Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Development of Sustainable Protection of Biodiversity using Modeling Corridors of the Landscape Based on Circuit Theory

Neda Mohammadpour[1] | **Fatemeh Jahanishakib**[2] | **Zahra Asadolai**[3]

1. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environmental Studies, Birjand University, Birjand, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environmental Studies, Birjand University, Birjand, Iran. E-mail: jahanishakib@birjand.ac.ir
3. Department of Environment and Fisheries, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 16 Aug 2023
Received in revised form: 30 Sep 2023
Accepted: 01 Oct 2023
Available online: 30 Dec 2023

Keywords:
Habitat corridor,
Circuit theory,
Habitat fragmentation,
Sustainable planning,
South Khorasan province.

ABSTRACT

Modeling habitat network connections in biodiversity conservation planning is one of the global priorities of landscape ecology and ecological security. Destruction of landscape structure by creating disjointed habitats and disconnection in landscape patches leads to disturbance in ecological functions. This research aimed to model the landscape corridors of South Khorasan Province to link habitats together to increase habitat network connections. This, in spite of avoiding island management of conserved areas, causes sustainable protection of ecological security. First, the habitat quality map of the study area was modeled, and then it was converted into a habitat resistance map. Habitat hotspots were also extracted from the habitat quality map using the Getis-Ord G approach. Finally, Habitat corridors and the most significant connecting regions were modeled using the habitat quality and resistance maps in Circuitscape software based on circuit theory. The findings indicated that several regions are capable of producing flow with intensities ranging from 0 to 114.5 Ampere. These areas include about 4,944,200 ha (33%) of the entire study area, of which 900 ha are hot corridors, which can be thought of as corridors that facilitate species movement and can mitigate the negative effects of habitat fragmentation. Therefore, for efficient protection of habitat network security, it is necessary for planners to pay attention to the important corridors for connecting the habitats. The results of this study in the South Khorasan Province can pave the way for operational measures to be taken to construct and plan the protection of corridors and improve the habitat performance of the landscape.

Cite this article: Mohammadpour, N., Jahanishakib · F., Asadolai, Z. (2024). Development of Sustainable Protection of Biodiversity using Modeling Corridors of the Landscape Based on Circuit Theory. *Geography and Environmental Sustainability*, *13* (4), 55-68. DOI: 10.22126/GES.2023.9490.2680

© The Author(s).
Publisher: Razi University
DOI: 10.22126/GES.2023.9490.2680

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

توسعه حفاظت پایدار تنوع زیستی با مدل‌سازی کریدورهای سیمای سرزمین مبتنی بر تئوری مدارها

ندا محمدپور[۱]| فاطمه جهانی‌شکیب[۲]| زهرا اسدالهی[۳]

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: jahanishakib@birjand.ac.ir
۳. گروه محیط‌زیست و شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹

کلیدواژه‌ها:
کریدور زیستگاهی،
تئوری مدار الکتریکی،
گسیختگی زیستگاه،
برنامه‌ریزی پایدار،
استان خراسان جنوبی.

چکیده

مدل‌سازی ارتباطات شبکه‌های زیستگاهی در برنامه‌ریزی حفاظت پایدار از تنوع زیستی، یکی از اولویت‌های جهانی بوم‌شناسی سیمای سرزمین و امنیت بوم‌شناختی است. تخریب ساختار سیمای سرزمین با ایجاد زیستگاه‌های ازهم‌گسیخته و قطع اتصال در لکه‌های سیمای سرزمین منجر به اختلال در عملکردهای بوم‌شناختی می‌گردد. ازاین‌رو، هدف این پژوهش مدل‌سازی کریدورهای سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی است تا بتوان از طریق ایجاد ارتباطات بین زیستگاه‌ها، پیوستگی شبکه زیستگاهی را تقویت نمود. این امر، علی‌رغم پرهیز از مدیریت جزیره‌ای مناطق تحت حفاظت، باعث حفاظت پایدار از امنیت بوم‌شناختی می‌گردد. بدین منظور، ابتدا نقشه کیفیت زیستگاه‌های محدوده مطالعه مدل‌سازی شد، سپس به نقشه مقاومت زیستگاه تبدیل گردید. نقاط داغ زیستگاهی نیز از نقشه کیفیت زیستگاه با روش گتیس_ارد جی استخراج گردید. در گام نهایی، کریدورهای زیستگاهی و مهم‌ترین نواحی ارتباطی بر مبنای تئوری مدارهای الکتریکی و با استفاده از نقشه‌های کیفیت و مقاومت زیستگاه با نرم‌افزار رستر مبنای Circuitscape مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد نواحی مختلف، قابلیت ایجاد شدت‌جریان صفر تا ۱۱۴/۵ آمپر را دارا هستند که حدود ۳۳٪ معادل ۴۹۴۴۲۰۰ هکتار از کل محدوده مطالعه را شامل می‌شود که ازاین‌بین ۹۰۰ هکتار به‌عنوان کریدور داغ می‌تواند تسهیلگر جریان یا جابه‌جایی گونه‌ها به شمار رود. به‌طوری‌که حفاظت از این کریدورها، می‌تواند اثرات منفی گسیختگی زیستگاه‌ها را ازطریق ایجاد ارتباط بین جمعیت‌های جداافتاده، تا حدی جبران نماید؛ بنابراین، برای حفاظت پایدار از تنوع زیستی، توجه به کریدورهای مهم و بهینه جهت برقراری اتصال بین زیستگاه‌ها و ممانعت از گسیختگی آن از سوی برنامه‌ریزان و متولیان امر ضروری است. نتایج این پژوهش در استان خراسان جنوبی، می‌تواند رهگشای اقدامات عملیاتی جهت احداث و برنامه‌ریزی حفاظت از کریدورهای اصولی باشد و عملکرد زیستگاهی سیمای سرزمین را افزایش دهد.

استناد: محمدپور، ندا؛ جهانی‌شکیب، فاطمه؛ اسدالهی، زهرا (۱۴۰۲). توسعه حفاظت پایدار تنوع زیستی با مدل‌سازی کریدورهای سیمای سرزمین مبتنی بر تئوری مدارها. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳ (۴)، ۵۵-۶۸. DOI: 10.22126/GES.2023.9490.2680

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گسیختگی زیستگاه‌ها، قطع حرکت موجودات و جریان ژنی بین آنها تهدیدی برای عرضه خدمات زیستگاهی در سیمای سرزمین محسوب می‌شود و می‌تواند جمعیت‌های گونه‌ها را به ورطه نابودی و انقراض بکشاند (McRae, 2006). در برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، لازم است شبکه‌ای از لکه‌ها[1] یا زیستگاه‌های متصل به‌هم از طریق کریدورها[2] و جریان موجودات زنده درنظر گرفته شود (Ingegnoli, 2002). تخریب ساختار سیمای‌سرزمین با ایجاد زیستگاه‌های ازهم‌گسیخته و قطع اتصال در لکه‌های سیمای سرزمین می‌تواند در عملکردهای بوم‌شناختی مانند گرده‌افشانی، انتقال بذر، جریان ژن، مهاجرت و تولیدمثل حیات‌وحش اختلال ایجاد کند (Yang & Lou, 2011). ارتباط سیمای سرزمین، میزان توانایی ساختار و ترکیب سیمای سرزمین در تسهیل حرکت افراد و جمعیت‌ها در میان لکه‌های زیستگاهی تعریف می‌شود و یک ویژگی بسیار مهم سیمای سرزمین به‌شمار می‌رود (McRae & Beier, 2007).

با توسعه سرزمین و تغییر سیماهای طبیعی و بکر به سایر کاربری‌های موردنیاز انسان، سیماهای طبیعی بزرگ و یکپارچه به لکه‌های کوچک و تکه‌تکه‌ای تبدیل شده‌اند که در بعضی موارد به‌طور کلی از بین رفتند، این لکه‌های کوچک و طبیعی به‌عنوان "جزایری" مجزا در میان سایر اکوسیستم‌های تغییریافته تعبیر می‌شوند (Bodin & Norberg, 2007). در حقیقت جزایر زیستگاهی به زیستگاه‌هایی اطلاق می‌شود که بدون ارتباط عملکردی و یا ساختاری در میان اکوسیستم‌های تغییریافته قرار گرفته‌اند. عدم‌وجود پیوستگی بوم‌شناختی و جریان زیستی در بین این زیستگاه‌ها موجب منزوی شدن جوامع و مرگ تدریجی تنوع‌زیستی در جزایر زیستگاهی متروک خواهد شد که تهدیدهای اصلی برای عملکرد اکوسیستم محسوب می‌شوند (Hough, 2004). کارآمدی مفهوم عرضه خدمات اکوسیستم برای مدیریت اکوسیستم و سیمای سرزمین بستگی به بخشی از توانایی درک ما درباره ارتباطات بین ساختار سیمای سرزمین، حرکت موجودات زنده و مواد از طریق سیمای سرزمین و در نتیجه عرضه خدمات گوناگون اکوسیستم دارد (Poor et al., 2012; Wu et al., 2021).

برقرار نمودن و حفظ جریان ژنی بین زیستگاه‌ها و جمعیت‌های گونه‌ها جهت ممانعت از تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها در میان مدت و پیشگیری از انقراض گونه‌ها در بلندمدت از اهداف عمده طراحی کریدورها و اتصالات بوم‌شناختی محسوب می‌شود و موجب حفظ و عرضه خدمات زیستگاهی می‌شود (McManus et al., 2022). در واقع، بهبود اتصال بوم‌شناختی یک اولویت جهانی برای حفاظت از تنوع‌زیستی (Crooks & Sanjayan, 2006) در مسائل بوم‌شناسی سیمای سرزمین و امنیت بوم‌شناختی است. الگوهای امنیت بوم‌شناختی می‌توانند یکپارچگی و وضعیت سلامت کنونی اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین پتانسیل طولانی مدت آن در حفاظت از تنوع‌زیستی و احیاء بوم‌شناختی سیمای سرزمین را مشخص کنند (Yang & Lou, 2011). از این‌رو، یک روش مهم در بهینه‌سازی شبکه زیستگاه‌ها و یک اقدام مؤثر برای حفظ عملکرد طبیعی اکوسیستم‌ها از طریق مدل‌سازی کریدورها و اتصالات سیمای سرزمین محسوب می‌شوند.

توانایی مدل‌سازی دقیق ارتباطات سیمای سرزمین ابزار ارزشمندی برای مدیریت منابع و برنامه‌ریزی حفاظت پایدار است. برنامه‌ریزی حفاظت پایدار در وهله اول مستلزم شناسایی الگوهای امنیت بوم‌شناختی از طریق مدل‌سازی زیستگاه‌های مناسب و باکیفیت، شناسایی پارامترهای زیستگاهی مؤثر بر پویایی پراکنش گونه‌ها و مدل‌سازی ارتباطات زیستگاه‌هاست (Khosravi & Hemami, 2019). برای شناسایی و کمی نمودن ارتباطات زیستگاهی ابزارهای گوناگونی توسعه یافته است که از داده‌های سیمای سرزمین استفاده می‌نماید. از جمله این روش‌ها می‌توان به رویکردهای حداقل هزینه[3]، افزونه Corridor Designer در محیط ArcGIS، متریک‌های قابل محاسبه در FRAGSTATS، LINKAGE MAPPER و تئوری مدار الکتریکی[4] اشاره کرد که از بین آنها دو رویکرد حداقل هزینه و تئوری مدار الکتریکی کاربرد

1. Patch
2. Corridor
3. Least Cost Path
4. Circuit theory

وسیع‌تری داشته‌اند (Cushman et al., 2013; McRae et al., 2014).

مبنای تئوری مدار الکتریکی، در تحقیقات حفاظت تنوع زیستی در مقیاس‌های فضایی وسیع مورداستفاده قرار گرفته است (Cushman et al., 2013; Dickson et al., 2019; McRae et al., 2014) و به یکی از پرکاربردترین پراکندگی رویکردهای مدل‌سازی ارتباط تبدیل شده است. ابزارهای کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین در مطالعات مختلف برای بررسی شرایط زیستگاه‌ها، ایجاد معیارهای ارتباط لکه‌های زیستگاهی، جمعیت گونه‌ها یا مناطق حفاظت شده و شناسایی عناصر ارتباطی مهم (کریدورها) برای پیش‌بینی الگوهای حرکتی و احتمالات جهت برنامه‌ریزی حفاظت مورد بررسی قرار گرفته است و به عنوان رویکردهای موثر مدل‌سازی اتصال در مقیاس‌های مختلف معرفی شده‌اند. دریلسما و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از رویکرد حداقل هزینه، کریدورهای زیستگاهی را ترسیم و ارزش اتصالات را در حفظ پیوستگی بوم‌شناختی بررسی نمودند (Drielsma et al., 2007).

مانوس و همکاران (۲۰۲۲) با هدف ارزیابی اتصال زیستگاه پلنگ در آفریقای جنوبی به شناسایی کریدورهای متصل کننده جمعیت این گونه با استفاده از تئوری مدار الکتریکی پرداختند (McManus et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر اسلاملو و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تئوری مدار الکتریکی و مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به ارزیابی اتصال زیستگاه در بین مناطق حفاظت شده و ضرورت برنامه‌ریزی حفاظتی در منطقه لارستان ایران پرداختند (Eslamlou et al., 2022). همچنین ملکوتی‌خواه و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی ارتباطات زیستگاهی آهوی ایرانی و قوچ و میش اصفهانی در استان اصفهان پرداختند و با استفاده از تئوری مدار الکتریکی الگوی حرکت، ارتباطات عملکردی این گونه‌ها و نواحی مهم ارتباطی در منطقه را شناسایی کردند (ملکوتی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای دیگر کامیاب و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از تئوری مدار الکتریکی به شناسایی الگوی حرکت، ارتباطات عملکردی و نواحی مهم ارتباطی در پارک ملی گلستان برای گونه پلنگ ایرانی پرداختند (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۸).

درک فرایندهای محیط‌زیستی در مقیاس وسیع به ارتباطات سیمای سرزمین بستگی دارد و اتخاذ تصمیمات مؤثر برنامه‌ریزی حفاظتی برای حفظ آنها نیازمند تعیین کمیت چگونگی تأثیر ارتباط توسط ویژگی‌های چشم‌انداز است. اکوسیستم‌های مناطق خشک از قابلیت‌ها و ارزش‌های بوم‌شناختی بالایی برخوردار هستند. لکن متأسفانه هم‌اکنون چالش‌های حفاظتی بسیار زیادی با خود به همراه داشته که عوامل مختلفی مانند وقوع خشکسالی‌های طولانی و مکرر در کنار بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی مخرب و رشد جمعیت، تنوع زیستی را تهدید و زوال آن را شدت بخشیده است. از جمله این چالش‌ها گسیختگی و نابودی زیستگاه‌هاست که به‌عنوان اصلی‌ترین تهدید متوجه جمعیت‌ها و گونه‌ها شناخته می‌شود. یوزپلنگ آسیایی مهم‌ترین گونه به‌شدت در معرض خطر انقراض است که از زیستگاه‌های آن می‌توان به پناهگاه حیات‌وحش نایبندان استان خراسان جنوبی اشاره کرد. از مهم‌ترین عواملی که بقای این گونه را تهدید می‌کند می‌توان توسعه کشاورزی، معدن‌کاوی و سایر طرح‌های زیربنایی، کمبود منابع آب و خشکسالی و تخریب و گسیختگی زیستگاه را نام برد (Farhadinia et al., 2017; Marker et al., 2003).

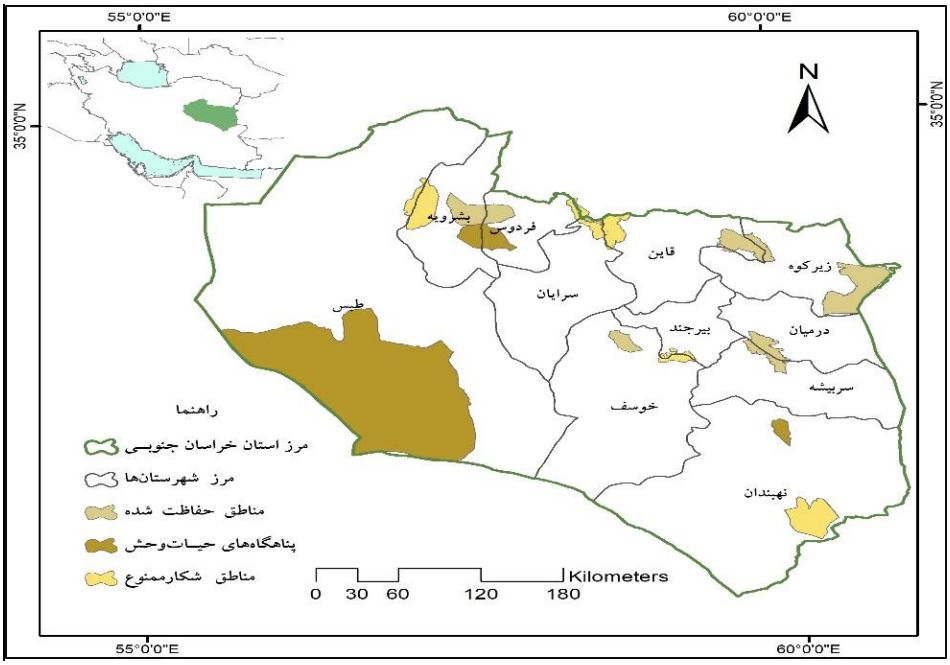
ازدست‌رفتن ارتباطات زیستگاهی می‌تواند منجر به کاهش اندازه و کیفیت زیستگاه‌ها شده که به نوبه خود باعث کاهش اندازه جمعیت‌ها و تنوع ژنتیکی استان خواهد شد. با وجود تحقیقات منتشر شده در زمینه کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین، تاکنون در استان خراسان جنوبی مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی انجام نشده است. نوآوری دیگر این تحقیق، شناسایی کریدورهای بالقوه مؤثر برای تشکیل شبکه زیستگاهی سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی با تئوری مدارهاست که می‌تواند باعث حفاظت پایدار امنیت بوم‌شناختی شود؛ بنابراین مفروض است که تلفیق تئوری مدار الکتریکی و مدل‌سازی خدمت زیستگاهی می‌تواند به شناسایی کریدورهای مهم کمک نماید. هدف این پژوهش مدل‌سازی کریدورهای سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی با استفاده از تئوری مدار الکتریکی است تا بتوان از طریق ایجاد ارتباطات بین زیستگاه‌ها، پیوستگی شبکه زیستگاهی را تقویت نمود و گامی مؤثر در حفظ عملکرد طبیعی اکوسیستم‌های مناطق خشک و برنامه‌ریزی حفاظت پایدار آن برداشت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

استان خراسان جنوبی به‌عنوان دومین استان بیابانی کشور (استانداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۸) در شرق ایران بین ۵۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۴/۶ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی به مرکزیت شهر بیرجند قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین سالانه بارش و دما در استان به ترتیب ۱۵۵ میلی‌متر و ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است (جهانگیر و سارانی‌راد، ۱۳۹۸). استان خراسان جنوبی دارای هفت منطقه حفاظت شده، سه پناهگاه حیات‌وحش و شش منطقه شکار ممنوع است و به لحاظ موقعیت جغرافیایی، اقلیمی و پستی و بلندی دارای طیف گسترده‌ای از اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌هایی است که موجب غنای جانوری آن در مناطق خشک شده است.

در استان خراسان جنوبی، ۴۴ گونه پستاندار شناسایی شده است (محیط‌زیست استان خراسان‌جنوبی، ۱۳۹۹الف) که بیشترین تعداد گونه مربوط به خانواده موشها ۱۰ گونه، خانواده گربه‌سانان ۶ گونه، خانواده سگ‌سانان ۵ گونه، خانواده خفاشان ۵ گونه، خانواده گاوسانان ۴ گونه است. مجموعا ۴۹ خانواده، ۲۲۸ گونه پرنده برای خراسان‌جنوبی شناسایی شده است (محیط‌زیست استان خراسان‌جنوبی، ۱۳۹۹ب) که به‌طور خلاصه بیشترین گونه‌های پرندگان متعلق به خانواده توکاها با ۲۷ گونه، قوش‌ها ۱۹ گونه، سسک‌ها ۱۸ گونه، آبچلیک ۱۲ گونه، سهره‌ها ۱۲ گونه و اردک‌ها ۱۱ گونه است. بر طبق لیست IUCN[1]، ۱ گونه جانوری (یوزپلنگ) در طبقه گونه‌های به‌شدت در معرض خطر انقراض (CR)، ۳ گونه جانوری شامل پلنگ، بالابان و کرکس مصری در طبقه گونه‌های در معرض خطر انقراض (EN) و ۱۰ گونه جانوری شامل قوچ و میش، کل و بز، آهو، زرده‌بر، عقاب شاهی، هوبره، عقاب تالابی، لاک‌پشت مهمیزدار، آگامای سروزغی ایرانی و لاک‌پشت آسیایی در طبقه آسیب‌پذیر (VU) قرار دارند (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۲). از این‌رو، بسیاری از اقدامات حفاظتی اکنون بر حفظ و تقویت ارتباطات زیستگاهی و تضمین تعادل بوم‌شناختی اکوسیستم استوار است. بنابراین، این استان با قرار داشتن در بیوم ایران تورانی که میزان بارندگی کم و فصل خشک طولانی می‌باشد، به‌عنوان یک منطقه مطالعاتی، فرصتی را برای بررسی مسائل متعدد مرتبط با برنامه‌ریزی و مدیریت ارتباط زیستگاه تحت عنوان شناسایی کریدورهای زیستگاهی و حفاظت از ساختارهای ارتباطی فراهم می‌کند.

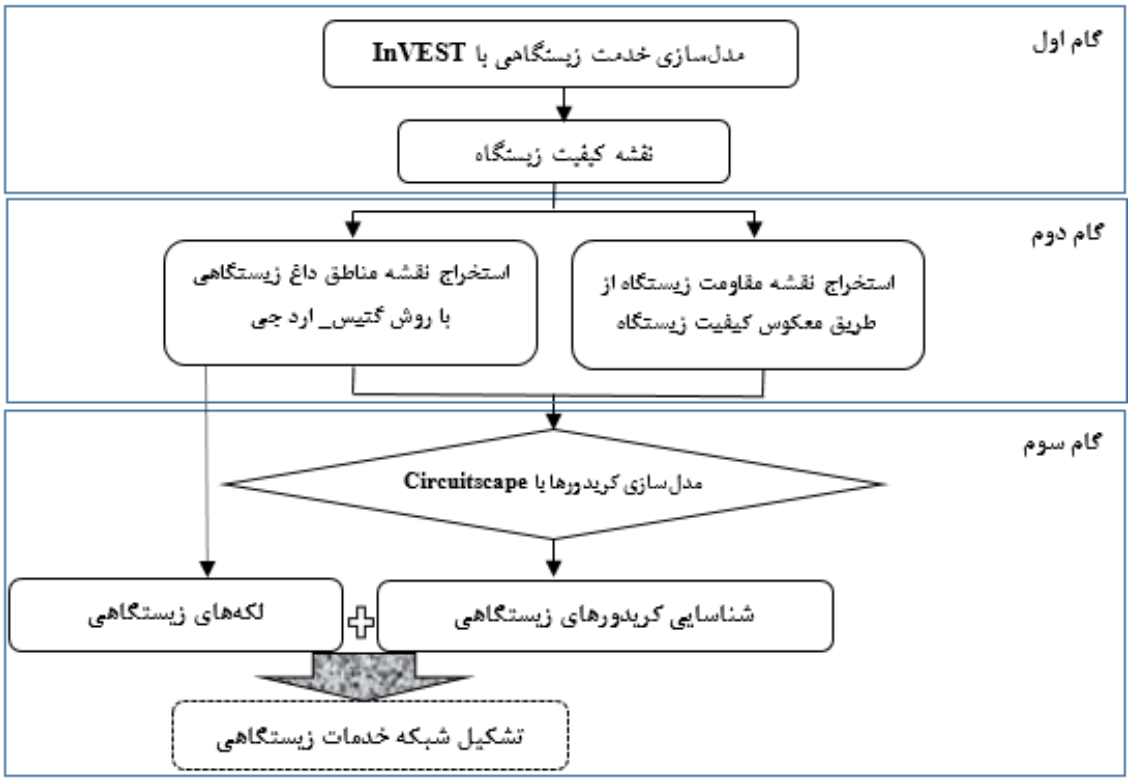


شکل ۱. موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

1. International Union for Conservation of Nature

روش کار

همان‌طور که در چارچوب روش‌شناختی این پژوهش (شکل ۲) مشاهده می‌شود در گام اول، کیفیت زیستگاه در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل InVEST مدل‌سازی شد. در گام دوم براساس نقشه مدل‌سازی‌شده زیستگاه بدست آمده در گام قبلی، نقشه مقاومت زیستگاه به منزله معکوس کیفیت زیستگاه در نظر گرفته شد. سپس نقشه مقاومت زیستگاه و مناطق داغ زیستگاهی، به‌عنوان ورودی در نرم‌افزار Circuitscape، تهیه گردید. همچنین مناطق داغ زیستگاهی از طریق داده‌کاوی فضایی به روش گتیس_ارد جی (Getis-Ord Gi) استخراج گردید. در گام سوم با اجرای نرم‌افزار Circuitscape، کریدورهای زیستگاهی در سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی برمبنای تئوری مدارهای الکتریکی طراحی شد.



شکل ۲. چارچوب روش‌شناختی از گام‌های انجام پژوهش

روش گردآوری داده‌ها

روش پژوهش حاضر، توصیفی_تحلیلی است. داده‌های موردنیاز در فرایند مدل‌سازی، از طریق طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آرشیوهای سازمانی مورداستفاده قرار گرفته است. بدین منظور نخست لایهٔ پردازش شده کاربری اراضی/ پوشش زمین از سایت Esri (https://www.esri.com/) که حاصل تفسیر تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با درجه تفکیک ۱۰ متر و بادقت بالاتر از ۸۵٪ مربوط به سال ۲۰۲۰ تهیه شد. این لایه از طریق الگوریتم یادگیری عمیق طبقه‌بندی شده است. در ادامه با تصاویر موجود در سازمان‌ها، منابع معتبر موجود و گوگل ارث تطابق داده شد و از صحت بالای آن برای منطقه موردمطالعه اطمینان حاصل گردید. در مرحله بعد هرکدام از طبقات جنگل‌ها و مراتع بر اساس آماره میانه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مستخرج از تصاویر مادیس ۱۱ سپتامبر ۲۰۲۰ (eModis NDVI V6) دانلود شده از سایت (https://earthexplorer.usgs.gov/) به دوطبقه کم‌تراکم و پرتراکم در مناطق خشک و نیمه‌خشک تفکیک گردید. مقیاس مدل‌سازی در اندازه سلول‌های ۳۰ متر در ۳۰ متر تنظیم شده است و تمامی نقشه‌ها در سیستم مختصات Lambert Conformal Conic تهیه شده است.

گام اول: برای مدل‌سازی کیفیت زیستگاه از مدل InVEST استفاده شده است. این مدل زیستگاه محور است و می‌تواند وضعیت زیستگاه را برای هر مقیاسی از پوشش زمین تخمین بزند (Wu et al., 2021). این مدل با هدف تولید نقشه کیفیت

زیستگاه و حفاظت تنوع‌زیستی، داده‌های انواع کاربری و منابع تهدیدات زیستگاه را تلفیق نموده و با مشخص‌کردن انواع مختلف کاربری اراضی به‌عنوان زیستگاه بالقوه گونه‌های مختلف، نقشه کیفیت زیستگاه را تولید می‌کند. برای تهیه داده‌های مطلوبیت زیستگاه، یک امتیاز مناسب زیستگاهی نسبی به یک نوع کاربری اراضی تخصیص داده شد که بین صفر تا یک متغیر است. امتیاز یک نشان‌دهنده بالاترین تناسب زیستگاه است و امتیاز کمتر از یک نشان دهنده زیستگاه‌هایی با تناسب کمتر است. پارامترهای وزن عوامل تهدید، حداکثر فاصله عوامل تهدید، نوع تابع تنزل اثر تهدید، مطلوبیت زیستگاه و حساسیت زیستگاه به منابع تهدید با بکارگیری دانش تخصصی و مرور منابع (Ding et al., 2021; Hack et al., 2020; Wu et al., 2021) مطابق با راهنمای مدل InVEST بررسی و تعیین شد. در این مدل مقدار کل تهدید تحت‌عنوان «درجه تخریب» محاسبه شد که در نهایت داده‌های انواع کاربری و مقدار کل تهدیدات زیستگاه در مدل تلفیق و مقدار کیفیت زیستگاه محاسبه گردید. کیفیت زیستگاه تابعی از مناسب بودن زیستگاه و درجه تخریب است که برای هر سلول با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$Q_{xj} = H_j \left(1- \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z}\right)\right) \quad (۱)$$

کیفیت زیستگاه در سلول x که در کاربری j قرار دارد با Q_{xj} نشان داده می‌شود. Z=2.5 و k پارامترهای مقیاسی است (ثابت). Q_{xj} معادل صفر است اگر $H_j=0$ باشد Q_{xj} با H_j افزایش و با D_{xj} کاهش می‌یابد. Q_{xj} هرگز نمی‌تواند بزرگ‌تر از ۱ باشد. ثابت نیمه اشباع در مدل به‌صورت پیش‌فرض ۰/۵ تنظیم شده است. با اجرای مدل، میزان تخریب در هر سلول تعیین و نصف بیشترین میزان تخریب، ثابت نیمه اشباع را مشخص می‌کند که در این پژوهش با اجرای مدل، ۰/۲ در نظر گرفته شد.

گام دوم: به منظور تهیه نقشه مقاومت زیستگاه، ایده استفاده از مدل‌های کیفیت زیستگاهی برای محاسبه مقاومت اجرایی گردید. بدین دلیل که در سیمای سرزمین، پیکسل‌هایی با کیفیت زیستگاهی مطلوب (تراکم کم تهدیدهای انسانی) حاوی منابع فراوان و خطر مرگ‌ومیر پایین است که سیمای سرزمین قابل نفوذ را فراهم می‌کند. از این‌رو، مقاومت کمی در برابر عبور گونه دارند. در حالی‌که پیکسل‌هایی با کیفیت زیستگاهی ضعیف (تراکم بالای تهدیدهای انسانی) مقاومت زیادی در برابر حرکت گونه نشان می‌دهند و ممکن است منابع کمیاب و خطر مرگ‌ومیر بالایی داشته باشند (Wang et al., 2008). این بدین معنا است که میان مقاومت و کیفیت زیستگاه رابطه‌ای معکوس وجود دارد و می‌توان از نقشه کیفیت زیستگاه جهت تهیه نقشه مقاومت استفاده نمود (Crooks & Sanjayan, 2006). از این‌رو، نقشه ورودی مقاومت نیز بر مبنای نقشه کیفیت زیستگاه و با معکوس نمودن ارزش نقشه رستری کیفیت زیستگاه آماده گردید.

در این پژوهش، زیستگاه‌هایی که حداقل مطلوبیت در مدل کیفیت زیستگاه را داشتند (کیفیت‌های کمتر از ۰/۵) به‌عنوان سیماهای با مقاومت بالا مشخص گردیدند. سپس نقاط داغ این خدمت (لکه‌های دارای بالاترین کیفیت) با روش داده‌کاوی فضایی گتیس_ارد جی در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد. نقشه ورودی ابزار داده‌کاوی گتیس_ارد جی، نقشه کیفیت زیستگاه است و منبع آن، نقشه تولید شده در گام قبل است. در نهایت فایل گره (لکه‌های زیستگاهی) موردنیاز در قالب نقاط داغ شناسایی شده به‌عنوان نقشه ورودی کیفیت زیستگاه آماده گردید. از آنجایی‌که نرم‌افزار Circuitscape از داده‌هایی با فرمت ASCII استفاده می‌کند، پس از تهیه نقشه‌های مقاومت و نقاط داغ زیستگاهی، در محیط نرم‌افزار TerrSet، فرمت آنها به فرمت مورد نظر تبدیل شد.

گام سوم: در ادامه از تئوری مدار و نرم‌افزار Circuitscape جهت مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی سیمای سرزمین استفاده شد. نقشه‌های خروجی این نرم‌افزار باتوجه‌به ماهیت داده‌های ورودی، نقشه‌های ولتاژ و جریان در هر سلول را در هر نوع توزیع سیمای سرزمین نشان می‌دهد که با استفاده از نقشه جریان می‌توان کریدورهای زیستگاهی را تعیین و شناسایی نمود. نرم‌افزار Circuitscape برنامه‌ای است که از تئوری مدارهای الکترونیکی برای پیش‌بینی ارتباط جمعیت‌های حیات‌وحش در سیمای سرزمین‌های ناهمگن در حرکت انفرادی افراد، جریان ژن و برنامه‌ریزی حفاظت بهره می‌برد (McRae et al., 2014). تئوری مدار بسیاری از مسیرهای بالقوه برای جریان را درجایی‌که کمترین مقاومت وجود دارد، پیش‌بینی می‌کند. Circuitscape برای طراحی کریدور بین زیستگاه‌ها از دو نقشه ورودی مطلوبیت یا کیفیت زیستگاه و مقاومت (مناطق

نامناسب برای ایجاد جریان ارتباطی) استفاده می‌کند. اجرای این برنامه به چهار حالت دو به دو[1]، یکی به همه[2]، همه به یکی[3] و پیشرفته[4] اجرا می‌شود. برای نقشه‌سازی مناطق ارتباطی مهم در میان لکه‌های زیستگاهی از حالت دو به دو استفاده شد. همچنین، به‌علت وسعت بالای منطقه مورد مطالعه، پردازش‌های این مرحله در اندازه سلول ۳۰ متری با کامپیوترهای موجود قابل اجرا نبود. بنابراین با تغییر اندازه سلول به ۱۰۰۰ متر اجرای این حالت ممکن شد. مطابق پژوهش‌های انجام شده توسط توسعه‌دهنده‌گان این نرم‌افزار، نتایجی که با اندازه سلول‌های بزرگتر حاصل می‌شود با نتایج حاصل از اندازه سلول‌های کوچکتر مشابه است (McRae et al., 2008).

نتایج

ارزیابی کیفیت زیستگاه مطابق با چارچوب ذکر شده پژوهش انجام گردید. بدین منظور وضعیت منابع تهدید، موقعیت و پراکندگی آنها با مرور مطالعات گسترده (Ding et al., 2021; Hack et al., 2020; Wu et al., 2021) تعیین و ۱۰ منبع تهدید شامل اراضی کشاورزی، روستاها و شهرها، معادن و مناطق صنعتی، راه‌آهن و جاده‌های اصلی و فرعی، کانون‌های گرد و غبار و نقاط وقوع جرم و کشف سلاح به‌عنوان مهم‌ترین منابع تهدید کیفیت زیستگاه شناسایی شدند. جدول‌های ۱ و ۲ بیانگر پارامترهای وزن‌دهی شده در مدل InVEST براساس نظرات کارشناسی است.

جدول ۱. تهدیدها

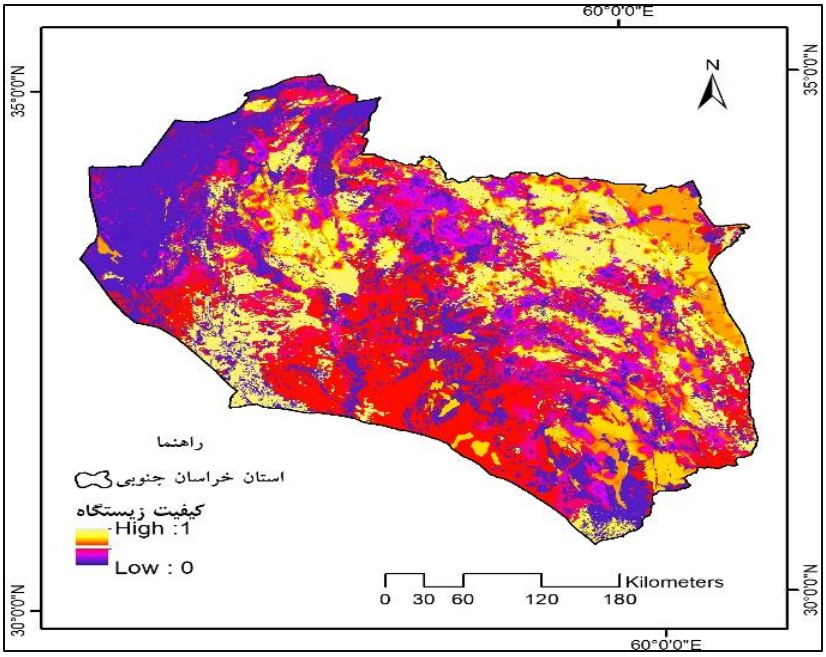
تهدید	حداکثر فاصله اثرگذاری (کیلومتر)	وزن (عددی بین صفر تا یک)	نوع تابع تنزل (خطی یا نمایی)
اراضی کشاورزی	۱	۰/۲	۰
مناطق روستاها	۴	۰/۵	۱
شهرها	۱۰	۱	۱
فعالیت‌های معدن‌کاوی	۵	۱	۱
مناطق صنعتی	۸	۱	۱
جاده‌های اصلی	۳	۰/۷	۰
جاده‌های فرعی	۲	۰/۶	۰
راه‌آهن	۵	۰/۷	۱
کانون‌های گردوغبار	۵	۰/۸	۰
نقاط وقوع جرم و کشف سلاح	۹	۰/۷	۰

جدول ۲. مطلوبیت زیستگاه و حساسیت تیپ‌های زیستگاهی به منابع تهدید

تهدید / کاربری	مطلوبیت زیستگاه	اراضی کشاورزی	مناطق روستاها	شهرها	فعالیت‌های معدن‌کاوی	مناطق صنعتی	جاده اصلی	جاده فرعی	راه‌آهن	کانون‌های گردوغبار	نقاط وقوع جرم و کشف سلاح
بدنه آبی و دق‌ها	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۲	۰/۱	۰/۶
جنگل تنک	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۹	۰/۹	۰/۵	۰/۳	۰/۷	۰/۷	۰/۸
جنگل انبوه و نیمه‌انبوه	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۱	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۹
کشاورزی	۰/۳	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۸	۰/۴
شهر	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۳	۰/۷	۰	۰	۰/۳	۰/۶	۰/۲
بایر	۰/۱	۰	۰/۱	۰	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۴	۰/۲
مراتع تنک	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۷	۰/۶
مراتع متراکم و نیمه‌متراکم	۰/۹	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۷

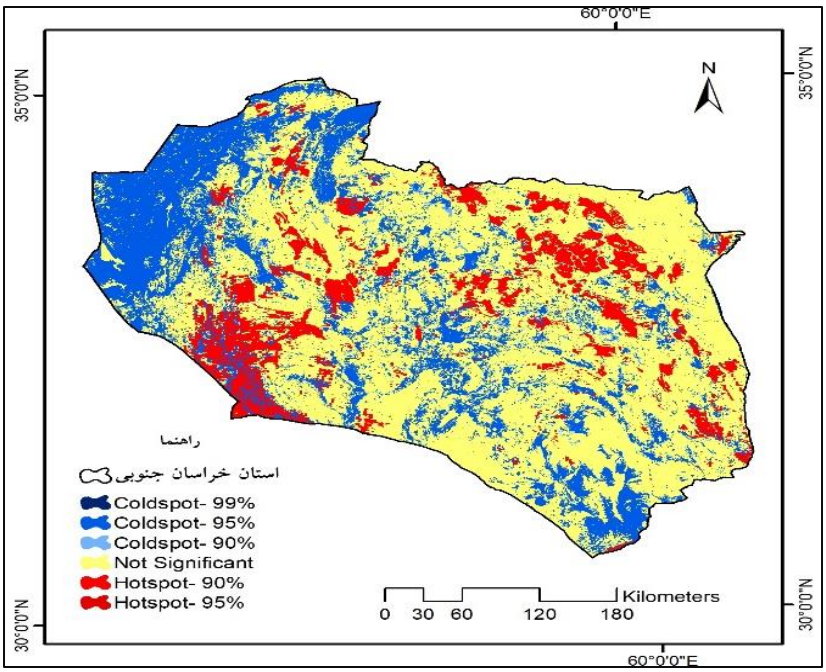
1. Pairwise
2. One to all
3. All to one
4. Advanced

کیفیت زیستگاه مستقیماً با مطلوبیت هر طبقه کاربری برای ارائه زیستگاه جهت حفاظت تنوع زیستی و عرضه خدمت زیستگاهی مرتبط است و نقشه خروجی به وسعت و کیفیت زیستگاه‌ها اشاره دارد. در شکل ۳، الگوی فضایی کیفیت زیستگاه استان خراسان جنوبی با طیفی از مقادیر بین صفر تا ۱ نشان داده شده است. نواحی زیستگاهی با رنگ زرد بالاترین کیفیت و نواحی زیستگاهی با رنگ بنفش حداقل کیفیت زیستگاه را دارا هستند.



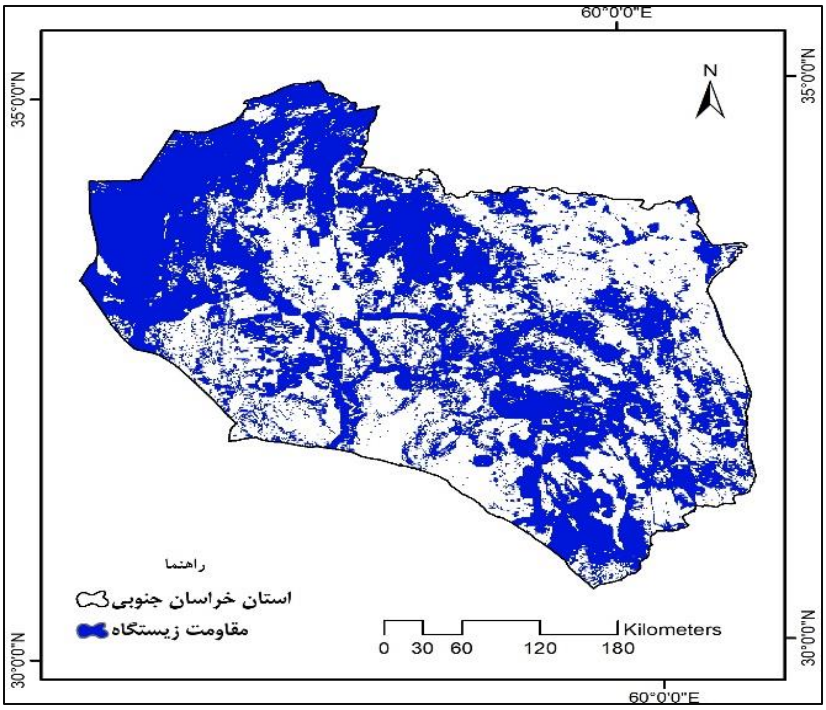
شکل ۳. نقشه مدل‌سازی شده خدمت کیفیت زیستگاه استان خراسان جنوبی

در شکل ۴ پراکنش الگوی نقاط داغ زیستگاهی استان با روش گتیس_ارد جی در درجات متفاوتی از سطح اطمینان نقاط داغ و سرد زیستگاهی مشاهده می‌شود. بطوری‌که، وسیع‌ترین نقاط داغ زیستگاهی در استان را با سطح اطمینان ۹۵٪ به رنگ قرمز مشخص شده است.

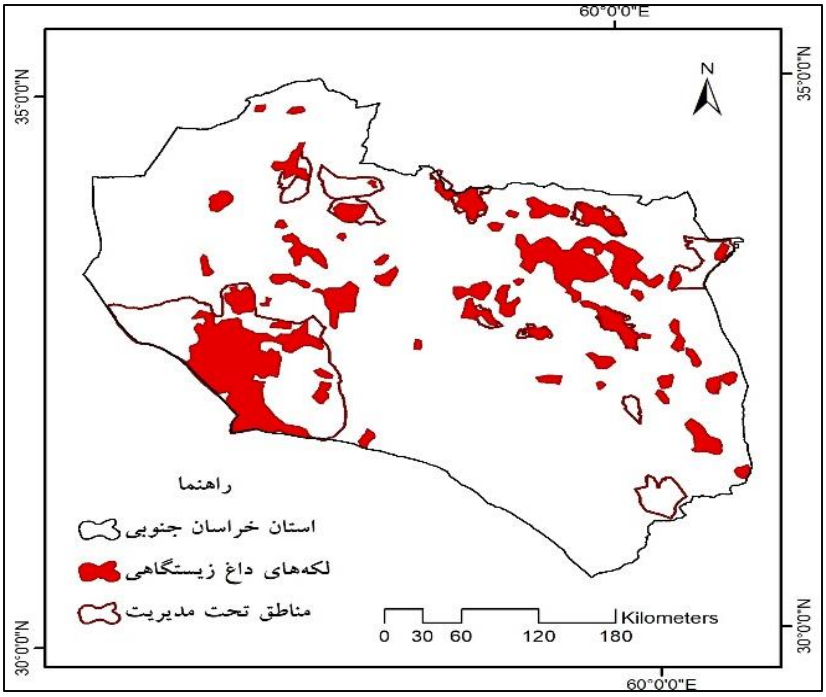


شکل ۴. نقشه پراکندگی نقاط داغ زیستگاهی حاصله از روش گتیس_ارد جی

شکل ۵، نقشه مقاومت زیستگاه در استان را به‌عنوان ورودی گام بعدی نشان می‌دهد. همچنین به‌منظور شناسایی و غربالگری مطلوب‌ترین نواحی زیستگاهی از روش گتیس_ارد جی، فیلتر مد ۷×۷ در نرم‌افزار TerrSet جهت نرم‌سازی بکار گرفته شد. مطابق شکل ۶، ۴۸ لکه زیستگاهی در سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی شناسایی شد که به‌عنوان ورودی نرم‌افزار Circuitscape وارد گردید.



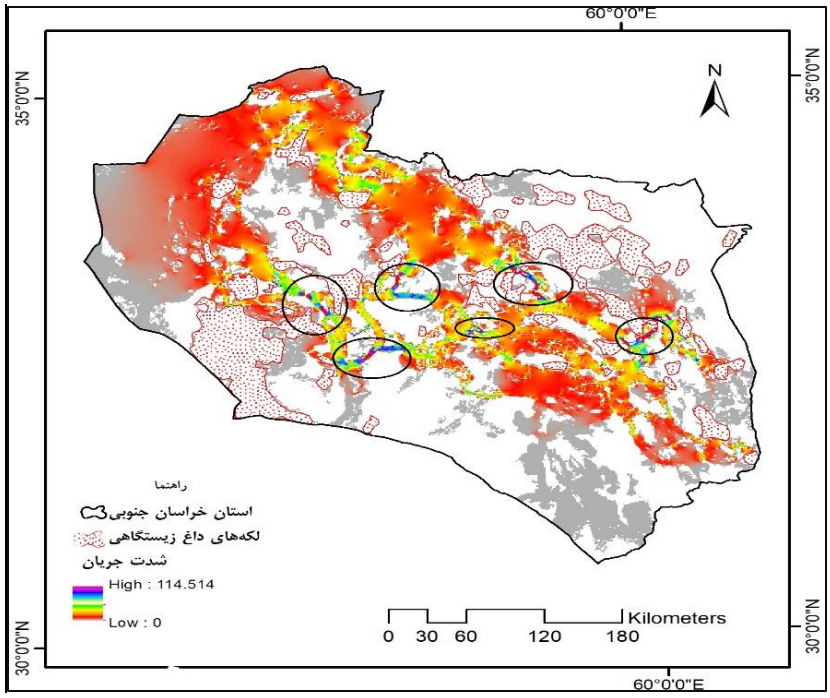
شکل ۵. نقشه مقاومت زیستگاه‌های مدل‌سازی‌شده در استان خراسان جنوبی



شکل ۶. نقشه همپوشانی لکه‌های داغ زیستگاهی با مناطق تحت مدیریت

نتایج خروجی حاصل از اجرای Circuitscape میزان تراکم جریان ارتباطی کریدورهای شبکه ارتباطی را نشان می‌دهد

(شکل ۷). مطابق با این شکل نواحی مختلف قابلیت ایجاد شدت جریان صفر تا ۱۱۴/۵۱۴ آمپر را دارا هستند. این نواحی حدود ۳۳٪ معادل ۴۹۴۴۲۰۰ هکتار از کل محدوده مطالعه را شامل می‌شود که از این بین ۹۰۰ هکتار نواحی حاوی شدت بالای جریان را پوشش می‌دهند. به‌طور خاص حداکثر تراکم جریان در مناطقی هستند که دارای حداکثر پتانسیل تسهیل‌گری، ایجاد جریان، جابجایی یا حرکت گونه‌ها هستند و کمترین مقاومت موثر را دارند. این نقشه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای ترسیم و تعیین کریدورهای زیستگاهی پیشنهاد شود. یکی از نتایج مهم نقشه‌های حاصل از اجرای این مدل، شناسایی مناطقی است که حرکت جریان از طریق ناحیه باریکی (Pinch point) صورت می‌گیرد (شکل ۷).



شکل ۷. تراکم جریان کریدورهای بالقوه حاصل از اجرای مدل Circuitscape و نمایش نواحی مهم ارتباطی در شبکه زیستگاهی استان خراسان جنوبی

بحث

مدل‌سازی وضعیت کیفیت زیستگاه تأثیر حیاتی بر راهبردهای حفاظت از تنوع زیستی دارد. کیفیت زیستگاه به‌تناسب زیستگاه و تأثیر تهدیدهای مختلف بر گسیختگی زیستگاه‌ها، بستگی دارد. تهدیدهای مؤثر در گسیختگی سیمای سرزمین، عملکردها و فرایندهای اکوسیستم را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به کاهش عرضه خدمت زیستگاهی می‌شوند (Schröter et al., 2005). بنابراین چگونگی ساخت شبکه‌های بوم‌شناختی از طریق شناسایی و تسهیل اتصالات زیستگاه‌ها و برنامه‌ریزی بهبود عملکرد آنها یک راه‌حل مقابله با این بحران و حفاظت پایدار زیستگاه‌ها محسوب می‌شود. ازاین‌رو در این مطالعه برای اولین‌بار از تئوری مدار الکتریکی و با به‌کارگیری مدل‌سازی خدمت زیستگاهی در مقیاس فضایی جهت بررسی ارتباطات زیستگاهی و شناسایی کریدورهای بالقوه مؤثر برای تشکیل شبکه زیستگاهی سیمای سرزمین استان خراسان جنوبی استفاده شد.

این مطالعه با بکارگیری خدمت زیستگاهی (کیفیت زیستگاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین خدمات لکه‌های زیستگاهی و مسیرهای ارتباطی با دیدگاه شبکه‌ای) در شناسایی کریدورهای زیستگاهی، رویکرد نوینی در طرح‌های حفاظتی در راستای بقای گونه‌ها و تنوع‌زیستی و حفظ تاب‌آوری محدوده مطالعه در برابر فشارهای انسانی ارائه کرده است. استفاده از تئوری مدار الکتریکی برای شناسایی کریدورهای زیستگاهی نشان داد، تلفیق این تئوری و مدل‌سازی خدمت زیستگاهی (ویژگی عملکردی کیفیت زیستگاه) برای مدیریت زیستگاه‌ها با توجه به نیاز و حساسیت گونه‌ها، مقاومت سیمای سرزمین و توانایی

گونه‌ها برای حرکت بین زیستگاه‌ها می‌تواند کارآمد باشد. شناسایی کریدورهای زیستگاهی در این پژوهش در کنار لکه‌های زیستگاهی مهم (نقاط داغ) بیان‌کننده نیاز شبکه زیستگاهی استان به توسعه کریدورهای مهم و بهینه جهت برقراری اتصال بین زیستگاه‌ها و ممانعت از گسیختگی آن با هدف برنامه‌ریزی حفاظت از سوی برنامه‌ریزان و متولیان امر است. همچنین اقدامی مؤثر برای حفظ یکپارچگی ساختار، عملکرد و فرآیندهای اکوسیستم محسوب می‌شود.

در این راستا تسهیل اتصال زیستگاه‌ها با ایجاد مناطق جدید تحت حفاظت یا تعیین گذرگاه‌های حیات‌وحش (Eslamlou et al., 2022)، تخمین و تعیین اتصالات سیمای سرزمین جهت یازیابی گونه‌ها و طراحی شبکه‌های حفاظتی (Koen et al., 2019)، ایجاد فرصت‌هایی برای حفظ ارتباطات سیمای سرزمین علی‌رغم وجود تهدیدهای انسانی (Dutta et al., 2016) از جمله اهداف مهم مدیریت سیمای سرزمین در حفاظت زیستگاه‌هاست که می‌تواند به‌عنوان پیامدهای اولویت‌دار در تدوین استراتژی‌های حفاظتی و افزایش عملکرد سیمای سرزمین در برنامه‌ریزی حفاظت استفاده شود. نتایج پژوهش حاضر با مطالعات پیشین (Dutta et al., 2016; Eslamlou et al., 2022; Koen et al., 2019) از منظر دستیابی به اهداف مدیریت سیمای سرزمین و در جهت اقدامات احیاء بوم‌شناختی مطابقت داشته و بنابراین نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. از دیگر نتایج مهم این پژوهش شناسایی نواحی مهم ارتباطی با استفاده از این تئوری بود.

این نواحی ارتباطی مهم که Pinch point نام دارند (Malakoutikhah et al., 2014) حساس‌ترین مناطق شبکه ارتباطی هستند و حذف یا کاهش لکه‌های زیستگاهی در اثر فشار ناشی از تهدیدهای موثر در گسیختگی این مناطق، منجر به اختلال در عملکرد یا قطع ارتباط در کل سیمای سرزمین استان می‌شود. این موضوع، شبکه ارتباطی خدمت زیستگاهی استان را تحت‌تأثیر قرار داده و در یکپارچگی عرضه حداکثری خدمت زیستگاهی، اختلال ایجاد می‌کند. موضوع عدم‌قطعیت در نتایج این پژوهش، حائز اهمیت است، ازاین‌رو لازم است ورودی‌های مدل به‌صورت مداوم به‌روزرسانی گردند. به طور نمونه، وزن عوامل تهدید بر اساس نظر کارشناسی استخراج می‌شود و باتوجه‌به دانش و تجربه کارشناسان در زمان‌های مختلف می‌تواند امتیازدهی گردد و مورد حساسیت‌سنجی قرار گیرد. اگرچه حداکثر فاصله عوامل تهدید از دید کارشناسان دارای عدم‌قطعیت است؛ اما در شرایط داشتن داده‌های میدانی از پراکنش حیات‌وحش و اثرات بالفعل تهدیدها، می‌توان بر پایه پردازش‌های آماری این ضریب را با عدم‌قطعیت کمتری به دست آورد که این امر در پژوهش حاضر به دلیل عدم دسترسی به داده‌های موثق در سطح کل استان ممکن نبوده است. سهولت حرکت در امتداد نواحی مهم ارتباطی (مشروط به حفاظت آنها) می‌تواند اثرات منفی گسیختگی زیستگاه‌ها را با اتصال جمعیت‌های جدا شده تا حدودی جبران نماید و به شناسایی و بازنگری خلأهای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی کمک کند؛ بنابراین حفاظت از این نواحی از اهمیت بسزایی برخوردار است و حفظ ارتباطات و برنامه‌ریزی بهبود عملکرد آنها در این نواحی می‌تواند مدیریت زیستگاه‌های استان را در جهت دستیابی به امنیت بوم‌شناختی و اهداف توسعه پایدار کارآمدتر نماید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش حفاظت پایدار از تنوع‌زیستی با روش مبتنی بر مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی و تئوری مدار الکتریکی انجام شد. اهمیت انجام این پژوهش جهت شناسایی کریدورهای ارتباطی بین لکه‌های زیستگاهی بدان جهت است که تئوری مدار الکتریکی برخلاف سایر روش‌های شناسایی کریدورهای زیستگاهی، مانند مسیر کمترین هزینه (LCP) که ایجاد یا عدم ایجاد اتصال را نشان می‌دهند، امکان ارزیابی قدرت و شدت اتصال را فراهم می‌کند (McRae et al., 2008). از فواید کاربرد تئوری مدار در زمینه بررسی ارتباطات زیستگاهی و شناسایی کریدورها، بکارگیری شاخص‌های این تئوری همچون جریان الکتریکی است که ساده و قابل فهم می‌باشد؛ ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به نتایج بهتر، این مدل همراه با سایر مدل‌ها مانند تئوری گراف استفاده شود؛ چراکه تئوری گراف علاوه بر اولویت‌بندی لکه‌ها و کریدورهای زیستگاهی، قابلیت فراهم نمودن گزینه‌های بهینه جهت ارتقا و بهبود پیوستگی شبکه ارتباطی سیمای سرزمین را داراست؛ بنابراین تلفیق نتایج آنها مکمل یکدیگر خواهد بود که به شکل دقیق‌تر قابل‌تفسیر است.

نتایج این پژوهش می‌تواند اثرهای مثبتی در برنامه‌ریزی حفاظت پایدار اکوسیستم‌های مناطق خشک داشته باشد.

این‌گونه ارزیابی نه‌تنها به ارزیابی وضع موجود کمک می‌کند بلکه نواحی دارای عملکرد بالا را برای تعریف مناطق تحت حفاظت جدید پیشنهاد می‌دهد. همچنین از طریق شناسایی نقاط حساس راه موثری برای کاهش تناقضات بین حفاظت محیط‌زیست و توسعه اقتصادی ارائه می‌دهد (Yu, 1996). بکارگیری نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت سوق دادن برنامه‌ریزی‌های حفاظت و تشکیل و توسعه شبکه بوم‌شناختی استان مبتنی بر عرضه خدمت زیستگاهی استفاده شود تا بتواند بقای حیات‌وحش و تنوع‌زیستی را با بیشترین سود و کمترین هزینه تضمین نماید. همچنین به‌عنوان رویکردی نوآورانه و راهبردهای مؤثر حفاظتی، موجب یکپارچگی و عرضه حداکثری این خدمت می‌شود که مدیران سرزمینی را قادر به دستیابی امنیت بوم‌شناختی و در نهایت توسعه پایدار می‌سازد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از بخشی از پایان‌نامه انجام شده در دانشگاه بیرجند است. بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه و مسئولان محترم سازمان حفاظت محیط‌زیست تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

استانداری خراسان‌جنوبی (۱۳۹۸)، *آمایش سرزمین استان خراسان جنوبی*، بیرجند: استانداری خراسان جنوبی.

اداره محیط‌زیست استان خراسان‌جنوبی (۱۳۹۹الف)، *پستانداران استان خراسان‌جنوبی*، بیرجند: محیط‌زیست استان.

اداره محیط‌زیست استان خراسان‌جنوبی (۱۳۹۹ب)، *پرندگان استان خراسان‌جنوبی*، بیرجند: محیط‌زیست استان.

جهانگیر، محمدحسین؛ سارانی‌راد، محمد (۱۳۹۸). بررسی وضعیت خشک‌سالی در استان خراسان جنوبی توسط شاخص درصد بارش نرمال (PNPI) و شاخص روش استانداردسازی (Z). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۱(۴)، ۴۸-۵۹. https://jest.srbiau.ac.ir/article_14562.html?lang=fa

کامیاب، حمیدرضا؛ باقری، عاطفه؛ شهبازی، علی (۱۳۹۸). به‌گزینی کریدور زیستگاهی گونه پلنگ ایرانی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش تئوری مدار الکتریکی. *نشریه علمی پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۱۰(۲۰)، ۲۰۹-۲۱۸. Doi: 20.1001.1.20089597.1398.10.20.17.7

محمدپور، ندا؛ جهانی‌شکیب، فاطمه؛ اسدالهی، زهرا (۱۴۰۲). مدلسازی عرضه خدمت زیستگاهی و داده‌کاوی فضایی نقاط داغ در اکوسیستم‌های مناطق خشک. *نشریه محیط‌شناسی*، ۴۹(۱)، ۳۳-۴۹. Doi: 20.1001.1.10258620.1402.49.1.7.7

ملکوتی‌خواه، شیما؛ فاخران، سیما؛ سفیانیان، علیرضا (۱۳۹۲). استفاده از تئوری مدارهای الکتریکی جهت شناسایی کریدورهای مهاجرتی بین پناهگاه‌های حیات‌وحش موته و قمشلو در استان اصفهان. بوم‌شناسی کاربردی، ۲(۵)، ۷۷-۸۸. Doi: 20.1001.1.24763128.1392.2.5.7.4

References

Bodin, Ö., & Norberg, J. (2007). A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. *Landscape Ecology*, *22*(1), 31–44. doi: 10.1007/s10980-006-9015-0

Crooks, K. R., & Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/cbo9780511754821

Cushman, S. A., McRae, B., Adriaensen, F., Beier, P., Shirley, M., & Zeller, K. (2013). Biological corridors and connectivity. *Key Topics in Conservation Biology 2*, 384–404. doi: 10.1002/9781118520178.ch21

Department of environment in South Khorasan (2020), *Mammals of South Khorasan*. (In Persian).

Department of environment in South Khorasan (2020), *Birds of South Khorasan*. (In Persian).

Dickson, B. G., Albano, C. M., Anantharaman, R., Beier, P., Fargione, J., Graves, T. A., Gray, M. E., Hall, K. R., Lawler, J. J., & Leonard, P. B. (2019). Circuit-theory applications to connectivity science and conservation. *Conservation Biology*, *33*(2), 239–249. doi: 10.1111/cobi.13230

Ding, Q., Chen, Y., Bu, L., & Ye, Y. (2021). Multi-scenario analysis of habitat quality in the Yellow River delta by coupling FLUS with InVEST model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2389. doi: 10.3390/ijerph18052389

Drielsma, M., Manion, G., & Ferrier, S. (2007). The spatial links tool: automated mapping of habitat

linkages in variegated landscapes. *Ecological Modelling*, *200*(3–4), 403–411. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.08.017

Dutta, T., Sharma, S., McRae, B. H., Roy, P. S., & DeFries, R. (2016). Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India. *Regional Environmental Change*, *16*(1), 53–67. doi: 10.1007/s10113-015-0877-z

Eslamlou, K., Ahmadi Nadoushan, M., Chamani, A., & Moshtaghie, M. (2022). Habitat Suitability and Landscape Connectivity of Laristan Mouflon (Ovis Orientalis Laristanica). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, *46*(1), 73–80. doi: 10.1007/s40995-021-01238-6.

Farhadinia, M. S., Hunter, L. T. B., Jourabchian, A., Hosseini-Zavarei, F., Akbari, H., Ziaie, H., Schaller, G. B., & Jowkar, H. (2017). The critically endangered Asiatic cheetah Acinonyx jubatus venaticus in Iran: a review of recent distribution, and conservation status. *Biodiversity and Conservation*, *26*(5), 1027–1046. doi: 10.1007/s10531-017-1298-8

Hack, J., Molewijk, D., & Beißler, M. R. (2020). A conceptual approach to modeling the geospatial impact of typical urban threats on the habitat quality of river corridors. *Remote Sensing*, *12*(8), 1345. doi: 10.3390/RS12081345

Hough, M. (2004). *Cities and natural process Routledge*. https://doi.org/10.4324/9780203643471

Ingegnoli, V. (2002). *Landscape ecology: a widening foundation*. Springer Science & Business Media. doi: 10.1007/978-3-662-04691-3

Jahangir, M. H., & Saranirad, M. (2019). Evaluation of drought in South Khorasan province (Iran) using normal precipitation index (PNPI) and standardized method index (Z). *Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(4), 45–59. https://jest.srbiau.ac.ir/article_14562.html**.** (In Persian).

Kamyab, H., Bagheri, A., & Shahbazi, A. (2020). Applying Electrical Circuit Theory to Optimizing Habitat Corridors for Panthera Pardus Saxicolor sp. in Golestan National Park. *Environmental Researches*, *10*(20), 209–218. https://www.iraneiap.ir/article_108563.html?lang=fa. (In Persian).

Khosravi, R., & Hemami, M.-R. (2019). Identifying landscape species for ecological planning. *Ecological Indicators*, *99*, 140–148. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.12.010

Koen, E. L., Ellington, E. H., & Bowman, J. (2019). Mapping landscape connectivity for large spatial extents. *Landscape Ecology*, *34*(10), 2421–2433. doi: 10.1007/s10980-019-00897-6

Land use Planning of South Khorasan Province, 2019. *Management and Planning Organization of South Khorasan Province*. (In Persian).

Malakoutikhah, S., Fakheran, S., & Soffianian, A. (2014). Applying Circuitscape Theory to Identify Migration Corridors Between Mooteh and Ghamishloo Wildlife Refuges in Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, *2*(5), 77–89. https://ijae.iut.ac.ir/article-1-386-fa.html**.** (In Persian).

Marker, L. L., Dickman, A. J., Mills, M. G. L., & Macdonald, D. W. (2003). Aspects of the management of cheetahs, Acinonyx jubatus jubatus, trapped on Namibian farmlands. *Biological Conservation*, *114*(3), 401–412. doi: 10.1016/S0006-3207(03)00068-5

McManus, J., Schurch, M. P. E., Goets, S., Faraut, L., Couldridge, V., & Smuts, B. (2022). Delineating Functional Corridors Linking Leopard Habitat in the Eastern and Western Cape, South Africa. *Conservation*, *2*(1), 99–121. doi: 10.3390/conservation2010009

McRae, B H, Shah, V., & Mohapatra, T. (2014). *CIRCUITSCAPE User Guide Version 4.0*. The Nature Conservancy. https://circuitscape.org/downloads/circuitscape_4_0.pdf

McRae, Brad H. (2006). Isolation by resistance. *Evolution*, *60*(8), 1551–1561. doi: 10.1554/05-321.1

McRae, Brad H, & Beier, P. (2007). Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(50), 19885–19890. doi: 10.1073/pnas.0706568104

McRae, Brad H, Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, *89*(10), 2712–2724. doi: 10.1890/07-1861.1

Mohammadpour, N., Jahanishakib, F., & Asadolahi, Z. (2023). Modeling the Supply of Habitat

Service and Spatial Data mining of Hotspots in Arid Ecosystems. *Journal of Environmental Studies*, *49*(1), 1–20. doi: 10.22059/JES.2023.343520.1008322. (in Persian).

Poor, E. E., Loucks, C., Jakes, A., & Urban, D. L. (2012). Comparing habitat suitability and connectivity modeling methods for conserving pronghorn migrations. *PloS One*, *7*(11), e49390. doi: 10.1371/journal.pone.0049390

Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T. R., & Gracia, C. A. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, *310*(5752), 1333–1337. doi: 10.1126/science.1115233

Wang, Y.-H., Yang, K.-C., Bridgman, C. L., & Lin, L.-K. (2008). Habitat suitability modelling to correlate gene flow with landscape connectivity. *Landscape Ecology*, *23*(8), 989–1000. doi: 10.1007/s10980-008-9262-3

Wu, L., Sun, C., & Fan, F. (2021). Estimating the characteristic spatiotemporal variation in habitat quality using the invest model—A case study from Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Remote Sensing*, *13* (5), 1008. doi: 10.3390/rs13051008

Yang, X., & Lou, C. (2011). The study of network ecosystem integrity. *2011 Fourth International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering*, 247–250. doi: 10.1109/ BIFE.2011.141

Yu, K. (1996). Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape and Urban Planning*, *36*(1), 1–17. doi: 10.1016/S0169-2046(96)00331-3