



Research Paper

Habitat Assessment of the Gray Wolf in Mountainous Territories (Case Study: Bijar Protected Area, Kurdistan Province)

Wahid Zamani^a , Shahram Kabudvandpour^b, Maryam Maleki^c

^a Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^b Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^c PhD student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFO

Received: 2025/05/17

Accepted: 2025/07/17

PP: 29-42

Use your device to scan and
read the article online



Keywords: Gray Wolf,
Habitat Suitability, Bijar
Protected Area, Kurdistan.

Abstract

Assessing habitat suitability for wildlife species provides a vital foundation for their effective conservation and management. This study investigates the habitat preferences of the gray wolf (*Canis lupus*) and identifies key environmental factors influencing its habitat selection in the Bijar Protected Area, located in Kurdistan Province, Iran, during 2022–2023. Although the gray wolf is not currently endangered in Iran, increasing human-induced habitat disturbances pose a significant threat to its long-term population viability. As the largest carnivore in the region with a notable population, the gray wolf was selected as the focal species. A total of 148 presence points were used—50 obtained from the Department of Environment and local rangers, and 98 recorded during systematic field surveys using GPS. Thirty environmental variables were initially considered, including 19 bioclimatic indicators, digital elevation model (DEM), slope, aspect, vegetation density, land use, and distances from prey sources, villages, springs, rivers, roads, and ranger stations. After correlation analysis, 15 key variables were retained for modeling. Habitat suitability was modeled using the Maximum Entropy (MaxEnt) approach. The results revealed that the central part of the study area holds the highest concentration of wolf presence, while the northern, southern, and southeastern areas show lower densities. Topographic variables and proximity to prey were identified as the most influential factors shaping habitat suitability. Of the region's 31,769 hectares, 11,955 hectares (equivalent to 37.6%) were identified as favorable habitat for the gray wolf. Given the gray wolf's role as a large-bodied apex predator and umbrella species, conserving these suitable areas is expected to benefit the broader carnivore community coexisting within the region.

Citation: Zamani, W., Kabudvandpour, S., & Maleki, M. (2025). Habitat Assessment of the Gray Wolf in Mountainous Territories (Case Study: Bijar Protected Area, Kurdistan Province). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(3), 29-42.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.143693.1024>



© The Author(s).

Publisher: University of Kurdistan

* **Corresponding author:** Wahid Zamani, **Email:** w.zamani@uok.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Habitat loss and overhunting are among the principal drivers of species extinction and ecosystem degradation. The urgent need to preserve natural habitats, critical for sustaining wildlife populations, has become more pressing than ever. As a keystone carnivore, the gray wolf plays a vital role in maintaining ecological balance in mountainous ecosystems. However, habitat fragmentation, climate change, and escalating human-wildlife conflicts pose significant threats to the survival of this species. Evaluating habitat suitability in mountainous areas is essential for understanding the ecological requirements of the gray wolf and developing effective conservation strategies. One of the most widely used presence-only modeling methods for predicting species distribution is the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm. Despite the gray wolf's current classification as "Least Concern" on the IUCN Red List, its populations in Iran are experiencing decline, largely due to human-induced threats. This necessitates the formulation of targeted conservation programs aimed at ensuring the long-term viability of wolf populations across various Iranian landscapes.

Methodology

The Bijar Protected Area, located in Kurdistan Province, Iran, supports a variety of wildlife species and features diverse vegetation. To assess gray wolf habitat suitability and identify key environmental variables influencing habitat selection and distribution, a comprehensive set of 30 ecological variables was initially considered. Data sources included field surveys, expert consultations, and literature reviews. To mitigate multicollinearity, Pearson correlation analysis was performed using Idrisi software, and variables with correlation coefficients exceeding 0.7 were excluded. This refinement process reduced the number of independent variables to 15. The final set included: slope, aspect, vegetation density, land use, distance to roads, springs, prey sources, rivers, and villages; annual temperature range; precipitation seasonality; and rainfall during the driest and coldest seasons. Presence data were divided into training (75%) and test (25%) datasets to evaluate model

accuracy. Habitat suitability was then modeled using the MaxEnt algorithm, and the relative contribution of each variable to the model was calculated.

Results and Discussion

In the MaxEnt output, three types of Jackknife curves are plotted for test data, training data, and AUC (Area Under the Curve). However, it is sufficient to rely on the Jackknife curve and AUC for interpretation. The environmental variables with the highest individual contribution are the distance to prey and distance to water springs, which appear to be the most informative on their own.

If the AUC value ranges from 0.7 to 0.8, the model is considered good; 0.8 to 0.9, excellent; and above 0.9 indicates outstanding predictive performance (Mobaraki et al., 2018). The AUC for the training data is 0.943, indicating excellent model performance in correctly distinguishing positive and negative instances within the training set. The test data AUC is 0.901, which is also very good but slightly lower than that of the training data, possibly indicating slight overfitting.

A random prediction would result in an AUC of 0.5, representing a baseline model with no discriminatory power. Overall, the AUC of the model suggests strong performance. The response curves for individual environmental variables can be interpreted as follows:

Elevation: Wolf presence is highest at mid-elevations due to a balance between prey availability and suitable climatic conditions.

Slope: Wolf occurrence decreases on very steep slopes (above 5 degrees); they primarily use areas with gentle slopes for movement and hunting.

Aspect: Northern and eastern aspects, which tend to have higher moisture and better vegetation cover, are more favorable for wolves.

Vegetation Index: Wolf presence increases with vegetation density up to an optimal level, after which it plateaus or decreases. Wolves prefer moderate vegetation cover for hunting and concealment, while overly dense forests may hinder movement.

Land Use: Wolves are more frequently found in specific land use types such as rangelands or sparsely wooded forests. Urban or intensive agricultural areas are less favorable. Thus, habitat destruction, such as converting rangelands to farmland, can limit wolf distribution.

Distance to Prey: The closer to

prey (e.g., Armenian mouflon or hare), the higher the likelihood of gray wolf presence. Access to prey is a key factor in habitat selection. Distance to Villages: Wolves tend to avoid human settlements, seeking refuge in remote areas due to fear of humans and potential conflict. Distance to Water Sources: Wolves are frequently present near springs and rivers, indicating that water sources are also critical for their survival. Distance to Roads: Wolves tend to avoid roads, as they can fragment habitats and increase the risk of vehicle collisions.

Meteorological Parameters: In general, areas with moderately cool and temperate climates, stable precipitation patterns, and adequate winter rainfall—supporting prey and water availability—are more suitable for wolves.

Conclusion

Findings indicate that 11,554 hectares (approximately 36.4%) of the 31,769-hectare Bijar Protected Area constitute suitable habitat for the gray wolf. Habitat suitability is highest

in the central region, with lower densities observed in the northern, southern, and southeastern zones. Topographic features and prey availability emerged as the most influential factors affecting habitat selection. Variables such as distance from roads and human settlements, as well as proximity to water and food sources, play pivotal roles in shaping the spatial ecology of wolves. The spatial separation of wolf habitats from population centers, particularly through informed land-use planning, is essential for effective species management. Additionally, the availability of water resources significantly enhances habitat quality for wolves in the region. Given the ecological role of the gray wolf and the pressures it faces in Iran, conservation measures tailored to regional environmental conditions are vital. The study underscores the necessity of integrating ecological, geographical, and anthropogenic parameters into habitat conservation frameworks for the sustainable management of apex predators.

Financial sponsor

This article is the outcome of an internal research project funded by the University of Kurdistan.

Contribution of the authors to the research

The first author: Drafting the introduction, literature review, background of the study, and final revision of the manuscript.

Second author: Contributed to field data collection, data analysis, and the final review of the manuscript.

Third author: Data analysis, final revision of the manuscript, interpretation of findings, and conclusion writing.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest in writing or publishing this article.

Appreciation and thanks

We sincerely thank the staff of the Kurdistan Provincial Department of Environment, especially Mr. Engineer Veysi, Engineer Batu, and Engineer Yahya Karimian, for their valuable support and assistance in conducting this project.



مقاله پژوهشی

ارزیابی زیستگاه گرگ خاکستری در قلمروهای کوهستانی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده بیجار، استان کردستان)

وحید زمانی*  : استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
شهرام کبودوندپور: استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
مریم ملکی: دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶ شماره صفحات: ۲۹-۴۲ از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید  واژه‌های کلیدی: گرگ خاکستری، مطلوبیت زیستگاه، منطقه حفاظت شده بیجار، کردستان	ارزیابی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش اطلاعات پایه‌ای مهم برای حفاظت و مدیریت آن‌ها فراهم می‌سازد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی زیستگاه گونه گرگ خاکستری و شناسایی متغیرهای مؤثر بر انتخاب زیستگاه توسط این گونه در منطقه حفاظت شده بیجار در استان کردستان طی سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ انجام شده است. اگرچه وضعیت جمعیتی گرگ خاکستری در ایران بحرانی نیست، اما تعارضات زیستگاهی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند تهدیدی جدی برای پایداری جمعیت آن باشد. با توجه به اینکه گرگ خاکستری بزرگ‌ترین گونه گوشت‌خوار منطقه است و جمعیت قابل‌ملاحظه‌ای در این منطقه دارد، به‌عنوان گونه هدف مطالعه انتخاب شد. برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاه این گونه، ۵۰ نقطه حضور از اداره محیط‌زیست و محیط‌بانی و ۹۸ نقطه از طریق پیمایش صحرایی با GPS ثبت گردید. در ادامه، ۳۰ متغیر محیطی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب، تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از طعمه‌ها، روستاها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها، جاده و پاسگاه‌های محیط‌بانی به کار گرفته شد. پس از تحلیل هم‌بستگی، ۱۵ متغیر نهایی برای مدل انتخاب و از روش بی‌نظمی بیشینه با نرم‌افزار مکسنت برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که بخش مرکزی منطقه بیشترین تراکم حضور گونه را دارد و در بخش‌های شمالی، جنوبی و جنوب شرقی، تراکم کمتری مشاهده شد. همچنین، متغیرهای محیطی مانند توپوگرافی و دسترسی به طعمه بیشترین تأثیر را بر مطلوبیت زیستگاه داشتند. از مساحت ۳۱۷۶۹ هکتاری منطقه، ۱۱۹۵۵ هکتار (معادل ۳۷٫۶ درصد) به‌عنوان زیستگاه مطلوب برای گرگ خاکستری شناسایی شد. با توجه به نقش چتری گرگ، حفاظت از این زیستگاه‌ها می‌تواند به حفاظت سایر گوشت‌خواران هم‌زیست نیز کمک کند.

استناد: زمانی، وحید؛ کبودوندپور، شهرام و ملکی، مریم (۱۴۰۴). ارزیابی زیستگاه گرگ خاکستری در قلمروهای کوهستانی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده بیجار، استان کردستان). نشریه علمی پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۳)، ۲۹-۴۲.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.143693.1024>

ناشر: دانشگاه کردستان



نویسندگان ©

مقدمه

مهم‌ترین نکته در مدیریت حیات‌وحش، حفاظت از جمعیت و گونه‌ها در زیستگاه طبیعی است. از بین رفتن زیستگاه و شکار بی‌رویه از عوامل اصلی انقراض و نابودی بسیاری از گونه‌ها در زیستگاه طبیعی آن‌ها است. لزوم حفاظت از زیستگاه به عنوان مهم‌ترین فاکتور در جهت حفظ و حراست از گونه‌های حیات وحش امروزه بیش از پیش مطرح است. گونه گرگ خاکستری^۱ به عنوان یکی از کلیدی‌ترین گونه‌های گوشت‌خوار، نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم‌های کوهستانی دارد. با این حال، تخریب زیستگاه‌ها، تغییرات اقلیمی و تعارضات انسانی با حیات‌وحش، بقای این گونه را تهدید می‌کند. ارزیابی مطلوبیت زیستگاه‌های گرگ در مناطق کوهستانی به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر پراکنش و انتخاب قلمرو، برای تدوین راهکارهای حفاظتی ضروری است. ارزیابی زیستگاه‌ها نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی است و شناسایی زیستگاه‌های مطلوب به کاهش برخوردهای منفی با جوامع محلی کمک می‌کند. یکی از روش‌های کاهش تخریب زیستگاه، حفاظت از محدوده پراکنش گونه می‌باشد. برای تعیین محدوده توزیع گونه‌ها و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌ها فنون مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بر اساس آنالیز رابطه بین گونه و متغیرهای زیستگاهی ایجاد شده‌اند. این مدل‌ها می‌توانند احتمال حضور گونه در یک نقطه از زیستگاه را با توجه به شرایط محیطی آن تعیین کنند (گیسون^۲ و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین می‌توانند ما را در یافتن مناطق مساعد برای حضور گونه‌ها، یافتن زیستگاه‌های جدید برای گونه‌های کمیاب و در خطر انقراض و تعیین مهم‌ترین متغیرهای زیستگاهی کلیدی یاری کنند (موریسون^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). مدل‌های پیش‌بینی کننده توزیع مکانی گونه‌ها، به دلیل پیش‌بینی محدوده توزیع گونه‌ها و زیستگاه‌های مطلوب‌شان، به عنوان روشی بالقوه برای اهداف حفاظتی و مدیریتی استفاده می‌شوند. استفاده از مدل‌های مطلوبیت زیستگاه، یکی از روش‌های ارزیابی زیستگاه به شیوه کمی می‌باشد (اندروسون^۴، ۲۰۰۰). با روش‌های مدل‌سازی زیستگاه می‌توان به یک تخمین مناسب در مقیاس وسیع از مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش بدون نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از جزئیات ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتار گونه دست یافت. این مدل‌ها قدرت سامانه اطلاعات جغرافیایی^۵ را با ابزارهای آماری چندمتغیره درهم می‌آمیزند تا ارتباط بین گونه و زیستگاه آن را به صورت فرمول درآورده و تأثیر پارامترهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه را کمی نمایند.

استفاده از مدل‌هایی که تنها نیازمند داده‌های حضور هستند می‌تواند، از خطاهای حاصل از به‌کارگیری داده‌های عدم حضور اشتباه جلوگیری کند. اما داده‌های مبتنی بر صرفاً حضور گونه نیز، دارای محدودیت‌هایی هستند، یکی از این محدودیت‌ها خطای انتخاب منطقه مطالعاتی است که تأثیر بیشتری بر روی مدل‌های مبتنی بر داده‌های صرفاً حضور گونه در مقایسه با مدل‌های مبتنی بر داده‌های حضور و عدم حضور گونه دارد (هیرزل^۶ و همکاران، ۲۰۰۱). یکی از رایج‌ترین روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه و توزیع مکانی گونه‌ها که صرفاً از داده‌های حضور استفاده می‌کند، روش بی‌نظمی بیشینه است (فیلیپس^۷ و همکاران، ۲۰۰۶). درواقع این مدل احتمال وقوع گونه‌ای معین را ارائه می‌دهد که از صفر (کم‌ترین احتمال وقوع) تا ۱ (بیش‌ترین احتمال وقوع) رتبه‌بندی شده است (فیلدینگ و بل^۸، ۱۹۹۷). وقایع آینده از طریق مدل‌ها قابل پیش‌بینی و شبیه‌سازی شدن هستند. این روش بر پایه قانون بی‌تظمی بیشینه (قانون دوم ترمودینامیک) استوار بوده و یکی از روش‌های رایج ماشینی برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاه است و توسط نرم‌افزاری به نام مکسنت^۹ قابل اجرا است. در مدل‌سازی زیستگاه اصل بی‌تظمی بیشینه، شامل حداکثر آشفتگی در توزیع گونه‌هاست که به معنی حداکثر فاصله بین افراد یک‌گونه معرفی می‌شود. گونه گرگ خاکستری در طول تاریخ گسترده‌ترین توزیع جغرافیایی را در بین پستانداران داشته در اصل بیش‌تر در نیمکره شمالی پراکنش داشته است. اما امروزه پراکنش آن به میزان قابل توجهی توسط انسان کاهش یافته است. به طوری‌که پراکنش جهانی گرگ‌ها در طول قرن گذشته ۳۳ درصد کاهش یافته است (مچ و بوتانی^{۱۰}، ۲۰۰۴). این گوشت‌خوار بزرگ به دلیل قدرت تحرک زیاد و میزان تولیدمثل بالا در انتخاب زیستگاه دارای انعطاف‌پذیری بوم‌شناختی بالایی در مقایسه با دیگر گوشت‌خواران است (کارول^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۱). باوجود این که وضعیت حفاظتی گرگ در طبقه‌ی کم‌ترین نگرانی^{۱۲} قرار دارد اما این گونه طعمه‌خوار در ایران به دنبال تعارض با انسان و زیستگاه‌های انسانی با کاهش جمعیت مواجه است. لذا جهت حفظ این گونه ارزشمند نیاز به تدوین برنامه‌های حفاظتی برای پایداری و حفظ دسته‌های گرگ در مناطق مختلف ایران دارد (احمدی و

1. Canis lupus
2. Gibson
3. Morison
4. Anderson
5. GIS
6. Hirzel
7. Phillips
8. Fielding & Bell
9. MaxEnt
10. Mech & Boitan
11. Carroll
12. Last Concern

همکاران، ۱۳۹۱). با تفاسیر، سؤالاتی که در پژوهش اخیر مطرح است به شرح زیر هستند: آیا قلمروهای کوهستانی منطقه حفاظت شده بیجار کردستان جزو مناطق پراکنش گونه گرگ در ایران است؟ آیا رابطه‌ی مستقیمی بین متغیرهای محیطی انتخاب شده در مطالعه حاضر و تناسب زیستگاه گونه گرگ وجود دارد؟ و آیا می‌توان با استفاده از مدل مکسنت مطلوبیت زیستگاه گرگ خاکستری را مدل‌سازی کرد؟

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

پژوهش‌های انجام‌شده در ایران نشان می‌دهند که گونه گرگ خاکستری تمایل به حضور در حاشیه زیستگاه‌ها دارد، جاهایی که به مراکز مسکونی و پرورش و نگهداری دام نزدیک‌تر است و می‌تواند خطرات بیش‌تری برای این‌گونه ایجاد کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج ارزیابی زیستگاه گرگ خاکستری در منطقه خان‌گرمز استان همدان با روش مکسنت نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار فاصله از روستا و مزارع پرورشی هستند (پالپانیان، ۱۳۹۴). در پارک ملی کلاه قاضی نیز پوشش گیاهی و طعمه‌های اصلی گرگ مانند کل و بز به عنوان پارامترهای مهم شناسایی شدند (باقری و فراشی، ۱۳۹۰).

تحقیقات جهانی متعددی درباره مدل‌سازی زیستگاه گونه‌های مختلف انجام شده است. لارسن و ریپل^۱ (۲۰۰۶) مدل‌سازی زیستگاه گرگ خاکستری در شمال غربی اقیانوس آرام در ایالات متحده آمریکا را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و رگرسیون لجستیک انجام دادند. در پژوهش مذکور جهت ارزیابی زیستگاه گرگ‌ها به‌طور کلی به سه عامل اصلی توجه شد: طعمه کافی در دسترس، سطح پایین نفوذ انسان و ویژگی‌های سیمای سرزمین کافی (به‌عنوان مثال پوشش جنگل). آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل نهایی به دست آمده از پوشش جنگل و زمین‌های عمومی به احتمال زیاد می‌تواند در کل غرب ایالات متحده به عنوان دست‌مایه اولیه تجزیه و تحلیل زیستگاه گرگ برای مدیریت حفاظت استفاده شود. کبیر^۲ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود به مناسب بودن زیستگاه و راهروهای حرکت گرگ خاکستری در شمال پاکستان پرداختند. در این مطالعه، از داده‌های غیرتجانسی نظرسنجی، شامل دوربین‌های تله‌ای و نمونه‌برداری ژنتیکی، برای ایجاد یک مدل مناسب زیستگاهی برای گرگ در شمال پاکستان و کشف میزان اتصال بین جمعیت‌ها استفاده شد. شناسایی زیستگاه مناسب گرگ خاکستری با استفاده از رویکرد حداکثر آنتروپی (مکسنت ورژن ۳.۴۰) انجام شد و راهروهای حرکتی مناسب با بهره‌گیری از ابزار سیرکویت اسکپ^۳ ورژن ۴ تعیین گردید. مدل سطوح بالایی از عملکردهای پیش‌بینی را نشان داد، که از مقادیر سطح زیر منحنی (آیوسی^۴: 0.971 ± 0.002) و آمار مهارت واقعی (تی اس اس^۵: 0.886 ± 0.021) تأیید می‌شود. پیش‌بینی‌کننده‌های اصلی مناسب بودن زیستگاه برای گونه گرگ خاکستری شامل؛ فاصله تا جاده، میانگین دمای مرطوب‌ترین محله و فاصله تا رودخانه بودند. مدل تقریباً 23129 کیلومتر مربع از مناطق مناسب برای گرگ در پاکستان را پیش‌بینی کرد، که بسیاری از این زیستگاه‌ها در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس قرار دارند و به نظر می‌رسد به خوبی از طریق راهروهای حرکتی متصل شده‌اند. این راهروها نشان‌دهنده پتانسیل گسترش دامنه گرگ در مناطق شمالی پاکستان هستند. با این حال، مدیریت مناطق حفاظت شده با محدودیت‌های سختگیرانه در شمال پاکستان با چالش‌های قابل توجهی مواجه است، که تا حدی به دلیل وابستگی شدید مردم به منابع طبیعی می‌باشد. نقشه تناسب زیستگاه ارائه شده در این مطالعه می‌تواند به عنوان ابزاری برای راهبردهای مدیریتی آینده عمل کند و به مقامات کمک کند تا مناطق حفاظتی کلیدی را شناسایی نمایند. استریکر^۶ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود به بررسی یک مدل انتخابی زیستگاه چند مقیاسی برای ارزیابی زیستگاه بالقوه لانه‌گذاری گرگ خاکستری و کریدورهای پراکندگی در ایالت میشیگان، ایالات متحده پرداختند. این تحقیق با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی چند مقیاسی، ارزیابی دسترسی به زیستگاه و اتصال چشم‌انداز را با تئوری انتخاب زیستگاه سلسله مراتبی و همچنین ساختار فضایی ادغام کرد تا مشخص کند آیا دالان‌هایی برای استعمار مجدد و پرورش توله‌ها در شمال میشیگان پایین وجود دارد یا خیر. آن‌ها به سه عامل طعمه‌های کافی، نفوذ کم انسان و ویژگی‌های مطلوب چشم‌انداز اشاره کردند. و نشان دادند که اتصال بین مناطق زیستگاه برای حفظ جریان ژنتیکی ضروری است. برای توسعه مدل‌هایی از تناسب منظر، مقاومت و تحلیل مسیر کم‌هزینه، از نظرات متخصصان، ادبیات علمی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی بهره‌برداری شد. نتایج مدل‌های به دست آمده حاکی از آن است که شبه جزیره فوقانی تقریباً به‌طور کامل در معرض حضور گرگ‌ها برای پراکندگی و جابجایی قرار دارد، به‌ویژه در بخش غربی شبه‌جزیره. برآوردهای انجام‌شده نشان می‌دهد که بیش از 1900 کیلومتر مربع از زیستگاه‌های لانه با کیفیت بالا در شمال میشیگان وجود دارد، با این حال نفوذپذیری چشم‌انداز میان این تکه‌های زیستگاه نسبت به جنوب میشیگان نسبتاً پایین به نظر می‌رسد. کریدورهای پراکنده شناسایی شده دارای کیفیت متوسطی در شمال میشیگان بودند که نشان‌دهنده خطر مرگ و میر

1. Larsen & Ripple

4. Kabir

5. Circuitscape

6. AUC (Area under Curve)

7. TSS

8. Stricke

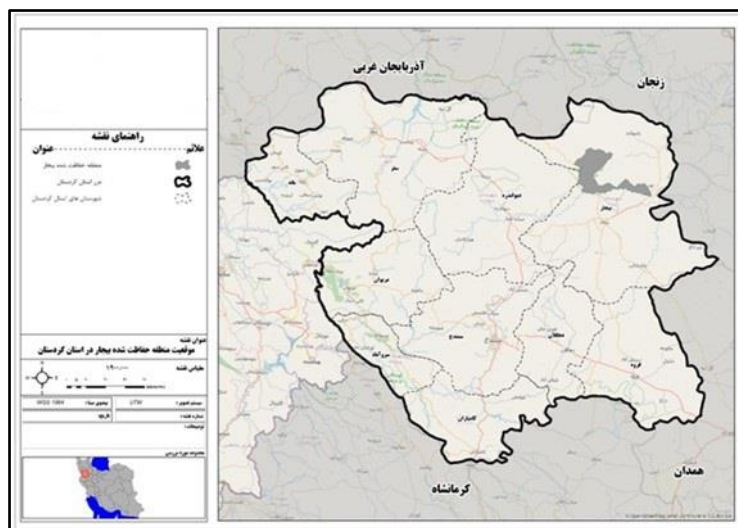
بالاتر بود، اما به‌طور بالقوه قادر به ترویج استعمار مجدد در مناطق زیستگاهی با کیفیت بالا بودند. بنابراین، تلاش‌های حفاظتی در این دالان‌های شناسایی شده می‌تواند پتانسیل استعمار مجدد موفق و ایجاد جمعیت‌های تولیدمثل پایدار گرگ‌های خاکستری در شمال میشیگان را افزایش دهد. وان دن بوش^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود به شناسایی زیستگاه و اتصال گرگ خاکستری بالقوه در شرق ایالات متحده آمریکا پرداختند. در این مطالعه، از داده‌های ردیابی برف اخیر در منطقه دریاچه‌های بزرگ غربی برای ایجاد یک مدل توزیع استفاده شد تا مناطق زیستگاهی به اندازه کافی بزرگ برای حمایت از جمعیت گرگ‌های خاکستری در شرق ایالات متحده تخمین زده شود. سپس فاصله‌های وزن‌دار بین این نواحی و اتصال آن‌ها مدل‌سازی گردید تا پیوندهای بالقوه شناسایی شوند. مدل توزیع نهایی نشان‌دهنده عملکرد مطلوبی بود و نشان داد که گرگ‌ها تمایل به انتخاب نواحی با تراکم جمعیت انسانی و نسبت زمین‌های کشاورزی بالاتر دارند. در حال حاضر، گرگ‌های خاکستری تقریباً ۴ درصد از محدوده تاریخی خود را در شرق ایالات متحده اشغال کرده و این نشان‌دهنده ۱۲ درصد از منطقه‌ای است که تخمین زده می‌شود همچنان مناسب باقی‌مانده است. برآوردها حاکی از آن است که ۳۵ درصد از محدوده سابق به‌طور کنونی برای گرگ‌ها مناسب است و ۱۸ درصد از این مناطق، عمدتاً تحت حمایت قضایی ایالتی و فدرال قرار دارند. پنج منطقه اشغال نشده شناسایی شدند که گرگ‌ها می‌توانند جمعیت‌های زنده‌ای را در محدوده ۱۸۱۱۰ تا ۷۲۵۴۸۸ کیلومتر مربع ایجاد کنند. ارتباط بین این مناطق و محدوده کنونی گرگ‌ها عمدتاً به وسیله دریاچه‌های بزرگ و کشاورزی گسترده در غرب میانه ایالات متحده محدود شده است. بیشتر مناطق زیستگاه اصلی و پیوندهای اولویت‌دار از مرزهای ایالتی یا کشوری عبور می‌کنند که اهمیت همکاری بین قضایی را برجسته می‌سازد. برآوردهای انجام شده از باقی‌مانده محدوده مناسب و پتانسیل برای استعمار مجدد، مبنایی برای توسعه سیاست‌های حفاظت از گرگ خاکستری در شرق ایالات متحده فراهم می‌آورد. محققان از داده‌های تله‌متری جی پی اس^۲، ۹۶ گرگ خاکستری در منطقه دریاچه‌های بزرگ غربی ایالات متحده برای ارزیابی تفاوت‌ها در انتخاب زیستگاه استفاده کردند. این گرگ‌ها حرکات ساکن (سرزمینی) یا غیرساکن (پراکنده یا شناور) را به نمایش گذاشتند و مفاهیم مربوط به اتصال زیستگاه را مورد بحث قرار دادند. از یک تابع انتخاب مرحله‌ای برای ارزیابی انتخاب زیستگاه توسط گرگ‌هایی که حرکات ساکن یا غیرساکن را نشان می‌دهند، بهره‌برداری شد و اتصال مدار در سراسر منطقه دریاچه‌های بزرگ غربی مدل‌سازی گردید. در نهایت، عدم وجود تفاوت در انتخاب زیستگاه بین حرکات گرگ ساکن و غیرساکن ممکن است به دلایل ناشناخته دیگری مرتبط باشد. نتایج این تحقیق همچنین اعتبار مستقل مدل توزیع گونه‌های قبلی و تجزیه و تحلیل اتصال را تأیید می‌کند که نشان می‌دهد بیشتر زیستگاه گرگ‌ها در منطقه دریاچه‌های بزرگ غربی اشغال شده است و اتصال محدودی به زیستگاه غیرساکن وجود دارد.

مرور ادبیات و سوابق پژوهش نشان می‌دهد علی‌رغم اهمیت حفاظت از گونه‌های جانوری و در مجموع حیات وحش، در خصوص ارزیابی مطلوبیت زیستگاه آن‌ها در کشورمان مطالعات محدودی انجام گرفته است و همچنین ارزیابی‌ها با روش‌های مختلفی انجام گرفته است. از این‌رو مطالعه حاضر به لحاظ موضوع مورد بررسی و همچنین روش مورد استفاده در آن، تا حد زیادی دارای نوآوری است و می‌تواند مبنایی برای سایر مطالعات در آینده باشد.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

منطقه حفاظت شده بیجار در استان کردستان در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهر بیجار و جنوب شرقی تکاب از سال ۱۳۴۹ به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده اعلام شده است. این منطقه دارای توپوگرافی کوهستانی است و مساحت آن حدود ۳۱۶۱۲ هکتار است. بیشترین و کمترین ارتفاع این نقطه به ترتیب ۲۱۸۷ و ۱۵۳۳ متر از سطح دریا است. موقعیت جغرافیایی این منطقه $36^{\circ} 12' 9''$ عرض شمالی و $47^{\circ} 51' 4''$ طول شرقی می‌باشد. همچنین زیستگاه بسیاری از وحوش بوده و از پوشش گیاهی مناسبی برخوردار است (شکل ۱).



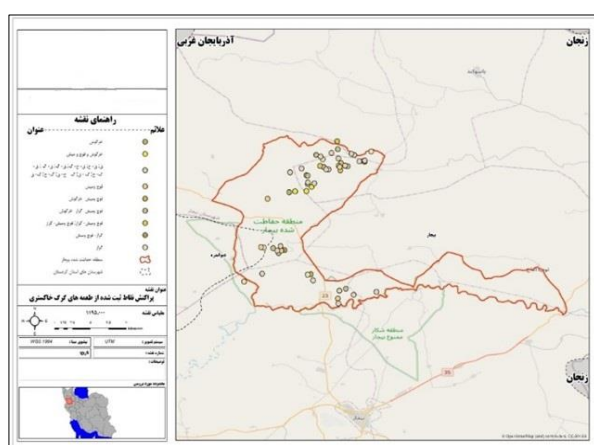
شکل ۱: موقعیت منطقه حفاظت‌شده بیجار

منبع: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان، ۱۴۰۰

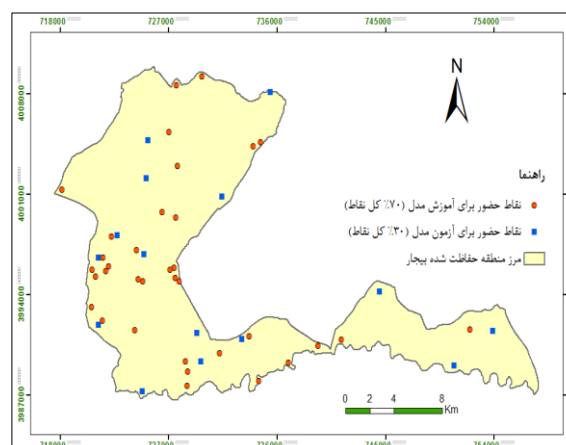
روش تحقیق

بر اساس مرور مطالعه، بازدیدهای میدانی و کسب نظرت کارشناسان و متخصصین ۳۰ متغیر زیستگاهی مطابق جدول ۱ برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه و تعیین متغیرهای محیطی مؤثر در انتخاب زیستگاه توسط گونه گرگ خاکستری و تعیین محدوده پراکنش گرگ در قلمروهای کوهستانی منطقه انتخاب شدند.

تعداد ۵۰ نقطه حضور از گزارشات رسمی اداره کل حفاظت محیط زیست استان کردستان و محیط‌بانی منطقه حفاظت‌شده بیجار استخراج و ۹۸ نقطه حضور نیز از طریق پیمایش صحرایی در منطقه با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی (مدل S78 گارمین) ثبت گردید. با توجه به حداقل نقاط پراکنش ثبت شده برای راه‌اندازی مدل و با در اختیار داشتن داده‌های حضور کافی جهت ارزیابی درستی مدل، داده‌ها به دو دسته تقسیم شدند. به طور معمول ۷۵ درصد نقاط حضور به صورت تصادفی برای آموزش مدل و از ۲۵ درصد باقیمانده برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۳. طعمه‌های گرگ‌های خاکستری در منطقه



شکل ۲. موقعیت گرگ‌های خاکستری در منطقه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

از ۳۰ متغیر تهیه شده ۱۹ متغیر متعلق به متغیرهای زیست‌اقليمی (بیوکلیماتیک) جهانی است که از وبسایت ورلد کلایم^۱، دانلود و استفاده شد. نقشه‌های شیب و جهت شیب و ارتفاع به صورت پیکسلی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری سنجنده استر^۲ تهیه شدند. همچنین

1. World Claim
2. Aster

تراکم پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج گردید. لایه‌های فاصله از طعمه، فاصله از روستا، فاصله از چشمه، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از ایستگاه‌های محیط‌بانی به صورت لایه‌های برداری در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی تهیه شدند.

جدول ۱. فهرست اولیه متغیرهای مستقل محیط‌زیستی (اکولوژیکی)

نام متغیر	توضیحات
۱ مدل رقومی ارتفاع	
۲ شیب (درصد)	
۳ جهت شیب	نقشه جهت شیب ۹ طبقه‌ای
۴ تراکم پوشش گیاهی NDVI	
۵ کاربری اراضی	دارای پنج طبقه باغات، زراعت آبی، دیم، مرتع متوسط و ضعیف
۶ فاصله از طعمه‌ها	
۷ فاصله از روستاها	
۸ فاصله از چشمه‌ها	
۹ فاصله از رودخانه‌ها	
۱۰ فاصله از جاده‌ها	
۱۱ فاصله از ایستگاه‌های محیط‌بانی	
۱۲ بایو ۱ (میانگین دمای سالانه)	
۱۳ بایو ۲ (میانگین دامنه تغییرات روزانه)	
۱۴ بایو ۳ (هم‌دمایی یا ایزوترمالیتی)	میزان نوسان دمای شبانه‌روز را نسبت به نوسانات تابستان به زمستان (سالانه) به صورت کمی نشان می‌دهد.
۱۵ بایو ۴ (تغییرات فصلی دما)	
۱۶ بایو ۵ (بیشینه دمای گرم‌ترین ماه)	
۱۷ بایو ۶ (حداقل دمای سردترین ماه)	
۱۸ بایو ۷ (دامنه تغییرات دمای سالانه)	
۱۹ بایو ۸ (میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل)	
۲۰ بایو ۹ (میانگین دمای خشک‌ترین فصل)	
۲۱ بایو ۱۰ (میانگین دمای گرم‌ترین فصل)	
۲۲ بایو ۱۱ (میانگین دمای سردترین فصل)	
۲۳ بایو ۱۲ (بارش سالانه)	
۲۴ بایو ۱۳ (بارش مرطوب‌ترین ماه)	
۲۵ بایو ۱۴ (بارش خشک‌ترین ماه)	
۲۶ بایو ۱۵ (تغییرات فصلی بارش)	منظور از فصلی بودن بارش یعنی تمایل مکانی به بارندگی بیشتر در ماه‌ها یا فصول خاصی نسبت به ماه‌های دیگر.
۲۷ بایو ۱۶ (بارش مرطوب‌ترین فصل)	
۲۸ بایو ۱۷ (بارش خشک‌ترین فصل)	
۲۹ بایو ۱۸ (بارش گرم‌ترین فصل)	
۳۰ بایو ۱۹ (بارش سردترین فصل)	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

بررسی همبستگی متغیرهای اکولوژیکی

همبستگی بین متغیرها می‌تواند منجر به ارب‌های آماری و پیش‌بینی‌های نادرست شود. در نتیجه قبل از تحلیل، میزان همبستگی متغیرهای اکولوژیکی با استفاده از ماتریس همبستگی در نرم‌افزار ایدریسی^۲ بررسی شد تا بدین‌وسیله متغیرهایی که همبستگی بالایی (بیش از ۷۰ درصد) دارند از فرایند آنالیزهای بعدی حذف شوند (فلوری و همکاران، ۲۰۱۲). براساس ماتریس همبستگی فوق متغیرهای مستقل محیط‌زیستی

غربالگری شدند و متغیرهای با همبستگی بالای ۷۰ درصد (فلوری و همکاران، ۲۰۱۲) از روند مدل سازی حذف شدند. از ۳۰ متغیر مستقل ۱۵ متغیر به دلیل همبستگی بالا با سایر متغیرها حذف شدند (متغیرهای ۱۱ تا ۱۷ و ۱۹ تا ۲۴ و متغیرهای ۲۷ و ۲۹) و ۱۵ متغیر باقیمانده (متغیرهای ۱ تا ۱۰ و متغیرهای ۱۸، ۲۵، ۲۶، ۲۸ و ۳۰) به عنوان متغیرهای مستقل نهایی در فرآیند مدل سازی مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی لایه ها طبق این جدول، قابلیت ورود به فرآیند مدل سازی را دارند، به عبارت دیگر همبستگی لایه ها در سطح پایینی بود.

یافته ها و بحث

حساسیت سنجی مدل

مطالعات نشان داده اند مدل مکسنت حتی با در دست داشتن نقاط کم حضور نیز می تواند نتایج قابل قبولی تولید کند که برای گونه های کمیاب با پراکندگی وسیع مثل گونه گرگ خاکستری مناسب است. این روش می تواند به صورت همزمان از متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، پوشش زمین و حتی عوامل انسانی برای پیش بینی زیستگاه مناسب استفاده کند. مکسنت به دلیل داشتن دقت بالا و انعطاف پذیری ابزاری ایده آل برای ارزیابی زیستگاه محسوب می شود. این مدل از طریق سه نوع تحلیل، اهمیت متغیرهای ورودی به مدل را در پیش بینی نشان می دهد. ابتدا با توجه به جدول ۴ سهم مشارکت هر یک از متغیرها محاسبه شد. جدول ۴ تخمینی از سهم نسبی متغیرهای محیطی را در مدل مکسنت ارائه می دهد. وقتی متغیرهای پیش بینی همبستگی دارند، مشارکت متغیرها باید با احتیاط تفسیر شود. همان طوری که مشاهده می شود، متغیر فاصله از طعمه ها با درصد مشارکت حدود ۶۲٪ از بالاترین سهم نسبی مشارکت در تعیین زیستگاه گرگ خاکستری در منطقه بیجار برخوردار است (جدول ۲).

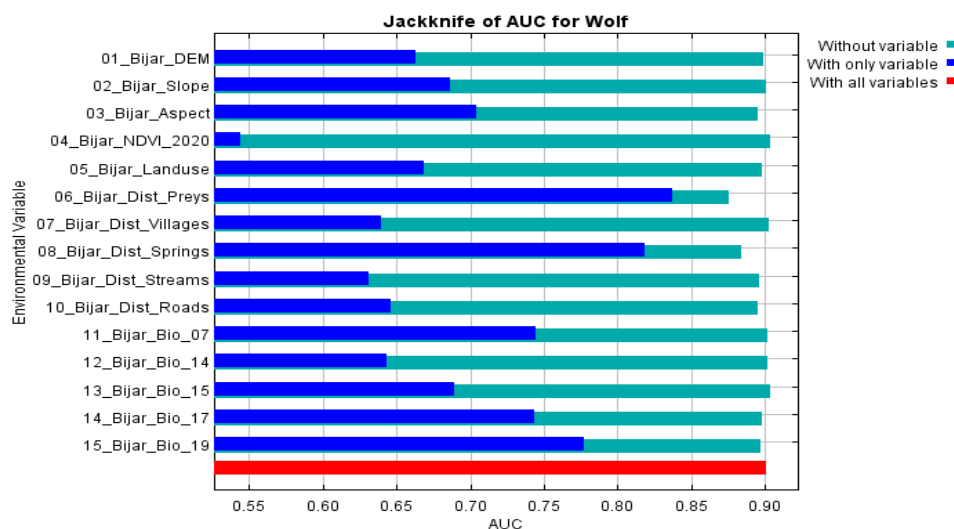
جدول ۲. درصد سهم نسبی متغیرهای مختلف در تعیین زیستگاه گرگ خاکستری

متغیرها	نام اختصار	درصد مشارکت
فاصله از طعمه ها	06_Bijar_Dist_Preys	۶۱/۸
بایو ۱۵ (تغییرات فصلی بارش)	13_Bijar_Bio_15	۱۰/۱
کاربری اراضی	05_Bijar_Landuse	۵
مدل رقومی ارتفاع	01_Bijar_DEM	۴/۷
بایو ۱۹ (بارش سردترین فصل)	15_Bijar_Bio_19	۳/۹
فاصله از چشمه ها	08_Bijar_Dist_Springs	۳/۲
فاصله از روستاها	07_Bijar_Dist_Villages	۲/۹
جهت	03_Bijar_Aspect	۲/۴
فاصله از رودخانه ها	09_Bijar_Dist_Streams	۲/۴
فاصله از جاده ها	10_Bijar_Dist_Roads	۲
تراکم پوشش گیاهی	04_Bijar_NDVI_2020	۱/۵
بایو ۱۷ (بارش خشک ترین فصل)	14_Bijar_Bio_17	۰/۱
بایو ۱۴ (بارش خشک ترین ماه)	12_Bijar_Bio_14	۰
بایو ۷ (دامنه تغییرات دمای سالانه)	11_Bijar_Bio_07	۰
شیب	02_Bijar_Slope	۰

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۳

دومین تحلیل، نمودار جک نایف^۱ است که با این روش هم می توان تأثیر متغیرها را برآورد نمود. در خروجی مکسنت سه نوع منحنی جک نایف برای داده های آزمون، داده های تعلیمی و برای آیوسی (سطح زیر منحنی) رسم می شود که می توان برای نتیجه گیری تنها به منحنی جک نایف و آیوسی بسنده نمود. تصویر زیر نتایج ارزیابی اهمیت متغیرها را با آزمون نشان می دهد. متغیرهای محیطی با بیشترین بهره^۲ که به صورت مجزا استفاده می شود، فاصله از طعمه و فاصله از چشمه هست که به نظر می رسد به خودی خود مفیدترین اطلاعات را دارند. همچنین متغیرهای محیطی که بیشترین کاهش بهره را در صورت حذف دارد، نیز همین دو فاکتور هستند. بنابراین به نظر می رسد بیشترین اطلاعاتی که در سایر متغیرها وجود ندارد را دارا هستند (شکل ۴).

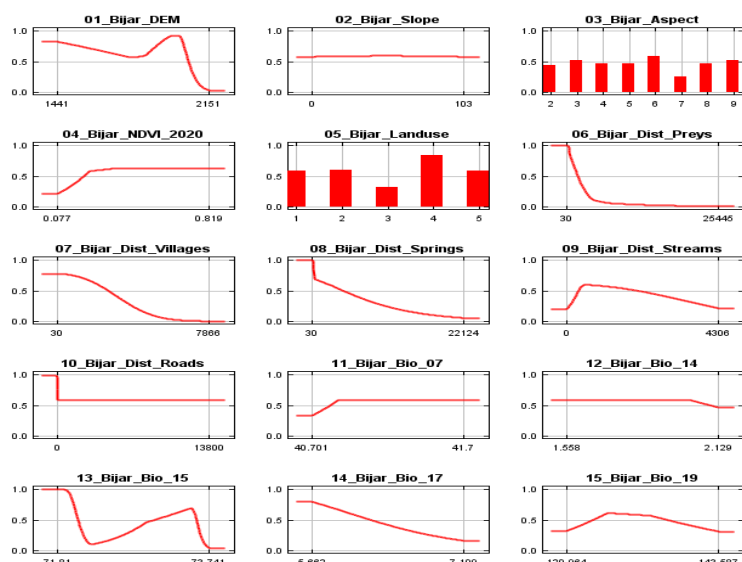
1. JackkNife
2. Gain



شکل ۴. نمودار جک نایف

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نمودار نشان می‌دهد که یک متغیر به تنهایی چه سهم و اطلاعاتی در مدل‌سازی دارد و همچنین در صورت حذف این متغیر، چه سهمی از اطلاعات مدل‌سازی از بین می‌رود. لازم به ذکر است در اکثر مطالعات از نتایج این نمودار بیشتر گزارش شده است. سومین تحلیل، منحنی‌های پاسخ متغیرها است. شکل ۵ میزان احتمال حضور گونه را با متغیرها می‌سجد و پاسخ متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها نشان می‌دهند که هر متغیر محیطی چگونه بر پیش‌بینی مکسنت تأثیر می‌گذارد. همچنین بیانگر این هستند که چگونه احتمال حضور پیش‌بینی شده با تغییر هر متغیر محیطی تغییر می‌کند و همه متغیرهای محیطی دیگر را در مقدار نمونه متوسط خود نگه می‌دارد. باید توجه داشت که اگر متغیرها همبستگی قوی داشته باشند، تفسیر منحنی‌ها دشوار است. زیرا ممکن است مدل به روش‌هایی به همبستگی‌ها بستگی داشته باشد که در منحنی‌ها مشهود نیستند. به عبارت دیگر، منحنی‌ها دقیقاً اثر حاشیه‌ای تغییر یک متغیر را نشان می‌دهند، درحالی‌که مدل ممکن است از مزایای مجموعه‌ای از متغیرها که باهم تغییر می‌کنند، استفاده کند.

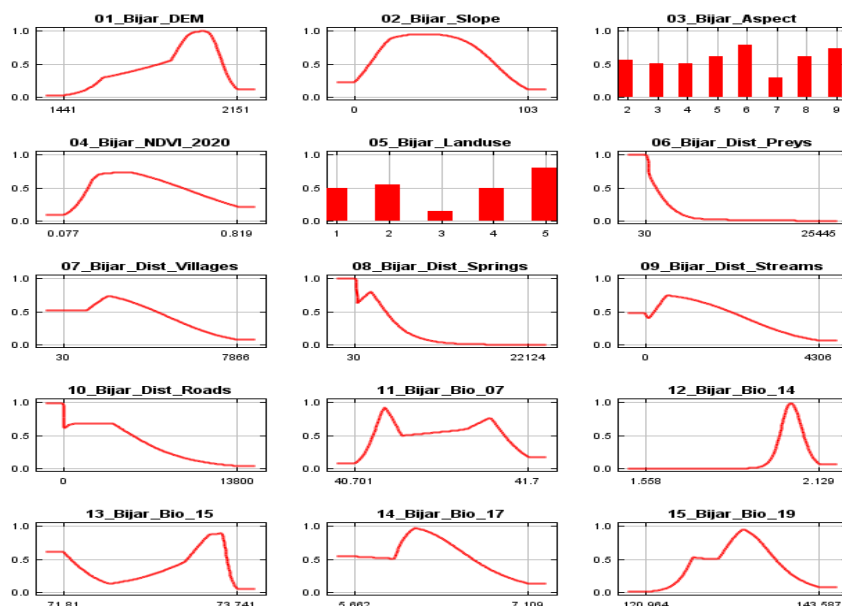


شکل ۵. منحنی‌های پاسخ گونه گرگ نسبت به متغیرهای اکولوژیکی همراه با اثر متقابل احتمالی متغیرها

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

برخلاف منحنی‌های پاسخ حاشیه‌ای بالا (شکل ۵)، هر یک از منحنی‌های شکل ۶ نشان‌دهنده یک مدل متفاوت است، یعنی یک مدل مکسنت که فقط با استفاده از متغیر مربوطه ایجاد شده است. این نمودارها وابستگی تناسب پیش‌بینی شده را هم به متغیر انتخابی و هم به

وابستگی‌های ناشی از همبستگی بین متغیر انتخاب شده و سایر متغیرها منعکس می‌کنند. اگر همبستگی قوی بین متغیرها وجود داشته باشد، ممکن است تفسیر این منحنی‌ها آسان‌تر باشد.

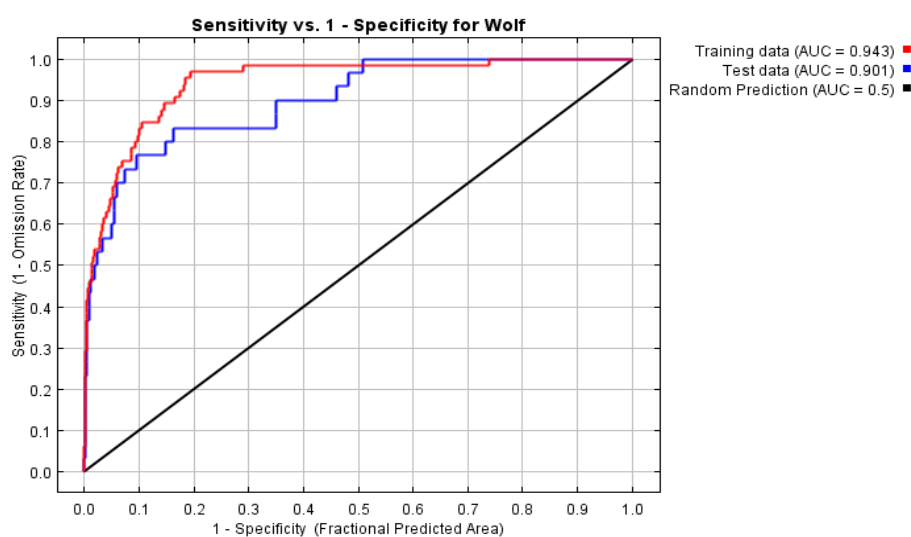


شکل ۶. منحنی‌های پاسخ گونه گرگ نسبت به متغیرهای اکولوژیکی بدون اثر متقابل احتمالی متغیرها

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

اعتبار سنجی مدل

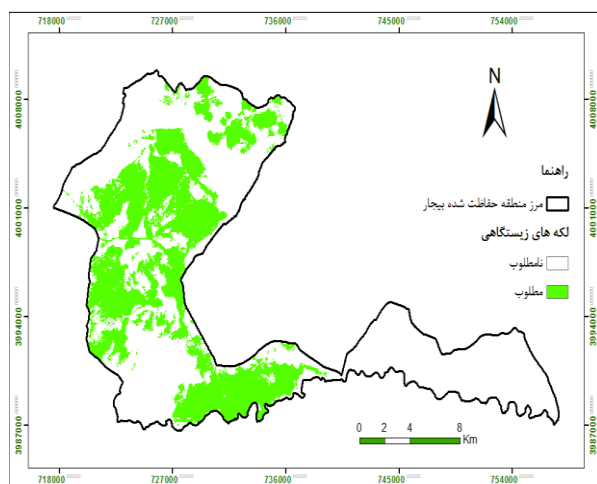
یکی از نقاط قوت مدل مکسنت خودکفا بودن در ارزیابی مدل است. قابلیت پیش‌بینی مدل و یا به عبارتی ارزیابی عملکرد آن با بررسی شاخص آیوسی (AUC) که نشان‌دهنده سطح زیر منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده^۱ است، انجام می‌شود و در این پژوهش مقدار شاخص آیوسی برای داده‌های آزمون مدل ۰/۹۰۱ محاسبه شده است. در شکل ۷ میزان این شاخص برای داده‌های آموزش و آزمون مدل قابل مشاهده است. در این بین اگر میزان آیوسی ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، مدل خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ عالی و بیشتر از ۰/۹ پیش‌بینی بسیار عالی را نشان می‌دهد (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷).



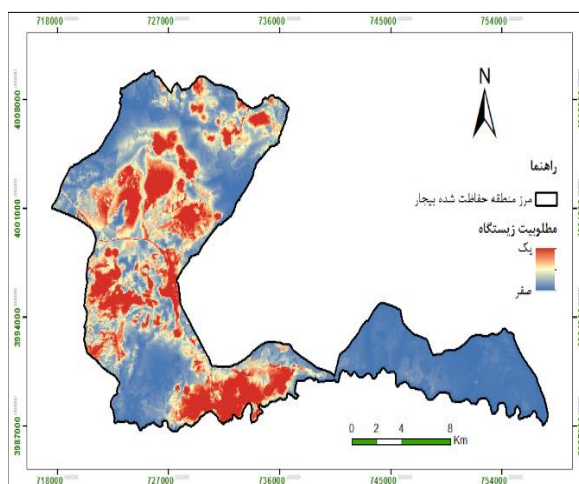
شکل ۷. مقدار شاخص آیوسی برای پارامترهای مختلف

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

سطح زیر منحنی داده‌های آموزشی ۰/۹۴۳ است که نشان‌دهنده‌ی عملکرد عالی مدل در تشخیص صحیح موارد مثبت و منفی روی داده‌های آموزشی است. عملکرد مدل برای داده‌های آزمون مقدار ۰/۹۰۱ است که بسیار خوب می‌باشد اما مقداری از داده‌های آموزشی پایین‌تر است که ممکن است نشان‌دهنده‌ی اندکی اضافه برآزش باشد. آیوسی پیش‌بینی تصادفی برابر ۰/۵ است که این خط مبنا نشان‌دهنده‌ی یک مدل بی تفاوت است که هیچ قدرت تشخیصی ندارد. به طور کلی آیوسی مدل مورد نظر از عملکرد خوبی برخوردار است. تهیه نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه مهم‌ترین خروجی مدل مکسنت محسوب می‌شود. در ادامه نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه گرگ خاکستری، به صورت پیوسته و گسسته آورده شده است. جهت استخراج نقشه گسسته از حد آستانه ۰/۲۲ که بر اساس میزان حساسیت و ویژگی تعلیمی برابر^۱ استخراج گردید، استفاده شد (شکل‌های ۸ و ۹).



شکل ۹. گسسته تناسب زیستگاه گرگ خاکستری



شکل ۸. پیوسته تناسب زیستگاه گرگ خاکستری

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

اعتبار سنجی مدل اجرا شده بر اساس خروجی نرم افزار مکسنت در رده بسیار عالی قرار می‌گیرد. سطح زیر منحنی AUC که مهمترین مولفه اعتبارسنجی مدل می‌باشد برای داده‌های تعلیمی و آزمون به ترتیب ۰/۹۴۳ و ۰/۹۰۱ به دست آمد که قابل مقایسه با مطالعات داخلی و خارجی برای گرگ خاکستری است. برای مثال شاخص آیوسی در مطالعه شارما^۲ و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارزیابی مطلوبیت زیستگاه گرگ هندی ۰/۹۸۱ به دست آمد. همین شاخص در مطالعه یالپانیان و همکاران (۱۳۹۴) در منطقه حفاظت شده خانگرمز همدان ۰/۷۴۴ محاسبه شده است. بنابراین می‌توان اذعان کرد که اعتبار مدل کاملاً قابل قبول می‌باشد. نقشه توزیع گونه‌ها ابزاری ضروری برای انتخاب و طراحی مناطق حفاظت‌شده و ارزیابی اثرات انسان بر روی تنوع زیستی و آزمون فرضیات زیست جغرافیای می‌باشد. (فیلیس و همکاران، ۲۰۰۶). این نقشه‌ها راهنمایی برای تصمیم‌گیران و مدیران حیات‌وحش هستند (جانسون و گیلینگهام^۳، ۲۰۰۶). با استفاده از اطلاعات، موقعیت گرگ‌های خاکستری و شاخص‌های استخراج شده می‌توان مناطق مساعد برای حضور گونه گرگ خاکستری را شناسایی کرد. در شکل ۵ میزان تأثیر متغیرهای مختلف بر روی توزیع پراکنش گونه گرگ خاکستری از جمله عوامل اکولوژیکی هم‌چون شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شاخص پوشش گیاهی و پارامترهای هواشناسی و همین‌طور عوامل انسانی و جغرافیایی مانند؛ فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از منابع آب و فاصله از طعمه به تفصیل مورد بررسی قرار گرفتند. منحنی‌های پاسخ گونه به این شکل است که محور افقی متغیرهای محیطی و محور عمودی احتمال حضور گرگ (مقدار بین ۰ تا ۱) را نشان می‌دهد. تفسیر جداگانه منحنی‌های پاسخ گرگ نسبت به هر متغیر محیطی بدین گونه است. عامل ارتفاع از سطح دریا: بیش‌ترین حضور گرگ به دلیل تعادل بین دسترسی به طعمه و شرایط آب‌وهوایی مناسب، در ارتفاعات متوسط است. عامل شیب: در شیب‌های بسیار تند (بالای ۵ درجه) احتمال حضور گرگ کاهش می‌یابد و بیش‌تر از مناطق با شیب کم برای شکار و حرکت استفاده می‌کند. عامل جهت شیب: جهت‌های شمالی یا شرقی به دلیل دارا بودن رطوبت و پوشش گیاهی مناسب، برای گرگ مطلوب‌تر است. شاخص پوشش گیاهی: احتمال حضور گرگ ابتدا با افزایش تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد اما پس از یک حد بهینه ثابت می‌شود یا کاهش می‌یابد. زیرا گرگ به تراکم پوشش گیاهی متوسط جهت شکار و استتار نیاز دارد و جنگل‌های بیش از حد متراکم ممکن است مانع

1. Equal training sensitivity and specificity
2. Sharma
3. Johnson & Gillingham

حرکت گرگ شود. عامل کاربری اراضی: گرگ در کاربری‌های خاصی مانند مرتع یا جنگل‌های کم تراکم بیشتر حضور دارد. مناطق شهری یا کشاورزی فشرده برای گرگ نامطلوب است. در نتیجه تخریب زیستگاه‌های طبیعی مانند تبدیل مراتع به زمین کشاورزی می‌تواند عامل محدود کننده برای توزیع گرگ باشد. فاصله از طعمه: هرچه فاصله از طعمه مثلاً گونه قوچ و میش ارمنی یا خرگوش کم‌تر باشد، احتمال حضور گونه گرگ خاکستری به شدت افزایش می‌یابد. در واقع دسترسی به طعمه عامل کلیدی در انتخاب زیستگاه گرگ است. فاصله از روستا: گرگ بیش‌تر از مناطق دور از سکونتگاه‌های انسانی استفاده می‌کند. درواقع ترس از انسان یا تعارضات انسانی باعث می‌شود گرگ به مناطق دوردست پناه برد. فاصله از منابع آب: حضور گرگ در فاصله‌های نزدیک به چشمه‌ها و رودخانه‌ها بسیار بالا است. می‌توان گفت منابع آب نیز نقاط کلیدی برای بقای گرگ هستند. فاصله از جاده: گرگ از جاده‌ها اجتناب می‌کند. زیرا جاده‌ها ممکن است باعث تکه‌تکه شدن زیستگاه یا افزایش خطر تصادف برای گرگ شوند. پارامترهای هواشناسی: به طور کلی مناطق با دمای متوسط و نسبتاً خنک و معتدل، ثبات نسبی بارندگی و بارش زمستانه کافی به جهت سهولت دسترسی به آب و طعمه، برای گرگ مطلوب‌تر است. می‌توان گفت گرگ یک گونه انعطاف پذیر است که حضور آن به ترکیبی از عوامل توپوگرافی، آب‌وهوایی و انسانی بستگی دارد. متغیرهای کلیدی شامل دسترسی به طعمه، آب و دوری از انسان هستند. برای مدیریت حفاظت از گرگ باید بر حفظ ارتباط بین زیستگاه‌های طبیعی و کاهش تعارضات انسانی تمرکز کرد. در شکل ۶ منحنی‌های پاسخ گونه گرگ نسبت به متغیرهای اکولوژیکی بدون اثر متقابل ترسیم شده است. که در این حالت، فرض می‌شود که هر متغیر اکولوژیکی به طور مستقل بر حضور یا فراوانی گرگ تأثیر می‌گذارد. به طور کلی اگر اثر متقابل وجود داشته باشد اما نادیده گرفته شود، مدل ممکن است خطای تفسیری داشته باشد یا رابطه‌های واقعی را به درستی نشان ندهد. مدل‌های با اثر متقابل واقع‌بینانه‌تر هستند اما نیاز به داده‌های بیشتر و تحلیل‌های پیچیده‌تر دارند. در مطالعات اکولوژیکی، بررسی اثرات متقابل معمولاً به درک دقیق‌تر رابطه گونه با محیط کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

در حال حاضر چهار عامل اساسی شکار بی‌رویه توسط عامل انسانی، تخریب زیستگاه، چرای بی‌رویه و تبدیل زمین‌های مرتعی به زراعی از عوامل عمده تهدیدکننده و تأثیرگذار در قلمروهای کوهستانی منطقه حفاظت شده بیجار است. شواهد نشان می‌دهند که با توجه به عوامل منفی از جمله تخریب زیستگاه‌ها، تله‌گذاری، شکار، بیماری و ... جمعیت آن‌ها کاهش یافته است. آمار دقیق از وضعیت گرگ‌های خاکستری در کشور وجود ندارد ولی شواهد حاکی از کاهش شدید این نوع گونه در کشور است. این امر بر چرخه حیات گونه‌های جانوری اثرات منفی می‌گذارد. پژوهش حاضر بررسی زیستگاه‌های گرگ خاکستری به دنبال شناسایی شاخص‌های اثرگذار بر زیستگاه این گونه است. حفاظت از زیستگاه، مهم‌ترین عامل در حفظ تنوع زیستی کشور است و یکی از عوامل حفظ زیستگاه، حفاظت از زنجیره‌های غذایی می‌باشد که با توجه به کاهش روزافزون جمعیت گوشت‌خواران بزرگ جثه در اغلب زیستگاه‌ها، حضور گرگ به‌عنوان شکارچی، نقش مهم‌تری به‌عنوان گونه کلیدی، در رأس هرم غذایی بیش‌تر زیستگاه‌های کشور دارد (اگرتون^۱، ۲۰۰۷).

اطلاعات اخذ شده از سازمان حفاظت محیط زیست و برداشت‌های میدانی حاکی از وجود گونه گرگ خاکستری در منطقه است. همین‌طور روابط پیچیده‌ای بین متغیرهای محیطی هم‌چون عوامل توپوگرافی، آب‌وهوا شناسی و عوامل انسانی با تناسب زیستگاه وجود دارد که دارای اثر متقابل بر یکدیگر هستند. نرم افزار مکسنت جهت تحلیل و ارزیابی مطلوبیت زیستگاه با تجمیع و روی هم گذاری پارامترهای مختلف و بر اساس منطق یادگیری ماشینی^۲ و ایده حداکثر بی‌نظمی به خوبی میزان کمیابی و کیفیت زیستگاه‌ها را مدل‌سازی و ارزش‌گذاری می‌کند. نتایج به دست آمده بیان می‌دارند که از مساحت ۳۱۷۶۹ هکتاری منطقه ۱۱۵۵۴ هکتار آن زیستگاه مطلوبی برای گونه گرگ خاکستری است که برحسب درصد حدود ۳۷/۶٪ از سطح منطقه را شامل می‌شود. وضعیت پراکنش گونه گرگ خاکستری نشان می‌دهد که بخش مرکزی منطقه دارای تراکم بیش‌تر و بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه دارای تراکم کم‌تری است. هم‌چنین بخش جنوب شرقی منطقه میزان تراکم گرگ خاکستری در آن کم است. بررسی‌ها نشان داد متغیرهای محیطی از جمله توپوگرافی زمین و وجود طعمه گرگ از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر زیستگاه گرگ خاکستری است. هم‌چنین میزان تأثیرگذاری متغیرهای توپوگرافی زمین به نسبت سایر متغیرها بیش‌تر است. چرا که تعداد شاخص بین زیر متغیرها زیاد بوده است.

مطالعه حاضر اطلاعات مهمی در اختیار مدیران در راستای حفاظت از مهم‌ترین حوزه پراکندگی گرگ‌های خاکستری در کشور قرار می‌دهد. موفقیت زادآوری و حفاظت از جمعیت گرگ‌های خاکستری در ایران تا حدود زیادی وابسته به حفاظت از این محدوده از کشور می‌باشد (ام

1. Egerton

2. Machine Learning

سی لوگین^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌هایی هم‌چون فاصله از جاده و روستا، نزدیکی به منابع آبی و غذایی بر مطلوبیت زیستگاه می‌افزاید. از این رو می‌توان با بهره‌گیری از شاخص‌های اثرگذار بر زیستگاه گرگ خاکستری برای ایجاد فاصله بین زیستگاه با مراکز جمعیتی برنامه‌ریزی کرد. فاصله از چشمه و منابع آبی نیز از دیگر شاخص‌های مؤثر بر زیستگاه گونه گرگ خاکستری است. با توجه به موقعیت منطقه حفاظت‌شده بیجار بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه از نظر شاخص نزدیکی به منابع آبی و چشمه برای زیستگاه گرگ خاکستری مطلوب است. پیشنهاد می‌گردد که برای سایر مناطق حفاظت‌شده و برای سنجش وضعیت زیستگاه‌های گرگ خاکستری از شاخص‌های استخراج شده در این پژوهش استفاده گردد. همچنین از منظر مدیریتی نیز مطالعه حاضر نشان داد که با توجه به شاخص‌های مطرح شده می‌توان زمینه مسالمت‌آمیزی از حیات گرگ‌های خاکستری را در منطقه حفاظت‌شده بیجار ایجاد کرد.

حامی مالی

مقاله خروجی طرح پژوهشی داخلی دانشگاه کردستان است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسنده اول: نگارش مقدمه و مرور ادبیات و سوابق پژوهش و مرور نهایی مقاله
نویسنده دوم: جمع‌آوری داده‌های میدانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها، مرور نهایی مقاله
نویسنده سوم: تجزیه و تحلیل داده‌ها، مرور نهایی مقاله، تدوین یافته‌ها و نتیجه‌گیری

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از کارمندان اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کردستان علی‌الخصوص آقای مهندس ویسی، مهندس باتو و مهندس یحیی کریمیان که در انجام این طرح ما را یاری کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

۱. فلاح باقری، فریبا و فراشی، آریتا (۱۳۹۰). مدل‌سازی زیستگاه گرگ (*Canis lupus*) در پارک ملی کلاه قاضی با استفاده از روش تحلیل فاکتوری آشیان بوم شناختی ENFA. *علوم دامی (پژوهش و سازندگی)*، ۲۴(۳)، ۱۱-۱۸. <https://sid.ir/paper/215014/en>
۲. احمدی، محسن؛ کابلی، محمد؛ ایمانی هرسینی، جلیف خسروی شریف آبادی، رسول و الماسی، مهدی (۱۳۹۱). تدوین برنامه مدیریت استراتژیک جمعیت‌های گرگ (*Canis lupus*) در استان همدان با رویکرد کاهش تعارضات بین انسان و گرگ. *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۶۵(۳)، ۲۷۱-۲۸۱. <https://doi.org/10.22059/jne.2012.29783>
۳. یالپانین، علی اکبر؛ کرمی، محمود؛ شمس اسفندآباد، بهمن و مخفی، گلنار (۱۳۹۴). ارزیابی زیستگاه گرگ خاکستری (*Canis lupus*) در منطقه حفاظت شده خانگرمز استان همدان با استفاده از روش MaxEnt. *فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری*، ۷(۲)، ۳۰-۱۹. <https://civilica.com/doc/1313440/>
4. Andersen, M. C., Watts, J. M., Freilich, J. E., Yool, S. R., Wakefield, G. I., McCauley, J. F., & Fahnestock, P. B. (2000). Regression-tree modeling of desert tortoise habitat in the central Mojave Desert. *Ecological Applications*, 10(3), 890-900. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0890:RTMODT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0890:RTMODT]2.0.CO;2)
5. Carroll, C., Noss, R. F., & Paquet, P. C. (2001). Modeling carnivore habitat in the Rocky Mountain region: a literature review and suggested strategy. *World Wildlife Fund Canada*. <https://doi.org/10.2307/3061005>
6. Egerton, F. N. (2007). Understanding food chains and food webs, 1700-1970. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 88(1), 50-69. [https://doi.org/10.1890/0012-9623\(2007\)88\[50:UFCAFW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9623(2007)88[50:UFCAFW]2.0.CO;2)
7. Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1), 38-49. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>
8. Gibson, L. A., Wilson, B. A., Cahill, D. M., & Hill, J. (2004). Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia. *Biological Conservation*, 117(2), 143-150. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00288-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00288-X)

9. Hirzel, A. H., Helfer, V., & Metral, F. (2001). Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*, 145(2–3), 111–121. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00396-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00396-9)
10. Kabir, M., Hameed, S., Ali, H., Bosso, L., Din, J. U., Bischof, R., & Nawaz, M. A. (2017). Habitat suitability and movement corridors of grey wolf (*Canis lupus*) in Northern Pakistan. *PloS One*, 12(11), e0187027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187027>
11. Larsen, T., & Ripple, W. J. (2006). Modeling gray wolf (*Canis lupus*) habitat in the Pacific Northwest. *Journal of Conservation Planning*, 2(1), 30–61. <https://www.researchgate.net/publication/241907150>
12. Mech, L. D., & Boitani, L. (2004). *Wolves: Behavior, Ecology, and Conservation*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1017/S0030605304230411>
13. Moore, J. A., & Gillingham, J. C. (2006). Spatial ecology and multi-scale habitat selection by a threatened rattlesnake: the eastern massasauga (*Sistrurus catenatus catenatus*). *Copeia*, 4, 742–751. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2006\)6\[742:SEAMHS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2006)6[742:SEAMHS]2.0.CO;2)
14. Morrison, M. L., Marcot, B., & Mannan, W. (2012). *Wildlife-habitat relationships: Concepts and applications*. <https://doi.org/10.2307/3809101>
15. Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
16. Sharma, L. K., Mukherjee, T., Saren, P. C., & Chandra, K. (2019). Identifying suitable habitat and corridors for Indian Grey Wolf (*Canis lupus pallipes*) in Chotta Nagpur Plateau and Lower Gangetic Planes: A species with differential management needs. *PloS One*, 14(4), e0215019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215019>
17. Stricker, H. K., Gehring, T. M., Donner, D., & Petroelje, T. (2019). Multi-scale habitat selection model assessing potential gray wolf den habitat and dispersal corridors in Michigan, USA. *Ecological Modelling*, 397, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.021>
18. Van den Bosch, M., Beyer Jr, D. E., Erb, J. D., Gantchoff, M. G., Kellner, K. F., MacFarland, D. M., & Belant, J. L. (2022). Identifying potential gray wolf habitat and connectivity in the eastern USA. *Biological Conservation*, 273, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109708>
19. Van den Bosch, M., Kellner, K. F., Gantchoff, M. G., Patterson, B. R., Barber-Meyer, S. M., Beyer, D. E., & Belant, J. L. (2023). Habitat selection of resident and non-resident gray wolves: Implications for habitat connectivity. *Scientific Reports*, 13(1), 20415. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47815-0>

