

## ارزیابی اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین زیست‌بوم‌های بیابانی در سه گونه روباه با استفاده از رویکرد کرنل مقاومت و شبکه گراف

۱- رسول خسروی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- محمود رضا همامی، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

mrhemami@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۸

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

### چکیده

علیرغم اولویت حفاظتی زیست‌بوم‌های بیابانی به عنوان یک مأمن مناسب برای بسیاری از گونه‌های در خطر تهدید، راهبردهای حفاظت موثر از این گونه‌ها به دلیل کمبود اطلاعات پراکنش و ارتباطات زیستگاهی با موفقیت چندانی همراه نبوده‌است. تحقیق حاضر با هدف (۱) بررسی مهمترین متغیرهای بوم‌جغرافیایی موثر بر پراکنش روباه شنی (*Vulpes rueppellii*)، شاه‌روبه (*Vulpes cana*) و روباه معمولی (*Vulpes vulpes*) (۲) شناسایی مهمترین لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای و کریدورهای مهاجرتی و (۳) ارزیابی اهمیت هر یک از لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین طراحی شد. در گام اول، نقشه اجماعی پراکنش هر گونه با استفاده از تلفیق سه الگوریتم مدلسازی پراکنش و ۱۲ متغیر بوم‌جغرافیایی تهیه شد. نتایج نشان داد که پراکنش گونه‌های روباه‌سان تحت تاثیر میانگین بارندگی سالانه، تراکم اراضی بوته‌زار، تراکم مناطق مسکونی، و شاخص زبری سطح زمین است. در گام بعد، سطوح مقاومت سیمای سرزمین با اجرای تابع نمایی منفی روی نقشه اجماعی پراکنش ایجاد و با استفاده از رویکرد کرنل مقاومت لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای و کریدورهای زیستی مهم بین لکه‌ها پیش‌بینی شد. بسیاری از لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای در محدوده مناطق تحت حفاظت قرار گرفتند که این موضوع نشان‌دهنده مقاومت سیمای سرزمین در خارج از مناطق تحت حفاظت است. در آخر، اهمیت لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده با استفاده از شبکه گراف ارزیابی شد. نتایج ارتباط مثبت بین وسعت لکه زیستگاهی، میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر و میانگین احتمال وقوع در هر لکه را با شاخص احتمال نشان داد. استفاده از شاخص‌های کیفیت زیستگاه در مقایسه با کمیت زیستگاه کارایی بیشتری را در بررسی اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباط سیمای سرزمین نشان داد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که حفاظت موثر از گوشت‌خواران نیازمند مدیریت یکپارچه در سطح سیمای سرزمین با هدف برقراری ارتباطات عملکردی بین لکه‌های زیستگاهی باقیمانده است.

**واژگان کلیدی:** ارتباطات سیمای سرزمین؛ روباه؛ شبکه گراف؛ کرنل مقاومت؛ مدل‌سازی پراکنش؛ مقاومت سیمای سرزمین.

### مقدمه

حفاظت از کریدورهای زیستی بین لکه‌های زیستگاهی یکی از مؤلفه‌های اصلی حفاظت موثر از گونه‌ها است که می‌تواند باعث آسان‌سازی جابجایی افراد، تبادلات ژنی و همچنین جریانات بوم‌شناختی ضروری برای بقاء و پایداری دراز مدت گونه‌ها شود [۶ و ۱۰]. ارتباط سیمای سرزمین را می‌توان میزان مقاومت محیط در مقابل جابجایی افراد بین لکه‌های زیستگاهی تعریف نمود. ارتباط سیمای سرزمین به طور ذاتی خاص هر گونه بوده و دو جنبه ارتباط ساختاری و عملکردی را در برمی‌گیرد [۴ و ۳۴]. تا کنون روش‌های متعددی همچون تئوری مدار [۳۱]،

تکه‌تکه‌شدگی و تجزیه زیستگاه یکی از مهمترین تهدیدات تنوع زیستی به شمار می‌رود که سبب کاهش سطح، افزایش انزوا، و کاهش عملکرد بوم‌شناختی لکه‌های زیستگاهی باقیمانده می‌شود [۲۸]. این تغییرات فرآیندهای بوم‌شناختی مهم نظیر جریان ژن و انتشار بین زیستگاه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در یک سیمای سرزمین تجزیه شده، بقاء و پایداری گونه‌های با نیازهای مکانی گسترده اغلب در یک فراجمعیت امکان‌پذیر است [۳۸]. بنابراین، برقراری ارتباطات سیمای سرزمین و

کمبود اطلاعات در خصوص توان انتشار گونه‌ها دارند [۳۳].

با وجود نقش بوم‌شناختی گوشت‌خواران در تنظیم کنش‌های بوم‌شناختی و سلامت اکوسیستم، جمعیت بسیاری از این گونه‌ها در غرب و آسیای مرکزی در خطر تهدید قرار گرفته و به صورت منزوی در آمده‌است [۲۸]. شناسایی لکه‌های زیستگاهی و کریدورهای زیستی مهم نقش کلیدی در بقای دراز مدت جمعیت‌های گوشت‌خواران خواهد داشت [۴۰]. فلات مرکزی ایران میزبان گونه‌های متنوعی از گوشت‌خواران از جمله یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) است. از آن‌جا که تصمیمات اخیر در انتخاب مناطق تحت حفاظت بیشتر بر پایه ارتباط ساختاری بوده‌است تا ارتباط عملکردی، به همین دلیل بیشتر مناطق تحت حفاظت در مجاورت سکونت‌گاه‌ها و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. این امر جایابی حیوانات بین مناطق را با محدودیت مواجه می‌کند. بنابراین، برقراری ارتباط عملکردی موثر بین مناطق حفاظت شده به منظور اطمینان از بقاء دراز مدت گونه‌های جانوری ضروری است.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین در سه گونه روباه شنی، شاه‌روبه و روباه معمولی در بخشی از زیست‌بوم‌های بیابانی کشور طراحی شد. بدین منظور از ترکیب الگوریتم‌های مدل‌سازی پراکنش، سطوح کرنل مقاومت و شبکه گراف استفاده شد. مهمترین اهداف پژوهش حاضر، شناسایی مهمترین متغیرهای موثر بر پراکنش روباه‌سانان با استفاده از روش اجماع الگوریتم‌های مدلسازی، شناسایی لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای با استفاده از روش کرنل مقاومت، و ارزیابی اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین با استفاده از تحلیل شبکه گراف است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در بخشی از زیست‌بوم‌های بیابانی کشور در محدوده جغرافیایی  $23^{\circ}$  تا  $34^{\circ}$  عرض شمالی و  $51^{\circ}$  تا  $55^{\circ}$  طول شرقی و با وسعت تقریبی ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع اجرا شد. اقلیم منطقه خشک تا نیمه خشک و با میانگین

تحلیل نفوذپذیری سیمای سرزمین [۲۴]، توابع انتخاب منبع مبتنی بر قانون [۲۷] و نظریه گراف [۳۶] برای کمیت گذاری میزان نفوذپذیری و ارتباطات سیمای سرزمین معرفی شده‌است. عدم اطمینان از میزان تاثیر عوارض سیمای سرزمین بر جایابی افراد و همچنین درک ناقص از توان انتشار گونه‌ها، مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی روش‌های ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین است [۸]. یکی از رایج‌ترین روش‌های نمایش ارتباطات سیمای سرزمین، روش مدلسازی حداقل هزینه است که در این روش فاصله جغرافیایی و نفوذپذیری سیمای سرزمین با یکدیگر تلفیق می‌شوند. این روش همواره با محدودیت‌هایی از جمله عدم دسترسی به داده‌های تجربی برای محاسبه هزینه‌های جایابی و انتشار و یا سلیقه‌ای بودن تخمین هزینه‌ها روبه‌رو است. به همین دلیل مدل‌های جایگزین همچون کرنل‌های مقاومت تجمعی برای ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین معرفی شده‌است [۸]. علاوه بر نوع رویکرد استفاده شده در تحلیل ارتباطات سیمای سرزمین، بهبود ارتباطات سیمای سرزمین متأثر از داده‌های موثق از پراکنش گونه هدف است. الگوریتم‌های پیش‌بینی پراکنش همچون روش مکسنت<sup>۱</sup> ابزار قدرتمندی در نقشه‌سازی مقاومت نسبی سیمای سرزمین در مقابل جایابی افراد است. این الگوریتم توانایی پیش‌بینی مقاومت سیمای سرزمین با استفاده از تعداد نقاط حضور اندک را دارد [۳۹]. از آنجا که هر الگوریتم مدلسازی سطوح متفاوتی از کارآیی و عدم قطعیت را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها نشان می‌دهد، به همین دلیل استفاده از اجماع الگوریتم‌های مختلف می‌تواند کارآیی بیشتری در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های جانوری داشته باشد [۳].

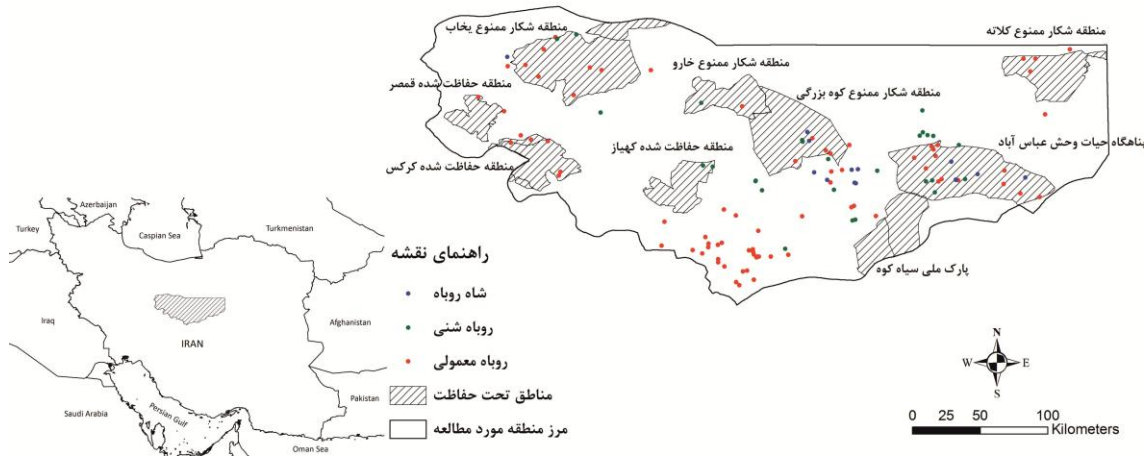
در سال‌های اخیر رویکردهای مبتنی بر شبکه در کمیت‌گذاری اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین مورد استقبال قرار گرفته و شاخص‌هایی همچون احتمال ارتباط<sup>۲</sup> [۳۱] برای ارزیابی سهم لکه‌ها در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین معرفی شده‌است [۱۴]. این شاخص‌ها کارآیی بالایی در زمان

1- Maxent

2- Probability of connectivity (PC)

بالایی برخوردار است. در محدوده مورد مطالعه پنج منطقه تحت حفاظت و چهار منطقه شکار ممنوع برای حمایت از فرآیندهای بوم‌شناختی مهم گونه‌های جانوری طراحی و انتخاب شده است (شکل ۱).

بارندگی سالانه ۹۰ میلیمتر و دامنه دمایی  $11^{\circ}\text{C}$  تا  $27^{\circ}\text{C}$  است. سیمای غالب منطقه پوشیده از گیاهان بوته‌ای سازگار به مناطق خشک همچون *Artemisia sieberi* و *Anabasis aphylla* است. این منطقه به دلیل اهمیت بالا در بقای گوشت‌خواران تهدید شده از اولویت حفاظتی



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه برای مدلسازی ارتباطات سیمای سرزمین و کریدورهای زیستی مهم گوشتخواران در بخشی از زیست-بوم‌های بیابانی کشور

### جمع‌آوری نقاط حضور

داده‌های حضور گونه‌های مورد مطالعه از منابع مختلفی همچون مشاهدات مستقیم تیم تحقیقاتی و محیط‌بانان، دوربین‌های تله‌ای و مشاهده نمایه‌ها جمع‌آوری گردید. بررسی الگوی پراکنش نقاط حضور و همچنین وجود تکرارهای کاذب در داده‌ها با استفاده از شاخص Moran's I انجام شد [۱۱]. به منظور اطمینان از استقلال نقاط حضور، نقاط تکراری حذف و تنها یک نقطه حضور در هر پنج کیلومتر مربع استفاده شد [۲ و ۲۱].

### متغیرهای بوم‌جغرافیایی و الگوریتم‌های پیش‌بینی پراکنش

با مرور منابع، در آخر ۱۲ متغیر بوم‌جغرافیایی در چهار طبقه متغیرهای زیست‌اقليمی، توپوگرافی، پوشش اراضی و متغیرهای انسانی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها استفاده شد. همبستگی بین متغیرها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار ENMTools [۳۷] محاسبه و متغیرهایی با همبستگی بالاتر از  $0.85$  از تحلیل‌های بعدی حذف گردید [۱۲]. شاخص موقعیت توپوگرافی<sup>۱</sup> با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۹۰ متر و

شعاع جستجوی ۳۰۰۰ متر و همچنین میانگین شاخص زبری با استفاده از روش هابسون [۱۸] و اندازه سلول ۲۵۰ متر محاسبه شد. میانگین بارش سالانه از وبگاه جهانی WorldClim استخراج گردید [۱۷]. از آنجا که قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها یک کیلومتر مربع است، بنابراین، از روش ریزمقیاس کردن [۱۶] برای افزایش قدرت تفکیک داده‌ها به قدرت تفکیک ۲۵۰ متر در برنامه FORTRAN استفاده شد [۲۰]. شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از ۲۶ تصویر ماهواره‌ای MODIS سال ۲۰۱۳ تهیه شد. با استفاده از تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی، ۲۶ لایه NDVI به چند مولفه مهم خلاصه شد. نقشه رستری پوشش گیاهی منطقه به چهار طبقه شامل اراضی با پوشش مرتعی فقیر (پوشش گیاهی تنک و تراکم کمتر از ۲۵ درصد)، اراضی مرتعی با پوشش متوسط (ترکیب مناطق علفزار و بوته زار با تراکم بیش از ۲۵ درصد)، بوته‌زار (لکه‌های پوشیده از بوته‌ها و گیاهان خشبی با پوشش بیشتر از ۱۰ درصد) و اراضی بایر طبقه‌بندی شد. تراکم هر یک از تیپ‌های پوششی اشاره شده در یک شبکه  $2 \times 2$  کیلومتری محاسبه شد. همچنین تراکم اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، روستاها و

1- Topographic Position Index

تراکم مورد انتظار اولیه برای هر یک از گونه‌ها در پیکسل‌های نقاط حضور گونه یک (۱) در نظر گرفته شد و بافر تراکم کرنل در اطراف مسیرهای حداقل هزینه پیش‌بینی شده با استفاده از تابع گوسی ترسیم گردید. سپس مسیرهای حداقل هزینه با یکدیگر ترکیب و جمع شد. در آخر، زیستگاه‌های هسته‌ای به عنوان واحدهای پیوسته با کرنل مقاومت بیش از ۱۰ درصد بالاترین میزان کرنل مقاومت برای هر گونه تعریف شد [۸].

### ارزیابی سهم لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای در ارتباطات سیمای سرزمین

سهم هر یک از لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده در برقراری ارتباطات ساختاری و عملکردی سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار Conefor Sensinode 2.2 محاسبه شد [۳۲]. مساحت هر لکه زیستگاهی، میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر در هر لکه و میانگین احتمال وقوع گونه در هر لکه به عنوان سه خصوصیت هر لکه زیستگاهی در نظر گرفته شد. همچنین از فاصله اقلیدسی بین لکه‌های زیستگاهی به عنوان فایل ارتباط در نرم افزار استفاده شد. پس از تعیین فایل ارتباط و فایل خصوصیت لکه‌ها، در گام بعد شاخص احتمال ارتباط (PC) برای هر یک از لکه‌های زیستگاهی محاسبه گردید. به دلیل کمبود اطلاعات در خصوص فاصله انتشار گونه‌های گوشتخوار و تاثیر این فاصله بر شاخص‌های ارتباط زیستگاهی (PC, BC)، در این مطالعه سناریوهای متفاوتی از توانایی انتشار گونه (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلومتر) مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج

#### داده‌های پراکنش گونه‌ها و کارایی الگوریتم‌های پیش‌بینی پراکنش

ارزیابی الگوریتم‌های استفاده شده برای تهیه نقشه پراکنش گونه‌های مورد مطالعه نشان از کارایی مناسب هر سه الگوریتم در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها بود ( $AUC > 0.7$ ). مقایسه الگوریتم‌ها نشان داد که مدل اجماعی در مقایسه با مدل مکسنت کارایی بیشتری (AUC) در پیش‌بینی پراکنش سه گونه مورد مطالعه دارد (جدول ۲). با

جاده‌ها نیز با استفاده از نقشه پوشش اراضی کشور محاسبه شد. به دلیل کمبود اطلاعات در خصوص تراکم طعمه‌های گونه‌های مورد مطالعه، از شاخص پوشش گیاهی به عنوان شاخصی از تراکم طعمه استفاده گردید [۱].

#### نقشه پراکنش اجماعی الگوریتم‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها

به منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها از سه الگوریتم مدل‌سازی شامل روش مکسنت، مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) و مدل تقویتی تعمیم‌یافته<sup>۱</sup> (GBM) استفاده شد. در گام اول مدل مکسنت با استفاده از ۱۲ متغیر بوم‌جغرافیایی اجرا و متغیرهای مهم با استفاده از تحلیل جک‌نایف شناسایی گردید. سپس، از سه الگوریتم اشاره شده برای تهیه نقشه اجماعی پراکنش با استفاده از متغیرهای مهم شناسایی شده استفاده شد [۳]. تمامی تحلیل‌های مدل‌سازی در بسته نرم‌افزاری Biomod2 در محیط R انجام شد [۳۵]. میزان همبستگی بین خروجی الگوریتم‌های مختلف با استفاده از محاسبه مقادیر مطلوبیت در ۵۰۰۰ نقطه تصادفی در نقشه‌های تولید شده توسط هر مدل محاسبه شد [۴۲]. کارایی هر مدل پراکنش نیز با استفاده از معیار سطح زیر منحنی [۹] و شاخص کاپا [۲۳] ارزیابی گردید.

#### شناسایی لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای و کریدورهای زیستی

از رویکرد کرنل مقاومت برای ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین و شناسایی لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای استفاده شد [۷]. این روش با استفاده از شبیه‌ساز جهانی شبکه کریدور (UNICOR) اجرا شد [۲۲]. برنامه UNICOR از الگوریتم Dijkstra برای یافتن کوتاهترین مسیرهای مهاجرت بین هر جفت از نقاط حضور گونه در محدوده مورد مطالعه استفاده می‌کند [۲۰]. بدین منظور، در گام اول نقشه اجماعی پراکنش هر یک از گونه‌ها با استفاده از تابع نمایشی منفی به نقشه مقاومت تبدیل شد. ارزش‌های نقشه مقاومت به عنوان وزن در تابع انتشار استفاده شده در شبیه‌ساز UNICOR استفاده گردید.

مناطق تحت حفاظت قرار می‌گرفت. بیشترین مناطق مطلوب برای دو گونه روباه شنی و شاه‌روبه در مناطق غربی محدوده مورد مطالعه و در محدوده مناطق تحت حفاظت عباس‌آباد، کوه‌بزرگی و خارو قرار دارد (شکل ۲). هر یک از گونه‌های مطالعه شده سطحی از تخصص‌گرایی را در انتخاب زیستگاه نشان دادند. به طور کلی متغیرهای میانگین بارندگی سالانه، تراکم اراضی بوته‌زار، تراکم مناطق مسکونی و روستاها، و شاخص زبری سطح مهمترین متغیرهای تاثیرگذار بر پراکنش گونه‌های روباه‌سان در زیست‌بوم‌های بیابانی مرکز کشور می‌باشند (جدول ۲).

توجه به تطابق مکانی بین الگوریتم‌های استفاده شده و کارایی مدل اجماعی، تنها نتایج این مدل ارائه شد. سطح زیستگاه‌های با مطلوبیت بالا (مناطق با مطلوبیت بیش از شاخص میانه مطلوبیت برای نقاط حضور گونه) در مدل اجماعی بسته به نوع گونه متغیر بود (جدول ۴). بر این اساس مناطق با مطلوبیت بالا برای گونه شاه‌روبه حداقل (۵۹ کیلومتر مربع) و برای روباه معمولی حداکثر (۵۷۸ کیلومتر مربع) پیش‌بینی شد. اگرچه استفاده از آستانه ۵۰ درصد میانگین مطلوبیت نقاط حضور هر گونه نشان داد که ۲/۶ (شاه روباه) تا ۲۰/۲ (روبه معمولی) درصد از محدوده مورد مطالعه به عنوان زیستگاه مطلوب برای گونه‌ها شناسایی شد که برخی از این لکه‌ها در خارج از

جدول ۱- تعداد نقاط حضور جمع‌آوری شده گونه‌های روباه به منظور مدلسازی پراکنش و ایجاد سطوح مقاومت

گونه	نقاط کل	نقاط حضور	
		مشاهده مستقیم	مشاهده نمایه
روبه شنی	۲۹	۱۴	۱۰
شاه روباه	۲۳	۱۷	۲
روبه معمولی	۶۱	۳۲	۲۴

جدول ۲- کارایی الگوریتم‌های استفاده شده در پیش‌بینی پراکنش سه گونه روباه در بخشی از زیست‌بوم‌های بیابانی کشور با استفاده از شاخص AUC و همچنین تعیین مهمترین متغیرهای تاثیرگذار بر مدل خروجی بر اساس تحلیل جک‌نایف

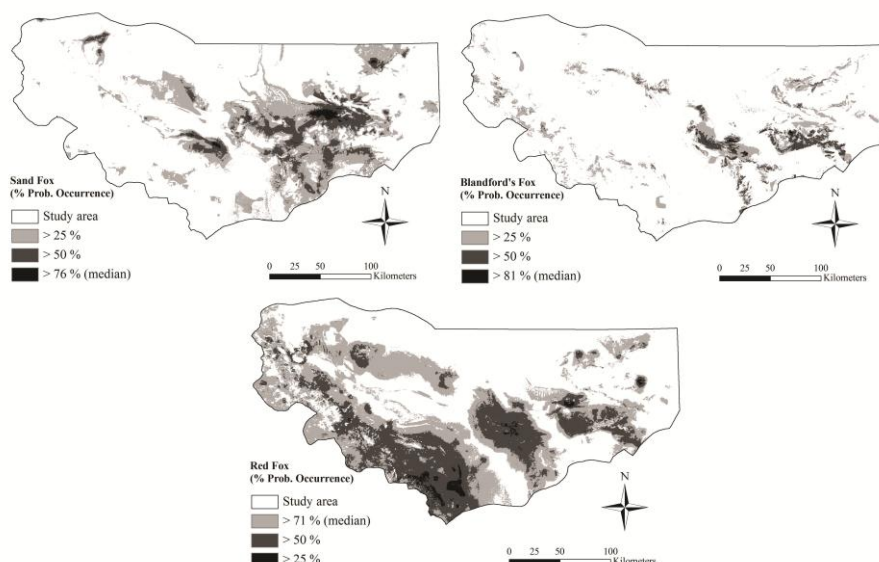
گونه	متغیرهای مهم	GLM	MaxEnt	GBM	Ensemble
روبه شنی	میانگین بارندگی سالانه، تراکم اراضی بوته‌زار، تراکم مناطق مسکونی، تراکم روستا، تراکم جاده	۰/۷۷۹	۰/۸۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۶۱
شاه روباه	شاخص زبری سطح زمین، میانگین بارندگی سالانه، تراکم اراضی مرتعی متوسط، تراکم مناطق مسکونی، شاخص پوشش گیاهی	۰/۹۰۰	۰/۹۸۳	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵
روبه معمولی	شاخص زبری سطح زمین، تراکم روستا، تراکم مناطق مسکونی، میانگین بارندگی سالانه، تراکم اراضی بوته‌زار	۰/۷۹۷	۰/۸۰۹	۰/۹۵۳	۰/۸۹۵

جدول ۳- ماتریس همبستگی مکانی بین الگوریتم‌های پیش‌بینی پراکنش سه گونه روباه در زیست‌بوم‌های بیابانی (اعداد هر سلول از جدول نمایش دهنده میزان همبستگی بین الگوریتم‌ها به ترتیب از چپ به راست برای روباه شنی، شاه‌روبه، و روباه معمولی است)

	Maxent	GBM
GLM	۰/۶۳, ۰/۳۹, ۰/۸۱	۰/۳, ۰/۱۵, ۰/۶۹
Maxent		۰/۵۵, ۰/۴۷, ۰/۷۵

جدول ۴- مساحت زیستگاه‌های مطلوب هر گونه بر اساس آستانه مطلوبیت و نقشه اجماعی پراکنش حاصل از سه الگوریتم پیش‌بینی پراکنش

گونه	مطوبیت زیستگاه (کیلومتر مربع)	مطوبیت زیستگاه (کیلومتر مربع)	مطوبیت زیستگاه (کیلومتر مربع)
روبه شنی	۱۵۱۴۸ (۲۵/۴)	۴۰۳۲ (۶/۸)	۲۵۶ (۰/۴۲)
شاه روباه	۶۳۹۹ (۱۰/۷)	۱۵۳۱ (۲/۶)	۵۹ (۰/۰۹)
روبه معمولی	۲۸۹۲۱ (۴۸/۵)	۱۲۰۶۹ (۲۰/۲)	۵۷۸ (۱/۰۰)

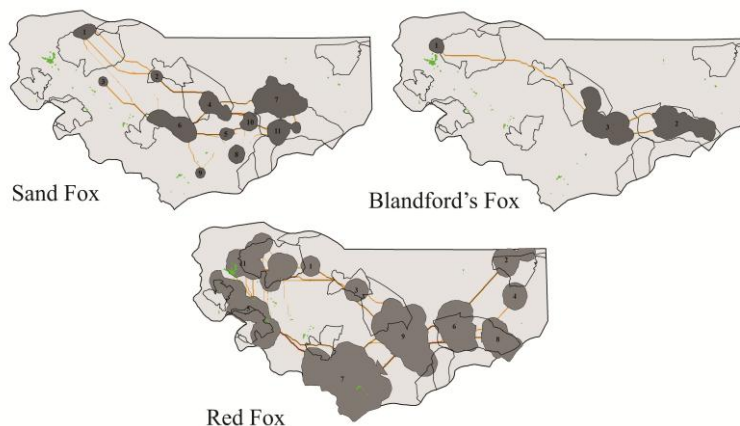


شکل ۲- پراکنش سه گونه روباه در بخشی از زیست‌بوم‌های بیابانی کشور با استفاده از روش اجماع الگوریتم‌های GBM و GLM، MaxEnt. گرادیان رنگ خاکستری نشان دهنده مطلوبیت زیستگاه است. مناطق با رنگ تیره لکه‌های زیستگاهی با حداکثر مطلوبیت را نشان می‌دهند

### شناسایی لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای و شبکه کریدورها

در شکل ۳ زیستگاه‌های هسته‌ای شناسایی شده و همچنین مهم‌ترین کریدورهای مهاجرتی با استفاده از رویکرد کرنل مقاومت نشان داده شده است. مهم‌ترین لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای برای روباه معمولی پراکنش مناسبی را در کل منطقه مورد مطالعه نشان داد و کریدورهای با نرخ مهاجرتی بالا بین لکه‌های زیستگاهی برای این گونه مشاهده شد (جدول ۵). در رابطه با گونه شاه‌روباه، سه لکه زیستگاهی مهم در مناطق عباس‌آباد، کوه‌بزرگی و قمصر شناسایی شد. با این حال، دو لکه

زیستگاهی عباس‌آباد و کوه‌بزرگی به دلیل وجود کریدور با نرخ مورد انتظار مهاجرتی بالا را می‌توان به صورت یک لکه جمعیتی در نظر گرفت. در رابطه با گونه روباه شنی نیز بیشتر لکه‌های زیستگاهی در مناطق مرکزی و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه یعنی در محدوده مناطق عباس‌آباد، سیاه‌کوه، کهپاز و کوه بزرگی متمرکز است. بنابراین با در نظر گرفتن فاصله انتشار بالای گونه و همچنین وجود کریدورهای با نرخ مورد انتظار مهاجرتی بالا بین این لکه‌ها، می‌توان لکه‌های زیستگاهی در این محدوده را به صورت یک لکه جمعیتی بزرگ و یا به عبارتی یک فراجمعیت در نظر گرفت.



شکل ۳- کریدورهای مهاجرتی و ارتباطات زیستگاهی برای سه گونه روباه با استفاده از رویکرد کرنل مقاومت و بر اساس نقشه مقاومت سیمای سرزمین (پلی‌گون‌های با رنگ خاکستری لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای را نشان می‌دهد. خطوط با گرادیان رنگی نارنجی (مسیرهای با نرخ مهاجرتی پایین) تا قرمز (مسیرهای با نرخ مهاجرتی بالا) نشان دهنده مسیرهای مهاجرتی بالقوه بین لکه‌های زیستگاهی است. مرز مناطق تحت حفاظت با خطوط خاکستری و مناطق شهری با پلی‌گون‌های سبز رنگ نشان داده شده‌است)

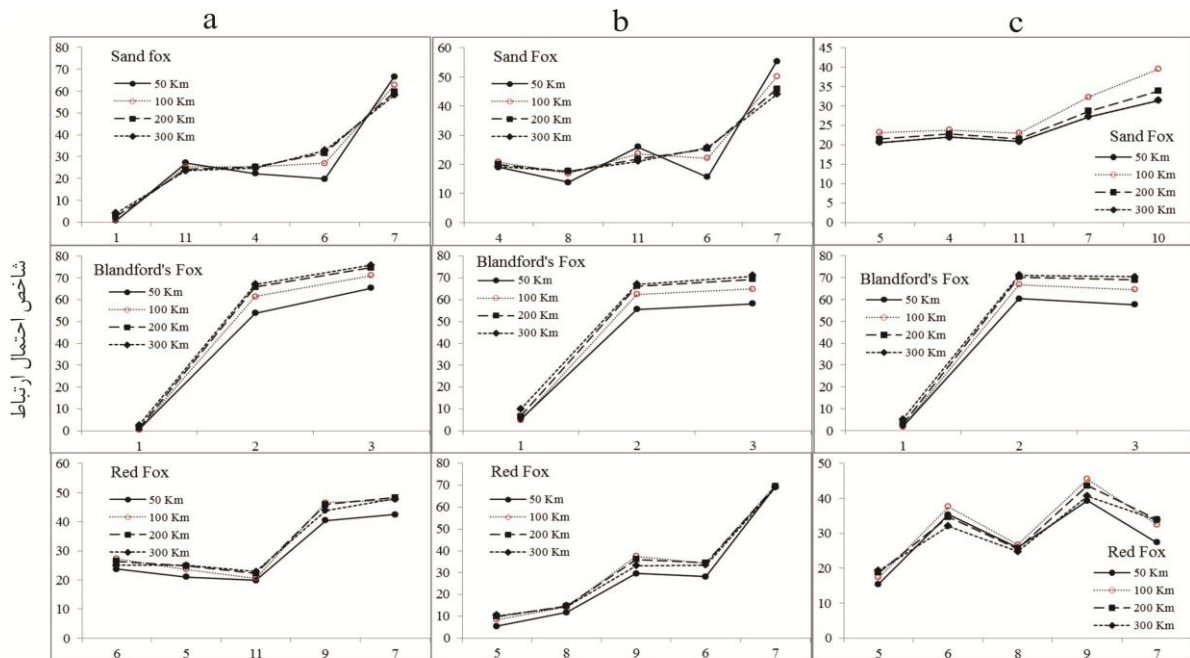
جدول ۵- خصوصیات لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای برای سه گونه روباه در زیست‌بوم‌های بیابانی مورد مطالعه

گونه	تعداد لکه‌های زیستگاهی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد از مناطق حفاظت شده
روباه شنی	۱۱	۵۹۵۳	۳۹
شاه روباه	۳	۴۲۱۲	۵۷
روباه معمولی	۱۰	۲۲۸۷۰	۳۶/۵

### ارزیابی سهم لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین

اهمیت لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین بسته به نوع ویژگی انتخاب شده برای لکه‌های زیستگاهی متغیر بود. نتایج بررسی اهمیت لکه‌ها با در نظر گرفتن مساحت لکه زیستگاهی و همچنین میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر در هر لکه مشابه بود. با در نظر گرفتن شاخص احتمال ارتباط (PC)، مهمترین لکه‌های زیستگاهی به ترتیب برای روباه شنی (لکه ۷)، روباه معمولی (لکه ۷) و شاه‌روباه (لکه ۳) شناسایی شد (جدول ۶ و شکل ۳). با در نظر گرفتن میانگین احتمال وقوع در هر لکه زیستگاهی به عنوان خصوصیت لکه، مهمترین لکه هسته‌ای برای روباه شنی (لکه ۱۰)، روباه معمولی (لکه ۹) و شاه‌روباه (لکه ۲) تغییر کرد.

اهمیت لکه‌های زیستگاهی همبستگی مثبتی با مساحت لکه، میانگین احتمال وقوع در لکه و همچنین میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر در هر لکه نشان داد (شکل ۴). شاخص احتمال ارتباط (dPC) نیز با افزایش توان انتشار حیوان و در نظر گرفتن هر سه خصوصیت لکه زیستگاهی برای گونه‌ها متغیر بود، بنحویکه برای روباه شنی با افزایش فاصله انتشار این شاخص برای هر سه خصوصیت زیستگاهی کاهش و برای شاه‌روباه افزایش نشان داد. برای گونه روباه معمولی، با افزایش فاصله انتشار تا ۲۰۰ کیلومتر شاخص احتمال ارتباط افزایش و از ۲۰۰ کیلومتر به بعد کاهش نشان داد. برای هر سه گونه بررسی شده با افزایش فاصله انتشار، تغییری در مهمترین لکه زیستگاهی (رتبه ۱) برای هر سه ویژگی لکه زیستگاهی مشاهده نشد، هرچند این تغییر در اهمیت لکه‌های دیگر (رتبه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵) مشاهده شد.



شماره لکه زیستگاهی

شکل ۴- همبستگی شاخص احتمال ارتباط (PC) با مساحت لکه زیستگاهی (a)، تراکم کرنل (b) و میانگین احتمال وقوع (c) در سه گونه روباه در بخشی از زیست‌بوم‌های بیابانی کشور

## تأثیر متغیرهای بوم‌جغرافیایی بر پراکنش گونه‌های

## روباه

تلفیق الگوریتم‌های مدلسازی و تهیه نقشه اجماعی پراکنش نشان از کارایی بالای مدل اجماعی در پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب و همچنین عوامل موثر بر وقوع گونه‌های مورد مطالعه بود. بنابراین می‌توان استنباط نمود که در شرایط کمبود داده‌های حضور و همچنین عدم اطمینان از عوامل موثر بر پراکنش، تلفیق نتایج الگوریتم‌های مختلف و ایجاد یک نقشه اجماعی کارایی مناسبی در پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌های جانوری دارد. نتایج حاصل با نتایج مطالعات انجام شده [۱، ۳، ۲۹] مطابقت داشت.

ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش سه گونه روباه نشان داد که روباه معمولی سطوح تخصص‌گرایی ناچیزی در مقایسه با شاه‌روباه و روباه شنی نشان می‌دهد. میانگین بارندگی سالانه، تراکم مناطق مسکونی و روستاها، تراکم اراضی بوته‌زار و شاخص زبری سطح زمین مهمترین متغیرهای موثر بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه بود. با در نظر گرفتن تیپ زیستگاهی خاص روباه شنی (اراضی ماسه‌ای و شنزارها)، اهمیت تراکم اراضی بوته‌زار به عنوان یک متغیر مهم در انتخاب زیستگاه این گونه را می‌توان از دید اهمیت گیاهان بوته‌ای در پناه حرارتی و همچنین پناه در مقابل طعمه‌خواران تفسیر نمود. این حیوان معمولاً در طی روز در زیر بوته‌ها استراحت می‌کند. بنابراین، بوته‌زارها نقش پناهی مناسبی را برای این حیوان ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، دسترسی بیشتر به منابع غذایی مانند جوندگان، وجود پناه مناسب و نیز فراهم آوردن امکان حفر لانه بدلیل خاک تثبیت شده توسط پوشش بوته‌ای، تأثیر زیادی در افزایش مطلوبیت زیستگاه روباه‌شنی در بوته‌زارها دارد. چنین الگویی از انتخاب زیستگاه موجب شده است که روباه شنی در مقایسه با سایر گونه‌ها تخصصی‌تر عمل نموده و پهنای آشیان بوم‌شناختی باریکتری نسبت به روباه معمولی داشته باشد (جدول ۴). با توجه به تیپ زیستگاهی خاص روباه شنی، بنابراین فاصله از مناطق مسکونی، جاده‌ها و روستاها نیز از جمله متغیرهای مهم تأثیرگذار بر پراکنش این گونه محسوب می‌شوند. به همین

دلیل در مناطق مرکزی، غربی و شمال غربی محدوده مورد مطالعه به دلیل توسعه انسانی کمتر و همچنین اراضی ماسه‌ای و شنزارها بیشترین زیستگاه‌های مطلوب این حیوان در این منطقه مشاهده شد. در رابطه با گونه شاه‌روباه نیز تمایل این گونه به مناطق ناهموار با پوشش گیاهی مناسب به وضوح منعکس شده است. به همین دلیل سه متغیر شاخص زبری سطح زمین، بارندگی سالانه و تراکم اراضی مرتعی با تاج پوشش متوسط مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش این گونه شناسایی شدند. انتخاب مناطق با پستی‌بلندی زیاد توسط شاه‌روباه را می‌توان از نقطه نظر پنهان شدن از دید انسان و همچنین پناه حرارتی در مقابل گرمای شدید در فصول گرم سال توجیه نمود. تأثیر مثبت و معنی‌دار بارندگی بر پراکنش گونه‌های مطالعه شده را می‌توان از جنبه تأثیر بارندگی بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش فراوانی طعمه‌های این گونه به خصوص جوندگان استنباط نمود. این نتایج با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی داشت [۱]. در رابطه با گونه روباه نیز، وابستگی این گونه به منابع غذایی اطراف مناطق مسکونی و جاده‌ها را به وضوح در متغیرهای مهم شناسایی شده برای این حیوان می‌توان مشاهده نمود، بنحویکه فاصله از مناطق مسکونی، تراکم روستاها و فاصله از جاده‌ها از جمله مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر انتخاب زیستگاه این گونه شناسایی شدند [۱۳، ۲۵].

## ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین و پراکنش لکه‌های

## زیستگاهی

مطالعات نشان می‌دهد که تابع نمایی منفی کارایی مناسبی در ایجاد سطوح مقاومت قابل اعتماد برای شناسایی مسیرهای مهاجرتی طولانی دارد [۱۹]. همانطور که در برخی مطالعات [۸] اشاره شده‌است، بسیاری از ارزیابی‌های صورت گرفته در خصوص ارتباطات سیمای سرزمین بر شناسایی مسیرهای مهاجرتی خطی باریک بین لکه‌های زیستگاهی متمرکز بوده است [۳۰]. استفاده از رویکرد کرنل مقاومت در ارزیابی ارتباطات سیمای



عمل می‌کند. به همین منظور در این مطالعه از روش تابع نمایی منفی برای تبدیل نقشه مطلوبیت زیستگاه به سطوح مقاومت استفاده شد که این موضوع سبب کاهش عدم قطعیت ناشی از کمبود اطلاعات در خصوص ایجاد سطوح مقاومت در این گونه‌ها شد. از این‌رو، می‌توان استنباط نمود که سطح مقاومت پیش‌بینی شده در این مطالعه قدرت و کارایی لازم را برای ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین در گونه‌های مطالعه شده دارد. همچنین از آنجا که در مطالعه حاضر از الگوریتم‌های مختلفی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های هدف استفاده شد، بنابراین بنظر می‌رسد که داده‌های جمع‌آوری شده و نقشه‌های پیش‌بینی شده برای سه گونه مطالعه شده دقت بالایی داشته و منعکس‌کننده پراکنش صحیح گونه‌ها هستند.

### اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین

توانایی انتشار اهمیت بیشتری در مقایسه با مقاومت نسبی اختصاص داده شده به متغیرهای محیطی در ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین دارد [۲۴]. نتایج ارزیابی اهمیت لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین نشان داد که نوع خصوصیت استفاده شده برای لکه‌های زیستگاهی تا حدودی بر میزان اهمیت لکه زیستگاهی در برقراری ارتباط سیمای سرزمین تاثیرگذار است. اهمیت لکه زیستگاهی ارتباط مثبتی با مساحت لکه در فواصل انتشار مختلف نشان داد [۴۱]. نتایج نشان داد که استفاده از شاخص‌های کیفیت زیستگاه در مقایسه با کمیت (مساحت) بنحو بهتری می‌تواند اثر فاصله انتشار بر اهمیت لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای را نشان دهد. برای مثال، لکه زیستگاهی شماره ۳ در گونه شاه‌روباه، اگر چه در فواصل انتشار پایین میزان شاخص احتمال مطلوبیت پایینی را نشان داد، اما سطح این شاخص با افزایش فاصله انتشار افزایش یافت که نشان از اهمیت این لکه در فواصل انتشار بالا است.

سرزمین باعث تبدیل کریدورهای خطی باریک بین مناطق به تحلیل‌های بزرگ مقیاس از اثرات مختلف مقاومت سیمای سرزمین بر جابجایی می‌شود [۷]. در مطالعات اندکی از این رویکرد برای بررسی ارتباطات سیمای سرزمین استفاده شده است [۵، ۸ و ۲۴].

نتایج این مطالعه نشان داد که بین ۳۶/۵ (روباه معمولی) تا ۵۷ (شاه‌روباه) درصد از زیستگاه‌های کلیدی گونه‌های مطالعه شده در محدوده مناطق تحت حفاظت و مناطق شکار ممنوع قرار می‌گیرد. در رابطه با شاه‌روباه این موضوع می‌تواند به دلیل مقاومت بالای سیمای سرزمین در خارج از مناطق تحت حفاظت به دلیل عامل‌های محیطی، انسانی و یا مرگ و میر در اثر شکار باشد. این امر سبب کاهش تراکم این حیوان در خارج از مناطق تحت حفاظت می‌شود. اما در رابطه با روباه معمولی، همانطور که انتظار می‌رفت، وابستگی این حیوان به منابع تغذیه‌ای اطراف مناطق مسکونی سبب می‌شود که این حیوان در بسیاری از مناطق آزاد همچون نزدیک شهرها و مناطق مسکونی دیده شود. به همین دلیل بیشتر سطح زیستگاه‌های کلیدی این گونه در خارج از مناطق تحت حفاظت قرار می‌گیرد. سطح مناسبی از ارتباطات سیمای سرزمین برای روباه معمولی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد.

در تفسیر نتایج ارتباطات سیمای سرزمین چندین مسئله مهم از جمله اعتبارسنجی تجربی کریدورهای پیش‌بینی شده، ارزیابی میزان عدم قطعیت در خصوص پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی، توانایی انتشار و پراکنش گونه باید مورد توجه قرار گیرد [۸]. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی اعتبارسنجی تجربی مسیرهای پیش‌بینی شده بین لکه‌های زیستگاهی با استفاده از پیمایش جابجایی افراد با استفاده از دوربین‌های تله‌ای، تله‌متری افراد و همچنین تحلیل‌های ژنتیک سیمای سرزمین انجام گیرد. به دلیل کمبود اطلاعات در خصوص جریان ژنی و جابجایی افراد بین مناطق حفاظت شده، بسیاری از سطوح مقاومت بدست آمده تا کنون بر اساس نظر متخصصان ایجاد شده‌است [۴۰]. مطالعات زیادی نشان داده است که مدل‌های مطلوبیت زیستگاه بهتر از روش‌های نظر متخصصان در تهیه سطوح مقاومت

جدول ۶- پنج لکه زیستگاهی مهم اول برای سه گونه روباه بر اساس شاخص احتمال ارتباط (PC) و در نظر گرفتن مساحت زیستگاه (A)، میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر در هر لکه زیستگاهی (K) و میانگین احتمال وقوع گونه (S) (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده شماره لکه است)

فاصله انتشار (کیلومتر)											
50			100			200			300		
dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S
۶۶/۷۲ (۷)	۵۵/۴۵ (۷)	۶۳/۴۴ (۱۰)	۶۲/۷۸ (۷)	۵۰/۱۷ (۷)	۳۹/۵۴ (۱۰)	۵۹/۶۰ (۷)	۴۵/۸۶ (۷)	۳۳/۹۱ (۱۰)	۵۸/۳۱ (۷)	۴۴/۰۸ (۷)	۳۱/۴۲ (۱۰)
۲۷/۱۰ (۱۱)	۲۸/۶۰ (۱۰)	۳۷/۱۲ (۷)	۲۷/۱۰ (۶)	۲۴/۹۵ (۱۰)	۲۲/۳۵ (۷)	۳۱/۶۴ (۶)	۲۵/۳۲ (۶)	۲۸/۷۱ (۷)	۳۲/۹۶ (۶)	۲۵/۷۲ (۶)	۲۷/۲۵ (۷)
۲۴/۳۰ (۱۰)	۲۵/۹۶ (۱۱)	۲۴/۸۰ (۱۱)	۲۵/۴۹ (۴)	۲۳/۶۳ (۱۱)	۲۳/۸۴ (۴)	۲۵/۳۰ (۴)	۲۱/۸۱ (۱۱)	۲۲/۸۲ (۴)	۲۴/۷۱ (۴)	۲۱/۰۶ (۱۱)	۲۱/۹۶ (۴)
۲۲/۳۳ (۴)	۱۹/۰۳ (۴)	۲۳/۴۵ (۵)	۲۵/۴۶ (۱۱)	۲۲/۱۰ (۶)	۲۳/۱۷ (۵)	۲۴/۱۷ (۱۱)	۱۹/۹۹ (۴)	۲۱/۵۱ (۵)	۲۳/۶۲ (۱۱)	۱۹/۱۸ (۴)	۲۰/۸۵ (۱۱)
۱۹/۹۱ (۶)	۱۵/۶۰ (۶)	۲۲/۳۷ (۴)	۲۲/۰۷ (۱۰)	۲۰/۸۶ (۴)	۲۳/۰۵ (۱۱)	۱۷/۹۶ (۱۰)	۱۹/۸۷ (۱۰)	۲۱/۵۱ (۱۱)	۱۵/۲۲ (۱۰)	۱۷/۵۹ (۸)	۲۰/۶۱ (۵)
dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S
۴۲/۵۰ (۷)	۶۹/۴۳ (۷)	۳۹/۳۵ (۹)	۴۷/۴۸ (۷)	۶۹/۸۰ (۷)	۴۵/۵۶ (۹)	۴۸/۲۷ (۷)	۶۹/۳۵ (۷)	۴۳/۶۹ (۹)	۴۷/۸۳ (۷)	۶۸/۸۸ (۷)	۴۰/۶۸ (۹)
۴۰/۴۲ (۹)	۲۹/۵۹ (۹)	۳۵/۳۴ (۶)	۴۶/۵۱ (۹)	۳۷/۵۵ (۹)	۳۷/۶۸ (۶)	۴۵/۸۸ (۹)	۳۶/۰۲ (۹)	۳۴/۷۰ (۶)	۴۳/۸۳ (۹)	۳۳/۳۴ (۹)	۳۳/۸۷ (۷)
۲۳/۷۴ (۶)	۲۸/۳۳ (۶)	۲۷/۴۳ (۷)	۲۷/۲۴ (۶)	۳۴/۲۳ (۶)	۳۲/۵۴ (۷)	۲۶/۴۳ (۶)	۳۴/۵۲ (۶)	۳۳/۹۵ (۷)	۲۵/۰۲ (۶)	۳۳/۰۹ (۶)	۳۲/۰۶ (۶)
۲۱/۰۵ (۵)	۱۱/۸۳ (۸)	۲۵/۸۵ (۸)	۲۳/۶۳ (۵)	۱۴/۳۷ (۸)	۲۶/۷۳ (۸)	۲۴/۸۳ (۵)	۱۷/۷۴ (۸)	۲۵/۶۲ (۸)	۲۴/۹۹ (۵)	۱۴/۵۱ (۸)	۲۴/۸۳ (۸)
۱۹/۸۲ (۱۱)	۵/۴۶ (۵)	۱۵/۴۵ (۵)	۲۰/۶۴ (۱۱)	۸/۴۵ (۵)	۱۷/۳۵ (۵)	۲۲/۱۶ (۱۱)	۹/۰۰ (۵)	۱۸/۸۲ (۵)	۲۲/۸۸ (۱۱)	۱۰/۱۹ (۵)	۱۹/۳۱ (۵)
dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S	dPC A	dPC K	dPC S
۶۵/۴۵ (۳)	۵۸/۲۱ (۳)	۶۰/۳۳ (۲)	۷۱/۱۵ (۳)	۶۴/۹۱ (۳)	۶۶/۷۷ (۲)	۶۸/۷۴ (۳)	۶۹/۳۵ (۳)	۷۰/۲۸ (۲)	۷۵/۸۵ (۳)	۷۰/۷۹ (۳)	۷۱/۱۱ (۲)
۵۴/۹۰ (۲)	۵۵/۵۷ (۲)	۵۷/۵۹ (۳)	۶۱/۴۴ (۲)	۶۲/۵۶ (۲)	۶۴/۶۷ (۳)	۸۱/۶۵ (۲)	۶۶/۲۲ (۲)	۶۹/۰۰ (۳)	۶۷/۱۰ (۲)	۶۶/۹۱ (۲)	۷۰/۴۶ (۳)
۰۵۷ (۱)	۵/۳۵ (۱)	۱/۹۰ (۱)	۰/۵۵ (۱)	۴/۷۱ (۱)	۱/۷۲ (۱)	۱/۳۶ (۱)	۶/۶۵ (۱)	۳/۰۶ (۱)	۲/۵۷ (۱)	۹/۸۱ (۱)	۵/۱۳ (۱)

روبه شنی

روبه معمولی

شاه روباه

برنامه حفاظتی معرفی می‌شود: (۱) نگهداری از جمعیت‌های مناسب طعمه‌های گوشتخواران به خصوص در محدوده مناطق حفاظت شده به منظور بقاء دراز مدت این گونه‌ها و کاهش تضاد بین گوشتخواران و جوامع بومی، (۲) اضافه نمودن مناطق حفاظتی جدید به لیست مناطق تحت حفاظت به منظور بهبود ارتباطات زیستگاهی. این مناطق می‌تواند از بین لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای شناسایی شده در مطالعه حاضر انتخاب شوند. همچنین فاصله موجود بین مناطق حفاظت شده به خصوص در جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه ضرورت معرفی لکه‌های حفاظتی جدید به منظور افزایش ارتباطات سیمای سرزمین را دوچندان می‌نماید؛ (۳) افزایش درجه حفاظتی مناطق شکار ممنوع در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین به مناطق تحت حفاظت و پناهگاه حیات وحش، و (۴) اجرای محدودیت‌های استفاده از اراضی و یا حمایت از اراضی در محدوده کریدورهای شناسایی شده به منظور کارآیی موثر کریدورها در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین.

### تقدیر و تشکر

تشکر ویژه نویسندگان به خاطر همکاری صمیمانه صندوق حمایت از پژوهشگران و فناروران کشور (شماره طرح ۹۴۰۲۶۹۴۵) و دانشگاه صنعتی اصفهان که با مساعدت این مراکز امکان انجام این تحقیق میسر گردید.

نتایج ارزیابی اهمیت لکه‌های زیستگاهی نشان داد که برای دو گونه روباه شنی و شاه‌روبه لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده در پناهگاه حیات وحش عباس آباد و همپنین لکه زیستگاهی بین عباس آباد و کوه‌بزرگی اهمیت بالایی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین برای این دو گونه دارند. مشاهدات متعدد این دو گونه در این دو منطقه خود گواه بر تائید نتایج بدست آمده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی دو منطقه شکار ممنوع عباس آباد و کوه‌بزرگی، لکه‌های زیستگاهی واقع در این مناطق نقش مهمی در برقراری جریان ژنی بین جمعیت‌های غرب منطقه با مناطق شرقی خواهد داشت. بنابراین، یکی از مهمترین اقدامات، ارتقاء سطح حفاظتی این مناطق از منطقه شکار ممنوع به منطقه تحت حفاظت یا پناهگاه حیات وحش است.

### کاربردهای مدیریتی

لکه‌های زیستگاهی هسته‌ای و کریدورهای زیستی شناسایی شده برای هر یک از گونه‌های مطالعه شده اطلاعات مفیدی را در خصوص انتخاب زیستگاه و اولویت‌بندی حفاظتی لکه‌های زیستگاهی فراهم می‌کند. به منظور حفاظت موثر از گونه‌های گوشت‌خوار توجه به مساحت لکه‌های دارای اولویت، کیفیت لکه زیستگاهی، درجه حفاظتی و ارتباط بین مناطق حفاظت شده و لکه‌های حفاظتی ضروری است. بنابراین به منظور افزایش احتمال بقاء و حفاظت از گونه‌های گوشتخوار، چندین

## References

- [1]. Abade, L., Macdonald, D.W., & Dickman, A.J. (2014). Using landscape and bioclimatic features to predict the distribution of lions, leopards and spotted hyaenas in Tanzania's Ruaha landscape, *PLOS ONE*, 5 | e96261.
- [2]. Ahmadi, M., Balouchi, B.N., Jowkar, H., Hemami, M.R., Fadakar, D., Malakouti-Khah, S., & Ostrowski, S. (2017). Combining landscape suitability and habitat connectivity to conserve the last surviving population of cheetah in Asia. *Diversity and Distribution*, 23, 592–603.
- [3]. Araujo, M.B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 42–47.
- [4]. Chetkiewicz, C.L.B., Clair, C.C., & Boyce, M.S. (2006). Corridors for conservation: integrating pattern and process. *Annual Reviews of Ecology and Evolutionary Systems*, 37, 317–342.
- [5]. Compton, B., McGarigal, K., Cushman, S.A., & Gamble, L. (2007). A resistant kernel model of connectivity for vernal pool breeding amphibians. *Conservation Biology*, 21, 788–799
- [6]. Crooks, K.R., & Sanjayan, M. (2006). Connectivity conservation. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press
- [7]. Cushman, S.A., Landguth, E.L., & Flather, C.H. (2013). Evaluating population connectivity for species of conservation concern in the American Great Plains. *Biodiversity Conservation*, 22, 2583–2605.
- [8]. Cushman, S.A., McKelvey, K.S., & Schwartz, M.K. (2009). Using empirically derived source-destination models to map regional conservation corridors. *Conservation Biology*, 23, 368–376.
- [9]. Deleo, J.M. (1993). Receiver operating characteristic laboratory (ROCLAB): Software for developing decision strategies that account for uncertainty. In: Proceedings of the second international symposium on uncertainty modeling and analysis 318–325.
- [10]. Di Minin, E., Hunter, L.T.B., Balme, G.A., Smith, R.J., Goodman, P.S., & Slotow, R. (2013). Creating larger and better connected protected areas enhances the persistence of big game species in the Maputaland-Pondoland-Albany biodiversity hotspot, *PLOS ONE* 8, 1–14
- [11]. Dormann C.F.M., McPherson, J.B., Araujo, M., Bivand, R., & Bolliger, J. (2007). Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography*, 30, 609–628.
- [12]. Elith, J., Graham, H., Anderson, C. P., Dudík, R., & Ferrier, M. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151.
- [13]. Erfanian, B., Mirkarimi, S.B., Salman Mahini, A., & Rezaei, H.R. (2013). A presence-only habitat suitability model for Persian leopard *Panthera pardus saxicolor* in Golestan National Park, Iran. *Wildlife Biology*, 19, 170-178. 2013
- [14]. Estrada, E., & Bodin, O. (2008). Using network centrality measures to manage landscape connectivity. *Ecological Applications*, 18, 1810–1825.
- [15]. Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 34, 487–515.
- [16]. Flint, L.E., & Flint, A.L. (2012). Downscaling future climate scenarios to fine scales for hydrologic and ecological modeling and analysis. *Ecological Processes*, 12, 123-140.
- [17]. Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 12, 1965–1978.
- [18]. Hobson, R.D. (1972). Surface roughness in topography: quantitative approach. In: Chorley, R.J. (ed). *Spatial analysis in geomorphology*. Methuen, London: 225-245.
- [19]. Keeley, A.T.H., Beier, P., & Gagnon, J.W. (2016). Estimating landscape resistance from habitat suitability: effects of data source and nonlinearities. *Landscape Ecology*, 31, 2151–2162.

- [20]. Khosravi, R., Hemami, M., Malekian, M., Flint, A., & Flint, L. (2016). Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model. *Turkish Journal of Zoology*, 40, 574-585.
- [21]. Khosravi, R., Hemami, M.R., & Cushman, S.A. (2018). Multispecies assessment of core areas and connectivity of desert carnivores in central Iran. *Diversity and Distributions*, 24, 193-207
- [22]. Landguth, E.L., Hand, B.K., Glassy, J., & Cushman, S.A. (2012). UNICOR: a species connectivity and corridor network simulator. *Ecography*, 35, 9-14.
- [23]. Landisj, R., & Koch, G.G. (1997). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- [24]. Moqanaki, E.M., & Cushman, S.A. (2016). All roads lead to Iran: Predicting landscape connectivity of the last stronghold for the critically endangered Asiatic cheetah. *Animal Conservation*, 11, 1367-9430.
- [25]. Omidi, M. (2008). Analyzing and modelling spatial distribution of leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in Kolahghazi National Park, In Isfahan Province. M.Sc. thesis, College of Environmental Science, Islamic Azad University Science and Research Campus, Tehran, Iran (in Farsi).
- [26]. Ray, N., Lehmann, A., & Joly, P. (2002). Modelling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity Conservation*, 11, 2143-2165
- [27]. Revilla, E., Wiegand, T., Palomares, F., Ferreras, P., & Delibes, M. (2004) Effects of matrix heterogeneity on animal dispersal: from individual behavior to metapopulation-level parameters. *The American Naturalist*, 164, 130-153.
- [28]. Ripple, W.J., Estes, J.A., Beschta, R.L., Wilmers, C.C., Ritchie, E.G., Hebblewhite, M., Berger, J., Elmhagen, B., Letnic, M., Nelson, M.P., Schmitz, O.J., Smith, D.W., Wallach, A.D., & Wirsing, A.J. (2014). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343, 124- 148.
- [29]. Rodriguez-Soto, C., Monroy-Vilchis, O., Maiorano, L., Boitani, L., Faller, J.C., Briones, M.A., Nunez, R., Rosas-Rosas, O., Ceballos, G., & Falcucci, A. (2011). Predicting potential distribution of the jaguar (*Panthera onca*) in Mexico: identification of priority areas for conservation. *Diversity and Distributions*, 17, 350-361.
- [30]. Rosenberg, D.K., Noon, B.R., & Meslow, E.C. (1997). Biological corridors: form, function, and efficacy. *Bioscience*, 47, 677-687
- [31]. Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape Urban Plan*, 83, 91-103
- [32]. Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33, 523-537.
- [33]. Saura, S., & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modeling Software*, 24, 135-139
- [34]. Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68, 571-573
- [35]. Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., & Breiner, F. (2016). Package 'biomod2 Ensemble Platform for Species Distribution Modeling.
- [36]. Urban, D., & Keitt, T.H. (2001). Landscape connectivity: a graph- theoretic perspective. *Ecology*, 82, 1205-1218.
- [37]. Warren, D., Glor, R., & Turelli, M. (2010). ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33, 607-611.
- [38]. Wiens, J.A. (2001). The landscape concept of dispersal. In: Clobert J., Danchin, E., Dhondt, A.A., & Nichols, J.D (eds). Dispersal. Oxford University Press, New York: 96-109
- [39]. Zarco-Gonzalez, M., Monroy-Vilchis, O., Rodriguez-Soto, C., & Urios, V. (2012). Spatial factors and management associated with livestock predations by Puma concolor

- in Central Mexico. *Human Ecology*, 40, 631–638.
- [40]. Zeller, K.A., McGarigal, K., & Whiteley, A.R. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology*, 27, 777–797
- [41]. Zhao, H., Liu, S., Dong, S., Su, X., Liu, Q., & Deng, L. (2014). Characterizing the importance of habitat patches in maintaining landscape connectivity for Tibetan antelope in the Altun Mountain National Nature Reserve, China. *Ecological research*, 29, 1065–1075.
- [42]. Zheng, B., & Agresti, A. (2000). Summarizing the predictive power of a generalized linear model. *Statistics in Medicine*, 19, 1771–1781.

## Evaluation of habitat patches importance to desert landscape connectivity for three fox species, using resistance kernel and graph network

1- R. Khosravi, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran

2- M. R. Hemami, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran

mrhemami@cc.iut.ac.ir

Received: 19 Sep 2017

Accepted: 29 May 2018

### Abstract

Despite the importance of central Iranian desert as a refuge for threatened carnivores, conservation strategies for these species have been hindered by scarcity of data on distribution and habitat connectivity. The present study aimed to 1) determine the ecogeographical variables affecting distribution of three fox species including sand fox (*Vulpes rueppellii*), Blandford's fox (*Vulpes cana*), and red fox (*Vulpes vulpes*); 2) identify important core habitats and dispersal corridors of the three fox species; and 3) evaluate habitat patch importance to landscape connectivity. At first step, ensemble models were built for each species using three distribution algorithms and 12 ecogeographic variables. Distribution of the foxes was affected by annual precipitation, shrubland density, human settlement density and topographic roughness. In the next step, negative exponential function was used to convert ensemble distribution maps to resistance surfaces. Core patches and significant corridors were predicted using resistance kernel approach. Most of the habitat core patches were located in Protected Areas (PAs), which could be related to high landscape resistance outside the areas under protection. Finally, the importance of identified core patches was evaluated using graph network. The patch importance to connectivity was significantly correlated with core extent, mean of relative density of dispersing individuals and probability of occurrence in patch. Results showed that the habitat quality indices are more effective than habitat quantity in predicting landscape connectivity. The obtaining results suggest that effective conservation of carnivores demands for an integrated landscape management aiming at functional connectivity among habitat patches.

**Keywords:** Landscape connectivity; Fox species; Graph network; Resistance kernel; Distribution modeling; Landscape resistance.