



## پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه (*Hyaena hyaena*) در پاسخ به تغییرات اقلیمی در ایران

الهام ابراهیمی<sup>۱</sup>، فراهم احمدزاده<sup>۱\*</sup> و بابک نعیمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> گروه علوم محیط زیست، انستیتو تکنولوژی فدرال زوریخ، دانشگاه زوریخ (ETH Zurich)، سوئیس

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲

ابراهیمی، ا.، احمدزاده، ف. و نعیمی، ب. ۱۳۹۶. پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه (*Hyaena hyaena*) در پاسخ به تغییرات اقلیمی در ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۴): ۲۱۵-۲۲۲.

**سابقه و هدف:** گوشت‌خواران به دلیل قرار گرفتن در رأس هرم غذایی همواره در معرض تهدید می‌باشند. امروزه حدود ۶۵٪ از گوشت‌خواران در فهرست سرخ اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت (IUCN)، در رده خطر انقراض یا آسیب پذیر قرار گرفته‌اند. در مقیاس جهانی در راسته گوشت‌خواران، خانواده کفتارها از خانواده‌هایی با تعداد گونه اندک (۴ گونه) محسوب می‌شوند. کفتار راه‌راه (*Hyaena hyaena*) تنها عضو این خانواده در ایران است و در رتبه نزدیک به تهدید (NT) فهرست سرخ IUCN قرار دارد. هدف از این پژوهش تهیه مدل توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه به‌عنوان یک گونه با پراکنش جغرافیایی گسترده در ایران است.

**مواد و روش‌ها:** با استفاده از لایه‌های نوزده متغیر اقلیمی همبستگی بین متغیرها برای گونه کفتار راه‌راه تجزیه و تحلیل شد و متغیرهایی که همبستگی بیش از ۰/۷۵ داشتند، حذف شدند. در نهایت هشت مدل توزیع گونه‌ای در بسته آماری (GLM, GAM, BRT, SVM, RF, ) sdm (MARS, CART, FDA) در نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه مدل‌های توزیع گونه‌ای همواره در معرض عدم قطعیت قرار دارند و این موضوعی است که نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد، یک راه‌حل برای برآورد تغییرات بین مدلی و کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی، استفاده از پیش‌بینی‌های ترکیبی به جای استفاده از یک روش مدل‌سازی واحد است. از این‌رو پس از تعیین پتانسیل‌های زیستگاهی کفتار راه‌راه توسط هشت مدل مذکور، بهترین مناطق برای پراکنش این گونه در ایران با بهره‌گیری از مدل ترکیبی (Ensemble) مشخص شد.

**نتایج و بحث:** یافته‌های این بررسی نشان داد متغیرهای دمای متوسط سالانه، بارش فصلی، بارش گرم‌ترین فصل از اهمیت بالایی برخوردارند و در مجموع مدل‌های GLM, GAM, BRT, CART, FDA دارای قابلیت اعتماد در سطح خوب، مدل MARS دارای قابلیت اعتماد در سطح عالی و مدل‌های SVM و RF دارای قابلیت اعتماد بسیار عالی هستند. نتایج نشان داد مدل‌های GLM, GAM, BRT, MARS, RF عموماً مناطق مرکزی ایران و مدل‌های SVM و FDA مناطق حاشیه‌ای دریای خزر را به‌عنوان بهترین مناطق برای توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه پیش‌بینی کرده‌اند، تفاوت در نتایج پیش‌بینی مدل‌ها تأییدکننده عدم قطعیت بین مدل‌ها است از این‌رو ضرورت استفاده از روش ترکیبی آشکار می‌شود. نتایج مدل ترکیبی نشان داد مناسب‌ترین مناطق برای پراکنش کفتار راه‌راه مناطق نیمه‌خشک و استپی مرکزی ایران است.

\* Corresponding Author. E-mail Address: f\_ahmadzade@sbu.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** به تازگی از SDMs برای تخمین گستره حضور گونه‌ها و همچنین کشف اثرات تغییر اقلیم بر توزیع آنها استفاده می‌شود و در میان این مدل‌ها استفاده از رویکرد مدل‌سازی ترکیبی راه‌حل مناسبی برای کاهش عدم قطعیت پیش‌بینی در مدل‌سازی توزیع گونه‌ای محسوب می‌شود، بنابراین نتایج این پژوهش علاوه بر پیش‌بینی توزیع مکانی کفتار راه‌راه به نوبه خود می‌تواند به اقدامات مدیریتی حفاظت این گونه نیز کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** کفتار راه‌راه (*Hyaena hyaena*)، مدل‌های توزیع گونه‌ای، بسته آماری sdm، تغییرات اقلیمی، مدل ترکیبی.

## مقدمه

توزیع گونه‌های<sup>۱</sup> ویژگی پویایی است که به طیف گسترده‌ای از فرایندهای بوم‌شناسی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بستگی دارد (Maurer and Taper, 2002). در مقیاس جغرافیایی، اغلب گونه‌ها قادر به مهاجرت به مناطق بالقوه زیستگاهی نبوده و برای بازگشت به محدوده توزیع قبل از دوره یخبندان دچار محدودیت هستند (Svenning and Skov, 2007). همچنین کاهش محدوده زیستگاهی توسط فعالیت‌های انسانی (Channell and Lomolino, 2000) مثالی بارز از عوامل محدودکننده پراکنش گونه‌ها در انتخاب زیستگاه است. به‌طور کلی ممکن است گونه در مکان‌هایی که به‌عنوان مناطق مطلوب پیش‌بینی شده است به دلیل عوامل مختلفی چون تعاملات زیستی<sup>۲</sup>، محدودیت‌های پراکندگی<sup>۳</sup>، انقراض<sup>۴</sup>، یا فرایندهای تاریخی<sup>۵</sup> وجود نداشته باشد (Pulliam, 1988, 2000; Ricklefs and Schluter, 1993; Hanski, 1998). در حال حاضر از دست دادن زیستگاه<sup>۴</sup> در مناطق دشتی و همچنین گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی با تحت‌تأثیر قرار دادن گونه‌ها به‌خصوص در مناطق کوهستانی به‌عنوان دو عامل مهم کاهش تنوع زیستی محسوب می‌شوند (Williams et al. 2003; Pimm et al. 2006). شواهد فراوانی وجود دارد که تغییرات اقلیمی در حال وقوع، بر تنوع زیستی جهان تأثیر زیادی می‌گذارد (IPCC, 2013; Hampe and Petit, 2005). به‌طوری که طی ۳۰ سال گذشته نقش عظیمی در بروز تغییرات در توزیع و فراوانی گونه‌ها داشته (Parmesan and Yohe, 2003; Root et al., 2003) و در انقراض گونه‌ها نیز دخیل

بوده است (Pounds et al., 1999). امروزه اکثر موجودات زنده به دلیل تغییرات اقلیمی به طبقات<sup>۶</sup> ارتفاعی خاصی محدود شده‌اند (McNab, 2003). این محدودیت‌های ارتفاعی پیامدهای بوم‌شناختی (Martin, 2001; Gage et al., 2004)، تکاملی (Jetz et al., 2004)، فیزیولوژیکی (McNab, 2003) و حفاظتی (Gage et al., 2004) مهمی را به‌ویژه در گونه‌های ساکن مناطق مرتفع و کوهستانی به وجود آورده است (Pounds et al., 1999; Williams et al., 2006; Pounds et al., 2003). گرم شدن هوا بسیاری از گونه‌های کوهستانی را مجبور به کاهش محدوده خود و حرکت به ارتفاعات بالاتر می‌کند و در برخی موارد محدوده آنها را کاملاً از بین می‌برد (Shoo et al., 2005). همچنین از دست دادن زیستگاه و تغییرات کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل بحران تنوع زیستی در دنیا به شمار می‌رود (Pimm and Lawton, 1998; Sanderson; Falcucci et al., 2007; Sala et al., 2000; Scharlemann et al., 2004; et al., 2002). بسیاری از پژوهش‌ها از دهه ۱۹۷۰ نرخ بالایی از تغییرات را توأم با افزایش نرخ رشد جمعیت، افزایش بهره‌برداری از زمین و کاهش زیستگاه‌های طبیعی نشان داده‌اند (Matson et al., 1994; Houghton 1994; Lambin et al., 2003; Sodhi et al., 2004; Lepers et al., 2005; Brown et al., 2005). به‌مرور زمان این عوامل منجر به کاهش وسعت پراکنش، افزایش اثر حاشیه در زیستگاه‌های طبیعی و پایین آمدن امنیت پستانداران بزرگ‌جثه شده است (Malekian and

توجه به این که کفتار نقش کلیدی در جلوگیری از انتشار بیماری‌ها، کنترل آلودگی‌ها، ایجاد تعادل بوم‌شناختی و پاک‌سازی محیط زیست دارد (Karami *et al.*, 2012) لذا انقراض آن آثار مخربی بر محیط زیست خواهد داشت (Karami *et al.*, 2012). کفتار در اکثر مناطق کشور و در زیستگاه‌های مختلف از جمله بیابان، استپ و کوهستان پیدا می‌شود، اما در شمال و شمال غربی ایران فراوانی اندکی دارد (Karami *et al.*, 2012). تاکنون پژوهش پیوسته‌ای در مورد وضعیت زیستگاه کفتار راه‌راه در سطح ایران صورت نگرفته است بنابراین حفاظت از این گونه مستلزم پژوهش‌های بوم‌شناسی و شناسایی دقیق زیستگاه‌های آن است. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های مختلف بسته آماری sdm شامل مدل خطی تعمیم‌یافته<sup>۱</sup>، مدل افزایشی تعمیم‌یافته<sup>۱۱</sup>، رگرسیون درختی پیشرفته<sup>۱۲</sup>، مدل ماشین بردار پشتیبان<sup>۱۳</sup>، مدل جنگل تصادفی<sup>۱۴</sup>، مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره<sup>۱۵</sup>، مدل درختی رگرسیونی و طبقه‌بندی<sup>۱۶</sup>، مدل آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر<sup>۱۷</sup>، زیستگاه‌های مطلوب این گونه را در ایران شناسایی شد.

### مواد و روش‌ها

برای پیش‌بینی توزیع گونه‌ای با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای، وجود رابطه میان حضور یک گونه با شرایط محیط زیست یک فرض اساسی محسوب می‌شود. بنابراین، برای ساخت یک مدل حداقل به دو گروه از داده‌های ورودی نیاز داریم که این داده‌ها شامل داده‌های زیستی و داده‌های محیطی هستند (Franklin, 2010). داده‌های حضور این گونه از مشاهدات شخصی نویسنده و همچنین از مشاهدات کارشناسان باتجربه محیط زیست در یک دهه اخیر (از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) به دست آمده است. با توجه به اینکه شکل ظاهری و جثه این گونه دارای شاخص‌های برجسته‌ای برای شناسایی می‌باشد لذا استفاده از مشاهدات کارشناسان

(Bagheri, 2016). علاوه بر این امروزه فقدان اطلاعات در مورد توزیع و فراوانی گونه‌ها، چالش مهمی در شناسایی زیستگاه‌ها گونه‌های مختلف به وجود آورده است (Clemens *et al.*, 2010; Clemens *et al.*, 2014). بنابراین مدل‌سازی در سطح گونه یکی از راه‌حل‌های این مشکل به شمار می‌رود. در مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع گونه‌ها از داده‌های حضور و عدم حضور استفاده می‌شود و به این ترتیب مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع گونه‌ها بخش مهمی از بررسی‌های بوم‌شناختی را در بر می‌گیرد (Phillips *et al.*, 2006; Royle *et al.*, 2012; Yackulic *et al.*, 2013; Bosso *et al.*, 2016; Smeraldo *et al.*, 2017). در این پژوهش برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه از بسته آماری sdm بهره‌گیری شده است. بسته آماری sdm قادر است اطلاعات مربوط به گونه‌ها و لایه‌های محیطی را با ساختارهای رایج مختلف آنالیز کند. در به‌کارگیری این بسته آماری، مراحل کار به‌طور کلی به سه مرحله پیش‌پردازش، پردازش و پس از پردازش تقسیم‌بندی می‌شود. پیش‌پردازش شامل تمام مراحل طراحی شده توسط sdm برای پردازش اطلاعات است و پس از پردازش شامل نتایج مدل‌ها پس از پردازش با تنظیمات مشخص شده توسط کاربر است، این تنظیمات انعطاف‌پذیر بوده و شامل مجموعه‌ای از توابع است که می‌تواند توسط کاربر وارد مدل شود. به‌طور کلی امروزه مدل‌های توزیع گونه‌ای به‌عنوان یکی از پنج روش تحقیقاتی در علوم زیستی رتبه‌بندی می‌شوند (Renner and Warton, 2013).

کفتار راه‌راه ایرانی تنها پستاندار ایران است که غذای اصلی آن لاشه جانوران دیگر است (Karami *et al.*, 2012). این گونه از سال ۲۰۰۸ در رتبه نزدیک به تهدید<sup>۱</sup> فهرست سرخ اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت<sup>۹</sup> قرار گرفته است (<http://www.iucnredlist.org>) و همچنین به‌عنوان یک پستاندار بزرگ‌جثه در رأس هرم غذایی قرار دارد و جزء اساسی اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. با

بلند پوشیده شده است و بخش وسیعی از مرکز کشور را دشت‌های خشک به وجود می‌آورند. 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 ارتفاعات متعدد و زون‌های مختلف آلبی دارد، علاوه بر این ایران در کمربند خشک آسیایی (بیابان‌های گرم) واقع شده است (Breckle, 2002) و فقط جنگل‌های هیرکانی واقع در حاشیه جنوبی دریای خزر دارای آب‌وهوای مرطوب با پوشش گیاهی غنی از دشت و جنگل و کوهستان هستند (Akhami, 1998). ارتفاع از سطح دریا از ۲۶- متر در سواحل دریای خزر تا ۵۸۶۰ متر در قله دماوند تغییر می‌کند (Jafari, 1997).

صحت بسیار بالایی را می‌تواند در بر داشته باشد. داده‌های محیطی مورد استفاده نیز از پایگاه داده اقلیمی [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org) به دست آمد که این داده‌ها شامل ۱۹ متغیر آب و هوایی از مناطق خشکی کره زمین است که بر اساس درون‌یابی داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ به دست آمده است (جدول ۱).

### منطقه مورد بررسی

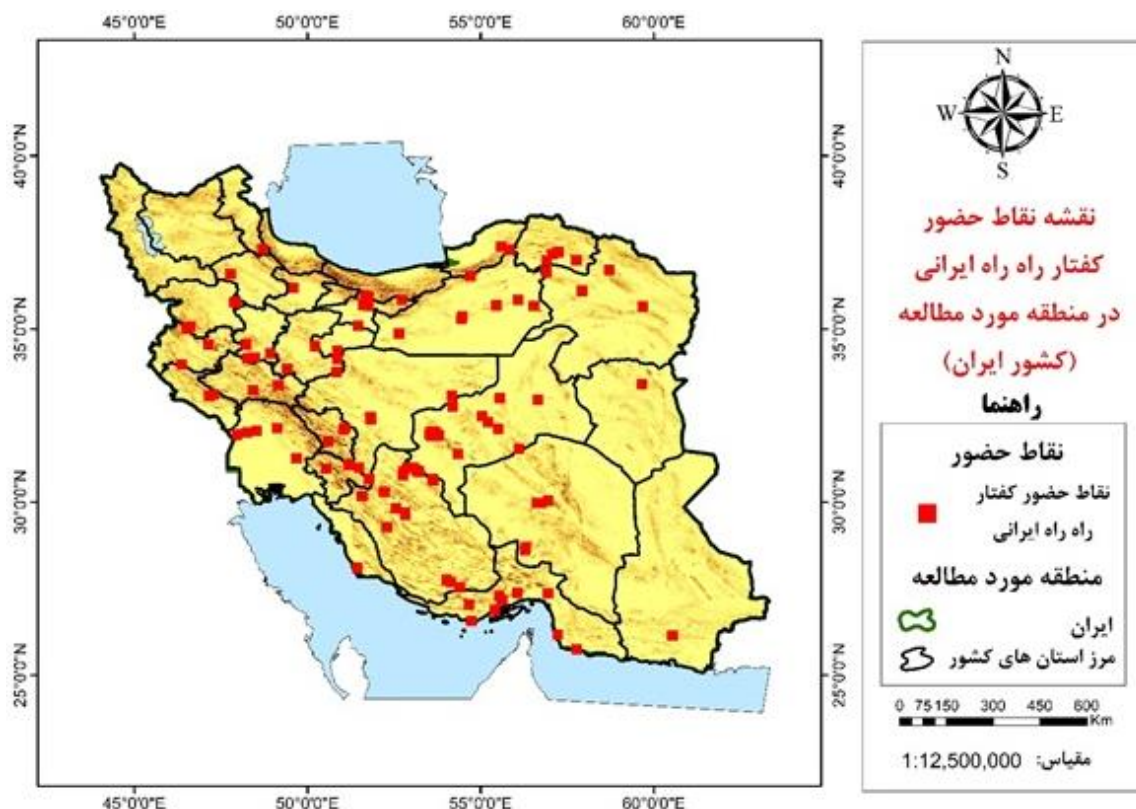
ایران در منطقه معتدل شمالی از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه و با مساحت متوسط ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در جنوب غرب آسیا واقع شده است (شکل ۱).

حدود ۵۰٪ از کل اراضی به وسیله سلسله کوه‌های

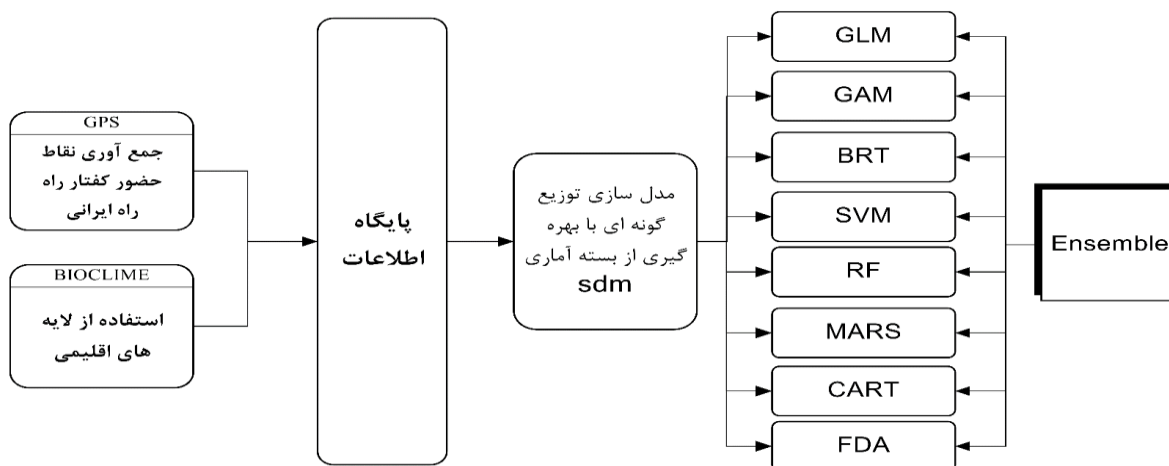
جدول ۱- متغیرهای اقلیمی مورد استفاده برای تهیه مدل توزیع کفتار راه‌راه

Table 1. Climatic variables used in modelling the species distribution of *H. hyaena*

پارامتر Parameter	کد داده اقلیمی Bioclim code	پارامتر Parameter	کد داده اقلیمی Bioclim code
دمای متوسط سالانه Annual mean temperature	BIO1	دمای متوسط سردترین فصل Mean temperature of coldest quarter	BIO11
میانگین دمای روزانه Mean diurnal range	BIO2	بارندگی سالانه Annual precipitation	BIO12
میانگین دمای مطلق هوا Isothermality	BIO3	بارش مرطوب‌ترین ماه سال Precipitation of wettest month	BIO13
دمای فصلی Temperature seasonality	BIO4	بارش خشک‌ترین ماه سال Precipitation of driest month	BIO14
حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال Max temperature of warmest month	BIO5	بارش فصلی Precipitation seasonality	BIO15
حداقل دما در سردترین ماه سال Min temperature of coldest month	BIO6	بارش در مرطوب‌ترین فصل Precipitation of wettest quarter	BIO16
محدوده دمای سالانه Temperature annual range	BIO7	بارش در خشک‌ترین فصل Precipitation of driest quarter	BIO17
متوسط دمای فصل مرطوب Mean temperature of wettest quarter	BIO8	بارش در گرم‌ترین فصل Precipitation of warmest quarter	BIO18
متوسط دمای فصل خشک Mean temperature of driest quarter	BIO9	بارش در سردترین فصل Precipitation of coldest quarter	BIO19
متوسط دمای گرم‌ترین فصل Mean temperature of warmest quarter	BIO10		



شکل ۱- نقشه نقاط حضور کفتار در منطقه مورد بررسی (کشور ایران)  
 Fig. 1. Map showing the location of the distribution points of *H. hyaena* in Iran



شکل ۲- روند مدل سازی توزیع گونه ای کفتار راه راه در ایران  
 Fig. 2. Flow chart showing the species distribution model of *H. hyaena* in Iran

توزیع بالقوه گونه در فضا و زمان است. این بسته شامل مدل خطی تعمیم یافته (GLMs; McCullagh and Nelder, 1989), مدل افزایشی تعمیم یافته (GAM; Hastie and Tibshirani, 1990), رگرسیون درختی پیشرفته (BRT; Friedman, 2001), مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM;

در این پژوهش از بسته آماری sdm در نرم افزار R version 3.3.2 (Naimi and Araújo, 2016) برای پیش بینی نواحی دارای پتانسیل توزیع گونه ای کفتار راه راه در ایران استفاده شد. بسته آماری sdm شامل مجموعه ای از مدل ها و چندین گزینه برای ارزیابی نتایج مدل و طرح ریزی

واسطه مدل‌های ذکرشده مشخص شد (شکل ۲). در این پژوهش 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 این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر نمودار (AUC) به دست آمده از منحنی ROC و شاخص‌های Deviance، COR، AUC، TSS استفاده شد.

(Vapnik, 1995)، مدل جنگل تصادفی (RF; Breiman, 2001)، مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره (MARS; Friedman, 1991)، مدل درختی رگرسیونی و طبقه‌بندی (CART; Breiman *et al.*, 1984)، مدل آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر (FDA; Hastie *et al.*, 1994) است. در این پژوهش زیستگاه‌های مطلوب این گونه در ایران شناسایی شدند (جدول ۲) و در نهایت با استفاده از روش ترکیبی (Ensemble) بهترین لکه‌های زیستگاهی کفتار راه‌راه به

جدول ۲- جزئیات و تنظیمات اجرای مدل  
Table 2. Details and settings of model implementation

مدل Model	نام اختصاری Specifics & settings	خصوصیات و تنظیمات مدل Specifics and settings	منابع مدل Reference for more explanation
مدل خطی تعمیم‌یافته Generalized linear models	GLM	با استفاده از توابع پارامتری ارتباط بین متغیر پاسخ و خطی برقرار می‌شود، ترکیبی از متغیرهای تشریحی درجه دو و سه هستند. در اینجا ما از GLM خطی با تابع لگاریتمی که در بسته آماری R ver. 2.13.1 استفاده کردیم. اختصاراً به این مدل GLM می‌گویند. Uses parametric functions to link the response variable to a linear, quadratic, and/or cubic combination of explanatory variables. We used a GLM linear with logit link function, implemented in R stats package ver. 2.13.1. For simplicity we refer to this as 'GLM'.	McCullagh Nelder (1989), Austin (2002)
مدل افزایشی تعمیم یافته Generalized additive models	GAM	با استفاده از توابع غیر پارامتریک و داده‌های مشخص، که برای توابع غیر خطی مناسب هستند. Uses nonparametric and data-defined, smoother to fit, nonlinear functions.	Hastie and Tibshirani (1990), Austin (2002)
رگرسیون درختی پیشرفته Boosted regression trees	BRT	با ترکیب دو الگوریتم درخت‌های رگرسیون با روابط غیر خطی پیچیده و روش افزایشی (یک روش افزودنی برای ترکیب چندین مدل تک برای بهبود عملکرد) متناسب است. این تابع مدل داده‌های باینری را با استفاده از یک تابع لگاریتمی برای انتخاب تعداد درخت‌ها استفاده می‌کند. Fits complex nonlinear relationships by combining two algorithms of regression trees (relate a response to their predictors by recursive binary splits) and boosting (an additive method to combine many single models to improve the performance). The function models binary data using a logit link function that uses a cross-validation to choose how many trees to add, stopping before it is too overfit.	Friedman (2001), Elith <i>et al.</i> (2008)
مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره Multivariate adaptive regression spline	MARS	مانند مدل GAM با این تفاوت که از تابع خطی قطعی استفاده می‌کند. This is similar to GAM model, but MARS uses from linear function.	Friedman (1991), Leathwick <i>et al.</i> (2005)
مدل جنگل تصادفی Random forests	RF	انتخاب بسیاری از نمونه‌های bootstrap از داده‌های متناسب با تعداد زیادی درخت رگرسیون در هر یک از نمونه‌ها است. هر درخت برای پیش‌بینی از مشاهدات نمونه‌های خارج از بوت استرپ استفاده می‌کند. طبقه‌بندی انجام‌شده با در نظر گرفتن هر درخت به‌عنوان یک "رای" و کلاس پیش‌بینی‌شده توسط رای اکثریت در میان تمام درختان تعیین می‌شود. Selects many bootstrap samples from the data and generates and fits a large number of regression trees to each of these subsamples. Each tree is used to predict the out-of-bag observations (i.e. those that were not selected as bootstrap samples). The classification given by considering each tree as a 'vote', and the predicted class of an observation is determined by the majority vote among all trees.	Breiman (2001), Cutler <i>et al.</i> (2007)

ادامه جدول ۲- جزئیات و تنظیمات اجرای مدل  
Table 2. Details and settings of model implementation

مدل Model	نام اختصاری Specifics & settings	خصوصیات و تنظیمات مدل Specifics and settings	منابع مدل Reference for more explanation
مدل درختی رگرسیون و طبقه‌بندی	CART	این روش ابتدا توسط Breiman و همکاران معرفی شد. این مدل به هر دو روش طبقه‌بندی شده و رگرسیون اشاره می‌کند. درختانی که برای رگرسیون استفاده می‌شوند و درختانی که برای طبقه‌بندی استفاده می‌شوند دارای برخی شباهت‌ها هستند اما همچنین برخی از تفاوت‌ها مانند روش مورد استفاده برای تعیین شکل کلی وجود دارد.	Breiman <i>et al.</i> 1984
Classification and regression trees		This method was introduced by Breiman <i>et al.</i> This model refers to both regression and classification methods. Trees which use for regression and trees which use for classification have some similarities with together but also there are some differences between them, like a method for setting total form.	
مدل ماشین‌بردار پشتیبان	SVM	مدل ماشین‌بردار یکی از مدل‌هایی ماشینی یادگیری نظارت‌شده است که برای طبقه‌بندی تفکیک گروه‌ها به کار می‌رود. به عبارت دیگر، پس از مشخص شدن داده‌های ورودی مدل (متغیرهای مستقل) و داده‌های هدف (متغیر وابسته)، مدل ماشین‌بردار پشتیبان پس از تجزیه و تحلیل بین متغیرهای مستقل و وابسته (کالیبراسیون) داده‌ها را به گروه‌های متمایزی تقسیم می‌کند.	Vapnik 1995
Support vector machine		Support vector machine is one machine learning models Which is used to Classification of groups. In other words, after determining the input data of the model (independent variables) Target data (dependent variable), The machine learning models After analyzing it Between independent and dependent variables (calibration) Divides the data into distinct groups.	
مدل آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر	FDA	موفقیت FDA بر این واقعیت است که احتمال خطاهای روش‌های قبلی توسط رگرسیون برطرف شده است.	Hastie <i>et al.</i> , 1994
flexible denotative Analysis		The FDA's success is based on this fact that the probability of errors in previous methods was resolved by regression.	

## نتایج و بحث

نشان دهد، به معنای پیش‌بینی کامل و بدون حذف هیچ کدام از نقاط حضور است. اما اگر این مقدار برابر با ۰/۵ باشد، ROC نشان‌دهنده یک پیش‌بینی تصادفی است. همچنین AUC بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (Giovanelli *et al.*, 2010). منحنی ROC مربوط به مدل‌سازی پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه با استفاده از مدل GLM با  $AUC = 0.722$ ، مدل GAM با  $AUC = 0.788$ ، مدل BRT با  $AUC = 0.754$ ، مدل SVM با  $AUC = 0.937$ ، مدل CART با  $AUC = 0.70$ ، مدل FDA با  $AUC = 0.726$ ، مدل RF با  $AUC = 0.904$  و مدل MARS با  $AUC = 0.806$  است، بنابراین مدل‌های FDA، GAM، BRT، CART، GLM دارای قابلیت اعتماد در سطح خوب، مدل MARS دارای قابلیت اعتماد در سطح عالی و مدل‌های SVM و RF دارای قابلیت اعتماد بسیار عالی هستند.

انتخاب متغیرهای اقلیمی: در این پژوهش به منظور انتخاب متغیرهای مستقل و وابسته تاثیرگذار بر حضور کفتار راه‌راه از آزمون پیرسون با ضریب دقت ۰/۷۵ استفاده شد، نتایج حاصل از این آزمون به انتخاب متغیرهای Bio1 (دمای متوسط سالانه)، Bio3 (میانگین دمای روزانه در طی سال)، Bio7 (محدوده دمایی سالانه)، Bio12 (بارندگی سالانه)، Bio15 (بارش فصلی)، Bio16 (بارش در مرطوب‌ترین ماه سال)، Bio18 (بارش در گرم‌ترین فصل سال)، Bio19 (بارش در سردترین فصل سال) منجر شد که از بین ۱۹ متغیر اقلیمی، متغیرهای مذکور با فرمت Ascii برای ورود به نرم‌افزار R version 3.3.2 آماده شدند.

برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی متغیر آماری از تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده منحنی استفاده شد. چنانچه مساحت زیر منحنی (AUC) میزان عددی ۱ را

**عملکرد مدل بر اساس شاخص‌های مختلف**

طبق جدول ۳ با توجه به شاخص‌های مختلف صحت‌سنجی، شاخص‌های AUC و TSS وضعیت بهتری را برای مدل‌های مورد استفاده نشان دادند و به نظر می‌رسد شاخص‌های COR و Deviance شاخص

سختگیرانه‌تری در صحت‌سنجی مدل‌ها هستند. همچنین در مجموع با توجه به کل شاخص‌های صحت‌سنجی به نظر می‌رسد مدل‌های GLM و GAM و RF دارای اعتبار به مراتب بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها هستند.

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل بر اساس شاخص‌های مختلف  
Table 3. Performance evaluation of models based on various indicators

Metod	AUC	COR	TSS	Deviance
GLM	0.9	0.27	0.78	0.22
GAM	0.92	0.27	0.8	0.21
BRT	0.87	0.26	0.68	0.25
SVM	0.68	0.14	0.45	0.31
RF	0.09	0.24	0.73	0.22
MARS	0.87	0.23	0.71	0.24
CART	0.64	0.13	0.49	0.31
FDA	0.9	0.22	0.8	0.23

**پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه با مدل‌های بسته آماری sdm**

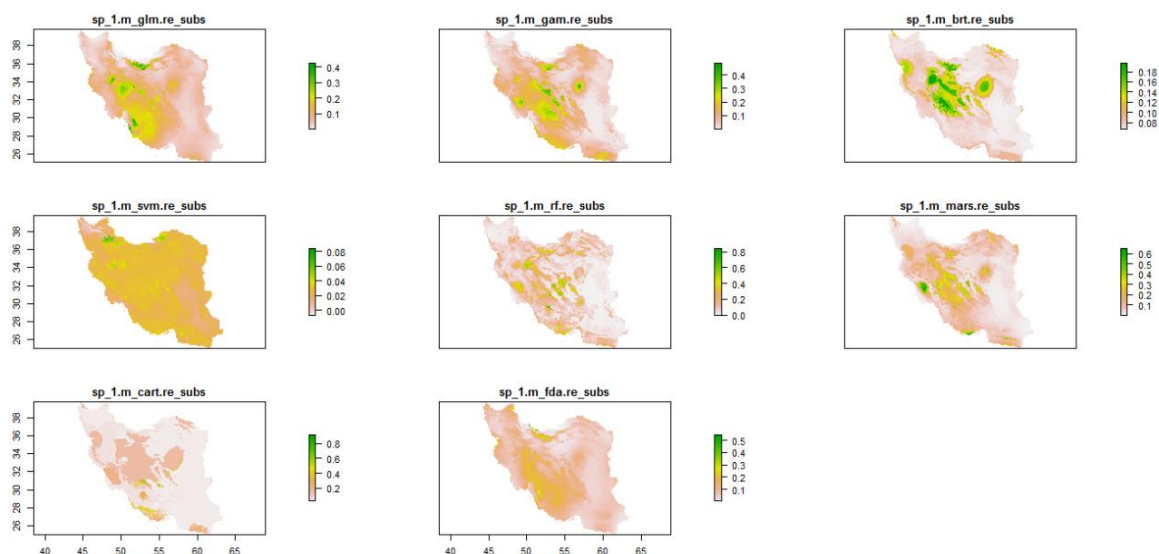
پیش‌بینی مدل‌های مختلف بسته آماری sdm برای کفتار راه‌راه نتایج متفاوتی ارائه داده است (شکل ۳). نتایج حاصل از این پژوهش با مدل GLM بخش‌هایی از شمال، مرکز و جنوب غربی ایران، مدل GAM مناطق نیمه‌خشک مرکزی و بخشی از غرب ایران، مدل BRT بخش‌هایی از غرب، شمال شرق و بخش بزرگی از مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران، مدل SVM منتهی‌الیه غربی و شرقی حاشیه دریای خزر در شمال ایران، مدل RF لکه‌ای به صورت پراکنده در مناطق خشک مرکزی ایران، مدل MARS بخش‌هایی از جنوب غربی و لکه‌هایی از مناطق خشک مرکزی ایران، مدل CART لکه کوچکی در منطقه نیمه‌خشک مرکز ایران و مدل FDA لکه‌های پراکنده‌ای در حاشیه دریای خزر را به‌عنوان بهترین مناطق برای پراکنش توزیع گونه‌ای

کفتار راه‌راه معرفی کرده است. در میان نتایج این مدل‌ها، GLM، GAM، BRT، MARS، CART، RF عموماً مناطق مرکزی ایران و مدل‌های SVM و FDA لکه‌هایی بسیار محدود در شمال استان تهران و جنوب استان مازندران و همچنین بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی کشور را نشان داده‌اند.

**نقشه ترکیبی پراکنش توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه ایرانی در ایران**

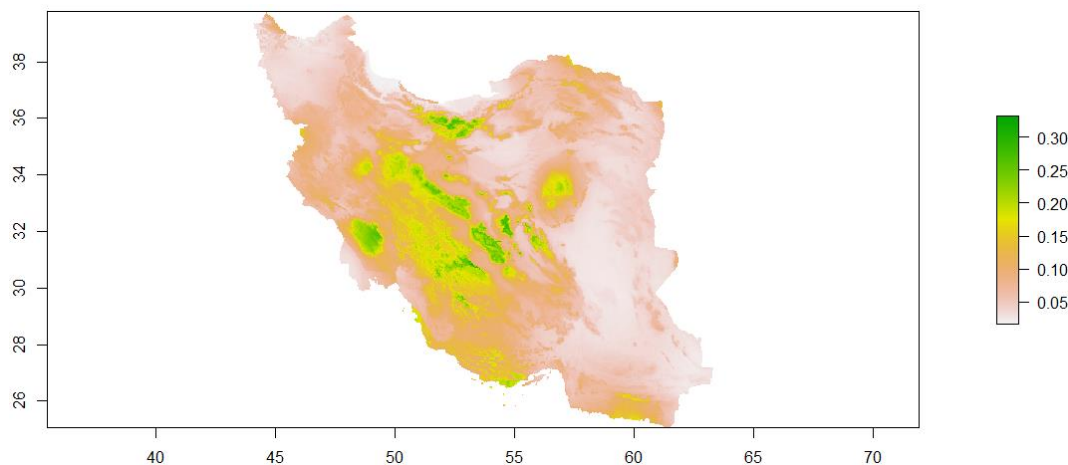
نقشه ترکیبی کفتار راه‌راه ایرانی در ایران پیش‌بینی می‌کند بخش‌های شمالی، جنوب غربی و بخش عمده‌ای از مناطق مرکزی ایران دارای پتانسیل توزیع گونه‌ای متوسط برای کفتار راه‌راه ایرانی هستند و در میان همین مناطق، بخش‌هایی به صورت لکه‌ای پتانسیل توزیع گونه‌ای بسیار بالایی برای کفتار راه‌راه ایرانی دارند (شکل ۴).





شکل ۳- نقشه توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه ایرانی با استفاده از مدل‌های مختلف بسته sdm در ایران.

Fig.3. *H. hyaena* species distribution map in Iran using different models of sdm package



شکل ۴- نقشه توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه ایرانی با استفاده از مدل ترکیبی در ایران

Fig. 4. *H. hyaena* species distribution map using Ensemble model in Iran

### نتیجه‌گیری

متغیرهای وارد شده به مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، گویای آن است که علاوه بر متغیر دمای متوسط سالانه، متغیرهای بارش فصلی و بارش گرم‌ترین فصل در مقایسه با سایر متغیرها اهمیت بیشتری در پراکنش این گونه دارند. بنابراین بر اساس مدل حاصل می‌توان گفت که افزایش در این متغیرها شرایط را برای استقرار توزیع این گونه فراهم می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است پراکنش کفتار راه‌راه بر حسب فصل و با توجه به اوضاع اقلیمی متفاوت است (Karami et al., 2008). که نتایج حاضر نیز با یافته‌های پژوهش یاد شده همخوانی دارد.

بر اساس نتایج حاصل، متغیرهای مهم و تأثیرگذار در پراکنش کفتار راه‌راه ایرانی می‌تواند دربرگیرنده اطلاعات مفیدی درباره زیستگاه گونه باشد و متغیرهای با اهمیت کمتر هرگاه که به تنهایی استفاده شوند، اهمیت کمتری در مدل‌های پیش‌بینی زیستگاه‌های مورد بررسی دارند و با استفاده از این متغیرها در مدل‌سازی، پیش‌بینی دقیقی حاصل نمی‌شود. این موضوع نشان‌دهنده آن است که متغیرهای با اهمیت کمتر به تنهایی برای برآورد پراکنش گونه‌های مورد بررسی مفید نیستند. تحلیل اهمیت

در ایران توزیع گسترده‌ای دارد و تفاوت در نتایج پیش‌بینی مدل‌ها برای پتانسیل گستره توزیع این گونه تأییدکننده عدم قطعیت بین مدل‌ها است، بنابراین همین موضوع منجر به ضرورت استفاده از روش ترکیبی شده است. در این پژوهش از مدل‌سازی ترکیبی به‌عنوان یک فرایند سنتز نتایج مدل‌های فردی در قالب یک مدل یکپارچه برای افزایش قدرت دقت پیش‌بینی استفاده شده است (Rokach, 2010; Lee *et al.*, 2012). نتایج این مدل نشان می‌دهد پهنه‌هایی در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران، جنوب، جنوب غربی و لکه‌ای در جنوب استان مازندران و شمال استان تهران پتانسیل توزیع گونه‌ای بسیار بالایی برای کفتار راه‌راه دارند. بنابراین با تأکید بر نتایج مدل ترکیبی به‌عنوان مدلی با کمترین عدم قطعیت، برنامه‌ریزی و مدیریت در پهنه‌های مشخص شده منجر به حفاظت این گونه خواهد شد و از آنجا که کفتار راه‌راه یکی از گوشت‌خواران بزرگ‌جثه ایران محسوب می‌شود، حفاظت از زیستگاه‌های این گونه به‌طور غیرمستقیم سبب حفاظت از سایر جانداران کوچک‌جثه نیز می‌شود، از این‌رو اولویت‌بندی سیستماتیک مناطق حفاظت‌شده مطابق با پهنه‌های زیستگاهی پیش‌بینی‌شده برای این گوشت‌خوار بزرگ‌جثه ضروری است.

نکته قابل‌بحث در نتایج مدل‌های FDA و SVM برای کفتار راه‌راه، تعیین لکه‌هایی در جنوب استان مازندران به‌عنوان لکه‌ای با پتانسیل پراکنش بالا برای این گونه است (شکل ۳). با توجه به این نکته که در حال حاضر در جنوب استان مازندران حضور کفتار راه‌راه ثبت نشده است، می‌توان این لکه را به‌عنوان زیستگاه بالقوه کفتار راه‌راه ایرانی معرفی کرد و در بررسی‌های بوم‌شناختی گسترده‌تر بعدی به بررسی عوامل محدودکننده حضور گونه در این منطقه پرداخت.

نهایتاً بر اساس نتایج حاصل از این روش‌ها می‌توان بیان داشت که مدل‌های توزیع گونه‌ای با قابلیت‌های ویژه‌ای که دارند روش‌های مناسبی برای پیش‌بینی توزیع

در این مطالعه برای اعتبارسنجی مدل‌ها از سطح زیر منحنی ROC و شاخص‌های TSS، AUC، COR، Deviance استفاده شد. بررسی توان مدل‌های مختلف بسته آماری sdm برای توزیع گونه‌ای کفتار راه‌راه در ایران گویای آن است که سطح زیر منحنی ROC مدل‌های GLM، CART، BRT، GAM، FDA دارای قابلیت اعتماد در سطح خوب، مدل MARS دارای قابلیت اعتماد در سطح عالی و مدل‌های RF و SVM دارای قابلیت اعتماد بسیار عالی هستند. همچنین در مجموع با توجه به کل شاخص‌های صحت‌سنجی به نظر می‌رسد مدل‌های GLM و GAM و RF اعتبار به مراتب بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها دارند. بنابراین با توجه به درجه صحت مدل‌ها، مناطقی که توسط مدل‌های SVM و RF، GAM، GLM پیش‌بینی شده‌اند، دارای قابلیت اعتماد بسیار عالی هستند و احتمالاً شرایط اقلیمی برای زیست کفتار راه‌راه را تا حد زیادی تأمین می‌کنند و در صورت عدم تغییر الگوهای جهانی در آینده و عدم دست‌کاری‌های بیش از حد انسان در طبیعت این زیستگاه‌ها قادر به حفظ گونه در طولانی‌مدت خواهند شد. در حال حاضر، مدل‌سازی توزیع گونه‌ای برای تعیین توزیع گونه‌های جانوری و گیاهی و همچنین آگاهی نسبت به تغییرات محیط‌زیست و پیامدهای فعالیت‌های بشر بر محیط‌زیست و تنوع زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Miller, 2010)، اما این مدل‌ها همواره در معرض عدم قطعیت هستند و این موضوعی است که نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. معمولاً شناسایی عدم قطعیت در سه سطح اصلی رخ می‌دهد: داده‌ها، مدل‌ها و پیش‌بینی (Beale and Lennon, 2012). بنابراین برای کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها، استفاده از یک مدل برتر ضروری به‌نظر می‌رسد و استفاده از رویکرد ترکیبی راه‌حل مناسبی برای کاهش عدم قطعیت پیش‌بینی در مدل‌سازی توزیع گونه محسوب می‌شود (Araujo, 2007). نتایج حاصل از تحلیل‌ها پیش‌بینی کرده است کفتار راه‌راه

محیطی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد، ولیکن پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به نتایج جامع‌تر، در پژوهشی به صورت مجزا، پارامترهای محیطی و توپوگرافیکی و یا پارامترهای اقلیمی، محیطی و توپوگرافیکی به صورت یکجا وارد مدل شوند تا بتوان نتایج آن را با نتایج پژوهش حاضر مقایسه کرد و با اطمینان بیشتر برنامه‌ریزی حفاظتی این گونه ارزشمند را در ایران ارائه داد.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Species Distribution
- <sup>2</sup> Biotic interactions
- <sup>3</sup> Dispersal limitation
- <sup>4</sup> Extinctions
- <sup>5</sup> Historical processes
- <sup>6</sup> Habitat loss
- <sup>7</sup> Gradient
- <sup>8</sup> Near Threatened
- <sup>9</sup> International Union for Conservation of Nature
- <sup>10</sup> Generalized Linear Models
- <sup>11</sup> Generalized Additive Models
- <sup>12</sup> Boosted Regression Tree
- <sup>13</sup> Support Vector Machine
- <sup>14</sup> Random forests
- <sup>15</sup> Multivariate Adaptive Regression Splines
- <sup>16</sup> Classification and Regression Trees
- <sup>17</sup> Flexible Discriminant Analysis

گونه‌های جانوری محسوب می‌شوند. قابلیت‌های ویژه این روش‌ها این امکان را فراهم می‌آورد تا با شناخت متغیرهایی که تأثیر بیشتری در وقوع گونه‌های مختلف دارند، بتوان در بررسی‌های بعدی تنها با تمرکز بر متغیرهای مهم، هزینه و زمان مورد استفاده برای تحقیقات را کاهش و در مقابل دقت پیش‌بینی مدل‌ها را افزایش داد. همچنین بهره‌گیری از منحنی‌های پاسخ در این روش، اطلاعات گسترده‌ای در مورد دامنه عوامل محیطی مربوط به گونه را مشخص می‌کند که این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، انتخاب متغیرهای مناسب برای انجام بررسی‌های مرتبط و پیشنهاد برای مدیریت و برنامه‌ریزی حفاظتی مناطق با پتانسیل بالا مفید باشد. نهایتاً برآیند این فعالیت‌ها، موفقیت طرح‌های پایش، حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت اصولی را با خود به همراه خواهد داشت.

علاوه بر این با توجه به اینکه هدف این پژوهش به‌طور خاص بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر پراکنش کفتار راه‌راه است، و بدیهی است که اقلیم بسیاری از متغیرهای

### منابع

- Akhani, H. 1998., Plant biodiversity of Golestan National Park, Iran, No. 53. Stapfia.
- Araújo, M. B. and New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Trends in ecology and evolution. 22(1), 42-47.
- Beale, C.M. and Lennon, J.J., 2012. Incorporating uncertainty in predictive species distribution modelling. Philosophical. Transactions. R. Soc. B. 367(1586), 247-258.
- Bosso, L., Russo, D., Di Febbraro, M., Cristinzio, G. and Zoina, A., 2016. Potential distribution of *Xylella fastidiosa* in Italy: A maximum entropy model. Phytopathologia Mediterranea. 55(1), 62-72.
- Breckle, S.W., 2002. Salt deserts in Iran and Afghanistan. Barth and Böer. Sabkha Ecosystems. 109-122.
- Breiman, L., 2001. Random forests. Machine learning. 45(1), 5-32.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., and Olshen, R. A., 1984. *Classification and regression trees*. CRC press. Brown DG, Johnson KM, Loveland TR, Theobald DM., 2005. Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950–2000. Ecological Applications. 15(6), 1851-63.
- Brown, C. A., Jackson, G. A., Holt, S. A., & Holt, G. J., 2005. Spatial and temporal patterns in modeled particle transport to estuarine habitat with comparisons to larval fish settlement patterns.

- Estuarine, Coastal and Shelf Science, 64(1), 33-46.
- Channell, R. and Lomolino, M.V., 2000. Trajectories to extinction: spatial dynamics of the contraction of geographical ranges. *Journal of Biogeography*. 27, 169–179.
- Clemens, R. S., Herrod, A., and Weston, M. A., 2014. Lines in the mud; revisiting the boundaries if important shorebird areas. *Journal of Nature Conservation*. 22, 59–67.
- Clemens, R. S., Weston, M. A., Haslem, A., Silcocks, A., and Ferris, J., 2010. Identification of significant shorebird areas: Thresholds and criteria. *Diversity and Distribution*. 16, 229–242.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. and Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*. 17(1), 43-57.
- Falcucci, A., Maiorano, L. and Boitani, L., 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape ecology*. 22(4), 617-631.
- Franklin, J., 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- Friedman, J. H., 2001. Greedy function approximation: A gradient boosting machine. – *Annals of Statistics*. 29, 1189–1232.
- Gage GS, Brooke MD, Symonds MRE, Wege D., 2004. Ecological correlates of the threat of extinction in Neotropical bird species. *Animal Conservation*. 7, 161–168.
- Giovanelli, J. G., de Siqueira, M. F., Haddad, C. F. and Alexandrino, J., 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. *Ecological Modelling*. 221(2), 215-224.
- Hampe, A., and Petit, R. J., 2005. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology letters*. 8(5), 461-467.
- Hanski, I., 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*. 396, 41–49.
- Harris G, Pimm SL., 2007. Range size and extinction risk in forest birds. *Conservation Biology*. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00798.
- Hastie, T., and Tibshirani, R. J., 1990. Generalised additive models Chapman and Hall. London, England.
- Hastie, T., Tibshirani, R., and Buja, A., 1994. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. *Journal of the American statistical association*. 89(428), 1255-1270.
- Houghton McNab BK., 2003. Metabolism ecology shapes bird bioenergetics. *Nature*. 426, 620–621. <http://www.iucnredlist.org>
- Wood, C., Sullivan, B., Iliff, M., Fink, D. and Kelling, S., 2011. eBird: engaging birders in science and conservation. *PLoS biology*. 9(12), 101-105.
- IPCC., 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., and Midgley, P. M., 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1535 pp.

- Jafari, M. K., Asghari, A. and Rahmani, I., 1997. Empirical correlation between shear wave velocity (Vs) and SPT-N value for south of Tehran soils. In Proceedings of the 4th international conference on civil engineering, Tehran, Iran.
- Jetz W, C Rahbek RK, Colwell., 2004. The coincidence of rarity and richness and the potential signature of history in centers of endemism. *Ecology Letters*. 7, 1180–1191.
- Karami, M., Ghadirian, T and Faizolah, K., 2012. The Atlas of Mammals of Iran. Department of Environment of Iran. (In Persian with English abstract).
- Karami, M., Riazi, B, and Kalani, N., 2008. Investigating the Seasonal Dispersion of Hyaena hyaena in In Khojir National Park. *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 10, 99-104.
- Ko, C. Y., Murphy, S. C., Root, T. L. and Lee, P. F., 2014. An assessment of the efficiency of protection status through determinations of biodiversity hotspots based on endemic bird species, Taiwan. *Journal for Nature Conservation*, 22, 570-576.
- Lambin EF, Geist HJ, Lepers E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*. 28(1), 205-41.
- Lee, S., and Oh, H. J., 2012. Ensemble-based landslide susceptibility maps in Jinbu area, Korea. In *Terrigenous Mass Movements* (pp. 193-220). Springer Berlin Heidelberg.
- Lepers, E, Lambin, E.F., Janetos, A.C, DeFries, R., Achard, F., Ramankutty, N. and Scholes, R.J., 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981–2000. *AIBS Bulletin*. 55(2), 115-24.
- Malekian, M. and Bagheri., R., 2015. Investigating birds' diversity and richness of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad protected areas and the influence of area size and shape on diversity and richness. *Natural Environment Journal*. 67(3), 343-354. (In Persian with English abstract).
- Martin, P. R., and Martin, T. E., 2001. Ecological and fitness consequences of species coexistence: a removal experiment with wood warblers. *Ecology*, 82(1), 189-206.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G. and Swift, M.J., 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*. 277, 504-9.
- Maurer, B.A. and Taper, M.L., 2002. Connecting geographical distributions with population processes. *Ecology Letters*. 5, 223–231.
- McCullagh, P. and Nelder, J. A., 1989. *Generalized linear models*. Chapman and Hall.
- McNab BK., 2003. Metabolism ecology shapes bird bioenergetics. *Nature*. 426, 620–621.
- Miller SP, Whalen MW, Cofer DD., 2010. Software model checking takes off. *Communications of the ACM*. 53(2), 58-64.
- Naimi, B. and Araújo, M. B., 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*. 39(4), 368-375.
- Parnesan, C. and Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421, 37–42.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*. 190, 231-259.

- Pimm, S.L. and Lawton, J.H., 1998. Planning for biodiversity. *Science*. 279, 2068-2069.
- Pimm, S., Raven, P., Peterson, A., Sekercioglu, C.H. and Ehrlich, P.R., 2006. Human impacts on the rates of recent, present, and future bird extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103, 10941-10946.
- Platts, P. J., McClean, C. J., Lovett, J. C. and Marchant, R., 2008. Predicting tree distributions in an East African biodiversity hotspot: model selection, data bias and envelope uncertainty. *Ecological Modelling*. 218(1), 121-134.
- Pounds, J.A, Bustamante, M.R., Coloma, L.A, Consuegra, J.A., Fogden, M.P., Foster, P.N., La Marca, E., Masters, K.L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R. and Ron, S.R., 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*. 439, 161-167.
- Pounds, J.A, Fogden, M.P.L. and Campbell, J.H., 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 398, 611-615.
- Pulliam, H.R., 1988. Sources, sinks and population regulation. *The American Naturalist*. 132, 652-661.
- Pulliam, H.R., 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*. 3, 349-361.
- Renner, I. W. and Warton, D.I., 2013. Equivalence of MAXENT and Poisson point process models for species distribution modeling in ecology. *Biometrics*. 69(1), 274-281.
- Ricklefs, R.E. and Schluter, D., 1993. *Species diversity in ecological communities. Historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH., 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 421. 57-60.
- Rokach, L., 2010. Ensemble-based classifiers. *Artificial Intelligence Review*, 33(1-2), 1-39.
- Royle, J. A., Chandler, R. B., Yackulic, C., and Nichols, J. D., 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution*. 3(3), 545-554.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A. and Leemans, R., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287, 5459. 1770-4.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V. and Woolmer, G., 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience*. 52(10), 891-904.
- Scharlemann, J.P., Green, R.E. and Balmford, A., 2004. Land-use trends in Endemic Bird Areas: global expansion of agriculture in areas of high conservation value. *Global Change Biology*. 10(12), 2046-51.
- Shoo, L.P, Williams, S.E. and Hero, J.M., 2005. Climate warming and the rainforest birds of the Australian Wet Tropics: using abundance data as a sensitive predictor of the change in total population size. *Biological Conservation*. 125, 335-343.
- Smeraldo, S., Di Febbraro, M., Ćirović, D., Bosso, L., Trbojević, I. and Russo, D., 2017. Species distribution models as a tool to predict range expansion after reintroduction: A case study on Eurasian beavers (*Castor fiber*). *Journal for Nature Conservation*.

Sodhi, N. S., Koh, L. P., Brook, B. W., and Ng, P. K., 2004. Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. *Trends in ecology & evolution*, 19(12), 654-660.

Svenning, J.C. and Skov, F., 2007. Could the tree diversity pattern in Europe be generated by postglacial dispersal limitation? *Ecology Letters*. 10, 453-460.

Vapnik, V., 1995. *The nature of statistical learning theory*. Springer.

Williams, S.E., Bolitho, E.E. and Fox, S., 2003. Climate change in Australian tropical rainforests: An impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*. 270, 1887-1892.

Yackulic, C.B., Chandler, R., Zipkin, E.F., Royle, J.A., Nichols, J.D., Campbell Grant, E. H., and Veran, S., 2013. Presence-only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences?. *Methods in Ecology and Evolution*. 4(3), 236-243.





Environmental Sciences Vol.15 / No.4 / Winter 2018

215-232

## Species distribution potential of striped hyaena (*Hyaena hyaena*) in response to climate change in Iran

Elham Ebrahimi,<sup>1</sup> Faraham Ahmadzade<sup>1\*</sup> and Babak Naimi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Environmental Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, 8092 Zurich, Switzerland

Received: 2017.10.24

Accepted: 2018.01.14

**Ebrahimi, E., Ahmadzadeh, F. and Naimi, B., 2018.** Species distribution potential of striped hyaena (*Hyaena hyaena*) in response to climate change in Iran. *Environmental Sciences*. 15(4): 215-232.

**Introduction:** Carnivores have always been exposed to threat-inducing processes because of their placement at the top of the food pyramid. Nowadays, approximately 65% of carnivores are listed as Critically Endangered (CR) or Vulnerable (V) on the IUCN Red List of threatened species. On a global scale, in the order Carnivora the Hyaenidae family is the smallest with only four species. *Hyaena hyaena* is the only member of the Hyaenidae family found in Iran, and is listed as Near Threatened (NT) in the IUCN Red List. The current study was aimed at modelling the species distribution of the striped hyaena (*Hyaena hyaena*), which is wide in Iran.

**Materials and methods:** Using nineteen layers of so-called Bioclimatic variables, the correlations between those variables were analyzed and then highly correlated variables were excluded from the modelling process. Finally, eight species distribution models from the *sdm* package (GLM, GAM, BRT, SVM, RF, MARS, CART, and FDA) in R software were used. Given that the output of species distribution models is, unavoidably, often uncertain, one possible solution is to estimate the difference between projections and, to reduce the uncertainty, the use of an ensemble prediction system instead of using a single modelling method. Therefore, after determining the potential habitats of the *Hyaena hyaena* using those eight mentioned models and by using the ensemble prediction system, the best regions for the distribution of this species in Iran were estimated.

**Results and discussion:** The results of this study showed that annual mean temperature, seasonal precipitation and precipitation during the warmest season have the greatest influence on the distribution of *Hyaena hyaena*. In general, the FDA, GAM, BRT, CART and GLM models are fairly reliable, the MARS model is very reliable, and SVM and RF models are completely reliable. The results showed that the GLM, GAM, BRT, MARS, CART, RF models demonstrated that the suitable areas for *Hyaena hyaena* are generally the central regions of

---

\* Corresponding Author. *E-mail Address:* f\_ahmadzade@sbu.ac.ir



Iran, while the SVM and FDA models predicted the southern margin of the Caspian sea as containing the best regions for the distribution of this species.

**Conclusion:** The difference in the predictions of each model makes confirms the uncertainty between the models which confirms the necessity of using the ensemble method. The results of the ensemble model showed that the most suitable regions for the *Hyaena hyaena* species distribution are the semi-arid and central steppe regions of Iran.

**Keywords:** Striped hyaena (*Hyaena hyaena*), Species distribution models, *Sdm packages*, Climate change, Ensemble model.

