

ارزیابی زیستگاه آهو (*Gazella subgutturosa*) با روش آنترپی بیشینه در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران یزد، ایران

مریم مروتی^{۱*}، ناصر کمالیان مهریزی^۱، سعید محمدی^۲

^۱گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

^۲پژوهشکده آب، انرژی و محیط زیست، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

*نویسنده مسئول: mymorovati@ardakan.ac.ir

^۲گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

مقدمه: نابودی زیستگاه یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدیدکننده تنوع زیستی و گونه‌ها محسوب می‌شود. تجزیه زیستگاه و محدود شدن جمعیت‌های محلی به زیستگاه‌های کوچک موجب افزایش درون‌آمیزی، کاهش تنوع ژنتیکی، افزایش حوادث دموگرافیک و در نتیجه افزایش ریسک انقراض است. آهوی ایرانی (*Gazella subgutturosa*) با وضعیت حفاظتی آسیب‌پذیر (Vu) در فهرست سرخ IUCN از گونه‌های شاخص زیستگاه‌های دشتی ایران است که در بیشتر مناطق کشور پراکنش دارد. اما بنا بر عللی مانند شکار بی‌رویه و تغییر کاربری زیستگاه‌ها جمعیت آن کاهش شدیدی یافته و نیازمند حفاظت قوی‌تری در شبکه مناطق حفاظت شده ایران می‌باشد در این پژوهش با استفاده از مدل بیشینه بی‌نظمی توزیع گونه-ای آهوی ایرانی در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران یزد مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: اطلاعات حضور آهو در منطقه از طریق پایش میدانی و مشاهدات مستقیم، آثار و نمایه‌های به جا مانده نظیر سرگین، ردپا و محل استراحت در خصوص گونه در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران طی چهار فصل در سال ۱۴۰۱ تعیین و با دستگاه موقعیت یاب جهانی ثبت شد. در این مطالعه از متغیرهای شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از منابع آب، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از آبشخور و پوشش گیاهی جهت مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه استفاده شد. مدل‌سازی با استفاده از مدل بیشینه بی‌نظمی در نرم‌افزار مکسنت (MaxEnt) انجام شد و در نهایت، نقشه توزیع گونه بدست آمد. برای بررسی پراکنش آهو در منطقه در مجموع از ۴۱ نقطه حضور گونه استفاده شد.

نتایج: نتایج حاصل از مدل بیشینه آنترپی برای تعیین پتانسیل‌های زیستگاهی آهو در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران حاکی از بیشترین پتانسیل توزیع در مناطق مرکزی و شمال غربی منطقه است. همچنین نتایج نشان داد که مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی حضور آهو در منطقه مورد مطالعه داشته و در تمام حد آستانه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری با مدل تصادفی است (AUC=0.812; P<0.0001). نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی با استفاده از روش جک‌نایف^۱، نشان داد متغیرهای ارتفاع، فاصله از منابع آبی و جهت جغرافیایی برای آهو در منطقه از اولویت بالاتری برخوردار هستند.

بحث: با توجه به خشکسالی‌های متوالی، تعداد زاد و ولد گونه آهو در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران کاهش پیدا کرده است. یکی دیگر از عوامل کاهش جمعیت آهو در منطقه، تصادفات جاده‌ای است که دلیل آن عبور جاده ترانزیت و جاده‌های روستایی در منطقه می‌باشد. وجود سگ‌های ولگرد در حاشیه روستاها، شکارچیان متخلف، طعمه شدن توسط جانوران گوش‌تخوار از جمله سگ سانان و گربه‌سانان و پرندگان شکاری مانند گرگ، کاراکال و عقاب از دیگر عوامل کاهش جمعیت

^۱ - Jackknife

آهو در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، ولی از آنجایی که منطقه کالمند بهادران یک زیستگاه مناسب برای این گونه بوده و جمعیت نسبتاً بالایی از آهوی ایرانی را دارا می‌باشد. در مجموع می‌توان با در نظر گرفتن نواحی مورد استفاده توسط آهوها و نواحی که در مدل مناسب تشخیص داده شده‌اند، به این نتیجه رسید که وسعت بالفعل زیستگاه مطلوب برای گونه در منطقه حفاظت شده کالمند-بهادران بیش از آن مقداری است که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت و برنامه‌ریزی مطلوب این نواحی، می‌تواند جمعیت بیشتری از تعداد آهو را که تا امروز در این منطقه وجود داشته است را حفاظت نماید و سطح زیستگاه مطلوب را در منطقه بهبود بخشد. از نتایج این مطالعه می‌توان در اجرای اقدامات حفاظتی و مدیریتی جهت افزایش زیستگاه‌های مطلوب در سطح استان یزد نیز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آهوی ایرانی، توزیع، مدل مکسنت، مطلوبیت زیستگاه

مقدمه

پویایی جمعیت حیوانات وحشی به شدت با تغییرات محیطی در زیستگاه آنها مرتبط است (Naderi et al., 2013). در سطح جهانی، از دست دادن و تخریب زیستگاه به عنوان یکی از تهدیدات جدی شناخته شده است که منجر به کاهش گسترده جمعیت یا انقراض گونه‌ها می‌شود (Liu et al., 2023). حفاظت از زیستگاه حیات وحش به طور گسترده به عنوان یک پیش‌نیاز برای حفاظت از تنوع زیستی در نظر گرفته می‌شود (Banks-Leite et al., 2020). تکه تکه شدن زیستگاه‌ها به دلیل عوامل انسانی به عنوان یکی از شایع‌ترین محرک‌های نوسانات جمعیت حیات وحش شناخته می‌شود و اغلب به عنوان عامل اصلی بحران انقراض جهانی فعلی دخیل است. تکه تکه شدن ممکن است خطر انقراض گونه را افزایش دهد زیرا اغلب توانایی جمعیت را برای حرکت در پاسخ به اختلالات، مانند تخریب زیستگاه و مزاحمت‌های انسانی محدود می‌کند. این به نوبه خود می‌تواند منجر به کاهش تنوع ژنتیکی جمعیت شود و با هم امکان تداوم پایداری گونه‌ها را تهدید کند. بنابراین، حفظ پیوستگی زیستگاهی برای جمعیت حیات وحش، گام اولیه و ضروری برای جلوگیری از تاثیر فزاینده فعالیت‌های انسانی بر سیستم‌های طبیعی است (Zhuo et al., 2022).

آهوی ایرانی *Goitered Persian Gazelle Gazella subgutturosa*, Guldenstaedt 1780 یکی از گونه‌های علف‌خوار ساکن در ایران است. طبق آخرین ارزیابی فهرست قرمز اتحادیه جهانی حفاظت (IUCN)، آهوی ایرانی یک گونه آسیب‌پذیر (Vu) است که روند فعلی جمعیت آن در حال کاهش است. گروه تخصصی IUCN SSC Antelope گزارش داده است که این گونه در ۱۱ کشور وجود دارد که همه آنها در قاره آسیا هستند. معمولاً در زیستگاه‌های استپی، نیمه بیابانی، درخت‌زارها و بوته‌زارها زندگی کرده و تپه‌ماهورها و دشت‌های پوشیده از درمنه را ترجیح می‌دهد (Ashouri Rad et al., 2018). این گونه به دلیل لزوم تحرک و جابجایی به صورت روزانه به زیستگاه وسیع و یکپارچه نیاز دارد (Razghandi et al., 2018). بر اساس گزارش سازمان حفاظت محیط زیست و مقامات محلی در مناطق اصلی زیستگاه این گونه، جمعیت *Gazella subgutturosa* به دلیل فعالیت‌های انسانی مانند شکار غیرقانونی، گسترش کشاورزی و شهرنشینی در سه دهه گذشته به شدت حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است (Kaky et al., 2023). همچنین فشار بشر در مناطق حفاظت‌شده و مرزهای آن‌ها باعث ایجاد پیامدهایی برای توزیع گونه‌ها و تنوع زیستی می‌گردد و تغییراتی در وسعت زیستگاه، زمین‌سیما و ساختار زیستگاه به وجود می‌آورد. این عوامل باعث شده تا کمی کردن لکه‌لکه شدن یا از هم گسیختگی سیمای سرزمین و همچنین بررسی یکپارچگی مناطق به یک امر مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق حفاظت شده تبدیل گردد (Sadegh Oghli et al., 2019).

ارزیابی زیستگاه مناسب برای پراکنش جانوران یکی از راه‌های دستیابی به اهداف حفاظت از تنوع زیستی می‌باشد. به منظور آگاهی از وضعیت موجود گونه و رفع چالش‌های پدید آمده ارزیابی میزان سطح زیستگاه مطلوب گونه بسیار مهم تلقی می‌شود (Morovati et al., 2019). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs)^۱ که مدل‌های کمی یا تجربی هستند که داده‌های مربوط به وقوع

¹ Species distribution models

شناخته شده یک گونه را با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، مدل‌های آماری و الگوریتم‌های رایانه‌ای ترکیب می‌کنند تا محاسبه مقادیر برای هر پیش‌بینی‌کننده و نحوه تأثیر آن بر گونه‌های مورد علاقه در هر مکان از وقوع شناخته شده، و سپس مناطق مناسب را بر اساس این متغیرهای پیش‌بینی‌کننده شناسایی می‌کند (Mouafo *et al.*, 2023). مدل‌های توزیع گونه‌ها زمینه تحقیقاتی به سرعت در حال رشد هستند (Brotons, 2014) و در زمینه‌های مختلف مانند بوم‌شناسی، جغرافیای زیستی، حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت منابع طبیعی استفاده می‌شوند (Guisan *et al.*, 2013). این مدل‌ها فراتر از پیش‌بینی توزیع گونه‌ها، به طور گسترده برای انواع برنامه‌های کاربردی جغرافیای زیستی، مانند مطالعه اثرات تغییرات آب و هوایی، شناسایی مناطق حفاظت شده بالقوه، تعیین مکان‌های به‌طور بالقوه مستعد در معرض تهاجم، نقشه‌برداری گسترش و خطر بیماری واگیردار و رویشگاه مطلوب گونه‌های گیاهی نیز به کار برده می‌شود (Afshin *et al.*, 2022) دانش بوم‌شناختی قوی از پراکنش بالقوه و زیستگاه‌های مناسب گونه‌هایی که جمعیت آنها در محدوده پراکنش آنها در حال کاهش است، برای برنامه‌ریزی حفاظت بلندمدت آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Akrim *et al.*, 2017). در صورت عدم اطلاعات کافی در زمینه عدم حضور گونه‌ها و یا اینکه داده‌ها نامعتبر و نامطمئن هستند از روش‌های مبتنی بر داده‌های حضور استفاده می‌شود.

طی دو دهه گذشته روش‌های جدید تعیین زیستگاه مناسب بر پایه داده‌های حضور ابداع شده‌اند که الگوریتم پیشینه‌بی‌نظمی از جمله آنهاست. این مدل یکی از الگوریتم‌های رایج ماشینی است که کاربرد این قاعده توسط قوانین ترمودینامیک فرایندهای بوم‌شناختی حمایت می‌شود (Philips *et al.*, 2006). این الگوریتم از جمله روش‌هایی است که با وجود تعداد کم نقاط حضور از توان پیش‌بینی بالایی برخوردار است و به دلیل صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه مطالعه به گستردگی مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است (Merow *et al.*, 2013; Yousefi *et al.*, 2023; Kufa *et al.*, 2022; Mohammadi *et al.*, 2016; Khosravi *et al.*, 2019). مدل پیشینه‌بی‌نظمی در مدل‌سازی وابستگی‌های غیرخطی پیچیده میان متغیرهای محیطی و نواحی حضور گونه‌ها در یک فضای چند بعدی دارای انعطاف‌پذیری بالایی است و نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی حضور گونه‌هاست (Eslamloo *et al.*, 2022).

آهوی ایرانی یکی از گونه‌های پستانداران نشخوارکننده دشت‌های ایران است که در راسته زوج‌سمنان و خانواده گاوسانان قرار دارد (Karami *et al.*, 2015). دشت‌زی بودن گونه سبب گردیده که بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از تخریب زیستگاه‌ها و تعارضات انسان ساخت قرار گیرد (Esmaeili *et al.*, 2020).

از جمله مطالعات جدید انجام گرفته در زمینه مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه آهوی ایرانی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. Nagibzadeh و همکاران (۲۰۲۲) با مطالعه مطلوبیت زیستگاه آهوی ایرانی در دشت سملقان خراسان شمالی توسط مدل-سازی مکسنت مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش در این منطقه را طبقات اقلیم مدیترانه‌ای، شیب صفر تا ۵ درصد و مراتع تنک با تیپ پوشش گیاهی *Acantholimon-Astragalus* بیان نمودند. Nagibzadeh و همکاران (۲۰۲۱) زیستگاه‌های مطلوب آهوی ایرانی در منطقه حفاظت شده بیدویی استان کرمان را با استفاده از نقاط حضور گونه توسط روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی در نرم‌افزار بایومپر پیش‌بینی کردند. متغیرهای ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متر، جهت‌های جغرافیایی غربی و جاده‌های فنس‌کشی شده نسبت به سایر متغیر محیط زیستی اهمیت بیشتری دارند. Esmaeili و همکاران (۲۰۲۰) به منظور شناسایی مسیرهای ارتباطی این گونه در منطقه شکار ممنوع قراویز و مناطق مجاور محدوده پراکنش در عراق مطلوبیت زیستگاه را با مدل مکسنت تهیه نموده‌اند. نتایج مطالعه نشان داد متغیرهای فاصله از جاده، ارتفاع و شیب بیشترین نقش را در پراکنش گونه داشته‌اند. Madadi و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه آهوی ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش مبتنی بر داده‌های فقط حضور و تجزیه و تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی پرداختند. مهم‌ترین عوامل مؤثر در پراکنش گونه مورد مطالعه درصد شیب، فاصله از جاده و فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی ذکر شده است.

این مطالعه با هدف بررسی زیستگاه مطلوب و پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل پراکنش آهو در منطقه حفاظت‌شده کالمند بهادران یزد انجام گرفت که تکمیل‌کننده مطالعات Morovati و همکاران در سال ۲۰۱۹ با مدل ارزیابی چند معیاره می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از مدل انتروپی پیشینه، علاوه بر تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه برای گونه مورد مطالعه، سهم نسبی هر یک از متغیرهای محیطی در پراکنش گونه (که بیشترین میزان مشارکت را در ساخت مدل توزیع گونه داشتند) و تعیین مهم‌ترین متغیر مؤثر با استفاده از آزمون جک نایف نیز انجام شد.

مواد و روش‌ها

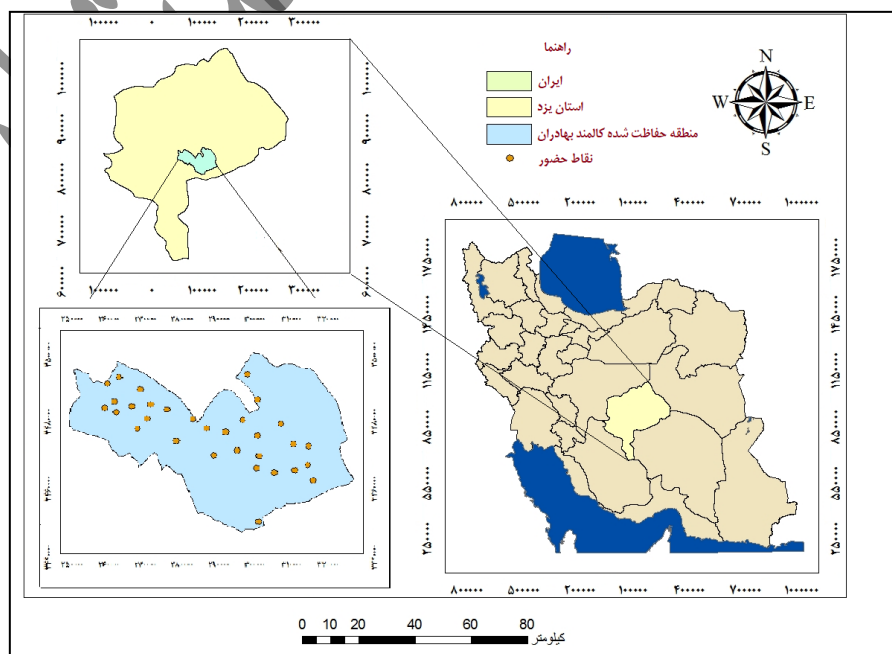
منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت‌شده کالمند- بهادران با مختصات جغرافیایی ۲۰ دقیقه و ۵۴ درجه تا ۱۳ دقیقه و ۵۵ درجه شرقی و ۴ دقیقه و ۳۱ درجه تا ۳۶ دقیقه و ۳۱ درجه عرض شمالی (شکل ۱) و وسعتی معادل ۲۵۰۰۰۰ هکتار در جنوب شهرستان مهریز استان یزد، واقع شده است. بیش از نیمی از سطح منطقه، نقاط دشتی و مابقی را ارتفاعات صعب‌العبور، کوهپایه‌ها و تپه ماهورها تشکیل داده است. مرتفع‌ترین نقطه منطقه با ارتفاع ۳۲۹۰ متر در شمال منطقه و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا در کفه مهدی‌آباد قرار دارد. میزان بارش نزولات جوی به طور متوسط ۶۸/۶ میلی‌متر برآورد شده است (Morovati et al., 2019). منطقه حفاظت‌شده کالمند بهادران در ناحیه رویشی ایران و تورانی و زیر ناحیه استپی قرار دارد. عنصر اصلی تشکیل‌دهنده تپه‌های گیاهی همانند سایر مناطق استپی، درمنه (*Artemisia sp.*) می‌باشد.

چارچوب مدل‌سازی

-نقاط حضور گونه

نقاط حضور آهو، بر اساس مطالعات و بازدیدهای میدانی و مشاهدات مستقیم، آثار و نمایه‌های به جا مانده نظیر سرگین، ردپا، محل استراحت گونه در این منطقه طی چهار فصل در سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری و با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی ثبت گردید. تعداد نقاط ثبت شده ۴۱ نقطه می‌باشد (شکل ۱).



-انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده

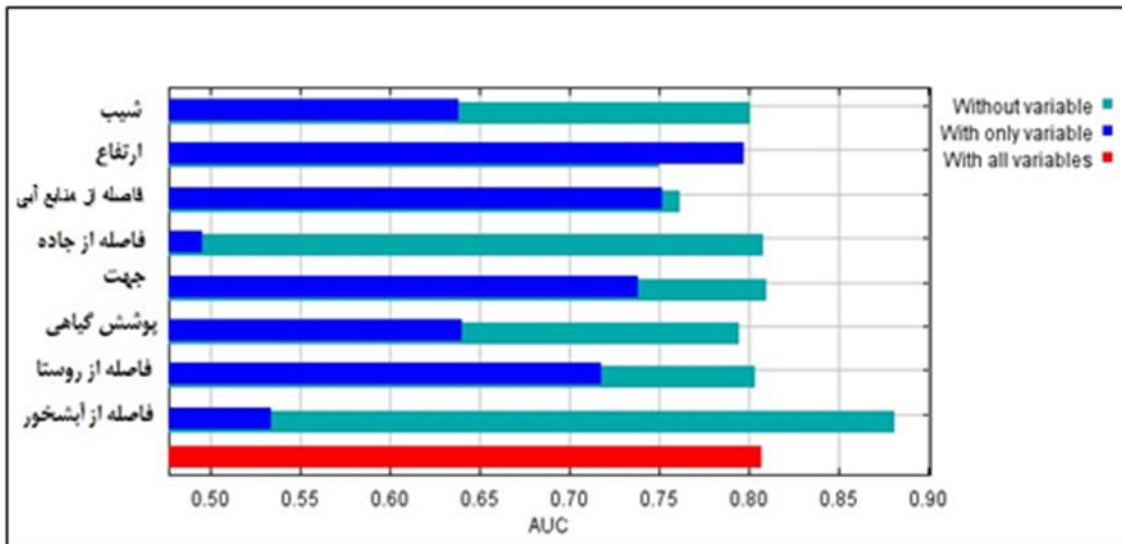
با مرور منابع موجود در مطالعات انجام شده روی گونه آهو (Khosravi *et al.*, 2016; Esmaeili *et al.*, 2020; Naqibzadeh *et al.*, 2021; 2022) و بررسی‌های میدانی، عوامل محیطی تاثیرگذار بر پراکنش آهو، شناسایی و هشت متغیر انتخاب شد. این متغیرها شامل شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، جهت، پوشش گیاهی، فاصله از روستا و فاصله از آبشخور در مقیاس ۲۵۰ متر بودند. برای آماده‌سازی متغیرهای محیطی از نرم‌افزار ArcGIS10.1 استفاده شد. برای محاسبه همبستگی بین متغیرها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. متغیرهای دارای همبستگی بیشتر از ۰/۷ حذف شدند. برای سنجش همبستگی لایه‌های محیطی نیز از نرم‌افزار ENMtools استفاده شد (Warren *et al.*, 2010).

مدل‌سازی

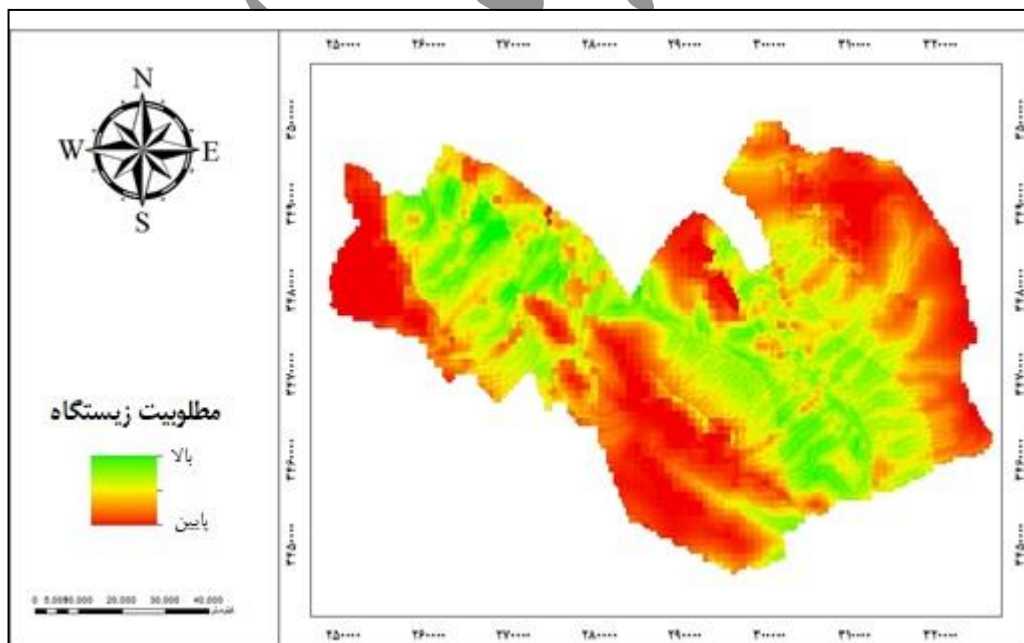
به منظور مدل‌سازی توزیع گونه آهو در منطقه با استفاده از الگوریتم پیشینه بی‌نظمی و نرم‌افزار مکسنت انجام شد. داده‌های حضور به داده‌های یادگیری/آموزشی (۷۵٪) و داده‌های آزمون مدل (۲۵٪) تقسیم شد. داده‌های یادگیری و آزمون مدل به صورت تصادفی از میان داده‌های موجود انتخاب شدند. تعداد ۱۵ تکرار برای ارزیابی متقابل و ۵۰۰۰ اجرا برای مدل‌ها در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی نتایج مدل از مساحت زیر منحنی (AUC) در تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت کننده (ROC) استفاده شد که معیار معرفی شده برای ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار ROC صحت حضور پیش‌بینی شده (حساسیت) را در مقابل صحت عدم حضور پیش‌بینی شده (اختصاصی بودن) نشان می‌دهد. اگر AUC کمتر یا برابر ۰/۵ باشد، به معنی عدم تفاوت پیش‌بینی مدل با پیش‌بینی توسط نقاط تصادفی است. عدد ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدل مطلوب، ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (Farashi *et al.*, 2018). جهت به دست آوردن فواصل اطمینان، ۹۹۹ بار محاسبه AUC از طریق بوت‌استرپ انجام گردید.

نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد متغیرهای ارتفاع، فاصله از رودخانه و جهت جغرافیایی به عنوان مهم‌ترین متغیرها در مدل‌سازی پراکنش گونه مورد مطالعه داشته است (شکل ۲). نتایج حاصل از مدل‌سازی توزیع گونه نشان داد که مناطق دشتی مرکزی و شمال شرقی و همچنین برخی مناطق شرقی منطقه حفاظت‌شده کالمنده بهادران دارای بیشتری مطلوبیت برای حضور گونه مورد مطالعه هستند (شکل ۳). مناطق با مطلوبیت بالا به رنگ سبز که نشان‌دهنده احتمال حضور بالای گونه است و رنگ قرمز نشان‌دهنده محدوده‌ای است که احتمال حضور گونه بسیار ضعیف می‌باشد. مساحت مناطق مطلوب (مجموع درجه خوب و متوسط) آهو در منطقه مورد مطالعه معادل ۱۰۸۹۰۸ هکتار (۴۷/۵۶ درصد) است. جدول ۱ درصد سهم نسبی هر متغیر را در پیش‌بینی بر اساس همبستگی بین متغیرها مشخص می‌کند. فاصله از آبشخورها (۲۹/۹)، شیب (۲۹/۴)، و فاصله از منابع آبی (۲۵/۲) بیشترین میزان مشارکت را در ساخت مدل توزیع گونه داشتند. متغیر ارتفاع به تنهایی ۴۶/۳ درصد تغییرات کل را به خود اختصاص داده است (جدول ۱).



شکل ۲- نتایج روش جک نایف برای پیش بینی مهمترین متغیرهای موثر بر پراکنش آهو در منطقه مورد مطالعه



کارایی مدل، با استفاده از شاخص سطح زیر منحنی (AUC) که در واقع سطح زیر منحنی را نشان می‌دهد مشخص می‌شود. بر اساس نتایج کارایی مدل نشان داد که مدل استفاده شده کارایی قابل قبول و دقت مناسب دارد و مقدار AUC برای داده‌های یادگیری ۰/۸۶۱ که گویای کارایی خوب مدل در پیش‌بینی پراکنش آهو و بدون حذف هیچکدام از نقاط حضور است و مقدار این شاخص برای داده‌های آزمون ۰/۸۰۷ می‌باشد.

جدول ۱- سهم نسبی هر متغیر در پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه آهو

متغیر (درصد مشارکت)	سهم درصدی	اهمیت ترتیب فاکتورها
فاصله از آبشخور	۲۹/۹	۹/۳
شیب	۲۹/۴	۷/۷
فاصله از منابع آبی	۲۵/۲	۲۸/۹
ارتفاع	۱۰/۱	۴۶/۳
جهت	۲/۹	۰/۶
فاصله از روستا	۲/۹	۶/۹
پوشش گیاهی	۰/۶	۰/۴
فاصله از جاده	۰	۰

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات زیستگاه و پایش یکپارچگی سیمای سرزمین در مناطق حفاظت شده یکی از مسائل مهم برای سازمان‌های مسئول حفاظت از تنوع زیستی به‌شمار می‌رود (Mairota et al., 2013). جمعیت آهوی ایرانی در دهه‌های اخیر بنابر عللی نظیر شکار بی‌رویه، تبدیل زیستگاه‌ها به باغات و زمین‌های کشاورزی کاهش چشمگیری داشته است (Hosseini et al., 2017). در مطالعه حاضر با استفاده از مدل حداکثر آشفتنگی، نقشه مطلوبیت زیستگاه آهو در منطقه حفاظت شده کالمند-بهداران یکی از زیستگاه‌های ویژه آهو در مرکز ایران تهیه شد. مناطق استپی و بیابانی مرکزی و حاشیه شمالی محدوده مطالعاتی دارای مطلوبیت بالا برای زیست گونه شاخه‌شده، این گونه دارای وابستگی‌های زیستگاهی به دشت‌های استپی و بیابانی با پوشش درمنه است و تپه‌ماهورهای کوتاه واقع در دشت‌های مسطح را برای زندگی ترجیح می‌دهد و امکان زیست در مناطق کوهستانی و صخره‌ای را ندارد. با توجه به نتایج این مطالعه، مناطق کم ارتفاع، و نزدیک به منابع آبی مهمترین مناطق توزیع گونه در منطقه مورد مطالعه هستند که نتایج این مطالعه مشابه مطالعات قبلی است (Hosseini et al., 2017; Karami et al., 2016). همچنین نتایج نشان داد که زیستگاه مناسب و مطلوب گونه دارای ارتفاع پست‌تر نسبت به زیستگاه‌های نامطلوب است. ترجیح زیستگاهی برای آهو ترکیب مناطق دشتی و تپه‌ای است تا علاوه بر تامین نیازهای غذایی، امنیت خود را بالا ببرد. بر طبق آمار بدست آمده از سرشماری، جمعیت آهو در منطقه حفاظت شده کالمند-بهداران در سال ۱۴۰۱ حدود ۸۰۵ راس برآورد شده است که نسبت به سال ۱۴۰۰ تعداد ۱۰۰ راس کاهش داشته است (Environmental Protection Department of Mehriz city, 2023). در این مطالعه مهمترین عواملی که در تعیین و کاهش مطلوبیت زیستگاه آهو نقش مؤثرتر و بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند به ترتیب ارتفاع، منابع آبی و جهت جغرافیایی می‌باشد. مطالعه‌ای که بر روی آهوی ایرانی در منطقه حفاظت‌شده هفتادقله صورت گرفت نشان‌دهنده این است که آهو، مناطقی با ارتفاع کم، شیب کم، نزدیک به منابع آبی و دور از جاده‌ها، مزارع و معادن را ترجیح می‌دهد (Hosseini et al., 2017). مطالعه Morovati و همکاران در سال ۲۰۱۹ با هدف ارزیابی زیستگاه آهو در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران با استفاده از مدل ارزیابی چند معیاره (MCE)، انجام شد. متغیرهای زیستگاهی مورد استفاده برای این مدل‌سازی در این مطالعه شامل: شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع، تراکم فلور منطقه، منابع آب، مزارع کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی بودند نتایج حاصل از رتبه‌دهی متغیرها در این مطالعه نشان داد از بین متغیرهای مورد استفاده، متغیر جاده بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و تاثیر جاده‌های اصلی بر کیفیت زیستگاه این گونه حائز اهمیت است. به عنوان مثال جاده ترانزیت یزد-کرمان در محدوده مورد مطالعه باعث تجزیه زیستگاه آهو به دو قسمت تقریباً مجزا شده و منجر به تصادفات جاده‌ای و تلفات این گونه می‌شود. لذا یکی از مهم‌ترین تدابیر مدیریتی برای زیستگاه‌هایی نظیر منطقه مورد مطالعه حفظ پیوستگی زیستگاه و حفظ اندازه جمعیت

موثر از طریق کاهش یا افزایش جمعیت می‌باشد (Morovati et al., 2019). تخریب زیستگاه از قبیل احداث سکونت‌گاه‌های انسانی و جاده‌های دسترسی متعدد زمینه افزایش شکار غیرمجاز را فراهم و کنترل آن را دشوار می‌سازد (Akbari et al., 2013). مشاهدات میدانی طی نمونه برداری در منطقه نشان داد از بین عوامل موثر در تلفات آهوان بالغ، شکار غیرمجاز مهم‌ترین عامل مستقیم تلفات شناخته شده است. مقایسه نتایج مطالعه انجام شده و مطالعه Morovati و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد سطح زیستگاه مطلوب (مجموع درجه خوب و متوسط) منطقه از ۶۸ درصد به ۴۵ درصد کاهش یافته است همچنین در مقایسه این دو مطالعه می‌توان گفت داده‌های حضور گونه در این مطالعه با بررسی و حضور بیشتر در منطقه و با تعداد بیشتری جمع‌آوری شده است. در مورد کاربرد دو مدل در این دو مطالعه می‌توان گفت ارزیابی با مدل آنتروپی بیشینه یا مکسنت در مقایسه با ارزیابی چند معیاره نیاز به نرم‌افزار دیگری ندارد مدلسازی آنتروپی بیشینه در نرم‌افزار مکسنت انجام می‌شود نرم‌افزار مکسنت یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی است که قابلیت نصب بر روی سیستم ندارد و تحت سیستم عامل جاوا کار می‌کند و همچنین ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌ها در داخل خود نرم‌افزار انجام می‌شود.

با توجه به مطالعه حاضر و نتایج بدست آمده برخی پیشنهادات کاربردی در جهت حفظ این گونه بشرح زیر ارائه می‌گردد: ارزیابی زیستگاه آهوی ایرانی با استفاده از سایر مدل‌های ارزیابی زیستگاه و نرم‌افزارهای مختلف دیگر. انجام مطالعات تکمیلی بلندمدت در خصوص بوم‌شناسی گونه در منطقه مورد مطالعه و مناطق همجوار در استان یزد. جلوگیری از تغییرات انسان‌ساخت و تغییر کاربری در زیستگاه گونه.

تشکر و قدردانی

از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان یزد به ویژه بخش محیط طبیعی و محیط بانان منطقه حفاظت شده کالمند-بهادران که جهت انجام این پژوهش ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از دواران محترم که با نظرات خود بر غنای محتوای مقاله افزودند سپاسگزاریم.

References

1. Akbari, H., Habibi, A., and Zaree, R., 2013. Investigation on Population Characteristics, Association Patterns and Decreasing of *Gazella Subgutturosa* Population in Kalmand–Bahadoran Protected Area in Yazd province. *Environmental Researches*, 3(6), 75-81. (In Farsi).
2. Akrim, F., Mahmood, T., Hussain, R., Qasim, S. and Zangi, I.D., 2017. Distribution pattern, population estimation and threats to the Indian Pangolin *Manis crassicaudata* (Mammalia: Pholidota: Manidae) in and around Pir Lasura National Park, Azad Jammu & Kashmir, Pakistan. *Journal of Threatened Taxa*, 9 (3), 9920–9927.
3. Ashouri Rad, A., Rahimi, R. and Shams Esfandabad, B., 2018. Modeling habitat suitability for Goitered Gazelle (*Gazella subgutturosa*) in Sorkheh Hesar national park. *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 19 (4): 193- 207. (In Farsi).
4. Banks-Leite, C., Ewers, R.M., Folkard-Tapp, H. and Fraser, A., 2020. Countering the effects of habitat loss, fragmentation, and degradation through habitat restoration. *One Earth*, 3, 672– 676.
5. Brotons, L., 2014. Species Distribution Models and Impact Factor Growth in Environmental Journals: Methodological Fashion or the Attraction of Global Change Science. *PLOS ONE*, 9 (11): 1- 5.
6. Environmental Protection Department of Mehriz city., 2023. census form. (In Farsi).
7. Eslamloo, K., Ahmadi Nadoshan, M. and Chamani, A., 2022. Evaluation of habitat suitability and overlap of Larestan ram (*Ovis orientalis laristanica*) ecological nest in

- Hermoud protected area using Maxent model. *Journal of Animal Environment*, 14 (2): 17- 26 (In Farsi).
8. **Esmaeili, M., Shayesteh, K., Karami, P.** 2020. Investigation of Habitat Suitability and Connectivity Pathways of Persian Gazelle (*Gazella subgutturosa subgutturosa*) in the West of Kermanshah province and East of Iraq (Case Study: Qaraviz No-Hunting Area). *Animal Environment*, 12(1): 23-30. (In Farsi).
 9. **Farashi, A., Sarbaz, M., and Khani, A.,**2018. Predicting presence of marbled polecat (*Vormela peregusna*) in Khorasan Razavi province using MaxEnt. *Experimental animal Biology*, 7(1), 35-44. (In Farsi).
 10. **Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. and Tulloch, A.** Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16: 1424- 1435.
 11. **Hosseini, G., Shams sfandabab, B., and Alizadeh shabani, A.,** 2017. Habitat suitability evaluation for Persian Gazelle (*Gazella subgutturosa*) in Haftad Qolleh Protected Area, Markazi province in central Iran. *Journal of Natural Environment*, 69(4), 965-979. doi: 10.22059/jne. 2017.118573.884. (In Farsi).
 12. **Kaky, E., Nolan, V., Khalil, M., Ameen Mohammed, A. M., Ahmed Jaf, A. A., Mohammed-Amin, S., Ali Mahmood, Y. and Gilbert, F.,** 2023. Conservation of the Goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*) under climate changes in Iraq. *Heliyon*, 9 (2023): 1- 11.
 13. **Karami, M., Ghadirian, T., Faizolahi, K.,** 2015. The Atlas of the Mammals of Iran. Department of the Environment of Iran, Tehran, Iran.
 14. **Karami, P., Kamangar, M., & Hosseini, M.,** 2016. Modelling of Habitat Suitability of Persian Gazelle (*Gazella Subgutturosa Subgutturosa*) In Qaraviz No Hunting Area and Kermanshah Province by Using Artificial Neural Networks. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(3), 340-352. (In Farsi).
 15. **Khosravi, R., Hemami, M., Malekian, M., Flint, A., Flint, L.,** 2016. Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model. *Turkish Journal of Zoology*, 40:4 <https://doi.org/10.3906/zoo-1505-38>
 16. **Kufa, CA., Bekele, A., Atickem, A.,** 2022. Impacts of climate change on predicted habitat suitability and distribution of Djaffa Mountains Guereza (*Colobus guereza gallarum*, Neumann 1902) using MaxEnt algorithm in Eastern Ethiopian Highland. *Global Ecology and Conservation*, 35: e02094.
 17. **Liu, T., Jiang, Zh., Wang, W., Wang, G., Song, X., Xu, A. and Li, Ch.,** 2023. Changes in habitat suitability and population size of the endangered Przewalski's gazelle. *Global Ecology and Conservation*, 43:1- 13.
 18. **Madadi, M., Akbar Nrjad., F., Ghorbanzadeh, S.** 2018. Habitat suitability modeling of Gazella (*Gazella subgutturosa*) in Golestan National Park. *Animal Environment*, 10(1): 9-18. (In Farsi).
 19. **Mairota, P., Cafarelli, B., Boccaccio, L., Leronni, V., Labadessa, R., Kosmidou, V. and Nagendra, H.,** 2013. Using landscape structure to develop quantitative baselines for protected area monitoring. *Ecological indicators*, 33: 82- 95.
 20. **Malekian, M., Azimi E. and Pourmanafi, S.,** 2021. Modeling of habitat suitability and prioritizing of destruction factors for the common crane (*Grus grus*) in aquatic ecosystems of Markazi Province. *Journal of Animal Environment*, 13 (1): 129- 138. (In Farsi).
 21. **Merow, C., Smith, M. J., Silander, J. A.,** 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36: 1058-1069.

22. **Mohammadi, S., Ebrahimi, E., Shahriari Moghadam, M., Bosso, L., 2019.** Modelling current and future potential distributions of two desert jerboas under climate change in Iran. *Ecological Informatics*, 52: 7-13.
23. **Morovati, M., Hoseini, Z. and Bahadori Amjaz, F., 2019.** Assessment of the level of desirability of habitat *Gazella subgutturosa* with MCE model (Case study: Kalmmand Bahadoran protected area in Yazd province). *Quarterly Journal of Experimental Animal Biology*, 8 (2): 83- 91. (In Farsi).
24. **Mouafo, A., Tedonzong, L., Ingram, D., Binda, V., Nfor Ngwayi, I. and Mayaka, Th., 2023.** Maximum entropy modeling of giant pangolin *Smutsia gigantea* (Illiger, 1815) habitat suitability in a protected forest-savannah transition area of central Cameroon. *Global Ecology and Conservation*, 43: 1- 12.
25. **Naderi, G., Riazi, B., Aref, N., Khalatbari, M., Mohammadi, S., Lahoot, M., Kamran, M., 2013.** Habitat preferences of Bezoar wild goats (*Capra aegagrus*) in Agh-Dagh protected area, Iran. *North-Western Journal of Zoology*, 9: 99-102.
26. **Naqibzadeh, A., Sarhangzadeh, J., Sotodeh, A., Jafari, M. J. 2022.** Habitat suitability modeling of Goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*): A Maximum Entropy approach from Samelghan plain, Iran. *Scientific Reports in Life Sciences*, 3(3): 11-28.
27. **Naqibzadeh, A., Sarhangzadeh, J., Sayedi, N. 2021.** Habitat suitability modeling of Goitered Gazelle (*Gazella subgutturosa*) by Ecological Niche Factor Analysis in the Bidouyeh protected area, Iran. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 5 (4): 15-27. DOI:10.22120/jwb.2021.528662.1223
28. **Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E., 2006.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
29. **Razghandi, A., Zebardast, L., Jafari, H. and Yavari, A., 2018.** Quantifying the Changes in Persian Gazelle Habitat in Shirahmad Wildlife Refuge Using Landscape Ecological Metrics. *Journal of Animal Environment*, 10 (3): 9-16. (In Farsi).
30. **Sadegh Oghli, R., Jahani, A., Alizadeh Shabani, A. and Goshtasb, H., 2019.** Quantifying the Fragmentation of Landscape as an Index for the Assessment of the Wildlife Habitat (Case Study: Protected Area of Jajroud). *Journal of Animal Environment*, 11 (1): 13- 20. (In Farsi).
31. **Warren, D.L., Glor, R.E., Turelli, M., 2010.** ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33: 607-611.
32. **Yousefi, M., Mohammadi, S., Kafash, A., 2023.** Modeling global habitat suitability and environmental predictor of distribution of a Near Threatened avian scavenger at high spatial resolution. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11: 1112962.
33. **Zhuo, Y., Xu, W., Wang, M., Chen, Ch., Silva, A., Yang, W., Ruckstuhl, K. and Alves, J., 2022.** The effect of mining and road development on habitat fragmentation and connectivity of khulan (*Equus hemionus*) in Northwestern China. *Biological Conservation*, 275: 1- 10.
34. **Ziaie H., 2011.** A field guide to the mammals of Iran, Iranian Wildlife Center, Tehran, Iran. Persian. (In Farsi).

Habitat assessment of the Goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*) by maximum entropy in Kalmand Bahadran protected area, Yazd, Iran

Maryam Morovati^{1,2*}, Naser Kamalian Mehrizi¹, Saeed Mohammadi³

¹Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, P.O.Box 184, Ardakan, Iran

²Water, Energy and Environment Research Institute, Ardakan University, P.O.Box 184, Ardakan, Iran

³Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.

Abstract

Introduction: Habitat destruction is one of the main threats to biodiversity and species. Decomposition of the habitat and decrease of local populations to small habitats cause an increase in inbreeding, a decrease in genetic diversity, an increase in demographic events, and as a consequence, an increase in the risk of extinction. The Goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*) with a vulnerable protection status is one of the key species of Iran's plain habitats, which is distributed in most regions of the country. But due to reasons such as indiscriminate hunting and habitat land use change, its population has decreased drastically and it needs stronger protection in the network of protected areas of Iran. *Gazella subgutturosa* is in the mammals' class, the order of Artiodactyla, the family of the Bovidae. In this study, the distribution of this species in the Kalmand Bahadran protected area of yazd has been investigated using the MaxEnt.

Materials and methods: Data presence points of the species were collected through field studies and direct observations, footprints and resting places for the species in the Kalmand Bahadran protected area during the four seasons of 2022 recorded and using GPS was registered. In this study, the variables of slope, aspect, dem, distance from the water sources, distance from the road, distance from the village, distance from the watering place and vegetation were used to model the habitat suitability. Modeling was done using MaxEnt model in MaxEnt software and finally, the species distribution map was obtained. To investigate the spatial distribution of the study species in the region, a total of 41 presence points were used.

Results: The results of the maximum entropy model showed that the greatest distribution potential in the central and northwestern regions of study area. Also, the results showed that the model has a high ability to predict the presence of *Gazella subgutturosa* in the study area and has a significant difference with the random model at all thresholds (AUC=0.812; $P < 0.0001$). The results of the sensitivity analysis using the jackknife method showed that the variables of dem, distance from the water sources, and aspect. are of higher priority for the species in this area.

Discussion: Due to successive droughts, the number of deer breeding in Kalmand Bahadran protected area has decreased. Another factor in the decrease of its population is the road accidents, which are caused by the passing of Tehran-Bandar Abbas transit road and rural roads in the region. The presence of free-ranging dogs on the outskirts of villages, illegal hunters, being preyed upon by carnivorous and Felidae and birds of prey such as wolves, caracal and eagles are other factors that decrease the population in the study area. But since the Kalmand area of Bahadran is relatively a good habitat for this species and support a relatively high number of species population. In general, by considering the areas used by Goitered gazelle and the areas identified in the suitable model, it can be concluded that the extent of the optimal habitat for the species in the Kalmand Bahadran protected area is more

than what is currently used. Correct management and planning of the suitable habitats in this area can protect more than the maximum number of Goitered gazelles that existed in this area until today and improve the level of necessary habitat in the area. The results of this study can be used in the implementation of protection and management procedures to increase appropriate habitats in Yazd province.

Keywords: Goitered gazelle, Distribution, MaxEnt Modeling, Habitat Desirability

نسخه پیش انتشار