ارزیابی ارتباطات زیستگاهی گونه قوچ و میش اوریال (Ovis vignei arkal) به‌منظور طراحی دالان ارتباطی در جاده میان‌گذر پارک ملی گلستان با رویکرد تلفیقی نظریه‌های مدار الکتریکی و گراف

نسیم خیرخواه قهی[1*] و سیدعلی جوزی[2]

۱) دکتری رشته برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: n_kheirkhah@ut.ac.ir

۲) استاد گروه مهندسی محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

جاده‌ها و بزرگراه‌ها با قطع ارتباطات زیستگاهی به شدت بر وضعیت ارتباطات بوم‌شناختی سیمای سرزمین اثرگذار هستند و منجر به تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های موجود شده و یکی از عوامل تهدیدکننده بقای حیات‌وحش می‌باشند. پژوهش حاضر به بررسی اثر جاده میان‌گذر تهران مشهد از میان پارک ملی گلستان بر جمعیت گونه قوچ و میش اوریال می‌پردازد تا بتواند بهترین نقطه را برای احداث دالان ارتباطی شناسایی نماید. برای ارزیابی ارتباطات گونه، دو مقیاس زیست‌بوم و لکه انتخاب شد. در مقیاس زیست‌بوم از نظریه مدار و شاخص گلوگاه و در مقیاس لکه از نظریه گراف و شاخص مرکزیت بینابینی (BC) استفاده گردید. با روی هم‌گذاری محدوده گلوگاه ارتباطی و در نظرگیری کوتاه‌ترین مسیر به لکه‌ای که بیشترین نقش را در حفظ شاخص BC داشت، مکان بهینه برای احداث دالان شناسایی شد. نتایج این پژوهش نشان داد در سمت شرق منطقه به‌دلیل مطلوبیت بالاتر زیستگاه قوچ و میش اوریال، لکه‌های زیستگاهی تراکم بیشتری داشته و با تلفیق نظریه‌های مدار و گراف، جابجایی بیشتری نیز صورت می‌گیرد. احداث دالان در این منطقه احتمالا به افزایش جابجایی گونه، حفظ جمعیت آن و جلوگیری از انزوای زیستی و در نتیجه بهبود وضعیت زیستگاه‌های پایین‌دست کمک خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات بوم‌شناختی، پارک ملی گلستان، قوچ و میش اوریال، نظریه گراف، نظریه مدارهای الکتریکی.

مقدمه

با افزایش شدت فشارهای انسانی در مناطق حفاظت‌شده، ارتباطات زیستگاهی و نقش هر لکه در برقراری آن، اهمیت به‌سزایی پیدا کرده است (خیرخواه‌قهی و جوزی، ۱۴۰۰). زیر ساخت‌های خطی به‌عنوان تهدیدی برای اکوسیستم‌ها در نظر گرفته شده و تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر زیستگاه‌ها و گونه‌ها دارد (Girardet et al., 2015). زیرساخت‌های خطی انسان‌ساز در نهایت منجر به کاهش ارتباطات شده و بر حضور گونه و جمعیت آن اثرگذار است (Saunders et al., 1991). اثر تکه‌تکه شدن زیستگاه در حضور موانع انسان‌ساخت (مانند جاده، فنس و...) در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است (Forman, 2014) و در صورت وجود چنین زیرساخت‌های خطی، دالان‌ها[1] یکی از راه‌های برقراری ارتباطات بین لکه‌های زیستگاهی هستند (Beier & Noss, 1998). با در نظرگیری موزاییک سیمای سرزمین و سه عنصر کلیدی لکه، دالان و ماتریس (Forman, 1995)، دالان به‌عنوان کانال اصلی پویایی‌های جمعیتی و پراکنش گونه‌ها نقش اساسی در حفظ یا از دست دادن تنوع زیستی دارد و به‌طور عمده ارتباطات بوم‌شناختی[2] را بین لکه‌های زیستگاهی افزایش می‌دهد (Peng et al., 2018a;

1 Corridors
2 Ecological Connectivity
3 Circuit Theory

Peng et al., 2018b). نظریه مدار الکتریکی[3] یکی از روش‌های ارزیابی ارتباطات بوم‌شناختی است که برای حفاظت و احیای دالان‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dickson et al., 2019). این روش برای ارزیابی مسیرهای حرکتی بسیاری از جانداران در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (Proctor et al., 2015; Ahmadi et al., 2017; Gantchoff & Belant, 2017) و می‌تواند به بررسی تاثیر زیرساخت‌های خطی (مانند مسیرهای حمل‌ونقل) بر چگونگی جابه‌جایی گونه و ژن بپردازد (Dickson et al., 2019). در این راستا و در هنگام شناسایی موقعیت احداث دالان با استفاده از نظریه مدار، نکته مهم تعیین محدوده‌ی گلوگاهی جریان[1] در منطقه است. گلوگاه‌های جریان به معنی نقاطی با بالاترین میزان جریان در فرآیندهای بوم‌شناختی است که غیرقابل جایگزین بوده و اهمیت بالایی در برقراری جریان دارند. هنگامی‌که جاده‌ای یا مانعی منجر به منع اتصال لکه‌های زیستگاهی می‌شود، بازسازی این نقاط می‌تواند بیشترین کمک را برای افزایش ارتباطات داشته باشد (Peng et al., 2018b). در این مطالعه از نظریه مدارهای الکتریکی (McRae et al., 2008) برای محاسبه ارتباطات بوم‌شناختی مابین لکه‌های زیستگاهی منطقه و شناسایی مکان مناسب برای احداث دالان‌های ارتباطی در مقیاس سیمای سرزمین[2] استفاده شده است.

بررسی چندمقیاسی[3] ارتباطات بوم‌شناختی در یک اکوسیستم هنگام مکان‌یابی دالان ارتباطی، برای دست‌یابی به پاسخی بهینه در دو مقیاس سیمای سرزمین و لکه حایز اهمیت است. (Bodin & Saura, 2010). در این راستا شاخص‌های متعددی در سطح لکه برای ارزیابی ارتباطات بوم‌شناختی تعریف شده است که با استفاده از مدل‌های مبنی بر شبکه تحلیل می‌شود (Pascual-Hortal & Saura, 2006). مدل‌های شبکه‌ای[4] می‌تواند به رتبه‌بندی لکه‌ها و تاثیری که هر لکه بر برقراری ارتباطات و مرکزیت شبکه[5] دارد، بپردازد و مشخص سازد که هر لکه با توجه به موقعیت مکانی خود چقدر در ایجاد ارتباطات بوم‌شناختی تاثیرگذار است (Estrada & Bodin, 2008). در میان شاخص‌های شبکه محور، شاخص مرکزیت بینابینی[6]، نشانگر آن است که چه تعداد لکه از طریق لکه مورد نظر به یکدیگر متصل می‌شوند (Bodin & Saura, 2010) و لکه‌ای با مقادیر بالای مرکزیت بینابینی، شاهد عبور گونه نه‌تنها از لکه‌های اطراف خود بلکه از لکه‌های دورتر در سیمای سرزمین نیز می‌باشد (Bodin & Norberg, 2007). این شاخص با نظریه گراف محاسبه و مدل‌سازی می‌شود (Foltête et al., 2021) و ترکیب این دو نظریه (مدار و گراف) در دو مقیاس (زیست‌بوم و لکه) در هنگام ارزیابی ارتباطات، می‌تواند به اثربخشی مطالعات شناسایی دالان کمک شایانی نماید (Liu et al., 2018). این پژوهش به بررسی مسیر حرکتی قوچ و میش اوریال (Ovis vignei arkal) در پارک ملی گلستان (Michel & Ghoddousi, 2020) با تحلیل مسیر های ارتباطی در دو مقیاس زیست‌بوم و لکه پرداخته است. این گونه، بزرگ‌ترین قوچ و میش ایران در مناطق شمال شرق کشور و استان‌های خراسان، گلستان و سمنان پراکنش دارد و پارک ملی گلستان به‌عنوان مهم‌ترین پارک ملی ایران از زیستگاه‌های قوچ و میش اوریال است (پهلوانی، ۱۳۸۳). با توجه به عبور جاده ترانزیتی تهران مشهد از میان پارک ملی گلستان و زیستگاه این‌گونه، این پژوهش سعی بر شناسایی گلوگاه کلیدی بر روی این جاده در راستای مکان‌یابی و احداث دالان ارتباطی و جابه‌جایی قوچ و میش دارد.

مواد و روش‌ها

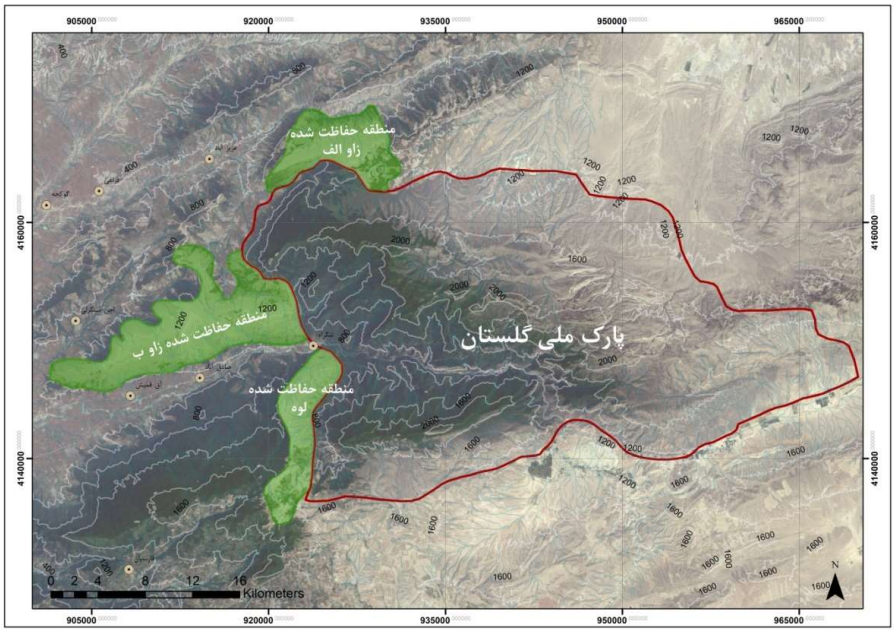
موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، پارک ملی گلستان به همراه مناطق حفاظت‌شده زاو الف، زاو ب و لوه در شمال و غرب منطقه است (شکل ۱). پارک ملی گلستان از سال ۱۳۳۶ تحت حفاظت بوده و در سال ۱۳۴۶ به‌عنوان نخستین پارک ملی ایران تعیین و در سال ۱۳۵۵ نیز به‌عنوان ذخیره گاه زیست‌کره انتخاب شده است. این پارک با مساحتی برابر با ۹۱۸۹۵ هکتار در استان‌های گلستان، خراسان شمالی و سمنان و در منتهی‌الیه شرقی جنگل‌های خزری قرار دارد (مددی و همکاران، ۱۳۹۸). منطقه‌ای کوهستانی با دامنه ارتفاعی ۴۵۰ تا ۲۴۱۱ متر از سطح دریا است. رودخانه مادرسو پارک را به دو نیمه شمالی و جنوبی تقسیم می‌نماید. بارندگی متوسط سالیانه در شرق و غرب منطقه به‌ترتیب ۱۵۰ و ۷۰۰ میلی‌متر است. دمای متوسط سالیانه نیز بین ۱۱/۵ تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. پارک ملی گلستان از تنوع زیستی بالایی برخوردار

[1] Pinch point
[2] Landscape
[3] Cross Scale
[4] Network Based Models
[5] Network Centrality
[6] Betweenness Centrality

اســـت و از جمله گونه‌های مهم جانوری آن می‌توان به مرال، قوچ و میش اوریال، شوکا و خرس قهوه‌ای ا شاره کرد. محیط پارک به شـــکل مثلثی اســـت که جاده ترانزیتی به طول ۳۵ کیلومتر از تنگ راه تا سه‌راهی د شت از درون پارک و از آنجا تا میرزابایلو از حا شیه جنوبی پارک می‌گذرد (درویش‌صـفت، ۱۳۸۵).

منطقه حفاظت‌شـــده لوه با مســـاحتی برابر با ۳۵۸۹ هکتار واقع در استان گلستان در سال ۱۳۷۸ حفاظت‌شده اعلام شد. منطقه‌ای کوهستانی و جنگلی ا ست که به صورت نوار باریک شمالی‌جنوبی در جنوب‌غربی پارک ملی گلستان قرار دارد. لوه با دامنه ارتفاعی ۴۶۰ تا ۱۸۵۰ متر و بارندگی ۶۰۰ میلی‌متر در سال دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل است. منطقه حفاظت‌شده زاو، منطقه جنگلی کوهستانی است که در ۱۳۸۰ حفاظت شده اعلام شد. زاو شامل دو بخش است که به فاصله ۶ کیلومتر از یکدیگر در شـمال‌غربی و غرب پارک ملی گلسـتان و به‌عنوان پهنه‌های ضربه‌گیر برای پارک ملی گلستان انتخاب شده است. مســـاحت این مجموعه ۱۴۳۲۳ هکتار اســـت و دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل با متوسط دما و بارندگی سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و ۵۰۰ میلی‌متر است (درویش‌صفت، ۱۳۸۵).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

چارچوب مفهومی مدل: روش انجام کار در سه بخش اصلی تهیه نقشه‌های پایه، محاسبه ارتباطات زیستگاهی در دو مقیاس زیست‌بوم و لکه، و تلفیق نتایج و شناسایی مکان مناسب برای احداث دالان ارتباطی تقسیم شده است. نمودار مفهومی این پژوهش در شکل (۲) قابل مشاهده است:

شکل ۲. چارچوب مفهومی بررسی ارتباطات زیستگاهی گونه قوچ و میش در پارک ملی گلستان و مناطق حفاظت‌شده اطراف آن

شناسایی لکه‌های زیستگاهی گونه قوچ و میش اوریال

در اولین گام بر اساس فایل‌های رستری شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی، دسترسی به آب، NDVI و کیفیت مراتع، مطلوبیت زیستگاه در محیط Terrset به‌دست آمد. نقشه مطلوبیت زیستگاه بر اساس شاخص‌های شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی و جاده، دسترسی به آب، NDVI و کیفیت مراتع در محیط Terrset به‌دست آمد (خیرخواه‌قهی و همکاران، ۱۴۰۰؛ پهلوانی، ۱۳۸۳). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه با روش ارزیابی چندمعیاره یا همان MCE[1] (بدون داده‌های حضور گونه) انجام شد (Paegelow, 2018). این مدل در هنگام عدم دسترسی به داده‌های حضور گونه و با ترکیب دو روش فازی و MCE به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه می‌پردازد و خروجی آن در بازه بین صفر تا یک به‌دست می‌آید.

تمامی طبقات رستری نقشه‌های اولیه (شیب، جهت و ارتفاع) بر اساس اهمیت خود در مطلوبیت زیستگاه به بازه یک تا پنج دسته‌بندی شده است. در مرحله بعد بر اساس گزینه استانداردسازی فازی مدل به بازه صفر و یک تبدیل می‌شود و پس از روی هم‌گذاری نیز نقشه‌ای در همین بازه به‌دست می‌آید. این نقشه در محیط ArcGIS به پنج طبقه مطلوبیت تقسیم‌شده و کد مطلوبیت پنج در محیط نرم‌افزار Graphab انتخاب‌شده تا لکه‌های زیستگاهی به‌دست آید (Clauzel et al., 2019; Ghehi et al., 2020). برای

[1] Multi Criteria Evaluation

مدل‌سازی این بخش از مدل‌ساز Habitat and Biodiversity در نرم‌افزار Terrset استفاده شد. این مدل ساز از ماژول‌های منطق فازی و MCE برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه استفاده می‌کند تا استاندارد سازی متغیرها به صورت پیوسته صورت پذیرد. همچنین گزینه ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) نیز برای روی‌هم گذاری لایه‌ها، مشخص‌کننده وزن هر لایه هنگام روی‌هم‌گذاری است (Eastman, 2015) که بر اساس نظر کارشناسی و مطالعات پیشین مشخص می‌شود.

محاسبه شاخص‌های ارتباطات

نظریه مدار الکتریکی: جهت شناسایی ارتباطات برای گونه قوچ و میش اوریال در این پژوهش از نظریه مدارهای الکتریکی استفاده شد. نقشه‌های به‌دست‌آمده از مطلوبیت زیستگاه (۵ طبقه مطلوبیت) به‌عنوان مقاومت[1] هر پیکسل نسبت به عبور جریان انتخاب شد. در سیمای سرزمین، پیکسل‌هایی با خصوصیت زیستگاهی مطلوب مقاومت کمی در برابر عبور گونه دارند، درحالی‌که پیکسل‌های با مطلوبیت زیستگاهی کمتر مقاومت زیادی در برابر حرکت گونه نشان می‌دهند (Wang et al., 2008) و این بدان معنی است که میان مقاومت و مطلوبیت زیستگاه رابطه‌ای معکوس وجود دارد (ملکوتی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). در این نظریه، اگر زیست‌بوم یک مدار در نظر گرفته شود، جمعیت گونه‌ها، ولتاژ هستند و جریانی[2] که مابین این زیستگاه‌ها برقرار می‌شود جریان الکتریکی[3] است (Wallis & Hodgson, 2015). ابزار مورد استفاده در این پژوهش Linkage Mapper و مدل ساز Linkage Pathways در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 بود. این ابزار با استفاده از لکه‌های کلیدی و نقشه مقاومت (مقادیر برعکس نقشه مطلوبیت زیستگاه)، نقشه ارتباطات را با استفاده از نظریه مدار الکتریکی مابین لکه‌های کلیدی و با محاسبه هزینه می سازد. هر سلول در نقشه رستری مقاومت هزینه پرداختی برای حرکت گونه است. با حرکت گونه در بین لکه‌های کلیدی، نقشه نهایی بر اساس تجزیه‌وتحلیل فاصله وزنی به‌دست می‌آید و مسیرهای با کمترین هزینه را مشخص می‌سازد (McRae & Kavanagh, 2011).

شاخص مرکزیت بینابینی: BC شاخص محاسبه ارتباطات در مقیاس لکه است. این شاخص به معنی مجموع کوتاه‌ترین مسیر بین لکه‌هایی است که به لکه k منتهی می‌شود. این شاخص مساحت لکه و احتمال حرکت گونه را بر محاسبه ارتباطات تأثیرگذار می‌داند و بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Blazquez-Cabrera et al., 2014; Zhao et al., 2021).

$$BC = \sum_j \sum \ \propto_j^{\beta} \propto_k^{\beta} e^{-\alpha d_{jk}} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این پژوهش، این شاخص در محیط نرم‌افزار Graphab و با استفاده از نظریه گراف محاسبه شده است (Clauzel et al., 2019).

محاسبه گلوگاه ارتباطی: برای محاسبه گلوگاه ارتباطی، از مدل ساز Pinchpoint Mapper در محیط ArcGIS 10.4.1 استفاده شد. این مدل‌ساز بخشی از ابزار Linkage Mapper است (McRae & Shah, 2009) و پس از محاسبه و تهیه نقشه ارتباطات بر اساس نظریه مدار، نقاط پیچشی[4] را در پیوندها شناسایی می‌کند (McRae, 2012; Kor et al., 2022). این نقاط، نشان‌دهنده مناطقی است که همانند قیف بوده و بیشترین جریان از آن نقطه عبور می‌کند، به همین علت برای حفاظت دارای اهمیت ویژه‌ای است. حتی از دست دادن یا عدم برقراری ارتباط در این بخش می‌تواند اتصال را به خطر اندازد (Castilho et al., 2015).

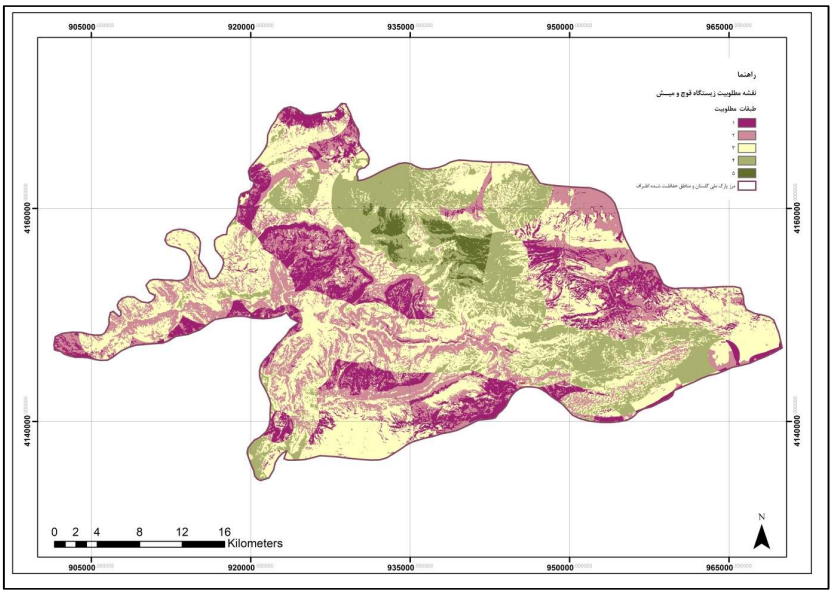
نتایج

بر اساس نمودار مفهومی پژوهش (شکل ۱) و روش‌های ارایه شده در بخش روش پژوهش، گام‌های تحقیق برای گونه قوچ و میش اوریال در پارک ملی گلستان و مناطق حفاظت‌شده اطراف آن (زاو الف، زاو ب و لوه) اجرا شد.

گام اول: تهیه نقشه‌های پایه

در اولین گام و در راستای تهیه نقشه‌های پایه (لکه‌های زیستگاهی قوچ و میش)، نقشه مطلوبیت زیستگاه برای این گونه در محیط Terrset تهیه شد (شکل ۳). برای تمامی نقشه‌ها از قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و سیستم UTM استفاده شد. همچنین در همین گام، معکوس نقشه مطلوبیت زیستگاه به‌عنوان نقشه مقاومت برای مدل‌سازی ارتباطات با استفاده از نظریه مدار تهیه شد. بدین‌صورت که به‌ترتیب از کد مطلوبیت ۱ (مقاومت بسیارزیاد) تا کد مطلوبیت ۵ (مقاومت بسیارکم) در مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفت.

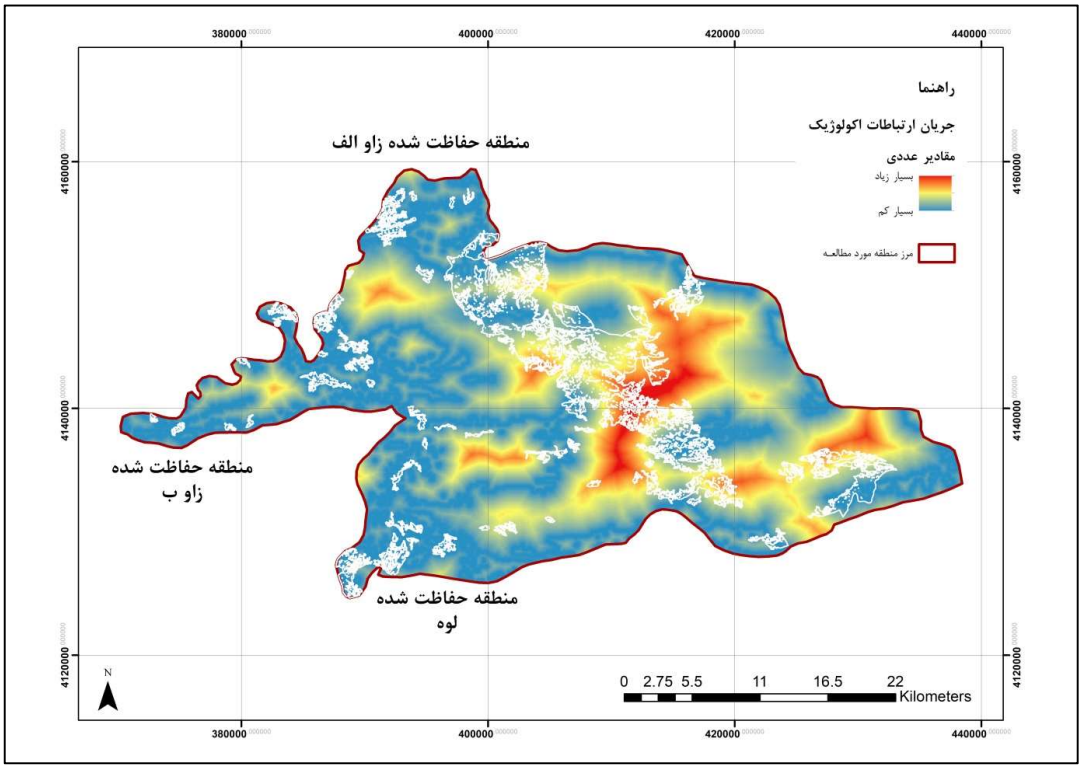
[1] Resistance
[2] Flow
[3] Current
[4] Pinch Points (i.e., constrictions or bottlenecks)



شکل ۳. نقشه مطلوبیت زیستگاهی قوچ و میش اوریال در پارک ملی گلستان و مناطق حفاظت‌شده اطراف

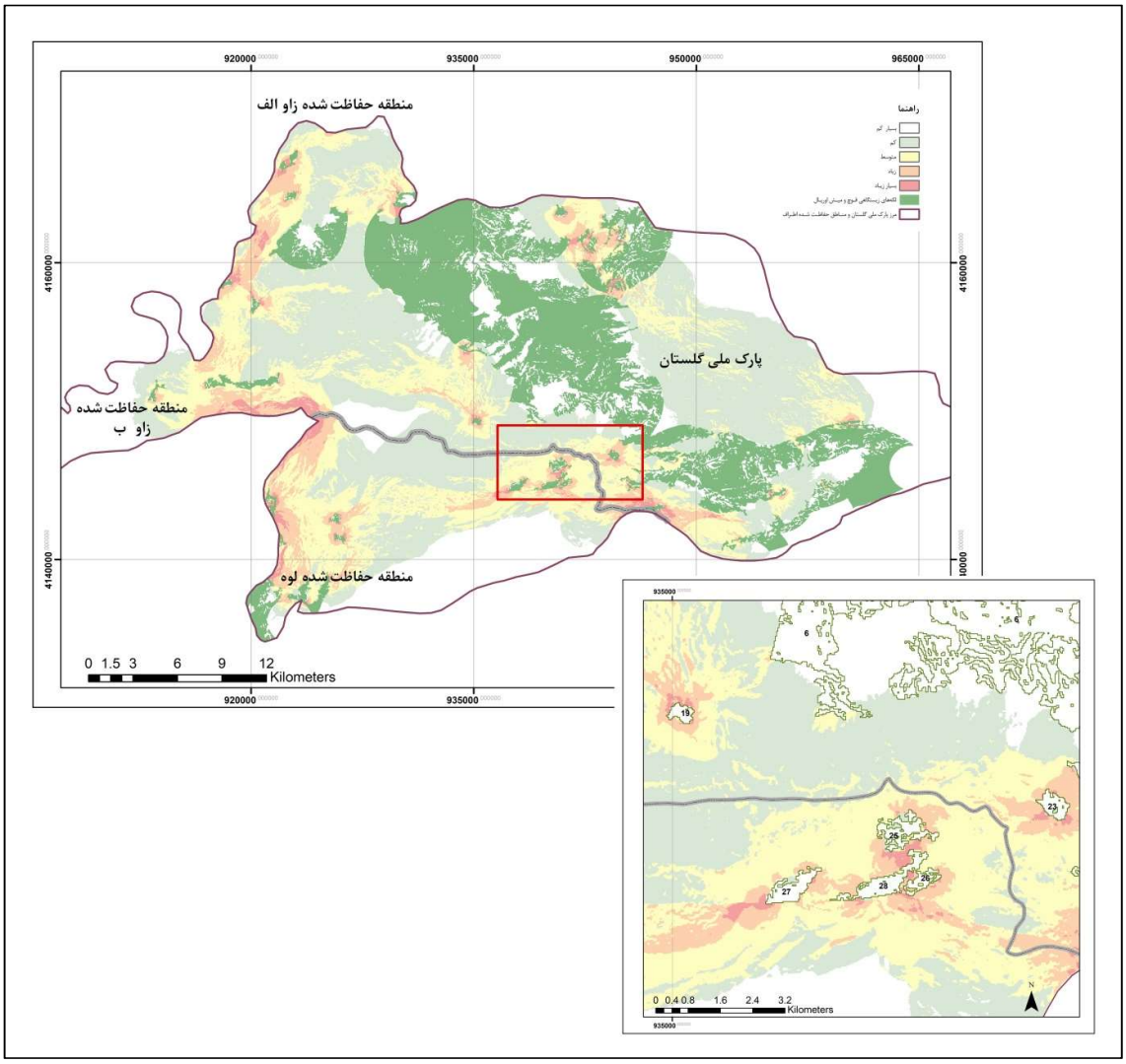
گام دوم: محاسبه مقادیر ارتباطات در دو مقیاس زیست‌بوم و لکه

در این مرحله با استفاده از نقشه‌های لکه‌های زیستگاهی و مقاومت به‌دست آمده در گام اول، نقشه ارتباطات زیستگاهی در دو مقیاس تهیه شد. در مقیاس زیست‌بوم با استفاده از نظریه مدار ابتدا نقشه جریان الکتریکی برای گونه قوچ و میش اوریال تهیه شد (شکل ۴). نواحی قرمز رنگ نشان‌دهنده مناطقی است که گونه برای عبور باید بیشترین هزینه را پرداخت کند. یا به بیان بهتر، گونه برای جابه‌جایی خود از این مناطق کمتر عبور خواهد کرد. این نقشه به‌عنوان یکی از نقشه‌های پایه برای محاسبه نقشه گلوگاه استفاده خواهد شد.



شکل ۴. نقشه ارتباطات زیستگاهی گونه قوچ و میش اوریال با استفاده از نظریه مدارهای الکتریکی

با توجه به عبور جاده ترانزیتی تهران مشهد از میان منطقه مورد مطالعه، آنچه مهم است تعیین نقطه‌ای است که بیشترین جریان (بیشترین جابه‌جایی) را ثبت می‌کند تا بتوان دالان ارتباطی را در بهینه‌ترین نقطه ممکن طراحی و احداث کرد. بنابراین نقشه خروجی مرحله قبل (شکل ۴) بار دیگر مورد استفاده قرار گرفته و نقشه گلوگاهی با استفاده از روش حداقل هزینه و با استفاده از مدل‌ساز Pinchpoint Mapper در محیط ArcGIS تهیه شد. در مقیاس زیست‌بوم و با استفاده از نظریه مدار سه‌نقطه به‌عنوان گلوگاه شناسایی شد که مابین لکه‌های شمال جاده و جنوب جاده می‌تواند ارتباط برقرار کند (مربع قرمز رنگ در شکل ۵).



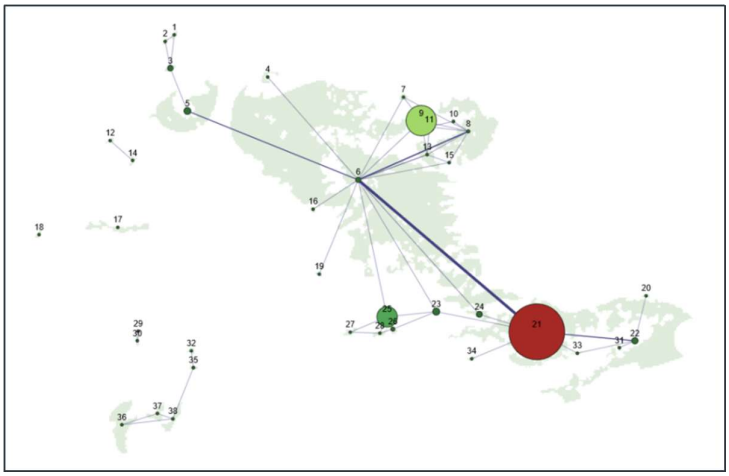
شکل ۵. نقشه گلوگاه‌های ارتباطی (Pinchpoints) در اطراف جاده ترانزیتی تهران مشهد در سطح منطقه مورد مطالعه

حال با بررسی وضعیت قرارگیری لکه‌ها در محدوده مورد نظر (شکل ۶) (مربع قرمز رنگ) بحث نقاط کلیدی[1] (گذرگاه محلی) اهمیت پیدا می‌کند، زیرا برای مثال با احداث دالان برای اتصال لکه ۶ (لکه شمال جاده) به لکه ۲۶ (لکه زیستگاهی جنوبی در میان تصویر (شکل ۵)، لکه شماره ۲۵ می‌تواند نقش کلیدی به‌عنوان گذرگاه محلی داشته باشد و بدون تردد خواهد ماند. این امر (حضور مانع انسانی و منع تردد) بر غنای گونه‌ای لکه ایزوله شده اثر خواهد گذاشت و موجب کاهش آن می‌گردد (Quinn & Harrison, 1988). در این بخش، اهمیت مطالعه ارتباطات در مقیاس لکه حایز اهمیت است تا بتوان دالان را در مکانی احداث نمود که بیشترین کارایی را داشته باشد و در عین حال از ایزوله شدن لکه‌های زیستگاهی جنوب جاده نیز جلوگیری نماید.

بنابراین برای تحلیل لکه‌های جنوبی جاده تهران- مشهد

[1] Stepping Stones

(شـماره‌های ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸)، از تحلیل شـاخص مرکزیت بینابینی در محیط نرم‌افزار گراف استفاده شد تا بتوان لکه‌ای را پیدا نمود که نه تنها ۱- بیشـترین جریان را بر اسـاس نظریه مدارهای الکتریکی و در مقیاس زیست‌بوم از خود عبور دهد، بلکه ۲- دارای بیشـترین اهمیت در مقیاس لکه و از لحاظ گذرگاه محلی برای عبور گونه باشـد. بنابراین در این بخش، لکه‌های زیستگاهی به‌دست آمده از نقشه مطلوبیت زیستگاه، وارد محیط Graphab شـده و مقادیر BC در مقیاس لکه به‌دسـت آمده اسـت (شـکل ۶). در این شـکل، اندازه دایره‌ها بیانگر میزان شـاخص مرکزیت بینابینی اسـت. همچنین شـکل (۷) نشان‌دهنده مسیرهای اقلیدسی در هنگام محاسبه BC در محیط Graphab و خروجی مدل‌سازی گلوگاه است.

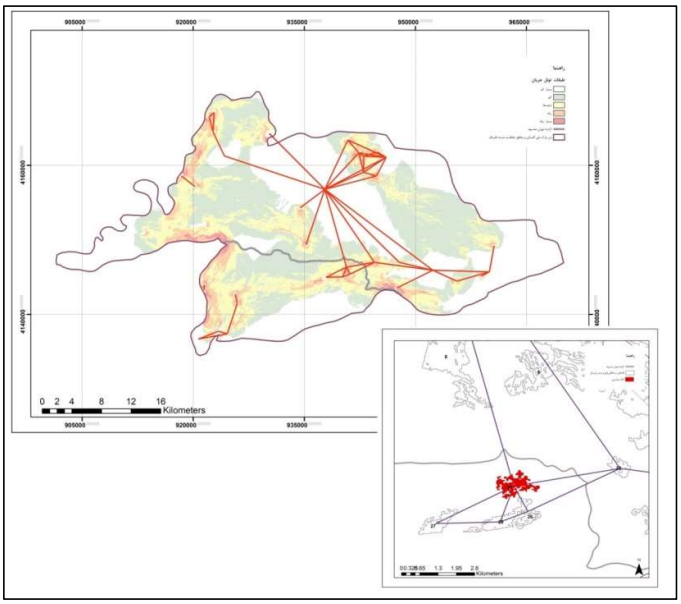


شکل ۶. تحلیل شاخص مرکزیت بینابینی در سطح منطقه مورد مطالعه با استفاده از نظریه گراف

در ادامه مقادیر شاخص BC نیز برای هر یک از لکه‌های زیستگاهی در سطح منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. مقادیر عددی شاخص BC در سطح منطقه مورد مطالعه

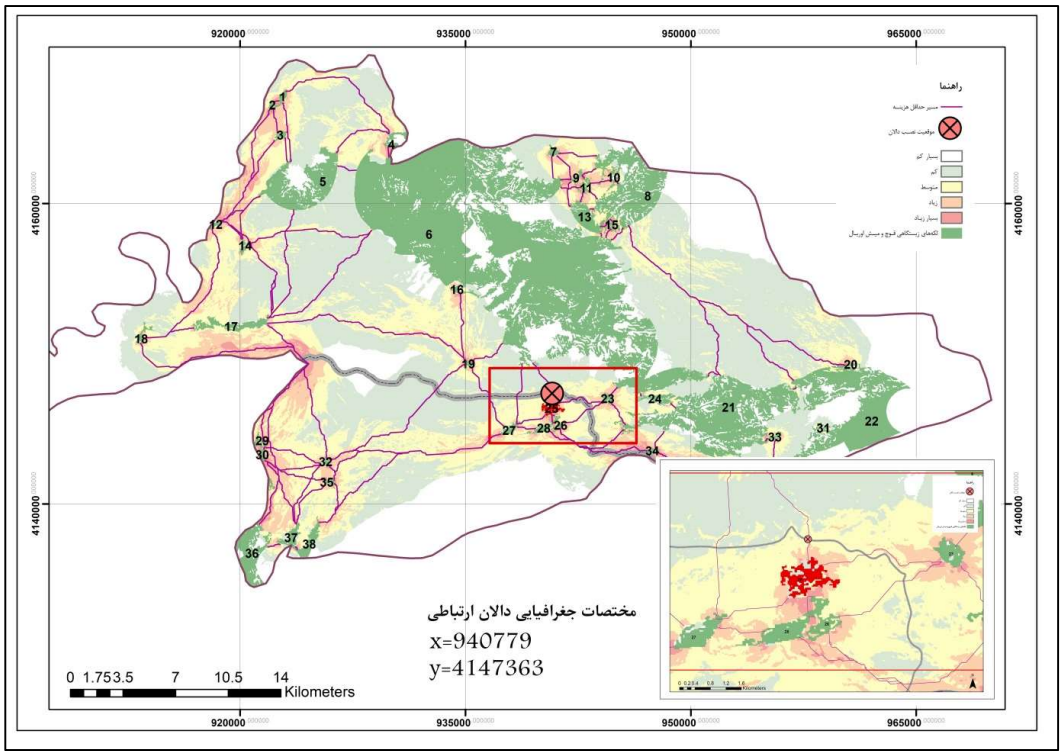
شماره لکه	مقادیر عددی شاخص BC	شماره لکه	مقادیر عددی شاخص BC
۱	0	۲۰	0
۲	0	۲۱	8.90E+14
۳	1.02E+13	۲۲	8.88E+12
۴	0	۲۳	1.32E+13
۵	1.91E+13	۲۴	7.06E+12
۶	3.76E+13	۲۵	6.00E+13
۷	0	۲۶	3.13E+12
۸	3.23E+11	۲۷	0
۹	4.58E+13	۲۸	0
۱۰	0	۲۹	0
۱۱	9.33E+12	۳۰	0
۱۲	0	۳۱	0
۱۳	7.07E+11	۳۲	0
۱۴	0	۳۳	4.48E+11
۱۵	6.63E+09	۳۴	0
۱۶	0	۳۵	3.44E+11
۱۷	0	۳۶	0
۱۸	0	۳۷	0
۱۹	0	۳۸	4.31E+11



شکل ۷. نقشه گلوگاه‌های ارتباطی منطقه به همراه مسیرهای شاخص dBC در سطح منطقه
(شکل پایین سمت راست: تعیین لکه گذرگاه محلی (Stepping Stone) در منطقه به رنگ قرمز)

گام سوم: تلفیق نتایج و مکان‌یابی احداث دالان

در نهایت پس از بررسی مقادیر مرکزیت بینابینی و قرارگیری نتایج در کنار سه گلوگاه شناسایی شده در نظریه مدار، نقطه‌ای در شمال لکه ۲۵ انتخاب شد. این نقطه با در نظرگیری مسافتی که گونه با حداقل هزینه می‌بایست طی کند و به‌منظور طراحی و احداث دالان شناسایی و انتخاب شد تا بتوان بیشترین میزان ارتباطات در دو مقیاس زیست‌بوم و لکه را برای گونه قوچ و میش اوریال فراهم سازد (شکل ۸).



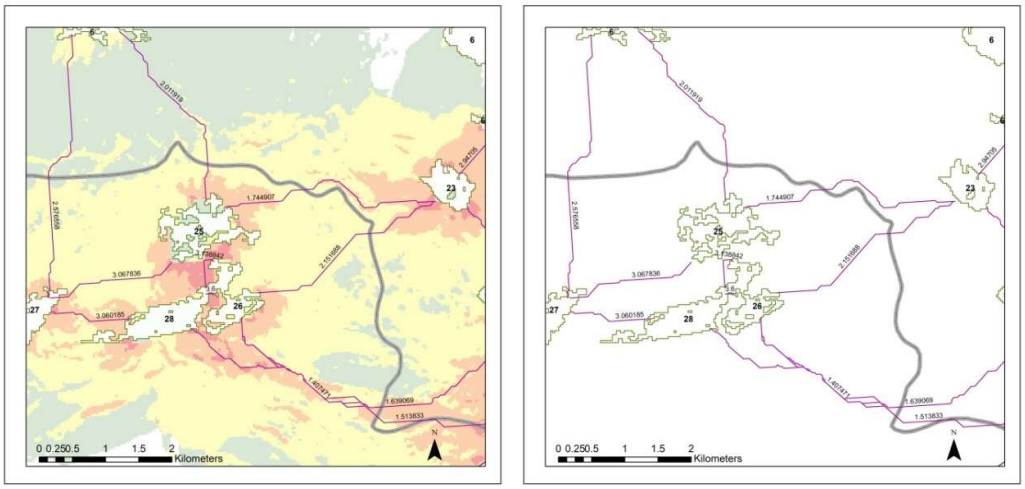
شکل ۸. نقشه موقعیت قرارگیری دالان ارتباطی بر روی جاده ترانزیتی تهران- مشهد در سطح منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی ارتباطات در دو مقیاس لکه و زیست‌بوم

هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت ارتباطات بوم‌شناختی گونه قوچ و میش اوریال با توجه به جاده میان‌گذر تهران مشهد در پارک ملی گلستان بود. این جاده با قطع مسیر حرکتی گونه، بر ارتباطات بوم‌شناختی اثر گذاشته و منجر به قطع ارتباط قوچ و میش با پایین‌دست جاده شده است، بنابراین دو روش نظریه مدار الکتریکی و گراف برای شناسایی گلوگاه ارتباطی و محاسبه شاخص BC برای تعیین نقطه‌ای که بیشترین تاثیر را در حفظ ارتباطات در سطح لکه دارد، استفاده شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد دالان ارتباطی در نقطه‌ای می‌بایست احداث شود که علاوه بر عبور بیشترین جریان از خود، کوتاه‌ترین فاصله را با لکه‌ای که نقش بسیار مهمی در حفظ مرکزیت بینابینی در شبکه را دارد، باشد (شکل ۹). لکه شماره ۲۵ در شکل (۹) دارای بیشترین اهمیت در هنگام محاسبه شاخص BC است، یعنی بیشترین نقش را در حفظ ارتباطات مرکزیت بینابینی در محدوده مورد نظر دارد. در صورت عدم وجود این لکه مسیرهای طولانی‌تری برای رسیدن به سه لکه پایینی یعنی ۲۷ (سمت چپ شکل ۹)، ۲۸ و ۲۶ می‌بایست طی شود. همچنین در صورت حذف لکه ۲۵، تمامی فشار و جریان به لکه شماره ۲۸ منتقل خواهد شد.



شکل ۹. نقشه گلوگاه‌های ارتباطی موجود در اطراف جاده ترانزیتی تهران- مشهد در سطح منطقه (به همراه اعداد حداقل هزینه بر حسب مسافت Least Cost (Distance/Distance)

در این مطالعه، مکان دقیق دالان با ترکیب دو نظریه مدار و گراف به‌دست آمد. همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد مطالعات بسیاری با استفاده از تئوری مدار به بررسی وضعیت ارتباطات بوم‌شناختی و امر حفاظت پرداخته‌اند (Dickson et al., 2019)، اما این تحقیق یکی از معدود مطالعات صورت گرفته با ترکیب دو نظریه مدار و گراف برای تحلیل این امر است. آنچه در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته، ترتیب قرارگیری لکه‌ها به‌عنوان نقاط کلیدی[1] است، زیرا در صورتی‌که دالان به لکه درست و حایز اهمیتی متصل نشود، نمی‌توان از برقراری ارتباطات اطمینان حاصل کرد. بنابراین در این مطالعه لکه‌های جنوبی جاده گذرگاهی مورد تحلیل قرار گرفته تا با استفاده از چارچوب لکه- دالان- ماتریس[2] (Forman, 1995) و شناسایی گذرگاه‌های بینابینی بهترین نقطه را برای احداث دالان شناسایی کرد.

شاخص های نظریه گراف به‌خوبی می‌توانند بیانگر وضعیت ارتباطات در سطح لکه و زیست‌بوم باشند و در این بین شاخص BC به‌درستی نشان‌دهنده جریانات بین لکه‌ها و مسیرهای ارتباطی است (Bodin & Saura, 2010). اما آنچه در بحث ارتباطات با استفاده از نظریه گراف می‌بایست دقت شود آن است که در نظریه گراف با محاسبه مسیر اقلیدسی ساده‌سازی بیش از حد لکه و ماتریس شکل می‌گیرد (Moilanen, 2011)، اما این امر با تلفیق تحلیل‌های نظریه مدار می‌تواند جبران گردد و رویکردی همانند آنچه در این پژوهش پیشنهاد شد، ارایه دهد.

[1] Stepping Stones
[2] Patch-Corridor-Matrix

همچنین اگرچه روش مسیرهای حداقل هزینه در مطالعات بسیار زیادی استفاده شده است (McRae & Kavanagh, 2011)، اما در واقعیت بسیاری از گونه‌ها عرض‌های حرکتی متفاوتی را برای جابه‌جایی انتخاب می‌کنند و نمی‌توانند مسیر مشخصی را با عرض مشخص برای عبور گونه انتخاب نمایند. به بیان بهتر، گونه هنگام حرکت مسیرهای متفاوتی را برای عبور انتخاب خواهد کرد. در این زمینه نیز نظریه مدار با نشان دادن محدوده‌هایی که بیشترین جریان عبور می‌کند و با محاسبه مقادیر مقاومت، می‌تواند با تعیین محدوده حرکتی تا حدودی این مشکل را برطرف سازد.

این مطالعه از ترکیب دو روش در دو مقیاس لکه و سیمای سرزمین استفاده کرد. مطالعات چندمقیاسی[1] در بحث ارزیابی ارتباطات دارای اهمیت بسزایی است (Cumming et al., 2022) زیرا هنگام بررسی اثر جاده یا هرگونه زیرساخت انسان‌ساز با دو مقیاس روبه‌رو هستیم. مقیاس اول، مقیاس سیمای سرزمین که جریان کلی ارتباطات را در سطح منطقه نشان می‌دهد و با تحلیل آن مناطقی مشخص خواهد شد که بیشترین جریان را دارد و مقیاس دوم، در مقیاس لکه که به مکان یابی دقیق دالان برای حفظ ارتباطات محلی[2] کمک می‌نماید. به بیان بهتر کدام نقطه لکه به‌عنوان زیستگاه بینابینی کمک بیشتری به حفظ ارتباطات در مقیاس زیست‌بوم خواهد کرد.

محدودیت‌های تحقیق و پیشنهادها

– نظریه مدار نیازمند تحلیل‌های سنگین در محیط ArcGIS است، اما می‌تواند در نهایت نتایج منطبق بر واقعیت بیشتری را ارایه دهد. به همین علت در این مطالعه تنها به بررسی ارتباطات گونه قوچ و میش اوریال پرداخته شده است؛ اما بررسی مسیرهای حرکتی چندین گونه و روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها با استفاده از نظریه کارشناسی می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود و تحلیل جامعی از وضعیت ارتباطات بوم‌شناختی منطقه حاصل نماید.

– استفاده از نقاط حضور قوچ و میش در پارک ملی گلستان بر دقت مدل‌سازی نقشه مطلوبیت زیستگاه و لکه‌های به‌دست آمده اضافه خواهد کرد. در این پژوهش به علت عدم دسترسی به این داده از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه با روش MCE (بدون داده‌های حضور گونه) استفاده شده است. به‌طور قطع استفاده از مدل‌هایی همانند Maxent[3] خروجی‌های دقیق‌تری را به‌عنوان نقشه‌های پایه مطالعه ارایه خواهد داد.

– عامل اصلی مورد بررسی در این مطالعه، جاده میان‌گذر تهران– مشهد از میان پارک ملی گلستان بوده و در نتیجه مرگ‌ومیر جاده‌ای موضوعی است که می‌بایست مورد نظر قرار گیرد. هرگونه داده در رابطه با مرگ‌ومیر جاده‌ای قوچ در جاده در هنگام مکان‌یابی دالان بر خروجی کار اثر خواهد گذاشت.

– با توجه به اکوسیستم جنگلی غالب منطقه، دسترسی به هر گونه داده از پراکنش و تراکم جنگل گلستان به‌دقت مدل‌سازی نقشه مطلوبیت زیستگاه خصوصا برای گونه‌هایی همانند مرال افزوده و در نتیجه منجر به بهبود نتیجه ارزیابی ارتباطات زیست‌بوم می‌شود، بنابراین علاوه بر اطلاعات رقومی موجود، دسترسی به داده‌هایی همانند طبقات جنگلی و کاربری غیرجنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای همانند Sentinel می‌تواند منجر به بهبود نتایج پژوهش شود (خلیانی‌هناره و همکاران، ۱۴۰۱).

منابع

پهلوانی، ع. (۱۳۸۳) ارزیابی زیستگاه قوچ و میش اوریال پارک ملی گلستان. نشریه محیط‌شناسی، ۳۰(۳۵): ۱–۸.

خلیانی‌هناره، ج.، احمدی‌ثانی، ن. و رشیدی، ف. (۱۴۰۱) تهیه نقشه سطح و تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس شمالی با کاربرد تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در استان آذربایجان غربی، ایران. دو فصلنامه تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۳(۱): ۵۱–۶۵.

خیرخواه‌قهی، ن. و جوزی، ع. (۱۴۰۰) ارایه الگوی نوین زون‌بندی در مناطق حفاظت‌شده با تاکید بر ارزیابی ارتباطات زیستگاهی قوچ و میش البرز مرکزی منطقه حفاظت‌شده ورجین. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۲(۱): ۱۰۷–۱۱۷.

خیرخواه‌قهی، ن.، ملک‌محمدی، ب. و جعفری، ح. (۱۴۰۰) ارزیابی سنجه‌های ارتباطات سیمای سرزمین و کیفیت زیستگاه برای شناسایی لکه‌های زیستگاهی کلیدی قوچ و میش البرز مرکزی، مطالعه موردی منطقه حفاظت‌شده ورجین، تهران. فصلنامه علوم محیطی، ۱۹(۳): ۲۳–۴۰.

درویش‌صفت، ع. (۱۳۸۵) اطلس مناطق حفاظت‌شده ایران. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۵.

مددی، م.، وارسته م. و کریمی، الف. (۱۳۹۸) ارزیابی زیستگاه و مهم‌ترین عوامل موثر بر پراکنش مرال (Cervus elaphus

[1] Cross Scale
[2] Local Connectivity
[3] Maximum Entropy Modelling

maral) در پارک ملی گلستان. فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، ۱۱(۱): ۱۱۱-۱۱۸.

ملکوتی‌خواه، ش.، فاخران، س. و سفیانیان، ع. (۱۳۹۲) استفاده از نظریه مدارهای الکتریکی جهت شناسایی کریدورهای مهاجرتی بین پناهگاه‌های حیات‌وحش موته و قمشلو در استان اصفهان. نشریه بوم‌شناسی کاربردی، ۲(۵): ۷۷-۸۸.

Ahmadi, M., Nezami Balouchi, B., Jowkar, H., Hemami, M.R., Fadakar, D., Malakouti-Khah, S. and Ostrowski, S. (2017) Combining landscape suitability and habitat connectivity to conserve the last surviving population of cheetah in Asia. Diversity and Distributions Journal, 23(6): 592-603.

Andrews, A. (1990) Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: A review. Australian Zoologist Journal, 26(3-4): 130-141.

Beier, P. and Noss, R.F. (1998) Do habitat corridors provide connectivity. Conservation Biology Journal, 12(6): 1241-1252.

Blazquez-Cabrera, S., Bodin, Ö. and Saura, S. (2014) Indicators of the impacts of habitat loss on connectivity and related conservation priorities: Do they change when habitat patches are defined at different scales. Ecological indicators Journal, 45(11): 704-716.

Bodin, Ö. and Norberg, J. (2007) A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. Landscape Ecology Journal, 22(1): 31-44.

Bodin, Ö. and Saura, S. (2010) Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. Ecological Modelling Journal, 221(19): 2393-2405.

Castilho, C.S., Hackbart, V., Pivello V.R. and dos Santos, R.F. (2015) Evaluating landscape connectivity for Puma concolor and Panthera onca among Atlantic forest protected areas. Environmental Management Journal, 55(6): 1377-1389.

Clauzel, C., Foltête, J.-C., Girardet, X. and Vuidel, G. (2019) Graphab 2.4 User Manual.

Cumming, G.S., Magris, R.A. and Maciejewski, K. (2022) Quantifying cross-scale patch contributions to spatial connectivity. Landscape Ecology Journal, 37(9): 2255-2272.

Dickson, B.G., Albano, C.M., Anantharaman, R., Beier, P., Fargione, J., Graves, T.A., Gray, M.E., Hall, K.R., Lawler, J.J. and Leonard, P.B. (2019) Circuit-theory applications to connectivity science and conservation. Conservation Biology Journal, 33(2): 239-249.

Eastman, J.R. (2015) TerrSet manual. Accessed in TerrSet version, 18(1).

Estrada, E. and Bodin, Ö. (2008) Using network centrality measures to manage landscape connectivity. Ecological Applications Journal, 18(7): 1810-1825.

Foltête, J.-C., Vuidel, G., Savary, P., Clauzel, C., Sahraoui, Y., Girardet, X. and Bourgeois, M. (2021) Graphab: An application for modeling and managing ecological habitat networks. Software Impacts Journal, 8(2): 100065.

Forman, R. (2014) Land mosaics: The ecology of landscapes and regions (1995), The Ecological design and planning reader (pp. 217-234).

Forman, R.T. (1995) Some general principles of landscape and regional ecology. Landscape Ecology Journal, 10(3): 133-142.

Gantchoff, M. and Belant, J. (2017) Regional connectivity for recolonizing American black bears (Ursus americanus) in south central USA. Biological conservation Journal, 214(14): 66-75.

Ghehi, N.K., MalekMohammadi, B. and Jafari, H. (2020) Integrating habitat risk assessment and connectivity analysis in ranking habitat patches for conservation in protected areas. Journal for Nature Conservation, 56(4): 125867.

Girardet, X., Conruyt-Rogeon, G. and Foltête, J.C. (2015) Does regional landscape connectivity influence the location of roe deer roadkill hotspots. European Journal of Wildlife Research, 61(5): 731-742.

Kor, L., O'Hickey, B., Hanson, M. and Coroi, M. (2022) Assessing habitat connectivity in environmental impact assessment: A case-study in the UK context. Impact Assessment and Project Appraisal, 40(6): 1-12.

Liu, S., Yin, Y., Li, J., Cheng, F,. Dong, S. and Zhang, Y. (2018) Using cross-scale landscape connectivity indices to identify key habitat resource patches for Asian elephants in Xishuangbanna, China. Landscape and Urban Planning Journal, 171(3): 80-87.

McRae, B. (2012) Pinchpoint mapper connectivity analysis software. The Nature Conservancy, Seattle.

McRae, B. and Kavanagh, D. (2011) Linkage mapper connectivity analysis software. The Nature Conservancy, Seattle.

McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H. and Shah, V.B. (2008) Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. Ecology Journal, 89(10): 2712-2724.

McRae, B.H. and Shah, V.B. (2009) Circuitscape user's guide. The University of California, Santa Barbara.

and Boyce, M.S. (2015) Grizzly bear connectivity mapping in the Canada–United States trans-border region. The Journal of Wildlife Management, 79(4): 544-558.

Quinn, J.F. and Harrison, S.P. (1988) Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: Evidence from biogeographic patterns. Oecologia Journal, 75(1): 132-140.

Saunders, D.A., Hobbs, R.J. and Margules, C.R. (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conservation biology Journal, 5(1): 18-32.

Wallis, D. and Hodgson, J. (2015) Condatis; software to assist with the planning of habitat restoration. Version 0.6. 0. Reterived from http://www. condatis. org. uk/

Wang, Y.-H., Yang, K.-C., Bridgman, C.L. and Lin L.-K. (2008) Habitat suitability modelling to correlate gene flow with landscape connectivity. Landscape Ecology Journal, 23(8): 989-1000.

Zhao, H., Liu, D., Li, F., Liu, X., Niu, J., He, J. and Liu, Y. (2021) Incorporating spatio-temporal connectivity for prioritized conservation of individual habitat patches in a dynamic landscape. Ecological Indicators Journal, 124(5): 107414.

Michel, S. and Ghoddousi, A. (2020) Ovis vignei. The IUCN red list of threatened species 2020: e.T54940655A54940728/

Moilanen, A. (2011) On the limitations of graph-theoretic connectivity in spatial ecology and conservation. Journal of Applied Ecology, 48(6): 1543-1547.

Paegelow, M. (2018) Multi criteria evaluation (MCE). Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios, Springer: 447-449.

Pascual-Hortal, L. and Saura, S. (2006) Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the priorization of habitat patches and corridors for conservation. Landscape Ecology Journal, 21(7): 959-967.

Peng, J., Pan, Y., Liu, Y., Zhao, H. and Wang Y. (2018a) Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape. Habitat International Journal, 71(1): 110-124.

Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J. and Qiu, S. (2018b) Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. Science of the Total Environment Journal, 644(26): 781-790.

Proctor, M.F., Nielsen, S.E., Kasworm, W.F., Servheen, C., Radandt, T.G., Machutchon, A.G.

Connectivity analysis of mountain sheep habitats (Ovis vignei arkal) to locate a highway corridor in Golestan National Pak using an integrated approach of Circuit and Graph theories

Nasim Kheirkhah Ghehi[1*] and Seyed Ali Jozi[2]

1) Ph.D. Environmental Planning, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email Address: n_kheirkhah@ut.ac.ir
2) Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2022/08/15 Date of Acceptance: 2022/10/22

Abstract

Roads and highways, as one of the biggest threats to wildlife survival, severely affect the ecological connectivity status of the landscape leading to the fragmentation of existing habitats. This research examines the effect of the Tehran-Mashhad bypass road through the Golestan National Park on the movement of Ovis vignei arkal to identify the best point for locating a connectivity corridor. In this study, multiple scales and theories have been selected to analyze species connectivity. The circuit theory was used for the landscape scale by modeling the bottleneck index, and graph theory was used for the patch scale by calculating the betweenness centrality index (BC). The optimal place for locating the corridor was identified by overlaying the range of the bottleneck index and the shortest path to the patch with the highest BC value. By integrating the circuit and graph theories, the results demonstrated the higher movement patterns in the region's west side due to the higher habitat suitability. Installing a corridor in this spot will be increased the species' movement, maintain its population, prevent species isolation, and consequently improve the state of the downstream habitats.

Keywords: Circuit theory, Ecological connectivity, Golestan National Park, Graph theory, Ovis vignei arkal.