ارزیابی و برنامه‌ریزی فضایی پیوستگی بوم شناختی سیمای سرزمین در راستای مدیریت تنوع زیستی (منطقه مورد مطالعه: استان قزوین)

آصف درویشی[۱]، نغمه مبرقعی دینان[۱*]، شهیندخت برق‌جلوه[۱] و مریم یوسفی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۷)

چکیده

گسستگی زیستگاه‌ها و سامانه‌های زیستی و به‌دنبال آن افول پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، از دلایل اصلی نابودی تنوع زیستی به حساب می‌آیند که جریان ماده، انرژی و اطلاعات را در مقیاس سیمای سرزمین مختل کرده است. نظر به اهمیت این موضوع، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی پیوستگی بوم‌شناختی و برنامه‌ریزی فضایی سیمای سرزمین استان قزوین در جهت احیا و حفاظت از گذرگاه‌های جریان ماده، انرژی و اطلاعات با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین است. بدین منظور با استفاده از نقشه کاربری و پوشش اراضی، نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی شناسایی و شاخص‌های اثر مانع و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین با استفاده از مدل‌سازی ریاضی با الگوریتم مدل‌ساز در محیط GIS پهنه‌بندی شد. سپس لکه‌های مستعد برای احیا و حفاظت به‌طور مکانی در سیمای سرزمین شناسایی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ۹۰ درصد از مساحت استان دارای عملکرد بوم‌شناختی و ۱۰ درصد از آن فاقد عملکرد بوم‌شناختی است. ۳ درصد از نواحی فاقد عملکرد بوم‌شناختی به‌وسیله موانع انسان ساخت مانند ایجاد شبکه جاده‌ای، رشد شهرها و توسعه صنایع، و ۷ درصد نیز تحت تأثیر عارضه‌های انسان ساخت، عملکرد بوم‌شناختی خود را از دست داده‌اند. در این تحقیق به‌منظور برنامه‌ریزی فضایی، چهار گذرگاه برای جریانات ماده، انرژی و اطلاعات شناسایی شد. نتایج این تحقیق در برنامه‌های مدیریتی مناطق حفاظت شده و آمایش سرزمین و همچنین ارزیابی اثرات توسعه و ارزیابی راهبردی محیط زیست قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: بوم‌شناسی، سیمای سرزمین، تنوع زیستی، جریان ماده-انرژی و اطلاعات، استان قزوین

۱. گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

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

مقدمه

تکه تکه شدگی زیستگاه با گذشت زمان باعث دور افتادگی لکه‌های زیستگاهی و کاهش پیوستگی بوم‌شناختی می‌شود (۱). تکه تکه شدگی زیستگاه جدی‌ترین تهدید برای تنوع زیستی و انقراض گونه‌ها در حال حاضر است (۱۰ و ۲۱). از سال ۱۹۹۰، دغدغه‌های علمی مربوط به تکه تکه شدگی زیستگاه‌ها، سامانه‌های زیستی و به دنبال آن سیمای سرزمین و همچنین پیوستگی بوم‌شناختی وارد عرصه سیاسی شده است (۲۲). به‌عنوان مثال می‌توان از استراتژی جهانی برای تنوع زیستی (Global Strategy for Biodiversity, 1992)، دستورالعمل زیستگاه (Habitat Directive, 1992)، استراتژی زیستی و تنوع سیمای سرزمین اروپا (Paneuropean Strategy of Biological and Landscape Diversity, 1995) و یا استراتژی تنوع زیستی جامعه اروپا (Biodiversity Strategy of the European Community, 1998) نام برد (۲۵). اعلامیه شبکه بوم‌شناختی اروپا (EECONET) که مورد تأیید اتحادیه اروپا قرار گرفته است، باعث توسعه شبکه‌های بوم‌شناختی در بسیاری از کشورهای اروپایی شده است (۱۹). اصول اعلامیه گفته شده شامل موارد زیر است (۱۵): ۱- شبکه باید مناطقی را که از نظر حفاظت از تنوع زیستی و سیمای سرزمین دارای اهمیت بالایی هستند در بر بگیرد. ۲- شبکه باید حفاظت از فرایندها و پیوستگی‌های بوم‌شناختی را تضمین کند. ۳- شبکه باید در برنامه‌ریزی منطقه گنجانده شود. ۴- در نهایت باید توسعه پایدار را ارتقاء دهد.

با فراهم کردن امکان جابه‌جایی و پراکندگی گونه‌ها در سیمای سرزمین، می‌توان باعث افزایش انعطاف پذیری اکوسیستم‌ها و کاهش اثر تکه تکه شدگی زیستگاه شد (۱۷). بنابر این با اقدامات لازم برای حفظ و بازسازی پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین می‌توان عملکردهای بوم‌شناختی سیمای سرزمین را تضمین نموده و خدمات اکوسیستمی را ارتقا داد (۱۶). پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین یک ویژگی ساختاری- عملکردی است که به میزان سهولت و یا محدودیت سیمای سرزمین برای جریان ماده، انرژی و اطلاعات در میان لکه‌های بوم‌شناختی مختلف اطلاق می‌شود (۳۰). پیوستگی عملکرد بوم‌شناختی به‌دلیل فراهم کردن اتصالات بوم‌شناختی از مهم‌ترین انواع اتصالات است (۱۶).

روش‌های مختلفی در سراسر جهان برای مطالعه پیوستگی سیمای سرزمین توسعه پیدا کرده که معمولاً بر اساس اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین بوده است (۳، ۶، ۱۳، ۱۴، ۲۱ و ۲۸). از این میان می‌توان به روش ارائه شده در مطالعه برنت (۴) در هلند، سپ و همکاران (۲۹) در شبکه بوم‌شناختی استونی، ماروول و مایاراچ (۲۵) در مطالعه پیوستگی ایالت کاتالونیا در کشور اسپانیا، ایندرایانی و همکاران (۱۴) و داکامپورا و همکاران (۶) اشاره کرد. درویشی و همکاران (۷ و ۹) از سنجه‌های سیمای سرزمین جهت برآورد پیوستگی زیستگاه سیاه خروس قفقازی در منطقه ارسباران استفاده کرده‌اند. این سنجه‌ها یکی از روش‌های محاسبه پیوستگی بوم‌شناختی هستند که در بیشتر موارد، درون لکه‌های زیستگاهی را پیوسته در نظر نمی‌گیرند (۳۰). مدل تناسب زیستگاه (Habitat Suitability Model) یکی دیگر از روش‌های برآورد پیوستگی زیستگاه است که بر اساس پیوستگی زیستگاه یک گونه خاص محاسبه می‌شود (۶ و ۲۱). بانی و همکاران (۳) از رویکرد ژنتیک سیمای سرزمین (Landscape Genetics Approach) برای برآورد پیوستگی بوم‌شناختی جمعیت‌های سمندر آتشی (*Salamandra salamandra*) استفاده کرده‌اند. این رویکرد برای برآورد پیوستگی جمعیت‌های یک گونه خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. شفیعی‌نژاد و همکاران (۳۰) پیوستگی بوم‌شناختی لکه‌های سبز شهری را با استفاده از تئوری گراف مورد ارزیابی قرار داده‌اند که این مطالعه به‌طور هدفمند بر روی فضای سبز شهری متمرکز بوده است. همچنین این مدل لکه‌های زیستگاهی را به‌طور نقطه و گذرگاه‌ها را به‌طور اتصالات نقاط در نظر می‌گیرد و پیوستگی درون لکه‌ای و یا فضایی بودن پهنه لکه‌ها در این مدل نادیده گرفته می‌شود. هوو و همکاران (۱۳) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل اکونت (Econet)، پیوستگی بوم‌شناختی را محاسبه کرده‌اند. در این مطالعه علاوه بر لکه‌های

جدول ۱. مقایسه مدل‌ها و روش‌های ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین

ردیف	منبع	کشور مورد مطالعه	مدل و روش محاسبه	ویژگی و وجه تمایز مدل‌ها
۱	درویشی و همکاران (۷ و ۹)	ایران	سنجه‌های سیمای سرزمین	آسان ولی دقت پایین و همچنین بدون انعطاف
۲	مکی و همکاران (۲۱)	ایران	مدل مطلوبیت زیستگاه	کاربرد گسترده، نتایج مطلوب، مطلوبیت (پیوستگی) زیستگاه یک گونه خاص
۳	بانی و همکاران (۳)	ایتالیا	مدل ژنتیکی سیمای سرزمین	نتایج دقیق، لزوم تهیه اطلاعات گسترده
۴	شفیعی‌نژاد و همکاران (۳۰)	ایران	تئوری گراف	نتایج دقیق، پیوستگی یک زیستگاه خاص، نادیده گرفتن پیوستگی درون لکه‌ای
۵	هوو و همکاران (۱۳)	آلمان	مدل اکونت	نتایج دقیق، اطلاعات مورد نیاز کم، پیوستگی یک اکوتون خاص
۶	مارول و مایاراچ (۲۵)	اسپانیا	مدل‌های مبتنی بر GIS	اندازه‌گیری راحت، نتایج دقیق و قابل قبول، اطلاعات مورد نیاز کم، انعطاف قابل قبول در اجرای مدل، محاسبه پیوستگی در مقیاس سیمای سرزمین و برای کل تنوع زیستی

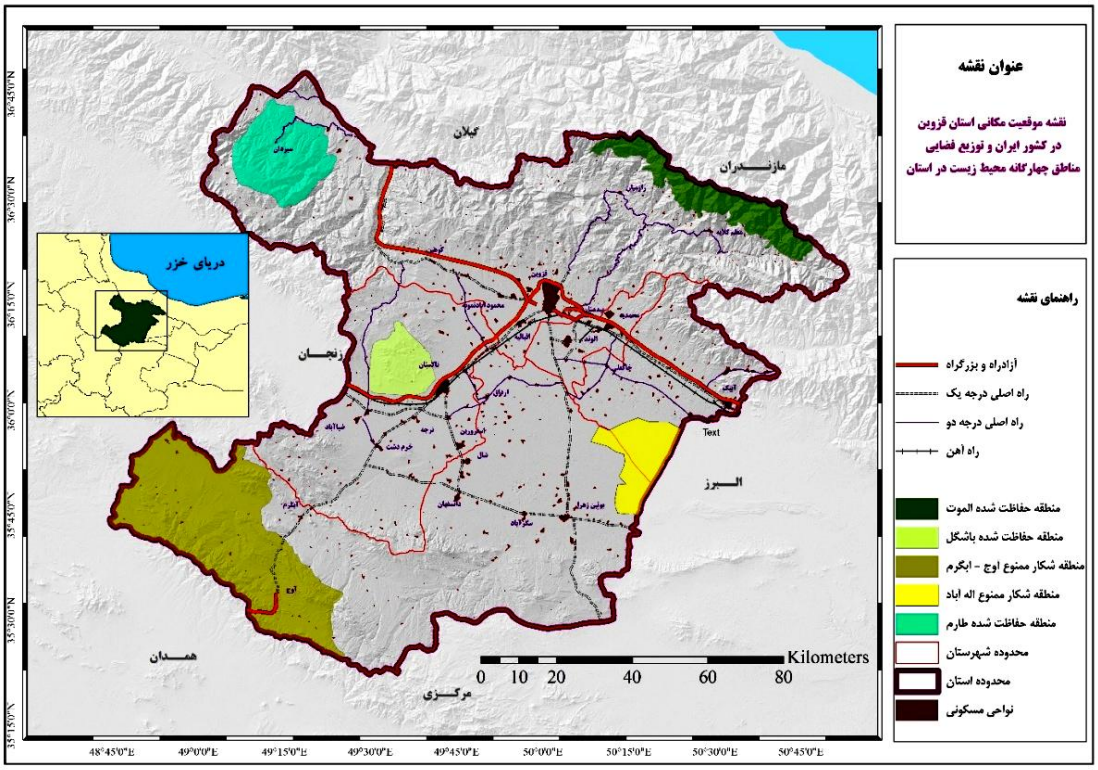
زیستگاهی و اکوتون‌ها، موانع نیز در محاسبه مدل نقش داشته‌اند. در این پژوهش پیوستگی زیستگاهی در زیستگاه‌های جنگلی محاسبه شده و مطالعه در مقیاس سیمای سرزمین و با در نظر گرفتن همه انواع زیستگاه‌ها نبوده است. مارول و مایاراچ (۲۵) با الهام گرفتن از مدل اکونت، در مطالعه خود از مدل مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت محاسبه پیوستگی سیمای سرزمین استفاده کرده‌اند، به‌طوری‌که در این مطالعه همه لکه‌های زیستگاهی از تمام اکوتون‌ها برای تمام گونه‌های حیات وحش در نظر گرفته شده است. به دلیل گستردگی روش‌ها و مدل‌های برآورد پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، برخی از آنها به عنوان نمونه در جدول ۱ ذکر شده است.

بیشتر مطالعات برای ارزیابی پیوستگی بوم‌شناختی بر پیوستگی زیستگاه یک گونه خاص (۱۷) تأکید داشته‌اند و یا پیوستگی یک اکوتون خاص مانند لکه‌های سبز شهری (۳۰) و یا جنگلی (۱۳) را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. همچنین بیشتر مدل‌ها و روش‌های ارائه شده نیاز به داده‌های دقیقی دارند که در بسیاری از موارد به خاطر عدم تأمین بودجه و نبود داده‌های دقیق، غیر قابل استفاده هستند. مدل مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی مارول و مایاراچ (۲۵) با کمترین داده ممکن و با کمترین هزینه می‌تواند پدیده‌های موجود در سیمای سرزمین را تشریح و نتایج قابل قبولی ارائه کند. همان‌گونه که توسط تورنر (۳۱) پیشنهاد شده، ساده‌ترین مدلی که بتواند اطلاعات کافی از پدیده ارائه کند، بهترین مدل است. بنابراین در این تحقیق از مدل مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای بررسی پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین استفاده شده است. هدف از این مطالعه، بررسی پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین استان قزوین در مقیاس سیمای سرزمین است تا بتوان از نتایج آن در برنامه‌ریزی فضایی برای حفظ و احیاء گذرگاه‌ها و پیوستگی سیمای سرزمین استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین یکی از ۳۱ استان کشور است که در دامنه جنوبی رشته کوه البرز واقع شده و از غرب و شمال به‌ترتیب با استان‌های زنجان و گیلان هم‌مرز بوده و از جنوب با استان‌های



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و موقعیت مناطق چهارگانه محیط زیست استان قزوین (منبع: نگارندگان)

(رنگی در نسخه الکترونیکی)

همدان و مرکزی، و از شرق با استان البرز دارای مرز مشترک است (شکل ۱). بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران، این استان با دارا بودن تنها یک درصد از مساحت کشور، در سال ۱۳۹۵ نزدیک به هشت درصد در اقتصاد و تولیدات کشور نقش داشته است. مساحت استان قزوین ۱۵۸۲۰ کیلومتر مربع است. از آنجا که ۱۱ درصد از آثار تاریخی ملی ثبت شده کشور در این استان قرار دارد و همچنین با توجه به نزدیکی آن به تهران و داشتن جاذبه‌های گردشگری،، استان قزوین یکی از مقاصد اصلی گردشگری به‌ویژه برای ساکنان تهران به حساب می‌آید. جمعیت استان بر پایه آمار سال ۱۳۹۵ برابر ۱/۳ میلیون نفر است که از این شمار ۶۰۰،۰۰۰ نفر ساکن شهر قزوین هستند. استان قزوین علاوه بر ویژگی‌های عنوان شده، یکی از مهم‌ترین استان‌های ایران از نظر تنوع زیستی است. سیمای سرزمین استان قزوین از تنوع بالایی برخوردار است به‌طوری‌که در ناحیه شرقی دارای اراضی نیمه بیابانی بوده و در دشت مرکزی شاهد اراضی کشاورزی فشرده و در شمال آن مراتع کم تراکم تا پرتراکم مشاهده می‌شود که تنوع زیستگاهی زیادی را در استان ایجاد کرده است. تنوع زیستگاهی استان باعث شده ۵ ناحیه حفاظتی در آن تعریف شود که شامل سه منطقه حفاظت شده و دو منطقه شکار ممنوع است. بر اساس اطلاعات به دست آمده از اداره کل حفاظت محیط زیست استان قزوین، این استان زیستگاه گونه‌های بسیاری از جمله خرس قهوه‌ای، پلنگ، قوچ و میش، کل و بز، آهو و بسیاری از گونه‌های پستاندار دیگر و همچنین پرندگان زیادی از جمله هوبره است.

استان قزوین نقش گذرگاه بین شمال غرب و مرکز کشور را دارد و از نظر مهاجرت گونه‌های حیات وحش به‌ویژه پستانداران، نقش کلیدی ایفا می‌کند. این استان به دلیل نزدیکی به تهران به سرعت در حال توسعه است و عدم توجه به توسعه درخور آن، می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را به پیکره تنوع زیستی استان و کشور وارد کند.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

نقشه کاربری و پوشش اراضی مورد استفاده در این تحقیق با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ توسط نگارندگان در تابستان سال ۱۳۹۶ تهیه شده و مبنای تهیه آن در مقیاس حدودی ۱:۵۰۰ است. برای تهیه این نقشه، تک تک دهستان‌های استان به‌طور جداگانه پایش میدانی شده و بر پایه نرم‌افزار Google Earth و نقاط برداشت شده توسط GPS رقومی شدند. نقشه راه‌ها به‌عنوان موانع انسان ساخت و نقشه رودخانه‌های استان هم به‌عنوان موانع طبیعی و هم به‌عنوان گذرگاه‌های طبیعی به ترتیب از سازمان شهرسازی و جهاد کشاورزی استان قزوین تهیه شد. اطلاعات مربوط به مناطق چهارگانه محیط زیست از سازمان حفاظت محیط زیست دریافت شد.

روش‌شناسی تحقیق

در این مطالعه وضعیت پیوستگی سیمای سرزمین استان قزوین با روش تحلیل داده‌های مکانی کاربری و پوشش اراضی و زیرساخت‌ها و با ارتقاء و تطبیق روش مارول و مایاراچ (۲۵) بررسی شده است. این روش با استفاده از فرمول‌های ریاضی در محیط مدل‌ساز نرم‌افزار ArcGIS توسعه یافته و اجرا شد. در بخش بعدی مقاله سه مؤلفه اصلی روش شناسی تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است: نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی (Ecological Functional Areas)، شاخص اثر مانع (Barrier Effect Index) و شاخص پیوستگی بوم‌شناختی (Ecological Connectivity Index).

نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی

اولین قدم در این روش، شناسایی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی است. برای ارزیابی پیوستگی بوم‌شناختی ابتدا لازم است نواحی طبیعی و غیرطبیعی که می‌توانند نقش گذرگاه بوم‌شناختی را داشته باشند، شناسایی شوند (۲۲). پیوستگی بوم‌شناختی شرایط جریان ماده، انرژی و اطلاعات را در سیمای سرزمین فراهم می‌کند که برای پایداری فرایندهای بوم‌شناختی لازم و ضروری هستند و می‌توانند مدیریت پایدار تنوع زیستی در سیمای سرزمین را تضمین کنند (۲۵). به بیان ساده‌تر نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی به نواحی از سرزمین گفته می‌شود که گونه‌های جانوری بدون مزاحمت یا با مزاحمت بسیار کم امکان گذر از آن را دارند.

برای شناسایی و نقشه‌سازی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی، ابتدا با استفاده از لایه رقومی کاربری و پوشش اراضی، شش طبقه مختلف کاربری و پوشش اراضی به‌عنوان نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی شناسایی شده و با استفاده از دو معیار کمی، نقشه‌سازی شدند. معیار حداقل مساحت (۲۵ تا ۲۰۰ هکتار) ابتدا با توجه به مقیاس نقشه (۱:۵۰۰) و مرور منابع (۲، ۲۵ و ۳۲) و نظر کارشناسان بوم‌شناس و سپس با در نظر گرفتن حداقل ۳۰ درصد از مساحت طبقات موجود تعیین شد (۲۵).

در بخش دوم، نواحی که مساحتی کوچکتر از حداقل مساحت داشتند و در شش طبقه بالا قرار نگرفتند نیز در دو گروه مجزا در تحلیل‌ها شرکت داده شدند. یکی از این طبقات "کشاورزی و باغ" است که به‌دلیل دشواری تفکیک کشت آبی و باغات و در مواردی که این دو کاربری به صورت مخلوط در منطقه وجود داشتند مورد استفاده قرار گرفته است. این طبقه با ادغام لکه‌های کوچکتر از حداقل مساحت با یکدیگر تهیه شد. طبقه دوم "کشاورزی و مرتع" است که به‌دلیل دشواری تفکیک کشت دیم از مرتع در بخش‌هایی که درهم‌آمیختگی دو کاربری و پوشش زیاد بود مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین این دو ناحیه عملکردی هم مانند بخش اول، حداقل مساحت و حداقل ۳۰ درصد مساحت رعایت شده است.

با در نظر گرفتن بخش دوم، هشت طبقه نواحی عملکردی شناسایی شد که شامل شش طبقه استاندارد و دو طبقه موزاییک به‌هم پیوسته هستند. تمام نواحی که در این هشت طبقه قرار نگرفتند، به‌عنوان نواحی تکه تکه شده در نظر گرفته شدند که از نظر کارشناسان بوم‌شناس هیچ عملکرد بوم‌شناختی شاخصی در مقیاس سیمای سرزمین ندارند.

جدول ۲. حداقل مساحت کاربری و پوشش اراضی دارای عملکرد بوم‌شناختی در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

کد	اراضی دارای عملکرد بوم‌شناختی	مساحت (هکتار)	کد	اراضی دارای عملکرد بوم‌شناختی	مساحت (هکتار)
C1	جنگل	≥۵۰	C5	کشت دیم	≥۱۰۰
C2	مرتع	≥۱۰۰	C6	زمین‌های لخت	≥۲۰۰
C3	کشت آبی	≥۵۰	C7	کشاورزی و باغ مخلوط	≥۵۰
C4	باغات	≥۲۵	C8	کشاورزی و مرتع مخلوط	≥۱۰۰

جدول ۳. ویژگی‌های موانع اساسی در منطقه مورد مطالعه (۲۵)

کد	نوع مانع	وزن (b_s)	ks_1[a]	ks_2[a]
B1	شبکه ارتباطی ثانویه	b_1=۲۰	$k1_1$= ۱۱/۱۰۰	$k1_2$=۰/۲۵۳
B2	معدن‌کاوی، نواحی مسکونی روستایی، صنایع پراکنده	b_2=۴۰	$k2_1$= ۲۲/۲۱۰	$K2_2$=۰/۱۲۳
B3	سطوح آبی	b_3=۵۰	–	–
B4	شبکه ارتباطی اصلی	b_4=۶۰	$k4_1$= ۳۳/۳۱۰	$K4_2$=۰/۰۹۳
B5	بزرگراه و راه‌آهن	b_5=۸۰	$k5_1$= ۴۴/۴۲۰	$K5_2$=۰/۰۶۳
B6	نواحی مسکونی شهری و شهرک‌های صنعتی	b_6=۱۰۰	$k6_1$= ۵۵/۵۲۰	$K6_2$=۰/۰۵۱

نتایج تحلیل مکانی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی در جدول ۲ نمایش داده شده است. از دیدگاه کارشناسان بوم‌شناس، جنگل‌ها با مساحت کمتر از ۵۰ هکتار، مراتع با مساحت کمتر از ۱۰۰ هکتار، اراضی با کاربری کشاورزی آبی با سطح کمتر از ۵۰ هکتار، و باغات با مساحت کمتر از ۲۵ هکتار نمی‌توانند در عملکرد بوم‌شناختی در مقیاس سیمای سرزمین نقش داشته باشند.

شاخص اثر مانع

موانع به تمام کاربری‌های ساخت بشر که در برابر جریان ماده، انرژی و اطلاعات مقاومت می‌کنند، اطلاق می‌شود (۵ و ۱۸). رودخانه‌ها علاوه بر عملکرد انتقال دهندگی، در این مطالعه به‌عنوان موانع طبیعی لحاظ شده‌اند (۲۵) که به‌عنوان مقاومت سیمای سرزمین نیز شناخته می‌شوند (۱۲). برای محاسبه اثر موانع، دوپراس و همکاران (۱۱) رابطه ۱ را ارائه کرده‌اند:

$$BEL=Ys/Ymax \quad (1)$$

در این رابطه Ys اثر مانع در واحد تحلیلی (پیکسل) و Ymax حداکثر اثر مانع در سیمای سرزمین است.

شاخص اثر مانع، بر اساس وزن هر مانع در جدول ۳ که نشان‌دهنده بزرگی اثر موانع است به‌علاوه ضرایب $k_{s1}a$ و $k_{s2}a$ که نشان‌دهنده میزان کاهش اثر با افزایش فاصله از مانع است و همچنین ماتریس اثر و رابطه غیرخطی آن که در جدول ۴ نشان داده شده، تعیین می‌شود.

در جدول ۴ فاصله اثر، حداکثر فاصله‌ای را که هر یک از موانع می‌توانند در کاربری و پوشش اراضی نفوذ کنند نشان می‌دهد (۱۱). به بیان ساده‌تر همه سطوح کاربری اراضی از جمله خود موانع و لکه‌های زیستگاهی در برابر نفوذ موانع مقاومت می‌کنند که فاصله اثر، این مقدار نفوذ در هر کاربری و پوشش اراضی را کمی می‌کند. ضریب اثر نشان‌دهنده شدت کاهش اثر موانع هنگام نفوذ در هر یک از انواع کاربری و پوشش اراضی است (۲۵). این مدل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از تحلیل فاصله–هزینه، استخراج شده است.

جدول ۴. ماتریس اثر برای محاسبه شاخص اثر مانع (۲۵)

کد	سطوح مقاومت	فاصله اثر	ضریب اثر ($A_n = b_6/a_n$)
V_1	C8 ،C6 ،C5 ،C2	a_1 = ۱۰۰۰ m	A_1 = ۰/۱۰
V_2	C3	a_2 = ۷۵۰ m	A_2 = ۰/۱۳
V_3	C7 ،C4 ،C1	a_3 = ۵۰۰ m	A_3 = ۰/۲۰
V_4	B2 ،B1	a_4 = ۳۵۰ m	A_4 = ۰/۲۸
V_5	B6 ،B5 ،B4 ،B3	a_5 = ۲۵۰ m	A_5 = ۰/۴۰
V_6	گذرگاه	a_6 = ۱ m	A_6 = ۱۰۰

جدول ۵. رتبه‌بندی اثر موانع در سیمای سرزمین (منبع: نگارندگان)

شاخص اثر موانع	اثر	نوع موانع
صفر	بدون اثر	فاقد موانع انسان ساخت؛ جریان آزادانه ماده، انرژی و اطلاعات
۱ و ۲	اثر کم	موانع کوچک و غیر متراکم مانند کشاورزی‌های کوچک و محلی
۳ و ۴	اثر متوسط	شبکه ارتباطی ثانویه و نواحی مسکونی پراکنده مانند نواحی روستایی
۵ و ۶	اثر زیاد	شبکه ارتباطی اصلی و نواحی مسکونی شهری پراکنده
۷ و ۸	اثر خیلی زیاد	هم‌افزایی نواحی شهری و شبکه ارتباطی درجه یک
۹ و ۱۰	اثر بحرانی	هم‌افزایی نواحی شهری متمرکز و شبکه ارتباطی درجه یک

برای اجرای مدل اثر مانع، به دو نوع پایگاه داده نیاز است، موانع اصلی (جدول ۳) و سطوح مقاومت (جدول ۴). این مدل ترکیب روش فازی و سطوح مقاومت است که با افزایش فاصله، اثر مانع کاهش می‌یابد. رابطه ۲ نحوه محاسبه اثر مانع در هر واحد تحلیلی (پیکسل) را نشان می‌دهد (۲۲) که برای هر یک از موانع گفته شده در جدول ۳ به‌طور مجزا تهیه شده است.

$$Ys = bs - ks1\ln(ks2(bs - d's) + 1) \qquad (۲)$$

در این رابطه bs وزن موانع، ks1 و ks2 ضرایب کاهش دهنده اثر موانع با افزایش فاصله در نرم‌افزار هستند که در جدول ۳ برای هر مانع تعریف شده‌اند. d's هزینه–فاصله تعدیل شده هر یک از موانع است. هزینه–فاصله تعدیل شده به فاصله‌ای از سطوح مقاومت اطلاق می‌شود که جریان ماده، انرژی و اطلاعات از سطح مورد نظر به آن می‌رسد (به بخش بعدی مراجعه شود). به عبارت ساده‌تر این مفهوم بیانگر فاصله‌ای از کاربری و پوشش اراضی است که ماده، انرژی و اطلاعات از آن کاربری و پوشش می‌تواند به آن برسد. اثر مانع کل با تجمیع نقشه‌های تولید شده از رابطه ۲ به دست می‌آید. علت محاسبه جداگانه اثر موانع مختلف این است که برخی از موانع مانند آزادراه، راه‌آهن و نواحی مسکونی، اثرات به مراتب بیشتری از موانع دیگر دارند.

با تجمیع نقشه‌های موانع مختلف، به نوعی اثر تجمعی موانع در سیمای سرزمین را نیز محاسبه می‌کنیم. اثر موانع یک شاخص نسبی است که برای هر منطقه در مقیاس ۱ تا ۱۰ نمایش داده می‌شود. در جدول ۵ ویژگی‌ها و معانی و همچنین مثال‌هایی برای هر یک از طبقات اثر موانع آورده شده است.

شاخص پیوستگی بوم‌شناختی

پیوستگی بوم‌شناختی به وجه عملکردی اتصال و پیوند موجود

جدول ۶. ماتریس همبستگی در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

کد	نوع	C_1'	C_2'	C_3'	C_4'	C_5'	C_6'	C_7'	C_8'
C_1	جنگل	۰	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۴
C_2	مراتع متراکم	۰/۲	۰	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۲
C_2	مراتع با تراکم متوسط	۰/۳	۰	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۲
C_2	مراتع کم‌تراکم	۰/۴	۰	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲
C_3	کشت آبی	۰/۷	۰/۶	۰	۰/۲	۰/۴	۰/۸	۰/۲	۰/۵
C_4	باغ	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰	۰/۴	۰/۷	۰/۲	۰/۶
C_5	کشت دیم	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰	۰/۶	۰/۴	۰/۲
C_6	زمین‌های لخت	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰	۰/۸	۰/۶
B_1	شبکه ارتباطی ثانویه	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
B_2	معدن‌کاوی، نواحی مسکونی روستایی، صنایع پراکنده	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹
B_3	سطوح آبی	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹
B_4	شبکه ارتباطی اصلی	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹
B_5	بزرگراه و راه‌آهن	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
B_6	نواحی مسکونی شهری و شهرک‌های صنعتی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
B_7	رودخانه	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱

بین عناصر مختلف سیمای سرزمین اشاره دارد (۲۰) که ظرفیت جریان ماده، انرژی و اطلاعات بین آنها را ارزیابی می‌کند. این شاخص که به صورت فضایی در مقیاس سیمای سرزمین مورد ارزیابی قرار گرفته، بر اساس مدل فاصله–هزینه، مناطق دارای عملکرد بوم‌شناختی و سطوح مقاومتی را با هم ترکیب می‌کند (۲۴). سطوح مقاومتی به نوبه خود، اثر مانع و ماتریس همبستگی را برای همه انواع کاربری و پوشش اراضی استخراج و در ارزیابی مورد استفاده قرار می‌دهد (جدول ۶). ماتریس همبستگی شامل پتانسیل همبستگی بین انواع مختلف نواحی عملکردی بوم‌شناختی و طبقات کاربری و پوشش اراضی است که با نظرات کارشناسی و تجربی تهیه شده است (۱۱). کاربرد ماتریس همبستگی در نواحی است که اثر موانع حداقل است و این ماتریس نقش اصلی را در ایجاد تغییر دارد (۲۲). برای در نظر گرفتن تأثیر تراکم مراتع در پیوستگی سیمای سرزمین، طبقات مختلف مراتع در نواحی عملکردی به‌عنوان یک طبقه در نظر گرفته شد و در نقشه کاربری و پوشش اراضی، سه طبقه مختلف مراتع از نظر تراکم پوشش جدا شده و به‌طور جداگانه در مدل وارد شد.

برای اجرای مدل پیوستگی بوم‌شناختی، فاصله–هزینه تعدیل شده برای هریک از نواحی عملکردی تعیین شد ($d'_r \leq 50{,}000$). این فاصله نشان‌دهنده فاصله اثر هر یک از نواحی عملکردی در سیمای سرزمین است (۲۷). با تعیین فاصله–هزینه تعدیل شده، هنگامی‌که چندین لایه با هم ادغام شود، از خطاهای موجود اجتناب خواهد شد. این فاصله کاملاً به‌طور تجربی و با اجرای چندین باره مدل به‌دست آمده و برای هر منطقه بر اساس مقیاس مطالعه و تعداد نواحی عملکردی می‌تواند متفاوت باشد. در آخر، رابطه ۳ نحوه محاسبه ارزش فاصله–هزینه کل برای همه نواحی عملکردی را نشان می‌دهد.

$$X = a_0 + \sum_{r=1}^{r=n} \mathrm{dr}' \qquad (۳)$$

برای محاسبه شاخص پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، ابتدا شاخص پایه (ECIb) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد. این شاخص برای محاسبه پیوستگی بوم‌شناختی نواحی جغرافیایی مختلف و یا نواحی عملکردی کاربرد دارد (۲۴) و برای هر یک از نواحی به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر این شاخص یک شاخص موضوعی برای نواحی عملکرد بوم‌شناختی است.

$$\mathrm{ECI_b} = 10 - 9\frac{\ln(1+\mathrm{x_i})}{\ln(1+\mathrm{x_t})^3} \qquad (۴)$$

در این رابطه xi بیشترین ارزش فاصله–هزینه تعدیل شده ممکن است. بعد از محاسبه شاخص پیوستگی پایه، شاخص مطلق (ECIa) از رابطه ۵ قابل محاسبه است که نتایج آن در مقیاس ۱ تا ۱۰ و به‌صورت اعداد صحیح نمایش داده می‌شود تا بتوان از آن برای مقایسه مناطق مختلف یا حتی یک منطقه در طول یک دوره زمانی استفاده کرد. به عبارت دیگر این شاخص، مجموع شاخص‌های محاسبه شده پایه برای نواحی عملکردی است.

$$\mathrm{ECI_a} = \sum_{m=1}^{m=n} \mathrm{ECI_b} \Big/ \mathrm{m} \qquad (۵)$$

m تعداد نواحی عملکرد بوم‌شناختی است. ارزش‌های این شاخص هدفمند بوده و در برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، به خصوص برای حفاظت و مدیریت تنوع زیستی در مقیاس سیمای سرزمین قابل استفاده است (۲۳).

برنامه‌ریزی فضایی

برای برنامه‌ریزی فضایی سیمای سرزمین استان قزوین، نقشه پیوستگی بوم‌شناختی به‌عنوان وضعیت موجود و نقشه مناطق حفاظت شده به‌عنوان نواحی طبیعی و زیستگاه‌های بالفعل استان روی‌هم‌گذاری شد. بر اساس موقعیت مناطق حفاظت شده و وضعیت پیوستگی سیمای سرزمین، گذرگاه‌های مناسب شناسایی و جهت برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیاء پیشنهاد شد.

نتایج

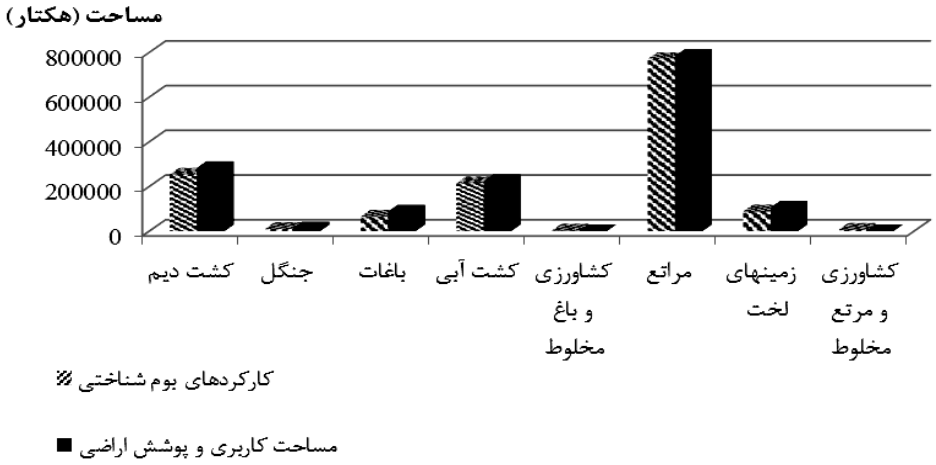
مساحت نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی (۹۰ درصد) از مساحت زیستگاه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی در نقشه کاربری و پوشش اراضی (۹۷ درصد) کمتر است. مساحت قابل توجهی از استان قزوین (۱۰ درصد) به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط نواحی انسان‌ساخت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند و امکان عرضه عملکرد بوم‌شناختی ندارند. مراتع دارای عملکرد بوم‌شناختی با پوشش ۴۹ درصد از مساحت استان، بیشترین نقش را در پیوستگی زیستگاهی استان دارند. کشت دیم و کشت آبی با ۱۶/۱۴ درصد و ۱۳/۶۸ درصد در رتبه بعدی قرار دارند (شکل ۲ و ۳).

نتایج مربوط به شاخص اثر مانع در شکل ۴ نشان داده شده است. نواحی طبیعی شمال و جنوب استان و همچنین نواحی نیمه بیابانی شرق استان کمترین اثر مانع را دارند و نواحی مرکزی که بیشترین توسعه شهری و شبکه ارتباطی را داشته، دارای بیشترین اثر مانع است. گذرگاه جاده‌ای شرق به غرب (تهران–تبریز) و جنوب به شمال (قزوین–رشت و قزوین–بوئین زهرا و همدان) در کنار توسعه شهری مرکزی، بیشترین تأثیر را بر ممانعت از جریانات بوم‌شناختی دارند.

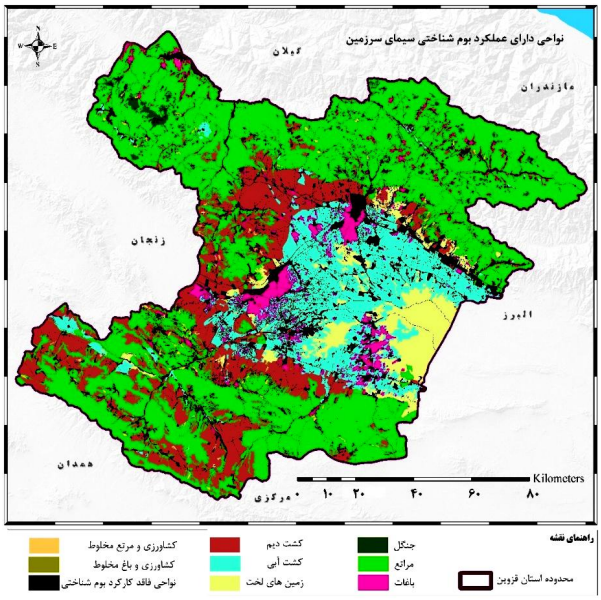
شکل ۵ نقشه پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین استان قزوین را در مقیاس‌های مختلف نشان می‌دهد. نقشه ۵ (الف) نشان‌دهنده پیوستگی بوم‌شناختی در مقیاس سیمای سرزمین است که پیوستگی تمام استان قزوین را نشان می‌دهد. شکل ۵ (ب) که بزرگ‌نمایی بخشی از استان قزوین در شهرستان آوج است، نقش رودخانه‌ها به‌عنوان گذرگاه‌های جریان ماده و انرژی و همچنین به‌عنوان مانع را نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی فضایی

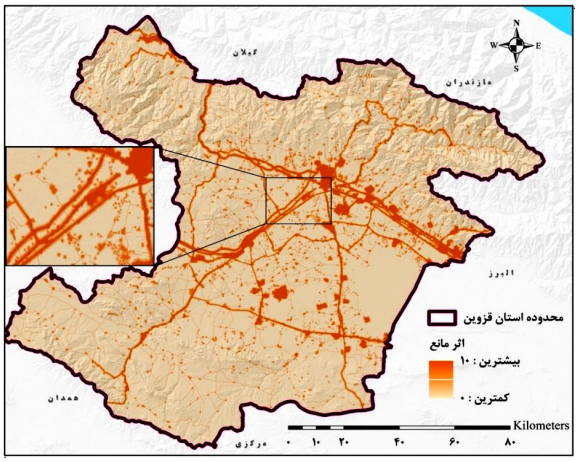
برای احیاء و حفاظت از پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین استان قزوین، چهار گذرگاه پیشنهاد شده که موقعیت فضایی آنها در شکل ۶ نشان داده شده است. بر این اساس حفظ و



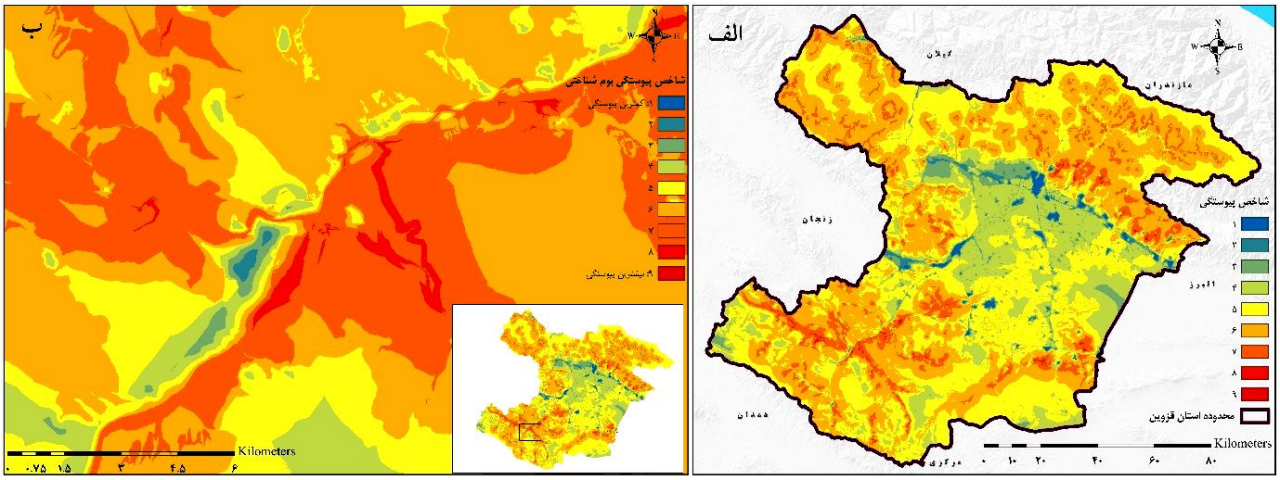
شکل ۲. تحلیل توپولوژیک منطقه مورد مطالعه و ارتباط بین کاربری/ پوشش اراضی و نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی



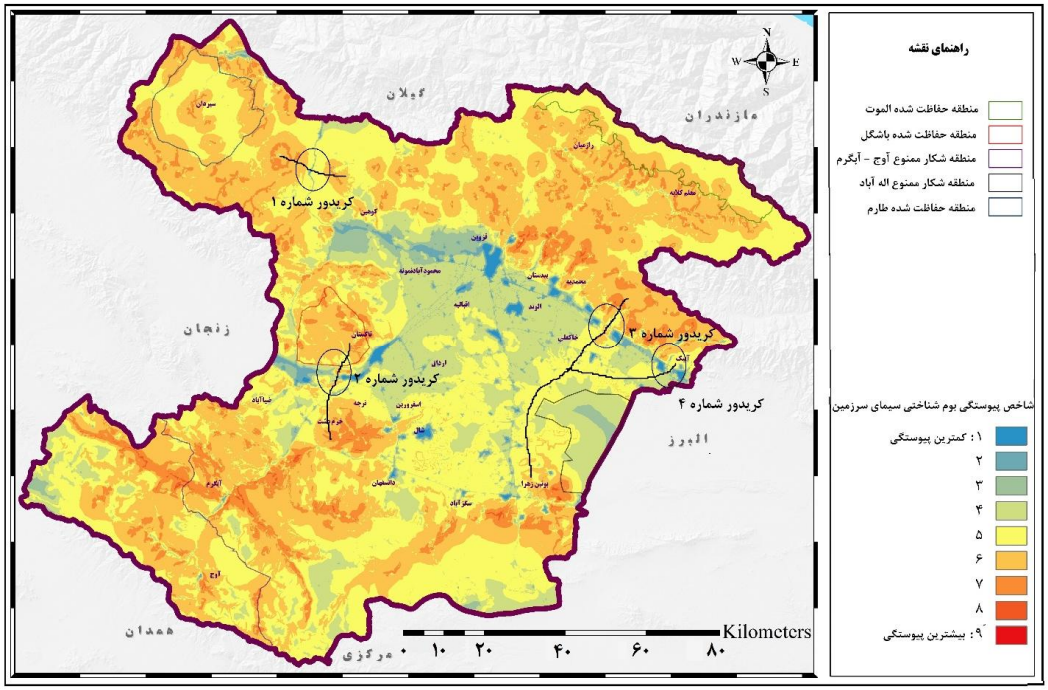
شکل ۳. توزیع مکانی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۴. نقشه حاصل از اجرای مدل شاخص اثر مانع در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۵. نقشه حاصل از اجرای مدل شاخص پیوستگی سیمای سرزمین در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. نقشه وضعیت پیوستگی مناطق چهارگانه محیط زیست در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نگهداری گذرگاه شماره یک جهت احیای مسیر جریانات از شرق به غرب و برعکس الزامی است. این گذرگاه در مقیاس استانی برای ایجاد ارتباط بین مناطق حفاظت شده طارم و الموت حائز اهمیت است و همچنین در مقیاس منطقه‌ای برای ارتباط نوار شمالی (غربی- شرقی) کشور نیز می‌تواند بسیار مهم باشد. گذرگاه شماره دو می‌تواند هم در مقیاس منطقه‌ای و هم استانی به‌ترتیب برای احیای ارتباط شمال- جنوب کشور و همچنین ارتباط منطقه حفاظت شده باشگل و منطقه شکار ممنوع آوج- آبگرم حائز اهمیت باشد. گذرگاه‌های شماره سه و چهار نیز برای جریان ماده و انرژی از شمال به جنوب در مقیاس منطقه‌ای و همچنین ارتباط منطقه حفاظت شده الموت با نواحی جنوبی به خصوص منطقه شکار ممنوع اله آباد در مقیاس استانی بسیار اهمیت دارد و می‌تواند در افزایش پیوستگی استان مؤثر باشد.

همان‌گونه که پیشتر گفته شد، پیوستگی بوم‌شناختی استان قزوین در مقیاس سیمای سرزمین برآورد شده و احتمال پیوستگی بین دو نقطه تصادفی انتخاب شده از سطح استان قزوین سنجیده شده است. ممکن است یک منطقه برای یک گونه خاص مناسب باشد ولی در مقیاس سیمای سرزمین برای گونه‌های دیگر نامناسب باشد. بنابراین منطقه شکار ممنوع الهآباد که زیستگاه هوبره است، دارای پیوستگی بوم‌شناختی کمی است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روش محاسبه شاخص پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین تشریح و در استان قزوین به‌عنوان نمونه مطالعاتی اجرا شد. این مدل به دلیل در نظر گرفتن زیستگاه‌های مختلف در ارزیابی و استفاده از روش فازی و فاصله- هزینه در پهنه‌بندی موانع جریان ماده و انرژی و همچنین برآورد پیوستگی کل سیمای سرزمین، نتایج جامعی از وضعیت پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین ارائه می‌دهد. همچنین مدل استفاده شده به دلیل رویکرد چندمعیاره (۲۵) و تجمیع اثرات موانع مختلف، اطلاعات مفیدی در مورد اثرات تجمعی موانع ارائه کرده که در برنامه‌ریزی فضایی سیمای سرزمین بسیار مهم است.

بر اساس نتایج این مطالعه، ۹۰ درصد از مساحت استان توانایی ارائه عملکرد بوم‌شناختی را دارد که میزان قابل ملاحظه و امیدوارکننده‌ای به‌شمار می‌آید، زیرا بر اساس تئوری فرورفت (Percolation theory) (۲۶ و ۳۳) زمانی‌که میزان زیستگاه‌های طبیعی کمتر از ۶۰ درصد باشد، مشکلات حفاظت از تنوع زیستی آغاز خواهد شد. باید به این نکته هم توجه کرد که این مطالعه، علاوه بر زیستگاه‌های طبیعی، زیستگاه‌های انسان‌ساخت مانند اراضی کشاورزی و باغات را نیز شامل می‌شود که در مطالعه مارول و همکاران (۲۴) بر اهمیت زیستگاه‌های انسان‌ساخت در تأمین زیستگاه حیات وحش مرتبط با کشاورزی تاکید شده است.

جریان ماده و انرژی از شمال به جنوب و از شرق به غرب استان قزوین و برعکس وابسته به وجود گذرگاه‌های ارتباطی است. نتایج این مطالعه نشان داد شبکه ارتباطی جاده‌ای، ریلی، نواحی شهری و صنعتی، مهمترین عوامل تکه‌تکه‌شدگی و موانع شناسایی شده در سیمای سرزمین هستند. مطالعات زیادی از جمله مکی و همکاران (۲۱)، خسروی و همکاران (۱۷)، مایاراچ و مارول (۲۲)، و مارول و همکاران (۲۳) بر اثر شبکه‌های ارتباطی، شهری و صنعتی بر تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین تأکید کرده‌اند. در نتیجه با حفظ و ایجاد گذرگاه‌های پیشنهادی این مطالعه در مقیاس سیمای سرزمین می‌توان یکپارچگی و پیوستگی سیمای سرزمین را احیاء و همچنین با در نظر گرفتن پیوستگی بوم‌شناختی در برنامه‌های توسعه از جمله توسعه شبکه ارتباطی، شهری و صنعتی، برنامه‌های حفاظت از تنوع زیستی و گونه‌های در خطر انقراض را با اثربخشی بهتری اجرا کرد (۶، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۲۱).

نتایج مربوط به شاخص پیوستگی بوم‌شناختی نشان داد نوار شمالی و جنوبی استان قزوین که بیشتر توسط مراتع و جنگل‌های طبیعی پوشیده شده دارای پیوستگی مناسبی است که می‌تواند به دلیل غلبه پوشش طبیعی در این نواحی باشد (۲۶ و ۳۳). دشت مرکزی استان قزوین به دلیل تمرکز توسعه شهری و صنعتی و شبکه‌های ارتباطی متعدد، و همچنین عدم وجود نواحی طبیعی، پیوستگی بوم‌شناختی ضعیفی در مقیاس سیمای سرزمین دارد (۱۷ و ۲۱). از سوی دیگر عدم پیوستگی در نوار مرکزی استان تنها تنوع زیستی دشت مرکزی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، بلکه به دلیل نبود پیوستگی، امکان جابه‌جایی گونه‌ها از نوار شمالی به جنوبی و برعکس تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (۶، ۱۲، ۱۷ و ۲۱) که می‌توان استنباط کرد پیوستگی کل سیمای سرزمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

این پژوهش اولین تحقیق در حوزه پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در منطقه مورد مطالعه است که پیوستگی و تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین را به‌خوبی نشان داده و با مکان‌یابی نواحی مستعد ایجاد گذرگاه می‌تواند در مدیریت تنوع

زیستی و مناطق حفاظت شده در مقیاس سیمای سرزمین مثمر ثمر باشد. همچنین در نظر گرفتن تنوع زیستی در برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین در مقیاس‌های مختلف ناحیه‌ای، استانی، منطقه‌ای و حتی کشوری و همچنین ارزیابی اثرات و ارزیابی استراتژیک محیط زیست (۲۳) از دیگر کاربردهای تحقیق حاضر است که می‌تواند در مدیریت مشارکتی تنوع زیستی (۸) هم کاربرد داشته باشد.

یکی دیگر از کاربردهای نتایج این تحقیق می‌تواند تغییر برنامه مدیریتی مناطق حفاظت شده باشد. اگر سازمان حفاظت محیط زیست قصد تغییر رویکرد حفاظتی در مناطق چهارگانه محیط زیست را داشته باشد می‌تواند بر اساس نتایج این تحقیق تصمیمات کارآمدی بگیرد که ممکن است به ارتقاء یا کاهش سطح حفاظتی در یک منطقه تحت مدیریت منجر شود.

مهاجرت و جابه‌جایی گونه‌های حیات وحش یکی از ارکان اصلی حفاظت از تنوع زیستی به‌شمار می‌رود که باعث جریان ماده و انرژی در سیمای سرزمین می‌شود. بنابراین توجه به زیستگاه‌های حیات وحش که امکان جابه‌جایی را برای گونه‌های حیات وحش میسر می‌کند از اهمیت بالایی برخوردار است. استان قزوین نیز به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های اصلی حیات وحش در ایران و با توجه به تنوع سیمای سرزمین (ارتفاع ۱۷۰ تا ۴۱۰۰ متر از سطح دریا و تنوع زیستگاهی)، موقعیت استان و گونه‌های جانوری ساکن در آن می‌تواند نقش کلیدی در جریانات ماده و انرژی در مقیاس استان و حتی در منطقه شمال غرب کشور داشته باشد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود مطالعات مربوط به پیوستگی زیستگاه و گونه در مقیاس سیمای سرزمین با سنجه‌های متنوع بررسی شود تا با انتخاب سنجه‌های مناسب، برنامه‌ریزی‌های دقیقی برای احیاء و حفاظت از گذرگاه‌ها انجام شود.

منابع مورد استفاده

1. Almasieh, K. and M. Kaboli. 2019. Assessment of landscape connectivity and prediction of migration corridors for the Baluchistan Black Bear (*Ursus thibetanus gedrosianus Blanford, 1877*) in the southeastern habitats, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8(1): 33-45. (In Farsi).
2. Andren, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71: 355-366.
3. Bani, L., G. Pisa, M. Luppi, G. Spilotros, E. Fabbri, E. Randi and V. Orioli. 2015. Ecological connectivity assessment in a strongly structured fire salamander (*Salamandra salamandra*) population. *Ecology and Evolution* 5(16): 3472-3485.
4. Brandt, J. 1995. Ecological networks in Danish planning. *Landschap* 12(3): 63-76.
5. Casalegno, S., K. Anderson, D. T. Cox, S. Hancock and K. J. Gaston. 2017. Ecological connectivity in the three-dimensional urban green volume using waveform airborne lidar. *Scientific Reports* 7: 45571.
6. D'acampora, B. H., E. Higueras and E. Román. 2018. Combining different metrics to measure the ecological connectivity of two mangrove landscapes in the Municipality of Florianópolis, Southern Brazil. *Ecological Modelling* 384: 103-110.
7. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2014. Quantifying landscape spatial pattern changes in the Caucasian Black Grouse (*Tetrao mlokosiewiczi*) habitat in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2(5): 27-38. (In Persian).
8. Darvishi, A., M. Ghorbani, S. Fakheran and A. Soffianian. 2014. Network analysis and key actors toward wildlife management (case study: habitat of Caucasian Black Grouse, Arasbaran Biosphere Reserve). *Iranian Journal of Applied Ecology* 3(9): 29-41. (In Persian).
9. Darvishi, A., S. Fakheran, and A. Soffianian. 2015. Monitoring landscape changes in Caucasian black grouse (*Tetrao mlokosiewiczi*) habitat in Iran during the last two decades. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(7): 443.
10. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2016. Change detection and land use/cover dynamics in the Arasbaran Biosphere Reserve. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)* 68(4): 559-572. (In Persian).
11. Dupras, J., J. Marull, L. Parcerisas, F. Coll, A. Gonzalez, M. Girard and E. Tello. 2016. The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy* 58: 61-73.

12. Forman, R. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology* 14(1): 31-35.
13. Hou, W., M. Neubert and U. Walz. 2017. A simplified econet model for mapping and evaluating structural connectivity with particular attention of ecotones, small habitats, and barriers. *Landscape and Urban Planning* 160: 28-37.
14. Indrayani, P., Y. Mitani, L. Djamaluddin and H. Ikemi. 2017. A GIS based evaluation of land use changes and ecological connectivity index. *Journal of Geomatics and Planning* 4(1): 9-18.
15. Jongman, R. H., M. Külvik and I. Kristiansen. 2004. European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning* 68(2-3): 305-319.
16. Kettunen, M., A. Terry, G. Tucker and A. Jones. 2007. Guidance on the maintenance of landscape connectivity features of major importance for wild flora and fauna- Guidance on the implementation of Article 3 of the Birds Directive (79/409/EEC). Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels..
17. Khosravi, R., M. R. Hemami and M. Malekian. 2018. Assessing landscape connectivity and dispersal corridors for Goitered gazelle in Central Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 6(4): 49-64. (In Farsi).
18. LaPoint, S., N. Balkenhol, J. Hale, J. Sadler and R. van der Ree. 2015. Ecological connectivity research in urban areas. *Functional Ecology* 29(7): 868-878.
19. Liro, A., R. Andrzejewski, W. Różycka and Z. Tederko. (Eds.). 1995. National Ecological Network EECONET-Poland. IUCN Office for Central & Eastern Europe, Warsaw.
20. Loro, M., E. Ortega, R. M. Arce and D. Geneletti. 2015. Ecological connectivity analysis to reduce the barrier effect of roads. An innovative graph-theory approach to define wildlife corridors with multiple paths and without bottlenecks. *Landscape and urban planning* 139: 149-162.
21. Makki, T., S. Fakheran, H. Moradi, M. Iravani and M. Farahmand. 2013. Ecological impact assessment of Isfahan's west ringway on Ghamishloo Wildlife Refuge using Habitat Evaluation Procedure (HEP). *Iranian Journal of Applied Ecology* 1(2): 39-52. (In Farsi).
22. Mallarach, J. M. and J. Marull. 2006. Impact assessment of ecological connectivity at the regional level: recent developments in the Barcelona Metropolitan Area. *Impact Assessment and Project Appraisal* 24(2): 127-137.
23. Marull, J., G. Cunfer, K. Sylvester and E. Tello. 2018. A landscape ecology assessment of land-use change on the Great Plains-Denver (CO, USA) metropolitan edge. *Regional Environmental Change* 18(6): 1765-1782.
24. Marull, J., S. Herrando, L. Brotons, Y. Melero, J. Pino, C. Cattaneo and E. Tello. 2019. Building on Margalef: Testing the links between landscape structure, energy and information flows driven by farming and biodiversity. *Science of the Total Environment* 674: 603-614.
25. Marulli, J. and J. M. Mallarach. 2005. A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning* 71(2-4): 243-262.
26. O'neill, R. V., R. Gardner and M. G. Turner. 1992. A hierarchical neutral model for landscape analysis. *Landscape Ecology* 7(1): 55-61.
27. Parcerisas, L., J. Marull, J. Pino, E. Tello, F. Coll and C. Basnou. 2012. Land use changes, landscape ecology and their socioeconomic driving forces in the Spanish Mediterranean coast (El Maresme County, 1850–2005). *Environmental Science & Policy* 23: 120-132.
28. Pierik, M. E., M. Dell'Acqua, R. Confalonieri, S. Bocchi and S. Gomarasca. 2016. Designing ecological corridors in a fragmented landscape: A fuzzy approach to circuit connectivity analysis. *Ecological indicators* 67: 807-820.
29. Sepp, K., H. Palang, U. Mander and A. Kaasik. 1999. Prospects for nature and landscape protection in Estonia. *Landscape and Urban Planning* 46(1-3): 161-167.
30. Shafinejad, S., F. Poodat and F. Farrokhian. 2018. Assessment of ecological connectivity of urban green patches using graph theory: The case study of Ahvaz metropolitan area. *Iranian Journal of Applied Ecology* 7(1): 1-11. (In Farsi).
31. Turner, M. G. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology* 4(1): 21-30.
32. Virgós, E., J. L. Tellería and T. Santos. 2002. A comparison on the response to forest fragmentation by medium-sized Iberian carnivores in central Spain. *Biodiversity & Conservation* 11(6): 1063-1079.
33. With, K. A. and T. O. Crist. 1995. Critical thresholds in species' responses to landscape structure. *Ecology* 76(8): 2446-2459.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Assessment and Spatial Planning of Landscape Ecological Connectivity for Biodiversity Management (Case Study: Qazvin Province)

A. Darvishi[1], N. Mobarghaee Dinan[1*], M. Yousefi[1] and Sh. Barghjelveh[1]

(Received: December 21-2019; Accepted: June 06-2020)

Abstract

Habitat and ecosystem fragmentation and, consequently, the loss of landscape connectivity are major causes of biodiversity destruction, leading to disruption of material, energy, and information flow at the landscape scale. Given the importance of this issue, the current study aimed to evaluate the ecological connectivity and spatial planning of Qazvin Province, in order to re-establish and protect material, energy, and information flow corridors, using a landscape ecology approach. With that in mind, land use/land cover map was used to identify ecologically functional areas and to map barrier effect and ecological connectivity indicies by mathematical modeling techniques using model builder algorithms in Geographic Information System (GIS). Appropriate patches were, then, spatially selected for restoration and conservation across the landscape. The results showed that 90% of the province has the ecological function, but 10% of the area lacks the function. Three percent of the area has lost its ecological function by physical barriers such as road networks and industrial and residential expantions, and 7% of the area lost its functionality due to anthropogenic effects. In this research, four corridors were identified for spatial planning. Results of this study can be used for management of protected areas and land use planning, as well as environmental impact assessment and envuronmental strategic assessment.

Keywords: Ecology, Landscape, Biodiversity, Matter-Energy and Information Flow, Qazvin Province

1. Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: n_mobarghei@yahoo.com