور، در جنگل‌ها، مراتع و اراضی کشاورزی مناطق مختلف کشور پراکنده است، عامل دما نقش تعیین کننده‌ای دارد. اما در خصوص نحوه توزیع خرگوش شرقی به دلیل محدود بودن توزیع این گونه در مناطق شمال کشور و سازگاری این گونه با آب و هـوای مرطوب، اهمیت این متغیر، قابل توجیه است. به‌طورکلی نتایج به دست آمده از مدل‌های مختلف نشان داد پتانسیل توزیع خرگوش غربی و خرگوش شرقی در ایران تصادفی نبوده و توزیع این گونه‌ها در زیستگاه‌هایی که مجموعه عوامل اقلیمی یکسان دارد، پیش‌بینی شده است.

نکته قابل بحث در نتایج نیمی از مدل‌های توزیع خرگوش‌شرقی، تعیین مناطق حاشیه‌ای دریای عمان و خلیج فارس به عنوان مناطقی با پتانسیل توزیع متوسط برای این گونه است (شکل ۳) که به نظر می‌رسد به علت تشابه در میزان بارش و رطوبت حاشیه دریای خزر با مرزهای آبی جنوب کشور این مناطق نیز به‌طور بالقوه پتانسیل زیستگاهی برای این گونه را دارند.

بنابراین با توجه به این که پیش از این مطالعه‌ای در خصوص زیستگاه‌های بالقوه و نحوه توزیع این دو گونه در ایران انجام نشده است، مطالعه حاضر در راستای حفاظت از تنوع‌زیستی کشور ضمن تهیه نقشه‌های پیش‌بینی توزیع فضایی خرگوش‌شرقی و خرگوش‌غربی در ایران، برای حفاظت و مدیریت بهتر زیستگاه‌های این دو گونه کاربرد دارد.

یادداشت ها

1. Macro Ecology
2. Maximum Entropy Modeling
3. Species Distribution Modelling Packages
4. Generalized linear models
5. Generalized Additive models
6. Boosted regression tree
7. Support vector machine
8. Random forest
9. Multivariate Adaptive Regression Splines
10. Classification and Regression Trees
11. Flexible Discriminant Analysis
12. Global Biodiversity Information Facility
13. Ensemble

فهرست منابع

Akhani, H. 1998. Plant biodiversity of Golestan National Park, Iran. 53(80): 1-411.

Ashrafzadeh, MR.; Karami, M. & Darvish, J. 2010. Relationship between diversity and abundance of rodents with height and vegetation in Geno Biosphere Reserve, Hormozgan province. Journal of Natural Environmental. 63(1): 1-13.

Barnes, R.F.W. & Tapper, S.C. 1985. A method for counting hares by spotlight. Journal of Zoology (London). Note from Mammal Society no 50 (206): 273-276.

Bellard, C.; Bertelsmeier, C.; Leadley, P.; Thuiller, W. & Courchamp F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. Ecology Letters 15(4): 365-377.

Breckle, S. W. 2002. Salt deserts in Iran and Afghanistan. Barth & Böer, Sabkha Ecosystems. 109-122.

Ceballos, G.; Ehrlich, P. R. Soberón, J. Salazar, I. & Fay, J. P. 2005. Global mammal conservation: what must we manage?, Science. 309(5734): 603-607.

Dawson, T.P.; Jackson. S.T.; House. J.I.; Prentice. I.C. & Mace, G.M. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. Science. 332: 53–58.

Dillon, M.E.; Wang, G. & Huey, R.B. 2010. Global metabolic impacts of recent climate warming. Nature. 467: 704–706.

Elith, J.; Phillips, S. J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y. E. & Yates, C. J. 2011. A statistical explanation of maxent for ecologists. Divers. Distrib. 17: 43-57.

Farhadinia M. 2004. The last stronghold: cheetah in Iran. Cat News. 40: 11-14.

Franklin, J. 2010. Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. Diversity and Distributions. 16(3): 321-330.

Habibi, K. 2003. Mammals of Afghanistan. Usfws, Coimbatore, India. 168 pp.

Harrison,D.L. & Bates P.J.J. 1991. The Mammalsof Arabia, 2nd Ed. Harrison Zoological Museum, England. 354 pp.

Hatt R. T. 1959. The Mammals of Iraq. Miscellaneous Publ. Mus. Zool. Univ. Mich., USA. No106.113 pp.

Hoffmann, M.; Belant, J. L.; Chanson, J. S.; Cox, N. A.; Lamoreux, J.; Rodrigues, A. S. & Stuart, S. N. 2011. The changing fates of the world's mammals. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences. 366(1578): 2598-2610.

Hutchings, M.R. & Harris, S. 1996: The current status of Brown Hare in Britain. - Joint Nature Conservation Committee, Bristol, England, 79 pp.

Karami, M, T.; Ghadierian, & Faizolahi. K. 2016. The Atlas of Mammals of Iran. Iran Department of Environment Press. 240p (in Persian).

Lewandowski, K. & Nowakowski, J. 1993: Spatial distribution of brown hare (*Lepus europaeus*) populations in habitats of various types of agriculture. Acta Theriologica 38(4): 435-442.

Mclaren, G.W.; Hutchings, M.R. & Harris, S. 1997: Why are brown hares (*Lepus europaeus*) rare in pastoral landscapes in Great Britain. - Gibier Faune Sauvage Game Wildlife 14(3): 335-348.

Meriggi, A. & Alieri, R. 1989. Factors affecting Brown hare density in northern Italy. - Ethology, Ecology and Evolution 1: 255-264.

Miller, S. P.; Whalen, M. W. & Cofer, D. D. 2010. Software model checking takes off. Communications of the ACM. 53(2): 58-64.

Naimi, B. & Araújo, M. B. 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. Ecography. 39(4): 368-375.

Nauka Press, Moscow. 351 pp. (In Russian).

Paniek, M. & Kamieniarz, R. 1999: Relationships between density of brown hare (*Lepus europaeus*) and landscape structure in Poland in the years 1981-1995. - Acta Theriologica44 (1): 67-75.

Phillips, S. 2006. A brief tutorial on Maxent. AT&T Research. 39pp.

Phillips, S. J.; Anderson, R. P. & Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological models. 190: 231-259.

Rosa, P., Mazzoni della Stella, R., Schenone, L. & Gariboldi, A. 1993: Preferenze ambientali della Lepre in ambienti collinari dell'Italia centrale. - Supplemento Ricerche di Biologia della Selvaggina XXI: 681-682. (In Italian).

Saberfer, R. S. & Falahatkar, Kia. H. 2017. A review of the species distribution models with the introduction of the ensemble. Third International Conference on Management in the 21st Century, Italy-Rome (in Persian).

Shams Esfandabadi, B.; Karami, M.; Hemami, M.R.; Riazei B. & Sadough. M.B. 2010. Habitat associations of wild goat in central Iran: implications for conservation. European journal of wildlife research. 56: 883-894.

Sokolov, V.E. & Orlov, V.N. 1980. *Identifi cation guide to the mammals of Mongolia*.

Tsevegmid, D. & Tsendjav, D. 2004. *Lagomorphs of Mongolia*. Jinst Cargana Co. Ltd,

Ulaanbaatar. (In Mongolian).

Ziaie, H. 2008. A Field Guide to the Mammals of Iran. 2nd Edition. Iranian Wildlife Center Tehran, Iran.