

ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل

نازیلا علایی^۱، رئوف مصطفی‌زاده^{۱*}، اباذر اسمعیلی‌عوری^۱، معراج شیری^۱ و زینب حزباوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۳۰)

چکیده

به دنبال توسعه نامتوازن و بهره‌برداری مفرط از حوزه‌های آبخیز کشور، امروزه تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین به یک نگرانی عمده برای حفظ خدمات بوم‌سازگان و سلامت زمین تبدیل شده است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه شاخص‌های پیوستگی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی به‌عنوان یکی از حوزه‌های آبخیز حساس به تخریب از لحاظ بوم‌شناختی انجام شد. به‌همین منظور، پیوستگی سیمای سرزمین از دو بعد ساختاری و عملکردی لکه‌های سبز (کاربری مرتع و باغ) در سطح ۳۶ زیرحوزه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا شاخص‌های پیوستگی با استفاده از نرم‌افزار Fragstats و تئوری گراف برای هر کدام از زیرحوزه‌های کوزه‌تپراقی محاسبه و سپس به‌منظور حذف بزرگی معیارهای محاسبه شده در ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی شاخص‌های مورد استفاده، در بازه صفر تا یک با استفاده از روش فاصله‌ای استاندارد شدند. در ادامه، پیوستگی سیمای سرزمین برای هر یک از زیرحوزه‌ها و نیز کل حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی محاسبه، طبقه‌بندی و پهنه‌بندی شد. نتایج پیوستگی ساختاری نشان داد که پیوستگی لازم بین لکه‌های سبز در تمام زیرحوزه‌های مورد مطالعه وجود دارد. نتایج پیوستگی عملکردی نشان داد که زیرحوزه‌های ۴ و ۳۶ حداکثر و زیرحوزه ۱۷ حداقل مقدار پیوستگی عملکردی را از لحاظ شاخص احتمال پیوستگی (PC) دارند. همچنین پیوستگی کلی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی دارای میانگین، انحراف معیار به ترتیب برابر با ۰/۵۲، ۰/۵۰ و در محدوده ۰/۵۰ تا ۰/۹۷ متغیر است. بر اساس نتایج مشخص شد که از ۳۶ زیرحوزه واقع در کوزه‌تپراقی تنها ۱۵ زیرحوزه دارای اراضی طبیعی (باغ و مرتع) بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات سیمای سرزمین، تئوری گراف، تغییر کاربری، تغییرات مکانی، تکه‌شدگی، لکه‌های سبز

۱. گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲. پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: raoofoomstafazadeh@uma.ac.ir

مقدمه

تخریب طبیعی و انسانی زیستگاه‌ها می‌تواند روابط مکانی بین لکه‌های زیستگاه را تغییر دهد. بنابراین حساس بودن روابط مکانی به از دست رفتن لکه (Patch) و کاهش پیوستگی سیمای سرزمین، یک عامل مهم تعیین‌کننده یکپارچگی و سلامت محیط زیست محسوب می‌شود (۱۰، ۱۴ و ۱۵). بوم‌شناسی سیمای سرزمین به شدت با کاربری اراضی مرتبط است. به‌ویژه این ارتباط از جنبه‌های الگوهای مکانی و به‌عنوان شالوده برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مدیریت آن مطرح است (۱۲). از این‌رو، پیوستگی سیمای سرزمین در دو دهه اخیر مورد توجه پژوهشگران مختلف در زمینه‌های بوم‌شناسی، محیط زیست، جغرافیا و نیز آبخیزداری قرار گرفته است (۷ و ۲۰). از دست دادن پیوستگی مناطق طبیعی تهدیدی جدی برای حفظ تنوع زیستی است. بنابراین، نیازمند توجه بیشتری در انجام برنامه‌ریزی‌های در ارتباط با حفظ محیط زیست به‌ویژه در مقیاس حوزه آبخیز است (۲۴). پیوستگی بوم‌شناختی از جمله مفاهیم شناخته شده در شاخه‌های مختلف بوم‌شناسی سیمای سرزمین، حفاظت حیات وحش و بوم‌شناسی جمعیت است که به دلیل اهمیت آن برای تنوع زیستی و سلامت بوم‌سازگان، مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است (۲۴). پیوستگی بوم‌شناختی از دیدگاه حیات وحش و محیط زیست یک ویژگی ساختاری سیمای سرزمین است که عموماً به‌عنوان درجه‌ای تعریف می‌شود که سیمای سرزمین قادر است حرکت جانوران در بین زیستگاه‌هایشان را تسهیل کند (۲۴).

تاکنون شاخص‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل پیوستگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما تلاش‌های به‌نسبت کمی برای شناخت رفتار و حساسیت آنها به تغییرات مکانی صورت گرفته است که به‌طور جدی تفسیر و مفید بودن آنها را تضعیف می‌کند (۱۹). در این زمینه، تئوری گراف به‌عنوان یک روش مفید و مؤثر برای نمایش الگوی مکانی سیمای سرزمین به‌عنوان یک شبکه و انجام تجزیه و تحلیل پیچیده در مورد پیوستگی سیمای سرزمین مطرح می‌شود. در واقع تئوری گراف ابزاری تصویری فراهم می‌کند که بر اساس آن می‌توان یک شبکه را با

قوت‌ها و ضعف‌هایش به نمایش گذاشت (۸). مطالعات مختلفی، کاربرد مؤثر تئوری گراف برای مدل‌سازی پیوستگی زیستگاه‌ها، تحلیل برهم‌کنش‌ها و ارتباطات آنها را مورد تأیید قرار داده است (۳ و ۹). برای مثال، در این زمینه بون و همکاران (۶)، به بررسی پیوستگی سیمای سرزمین با استفاده از تئوری گراف پرداختند. ایشان در پژوهش خود پیشنهاد کردند که تئوری گراف، همان‌طور که در حوزه حفاظت محیط زیست استفاده می‌شود، می‌تواند در مطالعات مرتبط با پیوستگی سیمای سرزمین هم مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه شی و همکاران (۲۶)، با تأکید بر ضرورت کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین و تغییرات آن برای پایش و ارزیابی نتایج بوم‌شناختی تغییر کاربری و دخالت‌های انسانی، برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ از برخی سنجش‌های سیمای سرزمین برای حوزه آبخیز هایپه (Haihe) واقع در چین استفاده کردند. نتایج آنها نشان‌دهنده کاهش علفزارهای منطقه، پراکندگی لکه‌ها و تغییر شکل پیچیده در ساختار سیمای سرزمین به دلیل بهره‌برداری شدید و بازسازی منطقه به‌وسیله انسان بوده است. همچنین، رضا و عبدالله (۲۱)، مطالعه مروری جامعی در زمینه تاریخچه، ویژگی‌ها و ارزیابی یکپارچگی بوم‌سازگان انجام دادند. بر اساس تحقیقات ایشان تأیید شد که شاخص پیوستگی سیمای سرزمین از دو جنبه ساختاری و عملکردی می‌تواند مورد توجه و محاسبه قرار بگیرد. در ادامه، شانتالادوی و همکاران (۲۵) به بررسی لکه‌های مهم جنگلی و اولویت‌بندی آن با استفاده از تئوری گراف پرداختند. در این تحقیق شاخص‌های dIICintra, LCP, dIIC, dIICflux و dIICconnector مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که از میان ۱۹۱ لکه در فاصله آستانه مطلوب ۲۵۰ متر برای پیوستگی، پنج لکه دارای اهمیت بالا بودند. پنا-دومن و مینور (۲۰) مطالعه مروری بر پیوستگی سیمای سرزمین و اثرات بوم‌شناختی پرداختند. آنها در تحقیق خود اذعان کردند که بسیاری از معیارهای مختلف که برای بررسی تأثیر پیوستگی سیمای سرزمین در نظر گرفته شده است، در اثر رفتارهای موجودات مختلف ایجاد شده است. بودین و سورا (۵) به رتبه‌بندی لکه‌های زیستگاه فردی به‌عنوان تجزیه و تحلیل

Conefor Sensinode 2.6 در شهر اهواز پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که ناحیه چهارشیر اهواز واقع در شرق رودخانه کارون و جنوب شرق محدوده شهر با داشتن بزرگ‌ترین لکه سبز، بیشترین اهمیت را در پیوستگی شبکه سبز شهر اهواز دارد. نوحه‌گر و همکاران (۱۸) نیز به تحلیل کاربری سرزمین در بخش مرکزی گیلان با توجه به شرایط موجود پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در اثر دخل و تصرف انسان، ساختار سیمای سرزمین ریزدانه‌تر، تعداد لکه‌های انسان‌ساخت و نیمه‌طبیعی افزایش و پیوستگی سیمای سرزمین کاهش یافته است. خسروی و همای (۱۴) به ارزیابی اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین زیست‌بوم‌های بیابانی در سه گونه روباه با استفاده از رویکرد کرنل مقاومت و شبکه گراف پرداختند. نتایج این تحقیق ارتباط مثبت بین وسعت لکه زیستگاهی، میانگین تراکم نسبی افراد مهاجر و میانگین احتمال واقع در هر لکه را با شاخص احتمال نشان داد. همچنین استفاده از شاخص‌های کیفیت زیستگاه در مقایسه با کمیت زیستگاه، کارایی بیشتری را در بررسی اهمیت لکه‌های زیستگاهی در برقراری ارتباطات سیمای سرزمین نشان داد. همچنین نظر نژاد و همکاران (۱۷)، به تحلیل تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز بالانچ‌چای ارومیه با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در مقطع‌های زمانی ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سیمای سرزمین تکه‌تکه‌تر، از نظر شکلی پیچیده‌تر، نامنظم‌تر و از نظر میزان یکپارچگی عناصر ساختاری، ناپیوسته‌تر شده است. بنابراین، با توجه به مطالب گفته شده و اهمیت موضوع پیوستگی سیمای سرزمین در مطالعات جهانی، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و تحلیل مقایسه‌ای وضعیت شاخص‌های پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی و انجام شده است. با وجود حساسیت بوم‌شناختی بالای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی و وجود تنوع کاربری‌ها در حوزه آبخیز و زمینه مناسب دخالت‌های انسانی، مطالعات و تحقیقات مستندی در خصوص وضعیت سیمای سرزمین آن از لحاظ پیوستگی ساختاری و عملکردی انجام نشده است. با انجام پژوهش

پیوستگی شبکه در اسپانیا پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ترکیب و گسترش شاخص‌های پیوستگی به‌طور مشترک قابل توجه بوده که آسیب‌پذیری سیمای سرزمین به‌دلیل اختلالات به‌وجود آمده، افزایش یافته است. همچنین، بارانی و همکاران (۳)، به بررسی مشارکت لکه‌های زیستگاه در تحلیل پیوستگی با استفاده از ۱۳ شاخص توپولوژیکی شبکه در اسپانیا پرداختند. عنوان کردند که بخش پیوستگی بر اساس شاخص‌های انتگرال پیوستگی (IIC) و احتمال پیوستگی (PC) و مرکزیت بینابینی (BC) کاملاً منحصر به‌فرد و با تمرکز بر لکه‌های خاص عمل می‌کند.

در ایران نیز طالبی امیری و همکاران (۲۷)، با تجزیه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین، تبدیل گسترده زمین‌های جنگلی و کشاورزی در منطقه به پوشش مرتعی را طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۱ گزارش کردند. طبق پژوهش آنها، افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین مساحت، دو شاخص مهم تجزیه بوده و روند تخریب و تجزیه سیمای سرزمین را به‌صورت افزایشی گزارش کردند. کرمی و فقهی (۱۱)، ساختار اولیه سیمای سرزمین و روند تغییرات آن در آینده و همچنین اهمیت ناحیه رویشی زاگرس، در استان کهگیلویه و بویراحمد را بررسی کردند که نتیجه نشان‌دهنده این بود که هر چه درصد و تراکم مناطق مسکونی در منطقه بیشتر باشد تراکم لکه و سنجه شکل لکه‌ها افزایش و اندازه لکه و اتصال و پیوستگی سیمای سرزمین هم کاهش می‌یابد. بی‌همتا و همکاران (۴) کمی‌سازی الگوی مکانی و زمانی را برای شهر اصفهان در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ انجام دادند. نتایج آنها نشان‌دهنده افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی بایر بوده است. آرخی و فتحی‌زاد (۲)، به‌منظور بررسی روند تغییرات سیمای سرزمین در حوزه آبخیز دویرج استان ایلام از سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین مساحت دو شاخص مهم تجزیه بوده و روند تخریب و تجزیه سیمای سرزمین به‌صورت افزایشی بوده است. همچنین شفیع‌نژاد و همکاران (۲۴) به بررسی ارزیابی پیوستگی بوم‌شناختی لکه‌های سبز شهری با استفاده از تئوری گراف در محیط نرم‌افزار

تغییرپذیری مکانی آنها ضروری به‌نظر می‌رسد. هر چند همان‌گونه که در روش تحقیق اشاره شد، برای این امر شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین استفاده شده است. اما جامعیت و چندجانبه بودن شاخص‌های مورد استفاده نکته مهمی است که در تمام مطالعات در نظر گرفته نشده است. به‌همین منظور، در تحقیق حاضر تحلیل‌های لازم برای محاسبه پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی از دو جنبه پیوستگی ساختاری و عملکردی بر اساس روش ارائه شده توسط رضا و عبدالله (۲۱) و منتج از مرور بیش از ۱۰ مطالعه کاربردی مورد توجه قرار گرفت که در ادامه به تفصیل، توضیح داده شده است. در این تحقیق بر اساس کیفیت مطلوب و در دسترس بودن تصاویر Google Earth، تصاویر منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸ دریافت و نیز برای استخراج پوشش‌های اراضی طبیعی استفاده شد (۱۶). علاوه بر این نقشه استخراج شده با نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مطابقت داده و صحت آن مورد تأیید قرار گرفته است.

پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین

برای بررسی پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی ابتدا کل نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه و سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 فقط دو طبقه (Class) مرتع و باغ از کل نقشه کاربری اراضی جدا شدند. برای کمی‌سازی شاخص‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 4.2 در سطح سیمای سرزمین برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز استفاده شد. در نهایت سه شاخص پیوستگی لکه (COHESION)، شاخص همسایگی (CONTIG) و شاخص فرکتال (FRAC) برای تحلیل وضعیت پیوستگی ساختاری حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی محاسبه شد. شاخص پیوستگی لکه ارتباط فیزیکی لکه‌ها را بیان می‌کند. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش می‌یابد. شاخص همسایگی، ارتباطات مکانی یا پیوستگی سلول‌ها

حاضر، اطلاعات مفید و کاربردی برای انجام مطالعات پیش رو و تکمیلی و نیز مدیریت و سیاست‌گذاری‌های مناسب و متناسب با پتانسیل بوم‌شناختی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در ابعاد مختلف تصمیم‌گیری (منابع طبیعی، محیط‌زیستی و عمرانی) در اختیار محققان و مدیران در سطح منطقه‌ای و ملی قرار خواهد گرفت.

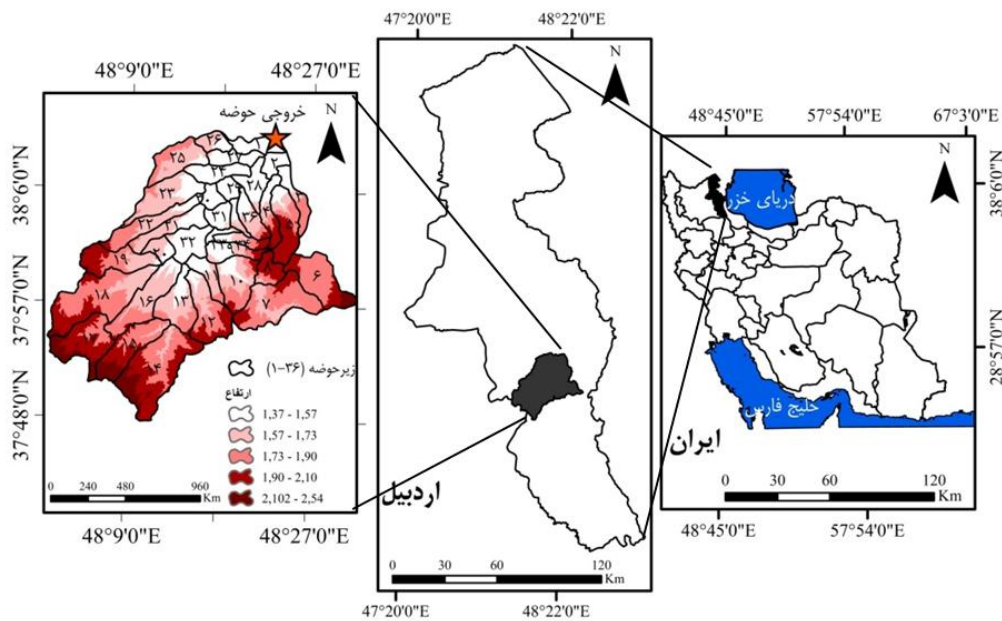
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل است. حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی دارای مساحت ۸۰۵/۷۰ کیلومتر مربع در قسمت جنوبی اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر واقع شده است و بخش زیادی از شهرستان نیر را در برمی‌گیرد. این حوزه آبخیز دارای مختصات جغرافیایی $38^{\circ}07'28''$ تا $48^{\circ}22'01''$ طول شرقی و $38^{\circ}03'01''$ تا $38^{\circ}03'01''$ عرض شمالی است. ضریب فشردگی برای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی ۱/۴۷ است که نشان‌دهنده کشیده بودن حوزه آبخیز است. مناطق مسکونی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی را ۶۵ روستا از جمله قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو و مولان شامل می‌شوند. پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع حوزه آبخیز به‌ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲۵۴۹ متر نسبت به سطح دریا گزارش شده است (شکل ۱) (۱).

روش کار

پیوستگی کل سیمای سرزمین به دو نوع پیوستگی ساختاری و عملکردی بستگی دارد. پیوستگی ساختاری عامل مهم تعیین‌کننده یکپارچگی زیست‌محیطی یک منطقه به‌حساب می‌آید. از طرفی پیوستگی عملکردی، پاسخ‌های رفتاری موجودات زنده به الگوی سیمای سرزمین را در نظر می‌گیرد (۲۱). بنابراین با توجه به اهمیت دو جنبه مورد نظر در ارزیابی پیوستگی کل سیمای سرزمین یک حوزه آبخیز، انجام محاسبات و تحلیل‌های مدیریتی و بوم‌شناختی با توجه به رفتارپذیری و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

شاخص‌ها برای تجزیه و تحلیل پیوستگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما تلاش‌های نسبتاً کمی برای شناخت رفتار و حساسیت آنها به تغییرات مکانی صورت گرفته است که به طور جدی تفسیر و مفید بودن آنها را تضعیف می‌کند (۲۳). در همین راستا، برای محاسبه پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه تپراقی از تئوری گراف با استفاده از نرم‌افزار 2.6 Confer Sensinode استفاده شد.

نرم‌افزار 2.6 Confer Sensinode یک بسته نرم‌افزاری است که امکان کمی کردن اهمیت مناطق زیستگاهی و پیوندها برای حفظ یا بهبود پیوستگی و همچنین ارزیابی تأثیر زیستگاه و تغییر کاربری اراضی بر میزان پیوستگی سیمای سرزمین را میسر می‌سازد (۱۸). این نرم‌افزار شامل شاخص‌های جدید برای محاسبه پیوستگی عملکردی از جمله شاخص‌های احتمالات تصادفی سیمای سرزمین (dLCP)، نوسانات مساحت وزنی (dAWF)، مرکزیت بینایی (BC)، انتگرال پیوستگی (dIIC) و احتمال پیوستگی (dPC) است. شاخص‌های انتگرال پیوستگی و احتمال پیوستگی، علاوه بر در نظر گرفتن پیوستگی بین لکه‌ها تابعی از

را در یک لکه ارزیابی می‌کند (۱۳). شاخص همسایگی بین صفر تا یک متغیر است، وقتی این شاخص برابر با صفر است که سطح سیمای سرزمین تنها از یک لکه تشکیل شده باشد. شاخص فرکتال نشان‌دهنده پیچیدگی شکل در طیف وسیعی از مقیاس‌های مکانی (اندازه لکه) است. ابعاد فرکتال بزرگ‌تر از یک برای لکه دو شاخصی نشان‌دهنده خروج از هندسه اقلیدسی است (افزایش پیچیدگی شکل). هر چه مقدار عددی شاخص فرکتال افزایش یابد، پیچیدگی بین لکه‌ها افزایش یافته و در نتیجه پیوستگی کاهش می‌یابد. در جدول (۱) به برخی از خصوصیات این شاخص‌ها اشاره شده است.

پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین

تئوری گراف اغلب برای تعیین قابلیت پیوستگی عملکردی استفاده می‌شود (۲۱). همچنین تئوری گراف به عنوان یک روش مفید و مؤثر برای نمایش الگوی سیمای سرزمین مانند یک شبکه و انجام تجزیه و تحلیل پیچیده در مورد پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین به کار می‌رود. تاکنون بسیاری از

جدول ۱. خصوصیات شاخص‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در محاسبه پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تهرانی

شماره رابطه	رابطه	دامنه تغییرات	واحد	حروف اختصاری	نام فارسی	شاخص
(۱)	$COHESION = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right]^{-1} \left[\frac{1}{\sqrt{z}} \right]^{-1}$	متغیر (۱۰۰)	بدون واحد	COHESION	شاخص پیوستگی لکه	Patch Cohesion Index
(۲)	$CONTIG = \frac{\left[\frac{\sum_{r=1}^v C_{ijr}}{a_{ijr}} \right]^{-1}}{v-1}$	$0 \leq CONTIG \leq 1$	بدون واحد	CONTIG	شاخص همسایگی	Contiguity Index
(۳)	$FRAC = \frac{\gamma \ln(0.75 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$	$1 \leq FRAC \leq \gamma$	بدون واحد	FRAC	شاخص فرکتال	Fractal Dimension Index

گرفته می‌شود. از میان شاخص‌ها، IIC در تشخیص لکه‌های با اهمیت‌تر از نظر موقعیت توپولوژیک و ارزش‌های درونی هر لکه موفق عمل کرده است. همچنین قادر است پیوستگی درون لکه‌ای را نیز در محاسبات لحاظ کند (۵).

شاخص احتمال پیوستگی (PC)

شاخص PC به‌عنوان بهترین شاخص برای تحلیل نوع ارتباطات انجام شده توسط Conefor Sensinode توصیه می‌شود و چند ویژگی مرتبط با آن را در مقایسه با سایر شاخص‌های موجود، از جمله دوتایی و احتمالاتی ارائه می‌دهد و همچنین عملکرد IIC را بهبود می‌بخشد (۱۹). شاخص احتمال پیوستگی (PC)، علاوه بر در نظر گرفتن پیوستگی بین لکه‌ها تابعی از پیوستگی درون لکه زیستگاه نیز است و عملکردی بهتر در مقایسه با سایر شاخص‌های موجود را از خود نشان می‌دهد (۳). همچنین شاخص احتمال پیوستگی از حداکثر احتمال به‌جای فاصله توپولوژیکی بین لکه‌ها استفاده می‌کند. شاخص احتمال پیوستگی به‌عنوان بهترین شاخص برای تحلیل نوع ارتباطات انجام شده توسط Conefor Sensinode توصیه می‌شود (۱۹). همچنین بیشتر با در نظر گرفتن یک مدل ارتباطی غنی‌تر و عدم وجود حضور لکه‌های زیستگاه مجاور یا سلول‌های موجود در مجموعه، داده‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند (۳). شاخص PC را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) محاسبه کرد:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot p_{ij}^*}{A_L^2} \quad (5)$$

در رابطه (۵)؛ n، تعداد کل گره‌های زیستگاه در سیمای سرزمین، a_i و a_j صفات گره‌های i و j، AL حداکثر ویژگی چشم‌انداز و p_{ij}^* حداکثر احتمال پیوستگی تمام مسیرهای بین لکه‌های i و j است.

قابل ذکر است که تمامی شاخص‌های مورد استفاده برای انجام تحقیق حاضر به‌جز شاخص همسایگی (در سطح لکه) در سطح سیمای سرزمین مورد محاسبه قرار گرفته‌اند.

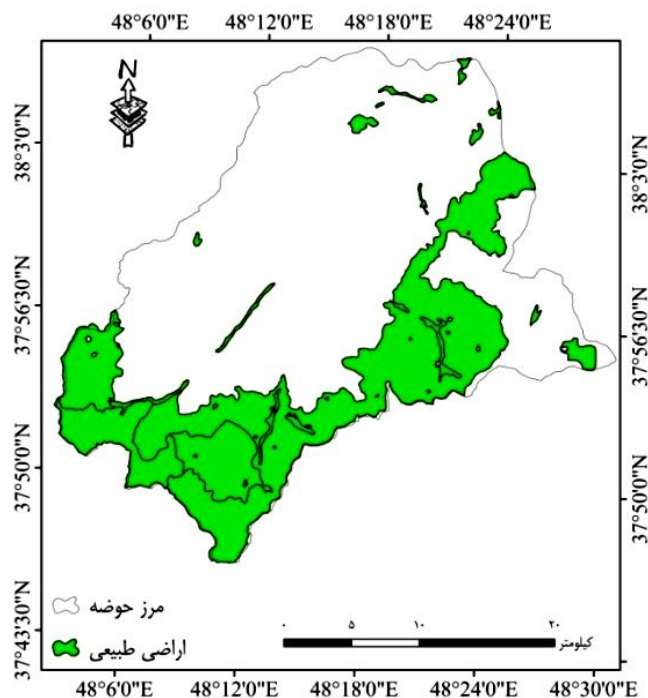
پیوستگی درون لکه زیستگاه نیز هستند و عملکردی بهتر در مقایسه با سایر شاخص‌های موجود از خود نشان می‌دهند (۳). از دیگر ویژگی‌های این شاخص‌ها در نظر گرفتن پیوستگی درون لکه‌ها علاوه بر پیوستگی میان لکه‌هاست. درحقیقت درون لکه به‌عنوان یک فضای پیوسته، در نظر گرفته می‌شود. به‌همین دلیل در پژوهش حاضر برای اندازه‌گیری میزان پیوستگی و ارزش‌گذاری لکه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه تپراقی از شاخص انتگرال پیوستگی (IIC) و شاخص احتمال پیوستگی (PC) استفاده شد. بر اساس تئوری گراف به‌کار برده شده در این تحقیق، پیوستگی‌ها بر اساس فاصله لبه به لبه هر یک از لکه‌ها نسبت به یکدیگر سنجیده شده و برحسب میزان فاصله بین لکه‌های سبز (کاربری‌های باغ و مرتع) وزن داده شدند (۳). آستانه فاصله (Distance threshold) برای محاسبه شاخص انتگرال پیوستگی و شاخص احتمال پیوستگی فاصله آستانه برابر با ۲۲۵۰ متر در نظر گرفته شد.

شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)

شاخص IIC یکی از بهترین شاخص‌های شناخته شده برای تحلیل‌های پیوستگی است که از چند جنبه که شامل تشخیص لکه‌های با اهمیت‌تر از نظر موقعیت توپولوژیک و ارزش‌های درونی هر لکه موفق عمل کرده است، همچنین قادر است پیوستگی درون لکه‌ای را نیز در محاسبات لحاظ کند (۱۹)، نسبت به سایر شاخص‌های پیوستگی بهبود یافته است. شاخص IIC را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) محاسبه کرد:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i - a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (4)$$

در این رابطه n تعداد کل لکه در سیمای سرزمین، a_i و a_j به ترتیب مساحت لکه‌های i و j، nl_{ij} تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن بین لکه i و j و AL مساحت کل سیمای سرزمین است. مبنای این شاخص نظریه پیوستگی درون لکه‌ای است که در آن فضای درون لکه به‌عنوان فضایی پیوسته در نظر



شکل ۲. نقشه اراضی طبیعی (باغ و مرتع) حوزه آبخیز کوزه تپراقی

زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی برآورد شد. طبقه‌بندی پیوستگی کل سیمای سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی در پنج طبقه مطابق جدول (۲) صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج شاخص پیوستگی سیمای سرزمین در دو بخش پیوستگی ساختاری و عملکردی به ترتیب به شرح زیر ارائه و تجزیه و تحلیل شده است. همچنین نقشه مربوط به کاربری اراضی طبیعی مورد استفاده برای تحلیل پیوستگی حوزه آبخیز کوزه تپراقی در شکل (۲) ارائه شده است.

پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین

جدول (۳) مقادیر معیارهای مورد بررسی در شاخص پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین ارائه شده است.

شاخص پیوستگی لکه (COHESION)

با توجه به نتایج جدول (۳) مشخص شد که مقادیر به دست آمده

استانداردسازی داده‌ها

به منظور حذف بزرگی معیارهای محاسبه شده در ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه تپراقی شاخص‌های مورد استفاده، در بازه صفر تا یک با استفاده از روش فاصله‌ای استاندارد شدند. با توجه به برخورداری معیارهای مطالعاتی از مفاهیم و اثرات مثبت و منفی مختلف بر پیوستگی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه تپراقی، استاندارد سازی معیارهای مورد مطالعه با استفاده از رابطه‌های (۶) و (۷) به ترتیب برای دو گروه مثبت و منفی انجام شد (۱۰ و ۲۲).

$$\text{Index} = \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{Lowest score}} \quad (6)$$

$$\text{Index} = 1 - \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{Lowest score}} \quad (7)$$

در این رابطه‌ها، Score، Lowest score و Highest score به ترتیب بیانگر مقدارهای استاندارد شده، واقعی، حداقل و حداکثر معیار مورد نظر هستند. در نهایت پیوستگی سیمای سرزمین با گرفتن میانگین هندسی از شاخص‌های مورد بررسی، برای هر یک از

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت بعد پیوستگی سیمای سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی

شدت پیوستگی سیمای سرزمین	طبقه‌بندی پیوستگی سیمای سرزمین
خیلی کم	۰ - ۰/۱۹
کم	۰/۱۹ - ۰/۳۸
متوسط	۰/۳۸ - ۰/۵۸
زیاد	۰/۵۸ - ۰/۷۷
خیلی زیاد	۰/۷۷ - ۰/۹۷

جدول ۳. نتایج شاخص‌های مورد بررسی در پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین

شاخص فرکتال	شاخص همسایگی	شاخص پیوستگی لکه	زیرحوزه	شاخص فرکتال	شاخص همسایگی	شاخص پیوستگی لکه	زیرحوزه
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹	۱/۰۷	۰/۸۱	۹۹/۹۳	۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۰	۱/۰۸	۰/۹۰	۹۹/۸۹	۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱	۱/۰۷	۰/۶۴	۹۹/۵۰	۳
۱/۰۶	۰/۹۳	۹۹/۹۵	۲۲	۱/۰۷	۰/۶۱	۹۹/۷۶	۴
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۳	۱/۰۷	۰/۴۸	۹۹/۷۸	۵
۱/۰۴	۰/۷۴	۹۹/۹۴	۲۴	۱/۰۵	۰/۸۰	۹۹/۸۳	۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۵	۱/۰۵	۰/۶۴	۹۹/۷۰	۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۶	۱/۰۷	۰/۷۳	۹۹/۶۳	۸
۱/۰۵	۰/۸۱	۹۹/۹۰	۲۷	۱/۰۵	۰/۴۷	۹۹/۸۰	۹
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸	۱/۰۵	۰/۶۵	۹۹/۶۹	۱۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۹	۱/۰۷	۰/۸۷	۹۹/۸۷	۱۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۰	۱/۰۶	۰/۴۷	۹۹/۸۱	۱۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۱	۱/۰۷	۰/۸۷	۹۹/۸۷	۱۳
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۲	۱/۰۷	۰/۶۸	۹۹/۶۳	۱۴
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۳	۱/۰۶	۰/۶۰	۹۹/۴۹	۱۵
۱/۰۸	۰/۶۶	۹۹/۷۹	۳۴	۱/۰۴	۰/۷۶	۹۹/۶۲	۱۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۵	۱/۰۴	۰/۶۶	۹۹/۴۶	۱۷
۱/۰۸	۰/۷۳	۹۹/۷۱	۳۶	۱/۰۶	۰/۵۸	۹۹/۷۰	۱۸

اهمیت ناحیه رویشی زاگرس، کاهش شاخص پیوستگی لکه در منطقه مورد مطالعه را گزارش کردند.

شاخص همسایگی (CONTIG)

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۳) تغییرات این معیار در زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی مورد مطالعه با مقدار ۰/۴۷ تا ۰/۹۰ به ترتیب مربوط به زیرحوزه‌های ۹ و ۲۲ است. نتایج

برای تمام زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی دارای پوشش طبیعی تقریباً در یک سطح هستند و در دامنه ۹۹/۵۰ تا ۹۹/۹۵ قرار دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیوستگی ساختاری لکه‌های سبز در تمامی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی یکنواخت است و از پوشش طبیعی مناسبی برخوردار است. در این راستا، کرمی و فقهی (۱۱) با هدف بررسی روند تغییرات سیمای سرزمین در آینده و همچنین

جدول ۴. نتایج شاخص‌های مورد بررسی در پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین

شاخص احتمال پیوستگی (PC)	شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)	زیرحوزه	شاخص احتمال پیوستگی (PC)	شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)	زیرحوزه
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹	۶۴/۹۶	۷۳/۰۳	۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱	۴۹/۹۲	۵۳/۵۱	۳
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۲	۶۶/۶۵	۶۸/۹۲	۴
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۵
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۴	۴۴/۱۸	۴۲/۱۱	۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۵	۶۵/۵۵	۷۳/۷۳	۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۶	۶۵/۵۵	۷۳/۷۳	۸
۶۶/۶۲	۷۳/۶۴	۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۹
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸	۵۱/۷۵	۶۰/۸۴	۱۰
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۱	۶۲/۲۵	۶۹/۶۷	۱۳
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۲	۳۵/۴۲	۴۱/۱۳	۱۴
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۳	۳۶/۸۵	۴۲/۶۹	۱۵
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۴	۳۵/۹۸	۴۴/۳۵	۱۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۵	۳۲/۱۶	۳۵/۳۸	۱۷
۶۶/۶۵	۷۳/۴۸	۳۶	۵۰/۷۶	۵۹/۴۸	۱۸

میرزایی و همکاران (۱۶) شاخص فرکتال به‌عنوان یکی از سنجه‌های مناسب برای تحلیل تغییرات پوشش شهرستان‌های مازندران در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ معرفی شد. همچنین نتایج آنها حاکی از کاهش مقدار این سنجه در پوشش‌های تالاب، جنگل، اراضی بایر و کشاورزی به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۷۷، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۷۳ و افزایش آن در پوشش رودخانه و مسکونی به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۱ و ۰/۰۰۷ بوده است. علاوه بر این، تمایل شاخص فرکتال به‌سمت مربع و شکل‌های هندسی منظم در منطقه ناشی از احداث سدها و نیز استخرهای پرورش ماهی در منطقه بوده که به‌نوعی می‌تواند بیانگر کاهش پیوستگی سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی نیز باشد.

پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین

در جدول (۴) نتایج تغییرات شاخص‌های مورد بررسی در پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های

نشان می‌دهد که از نظر شاخص همسایگی لکه‌های سبز در زیرحوزه ۲۲ دارای کمترین پیوستگی و زیرحوزه ۹ دارای بیشترین پیوستگی ساختاری است. در همین راستا، در مطالعه‌ای که توسط کرمی و میرسنجی (۱۳) با هدف بررسی تحلیل تخریب سیمای سرزمین در تالاب بزرگ هویزه انجام شده بود، مقدار شاخص همسایگی را برابر ۳۹/۸۸، ۳۵/۲۴، ۳۹/۶۳ و ۴۰/۹۰ برای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۴، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ ارزیابی کردند.

شاخص فرکتال (FRAC)

با توجه به نتایج جدول (۳)، در تمام زیرحوزه‌های مورد مطالعه مقدار شاخص فرکتال در دامنه ۱/۰۳ تا ۱/۰۸ به‌دست آمد که نشان می‌دهد در تمام زیرحوزه‌های کوزه‌تیراکی لکه‌های سبز (باغ و مرتع) شکل‌های پیچیده‌ای ندارند، و تقریباً می‌توان گفت دارای پیوستگی متوسطی هستند. مطابق با نتایج به‌دست آمده، در تحقیق

مورد مطالعه ارائه شده است.

شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)

با توجه به جدول (۴) در زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی دارای پوشش طبیعی، مقادیر این شاخص‌ها بین ۳۵/۳۸ تا ۷۳/۷۳ متغیر است. این در حالی است که زیرحوزه‌های ۷ و ۸ حداکثر و زیرحوزه ۱۷ حداقل مقدار پیوستگی عملکردی از لحاظ شاخص انتگرال پیوستگی (IIC) را دارند. مطابق با نتایج به دست آمده، در تحقیق بارانی و همکاران (۳)، شاخص انتگرال پیوستگی به عنوان یکی از سنج‌های مناسب برای تحلیل پیوستگی سیمای سرزمین معرفی شد. همچنین در نتایج آنها عنوان شده است که بخش پیوستگی بر اساس شاخص‌های انتگرال پیوستگی (IIC) با تمرکز بر لکه‌های خاص عمل می‌کند. که در اثر کاهش پوشش‌های طبیعی در منطقه مقدار این شاخص خیلی کاهش می‌یابد. ایشان در نتایج خود نشان دادند که در صورت نبود پوشش طبیعی در منطقه پیوستگی سیمای سرزمین کاهش قابل توجهی می‌یابد.

شاخص احتمال پیوستگی (PC)

عمدتاً با در نظر گرفتن یک مدل ارتباطی غنی‌تر و عدم حضور لکه‌های زیستگاه مجاور یا سلول‌های موجود در مجموعه، داده‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند (۳). با توجه به جدول (۴) در زیرحوزه‌های دارای پوشش طبیعی مقادیر این شاخص بین ۳۲/۱۶ تا ۶۶/۶۵ متغیر است. زیرحوزه‌های ۴ و ۳۶ حداکثر و زیرحوزه ۱۷ حداقل مقدار پیوستگی عملکردی از لحاظ شاخص شاخص احتمال پیوستگی (PC) را دارند.

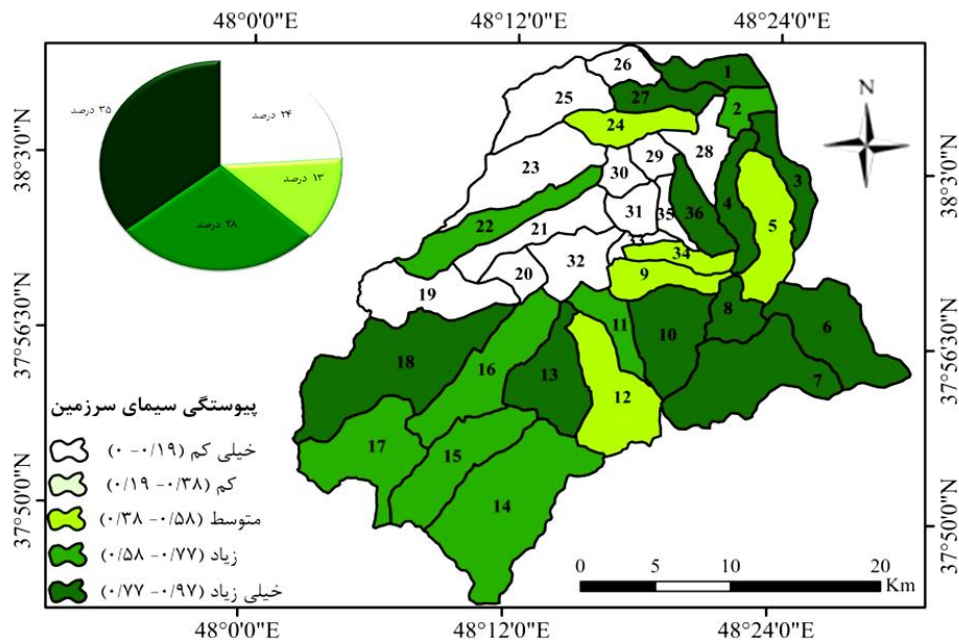
پیوستگی کل سیمای سرزمین

جدول (۵) نتایج تغییرات پیوستگی کل سیمای سرزمین با تلفیق دو بعد پیوستگی ساختاری و عملکردی در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که زیرحوزه ۲۷، با قرار گرفتن در

اولویت اول، دارای بیشترین پیوستگی معرفی شد. همچنین از ۳۶ زیرحوزه آبخیز کوزه تپراقی تنها ۱۵ زیرحوزه دارای اراضی طبیعی (باغ و مرتع) بوده‌اند و اکثر زیرحوزه‌ها فاقد اراضی مرتعی و باغ هستند. این حالت می‌تواند خطر جدی برای حوزه آبخیز مورد مطالعه باشد. البته باید اذعان کرد که با توجه به نیاز روز افزون بشر به استفاده از منابع طبیعی در ابعاد مختلف بدون شک نمی‌توان از توسعه جلوگیری کرد ولی اقدامات مدیریتی همزمان با توسعه لازم و ضروری است. در حالت کلی نتایج نشان داد که زیرحوزه‌های بالادست حوزه آبخیز کوزه تپراقی، پیوستگی بیشتری نسبت به زیرحوزه‌های پایین دست دارند. میانگین و انحراف معیار پیوستگی کل سیمای سرزمین برابر با $0/52 \pm 0/50$ به دست آمد. نتایج به دست آمده با نتایج علایی و همکاران (۱) مبنی بر بالابودن میزان حساسیت بوم‌شناختی مناطق پایین دست حوزه آبخیز کوزه تپراقی نسبت به مناطق بالادست همخوانی دارد. ایشان با استفاده از معیارهای مناطق حریم، فاصله بین لکه‌ها، تراکم جاده، تراکم زهکشی و فرسایش خاک اقدام به ارزیابی حساسیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز مورد مطالعه کردند. نتایج نشان داد که میزان متوسط حساسیت بوم‌شناختی در سطح کل حوزه آبخیز برابر با ۵۹٪ است و در محدوده ۲۲٪ تا ۷۷٪ متغیر است. بنابراین وضعیت متوسط حوزه آبخیز از لحاظ پیوستگی سیمای سرزمین و نیز حساسیت بوم‌شناختی با وجود استفاده از معیارهای متفاوت مورد تأیید قرار می‌گیرد. همچنین نتایج نشان داد که کاهش اراضی طبیعی در زیرحوزه‌های مورد مطالعه در اثر دخالت‌ها و بهره‌برداری است که مطابق با نتایج به دست آمده در تحقیق بودین و سورا (۵) مبنی بر افزایش آسیب‌پذیری سیمای سرزمین به دلیل اختلالات به وجود آمده است. در حالت کلی نتایج به دست آمده برای پیوستگی سیمای سرزمین برای حوزه آبخیز کوزه تپراقی با نتایج نوحه‌گر و همکاران (۱۸) نیز مطابقت دارد. ایشان اذعان کردند که در اثر دخل و تصرف انسان، ساختار سیمای سرزمین ریزدانه‌تر، تعداد لکه‌های انسان‌ساخت

جدول ۵. نتایج حاصل از محاسبه پیوستگی سیمای سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی

اولویت‌بندی	پیوستگی سیمای سرزمین	زیرحوزه	اولویت‌بندی	پیوستگی سیمای سرزمین	زیرحوزه
۲۴	۰/۰۰	۱۹	۲	۰/۹۷	۱
۲۴	۰/۰۰	۲۰	۱۷	۰/۵۹	۲
۲۴	۰/۰۰	۲۱	۱۰	۰/۸۳	۳
۱۶	۰/۶۰	۲۲	۷	۰/۹۲	۴
۲۴	۰/۰۰	۲۳	۲۱	۰/۵۰	۵
۱۹	۰/۵۵	۲۴	۱۱	۰/۸۱	۶
۲۴	۰/۰۰	۲۵	۶	۰/۹۳	۷
۲۴	۰/۰۰	۲۶	۵	۰/۹۵	۸
۱	۰/۹۷	۲۷	۲۳	۰/۵۰	۹
۲۴	۰/۰۰	۲۸	۸	۰/۸۵	۱۰
۲۴	۰/۰۰	۲۹	۱۸	۰/۵۹	۱۱
۲۴	۰/۰۰	۳۰	۲۲	۰/۵۰	۱۲
۲۴	۰/۰۰	۳۱	۳	۰/۹۶	۱۳
۲۴	۰/۰۰	۳۲	۱۳	۰/۷۶	۱۴
۲۴	۰/۰۰	۳۳	۱۴	۰/۷۵	۱۵
۲۰	۰/۵۴	۳۴	۱۲	۰/۷۸	۱۶
۲۴	۰/۰۰	۳۵	۱۵	۰/۷۳	۱۷
۴	۰/۹۶	۳۶	۹	۰/۸۳	۱۸



شکل ۳. پیوستگی سیمای سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

سرزمین در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی را نشان می‌دهد. جدول (۶) نحوه قرارگیری زیرحوزه‌های آبخیز

و نیمه‌طبیعی افزایش و پیوستگی سیمای سرزمین کاهش یافته است. شکل (۳) نقشه طبقه‌بندی شاخص پیوستگی کل سیمای

جدول ۶. نحوه قرارگیری زیرحوزه‌های آبخیز کوزه تپراقی در طبقات بعد پیوستگی سیمای سرزمین

طبقات سیمای سرزمین	زیرحوزه
خیلی کم	۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۵
کم	-
متوسط	۵، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۳۴
زیاد	۲، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۲
خیلی زیاد	۱، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۲۷ و ۳۶

که گسترش مناطق انسان‌ساخت موجب افزایش از هم گسیختگی، کاهش پیوستگی سیمای سرزمین، و بی‌نظمی لکه‌ها در حوزه آبخیز بالانچ‌چای ارومیه شده است و ادامه این روند در آینده ممکن است سبب تنزل تنوع بوم‌شناختی منطقه شود.

نتیجه‌گیری

برای بررسی پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه تپراقی، پیوستگی ساختاری و عملکردی مورد بررسی قرار گرفت. در بخش پیوستگی ساختاری از شاخص پیوستگی لکه، شاخص همسایگی و شاخص فرکتال استفاده شد. همچنین تئوری گراف، برای محاسبه پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه تپراقی و با لحاظ معیارهای شاخص انتگرال پیوستگی (IIC) و شاخص احتمال پیوستگی (PC) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمام زیرحوزه‌ها لکه‌های سبز (باغ‌ها و مراتع) شکل‌های پیچیده‌ای ندارند و پیوستگی لکه‌های سبز در تمامی زیرحوزه‌های دارای کاربری‌های باغ و مرتع وجود دارد. نتایج استفاده از سه معیار بررسی شده در بخش پیوستگی ساختاری سیمای سرزمین نشان داد که شاخص همسایگی تأثیر چندانی روی پیوستگی سیمای سرزمین ندارد. علاوه بر این، استفاده از دو معیار مورد بررسی در بخش پیوستگی عملکردی سبب شناسایی لکه‌های مهم شد. لکه‌هایی که با وجود مساحت کم (لکه موجود در زیرحوزه ۱) به لحاظ موقعیت توپولوژیک نقش مهمی در پیوستگی شبکه ایفا می‌کنند و از لحاظ بوم‌شناسی

کوزه تپراقی در طبقات پیوستگی کل سیمای سرزمین را ارائه می‌دهد.

با توجه به شکل (۳) و جدول (۶) زیرحوزه‌های ۱، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۲۷ و ۳۶ بیشترین پیوستگی را به خود اختصاص دادند. از آنجایی که ارزیابی پیوستگی با توجه به اراضی طبیعی موجود در هر زیرحوزه انجام گرفت، زیرحوزه‌هایی که فاقد اراضی طبیعی هستند، پیوستگی خیلی کمتری دارند. در همین راستا، زیرحوزه‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۲، ۳۳ و ۳۵ در طبقه پیوستگی خیلی کم قرار دارند. نتایج نشان داد که زیرحوزه‌هایی که در طبقه خیلی کم پیوستگی قرار گرفتند. صد درصد مساحت این زیرحوزه‌ها را کاربری زراعت دیم شامل شده و هیچ‌گونه اراضی طبیعی در این زیرحوزه‌ها وجود ندارد که با نتایج نوحه‌گر و همکاران (۱۸) برای مناطق مرکزی گیلان مطابقت دارد. در مجموع مشخص شد که به ترتیب بیش از ۳۵ و ۲۴ درصد حوزه آبخیز مورد مطالعه در طبقه‌های خیلی زیاد و خیلی کم از لحاظ پیوستگی سیمای سرزمین قرار گرفتند. از دست دادن پیوستگی مناطق طبیعی تهدیدی جدی برای پراکندگی گونه‌ها است. در همین راستا، زیرحوزه‌هایی که فاقد اراضی طبیعی هستند در مقابل خطرات طبیعی بیشترین خسارت ممکن را متحمل می‌شوند. نتایج این تحقیق با نتایج پاسکول هورتال و سورا (۱۹) مبنی بر وجود کمترین مقدار پیوستگی در مناطق فاقد اراضی طبیعی مطابقت دارد. همچنین در تحقیق نظرزاد و همکاران (۱۷) مشخص شد

سند چشم‌انداز پنج ساله کشور برای حفاظت منابع طبیعی و جلوگیری از تخریب بیشتر، ارزیابی وضعیت پیوستگی سایر حوزه‌های آبخیز کشور نیز در اولویت تحقیقاتی سازمان‌های متولی امر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که تغییرات زمانی پیوستگی، تحلیل شاخص‌های مورد استفاده نیز در سطوح طبقه و لکه و آستانه‌های فاصله برای تحلیل رفتار گونه‌های جانوری و همچنین توان انتشار آنها در حوزه آبخیز مورد مطالعه و سایر حوزه‌های کشور برای پیاده‌سازی الگوی مناسب مدیریتی نیز مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت سناریوسازی وضعیت پیوستگی حوزه آبخیز بر اساس شرایط مختلف مدیریتی و نیز تخریب زمین می‌تواند یکی دیگر از پیشنهادات منتج از پژوهش حاضر در نظر گرفته شود.

ارزشمند و موجب انسجام و پیوستگی شبکه زیستگاهی هستند. با توجه به سهولت استفاده از این روش و در عین حال دقت نتایج در بررسی پیوستگی سیماهای سرزمین، استفاده از تئوری گراف به‌عنوان روشی کارا توصیه می‌شود. همچنین با توجه به نتایج پیوستگی کل سیمای سرزمین، اولویت اول نشان‌دهنده پیوستگی بالا و اولویت آخر نشان‌دهنده پیوستگی کمتر آن زیرحوزه است. زیرحوزه ۲۷ با قرار گرفتن در اولویت اول، دارای بیشترین پیوستگی و زیرحوزه‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۳ و ۳۵ با قرار گرفتن در اولویت آخر، کمترین پیوستگی را دارند. طبق نتایج این پژوهش استنباط می‌شود مناطقی که از پیوستگی کمتری برخوردار هستند، می‌تواند در معرض فرسایش شدید قرار گیرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان پیشنهاد کرد که در راستای تحقق بخشی از اهداف

منابع مورد استفاده

- Alaei, N., R. Mostafazadeh, A. Esmali-Ouri, M. Sharari and Z. Hazbavi. 2019. Ecological sensitivity analysis of Koozeh Topraghi watershed, Ardabil province. Third National Conference on Hydrology of Iran, 1-6. (In Farsi)
- Arekhi, S. and H. Fathizad. 2014. Analyzing landscape degradation using landscape ecological metrics, remote sensing and GIS (Case study: Doiraj watershed, Ilam province). *Journal of Rangeland and Desert Research* 1(1): 466-481. (In Farsi).
- Baranyi, G., S. Saura, J. Podanic and J. Jord. 2011. Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators* 11: 1301-1310.
- Bihamta, N., A. Safanian and S. Fakhran. 2013. Investigation of changes in the central area of Isfahan using landscape metrics. *Journal of Applied Ecology* 2(6): 87-77. (In Farsi).
- Bodina, O. and S. Saurac. 2010. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling* 221: 2393-2405.
- Bunn, A. G., D. L. Urban and T. H. Keitt. 2000. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management* 59: 265-278.
- Crooks, K. R. and Sanjayan, M. 2006. *Connectivity Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-20, <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511754821.001>.
- Galpern, P., M. Manseau and A. Fall. 2011. Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation* 144: 44-55.
- Gupta, K., K. P. Sharma, Y. V. N. Krishnamurthy and R. Kolapkar. 2011. Functional Assessment of Urban Green Spaces. Esri India User Conference, 1-13.
- Hazbavi, Z., S. H. R. Sadeghi, M. Gholamalifard and A. A. Davudirad. 2019. Watershed health assessment using pressure-state-response (PSR) framework. *Land Degradation & Development*, <https://doi.org/10.1002/ldr.3420>.
- Karami, A. and J. Fegghi. 2012. Investigating the of landscape metrics in preserving land use patterns (Case study: Kohgiluyeh and Boyerahmad Province). *Journal Environmental Studies* 60: 79-88. (In Farsi).
- Karami, A. and J. Jurisprudence. 2012. Monitoring and comparison of north and south Zagros land use with landscape ecology approach (case Study: Kurdistan and Kohkiluyeh and Boyer Ahmad provinces). *Town and Country Planning* 4(6): 5-34. (In Farsi).
- Karami, P. and M. mirsanjari. 2018. Investigation of landscape destruction analysis in Hoveizeh large wetland using durkavi. *Journal of Wetland Ecobiology* 10(35): 39-54.
- Khosravi, R., and M. R. Hemami. 2018. Evaluation of habitat patches importance to desert landscape connectivity

- for three fox species, using resistance kernel and graph network. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 8(2): 51-63. (In Farsi).
15. Matisziw, T. C. and A. T. Murray. 2009. Connectivity changes in habitat networks. *Landscape Ecological* 24: 89-100.
 16. Mirzaei, M., A. Riahi Bakhtiari, A. Salman Mahini and M. Gholamaliifard. 2013. Investigation of land cover changes in Mazandaran province using landscape measurements between 1984-2010. *Applied Ecology* 2(4): 54-37. (In Farsi).
 17. Nazarnezhjad, H., M. Hosseine and R. Mostafazadeh. 2019. Analysis of land use changes in BalanjeChay watershed using landscape measurements. *Geography and Development Iranian Journal* 54: 75-90. (In Farsi)
 18. Nohegar, A., B. Jabariyan Amiri and R. Afrakhte. 2015. Land use analysis on Guilan central district using landscape ecology approach. *Journal Management Systems* 15: 197-214. (In Farsi).
 19. Pascual-Hortal, L., and S. Saura. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959-967.
 20. Peña-Domene, M. D., and E. S. Minor. 2014. Landscape connectivity and ecological effects. *Encyclopedia of Natural Resources* DOI: 10.1081/E-ENRL-120047451.
 21. Reza, M. I. H. and S. A. Abdullah. 2011. Regional index of ecological integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators* 11: 220-229.
 22. Sadoddin, A., M. Shanabi and M. Bai. 2017. Integrated Watershed Assessment and Management Principles and Approaches for Modeling and Decision Making, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, p.170. (In Farsi).
 23. Saura, S. and L. Rubio. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33: 523-537.
 24. 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. *Journal of Applied Ecology* 7(1): 1-11. (In Farsi).
 25. Shanthala Devi, B. S., M. S. R. Murthya, B. Bijan Debnatha and C. S. Jhaa. 2013. Forest patch connectivity diagnostics and prioritization using graph theory. *Ecological Modelling* 251: 279-287.
 26. Shi, Y., J. Xiao and Y. Shen. 2008. Landscape pattern change and associated environmental implications in Haihe river basin, China. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVII-B6b. 177-181.
 27. Talebi Amiri, Sh., F. Azeri Dehkordi, H. Sadeghi and R. Sufbaf. 2009. Landscape degradation analysis of Neka watershed using landscape ecology metrics. *Journal of Applied Ecology* 6(3): 144-133. (In Farsi).

Assessment and Comparison of Landscape Connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province

N. Alaei¹, R. Mostafazadeh^{1,2*}, A. Esmali-Ouri^{1,2}, M. Sharari¹ and Z. Hazbavi^{1,2}

(Received: August 26-2019; Accepted: December 21-2019)

Abstract

Following the unbalanced development and overexploitation of the country's watersheds, land fragmentation has become a major concern for the conservation of ecosystem services and land health. For this purpose, the present study was planned to evaluate and compare the landscape connectivity indices of KoozehTopraghi Watershed as one of the ecologically susceptible watersheds located in Ardabil Province. To this end, the landscape connectivity was investigated according to both structural and functional viewpoints, based on the green patches (rangelands and orchard) distributed at 36 sub-watershed areas. The mentioned indices were first calculated using the Fragstats Software and graph theory at each sub-watershed; then, they were standardized according to interval standardization between zero and one in order to consider the scale effect and draw a comparison in the same variation range. Therefore, the landscape connectivity was calculated, classified and mapped for each studied sub-watershed and the whole watershed. Structural connectivity results showed the high level of landscape connectivity between green patches in all studied sub-watersheds. In addition, the results showed that the landscape connectivity was obtained with the mean and standard deviation of 0.50 ± 0.52 , being varied from 0.50 to 0.97. The results also proved that out of the 36 sub-watersheds located in the KoozehTopraghi, only 15 sub-watersheds had natural lands (orchard and rangelands). Also, the sub-watershed 27, with the highest value of landscape connectivity (0.97), had the highest priority.

Keywords: Landscape connectivity, Graph theory, Land use change, Spatial variations, Fragmentation, Green patches

1. Dept. of Natur. Resour., Faculty of Agric. and Natur. Resour., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Water Manag. Res. Institute, Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: raofmostafazadeh@uma.ac.ir