

ارزیابی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*, Pocock ۱۹۲۷) با روش آنتروپی بیشینه (Maxent) در پارک ملی تندوره طی فصول تابستان و پاییز

- **احمد شعاعی***: گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: ۴۹۱۳۸-۱۵۷۳۹
- **مصطفی قلی‌پور**: گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: ۴۹۱۳۸-۱۵۷۳۹
- **حمیدرضا رضایی**: گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: ۴۹۱۳۸-۱۵۷۳۹
- **ثارالله یارمحمدی بربرستانی**: گروه فیزیولوژی دام، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: ۴۹۱۳۸-۱۵۷۳۹

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

چکیده

پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین گربه‌سانان ایران از جایگاه ویژه‌ای در مدیریت و حفاظت از حیات‌وحش برخوردار است. این گونه توسط اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN) در رده حفاظتی در معرض خطر انقراض (EN) قرار گرفته است. مهم‌ترین عامل در کاهش جمعیت این گونه، تخریب و نابودی زیستگاه‌های آن معرفی شده است. لذا شناخت عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه پلنگ به‌عنوان یک ابزار کارآمد، می‌تواند مدیران را در مدیریت و حفاظت از زیستگاه‌های باقی‌مانده و انتخاب لکه‌های جدید یاری رساند. در این مطالعه با استفاده از رویکرد بی‌نظمی بیشینه و جمع‌آوری داده‌های میدانی، مدل مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی تندوره که یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های این گونه در ایران است، طی سال ۱۳۹۱ در فصول تابستان و پاییز تهیه شد. قدرت پیش‌بینی مدل تهیه‌شده با استفاده از شاخص AUC محاسبه‌شده (۰/۸۷۸) که نشان از قدرت خوب مدل در پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه این گونه است. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر حضور یا عدم حضور پلنگ در این منطقه فاصله از جاده است. به‌علاوه مطلوب‌ترین زیستگاه پلنگ در این فصول ارتفاع ۱۹۰۰ تا ۲۳۰۰ متری از سطح دریا و در جهت شمالی و هم‌چنین فاصله ۱۱۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از چشمه‌ها واقع شده است. این نتایج مشخص‌کننده تأثیر منفی جاده‌ها روی گونه‌های ارزشمند و حفاظت‌شده پارک‌های ملی است.

کلمات کلیدی: ارزیابی زیستگاه، بی‌نظمی بیشینه (Maxent)، پارک ملی تندوره، پلنگ ایرانی



مقدمه

شناسایی نیازهای زیستی و غیرزیستی حیات وحش نیاز مبرم برای حفظ و مدیریت حیات وحش است. در واقع بهترین روش برای حفاظت از گونه‌ها، حفاظت از زیستگاه مورداستفاده آن‌ها است و برای حفاظت از این زیستگاه‌ها ابتدا باید به شناسایی آن‌ها پرداخت. برای شناسایی زیستگاه نیز باید نیازهای زیستی و غیرزیستی حیات وحش را شناخت. شناخت این نیازها برای پستانداران به‌عنوان مهندسین بوم‌سازگان‌ها (Jones و همکاران، ۱۹۹۶) از احتیاجات مدیران و برنامه‌ریزان حیات وحش است. ضمن این‌که تمرکز روی حفاظت از مناطق با تنوع زیستی بالا مؤثرترین راه برای حفظ تنوع زیستی جهان به‌شمار می‌رود (Lukarevskiy و Gavashelishvili، ۲۰۰۸). یکی از روش‌های شناسایی مناطق با تنوع زیستی بالا مدل‌سازی و ارزیابی زیستگاه شکارچیان رده‌بالا است، چون مناطقی که این گونه‌ها را در خود جای داده‌اند، معمولاً به‌عنوان نقاط داغ تنوع زیستی به‌شمار می‌آیند (Lukarevskiy و Gavashelishvili، ۲۰۰۸). ارزیابی زیستگاه یکی از ابزارهای مهم مدیریت حیات وحش است. این ابزار با بررسی ارکان زیستگاه مثل آب، غذا، پوشش و پناه (کربز، ۱۳۹۱) و سایر عناصر آن و بررسی رابطه فراوانی و توزیع گونه موردنظر با آن‌ها به ارزیابی کمی و کیفی زیستگاه گونه موردنظر می‌پردازد.

برای حفاظت و بازایی جمعیت‌های حیات وحش، نقش شکارچیان رده‌بالای زنجیره غذایی به‌عنوان گونه‌های کلیدی^۱ و شاخص^۲ در افزایش غنای این جوامع بسیار زیاد است (Hebblewhite و همکاران، ۲۰۰۵؛ Soulé و همکاران، ۲۰۰۵؛ Berger و همکاران، ۲۰۰۱). پلنگ (*Panthera pardus*) به‌عنوان یکی از گونه‌های بالایی زنجیره‌های غذایی (Lukarevskiy و Gavashelishvili، ۲۰۰۸) اهمیت زیادی در برقراری تعادل و افزایش برآزش در جمعیت‌های مختلف سایر پستانداران بزرگ و کوچک دارد (کربز، ۱۳۹۱). پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) یکی از زیرگونه‌های پلنگ معمولی است که در لیست سرخ اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN) در محدود درخطر انقراض (EN) قرار گرفته است (Khorozyan، ۲۰۰۸). کاهش شدید جمعیت این گونه ارزشمند که زمانی در مناطق غرب آسیا و آسیای میانه پراکنش داشته به دلیل تخریب

زیستگاه، شکار توسط انسان برای پوست و جلوگیری از حمله آن‌ها به حیوانات اهلی بوده است (Achyut و Kreigenhofer، ۲۰۰۹). از این‌رو شناسایی نیازهای زیستگاهی این گونه ارزشمند از نیازهای ضروری مدیران مناطق حفاظت‌شده است. روش‌ها و ابزارهای گوناگونی برای انجام ارزیابی زیستگاه تاکنون معرفی شده که تقریباً تمام آن‌ها با استفاده از دو نوع داده به ارزیابی زیستگاه می‌پردازند. داده‌های فقط حضور گونه (Presence only) و داده‌های حضور/عدم حضور گونه (Presence/Absence) (امیدی و همکاران، ۱۳۸۹). در این پژوهش با توجه به مشکلات و خطاهای احتمالی ارزیابی با داده‌های حضور/عدم حضور به دلیل رفتار گونه در استتار، دقت مشاهده‌گر، دقت تجهیزات مورداستفاده و سایر عوامل برای ثبت نقاط عدم حضور، از داده‌های فقط حضور استفاده شد. در ارزیابی زیستگاه هدف، مشخص کردن ویژگی‌ها و خصوصیات ترجیحی گونه موردنظر و یافتن مناطقی که دارای ویژگی‌های مذکور می‌باشند و برای ادامه حیات موجود ضروری هستند، است.

داده‌های به‌دست‌آمده از نقاط حضور گونه با استفاده از رویکرد آنتروپی بیشینه^۳ که معیاری از عدم قطعیت اطلاعات است مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت. برای این کار از نرم‌افزار MaxEnt که سامانه‌ای رایانه‌ای برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاه بر پایه آنتروپی بیشینه و روش یادگیری ماشینی^۴ است (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶)، استفاده می‌شود. این مدل همان‌طور که اشاره شد به داده‌های فقط حضور گونه حساس است و متغیرهای تعیین شده (مثل دما، شیب، ارتفاع، نوع خاک و ...) برای انجام آنالیز نیاز داشته، هم‌چنین قابلیت استفاده از داده‌های پیوسته و طبقه‌بندی شده (گسسته) را به‌صورت هم‌زمان دارد (Benito و همکاران، ۲۰۰۹؛ Wisz و همکاران، ۲۰۰۸؛ Hernandez و همکاران، ۲۰۰۶).

در ایران روی مدل‌سازی زیستگاه برای پلنگ صورت گرفته که البته در پارک ملی کلاه‌قازی اصفهان و پارک ملی گلستان، با استفاده از روش تحلیل عاملی آشپان بوم‌شناختی صورت گرفته است (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۳؛ امیدی و همکاران، ۱۳۸۹). هم‌چنین مطالعات دیگری روی این گونه در ایران صورت گرفته است (Farhadinia و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ghoddousi و همکاران، ۲۰۰۸؛ Khorozyan، ۲۰۰۳؛ Kiabi و همکاران، ۲۰۰۲).

^۳ Maximum Entropy^۴ Machine Learning^۱ Keystone species^۲ Indicator species

انواع گیاهان یک‌ساله مرتعی و گیاهان بارزش دارویی از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی این پارک است (آقامیری و همکاران، ۱۳۸۴). هم‌چنین جامعه جانوری پارک از غنای گونه‌ای نسبتاً مناسبی برخوردار است. تاکنون حدود ۸۰ گونه جانوری شامل پستانداران، پرندگان و خزندگان در منطقه شناسایی شده‌اند (آقامیری و همکاران، ۱۳۸۴). از گونه‌های جانوری شاخص منطقه می‌توان به قوچ و میش اورپال (*Ovis orientalis arkali*)، کل و بز (*Capra aegagrus*)، گرگ (*Canis lupus*)، گراز (*Sus scrofa*)، کفتار (*Hyaena hyaena*)، رودک (*Meles meles*) و گربه پالاس (*Felis manul*) از پستانداران، هما (*Gypaetus barbatus*)، کورکور (*Milvus migrans*)، سارگپه پابند (*Buteo rufinus*)، عقاب طلایی (*Aquila chrysaetos*)، شبگرد بلوچی (*Caprimulgus maharattensis*) و دلیجه معمولی (*Falco tinnunculus*) از پرندگان و افعی شاخ‌دار (*Pseudocerastes persicus*) و مار عینکی (*Naja oxiana*) از خزندگان اشاره کرد (آقامیری و همکاران، ۱۳۸۴).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی لایه‌های متغیرهای محیطی:

با توجه به ویژگی‌های رفتاری پلنگ برای ثبت نقاط حضور گونه به‌جای مشاهده مستقیم از نمایه‌های غیرمستقیم مثل ردپا، سرگین، محل خط و خش و لاشه‌های شکارشده برای ثبت نقاط استفاده شد. نقطه‌برداری‌ها با ایجاد مسیریابی با عرض ۳ متر، در دو فصل تابستان و پاییز در تمام مناطق پارک ملی صورت گرفت. سپس لایه‌های موردنیاز برای ارزیابی و مدل‌سازی زیستگاه در نرم‌افزارهای ادریسی (IDRISI SELVA) و ARC GIS تولید و آماده پردازش توسط نرم‌افزار موردنظر شدند.

برای تولید لایه‌های متغیرهای محیطی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۳۰ متری به‌عنوان نقشه پایه استفاده شد. لایه‌های درصد شیب و جهت شیب نیز از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شدند. نقشه چشمه‌های منطقه مورد مطالعه از شناسنامه پارک ملی تندوره (آقامیری و همکاران، ۱۳۸۴) اخذ شد. نقشه چشمه‌ها از شناسنامه پارک ملی تندوره اسکن شد. برای تهیه نقشه پراکنش طعمه‌های اصلی پلنگ (کل و بز، قوچ و میش و گراز) در منطقه مورد مطالعه از مشاهدات محیط‌بانان باتجربه پارک ملی تندوره بهره برده شد. موقعیت جغرافیایی مناطق عمده پراکنش طعمه‌های پلنگ روی نقشه مشخص شد و پس از زمین، مرجع سازی و رقومی‌سازی، نقشه فاصله اقلیدسی از طعمه‌ها در پارک ملی تندوره تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. نقشه وکتوری روستاها و رودخانه‌ها نیز براساس مرز منطقه برش داده شد و نقشه‌های فاصله از روستاها و فاصله از رودخانه‌های منطقه مورد

هدف این مطالعه شناسایی نیازهای اصلی زیستگاهی پلنگ در پارک ملی تندوره با استفاده از مدل‌سازی زیستگاه MaxEnt است. پلنگ ایرانی در حال حاضر بزرگ‌ترین و یکی از نادرترین گوشت‌خواران ایران محسوب شده و از نظر اکولوژیکی گونه‌ای بسیار مهم و ارزشمند است. این گونه درحالی‌اکنون جزو گونه‌های نادر به‌شمار می‌رود که در گذشته‌های نه‌چندان دور در اکثر زیستگاه‌های کوهستانی و جنگلی ایران حضور داشته است. جمعیت این گربه‌سان ارزشمند در ایران حدود ۵۵۰ تا ۸۵۰ قلاده برآورد می‌شود (امیدی و همکاران، ۱۳۸۹) که جمعیت اصلی این گونه در خاورمیانه نیز است (Kiabi و همکاران، ۲۰۰۲). در این مقاله سعی شده تا با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل ساخته‌شده، پیشنهادهایی در جهت مدیریت بهتر این گونه به تصمیم‌گیران مربوطه ارائه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پارک ملی تندوره با وسعتی معادل

۳۵۶۵۸ هکتار در شمال شرقی کشور ایران و در نزدیکی کشور ترکمنستان واقع گردیده است. این پارک در $37^{\circ}19'$ تا $37^{\circ}33'$ عرض جغرافیایی و $58^{\circ}33'$ تا $58^{\circ}54'$ طول جغرافیایی قرار گرفته است. متوسط میزان بارندگی منطقه $364/88$ میلی‌متر است (حداقل $106/7$ میلی‌متر و حداکثر $493/8$ میلی‌متر). تغییرات درجه حرارت سالانه در پارک ملی تندوره نسبتاً زیاد بوده و متوسط درجه حرارت $14/3$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (متوسط گرم‌ترین ماه سال $34/15$ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال $2/7$ درجه سانتی‌گراد). متوسط سالانه رطوبت نسبی منطقه نیز حدود 55 درصد اندازه‌گیری شده است (حداقل 45 درصد و حداکثر 63 درصد). هم‌چنین محدوده ارتفاعی منطقه بین ارتفاع 2586 متر از سطح دریا در مرتفع‌ترین نقطه (قله قنبرعلی) که در بخش جنوبی پارک واقع شده تا ارتفاع 884 متر از سطح دریا در پایین‌ترین نقطه که در بخش شمالی پارک قرار گرفته است (آقامیری و همکاران، ۱۳۸۴).

پوشش گیاهی پارک ملی تندوره بسیار متنوع است و تاکنون 373 گونه از 60 تیره در این پارک شناسایی شده است. انواع گیاهان علفی، بوته‌ای، درختی و درختچه‌ای در این منطقه قابل مشاهده است. اورس، انجیر، بید، نسترن، گوجه وحشی، کرکو، درمنه، گون، کلاه میرحسن، آنقوزه، کندل، زیره سیاه، کتان وحشی، آویشن، انواع گرامینه، آلبالوی وحشی، شیرخشت، کرکو، باریجه، گردو، زرشک، چوبک، بومادران، سریش، بارهنگ،



پیش‌بینی شده با استفاده از آزمون جک‌نایف مورد ارزیابی قرار گرفته و درجه اهمیت آن متغیر مشخص می‌شود. در نهایت یکی از خروجی‌های نرم‌افزار تولید یک نقشه است که روی آن مطلوبیت هر سلول با اعدادی بین صفر (نامطلوب) تا یک (مطلوب) مشخص شده است (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶).

برای ارزیابی عملکرد این مدل از دامنه شاخص AUC^1 (سطح زیر منحنی ROC^2) استفاده می‌شود. ROC میزان مستقل بودن معیارهای سنجش در رابطه مقدار کارایی مدل را بیان می‌کند (Elith و همکاران، ۲۰۰۶). شاخص سطح زیر منحنی (AUC) میزان کارایی مدل را مشخص می‌کند. مفهوم کارایی مدل در این جا بین صفر و ۱ بحث می‌شود؛ که ۱ نشان‌دهنده قابلیت بالای پیش‌بینی مدل و صفر نشان‌دهنده تصادفی بودن مدل و ضعف آن است (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶).

هم‌چنین از نرخ حذف در برابر سطح پیش‌بینی شده برای آزمون کیفیت مدل استفاده شده است. نرخ حذف شرط لازم و نه کافی برای یک مدل خوب است (وارسته و همکاران، ۱۳۹۴). به دلیل نرخ آستانه تجمعی نرخ حذف باید نزدیک به میزان پیش‌بینی شده آن باشد. هرچه حذف نمونه‌های تعلیمی با حذف پیش‌بینی شده منطبق‌تر باشد، مدل بهینه‌تر و قابل قبول‌تر است.

نتایج

به منظور ایجاد مدل مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی با استفاده از رویکرد آنتروپی بیشینه، ۱۱ متغیر زیستگاهی انتخاب، با ۱۷۸ نقطه حضور (شکل ۱) گونه مقایسه شده و با استفاده از مدل Maxent پتانسیل مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی تندوره پیش‌بینی شد. مدل به دست آمده دارای شاخص AUC بالایی (۰/۸۷۸) بود (شکل ۲) و نمودار حذف نمونه‌های تعلیمی شکم‌دار شده اما با نمودار حذف پیش‌بینی شده دارای انطباق کلی است و مدل قابل قبولی به دست آمده است (شکل ۳).

بر اساس آزمون جک‌نایف^۳ از بین ۱۱ متغیر در نظر گرفته شده پنج متغیر فاصله از جاده (Dist_roads)، فاصله از چشمه‌ها (Dist_springs)، جهت جغرافیایی (Aspect)، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و بافت سطحی زمین (TopoTexture) اثر بیشتری برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه مورد نظر داشته‌اند (شکل ۴). متغیر فاصله از جاده هنگام حذف مقدار تأثیر آموزش (Training

مطالعه تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. برای کاربری اراضی منطقه از نقشه‌های وکتوری موجود پس از برش، تبدیل سیستم مختصات و تبدیل به رستر استفاده شد. جاده اصلی از بخش شمال غربی پارک ملی تندوره می‌گذرد. این جاده از Google earth رقومی‌سازی و نقشه فاصله از جاده تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی از شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) استفاده شد. برای این منظور باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست ۸ متعلق به ماه ژوئن سال ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ارجحیت مناطق غیردشتی برای پلنگ، در این مطالعه نقشه بافت سطحی زمین (Terrain Surface Texture) که پیچیدگی توپوگرافیک سیمای سرزمین را نشان می‌دهد از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. برای همه لایه‌های اطلاعاتی از قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و سیستم تصویر مرکاتور معکوس جهانی (UTM) زون ۴۰ شمالی به شکل یکسان استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: متغیرهای مستقل محیطی مورد استفاده برای ارزیابی زیستگاه پلنگ در پارک ملی تندوره

ردیف	نام متغیر	سیستم تصویر	قدرت تفکیک مکانی
۱	جهت شیب		
۲	مدل رقومی ارتفاع (DEM)		
۳	فاصله از رودخانه‌ها	سیستم	
۴	فاصله از جاده‌ها	مرکاتور	
۵	فاصله از چشمه‌ها	معکوس	۳۰متر×۳۰متر
۶	فاصله از طعمه‌ها	جهانی	
۷	فاصله از روستاها	(UTM) زون	
۸	کاربری اراضی	۴۰n	
۹	تراکم پوشش گیاهی (NDVI)		
۱۰	شیب		

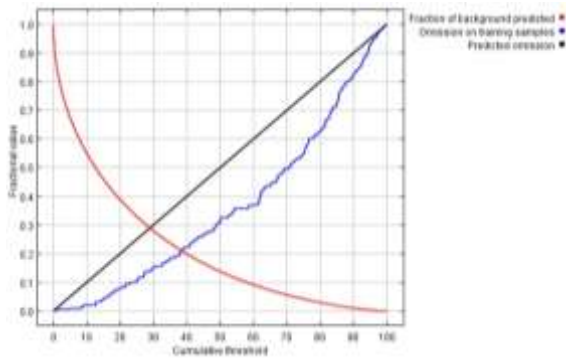
تجزیه و تحلیل: برای انجام مدل‌سازی و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزار MaxEnt (version ۳.۳.۳) استفاده شد. این نرم‌افزار با استفاده از رویکرد آنتروپی بیشینه داده‌های حضور را با سایر داده‌های متغیرهای محیطی (Background Data) گونه مقایسه می‌کند (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶). هر کدام از متغیرهای

^۳ Jackknife

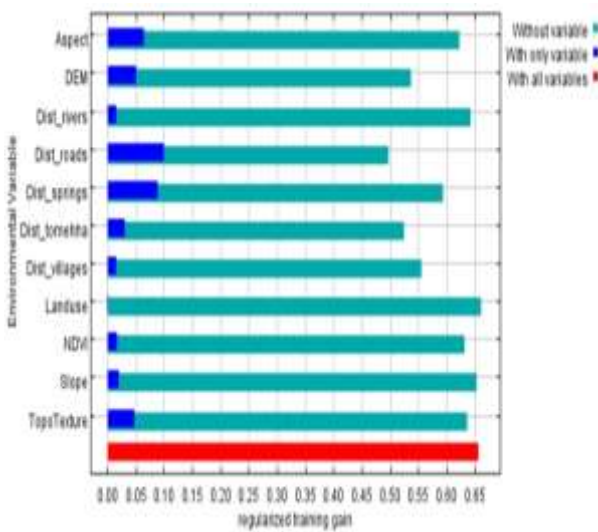
^۱ Area Under Curve

^۲ Receiver Operating Characteristic





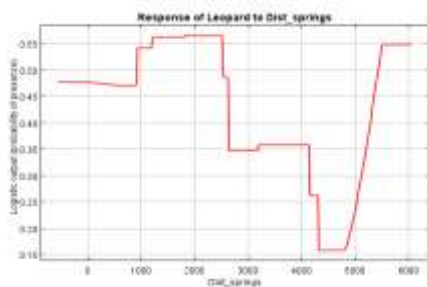
شکل ۳: نرخ حذف در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای پلنگ ایرانی



شکل ۴: اهمیت متغیرها برای پلنگ بر اساس آزمون جک‌نایف



شکل ۵: نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از جاده

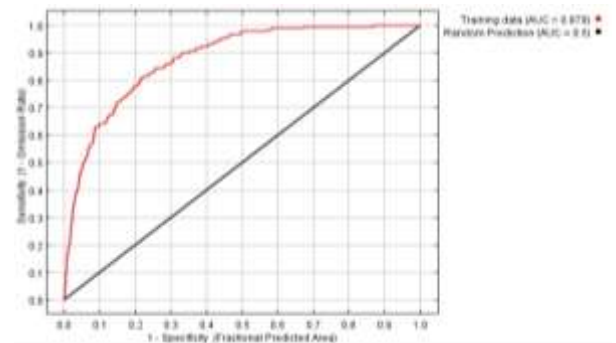


شکل ۶: نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از چشمه‌ها

gain) بیشینه کاهش را ایجاد می‌کند که نشان می‌دهد این لایه دارای بیش‌ترین اطلاعاتی است که در سایر متغیرها یافت نمی‌شود. منحنی پاسخ (به صورت لگاریتمی)، رابطه بین متغیرهای محیطی و زیستگاه مناسب هر گونه را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ برای هر یک از متغیرهای محیطی با استفاده از مدل آنتروپی بیشینه به کاررفته است. در ادامه چهار منحنی پاسخ برای متغیرهایی با تأثیرگذاری بیش‌تر روی مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ارائه شده است.

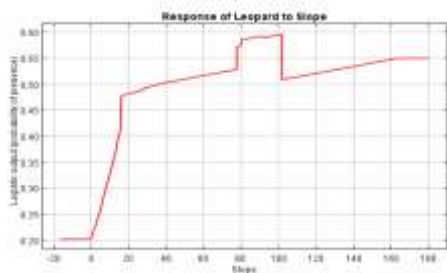


شکل ۱ آثار ثبت‌شده از نقاط حضور پلنگ (بالا: طعمه شکار شده و پایین: ردپای پلنگ)

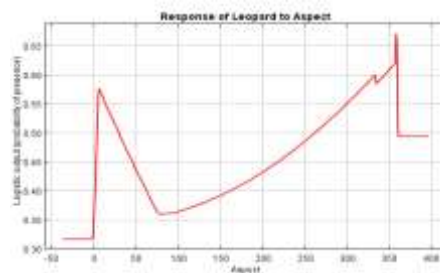


شکل ۲: نمودار حساسیت در برابر ویژگی برای پلنگ ایرانی

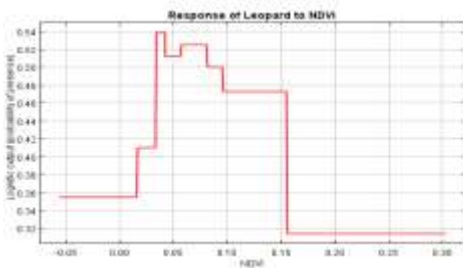




شکل ۱۲: نمودار پاسخ پلنگ به درصد شیب



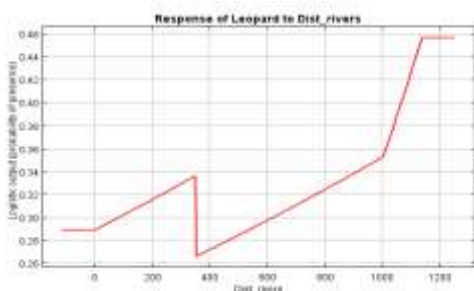
شکل ۷: نمودار پاسخ پلنگ به جهت



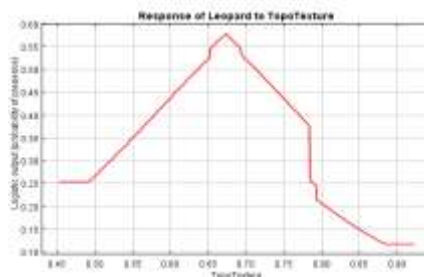
شکل ۱۳: نمودار پاسخ پلنگ به تراکم پوشش گیاهی



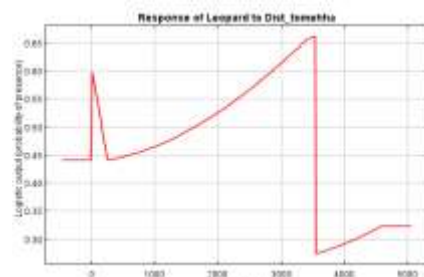
شکل ۸: نمودار پاسخ پلنگ به ارتفاع



شکل ۱۴: نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از رودخانه



شکل ۹: نمودار پاسخ پلنگ به بافت سطحی زمین



شکل ۱۰: نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از طعمه‌ها

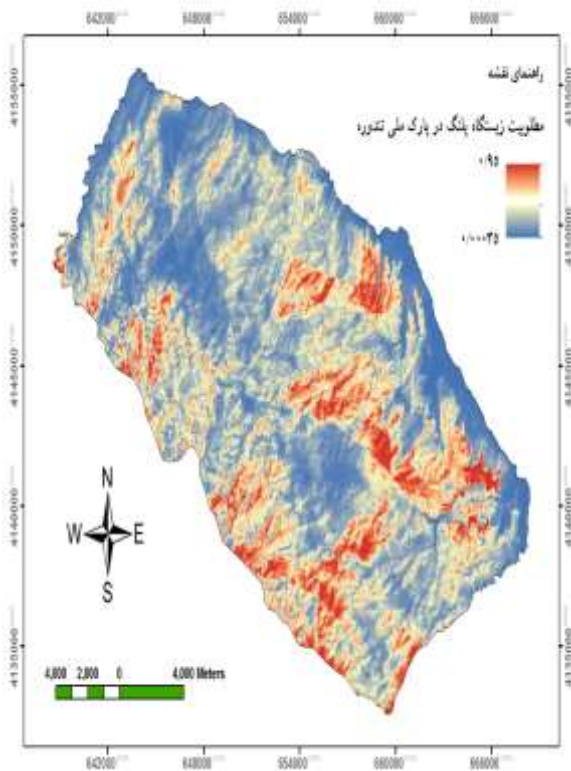


شکل ۱۱: نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از روستا و مناطق انسانی

منحنی پاسخ فاصله از جاده (شکل ۵) مشخص می‌کند که ابتدا تا فاصله ۶ کیلومتری از جاده مطلوبیت به شدت افزایش می‌یابد سپس از ۶ تا ۱۲ کیلومتری مطلوبیت کاهش پیدا می‌کند و دوباره افزایش می‌یابد. این شکستگی احتمالاً به دلیل تأثیر متقابل سایر متغیرها به وجود آمده است. هم‌چنین شکل ۶ که نشان‌دهنده تأثیر فاصله از چشمه‌ها می‌باشد، در فاصله ۴۸۰۰ متری از چشمه نمودار دچار شکستگی شده که دلیل آن نیز احتمالاً اثر متقابل سایر معیارها است. در این منحنی مطلوبیت تا فاصله ۲۵۰۰ متری از چشمه افزایش و پس از آن به شدت کاهش می‌یابد. البته در فاصله ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری مطلوبیت تقریباً ثابت است.

منحنی پاسخ جهت، بیانگر این است که زوایای آزیموتی صفر تا ۱۰ درجه (شمال) و ۳۰۰ تا ۳۵۰ (شمال‌غربی) درجه





شکل ۱۵: پیش‌بینی مدل Maxent برای پلنگ بر اساس متغیرهای محیطی

بحث

در این پژوهش مدل مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی تندوره برای دو فصل تابستان و پاییز تهیه شد. به دلیل مشکلات موجود در روش‌های حضور/عدم حضور، در این مطالعه از یکی از روش‌های فقط حضور گونه استفاده شد. برای این مدل‌سازی از رویکرد آنتروپی بیشینه یا Maxent استفاده شد که یکی از بهترین روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه است (Ortega-Huerta و Peterson، ۲۰۰۸؛ Elith و همکاران، ۲۰۰۶) و حتی در نمونه‌های کوچک نیز بسیار کارآمد است (Benito و همکاران، ۲۰۰۹؛ Wisz و همکاران، ۲۰۰۸؛ Hernandez و همکاران، ۲۰۰۶). مدل Maxent مطلوبیت زیستگاهی پلنگ ایرانی را با توجه به مقدار پایین نرخ حذف و میزان قابل قبول شاخص AUC (۰/۸۷۸) با قدرت بالایی پیش‌بینی کرد.

اکثر مناطق مطلوب پیش‌بینی شده در قسمت‌های جنوب و مرکز پارک واقع شده است. آزمون جک‌نایف نیز نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مدل، فاصله از جاده، فاصله

دارای بالاترین مطلوبیت برای پلنگ در منطقه هستند. جهت شمال‌شرقی (۷۵ درجه) دارای کم‌ترین مطلوبیت است که با پیشروی به سمت جنوب و جنوب‌غرب مطلوبیت آن افزایش می‌یابد (شکل ۷).

منحنی پاسخ ارتفاع (شکل ۸) نشان‌دهنده این است که به‌طور کلی از ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ مطلوبیت زیستگاه برای حضور پلنگ در منطقه افزایش می‌یابد و در ۲۲۰۰ تا ۲۲۵۰ به حداکثر خود می‌رسد. هم‌چنین از ارتفاع ۲۴۰۰ به بعد مطلوبیت با شیب ملایم کاهش می‌یابد.

در نهایت، منحنی پاسخ به بافت سطحی زمین (شکل ۹) مشخص‌کننده این موضوع است که مطلوبیت زیستگاه برای پلنگ تا پیچیدگی‌های متوسط تا نسبتاً زیاد (۰/۷) افزایش و پس از آن با شیب ملایم کاهش یافته است.

در نمودار پاسخ فاصله از طعمه (شکل ۱۰)، از فاصله حدود ۲۰۰ متری از طعمه روند نمودار افزایشی بوده و تا حدود ۳۵۰۰ متری ادامه پیدا کرده و بعد از آن به شدت کاهش یافته است. هم‌چنین منحنی پاسخ فاصله از روستاها و مناطق انسانی (شکل ۱۱) تا فاصله ۱۰۰۰ متری افزایش مطلوبیت و پس از آن تدریجاً مطلوبیت کاهش یافته و در ۸۰۰۰ متری به حداقل خود رسیده است.

منحنی پاسخ به درصد شیب (شکل ۱۲) نموداری افزایشی بوده که با افزایش شیب مطلوبیت زیستگاه نیز برای پلنگ افزایش یافته و شکستگی به‌وجود آمده در شیب حدوداً ۴۵ درجه احتمالاً به دلیل اثر سایر متغیرها به‌وجود آمده است. نمودار پاسخ پلنگ به تراکم پوشش گیاهی (شکل ۱۳) ابتدا افزایش و سپس با افزایش تراکم پوشش گیاهی به تدریج کاهش یافته است هم‌چنین نمودار پاسخ پلنگ به فاصله از رودخانه (شکل ۱۴) نیز افزایشی بوده و نشان‌دهنده دوری جستن پلنگ از مناطق با تراکم پوشش گیاهی بالا و نزدیکی رودخانه‌ها است.

با توجه به متغیرهای در نظر گرفته شده و مقایسه آن‌ها باهم و با نقاط حضور گونه، نقشه مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی در پارک ملی تندوره با رویکرد آنتروپی بیشینه تولید شد (شکل ۱۵)، در این نقشه که ارزش نقاط آن بین صفر تا ۱ هستند (نقاط به هر میزان که به یک نزدیک‌تر باشند، مطلوبیت بیشتری برای گونه موردنظر داشته‌اند). همان‌گونه که در نقشه رسم شده مشخص است، قسمت‌های جنوبی و مرکزی پارک از مطلوبیت بیشتری برخوردارند که احتمالاً مهم‌ترین دلیل آن فاصله این مناطق از جاده اصلی مشهد-درگز که از قسمت شمال‌غربی پارک عبور می‌کند، است.



است. هم‌چنین وجود این جاده دسترسی شکارچیان به‌داخل پارک و شکار پلنگ یا طعمه‌های آن را ساده کرده و در نتیجه حفاظت از منطقه برای محیط‌بانان بسیار مشکل شده است. درک فرآیند انتخاب زیستگاه گوشت‌خواران بزرگ مثل پلنگ ایرانی برای بهبود برنامه‌های حفاظتی و دوام درازمدت مناطق حفاظت‌شده ضروری است (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۳). رویکرد آنتروپی بیشینه یکی از ابزارهای قدرتمند و مفید برای پی بردن به ویژگی‌ها زیستگاهی جانوران است که با تولید نقشه مطلوبیت زیستگاه کمک شایانی به مدیریت هرچه بهتر گونه‌ها می‌کند (Ortega-Huerta و Peterson، ۲۰۰۸). نتایج مطالعه اخیر نشان داد که توزیع پلنگ ایرانی در منطقه مطالعه شده به‌شدت تحت تأثیر جاده است. به‌طوری‌که این گونه زیستگاه خود را در دورترین نقطه نسبت به جاده انتخاب می‌کند.

به‌منظور حفاظت از پلنگ ایرانی و زیستگاه‌های آن در منطقه چند پیشنهاد توسط نگارندگان ارائه می‌شود. جلوگیری از احداث جاده‌های مشابه در منطقه و در صورت امکان تغییر مکان جاده به خارج از محدوده پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده تندوره. احداث زیرگذر یا روگذر برای عبور حیات‌وحش منطقه به‌منظور کاهش اثرات منفی جاده روی حیات‌وحش و به‌خصوص پلنگ ایرانی. جبران نیاز جوامع محلی و بهبود معیشت آن‌ها برای جلوگیری از نفوذ و ورود صدمات ناشی از این جوامع (مثل تعلیف دام‌هایشان از مناطق داخلی پارک و هم‌چنین شکار غیرمجاز حیات‌وحش). احداث آبشخورهایی در منطقه با توجه به کم‌آبی‌های ناشی از خشک‌سالی‌های اخیر در منطقه. درنهایت پیشنهاد می‌شود مطالعات گسترده‌تری روی سایر گونه‌های منطقه و مناطق اطراف انجام‌شده تا ضمن ایجاد بانک اطلاعاتی قوی، امکان احداث کریدورهایی بین مناطق حفاظت شده اطراف با این منطقه بررسی شود.

منابع

- آقامیری، س.ح.؛ گلستانی، ح. و بیژنی، م.، ۱۳۸۴. شناسنامه پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده تندوره، انتشارات سازمان محیط‌زیست. مشهد. ۶۴ صفحه.
- امیدی، م.؛ کابلی، م.؛ کرمی، م.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و حسن‌زاده‌کیایی، ب.، ۱۳۸۹. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) به روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (ENFA) در پارک ملی کلاه قاضی،

از چشمه‌ها و جهت جغرافیایی هستند. متغیرهای زیستگاهی استفاده شده در مدل نشان می‌دهد که زیستگاه مطلوب پلنگ در این منطقه حذفاصل مناطق با فاصله بیش از ۶ کیلومتر از جاده، فواصل ۱۲۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از چشمه‌ها، جهت شمالی، ارتفاعات بین ۱۹۰۰ تا ۲۲۵۰ متری از سطح دریا و میزان متوسط تا نسبتاً زیاد پیچیدگی‌های سطحی زمین واقع می‌گردد. امیدوی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که ارتفاع مناسب برای پلنگ در پارک ملی کلاه‌قاضی ۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ متری از سطح دریا است. هم‌چنین Erfanian و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی مطلوبیت زیستگاه پلنگ را در پارک ملی گلستان ارزیابی کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها، زیستگاه مطلوب پلنگ در منطقه دارای ارتفاع متوسط ۱۲۳۴ متری از سطح دریا با شیب ۳۲ درصد است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش برای مطلوبیت زیستگاهی پلنگ، دوری از جاده بیش‌ترین و فاصله از روستاها و مناطق انسانی و فاصله از رودخانه کم‌ترین اهمیت را دارد که با برخی از نتایج قبلی به‌دست آمده برای ارزیابی زیستگاهی پلنگ مطابقت دارد (امیدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Farhadinia و همکاران، ۲۰۰۹؛ Edgaonkar، ۲۰۰۸؛ Ghoddousi و همکاران، ۲۰۰۸).

شیب مطلوب برای پلنگ در منطقه پارک ملی تندوره بین ۳۰ تا ۸۰ درصد است و با افزایش تراکم پوشش گیاهی نیز مطلوبیت زیستگاه برای پلنگ کاهش می‌یابد که همانند برخی نتایج به‌دست آمده قبلی است (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۳؛ Edgaonkar، ۲۰۰۸). هم‌چنین با افزایش بیش از ۳۵۰۰ متری فاصله پلنگ نسبت به طعمه‌ها مطلوبیت زیستگاه برای پلنگ به‌شدت کاهش می‌یابد. البته هم‌بستگی پایین پلنگ با طعمه‌ها می‌تواند نتیجه پراکنش نسبتاً یکنواخت طعمه‌های پلنگ، در منطقه باشد.

یکی از مشکلات اصلی حفاظت از پلنگ استفاده انسان از اراضی و تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های این گونه است (Acevedo و همکاران، ۲۰۰۷). در پارک ملی تندوره جاده ترانزیت ایران و ترکمنستان احداث شده که پارک ملی را به دو بخش پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده تندوره تقسیم کرده است. این جاده تأثیر منفی بزرگی روی مطلوبیت زیستگاه این گونه ارزشمند گذاشته است. در قسمت شمال و شمال‌غربی پارک ملی تندوره، منطقه حفاظت‌شده تندوره با وسعتی حدود ۲۳ هزار هکتار واقع شده که بخشی از طعمه‌ها و نیازهای زیستگاهی پلنگ را در خود جای داده است و این گونه در مواردی مجبور به عبور از این جاده می‌باشد که موجب کاهش احتمال بقای این گونه ارزشمند گشته

- model for Persian leopard *Panthera pardus saxicolor* in Golestan National Park, Iran. *Wildlife Biology*. Vol. ۱۹, No. ۲, pp: ۱۷۰-۱۷۸.
۱۲. Farhadinia, M.S.; Ahmadi, M.; Sharbafi, E.; Khosravi, S.; Alinezhad, H. and Macdonald, D.W., ۲۰۱۵. Leveraging trans-boundary conservation partnerships: Persistence of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in the Iranian Caucasus. *Biological Conservation*. Vol. ۱۹۱, pp: ۷۷۰-۷۷۸.
 ۱۳. Farhadinia, M.S.; Mahdavi, A. and Hosseini-Zavarei, F., ۲۰۰۹. Reproductive ecology of the Persian Leopard, *Panthera pardus saxicolor*, in Sarigol National Park, northeastern Iran: (Mammalia: Felidae). *Zoology in the Middle East*. Vol. ۴۸, No. ۱, pp: ۱۳-۱۶.
 ۱۴. Gavashelishvili, A. and Lukarevskiy, V., ۲۰۰۸. Modelling the habitat requirements of leopard *Panthera pardus* in west and central Asia. *Journal of Applied Ecology*. Vol. ۴۵, No. ۲, pp: ۵۷۹-۵۸۸.
 ۱۵. Ghoddousi, A.; KhaleghiHamidi, A.M.; Ghadirian, T.; Ashayeri, D.; Hamzehpour, M.; Moshiri, H.; Zohrabi, H. and Julayi, L., ۲۰۰۸. Territorial marking by the Persian Leopard (*Panthera pardus saxicolor* Pocock, ۱۹۲۷) in Bamu National Park, Iran. *Zoology in the Middle East*. Vol. ۴۴, No. ۱, pp: ۱۰۱-۱۰۳.
 ۱۶. Hebblewhite, M.; White, C.A.; Nietvelt, C.G.; McKenzie, J.A.; Hurd, T.E.; Fryxell, J.M.; Bayley, S.E. and Paquet, P.C., ۲۰۰۵. Human activity mediates a trophic cascade caused by wolves. *Ecology*. Vol. ۸۶, No. ۸, pp: ۲۱۳۵-۲۱۴۴.
 ۱۷. Hernandez, P.A.; Graham, C.H.; Master, L.L. and Albert, D.L., ۲۰۰۶. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*. Vol. ۲۹, No. ۵, pp: ۷۷۳-۷۸۵.
 ۱۸. Jones, C.G.; Lawton, J.H. and Shachak, M., ۱۹۹۶. Organisms as ecosystem engineers. *Ecosystem management*. Springer New York. pp: ۱۳۰-۱۴۷
 ۱۹. Khorozyan, I., ۲۰۰۳. Habitat preferences by the Persian Leopard (*Panthera pardus saxicolor* Pocock, ۱۹۲۷) in Armenia. *Zoology in the Middle East*. Vol. ۳۰, No. ۱, pp: ۲۵-۳۶.
 ۲۰. Khorozyan, I., ۲۰۰۸. *Panthera pardus ssp. saxicolor*. The IUCN Red List of Threatened Species ۲۰۰۸: e.T۱۵۹۶۱A۵۳۳۴۲۱۷. Downloaded on ۲۶ November ۲۰۱۵.
- استان اصفهان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست. سال ۱۲، شماره ۱، صفحات ۱۳۷ تا ۱۴۸.
۳. کریمز، ج.ج.، ۱۳۹۱. بوم‌شناسی: مطالعه تجربی توزیع و فراوانی، مترجم: وهاب‌زاده، ع.، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی. مشهد. صفحات ۲۶۴ تا ۲۶۹.
 ۴. وارسته‌مرادی، ح.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و قلی‌پور، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی زیستگاه حیات‌وحش (جلد دوم)، چاپ اول، انتشارات دی‌نگار. تهران. صفحات ۳۳۸ تا ۳۴۶.
 ۵. Acevedo, P.; Alzaga, V.; Cassinello, J. and Gortazar, C., ۲۰۰۷. Habitat suitability modelling reveals a strong niche overlap between two poorly known species, the broom hare and the Pyrenean grey partridge, in the north of Spain. *Acta Oecologica*. Vol. ۳۱, No. ۲, pp: ۱۷۴-۱۸۴.
 ۶. Achyut, A. and Kreigenhofer, B., ۲۰۰۹. Summer diet composition of the common leopard *Panthera pardus* (Carnivora: Felidae) in Nepal. *Journal of Threatened Taxa*. Vol. ۱, No. ۱۱, pp: ۵۶۲-۵۶۶.
 ۷. Benito, B.M.; Martínez-Ortega, M.M.; Munoz, L.M.; Lorite, J. and Peñas, J., ۲۰۰۹. Assessing extinction-risk of endangered plants using species distribution models: a case study of habitat depletion caused by the spread of greenhouses. *Biodiversity and Conservation*. Vol. ۱۸, No. ۹, pp: ۲۵۰۹-۲۵۲۰.
 ۸. Berger, J.; Stacey, P.B.; Bellis, L. and Johnson, M.P., ۲۰۰۱. A mammalian predator-prey disequilibrium: how the extinction of grizzly bears and wolves affects the diversity of avian Neotropical migrants. *Ecological Applications*. Vol. ۱۱, No. ۴, pp: ۹۴۷-۶۰.
 ۹. Edgaonkar, A., ۲۰۰۸. Ecology of the leopard (*Panthera pardus*) in Bori wildlife sanctuary and Satpura national park, India. PhD thesis. University of Florida. Florida, USA. ۱۳۵ p.
 ۱۰. Elith, J.; Graham, C.H.; Anderson, R.P.; Dudik, M.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Hijmans, R.J.; Huettmann, F.; Leathwick, J.R.; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L.G.; Loiselle, B.A.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J.M.; Peterson, A.T.; Phillips, S.J.; Richardson, K.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R.E.; Soberon, J.; Williams, S.; Wisz M.S. and Zimmermann, N.E., ۲۰۰۶. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. Vol. ۲۹, No. ۲, pp: ۱۲۹-۱۵۱.
 ۱۱. Erfanian, B.; Mirkarimi, S.H.; Mahini, A.S. and Rezaei, H.R., ۲۰۱۳. A presence-only habitat suitability



<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T15961A5334217.en>.

۲۱. **Kiabi, B.H.; Dareshouri, B.F.; Ghaemi, R.A. and Jahanshahi, M., ۲۰۰۲.** Population status of the Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor* Pocock, ۱۹۲۷) in Iran. *Zoology in the Middle East*. Vol. ۲۶, No. ۱, pp: ۴۱-۴۷.
۲۲. **Ortega-Huerta, M.A. and Peterson, A.T., ۲۰۰۸.** Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista mexicana de Biodiversidad*. Vol. ۷۹, No. ۱, pp: ۲۰۵-۲۱۶.
۲۳. **Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., ۲۰۰۶.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modeling*. Vol. ۱۹۰, No. ۳, pp: ۲۳۱-۲۵۹.
۲۴. **Pocock, R.I., ۱۹۲۷.** XXVII-Description of two subspecies of leopards. *Journal of Natural History*. Vol. ۲۰, No. ۱۱۶, pp: ۲۱۳-۲۱۴.
۲۵. **Soulé, M.E.; Estes, J.A.; Miller, B. and Honnold, D.L., ۲۰۰۵.** Strongly interacting species: conservation policy, management, and ethics. *BioScience*. Vol. ۵۵, No. ۲, pp: ۱۶۸-۱۷۶.
۲۶. **Wisn, M.S.; Hijmans, R. J.; Li, J.; Peterson, A.T.; Graham, C.H. and Guisan, A., ۲۰۰۸.** Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*. Vol. ۱۴, No. ۵, pp: ۷۶۳-۷۷۳.

