



Original Research Paper

Habitat suitability modelling of wild goat using Maximum entropy (MaxEnt) model in Hormood protected area (Fars province, Iran)

*Borhan Yousefi*¹, *Ali Jafari*^{*1}, *Ali Asghar Naghipour*²

¹ Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

² Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Key Words

Species Distribution Model
Environmental variables
Mammals
Conservation

Abstract

Introduction: In this study, the habitat suitability of wild goats has been modeled in Hermod protected area with 208,731 hectares extent. This area, located in southern Zagros Mountains between Fars and Hormozgan provinces with a hot and dry climate, suffered severe droughts and a gradual decrease of habitats quality as a result in recent years. wild goat is a large-sized species and play a key role in the middle of the mountainous ecosystem's food chain in Iran.

In addition to controlling the balance of herbaceous species, this species plays an important role in the diet of large predators such as leopards and wolves. Two main goals of the present study were to identify the habitat prefers of this species and to determine the importance and degree of influence of each of the influencing factors on the suitability of its habitat.

Material & methods: Using global positioning system and field visits throughout the year (From the beginning of the spring to the end of the winter of 2023), 66 presence points of wild goats were recorded as dependent variables. Environmental variables (including 18 bioclimatic variables, three topographic variables and six human variables) was also assigned as independent variables and using the Maximum entropy (MaxEnt) software habitat suitability was modeled. To create 19 bioclimatic variables derived from temperature and precipitation (Bio1-Bio19), the Biovars function was used in the dismo package in the R software. 70% of the total presence points were used for modeling (training) and 30% for model validation (test). The validity of the model was measured based on the area under the ROC curve (AUC).

Results: The results of habitat suitability modeling showed that a total of 19021.72 hectares (9.11%) of the Hermod protected area, is suitable for wild goats. In terms of the validity of the model results, in this study, the value of AUC was 0.939, which indicates the excellent predictive performance of the model. The results of examining the importance of the factors affecting habitat suitability showed that the most important variables are elevation and slope with 37.3% and 19.3% respectively.

Conclusion: The results of the present study can help wildlife managers and policy makers to meet conservation and management goals and reduce the conflict between wildlife and humans.

* Corresponding Author's email: jafari.ali@sku.ac.ir

Received: 3 December 2023; Reviewed: 6 February 2024; Revised: 9 March 2024; Accepted: 9 April 2024

(DOI): 10.22034/AEJ.2024.434424.3087

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه کل و بز با استفاده از مدل آنروپی بیشینه در منطقه حفاظت‌شده هرمود (استان فارس، ایران)

برهان یوسفی^۱، علی جعفری^{۱*}، علی اصغر نقی‌پور^۲

^۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۲ گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

کلمات کلیدی

مقدمه: در این مطالعه مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه کل و بز در منطقه حفاظت‌شده هرمود با وسعت تقریبی ۲۰۸۷۳۱ هکتار، انجام شده است. این منطقه که در امتداد رشته کوه زاگرس بین دو استان فارس و هرمزگان واقع شده و دارای اقلیم گرم و خشک است، در سال‌های اخیر با خشکسالی‌های پیاپی و کاهش کیفیت تدریجی زیستگاه‌های موجود این گونه مواجه شده است. کل و بز جزء گونه‌های بزرگ جثه و در حلقه‌های میانی زنجیره غذایی اکوسیستم‌های مناطق کوهستانی ایران است. این گونه علاوه بر کنترل تعادل گونه‌های علفی، نقش مهمی در رژیم غذایی طعمه‌خواران بزرگ جثه مانند پلنگ و گرگ دارند. دو هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی و تعیین اولویت زیستگاه‌های با ارزش گونه مورد مطالعه و نیز تعیین اهمیت و درجه تأثیر هر یک از عوامل تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه آن بوده است.

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای
متغیرهای محیطی
پستانداران
حفاظت

مواد و روش‌ها: با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی و بازبازرسی میدانی در طول یک‌سال از ابتدای بهار سال ۱۴۰۱ تا آخر زمستان همان سال، ۶۶ نقطه حضور گونه به‌عنوان متغیر وابسته مشخص شد و در کنار متغیرهای محیطی (شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، سه متغیر توپوگرافی و ۶ متغیر انسانی) به‌عنوان متغیرهای مستقل با کمک نرم‌افزار آنروپی بیشینه (MaxEnt) مدل‌سازی صورت گرفت. برای ایجاد ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مشتق شده از دما و بارش (Bio1-Bio19)، از تابع biovars در پکیج dismo و نرم‌افزار R استفاده شد. از کل نقاط حضور، ۷۰ درصد برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شدند.

نتایج: نتایج مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه نشان داد که در مجموع ۱۹۰۲۱/۷۲ هکتار معادل ۹/۱۱ درصد سطح منطقه حفاظت‌شده هرمود به‌عنوان زیستگاه گونه کل و بز مطلوب می‌باشد. از نظر اعتبار نتایج مدل هم در این مطالعه مقدار شاخص سطح زیرمنحنی (AUC=۰/۹۳۹) به دست آمد که بیانگر قدرت پیش‌بینی عالی مدل برای زیستگاه گونه مورد مطالعه است. نتایج بررسی اهمیت عوامل تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه نیز نشان داد که مهم‌ترین متغیرها در تعیین مطلوبیت زیستگاه در منطقه حفاظت‌شده هرمود ارتفاع و سپس شیب به‌ترتیب با ۳۷/۳ و ۱۹/۳ درصد تأثیر هستند.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران حیات‌وحش کمک کند تا در جهت اهداف حفاظتی و مدیریتی و کاهش تضاد بین حیات وحش و انسان تلاش نمایند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: jafari.ali@sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳ آذر ۱۴۰۲؛ تاریخ داوری: ۱۷ بهمن ۱۴۰۲؛ تاریخ اصلاح: ۱۹ اسفند ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۱ فروردین ۱۴۰۳

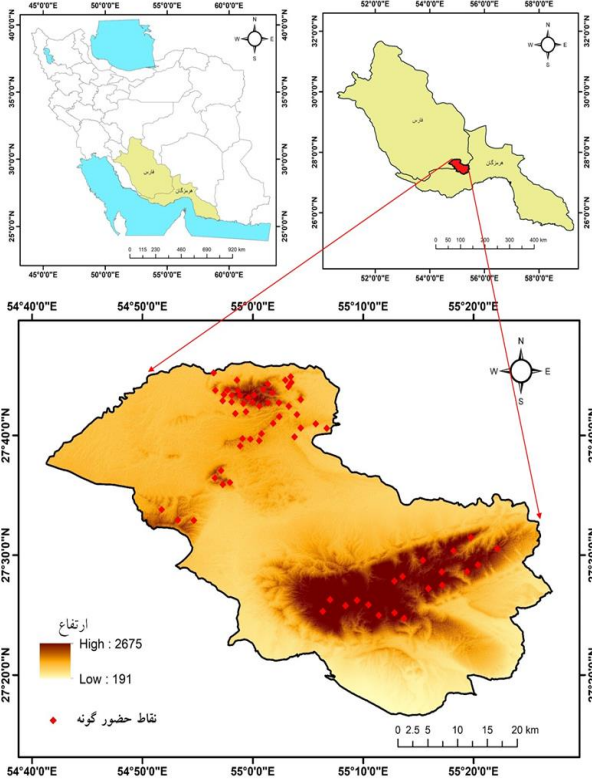
(DOI): 10.22034/AEJ.2024.434424.3087

مقدمه

محدودیت‌های بودجه، نیروی انسانی و زمان، مطالعه زیستگاه همه گونه‌ها در مقیاس وسیع را غیرممکن یا حداقل مشکل می‌نماید. از طرف دیگر فشار تهدیدهای انسانی و طبیعی و تأخیر در تصمیم‌گیری و عدم انجام اقدامات لازم در امر حفاظت نیز عملاً بسیاری از گونه‌ها و زیستگاه‌ها را به سرانشی انقراض نزدیک‌تر می‌نماید. درک رابطه بین یک گونه یا جامعه و محیط اطراف آن یک مفهوم کلیدی در بوم‌شناسی و حفاظت محسوب می‌شود. استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDMs: Species Distribution Models) برای این منظور، درک بسیاری از مسائل بوم‌شناختی را افزایش داده و ابزاری کلیدی در پیش‌بینی واکنش گونه‌ها به تغییرات محیطی به شمار می‌رود. بنابراین، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های شاخص و با اهمیت بوم‌شناختی بیش‌تر، به‌عنوان یک راه‌چاره در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های حفاظتی گونه‌ها در طول سال‌های اخیر توسط بسیاری از محققین، سازمان‌های جهانی و کشورهای مختلف به کار گرفته شده است. مدل‌های متعددی برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های مختلف ارائه شده است که اساس کار آن‌ها برپایه داده‌های حضور-عدم حضور (مانند مدل‌های عمومی خطی (General Linear Models) و مدل‌های عمومی افزایشی (General Additive Models)) یا فقط حضور (مانند مدل‌های تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (Ecological Nich Factor Analysis) و آنتروپی بیشینه (Maximum Entropy)) می‌باشد. قدرت پیش‌بینی این دو گروه مدل متفاوت است (۸). از این بین، مدل‌های مبتنی بر داده‌های فقط حضور مانند آنتروپی بیشینه (۲۵) با توجه به مزایای بسیار و دامنه کاربرد گسترده، در مطالعات مربوط به ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری مختلف به وفور استفاده شده است. به‌عنوان نمونه می‌توان به پیش‌بینی پراکنش پلنگ و قوچ و میش در منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد (۱۵)، پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب پلنگ ایرانی در منطقه حفاظت‌شده کوه بافق (۲۸) و هم‌پوشانی زیستگاه پلنگ ایرانی با زیستگاه گوسفند و بز وحشی در ایران (۲، ۶) اشاره نمود. کل و بز (Capra aegagrus, Erxleben, 1777) از علف‌خواران شاخص ارتفاعات صخره‌ای ایران بوده و نقش مهمی در اکوسیستم‌های کوهستانی به‌عنوان تنها علف‌خوار مناطق صعب‌العبور دارد. گونه مذکور از رده پستانداران، راسته زوج‌سمان و شاخه نشخوارکنندگان است که در ایران پراکندگی وسیعی دارد. اغلب سرشاخه‌خوار هستند و ساختار دندان در آن‌ها غیریکنواخت است و برای یک رژیم کامل علف‌خواری سازگار شده است (۱۹). کل و بز هم‌چنین یکی از مهم‌ترین طعمه‌های پلنگ است و چنان‌که Ebrahimi و همکاران، عنوان نمودند زیستگاه مطلوب پلنگ ایرانی

بیش‌ترین هم‌پوشانی را با زیستگاه این گونه دارد (۶). مطالعات نشان داده است که پستانداران بزرگ به‌دلیل جثه بزرگ و جمعیت کم، در برابر تغییرات اقلیمی، شکار غیرقانونی و تغییرات کاربری زمین آسیب‌پذیرتر هستند (۱۸). این گونه نیز از سوی اتحادیه جهانی حفاظت از حیات وحش و منابع طبیعی در فهرست گونه‌های آسیب‌پذیر قرار گرفته است (۱۴). با وجود آسیب‌پذیر بودن و اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی این گونه، پژوهش‌های اندکی در برخی پارک‌های ملی و مناطق حفاظت‌شده کشور از جمله دنا شرقی (۲۲)، منطقه حفاظت‌شده و پناهگاه حیات‌وحش بیستون (۱۳)، منطقه حفاظت‌شده خائیز (۵)، پارک ملی قمیشلو (۱)، پارک ملی گلستان (۲۱)، منطقه حفاظت‌شده کوه بافق یزد (۲۸)، در مورد مطلوبیت زیستگاه کل و بز صورت گرفته است. این واقعیت نشان‌دهنده نیاز مبرم به اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی برای حفظ و بهبود زیستگاه‌های این گونه و جمعیت آن و طعمه‌خواران وابسته به آن مانند گرو و پلنگ به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده دارد. در خارج از کشور نیز مطالعات متعددی در زمینه مطلوبیت زیستگاه کل و بز یا گونه‌های مشابه صورت گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعه تغییرات زمانی-مکانی بز کوهی تبتی (*Budorcas tibetanus*) در ۵ منطقه کوهستانی تبت، ایالت سیچوان (۴) و ارزیابی تأثیر گرمایش جهانی بر پراکنش غزال تبتی (*Procapra picticaudata*) در کشور چین (۱۶، ۳۳) اشاره نمود. Kaky و همکاران، نیز به پیش‌بینی زیستگاه‌های فعلی و آینده بز وحشی تحت سناریوهای تغییر اقلیمی مختلف در کشور عراق به‌منظور تعیین پناهگاه‌های لازم برای این گونه پرداختند. آن‌ها با استفاده از ۳۶ نقطه حضور ثبت شده برای این گونه و ۷ متغیر محیطی، پراکنش این گونه را مدل‌سازی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که همه زیستگاه‌های مطلوب این گونه محدود به مناطق شمال‌شرقی عراق واقع در کوه‌های زاگرس استان کردستان این کشور است. هم‌چنین ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی در پراکنش این گونه معرفی شد (۱۸). Paul و همکاران، به ارزیابی پراکنش گوزن مرداب (*Rucervus duvaucelii*) و تعیین نواحی دارای اولویت حفاظت این گونه در شمال هند با استفاده از مدل‌سازی و مطالعه میدانی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که کم‌تر از ۳ درصد سطح سیمای سرزمین به‌عنوان زیستگاه این گونه مطلوبیت دارد که ۱/۴ درصد در مناطق حفاظت‌شده و ۱/۶ درصد خارج از مناطق حفاظت‌شده واقع شده است (۲۴). هم‌چنین Jiang و همکاران، با تلفیقی از روش‌های آنتروپی بیشینه، شاخص مطلوبیت زیستگاه و تحلیل مولفه اصلی به بررسی و تعیین اولویت زیستگاه‌های مطلوب گونه‌آهوی تبتی در نخستین پارک ملی کشور چین یعنی سانجیانگوان (*Sanjiangyuan*) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتفاع، دامنه تغییرات میانگین دمای روزانه، میانگین دمای سردترین فصل سال و همدامی چهار

پلیکان، انواع ارک، هوبره، کبک، تیهو، چاخ لق، کوکر، قمری و نیز خزندگانی شامل افعی شاخدار، انواع مارمولک و بز مچه می‌باشد (۲۷).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط حضور گونه

تعیین نقاط حضور گونه: نقاط حضور گونه در منطقه مورد مطالعه از طریق بازدیدهای گسترده میدانی در فصول مختلف سال و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و در طول مسیرهای مشخصی که عمدتاً مناطق کوهستانی منطقه و زیستگاه بالفعل گونه را شامل می‌شود، انجام شد. در ثبت نقاط حضور حداقل فاصله بین افراد مشاهده شده گونه براساس گستره خانگی و توان تحرک گونه مد نظر قرار گرفت تا از عدم ثبت نقاط تکراری برای افراد معین از گونه اطمینان حاصل شود. هم‌چنین برای یک یا چند فرد از گونه که با هم مشاهده شدند تنها یک نقطه حضور ثبت شد. در مجموع تعداد ۶۶ نقطه حضور (شکل ۱) برای کل و بز در منطقه حفاظت شده هرمود ثبت شد (شکل ۱). از این تعداد ۷۰ درصد (۴۶ نقطه) برای ساخت مدل و ۳۰ درصد (۲۰ نقطه) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی: براساس مرور منابع انجام شده، بوم‌شناسی گونه مورد مطالعه و ویژگی‌های خاص منطقه، عوامل اقلیمی، توپوگرافی، فاصله از منابع آب (شامل آبشخور، چشمه و رودخانه) و عوامل انسانی (شامل فاصله از جاده، فاصله از مناطق

فاکتور مهم تعیین‌کننده پراکنش این گونه (۸۶/۲ درصد) هستند (۱۷). Sony و همکاران، با مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی آهوی شاخ کوتاه نیلگیری (*Nilgiri Tahr (Nilgiritragus hylocrius)*)، تأثیرات تغییر اقلیم بر جمعیت‌های این گونه در گات غربی را به منظور برنامه‌ریزی حفاظت بهتر این گونه مورد مطالعه و کمی‌سازی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بسیاری از زیستگاه‌های مطلوب این گونه با شدت یافتن گرمایش جهانی به زیستگاه‌های نامطلوب تبدیل خواهند شد (۳۱). Khan و همکاران، با استفاده از نرم‌افزار Biomapper اقدام به مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی و مطلوبیت زیستگاه بز کوهی سیبری (*Capra ibex sibirica*) در پارک ملی کاراکورام مرکزی (Central Karakoram National Park) در پاکستان نمودند. نتایج مدل‌سازی و بررسی فاکتورهای آشیان بوم‌شناختی نشان دادند که حدود مشخصی از ارتفاع، شیب، تیپ پوشش گیاهی و زبری تعیین‌کننده مطلوبیت زیستگاه بز کوهی سیبری هستند (۲۰). در تحقیق حاضر مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه کل و بز و تعیین عوامل موثر بر پراکنش و زیستگاه مطلوب آن به روش آنتروپی بیشینه در منطقه حفاظت شده هرمود واقع در استان فارس مورد توجه قرار گرفت. در این راستا و با استفاده از کاربرد روش آنتروپی بیشینه، احتمال حضور افراد گونه و به عبارتی پراکنش بالقوه گونه در محل‌های جدید براساس نقاط حضور ثبت شده و رابطه این نقاط با عوامل محیطی (ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی، زیرساخت‌های انسانی) تعیین شد.

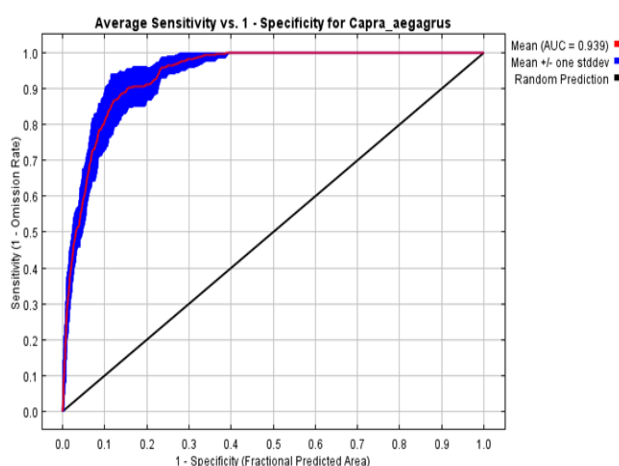
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه حفاظت شده هرمود لارستان با وسعت تقریبی ۲۰۸۷۳۱ هکتار بین عرض شمالی ۲۷° ۱۵' تا ۲۷° ۴۵' و طول شرقی ۳۷° ۳۷' تا ۵۴° ۱۵' در جنوب شرقی استان فارس و ۴۰ کیلومتری شرق لار و در جنوب رشته کوه‌های زاگرس قرار گرفته است (شکل ۱). مرتفع‌ترین نقطه منطقه، کوه شب با ارتفاع ۲۶۸۱ متر می‌باشد که در ضلع جنوبی منطقه قرار دارد. این منطقه بین دو استان فارس و هرمزگان واقع شده است. وضعیت آب و هوای منطقه گرم و خشک است. بارندگی در آن منطقه بسیار کم و به صورت سیلابی است. پوشش گیاهی منطقه حفاظت شده هرمود شامل درختان کنار، کهور، گز، بنه، بادام، انارشیطان، استبرق و کلخنگ و هم‌چنین فریبون، گوش‌بره، ریش بز و انواع گون می‌باشد. تنوع جانوری منطقه حفاظت شده هرمود نیز به دلیل تنوع اقلیمی و توپوگرافی منطقه زیاد و شامل انواع پستانداران از قبیل کل و بز، قوچ و میش، جبیر، پلنگ، کفتار، گرگ، روباه معمولی، شاه روباه، انواع گربه، تشی و هم‌چنین پرندگان مهاجر و غیرمهاجر از قبیل انواع پرندگان شکاری، اگرت،

عمل استفاده شد. مقدار 0.5 کمترین میزانی است که AUC می‌تواند داشته باشد و هرچه مقدار AUC به یک نزدیک‌تر باشد به معنای اعتبار بیش‌تر نتایج مدل است (۲۳).

نتایج

در این مطالعه، همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، مقدار شاخص سطح زیرمنحنی (AUC=0.939) به دست آمد که بیانگر قدرت پیش‌بینی عالی مدل و به عبارتی قابلیت اطمینان بالا به نتایج مدل در برآورد مطلوبیت زیستگاه گونه مورد مطالعه است.



شکل ۲: نمودار ارزیابی اعتبار مدل بر اساس سطح زیرمنحنی ROC

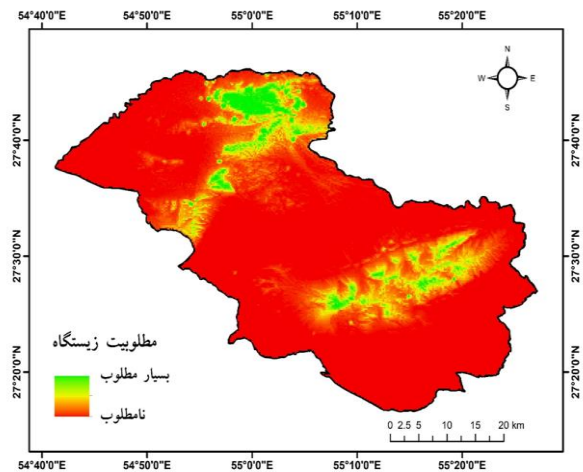
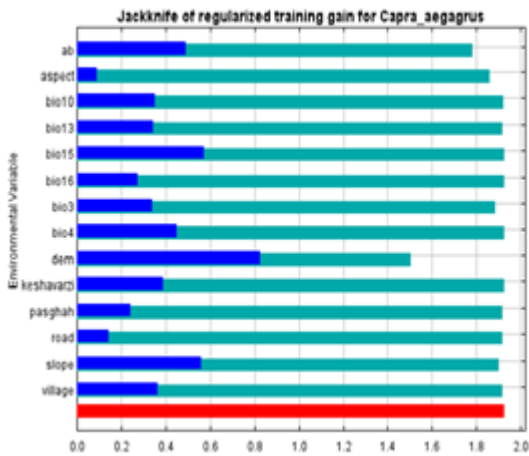
نقشه مطلوبیت زیستگاه یا احتمال پراکنش گونه کل و بز در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به نقشه پیش‌بینی، زیستگاه‌های مطلوب کل و بز در منطقه حفاظت شده هرمود $19021/72$ هکتار معادل $9/11$ درصد از منطقه است و $189709/3$ هکتار معادل $90/89$ درصد از منطقه نیز در طبقه نامطلوب قرار می‌گیرد (شکل ۳). لازم به ذکر است جهت تهیه نقشه فازی مطلوبیت (مطلوب و نامطلوب) از حد آستانه پیشنهادی مدل حداکثر آنتروپی و در شرایطی که بهترین AUC حاصل می‌شود (0.298)، استفاده گردید. اصولاً یکی از اهداف مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها پاسخ به این سوال است که کدام متغیر زیستگاهی اهمیت بیش‌تری در تعیین مطلوبیت زیستگاه گونه دارد و نرم‌افزار مکسنت پاسخ این سوال را به روش‌های مختلفی مشخص می‌نماید. یکی از این روش‌ها جدول ضرایب اهمیت متغیرهای مشارکت‌کننده در مدل‌سازی است که توسط نرم‌افزار تهیه می‌شود. مطابق این جدول در منطقه حفاظت شده هرمود و برای کل و بز به ترتیب متغیرهای ارتفاع، شیب، مجموع بارندگی پربرارش‌ترین ماه سال و شاخص هم‌دمایی با $11/9$ ، $19/3$ ، $37/3$ و $9/6$ درصد تأثیر، مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار و در مجموع تعیین

مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی) در تعیین مدل‌سازی تعیین مطلوبیت زیستگاه این گونه در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفتند. جهت تهیه متغیرهای زیست اقلیمی (Bioclimatic Variable)، ابتدا داده‌های مربوط به حداقل و حداکثر دمای ماهانه و هم‌چنین مجموع بارش ماهانه مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی درون و پیرامون منطقه (شامل بستک، حاجی‌آباد، بندر خمیر، بندر لنگه، ساحلی بندر لنگه، تنگ زاغ، گنو، تاشکویه، زرین دشت، لار، درز و سایبان، گراش) طی بازه زمانی حداکثر ۳۰ ساله (بستگی به تاریخ احداث ایستگاه جمع‌آوری داده) از سازمان هواشناسی دریافت شد. سپس برای ایجاد ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مشتق شده از دما و بارش (Bio1-Bio19)، از تابع biovars در پکیج dismo و در محیط Rstudio و نرم‌افزار R استفاده شد. در نهایت، نقشه‌های رستری مربوط به متغیرهای زیست‌اقلیمی (Bio1-Bio19) از طریق درون‌یابی و با استفاده از روش IDW (معکوس فاصله وزنی) تهیه شدند. از مدل رقومی ارتفاع (DEM) (با اندازه سلول ۸۵ متر) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نیز نقشه‌های ارتفاع، درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به‌عنوان متغیرهای توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین فاصله از منابع آب، جاده، روستا و اراضی کشاورزی نیز از روی نقشه‌های کاربری اراضی موجود منطقه تهیه شدند. در ادامه کل لایه‌های محیطی از نظر محدوده، سیستم تصویر و تعداد پیکسل در نرم‌افزار ArcGIS یکسان‌سازی و به فرمت Ascii تبدیل و برای مدل‌سازی وارد نرم‌افزار MaxEnt شدند. جهت بررسی هم‌خطی بین متغیرهای محیطی مختلف از روش تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS استفاده و متغیرهایی با ضریب همبستگی پیرسون کم‌تر از 0.8 انتخاب شدند. در نهایت ۱۴ متغیر شامل ۶ متغیر اقلیمی (شاخص هم‌دمایی، تغییرات فصلی دما، مجموع بارندگی پربرارش‌ترین ماه سال، تغییرات فصلی بارندگی، مجموع پربرارش‌ترین فصل سال و میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال)، ۳ متغیر توپوگرافی (ارتفاع، درصد شیب و جهت شیب)، فاصله از منابع آب و ۴ متغیر انسانی (شامل فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از پاسگاه‌های محیط‌بانی) جهت ورود به مدل انتخاب شدند (جدول ۱).

مدل‌سازی: نقاط حضور گونه به‌عنوان متغیر مستقل و خصوصیات محیطی انتخاب شده به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و در مرحله بعد با استفاده از مدل MaxEnt، نمودارهای پاسخ گونه به متغیرهای محیطی به دست آمده و اساس تهیه نقشه توزیع مکانی بالقوه گونه قرار گرفت. برای بررسی نتایج مدل، از سطح زیر منحنی ROC (AUC: Area Under the Curve) و برای تفسیر اثر هر یک از متغیرها در تعیین توزیع گونه از آزمون جک نایف و منحنی عکس

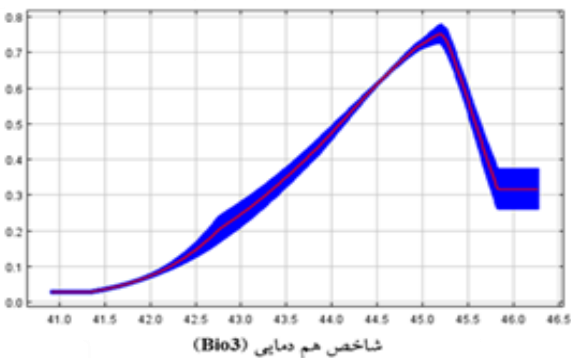
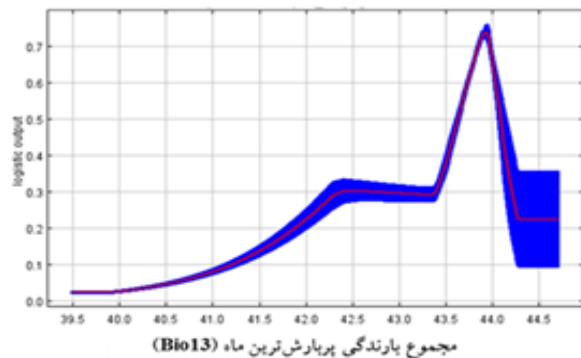
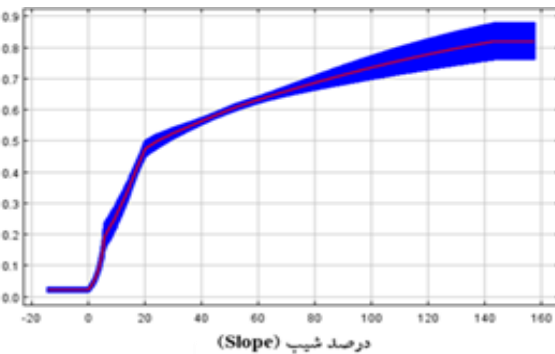
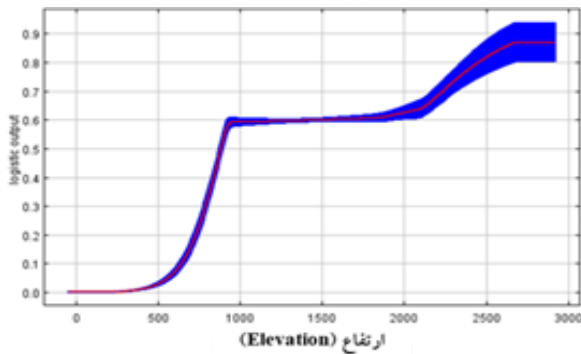
آورده شده است. با توجه به شکل ۵ و بر اساس حد آستانه مدل، بیشترین مطلوبیت زیستگاه برای کل و بز از میانگین ارتفاع حدود ۸۰۰ متر شروع شده و با افزایش ارتفاع، مطلوبیت برای گونه افزایش می‌یابد. از نظر شیب، مطلوبیت از حدود ۱۷ درصد شروع شده و با افزایش شیب، مطلوبیت برای گونه افزایش می‌یابد. همچنین، بیشترین مطلوبیت برای کل و بز از منظر متغیر مجموع بارندگی پربراش‌ترین ماه، حدود ۴۳/۸ میلی‌متر است.

کننده ۷۸/۱ درصد مطلوبیت زیستگاه این گونه هستند (جدول ۱). متغیرهای فاصله از جاده و فاصله از اراضی کشاورزی نیز به ترتیب با ۰/۲ و ۰/۳ درصد، کم‌ترین تأثیر را در مطلوبیت زیستگاه آن دارند. ترتیب اهمیت متغیرها بر اساس آزمون جک‌نایف نیز در شکل ۴ آمده است. نتایج آزمون جک‌نایف نیز حاکی از اهمیت بالای متغیر ارتفاع می‌باشد. منحنی‌های پاسخ مربوط به مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه گونه کل و بز در شکل ۵



شکل ۴: اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در مطلوبیت زیستگاه کل و بز بر اساس آزمون جک‌نایف

شکل ۳: نقشه مطلوبیت زیستگاه کل و بز در منطقه حفاظت شده هرمود



شکل ۵: منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین متغیرها برای گونه کل و بز

جدول ۱: متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه‌های مطلوب کل و بز در منطقه هرمود و اهمیت نسبی آن‌ها

متغیر	اهمیت نسبی (درصد)
ارتفاع از سطح دریا (Elevation)	۳۷/۳
درصد شیب (Slope)	۱۹/۳
مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه (Bio13)	۱۱/۹
شاخص هم‌دمایی (Bio3)	۹/۶
فاصله از منابع آب	۸/۲
جهت شیب (Aspect)	۴/۱
فاصله از روستا	۴
مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل (Bio16)	۲/۶
تغییرات فصلی بارندگی (Bio15)	۱
تغییرات فصلی دما (Bio4)	۰/۷
فاصله از پاسگاه محیط‌بانی	۰/۶
میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال (Bio10)	۰/۳
فاصله از جاده	۰/۳
فاصله از اراضی کشاورزی	۰/۲

بحث

از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی در نتیجه تخریب و تجزیه یا تکه تکه شدن، تهدید بزرگی برای تنوع زیستی و از بین رفتن گونه‌ها محسوب می‌شود. تغییر کاربری و تبدیل اراضی طبیعی (جنگل‌ها و مراتع) به زمین‌های کشاورزی، باغ، اماکن مسکونی، کارخانه‌ها و ایجاد راه‌ها، مهم‌ترین عوامل تخریب یا تجزیه و فروافت کیفیت زیستگاه‌های طبیعی هستند که هم‌چنین موجب حذف یا ناامنی کریدورهای مهاجرتی بین زیستگاه‌های باقی‌مانده می‌شوند. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه یک ابزار علمی و مطالعاتی بسیار مهم برای تعیین کیفیت و مطلوبیت زیستگاه‌ها می‌باشد که به‌روشنی و با الگوریتم‌های مختلفی قابل انجام است. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه با استفاده از روش آنتروپی بیشینه یکی از روش‌های موثر در این زمینه می‌باشد که علاوه بر آن که فقط بر داده‌های حضور گونه متکی است (۳)، حساسیت آن به وسعت محدوده مورد مطالعه و تعداد نقاط حضور گونه در مدل‌سازی نیز کم است و اعتبار نتایج آن با این موارد تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد (۱۷). مطالعات نشان می‌دهد که حتی در مواقعی که تعداد نمونه‌ها کم است، عملکرد پیش‌بینی روش آنتروپی بیشینه، می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد (۷، ۱۰، ۱۱، ۳۲). ویژگی مثبت دیگر مدل آنتروپی بیشینه در مقایسه مدل‌های دیگر مانند GARP و ENFA در این است که حساسیت کم‌تری به همبستگی بین متغیرهای محیطی (۲۶، ۳۰) دارد. در مدل‌سازی

مطلوبیت زیستگاه دلیل حضور حداکثری و گزینش مناطق برای زیستگاه توسط گونه بررسی و ارزش هر یک از متغیرهای زیستگاهی برای مدیران و کارشناسان حفاظت حیات وحش مشخص می‌شود و لذا بر این اساس می‌توان تصمیمات موثری در رابطه با مدیریت متغیرهای زیستگاهی و حفاظت درست از گونه‌ها گرفت. با توجه به بررسی که در رابطه با عوامل تاثیرگذار بر توزیع کل و بز و تفسیر خروجی‌های مکسنت در این مطالعه انجام شد مشخص گردید که متغیرهای ارتفاع و شیب مهم‌ترین پارامتر و اراضی کشاورزی و جاده کم‌اثرترین متغیر موثر بر مطلوبیت زیستگاه کل و بز در منطقه حفاظت شده هرمود می‌باشد. این موضوع تا حدودی با سایر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه زیستگاه کل و بز مشابه است که با توجه به علاقه‌مندی کل و بز به ارتفاعات صخره‌ای و بلند، معقول به نظر می‌رسد. با افزایش فاصله از مناطق مرتفع و پرشیب از مطلوبیت زیستگاه کل و بز در منطقه کاسته می‌شود. در این رابطه مطالعاتی با نتایج مشابه مورد بررسی قرار می‌گیرد که از جمله در بررسی مطلوبیت زیستگاه کل و بز توسط Farashi و همکاران، در پارک ملی کلاه قاضی با روش تحلیل عاملی آشیان بوم شناختی انجام شد، ارتفاع ۱۹۰۰ تا ۲۳۰۰ متر، شیب‌های بیش از ۳۰٪ مطلوبترین زیستگاه را دارا بود و متغیر ارتفاع بیش‌ترین نقش را در پراکنش کل و بز در آن منطقه داشت (۹) که با نتیجه این مطالعه هم‌خوانی دارد. براساس نتایج پژوهش Sarhangzadeh و همکاران (۲۸، ۲۹) با عنوان مدل‌سازی زیستگاه کل و بز در منطقه کوه بافق یزد مشخص گردید که در زمستان منابع آب به‌عنوان عامل اول و متغیر شیب به‌عنوان دومین عامل نقش مهمی در تعیین زیستگاه کل و بز دارند. Hoseini و همکاران، نیز در مطالعه‌ای به ارزیابی مطلوبیت زیستگاه کل و بز در استان گلستان پرداختند که نتایج خروجی مکسنت سه عامل شیب، ارتفاع و پوشش گیاهی را به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها و جهت را کم‌اهمیت‌ترین متغیر در مطلوبیت زیستگاه برای کل و بز در آن استان معرفی نمودند (۱۲). نتایج مطالعه حاضر مبنی بر اهمیت ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه کل و بز با نتایج مطالعه Kaky و همکاران، که مهم‌ترین عامل موثر بر پراکنش کل و بز در عراق را ارتفاع می‌دانند (۱۸) نیز هم‌خوانی دارد. البته مشخص است که فاکتورهای انتخاب زیستگاه توسط گونه کل و بز همانند سایر گونه‌ها در مناطق مختلف از نظر اولویت‌بندی کمی با هم فرق می‌کند. به‌عنوان مثال در منطقه‌ای که شرایط توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) تا حدودی برای این گونه یکسان است اولویت انتخابی فاصله مناسب از عوامل انسانی یا نزدیکی به منابع آب می‌باشد. تفسیری که توسط نگارندگان از این مطالعه می‌شود این است که دلیل پر اهمیت بودن متغیرهای ارتفاع و شیب نسبت به سایر متغیرها برای کل و بز، شرایط ویژه توپوگرافی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

4. **Cui, X., Tang, J., Zhang, Q., Zhou, H., Hong, M., Wei, W. and Zhang, Z., 2023.** Spatio-temporal variations in Takin (*Budorcas tibetanus*) habitats in the five mountains of Sichuan, China. *Global Ecology and Conservation*. 42: e02390.
5. **Daneshi, S., Sokhango, F. and Behrouzirad, B., 2019.** Estimation of the desirability of the whole and goat habitat (*Capra aegagrus*) in the protected area of Khayyz during the regeneration season using the HEP method, *Journal of Animal Environment*. 11(4): 23-32. (In Persian)
6. **Ebrahimi, A., Farashi, A. and Rashki, A., 2020.** Habitat Overlap of Persian leopard, Wild Sheep and Wild Goat in Iran. *Experimental Animal Biology*. 8(31): 121-134. (In Persian)
7. **Elith, J.H., Graham, C.P., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A.J., Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A. and Li, J., 2006.** Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29(2): 129-151.
8. **Farashi, A., 2015.** Habitat modelling as a suitable tool for management of wildlife habitats. *Experimental animal Biology*. 3(3): 43-53. (In Persian)
9. **Farashi, A., Kaboli, M. and Momeni, I., 2010.** Habitat Suitability Modeling for Wild Goat *Capra aegagrus* in Kolah Ghazi National Park, Esfahan Province, *Journal of Natural Environment*. 63(1): 63-73. (In Persian)
10. **Franklin J., 2010.** Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
11. **Hirzel, A.H., Hausser, J., Chessel, D. and Perrin N., 2002.** Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data? *Ecology*. 83(7): 2027-2036.
12. **Hoseini, S.M., Riazi, B., Shams Esfand Abad, B. and Naderi, M., 2017.** Habitat desirability Evaluation of *Capra aegagrus* in Golestan, *Journal of Animal Environment*. 9(2): 9-16. (In Persian)
13. **Imani Buzhani, F., Naderi, M., Imani Harsini, J. and Shams Esfand Abad, B., 2018.** Presence based habitat suitability modeling for wild goat (*Capra aegagrus*) in Bistoon Wildlife Refuge and Protected Area, Kermanshah, Iran, *Journal of Animal Environment*. 10(3): 17-28. (In Persian)
14. **IUCN. 2004.** Red list of threatened species a global species assessment. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 191 p.
15. **Jafari, A., Zamani-Ahmadmohmoodi, R. and Mirzaei, R., 2019.** Persian leopard and wild sheep distribution modeling using the Maxent model in the Tang-e-Sayad protected area Iran. *Mammalia*. 83(1): 84-96.
16. **Jiang, F., Li, G., Qin, W., Zhang, J., Lin, G., Cai, Z. and Zhang, T., 2019.** Setting priority conservation areas of wild Tibetan gazelle (*Procapra picticaudata*) in China's first national park. *Global Ecology and Conservation*. 20: e00725.
17. **Jiang, X., 2015.** Modelling the giant panda habitat in China using MaxEnt: effects of sample size and extent of the study area. MSc thesis, University of Twente. 56 p.
18. **Kaky, E.D., Alatawi, A.S., Jafari, A.A. and Gilbert, F., 2022.** Predicting current and future habitat refuges for conservation of wild goat (*Capra aegagrus*) under climate change in Iraq. *Journal of Arid Environments*. 199: 104699.
19. **Karami, M., Feizollahi, K. and Ghadirian, T., 2016.** Atlas of Iran's Mammals. Jihad Daneshgahi Publication. 292 p. (In Persian)

چون زیستگاه این گونه دارای فاصله مناسبی با مناطق توسعه‌یافته (مسکونی، کشاورزی و جاده) می‌باشد و منابع آب هم‌به‌دلیل پراکندگی گسترده چشمه‌ها و آبگیرها و آبشخورها در اکثر قسمت‌های زیستگاه مهیا می‌باشد به همین دلیل گونه کل و بز زیستگاه‌هایی را ترجیح می‌دهد که از نظر توپوگرافی و به‌ویژه ارتفاع و شیب بالاتر باشد زیرا در این موقعیت‌ها، ویژگی‌های زیستی (شرایط تغذیه‌ای و محل استراحت و زایمان)، عدم دسترسی انسان، دام و طعمه‌خواران (امنیت) مطلوب‌تر می‌باشد. بنابراین در مجموع کل و بز زیستگاه‌های مرتفع صخره‌ای و شیب‌دار و دارای فاصله از مناطق انسانی را ترجیح می‌دهد و لذا با افزایش ارتفاع و شیب مطلوبیت زیستگاه آن افزایش می‌یابد و مطابق منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای زیستگاهی، بالاترین مطلوبیت را در ارتفاع بالای ۲۵۰۰ متر از سطح دریا و شیب بیش از ۱۰۰ درصد (۴۵ درجه) دارا می‌باشد. هم‌چنین در ارتفاعات و مناطق پر شیب گیاهان مورد علاقه این گونه از قبیل انواع گون‌ها، جو وحشی، علف پشمکی، خانواده گرامینه و درختانی مانند بادام و کلخونگ با تنوع بیش‌تری وجود دارند. احتمال حضور دام‌های اهلی و وجود مراتع دارای پروانه چرا در داخل و مجاور منطقه نیز عامل دیگر صعود این گونه به ارتفاعات و مناطق دارای شیب بالا برای به‌دست آوردن نیازهای غذایی و امنیت می‌باشد. بنابراین گسترش محدوده امن منطقه و عدم تجاوز به مناطق زیستگاهی کل و بز به واسطه ورود دام‌های اهلی باید به عنوان اولویت‌های مدیریتی برای حفظ این گونه مد نظر قرار گیرد. هم‌چنین به‌منظور حفظ زیستگاه‌های مطلوب گونه کل و بز در منطقه حفاظت‌شده هرمود لازم است علاوه بر افزایش تعداد محیط‌بانان منطقه و پاسگاه‌های محیط‌بانی، از صدور هرگونه مجوز بهره‌برداری از معادن سنگ آهن طبیعی موجود در منطقه خودداری شود. جلب مشارکت مردم محلی در امر حفاظت از این گونه نیز ضرورت دارد که در این راستا بهترین شیوه فرهنگ‌سازی و آشنا کردن جوامع محلی با اهمیت اکولوژیک گونه کل و بز و لزوم حفاظت از آن می‌باشد.

منابع

1. **Ahmadi Dastjerdi, M., Jahani, A., Rezaee, H. and Goshtasb, H., 2018.** Habitat Suitability Modelling of wild Goat (*Capra aegagrus*) In Ghamishloo National Park Using Artificial Neural Networks. *Journal of Animal Environment*. 10(3): 29-38. (In Persian)
2. **Bahadori Amjaz, F., Morovati, M., Behnood, M. and Sayedi, N., 2021.** Investigating the overlap of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) habitat with its prey (Case study: Sang-e Mes Protected Area), *Journal of Animal Environment*. 13(2): 9-16. (In Persian)
3. **Baldwin, R.A., 2009.** Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*. 11(4): 854-866.

20. **Khan, G., Khan, B., Qamer, F.M., Abbas, S., Khan, A. and Xi, C., 2016.** Himalayan ibex (*Capra ibex sibirica*) habitat suitability and range resource dynamics in the Central Karakorum National Park Pakistan. *Journal of King Saud University-Science*. 28(3): 245-254.
21. **Madadi, M., Salman Mahini, A. and Varasteh Moradi, H., 2018.** Habitat suitability modeling of Wild Goat (*Capra aegagrus*) using Ecological Niche Factor Analysis in Golestan National Park. *Journal of Animal Environment*. 10(2): 13-22. (In Persian)
22. **Mirsanjari, M.M. and Sokhango, F., 2018.** Habitat suitability modeling for Wild goat in Dena protected area by Maximum Entropy (MAXENT) model. *Journal of Animal Environment*. 10(2): 23-30. (In Persian)
23. **Morovati, M., Karami, M., Kaboli, M., Rousta, Z. and Shorakaei, M.J., 2015.** Modeling the Habitat suitability of *Ovis orientalis*, the most important prey of cheetah (*Acinonyx jubatus venaticus*) Using Maximum Entropy Method in Dareh Anjir Wildlife Refuge. *Journal of Animal Environment*. 6(4): 135-149. (In Persian)
24. **Paul, S., Sarkar, D., Patil, A., Ghosh, T., Talukdar, G., Kumar, M. and Mondo S., 2020.** Assessment of endemic northern swamp deer (*Rucervus duvaucelii*) distribution and identification of priority conservation areas through modeling and field surveys across north India. *Global Ecology and Conservation*. 24: e01263.
25. **Phillips S.J., Anderson R.P. and Schapired R.E., 2006.** Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259. (In Persian)
26. **Phillips, S.J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J. and Ferrier, S., 2009.** Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*. 19(1): 181-197.
27. **Sabzpooshan Fars Consultant Engineering. 2014.** Feasibility study of management plan of Hormood protected area. Vol. 1-13. (In Persian)
28. **Sarhangzadeh, J. and Mokhtari, M.H., 2020.** Application of artificial neural network in Prediction of wildlife potential habitats in desert areas (Case study: Wild goat in Kouh-e-Bafgh), *Experimental Animal Biology*. 9(2): 49-61. (In Persian)
29. **Sarhangzadeh, J., Yavari, A.R., Hemami, M.R., Jafari, H.R. and Shams Esfandabad, B., 2011.** Habitat suitability modeling for wildlife in the arid lands, Case study: Wild goat (*Capra aegagrus*) in Kouh-e-Bafgh protected area, *Journal of Arid Biome*. 1(3): 38-50. (In Persian)
30. **Shirzad, M., Riazi, B. and Tavakoli, M., 2012.** Habitat suitability mapping for wild goat (*Capra aegagrus*) in Khojir National Park using ENFA Method. *Journal of Animal Environment*. 4(3): 91-100. (In Persian)
31. **Sony, R.K., Sen, S., Kumar, S., Sen, M. and Jayahari K.M., 2018.** Niche models inform the effects of climate change on the endangered Nilgiri Tahr (*Nilgiritragus hylocrius*) populations in the southern Western Ghats. India. *Ecological Engineering*. 120: 355-363.
32. **Zhang, L., Li, Q., Kou, X. and Ouyang Z., 2022.** Distributions of two native ungulates at the third pole are highly sensitive to global warming. *Global Ecology and Conservation*. 39: e02292.