استفاده از تئوری مدارهای الکتریکی جهت شناسایی کریدورهای مهاجرتی بین پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمشلو در استان اصفهان

شیما ملکوتی‌خواه*، سیما فاخران و علیرضا سفیانیان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۱)

چکیده

مدل‌سازی ارتباط بوم‌شناختی در سیمای سرزمین برای فهم گستره وسیعی ازفرآیندهای بوم‌شناختی اهمیت دارد. به منظورمدل‌سازی ارتباطات بوم‌شناختی در بین زیستگاه‌ها و کاربرد این مدل‌ها در برنامه‌ریزی حفاظت، کمی نمودن اثر الگوهای مکانی سیمای سرزمین بر درجه ارتباطات زیستگاهی ضرورت دارد. اخیراً از مفاهیم تئوری مدارالکتریکی برای مدل‌سازی ارتباطات، پیش‌بینی الگوهای حرکت و شناسایی کریدورها استفاده شده است. مدارالکتریکی شبکه‌ای از گره‌هاست که به‌وسیله رسیستورها (بخش‌های الکتریکی هادی جریان) به یکدیگر متصل شده و میزان جریان عبوری از بین گره‌ها به‌وسیله اختلاف پتانسیل و مقاومت رسیستورها تعیین می‌شود. کاربرد تئوری مدار در مسائل بوم‌شناختی به‌دلیل شباهت میان ارتباطات الکتریکی و ارتباطات بوم‌شناختی است. همان‌طور که افزایش تعداد یا پهنای رسیستورها (در صورتی‌که به شکل موازی به یکدیگر متصل شده باشند)، جریان عبوری از مدار را در مقایسه با زمانی که تنها یک رسیستور باریک وجود دارد افزایش می‌دهد، افزایش تعداد یا وسعت زیستگاه‌هایی که جمعیت‌ها یا زیستگاه‌ها را به‌هم مرتبط می‌نماید نیز احتمال حرکت در میان آنها را افزایش می‌دهد. تئوری مدار، سیمای سرزمین را به‌عنوان سطحی رسانا درنظر می‌گیرد که هر پیکسل موجود در آن را به یک گره تبدیل نموده و با اتصال آن به گره‌های مجاورمداری الکتریکی تشکیل می‌دهد. نتایج حاصل از این تئوری، نقشه‌های جریان و ولتاژ است که به فرآیندهای بوم‌شناختی مانند حرکت افراد ارتباط داده می‌شود. در این مطالعه از تئوری مدارهای الکتریکی برای بررسی ارتباطات زیستگاهی آهوی ایرانی(*Gazella subgutturosa subgutturosa*) و قوچ و میش اصفهانی (*Ovis orientalis isphahanica*) بین پناهگاه‌های حیات‌وحش موته و قمشلو دراستان اصفهان استفاده و براساس نقشه‌های جریان، الگوی حرکت و ارتباطات عملکردی برای گونه‌های هدف و هم‌چنین نواحی مهم ارتباطی در منطقه مطالعه شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات سیمای سرزمین، لایه مقاومت، مدار الکتریکی، کریدور

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shimamalakouti@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدمه

ارتباط میان لکه‌های زیستگاهی و جمعیت‌ها عامل مهمی است که بر گستره وسیعی از فرآیندهای بوم‌شناختی نظیر جریان ژن، پویایی ابرجمعیت‌ها، افزایش گستره پراکنش گونه‌ها، بقاء جمعیت‌ها وحفظ تنوع زیستی تأثیرگذار بوده(۳) و یک ویژگی بسیار مهم سیمای سرزمین به‌شمار می‌رود (۱۲). ارتباط سیمای سرزمین(landscape connectivity)، میزان توانایی ساختار و ترکیب سیمای سرزمین در تسهیل نمودن حرکت افراد و جمعیت‌ها در میان لکه‌های زیستگاهی است و درارتباط با نیازهای زیستگاهی گونه‌هایی که در آن زندگی و حرکت می‌کنند تعریف می‌شود(۲). زمانی که توانایی گونه‌ها برای حرکت در میان لکه‌های زیستگاهی کاهش پیدا کند، گونه‌ها منزوی شده و در نتیجه آسیب‌پذیری آنها نسبت به آشفتگی‌های محیطی بیشتر شده واحتمال انقراض افزایش آنها می‌یابد(۳). زیست‌شناسان حفاظت معتقدانند که ارتباطات، زیستایی جمعیت‌های حیات‌وحش را افزایش داده و تأثیرات ناشی از انزوا بر جمعیت‌ها و جوامع را به حداقل می‌رساند(۲).

جهت پیش‌بینی و شناسایی ارتباطات زیستگاهی روش‌های متعدی توسعه یافته است که از داده‌های سیمای سرزمین استفاده می نمایند. این روش‌ها شامل: استفاده ازشاخص‌های الگوی سیمای سرزمین(۱۰)، شبیه‌سازی حرکات افراد (Individual movements simulation) (۵ و ۷) و روش‌های تحلیلی ارتباط شبکه (Analytical measures of network connectivity) (۱۳) می‌باشد. ازجمله رویکردهای تحلیلی که اخیراً برای کمی نمودن ارتباطات زیستگاهی مورد استفاده قرارگرفته است، تئوری مدار الکتریکی(Circuits cape theory) می‌باشد. این تئوری در ابتدا برای آنالیز ارتباط در شبکه‌های شیمیایی، عصبی، اقتصادی واجتماعی و به تازگی برای مدل‌سازی جریان ژن در سیمای سرزمین غیریکنواخت مورد استفاده قرارگرفته است (۹ و ۱۰). مدارالکتریکی شبکه‌ای متشکل از گره‌ها (Nodes) بوده که به‌وسیله رسیستورها (بخش‌های الکتریکی هدایت کننده جریان الکتریکی) به یکدیگر متصل شده‌اند. براساس قانون اهم، زمانی که بین دو گره ولتاژ(V) برقرارشود، کل جریان عبوری از مدارالکتریکی به میزان ولتاژ برقرار شده و مقاومت رسیستورها بستگی خواهد داشت(۱۲). کاربرد تئوری مدار الکتریکی در مسائل بوم‌شناختی به‌دلیل شباهتی است که میان ارتباط بوم‌شناختی و ارتباط الکتریکی وجود دارد(۱۱). در این تئوری گره‌های الکتریکی به‌عنوان لکه‌های زیستگاهی، حرکت جریان به منزله حرکت افراد و رسیستورهای میان گره‌ها به‌عنوان مسیرها یا کریدورهای زیستگاهی درنظرگرفته می‌شوند. همان‌طور که افزایش تعداد رسیستورهای موازی باعث افزایش جریان عبوری از میان گره‌ها می‌شود، افزایش تعداد یا وسعت لکه‌های زیستگاهی مرتبط کننده جمعیت‌ها و زیستگاه‌ها نیز احتمال حرکت و ارتباط در میان آنها را افزایش می‌دهد. تئوری مدار سیمای سرزمین را به‌عنوان سطحی رسانا در نظر می‌گیرد که هر پیکسل آن به یک گره الکتریکی تبدیل و با اتصال گره‌های مجاور به یکدیگر یک مدار الکتریکی تشکیل می‌شود(۱۳).

نتایج حاصل از این تئوری نقشه‌های جریان و ولتاژ است. شدت جریان الکتریکی نشان‌دهنده احتمال حرکت افراد در سیمای سرزمین می‌باشد. به علاوه با استفاده از نقشه جریان می‌توان کریدورها و نواحی ارتباطی مهم در سیمای سرزمین را نیز شناسایی نمود. ولتاژ نیز که نشان‌دهنده میزان اختلاف شار جریان الکتریکی بین دو گره در یک مدار است، می‌تواند برای پیش‌بینی احتمال رسیدن فردی از یک نقطه از مدار به مقصدی معین یا به عبارتی پیش‌بینی میزان موفق بودن انتشار افراد استفاده شود(۱۲). برتری این مدل نسبت به دیگر مدل‌های تحلیلی متداول که به بررسی ارتباطات زیستگاهی می‌پردازند در شناسایی مسیرهای متعدد برای انتشار گونه‌هاست (۱۰). فایده این خصوصیت این است که اگر زمانی یک یا تعدادی از مسیرهای انتشار و مهاجرت از دست بروند، اهمیت دیگر مسیرهای پیش‌بینی شده باقی‌مانده افزایش پیدا می‌کند. مهم‌تر این‌که مدل‌های ارتباطی حاصل از این تئوری تا حد زیادی به چگونگی حرکت واقعی گونه‌ها در سیمای سرزمین نزدیک

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

می‌باشد. تاکنون مطالعات متعددی از این تئوری برای بررسی ارتباطات و شناسایی کریدورها استفاده نموده‌اند از جمله مطالعه راور و همکاران که از این تئوری برای بررسی ارتباطات میان جمعیت فیل‌ها در آفریقای جنوبی و ارزیابی کارایی شبکه مناطق حفاظت شده استفاده نمودند(۱۷).

در این مطالعه برای اولین بار در ایران، از تئوری مدارهای الکتریکی جهت شناسایی مسیرهای ارتباطاتی بالقوه و استقرار کریدورهای ارتباطی برای دو گونه آهوی ایرانی (*Gazella gazelle subgutturosa*)و قوچ و میش اصفهانی (*Ovis orientalis isfahanica*) بین دو پناهگاه حیات وحش موته و قمیشلو در استان اصفهان استفاده شده است. قوچ و میش اصفهانی گونه‌ای است که در لیست قرمز اتحادیه جهانی از طبیعت(IUCN) در رده آسیب‌پذیر(VU) قرار گرفته و پراکنش جهانی آن به فلات مرکزی ایران محدود است(۱۶). آهوی ایرانی نیز به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین علف‌خواران دشت‌های استپی ایران در رده آسیب‌پذیر IUCN قرار دارد. این گونه در ۱۵ منطقه حفاظتی ایران وجود دارد که پناهگاه حیات وحش موته یکی از بزرگ‌ترین جمعیت‌های آن را در خود جای داده است(۱). مطالعات میدانی گسترده و مشاهدات طولانی مدت نشان داده است که آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی در فصل تابستان از پناهگاه حیات وحش قمیشلو به سمت پناهگاه حیات وحش موته و در فصل زمستان ازپناهگاه حیات وحش موته به قمیشلو مهاجرت می‌کنند(۵). متأسفانه هیچ‌گونه حفاظتی از ناحیه مهاجرتی واقع در حد فاصل این دو منطقه به عمل نمی‌آید و گسترش کاربری‌های انسانی به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی عامل تهدید مهمی است که سبب کاهش وسعت یا نابودی زیستگاه‌های مطلوب و مسیرهای مهاجرتی دو گونه می‌باشد. لذا شناسایی کریدورهای ارتباطی برای دو گونه هدف و حفاظت از آنها در این ناحیه می‌تواند اقدام مؤثری در کاهش تضاد میان کاربری‌ها و مسیرهای مهاجرتی و حفاظت از این دو گونه مهم و با ارزش حفاظتی بالا باشد.

مواد و روش‌ها

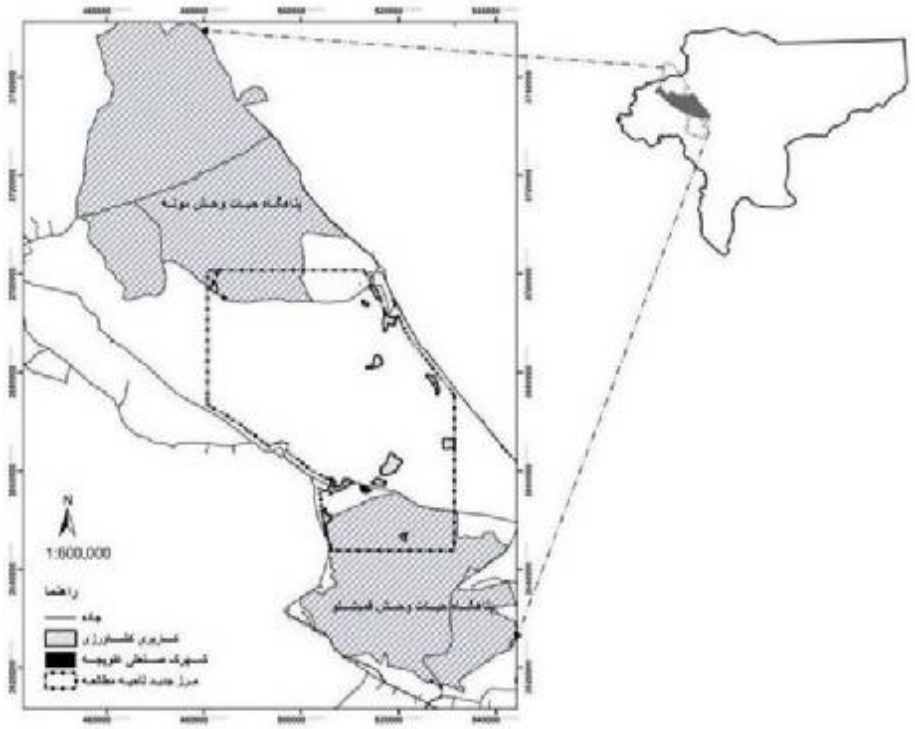
ناحیه مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در خارج از شبکه مناطق حفاظت شده استان اصفهان، بین پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمیشلو در شمال غربی استان اصفهان واقع شده است و مساحتی در حدود ۲۳۱۰ کیلومترمربع دارد. در بخش شمال و جنوب به‌ترتیب به پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمشلو، از بخش شرق به جاده‌های اصفهان- نائین، حسنیجه- افجان و کمربندی خمینی شهر- نجف‌آباد، و از غرب به جاده‌های دلیجان- اصفهان، اصفهان داران و سه راهی گلپایگان می‌رسد. محدوده ارتفاع ناحیه در حدود ۳۰۰۰-۱۶۰۰ متر می‌باشد. از نظر توپوگرافی منطقه شامل ارتفاعات بلند در شمال ناحیه در مرز مشترک با منطقه موته، مناطق تپه ماهوری و نواحی دشتی در بخش‌های جنوبی آن است. وجود نواحی دشتی (که بیشتر وسعت منطقه را تشکیل می‌دهند)، نواحی تپه ماهوری و تیپ‌های گیاهی موجود در منطقه، زیستگاه‌های مطلوبی برای آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی فراهم نموده است. براساس مطالعات میدانی مشخص شده‌است که مسیر مهاجرت این گونه‌ها در فصل زمستان از منطقه موته به سمت منطقه قمشلو و در تابستان از قمشلو به سمت موته مهاجرت می‌باشد. علت عمده این مهاجرت‌ها تفاوت در اقلیم دو منطقه می‌باشد. دمای پایین‌تر و بیشتر بودن تعداد روزهای یخبندان در منطقه موته نسبت به منطقه قمشلو سبب مهاجرت آهو و قوچ و میش به منطقه قمیشلو در زمستان می‌شود چرا که، پوشش گیاهی به‌دلیل پوشش برف سنگین کاهش یافته و لذا گونه‌ها مجبور به تغییر زیستگاه می‌شوند. عمده مهاجرت‌های مشاهده شده نیز در این فصل بوده است. مهاجرت گونه‌ها در فصل تابستان، نیز منوط به بارندگی کم در سایر فصول و عدم وجود پوشش گیاهی مناسب در منطقه قمشلو است. در غیر این‌صورت مهاجرتی از این منطقه به سمت موته انجام نمی‌شود (۵). براساس مشاهدات میدانی، تغییراتی در مرز منطقه مطالعه انجام شد و مرز جدیدی برای منطقه تعریف گردید(شکل۱). هدف از این مرزبندی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی، حدفاصل بین پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمشلو در شمال غرب استان اصفهان

جدید، تعیین چارچوبی منظم است که لازمه ورود منطقه مطالعه به مدل ارتباطی می‌باشد. عمده تغییرات انجام شده در مرز منطقه در بخش‌های جنوب شرقی و شمال غربی ناحیه مشاهده می‌شود. زیرا بخش شمال غربی ناحیه محدوده پراکنش بز کوهی است که جزء گونه‌های هدف در این مطالعه نمی‌باشد. بخش جنوب شرقی‌منطقه نیز سابقاً بخشی از محدوده پراکنش آهوی ایرانی بوده است ولی فعالیت‌های نظامی و کاربری کشاورزی سبب نابودی زیستگاه‌ها و عدم حضور این گونه در این بخش گردیده است.

روش کار

جهت شناسایی ارتباطات ممکن برای گونه‌های هدف با استفاده از تئوری مدارهای الکتریکی دو گروه لایه رستری به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تهیه گردید. ۱. لایه رستری زیستگاه‌ها ۲. لایه رستری گره‌های اصلی (Focal nodes).

تهیه نقشه زیستگاه‌ها

نقشه زیستگاه‌ها نشان‌دهنده مقاومت(resistance) یا رسانایی(conduciveness) هر پیکسل سیمای سرزمین نسبت به عبور جریان می‌باشد(۱۴). دراین بررسی لایه رستری زیستگاه از نوع مقاومت انتخاب گردید که برای تهیه آن از مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی به‌عنوان لایه اصلی استفاده شد.

تهیه لایه مقاومت منطقه مورد مطالعه

ایده استفاده از مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی برای محاسبه مقاومت از این جهت است که در سیمای سرزمین، پیکسل‌هایی با خصوصیات زیستگاهی مطلوب (مثلاً تراکم کم جمعیت انسانی و عدم حضورجاده‌ها) مقاومت کمی در برابر عبور گونه دارند در حالی‌که پیکسل‌هایی با خصوصیات زیستگاهی ضعیف(مانند اراضی کشاورزی، تراکم زیاد جمعیت انسانی و جاده‌ها) مقاومت زیادی در برابر حرکت گونه نشان

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

می‌دهند(۱۹). و این بدین معنا است که میان مقاومت و مطلوبیت زیستگاه رابطه‌ای معکوس وجود دارد. بنابراین می‌توان از لایه مربوطه جهت تهیه لایه مقاومت استفاده نمود(۴). برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه از روش شاخص مطلوبیت زیستگاهی(Habitat Suitability Index) استفاده شد. برای این منظور برای این منظور ابتدا بر مبنای نظرات کارشناسی، مشاهدات میدانی و مرور منابع(۹،۸ و۱۶) متغیرهایی زیستگاهی تأثیرگذار بر حرکت گونه‌های هدف، شامل: ارتفاع، شیب، فاصله تا جاده، پوشش گیاهی(به‌عنوان متغیرهایی زیستگاهی) و کاربری انسانی (شامل کاربری کشاورزی و صنایع به‌عنوان تعارضات انسانی) انتخاب و طبقه‌بندی گردید. سپس با استفاده ازشاخص مطلوبیت (Suitability Index) میزان مطلوبیت هرطبقه برای هر گونه در محدوده ۱- ۰/۰۱ تعیین شد. در مرحله بعد برای به‌دست آوردن شاخص مطلوبیت نهایی زیستگاه، براساس نوع متغیرهای مورد استفاده و با استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط مکی و همکاران(۵)، مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی برای هر دو گونه هدف به‌دست آمد. پس از طبقه‌بندی هر کدام از متغیرهای زیستگاهی و تعیین شاخص کیفی مطلوبیت (Suitability Index) برای هر طبقه، مدل نهایی مطلوبیت زیستگاه برای گونه‌های هدف، با استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط مکی و همکاران به‌دست آمد، سپس با معکوس نمودن ارزش رسترهای مطلوبیت زیستگاهی، لایه مقاومت ناحیه مطالعه زیستگاهی نیز تهیه گردید(۱۹ و ۲۰).

نقشه گره‌های اصلی

این رستر نقاط یا پلی‌گون‌هایی (معمولاً زیستگاه‌های اصلی) را نشان می‌دهد که درجه ارتباط زیستگاهی میان آنها مدل‌سازی می‌شود(۱۳). در اینجا از پلی‌گون‌هایی پناهگاه‌های حیات و حش موته و قمشلو جهت تهیه این لایه استفاده شد. از آنجایی که برنامه مدار الکتریکی از داده‌هایی با فرمت ASCII استفاده می‌کند، پس از تهیه لایه‌ها در محیط Arc GIS 9.3، فرمت آنها به فرمت موردنظر تبدیل شد.

اجرای برنامه مدارهای الکتریکی

این برنامه با تبدیل پیکسل‌های رستر زیستگاهی به گره و اتصال هر کدام از آنها به نزدیک‌ترین گره‌های مجاور شبکه‌ای تشکیل داده و شدت جریان عبوری از بین گره‌ها(ارتباط یا احتمال انتشار افراد) را محاسبه می‌کند. تعداد گره‌های مجاور که برای این منظور انتخاب شد ۸ عدد بود. جریان الکتریکی میان گره‌ها براساس میانگین مقاومت یا میانگین میزان رسانایی که بین گره‌هاوجود دارد محاسبه می‌شود. به‌دلیل این‌که رسترانتخابی زیستگاه‌ها نشان‌دهنده مقاومت ناحیه مطالعه بود، محاسبه ارتباط نیز بر مبنای میانگین مقاومت تعیین گردید. تئوری مدار برای محاسبه ارتباط میان گره‌ها از یکی از ۴ روش زیر استفاده می‌نماید:

۱. Pair wise: در این روش، ارتباط بین هردو گره (پیکسل‌ها) محاسبه می‌شود. در این روش، به شکل اختیاری یک گره به خروجی(Ground) و گره دیگر به یک منبع جریان ۱ آمپری(Source) وصل شده و جریان عبوری از دو گره محاسبه و فرآیند بین تمامی جفت گره‌ها تکرار می‌شود.

۲. One – to – all: در این روش، یک گره به منبع جریان ۱ آمپری و بقیه گره‌ها به زمین متصل شده و فرآیند برای تک تک گره‌ها تکرار می‌شود.

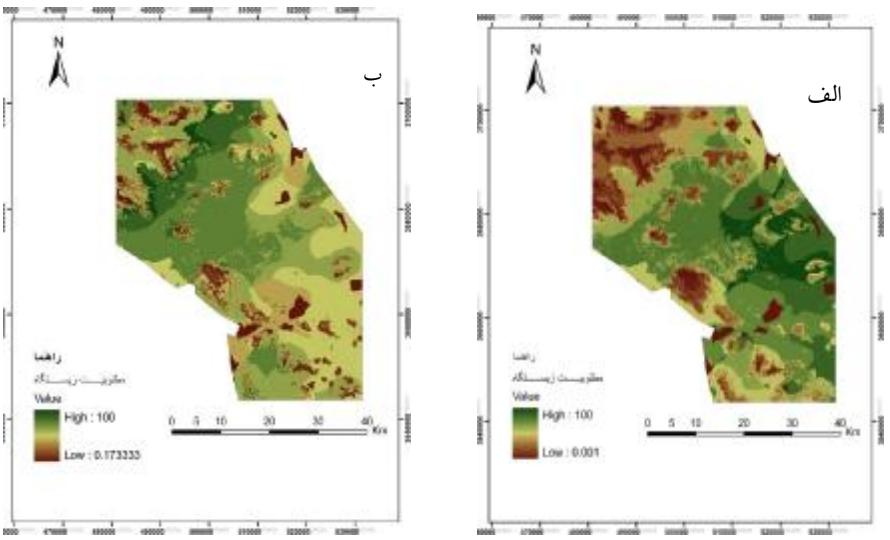
۳. All-to-one: در این مدل یک گره به زمین و بقیه گره‌ها به یک منبع جریان ۱ آمپری متصل می‌شود. این روش، جایگزین خوبی برای روش اول است. به‌خصوص زمانی‌که هدف نقشه‌سازی نواحی ارتباطی مهم در میان لکه‌های زیستگاهی متعدد می‌باشد.

۴. Advanced mode: در این روش کاربر این اختیار را دارد که هرتعداد ورودی (Source) و خروجی(Ground) برای جریان الکتریکی در سیمای سرزمین تعیین نماید (۱۳). در این مطالعه از مدل سوم برای محاسبه جریان الکتریکی استفاده شد. چرا که نواحی مهم برای ارتباطات زیستگاهی را بهتر از سه مدل دیگر نشان داده، به علاوه سریع‌تر اجرا شده و به حافظه کمتری نیاز دارد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل۲. مدل‌های مطلوبیت زیستگاه برای الف) آهوی ایرانی، ب) قوچ و میش اصفهانی

نتایج

مدل‌های مطلوبیت زیستگاه برای گونه‌های هدف

در شکل ۲، مدل‌های نهایی مطلوبیت زیستگاه برای آهوی ایرانی و قوچ ومیش اصفهانی نشان داده شده است. همان‌طورکه از روی شکل مشخص است، مطلوب‌ترین نواحی زیستگاهی با رنگ سبز و نواحی با مطلوبیت پایین با رنگ قرمز نشان داده شده است. حداقل میزان مطلوبیت برای هر دو گونه نیز به کاربری‌های انسانی موجود در منطقه مربوط می‌باشد که به شکل لکه‌هایی با رنگ قرمز تیره مشخص شده‌اند

لایه‌های مقاومت

لایه‌های مقاومت زیستگاهی برای آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی که از طریق معکوس نمودن ارزش مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی به‌دست آمدند، در شکل۳ نشان داده شده است. با دقت در شکل مشخص می‌شود که لایه‌های مقاومت عکس مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی است. طوری‌که بخش‌هایی که مقاومت بسیار بالایی دارند(کاربری‌های انسانی)، در واقع همان نواحی زیستگاهی بوده که در مدل‌های مطلوبیت زیستگاه، میزان مطلوبیت آنها حداقل می‌باشد(لکه‌های سبز تیره).

نقشه‌های شدت جریان

نتایج حاصل از اجرای تئوری مدار به شکل نقشه‌های شدت جریان برای آهو و قوچ و میش در شکل ۴ نشان داده شده است.

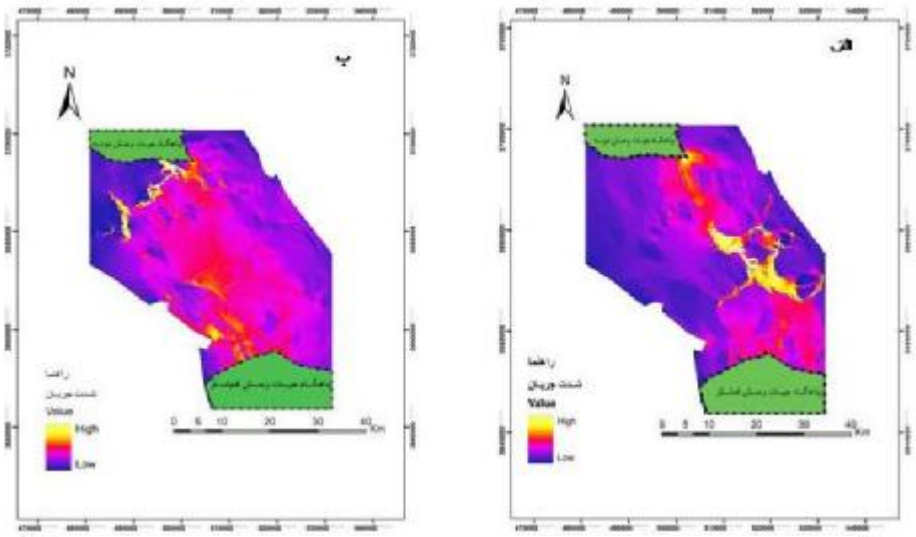
پلی‌گون‌های سبز رنگ نشان‌دهنده پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمشلو است که به‌عنوان زیستگاه‌های اصلی برای آهو و قوچ و میش تعیین شده‌اند. در این مدل‌ها ارزش هر پیکسل نشان‌دهنده شدت جریان عبوری از آن پیکسل (گره) یا به عبارتی احتمال حرکت گونه از یک لکه زیستگاهی به لکه‌های دیگر می‌باشد. رنگ‌های گرم‌تر (زرد و قرمز) شدت جریان بیشتر (احتمال بالاتر انتشار) را نشان می‌دهد که در بخش‌های مختلفی از ناحیه مطالعه مشاهده می‌شود. هر چه به سمت رنگ آبی پیش می‌رویم از میزان جریان و بالتبع از احتمال انتشار کاسته می‌گردد. ولی به‌دلیل باریک بودن، به‌عنوان گردنه بطری عمل نموده، در این نواحی احتمال حرکت گونه‌ها بسیار بالا است ولی پهنای کم ناحیه ارتباط را بسیار آسیب‌پذیر می‌کند

به این مناطق برای آهو بین ارتفاعات دهق و کلنگ در بخش مرکزی و ارتفاعات تخت چاه دینار و دم سیاه در شمال شرقی ناحیه و برای قوچ و میش در نزدیکی ارتفاعات هشتاد سر، تخت چاه دینار در شمال غرب و کوه دهق در مرکز ناحیه می‌باشند. شناسایی نواحی که حرکت جریان یا به عبارتی

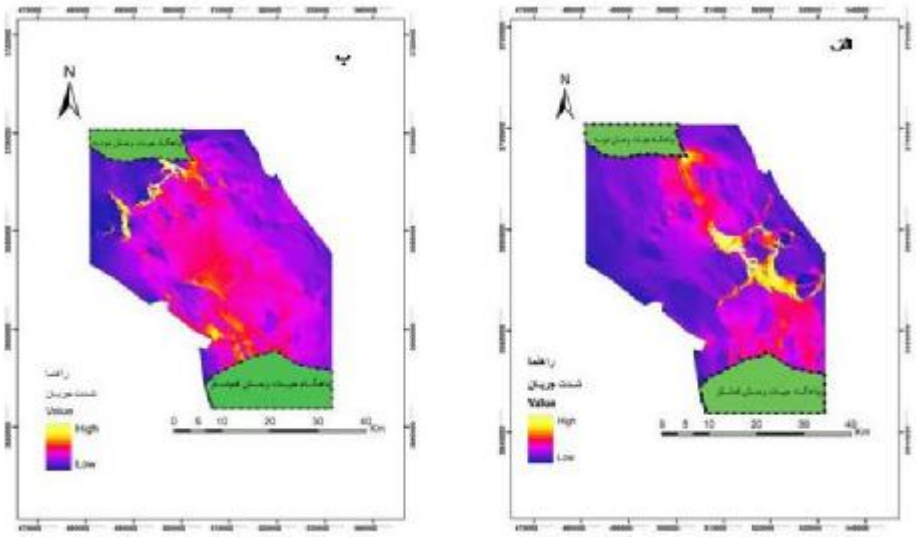
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۳. لایه مقاومت منطقه مورد مطالعه برای الف) آهوی ایرانی، ب) قوچ و میش اصفهانی



شکل۴. نقشه شدت جریان الکتریکی برای الف) آهوی ایرانی، ب) قوچ و میش اصفهانی

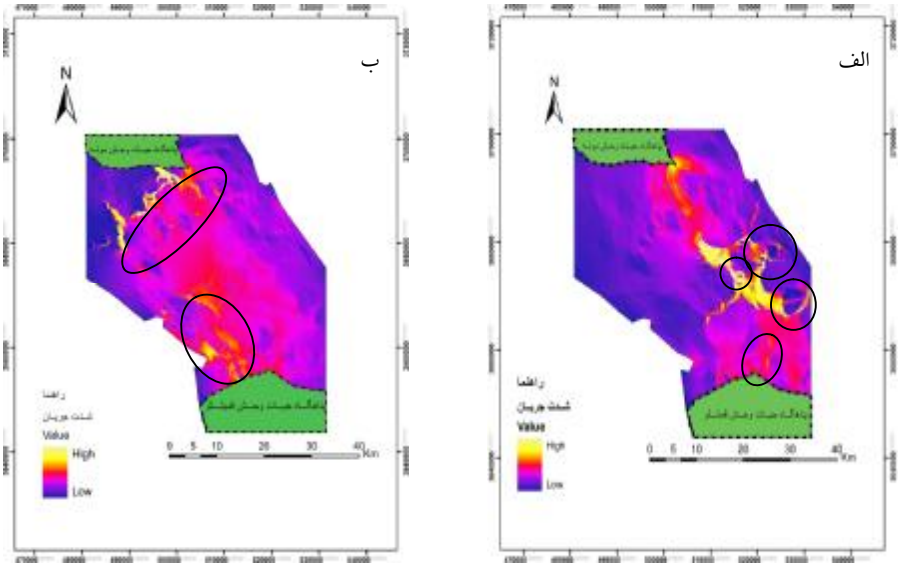
حرکت گونه‌ها از طریق ناحیه باریکی صورت می‌گیرد، یکی از مهم‌ترین نتایج حاصل از نقشه‌های جریان برای گونه‌های هدف می‌باشد. این نواحی ارتباطی مهم که pinch point نام دارند، حساس‌ترین وآسیب‌پذیرترین بخش‌های شبکه ارتباطی بوده، زیرا حذف یا کاهش زیستگاه‌ها در این نواحی می‌تواند باعث اختلال یا قطع ارتباط در کل ناحیه شود(۱۲) موقعیت این نواحی برای آهوی ایرانی وقوچ و میش اصفهانی در شکل۵ نشان داده شده است.

اگر مقایسه‌ای میان نقشه‌های جریان ولایه‌های مقاومت زیستگاهی انجام شود، به خوبی دلیل باریک شدن مسیرهای عبور جریان در برخی از بخش‌های منطقه مشخص می‌شود. برای آهوی ایرانی دلیل اصلی باریک شدن مسیرهای عبور جریان ایرانی، پهنای و وسعت کم زیستگاهای مطلوب این گونه می‌باشد. برای قوچ و میش اصفهانی نواحی ارتباطی مهم

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۵. موقعیت نواحی مهم ارتباطی در منطقه مطالعه برای الف) آهوی ایرانی، ب) قوچ و میش اصفهانی

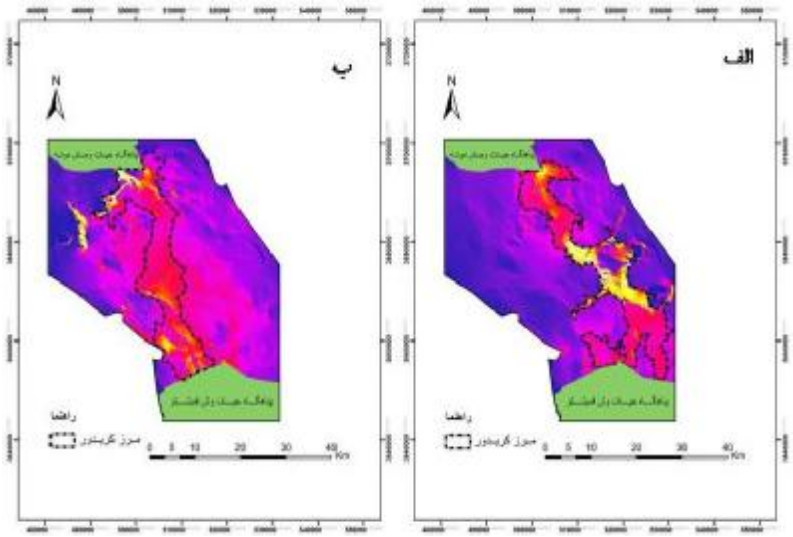
در جنوب غربی وشمال غربی ناحیه مشاهده می‌شود. در جنوب غربی ناحیه وجود کاربری‌های انسانی ازجمله شهرک صنعتی علویجه، اراضی کشاورزی، شیب‌های بالاتر از ۴۰ درصد و نواحی مرتفع (ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر)که مقاومت بالایی دارند سبب باریکی بخشی از مسیرهای عبور جریان از این بخش شده است. دربخش شمال غربی منطقه نیز قرارگیری زیستگاه‌های مطلوب در بین ارتفاعات این بخش سبب تنگ نمودن مسیر عبور جریان شده است. عبور جریان از این بخش‌ها به شکل رگه‌های قرمز رنگی که از مابین ارتفاعات ناحیه(نواحی آبی رنگ) عبور کرده‌اند مشخص می‌باشد. بخش‌های آبی رنگ که برای آهو وسعت بیشتری دارند، نشانگر شدت جریان پایین یا کمترین میزان احتمال انتشار می‌باشند. که اصلی‌ترین عامل آن وجود زیستگاه‌های با کیفیت پایین(مقاومت بالا) به‌عنوان مانع عمده برای انتشار گونه است. برای آهو با این‌که بیشتر وسعت ناحیه را شیب مطلوب (۱۰-۰ درصد) تشکیل می‌دهد ولی ارتفاعات بالای حدود ۲۰۰۰ متر، شیب بیشتر از ۱۰ درصد و کاربری کشاورزی عامل محدودکننده مهمی بوده و از مطلوبیت زیستگاه کاسته است.

برای قوچ و میش نیز ارتفاعات بالای ۲۳۰۰ متر، نواحی پرشیب (بالاتر از ۴۰ درصد) و کاربری‌های انسانی) اراضی کشاورزی و شهرک صنعتی علویجه) مهم‌ترین عوامل محدودکننده می‌باشند. با دقت در نقشه‌ها مشخص است که در برخی نواحی شدت جریان برای هر دو گونه بالا می‌باشد. لذا در این بخش از ناحیه(بخش شمالی)، کریدور پیشنهادی می‌تواند جابه‌جایی‌های هر دو گونه را مورد حمایت قرار دهد. در این حالت که کریدور انتشار بیش از یک گونه هدف را حمایت می‌کند به آن linkage اتلاق می‌شود(۳). برای تعیین کریدور پیشنهادی، بخشی از نقشه جریان که حداکثر شدت جریان و احتمال حرکت را نشان می‌داد با مساحتی معادل با ۳۶۲ و ۳۸۰ کیلومترمربع به‌ترتیب برای قوچ و میش و آهوی ایرانی انتخاب گردید(شکل ۶). سپس جهت بررسی کارآیی کریدورها، نحوه توزیع انواع زیستگاه‌ها و برخی از آمارهای مربوطه محاسبه گردید که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ درج شده است. با توجه به نحوه توزیع زیستگاه‌ها با کیفیت‌های مختلف، حداکثر وسعت هر دو کریدور را زیستگاه‌هایی با مطلوبیت بالا تشکیل می‌دهد و حداقل وسعت نیز به زیستگاه‌های با کیفیت پایین اختصاص یافته است (جدول۲).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل۶. کریدور پیشنهادی برای الف) آهوی ایرانی، ب) قوچ و میش اصفهانی

جدول۱. آمارهای مربوط به طول و پهنای کریدورها برحسب کیلومتر

ویژگی کریدور	قوچ و میش	آهو
طول کریدور	۲۳ /۴۸	۶۵ /۵۶
حداقل پهنای کریدور	۹۳/۲	۲۷ /۱
حداکثر پهنای کریدور	۸۵ /۸	۴۷ /۷
میانگین پهنای کریدور	۳۰ /۵	۱۹ /۴

جدول۲. درصد توزیع انواع مختلف زیستگاه‌های موجود در کریدورها

نوع زیستگاه	درصد موجود در کریدور قوچ و میش	درصد موجود در کریدور آهو
بسیار خوب (۸۰– ۱۰۰)	۰۰/۳۴	۱۹ /۴۳
خوب (۶۰ -۸۰)	۷۲ /۴۴	۱۱ /۴۸
متوسط (۴۰ - ۶۰)	۳۴ /۱۶	۶۴ /۵
ضعیف (۲۰ -۴۰)	۵۴ /۳	۸۵ /۲
خیلی ضعیف (۰ -۲۰)	۴۰ /۱	۲۱/۰

کریدور پیشنهادی برای آهوی ایرانی در بخش شرقی ناحیه از هموارى سنگ ریز در نزدیکی پناهگاه حیات وحش قمشلو شروع و در ادامه از هموارى‌های عربستان، علی‌آباد و خسروآباد گذشته و به گود خسروآباد در نزدیکی پناهگاه حیات وحش موته می‌رسد برای قوچ و میش نیز کریدور پیشنهادی در بخش غربی ناحیه از منطقه چهارکوه در نزدیکی منطقه قمشلو شروع،

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

از ارتفاعات دهق و کوله سار گذشته و به ارتفاعات دم سیاه در نزدیکی منطقه موته می‌رسد.

بحث

حفظ و بازگرداندن ارتباط در بخش‌های مختلف سیمای سرزمین نیازمند مدل‌های ارتباطی و شاخص‌هایی است که قابل اعتماد و کارآمد باشند. از جمله این مدل‌ها، مدل ارتباطی است که بر مبنای تئوری مدار الکتریکی بوده و برای پیش‌بینی الگوی حرکت در سیمای سرزمین، شناسایی لکه‌های زیستگاهی مهم و کریدورها با هدف برنامه‌ریزی برای حفاظت مورد استفاده قرار گرفته است(۶). در این مطالعه برای اولین بار از این رویکرد مدل‌سازی جهت بررسی ارتباطات زیستگاهی و شناسایی کریدورهای مهاجرتی برای دو گونه آسیب‌پذیر آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی میان پناهگاه‌های حیات‌وحش موته و قمیشلو در استان اصفهان استفاده شد. به‌دلیل این‌که بر مبنای رویکرد تئوری مدار، جریان عبوری از بین پیکسل‌ها (گره‌ها) معادل با احتمال حرکت افراد است، می‌توان این‌طور پیش‌بینی نمود که در صورت مهاجرت آهوی ایرانی و قوچ و میش‌اصفهانی بین دو پناهگاه، بخش‌هایی که شدت جریان عبوری از آنها بالا می‌باشد، مناطقی را نشان می‌دهند که محتمل‌ترین مسیر جهت عبور آنها خواهند بود. شناسایی نواحی ارتباطی مهم در منطقه ازدیگر نتایج مهم حاصل از نقشه‌های جریان بود. حفاظت از این نواحی مهم دربخش جنوبی منطقه برای قوچ و میش اصفهانی از اهمیت بسزایی برخورداراست. زیرا بهترین مسیرهایی که قوچ و میش اصفهانی از طریق آن می‌تواند بین پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو و منطقه مطالعه جابه‌جا شود در این بخش قرارگرفته است. ولی از طرفی وجود کابری‌های انسانی در این بخش تهدید مهمی بوده که می‌تواند سبب کاهش وسعت یا نابودی این نواحی ارتباطی شود. لذا حفاظت از این نواحی در اولویت می‌باشد برای مثال می‌توان حداقل جهت کاهش اثر حاشیه، ناحیه‌ای را به‌عنوان بافر در اطراف این نواحی تعیین نمود. تئوری مدار می‌تواند برای شناسایی کریدورها نیز مورد استفاده قرار بگیرد. از این رو امکان شناسایی کریدورهای مهاجرتی برای دو گونه هدف نیز به‌عنوان یکی از اهداف این مطالعه درنظرگرفته شد. راور و همکاران(۲۰۱۲) از این تئوری استفاده نمودند تا ارتباط میان ۶ گروه از جمعیت فیل‌ها در آفریقای جنوبی را برای بررسی کارایی شبکه مناطق حفاظت شده در هندوستان ارزیابی کنند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در بخش مرکزی ناحیه مطالعه احتمال زیادی برای برقراری ارتباط میان جمعیت‌ها وجود دارد. کریدورهای مهاجرتی نیز براساس محدوده های عبور حداکثر شدت جریان در منطقه مطالعه برای دو گونه شناسایی و کارایی آنها براساس عواملی مانند پهنا و نحوه توزیع زیستگاه‌ها بررسی شد(۱۷).

والپول و همکاران (۱۸) نیز با استفاده از این تئوری موفق به پیش‌بینی و بررسی ارتباط عملکردی و کریدورهای زیستگاهی سیاه گوش در حاشیه جنوبی محدوده پراکنش آن در کانادا شدند. مقایسه نقاط حضور این گونه با کریدورهای شناسایی شده حاصل از نقشه جریان نشان داد که مسیرهای حرکت سیاه گوش از نواحی عبور می‌کند که ارتباط بالاتری برای این گونه ایجاد می‌نمایند. اگر قرار است که گونه‌ها از این کریدورها استفاده نمایند، در دسترس بودن و کیفیت زیستگاه‌های موجود در آنها اهمیت بسیاری پیدا می‌کند (۳). به همین دلیل توزیع انواع زیستگاه‌ها در دو کریدور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که زیستگاه‌های با کیفیت بالا حداکثر وسعت کریدورها را به خود اختصاص داده‌اند و از این نظر از گونه‌های هدف حمایت می‌کنند. در این مطالعه از شاخص‌های مطلوبیت زیستگاهی به‌عنوان برآوردی از مقاومت ناحیه مطالعه نسبت به حرکت گونه‌ها استفاده شد. لایه‌های مقاومت مبنای مدل‌سازی ارتباطات زیستگاهی در اقدامات مربوط به حفاظت می‌باشند (۲۰). همان‌طورکه قبلاً توضیح داده شد منظور از ارتباط، ارتباط عملکردی است که به توانایی حرکت گونه در سیمای سرزمین مربوط است، ولی در اکثر مطالعاتی که درباره شناسایی ارتباطات انجام شده است، مقاومت براساس استفاده از زیستگاه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

برآورد شده است نه حرکت گونه‌ها(۵). چرا که حرکت گونه‌ها یکی از مشکل‌ترین رفتارهایی است که می‌توان مشاهده و کمی نمود. زمانی هم که امکان بررسی حرکت وجود دارد، اغلب اوقات یا تعداد افرادی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند کم است، یا ممکن است یک گونه خاص یک مسیر حرکتی را در فواصل زمانی مختلفی طی کند (۲۰). لذا ممکن است فاکتورهای رفتاری نیز وجود داشته باشند که بر حرکت گونه‌ها اثرگذار بوده ولی از طریق مدل شاخص مطلوبیت زیستگاه اثر آنها قابل شناسایی نبوده است.(۱۵). به علاوه می‌توان آنالیز عدم قطعیت را درمورد مطلوبیت زیستگاه انجام داد تا مشخص شود آیا تغییر در میزان امتیازات تعیین شده برای مطلوبیت زیستگاه در لایه‌های مقاومت و نهایتاً نقشه‌های جریان تأثیرگذار خواهد بود یا خیر. اهمیت انجام این مطالعه جهت شناسایی مسیرهای ارتباطی بین دو پناهگاه‌های حیات وحش موته و قمشلو برای آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی بدان جهت است که این دو گونه از جمله گونه‌های مهاجر محسوب شده، و بدون توجه به مرزهای مناطق حفاظت شده به شکل فصلی بین مناطق جابه‌جایی دارند. این فرآیند امکان حفاظت از این آنها به لحاظ گستره پراکنش وسیع را کاهش داده و لذا بهترین راه ممکن، شناسایی و حفاظت از مسیرهای مهاجرتی آنها در بین مناطق حفاظت شده می‌باشد(۵).

کاربرد تئوری مدارها در این زمینه بسیار مفید است، زیرا این تئوری می‌تواند برای بررسی ارتباطات زیستگاهی، پیش‌بینی الگوهای حرکت و انتشار حیات وحش و شناسایی کریدورها به‌کار رود(۲۰). به‌علاوه شاخص‌های مورد استفاده در مدل مانند جریان الکتریکی که به احتمال حرکت گونه‌ها نسبت داده می‌شود برای بوم‌شناسان قابل فهم می‌باشد هرچند که تفسیر نقشه‌های حاصل از آن کمی مشکل می‌باشد. با این حال پیشنهاد شده است که برای رسیدن به نتایج بهتر، این مدل همراه سایر مانند مدل حداقل هزینه استفاده شود. چرا که نتایج آنها تکمیل کننده یکدیگر بوده و به شکل بهتری قابل تفسیر می‌باشد. با توجه به کاربردهای این تئوری پیشنهاد می‌شود که در سایر مناطق در جهت طرح ریزی بهینه حفاظت نیز استفاده شود.

منابع مورد استفاده

۱. حاضری، ف.، م. همامی و ج. خواجه الدین. ۱۳۸۸. استفاده از جوامع گیاهی توسط آهوی ایرانی در پناهگاه حیات وحش موته. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۳(۴۸):۴۲۷-۴۳۵.

2. Bennett, A. 2003. Linkages in the Landscape. The Role of Corridors and Connectivity in Wld Conservation 2nd ed., IUCN, The World Conservation Union, Gland., 262 pp.
3. Crooks, K. R. 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Journal of conservation biodiversity* 16(2): 488–502.
4. Crooks, K. R. and M. Sanjayan. 2006. Connectivity Conservation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.,732 pp.
5. Fakheran, S. and M. karami. 2005. A Study on the feasibility of establishing a habitat corridor for large herbivores between Mooteh and Ghameshloo Wildlife Refuges, Esfahan Province, Iran. *Bulletin of the National Institute of Ecology* 16: 137-139.
6. Hansen, A. J. and R. Defries. 2007. Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands. *Journal of Ecological Applications* 17: 974-988.
7. Hargrove, W. W., F. M. Hoffman and R. A. E. froymson. 2005. A practical map-analysis tool for detecting potential dispersal corridors. *Journal of Landscape Ecology* 20: 361-373.
8. Makki, T., S. Fakherana, H. Moradi, M. Iravani and J. Senn. 2013. Landscape-scale impacts of transportation infrastructure on spatial dynamics of two vulnerable ungulate species in Ghamishloo Wildlife Refuge, Iran. *Journal of Ecological Indicator* 31: 6-14.
9. Maleki Najafabadi, S., M. R. Hemami and A. S. Mahini. 2010. Determining habitat suitability of *ovis orientalis isfahanica* in mooteh wildlife refuge using ENFA. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources* 63: 279-290.
10. McRae, B. H. 2006. Isolation by resistance. *Journal of Evolution* 60: 1551-1561.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11. McRae, B. H. and P. Beier. 2007. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Journal of Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 19885-19890.
12. McRae, B. H, B.Dickson, T. H. Keitt, and V. Shah. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Journal of Ecology* 89(10): 2712-2724.
13. McRae, B. H.and V.B .Shah. 2011. Circuitscape User Guide. The University of California, Santa Barbra.
14. Minor, E. S. and D. L. Urban. 2007. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. *Journal of Ecological Applications* 17: 1771-1782.
15. Nowzari, H., R. Behrouziad, and M. R. Hemami. 2007. Habitat Use by Persian Gazelle (*Gazella subgutturosa subgutturosa*) in Bamoo National Park during Autumn and Winter. *Journal of Acta Zool. Mex 23*: 109-121
16. Rezaei, H. R., S. Naderi, I.Cristin Chintauan-Marquier, P. Taberlet, A. T. Virkd, H. R. Naghash, D. M. K. Rioux, and F. Pompanon. 2009. Evolution and Taxonomy of the Wild 29Species of the Genus Ovis (Mammalia, Artiodactyla, Bovidae). *Journal of Molecular Phylogenetics and Evolution* 54: 315–326.
17. Roever,C. L., A. R. J. Van and K. Leggett. 2013. Functional connectivity within conservation networks: Delineating corridors for African elephants. *Journal of Biological Conservation* 157: 128-135.
18. Walpole, A. A., J. Bowman, D. L. Murray and P. J. Wilson. 2012. Functional connectivity of lynx at their southern range periphery in Ontario, Canada. *Landscape Ecology* 27: 761-773.
19. Wang, Y., K. Yang, C. L. Bridgman and L. Lin. 2008. Habitat suitability modeling to correlate gene flow with landscape connectivity. *Journal of Landscape Ecology* 23: 989–100.
20. Zeller, K. A., L. K. McGariga and A. R Whiteley. 2012. Estimating landscape resistance to movement, *journal of Landscape Ecology* 27: 777-797.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com