

ارزیابی کمی پیوستگی لکه‌های جنگل در حوضه آبریز دریای خزر با استفاده از شاخص‌های سیمای سرزمین و نظریه گراف

سحر حیدری مستعلی^{۱*}، بهمن جباریان امیری^۲، محمد کابلی^۳، محمود بیات^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

چکیده

جنگل‌های ناحیه خزری از مهمترین منابع جنگلی کشورند، اما آنچه به صورت یک خلا بزرگ در تحقیقات این حوزه دیده می‌شود لزوم توجه به ابعاد ساختاری به ویژه حفظ پیوستگی ساختاری این جنگلها است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه شاخص‌های پیوستگی سیمای سرزمین در مورد لکه‌های جنگلی حوزه آبریز دریای خزر انجام شد. برای این منظور، ابتدا لایه جنگل از نقشه پوشش سرزمین استخراج و تعداد ۲۵ حوزه آبخیز کلان انتخاب شدند. پیوستگی سیمای سرزمین از منظر سنج‌های سیمای سرزمین (چهار شاخص) و شاخص‌های تئوری گراف (۱۱ شاخص) تحلیل و محاسبه شد. سپس، با استانداردسازی شاخص‌های پیوستگی محاسبه شده در محدوده صفر تا ۱، و تلفیق آنها، یک عدد نهایی پیوستگی برای هر حوزه آبخیز بدست آمد که بین ۰/۵۷۱ تا ۰/۲۷۴ متغیر بود. این محدوده در چهار طبقه از کم به زیاد، طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد شاخص‌های پیوستگی لکه‌های جنگلی در تمام ناحیه خزر، بسیار پایین بوده به طوری که ۸۰٪ حوزه‌ها در طبقه پیوستگی خیلی کم و کم قرار می‌گیرند. حوزه شماره ۹ (سردآبرود، شلمانرود) و حوزه شماره ۷ (چالوس) به ترتیب با عدد پیوستگی نهایی ۰/۲۷۴ و ۰/۲۷۶ در وضعیت بسیار نامطلوب قرار دارند و تنها دو حوزه شماره ۱۴ (چلاو و پنجاب) و شماره ۴ (پسیخان و شاخرز) به ترتیب با عدد پیوستگی نهایی ۰/۵۷۱ و ۰/۵۴۰ وضعیت مناسب‌تری از نظر شاخص‌های پیوستگی دارند. با توجه اهمیت حفظ پیوستگی لکه‌های جنگل، و نقش آن در حفظ تنوع زیستی و کارکردهای جنگل‌های خزری، نتایج این پژوهش در برنامه‌های مدیریت و احیا جنگل کاربرد خواهد داشت؛ به طوری که در حوزه‌هایی با پیوستگی پایین که در آنها گسستگی لکه‌ها و از هم گسیختگی شدید آنها دیده شد، نیازمند برنامه‌های وسیع احیا و جلوگیری از گسستگی بیشتر این لکه‌ها هستند.

واژگان کلیدی: بوم‌شناسی سیمای سرزمین، جنگل‌های هیرکانی، ساختار جنگل، گسستگی لکه‌های جنگل.

مقدمه

ترکیبی از پیوستگی ساختاری^۱ و عملکردی^۲ است. پیوستگی ساختاری به تأثیر ساختار فیزیکی سیمای سرزمین و پیوستگی عملکردی به استفاده حقیقی گونه‌ها از سیمای سرزمین اشاره دارد [۱-۳]. از سال ۱۹۹۰

پیوستگی، مفهومی است که در بطن بوم‌شناسی سیمای سرزمین قرار می‌گیرد. پیوستگی سیمای سرزمین، محصول

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؛ به عنوان مثال می‌توان از استراتژی جهانی تنوع زیستی^۱، دستورالعمل زیستگاه^۲ استراتژی زیستی و تنوع سیمای سرزمین اروپا^۳ یا استراتژی تنوع زیستی جامعه اروپا^۴ نام برد [۴]. تکه تکه شدگی زیستگاه با گذشت زمان باعث دور افتادگی لکه‌های زیستگاهی و کاهش پیوستگی بوم‌شناختی می‌شود. این مسئله، جدی‌ترین تهدید برای تنوع زیستی و انقراض گونه‌ها، در حال حاضر است [۵]. با این حال، معیارهای پیوستگی معمولاً برای اندازه‌گیری حرکت بالقوه موجودات زنده استفاده می‌شود، در حالی که پیوستگی سیمای سرزمین بخش مهمی از درک ساختار و عملکردهای فعلی سیمای سرزمین است و به طور منظم برای اهداف برنامه‌ریزی و حفاظت استفاده می‌شود [۶] با فراهم کردن امکان جابه‌جایی و پراکندگی گونه‌ها در سیمای سرزمین، می‌توان باعث افزایش انعطاف‌پذیری اکوسیستمها و کاهش اثر تکه تکه شدگی زیستگاه شد [۷].

یکی از رویکردها در سنجش پیوستگی لکه‌ها کاربرد سنجه‌های سیمای سرزمین است؛ در نتیجه استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، ضمن صرفه‌جویی در زمان، ارزیابی پیامد فعالیت‌های انسان را به صورت تجمعی در کوتاه‌ترین زمان امکان‌پذیر خواهد ساخت [۸]. یکی دیگر از روشهای بسیار کاربردی که اخیراً در سنجش پیوستگی لکه‌ها و تعیین اهمیت لکه‌ها از منظر حفظ پیوستگی ساختاری یک اکوسیستم استفاده می‌شود کاربرد تئوری گراف است. به تازگی محققان علوم محیط‌زیست دریافته‌اند

استفاده از تئوری گراف روشی مؤثرتر در اندازه‌گیری پیوستگی بوم‌شناسی است [۹]. تئوری گراف، مفهومی ریاضی متشکل از دسته‌ای نقاط و اتصالات و روشی مناسب جهت اندازه‌گیری میزان پیوستگی است. این مفهوم برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ معرفی شد. تئوری گراف در علوم مختلف و رویکردهای متفاوتی تاکنون استفاده شده که از جمله آنها اکولوژی سیمای سرزمین است [۱۰]. تئوری گراف به‌طور معمول برای تعیین کمیت اتصال ساختاری و اتصالات فیزیکی سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱] و ابزاری تصویری است که براساس آن می‌توان یک شبکه را با قوت‌ها و ضعف‌هایش به نمایش گذاشت [۱۲]. مطالعات زیادی اذعان کرده‌اند که تئوری گراف روشی مؤثر جهت مدلسازی سیمای سرزمین و برهم‌کنشها و ارتباطات آنهاست [۱۳]. مطالعات انجام شده نشان داده است که این تئوری، قابلیت انطباق بیشتری با ساختارهای منقطع و لکه‌ای دارد که در آن لکه‌های زیستگاهی در یک ماتریس غیرزیستگاهی پراکنده شده‌اند [۱۴]. در زمینه بررسی پیوستگی سیمای سرزمین تاکنون مطالعات مختلفی در ایران و جهان انجام شده است؛ به عنوان نمونه، شفیع‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۷ مطالعه‌ای در رابطه با ارزیابی پیوستگی بوم‌شناسی لکه‌های سبز شهری اهواز با استفاده از تئوری گراف انجام داده و به این نتیجه رسیدند که ناحیه چهار شهری واقع در شرق کارون بیشترین اهمیت را در حفظ پیوستگی شبکه سبز این شهر دارد. [۱۵] مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز مقایسه ساختار اراضی مرتعی و میزان تخریب پیوستگی سیمای سرزمین در زیرحوزه‌های آبخیز ایریل، استان اردبیل انجام داده و از رویکرد سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده کردند. [۱۶] علائی و همکاران (۱۳۹۸) پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل با استفاده از رویکرد سیمای سرزمین و تئوری گراف ارزیابی و مقایسه کردند

1. Global Strategy for Biodiversity, 1992
2. Habitat Directive, 1992
3. Paneuropean Strategy of Biological and Landscape Diversity, 1995
4. Biodiversity Strategy of the European Community, 1998 (ECONET)

تا کنون پژوهش‌های زیادی در کشور به منظور بررسی و حفظ این جنگلهای با ارزش انجام شده اما آنچه به صورت یک خلا هنوز هم در این تحقیقات دیده می‌شود، لزوم توجه به ابعاد ساختاری به‌ویژه حفظ پیوستگی ساختاری این جنگلها است؛ چرا که همان‌گونه که گفته شد کارکردهای اکوسیستم تا حد زیادی متأثر از ساختار آن بوده و چنانچه هدف حفظ کارکردهای ویژه و منحصر به فرد این جنگلهای ارزشمند کشور باشد، نیاز به حفظ ساختار و شناخت ویژگیهای ساختاری لکه‌های جنگلی است. تاکنون مطالعه‌ای جامع (از حیث در برگیرندگی کل پهنه جنگل‌های خزری)، در خصوص بررسی ساختار و پیوستگی لکه‌های جنگلی در حوضه خزری در ایران انجام نشده و از طرفی، اندک مطالعات انجام شده نیز، تنها به یک یا چند حوزه محدود پرداخته‌اند؛ لذا پژوهش حاضر از حیث این جامعیت و اینکه در برگیرنده کل پهنه خزری است و هم از حیث پرداختن به تعداد زیادی شاخص مهم تحلیل پیوستگی سیمای سرزمین بین لکه‌های جنگلی، مطالعه‌ای منحصر به فرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

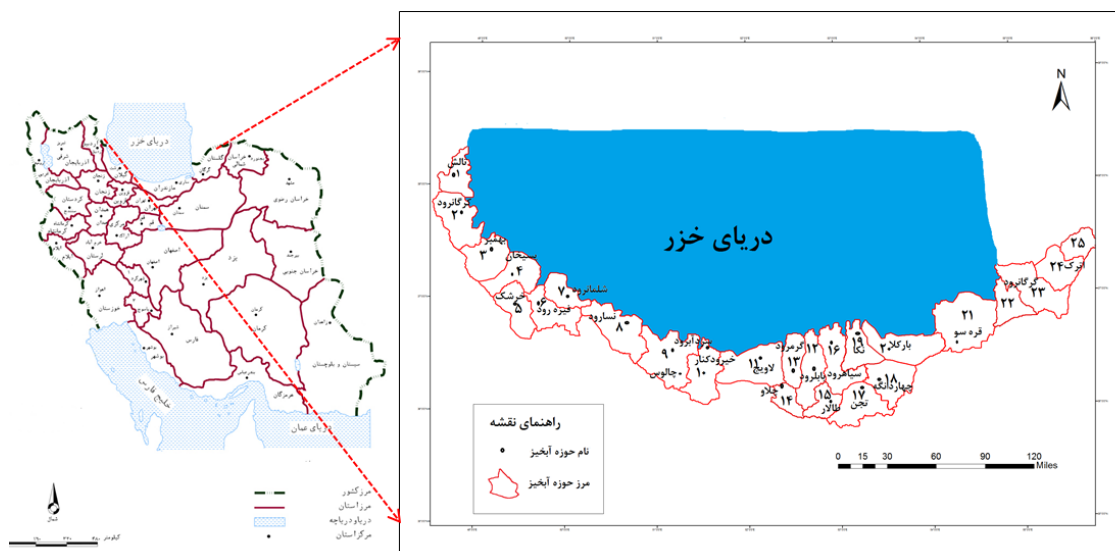
منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در حوضه آبریز جنوبی دریای خزر، بین ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار مبدا قرار دارد. حوضه آبریز دریای خزر یکی از شش حوضه اصلی کشور محسوب شده و ۵۸۱۶۷ کیلومتر مربع وسعت دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

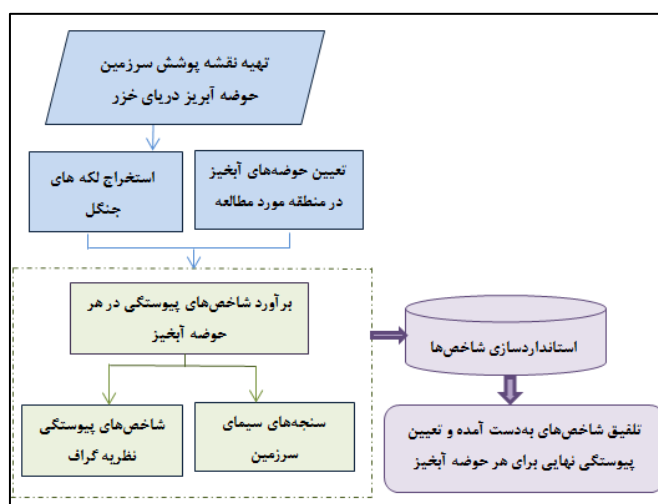
شکل ۲ مراحل اصلی انجام این پژوهش را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

[۱۷]. نظر‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۸، ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز زولاچای، سلماس انجام و از سنجش از دور و استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در بازه زمانی ۲۴ ساله استفاده کردند [۱۸]. دووی و همکاران (۲۰۱۳) بررسی پیوستگی و اولویت‌بندی لکه‌های جنگل را در منطقه‌ای در هند مورد بررسی قرار داده و از شاخص انتگرال اهمیت پیوستگی و شاخص احتمال پیوستگی بدین منظور استفاده کردند. نتایج آنها مبین این بود که، این شاخصها و استفاده از تئوری گراف ابزاری خوب و کارآمد جهت بررسی لکه‌های جنگل و اولویت‌بندی آنها براساس اهمیت هر لکه در حفظ پیوستگی شبکه زیستگاهی فراهم می‌کند [۱۹]. همچنین، بارانای و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی مشارکت لکه‌های زیستگاه در تحلیل پیوستگی با استفاده از ۱۳ شاخص توپولوژیکی شبکه در اسپانیا پرداخته و عنوان کردند که بخش پیوستگی بر اساس شاخصهای انتگرال پیوستگی و احتمال پیوستگی و مرکزیت بینابینی کاملاً منحصر به فرد و با تمرکز بر لکه‌های خاص عمل می‌کند [۲۰].

نتایج بررسی و مرور منابع نشان دهنده این است که مطالعات کمی در زمینه تحلیل ابعاد ساختاری و به طور خاص بررسی پیوستگی ساختاری در اکوسیستم‌های جنگلی به ویژه در داخل کشور، انجام شده است؛ لذا هدف از مطالعه حاضر، در واقع تلفیقی از دو رویکرد سیمای سرزمین و تئوری گراف برای سنجش پیوستگی ساختاری لکه‌های جنگل در حوزه آبریز دریای خزر است. جنگلهای ناحیه خزری از مهمترین منابع جنگلی کشور بوده و وجود این جنگلها در کشور، که در واقع روی کمربند خشکی زمین قرار دارد، موقعیت حساسی را برای حفاظت، توسعه و پژوهش به وجود آورده. هرچند



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نمودار جریان مراحل تحقیق

در شکل ۳ این نقشه و همچنین نمونه‌ای از گسستگی لکه‌های جنگل در حوزه‌های آبخیز را با بزرگنمایی بیشتر جهت فهم بهتر آن، ارائه شده است

تعیین حوزه‌های آبخیز

حوزه‌های آبخیز منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM^۱) با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 به صورت دستی ترسیم شد. در انتخاب حوزه‌های

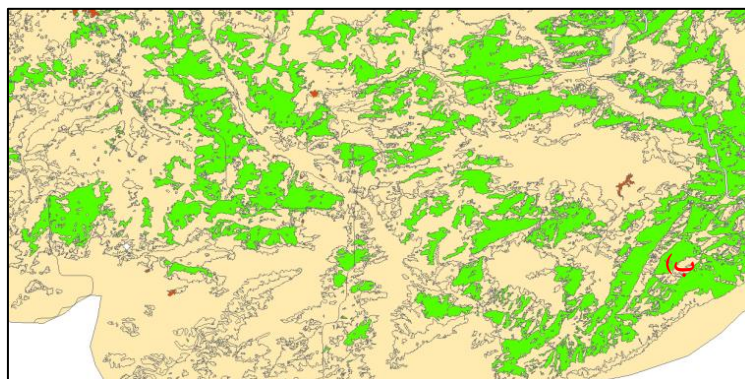
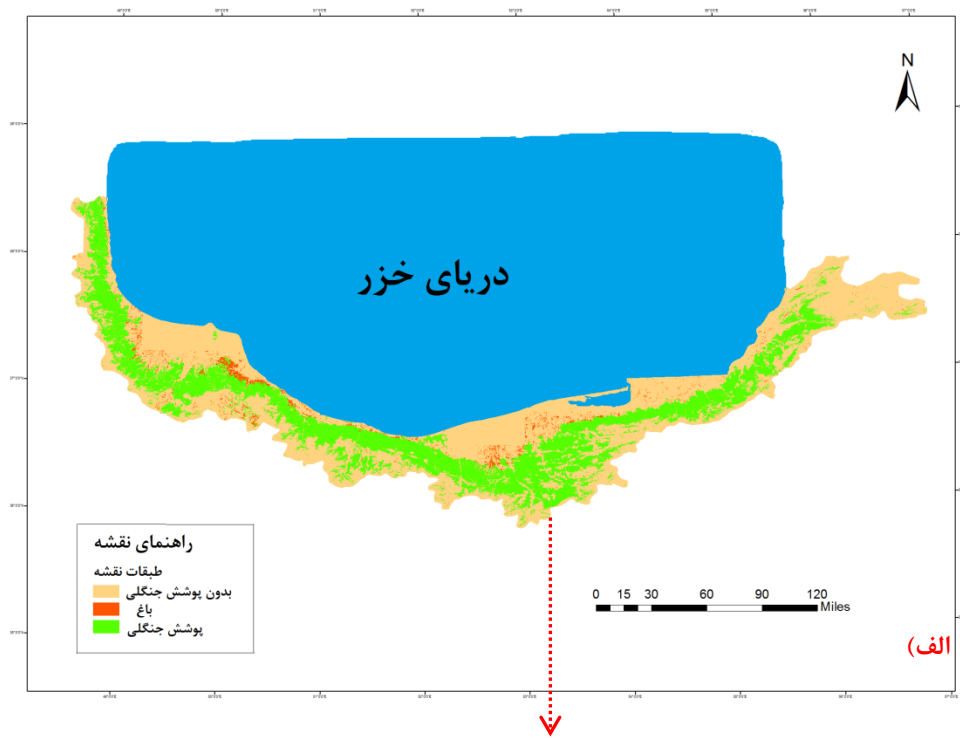
جمع آوری داده‌ها

بدین منظور از آخرین نقشه ملی پوشش جنگل تهیه شده توسط سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۹۷ استفاده شد. این نقشه با دقت بسیار بالا که لکه‌های جنگلی با جزئیات کامل و دقیق استخراج شده تهیه و برای هدف مورد نظر کاملاً مناسب است. این نقشه دارای پنج طبقه بدون پوشش جنگلی، جنگل متراکم، نیمه‌متراکم و تنک و باغ است. که طبقات جنگل از این نقشه، استخراج و طبقات بدون پوشش و باغ در نظر گرفته نشد.

1. Digital Elevation Model

آبخیز به عنوان یک واحد، حداقل شامل چندین لکه جنگل بود تا بررسی و تحلیل ارتباط و پیوستگی بین آنها امکان پذیر باشد ولی از آنجا که این حوزه‌ها اغلب کوچک بوده و برای هدف مطالعه حاضر مناسب نبودند لذا با توجه به این موضوع و پس از بررسی‌های زیاد، تعداد ۲۵ حوزه کلان آبخیز که در برگرفته رودخانه‌های اصلی بودند، در سه استان گیلان، مازندران و گلستان به عنوان واحدهای اصلی مطالعه انتخاب شدند و مرز حوزه‌ها به شکل دستی بسته شد که نقشه آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

آبخیز به عنوان واحدهای کاری و بستن مرز حوزه‌ها، مساحت و بزرگی حوزه‌ها اهمیت ویژه‌ای داشت؛ چرا که با توجه به هدف مطالعه که تعیین پیوستگی و ارتباط لکه‌ها با هم، در هر یک از آنها بود، حوزه‌ها باید به اندازه کافی بزرگ انتخاب می‌شدند تا تغییرات پیوستگی ساختاری لکه‌ها کاملاً مشهود و قابل بررسی باشد. هر چند حوزه‌های ۱۰۴ گانه تهیه شده توسط سازمان جنگلها و مراتع کشور موجود بود، اما با توجه به اینکه هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباطات ساختاری لکه‌های جنگل با هم بود، باید هر حوزه



شکل ۳. الف) نقشه پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه و حوزه‌های آبخیز، ب) از هم گسیختگی لکه‌های جنگلی در قسمتی از حوزه‌های آبخیز

شده‌اند، به صورت شبکه‌ای از نقاط و اتصالات در محیط Arc GIS 10.3 استخراج شد. جهت تهیه شبکه از نرم‌افزار Conefor 2.6 استفاده شد. به این ترتیب، شبکه‌ای متشکل از لکه‌های کانونی جنگل به‌همراه ارتباط همسایگی شان ساخته می‌شود که در واقع هر کدام از این ارتباطات یک اتصال نام دارد. متریک‌های لکه مبنای شامل: نمایه احتمال اتصال و نمایه انتگرال اتصال که اهمیت لکه‌ها را از حیث نقش آنها در پیوستگی سیمای سرزمین مربوطه، اندازه‌گیری می‌کنند، نمایه تعداد خوشه یا قطب‌های زیستگاهی، و نمایه مرکزیت که به نوعی نقش گذرگاهی لکه‌ها را تعیین می‌نماید. در مورد متریک‌های اتصال مبنای (که خود تابعی از نمایه‌های لکه مبنای هستند) نیز می‌توان به اهمیت کریدورها اشاره داشت [۲۴].

باتوجه به توضیحات فوق و لحاظ نمودن وضعیت پراکنش، مساحت، تراکم اجزای سیمای سرزمین در محدوده‌های مطالعاتی، شعاع عملیاتی حداکثر ۱۰ کیلومتری به عنوان پراکنش^۱ انتخاب [۱۹، ۲۴] نمایه اهمیت کریدور (با الگوریتم حذف و جایگزینی) جهت محاسبه نقش هر یک از لکه‌ها در ایجاد پیوستگی و ارتباطات سیمای سرزمین انتخاب شد مجموعه‌ی شاخص‌های پیوستگی به کار برده شده در این پژوهش در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

به منظور تعیین میزان مشارکت هر یک از لکه‌ها در پیوستگی سیمای سرزمین از شاخص انتگرال پیوستگی^۷ و آنالیز حذف گره^۸ استفاده شد. در این تابع (آنالیز حذف گره) با حذف هر یک از نقطه‌های مربوط به مدل شبکه بوم‌شناسی، شبکه مجدداً تشکیل داده می‌شود و سپس میزان پیوستگی نقطه قبل و بعد از حذف نقطه با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۴). بدین صورت میزان اهمیت و نقش هر یک از نقطه‌ها و متعاقباً لکه‌های مرتبط با آنها در پیوستگی شبکه مشخص شد.

تعیین سنجه‌های پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه‌های مطالعاتی

برای بررسی پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین در حوزه‌های مطالعاتی ابتدا از کل نقشه پوشش جنگلی تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 طبقه جنگل جدا و برای کمی‌سازی شاخص‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 4.2 در سطح سیمای سرزمین برای هر یک از ۲۵ حوزه آبخیز استفاده شد. در نهایت با مرور منابع مختلف و متعدد که بررسی پیوستگی سیمای سرزمین را انجام و مطالعه نموده بودند، چهار شاخص: شاخص پیوستگی لکه^۱، شاخص همسایگی^۲، شاخص شکل سیمای سرزمین^۳ و شاخص فراکتال محیط به مساحت^۴، برای تحلیل وضعیت پیوستگی ساختاری حوزه‌های مطالعاتی محاسبه شد. این سنجه‌ها از گروه سنجه‌های پیکربندی^۵ هستند، که طبق مطالعات در بین سایر گروه‌های سنجه‌های سیمای سرزمین، مانند گروه اندازه و مساحت، وضعیت پیوستگی سیمای سرزمین را بهتر نشان می‌دهند [۲۱-۲۳]. به منظور محاسبه این سنجه‌ها، هر حوزه آبخیز به عنوان یک واحد انتخاب و طبقه پوشش جنگل متریک در آن در نظر گرفته شده، سپس هر حوزه ابتدا تبدیل به رستر شده و جهت تحلیل بهتر و با دقت بالاتر پیش از ورود به محیط نرم‌افزار Fragstats 4.2 خروجی مورد نظر، ابتدا در فرمت TIFF ذخیره و سپس وارد محیط نرم‌افزار شد.

تعیین اهمیت لکه‌ها

در این مرحله پیوستگی بین لکه‌های جنگل که قبلاً از نقشه پوشش سرزمین استخراج شده بود، ارزیابی و تعیین شد. این کار با کمک تئوری گراف انجام شد. ابتدا کلیه لکه‌های جنگلی که در مراحل قبل از نقشه پوشش سرزمین استخراج

6. Dispersal
7. dIIC
8. node-removal

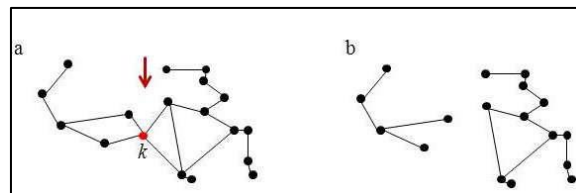
1. COHESION
2. CONTIG
3. LSI
4. PAFRAC
5. Configuration

جدول ۱. شاخص‌های پیوستگی سنجه‌های سیمای سرزمین

ردیف	نام شاخص	علامت	نام فارسی
۱	landscape shape	LSI	شاخص شکل سیمای سرزمین
۲	Cohesion	COHESION	شاخص پیوستگی لکه
۳	Contiguity	CONTIG	شاخص همسایگی
۴	perimeter area fractal dimension	PAFRAC	شاخص بعد فراکتال محیط به مساحت

جدول ۲. شاخص‌های پیوستگی سنجه‌های سیمای سرزمین

ردیف	نام شاخص	علامت	نام فارسی
۱	Attribute of the node	dA	شاخص اهمیت لکه
۲	Harary index	dH	شاخص Harary
۳	Landscape coincidence probability	dLCP	شاخص احتمال انطباق
۴	Integral index of connectivity	dIIC	شاخص انتگرال پیوستگی
۵	Integral index of connectivity Cintra	dIICintra	شاخص انتگرال پیوستگی Cintra
۶	Integral index of connectivity flux	dIICflux	شاخص انتگرال پیوستگی flux
۷	Integral index of connectivity connector	dIICconnector	شاخص انتگرال پیوستگی عامل انطباق دهنده
۸	Probability of connectivity	dPC	شاخص احتمال پیوستگی
۹	Probability of connectivity Cintra	dPCintra	شاخص احتمال پیوستگی Cintra
۱۰	Probability of connectivity flux	dPCflux	شاخص احتمال پیوستگی flux
۱۱	Probability of connectivity connector	dPCconnector	شاخص احتمال پیوستگی عامل انطباق دهنده

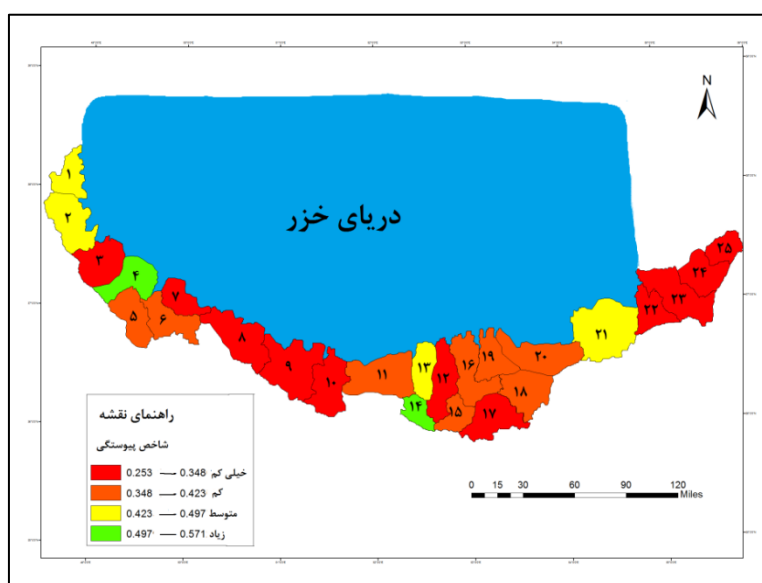


شکل ۴. نمونه‌ای ساده‌ای از الگوریتم برداشت نقطه (پیوستگی سیمای سرزمین در حالت a؛ یعنی قبل از برداشت نقطه k و حالت b؛ یعنی پس از برداشت نقطه k مقایسه و در نتیجه اهمیت آن تعیین می‌گردد).

شاخص نهایی پیوستگی سیمای سرزمین

در نهایت به منظور ارائه شاخص نهایی پیوستگی، ابتدا به منظور حذف بعد معیارها و بزرگی اعداد، تمامی مجموعه داده‌ها در محدوده صفر تا ۱، استاندارد شده و سپس، مجموع پیوستگی حاصل از رویکرد سنجه‌های سیمای سرزمین و پیوستگی کلی حاصل از شاخص‌های تئوری گراف، با هم تلفیق شده و در هر حوزه یک عدد نهایی به عنوان شاخص نهایی پیوستگی لکه‌های جنگل

ارائه شد. جهت درک و نمایش بهتر پیوستگی نهایی و همچنین برای مقایسه بهتر بین حوزه‌های آبخیز از این منظر، محدوده این عدد که از ۰/۲۷۴ تا ۰/۵۷۱ به دست آمده بود، به صورت قراردادی به چهار طبقه با فاصله یکسان یعنی طبقه پیوستگی خیلی کم (۰/۳۴۸-۰/۲۷۴)، پیوستگی کم (۰/۴۴۲-۰/۳۴۸)، پیوستگی متوسط (۰/۴۹۶-۰/۴۴۲) و پیوستگی زیاد (۰/۵۷۱-۰/۴۹۶) تقسیم شدند (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه طبقات شاخص پیوستگی کلی سیمای سرزمین حوزه های آبخیز مورد مطالعه

نتایج و بحث

در این پژوهش، چهار شاخص سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گرفت؛ از نظر شاخص فراکتال محیط به مساحت (PAFRAC) تمامی حوزه‌ها بین ۱/۵۵ تا ۱/۴۱ قرار داشته و بیشترین مقدار شاخص در حوزه ۱۹ (نکا) و کمترین آن در حوزه ۱۴ (چلاو) است. از نظر شاخص همسایگی (CONTIG) حوزه ۸ (نساورد) کمترین مقدار (۹۴/۲۷) و حوزه ۱۳ (گرمود) بیشترین مقدار (۹۹/۲۹) را داراست.

از نظر شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) نیز به ترتیب حوزه‌های ۱۱ (لاویج) و ۱۴ با عدد ۲۵/۸۵ و ۱۰/۹۰ بیشترین و کمترین مقدار را دارند و در نهایت شاخص پیوستگی لکه (COHESION) در حوزه شماره ۱ (تالش) بیشترین عدد و در حوزه ۱۹ کمترین عدد را دارا می باشد و همچنین شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) نیز دارای محدوده‌ای تقریبی بین ۱۱ و ۲۵ در حوزه‌ها بود. بنابراین می توان گفت که لکه‌ها شکل پیچیده‌ای ندارند. این نتایج بر خلاف پژوهش میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) در پوشش جنگلی مازندران که بیان داشتند شاخص فرکتال به سمت مربع و شکل‌های هندسی منظم در منطقه ناشی از احداث سدها و نیز استخرهای پرورش ماهی در

منطقه بوده که به نوعی می تواند بیانگر کاهش پیوستگی سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی شده است [۲۵] هرچند شاخص‌های شکل و پیچیدگی شکل لکه‌ها به طور مستقیم بیانگر پیوستگی سیمای سرزمین نیست اما طبق تعریف این شاخص‌ها [۲۶]، از مهمترین شاخص‌ها در این زمینه می باشند. شاخص پیوستگی لکه هم بین محدوده‌ی ۹۴/۲ تا ۹۹/۲ متغیر است که نشان می‌دهد برخی حوزه‌ها دارای پیوستگی نامناسب هستند، این شاخص در حوزه‌های ۸ و ۱ کمترین مقدار و در حوزه ۱۳ بیشترین مقدار را داشت. همچنین Inkoom و همکاران در سال ۲۰۱۸ نیز در بررسی ساختار جنگلی شرق آفریقا نتیجه گرفتند که شاخص پیوستگی لکه در مقایسه با سایر شاخص‌ها به‌خوبی لکه‌ای شدن سیمای سرزمین را بیان می‌کند [۲۷]. بنابراین در مطالعه حاضر از این نظر حوزه ۸ یعنی رامسر و چالوس دچار گسیختگی لکه‌های جنگل است و حوزه شماره ۱۳ یعنی سرخرود و گرمرود وضعیت بهتری را دارد

شاخص CONTIG یا همسایگی نیز بالاترین و کمترین مقدار را به ترتیب در حوزه‌های ۱ و ۱۹ داشت. شاخص همسایگی، که ارتباطات مکانی یا پیوستگی

مشابه بدست داد؛ ۱۱ معیار پیوستگی بررسی شد که اگر دو شاخص مهم از میان آنها، یعنی شاخص انتگرال پیوستگی (dICC) و شاخص احتمال پیوستگی (dPC) تفسیر شود، باید گفت وضعیت اکثر حوزه‌ها بسیار نامناسب بوده و تنها حوزه‌های ۴ و ۱۴ دارای میزانی بالاتر از سایر حوزه‌ها هستند. شاخص dIIC طبق تحقیقات متعدد شاخصی مهم در جهت بررسی پیوستگی و اولویت‌بندی لکه‌ها در سیمای سرزمین است. این شاخص از میان تمام شاخص‌ها در تشخیص لکه‌های با اهمیت‌تر از نظر موقعیت توپولوژیک و هم از نظر ارزش‌های درونی هر لکه موفق‌تر بوده است؛ چرا که با توجه به الگوریتم محاسبه این شاخص که اساس آن بر پایه انتگرال پیوستگی بین لکه‌هاست، اولاً لکه‌هایی را که در ایجاد پیوستگی کلی در یک سیمای سرزمین نقش مهم‌تری دارند را شناسایی کرده و ثانیاً از این طریق پتانسیل لکه‌ها را در ایجاد پیوستگی یک سیمای سرزمین به خوبی اولویت‌بندی و امتیازدهی می‌کند، از این رو این شاخص یکی از بااهمیت‌ترین شاخص‌های پیوستگی است [۳۰]. در منطقه مورد مطالعه تنها حوزه شماره ۱۴ یعنی پنجاب و چلاو در استان مازندران و شماره ۴ یعنی پسیخان و قلعه رودخان و سیاهرود در استان گیلان دارای شاخص احتمال پیوستگی بالا (۴/۲۶ و ۴/۲۰) بودند. لکه‌های جنگل در سایر حوزه‌ها دارای شاخص IIC بسیار پایینی بوده و حوزه‌های ۹ و ۱۰ در محدوده سردآبرود و چالوس وضعیت بسیار نامناسبی را نشان دادند. از لحاظ شاخص احتمال پیوستگی یا dPC حوزه ۹ و ۱۰ دارای مقداری بسیار پایین و حوزه ۱۴ عدد بالاتری دارد. این نتایج همسو با نتایج دووی و همکاران در سال ۲۰۱۳ است که از شاخص‌های انتگرال پیوستگی یا dIIC و شاخص اهمیت احتمال پیوستگی یا dLCP جهت بررسی پیوستگی و اولویت‌بندی لکه‌های جنگلی در منطقه‌ای در هند استفاده کرده و نتیجه گرفتند این دو شاخص از آنجا

سلول‌ها را در یک لکه ارزیابی می‌کند [۲۸] نیز در اکثر حوزه‌ها دارای مقادیر کمتر ۰/۳ بوده و ارتباطات همسایگی لکه‌ها پایین ارزیابی شد بجز چند حوزه محدود. در مقایسه با پژوهش نظرنازاد و همکاران در سال ۱۳۹۸ که از سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین جهت ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی در حوزه آبخیز زولاچای، سلماس استفاده کردند، مقدار پیوستگی در تحقیق حاضر بسیار پایین‌تر است. همچنین Ghosh و همکاران در سال ۲۰۱۲ تحقیقی از سه سنجه به‌کار برده شده در تحقیق حاضر، جهت بررسی تغییرات پوشش جنگل در منطقه‌ای در هیمالیا استفاده کرده و نتایج محاسبه سنجه‌های منظر در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین برای سالهای ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ نشان دهنده روند جنگل‌زدایی، افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش پیوستگی بین کاربری‌ها بود [۲۹].

به طور کلی از منظر سنجه‌های پیوستگی سیمای سرزمین غالب حوزه‌ها متوسط و ضعیف از نظر پیوستگی هستند. از آنجا که با بررسی سنجه‌های شکل و بعد فراکتال مشخص شد وضعیت شکل اغلب لکه‌ها متوسط بوده و تقریباً حالت بینابینی از لحاظ سادگی و پیچیدگی دارند؛ و نیز با تجزیه و تحلیل شاخص‌های پیوستگی و همسایگی لکه‌ها آنچه در ارتباط با وضعیت پیوستگی لکه‌های جنگل، به نظر می‌رسد وجود گسستگی فراوان و فاصله زیاد لکه‌ها از هم است که سبب پایین بودن شاخص‌های پیوستگی شده است. جدول ۳ تعداد ۱۱ شاخص پیوستگی محاسبه شده در نرم‌افزار Conefor را نشان می‌دهد. که به طور کلی بالاترین شاخصها مرتبط با حوزه‌های شماره ۴ و ۱۴ است.

یکی از مهمترین شاخصها که پیش‌تر توضیح داده شد شاخص dIIC و dPC است که در مورد هر دو شاخص، حوزه ۱۴ دارای بالاترین مقدار و حوزه ۱۰ کمترین است. نتایج تحلیل شاخص‌های تئوری گراف هم یافته‌هایی

که به ترتیب بر پایه آنالیزهای ریاضی انتگرال و احتمال پیوستگی لکه‌های سیمای سرزمین هستند، از این رو نسبت به سایر شاخص‌های تئوری گراف که غالباً تنها بر پایه اهمیت یک لکه‌اند، شاخص‌های بهتری در جهت بررسی و اولویت‌بندی لکه‌ها در پیوستگی یک سیمای سرزمین هستند. [۱۹]. در مقایسه با این مطالعه، در پژوهش حاضر از شاخص‌های بیشتری استفاده شده و نیز اعداد شاخص‌های پیوستگی این منطقه، نسبت به پژوهش حاضر به مراتب بالاتر بوده است؛ به طوری که غالب منطقه مورد مطالعه آنها در طبقه پیوستگی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت. همچنین این نتایج بر خلاف پژوهش‌های علائی و همکاران در سال ۱۳۹۸ است که از سنجه‌های

سیمای سرزمین و دو شاخص انتگرال پیوستگی (dIIC) و شاخص اهمیت احتمال پیوستگی (dLCP) جهت بررسی پیوستگی حوزه آبخیز کوزه تپراقی اردبیل استفاده کردند و میزان کلی پیوستگی را قابل قبول اعلام کردند، می‌باشد. در پژوهش آنها هم غالب منطقه در طبقه متوسط و زیاد قرار داشت [۱۷]. بودینا و ساراک در سال ۲۰۱۰ نیز مجموعه متریک‌های تئوری گراف به کار رفته در این تحقیق را جهت اولویت‌بندی لکه‌های مهم سیمای سرزمین به کار برده و نتیجه گرفتند مجموعه این متریک‌ها رویکردی قابل قبول جهت شناسایی و انتخاب لکه‌های مهم و حفظ و توجه به آنها فراهم می‌کند [۲۴].

جدول ۳. تعیین پیوستگی نهایی سیمای سرزمین در هر حوزه آبخیز

شماره حوزه آبخیز	پیوستگی کلی از منظر سیمای سرزمین	پیوستگی کلی از منظر شاخص‌های تئوری گراف	شماره حوزه آبخیز	شاخص نهایی پیوستگی	پیوستگی کلی از منظر شاخص‌های تئوری گراف	پیوستگی کلی از منظر سیمای سرزمین
۱	۰/۵۹۷۶	۰/۳۱۵۰	۱۴	۰/۴۵۶	۰/۷۳۵۹	۰/۴۰۶۵
۲	۰/۶۵۷۶	۰/۳۱۹۲	۱۵	۰/۴۸۸	۰/۳۳۹۲	۰/۳۶۲۸
۳	۰/۴۰۷۰	۰/۲۳۴۵	۱۶	۰/۳۲۰	۰/۲۴۷۱	۰/۴۹۶۴
۴	۰/۳۶۶۷	۰/۷۱۴۶	۱۷	۰/۵۴۰	۰/۱۴۰۰	۰/۴۱۲۲
۵	۰/۵۳۶۸	۰/۲۵۸۶	۱۸	۰/۳۹۷	۰/۱۷۹۷	۰/۵۲۴۱
۶	۰/۳۸۸۶	۰/۴۲۴۹	۱۹	۰/۴۰۶	۰/۱۲۴۵	۰/۶۰۹۹
۷	۰/۵۰۷۰	۰/۰۴۵۴	۲۰	۰/۲۷۶	۰/۱۲۸۰	۰/۶۲۷۹
۸	۰/۳۹۵۹	۰/۲۹۸۳	۲۱	۰/۳۴۷	۰/۲۴۲۹	۰/۶۱۰۸
۹	۰/۵۰۳۵	۰/۰۴۶۰	۲۲	۰/۲۷۴	۰/۱۹۶۱	۰/۳۸۰۰
۱۰	۰/۵۷۸۲	۰/۰۳۸۵	۲۳	۰/۳۰۸	۰/۱۵۲۴	۰/۴۱۹۸
۱۱	۰/۶۷۲۰	۰/۱۴۸۵	۲۴	۰/۴۱۰	۰/۲۰۵۵	۰/۴۰۱۵
۱۲	۰/۴۰۷۷	۰/۲۰۳۳	۲۵	۰/۳۰۵	۰/۱۲۸۰	۰/۴۳۹۲
۱۳	۰/۶۱۹۰	۰/۲۲۷۵		۰/۴۲۳		

همان‌گونه که مشاهده می‌شود محدوده شاخص پیوستگی بین ۰/۵۷ (بیشترین مقدار در حوزه ۱۴) و ۰/۲۷ (کمترین مقدار در حوزه‌های ۷ و ۹) متغیر بوده و بقیه حوزه‌ها از نظر شاخص پیوستگی بین این دو مقدار هستند. شکل ۴ این مطلب را بهتر نمایش می‌دهد. به این ترتیب نتایج کلی اجرای تئوری گراف و تجزیه و تحلیل شاخص

های مربوطه نشان داد که در حوزه آبخیز ۹ و ۷ و همچنین ۱۰ شامل منطقه سردآبرود، کلاردشت، چالوس، در استان مازندران و شمروود در استان گیلان این شاخصها به شدت پایین است. در نهایت با تلفیق دو رویکرد استفاده از سنجه‌های شاخص پیوستگی و شاخص‌های تئوری گراف، بیشترین پیوستگی در حوزه‌های آبخیز ۱۴ و ۴ دیده شد و

صورت عدم توجه و برنامه‌ریزی مدیریتی مناسب، ادامه روند کنونی و کاهش بیشتر پیوستگی لکه‌ها، پیامدهای زیادی مانند کاهش زیستگاه‌های حیات وحش، کاهش تنوع زیستی، افزایش فرسایش خاک و در نتیجه افزایش آلودگی آب و خاک خواهد داشت. پیوستگی ساختار همچنین به نوبه خود پیوستگی فضایی فرایندهای اکولوژیکی مهم را نیز فراهم خواهد نمود. در سطح چنین سیمایی، لکه‌های بزرگ و از نظر ساختاری پیچیده‌ای وجود خواهد داشت که این لکه‌ها از طریق گذرگاه‌ها یا کریدورها به هم مرتبط شده و در نتیجه سیمای تولیدی حاصل نیز قطعا باعث پایداری سطوح بالاتری از تنوع زیستی خواهند شد. در نهایت کل سیستم نسبت به شوک‌های خارجی وارد شده مانند خشکسالی مقاوم‌تر شده و برگشت‌پذیری سریع‌تر و بهتری خواهد داشت. با توجه به سهولت استفاده تئوری گراف و شاخص‌های پیوستگی حاصل از آن، و در عین حال دقت نتایج در بررسی پیوستگی سیمای سرزمین، استفاده از این رویکرد به عنوان روشی کارا توصیه می‌شود. با شناسایی لکه‌های با ارزش، برنامه‌ریزی‌های مدیریتی باید به سمت حفاظت از آنها سوق داده شود تا بیشترین سود با حداقل هزینه‌ها در جهت حفاظت از لکه‌های با اهمیت به دست آید. درک ساختار و نحوه ترکیب الگوهای لکه‌های جنگلی سبب طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی یکپارچه آنها می‌شود که می‌تواند به کاهش تخریب این جنگل‌های با ارزش کمک کند. همچنین در این راستا، برنامه‌ریزی و طرح‌ریزی و اجرای طرح‌های احیا جنگل در جهت بازگردانی، پایش و حفظ ساختار لکه‌های جنگلی باقیمانده در پهنه خزری، کاملا لازم به نظر می‌رسد.

کمترین در حوزه‌های ۹ و ۷. نتایج این مطالعه نشان داد در مقایسه با مناطقی که ارزیابی پیوستگی در آنها صورت گرفته، ناحیه جنگلهای خزری به طور کلی دارای پیوستگی بسیار پایین‌تری است، به طوری که بسیاری از حوزه‌های مطالعاتی دارای شاخص پیوستگی خیلی کم و کم بودند و وجه تمایز این مطالعه از مطالعات مشابه دیگر، از یک سو انتخاب یک منطقه وسیع جهت بررسی پیوستگی لکه‌های جنگل و از سوی دیگر انتخاب مجموعه جامعی از شاخص‌های پیوستگی سیمای سرزمین است. به طوری که در مطالعاتی که عنوان شد، تنها تعداد اندکی از شاخص‌های مبین پیوستگی به کار برده شده؛ لذا به نظر می‌رسد رویکرد استفاده شده در این تحقیق شاخص کلی قابل قبول‌تر و واقعی‌تری از پیوستگی لکه‌های جنگل ارائه داده و شاید اولین پژوهشی است که از مجموعه‌ای از شاخص‌های تئوری گراف جهت بررسی پیوستگی لکه‌های جنگلی در کل پهنه خزری استفاده کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان دهنده از هم گسیختگی شدید لکه‌های جنگل به ویژه در استان مازندران و حوزه‌های مورد مطالعه است و بر این اساس، کل لکه‌های جنگلی در پهنه خزری از نظر شاخص پیوستگی در وضعیت بسیار نامناسب قرار دارند و ۸۰ درصد حوزه‌ها دارای پیوستگی بسیار کم و کم می‌باشند و از مجموع ۲۵ حوزه مطالعاتی، ۳ حوزه آبخیز پیوستگی متوسط و تنها دو حوزه دارای پیوستگی خوب هستند. به طور کلی نتایج نشان داد در بسیاری از حوزه‌ها به ویژه دو حوزه چالوس، سردآبرود و نیز شلمانرود پیوستگی پایین، گسستگی لکه‌ها و از هم گسیختگی شدید آنها دیده شد که نیازمند برنامه‌های وسیع احیا و جلوگیری از گسستگی بیشتر این لکه‌ها هستند. در

References

- [1]. Tischendorf, L., and Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90: 7-19.
- [2]. Zio 'lkowska, E., Ostapowicz, K., Radeloff, VC., and Kuemmerle, T. (2014). Effects of different matrix representations and connectivity measures on habitat network assessments. *Landsc Ecology*, 29:1551-1570
- [3]. Magle, SB., Theobald, DM., and Crooks, KR. (2009). A comparison of metrics predicting landscape connectivity for a highly interactive species along an urban gradient in Colorado, USA. *Landsc Ecol*, 24(2):267-280.
- [4]. Mallarach, J. M., and Marull, J. (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.
- [5]. Darvishi, A., Mobarghaee Dinan, N., Barghjelveh, S., and Yousefi, M. (2020). Assessment and Spatial Planning of Landscape Ecological Connectivity for Biodiversity Management (Case Study: Qazvin Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9 (1) :15-29.
- [6]. Spanowicz, A.G. and Jaeger, J.A. (2019). Measuring landscape connectivity: On the importance of within-patch connectivity. *Landscape Ecology*, 34(10): 2261-2278.
- [7]. Kettunen, M., Terry, A., Tucker, G., and Jones, A. (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.
- [8]. Hosseini Vardei, M., Salman Mahini, A., Monavari, M., and Kheirkhah Zarkesh, M. (2012). Using landscape metrics in cumulative effects assessment of road network on tree cover. *Journal of Natural Environment*, 2:139-152
- [9]. Urban, D. L., Minor, E. S., Treml, E. A., and Schick, R. S. (2009). Graph model of habitat mosaics. *Ecology Letters*, 12: 260-273.
- [10]. Urban, D., and Keitt, T. (2001). Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82(5): 1205-1218.
- [11]. Drake, J., Griffis-Kyle, K., and Mc-Intyre, N. (2017). Using nested connectivity models to resolve management conflicts of isolated water networks in the Sonoran Desert. *Ecosphere*, 8(1): 1-22.
- [12]. Galpern, P., Manseau, M., and Fall, A. (2011). Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation*, 144(1): 44-55.
- [13]. Zetterberg, A., Mörberg and, U. M., Balfors, B. (2010). Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design. *Landscape and Urban Planning*, 95: 181-191.
- [14]. Poodat, F., Arrowsmith C., Mikaeili Tabrizi, A., and Gordon, A. (2018). Application of Graph Theory in Landscape Ecology The Case Study: Assessment of Habitat Connectivity within Greater Melbourne . *Iranian Journal of Applied Ecology*, 6 (4) :81-95.
- [15]. Shafinejad, S., Poodat, F., and Farrokhian, F. (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.
- [16]. Mostafazadeh, R., Jafari, A., and Keivan-behjou, F. (2018). Comparing the rangelands structure and degradation of landscape connectivity in iril sub-watersheds, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7 (1) :41-53.
- [17]. Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., Sharari, M., Hazbavi, Z. (2020). Assessment and Comparison of Landscape Connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8 (4) :19-34.
- [18]. Nazar Neghad, H., Hosseini, M., and Mostafazadeh, R. (2020). Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas. *Geographic Planning of Space Quarterly Journal*, 34:53-66.

- [19]. Devi, B.S., Murthy, M.S.R., Debnath, B. and Jha, C.S. (2013). Forest patch connectivity diagnostics and prioritization using graph theory. *Ecological Modelling*, 251: 279-287.
- [20]. Baranyi, G., Saura, S., Podanic, J., and Jord, J. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators*, 11: 1301-1310.
- [21]. Forman, K. and Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley, New York. 432 pp.
- [22]. Farina, A. 1998. *Principles and methods in landscape ecology*. Springer, The Netherlands, 235pp.
- [23]. McGarigal, K., Marks, B.J., (1994). Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. 134 pages, Available in Patch Analyst software help (metrics definition).
- [24]. Bodina, O., and Saurac, S. (2010). Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling*, 221: 2393-2405.
- [25]. Mirzayi, M., Riyahi Bakhtiyari, A., Salman Mahini, A., and Gholamalifard, M. (2013). Investigating the land cover changes in mazandaran province using landscape ecology's metrics between 1984 - 2010. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2 (4) :37-55.
- [26]. Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- [27]. Inkoom, J.N., Frank, S., Greve, K., Walz, U. and Fürst, C., 2018. Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa. *Ecological Indicators*, 85, 117-127.
- [28]. Karami, P., and MirSanjari, M. (2018). Analysis of Landscape Degradation in the Hawizeh Wetland by Using Remote Sensing. *Wetland Ecobiology*, 10 (1) :39-54.
- [29]. Ghosh, A., Munshi, M., Areendran, G., and Joshi, P.K. (2012). Pattern space analysis of landscape metrics for detecting changes in forests of Himalayan foothills. *Asian journal of geoinformatics*, 12(1): 1-12.
- [30]. Pascual-Hortal, L., and Saura, S. (2007). Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning*, 83(2-3): 176-186.

Quantitative assessment of connectivity of forest patches in Caspian Sea catchment using landscape and graph theory indexes

S., Heidari Masteali*; PhD Student, Department of Environment, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran.

B., Jabbarian Amiri; Assoc., Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran.

M., Kaboli; Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran.

M., Bayat; Assist., Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran.

(Received: 27 May 2021, Accepted: 26 July 2021)

ABSTRACT

The forests of the Caspian region are one of the most important forest resources in Iran, but what is seen as a large gap in research is the need to pay attention to the structural dimensions, especially to maintain the structural connectivity of these forests. The aim of this study was to assess and compare the indicators of forest landscape in the Caspian Sea watersheds. At first, the forest layer was extracted from the land cover map and 25 large watersheds were selected to study and compare the connectivity indicators. The connectivity of the terrestrial landscape was analyzed using landscaping metrics and graph theory indicators, by Fragstats and Conefor softwares respectively. Finally, by standardizing the calculated connectivity indicators, a final connectivity score was obtained for each watershed. The results showed that the indicators of forest patches connectivity in the whole Caspian catchment are very low, so that 80% of the watersheds are in the category of very low and low connectivity. Watershed 9 (Sardabroud, Shalmnroud) and 7 (Chalous) are in a very unfavorable situation, and only two watersheds of 14 (Chalav, Panjab) and 4 (Pasikhan), in the area of Chalav and Punjab, in the Haraz River, and the Shakhaz, Pesikhan rivers, are in a better situation in terms of connectivity indicators. Considering the importance of preserving the structure and connectivity of forest patches, the results of this study show the need for special attention to the management and restoration programs of these forests.

Keywords: Forest fragmentation, Hyrcanian forest, Landscape ecology, Structural connectivity.

* Corresponding Author, Email: saharheidari@ut.ac.ir, Tel; +98 2632223044