

تحلیل لکه‌های داغ سنج‌های سیمای سرزمین و شاخص رواناب سیمای سرزمین در استان اردبیل

علی رسول‌زاده^{۱*}، زینب حزباوی^۲، جوانشیر عزیزی مبصر^۳، رئوف مصطفی‌زاده^۴ و نازیلا علائی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱)

چکیده

لکه‌های داغ به مکان‌هایی مربوط می‌شوند که در آن‌ها فرآیندی غیرعادی رخ داده است. شناسایی این لکه‌ها از لحاظ بوم‌شناختی می‌تواند به کارشناسان و مدیران در تحلیل وضعیت سلامت و پایداری کمک شایانی نماید. لذا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل خودهمبستگی فضایی و شناسایی لکه‌های داغ مربوط به ۱۱ سنجه سیمای سرزمین، شاخص رواناب سیمای سرزمین (Runoff Landscape Index, RLI) و عامل‌های مرتبط با آن در ۲۸ حوضه استان اردبیل انجام شد. میانگین مقادیر مثبت شاخص Z حاصل از شاخص موران (Moran) بیان‌گر وجود همبستگی مکانی در حوضه‌های مورد مطالعه است. همچنین، نتایج موران محلی نشان داد که سنجه‌های مورد بررسی دارای الگوی فضایی ساختاریافته در منطقه مطالعاتی هستند و به صورت تصادفی توزیع نشده‌اند. الگوی کاملاً تک قطبی برای عامل پوشش زمین (λC)، عامل خاک (λK) و RLI یافت شد. مقادیر منفی شاخص موران محلی نیز برای عامل توپوگرافی (λS) الگوی پراکنده را اثبات کرد. توزیع مکانی لکه‌های داغ و سرد با استفاده از شاخص گتیس-ارد جی (Getis-Ord-Gi) نشان داد که λC در حوضه‌های احمدکندی، اکبرداود، درو، مشیران، فیروزآباد، لای، نیر و هیر فاقد الگوی معنی‌دار و در حوضه‌های ایریل، نمین و ننه‌کران دارای لکه‌های سرد در سطح اطمینان ۹۰ درصد بوده است. سایر حوضه‌ها، لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص دادند. شاخص رواناب سیمای سرزمین در حوضه‌های احمدکندی، اکبرداود، درو، مشیران، فیروزآباد، لای، نیر و هیر فاقد الگوی معنی‌دار بوده و لکه‌های داغ آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد در سایر حوضه‌ها شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، سنجه هیدرولوژیکی، سیمای سرزمین، شاخص موران، خودهمبستگی

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
۲. استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
۴. دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
۵. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه.

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

مقدمه

حفظ سیمای سرزمین به‌عنوان یک سامانه اقتصادی-اجتماعی همراه با کالاها، خدمات و ارزش‌های بوم‌شناختی آن در عصر تغییرات جهانی برای رفاه و سعادت بشر ضروری است. در حالی که امروزه فعالیت‌های انسانی به‌عنوان عوامل اصلی تغییرات الگوهای سیمای سرزمین در حال نقش‌آفرینی هستند (۵ و ۱۹). به‌طوری‌که با توسعه جوامع انسانی، سیمای سرزمین در اثر فعالیت‌های اصلاحی، صنعتی شدن و شهرنشینی تغییر پیدا کرده که موجب تغییر در مسیر و جریان مؤلفه‌های هیدرولوژیکی شده که به نوبه خود پیامدهای قابل توجهی بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها ایجاد کرده است (۲۸، ۲۹ و ۳۲). بر همین اساس، تلاش‌های متعددی در راستای کمی‌سازی تغییرات عمده سیمای سرزمین به‌ویژه در اثر فعالیت‌های انسانی و اقلیمی توسط دانشمندان و متخصصان مختلف انجام شده است. در حال حاضر، استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین به‌عنوان یک رویکرد کمی اصلی برای ارزیابی خصوصیات ترکیب سیمای سرزمین، ساختار مکانی و طرز قرارگیری مکانی شناخته شده است.

تغییرات ارزش سنجه‌های سیمای سرزمین می‌توانند پویایی ساختار و طرز قرارگیری سیمای سرزمین را منعکس نمایند. در این زمینه، تعداد زیادی از سنجه‌های سیمای سرزمین برای توصیف و مقایسه الگوهای مکانی سیمای سرزمین توسعه و به کار برده شده‌اند که تغییرات در الگوهای سیمای سرزمین و الگوهای مکانی مرتبط با فرآیندهای بوم‌شناختی در یک مقیاس مشخص یا ترکیبی از چندین مقیاس را اندازه‌گیری و پیش‌بینی می‌کنند (۸ و ۳۱). قابل ذکر است که هر چند مطالعات متعددی در خصوص کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین و شاخص‌های مستخرج از آن‌ها صورت گرفته (برای نمونه، ۴، ۸، ۲۲، ۲۳ و ۳۱)، اما تاکنون مطالعاتی در خصوص تحلیل خودهمبستگی فضایی و نیز شناسایی نقاط داغ آن‌ها (Hot Spot) یافت نشده است. این در حالی است که می‌توان با استفاده از علوم داده‌کاوی به آن‌ها پرداخت و خلأ تحقیقاتی موجود را برطرف نمود.

داده‌کاوی مکانی فرآیندی برای شناسایی الگوهای ناشناخته و

خوشه‌ها در داده‌های مکانی به کار گرفته می‌شود. به‌منظور درک مدل خوشه‌ای، محققان مدل‌های مختلفی را بر اساس ویژگی‌های خاص مناطق مختلف تعریف می‌کنند. در هر کدام از این مدل‌ها یکسری تفاوت‌های مفهومی بین خوشه‌ها وجود دارد (۲۴). از طرفی، خودهمبستگی فضایی (Autocorrelation Analyses Spatial)، یکی از شاخه‌های کاربردی و در حال رشد آمار فضایی است و به رابطه بین مقادیر باقی‌مانده در طول خط رگرسیون می‌پردازد (۹ و ۱۵). در این راستا، خودهمبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر یک متغیر از نظر جغرافیایی به هم نزدیک باشند، به عبارتی دیگر تغییرات آن‌ها به صورت سیستماتیک رخ دهد (۷ و ۱۰). علاوه بر این، شاخص موران (Moran Index) نیز الگوی پراکنش عوارض را با در نظر گرفتن مقادیر متغیر مورد مطالعه از نظر الگوی خوشه ای و یا پراکنده بودن، مورد بررسی قرار می‌دهد (۳۰).

در زمینه استفاده از شاخص موران و شناسایی نقاط داغ در سطح جهان، فو و همکاران (۹) به مطالعه الگوی فضایی تراکم کربن جنگل‌های نیمه‌گرمسیری جنوب شرقی چین بر اساس ۸۳۹ نمونه از برگ درختان پرداختند. تحلیل خودهمبستگی موران مؤید خودهمبستگی مثبت و معنی‌دار متغیر مورد بررسی بوده است. زی‌توده سطح خاک بیش‌ترین همبستگی را نیز با تراکم کربن نشان داد، هر چند هر دو عامل طبیعی و انسانی در ناهمگونی فضایی آن اثرگذار بوده است. هم‌چنین، تیله و همکاران (۳۰) به اندازه‌گیری تعادل مکانی نمونه بر اساس شاخص موران در ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده مزایای مهمی از لحاظ اندازه نمونه، طرح نمونه‌برداری و احتمال برابر یا نابرابر شاخص موران در مقایسه با سایر شاخص‌های تحلیل خودهمبستگی مکانی بوده است. نالان و همکاران (۲۴) به تجزیه و تحلیل لکه داغ با استفاده از داده‌های شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)، طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ پرداخته‌اند. نتایج بیان‌گر اثرات دخالت‌های انسانی از جمله احداث سازه‌های استحصال آب بر تغییر سطح خودهمبستگی مکانی NDVI بوده است.

مواد و روش کار

منطقه مطالعاتی

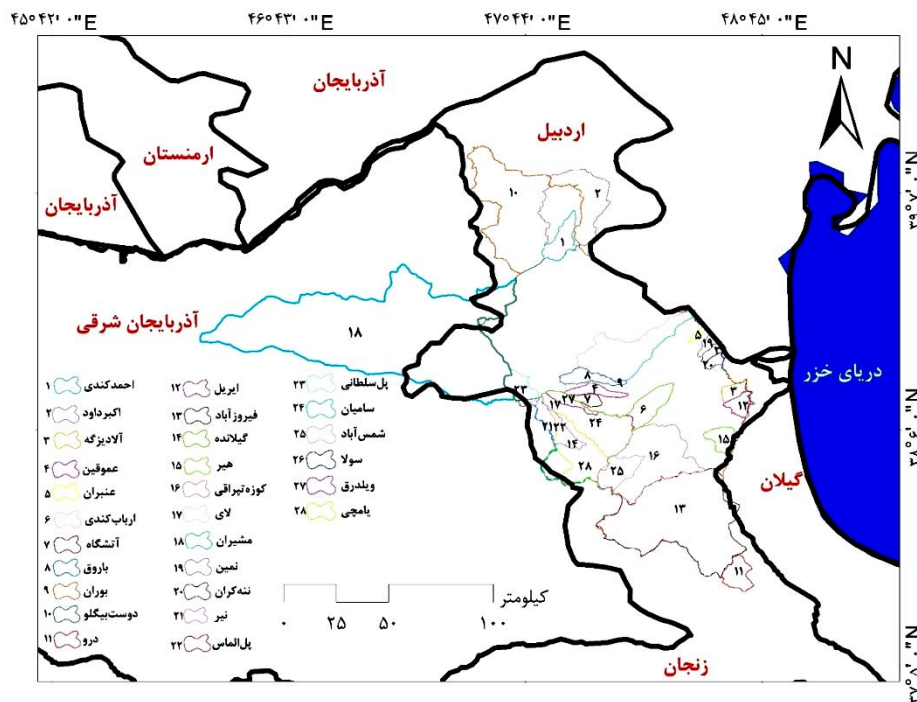
منطقه مطالعاتی شامل ۲۸ حوضه واقع در استان اردبیل و بخشی از محدوده اطراف آن می‌باشد (شکل ۱). مرز این حوضه‌ها بر اساس تقسیم‌بندی هیدرولوژیک (خط تقسیم آب) انجام شده است. استان اردبیل دارای مساحت ۱۷۸۰۰ کیلومتر مربع در شمال غرب فلات ایران بین مختصات جغرافیایی ۴۵' ۳۷° تا ۴۲' ۳۹° عرض شمالی و ۳' ۴۷° تا ۵۵' ۴۸° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. هم‌چنین، این استان از شمال با جمهوری آذربایجان، از قسمت شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط ۲۲۰ تا ۴۵۷ میلی‌متر در سال نوسان دارد. تغییرات ارتفاعی آن از ۴۰ تا ۴۸۱۱ متر متغیر است. ارتفاع حداکثر در قله سبلان، ارتفاع حداقل در شهرستان مغان پارس‌آباد و ارتفاع متوسط در دشت اردبیل به‌ترتیب ۴۸۱۱، ۴۰ و ۱۸۵۰ متر بالاتر از سطح دریاست (۲۲). از نظر طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، استان اردبیل دارای تنوع اقلیمی زیاد بوده و شش نوع اقلیم خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، نیمه‌مرطوب، بسیار مرطوب و مدیترانه‌ای است. اقلیم نیمه‌خشک غالب‌ترین نوع اقلیم در استان است (۲۰). غرب استان اردبیل دارای بیش‌ترین مجموع بارش سالانه بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است. هم‌چنین، مناطق جنوبی استان اردبیل دارای بارش سالانه در حدود ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد (۲۳). در تطابق با تنوع اقلیمی، تنوع شرایط هیدرولوژیکی در استان نیز مشاهده می‌شود. تغییرات هیدرولوژیکی استان اردبیل علاوه بر متغیرهای اقلیمی به سایر متغیرها به‌ویژه بیوفیزیکی نیز وابسته است. رودخانه‌های بالیخلوچای و قره‌سو از مهم‌ترین رودخانه‌های دائمی این استان به‌شمار می‌روند (۲۰).

محاسبه سنج‌های سیمای سرزمین

سنج‌های سیمای سرزمین (Landscape Metrics) ابزارهایی

در ایران نیز ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی خدمات بوم‌شناختی در بخش مرکزی استان اصفهان توسط عبداللهی و همکاران (۱) انجام شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات مکانی خدمات بوم‌شناختی مورد مطالعه دارای الگوی خوشه‌بندی HH (High-High) (مقادیر با ارزش بالا) هستند. هم‌چنین، بخش‌های مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب دارای الگوی همبستگی مکانی مثبت و منفی هستند. در ادامه، مددی و همکاران (۱۹) به تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه خیاوچای بر اساس ۱۰ عامل مختلف از توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و مدیریتی پرداختند. در این پژوهش، به‌ترتیب حدود ۱۱، ۴۹ و ۵۷ کیلومتر مربع از کل حوضه به‌عنوان لکه داغ در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد مورد شناسایی قرار گرفت. تحلیل فضایی گسترش فقر شهری در تبریز توسط روستایی و همکاران (۲۵) صورت پذیرفت و نتایج این پژوهش بیان‌گر خوشه‌ای بودن و وجود خودهمبستگی شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و کالبدی مورد بررسی بوده است. علائی و همکاران (۲) به ارزیابی همبستگی مکانی دبی جریان رودخانه‌های استان اردبیل (۲) و صلاحی و فریدپور (۲۶) به تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال غرب ایران با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی نیز پرداختند. نتایج این مطالعات نشان‌دهنده ضریب مثبت شاخص موران و توزیع خوشه‌ای دبی جریان آب و خشکسالی بوده است.

مرور منابع نشان می‌دهد که تاکنون مطالعاتی در زمینه تحلیل خودهمبستگی فضایی و نقاط داغ سنج‌های سیمای سرزمین صورت نگرفته است. بر همین اساس، پژوهش حاضر به بررسی وضعیت خودهمبستگی و شناسایی نقاط داغ سنج‌های متداول سیمای سرزمین و نیز شاخص جدید رواناب سیمای سرزمین Runoff Landscape Index (RLI) پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش ابزار مناسبی برای ارزیابی خوشه‌بندی مکانی و نیز الگوهای فرآیندهای مستخرج از سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کشور و در نهایت حفاظت و مدیریت مؤثر بوم‌سازگان‌های طبیعی فراهم می‌آورند.



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های مورد بررسی در این مطالعه

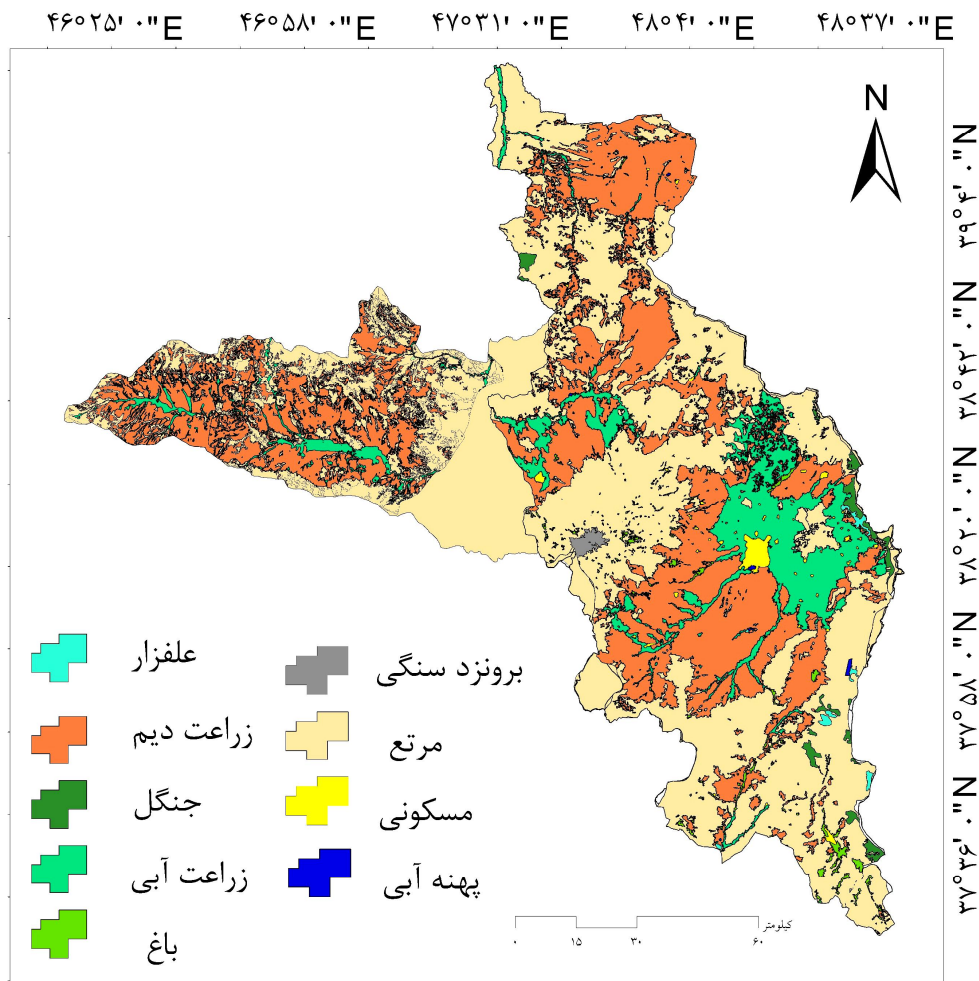
Interspersion) و مجاورت (Index (LPI), شاخص پراکندگی و مجاورت (Interspersion and Juxtaposition Index (IJI) and Juxtaposition Index (IJI), شاخص تجمع (Aggregation Index (AI) و فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN-MN) مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه سنجه‌های مذکور از نقشه کاربری و پوشش اراضی تهیه شده برای سال ۱۳۹۵ (۱۴) استفاده شد (شکل ۲).

محاسبه شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI)

برای جبران کمبود شاخص‌های رایج سیمای سرزمین در تحلیل فرآیندهای مرتبط با رواناب سطحی، شاخص سیمای سرزمین (RLI) بر اساس رویکرد بین و همکاران (۳) توسعه پیدا کرد. بدین منظور از کاربری زمین، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک به ترتیب برای محاسبه سه عامل پوشش زمین (λ_C)، خاک (λ_K) و توپوگرافی (λ_S) استفاده شد (۳).

ارزش عامل پوشش زمین (λ_C)، بر اساس میزان تاج پوشش، نگهداشت ایجاد شده توسط زیرساخت‌ها مانند خانه‌ها، جاده‌ها،

به‌منظور اندازه‌گیری و کمی‌سازی ابعاد مختلف از الگوی سیمای سرزمین در یک لحظه از زمان هستند (۲۱ و ۲۲). به‌ازای هر ورودی در نرم‌افزار Fragstats، سه فایل خروجی Class، Patch و Landscape ایجاد می‌شود که تمامی آن‌ها به‌صورت فایل متنی و قابل مشاهده است. یکی از مسائل مهم در امر استفاده از این سنجه‌ها، انتخاب سنجه مناسب از میان تعداد زیادی از سنجه‌هاست. باید توجه داشت که سنجه‌ها در بسیاری از موارد دارای هم‌پوشانی هستند و اطلاعات مشابهی از وضعیت سیمای سرزمین ارائه می‌نمایند (۲۲). در پژوهش حاضر ۱۱ سنجه شامل تراکم لکه (Patch Density (PD)، شاخص شکل لکه (Landscape Shape Index (LSI)، شاخص جدایش‌دهی (Splitting Index (SPLIT)، شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون (Modified Simpson's Diversity Index (MSIDI)، شاخص تنوع شانون (Shannon's Diversity Index (SHDI)، گسستگی سیما (Landscape Division Index (DIVISION)، میانگین شاخص پیوستگی (Contiguity Index Distribution) و شاخص بزرگ‌ترین لکه (CONTIG-MN) Largest Patch)



شکل ۲: نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه (۱۴)

کلاس‌های پایین زهکشی نفوذپذیری پایین را نشان می‌دهند. ارتباط بلندمدت بین ضریب رواناب و میزان نفوذناپذیری توسط گلداشلگر و همکاران (۱۲) ارائه شده است. ایشان بیان کردند که وقتی ضریب رواناب به‌طور خطی از ۰/۲ به ۰/۸ افزایش می‌یابد، میزان نفوذناپذیری از ۳۰ به ۹۰ درصد تغییر می‌کند. در مقیاس کوچک، رواناب سطحی عمدتاً متأثر از شیب دامنه است (۱۳). نتایج حاصل از تحلیل ارتباط بین سرعت جریان و شیب دامنه نشان داد که شیب دامنه یک اثر مثبت بر سرعت رواناب دارد که حداکثر مقدار سرعت در شیب‌های ۳۵ درجه رخ داده است (۶ و ۲۶). بنابراین، در پژوهش حاضر ضریب شیب ($1/\cos\alpha$) به‌عنوان عامل پستی و بلندی معرفی شد (۳). از طریق تلفیق عوامل سیمای سرزمین برای تمام سلول‌های

پل‌ها و کانال‌ها تخمین زده شد که بر اساس میزان مشارکت نوع پوشش زمین در رواناب از صفر تا یک متغیر است. در این پژوهش λ_c هر پوشش زمین دارای یک مقداری است که بر اساس نتایج تحقیقات موجود استخراج و بر اساس واقعیت و روش وزن‌دهی تجربی اصلاح شد (۳). بدین‌منظور، ابتدا دامنه برگاب باران برای انواع مختلف پوشش زمین از مقالات استخراج و انواع پوشش گیاهی و خصوصیات پوشش‌های حوضه‌های مطالعاتی تعیین شد.

عامل خاک (λ_K) بیان‌گر مشارکت نوع خاک در تولید رواناب است که توسط کلاس‌های زهکشی خاک تخمین زده شد. نفوذپذیری به‌دلیل متفاوت بودن آن در بافت‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رواناب سطحی است (۳).

می‌دهد و بین مقادیر ۱- تا ۱+ محاسبه می‌شود. مقدار ۱+ بیان‌گر الگوی کاملاً تک‌قطبی (خوشه‌ای)، مقدار صفر بیان‌گر الگوی تجمع تصادفی یا چندقطبی و مقدار ۱- بیان‌گر الگوی پراکنده است. مقادیر بالا و پایین این ضریب به ترتیب بیان‌گر تجمع زیاد و پراکندگی است (۹).

تجزیه و تحلیل لکه داغ

اخیراً، تجزیه و تحلیل لکه داغ به ابزاری مفید برای تحلیل فضایی متغیرها و پدیده‌ها در ایالات متحده و انگلیس تبدیل شده است (۱۵). آماره گتیس-ارد جی (Getis-Ord G_i^*)، تحلیل لکه‌های داغ را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌کند. آماره Z حاصل از آن نشان می‌دهد که در کدام قسمت از ناحیه مورد نظر، مقادیر مربوط به عوارض مکانی زیاد یا کم به صورت خوشه‌های داغ یا سرد تجمع یافته‌اند. برای این که یک سلول یا عارضه لکه داغ یا سرد معنی‌دار تلقی شود، باید خود و عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارد داغ یا سرد باشد تا از نظر آماری معنی‌دار باشد. آماره گتیس-ارد جی خود نوعی امتیاز Z محسوب می‌شود که می‌توان بر حسب آن معنی‌داری و عدم معنی‌داری شکل توزیع فضایی را مورد آزمون قرار داد (۱۱ و ۲۵).

تجزیه و تحلیل لکه داغ برای هر ویژگی در یک داده مکانی یک «z-score» (انحراف استاندارد) را محاسبه می‌کند که در آن ویژگی‌های دارای مقادیر بالا یا پایین به صورت مکانی خوشه‌بندی می‌شوند. این ابزار با نگاه کردن به هر ویژگی در بافت و ویژگی‌های همسایه کار می‌کند. ویژگی با ارزش بالا با اهمیت است، اما ممکن است از نظر آماری نقطه داغ مهمی نباشد. بنابراین، برای این که یک نقطه داغ از نظر آماری معنی‌دار باشد، یک ویژگی دارای ارزش بالایی خواهد بود و با ویژگی‌های دیگر با مقادیر بالا نیز احاطه می‌شود. مجموع محلی برای یک ویژگی و همسایگان آن به نسبت مجموع همه ویژگی‌ها مقایسه می‌شود. هنگامی که مجموع محلی بسیار متفاوت از مجموع محلی مورد انتظار بوده، و این تفاوت بیش از حد بزرگ باشد که نتیجه شانس تصادفی است، یک "نمره

شبکه در یک لکه عامل رواناب سیمای سرزمین (P) محاسبه شد (رابطه ۱):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{Ci} * \lambda_{Ki} * \lambda_{Si}}{n} \quad (1)$$

در این رابطه، λ_{Ci} ، λ_{Ki} و λ_{Si} به ترتیب عامل‌های پوشش زمین؛ خاک، توپوگرافی در شبکه i از لکه و تعداد لکه مورد نظر هستند.

شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) مجموع عوامل رواناب سیمای سرزمین بوده و در مقیاس نوع لکه (RLIp) و مقیاس سیمای سرزمین (RLI) به شرح رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$RLIp = \sum_{i=1}^k P_i * \frac{a_i}{A} \quad (2)$$

در این رابطه، P_i ، a_i و A به ترتیب بیان‌گر عامل رواناب سیمای سرزمین از لکه i ، مساحت لکه i و مساحت طبقه سیمای سرزمین مرتبط با آن است.

$$RLI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij} * \frac{a_{ij}}{A} \quad (3)$$

در این رابطه، P_{ij} ، a_{ij} و A به ترتیب نشان‌دهنده عامل رواناب سیمای سرزمین از لکه ij ، مساحت لکه ij و مساحت کل سیمای سرزمین است.

تجزیه و تحلیل خودهمبستگی

شاخص موران، مدل متفاوتی برای اندازه‌گیری آماره خودهمبستگی فضایی به‌شمار می‌رود. ضریب موران بین ۱- تا ۱+ متغیر است. ضریب ۱- به معنای تعامل فضایی منفی و ضریب ۱+ معادل تعامل فضایی مثبت است و در صورت فقدان تعامل فضایی، ضرایب مورد انتظار موران برابر صفر است (۹). در تحلیل خوشه و ناخوشه بودن از شاخص انس‌لین موران (Anselin Local Moran I) برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا نیز استفاده شد که همراه با محاسبه شاخص موران جهانی به‌دست می‌آید. هم‌چنین شاخص موران محلی مقادیر زیاد و کم خوشه‌ها و ناخوشه‌ها را در فضای مورد مطالعه نشان

مرتع (حدود ۲۵۰ هکتار) را پس از ننه‌کران (بدون مرتع) دارد. هم‌چنین حوضه‌های هیر، کوزه‌تپراقی، شمس‌آباد و ایریل واقع در بخش‌هایی از شرق و مرکز استان، دارای مقادیر مثبت شاخص موران بوده و دارای مقادیر مشابه از نظر مکانی هستند. مقادیر موران مثبت نشان‌دهنده بالا بودن مقدار آماره I نسبت به میانگین و نشان‌گر خوشه‌ای بودن نقاط هم‌جوار است. در سایر حوضه‌های مورد بررسی مقدار شاخص موران منفی است که به معنی عدم مشابهت مقادیر تراکم لکه (PD) بوده و در حقیقت تشکیل خوشه نداده‌اند. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد سنجه تراکم لکه (PD) تعداد لکه‌ها را در هر ۱۰۰ هکتار اندازه‌گیری می‌کند و به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های تکه‌شدگی سرزمین به‌شمار می‌رود (۲۱ و ۲۲). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های کاکه‌ممی و همکاران (۱۴) مبنی بر افزایش سنجه تراکم لکه (PD) در استان در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ مطابقت دارد. این پژوهش‌گران، بیش‌ترین تراکم لکه (PD) را برای زراعت دیم گزارش دادند و رشد تخریب در سیمای سرزمین را عمدتاً به فعالیت‌های انسانی در استان اردبیل نسبت دادند.

نتایج شاخص‌های شکل لکه (LSI) و جدادشدگی (SPLIT) حاکی از آن بود که حوضه‌های گیلانده، دوست‌بیگللو، اکبرداود، باروق، عموقین و عنبران، واقع در بخش‌های کوچکی از شرق، غرب، شمال و مرکز استان، دارای خوشه‌بندی HH و سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی هستند. حوضه‌های دوست‌بیگللو، ارباب‌کندی، کوزه‌تپراقی، گیلانده و آلاذیزگه دارای مقادیر مثبت شاخص موران هستند و سایر حوضه‌ها دارای شاخص موران منفی است. قابل ذکر است که زراعت دیم با حدود ۵۷، ۳۸ و ۶۵ درصد از مساحت به‌ترتیب بخش اعظم حوضه‌های گیلانده، دوست‌بیگللو و اکبرداود را تشکیل می‌دهد. در حالی که بخش اعظم حوضه‌های باروق، عموقین و عنبران متعلق به کاربری مرتع بوده که به‌ترتیب تشکیل‌دهنده ۸۲، ۹۵ و ۶۳ درصد از مساحت آن‌هاست. هم‌چنین، زراعت دیم و مرتع به‌ترتیب با مقادیر ۴۰ و ۳۵ درصد در حوضه ارباب‌کندی و ۵۵ و

Z" از نظر آماری معنی‌دار به‌دست می‌آید (۱۰). به‌عبارت دیگر این شاخص نقاط توزیع داده‌های مکان‌محور را با توجه به نوع داده و تحلیل‌های همبستگی فضایی به‌صورت نمره استاندارد (score-z) نمایش می‌دهد و برای تحلیل نوع پراکنش فضایی کاربرد دارد. نمره استاندارد محاسبه شده نشان می‌دهد که در کدام ناحیه مورد مطالعه یا داده‌ها، مقادیر زیاد یا کم به‌صورت خوشه‌های داغ یا سرد تجمع یافته‌اند. بر همین اساس، شاخص گیس-ارد جی (G_i^*) طبق رابطه (۴) به‌دست آمد.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j \neq i} j * i^{w_{ij} - w_i \bar{x}}}{s \sqrt{\frac{ns_{li} - w_i^2}{n-1}}} \quad (4)$$

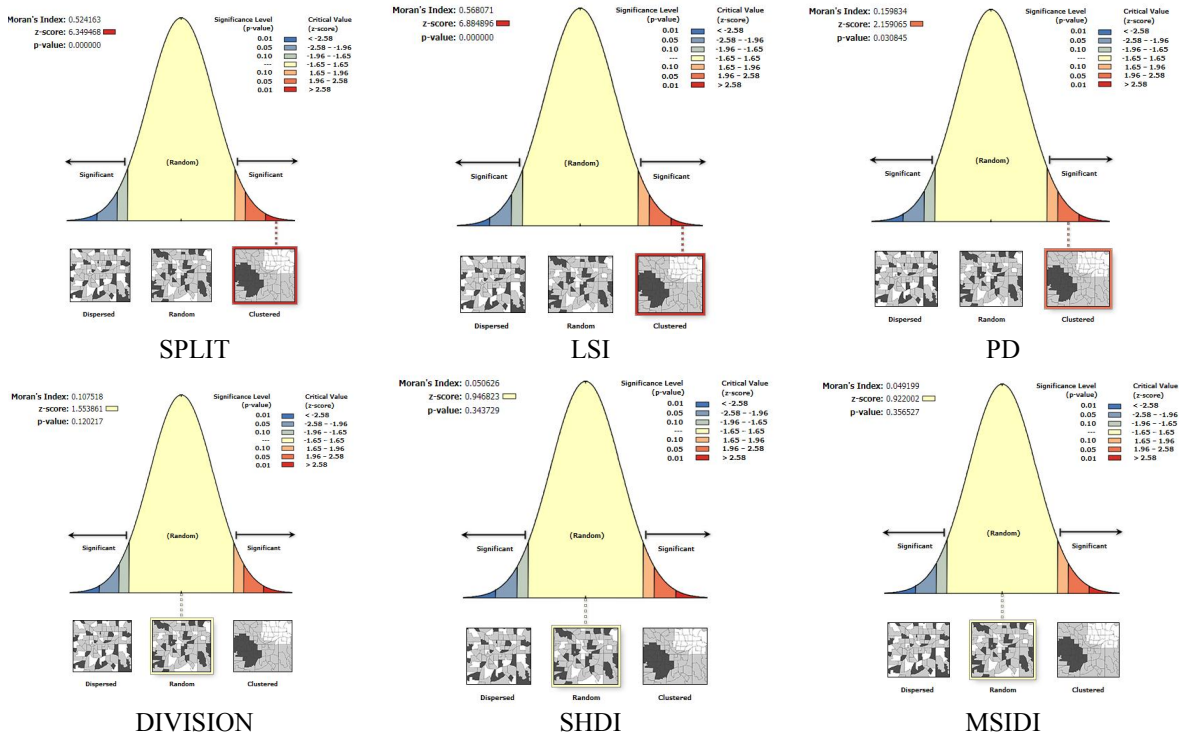
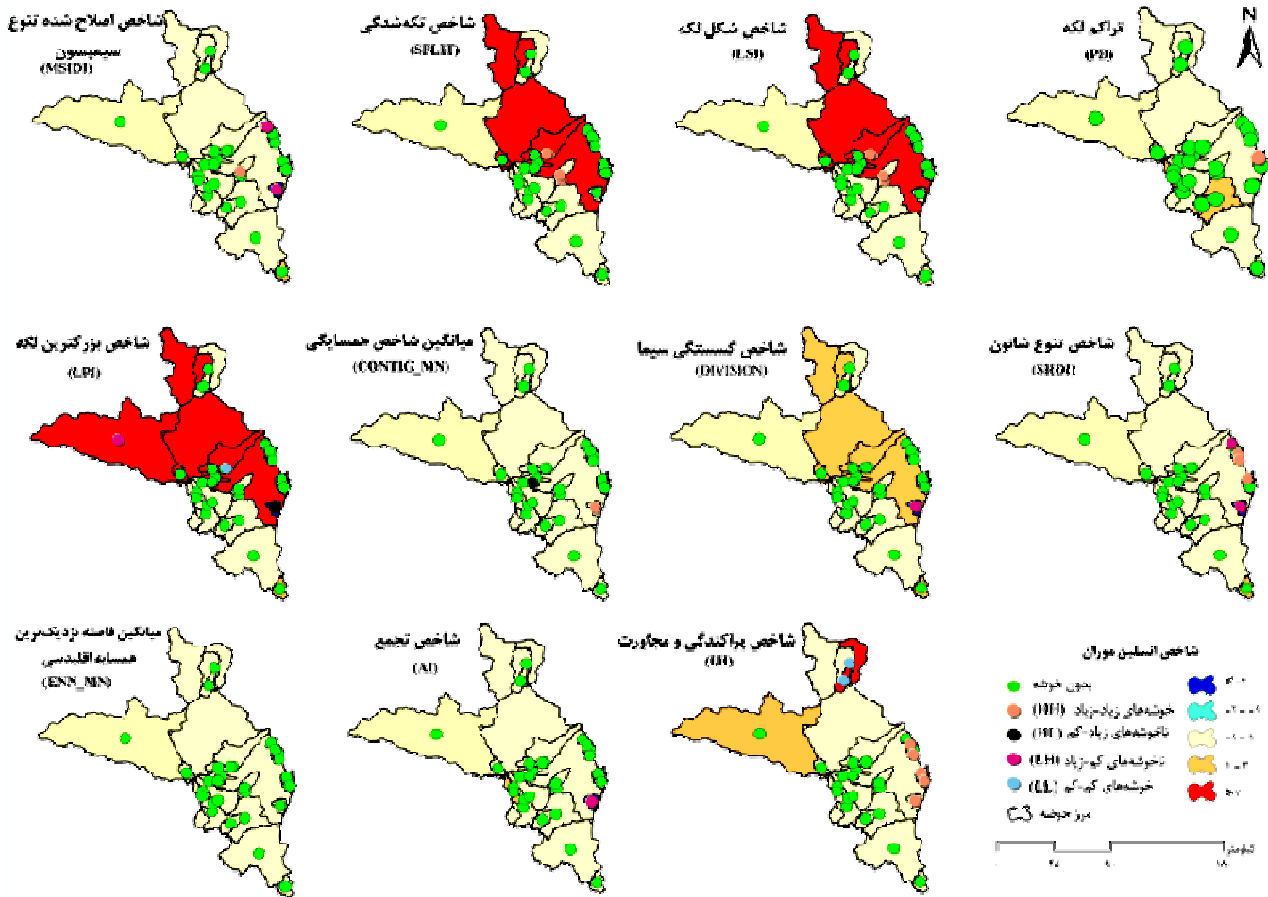
در رابطه فوق، w_{ij} یک وزن مکانی است که مناطق همسایه زبه منطقه i را تعریف می‌کند. w_i مجموع وزنی مکانی w_{ij} است.

نتایج و بحث

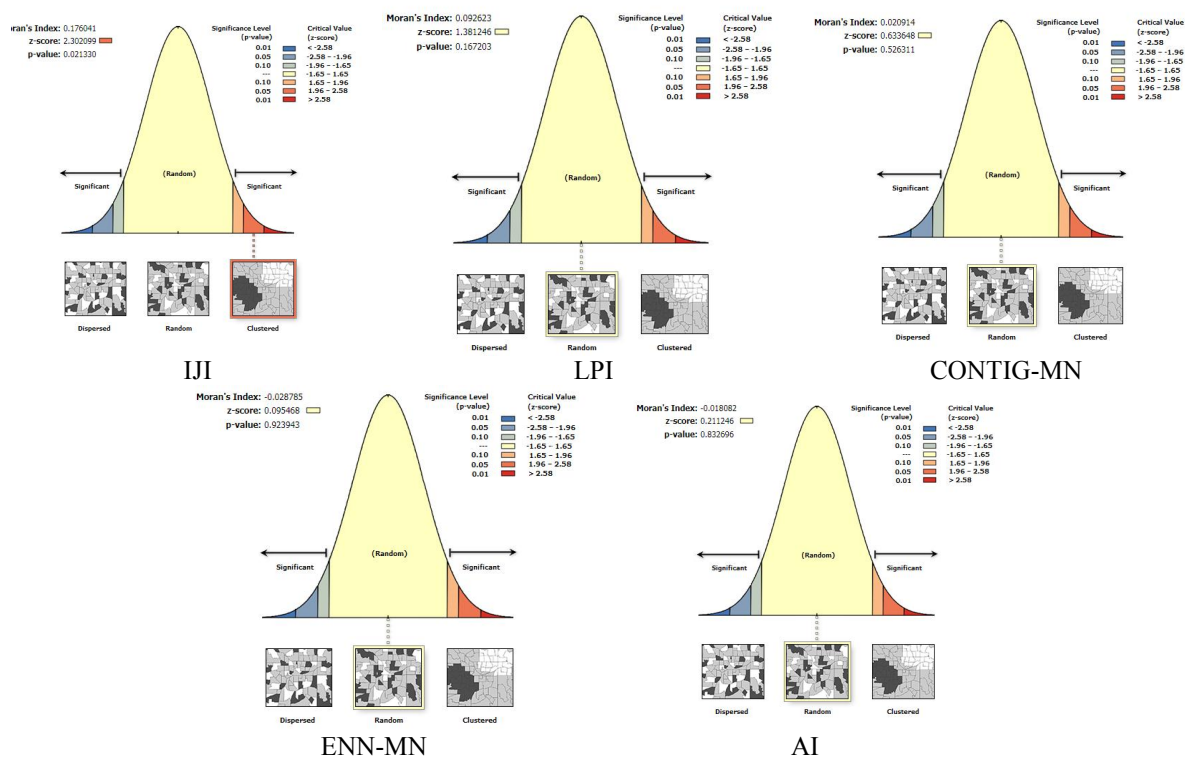
تجزیه و تحلیل خودهمبستگی سنج‌های سیمای سرزمین

نتایج حاصل از ارزیابی خودهمبستگی مکانی مقادیر استاندارد Z و P-Value در شاخص موران جهانی برای سنج‌های مورد مطالعه شامل تراکم لکه (PD)، شاخص شکل لکه (LSI)، شاخص جدادشدگی (SPLIT)، شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون (MSIDI)، شاخص تنوع شانون (SHDI)، گسستگی سیما (DIVISION)، میانگین شاخص پیوستگی (CONTIG-MN)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص پراکندگی و مجاورت (IJI)، شاخص تجمع (AI) و فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن‌ها در شکل ۳ ارائه شده است.

طبق نتایج شکل (۳)، توزیع فضایی تراکم لکه (PD) در آلاذیزگه دارای خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا) و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. با مراجعه به نقشه کاربری اراضی (شکل ۲) می‌توان دریافت که حوضه کوچک آلاذیزگه واقع در شرق استان، کم‌ترین مقدار کاربری



شکل ۳. الگوهای خوشه‌بندی و خودهمبستگی مکانی سنجه‌های مورد بررسی در حوضه‌های استان اردبیل



ادامه شکل ۳. (PD): تراکم لکه، (SPLIT): شاخص جداشدگی، (LSI): شاخص شکل لکه، (MSIDI): شاخص اصلاح شده تنوع سیمپسون، (SHDI): شاخص تنوع شانون، (DIVISION): گسستگی سیما، (CONTIG_MN): میانگین شاخص پیوستگی، (LPI): شاخص بزرگترین لکه، (IJI): شاخص پراکنندگی و مجاورت، (AI): شاخص تجمع و (ENN_MN): فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی

است، یعنی مقدار سنجه MSIDI در حوضه‌های هیر و باروق کم‌تر از واحدهای مجاور بوده که با توجه به غالبیت کاربری مرتع به ترتیب با ۹۷ و ۸۲ درصد مساحت، به دست آمده است. حوضه درو واقع در جنوب استان دارای مقادیر مثبت شاخص موران است و سایر حوضه‌ها دارای مقدار منفی بوده که به معنی عدم مشابهت مقادیر متغیر مورد بررسی است و تشکیل خوشه نداده‌اند.

تمامی حوضه‌های مورد مطالعه از لحاظ شاخص تنوع شانون (SHDI) همبستگی مکانی داشته و به جز هیر و باروق که دارای خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا) بوده، سایر حوضه‌ها فاقد الگوی مشخص خوشه‌بندی هستند. از نظر این سنجه نیز حوضه درو دارای مقادیر مثبت شاخص موران بوده و در سایر حوضه‌های مورد بررسی مقدار شاخص موران منفی به دست آمده است. نتایج حاصل از تحلیل فضایی شاخص‌های تنوع برای

۳۹ درصد در حوضه کوزه‌تپراقی بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص دادند. لذا غالب بودن دو کاربری پویا از لحاظ دخالت‌های انسانی در این حوضه‌ها موجب تشکیل خوشه‌های با ارزش بالا از لحاظ سنجه‌های تخریب سیمای سرزمین شده است. در پژوهش نالان و همکاران (۲۴) نیز اثر سدسازی بر تغییرات لکه‌های داغ NDVI را گزارش کردند. علاوه بر این، مصطفی‌زاده و همکاران (۲۳) به بالا بودن مقادیر شاخص جداشدگی (SPLIT) و تفکیک بیش‌تر سیمای مرتع در حوضه ایریل واقع در شرق استان اشاره کرده‌اند.

مقادیر شاخص اصلاح شده تنوع سیمپسون (MSIDI) به جز در هیر و باروق (دارای خوشه‌بندی LH: مقادیر با ارزش پایین در کنار مقادیر با ارزش بالا) و گیلانده (دارای خوشه‌بندی HH)، در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. در خوشه‌بندی LH، مقدار آماره I منفی و مقدار Z مثبت

سیمای سرزمین است. کاکه‌ممی و همکاران (۱۴) در مطالعه خود گزارش کردند که بیش‌ترین تغییر شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در استان اردبیل بین دو مقطع زمانی ۱۹۸۷ و ۲۰۱۵ مربوط به کاربری مرتع بوده است.

شاخص پراکندگی و مجاورت (IJI) در حوضه‌های نمین، ننه‌کران، نیر، ایریل، آلاذیزگه و هیر دارای خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا)، در حوضه‌های احمدکندی و اکبرداود دارای خوشه‌بندی LL (مقادیر با ارزش پایین) و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. از آنجایی‌که این سنجه میزان قرارگیری لکه‌های مختلف را در کنار هم نشان می‌دهد (۲۱)، می‌توان جمع‌بندی نمود که میزان اختلاط لکه‌ها در بخش‌های غربی استان بیش‌تر است. بر اساس نتایج شکل ۳، حوضه‌های اکبرداود و مشیران دارای مقادیر مثبت شاخص موران هستند، در سایر حوضه‌های مورد بررسی مقدار شاخص موران منفی است.

نتایج حاصل از امتیاز استاندارد Z و مقادیر P-Value، شاخص تجمع (AI) در هیر دارای خوشه‌بندی HL (مقادیر با ارزش بالا در کنار مقادیر با ارزش پایین) و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. شاخص موران در حوضه نیر نیز دارای مقادیر مثبت و در سایر حوضه‌ها دارای مقادیر منفی است. نتایج میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN) در تمامی حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی و دارای شاخص موران منفی است. ضریب موران به‌دست آمده مؤید عدم پراکنش فضایی یکنواخت سنجه‌های AI و ENN_MN بوده و نشان از توزیع ناموزون آن‌ها در سطح حوضه‌های مورد مطالعه دارد.

در جدول (۱) خروجی آماره موران محلی برای سنجه‌های مورد بررسی ارائه شده است. طبق این نتایج شاخص موران محلی برای سنجه‌های تراکم لکه (PD)، شاخص شکل لکه (LSI)، شاخص جداشدگی (SPLIT)، شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون (MSIDI)، شاخص تنوع شانون (SHDI)، گسستگی سیما (DIVISION)، میانگین شاخص پیوستگی (CONTIG-MN)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص پراکندگی و مجاورت

ارتقاء تصمیم‌گیری و ارزیابی مدیریت اراضی کارآمد هستند. بدین‌صورت که شناخت مناطق دارای تنوع زیستی زیاد می‌تواند مورد توجه برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران منابع طبیعی و کشاورزی قرار گیرد تا اقدامات مؤثری را به‌منظور کاهش لکه‌های تخریب و افزایش تنوع سرزمین در سطح استان اردبیل انجام دهند.

از نظر گسستگی سیما (DIVISION)، به‌جز هیر که دارای خوشه‌بندی LH (مقادیر با ارزش پایین در کنار مقادیر با ارزش بالا) است، سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی هستند. حوضه‌های دوست‌بیگللو، ارباب‌کندی، کوزه‌تپراقی، گیلانده و آلاذیزگه دارای مقادیر مثبت و سایر حوضه‌های مورد بررسی دارای مقادیر منفی شاخص موران هستند. این یافته‌ها در راستای نتایج حاصل از سنجه‌های تراکم لکه (PD)، شکل لکه (LSI) و جداشدگی (SPLIT) مبنی بر وجود تخریب بالای پوشش گیاهی و سیمای سرزمین هستند. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حوضه‌های گرم فقط در پهنه‌ای از استان قرار دارند و نسبت به نقاط دیگر از نظر فضایی محدود هستند. میانگین شاخص پیوستگی (CONTIG-MN) در حوضه‌های هیر و آتشگاه به‌ترتیب دارای خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا) و HL (مقادیر با ارزش بالا در کنار مقادیر با ارزش پایین) بوده و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. هم‌چنین، در همه حوضه‌های مورد بررسی مقدار شاخص موران منفی بوده است که بیان‌گر پراکنده بودن نقاط هم‌جوار می‌باشد.

شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در حوضه‌های هیر و مشیران به‌ترتیب دارای خوشه‌بندی HL و LH بوده و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. حوضه‌های بوران و مشیران دارای مقادیر مثبت شاخص موران هستند و مقدار شاخص موران منفی در سایر حوضه‌ها به‌معنی عدم مشابهت و عدم تشکیل خوشه به‌دست آمد. قابل ذکر است که حوضه مشیران بزرگ‌ترین حوضه مورد مطالعه از نظر مساحت است که به‌ترتیب ۴۳، ۳۶ و ۱۶ درصد از مساحت آن را مرتع، زراعت دیم و زراعت آبی تشکیل می‌دهد. به‌طور کلی، هر چه این سنجه بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده تخریب و شکافتگی کم‌تر

جدول ۱. خروجی آماره موران محلی برای سنج‌های مورد بررسی

ENN_MN	AI	IJI	LPI	CONTIG_MN	DIVISION	SHDI	MSIDI	LSI	SPLIT	PD	سنجه
-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۵۲	۰/۱۶	شاخص موران
۰/۱۰	۰/۲۱	۲/۳۰	۱/۳۸	۰/۶۳	۱/۵۵	۰/۹۵	۰/۹۲	۶/۸۸	۶/۳۵	۲/۱۶	z-score
۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	p-value

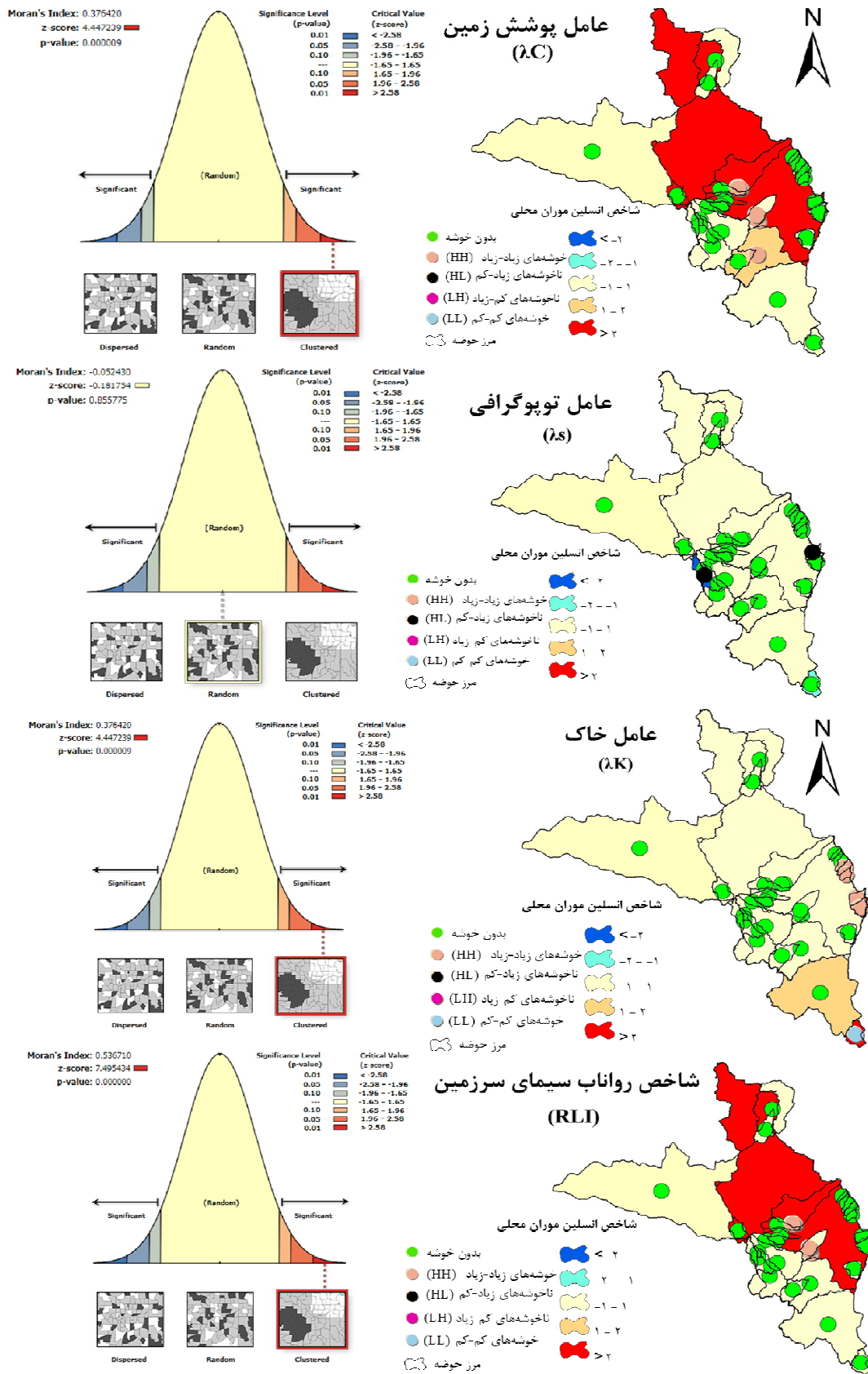
PD: تراکم لکه، SPLIT: شاخص جداشدگی، LSI: شاخص شکل لکه، MSIDI: شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون، SHDI: شاخص تنوع شانون، DIVISION: گسستگی سیما، CONTIG_MN: میانگین شاخص پیوستگی، LPI: شاخص بزرگترین لکه، IJI: شاخص پراکندگی و مجاورت، AI: شاخص تجمع و ENN_MN: فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی

(IJI) الگوی کاملاً تک قطبی را اثبات می‌کند. از آنجایی که هرچه این ضریب مقدار بالاتری داشته باشد، بیان‌گر تجمع زیاد و هر چه مقدار پایین‌تری داشته باشد، بیان‌گر پراکندگی است. بنابراین برای SPLIT و LSI بیان‌گر تجمع زیاد و برای سایر سنج‌ها بیان‌گر پراکندگی بوده است. هم‌چنین مقادیر منفی شاخص موران محلی برای شاخص تجمع (AI) و فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN) الگوی پراکنده را اثبات می‌کند. در همین راستا، کاو و همکاران (۱۷) با تحلیل خودهمبستگی سنج‌های سیمای سرزمین نشان دادند که مناطق دارای پوشش گیاهی زیاد واقع در شمال شهر حراره واقع در زیمبابوه دارای خودهمبستگی فضایی مثبت زیاد ($p < 0.05$) از نظر لکه‌های پوشش گیاهی هستند. در مقابل، لکه‌های دارای پوشش گیاهی پراکنده در بخش‌های غربی، شرقی و جنوبی شهر مورد مطالعه، قرار دارند. نتایج آن‌ها بیان‌گر افزایش تکه‌تکه‌شدگی و لکه‌های کوچک پوشش گیاهی و نیز عدم وجود خوشه‌بندی مشخص بوده است.

تجزیه و تحلیل خودهمبستگی شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI)

همان‌طور که قبلاً اشاره شد شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) از تلفیق سه عامل پوشش زمین (λC)، خاک (λK) و توپوگرافی (λS) به‌دست آمد که در شکل (۴) الگوهای خوشه‌بندی و خودهمبستگی مکانی آن‌ها در حوضه‌های استان

اردبیل نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از امتیاز استاندارد Z و مقادیر P-Value (شکل ۴) خوشه‌ای بودن توزیع فضایی عامل پوشش زمین (λC) در حوضه‌های مورد بررسی اثبات شد. به‌عبارتی می‌توان گفت که مقادیر داده‌های عامل پوشش زمین (λC) در حوضه‌های مورد مطالعه با هم‌دیگر همبستگی مکانی دارند. تمامی حوضه‌ها به‌جز باروق (با مقدار Z برابر با ۴/۲۶)، ارباب‌کندی (با مقدار Z برابر با ۴/۲۸)، کوزه‌تپراقی (با مقدار Z برابر با ۲/۰۴) و بوران (با مقدار Z برابر با ۳/۵۲) در طبقه خوشه‌بندی HH، بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی هستند. این چهار حوضه در بخش‌های مرکزی استان قرار گرفته و دارای خودهمبستگی فضایی مثبت از نظر عامل پوشش زمین (λC) هستند. بنابراین انتظار می‌رود که بیش‌ترین مشارکت در شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) بر اساس عوامل مؤثر پوشش گیاهی، از همین مناطق صورت بگیرد. حوضه‌های دوست‌بیگلو، ارباب‌کندی، کوزه‌تپراقی و گیلانده، بوران و آلاذیزگه دارای مقادیر مثبت شاخص موران و به‌عبارتی دارای مقادیر مشابه از نظر مکانی هستند. در سایر حوضه‌های مورد بررسی مقدار شاخص موران منفی است که نشان‌دهنده محاصره شدن عامل پوشش زمین (λC) توسط عارضه نامشابه در این حوضه‌ها است. بین و همکاران (۳) نیز به وجود ناهمگونی فضایی در پوشش زمین و در نتیجه عامل پوشش زمین (λC) در حوضه Haihe واقع در شمال شرق چین اشاره کردند.



شکل ۴. الگوهای خودهمبستگی مکانی و خوشه‌بندی عامل‌ها و شاخص رواناب سیمای سرزمین در حوضه‌های استان اردبیل

شاخص موران و به عبارتی دارای مقادیر مشابه از نظر مکانی هستند. مقدار منفی شاخص موران در سایر حوضه‌های مورد بررسی حاصل شد. حوضه‌های دارای خوشه‌بندی HH از نظر شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) نیز دارای خوشه‌بندی از نظر سنج‌های تخریب سرزمین نیز بوده‌اند. برای نمونه حوضه‌های اکبرداود، باروق و عموقین دارای همین خوشه‌بندی از نظر شکل لکه (LSI) و جدادشدگی (SPLIT) هستند. از طرفی خوشه‌بندی HH عامل پوشش زمین (LC) در حوضه‌های باروق و بوران نیز بی‌تأثیر نبوده است.

در جدول (۲) خروجی آماره موران محلی برای عامل‌ها و شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) ارائه شده است. طبق این نتایج، شاخص موران محلی برای عامل پوشش زمین (LC)، عامل خاک (LK) و شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) الگوی کاملاً تک‌قطبی را اثبات می‌کند و بیان‌گر تجمع زیاد است. هم‌چنین مقادیر منفی شاخص موران محلی برای عامل توپوگرافی (LS) الگوی پراکنده را اثبات می‌کند. در همین راستا، کیم و پارک (۱۶) پاسخ منطقه‌ای رواناب را به تغییر الگوی سیمای سرزمین در چهار مورد از بزرگ‌ترین حوضه‌های شهری نگزاس در امریکا تحلیل نمودند. نتایج حاصل از کاربرد مدل SWAT حاکی از افزایش معنی‌داری در رواناب سطحی (۵ درصد) و تولید رسوب (۶ درصد) و کاهش جریان آب پایه (۱۱- درصد) بوده است. این پژوهش‌گران بیان کردند که حوضه‌های بزرگ‌تر دارای تکه‌شدگی کم‌تر و الگوهای سیمای سرزمین پیوسته‌تر هستند. هم‌چنین اثرات منفی ایجاد شده در اثر افزایش مناطق شهری بر رواناب در حوضه‌های بزرگ‌تر کم‌تر است. هم‌چنین، بین و همکاران (۳) بیان کردند که ضریب همبستگی مثبت (۰/۸۳) بین RLI و رواناب سطحی در حوضه Haihe واقع در چین وجود دارد. نتایج آن‌ها مؤید کارایی بالاتر این شاخص جدید نسبت به سنج‌های سیمای سرزمین رایج در ارزیابی تغییرات بوم‌شناختی و هیدرولوژیکی است. نتایج پژوهش حاضر از دید متفاوت مبتنی بر مدیریت مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب نیز حائز اهمیت است. همان‌گونه که توسط عبداللهی و

طبق نتایج حاصل از امتیاز استاندارد Z و مقادیر P-Value، عامل توپوگرافی (LS) در حوضه‌های نیر (با مقدار Z برابر با ۳/۴۵-) و آلاذیزگه (با مقدار Z برابر با ۳/۴۱-) به‌عنوان ناخوشه‌بندی HL (مقادیر با ارزش بالا در کنار مقادیر با ارزش پایین) و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی خوشه‌بندی مشخص دسته‌بندی شد. علاوه بر این، مقدار شاخص موران در تمام حوضه‌های مورد بررسی منفی به‌دست آمد که نشان‌دهنده تغییرات شدید این عامل در سطح استان اردبیل است. بر اساس نتایج شکل ۴، عامل خاک (LK) در حوضه‌های واقع در بخش شرقی استان شامل نمین (با مقدار Z، ۲/۸۲)، ننه‌کران (با مقدار Z، ۵/۴۳)، ایریل (با مقدار Z برابر با ۲/۸۲)، آلاذیزگه (با مقدار Z برابر با ۳/۵۶) و هیر (با مقدار Z برابر با ۴/۵۳) دارای خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا) و درو (با مقدار Z برابر با ۲/۷۲) دارای خوشه‌بندی LL (مقادیر با ارزش پایین) بوده و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. هم‌چنین، حوضه‌های هیر، فیروزآباد، ایریل و درو دارای مقادیر مثبت شاخص موران و به عبارتی دارای مقادیر مشابه از نظر مکانی هستند. در سایر حوضه‌ها مقدار شاخص موران منفی به‌دست آمد. در راستای یافته‌های پژوهش حاضر، مددی و همکاران (۱۹) نیز در تحلیل خودهمبستگی خود، عوامل توپوگرافی ارتفاع و شیب را به‌ترتیب با ضریب زونی ۰/۱۷۳ و ۰/۱۳۹ جزء مؤثرترین عوامل در وقوع سیل در حوضه خیاوچای واقع در بخش شرقی استان اردبیل گزارش کردند. هم‌چنین، لکه‌های داغ با ضریب اطمینان ۹۹ درصد در محدوده شهری مشکین‌شهر و مناطق دارای شیب و ارتفاع زیاد شناسایی شدند.

بر اساس نتایج شکل ۴، شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) در حوضه‌های اکبرداود (با مقدار Z، ۹/۰۹)، باروق (با مقدار Z، ۲/۳۱)، عموقین (با مقدار Z، ۲/۵۴) و بوران (با مقدار Z، ۸/۲۸) در طبقه خوشه‌بندی HH (مقادیر با ارزش بالا) دسته‌بندی شد و در سایر حوضه‌ها بدون الگوی مشخص خوشه‌بندی است. هم‌چنین، حوضه‌های دوست‌بیگللو، ارباب‌کندی، کوزه‌تپراقی، گیلانده و آلاذیزگه دارای مقادیر مثبت

جدول ۲. خروجی آماره موران محلی برای عامل‌ها و شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI)

شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI)	عامل توپوگرافی (λ_s)	عامل خاک (λ_k)	عامل پوشش زمین (λ_c)	سنجه
۰/۵۴	-۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۳۸	شاخص موران
۷/۵۰	-۰/۱۸	۴/۴۵	۴/۴۵	z-score
۰/۰۰	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۰	p-value

متعلق به حوضه‌های گیلانده، پل‌سلطانی، یامچی و نیر است. لکه‌های سرد در سطح اطمینان ۹۰ درصد مربوط به حوضه‌های ایریل، نمین و ننه‌کران می‌باشند. سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند. طبق نتایج شاخص جداشدگی (SPLIT) حوضه‌های اکبرداود، بوران، ارباب‌کندی، باروق، عموقین، آتشگاه، عنبران، سولا و آلاذیزگه، لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین، لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۰ درصد تنها متعلق به حوضه‌های گیلانده، پل‌سلطانی، یامچی و نیر بوده و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند (شکل ۵).

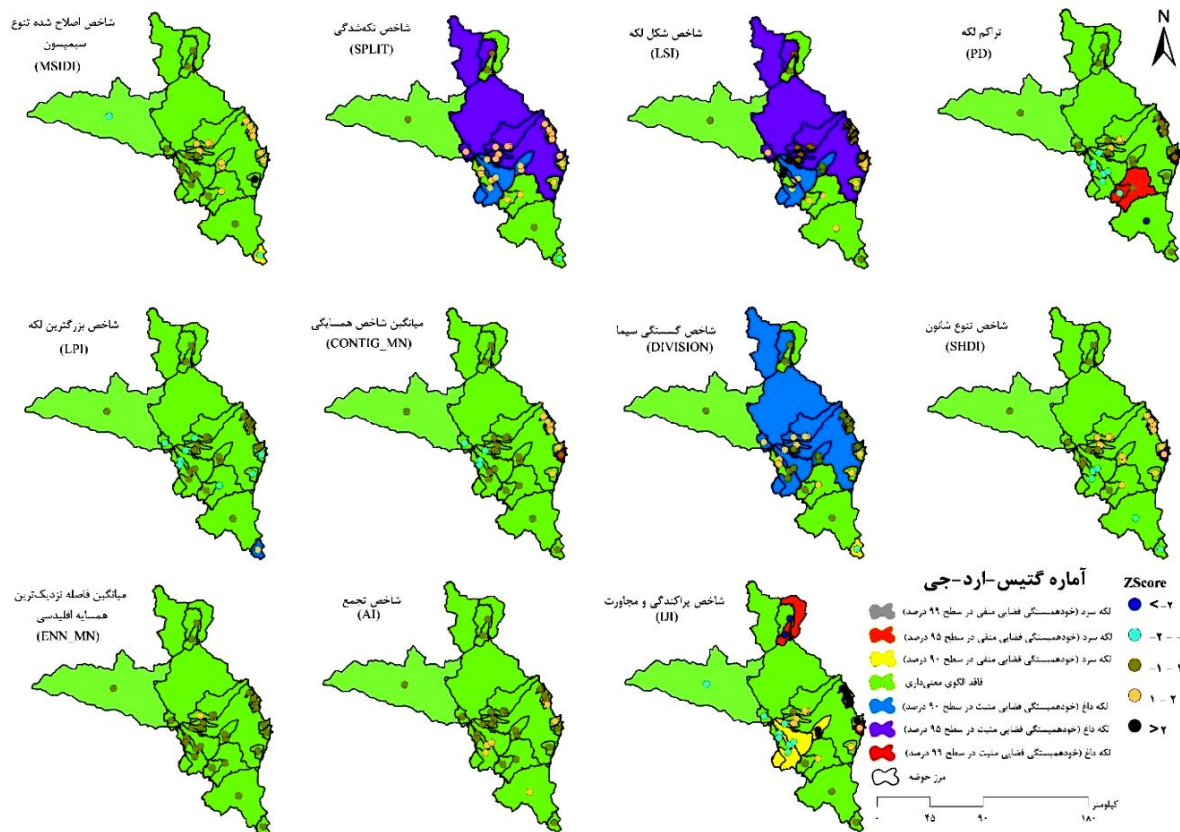
طبق نتایج به‌دست آمده از آماره گتیس-ارد جی در شناسایی لکه‌های داغ مربوط به شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون (MSIDI)، لکه سرد در سطح اطمینان ۹۰ درصد تنها متعلق به حوضه درو به‌دست آمد. سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار بودند. هم‌چنین نتایج شاخص تنوع شانون (SHDI) حاکی از این بود که لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد مربوط به حوضه‌های ایریل، نمین و ننه‌کران است و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند. طبق نتایج شاخص گسستگی سیما (DIVISION)، حوضه‌های اکبرداود، بوران، ارباب‌کندی، باروق، عموقین، آتشگاه، عنبران، سولا، آلاذیزگه، گیلانده، پل‌سلطانی، یامچی و نیر لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۰ درصد را به خود اختصاص دادند. لکه سرد در سطح اطمینان ۹۰ درصد تنها متعلق به حوضه درو بوده و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آماره گتیس-ارد جی در شناسایی لکه‌های داغ میانگین شاخص پیوستگی (CONTIG-MN)، تنها

همکاران (۱) نیز به خدمات بوم‌شناختی اشاره شده است، بخش‌های دارای خوشه‌بندی HH به معنی وجود بیش‌ترین میزان عرضه خدمات بوم‌شناختی در سطح استان است در حالی‌که در مناطق دارای خوشه‌بندی LL، میزان فراهم‌سازی خدمات بوم‌شناختی ناچیز است. بنابراین، با استفاده از نتایج پژوهش حاضر می‌توان نسبت به پایش و برنامه‌ریزی مناسب در زمینه بهره‌برداری خردمندان و نظام‌مند از خدمات بوم‌شناختی به‌ویژه در زمینه خدمات حفاظت آب و خاک، تنظیم هیدرولوژی و پوشش گیاهی اقدام کرد.

نتایج حاصل از ارزیابی لکه‌های داغ و سرد سنجه‌های سیمای سرزمین

شکل ۵، نتایج به‌دست آمده از آماره گتیس-ارد جی در شناسایی لکه‌های داغ سنجه‌های سیمای سرزمین در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل مکانی تراکم لکه (PD) نشان داد که لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۹ درصد متعلق به حوضه نمین و ننه‌کران و در سطح اطمینان ۹۵ درصد متعلق به حوضه ایریل هستند. بنابراین بیش‌ترین لکه‌های داغ در شرق استان اردبیل واقع شده است. لکه‌های سرد با سطح اطمینان ۹۵ درصد متعلق به حوضه‌های کوزه‌تپراقی و شمس‌آباد (واقع در جنوب غربی استان اردبیل) و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند. طبق نتایج شاخص شکل لکه (LSI) اکثر حوضه‌های مورد مطالعه (اکبرداود، بوران، ارباب‌کندی، باروق، عموقین، آتشگاه، عنبران، سولا و آلاذیزگه) لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۰ درصد تنها



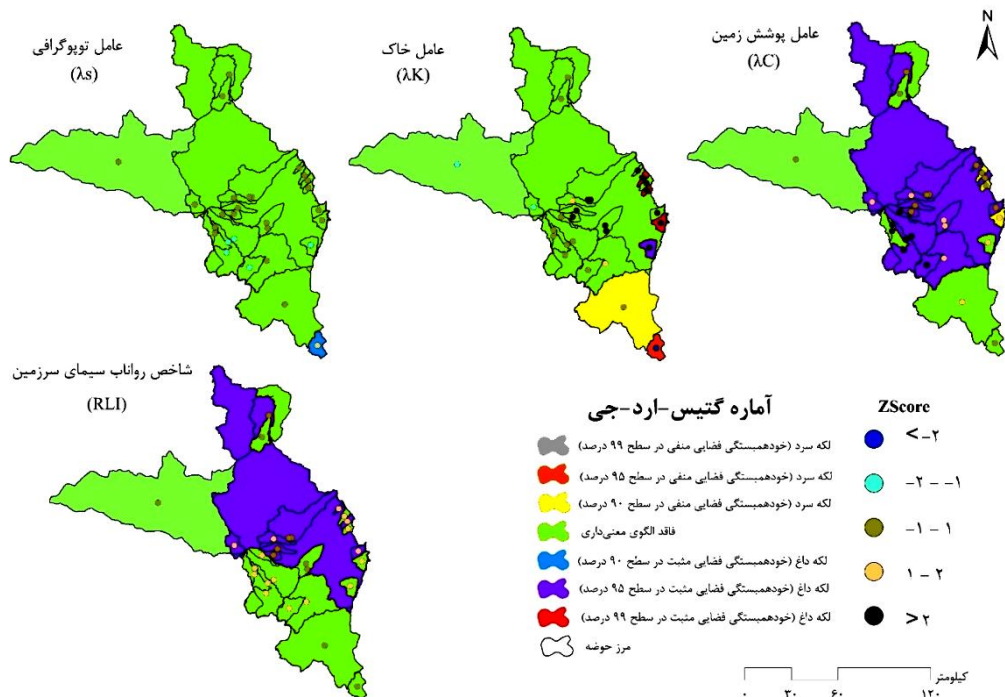
شکل ۵. توزیع مکانی لکه‌های داغ و سرد سنجه‌های سیمای سرزمین در حوضه‌های استان اردبیل

حوضه‌های احمدکندی و اکبرداود به دست آمد. هم‌چنین حوضه‌های گیلانده، پل‌سلطانی، یامچی و نیر در طبقه لکه‌های سرد در سطح اطمینان ۹۰ درصد قرار گرفتند و سایر حوضه‌ها الگوی معنی‌داری نشان ندادند. از نظر شاخص تجمع (AI) تنها حوضه‌های نمین و ننه‌کران، لکه‌های سرد در سطح اطمینان ۹۹ درصد را به خود اختصاص دادند و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند. هم‌چنین تمامی حوضه‌ها از نظر میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN) فاقد الگوی معنی‌دار هستند.

به‌طور کلی با توجه به نتایج فوق‌الذکر، بر هم‌کنش لکه‌های داغ و سرد سنجه‌های سیمای سرزمین، پیچیدگی اکوسیستم‌های طبیعی استان را نشان می‌دهد. به‌منظور تفسیر بهتر نتایج پژوهش حاضر، لازم است در پژوهش‌های آتی تعامل و پاسخ‌گویی محیط به اختلالات بوم‌شناختی و اقدامات توسعه‌ای و مدیریتی مشخص صورت گرفته در هر حوضه مورد بررسی قرار داده

حوضه‌های نمین، ننه‌کران و ایریل دارای لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۹ درصد بوده و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار هستند. این سنجه، احتمال حضور لکه‌های دارای یک جنس مشابه را در کنار هم مشخص می‌کند. بنابراین هر چه مقدار آن و تمرکز آن بالاتر باشد، نشان‌دهنده حوضه‌های سالم‌تر و دارای پیوستگی بیشتر است. یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر شناسایی لکه‌های داغ این نوع سنجه، در تبیین سیاست‌ها و خط‌مشی‌های کارآمد در راستای حفظ مؤثر و پشتیبانی از راهبردهای احیاء کاربرد دارد.

نتایج شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) حاکی از این است که تنها لکه داغ در سطح اطمینان ۹۰ درصد متعلق به حوضه درو بوده و سایر حوضه‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار می‌باشند. لکه‌های داغ شاخص پراکندگی و مجاورت (III) در سطح اطمینان ۹۹ درصد متعلق به حوضه‌های ننه‌کران، ایریل و نمین و لکه‌های سرد در سطح اطمینان ۹۵ درصد متعلق به



شکل ۶. توزیع مکانی لکه‌های داغ و سرد عامل‌ها و شاخص رواناب سیمای سرزمین در حوضه‌های استان اردبیل

اطمینان ۹۰ درصد شناسایی شد. هم‌چنین لکه‌های داغ این عامل در حوضه‌های ایریل، نمین و ننه‌کران در سطح اطمینان ۹۹ درصد و هیر در سطح اطمینان ۹۵ مشاهده شد. سایر حوضه‌های مورد مطالعه فاقد الگوی معنی‌دار بودند.

طبق نتایج عامل توپوگرافی (λ_s) نیز تنها حوضه درو در لکه داغ در سطح اطمینان ۹۰ درصد قرار گرفت و سایر حوضه‌ها فاقد الگوی معنی‌دار بودند. در نهایت، از لحاظ شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI)، حوضه‌های احمدکندی، اکبرداود، درو، مشیران، فیروزآباد، لای، نیر و هیر فاقد الگوی معنی‌داری بوده و سایر حوضه‌ها، لکه‌های داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص دادند. نتایج حاضر، دیدگاه جدید و کاربردی را برای مدیریت منابع آب و خاک استان اردبیل در مقیاس حوضه فراهم می‌کند. نتایج حاصل از این تحقیق، ضمن تأیید سطح گسترده تخریب در پوشش اراضی استان اردبیل، بیان‌گر عملکرد نامطلوب سایر مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار در بروز بلایای طبیعی از جمله سیل ناشی از افزایش غیرمنتظره رواناب، است. در مقایسه با نتایج

شود. در صورت عدم توقف تخریب و اختلالات طبیعی و غیرطبیعی، کاهش وسعت مناطق ارزشمند و حساس بوم‌شناختی در استان مورد انتظار است.

نتایج حاصل از ارزیابی لکه‌های داغ و سرد شاخص رواناب سیمای سرزمین

در شکل ۶ توزیع مکانی لکه‌های داغ و سرد عامل‌ها و شاخص رواناب سیمای سرزمین (RLI) در حوضه‌های استان اردبیل ارائه شده است. بر همین اساس، الگوی معنی‌داری در عامل پوشش زمین (λ_C) در حوضه‌های احمدکندی، اکبرداود، درو، مشیران، فیروزآباد، لای، نیر و هیر مشاهده نشد. در حالی‌که لکه‌های سرد (خوشه مکانی با مقادیر کم) در سطح اطمینان ۹۰ درصد در حوضه‌های ایریل، نمین و ننه‌کران شناسایی شد. سایر حوضه‌ها، لکه‌های داغ (خوشه مکانی با مقادیر زیاد) در سطح اطمینان ۹۵ درصد را به خود اختصاص دادند.

لکه‌های سرد عامل خاک (λ_K) نیز تنها در حوضه درو در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در حوضه فیروزآباد در سطح

اردبیل با هدف تحلیل خودهمبستگی مکانی و شناسایی لکه‌های داغ با توجه به مقادیر ۱۱ سنجه شامل تراکم لکه (PD)، شاخص شکل لکه (LSI)، شاخص جدادشدگی (SPLIT)، شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون (MSIDI)، شاخص تنوع شانون (SHDI)، گسستگی سیما (DIVISION)، میانگین شاخص پیوستگی (CONTIG-MN)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص پراکندگی و مجاورت (IJI)، شاخص تجمع (AI) و فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN) و نیز شاخص جدید رواناب سیمای سرزمین (RLI) و عامل‌های مستخرج از آن مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از مقادیر P-Value در مورد شناسایی الگوهای توزیع فضایی سنجه‌های سیمای سرزمین نشان داد که در اکثر حوضه‌ها مقادیر P-Value کم‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد که نشان‌دهنده ساختار و همبستگی مکانی معنی‌دار داده‌ها بوده است. از طرفی بر اساس نتایج شاخص موران مشخص شد که میانگین مقادیر مثبت شاخص Z بیان‌گر همبستگی مکانی میان داده‌های سنجه‌های سیمای در حوضه‌های مورد مطالعه است. هم‌چنین، نتایج موران محلی نشان داد که سنجه‌های مورد بررسی دارای ساختار فضایی بوده و به عبارتی دارای الگوی فضایی ساختاریافته در منطقه مطالعاتی هستند و به صورت تصادفی در منطقه مطالعاتی توزیع نشده‌اند. طبق نتایج تجزیه و تحلیل لکه‌های داغ اکثر حوضه‌های واقع در قسمت‌های شرقی و مرکزی استان اردبیل، در طبقه لکه داغ در سطح اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفتند. هم‌چنین، حوضه مشیران در تمامی شاخص‌های مورد بررسی فاقد الگوی معنی‌دار بوده است. لکه‌های داغ شناسایی شده در پژوهش حاضر، اهمیت توجه به مقیاس مکانی در تحلیل داده‌های بوم‌شناختی را نیز مورد تأکید قرار می‌دهد و در برنامه‌ریزی منطقه‌ای با هدف تقویت خدمات بوم‌شناختی وابسته به منابع خاک و آب و پوشش گیاهی کاربرد اساسی دارد. قابل ذکر است که در صورتی که هدف، شناسایی لکه‌های داغ است، اثر مقیاس می‌تواند جزئی باشد. از طرف دیگر، اگر انتخاب مکان مورد

حاضر، کاو و همکاران (۱۷) نیز به وجود لکه‌های داغ و سرد معنی‌دار لکه‌های پوشش گیاهی اشاره کرده‌اند. علائمی و همکاران (۲) نیز پراکنده و خوشه‌ای بودن توزیع داده‌های دبی جریان در ایستگاه‌های استان اردبیل را گزارش دادند. هم‌چنین، مقادیر مثبت ضریب موران برای دبی جریان در سال‌های مختلف دوره آماری ۹۳-۱۳۷۹ تأیید شد.

نتیجه‌گیری

علوم مربوط به جغرافیای کمی و فضایی رویکردهای مختلفی برای تحلیل خودهمبستگی و شناسایی لکه‌های داغ ارائه داده‌اند. خودهمبستگی فضایی بیان‌گر این مفهوم است که فرآیندهای مورد بررسی با هم مرتبط هستند و آن‌هایی که به هم نزدیک‌تر هستند نسبت به آن‌هایی که دور هستند، خودهمبستگی بالاتری دارند. همبستگی فضایی مثبت زمانی وجود دارد که فرآیندهای نزدیک مشابه باشند. همبستگی فضایی منفی زمانی وجود دارد که رویدادهای نزدیک با هم متفاوت باشند. اندازه‌گیری‌های خودهمبستگی فضایی ممکن است جهانی یا محلی باشند و از نظر کمی برای ارزیابی میزان خودهمبستگی فضایی در یک مجموعه داده استفاده می‌شوند. روش‌های جهانی تحلیل خودهمبستگی به روش جهانی ماهیت خودهمبستگی فضایی را برای کل منطقه مورد مطالعه با استفاده از یک مقدار متوسط، مشخص می‌کنند. برای تشخیص لکه‌های داغ، روش‌های محلی که تغییرات همبستگی فضایی را در منطقه مورد مطالعه کمی می‌کنند، به روش‌های جهانی ترجیح داده می‌شوند. زیرا در روش جهانی، فقط خوشه‌بندی کلی متغیرها مشخص می‌شود، در حالی که الگوی ارتباط فضایی متغیر در محدوده همسایگی و آشکارسازی الگوی فضایی تفاوت‌های محلی توسط موران محلی تعیین می‌شود.

در پژوهش حاضر بر روش‌های محلی برای شناسایی لکه‌های داغ در داده‌های منطقه‌ای که دارای ویژگی‌های کمی هستند، تمرکز شده است. بدین منظور، مقادیر شاخص‌های موران، موران محلی و گنیس-ارد جی در ۲۸ حوضه استان

زمانی آن‌ها و به‌ویژه در ارتباط با نقش تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی مورد نیاز است. علاوه بر این، مقایسه نتایج پژوهش حاضر با سایر روش‌های تحلیل خودهمبستگی فضایی پیشنهاد می‌شود.

مطالعه یک امر مهم باشد، بنابراین، به مقیاس مکانی بزرگ‌تر نیاز پیدا خواهد شد. با توجه به این‌که پژوهش حاضر، اولین تلاش انجام شده در زمینه ارزیابی خودهمبستگی سنجه‌های سیمای سرزمین از نوع سنتی و نوین در کشور است، پژوهش‌های پیش‌تری برای جمع‌بندی نهایی در زمینه تغییرات

منابع مورد استفاده

1. Abdollahi, S.A., A. Ildoromi, S. Salmanmahini and S. Fakheran. 2021. Evaluating spatial patterns of ecosystem services based on a comparative approach on spatial statistics in the central part of Isfahan province. *Geography and Environmental Sustainability* 11(1): 41-54. (In Farsi)
2. Alaei, N., R. Mostafazadeh and Z. Hazbavi. 2019. Determination of spatial correlation of rivers discharge in the Ardabil province using Moran index. 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran. 16-17 July 2019, Urmia University, Iran. (In Farsi)
3. Bin, L., K. Xu, X. Xu, J. Lian and J. Ma. 2018. Development of a landscape indicator to evaluate the effect of landscape pattern on surface runoff in the Haihe river basin. *Journal of Hydrology* 566: 546-557.
4. Boongaling, C.G.K., D.V. Faustino-Eslava and F.P. Lansigan. 2018. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines, *Land Use Policy*, 72: 116-128.
5. Dey, P., and A. Mishra. 2017. Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: a review of methodologies and critical assumptions. *Journal of Hydrology*. 548: 278-290.
6. Dube, J., and D. Legros. 2014. *Spatial Econometrics Using Microdata*, Wiley Pub, pp. 51-91.
7. Ekwue, E.I., and Harrilal, A. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystem Engineering* 105: 112-118.
8. Epting, S.M., J.D. Hosen, L.C. Alexander, M.W. Lang, A.W. Armstrong and M.A. Palmer. 2018. Landscape metrics as predictors of hydrologic connectivity between coastal plain forested wetlands and streams. *Hydrology. Process* 32: 516-532.
9. Fu, W.J., P.K. Jiang, G.M. Zhou and K.L. Zhao. 2014. Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. *Biogeosciences* 11: 2401-2409.
10. Gaatib, R.E. and A. Larabi. 2015. Spatial analysis of the erosive hazard of soils and natural risks of reservoir siltation. soil erosion - rainfall erosivity and risk assessment, *IntechOpen*: <https://doi.org/10.5772/intechopen.89748>
11. Getis, A. 2010. Spatial autocorrelation. In: Fischer, M.M., Getis, A. (Eds.), *Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 255-278.
12. Goldshleger, N., M. Shoshany, L. Karnibad, S. Arbel and M. Getker. 2009. Generalising relationships between runoff-rainfall coefficients and impervious areas: an integration of data from case studies in Israel with data sets from Australia and the USA. *Urban Water Journal* 6: 201-208.
13. Huang, J., P. Wu, and X. Zhao. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. *Catena* 104: 93-102.
14. Kakehmami, A., M. Moameri, A. Ghorbani and S. Ghafari. 2020. Analysis of land use/ cover changes in Ardabil province using landscape metrics. *RS & GIS for Natural Resources* 11(3): 68-86.
15. Karmakar, S. 2012. A critical appraisal of hot spot analysis in the study of crimes. *Indian Journal of Spatial Science* 8(1): 63-69
16. Kim, H.W., Park, Y. 2016. Urban Green Infrastructure and Local Flooding: The impact of landscape patterns on peak runoff in four Texas Msas. *Applied Geography*, 77: 72-81.
17. Kowe, P., Mutanga, O., Odindi, J., Dube, T., 2020. A quantitative framework for analysing long term spatial clustering and vegetation fragmentation in an urban landscape using multi-temporal landsat data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 88: 102057
18. Kubacka, M., P. Żywica, J. Vila Subirós, S. Bródka and A. Macias. 2022. How do the surrounding areas of national parks work in the context of landscape fragmentation? A case study of 159 protected areas selected in 11 EU countries. *Land Use Policy* 113: 105910
19. Madadi, A., E. Piroozii and F. Shokrzadeh fard. 2019. Study of spatial analysis of flood hazard in Khiyav Chay watershed. *Environmental Researches* 11(21): 17-26. (In Farsi)

20. Malkian, A., mirdashtvan, M., Ghadimi, M. (2019). Investigating the impacts of climate change on some hydrological characteristics of water resources in Ardebil province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(3): 695-705.
21. McGarigal, K., S.A. Cushman and E.N. Neel. 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, pp. 691-703.
22. 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)
23. Mostafazadeh R, A. Jafari, and F. Keivan-behjou. 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 (In Farsi)
24. Nallan, S.A.M., L.J. Armstrong, A.K. Tripathy and P. Teluguntla. 2015. Hot spot analysis using NDVI data for impact assessment of watershed development. 2015. International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD-2015), Feb. 04 – 06, Mumbai, India
25. Rostaei, Sh., H. Karimzadeh and F. Zadvali. 2017. Evaluation of spatial analyses in poverty expansion in Tabriz urban areas. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal* 6(22): 125-136. (In Farsi)
26. Salahi, B, and M. Faridpour. 2016. Spatial analysis of climatic drought in North West of Iran using spatial autocorrelation statistics. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 3(3): 1-20. (In Farsi)
27. Shao, X.J. 2001. Numerical simulation of rill flow velocity and gully development for different hillslope gradients. *Journal of Soil and Water Conservation* 15: 1–5 (In Chinese).
28. Shen, J., H. Lu, Y. Zhang, X. Song and L. He. 2016. Vulnerability assessment of urban ecosystems driven by water resources, human health and atmospheric environment. *Journal of Hydrology* 536: 457–470.
29. Sobhani, P., H. Esmailzadeh, S. Barghjelveh, S. Mohammad and M, Sadeghi. 2022. Habitat integrity in protected areas threatened by LULC changes and fragmentation: a case study in Tehran. *Land*: 11(1): 6.
30. Tillé, Y., M. Michela Dickson, G, Espa and D. Giuliani. 2018. Measuring the spatial balance of a sample: a new measure based on the Moran's I index. *Spatial Statistics*, 23: 182-192.
31. Uuemaa, E., Ü. Mander and R. Marja. 2013. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: a review. *Ecological Indicator* 28: 100–106.
32. Yu, S., L. He and H. Lu. 2016. A tempo-spatial-distributed multi-objective decision-making model for ecological restoration management of water-deficient rivers. *Journal of Hydrology* 542 (2016): 860–874..

Hot Spots Analysis of Landscape Metrics and Runoff Landscape Index in Ardabil Province

A. Rasoulzadeh^{1*}, Z. Hazbavi², J. Azizi Mobaser³, R. Mostafazadeh⁴ and N. Alaei⁵

(Received: March 14-2022; Accepted: August 15-2022)

Abstract

Hot spots are often associated with places where an abnormal process has occurred. Accordingly, their identification can help experts and managers to scrutinize the state of health and sustainability, from an ecological point of view. The present study was therefore conducted to analyze the spatial autocorrelation and identify hot spots of 11 landscape metrics, the new Runoff Landscape Index (RLI), and its related factors in 28 watersheds of Ardabil province. The average positive values of the z score obtained from Moran's index indicate the presence of spatial correlation in the studied watersheds. In addition, the results of local Moran's showed that the landscape metrics have a structured spatial pattern and are not randomly distributed. A completely unipolar pattern was obtained for land cover factor (λ_C), soil factor (λ_K), and RLI. Furthermore, the negative values of the local Moran's index for the topographic factor (λ_S) proved the scattered pattern. Spatial distribution of hot and cold spots, using the Getis-Ord-Gi index, showed no significant pattern in the λ_C of Ahmadkandi, Akbardavod, Deru, Mashiran, Firozabad, Lai, Nir, and Hir watersheds. Cold spots were observed in the Eiril, Namin, and Nanehkaran watersheds at the 90% confidence level and the rest of watersheds had hot spots at a 95% confidence level. The RLIs of Ahmadkandi, Akbardavod, Deru, Mashiran, Firozabad, Lai, Nir, and Hir watersheds lack a significant pattern, and the rest of watersheds showed the hot spots at a 95% confidence level.

Keywords: Autocorrelation, Hydrological metric, Landscape, Moran's index, Spatial pattern.

1. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
5. Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

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