فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

۴۹-۶۸

مقاله پژوهشی

سطح مطلوبیت و اثر عوامل محیطی بر انتخاب زیستگاه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در ایران

معصومه شریفی[۱]، باقر نظامی بلوچی[۲،۳]، جواد رمضانی[۳،۴]* ، بهزاد رایگانی[۲،۵] و علی جهانی[۲،۵]

[۱] گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

[۲] گروه محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

[۳] گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

[۴] گروه محیط زیست دریایی، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

[۵] گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

شریفی، م.، ب. نظامی بلوچی، ج. رمضانی، ب. رایگانی و ع. جهانی. ۱۴۰۲. سطح مطلوبیت و اثر عوامل محیطی بر انتخاب زیستگاه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۲): ۴۹-۶۸.

سابقه و هدف: خرس قهوه‌ای *(Ursus arctos)* بزرگترین گوشتخوار کشور است که گستره حضور وسیعی داشته اما همانند سایر گوشتخواران بزرگ جثه از فراوانی اندک در سطح گسترده کشور برخوردار است. زیستگاه‌های این گونه در کشور به ویژه در سطح محلی از هم گسیختگی زیادی دارند، از اینرو ارزیابی و شناسایی مناطق بالقوه زیستگاهی دارای مطلوبیت بالاتر، اهمیت زیادی در حفاظت از این گونه دارد. همچنین شناخت اثر عوامل زیست، زمین و اقلیمی بر انتخاب زیستگاه نقش مهمی برای توصیف توزیع گونه داشته و این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان بین زیستگاه‌های مختلف از نظر کیفیت تفاوت قایل شد و از آن در مدیریت موثر استفاده کرد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در محدوده شمال غرب ایران در بخش ارسباران انجام شد که بعنوان اقلیم جغرافیایی قفقازی شناخته می‌شود. بخش قفقاز ایران دارای دو جامعه گیاهی مجزای هیرکانی و ارسبارانی است. با انجام بازدیدهای میدانی و گردآوری مشاهدات و گزارشات تائید شده محیط‌بانان و متخصصین، نقاط حضور قطعی گونه شناسایی شد. پس از صحت سنجی نقاط بدست آمده و اعمال بافر، ۶۴ نقطه در مدلسازی استفاده شدند. به منظور ایجاد یک مدل توزیع گونه‌ای کارآمد و شناسایی مناطق مطلوب بالقوه، از شش تکنیک مدل‌سازی در بسته BIOMOD نرم افزار R استفاده شد. در نهایت از خروجی‌های بدست آمده با استفاده از روش ترکیبی Ensemble نقشه مطلوبیت زیستگاه بدست آمد.

* Corresponding Author: *Email Address*. jramezani@rcesd.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2023.1168
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.13.1

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نتایج و بحث: نتایج حاصل از خروجی مدل‌ها و رویهم‌گذاری نقشه مناطق تحت مدیریت نشان داد که بیش از دو سوم از این مناطق، برای خرس قهوه‌ای از مطلوبیت برخوردار هستند. متغیرهای درصد شیب و شاخص پوشش گیاهی بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت زیستگاهی داشتبه شکلی که شیب متوسط و تراکم پوشش گیاهی بالاتر، مطلوبیت بیشتری را برای گونه به همراه داشت. متغیرهای فاصله از رودخانه اثر کم و فاصله از روستا نقش زیادی در تعیین مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای نداشت. هموار بودن مناطق، با توجه به اینکه دسترسی انسان را افزایش می‌دهد، سطح امنیت و مطلوبیت را کاهش خواهد داد. احتمال حضور گونه در محدوده شیب حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد بیشتر بود که با افزایش تراکم پوشش گیاهی نیز مطلوبیت زیستگاه با شیب ملایمی افزایش یافت. همچنین مناطق با بارندگی متوسط و ارتفاع بالاتر در جذب خرس‌ها و افزایش مطلوبیت زیستگاه اهمیت دارند. در مقابل افزایش دما، تراکم جاده‌ها و افزایش فعالیت‌های متمرکز انسانی مطلوبیت زیستگاه را با شیب تقریبا تندی کاهش می‌دهند. ۶۷ درصد از زیستگاه‌های مطلوب گونه داخل محدوده مناطق چهارگانه و ۳۳ درصد آنها خارج از مناطق تحت حفاظت واقع شده‌اند. با وجودی که بخش وسیعی از مناطق تحت حفاظت از مطلوبیت برخوردارند اما تراکم خرس قهوه‌ای در این بخش از کشور بسیار پائین‌تر از سایر گستره حضور گونه در شمال و غرب کشور است. این امر احتمالا به دلیل تلفات زیاد انسانی در این محدوده و اینکه اغلب مناطق آنقدر وسعت و یکپارچگی ندارند که بتوانند تمام گستره خانگی گونه را پوشش دهند، است.

نتیجه‌گیری: یکی از مهمترین استراتژی‌های حفاظتی برای گونه گوشتخوار بزرگ جثه‌ای مانند خرس که رفتار جابجایی بلند، تراکم جمعیت کم، تعارض بالا و نیازمندی‌های حفاظتی وسیع دارد، اتصال زیستگاه‌ها و تعریف مناطق حفاظت شده جدید بینابینی در این منطقه براساس خروجی‌های نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه است. همچنین ساماندهی دامداری‌های پراکنده در مناطق مطلوب، اجرای برنامه‌های آموزشی و مهمتر از آن پرداخت خسارات وارد شده از سوی خرس به جوامع روستایی اهمیت زیادی در کاهش تعارض و اقدامات تلافی‌جویانه دارد.

واژه‌های کلیدی: مدل توزیع گونه‌ای، حوزه قفقاز، مطلوبیت زیستگاه، شیب، تراکم پوشش گیاهی، کارایی حفاظتی.

مقدمه

گوشتخواران بزرگ جثه در راس هرم غذایی علاوه بر نقش اکولوژیک بسیار مهمی که در پایداری اکوسیستم‌ها بازی می‌کنند، نمادی از وضعیت حفاظتی حیات وحش در زیست‌بوم مربوطه هستند (Farhadinia *et al.*, 2019). با این حال همه گوشتخواران با اندازه‌های مختلف تراکم پایینی دارند (Boitani and Powell, 2012) و اغلب هم تهدید شده هستند (Ripple *et al.*, 2014). از این رو به طور گسترده بر حفاظت از گوشتخواران بزرگ جثه به عنوان یک استراتژی موثر حفاظتی تاکید شده است (Sergio *et al.*, 2008; Ordiza *et al.*, 2013). بدیهی است که مدیریت و حفاظت از آنها به عنوان یک استراتژی، با چالش‌ها و مشکلات فراوانی روبرو است. زیرا به دلیل نیاز-های زیستی زیاد، گستره خانگی وسیع و زیستگاه گسترده (Ripple *et al.*, 2014) تقابل آنها با جوامع انسانی بالاست (Eklund *et al.*, 2017).

خرس قهوه‌ای *(Ursus arctos)* بزرگترین گوشتخوار کشور است که جایگاه یک گونه چتر را در اکوسیستم خود دارد (DeNormandie *et al*., 2002) و در سایه حفاظت از نیازهای زیستگاهی و احتیاجات گسترده‌اش می‌توان بسیاری گونه‌های دیگر و جوامع اکولوژیک موجود در زیستگاه آن را حفظ کرد (Simberloff, 1997). از سوی دیگر در مقابل توسعه انسانی، به طور گسترده توصیه می‌شود که از گوشتخواران بزرگ جثه، بویژه گونه‌هایی که از جذابیت برخوردار هستند (Charisma)، حفاظت بیشتری به عمل آید، چرا که این استراتژی بسیار موثری برای حفاظت از زیستگاه مورد نیاز سایر گونه‌هاست (Eklund *et al.*, 2017; Sergio *et al*., 2008; Ordiza *et al.*, 2013).

زیرگونه سوریه‌ای خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos syriacus*) یکی از گونه‌های در خطر انقراض (En) (Calvignac *et al.*, 2009) و در ضمیمه II کنوانسیون CITES قرار دارد (CITES, 2020). این گونه وسیع‌ترین دامنه وقوع را در بین همه گوشتخواران ایران با گستره‌ای در سراسر کوهستان‌های البرز، زاگرس و حوزه قفقاز ایران در امتداد رشته کوه‌های به هم متصل شمال، غرب و شمال غرب ایران دارد (Nezami and Farhadinia,

2011; Kouchali *et al.*, 2018). این گونه همانند سایر گونه‌های حیات وحش در طول حدود نیم قرن اخیر یک روند کاهشی جمعیت و زیستگاه را به دلایل متعدد که مهمترین آنها افزایش بیش از دو برابری جمعیت کشور و در نتیجه افزایش سطح اشغال انسان، اولویت توسعه کشور در مقابل حفاظت از عرصه‌های طبیعی، شکار مفرط و نهایتا عدم وجود پشتوانه قانونی برای کنترل تهدیدات می‌باشند. تبدیل عرصه‌های جنگلی و کوهپایه‌ای که پیش‌تر زیستگاه حیات وحش بوده‌اند به زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها، تعارضات میان انسان و این گونه را بیشتر کرده است (Farhadinia *et al.*, 2019; Dickman, 2011).

شناخت عوامل موثر بر انتخاب زیستگاه نقش مهمی برای توصیف توزیع گونه‌ها داشته و این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان بین زیستگاه‌های مختلف از نظر کیفیت تفاوت قایل شد و از آن در مدیریت موثر استفاده کرد (Franklin, 2010). آگاهی از ویژگی‌های زیستگاهی یک گونه اطلاعات مهمی را در اختیار مدیرانی قرار می‌دهد که با مسایلی نظیر معرفی مجدد و انتقال گونه‌ها و توسعه مناطق تحت حفاظت سر و کار دارند (Araujo and New, 2007).

در سال‌های اخیر روش‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در ارزیابی زیستگاه گونه‌های حیات وحش اهمیت بالایی یافته است. این رویکرد با بکارگیری تحلیل‌های آماری چند متغیره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، احتمال حضور و یا عدم حضور گونه در مجموعه‌ای از شرایط زیستگاهی را برآورد می‌کند (Guisan and Zimmerman, 2000). خروجی این مدل‌ها که به صورت نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه می‌باشد کاربردهای بسیاری در اقدامات حفاظتی نظیر تعیین اولویت‌های مکانی حفاظتی، تعیین مرز مناطق تحت حفاظت، پیش بینی نتایج انتقال گونه‌ها، بررسی پراکنش گونه‌های مهاجم و غیره یافته است. با استفاده از نتایج این مدل‌ها علاوه بر آگاهی از عوامل محیط زیستی تاثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه یک گونه و ترتیب اهمیت آنها، می‌توان زیستگاه‌های مطلوب برای گونه را در سطح منطقه تحت حفاظت تعیین و اقدامات مدیریتی مناسب را به عمل آورد.

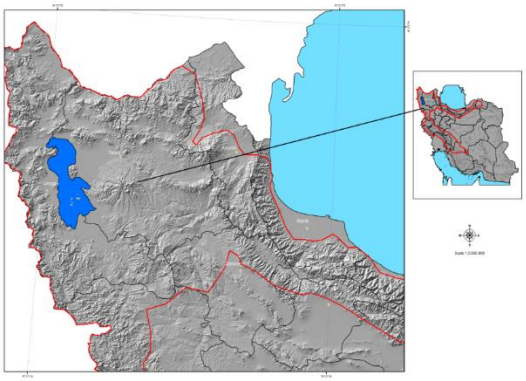
به علت عدم آگاهی از وضعیت حفاظتی و عدم شناخت کافی درباره این گونه متاسفانه در اکثر مناطق دنیا به ویژه در کشورهای در حال توسعه، آسیا و در بسیاری از مناطق ایران جمعیت این گونه به شدت در حال کاهش و زیستگاه‌های آنها در حال تخریب می‌باشند. هنوز برای بسیاری از جمعیت‌های این گونه کمبود داده‌های موثق و قابل اتکا وجود دارد و بسیاری از جمعیت‌ها به واسطه فقدان اطلاعات کافی برای مدیریت آنها، ازبین رفته‌اند (Seryodkin, 2003). هدف از انجام این مطالعه پیش بینی زیستگاه‌های مطلوب گونه با استفاده از مدل‌های مختلف و بررسی عملکرد مدل‌ها در شناسایی مناطق مطلوب است. بررسی پاسخ مدل‌ها به مطلوبیت زیستگاه و اثر عوامل محیطی بر گونه به منظور درک ارتباط عوامل زیست زمین اقلیمی بر گونه در زیستگاه دیگر هدف این مطالعه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر محدوده حوزه شمال غرب ایران شامل ارتفاعات شمال غرب کشور با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۴۴ درجه و دو دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی را در بر می‌گیرد. این محدوده بخش ارسباران یا همان امتداد جنوبی قفقاز (Transcaucasia) (Asef and Muradov, 2012) است که در مرزهای سیاسی ایران قرار دارد که شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، گیلان و شمال زنجان است که بعنوان اقلیم جغرافیایی قفقازی (Caucasus eco-region) شناخته می‌شود (شکل ۱).

بخش قفقاز ایران دارای دو جامعه گیاهی مجزای هیرکانی و ارسبارانی می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این منطقه

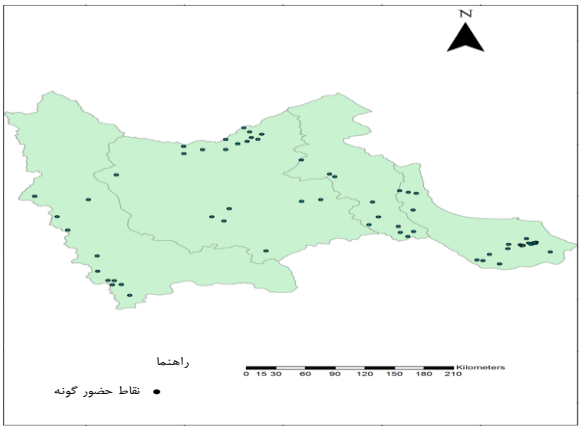
بین ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در مناطق پایین خزری و بین ۲۵۰ تا۸۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات غربی این منطقه می‌باشد. گونه‌های جانوری این منطقه شامل خرس قهوه‌ای، پلنگ *(Panthera pardus)*، سیاه گوش *(Lynx lynx)*، مرال *(Cervus elaphus)*، گربه وحشی *(Felis silvestris)*، گراز *(Sus scrofa)*، گرگ خاکستری *(Canis lupus)*، کل و بز *(Capra aegagrus)* و قوچ و میش ارمنی *(Ovis orientalis)* می‌باشند. تعداد مناطق چهارگانه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست در این محدوده ۳۸ منطقه می‌باشد که شامل ۳ پارک ملی، ۸ پناهگاه حیات وحش، ۷ اثر طبیعی ملی و ۲۰ منطقه حفاظت شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و گستره پراکندگی خرس قهوه‌ای در منطقه قفقاز ایران (نوار قرمز) (Nezami and Farhadinia, 2011)

Fig. 1- Map of species distribution in the study area and Iran (Nezami and Farhadinia, 2011)

نقاط حضور: به منظور تعیین نقاط حضور گونه در منطقه مورد مطالعه با انجام بازدیدهای میدانی و گردآوری مشاهدات و گزارشات محیط‌بانان و متخصصین از منطقه مورد مطالعه، نقاط حضور گونه تعیین شد. در مجموع ۸۵ نقطه حضور گونه شناسایی و مختصات آنها با استفاده از GPS ثبت شدند. پس از صحت سنجی نقاط بدست آمده، برای هر نقطه بافر ۷ کیلومتر در نظر گرفته شد (Ambarli *et al*., 2016). اعمال بافر موجب جلوگیری از ثبت تکراری افراد می‌شود. پس از اعمال بافر برای نقاط، تعداد ۶۴ نقطه در مدلسازی استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- پراکندگی نقاط استفاده شده درمدلسازی

Fig. 2- Distribution of presence points employed in the modeling

متغیرهای محیط زیستی: با مرور مطالعات قبلی (Mohammadi *et al*., 2021; Mateo-Sanchez *et al*., 2014; Kouchali *et al*., 2019)، متغیرهای تاثیرگذار محیطی بر پراکنش خرس قهوه‌ای بررسی و انتخاب شدند. بر این اساس چهار مجموعه متغیرهای محیطی شامل متغیرهای انسانی، توپوگرافی، پوشش زمین و اقلیم که معمولا برای توصیف شرایط درون زیستگاه خرس قهوه‌ای استفاده می‌شود، انتخاب گردید. متغیرهایی که در این

مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از درصد شیب، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا، شاخص ردپای انسانی و متغیرهای اقلیمی (Kouchali *et al*., 2019; Mohammadi *et al*., 2021) که با استفاده از نرم‌افزار Arc map ver 10.2 نقشه آنها تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای محیطی استفاده شده در مدل مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای
Table 1. Environmental variables used for brown bear habitat suitability model

متغیر Variables	مخفف Abbreviation	توصیف Description
پوشش گیاهی Vegetation cover	NDVI	شاخص پوشش گیاهی Normalized vegetation index
	Dis-river	فاصله از رودخانه‌ها Distance from rivers
توپوگرافی Topography	Elevation	مدل رقومی ارتفاع Digital elevation model
	slope	درصد شیب Slope steepness (%)
اقلیمی Climate	Ave-Tem	میانگین دمای سالانه Annual average temperature
	Anu-Prc.	بارندگی سالانه Annual precipitation
انسانی Anthropogenic	Dis-road	فاصله از جاده‌ها Distance from road
	Dis-vil.	فاصله از روستاها Distance from village
	Human footprint	شاخص تراکم جمعیت Index of population density

لایه رقومی ارتفاع تهیه شده در USGS (United State Geological Survey) برای تهیه نقشه ارتفاع و شیب منطقه به کار گرفته شد. در قسمت پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی NDVI که از ماهواره Modis در ۱۶ می سال ۲۰۱۶ تهیه شده بود، استفاده گردید. به منظور تعیین میزان تاثیرات فعالیت‌های انسانی، از شاخص ردپای انسانی استفاده شد (Sanderson *et al*., 2002). همچنین پارامترهای اقلیمی شامل میانگین دما و میزان بارش سالیانه، از پایگاه داده اطلاعات اقلیمی جهان استخراج شدند (Hijmans *et al*., 2005). این بانک داده شامل ۱۹ پارامتر اقلیمی با قابلیت تفکیک ۱ کیلومتر مربع است. از آنجایی که همبستگی بین متغیرها ممکن است منجر به اریب‌های آماری و پیش‌بینی‌های نادرست شود (Franklin, 2010)، پیش از استفاده از لایه‌های اطلاعاتی در روند مدلسازی، همبستگی آنها با استفاده از نرم‌افزار ENM Tools 4.4.1 مورد آزمون قرار گرفت و متغیرهایی که همبستگی با مقادیر بیش از ۰/۷ داشتند، در مدلسازی لحاظ نشدند (Barabanov and Litvinchuk, 2015). در مواردی که ضریب همبستگی میان دو متغیر بیش از ۰/۷ بود، فقط از یکی از متغیرها در مدل‌سازی استفاده شد (Trisurat *et al*., 2012). همچنین تمام لایه‌های مربوط به متغیرها در نرم‌افزار ArcGIS 10.2، با سیستم مختصات یکسان و با فرمت Ascii آنالیز شدند.

آنالیزهای آماری: به منظور ایجاد یک مدل توزیع گونه‌ای کارآمد برای خرس قهوه‌ای، از ۶ تکنیک مدل‌سازی استفاده شد که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- تکنیک‌های مدل SDM
Table 2. SDMs modeling techniques

تکنیک‌های مدلسازی Modeling technique	منبع Reference
خطی تعمیم یافته Random, generalized linear model (GLM)	McCullagh and Nelder, 2019
رگرسیون درختی پیشرفته Boosted regression trees (BRT)	Elith *et al*., 2008
جنگل تصادفی Random forest (RF)	Breiman, 2001
ماشین بردارپشتیبان Support vector machine (SVM)	Vapnik, 1995
حداکثر بی‌نظمی Maximum entropy (MaxEnt)	Phillips *et al*., 2006
درختی رگرسیونی و طبقه بندی Classification and regression trees (CART)	Breiman *et al*., 1984

برای اجرای تمامی مدل‌ها از بسته BIOMOD (Biodiversity Modeling) (Thuiller *et al.*, 2009) در نرم افزار R نسخه ۳.۵.۱ (R Development Core Team, 2014)، استفاده شد. سپس ارزیابی عملکرد مدل‌ها با استفاده از شاخص سطح زیر منحنی AUC (Area Under the Curve) مورد بررسی قرار گرفت. در این روش چنانچه مساحت سطح زیر منحنی مقدار عددی ۰/۵ را نشان دهد، ROC نشان‌دهنده یک پیش‌بینی تصادفی است. همچنین AUC بین۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (Giovanelli *et al*., 2010). از نقشه مطلوبیت زیستگاه هر یک از مدل‌ها به صورت جداگانه خروجی گرفته شد و در نهایت با استفاده از روش ترکیبی (Ensemble) نقشه مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای تهیه شد. روش‌های مبتنی بر Ensemble برای مقابله با اشتباهات و عدم اطمینان بین مدل‌ها مناسب می‌باشند (Porfirio *et al.*, 2014). برای افزایش دقت، مدل‌سازی با ۱۰ تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد مدل‌ها: ارزیابی و شناسایی مناطق بالقوه زیستگاه خرس قهوه‌ای از مهمترین گام‌ها در حفاظت از این گونه است. به منظور ارزیابی نتایج عملکرد مدل‌های استفاده شده در مدل‌سازی، از تحلیل AUC استفاده شد. ارزیابی عملکرد مدل‌ها در این مطالعه نشان داد که مدل‌های استفاده شده از عملکرد بسیار خوبی برخوردار هستند. بالاترین مقدار AUC به ترتیب مربوط به مدل‌های MaxEnt، SVM، CART و BRT که در آنها مدل‌ها بسیار عالی و در مدل‌های RF و GLM عملکرد مدل‌ها عالی ارزیابی شده است (جدول ۳). مدل MaxEnt با آماره‌های AUC و TSS به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۸۵، دارای بالاترین عملکرد و ضریب دقت است. براساس Elith *et al.* (2006) مدل حداکثر بی‌نظمی، از کارامدترین مدل‌ها در پیش بینی مطلوبیت زیستگاه گونه‌هاست.

جدول ۳- نتایج کارایی ارزیابی مدل‌ها در الگوریتم‌های مختلف براساس شاخص‌ها
Table 3. The results of models efficiency evaluations based on different indicators

Method	AUC	COR	TSS	Deviance
MaxEnt	0.96	0.80	0.85	0.9
SVM	0.93	0.74	0.70	0.72
CART	0.92	081	0.85	0.71
BRT	0.91	0.72	0.70	0.99
RF	0.87	0.65	0.65	0.88
GLM	0.85	0.62	0.65	0.94

پاسخ متغیرها به مطلوبیت زیستگاه: به واسطه نوع الگوریتم، درجه اهمیت متغیرها در تمامی مدل‌ها یکسان نمی‌باشد. هر مدل بر سه متغیر محیط‌زیستی بیشترین تسلط را داشته است (جدول ۴). در مجموع یافته‌های این تحقیق نشان داد متغیرهای درصد شیب و شاخص پوشش گیاهی بیشترین و فاصله از رودخانه کم اثرترین سهم را در تعیین مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای دارند.

بر اساس منحنی‌های پاسخ شکل ۳، احتمال حضور گونه در محدوده شیب حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد، بیشتر است و از شیب حدود ۵۰ درصد به بالا، مطلوبیت زیستگاه کاهش اندکی را نشان می‌دهد (3a). نمودار شاخص پوشش گیاهی (3b) نشان داد که با افزایش تراکم آن، مطلوبیت زیستگاه با یک شیب ملایم افزایش خواهد یافت. طبق نمودار میانگین دمای سالیانه (3c)، مناطق با دمای کمتر از حدود ۱۵ درجه سانتیگراد، از مطلوبیت زیستگاهی برای گونه مورد نظر برخوردار هستند. اما با افزایش دما از حدود ۱۵ درجه سانتیگراد، مطلوبیت زیستگاه با شیب تندی کاهش پیدا کرده و از هیچگونه مطلوبیتی برای گونه برخوردار نیست. نمودار شاخص فاصله از رودخانه (3d) نشان داد که با افزایش این فاصله، از مطلوبیت زیستگاه کاسته می‌شود. نتایج بدست آمده همچنین نشان داد فاصله از روستا (3e) نقش زیادی در مطلوبیت و انتخاب زیستگاه خرس قهوه‌ای ندارد. نمودار پاسخ گونه به فاصله از جاده‌ها (3f) نشان داد که خرس قهوه‌ای از این عوارض دوری می‌کند ولی با افزایش فاصله از جاده، مطلوبیت زیستگاه با یک شیب ملایم افزایش پیدا کرده است. طبق نمودار اثر ردپای انسانی (3g) افزایش فعالیت‌های انسان در طبیعت موجب کاهش مطلوبیت زیستگاه گونه شده و این کاهش مطلوبیت از شیب تندی نیز برخوردار است. منحنی پاسخ به بارش سالیانه (3h) نیز نشان داد مناطق با بارش متوسط بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر، دارای بیشترین مطلوبیت زیستگاه برای خرس قهوه‌ای بوده‌اند. نمودار پاسخ به طبقات ارتفاعی (3i) نیز نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع، مطلوبیت زیستگاه این گونه افزایش یافته است.

جدول ۴- نتایج پاسخ متغیرهای مدلسازی زیستگاه

Table 4. Response of Habitat Modeling Variables

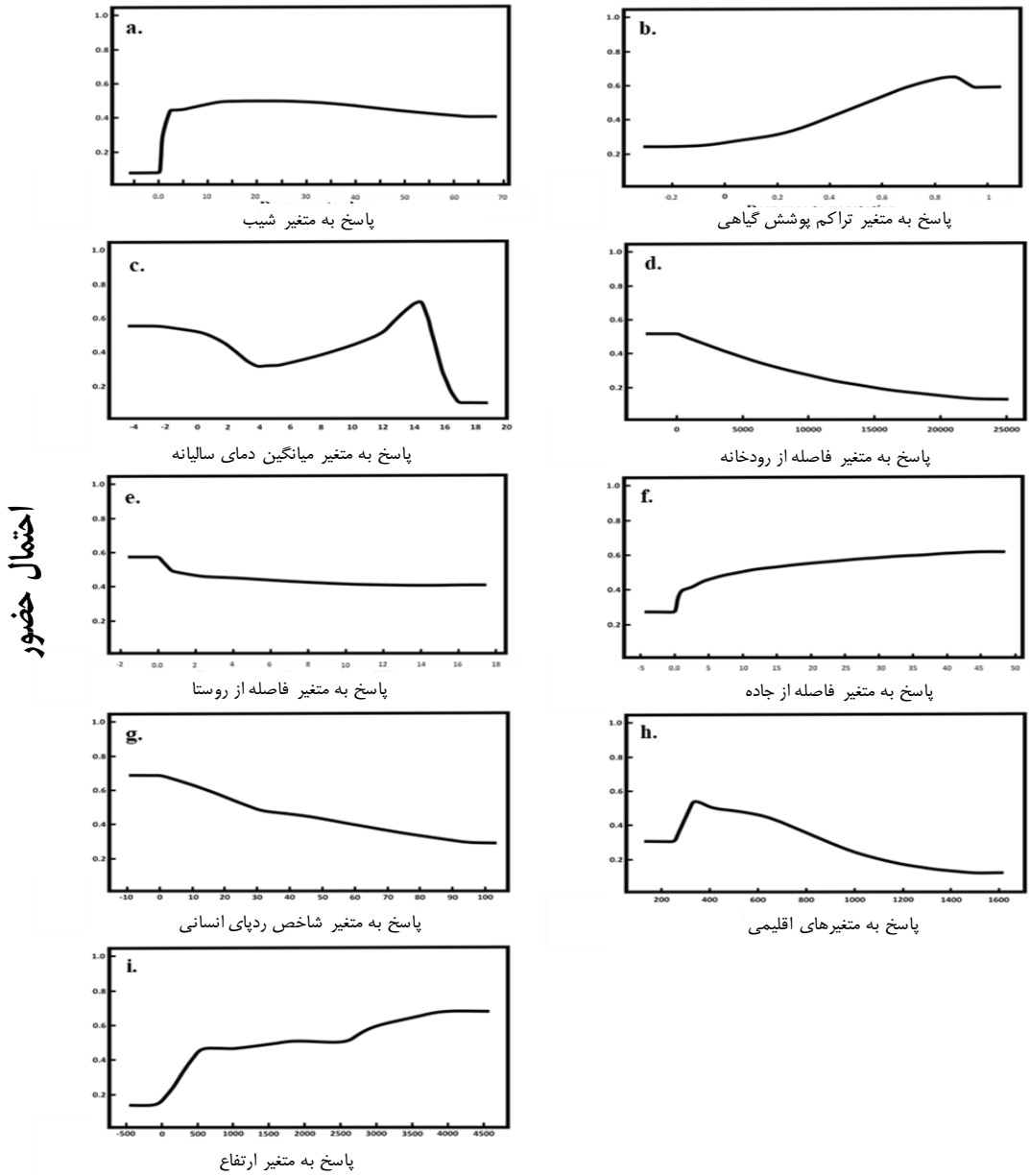
مدل Model / متغیرها Variables	MaxEnt	CART	SVM	BRT	RF	GLM
Ave-Tem.	0.20	0.14	0.05	0	0.03	0.20
Anu-prc.	0.02	0	0.02	0	0.04	0.02
Human footprint	0	0	0.03	0.01	0.09	0.03
Elevation	0.12	0	0.02	0	0.01	0.14
NDVI	0.23	0.52	0.18	0.2	0.32	0.41
Dis-river	0	0	0.05	0	0.02	0.02
Dis-road	0.16	0.02	0.15	0	0.04	0.14
Slope	0.18	0.52	0.35	0.6	0.18	0.22
Dis-village	0.01	0	0.05	0	0.02	0

اغلب مناطق حفاظت شده خشکی در ایران شرایط توپوگرافیک پیچیده‌ای دارند (Karami *et al.*, 2016; Kaboli *et al.*, 2016). در واقع دلیل تعیین این محدوده‌ها به‌عنوان مناطق تحت حفاظت نیز به همین واسطه بوده، چرا که حیات وحش در این مناطق کمترین آسیب را از حضور و تعرض انسان دیده‌اند (Jowkar *et al.*, 2016). از این رو با توجه به فراهم بودن امنیت، شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی زیستگاهی، تمام زیستگاه‌های کوهستانی یا زیستگاه مطلوب خرس هستند و یا در گذشته خرس در آنها زیست می‌کرد (Kouchali *et al.*, 2019). بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، درصد شیب و شاخص پوشش گیاهی مهمترین متغیرها (Almasieh *et al.*, 2016; Falcucci *et al.*, 2009) و فاصله از روستا و فاصله از رودخانه به عنوان کم اهمیت‌ترین متغیرها در مدل‌سازی زیستگاه خرس قهوه‌ای تشخیص داده شدند (Nezami *et al.*, 2018; Frackowiak *et al.*, 2014). نتایج مطالعه Mohammadi *et al.* (2021) نشان داد که مطلوب‌ترین زیستگاه خرس قهوه‌ای، مناطق با ناهمواری بالاتر، پوشش گیاهی انبوه‌تر و تا حدودی دور از سکونتگاه‌های انسانی هستند (Mohammadi *et al.*, 2021) که یافته‌های تحقیق حاضر نیز با آن مطابقت دارد و بررسی‌های میدانی نیز موید آن است که بیش‌ترین حضور خرس قهوه‌ای در مناطق کوهستانی و ارتفاعات محدوده مورد مطالعه می‌باشد. هموار بودن مناطق، با توجه به اینکه دسترسی انسان را افزایش خواهد داد، سطح امنیت را کاهش داده و در نتیجه از مطلوبیت زیستگاه این گونه خواهد کاست (Madadi *et al.*, 2021)، در حالیکه ارتفاعات پناه مناسبی برای خرس قهوه‌ای ایجاد می‌کنند (Nezami *et al.*, 2018; Ataei *et al.*, 2012). تراکم پوشش جنگلی در صورت عدم وجود ناهمواری، مطلوبیتی برای حضور گونه ندارد. این امر در مطالعات صورت گرفته در زیستگاه‌های رشته کوه البرز نیز تاکید شده است (Kouchali *et al.*, 2018).

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص تاثیر متغیر شیب بر مطلوبیت زیستگاه انجام شده است که نشان می‌دهند نوسانات متعادل شیب تا حدودی مطلوبیت زیستگاه را نیز افزایش می‌دهد (Gholamhosseini *et al.*, 2010; Zarei *et al.*, 2015; Zarzo-Arias *et al.*, 2019). با توجه به اینکه این امر تا حد زیادی وابسته به افزایش ارتفاع است، لذا تاثیر شیب بر مطلوبیت زیستگاه قابل پیش‌بینی است.

نتایج منحنی پاسخ متغیر میانگین دمای سالیانه نشان داد که با افزایش دما از ۱۵ درجه سانتی‌گراد به بالا، مطلوبیت زیستگاه گونه کاهش پیدا می‌کند. کاهش دما با افزایش ارتفاع رابطه داشته، همچنین با توجه به زی-توده گونه و وضعیت فیزیولوژیکی آن، این گونه سازگاری بیشتری به مناطق جغرافیایی سرد داشته (Nezami *et al.*, 2018) و درجه حرارت بالا می‌تواند توزیع گونه را محدود کند (Habibzadeh *et al.*, 2018). قابل توجه آنکه بر خلاف سم‌داران که در فصل سرد مهاجرت به مناطق با ارتفاع پائین و گرمتر دارند، این گونه به منظور دسترسی به مناطق امن برای خواب زمستانی، مهاجرت ارتفاعی دارد (Nezami and Farhadinia, 2011).

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، مطلوبیت زیستگاه افزایش می‌یابد که این نتیجه با یافته‌های مطالعات قبلی همخوانی دارد که مناطق با پوشش گیاهی انبوه به ویژه زیستگاه‌های جنگلی از ترجیح بیشتری برای خرس قهوه‌ای برخوردار هستند (Bojarska and Selva, 2012; Can and Togan, 2004). مناطق با پوشش گیاهی انبوه به دلیل داشتن ضریب امنیت بالاتر و نیز در دسترس بودن غذای بیشتر، شانس بیشتری در نزدیک شدن به طعمه را برای این گونه فراهم می‌کنند (Kouchali *et al.*, 2018).



شکل ۳- نتایج منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای انسانی و محیطی

Fig. 3- The average of response curves for the anthropogenic and environmental variables

پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه: نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در مدل‌های مختلف به کار برده شده به سه طبقه مطلوب، نامطلوب و با مطلوبیت متوسط طبقه‌بندی شدند (شکل ۴).

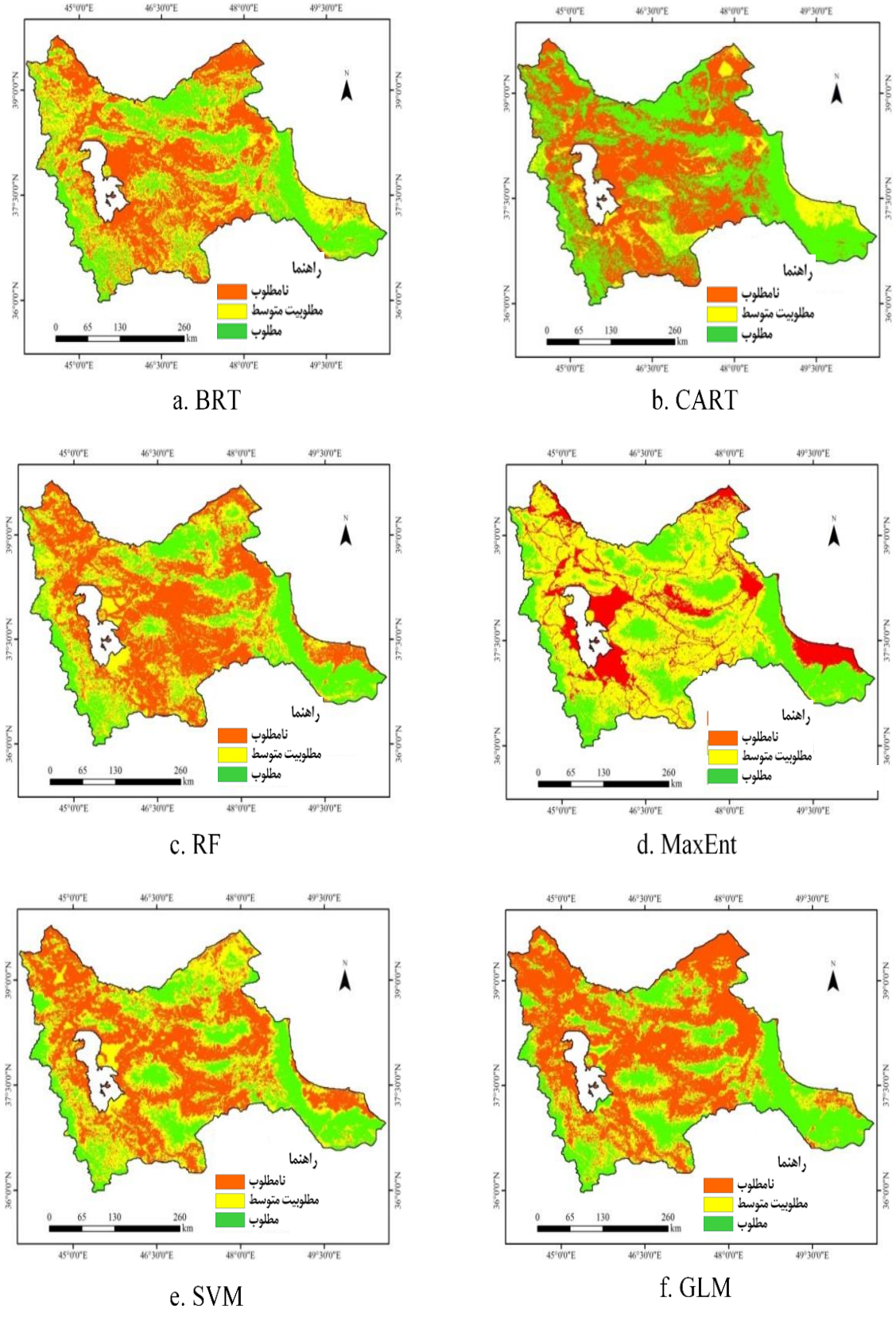
در شکل ۵ رویهم‌گذاری نقشه نهایی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای و نقشه مناطق تحت حفاظت و مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست در محدوده مورد مطالعه ارائه گردیده است. این نقشه از خروجی مجموع نقشه‌های طبقه بندی شده مدل‌های GLM، BRT، RF، CART،SVM و MaxEnt با استفاده از روش Ensemble تهیه شده است. روی‌هم‌گذاری نقشه مناطق چهارگانه بر روی نقشه نهایی نشان داد که ۷۷ درصد از مساحت پارک‌های ملی، ۶۷ درصد از پناهگاه‌های حیات وحش، ۷۶/۷ درصد از مناطق حفاظت شده و ۴۸ درصد از مساحت آثار طبیعی ملی برای زیست خرس قهوه‌ای از مطلوبیت برخوردار هستند.

بر اساس نتایج حاصل از تجمیع مدل‌ها، ۶۷ درصد از زیستگاه‌های مطلوب گونه داخل محدوده مناطق چهارگانه و ۳۳ درصد آنها خارج از مناطق تحت حفاظت واقع شده‌اند که سطح قابل قبولی برای حفاظت است. با این حال بررسی‌های میدانی پس از مدلسازی نشان داد که جمعیت‌ها در سطح محلی بسیار از هم گسیخته شده‌اند که بیشترین عامل تکه تکه کردن زیستگاه‌ها شبکه جاده-های محلی، پراکندگی بسیار زیاد روستاها و به ویژه دامداری‌های انفرادی هستند (Mohammadi *et al.*, 2016).

با افزایش فعالیت‌های انسانی و تاثیر انسان بر زیستگاه‌ها، مطلوبیت زیستگاه گونه کاهش یافته و خرس‌های قهوه‌ای از مناطق با فعالیت‌های شدید انسانی دوری می‌کند (Piédallu *et al.*, 2017). با توجه به تراکم و فراوانی روستاها در کشور، امکان دریافت پاسخ مناسب از این عامل بسیار دشوار است. رفتار خرس قهوه‌ای نسبت به مناطق روستایی از یک تضاد برخوردار است. مناطق نزدیک به روستاها به دلیل وجود منابع غذایی، گونه را جذب کرده و مناطق مطلوبی برای زیست گونه محسوب می‌شوند (Kouchali *et al.*, 2018; Madadi *et al.*, 2021). بررسی‌های انجام شده توسط Baruch *et al.* (2008) و Madadi *et al.* (2021) نشان داد روستاهایی که در لبه زیستگاهی خرس قرار دارند، بیشترین تعارض را با این گونه دارند. بر اساس یافته‌های Frackowiak *et al.* (2014) و Ambarli *et al.* (2008) خرس‌ها، به ویژه خرس‌های نر، از استراتژی فعالیت در شب و نزدیک شدن به روستا زمانی که انسان‌ها فعال نیستند، برای به حداقل رساندن برخورد خود با انسان استفاده می‌کنند. همچنین گاه ماده‌های توله‌دار در فصول جفتگیری، برای اجتناب از توله‌کشی نرها، از مناطق نزدیک به انسان به عنوان سپر انسانی و حفاظتی استفاده می‌کنند (Farhadinia *et al.*, 2019).

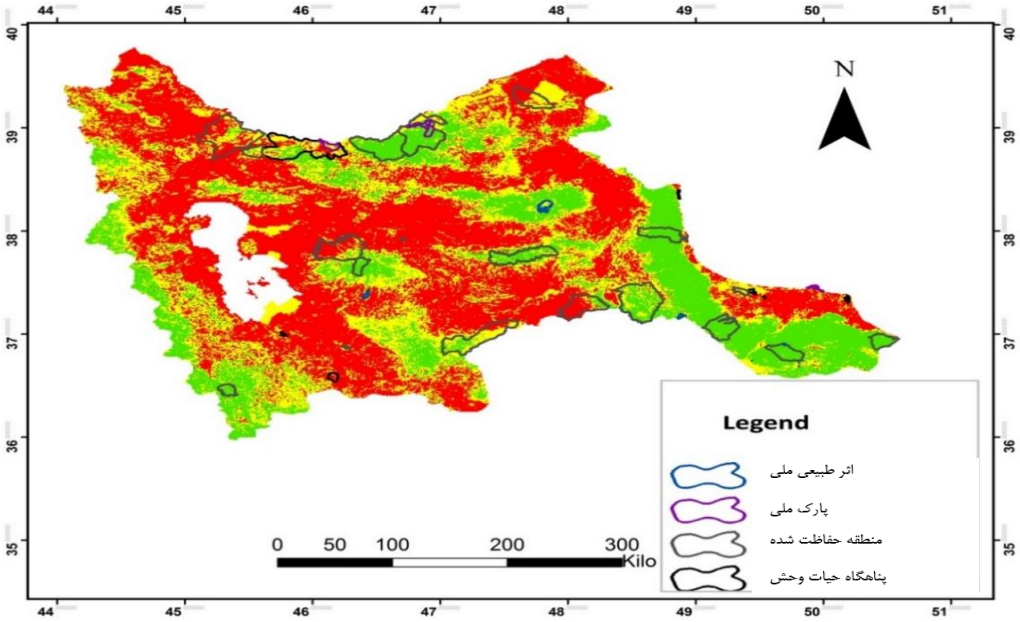
جمعیت خرس قهوه‌ای در تمام گستره وقوع خود در کشور تحت تاثیر فشارهای شدید ناشی از فعالیت‌های انسان است. این تقابل به ویژه در جمعیت شمال غرب در حوزه قفقاز ایران به واسطه تغییرات کاربری بیشتر اراضی، پوشش گیاهی با تراکم کمتر، در نتیجه از بین رفتن پوشش جنگلی در دوره کوتاه، با فشار شدیدتری همراه است. قابل توجه آنکه محدوده مذکور از نظر تعداد محیط-بان و امکانات حفاظتی به مراتب از سطح پائین‌تری نسبت به مناطق البرز و زاگرس برخوردار است (Soofi *et al.*, 2022). با وجودی که بخش وسیعی از مناطق تحت حفاظت از مطلوبیت برخوردار هستند اما تراکم خرس قهوه‌ای در این بخش از کشور بسیار پائین‌تر از سایر گستره حضور گونه است (Farhadinia *et al.*, 2015). این امر احتمالا به دلیل تلفات زیاد انسانی در این محدوده (Farhadinia *et al.*, 2015; 2019) و اینکه اغلب مناطق آنقدر وسعت و یکپارچگی ندارند که بتوانند تمام گستره خانگی گونه را پوشش دهند (Mohammadi *et al.*, 2021).

خرس‌ها از مناطق نزدیک به جاده‌ها اجتناب کرده، در نتیجه افزایش تراکم جاده‌ها از سطح مطلوبیت زیستگاه‌ها خواهد کاست. جاده‌ها با جداسازی جمعیت‌ها و نیز افزایش تلفات و مرگ و میر، به شدت گونه را تهدید می-کنند (Holderegger and Giulio, 2010). جاده‌ها امکان دسترسی راحت‌تر و بیشتر انسان به مناطق طبیعی را ایجاد کرده و به همین دلیل فشار شکارچیان را بر روی گونه‌ها افزایش می‌دهند (Shaffer and Bishop, 2016). بیشترین عامل تکه تکه کردن زیستگاه‌ها شبکه جاده‌های محلی (Mohammadi *et al.*, 2016) و پراکندگی بسیار زیاد روستاها به ویژه دامداری‌های انفرادی (Madadi *et al.*, 2021) هستند که دسترسی به تمام مناطق و تصرف آنها را تسهیل کرده‌اند. بیشترین تلفات این گونه به واسطه این عوامل در فصل تابستان با افزایش مهاجرت فصلی و افزایش گستره خانگی گونه رخ می‌دهد (Madadi *et al.*, 2020).



شکل ۴- نقشه‌های پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در حوزه قفقاز ایران

Fig. 4- The suitability map distribution for the brown bear in the Caucasian ecoregion in the Northwest of Iran



شکل ۵- نقشه مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای حاصل از ترکیب مدل‌های مختلف (Ensemble) در حوزه قفقاز و با اعمال مرز مناطق چهارگانه
Fig. 5- The habitat suitability map for the brown bear after the combined Ensemble method in the distribution of the protected area's background of the Iranian Caucasian Eecoregion

نتیجه‌گیری و پیشنهادات مدیریتی: با توجه به تراکم بالای جمعیت انسانی، امکان ایجاد و توسعه مناطق حفاظت شده وسیع و یکپارچه احتمالا ممکن نباشد. بدین جهت با توجه به آنکه این گونه یک گونه چتر قلمداد می‌شود (Simberloff, 1997; DeNormandie *et al.*, 2002)، اهمیت انتخاب مناطق حفاظت شده جدید در محدوده‌های مطلوب به نحوی که به عنوان کریدور، عبور بین زیستگاه‌های اصلی گونه را تسهیل نماید از اهمیت زیادی در حفاظت از گونه برخوردار است. به منظور اجتناب از ایزوله شدن جمعیت‌ها، پیشنهاد می‌شود تا در مناطق مستعد هر چند با وسعت محدود، در صورت عدم امکان تعریف مناطق تحت مدیریت، بررسی‌هایی جهت تعریف مناطق حفاظت شده مشارکتی، بر حفاظت آنها تمرکز شود. ساماندهی دامداری‌های پراکنده در مناطق مطلوب اهمیت زیادی در کاهش تعارض میان دام و انسان، پیشگیری از تصرف اراضی از سوی جوامع محلی، تسهیل جابجایی افراد گونه و شکار غیرقانونی خرس قهوه‌ای و طعمه‌های آن دارد (Madadi *et al.*, 2020).

با توجه به شرایط آب و هوایی، میزان بارندگی، نوع و تراکم پوشش گیاهی در حوزه قفقاز نسبت به البرز و زاگرس، همچنین تراکم متفاوت جمعیت انسانی و سیاست‌های تغییر کاربری اراضی از سوی دولت، پیش بینی و تعریف استراتژی‌های حفاظتی یکسان در کل این محدوده وسیع امکان‌پذیر نبوده و نیازمند تدوین سیاست‌های محلی حفاظتی است. با این حال استراتژی مهم حفاظتی برای گونه‌های گوشتخوار بزرگ جثه‌ای مانند خرس که رفتار جابجایی بلند (Highly Mobile Species)، تراکم جمعیت کم، تعارض بالا و نیازمندی‌های حفاظتی وسیع دارد، اتصال زیستگاه و تعریف مناطق حفاظت شده جدید بینابینی است که از اهمیت زیادی برخوردار است (Mohammadi *et al.*, 2021; Soofi *et al.*, 2022; Boitani and Powell, 2012; Madadi *et al.*, 2021). تعارض بالای خرس قهوه‌ای با مردم محلی موجب شده تا نگرش مردم نسبت به این گونه منفی باشد (Madadi *et al.*, 2021). لذا اجرای برنامه‌های آموزشی و مهمتر از آن پرداخت خسارات وارد شده از سوی خرس به جوامع روستایی نیز در حفاظت از این گونه اهمیت زیادی دارد (Hoseinnezhad *et al.*, 2021; Madadi *et al.*, 2020).

منابع

Almasieh, K., Kaboli, M. and Beier, P., 2016. Identifying habitat cores and corridors for the Iranian black bear in Iran. Ursus. 27(1), 18-30. https://doi.org/10.2192/URSUS-D-15-00032.1.

Ambarli, H. and Bilgin, C.C., 2008. Human–brown bear conflicts in Artvin, northeastern Turkey: Encounters, damage, and attitudes. Ursus. 19(2), 146-153. https://doi.org/10.2192/1537-6176-19.2.146.

Ambarli, H. and Erturk, A. and Soyumert, A., 2016. Current status, distribution, and conservation of brown bear (Ursidae) and wild canids (gray wolf, golden jackal, and red fox; Canidae) in Turkey. Turkish Journal of Zoology. 40, 944-956. https://doi.org/10.3906/zoo-1507-51.

Araujo, M.B. and New, M., 2007. Ensemble fore casting of species distributions. Trends in ecology and evolution. 22(1), 42-47. https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010.

Asef, M.R. and Muradov, P., 2012. Lepiotaceous fungi (Agaricaceae) in the Iranian part of Caucasia. Turkish Journal of Botany. 36, 289-294.

Ataei, F., Karami, M. and Kaboli, M., 2012. Summer habitat suitability modelling of Brown Bear (*Ursus arctos*) southern Alborz Protected Area. Iranian Journal of Natural Resources. 65(2), 235-245. (in Persian with English abstract).

Barabanov, A. and Litvinchuk, S., 2015. A new record of the Kurdistan newt (*Neurergus derjugini*) in Iran and potential distribution modeling for the species. Russian Journal of Herpetology. 22(2),107-115.

Baruch-Mordo, S., Breck, S.W., Wilson, K.R. and Theobald, D.M., 2008. Spatiotemporal distribution of black bear–human conflicts in Colorado, USA. J. Wildl. Manag. 72(8), 1853-1862. https://doi.org/10.2193/2007-442.

Boitani, L. and Powell, R.A., 2012. Carnivore Ecology and Conservation, A Handbook of Techniques. Oxford University Press., USA.

Bojarska, K. and Selva, N., 2012. Spatial patterns in brown bear *Ursus arctos* diet: the role of geographical and environmental factors. Mammal Review. 42(2), 120-143. https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00192.x.

Breiman, L., 2001. Random forests. Machine Learning. 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

Breiman, L., Friedman, J., Stone, Ch.J. and Olshen, R.A., 1984. Classification and Regression Trees. Chapman and Hall/CRC.

Calvignac, S., Hughes, S. and Hanni, C., 2009. Genetic diversity of endangered brown bear (*Ursus arctos*) population at the cross road of Europe, Asia and Africa. Diversity and Distributions. 15, 742-750. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00586.x.

Can, Ö.E. and Togan, I., 2004. Status and management of brown bears in Turkey. Ursus. 15(1), 48-53. https://doi.org/10.2192/1537-6176(2004)015<0048:SAMOBB>2.0.CO;2.

CITES. 2020. Appendices I, II and III. Available from http://www.cites.org.

DeNormandie, J. and Edwards Jr, T.C., 2002. The umbrella species concept and regional conservation planning in southern California: A comparative study. Conservation Biology. 16(2), 573-586.

Dickman, A.J., Macdonald, E.A. and Macdonald,

D.W., 2011. A review of financial instruments to pay for predator conservation and encourage human–carnivore coexistence. PNAS. 108, 13937-13944. https://doi.org/10.1073/pnas.1012972108.

Eklund, A., López-Bao, J.V., Tourani, M., Chapron, G. and Frank, J., 2017. Limited evidence on the effectiveness of interventions to reduce livestock predation by large carnivores. Scientific Reports. 7, 2097. https://doi.org/10.1038/s41598-017-02323-w.

Elith, J., Leathwick, J.R. and Hastie, T., 2008. A working guide to boosted regression trees. Journal of Animal Ecology. 77(4), 802-813. https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x.

Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudı´k, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. Mc, C., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K.S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Sobero´n, J., Williams, S., Wisz, M.S. and Zimmermann, N.E., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography. 29, 129-151. https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x.

Falcucci, A., Ciucci, P., Maiorano, L., Gentile, L. and Boitani, L., 2009. Assessing habitat quality for conservation using an integrated occurrence-mortality model. Journal of Applied Ecology. 46, 600-609. https://doi.10.1111/j.1365-2664.2009.01634.x.

Farhadinia, M.S., Ahmadi, M., Sharbafi, E., Khosravi, S., Alinezhad, H. and Macdonald, D.W., 2015. Leveraging trans-boundary conservation partnerships: Persistence of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in the Iranian Caucasus. Biological Conservation. 191, 770-778. http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.08.027.

Farhadinia, M.S., Moqanaki, E.M. and Ekrami, B., 2019. A Manual on Human-Large Carnivore Conflict Management in Iran. Department of Environment, Tehran, Iran.

Frackowiak, W., Theuerkauf, J., Pirga, B. and Gula, R., 2014. Brown bear habitat selection in relation to anthropogenic structuresbin the Bieszczady Mountains, Poland. Biologia. 69(7), 926-930. http://doi: 10.2478/s11756-014-0386-4. https://doi.org/10.2478/s11756-014-0386-4.

Franklin, J., 2010. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Gholamhosseini, A., Esmaeili, H.R., Ahani, H., Teimory, A., Ebrahimi, M., Kami, H.Gh. and Zohrabi, H., 2010. Study of topography and climate effects on brown bear *Ursus arctos* (Linneaus, 1758): Carnivora, Ursidae distribution in south of Iran with use of Geographic Information System (GIS). Iran Biology Journal. 23(2), 215-233. (In Persian with English abstract).

Giovanelli, J., Siqueira, M.F.D., Haddad, C. and Alexandrino, J., 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. Ecological Modelling. 221(2), 215-224. http://doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.10.009.

Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling. 135(2), 147-186. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9.

Gutleb, B. and Ziaie, H., 1999. On the distribution and status of the brown bear *Ursus arctos* and the Asiatic black bear *U. thibetanus* in Iran. Zoology

in the Middle East. 18(1), 5-8. http://doi:10.1080/09397140.1999. 10637777.

Habibzadeh, N. and Ashrafzadeh, M.R., 2018. Habitat suitability and connectivity for an endangered brown bear population in the Iranian Caucasus. Wildlife Research. 45(7), 602-610. http://doi:10.1071/WR17175.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P. and Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology. 25(15), 1965-1978. http://doi:10.1002/ joc.1276.

Holderegger, R. and Giulio, M.D., 2010. The genetic effects of roads: a review of empirical evidence. Basic and Applied Ecology. 11(6), 522-531. https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.06.006.

Hoseinnezhad, Z., Karami, P., Goshtasb, H. and Nezami Balouchi, B., 2021. Spatial Distribution Analysis of index Mammals in the Eshkevarat no hunting area Using the Random Forest Tree Learning Method. Journal of Animal Environment, 13(1), 37-46. (in Persian with English abstract). http://doi:10.22034/aej.2021.132684.

Jowkar, H., Ostrowski, S., Tahbaz, M. and Zahler, P., 2016. The Conservation of Biodiversity in Iran: Threats, Challenges and Hopes. Iranian Studies. 49(6), 1065-1077. http://dx.doi.org/10.1080/00210862.2016.1241602.

Kaboli, M., Aliabadian, M., Tohidifar, M., Hashemi, A. and Roselaar, C.C., 2016. Atlas of Birds of Iran. Department of Environment of Iran, Tehran, Iran.

Karami, M., Ghadirian, T. and Faizolahi, K., 2016. The atlas of the mammals of Iran. Department of the Environment of Iran, Tehran, Iran.

Kouchali, F., Nezami, B., Goshtasb, H., Rayegani, B. and Ramezani, J., 2019. Brown Bear (*Ursus arctos*) habitat suitability modelling in the Alborz Mountains. International Journal of Environmental Science and Bioengineering. 1, 45-54. https://doi.10.22034/uoe.2019.103620.

Kouchali, F., Nezami Baloochi, B., Goshtasb, H. and Raygani, B., 2018. Identification of the key habitats for the conservation of Brown bear (*Ursus arctos*) in the northern slopes of Alborz. Journal of Animal Environment. 10(3), 1-8. (in Persian with English abstract).

Madadi, M., Nezami Baloohi, B., Kaboli, M. and Rezaei, H.R., 2020. Identifying human-brown bear (Ursus arctos) conflicts areas in Mazandaran province. Experimental Animal Biology. 9(2,34), 83-95. (in Persian with English abstract). http://doi:10.30473/eab.2020.44841.1688.

Madadi, M., Nezami Balouchi, B., Kabli, M., Rezaei, H.R. and Mohammadi, A., 2021. A Survey of the Attitudes of Local Communities of Mazandaran Province towards Brown Bear (*Ursus arctos*). Journal of Animal Environment. 13(1), 11-18. (in Persian with English abstract). http://doi:10.22034/aej.2021.132597.

Mateo-Sanchez, M.C., Cushman, S.A. and Saura, S., 2014. Scale dependence in habitat selection: the case of the endangered brown bear (*Ursus arctos*) in the Cantabrian Range (NW Spain). International Journal of Geographical Information Science 28(8), 1531-1546. https://doi.org/10.1080/13658816.2013.776684.

McCullagh, P. and Nelder, J.A., 2019. Generalized linear models. Taylor francis. New York, Routledge, 2nd Edition. https://doi.org/10.1201/9780203753736.

Mohammadi, A. and Kaboli, M., 2016. Evaluating wildlife–vehicle collision hotspots using kernel-

based estimation: a focus on the endangered Asiatic cheetah in central Iran. Human-Wildlife Interaction. 10(1), 13.

Mohammadi, A., Almasieh, K., Nayeri, D., Ataei, F., Khani, A., López-Bao, J.V., Penteriani, V. and Cushman, S.A., 2021. Identifying priority core habitats and corridors for effective conservation of brown bears in Iran. Scientific Reports. 11(1), 1044. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79970-z.

Nezami, B., Ataei, F., Heydari, H., Alizadeh Shaabani, A., Eshaghi, R. and Naeimaei, R., 2018. Key Source Area to Conserve Brown Bear *Ursus arctos* Linnaeus, 1758 in Alborz Mountain. Experimental animal Biology. 6(23), 127-141. (in Persian with English abstract).

Nezami, B. and Farhadinia, M.S., 2011. Litter Size of Syrian Brown Bear *Ursus arctos syriacus* in Central Alborz Protected Area, Iran. *Ursus*. 22(2), 167–171. https://doi.org/10.2192/URSUS-D-10-00026.1.

Ordiza, A., Bischof, R. and Swenson, J.E., 2013. Saving large carnivores, but losing the apex predator? Biological Conservation. 168, 128-133. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.09.024.

Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modeling. 190(3), 231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

Piédallu, B., Quenette, P.Y., Bombillon, N., Gastineau, A., Miquel, C. and Gimenez, O., 2017. Determinants and patterns of the endangered brown bear *Ursus arctos* in the French Pyrenees revealed by occupancy modelling. Oryx. 53(2), 334-343. http://doi:10.1017/S0030605317000321.

R Development Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available online at: http://www.R-project.org/.

Ripple, W.J., Estes, J.A., Beschta, R.L., Wilmers, Ch.C., Ritchie, E.G., Hebblewhite, M., Berger, J., Elmhagen, B., Letnic, M., Nelson, M.P., Schmitz, O.J., Smith, D.W., Wallach, A.D., and Wirsing, A.J., 2014. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. (New York, N.Y.), 343(6167), 1241484. https://doi.org/10.1126/science.1241484.

Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V. and Woolmer, G., 2002. The human footprint and the last of the wild. BioScience. 52(10), 891-904. http://doi:10.1641/0006-3568(2002)052 [0891: THFATL]2.0.CO;2.

Sergio, F., Caro, T., Brown, D., Clucas, B., Hunter, J., Ketchum, J., McHugh, K. and Hiraldo, F., 2008. Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions, and efficacy. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 39, 1-19. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173545.

Seryodkin, I.V., Kostyria, L.V., Goodrich, J.M., Miquelle, D.G., Smirnov, E.N., Kerley, L.L., Quigley, H.B. and Hornocker, M.G., 2003. Denning ecology of brown bears and Asiatic black bears in the Russian Far East. Ursus. 14(2), 153-161.

Shaffer, M.J. and Bishop, J.A., 2016. Predicting and preventing elephant poaching incidents through statistical analysis, GIS-based risk analysis, and aerial surveillance flight path modeling. Tropical Conservation Science. 9(1), 525-548. https://doi.org/10.1177/194008291600900127.

Simberloff, D., 1997. Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passe in the landscape era? Biological Conservation. 83(3), 247-257.

Soofi, M., Qashqaei, A.T., Trei, J.N., Shokri, Sh., Selyari, J., Ghasemi, B., Sepahvand, P., Egli, L., Nezami, B., Zamani, N., Yusefi, Gh.H., Kiabi, B.H., Balkenhol, N., Royle, A., Pavey, Ch.R., Redpath, S.M. and Waltert, M., 2022. A novel application of hierarchical modelling to decouple sampling artifacts from socio-ecological effects on poaching intensity. Biological Conservation. 267, 109488. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109488.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. and Araújo, M.B., 2009. BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. Ecography. 32(3), 369-373. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x.

Trisurat, Y., Bhumpakphan, N., Reed, D.H. and Kanchanasaka, B., 2012. Using species distribution modeling to set management priorities for mammals in northern Thailand. Natural Conservation. 20(5), 264-273. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.05.002.

Vapnik, V., 1995. The nature of statistical learning theory. Springer-Verlag, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2440-0.

Zarei, A.A., Abedi, S., Mahmoodi, M. and Peyrovi Latif, Sh., 2015. Habitat Assessment of Brown Bear (*Ursus arctos syriacus*) Hibernation Density with use of Generalized Linear Model (GLM) and Geographically Weighted Logistic Regression (GWR) in South of Iran. Practical Ecology. 4(4), 75-85. (in Persian with English abstract).

Zarzo-Arias, A., Penteriani, V., Mar Delgado, M., Peon Torre, P., Garcia- Gonzalez, R., Mateo-Sanchez, M.C., Garcia, P.V. and Dalerum, F., 2019. Identifying potential areas of expansion for the endangered bear (*Ursus arctos*) population in the Cantabrian Mountains (NW Spain). PLoS ONE. 14(1), e0209972. http://doi:10.1371/journal.pone.0209972.

Environmental Sciences Vol.21 / No.2 / Summer 2023

49-68

Original Article

Habitat suitability and the effect of the environmental variables on the brown bear (Ursus arctos) habitat selection in Iran

Masoumeh Sharifi[1], Bagher Nezami Baloochi[2,3], Javad Ramezani[3,4*], Behzad Rayegani[2,5] and Ali Jahani[2,5]

[1] Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environment, Department of Environment, Karaj, Iran
[2] Department of Natural Environment and Biodiversity, Faculty of Environment, Karaj, Iran,
[3] Department of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development, Department of Environment, Tehran, Iran
[4] Department of Marine Science, Faculty of Environment, Karaj, Iran,
[5] Department of Environmental and Risk Assessment, Research Center for Environment and Sustainable Development, Department of Environment, Tehran, Iran

Received: Accepted:

Sharifi, M., Nezami Balouchi, B., Ramezani, J., Rayegani, B. and Jahani, A., 2023. Habitat suitability and the effect of the environmental variables on the brown bear (Ursus arctos) habitat selection in Iran. Environmental Sciences. 21(2): 49-68.

Introduction: The brown bear (Ursus arctos) is the largest carnivore with a wide distribution range but like other large carnivores, they occur in low frequencies in the country. Habitats of this species in the country, especially at the local level, are very fragmented. Therefore, investigation and recognition of the potentially suitable habitat regions are of great importance in the conservation of this species. Also, identifying the factors affecting the selection of habitat plays an important role in describing species behavior and allows us to compare different habitats in terms of their quality and to use it in effective management. Evaluating the response of models and impacts of the biogeoclimatic factors, on habitat suitability, are the other goals of this study.

* Corresponding Author: *Email Address*. jramezani@gmail.com
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2023.1168
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.13.1

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Material and methods: This study was performed in the northwestern part of Iran in the Arasbaran ecoregion, which is known as the Caucasian geographical climate. The Caucasus ecoregion part of Iran has two separate plant communities, Hyrcanian and Arasbarani. The definite presence points of this species were identified by conducting field visits and collecting confirmed observations and reports of game wardens and experts and 64 points were employed in modeling after validating the obtained points and applying the buffer. Six modeling techniques were used in the BIOMOD package of software to create an efficient species distribution model and identify potentially suitable regions. Finally, the habitat suitability map was acquired from the resulting outputs using the combined Ensemble method.

Results and discussion: The results from the models' outputs and overlapping the map of the protected areas indicated that more than two-thirds of these areas are suitable for brown bears. Based on the results, the variables of slope percentage and vegetation index encompass the largest share in determining habitat desirability, so a moderate slope and higher vegetation density will lead to more suitability for the species. In determining the desirability of the habitat of the brown bear, the variable of distance from rivers had less effect, and distance from the village did not play an important role. The flatness of areas, as it increases human access, reduced the level of security and thus reduced the suitability of the habitat of this species. There is more probability of the presence of species in the slope range of 10 to 40% and the suitability of habitat was raised in the moderate slope and increased the vegetation density. Regions with moderate rainfall and higher altitudes also play an important role in attracting bears and increasing habitat suitability. On the other hand, rising temperatures, congested roads, and increasingly concentrated human activities reduce habitat desirability with an almost steep trend. Almost 67% of the identified suitable and preferred habitats of the species have been located within the four protected areas category, which is an acceptable level for conservation. Although a wide range of the protected areas in the study area is suitable for the species, the density of brown bears in this part of the country is much lower than in the north and west of the country. This may be due to the high number of human casualties and damages in these areas and that most areas are not broad and wide enough to cover the entire home range of this species in the northwest. The most common reason for habitat fragmentation is the local road network, dispersion of rural areas and dispersed villages, and scattered individual livestock farming.

Conclusion: One of the most significant conservation strategies for large carnivorous species, such as the brown bear, with high mobility behavior, low population density, high conflict, and extensive conservation requirements is connectivity between the species habitats by defining new protected areas according to the suitable habitats maps. Also, the most important actions to reduce conflict and retaliatory measures are organizing scattered livestock farming, implementing educational programs, and more importantly, compensating the damages caused by bears to rural communities.

Keywords: Species distribution model, Caucasian ecoregion, Habitat suitability, Slope, Vegetation density, Conservation performance.