

بررسی مطلوبیت زیستگاه کاراکال (*Caracal caracal*) در استان یزد

جلیل سرهنگ‌زاده^{۱*}، پریناز سادات مویدیان^۲، حسن اکبری^۳



چکیده

مدیریت و حفاظت موثر جمعیت‌های حیات‌وحش به درک و پیش‌بینی انسان به ارتباطات زیستگاه حیات‌وحش وابسته است. تعیین پراکنش گونه برای حفظ و مدیریت جمعیت‌ها، به‌ویژه برای گونه‌های در حال تهدید یک امر ضروری است. این مطالعه به منظور ارزیابی مطلوبیت زیستگاه کاراکال و عوامل مؤثر بر پراکنش آن در استان یزد انجام شد. به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه کاراکال (*Caracal caracal*) از بهار ۱۴۰۰ تا بهار ۱۴۰۲ از رویکرد حداکثر بی‌نظمی موجود در نرم‌افزار مکسنت استفاده شد. لایه‌های اطلاعاتی تعیین‌شده به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر پراکنش کاراکال شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درصد شیب، خاک، کاربری اراضی، اقلیم، منابع آب، فاصله از جاده‌های آسفالت، فاصله از شهرها و سکونتگاه‌ها بودند. داده‌های حضور با بازدید میدانی در سطح استان جمع‌آوری و وارد نرم‌افزار مکسنت شد. سپس ارتباط آن با نقشه‌های رقومی شده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که حدود ۵/۱۲ درصد (۳۸۱۴۳۷ هکتار) از وسعت استان یزد، زیستگاه مطلوبی برای کاراکال است. همچنین براساس نقشه مطلوبیت زیستگاه، کاراکال ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا و شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد را ترجیح می‌دهد. به‌علاوه متغیرهای وجود منابع آبی (چشمه‌ها)، مراتع خوب و دامنه شمالی از عوامل مؤثر بر حضور این گونه می‌باشند. ارزیابی مدل با سطح زیر منحنی ROC برابر ۰/۹۹۴، نشان‌دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی می‌باشد. زیستگاه‌های مطلوب کاراکال بیشتر در مناطق تحت مدیریت و شکار ممنوع استان و در محدوده مناطق کالمند و بهادران، کوه بافق، آریز، دره انجیر، باغ شادی، بوروثیه، شیرکوه، سیاه کوه، قره تپه، مرور و پنج انگشتی ابرکوه قرار داشته و از یکپارچگی بیشتری برخوردار هستند.

واژگان کلیدی:

حیات‌وحش، زیستگاه، حداکثر بی‌نظمی، استان یزد.

مقاله پژوهشی

۱. دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

jsarhangzadeh@yazd.ac.ir

*نویسنده مسئول

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

pmoaydiyian@yahoo.com

۳. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

ha77.env@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۵۱۱-۱۱۳۵

شماره صفحه پایایی: ۱۱۳۲-۱۱۴۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴

انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۲۳

زمان پذیرش: ۱۰۰ روز

استناددهی:

سرهنگ‌زاده، ج.، مویدیان، پ.، و اکبری، ح. (۱۴۰۴). بررسی مطلوبیت زیستگاه کاراکال (*Caracal caracal*) در استان یزد. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۵(۳)، ۱۳-۲۳.

۱- مقدمه

محیط فیزیکی، زیستی و منابع کره زمین، تداوم بخش حیات انسان است. افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به منابع، باعث تغییر ارتباط بین انسان و محیط زیست شده با تخریب منابع طبیعی و توسعه بدون برنامه‌ریزی، زیستگاه‌ها منهدم شده است و گونه‌ها و عناصر موجود در این محیط‌ها حذف یا کاهش یافته است (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به اهمیت بسزای تنوع‌زیستی و به‌خصوص وابستگی شدید بشر به آن، باید در مسیر حفاظت از تنوع‌زیستی گام‌های بیشتری برداشته شود (آریایی و همکاران، ۱۳۹۳). کاراکال (*Caracal caracal*) یکی از ۱۰ گونه گربه‌سان ایران می‌باشد که در اکثر دشت‌های خشک مناطق بیابانی و استپی مرکزی و شرقی ایران پراکنش دارد (ضیایی، ۱۳۹۰).

زیستگاه‌های بیابانی به دلیل محدودیت‌های زیستی در برابر دخالت‌های نابجای انسان، شکننده و آسیب‌پذیرند. یکی از موثرترین روش‌های حفاظت از تنوع‌زیستی، حفاظت از زیستگاه‌ها است (آریایی و همکاران، ۱۳۹۳). تخریب و نابودی زیستگاه‌های طبیعی به دلیل فعالیت‌های انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده تداوم حیات بسیاری از گونه‌ها به‌شمار می‌آید. قطعه قطعه شدن زیستگاه‌ها تاثیرات منفی بالقوه‌ای را برای جمعیت‌های ساکن در اینگونه مناطق به همراه دارد، از جمله باعث محصور شدن جمعیت‌ها و عدم امکان تبادل ژنی بین جمعیت‌ها می‌شود (ملکیان، ۱۳۹۲).

کاراکال گونه‌ای از راسته گوشت‌خواران (Carnivora) و خانواده گربه‌سانان (Felidae) است که دامنه انتشار آن مناطق استپی و ساوانا از ترکستان و شمال غربی هند به مصر، الجزایر، مراکش و بیشتر ساواناهای جنوب صحارا و از سمت جنوب به پروانس کپ می‌رسد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴). تاکنون زیرگونه‌های متعددی برای کاراکال شناسایی شده که در آسیا جمعیت کوچکی از زیرگونه *Caracal caracal schmitzi* در شمال ایران و ترکمنستان پراکنش دارد (Nowell and Jackson, 1996). از نظر جهانی در طبقه‌بندی IUCN در طبقه کمترین نگرانی (LC) قرار گرفته است (Avgan et al., 2016). این گونه با وجود پراکندگی وسیع در ایران و اهمیت آن به‌عنوان یک گونه شکارچی، به اندازه کافی شناخته شده نیست (Farhadinia et al., 2007). هرچند در حال حاضر به‌عنوان گونه تهدید شده در نظر گرفته نمی‌شود ولی در آینده به دلیل از دست دادن زیستگاه‌های مناسب در اثر فعالیت‌های انسانی ممکن است در معرض خطر قرار گیرد. دو عامل مهم تهدید، کاهش و کمبود طعمه‌های طبیعی و از دست دادن زیستگاه‌ها برای جمعیت این حیوان وجود دارد (Farhadinia et al., 2007). از سوی دیگر هم‌پوشانی زیستگاه‌های این گونه با گوشت‌خواران مختلفی نظیر گربه‌شنی، یوزپلنگ، گرگ، روباه‌ها در استان یزد، ضرورت جهت‌دهی اقدامات مدیریتی در زیستگاه‌های با فراوانی نسبی بالاتر را گوشزد می‌کند زیرا اقدامات مدیریتی یکسوزگرایانه می‌تواند منجر به تشدید رقابت و حذف برخی از این گونه‌های ارزشمند شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴).

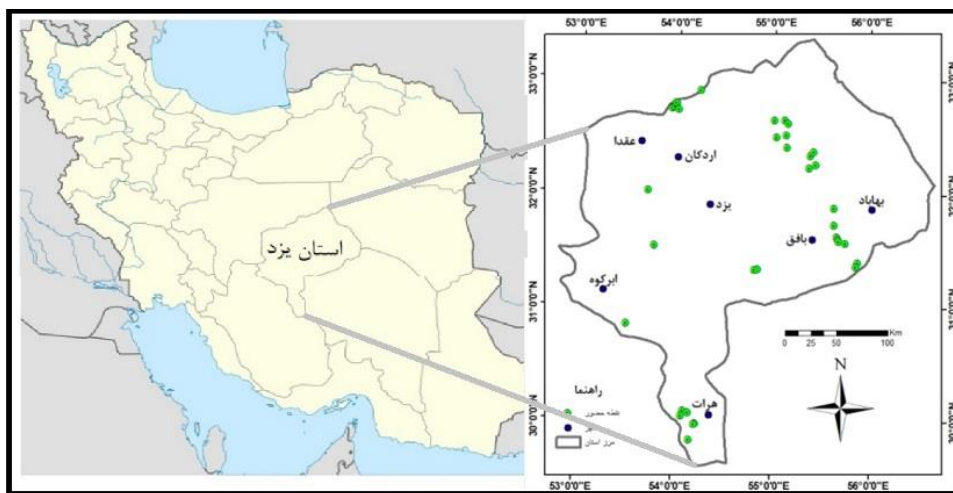
Farhadinia et al. (۲۰۰۷) در پژوهشی در پناهگاه حیات‌وحش عباس‌آباد ناین زیستگاه‌ها و منابع غذایی کاراکال را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند کاراکال بیشتر در مناطق بیابانی و تپه‌ماهوری مناطقی که جوندگان، خرگوش و پرندگان زیاد باشند دیده می‌شود. گاهی کاراکال، سم‌داران وحشی (کل و بز، جیبر و قوچ و میش) را نیز شکار کند. Adibi et al. (۲۰۱۴) در تحقیقی به بررسی زیستگاه‌های بالقوه کاراکال در پارک ملی کویر پرداختند. در این تحقیق نقشه متغیرهای محیطی موثر (درصد شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع، منابع آب، پوشش گیاهی، پوشش زمین و پراکنش طعمه) تهیه شد. نتایج نشان داد که بهترین مدل با بالاترین دقت برای پراکنش فصلی کاراکال متعلق به فصل تابستان است. متغیرهای آب و پوشش گیاهی بیشترین مشارکت را در ساخت مدل داشتند و نشان دادند که پوشش گیاهی در فصول مختلف سال به‌عنوان پناهگاه و کمینگاه برای کاراکال و طعمه‌های آن است. Singh et al. (۲۰۱۴) در پژوهشی ویژگی‌های اکولوژیکی و جمعیتی کاراکال (*Felis caracal*) را با استفاده از دوربین‌های تله‌ای در منطقه حفاظت‌شده ببر رانتامبور و در غرب هند بررسی کردند و نشان دادند حضور کاراکال با زیستگاه‌های جنگلی و اراضی تپه‌ماهوری مرتبط بوده و بیشتر اوایل صبح و هنگام غروب فعالیت می‌کند. اکبری و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی در پناهگاه حیات‌وحش ناین‌دان، پناهگاه حیات‌وحش دره انجیر و پارک ملی و منطقه حفاظت شده سیاهکوه در استان یزد با استفاده از دوربین‌های تله‌ای، پراکنش و فراوانی کاراکال را بررسی نمودند و نشان دادند بین سه منطقه دوربین‌گذاری شده، بیشترین فراوانی نسبی کاراکال مربوط به پارک ملی و منطقه حفاظت شده سیاهکوه اردکان است. براساس نتایج به‌دست آمده فعالیت کاراکال در شب و روز تفاوت معنی‌داری نداشته و گونه در محدوده مورد مطالعه هم شب فعال و هم روز فعال است. Ünal et al. (۲۰۲۰) در پژوهشی با استفاده از دوربین‌های تله‌ای به تعاملات انسان، حیوانات اهلی و کاراکال (*Caracal caracal*) در زیستگاه‌های جنگلی در جنوب ترکیه پرداختند و نشان دادند که کاراکال از حضور در زیستگاه‌هایی که انسان و یا حیوانات اهلی (سگ) حضور داشته باشند دوری می‌کند ولی در مناطقی که گراز وحشی و خرگوش اروپایی زیست می‌کنند، ساکن می‌شوند. بنابراین، افزایش فعالیت‌های انسانی و جمعیت سگ می‌تواند بر رفتار کاراکال تأثیر بگذارند و تهدیدی برای ادامه حیات این گونه در منطقه باشند. فقیه سبزواری و فراشی (۱۴۰۳)، در پژوهشی تاثیرات تغییر اقلیم بر زیستگاه‌های کاراکال و نیز نحوه پراکنش آن در ایران با استفاده از روش حداکثر آنتروپی بررسی کردند. در این تحقیق از چهار دسته متغیر محیطی (متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، کاربری اراضی و پوشش زمین) استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای فاصله از مناطق حفاظتی، سن‌زارها، مناطق جنگلی مترکم، بیشترین تاثیر را در انتخاب زیستگاه مطلوب برای کاراکال دارند.

با توجه به تنوع روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی پیش‌بینی زیستگاه‌های بالقوه گونه‌های جانوری، تعیین روش‌های دقیق و کم هزینه یکی از الویت‌های پژوهشی در این زمینه است. مزیت مدل‌سازی با روش حداکثر بی‌نظمی تنها نیازمند به داده‌های حضور گونه با دقت زیاد است، همچنین حساسیت این روش به تعداد نقاط حضور مورد نیاز برای تولید یک مدل صحیح کمتر از سایر روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه است (Pearson et al., 2007; Elith et al., 2006). به نحوی که در پاره‌ای از پژوهش‌ها تنها پنج نقطه برای تولید یک مدل کافی است (Peterson et al., 2007). در این راستا، جهت مدیریت و حفاظت کاراکال، باید با تعیین نقشه زیستگاه‌های مطلوب، محدوده‌هایی که از نظر حفاظتی مهم‌تر هستند، مشخص شوند و مهم‌ترین متغیرهایی که برای گونه جاذب هستند تعیین گردند و با کنترل آن متغیرها، از کاهش جمعیت گونه جلوگیری شود. لذا در این پژوهش با استفاده از روش حداکثر بی‌نظمی به بررسی متغیرهای موثر بر پراکنش کاراکال در استان یزد پرداخته شد تا بخشی از نادانسته‌های اکولوژیکی موثر بر حضور گونه مشخص گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد پژوهش

استان یزد با مساحت ۷۴۵۱۳ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران در ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان از نظر پستی و بلندی دارای تنوع است و ارتفاع نقاط مختلف آن از ۶۵۹ متر از سطح دریای آزاد (در اطراف کویر ریگ زرین) تا ۴۰۷۵ متر (شیرکوه) تغییر می‌کند. استان یزد به دلیل واقع شدن در بخش مرکزی فلات ایران و ساختار طبیعی و بوم‌شناختی خاص، وجود تنوع از نظر پستی و بلندی و تراکم ارتفاعات، وجود گستره‌های بیابانی در مجاورت گره‌های کوهستانی، تنوع ویژگی‌های اقلیمی، در مجموع شرایطی را به وجود آورده که حاصل آن فقر منابع آب زیرزمینی و ایجاد شرایط خاص زیستگاهی و رویشگاهی است. قلمرو وسیعی از استان یزد از نظر تقسیمات اقلیمی، زیر پوشش اقلیم خشک، نیمه‌خشک و فراخشک قرار گرفته است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان یزد، ۱۳۹۵).



شکل (۱): موقعیت نقاط حضور کاراکال در استان یزد

زیستگاه‌های حیات‌وحش در استان یزد از طیف وسیع و متنوعی برخوردارند، به گونه‌ای که می‌توان انواع زیستگاه‌های دشتی، تپه‌ماهوری و صخره‌ای را در این استان مشاهده نمود. وجود گونه‌های پستاندار نظیر پلنگ، کل و بز، قوچ و میش، آهو، جیبر، گربه شنی، روباه شنی و کاراکال، این منطقه را به صورت یکی از مناطق بیابانی با ارزش از نظر تنوع گونه‌ای و زیستگاهی درآورده است (سرهنگ‌زاده و ستوده، ۱۳۹۴).

کاراکال یکی از گربه‌سانان ارزشمند است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله بیابان‌ها، استپ‌ها و کوهپایه‌ها زیست می‌کند و استان یزد، یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های طبیعی آن به‌شمار می‌رود. مناطقی نظیر پارک ملی و منطقه حفاظت شده سیاه‌کوه، منطقه حفاظت شده کالمند و بهادران، پناهگاه حیات‌وحش دره انجیر، پناهگاه حیات‌وحش بورونیه، منطقه شکار ممنوع مرور و پناهگاه حیات‌وحش شیرکوه از جمله زیستگاه‌های کاراکال در استان یزد هستند. بنابراین، کاراکال یکی از گونه‌های ارزشمند و راهبردی در اقلیم خشک و بیابانی یزد با ایفای نقشی مؤثر در کنترل جمعیت جوندگان، جایگاهی کلیدی در حفظ تعادل محیط‌زیستی دارد و با توجه به تهدیداتی همچون تخریب زیستگاه، تصادفات جاده‌ای و کاهش طعمه، حفاظت از این گونه نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و تعیین زیستگاه‌های مناسب دارد (اداره کل محیط‌زیست استان یزد، ۱۳۸۷).

۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش از نرم‌افزار مکسنت نسخه K3.3.3 (Phillips et al., 2006) برای تعیین زیستگاه‌های مطلوب در استان یزد و از نرم‌افزار Arc GIS 10.5 برای ساخت لایه‌های اطلاعاتی و ورود آن‌ها به نرم‌افزار مکسنت استفاده شد.

۲-۳- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از نقاط حضور کاراکال، با بازدیدهای میدانی به همراه کارشناس‌های محیط‌زیست استان در قسمت‌های مختلف منطقه از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ به صورت تصادفی انجام گرفت و سعی شد از تمامی مناطقی که گونه حضور دارد بازدید و نمونه‌برداری انجام شود. در مسیرهای بازدید با مشاهده گونه و یا نمایه‌های آن، مختصات جغرافیایی نقطه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۱، به‌عنوان نقطه حضور ثبت می‌گردید. پیش از انجام مدل‌سازی با استفاده از شاخص Moran میزان خودهمبستگی مکانی میان داده‌های حضور در نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت. جهت کاهش اثرات منفی خودهمبستگی مکانی، نقاط حضور نزدیک به هم (کمتر از ۵۰۰ متر)، حذف شدند. در مجموع ۳۵ نقطه حضور قابل استفاده در طول مطالعات میدانی ثبت و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).

۲-۴- متغیرهای محیطی

برای شناسایی متغیرهای محیطی تاثیرگذار بر انتخاب زیستگاه گونه با مرور مطالعات انجام شده بر روی زیست‌شناسی گونه با زیستگاه (فقیه سبزواری و فراشی، ۱۴۰۳؛ ادیبی و همکاران، ۱۳۹۵؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۴؛ Adibi et al., 2014؛ Singh et al., 2014؛ Farhadinia et al., 2007) مجموعه عواملی که در تامین نیازهای زیستگاهی گونه تاثیرگذار هستند، تعیین شدند. متغیرهای مستقل محیطی شامل متغیرهای فیزیکی (طبقات درصد شیب، طبقات جهت جغرافیایی، طبقات ارتفاع از سطح دریا، واحدهای اراضی خاک، منابع آب و طبقه‌بندی اقلیمی)؛ زیستی (کاربری اراضی)؛ انسانی (جاده‌های آسفالت، اراضی زراعی و مناطق مسکونی) هستند. شایان ذکر است در کل تعداد ۳۵ فقره نقشه به‌عنوان متغیرهای مستقل زیستگاهی در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفتند.

نقشه طبقات درصد شیب، طبقات ارتفاع و جهت جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه رقومی ارتفاع منطقه تهیه شد. برای مطالعه نقش منابع آب در مطلوبیت زیستگاه، تنها موقعیت منابع آبی دایمی (چشمه‌ها) در محاسبات وارد شد و نقشه فاصله از نزدیک‌ترین منبع آبی محاسبه گردید. با استفاده از نقشه موقعیت منابع انسانی (مناطق مسکونی و جاده‌ها)، نقشه فاصله تا نزدیک‌ترین منطقه مسکونی، فاصله تا نزدیک‌ترین جاده آسفالت تهیه شد. همچنین فاصله تا نزدیک‌ترین منطقه تا آن طبقه، برای تمامی نقشه‌های طبقه‌بندی شده به تفکیک هر طبقه (کلاس شیب صفر تا ۵ درصد، جهت شمال، طبقه ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، طبقه اقلیم خشک) به متغیرهای فاصله‌ای تبدیل و کمی شدند (Phillips et al., 2006؛ فراشی و همکاران، ۱۳۸۹؛ سرهنگزاده و کیانی، ۱۳۹۹). با استفاده از فاصله طبقاتی در نرم‌افزار مکسنت میزان اهمیت این متغیرها در توزیع کاراکال مشخص می‌شود. همچنین با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان میزان مطلوبیت زیستگاه کاراکال را در هر یک از فواصل طبقاتی این متغیرها مشخص نمود. در حالی که استفاده از نقشه‌های کیفی و طبقاتی این مزیت را ندارد و تنها میزان مطلوبیت هر طبقه را نشان می‌دهد. متغیرهای محیطی پس از رقوم‌سازی با اندازه سلول ۱۰۰×۱۰۰ متر به نقشه‌های رستری و سپس به نقشه‌های با فرمت ASC که در نرم‌افزار مکسنت قابل خواندن است تبدیل شدند.

۲-۵- بررسی همبستگی متغیرها

همبستگی (ضریب همبستگی پیرسون) متغیرهای محیطی بررسی شد تا تنها متغیرهایی که همبستگی کمتر از ۷۵ درصد دارند در تحلیل وارد شوند. زیرا حضور متغیرهای با همبستگی بیش از ۷۵ درصد در تحلیل‌ها می‌تواند منجر به برازش بیش از حد مدل و بروز مشکلاتی در تفسیر نتایج شود (Peterson et al., 2007). بررسی همبستگی متغیرها در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 با تحلیل گر Band Collection Statistics که جزء تحلیل‌گرهای چندمتغیره است، انجام شد.

۲-۶- مدل‌سازی پیشینه آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار مکسنت

در پژوهش حاضر ۷۵ درصد نقاط حضور به صورت تصادفی برای آموزش مدل و ۲۵ درصد باقی‌مانده به‌عنوان نقاط آزمون برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷). تعداد نقاط پس‌زمینه که نرم‌افزار به جای نقاط عدم‌حضور کاذب از آن استفاده می‌کند، به صورت تصادفی ۱۰۰۰۰ نقطه به‌عنوان عدم‌حضور به‌منظور محاسبه خطای ارتکاب انتخاب گردید. برای اجرای مدل نهایی از تکرار بوت استرپ^۲ به تعداد دو بار، میزان تنظیم برابر با یک، استفاده شد. پارامتر ضریب تنظیم^۳ در منوی تنظیمات نرم‌افزار نشان می‌دهد که توزیع پیش‌بینی شده برای گونه تا چه میزان متناسب با پراکنش نقاط حضور می‌باشد. نتایج حاصل از اجرای مدل باید نشان دهد که مقدار پارامتر ضریب تنظیم برابر با چه عددی بهترین عملکرد

1. Global Positioning System (GPS)
2. Commission error
3. Bootstrap

4. Regularization multiplier

(بالاترین سطح زیر منحنی (AUC)) را دارد. برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی، روش جک‌نایف انتخاب گردید (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷). برای ارزیابی دقت و صحت مدل از معیار سطح زیر منحنی استفاده شد. معیار سطح زیر منحنی ناشی از منحنی مشخص عملکرد پذیرنده (ROC) است (Phillips et al., 2006). نمودار ROC در واقع صحت حضور پیش‌بینی شده را در مقابل صحت عدم‌حضور پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. سطح زیر منحنی برابر با ۰/۵ بیان‌کننده تصادفی بودن مدل و هرچه این مقدار به یک نزدیک باشد، مقدار قدرت تشخیص نقاط حضور از عدم‌حضور بیشتر خواهد شد. اگر مقدار سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، یک مدل خوب فرض می‌شود، اگر بین ۰/۸ تا ۰/۹ باشد، مدل عالی و چنانچه سطح زیر منحنی بیش از ۰/۹ باشد، قدرت تشخیص مدل بسیار عالی در نظر گرفته می‌شود (همامی و همکاران، ۱۳۹۴). برای حساسیت‌سنجی و تعیین اهمیت هر یک از متغیرهای موجود در مدل از آماره‌های محاسبه شده به‌وسیله نرم‌افزار پیشینه‌آنتروپی که شامل بهره‌نسبی مشارکت برای هر متغیر، منحنی‌های پاسخ متغیرها برای مدل‌های تک متغیره و فرآیند جک‌نایف برای ارزیابی تغییرات AUC هنگام حذف هر متغیر می‌شود استفاده شد (Yost et al., 2008).

۲-۷- محاسبه مطلوبیت زیستگاه

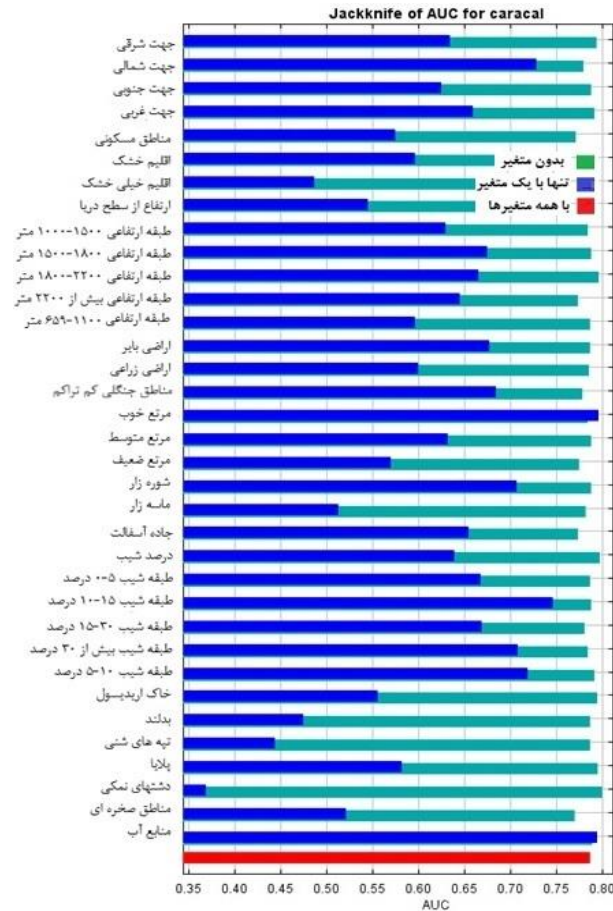
نقشه مطلوبیت زیستگاه، دامنه‌ای از مطلوبیت را برای زیستگاه ارائه می‌دهد. نقشه به‌صورت پیوسته، از صفر تا یک است. یک نشان‌دهنده مطلوبیت بالا و صفر نشان‌دهنده مطلوبیت پایین است. یک تصمیم‌گیری در انتخاب زیستگاه مطلوب و نامطلوب انتخاب آستانه است (Gormley et al., 2011). برای تعیین الگوی پراکنندگی گونه به‌صورت نقشه گسسته‌ای که زیستگاه‌های مطلوب و نامطلوب را نشان می‌دهد، حد آستانه‌ای مورد نیاز است که بر اساس احتمالات پیش‌بینی شده توسط مدل برای هر سلول را به‌عنوان حضور یا عدم‌حضور گونه در نظر می‌گیرد. برای اینکه مدل بتواند نمایانگر بیش از ۱۰ درصد نقاط حضور مورد استفاده باشد، از آستانه منطقی صدک ۱۰ داده‌های حضور به‌کار گرفته شده استفاده شد. منطق استفاده از این آستانه بر این فرض استوار است که ممکن است ده درصد داده‌های جمع‌آوری شده اشتباه جمع‌آوری یا زمین مرجع شده باشند (Raes et al., 2009). بعد از تعیین آستانه بهینه، نقشه پیوسته پیش‌بینی به نقشه زیستگاه مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی شد.

۳- نتایج

شکل (۲) نتایج حاصل از عملیات آزمون جک‌نایف را برای تعیین اهمیت متغیرها در توزیع جغرافیایی کاراکال نشان می‌دهد. مطابق شکل مهم‌ترین متغیرها در حضور و پراکنش گونه در منطقه، منابع آبی (چشمه‌ها)، مراتع خوب، طبقات شیب ۳۰-۱۵ و ۱۵-۱۰ درصد، دامنه شمالی، محدوده ارتفاعی ۱۸۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا و شوره‌زارها هستند. نتایج تلفیق نقشه زیستگاه‌های بالقوه کاراکال با نقشه درصد شیب نشان داد که از کل وسعت زیستگاه‌های مطلوب (۳۸۱۴۳۷ هکتار)، ۳۸/۱ درصد در طبقه شیب صفر تا ۵ درصد، ۳۳/۳ درصد در طبقه شیب ۱۰-۵ درصد، ۲۳/۴ درصد در طبقه شیب ۳۰-۱۰ درصد و ۵/۲ درصد در طبقه شیب بیش از ۳۰ درصد قرار دارد. همچنین بیش از ۹۰ درصد زیستگاه‌های کاراکال در محدوده ارتفاعی ۶۵۹-۱۵۰۰ متر از سطح دریا، و اقلیم خشک (۷۰ درصد) واقع شده است. نقشه زیستگاه‌های بالقوه کاراکال با نقشه جهات جغرافیایی روی هم‌گذاری شد و نتایج نشان داد که از زیستگاه‌های مطلوب کاراکال، ۷۱/۴ درصد در مناطق دشتی و ۱۰/۹ درصد در دامنه‌های شمالی، ۸/۱ درصد در دامنه‌های شرقی، ۵/۲ درصد در دامنه‌های غربی و ۴/۴ درصد در دامنه‌های جنوبی واقع شده است. نتایج تلفیق نقشه زیستگاه‌های بالقوه کاراکال با نقشه واحدهای خاک نشان داد که از کل وسعت زیستگاه‌های مطلوب، بیش از ۲۵ درصد وسعت در خاک‌های آریدیسول و پلایا قرار دارد. همچنین نتایج تلفیق نقشه زیستگاه‌های کاراکال با نقشه کاربری‌ها نشان داد که از وسعت زیستگاه‌های مطلوب گونه، ۵۵/۴ درصد در مراتع خوب، ۲۴/۳ درصد در اراضی با پوشش درختی کم تراکم، ۱۰/۶ درصد در مراتع با پوشش گیاهی متوسط و ۴/۸ درصد در اراضی بدون پوشش گیاهی قرار دارد.

تحلیل منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی (شکل ۳) نشان داد که با افزایش فاصله از طبقه ارتفاع ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر و طبقه شیب ۱۰-۵ درصد، جهات جغرافیایی (شرقی، غربی، شمالی و جنوبی)، مناطق با پوشش درختی، اراضی بدلدن و منابع آبی مطلوبیت زیستگاه برای گونه کم می‌شود. با افزایش فاصله از متغیرهای مناطق مسکونی، اراضی فاقد پوشش گیاهی و مناطق صخره‌ای احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع تا حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا مطلوبیت زیستگاه برای گونه زیاد شده و بعد از آن با افزایش ارتفاع به تدریج از مطلوبیت زیستگاه کم می‌شود، از طرفی با کاهش مقدار درصد شیب، بر مطلوبیت زیستگاه گونه افزوده می‌شود.

نتایج ارزیابی مدل با استفاده از سطح زیر منحنی ROC نشان داد که مدل مذکور از حالت تصادفی، پیش‌بینی بهتری دارد. در این مدل، متوسط سطح زیر منحنی ROC، ۰/۹۹۴ است که نشان‌دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی است (شکل ۴). با استفاده از آستانه مطلوبیت به‌دست آمده از مدل (۰/۱۲۱)، نقشه مطلوبیت زیستگاه در دو کلاس زیستگاه مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی شد (شکل ۵). وسعت زیستگاه‌های مطلوب کاراکال در استان یزد ۳۸۱۴۳۷ هکتار (۵/۱۲ درصد وسعت استان) برآورد شد.

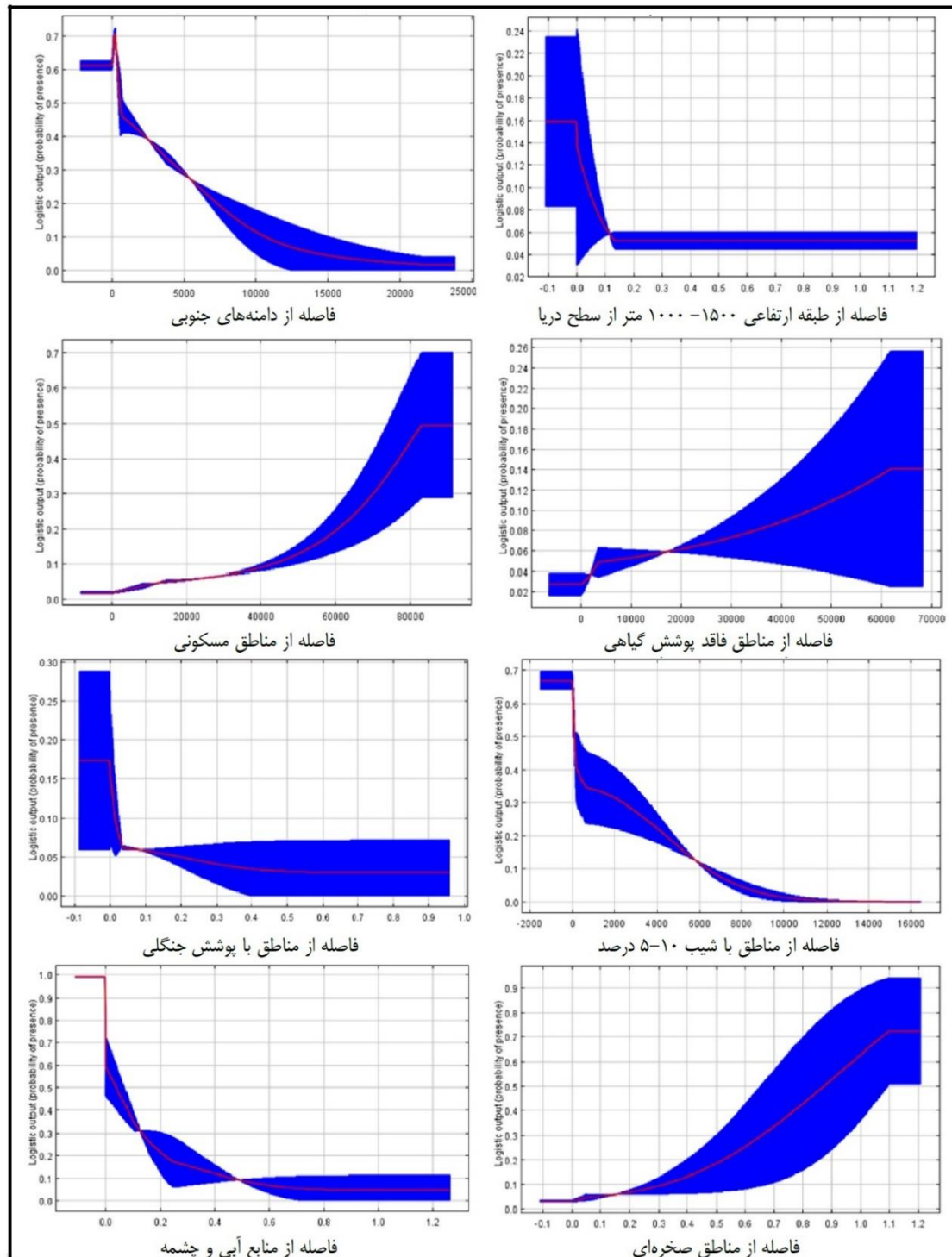


شکل (۲): نمودار نتایج آزمون جک‌نایف در تعیین اهمیت متغیرهای استفاده شده در توسعه مدل

۴- بحث و نتیجه‌گیری

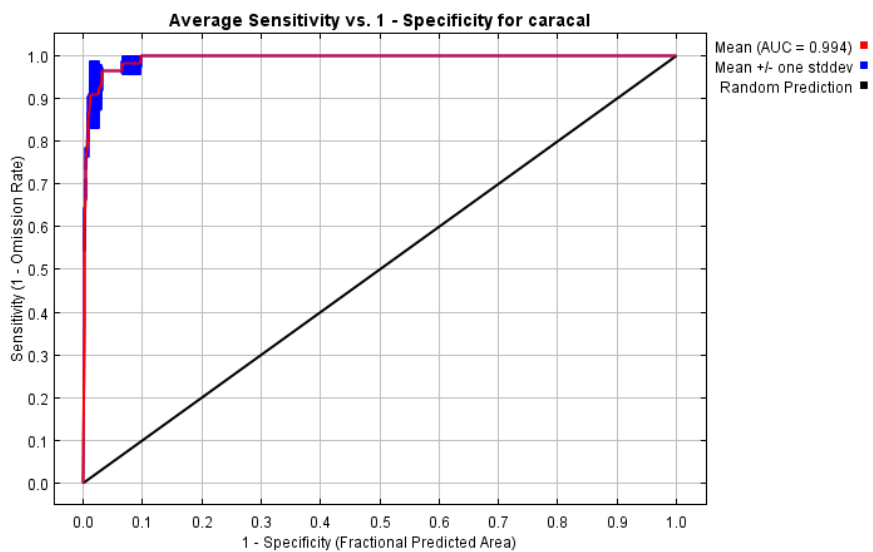
این تحقیق نشان داد که ۵/۱۲ درصد از وسعت استان یزد به‌عنوان زیستگاه مطلوب برای کاراکال محسوب می‌شود. زیستگاه‌های مطلوب گونه بیشتر در مناطق تحت مدیریت و شکار ممنوع استان و در محدوده مناطق کالمند و بهادران، کوه بافق، آریز، دره انجیر، باغ شادی، بوروثیه، شیرکوه، سیاه کوه، قره تپه، مرور و پنج انگشتی ابرکوه قرار داشته و از یکپارچگی بیشتری برخوردار هستند. نتایج ارزیابی جک‌نایف، نشان‌دهنده اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای زیستگاه مطلوب کاراکال و دقت اجرای مدل توسط یک متغیر در مقایسه با سایر متغیرها است. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، متغیرهای فاصله از مراتع خوب، فاصله تا منابع دائمی آب، فاصله تا مناطق با شیب ۱۵-۱۰ درصد، فاصله تا دامنه‌های شمالی، فاصله تا مناطق با شیب ۱۰-۵ درصد، فاصله تا مناطق با شیب بیش از ۳۰ درصد، فاصله تا مناطق شوره‌زار، فاصله تا مناطق جنگلی کم تراکم، فاصله از اراضی بایر، فاصله تا مناطق با شیب صفر تا ۵ درصد، به تنهایی نقش مهمی در اجرای مدل زیستگاه‌های مطلوب کاراکال دارند.

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش فاصله از منابع آب از مطلوبیت زیستگاه گونه کاسته می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاراکال وابستگی زیادی به آب دارد. با توجه به ویژگی منطقه و کمبود منابع آبی واضح است گونه زیستگاه‌هایی را انتخاب کند که در فاصله کمی از منبع آبی باشد. وجود آب در زیستگاه‌ها مطلوبیت زیستگاه را بالا برده و زیستگاهی که دارای منبع آب فصلی است بیشتر در همان فصل مورد استفاده قرار می‌گیرد و زیستگاه فاقد منبع آب هر چند سایر نیازهای زیستگاهی در آن وجود داشته باشد کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از اسفند تا اواسط پائیز، با گرم شدن هوا، طعمه‌ها به منابع آبی نزدیک‌تر می‌شوند و این اهمیت آب و منابع آبی را برجسته می‌کند. با توجه به اینکه آب تأثیرگذارترین متغیر در مدل‌سازی است. بنابراین، احتمال حضور کاراکال در اطراف منابع آب بیشتر است. پژوهش‌های Adibi et al. (۲۰۱۴) و Kok and Nel (۱۹۹۶) نشان داد که آب مهم‌ترین متغیر زیستی این گونه است. این موضوع را می‌توان از دو جنبه مورد بررسی قرار داد: اینکه کاراکال به دلیل نیازهای اکولوژیکی خود به منابع آبی وابسته است و یا اینکه جهت شکار طعمه خود به زیستگاه‌های دارای منابع آب وارد می‌شود. همچنین ضیایی (۱۳۹۰) و کرمی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش دادند که کاراکال برای زندگی در مناطق خشک سازگار شده است و آب کمی نیاز داشته و نیاز آبی خود را از خون طعمه خود تأمین می‌کند. کاراکال در فصول گرم سال نه تنها به دلیل نیاز آبی خود، بلکه به دلیل تجمع طعمه‌ها در اطراف منابع آبی حضور دارد. Farhadinia et al. (۲۰۰۷) گزارش دادند که وقتی علف‌خواران کوچک جثه برای شرب آب به منابع آبی مراجعه می‌کنند، توسط کاراکال شکار می‌شوند، این موضوع نشان می‌دهد که کاراکال به دلیل شکار طعمه‌های خود به آب وابسته است.

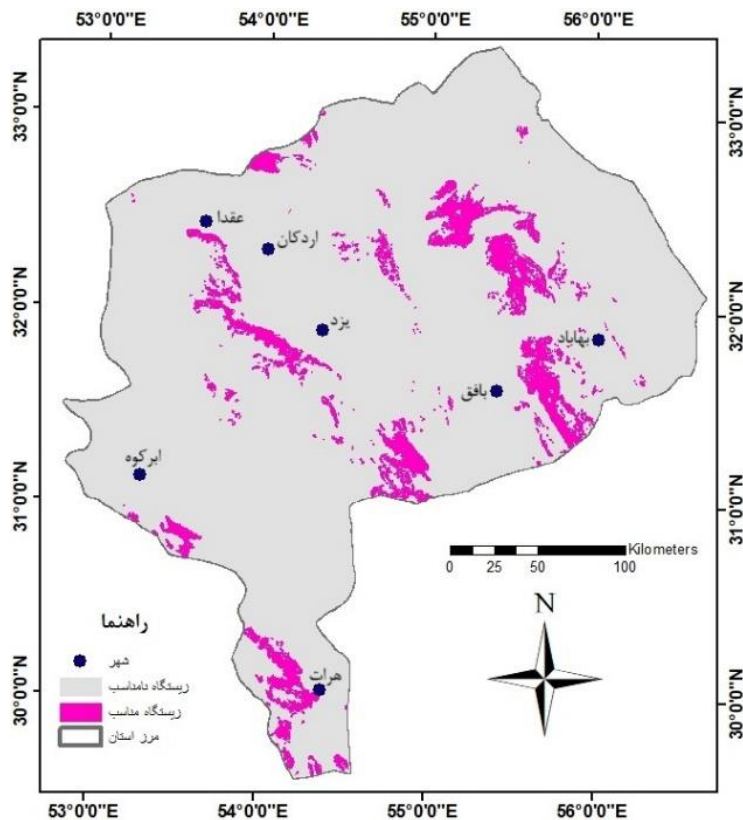


شکل (۳): منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرها در استان یزد

نتایج این بررسی نشان داد کاراکال به زیستگاه‌های با پوشش مرتع خوب، اراضی با پوشش درختی کم تراکم و مراتع با پوشش گیاهی متوسط تمایل دارد و با کاهش فاصله از این متغیرها مطلوبیت زیستگاه نیز زیاد می‌شود و پوشش مرتعی و جنگلی از متغیرهای جاذب در انتخاب زیستگاه توسط کاراکال هستند. در شرایط اکولوژیکی استان یزد، گیاهان می‌توانند پناه و آشیانه مناسبی برای شکار فراهم کنند. همچنین بسیاری از طعمه‌های کاراکال (چونندگان، پرندگان، خرگوش، آهو، جیبر، کل و بز، قوچ و میش (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴) در زیر بوته‌ها و درختچه‌ها زیست نموده و پناه می‌گیرند، جایی که این مناطق با زیستگاه کاراکال همپوشانی دارند و این گیاهان کمین‌گاه‌های کاراکال برای شکار گونه‌های مختلف هستند. این نتایج مشابه نتایج فقیه سبزواری و فراشی (۱۴۰۳)، Abidi et al. (۲۰۱۴)، Singh et al. (۲۰۱۴) و Farhadinia et al. (۲۰۰۷) است.



شکل (۴): منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش کاراکال در استان یزد



شکل (۵): نقشه پراکنش زیستگاه‌های مطلوب پیش‌بینی شده کاراکال در استان یزد

نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه‌های شمالی و شرقی از متغیرهای مهم تعیین کننده انتخاب زیستگاه توسط کاراکال در استان است که این امر می‌تواند در رشد بیشتر پوشش گیاهی در دامنه‌های شمالی و شرقی نسبت به سایر دامنه‌ها باشد. دامنه‌های شمالی و شرقی تأثیرات حرارتی کمتری را از خورشید دریافت می‌دارند و دمای آن کمتر است و در نتیجه ذخایر رطوبتی خاک بیشتر و محیط مناسبی برای رشد گیاهان می‌باشد و بالطبع زیستگاه مناسب‌تری برای حضور کاراکال و طعمه‌های آن هستند. لازم به توضیح است کاراکال از تمامی دامنه‌ها استفاده کرده همه دامنه‌ها برای گونه جاذب هستند. کاراکال در فصل زمستان بیشتر در دامنه‌های جنوبی و غربی که گرمتر هستند، حضور دارد این دستاورد همسو با نتایج ادیبی و همکاران، (۱۳۹۵) و Abidi et al. (۲۰۱۴) است.

نتایج نشان داد بیشترین احتمال حضور کاراکال در مناطق دشتی (بیش از ۷۱ درصد وسعت زیستگاه‌های مطلوب) می‌باشد. شیب اراضی و درصد آن یکی از عوامل موثر و تاثیرگذار در حفظ و ذخیره آب و رطوبت در خاک است و این موضوع نقش موثری بر رویش پوشش گیاهی و تثبیت آنها بر سطح خاک دارد. در مناطق بیابانی به دلیل اوضاع خاص رطوبتی، پراکنش پوشش گیاهی معمولاً از یک الگوی خطی در حاشیه خشک رودها که به صورت فصلی دارای آب هستند، تبعیت می‌نماید. این خشک رودها معمولاً در خروجی دره‌ها و نقاط تمرکز آبها که در شیب‌های پایینتر قرار دارند، شکل می‌گیرند. بنابراین در شیب‌های بین صفر تا ۱۰ درصد احتمال وجود رطوبت در خشک رودها در فصولی خاص بیشتر بوده و به تبع آن در این مناطق پوشش گیاهی از وضعیت بهتری برخوردار می‌باشد و در نتیجه زیستگاه مناسبی را برای طعمه‌ها و در نهایت برای کاراکال فراهم می‌کند. در نتیجه کاراکال در مناطق دشتی و تپه‌ماهوری با درصد شیب کم حضور بیشتری دارد. این دستاورد همسو با نتایج Abidi et al. (۲۰۱۴)، ضیائی (۱۳۹۰) و Farhadinia et al. (۲۰۰۷) است.

نتایج این پژوهش نشان داد که تمایل کاراکال به حضور در مناطق کم ارتفاع (کمتر از ۱۵۰۰ متر) بوده و ارتفاع از متغیرهای تعیین کننده انتخاب زیستگاه توسط کاراکال در منطقه محسوب می‌شود و با کاهش ارتفاع از سطح دریا میزان مطلوبیت زیستگاه گونه افزایش می‌یابد. محدوده طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰-۶۵۹ متر از سطح دریا بیشترین اهمیت را در انتخاب زیستگاه در بین طبقات ارتفاع به خود اختصاص داده است. همچنین احتمال حضور کاراکال با افزایش ارتفاع تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا روندی افزایشی داشته اما از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا احتمال حضور کاراکال کاهش می‌یابد در واقع علت اصلی این موضوع افزایش ارتفاع و افزایش شیب و کاهش کارایی اراضی و کاهش پوشش گیاهی می‌باشد که به شدت حضور طعمه‌های کاراکال را در این عرصه‌ها کاهش می‌دهد. نتایج این یافته مشابه یافته‌های فقیه سبزواری و فراشی (۱۴۰۳)، ادیبی و همکاران (۱۳۹۵) و Abidi et al. (۲۰۱۴) است.

براساس نتایج تحقیق با افزایش فاصله از سکونتگاه‌های انسانی و جاده‌های آسفالت مطلوبیت زیستگاه گونه زیاد می‌شود. در جاده‌ها و سکونتگاه‌های انسانی، عبور و مرور وسایط نقلیه از یک طرف باعث آلودگی‌های صوتی شده و از طرف دیگر حضور طعمه‌های مورد تغذیه کاراکال کم است و در نتیجه گونه از استقرار در مجاورت این نواحی دوری می‌کند. این دستاورد مشابه یافته‌های فقیه سبزواری و فراشی (۱۴۰۳)، Ünal et al. (۲۰۲۰) و ادیبی و همکاران (۱۳۹۵) است.

براساس نتایج تحقیق، زیستگاه‌های کاراکال در محدوده مورد مطالعه در مناطقی با اقلیم خشک و خیلی خشک قرار دارد و دلیل این امر می‌تواند در سازگاری گونه با این اقلیم‌ها باشد. این مهم مشابه نتایج فقیه سبزواری و فراشی (۱۴۰۳)، Veals et al. (۲۰۲۰)، Singh et al. (۲۰۱۴)، Farhadinia et al. (۲۰۰۷) و Van Heezik and Seddon (۱۹۹۸) است.

کاراکال با توجه به موقعیت خود در راس هرم غذایی نقش اکولوژیک مهمی را بازی می‌کند. بنابراین، کاهش جمعیت و زیستگاه‌های گونه، سبب کاهش و تغییرات ساختاری تنوع زیستی و تاثیر بر عملکرد اکوسیستم می‌شود. حذف گونه به‌عنوان گونه چتر در منطقه بدون تردید پیامدهای ناگواری را در منطقه به‌همراه خواهد داشت. بنابراین پیشنهاد می‌شود از هر گونه دستکاری در منطقه مخصوصاً در زیستگاه‌های مطلوب گونه جلوگیری شود و همچنین مرز مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست با توجه به پژوهش حاضر مورد بازبینی قرار بگیرد.

سپاسگزاری

در پایان لازم است از همکاران اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان یزد و سایر عزیزانی که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند تشکر نماییم.

منابع

- آریایی، ز.، میرکریمی، س. ح.، سلمان ماهینی، ع.، و عقیلی، س. م. (۱۳۹۳). مروری بر روش‌های انتخاب سیستماتیک مناطق تحت حفاظت. دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، تهران، مهر ۱۳۹۳.
- ادیبی، م.، ناصری، س.، ظاهری، ب.، و بهزادی، ف. (۱۳۹۵). مهم‌ترین تیپ‌های گیاهی مؤثر بر پراکنش گربه کاراکال در پارک ملی کویر. دومین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین. اصفهان، آبان ۱۳۹۵.
- اداره کل محیط‌زیست استان یزد. (۱۳۸۷). چشم‌انداز محیط طبیعی استان یزد. یزد: انتشارات نقش مانا.
- اکبری، ح.، عزیزی، م.، پورچیت ساز، آ.، و نورانیان، ر. (۱۳۹۴). بررسی انتشار و فراوانی و الگوی فعالیت کاراکال در استان یزد. زیست‌شناسی جانوری تجربی، (۴)، ۷۸-۷۱.
- زارع چاهوکی، م. ع.، عباسی، م.، و آذرنبوند، ح. (۱۳۹۷). پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه گیاهی *Stipa barbata* با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی). مرتع، (۱)، ۴۸-۳۵.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان یزد. (۱۳۹۵). گزارش اولیه برنامه آمایش استان یزد.
- سرهنگ‌زاده، ج.، و ستوده، ا. (۱۳۹۴). تعیین پراکنش و مسیرهای مهاجرت گربه شنی در استان یزد (مرحله اول). اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان یزد.
- سرهنگ‌زاده، ج.، و کیانی، ب. (۱۳۹۹). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس‌قهوه‌ای (*Ursus arctos syriacus*) در حوزه آبخیز ناپشته چای. علوم و تکنولوژی محیط زیست، (۵)، ۱۵۲-۱۳۹.
- ضیائی، ه. (۱۳۹۰). راهنمای صحرائی پستانداران ایران. تهران: کانون آشنایی با حیات وحش، ۴۲۰ص.
- فراشی، آ.، کابلی، م.، و مومنی، ا. (۱۳۸۹). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بز و یازن (*Capra aegagrus*) به کمک روش تحلیل عاملی آشپان بوم شناختی (ENFA) در پارک ملی کلاه قاضی، استان اصفهان، محیط‌زیست طبیعی، (۱)، ۶۳-۶۳.

- فقیه سبزواری، ف.، و فراشی، آ. (۱۴۰۳). بررسی مطلوبیت زیستگاه کاراکال (*Caracal caracal*, Schreber, 1776) با استفاده از مدل MaxEnt در اقلیم آینده ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸(۷۸)، ۳۷۰-۳۴۸.
- کرمی، م.، قدیریان، ط.، و فیض‌اللهی، ک. (۱۳۹۵). اطلس پستانداران ایران. البرز: انتشارات جهاد دانشگاهی کرج، واحد خوارزمی، ۲۹۲ص.
- ملکیان، م. (۱۳۹۲). تاثیر ناهمگونی زیستگاه بر ساختار ژنتیکی گونه *Petaurus breviceps*. نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان. آبان ۱۳۹۵.
- ملکیان، م.، معصوم، ف.، و همای، م. (۱۳۹۹). راهبردهای حفاظت از آهوی ایرانی (*Gazella subgutturosa*) در مناطق تحت حفاظت در استان خراسان رضوی. محیط‌زیست طبیعی، ۷۳(۳)، ۶۱۱-۵۹۹.
- همای، م.ر.، اسمعیلی، س.، و سفیانیان، ع. (۱۳۹۴). پیش‌بینی پراکنش یوزپلنگ آسیایی، پلنگ ایرانی و خرس قهوه‌ای در پاسخ به متغیرهای محیطی در استان اصفهان. بوم‌شناسی کاربردی، ۴(۱۳)، ۶۴-۵۱.
- Adibi, M.A., Karami, M., and Kaboli, M. (2014). Study of seasonal changes in habitat suitability of *Caracal caracal schmitzi* (Maschie 1812) in the central desert of Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(3), 95-106.
- Avgan, B., Henschel, P., and Ghoddousi, A. (2016). *Caracal caracal*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e. T3847A102424310.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... and Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- Farhadinia, M.S., Akbari, H., Beheshti, M., and Sadeghi, A. (2007). Ecology and status of the caracal, *Caracal caracal*, (Carnivora: Felidae), in the Abbasabad Naein reserve, Iran. *Zoology in the Middle East*, 41(1), 5-10.
- Gormley, A.M., Forsyth, D.M., Griffioen, P., Lindeman, M., Ramsey, D.S., Scroggie, M.P., and Woodford, L. (2011). Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 25-34.
- Kok, O. B., and Nel, J.A.J. (1996). The Kuiseb river as a linear oasis in the Namib Desert. *African Journal of Ecology*, 34(1), 39-47.
- Nowell, K., and Jackson, P. (1996). *Wild Cats: Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Cat Specialist Group, 382pp.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., and Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1), 102-117.
- Peterson, A.T., Papeş, M., and Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30(4), 550-560.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., and Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Raes, N., Roos, M.C., Slik, J.F., Van Loon, E.E., and Steege, H.T. (2009). Botanical richness and endemism patterns of Borneo derived from species distribution models. *Ecography*, 32(1), 180-192.
- Singh, R., Qureshi, Q., Sankar, K., Krausman, P.R., and Goyal, S.P. (2014). Population and habitat characteristics of caracal in semi-arid landscape, western India. *Arid Environments*, 103, 92-95.
- Ünal, Y., Pekin, B.K., Oğurlu, İ., Süel, H., and Koca, A. (2020). Human, domestic animal, *Caracal* (*Caracal caracal*), and other wildlife species interactions in a Mediterranean forest landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 66(1), 5.
- Van Heezik, Y.M., and Seddon, P.J. (1998). Range size and habitat use of an adult male caracal in northern Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments*, 40(1), 109-112.
- Veals, A.M., Burnett, A.D., Morandini, M., Drouilly, M., and Koprowski, J.L. (2020). *Caracal caracal* (Carnivora: Felidae). *Mammalian Species*, 52(993), 71-85.
- Yost, A.C., Petersen, S.L., Gregg, M., and Miller, R. (2008). Predictive modeling and mapping sage grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using Maximum Entropy and a long-term dataset from Southern Oregon. *Ecological Informatics*, 3(6), 375-386.

Investigating on Habitat Suitability of Caracal (*Caracal caracal*) in Yazd Province

Jalil Sarhangzadeh^{*1}, Parinaz Sadat Moavedivan², Hassan Akbari³



Research Article

1. Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

jsarhangzadeh@yazd.ac.ir

*Corresponding author

2. M. Sc. Student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

pmoaydiyan@yahoo.com

3. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

ha77.env@gmail.com

Article Code: 2511-1135

Countinus Pagnation: 1132-1142

Received: 16 November 2025

Accepted: 23 February 2026

Online: 12 April 2026

Review speed: 100 days

Citation:

Sarhangzade, J., Moayedivan, P. S., and Akbari, H. (2025). Investigating on Habitat Suitability of Caracal (*Caracal caracal*) in Yazd Province. *Management of Natural Ecosystems*, 5(3), 13-23.

Abstract

The effective management and conservation of wildlife populations depend on human understanding and prediction of wildlife habitat connectivity. Determining the distribution of species is essential for the conservation and management of populations, particularly threatened species. This study was conducted to assess the habitat suitability of the caracal (*Caracal caracal*) and the effective factors affecting on its distribution in Yazd province. The Maximum Entropy (MaxEnt) approach implemented in MaxEnt software was used for habitat suitability modeling of the caracal (*Caracal caracal*) from spring 2021 to spring 2023. Information layers determined as environmental variables affecting the distribution of the caracal include the elevation, aspect, slope percentage, soil, land use, climate, water resources, distance from asphalt roads, and distance from cities and settlements. Presence data was collected through field surveys across the province and entered into the MaxEnt software. Then, its relationship with digitized maps was examined. The results showed that approximately 5.12% (381437 ha) of Yazd province is suitable habitat for the caracal. Based on habitat suitability map, the caracal preferred an elevation range of 1000 to 1800 meters above sea level and slope of 10 to 30 percent. Furthermore, variables such as water sources (springs), high-quality rangelands, and northern slopes were important factors affecting the presence of this species. The model evaluation with an area under the ROC curve of 0.994 indicates excellent diagnostic power. Suitable, integrated habitats for the caracal are located within managed and hunting prohibited areas in Yazd province including Kalmand and Bahadoran, Bafgh Mountain, Ariz, Dareh Anjir, Bagh Shadi, Borouiyeh, Shirkuh, Siah Kooh, Qareh Tapeh, Marvar and Panjangoshti Abarkooh and they are more integrated.

Key Words:

Wildlife, Habitat, Maximum Entropy, Yazd Province.