

## ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین و پیش‌بینی کریدورهای مهاجرتی خرس سیاه بلوچی (*Ursus thibetanus gedrosianus* Blanford, 1877) در زیستگاه‌های جنوب شرقی ایران

کامران الماسیه<sup>۱</sup> و محمد کابلی<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۱)

### چکیده

خرس سیاه بلوچی یک گونه به‌شدت در خطر انقراض است که در جنوب شرق ایران پراکنش دارد. مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین بین لکه‌های زیستگاهی این گونه می‌تواند مورد استفاده مدیران حفاظت قرار گیرد. در نتیجه، مطالعه‌ای با هدف مدل‌سازی کریدورهای بالقوه خرس سیاه بلوچی میان ۳۱ لکه زیستگاهی در ایران با استفاده از روش تئوری مدار انجام شد. نقشه مطلوبیت زیستگاه در نرم‌افزار MaxEnt با استفاده از ۱۰۱ نقطه حضور و نه متغیر محیطی طراحی و معکوس این نقشه در مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی استفاده شد. سپس با استفاده از روش تئوری مدار، مناطق با قابلیت مهاجرت زیاد میان لکه‌های زیستگاهی با چهار خوشه تعیین شده در مطالعه پیشین (بر اساس مدل کمینه هزینه) مقایسه شدند. نتایج این مطالعه، سه خوشه اصلی با قابلیت مهاجرت زیاد برای خرس سیاه بلوچی تعیین کرد. همچنین هشت لکه زیستگاهی منزوی برای این گونه تعیین شد که نیازمند اقدامات مدیریتی سریع برای برقراری ارتباط با سایر لکه‌های زیستگاهی این گونه در این منطقه از ایران هستند. روش تئوری مدار به‌خوبی خوشه‌های اصلی معرفی شده برای حفاظت از این گونه را در جنوب شرقی ایران تأیید کرد. نتایج این مطالعه می‌تواند الگوی مناسبی برای اولویت‌بندی حفاظت از زیستگاه‌های خرس سیاه بلوچی در این ناحیه از ایران باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات سیمای سرزمین، خرس سیاه بلوچی، تئوری مدار، مدل کمینه هزینه

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mkaboli@ut.ac.ir

## مقدمه

چندپارگی زیستگاه‌ها در سیمای سرزمین، تبدیل یک لکه زیستگاهی بزرگ به چند لکه زیستگاهی کوچک‌تر و منزوی است که در نتیجه تغییر یک زیستگاه در طول زمان رخ می‌دهد (۶). فرایند چندپارگی زیستگاه‌ها می‌تواند منجر به از بین رفتن زیستگاه و ایجاد لکه‌های زیستگاهی کوچک‌تر و منزوی شود که این امر مهاجرت حیوانات را با مشکل مواجه می‌سازد (۲۶).

حیوانات نیاز به جابه‌جایی در محدوده گستره خانه خود به منظور جستجوی غذا، پناه و جفت دارند. همچنین، ممکن است به منظور یافتن زیستگاه‌های اشغال نشده و برقراری جریان ژن میان گروه‌های جمعیتی به خارج از محدوده گستره خانگی مهاجرت کنند (۳۶). کریدور یک راه پیوسته باریک است که به افراد گونه‌های حیات وحش این امکان را می‌دهد که در داخل آن بین دو لکه زیستگاهی جابه‌جا شوند (۵). در صورت عدم ارتباط زیستگاهی، این لکه‌های زیستگاهی ممکن است دچار نابودی شوند (۳). مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین با روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که مهم‌ترین آنها تحلیل کمینه هزینه (Least cost analysis) (۱)، تئوری مدار (Circuit theory) (۲۶) و تحلیل‌های مرکزیت (Centrality analyses) (۱۳) هستند.

تئوری مدار یک روش به نسبت جدید برای مدل‌سازی جریان ژن در سیمای سرزمین محسوب می‌شود (۲۴ و ۲۵) که بر اساس گشت تصادفی (Random walk) است و از اصول مدارهای الکتریکی استفاده می‌کند. بدین ترتیب، جریان (موجود زنده) در میان گره‌های کانونی (Focal nodes) (نقاط یا لکه‌های زیستگاهی) با در نظر گرفتن ولتاژ (احتمال سفر موجود زنده) و مقاومت (نفوذپذیری زیستگاه) حرکت می‌کند (۲۶ و ۳۳). شناسایی الگوهای نفوذ و انتشار حیوانات در سیمای سرزمین برای حفاظت گونه‌های گوشتخوار با گستره خانه بزرگ و تراکم جمعیتی کم، بسیار حائز اهمیت است (۹).

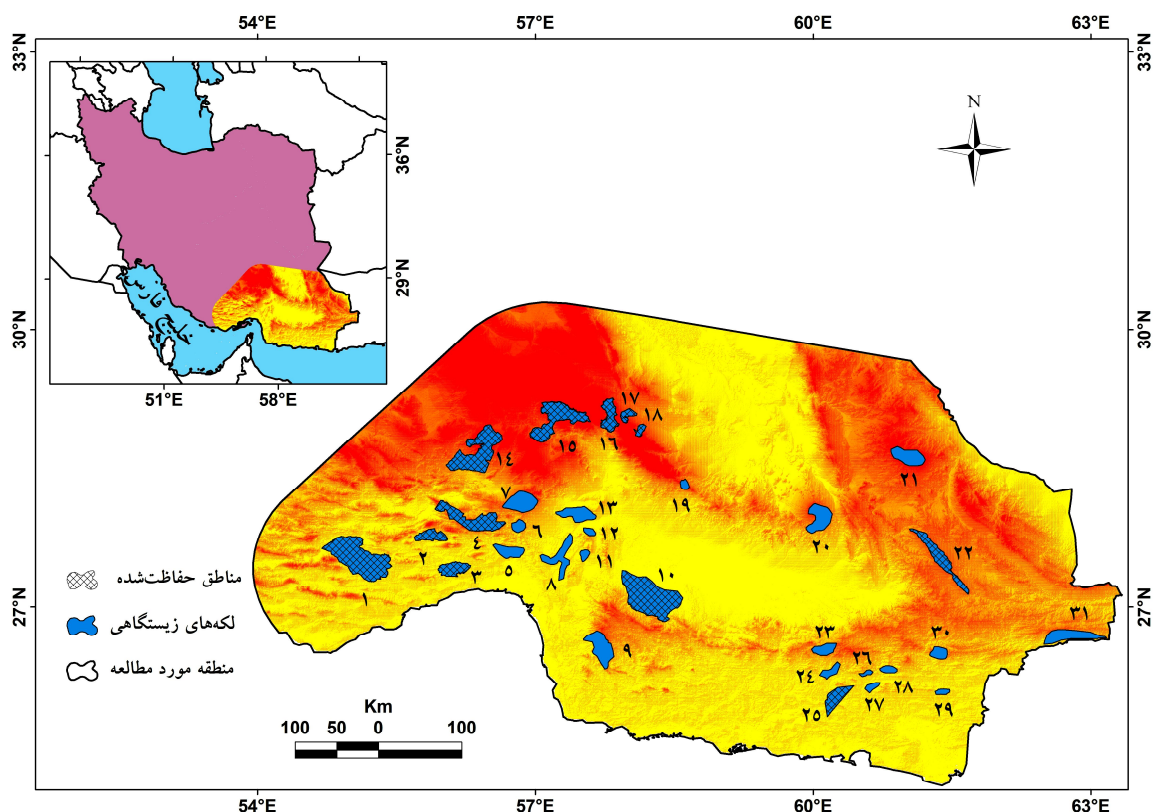
گوشتخواران بزرگ‌جثه همچون خرس‌ها به دلیل پراکنش گسترده، اندازه جمعیت کم و فشار انسانی دارای حساسیت خاصی نسبت به چندپارگی و از دست رفتن زیستگاه هستند

(۳۰). این گونه‌ها مانند چتر عمل کرده و برآورده شدن نیازهای آنها در گستره خانگی بزرگشان و ایجاد جمعیت‌های پایدار آنها می‌تواند حمایت سایر گونه‌های پستاندار و حتی دوزیستان، خزندگان، گیاهان و حشرات را فراهم کند (۳۴).

خرس سیاه آسیایی (*Ursus thibetanus* Cuvier, 1823) از خانواده Ursidae، ۱۹ کشور آسیایی را از ژاپن تا ایران اشغال می‌کند (۱۷). زیستگاه‌های طبیعی این گونه در محدوده پراکنش وسیع خود به دلیل تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه تحت فشار آشفته‌نگی انسانی، کاهش یافته است (۱۱ و ۱۲). زیرگونه ایرانی آن، که به خرس سیاه بلوچی شهرت دارد مطابق لیست سرخ IUCN، یک زیرگونه به شدت در معرض انقراض (CR) است که در محدوده مناطق کوهستانی غرب پاکستان و جنوب شرق ایران پراکنش دارد (۱۴). به دلیل انقراض محلی این زیرگونه در برخی از زیستگاه‌های طبیعی آن در ایران (۲) و تخریب زیستگاه (۱۷)، تکه‌تکه شدن و انزوای زیستگاه‌های خرس سیاه بلوچی در جنوب شرق ایران محرز شده است که این امر موجب شده است مطالعات مختلفی روی این گونه در محدوده پراکنش آن انجام شود.

در مطالعه‌ای در شرقی‌ترین محدوده پراکنش خرس سیاه آسیایی، دوکو و همکاران (۱۰) به طراحی شبکه بوم‌شناختی این گونه در ژاپن با سه مدل توزیع به روش‌های الگوریتم ژنتیکی برای پیش‌بینی متکی به قاعده (GARP)، بیشینه بی‌نظمی (MaxEnt) و مدل تعمیم‌یافته خطی (GLM) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش بیشینه بی‌نظمی با متغیرهای محیطی ارتفاع، فاصله تا جاده‌های عریض و نقشه پوشش زمین بهترین مدل را ارائه کرد. در پژوهشی دیگر، دوکو و همکاران (۱۱) در مطالعه خود به بررسی لکه‌های زیستگاهی و کریدورهای بوم‌شناختی بالقوه برای این گونه در دو جزیره کشور ژاپن پرداختند. این مطالعه ارتباط بالقوه جمعیت‌های محلی خرس سیاه در مناطق مختلف را نشان داد و یک زیرجمعیت منزوی شناخته شد.

در غربی‌ترین محدوده پراکنش خرس سیاه آسیایی، در پژوهشی الماسیه و همکاران (۲) چهار خوشه با اولویت بالای



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران، چندوجهی محدب کمینه (۱۲۰ کیلومتر) اطراف لکه‌های زیستگاهی خرس سیاه بلوچی به همراه مناطق تحت حفاظت موجود: (۱) منطقه حفاظت‌شده هرمد، (۲) منطقه حفاظت‌شده کوه باز، (۳) منطقه حفاظت‌شده گنو، (۴) منطقه حفاظت‌شده کوه هماگ، (۵) منطقه کوه نیان، (۶) منطقه شرق رود، (۷) منطقه کوشا احمدی، (۸) منطقه رودان، (۹) منطقه بشاگرد، (۱۰) منطقه حفاظت‌شده مارز، (۱۱) منطقه کوه معدن، (۱۲) منطقه کوه سرخ، (۱۳) منطقه کلمرز، (۱۴) پارک ملی خیر، (۱۵) منطقه حفاظت‌شده بحر آسمان، (۱۶) پناهگاه حیات وحش زریاب، (۱۷) منطقه حفاظت‌شده کوه شیر، (۱۸) منطقه حفاظت‌شده سنگ مس، (۱۹) منطقه کوه شاه، (۲۰) منطقه بزمان، (۲۱) منطقه کوه نفتان، (۲۲) منطقه حفاظت‌شده کوه بیرک، (۲۳) منطقه نیک‌شهر ۱، (۲۴) منطقه نیک‌شهر ۲، (۲۵) منطقه حفاظت‌شده پوزک، (۲۶) منطقه نیک‌شهر ۳، (۲۷) منطقه نیک‌شهر ۴، (۲۸) منطقه نیک‌شهر ۵، (۲۹) منطقه کوه بگابند، (۳۰) منطقه مشکادم و (۳۱) منطقه رود نهنگ

سیمای سرزمین خرس سیاه بلوچی بین لکه‌های زیستگاهی برای مدیران حفاظت، امری ضروری تلقی می‌شود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۳۳۱۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب شرق ایران است (شکل ۱). انتخاب منطقه مورد مطالعه بر اساس ایجاد یک چندوجهی محدب کمینه (Minimum convex polygon) در اطراف نقاط حضور خرس سیاه بلوچی و در داخل مرزهای ایران بر اساس حداکثر اندازه

حفاظتی برای خرس سیاه بلوچی معرفی کردند. این خوشه‌ها، لکه‌های زیستگاهی نزدیک به هم بودند که با کریدورهای زیستگاهی به‌روش کمینه هزینه به هم اتصال یافته بودند. این مطالعه به دنبال آزمون صحت این خوشه‌ها به‌روش تئوری مدار است. بنابراین، این مطالعه با دو هدف: الف) مدل‌سازی و تعیین کریدورها بین لکه‌های زیستگاهی خرس سیاه بلوچی در ایران با استفاده از روش تئوری مدار و مقایسه آن با کریدورهای روش کمینه هزینه و ب) شناسایی مناطق با پتانسیل بالای تراکم جریان مهاجرت و همچنین لکه‌های زیستگاهی منزوی این زیرگونه در جنوب شرقی ایران انجام شد. به‌طور حتم، شناسایی ارتباطات

جابه‌جایی خرس سیاه آسیایی در حدود ۱۲۰ کیلومتر (۲۱) انجام شد.

ارتفاع منطقه مورد مطالعه در بازه ۳ تا ۱۴۳۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در شمال منطقه مورد مطالعه، درخت‌زارهای کوهستانی با پوشش درختی از جمله بنه (*Pistacia atlantica*)، کسور (*P. khinjuk*) و بادام کوهی (*Amygdalus lycioides*) وجود دارند که منبع غذایی مهمی برای خرس سیاه بلوچی محسوب می‌شوند (۱۵). بارندگی سالانه در مناطق کوهستانی منطقه مورد مطالعه حدود ۳۵۰ میلی‌متر با زمستان‌های سرد و میانگین دمای ۱۰ درجه سلسیوس است (۲۲). در جنوب منطقه مورد مطالعه، مناطق خشک کوهستانی با منبع غذایی کمتری برای این زیرگونه وجود دارند که دارای تابستان‌های داغ با میانگین ۳۵ درجه سلسیوس و زمستان ملایم با میانگین دمای ۲۰ درجه سلسیوس است (۲۲). در این مناطق خشک کوهستانی، خرما میوه درخت نخل (*Phoenix dactylifera*)، میوه محبوب این زیرگونه محسوب می‌شود (۱۸).

در منطقه مورد مطالعه، ۲۸ منطقه حفاظت‌شده وجود دارد که یک پارک ملی و سه پناهگاه حیات وحش را دربر می‌گیرد. بعضی از این مناطق تحت حفاظت، زیستگاه طبیعی خرس سیاه بلوچی هستند و نقش مهمی در حفاظت از این زیرگونه در معرض انقراض ایفا می‌کنند. با این وجود، بعضی از زیستگاه‌های طبیعی خرس سیاه همچنان جزء مناطق آزاد و غیر حفاظت‌شده هستند. در مطالعه الماسیه و همکاران (۲)، سه روش برای تعیین لکه‌های زیستگاهی در نظر گرفته شد و در نهایت ۳۱ لکه زیستگاهی برای خرس سیاه بلوچی در ایران معرفی شد (شکل ۱).

### مدل‌سازی زیستگاه

مدل‌سازی زیستگاه به روش بیشینه بی‌نظمی با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt (Maximum Entropy) نسخه 3.3.3k (۳۱) به‌منظور تعیین مناطق با مطلوبیت زیستگاهی بالا برای خرس سیاه بلوچی و همچنین استفاده از نقشه مطلوبیت زیستگاه در مدل‌سازی

کریدورهای زیستگاهی انجام شد. نرم‌افزار MaxEnt از داده‌های حضور گونه استفاده می‌کند و این نقاط حضور را با نقاط عدم حضور کاذب (pseudo-absence points) مقایسه می‌کند (۳۲). تعداد ۱۰۱ نقطه حضور خرس سیاه بلوچی در منطقه مورد مطالعه برای مدل‌سازی زیستگاه استفاده شد. در پژوهش الماسیه و همکاران (۲)، خودهمبستگی میان نقاط حضور محاسبه شده است و این ۱۰۱ نقطه، نقاط حضور نهایی برای انجام مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه هستند. این نقاط در طول سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ بر اساس مشاهده مستقیم، دوربین تله‌ای، ردپا و سرگین گردآوری شدند (۳، ۱۱ و ۲۹). اطلاعات این نقاط حضور شامل تعداد نقاطی که موسسات مختلف در اختیار این مقاله گذاشته‌اند و همچنین تعداد نقاط حضوری که در پیمایش صحرایی گردآوری شده است به تفصیل در پژوهش الماسیه و همکاران (۲) آورده شده است. همچنین ۱۰۰۰۰ نقطه به‌عنوان عدم حضور کاذب در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. این تعداد نقاط عدم حضور کاذب نشان داده‌اند که بیشترین صحت پیش‌بینی را برای نرم‌افزار MaxEnt دارند (۳۲). مدل‌سازی با ۱۰ تکرار انجام شد. بنابراین، ۱۰ نقشه مطلوبیت زیستگاه و چهار نقشه دیگر شامل نقشه میانگین، کمینه، کمینه و انحراف معیار ساخته شد. در نهایت نقشه مطلوبیت زیستگاه میانگین برای مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی در نظر گرفته شد.

متغیرهای محیطی شامل متغیرهای پستی‌وبلندی (مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model: DEM) و نقشه موقعیت پستی‌وبلندی (Topographic position map))، متغیرهای اقلیمی (چهار متغیر دما و بارندگی)، متغیر آشفستگی انسانی (نقشه ردپای انسانی (Human footprint))، پوشش زمین و فاصله از رودخانه با اندازه سلول یک کیلومتر انتخاب شدند (جدول ۱). نقشه موقعیت پستی‌وبلندی مطابق روش به‌کار رفته توسط الماسیه و همکاران (۲) در چهار طبقه دره‌ها، مناطق با شیب کم، مناطق با شیب زیاد و قله‌ها از مدل رقومی ارتفاع ساخته شد.

در ابتدا پنج متغیر اقلیمی میانگین دمای سالانه (BIO1)، تغییرات فصلی دما (BIO4)، بالاترین دمای گرم‌ترین ماه سال

جدول ۱. متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی در منطقه مورد مطالعه

منبع	نام متغیر محیط زیستی	قلمرو محیط زیستی
<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>	مدل رقمی ارتفاع	پستی و بلندی
مدل رقمی ارتفاع	موقعیت پستی و بلندی	
www.worldclim.org Hijmans et al., 2005 (۲۰)	تغییرات فصلی دما [SD × 100] (BIO4)	اقلیمی
	بالاترین دمای گرم‌ترین ماه سال (BIO5)	
	بارندگی سالانه (BIO12)	
	تغییرات فصلی بارندگی (BIO15) [CV]	
FRWMO, 2010(۱۶)	پوشش زمین	پناه و آب
NCC, 2012(۲۸)	فاصله از رودخانه	
Sanderson et al., 2002(۳۵)	ردپای انسانی	آشفستگی انسانی

شوره‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای (۶/۵ درصد)، زمین‌های کشاورزی (۴/۵ درصد)، کوهستان‌های جنگلی با تراکم کمتر درختی (۱/۶ درصد)، رواناب‌ها (۱/۲ درصد)، سکونتگاه‌های انسانی (۰/۳ درصد) و موانع آبی (۰/۲ درصد) در منطقه مورد مطالعه است. به دلیل اینکه خرس سیاه بلوچی وابستگی زیادی به جریان‌های آبی در مناطق خشک دارد، نقشه فاصله از رودخانه نیز به متغیرهای گفته شده افزوده شد.

همبستگی بین متغیرهای محیطی انتخاب شده (جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفت و همه متغیرها دارای همبستگی دو به دو کمتر از ۷۰ درصد بودند. همچنین، برای اطمینان بیشتر، شاخص تورم واریانس (VIF: Variance Inflation Factor) نیز برای هر متغیر محیطی محاسبه شد. به این صورت که، لایه‌های محیطی به صورت فایل نقطه‌ای از محیط نرم‌افزار ArcGIS استخراج و وارد محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ شدند. شاخص تورم واریانس برای همه متغیرهای محیطی زیر عدد ۱۰ (حد آستانه حذف متغیرهای محیطی) بود (۸) و همه این متغیرها در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی به کار گرفته شدند.

سطح زیر منحنی (Area Under the Curve : AUC) ویژگی عامل دریافت‌کننده (Receiver Operating Characteristic : ROC) به منظور ارزیابی صحت مدل به کار برده شد. عدد سطح زیر

(BIO5)، بارندگی سالانه (BIO12) و تغییرات فصلی بارندگی (BIO15) انتخاب شدند. این متغیرها در بازه زمانی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ میلادی تهیه شده‌اند (۲۰). اما متغیر BIO1 به دلیل همبستگی بالا با مدل رقمی ارتفاع حذف شد. متغیر BIO12 میزان بارش در طول سال و متغیرهای BIO4 و BIO15 ناهمگنی دما و بارندگی را در طول سال نشان می‌دهند. متغیر BIO5 به دلیل اینکه گرم‌ترین ماه سال می‌تواند عاملی محدود کننده برای پراکنش خرس سیاه بلوچی در منطقه به طور عمده خشک مورد مطالعه باشد، انتخاب شد.

متغیر ردپای انسانی که به وسیله رویهم‌گذاری داده‌های تراکم جمعیت، دسترسی انسانی از طریق جاده‌ها و حضور زیرساخت‌های انسانی ساخته شده است به عنوان نقشه آشفستگی انسانی به کار برده شد. نقشه پوشش زمین با ۵۴ طبقه از نقشه Landsat با وضوح ۳۰ متر توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در سال ۲۰۱۰ میلادی ساخته شده است. این نقشه به شکل رستری در اندازه سلول یک کیلومتر تبدیل شد و هر طبقه که بیشترین مقدار را در هر سلول به خود اختصاص داده بود به عنوان طبقه آن سلول شناخته شد. سپس این ۵۴ طبقه بر اساس تشابه به ۱۰ طبقه کاهش یافتند که شامل: مراتع (۵۷/۲ درصد)، مناطق بایر (۱۲/۸ درصد)، کوهستان‌های نیمه‌جنگلی خشک (۸/۸ درصد)، کوهستان‌های جنگلی (۷/۳ درصد)،

در نهایت، مناطق با احتمال مهاجرت بالا به‌روش تئوری مدار در این مطالعه با خوشه‌های شناسایی شده روش کمینه هزینه در مطالعه قبلی (۲)، به‌منظور میزان مطابقت مقایسه شدند.

## نتایج

### مدل‌سازی زیستگاه

میانگین سطح زیر منحنی عامل دریافت‌کننده برای ۱۰ تکرار مقدار ۰/۸۹۲ برآورد شد که نشان‌دهنده صحت خوب مدل است. تحلیل جک‌نایف نشان داد که متغیر موقعیت پستی و بلندی بیشترین اهمیت را به‌تنهایی و بیشترین اطلاعات مفید را در میان متغیرها داشته است. متغیر فاصله از رودخانه متغیری بود که با حذف آن، بیشترین نقص متوجه مدل می‌شود (شکل ۲). قله‌ها و دره‌ها بیشترین احتمال حضور خرس سیاه بلوچی را دارند. در حالی که مناطق با شیب کم، کمترین احتمال حضور این زیرگونه را دارند (شکل ۲). در میان طبقات پوشش زمین، کوهستان‌های جنگلی بیشترین احتمال حضور و مناطق بایر کمترین احتمال حضور خرس سیاه بلوچی را دارند (شکل ۲). خرس سیاه بلوچی در ایران، ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر و بارندگی سالانه ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر را ترجیح می‌دهد. همچنین، بالاترین دمایی که در گرم‌ترین ماه سال ترجیح می‌دهد در بازه ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس قرار می‌گیرد. شکل ۳ نقشه طبقه‌بندی شده مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی را در ایران نشان می‌دهد.

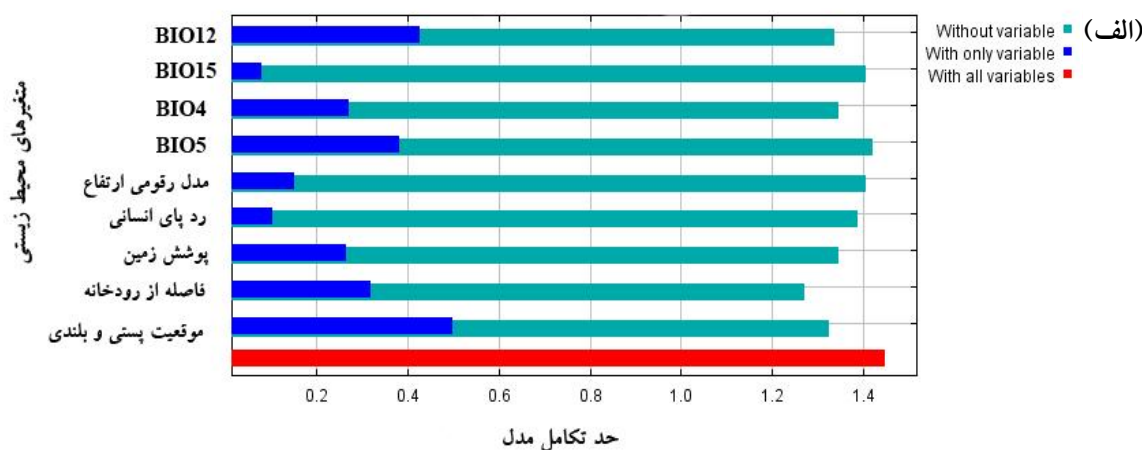
### مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی

مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی خرس سیاه بلوچی میان لکه‌های زیستگاهی بر اساس روش تئوری مدار طراحی شد. نتایج نشان داد که تراکم مهاجرت افراد خرس سیاه بلوچی در سه خوشه اصلی میان لکه‌های زیستگاهی ۱۰-۴، میان لکه‌های زیستگاهی ۱۹-۱۵ و میان لکه‌های زیستگاهی ۲۸-۲۳ قرار می‌گیرند (شکل ۴). در این مدل، لکه‌های زیستگاهی ۱، ۲۲-۲۰ و ۳۱ دارای ارتباط زیستگاهی ضعیفی با دیگر لکه‌ها بودند.

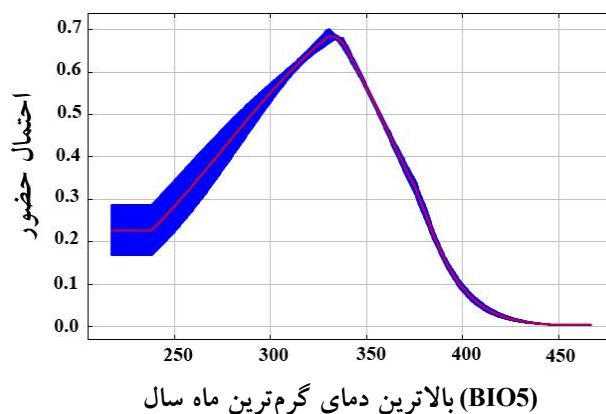
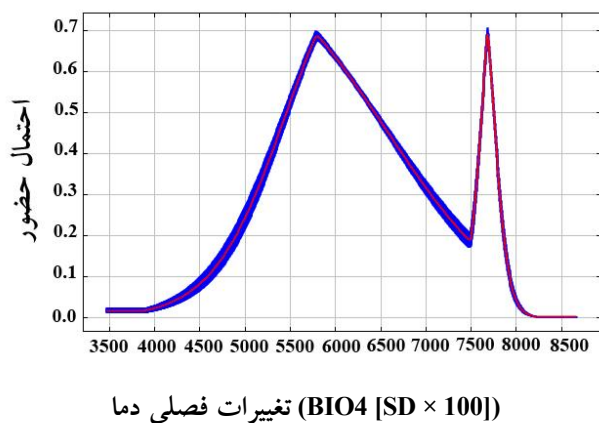
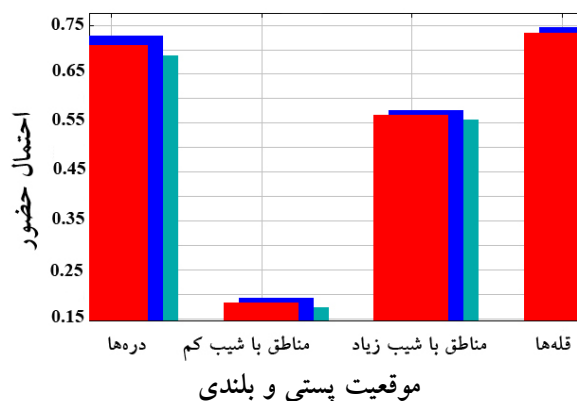
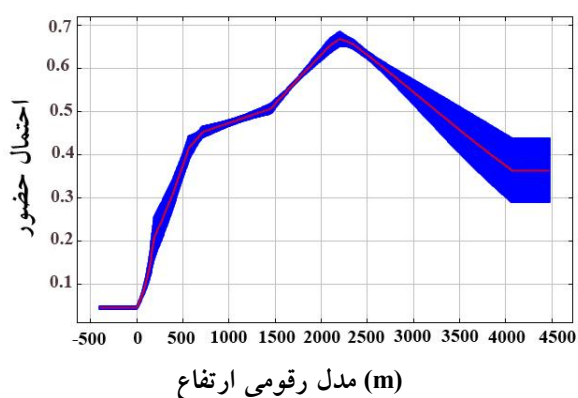
منحنی از صفر تا یک متفاوت است که مقدار صفر نشان می‌دهد که هیچ تفکیکی بین نقاط حضور و نقاط شبه عدم حضور وجود ندارد و عدد یک بیانگر تفکیک کامل نقاط حضور و نقاط شبه عدم حضور است. تحلیل جک‌نایف (Jackknife test) موجود در MaxEnt به‌منظور ارزیابی مهم‌ترین متغیرها به‌کار برده شد. منحنی‌های پاسخ (Response curves) حضور خرس سیاه بلوچی به متغیرهای محیط زیستی با در نظر گرفتن تأثیر متغیرهای دیگر ترسیم شد. نقشه مطلوبیت زیستگاه به‌دلیل توسعه سکونتگاه‌های انسانی اصلاح شد. به این ترتیب که، سکونتگاه‌های انسانی روی نرم‌افزار Google Earth نسخه Pro7 رقومی شده و به محیط GIS انتقال داده شد. این مناطق روی نقشه مطلوبیت زیستگاه، با استفاده از ابزار Modify HSM 1-Reclassify feature در نرم‌افزار CorridorDesigner (۲۳) مطلوبیت صفر را به‌خود اختصاص دادند. در نهایت، نقشه مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی بر اساس روش بیر و همکاران (۴) به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد که در آن صفر بیانگر نامطلوب، ۳۰-۱ بیانگر به‌شدت از منطقه دوری می‌کند، ۶۰-۳۰ بیانگر استفاده گاه و بی‌گاه، ۸۰-۶۰ بیانگر نزدیک به مطلوب و بالای ۸۰ بیانگر مطلوب است.

### مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی

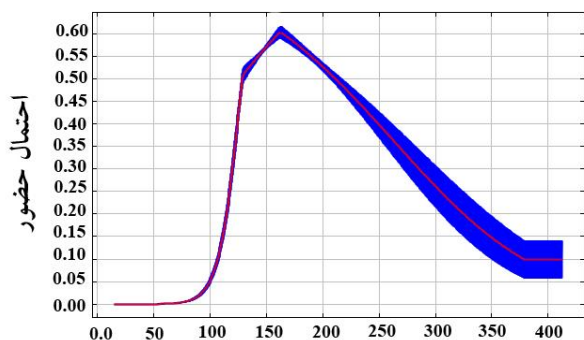
مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی به‌روش تئوری مدار با استفاده از نرم‌افزار Circuitscape نسخه ۴ انجام شد (۲۷). نقشه مقاومت (معکوس نقشه مطلوبیت) تهیه و در مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی استفاده شد. همچنین لکه‌های زیستگاهی به‌عنوان گره‌های کانونی در نظر گرفته شدند. در این مطالعه از روش *All to one* استفاده شد زیرا، هنگامی که هدف تهیه یک نقشه با تمامی کریدورهای زیستگاهی بین لکه‌های زیستگاهی باشد، این روش به‌خوبی عمل کرده و به نتایج مطلوبی منتهی می‌شود (۱۹) و (۲۶). همسایگی هشت سلول برای هر سلول به‌منظور محاسبه جریان مهاجرت خرس‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مناطق با مقاومت کمتر، تراکم مهاجرت بیشتر را نشان می‌دهند و بالعکس.



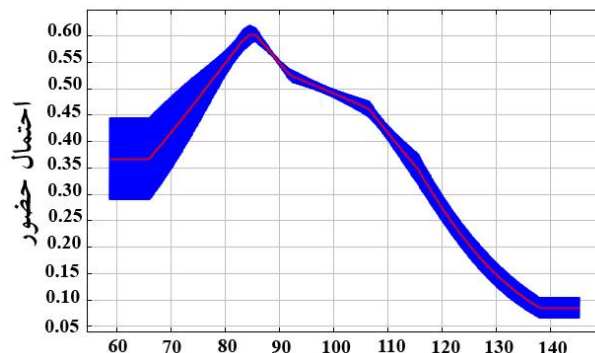
(ب)



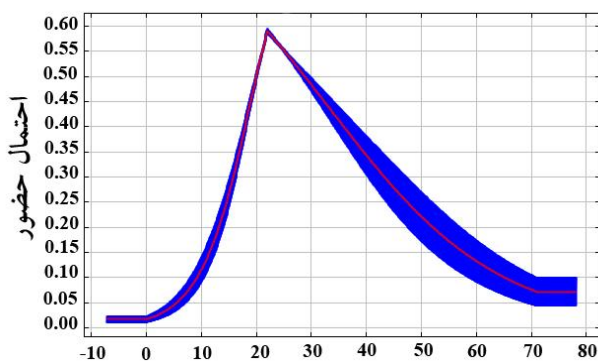
شکل ۲. الف) تحلیل جک‌نایف متغیرهای محیطی مهم و ب) منحنی‌های پاسخ حضور خرس سیاه بلوچی به متغیرهای محیطی در مدل MaxEnt با در نظر گرفتن تأثیر سایر متغیرها (احتمال حضور بین صفر تا یک تعریف شده است). (شماره‌های موجود در محور X منحنی پوشش زمین عبارتند از: ۱) کوهستان‌های جنگلی، ۲) کوهستان‌های جنگلی با تراکم کمتر درختی، ۳) زمین‌های کشاورزی، ۴) شوره‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای، ۵) مراتع، ۶) مناطق بایر، ۷) کوهستان‌های نیمه جنگلی خشک، ۸) رواناب‌ها، ۹) سکونتگاه‌های انسانی و ۱۰) موانع آبی)



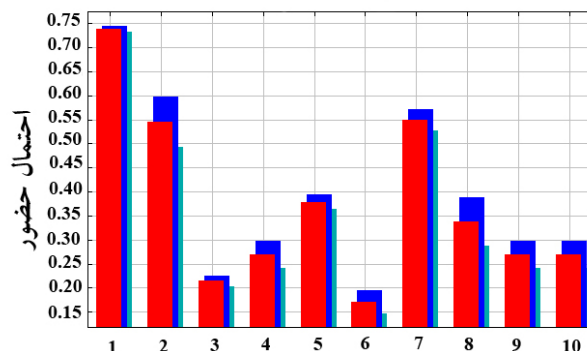
بارندگی سالانه (BIO12)



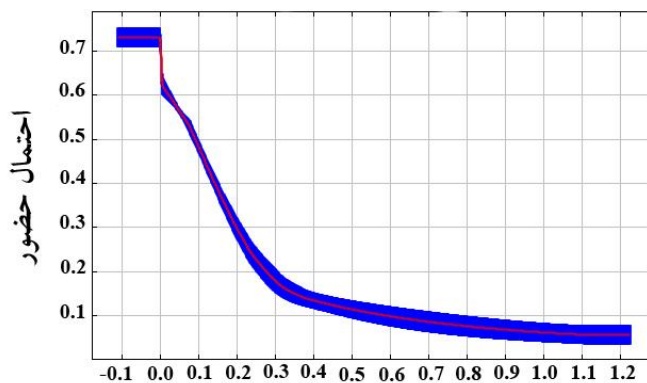
تغییرات فصلی بارندگی (BIO15 [CV])



رد پای انسانی



پوشش زمین



فاصله از رودخانه (degree)

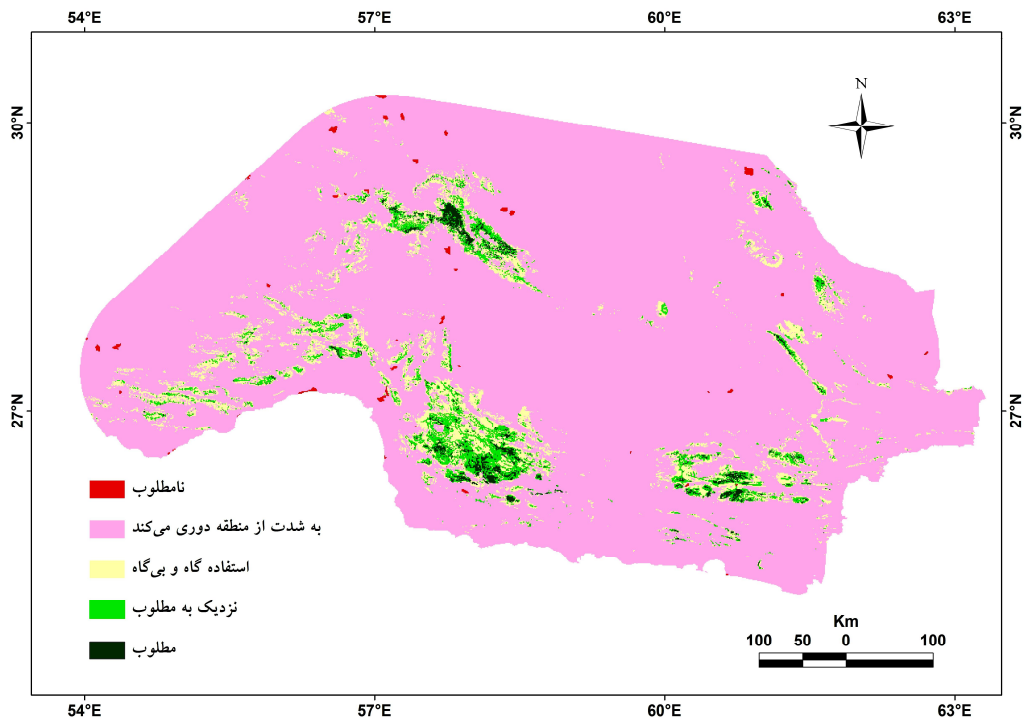
ادامه شکل ۲.

### بحث و نتیجه‌گیری

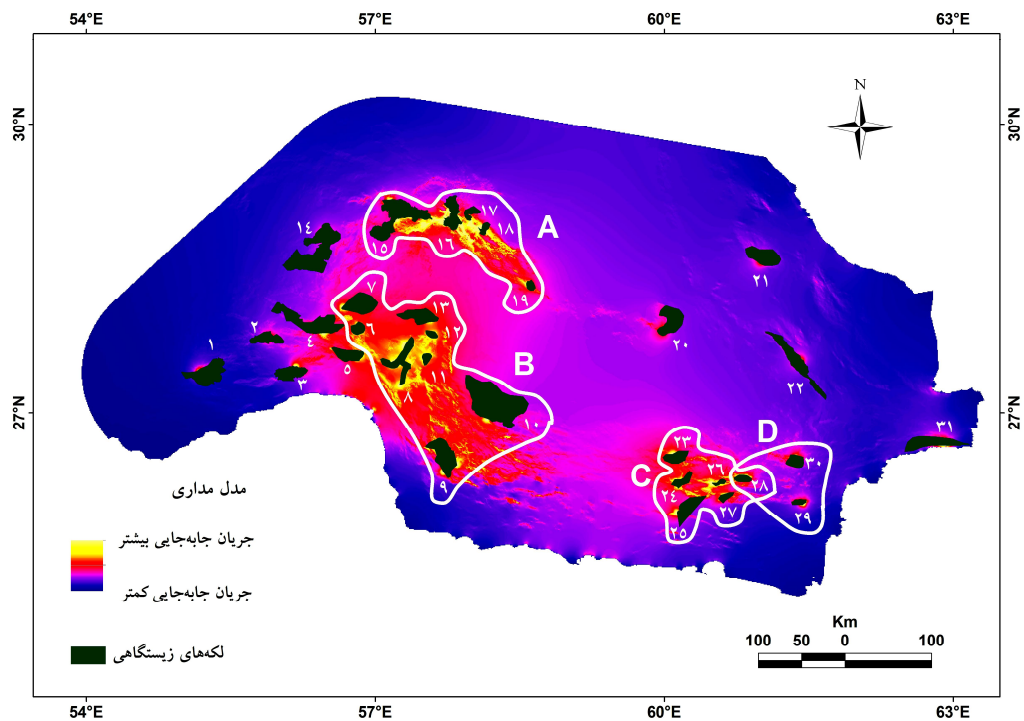
در مطالعه پیشین (۲)، مرزهای استانی منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد، زیرا هدف آن مطالعه، ارائه اولویت‌های حفاظتی به مدیران حیات وحش سه استان کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان بود. متأسفانه مدیریت و حفاظت از این گونه در سه

ارتباطات زیستگاهی درونی این خوشه‌ها (A: خوشه جبال بارز، B: خوشه بشاگرد بزرگ و C: خوشه نیک‌شهر) به‌خوبی با روش تئوری مدار در این مطالعه مطابقت داشت. همچنین جریان مهاجرت متوسطی از خرس سیاه بلوچی میان لکه‌های ۲۸-۳۰ (D: خوشه منطقه سرباز) وجود داشت (شکل ۴).





شکل ۳. نقشه مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی در ایران بر اساس ۱۰۱ نقطه حضور جمع‌آوری شده در طول سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۳ توسط مدل MaxEnt



شکل ۴. جریان مهاجرت مدل‌سازی شده خرس سیاه بلوچی میان ۳۱ لکه زیستگاهی بر اساس مدل مداری (خط‌های سفید، خوشه‌های مهم (A, B, C, D) که در مطالعه پیشین (۲) تعیین شده است را نشان می‌دهد)

اقلیم مرطوب حاره، فاصله از رودخانه به‌عنوان متغیر مهمی تشخیص داده نشد (۷). همچنین خرس سیاه بلوچی در جنوب شرق ایران، کوهستان‌های جنگلی را بیشتر ترجیح می‌دهد که در شرق آسیا نیز در کشور نپال، ترجیح این گونه بیشتر روی جنگل‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ است (۷).

نتایج این مطالعه با نتایج مدل‌سازی کریدورهای خرس سیاه بلوچی به‌روش مدل کمینه هزینه (۲) شباهت‌های زیادی دارد. در خوشه‌های A و C، روش تئوری مدار جریان مهاجرت خرس سیاه بلوچی با مدل کمینه هزینه قبلی مطابقت کامل داشته است. در خوشه B به‌نظر می‌رسد طبق مدل مداری می‌توان دو لکه زیستگاهی ۴ و ۵ را به خوشه اضافه کرد چرا که این لکه‌های زیستگاهی دارای جریان بالقوه مهاجرت بالایی با دیگر لکه‌های زیستگاهی خوشه B هستند. در خوشه D جریان مهاجرت پایینی میان سه لکه زیستگاهی مشاهده شد. خوشه D از طریق لکه ۲۸ متصل به خوشه C است و از این طریق احتمال جریان بین دو خوشه وجود دارد.

ارتباط سیمای سرزمین خرس سیاه بلوچی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت خوشه‌ای است. چرا که، دشت‌های وسیع میان لکه‌های زیستگاهی به‌هم پیوسته قرار گرفته‌اند و آنها را از همدیگر جدا کرده‌اند. در بررسی خرس سیاه آمریکایی (*Ursus americanus*) به‌عنوان خویشاوند گونه آسیایی خود، ارتباطات سیمای سرزمین به‌صورت گسترده و تقریباً یکنواخت وجود داشت که علت آن وجود زیستگاه‌های مناسب این گونه در جنوب کشور آمریکا بوده است (۱۷).

این مطالعه تلاشی در برای ترسیم ارتباطات زیستگاهی خرس سیاه بلوچی در جنوب شرقی ایران بوده است. بر اساس نتایج این مطالعه، روش تئوری مدار مناطق با جریان مهاجرت بالا بین افراد این گونه را مشخص کرد. از آنجا که در مدیریت و حفاظت مؤثر از یک گونه، شناسایی کریدورهای زیستگاهی با مهاجرت بالا حائز اهمیت است (۳۳)، لذا نتایج این مطالعه، می‌تواند الگوی مناسبی برای اولویت‌بندی حفاظت از زیستگاه‌های خرس سیاه بلوچی در این ناحیه از ایران باشد. با این وجود، مطالعات ژنتیکی و

استان مورد پراکنش این گونه به‌صورت مستقل از همدیگر عمل می‌کنند. اما در این مطالعه، کل زیستگاه‌های طبیعی خرس سیاه بلوچی - صرف نظر از مرزهای استانی - بر اساس نیاز گونه تعیین شد.

در میان ۳۱ لکه زیستگاهی این مطالعه، پنج لکه منزوی تشخیص داده شدند که دو لکه از آنها مناطق حفاظت‌شده هستند. از سوی دیگر در پنج لکه زیستگاهی حضور خرس سیاه بلوچی تأیید نشد (لکه‌های ۴، ۱۴، ۲۱، ۲۲ و ۲۵). لکه‌های زیستگاهی ۲۲-۲۰ از همدیگر و همچنین از خوشه‌های با تراکم جریان بالا بسیار دور هستند. حضور خرس سیاه بلوچی در لکه‌های ۲۱ و ۲۲ تأیید نشده است بنابراین، لکه ۲۰ (منطقه بزمان) به‌عنوان منزوی‌ترین لکه زیستگاهی که افراد معدودی از خرس سیاه بلوچی در آن زیست می‌کنند (۱۵) شناخته شد. این لکه زیستگاهی در معرض انقراض محلی قرار دارد و باید مورد توجه مدیران حیات وحش قرار گیرد.

متغیر موقعیت پستی و بلندی مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس سیاه بلوچی در این مطالعه بود و قله‌ها، دره‌ها و مناطق با شیب زیاد بیشترین احتمال حضور گونه را داشتند. مناطق شیب‌دار، این گونه را از خطرات انسانی محفوظ می‌دارند. همچنین، اعماق دره‌ها مواد غذایی مورد نیاز خرس سیاه بلوچی را در زیستگاه‌های کنار رودخانه‌ای فراهم می‌کند (۲). متغیر بالاترین دمای گرم‌ترین ماه سال سومین متغیر مهم این مطالعه بود (شکل ۲). این متغیر نشان داده است که می‌تواند به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار در مدل‌سازی گونه‌های مناطق خشک کشور به‌کار رود. خرس سیاه بلوچی از مناطق بالاتر از دمای ۴۰ درجه سلسیوس حذر می‌کند (شکل ۲). بدین منظور، خرس سیاه بلوچی از غارها به‌عنوان پناه حرارتی در مناطق خشک ایران بهره می‌گیرد (۱۴). همچنین، خرس سیاه بلوچی به‌دلیل زندگی در مناطق خشک وابستگی زیادی به منابع آب محلی به‌خصوص رودخانه‌ها دارد و متغیر فاصله از رودخانه‌ها در تحلیل جک‌نایف مهم تشخیص داده شد. این در حالی است که در کشور نپال واقع در شرق آسیا به‌دلیل داشتن

صحرائی در زیستگاه‌های با جریان بالای خرس سیاه بلوچی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

ردیابی‌های ماهواره‌ای برای تأیید نتایج این مطالعات و همچنین تعیین دوره‌های زمانی عمده در مهاجرت خرس سیاه بلوچی میان لکه‌های زیستگاهی توصیه می‌شود. همچنین، انجام پیمایش

## منابع مورد استفاده

1. Adriaensen, F., J. P. Chardon, G. De Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gulinck and E. Matthysen. 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64: 233-247.
2. Almasieh, K., M. Kaboli and P. Beier. 2016. Identifying habitat cores and corridors for the Iranian black bear in Iran. *Ursus* 27(1): 18-30.
3. Barea-Azcón, J. M., E. Virgós, E. Ballesteros-Duperón, M. Moleón and M. Chiroso. 2007. Surveying carnivores at large spatial scales: a comparison of four broad-applied methods. *Biodiversity and Conservation* 16(4): 1213-1230.
4. Beier, P., D. Majka and J. Jenness. 2007. Conceptual steps for designing wildlife corridors. <https://www.corridor-design.org/> accessed 20 June 2017.
5. Beier, P., W. Spencer, R. F. Baldwin and B. H. McRae. 2011. Toward best practices for developing regional connectivity maps. *Conservation Biology* 25(5): 879-892.
6. Bennett, A. F. 2003. Linkages in the Landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 254 p.
7. Bista, M., S. Panthi and S. R. Weiskopf. 2018. Habitat overlap between Asiatic black bear *Ursus thibetanus* and red panda *Ailurus fulgens* in Himalaya. *PLoS ONE* 13(9): e0203697.
8. Buedi, E. B. 2010. Modelling the potential distribution of three typical amphibians on Crete, and their response to climate and land use change. MSc thesis. University of Southampton. Southampton, UK.
9. Clark, T. W., A. P. Curlee and R. P. Reading. 1996. Crafting effective solutions to the large carnivore conservation problem. *Conservation Biology* 10: 940-948.
10. Doko, T., F. A. Kooiman and A. G. Toxopeus. 2007. Modeling of species geographic distribution for assessing present needs for the ecological networks - Case study of Fuji region and Tanzawa region, Japan. East Asia GIS Symposium, Fukuoka, Kyushu University, 6 August. Japan.
11. Doko, T., H. Fukui, A. Kooiman, A. G. Toxopeus, T. Ichinose, W. Chen and A. K. Skidmore. 2011. Identifying habitat patches and potential ecological corridors for remnant Asiatic black bear (*Ursus thibetanus japonicus*) populations in Japan. *Ecological Modelling* 222: 748-761.
12. Escobar, L. E., M. N. Awan and H. Qiao. 2015. Anthropogenic disturbance and habitat loss for the red-listed Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*): Using ecological niche modeling and nighttime light satellite imagery. *Biological Conservation* 191: 400-407.
13. Estrada, E. and O. Bodin. 2008. Using network centrality measures to manage landscape connectivity. *Ecological Applications* 18: 1810-1825.
14. Fahimi, H., G. H. Yusefi, S. M. Madjdzadeh, A. A. Damangir, M. E. Sehhatiasabet and L. Khalatbari. 2011. Camera traps reveal use of caves by Asiatic black bears (*Ursus thibetanus gedrosianus*) (Mammalia: Ursidae) in southeastern Iran. *Journal of Natural History* 45(37-38): 2363-2373.
15. Fahimi, H., G. H. Yusefi, N. Ahmadi and M. Chelani. 2013. Assessment of distribution, populations, diet regimes, and threatening factors for Baluchistan black bear in Sistan and Baluchistan province. A report to the provincial office of Department of Environment in Sistan and Baluchistan province, Zahedan, Iran, 140 p (In Persian).
16. FRWMO (Forest, Range and Watershed Management Organization of Iran). 2010. Iranian Forests, Range and Watershed Management Organization National Land use/Land cover map.
17. Garshelis, D. and R. Steinmetz. 2016. *Ursus thibetanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22824A45034242. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22824A45034242.en>. Accessed 12 May 2017.
18. Ghadirian, T. and H. Pishvaei. 2014. Status of Asiatic black bear in westernmost global distribution, Hormozgan province, Southern Iran. 23<sup>rd</sup> International Conference on Bear research and Management. Thessaloniki, Greece.
19. Gantchoff, M. G. and J. L. Belant. 2017. Regional connectivity for recolonizing American black bears (*Ursus americanus*) in southcentral USA. *Biological Conservation* 214: 66-75.
20. Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
21. Hwang, M. H., D. L. Garshelis, Y. H. Wu and Y. G. Wang. 2010. Home ranges of Asiatic black bears in the Central Mountains of Taiwan: Gauging whether a reserve is big enough. *Ursus* 21(1): 81-96.

22. IRIMO (Islamic Republic of Iran Meteorological Organization). 2010. Climate data-base, Iranian cities, from 1950 to 2010. [www.weather.ir/English](http://www.weather.ir/English), accessed 20 August 2015.
23. Majka, D., J. Jennes and P. Beier. 2007. CorridorDesigner: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. <https://www.corridor-design.org/> accessed 20 June 2017.
24. McRae, B. H. 2006. Isolation by resistance. *Evolution* 60: 1551-1561.
25. McRae, B. H. and P. Beier. 2007. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 19885-19890.
26. McRae, B. H., B. G. Dickson, T. H. Keitt and V. B. Shah. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology* 89(10): 2712-2724.
27. McRae, B. H. and V. B. Shah. 2009. Circuitscape user's guide. The University of California, Santa Barbara, <http://www.circuitscape.org/> accessed 30 June 2017.
28. NCC (National Cartographic Center of Iran). 2012. Integrated report of rail, road and river studies. National Cartographic Center of Iran, 240 p.
29. Nazeri, M., L. Kumar, K. Jusoff and A. R. Bahaman. 2014. Modeling the potential distribution of sun bear in Krau wildlife reserve, Malaysia. *Ecological Informatics* 20: 27-32.
30. Noss, R. F., H. B. Quigley, M. G. Hornocker, T. Merrill and P. C. Paquet. 1996. Conservation Biology and carnivore biology in the Rocky Mountain. *Conservation Biology* 10: 949-963.
31. Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190: 231-259.
32. Phillips, S. J. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
33. Roever, C. L., van R. J. Aarde and K. Leggett. 2013. Functional connectivity within conservation networks: Delineating corridors for African elephants. *Biological Conservation* 157: 128-135.
34. Sampson, A. M. 2013. A habitat suitability analysis for cougar (*Puma concolor*) in Minnesota. MSc Thesis, University of Minnesota, USA.
35. Sanderson, E. W., M. Jaiteh, M. A. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo and G. Woolmer. 2002. The human footprint and the last of the wild. *Bioscience* 52: 891-904.
36. Young, A. G. and G. M. Clarke. 2000. Genetics, demography and viability of fragmented populations. New York: Cambridge University Press. 438 p.

## Assessment of Landscape Connectivity and Prediction of Migration Corridors for the Baluchistan Black Bear (*Ursus thibetanus gedrosianus* Blanford, 1877) in the Southeastern Habitats, Iran

K. Almasieh<sup>1</sup> and M. Kaboli<sup>2\*</sup>

(Received: October 8-2018; Accepted: May 11-2019)

### Abstract

The Baluchistan Black Bear (BBB), a critically endangered subspecies (CR), is distributed in the southeastern Iran. Modelling of landscape connectivity of the BBBs among habitat patches can be insightful for the conservation managers working in Iran. Our study was designed to identify the potential corridors among 31 habitat patches of the BBBs in Iran using the circuit theory method. Habitat suitability map was generated in MaxEnt using 101 presence points and nine environmental variables, which were later inverted and used in corridor modeling. By using the circuit theory method, areas of high migration density were compared with four clusters determined in a previous study based on the least-cost model. Three main clusters with the high migration density of BBB were detected. Moreover, we identified eight insular habitat patches of the species that required urgent management actions to connect with other patches in the southeastern Iran. Circuit theory method clearly confirmed the main clusters introduced for the conservation of the BBBs in the southeastern Iran. Results of this study could be, therefore, used as a suitable pattern for the conservation priorities of BBBs habitats in this part of Iran.

**Keywords:** Landscape connectivity, Baluchistan black bear, Circuit theory, Least-cost model

---

1. Dept. of Nature Eng., Agric. Sci. and Natur. Resour. Univ. of Khuzestan, Mollasani, Iran.

2. Dept. of Environ. Sci., Faculty of Natur. Resour., Univ. of Tehran, Karaj, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: mkaboli@ut.ac.ir