

ارزیابی شاخص‌های فضایی-کالبدی در تبیین الگوی پراکنده‌رویی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور. نمونه موردی: شهر کرمان

امیر مهیم مهیمی^۱، مریم فدایی قطبی^{۲*}، علی اسماعیلی^۳، حسین غضنفرپور^۴

^۱دکتری گروه شهرسازی، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

^۲استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

^۳استادیار رشته مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

^۴دانشیار رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۱۸

چکیده

جمعیت شهرنشین در جهان روز به روز در حال افزایش بوده و در پی آن، شهرها نیز تبدیل به مکان‌هایی با تمرکز بالای جمعیتی گشته‌اند. این امر گسترش فضایی-کالبدی شهر را دستخوش تغییراتی می‌کند که تبیین الگوی این گسترش به منظور بررسی تأثیرات آن بر زندگی شهری، امری ضروری تلقی می‌گردد. این پژوهش، قصد دارد با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور، در ۸ مقطع زمانی طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۷ و با استفاده از ۲۸ شاخص کالبدی-فضایی در ۴ دسته مساحت-لبه، شکل، تجمع و تنوع و در ۳ سطح لکه، کلاس کاربری، و سیمای سرزمین، به تبیین الگوی پراکنده‌رویی در شهر کرمان بپردازد. برای این منظور، ۸ تصویر از ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ به فاصله زمانی ۵ سال از یکدیگر انتخاب گردید، آماده‌سازی آن‌ها در نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS انجام شد و سپس مقادیر شاخص‌های کالبدی-فضایی پراکنده‌رویی شهری با استفاده از نرم‌افزار Fragstats در سال‌های مختلف محاسبه گردید. در مرحله بعد با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، وزن‌دهی به شیوه انترپوئی شانون بر روی مقادیر به دست آمده برای شاخص‌ها انجام گردید که «شاخص بزرگترین لکه (LPI)» بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. پس از آن، شاخص پراکنده‌رویی برای ۸ سال مورد مطالعه محاسبه گردید که بیشترین میزان پراکنده‌رویی در سال ۱۳۶۳ و کمترین آن در سال ۱۳۹۷ رخ داده است. در مرحله پایانی، با استفاده از آزمون فریدمن در نرم‌افزار SPSS، رتبه میانگین ۴ دسته مساحت-لبه، شکل، تجمع و تنوع محاسبه شد و با رتبه میانگین شاخص پراکنده‌رویی مقایسه گردید، نتایج این آزمون نشان می‌دهد که الگوی پراکنده‌رویی شهر کرمان عمدتاً از شاخص‌های مساحت-لبه تبعیت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پراکنده‌رویی شهری، شاخص‌های فضایی-کالبدی، سنجش از دور، کرمان

مقدمه

رشد شهری فرآیندی فضایی و جمعیتی است که از لحاظ تمرکز جمعیت در یک گستره اقتصادی و اجتماعی خاص به اهمیت روزافزون شهرهای بزرگ و کوچک اشاره می‌کند (Clark, 1982: 231). در خصوص رشد شهر باید اذعان داشت که در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا انتقال اماکن

تجاری، صنعتی و مسکونی به حومه شهرها باعث رشد سریع نواحی شهری به سمت حومه‌ها شد. این اتفاق، بسیاری از جنگل‌ها و زمین‌های زراعی اطراف شهرها را به نابودی کشاند و تأثیرات منفی زیست‌محیطی و مشکلات ترافیکی فراوانی را رقم زد. از این‌رو، به این الگوی افسارگسیخته توسعه شهرها، پراکندگی و یا پراکنده‌رویی شهری می‌گویند (Zhang, 2004:10). در نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ میلادی نگرانی‌های عمومی در خصوص تأثیر الگوهای توسعه که به پراکنده‌رویی

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

در خصوص استفاده از داده‌های سنجش از دور و بهره‌گیری از شاخص‌های کالبدی-فضایی در سنجش رشد و پراکنده‌رویی شهری، لاریجانی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین که شامل تعداد لکه، نسبت مساحت طبقه، متوسط اندازه لکه و متوسط نزدیک‌ترین فاصله همسایگی است، ترکیب و توزیع فضاهای سبز شهر جیرفت را مورد بررسی قرار دادند. درویشی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم‌افزار Fragstats متریک‌های گوناگون سیمای سرزمین شامل تعداد لکه، شاخص بزرگترین لکه و اثر حاشیه، به کمی‌سازی تغییرات الگوی‌های مکانی زیستگاه سیاه خروس قفقازی در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران، طی یک دوره ۲۴ ساله می‌پردازند. محمدپور و همکاران (۱۳۹۳) میزان تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ در شهر ارومیه را با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و استفاده از نرم‌افزار Fragstats مورد ارزیابی قرار دادند. به همین منظور، متریک‌های گوناگون سیمای سرزمین شامل تعداد لکه‌های تشکیل‌دهنده یک کلاس کاربری، شاخص بزرگترین لکه، طول کلی لبه‌های یک کلاس کاربری و میانگین اندازه لکه‌های تشکیل‌دهنده یک کلاس کاربری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از روش‌های سنجش پراکنده‌رویی در یک شهر، اندازه‌گیری شاخص‌های «شکل^۱» در لکه‌های ساخت و ساز شده در آن شهر است که یکی از این شاخص‌ها شامل سنجش میزان «شاخص بُعد فرکتال^۲» آن لکه است، در همین راستا، میرکتولی و همکاران (۱۳۹۳) به تبیین ابعاد استفاده از هندسه فرکتال و تأثیرگذاری آن بر کلیت شهر و ابعاد آن پرداختند و تأثیر فرکتال بر جریان توسعه شهرها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مدهاوی^۳ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سنجش‌های فضایی، فرآیند رشد و شهرنشینی در شهر دهلی هندوستان را مورد بررسی قرار دادند. مساحت،

می‌انجامید، افزایش یافت و پژوهش‌های مرتبط با این مسئله که الگوها، فرآیندها، دلایل، نتایج و اقدامات را مورد بررسی قرار می‌داد، صورت پذیرفت (Bengston et al., 2005). بخش مهمی از این پژوهش‌ها و فعالیت‌ها در ارتباط با سنجش میزان پراکنده‌رویی شهری و اندازه‌گیری آن است (Angle et al., 2007; Brueckner and Kim, 2003; Burchell et al., 1999; Couch and Karecha, 2006; Downs, 1999; Ewing et al., 2001; Fulton et al., 2001: 1-23; Galster et al., 2001; Glaeser et al., 2001: 1-19; Kahn, 2001; Pental, 1999). تلاش‌های بسیاری برای آشکارسازی تغییرات شهری با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام می‌گیرد (Gomasasca et al., 1993; Green et al., 1994). به این دلیل که سنجش از دور، روشی مقرون به صرفه و به لحاظ تکنولوژیکی، تکنیکی دقیق و مناسب، محسوب می‌گردد؛ از این‌رو، به صورت فزاینده‌ای در تحلیل‌های پراکنده‌رویی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sudhira et al., 2004; Yang and Liu, 2006). شهر کرمان بزرگترین شهر و مرکز استان کرمان است. از سال ۱۳۰۰ هجری شمسی به بعد، همزمان با رشد شهرنشینی در بسیاری از شهرهای ایران، در پی یک سری تحولات اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، و سیاسی، شهر کرمان نیز توسعه‌ای چشمگیر را آغاز کرد. با وقوع اصلاحات ارضی، از سال ۱۳۴۰ به بعد، همزمان با سایر شهرهای ایران، توسعه شهر رشد تصاعدی به خود گرفت و با افزایش درآمد نفت و رکود محصولات کشاورزی، اوضاع اقتصادی روستا و روستایی رو به وخامت گرایید و مهاجرت به شهر، بر ماندن در روستا رجحان یافت. این روند مهاجرت بعد از انقلاب اسلامی نیز تشدید شده و تاکنون نیز ادامه دارد (زنگی‌آبادی، ۱۳۷۰: ۳۴). به همین منظور، با توجه به رشد روزافزون جمعیت شهرنشینی در کرمان و گسترش فیزیکی کنترل‌نشده آن طی دهه‌های اخیر، این پژوهش بر آن است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و ارزیابی شاخص‌های فضایی-کالبدی مرتبط با پراکنده‌رویی به تبیین الگوی پراکنده‌رویی شهر کرمان طی ۳۵ سال اخیر بپردازد.

1. Shape
2. Fractal Dimension Index
3. Madhavi

حرکات جمعیتی و مهاجرتی. این عوامل، آلترناتیوهای مدل محسوب شده و با استفاده از ۷ معیار اصلی (توسعه خطی، حومه‌نشینی، اسکان غیررسمی، بافت روستایی، مسکن میان مزارع، شهرک‌های حاشیه‌ای، تجهیزات شهری و خرده کارگاه‌ها) مورد ارزیابی واقع می‌شوند.

اکبری و کاویان (۱۳۹۶) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FuzzyAHP) و با بهره‌گیری از ۸ معیار شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از آب‌های سطحی، پوشش زمین و جنس خاک به ارزیابی تناسب اراضی بخش مرکزی شهرستان سبزوار برای توسعه‌های آبی شهر می‌پردازند. با انجام مراحل تحلیل نقشه معیارها تشکیل شده و شاخص تناسب مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در پایان نقشه نهایی با ۵ طبقه شاخص تناسب استخراج می‌گردد که این ۵ طبقه عبارتند از: تناسب خیلی زیاد، تناسب زیاد، تناسب متوسط، تناسب کم و تناسب خیلی کم. محمدی و محمدی (۱۳۹۶) با هدف ارزیابی سیاست‌های جاری توسعه شهر زنجان، به بررسی میزان تطابق این سیاست‌ها با واقعیت توسعه‌ای که اتفاق افتاده است می‌پردازند. شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش شامل شاخص‌های بهره‌وری، شاخص‌های اجتماعی، شاخص‌های کیفیت و قدمت ابنیه، شاخص سازگاری کاربری‌ها، شاخص‌های عملکردی، شاخص‌های فضایی-کالبدی و شاخص روند تخریب باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد، همچنین با استفاده از مدل انتروپی شانون و مدل هلدن، میزان پراکنده‌رویی در شهر زنجان مورد اندازه‌گیری واقع شد. عطا و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجش از دور تغییرات کاربری اراضی شهر گنبد کاووس را مورد ارزیابی قرار دادند. کاربری‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۵ کلاس کاربری است که عبارتند از: اراضی شهری، اراضی آبی، اراضی دیم، اراضی بایر، و پارک. آن‌ها سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف^۱ به پیش‌بینی توسعه آبی شهر

جمعیت، لکه، لبه و شکل سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش هستند که همراه شاخص‌های انتروپی شانون و کای اسکور پیرسُن، محاسبه شده‌اند. در ادامه ۳ نوع الگوی پراکندگی در شهر شامل پراکنده‌رویی بالا، متوسط و پایین ارائه می‌گردد؛ همچنین تست همبستگی پارامتریک و غیرپارامتریک رابطه میان متغیرهای ذیل را تأیید می‌کند: (۱) تراکم محیط ساخته شده با تراکم جمعیت؛ (۲) میانگین وزن دار بُعد فرکتال لکه‌ها با میانگین وزن دار شاخص شکل لکه‌ها؛ (۳) شاخص فشردگی با تراکم لبه؛ (۴) شاخص فشردگی نرمالیزه شده با تعداد لکه‌ها؛ (۵) میانگین وزن دار بُعد فرکتال لکه‌ها با تراکم محیط ساخته شده. سیسودیا و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های سنجش از دور، پراکنده‌رویی شهر جیپور در هندوستان را، طی یک دوره ۴۱ ساله، مورد ارزیابی قرار دادند. به همین منظور شاخص انتروپی شانون برای تعیین میزان درجه پراکنده‌رویی و ۸ سنجه تعداد لکه‌ها، تراکم لکه‌ها، شاخص شکل سیمای سرزمین، شاخص سرایت، میزان مجاورت‌های همانند، شاخص همبستگی لکه‌ها، میانگین وزن دار شاخص شکل و شاخص نرمالیزه‌شده شکل سرزمین، برای تعیین الگوی پراکنده‌رویی مورد استفاده قرار گرفت.

اجزاشکوهی و شاددل (۱۳۹۷) به مدل‌سازی روند توسعه شهر بجنورد با استفاده از رگرسیون لجستیک طی یک دوره ۲۸ ساله پرداخته‌اند. این پژوهش شامل ۹ متغیر مستقل است که عبارتند از: شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از جاده، فاصله از سطوح آبی، فاصله از کاربری صنعتی، فاصله از سطوح ساخته شده و فاصله از اراضی بایر. مدل‌سازی رشد شهری برای سال ۱۳۹۴ و پیش‌بینی توسعه برای سال ۱۴۰۴، صورت می‌پذیرد. ایران‌دوست و همکاران (۱۳۹۷) عوامل مؤثر بر پراکنده‌رویی در شهر رشت را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و این عوامل را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) رتبه‌بندی کردند که به ترتیب عبارتند از: (۱) اقتصاد منطقه (۲) آب و هوا و شرایط اقلیمی (۳) ضعف پایش و مدیریت مکان و (۴) روند شهرنشینی امروزی، ناشی از

1. CA-Markov

نظامی، تخریب زمین‌های زراعی و باغ‌ها، و گسترش حاشیه‌نشینی، که بیشترین وزن اهمیت، متعلق به شاخص شیب است، در حالی که شاخص اراضی نظامی کمترین میزان اهمیت وزنی را به خود اختصاص داده است. اکبری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تئوری آموزش آماري در سنجش از دور به شناسایی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی در شهر نیشابور پرداختند. در این پژوهش، طبقه‌بندی به ۳ روش حداکثر احتمال (ML)^۳، حداقل فاصله (MD)^۴ و بردار پشتیبان (SVM)^۵ انجام گردید که روش حداکثر احتمال، بیشترین دقت را از آن خود کرد. پس از انجام مراحل طبقه‌بندی، تغییرات کلاس‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) روند توسعه کالبدی-فضایی شهر ساحلی بندر ترکمن را با استفاده از مدل انترپوزی ارزیابی کرده و رابطه ظرفیت‌های محیطی ساحل را با میزان توسعه کالبدی-فضایی شهر مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که رابطه ۹۹ درصدی و معناداری میان آن‌ها مشاهده گردید.

روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق عبارتند از: (۱) دریافت تصاویر ماهواره‌ای؛ (۲) پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر در نرم‌افزار ENVI؛ (۳) طبقه‌بندی تصاویر؛ (۴) استخراج نتایج از نرم‌افزار ENVI و ورود داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS؛ (۵) استخراج نتایج از نرم‌افزار ArcGIS و ورود داده‌ها به نرم‌افزار Fragstats؛ (۶) محاسبات در سه سطح لکه، کلاس کاربری و سیمای سرزمین در نرم‌افزار Fragstats؛ (۷) استخراج داده‌ها از نرم‌افزار Fragstats به‌عنوان جدول شاخص‌ها؛ (۸) محاسبه و مقایسه پراکنده‌رویی شهری طی سال‌های مورد مطالعه پژوهش (شکل ۱). این مقاله از داده‌های ماهواره‌های لندست ۵ (۱۳۸۷/۰۴/۳۰)، لندست ۷ (۱۳۷۷/۰۵/۱۹)، لندست ۸ (۱۳۶۷/۰۶/۰۸)، لندست ۹ (۱۳۶۳/۰۲/۲۵)، لندست ۱۰ (۱۳۷۲/۰۶/۰۶)، لندست ۱۱ (۱۳۸۲/۰۲/۰۶) و لندست ۸ (۱۳۹۷/۰۵/۱۰) گردید.

پرداختند. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش ویکور^۱ مکان‌یابی جهات گسترش فیزیکی شهر شیراز را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مکان‌یابی جهت مطلوب توسعه شهر با استفاده از دو معیار طبیعی و انسانی انجام می‌پذیرد که معیار طبیعی شامل زیرمعیارهای: شیب، توپوگرافی، جنس خاک، حریم گسل، سطوح آبی، لیتولوژی، حریم رودخانه‌ها و عمق آب است و معیار انسانی دربردارنده حریم راه، خطوط گاز، خطوط برق، فرودگاهها، کاربری زمین و مراکز صنعتی است. رسولی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل اسلو^۲ به مدل‌سازی رشد شهرهای علی‌آباد، رامیان و آزادشهر می‌پردازند. در این مدل به کمک لایه‌های شیب، کاربری اراضی، مناطق مستثنی از توسعه، مناطق شهری در چهار دوره زمانی و فاصله از جاده، ضرایب مؤثر مدل رشد شهری که شامل ضریب انتشار، ضریب زایش، ضریب پخش، ضریب مقاومت به شیب و ضریب گرایش به جاد، محاسبه گردید. نتایج حاکی از آن است که ضریب گرایش به جاده بیشترین تأثیر را در رشد شهری داشته است؛ همچنین، با استفاده از این ضرایب، پیش‌بینی رشد این سه شهر برای سال ۲۰۴۰ انجام پذیرفت. داداش‌پور و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از منطق تحلیل سلسله مراتبی معکوس به شناسایی آسیب‌پذیری محیطی و قابلیت‌سنجی اراضی پرداختند که با هدف سنجش توان زیست‌محیطی جهت رشد و توسعه کالبدی و محدوده پیرامونی شهر سبزوار انجام گرفته است؛ همچنین، موانع و فرصت‌های توسعه کالبدی پایدار در منطقه شهری سبزوار شناسایی گردید.

حاتمی‌نژاد و عشقی‌چهاربرج (۱۳۹۵) در جهت برنامه‌ریزی رشد شهر و کاهش اثرات نامطلوب اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و با استفاده از روش AHP به مکان‌یابی جهت‌های بهینه توسعه شهر مراغه پرداخته‌اند. شاخص‌های این پژوهش عبارتند از: شیب، رودخانه، راه‌آهن، دفع آب‌های سطحی، اراضی

3. Maximum Likelihood
4. Minimum Distance
5. Support Vector Machine

1. VIKOR
2. SLEUTH

از پساتبقه‌بندی^۶ با روش «ماتریس درهم‌ریختگی از طریق داده‌های منتخب زمین مرجع^۷» استفاده شد. دقت کلی طبقه‌بندی، بر حسب درصد، برای تصاویر سال‌های ۱۳۹۷ - ۱۳۹۲ - ۱۳۸۷ - ۱۳۸۲ - ۱۳۷۷ - ۱۳۷۲ - ۱۳۶۷ - ۱۳۶۳، به ترتیب برابر است با ۹۶٫۶۸ - ۸۸٫۰۶ - ۸۶٫۴۵ - ۹۲٫۷۴ - ۹۴٫۶۵ - ۹۷٫۴۰ - ۹۵٫۳۵ - ۹۵٫۵۹؛ همچنین ضریب کاپا^۸ برای تصاویر به ترتیب عبارتند از ۰٫۹۶ - ۰٫۸۴ - ۰٫۸۱ - ۰٫۹۰ - ۰٫۸۳ - ۰٫۹۰ - ۰٫۸۱ - ۰٫۷۷.

پس از مشخص شدن میزان دقت طبقه‌بندی و قابل قبول بودن آن‌ها (ضریب کاپا بزرگتر از ۰٫۷ قابل قبول است)، مرحله استخراج داده‌های مورد نیاز فرا می‌رسد. به همین منظور هر ۸ تصویر با ۴ کلاس کاربری و با فرمت ArcView Raster از نرم‌افزار ENVI استخراج و وارد ArcGIS نسخه 10.5 گردید.^۹ سپس از طریق ایجاد مرز بر روی تصاویر، داده‌ها برای ورود به نرم‌افزار Fragstats نسخه 4.1 آماده‌سازی شدند و با فرمت GeoTIFF خروجی ذخیره گردید. پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار، ۴ ماتریس با نام‌های «توصیفگرهای کلاس کاربری^{۱۰}»، «عمق لبه^{۱۱}»، «تقابل لبه^{۱۲}»، و «مشابهت^{۱۳}» تعریف گردید.

ماتریس توصیفگرهای کلاس کاربری شامل اطلاعات هر یک از کلاس‌های کاربری است که برای تفسیر خروجی نهایی نرم‌افزار، مورد نیاز است، همچنین در این ماتریس می‌توان کلاس‌های مورد نظر پژوهش را برای محاسبه در فایل خروجی جدا نمود. ماتریس عمق لبه برای تعیین محدوده و اجزای هسته لکه‌ها به کار می‌رود، در واقع این که هر کلاس کاربری

شامل ۸ تصویر، بهره می‌برد که فایل آبرداده‌های ژئوتیف^{۱۴} هر یک از تصاویر برای محدوده شهر کرمان از سایت «earthexplorer.usgs.gov»، در قسمت «Dataset 1» دریافت گردیده است.

بر روی هر یک از تصاویر دریافت شده با استفاده از نرم‌افزار ENVI نسخه 5.3، پیش‌پردازش انجام گردید که عبارتند از نخست، تصحیح رادیومتریکی، به منظور از بین بردن اثر سنجنده بر روی تصاویر، و دستیابی به رادیانس^{۱۵} تصویر و دوم، تصحیح اتمسفری به منظور از بین بردن اثر اتمسفر بر روی تصاویر و دستیابی به رفلکتانس^{۱۶} تصویر، لازم به ذکر است که تصاویر ماهواره لندست که از سایت مذکور دریافت می‌گردند نیاز به تصحیح هندسی ندارند و پیشاپیش این تصحیحات بر روی آن‌ها اعمال گشته است، سپس با استفاده از روش PCA^{۱۷} در قسمت تبدیلات نرم‌افزار، اقدام به آشکارسازی تصاویر گردید و برای هر تصویر ۴ مقدار ویژه غیرمهمبسته ایجاد شد. همچنین با استفاده از روش NDBI^{۱۸} آشکارسازی مناطق شهری با دقت و وضوح بیشتری صورت پذیرفت. پس از آن به منظور استخراج داده‌های مورد نیاز، طبقه‌بندی تصاویر به دو صورت نظارت نشده و نظارت شده انجام شد. در طبقه‌بندی نظارت نشده از روش K-Means استفاده گردید و ۴ کلاس کاربری شامل پوشش گیاهی، جاده‌ها، خاک و نواحی ساخته‌شده شهری استخراج شد. روش طبقه‌بندی نظارت نشده دقت لازم را برای محاسبات فراتر ندارد و تنها یک راهنمایی برای مرحله بعد یعنی طبقه‌بندی نظارت شده است. در طبقه‌بندی نظارت شده، به تعریف کلاس‌های مورد نظر (۴ کلاس کاربری شامل پوشش گیاهی، جاده‌ها، خاک، و نواحی ساخته‌شده شهری) پرداخته و سپس با استفاده از روش SVM^{۱۹} برای همه تصاویر طبقه‌بندی انجام گرفت. برای بررسی دقت طبقه‌بندی و این که آیا می‌توان به داده‌های به دست آمده اعتماد کرد یا خیر،

6. Post Classification

7. Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs

8. Kappa Coefficient

۹. اگر چه می‌توان مستقیم از نرم‌افزار ENVI داده‌ها را با فرمت GeoTIFF وارد نرم‌افزار Fragstats نمود، اما در صورت وجود مقادیر Background در این فرمت، نرم‌افزار Fragstats توانایی شناسایی آن‌ها را نداشته و در محاسبات خود دخیل می‌کند که باعث ایجاد خطا می‌گردد. از این‌رو، ابتدا در نرم‌افزار ArcGIS باید مقادیر Background را با استفاده از ایجاد Border با مقادیر منفی از محدوده مورد محاسبه جدا نمود.

10. Class Descriptors

11. Edge Depth

12. Edge Contrast

13. Similarity

1. Radiance

2. Reflectance

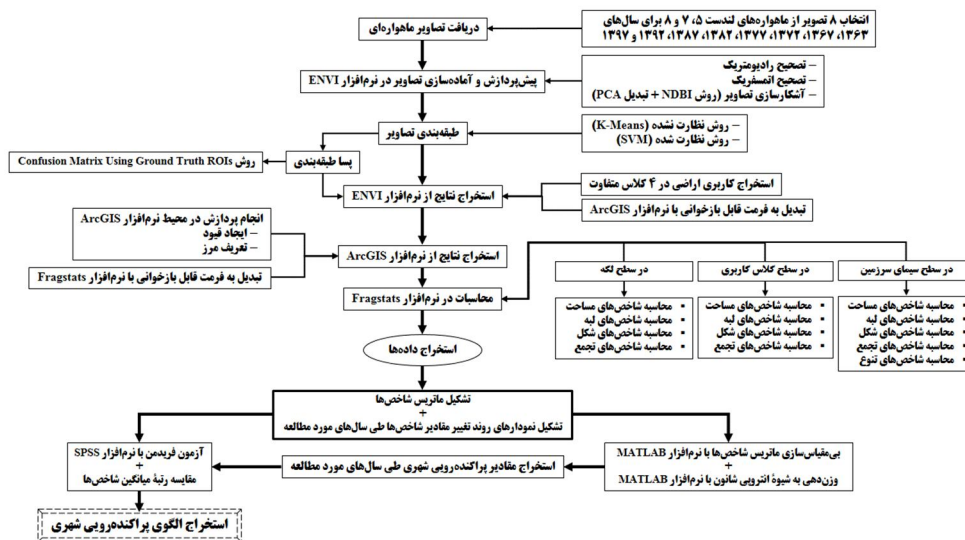
3. Principal Component Analysis

4. Normalized Difference Built-up Index

5. Support Vector Machine

برای هر لکه تعریف می‌کند؛ همچنین، قانون همسایگی که روش محاسبه برای پیکسل‌های مجاور را تعیین می‌کند به صورت روش قانون ۸ سلولی در نظر گرفته شد. از این‌رو، مراحل و تنظیمات پیش از محاسبات اعمال گردید و شاخص‌های مورد نظر پژوهش قابل محاسبه هستند که این شاخص‌ها در جدول ۱ و ۲ تدوین شده‌اند.

تا چه میزانی در کاربری دیگر قابلیت نفوذ دارد را می‌توان در این ماتریس تعریف نمود. ماتریس تقابل لبه برای تعیین میزان بزرگی تقابل انواع لبه‌هاست که از ترکیب لکه‌های گوناگون پدید می‌آید که در واقع میزان تقابل انواع لکه‌های موجود را با توجه به نوع ترکیب کلاس‌های کاربری نشان می‌دهد. ماتریس مشابهت میزان مشابهت میان کلاس‌های کاربری را



شکل ۱: فلوجارت تحقیق (ترسیم: نگارندگان)

جدول ۱- شاخص‌های کالبدی-فضایی پژوهش

شاخص‌های سطح کلاس کاربری محیط ساخته شده	دسته
۱- مساحت کل () (Megahed et al., 2015; Madhavi et al., 2016; Sisiodia et al., 2015; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002;) ۲- شاخص بزرگترین لکه (Megahed et al., 2015; Ji et al., 2006; Zhang et al., 2008) ۳- درصد تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین (Aguilera et al., 2011) ۴- اندازه کل لبه (مدهاوی و همکاران، ۲۰۱۶) ۵- تراکم لبه (Madhavi et al., 2016; Megahed et al., 2015; Zhang et al., 2008) ۶- میانگین مساحت لکه‌ها () (Torrens and Alberti, 2000; Aguilera et al., 2011; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Hamidi, 2015: 60) ۷- انحراف معیار مساحت لکه‌ها (Hamidi, 2015: 60) ۸- میانگین شعاع چرخش (Aguilera et al., 2011; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002)	مساحت- لبه
۹- بُعد فرکتال محیط-مساحت (Zhang et al., 2008; Torrens, 2006; Torrens, 2008) ۱۰- میانگین نسبت محیط به مساحت (Botequilha-Leitao and Ahern, 2002) ۱۱- میانگین شاخص شکل (Aguilera et al., 2011) ۱۲- میانگین وزن‌دار شاخص شکل (Madhavi et al., 2016; Sisodia et al., 2015; Feng and Li, 2012) ۱۳- میانگین وزن‌دار شاخص بُعد فرکتال () (Madhavi et al., 2016; Torrens and Alberti, 2000; Megahed et al., 2015; Feng and Li, 2012) ۱۴- میانگین وزن‌دار شاخص پیوستگی (Feng and Li, 2012)	شکل
۱۵- میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه () (Aguilera et al., 2011; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Megahed et al., 2015)	تجمع

<p>۱۶- میانگین شاخص مجاورت (Torrens and Alberti, 2000; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Hamidi, 2015: 60)</p> <p>۱۷- تعداد لکه‌ها (Madhavi et al., 2016; Sisodia et al., 2015; Aguilera et al., 2011; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Megahed et al., 2015; Zhang et al., 2008; Torrens, 2006; Torrens, 2008)</p> <p>۱۸- تراکم لکه‌ها (Madhavi et al., 2016; Sisodia et al., 2015; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Ji et al., 2006; Zhang et al., 2008)</p> <p>۱۹- شاخص پخش‌شدگی به صورت مجاورت متقابل (Torrens and Alberti, 2000; Torrens 2006; Torrens, 2008)</p> <p>۲۰- درصد مجاورت‌های همانند (Sisodia et al., 2015)</p> <p>۲۱- شاخص تجمع (Ji et al., 2006)</p> <p>۲۲- شاخص شکل سرزمین (Sisodia et al., 2015; Zhang et al., 2008)</p> <p>۲۳- شاخص نرمالیزه‌شده شکل سرزمین (Sisodia et al., 2015)</p> <p>۲۴- شاخص همبستگی لکه‌ها (Sisodia et al., 2015)</p>	دسته
<p>۲۵- سرایت (Sisodia et al., 2015; Torrens and Alberti, 2000; Botequilha-Leitao and Ahern, 2002; Megahed et al., 2015; Feng and Li, 2012; Zhang et al., 2008; Torrens, 2006; Torrens, 2008)</p>	تجمع
<p>۲۶- شاخص تنوع شانون (Madhavi et al., 2016; Sisodia et al., 2015; Megahed et al., 2015; Zhang et al., 2008; Torrens, 2008)</p> <p>۲۷- شاخص همسانی شانون (Madhavi et al., 2016)</p> <p>۲۸- شاخص همسانی سیمپسون (Torrens, 2008)</p>	تنوع

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲- شیوه محاسبه شاخص‌های پژوهش

شاخص	شیوه محاسبه
مساحت کل (هکتار)	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$; $0 < CA$ a_{ij} برابر است با مساحت لکه j ؛
شاخص بزرگترین لکه (درصد)	$LPI = \frac{\max_{j=1}(a_{ij})}{A} (100)$; $0 < LPI \leq 100$ a_{ij} برابر است با مساحت لکه j ؛ A برابر است با مساحت کل سیمای سرزمین؛
درصد تشکیل دهنده سیمای سرزمین (درصد)	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$; $0 < PLAND \leq 100$ a_{ij} برابر است با مساحت لکه j ؛ A برابر است با مساحت کل سیمای سرزمین؛
اندازه کل لبه (متر)	$CE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$; $0 \leq TE$ e_{ik} برابر است با کل طول لبه لکه ik ؛
تراکم لبه (متر در هکتار)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10000)$; $0 \leq ED$ e_{ik} برابر است با کل طول لبه لکه ik ؛ A برابر است با مساحت کل سیمای سرزمین؛
میانگین مساحت لکه‌ها (هکتار)	$AREA_{MN} = \left(a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right) \right) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i} \right)$; $0 < AREA_{MN}$ a_{ij} برابر است با مساحت لکه j ؛ n_i برابر است با تعداد لکه‌ها در کلاس i ؛
انحراف معیار مساحت لکه‌ها (هکتار)	$AREA_{SD} = \left(a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right) \right) \times \left(\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[x_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i} \right]^2}{n_i}} \right)$; $0 < AREA_{SD}$ a_{ij} برابر است با مساحت لکه j ؛ n_i برابر است با تعداد لکه‌ها در کلاس i ؛
میانگین شعاع چرخش (متر)	$GYRATE_{MN} = \sum_{r=1}^z \left(\frac{h_{ijr}}{z} \right)$; $0 \leq GYRATE_{MN}$ h_{ijr} برابر است با فاصله سلول ijr در لکه ij از مرکز لکه ij بر اساس فاصله مرکز سلول-مرکز سلول؛ Z برابر است با تعداد سلول‌ها در لکه ij ؛

شاخص	شیوه محاسبه
بُعد فرکتال محیط-مساحت (بدون واحد)	$PAFRAC = \frac{2}{\frac{[n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} \times \ln a_{ij})] - [(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij}) \times (\sum_{j=1}^n \ln a_{ij})]}{(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2) - (\sum_{j=1}^n \ln p_{ij})^2}}}$ $1 \leq PAFRAC \leq 2$ <p> a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij؛ p_{ij} برابر است با محیط لکه ij؛ n_i برابر است با تعداد لکه‌ها در کلاس کاربری i؛ </p>
میانگین نسبت محیط به مساحت (بدون واحد)	$PARA_MN = \left(\frac{p_{ij}}{a_{ij}}\right) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}\right)$ $0 < PARA_MN$ <p> a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij؛ p_{ij} برابر است با محیط لکه ij؛ </p>
میانگین شاخص شکل (بدون واحد)	$SHAPE_MN = \left(\frac{0.25 \times p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}\right) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}\right)$ $1 \leq SHAPE_AM$ <p> a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij؛ p_{ij} برابر است با محیط لکه ij؛ </p>
میانگین وزن‌دار شاخص شکل (بدون واحد)	$SHAPE_AM = \left(\frac{0.25 \times p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}\right) \times \left(\sum_{j=1}^n [x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}\right)]\right)$ $1 \leq SHAPE_AM$ <p> a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij؛ p_{ij} برابر است با محیط لکه ij؛ </p>
میانگین وزن‌دار شاخص بُعد فرکتال (بدون واحد)	$FRAC_AM = \left(\frac{2 \times \ln(0.25 \times p_{ij})}{\ln(a_{ij})}\right) \times \left(\sum_{j=1}^n [x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}\right)]\right)$ $1 \leq FRAC_AM \leq 2$ <p> a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij؛ p_{ij} برابر است با محیط لکه ij؛ </p>
میانگین وزن‌دار شاخص پیوستگی (بدون واحد)	$CONTIG_AM = \left(\frac{\left[\frac{\sum_{r=1}^z c_{ijr}}{a_{ij}}\right] - 1}{v - 1}\right) \times \left(\sum_{j=1}^n [x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}\right)]\right)$ $0 \leq CONTIG_AM \leq 1$ <p> c_{ijr} برابر است با مقدار پیوستگی سلول r در لکه ij؛ v برابر است با مجموع مقادیر در یک قالب سلولی 3×3؛ a_{ij} برابر است با مساحت لکه ij به صورت سلول‌شمار؛ </p>
میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (متر)	$ENN_MN = (h_{ij}) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}\right)$ $0 < ENN_MN$ <p> h_{ij} برابر است با فاصله لکه ij از نزدیک‌ترین لکه همسایه در همان کلاس کاربری بر اساس فاصله لکه-به-لکه و محاسبه مرکز سلول-به-مرکز سلول؛ </p>
میانگین شاخص مجاورت (بدون واحد)	$PROX_MN = \left(\sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}\right) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}\right)$ $0 \leq PROX_MN$ <p> a_{ijs} برابر است با مساحت لکه ijs که با لکه ij فاصله مشخصی دارد؛ h_{ijs} برابر است با فاصله لکه ij از نزدیک‌ترین لکه همسایه در همان کلاس کاربری بر اساس فاصله لکه-به-لکه و محاسبه مرکز سلول-به-مرکز سلول؛ </p>
تعداد لکه‌ها (بدون واحد)	$NP = n_i$ $1 \leq NP$ <p> n_i برابر است با تعداد لکه‌های موجود در کلاس کاربری i؛ </p>
تراکم لکه‌ها (تعداد در ۱۰۰ هکتار)	$PD = \frac{n_i}{A} (10000)(100)$ $0 < PD$ <p> n_i برابر است با تعداد لکه‌های موجود در کلاس کاربری i؛ A برابر است با مساحت کل سیمای سرزمین؛ </p>
شاخص پخش‌شدگی به صورت مجاورت متقابل (درصد)	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}}\right) \times \ln\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}}\right) \right]}{\ln(m-1)} (100)$ $0 < IJI \leq 100$ <p> e_{ik} برابر است با طول کل لبه بین کلاس‌های i و k؛ m برابر است با تعداد کلاس‌های موجود در سیمای سرزمین؛ </p>
درصد مجاورت‌های همانند (درصد)	$PLADJ = \left(\frac{g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}}\right) (100)$ $0 < PLADJ \leq 100$ <p> g_{ii} برابر است با تعداد مجاورت‌های همانند بین سلول‌های کلاس i بر اساس روش شمارش دوگانه؛ g_{ik} برابر است با تعداد مجاورت‌ها بین سلول‌های کلاس i و k بر اساس روش شمارش دوگانه؛ </p>
شاخص تجمع (درصد)	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max(g_{ij})}\right] (100)$ $0 < AI \leq 100$

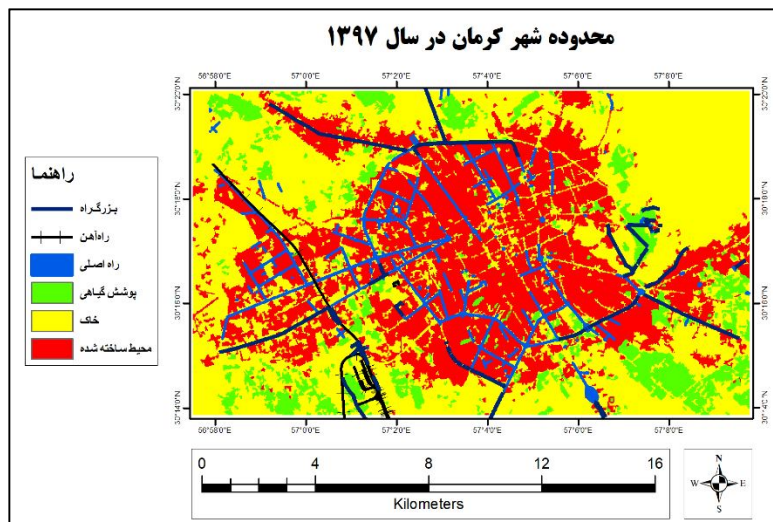
شاخص	شیوه محاسبه
	g_{ii} برابر است با تعداد مجاورت‌های همانند بین سلول‌های کلاس i بر اساس روش شمارش دوگانه؛ $\max(g_{ii})$ برابر است با بیشترین تعداد مجاورت‌های همانند بین سلول‌های کلاس i بر اساس روش شمارش یگانه؛
شاخص شکل سرزمین (بدون واحد)	$LSI = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}^*}{\sqrt{A}}$; $1 \leq LSI$ e_{ik}^* برابر است با طول کل لبهٔ بین کلاس‌های i و k ؛ A برابر است با مساحت کل سیمای سرزمین؛
شاخص نرمالیزه‌شدهٔ شکل سرزمین (بدون واحد)	$nLSI = \frac{e_i - \min(e_i)}{\max(e_i) - \min(e_i)}$; $0 \leq nLSI \leq 1$ e_i برابر است با طول کل لبهٔ کلاس i از نظر تعداد سطوح سلولی؛ $\min(e_i)$ برابر است با کمترین طول کل لبهٔ کلاس i از نظر تعداد سطوح سلولی؛ $\max(e_i)$ برابر است با بیشترین طول کل لبهٔ کلاس i از نظر تعداد سطوح سلولی؛
شاخص همبستگی لکه‌ها (درصد)	$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n p_{ij}^* \times \sqrt{a_{ij}^*}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right]^{-1} (100)$; $0 < COHESION < 100$ p_{ij}^* برابر است با محیط لکهٔ i به لحاظ تعداد سطوح سلولی؛ a_{ij}^* برابر است با مساحت لکهٔ i به لحاظ تعداد سطوح سلولی؛ Z برابر است با تعداد کل سلول‌ها در سیمای سرزمین؛
سرایت (درصد)	$CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \left[\ln(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$; $0 < CONTAG \leq 100$ p_i برابر است با میزان پوشش سیمای سرزمین توسط کلاس i ؛ g_{ik} برابر است با تعداد مجاورت‌ها بین سلول‌های کلاس i و k بر اساس روش شمارش دوگانه؛ m برابر است با تعداد کلاس‌ها؛
شاخص تنوع شانون (بدون واحد)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$; $0 \leq SHDI$ P_i برابر است با میزان پوشش سیمای سرزمین با کلاس i ؛
شاخص همسانی شانون (بدون واحد)	$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)}{\ln(m)}$; $0 \leq SHEI \leq 1$ P_i برابر است با میزان پوشش سیمای سرزمین با کلاس i ؛ m برابر است با تعداد کلاس‌ها؛
شاخص همسانی سیمپسون (بدون واحد)	$SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^m P_i^2}{1 - (\frac{1}{m})}$; $0 \leq SIEI \leq 1$ P_i برابر است با میزان پوشش سیمای سرزمین با کلاس i ؛ m برابر است با تعداد کلاس‌ها؛

مأخذ: نگارندگان

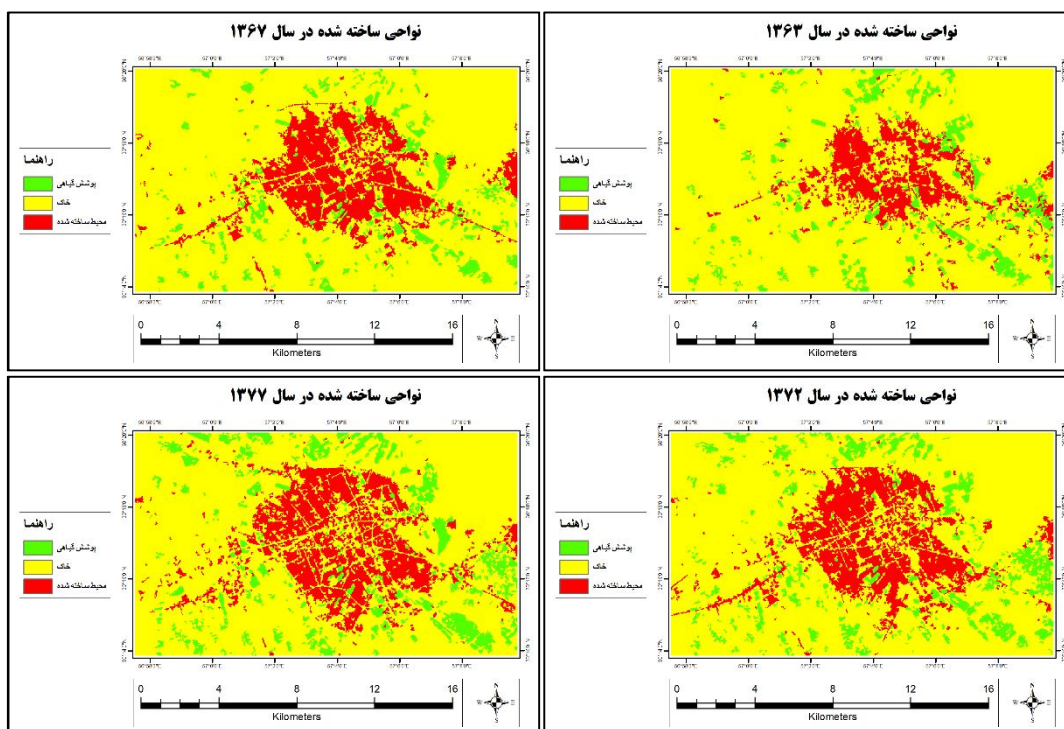
محدوده و قلمرو پژوهش

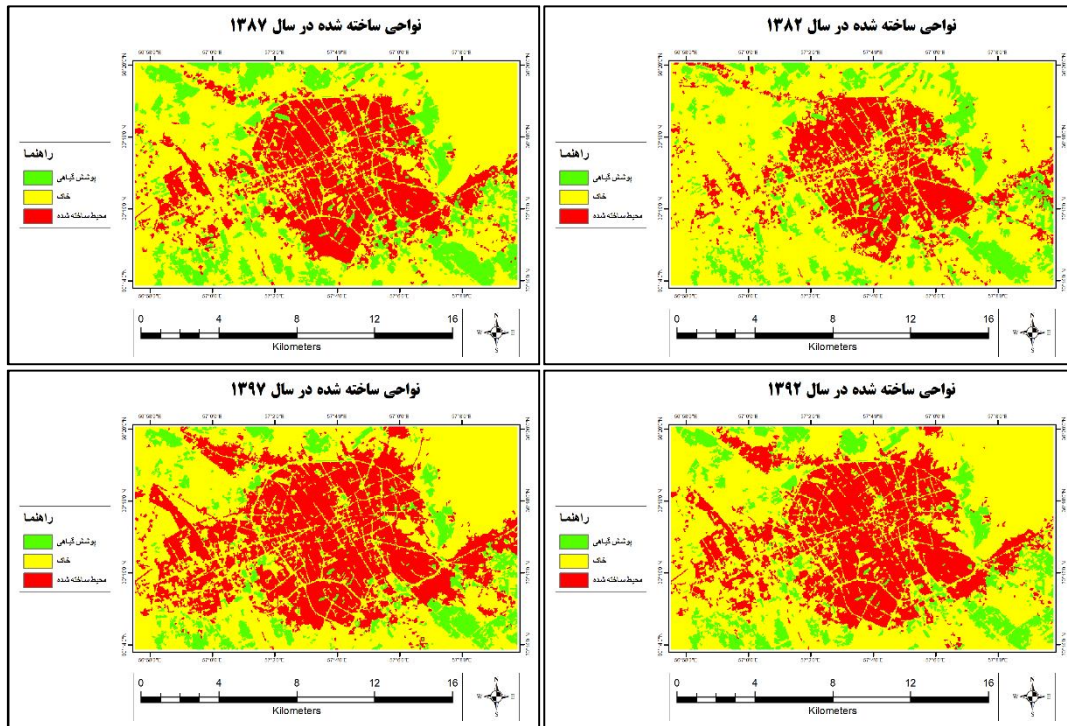
قلمرو پژوهش به لحاظ مکانی، محدودهٔ شهر کرمان می‌باشد که از آخرین شیپ‌فایل در دسترس در سال ۱۳۸۵ مستخرج شده و در سیستم مختصات WGS_1984_UTM در زون ۴۰ شمالی واقع گردیده

است (شکل ۲). همچنین، قلمرو پژوهش به لحاظ زمانی، ۸ مقطع را در نظر می‌گیرد، شامل سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۷، ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ (شکل ۳).



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)





شکل ۳: نواحی ساخته شده شهری طی سال‌های مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)

و سپس روندی صعودی را در پیش گرفته است. هر چه میزان این دو شاخص افزایش یابد، پراکنده‌رویی نیز افزایش می‌یابد.

در شکل ۴، میانگین مساحت‌های لکه‌های ساخته شده (نمودار AREA_MN) نمایش داده شده است هر چه این میزان بیشتر باشد، پراکنده‌رویی کمتری اتفاق افتاده است؛ همان‌گونه که مشخص است در طی ۳۵ سال این میزان، روندی افزایشی داشته است. در این شکل، انحراف معیار مساحت‌های لکه‌های ساخته شده (نمودار AREA_SD) نیز نمایش داده شده است، هر چه این میزان بیشتر باشد، پراکنده‌رویی نیز بیشتر است، چراکه پراکنده‌رویی بالا در مساحت لکه‌ها، پراکنده‌رویی بالا در شهر را در پی دارد. این پراکنده‌رویی (زیاد بزرگ بودن و زیاد کوچک بودن مساحت لکه‌ها) در سال ۱۳۶۳ کمینه و در سال ۱۳۹۷ بیشینه است.

در شکل ۴ شاخص شکل لکه‌های ساخته شده نیز نشان داده شده است که حاکی از پیچیدگی و درهمی شکل لکه است، هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد پراکنده‌رویی بیشتری روی داده است. نمودار SHAPE_MN، میانگین این مقادیر است و نمودار

یافته‌ها

محاسبه مقادیر ۲۸ شاخص فضایی-کالبدی پراکنده‌رویی شهری در ۸ مقطع زمانی در نرم‌افزار Fragstats در دو سطح کلاس کاربری و سیمای سرزمین انجام پذیرفت که در این مقاله بر حسب ضرورت پژوهش، فقط، کلاس کاربری «محیط ساخته‌شده» مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شکل ۴).

همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، کل مساحت ساخته‌شده (نمودار CA) و همچنین درصد مساحت ساخته‌شده نسبت به کل سیمای سرزمین (نمودار PLAND)، در طول ۳۵ سال رشد به نسبت ثابتی دارد. در این شکل تعداد لکه‌های ساخته‌شده (نمودار NP) و تراکم لکه‌های ساخته شده (نمودار PD) نمایان است، هر چه میزان این دو شاخص بیشتر باشد، پراکنده‌رویی بیشتری روی داده است. بیشینه این دو شاخص در سال ۱۳۶۳ اتفاق افتاده است که نشان از پراکنده‌رویی بالا در این سال دارد. این شکل همچنین طول کل لبه (محیط) ساخته‌شده (نمودار TE) و تراکم لبه ساخته‌شده (نمودار ED) را نمایش می‌دهد که طی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۷۲ روندی نزولی

GYRATE_MN، میانگین شعاع چرخش لکه‌ها را نمایش می‌دهد که مقدار این شعاع چرخش برای هر لکه از میانگین فاصله‌های هر سلول لکه از مرکز آن لکه به دست می‌آید. شعاع چرخش برای سنجش فشرده‌گی و اندازه هر لکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش میانگین آن لکه‌های ساخته شده، میزان پراکنده‌رویی نیز افزایش می‌یابد که در طی ۳۵ سال مورد مطالعه نیز تقریباً روندی افزایشی داشته است. نمودار CONTIG_AM، میانگین وزن دار شاخص پیوستگی را نشان می‌دهد که در واقع بر اساس شکل لکه‌ها، پیکربندی مرز آن‌ها را مشخص می‌کند (LaGro, 1991) و هر چه میزان آن کمتر باشد، پراکنده‌رویی بیشتری رخ داده است. طی ۳۵ سال روند آن با شیب ملایمی، تقریباً صعودی بوده است.

شکل ۴، نمودار ENN_MN میانگین فاصله اقلیدسی هر لکه را با نزدیک‌ترین لکه همسایه‌اش محاسبه می‌نماید، هر چه این میزان بیشتر باشد، انزوای لکه بیشتر است و در نتیجه پراکنده‌رویی افزایش می‌یابد. بیشینه این شاخص در سال ۱۳۷۲ و کمینه آن در سال ۱۹۹۷ رخ داده است. نمودار PROX_MN، میانگین شاخص مجاورت لکه‌ها را نمایش می‌دهد که با توجه به مجاورت و اندازه هر لکه، فاصله آن لکه از لکه‌های همسایه را محاسبه می‌نماید (Gustafson and Parker, 1992). هر چه این میزان بیشتر باشد، میزان پراکنده‌رویی کمتر است. کمترین این میزان در سال ۱۳۶۳ و بیشترین آن در سال ۱۳۹۷ رخ داده است. نمودار LJI، شاخص پخش‌شدگی لکه‌ها به صورت مجاورت متقابل را نشان می‌دهد که در آن مجاورت لکه‌ها مد نظر است و نه مجاورت سلولی (بر خلاف شاخص سرایت). این شاخص، میزان اختلاط و پخش‌شدگی کلاس‌های کاربری را بر اساس لبه لکه‌ها محاسبه می‌نماید. افزایش میزان این شاخص، کاهش پراکنده‌رویی را در بر دارد. بیشینه این میزان نیز در سال ۱۳۸۷ رخ داده است. نمودار PLADJ درصد مجاورت‌های همانند را نمایش می‌دهد. این شاخص میزان تجمع کلاس کاربری خاص یا میزان تکه تکه شدن آن را (بر اساس سلول

SHAPE_AM، میانگین وزن دار بر اساس مساحت هر لکه (هر چه لکه‌ای مساحتش بیشتر باشد وزن بیشتری به خود می‌گیرد) است. بیشترین مقدار میانگین در سال ۱۳۹۷ و بعد از آن ۱۳۷۷ رخ داده است در حالی که مقدار میانگین وزن دار در همین سال ۱۳۷۷ کمترین مقدار است، این تناقض به این دلیل است که شکل هندسی لکه‌های بزرگ در سال ۱۳۷۷ پیچیده نبوده و عمده پیچیدگی شکل مختص لکه‌های کوچک است؛ بنابراین میانگین وزن دار شاخص شکل نسبت به میانگین آن، دقت بیشتری را در بازتاب پراکنده‌رویی شهری دارد.

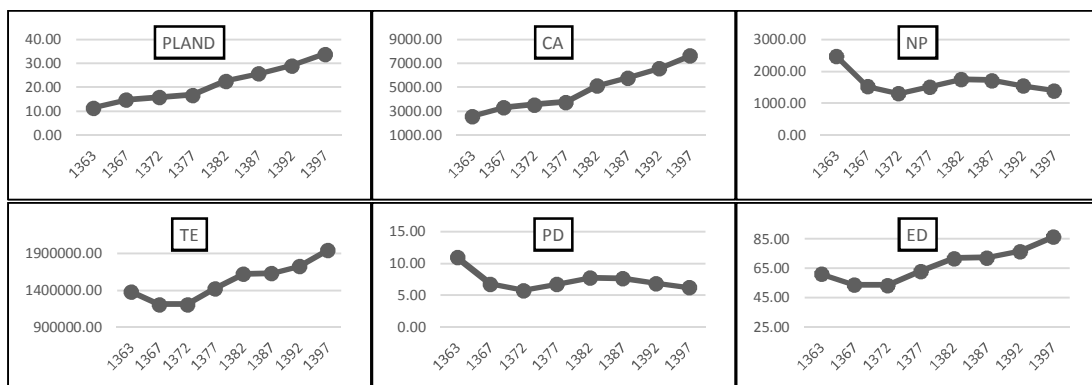
در شکل ۴، نمودار PARA_MN میانگین نسبت محیط به مساحت لکه‌های ساخته شده نمایش داده شده است که افزایش آن حاکی از افزایش پیچیدگی شکل لکه و در نتیجه افزایش پراکنده‌رویی است، اما این شاخص نسبت به سایز لکه‌ها حساس است و هر چه مساحت افزایش یابد، این نسبت کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، طی ۳۵ سال، این میزان روندی کاهشی داشته است. نمودار FRAC_AM، میانگین وزن دار شاخص بُعد فرکتال را نشان می‌دهد که افزایش میزان آن، افزایش پیچیدگی شکل و در نتیجه افزایش پراکنده‌رویی را در بر دارد که نسبت به شاخص شکل تفاوت را واضح‌تر نمایش می‌دهد و نسبت به «نسبت محیط به مساحت» حساسیت به سایز لکه‌ها را برطرف کرده است. بیشترین مقدار این شاخص در سال ۱۳۷۲ رخ داده است. شکل ۴، نمودار PAFRAC، بُعد فراکتال محیط - مساحت را به نمایش می‌گذارد که پیچیدگی شکل لکه‌های ساخته شده را با روش رگرسیون نشان می‌دهد، از این رو، اگر تعداد لکه‌ها زیر ۲۰ باشد، خروجی با خطا همراه خواهد شد. افزایش این شاخص افزایش پراکنده‌رویی را همراه دارد. این شاخص به طور کلی طی دوره ۳۵ ساله روندی کاهشی داشته است و فقط بین سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۷۷ افزایش یافته است. نمودار LPI، شاخص بزرگترین لکه است که افزایش آن سبب کاهش پراکنده‌رویی است و طی ۳۵ سال تقریباً روندی صعودی داشته است. نمودار

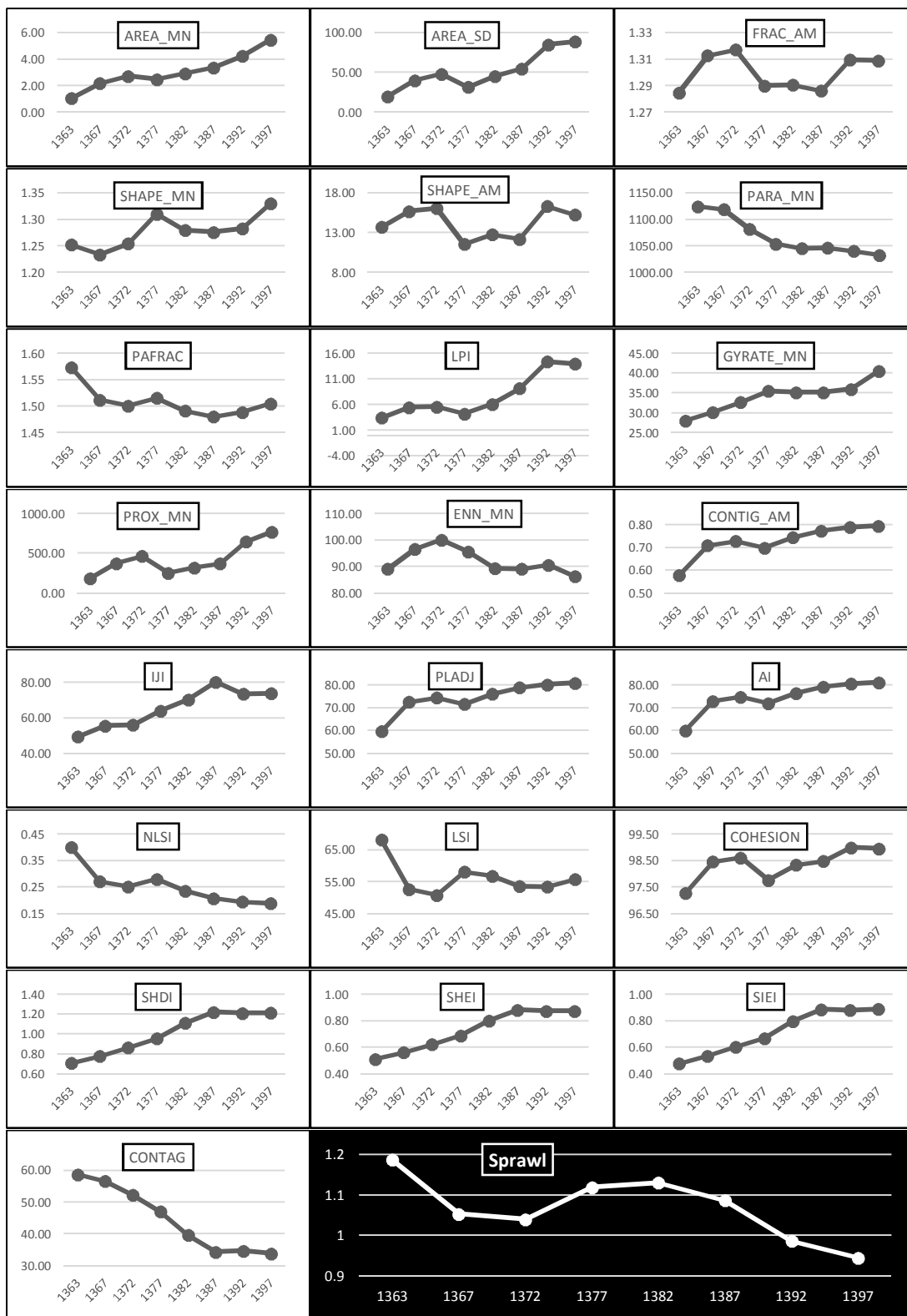
سرزمین را نمایش می‌دهد. نرمالیزاسیون، از طریق محاسبه بیشینه و کمینه طول لبه کلاس کاربری ساخته شده با سایر کلاس‌ها محاسبه می‌گردد. شاخص نرمالیزه‌شده شکل سرزمین نسبت به شاخص شکل سرزمین اختلاف مقادیر را بارزتر نمایش می‌دهد. هر چه مقدار آن بیشتر باشد پراکنده‌رویی نیز بیشتر خواهد بود. بیشترین میزان این شاخص مربوط به سال ۱۳۶۳ است. نمودار CONTAG، شاخص سرایت را نمایش می‌دهد. این شاخص با شاخص تراکم لبه رابطه معکوس دارد و تجمع همه کلاس‌های کاربری را محاسبه می‌نماید. هر چه میزان آن بیشتر باشد، پراکنده‌رویی کمتر خواهد بود. طی ۳۵ سال روند آن تقریباً سیر نزولی داشته است. نمودار SHDI، شاخص تنوع شانون را نمایش می‌دهد. در این حالت اگر مساحت کلاس‌های مختلف کاربری برابر باشد، پراکندگی به حداکثر می‌رسد. طی ۳۵ سال روند آن سیر صعودی داشته است. نمودار SHEI، شاخص همسانی شانون را نمایش می‌دهد. در این حالت اگر مساحت کلاس‌های مختلف کاربری برابر باشد، پراکندگی به عدد ۱ می‌گراید. طی ۳۵ سال روند آن سیر تقریباً صعودی داشته است. نمودار SIEI، شاخص همسانی سیمپسون را نمایش می‌دهد. در این حالت اگر مساحت کلاس‌های مختلف کاربری برابر باشد، پراکندگی به عدد ۱ می‌گراید. طی ۳۵ سال روند آن سیر تقریباً صعودی داشته است.

محاسبه می‌کند، اگر این میزان عدد صفر را حاصل کند، یعنی آن کلاس کاربری خاص از بقیه کلاس‌ها دور افتاده است. با افزایش میزان این شاخص، پراکنده‌رویی نیز کاهش می‌یابد. طی ۳۵ سال روند آن تقریباً افزایشی با شیب ملایم داشته است.

شکل ۴ نمودار AI، شاخص تجمع را نشان می‌دهد که تجمع در کلاس کاربری خاص را محاسبه (بر اساس سلول) و سایر کلاس‌ها را از محاسبات حذف می‌کند. با افزایش میزان این شاخص، پراکنده‌رویی نیز کاهش می‌یابد. طی ۳۵ سال روند آن تقریباً افزایشی با شیب ملایم بوده است. نمودار COHESION شاخص همبستگی لکه‌های ساخته شده را نمایش می‌دهد. این شاخص، میزان اتصال لکه‌های متناظر را محاسبه می‌کند. زمانی که میزان پوشش سیمای سرزمین از کلاس کاربری خاص کاهش یابد و به صورت کاملاً پخش شده و بدون اتصال با یکدیگر قرار بگیرند، میزان این شاخص به صفر می‌گراید و در نتیجه پراکنده‌رویی به حداکثر می‌رسد. کمینه این شاخص در سال ۱۳۶۳ اتفاق افتاده است.

شکل ۴ نمودار LSI، شاخص شکل سرزمین را نمایش می‌دهد که بر اساس طول کل لبه بین کلاس کاربری ساخته‌شده و سایر کلاس‌ها سنجیده می‌شود. هر چه مقدار آن بیشتر باشد پراکنده‌رویی نیز بیشتر خواهد بود. بیشترین میزان این شاخص مربوط به سال ۱۳۶۳ است. نمودار NLSI، شاخص نرمالیزه‌شده شکل





شکل ۴: میزان تغییرات ۲۸ شاخص پژوهش و شاخص پراکنده‌رویی طی ۲۵ سال

روش محاسبه آن به شرح زیر است: ابتدا با توجه به مقادیر به دست‌آمده برای هر شاخص و با استفاده از

شکل ۴ (نمودار Sprawl) میزان پراکنده‌رویی شهری را طی سال‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد.

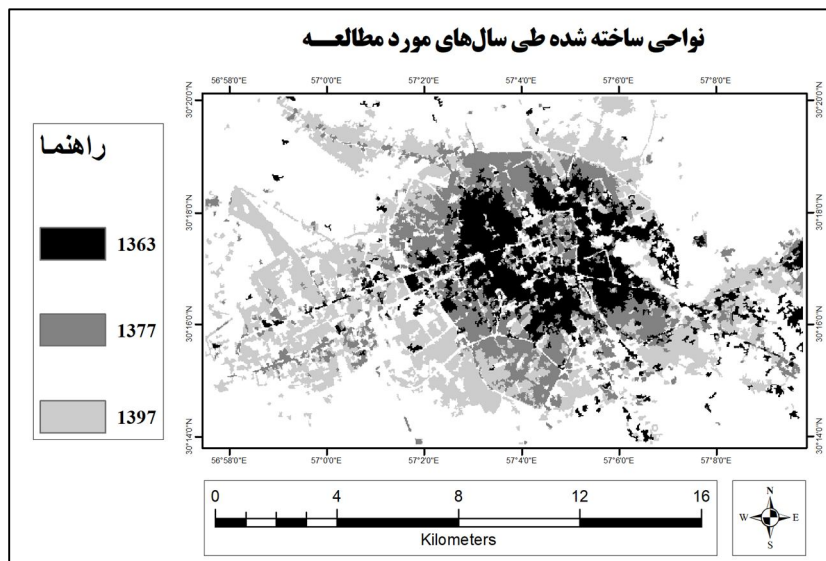
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و بهره‌گیری از شاخص‌های فضایی-کالبدی، پراکنده‌رویی شهر کرمان، طی ۳۵ سال و در ۸ مقطع زمانی، سنجیده شد و سپس الگوی پراکنده‌رویی بر اساس نوع پراکنده‌رویی تبیین گردید. میزان تغییرات نواحی ساخته‌شده شهر کرمان طی ۳۵ سال با هم‌پوشانی، در شکل ۵ نمایش داده شده است.

اگر در شکل‌های ۳ و ۵ محیط ساخته شده در سال ۱۳۶۳ بررسی گردد، پی به اندازه نسبتاً کوچک بزرگ‌ترین لکه‌های ساخت و ساز شده می‌بریم، بزرگی لبه (محیط) لکه‌های ساخت و ساز شده آشکار، تعدد تکه تکه شدگی‌ها محرز و وفور لکه‌های توخالی واضح است و همه این موارد نشان از میزان پراکنده‌رویی بالای شهر کرمان در این سال دارد و همه شاخص‌های مذکور در دسته مساحت-لبه جای دارند؛ پس از آن، روند پراکنده‌رویی برای یک دهه کاهش می‌یابد و علیرغم ساخت و سازهای جدید، لکه‌های توخالی پر می‌گردند و فاصله میان لکه‌ها کاهش می‌یابد، اما از سال ۱۳۷۲ به بعد، به دلیل ساخت و سازهای پراکنده در بخش شمالی، شمال‌غربی و غربی شهر، پراکنده‌رویی شدت یافته و سپس روند خود را تا یک دهه به صورت ثابتی حفظ می‌کند به عبارتی، در دهه ۱۳۷۷-۱۳۸۷ با این‌که لکه‌های تو خالی پر می‌گردند و فاصله لکه‌ها کاهش می‌یابد، اما به دلیل ساخت و سازهای انبوه پراکنده، پراکنده‌رویی ثابت می‌ماند. از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۳۹۷ طی ۱۰ سال ساخت و سازهای انجام‌شده به صورت انبوه با بیشترین مساحت اما فشرده انجام گرفته است، لکه‌های توخالی پر شده‌اند، ساخت و سازها با لکه‌های کوچک تبدیل به لکه‌های بزرگ و متراکم گشته‌اند و لکه‌های بزرگ به بیشترین مقدار مساحت خود رسیده‌اند از این‌رو، پراکنده‌رویی طی این ۱۰ سال به کمترین مقدار خود گراییده است.

نرم‌افزار MATLAB، وزن هر شاخص بر اساس «وزن‌های انتروپی شانون»^۱ مورد محاسبه قرار گرفت که بیشترین وزن را شاخص بزرگترین لکه (LPI) به خود اختصاص داد و علاوه بر آن منفی یا مثبت بودن تأثیر هر شاخص بر پراکنده‌رویی مشخص شد؛ همچنین مقادیر به دست آمده برای هر شاخص تبدیل به ماتریس بی‌مقیاس گردید تا مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر امکان‌پذیر شود. سپس، وزن‌ها را در مقادیر شاخص‌ها ضرب کرده و نتایج حاصله را برای ۸ مقطع زمانی با یکدیگر جمع می‌کنیم که نتایج آن در شکل ۴ (نمودار Sprawl) قابل مشاهده است. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است، بیشترین پراکنده‌رویی در سال ۱۳۶۳ رخ داده و پس از آن روندی نزولی را تا سال ۱۳۷۲ داشته است. سپس تا سال ۱۳۸۲ روندی صعودی را در پیش می‌گیرد و از آن پس، تا پایان دوره یعنی سال ۱۳۹۷ روند پراکنده‌رویی روندی نزولی را دنبال می‌کند. کمترین میزان پراکنده‌رویی نیز متعلق به سال ۱۳۹۷ است. در مرحله پایانی با استفاده از آزمون فریدمن در نرم‌افزار SPSS، رتبه میانگین برای شاخص پراکنده‌رویی (۴,۰۰) و ۴ دسته اصلی شاخص‌ها، یعنی مساحت-لبه (۴,۳۸)، شکل (۲,۲۵)، تجمع (۲,۶۳) و تنوع (۱,۷۵) محاسبه گردید. نزدیک‌ترین مقدار به عدد ۴,۰۰ که رتبه میانگین شاخص پراکنده‌رویی است میانگین دسته مساحت-لبه، با مقدار ۴,۳۸ است که نشان می‌دهد الگوی پراکنده‌رویی شهری کرمان عمدتاً بر اساس شاخص‌های مساحت-لبه شکل گرفته است، همچنین ضریب کای اسکوئر در سطح معنی‌داری ۰,۰۰۰ برابر با ۱۶,۵۰۰ و کمتر از ۰,۰۱ است (با درجه آزادی ۴) از این‌رو، نتایج آزمون فریدمن پذیرفته می‌شود (کفاشی، ۱۳۹۴: ۲۵۲).

۱. وزن‌دهی به شاخص‌ها با روش انتروپی شانون، بر اساس میزان پراکنده‌گی داده‌های هر شاخص محاسبه می‌گردد. هرچه داده‌های یک شاخص پراکنده‌گی بیشتری داشته باشند، آن شاخص از اهمیت و وزن بالاتری برخوردار خواهد بود. لازم به ذکر است، روش وزن‌دهی انتروپی شانون، از فرمول‌های مشابهی نسبت به شاخص تنوع شانون و شاخص همسانی شانون در محاسبه پراکنده‌رویی بهره می‌برد، اما، این دو مقوله از هم جدا بوده و در این مقاله به صورت مجزا به کار گرفته شده‌اند.



شکل ۵: میزان تغییرات نواحی ساخته شده شهر کرمان طی ۳۵ سال (آغاز دوره ← اواسط دوره ← پایان دوره)

طرف دیگر شهر از درون پوک، متخلخل و دارای لکه‌های بایر نسبتاً زیادی است که پراکندگی را در درون خود شهر رقم زده است. با این حال، کمی‌سازی و تبیین الگوی پراکنده‌رویی شهری، شناختی عینی و دقیق از وضع فضایی-کالبدی موجود و میزان و نحوه توسعه شهر ارائه می‌نماید که می‌تواند راهگشای مسائل شهر برای مدیران، تصمیم‌گیرندگان، برنامه‌ریزان، طراحان، شهرسازان و محققان شهری باشد.

باید خاطر نشان کرد، با وجود اینکه میزان پراکنده‌رویی در شهر کرمان طی ۸ مقطع زمانی مقایسه گردید و کمترین میزان آن به سال ۱۳۹۷ اختصاص یافت اما این امر دلیل بر پایین بودن میزان پراکنده‌رویی در شهر کرمان نیست، چنان‌که با بررسی اجمالی نقشه سال ۱۳۹۷ در شکل ۲ به صورت کیفی می‌توان به این موضوع پی برد. از طرفی وجود ساخت و سازهای پراکنده در اطراف شهر به ویژه در قسمت غرب و شمال شهر به پراکندگی دامن زده است و از

منابع

۱. اجزاشکوهی، محمد. لیا شاددل. ۱۳۹۷. مدل‌سازی توسعه شهری بجنورد با استفاده از رگرسیون لجستیک. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هشتم، شماره ۲۸، صفحات ۲۲۳-۲۳۶.
۲. اسفندیاری‌درآباد، فریبا. الناز پیروزی و زهرا امینی، ۱۳۹۵. تحلیلی بر مکان‌یابی جهات بهینه گسترش فیزیکی شهر شیراز با استفاده از روش ویکور. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هشتم، شماره ۲۰، صفحات ۹۹-۱۱۶.
۳. اکبری، الهه. فرزانه کاویان. ۱۳۹۶. ارزیابی تناسب اراضی برای توسعه فیزیکی شهر سبزوار به روش فازی سلسله مراتبی. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هفتم، شماره ۲۵، صفحات ۸۹-۱۰۲.
۴. اکبری، الهه. محمدعلی زنگنه‌اسدی و ابراهیم تقوی مقدم. ۱۳۹۵. پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های مختلف تئوری آموزش آماری منطقه نیشابور. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال ششم، شماره ۲۰، صفحات ۳۵-۵۰.
۵. ایراندوست، کیومرث. کیومرث حبیبی و محمد خندان. ۱۳۹۷. عوامل مؤثر بر پراکنده‌رویی شهری در شهرهای ایران (نمونه موردی: شهر رشت). فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هشتم، شماره ۲۸، صفحات ۶۷-۸۲.
۶. حاتمی‌نژاد، حسین. علی عشقی چهاربرج. ۱۳۹۵. مکان‌یابی بهینه توسعه فیزیکی شهر مراغه با تأکید بر پایداری شهری. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش

۱۵. محمدی، جلیل. علیرضا محمدی. ۱۳۹۶. بررسی توسعه کالبدی شهر زنجان با تأکید بر شاخصه‌های توسعه درون‌زا. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هفتم، شماره ۲۳، صفحات ۱۱-۲۴.
۱۶. محمدی، زهرا. علی‌اکبر نجفی‌کانی و عبدالعظیم قانقرمه. ۱۳۹۵. بررسی توسعه کالبدی-فضایی شهرهای ساحلی با تأکید بر توسعه پایدار. مطالعه موردی: شهر بندر ترکمن. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال ششم، شماره ۱۹، صفحات ۱۵۱-۱۶۶.
۱۷. میرکتولی، جعفر. رضا بارگاهی و سیده‌زهرا عقیلی. ۱۳۹۳. تبیین ابعاد استفاده از هندسه فرکتال در تحلیل‌های جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال چهارم، شماره ۱۴، صفحات ۵۵-۸۲.
1. Aguilera, F., Valenzuela, L.M. and Botequilha-Leitao, A. 2011. Landscape Metrics in the Analysis of Urban Land Use Patterns: A Case Study in a Spanish Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 99: 226-238. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.004>.
2. Angle, S., Parent, J., and Civco, D. 2007. Urban Sprawl Metrics: An Analysis of Global Urban Expansion using GIS. ASPRS Annual conference, Tampa, Florida, May 7-11. <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2011/01/0003.pdf>.
3. Bengston, D.N., Potts, R.S., Fan, D.P. and Goetz, E.G. 2005. An Analysis of the Public Discourse about Urban Sprawl in the United States: Monitoring Concern about a Major Threat to Forests. *Forest Policy and Economics*, 7: 745-756.
4. Botequilha-Leitao, A., and Ahern, J. 2002. Applying Landscape Ecological Concepts and Metrics in Sustainable Landscape Planning. *Landscape and Urban Planning*, 59: 65-93.
5. Brueckner, J. K. and Kim, H. 2003. Urban Sprawl and Property Tax. *International Tax and Public Finance*, 10: 38-50.
- جغرافیایی فضا. سال ششم، شماره ۱۹، صفحات ۱۵-۳۲.
۷. داداش‌پور، هاشم. هادی رضایی‌راد و زینب‌السادات مطهری. ۱۳۹۵. سنجش توان زیست‌محیطی جهت رشد و توسعه کالبدی و محدوده پیرامونی شهر سبزوار با استفاده از منطق IHWP. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال ششم، شماره ۲۲، صفحات ۴۳-۵۸.
۸. درویشی، آصف. سیما فاخران و علیرضا سفیانیان و مهدی قربانی. ۱۳۹۲. کمی‌سازی تغییرات الگوی مکانی سیمای سرزمین در زیست‌گاه سیاه خروس قفقازی (Tetrao mlokosiewiczzi) در ذخیرگاه زیست‌کره ارسباران. بوم‌شناسی کاربردی. سال دوم، شماره ۵، صفحات ۲۷-۳۷.
۹. رسولی، مریم. عبدالرسول سلمان ماهینی و حمیدرضا کامیاب. ۱۳۹۵. تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال ششم، شماره ۲۱، صفحات ۱-۱۲.
۱۰. زنگی‌آبادی، علی. ۱۳۷۰. جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری کرمان. چاپ اول، کرمان، انتشارات مرکز کرمان‌شناسی.
۱۱. عطا، بهنام. محمدرحیم رهنما و صالح آرخی. ۱۳۹۶. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر چندزمانه و مدل CA_MARKOV. مطالعه موردی: شهر گنبد کاووس. فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. سال هفتم، شماره ۲۳، صفحات ۲۵-۴۰.
۱۲. کفاشی، مجید. ۱۳۹۴. کاربرد نرم‌افزار SPSS در پژوهش اجتماعی. چاپ اول، تهران، فوژان.
۱۳. لاریجانی، مریم. فاطمه قسامی و الهام یوسفی روبیات. ۱۳۹۳. تحلیل اکولوژیک ساختار فضای سبز شهر جیرفت با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین. فصل‌نامه آمایش محیط. دوره ۷، شماره ۲۵، صفحات ۴۹-۶۴.
۱۴. محمدپور، مهدی. ناصر عبدی و سیدعلی المدرسی. ۱۳۹۳. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و متریک‌های سیمای سرزمین: مطالعه موردی شهر ارومیه. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

- %20Employment%20Location%20in%20US%20Metropolitan%20Areas.pdf.
15. Gomasasca, M. A., Brivio, P.A., Pagnoni, F., and Galli, A. 1993. One Century of Land Use Changes in the Metropolitan Area of Milan (Italy). *International Journal of Remote Sensing*, 14 (2): 211-223.
 16. Green, K., Kempka, D. and Lackey, L. 1994. Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60(3): 331-337.
 17. Gustafson, E.J. and Parker, G.R. 1992. Relationships Between Land Cover Proportion and Indices of Landscape Spatial Pattern. *Landscape Ecology*, 7 (2): 101-110.
 18. Haack, B. N. and Rafter, A. 2006. Urban Growth Analysis and Modelling in the Kathmandu Valley, Nepal. *Habitat International*, 30(4): 1056-1065.
 19. Hamidi, S. 2015. Measuring Metropolitan Form: Remaking Urban Form for Sustainability. A Dissertation Submitted to the Faculty of the University of Utah in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Metropolitan Planning, Policy, and Design. Department of City and Metropolitan Planning, The University of Utah.
 20. Ji, W., Ma, J., Twibell, R. W. and Underhill, K. 2006. Characterizing Urban Sprawl Using Multi-Stage Remote Sensing Images and Landscape Metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 30, Pp 861-879. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2005.09.002.
 21. Kahn, M. 2001. Does Sprawl Reduce the Black/White Housing Consumption Gap?. *Housing Policy Debate*, 12(1):7-25.
 22. LaGro, J.J. 1991. Assessing Patch Shape in Landscape Mosaics. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(3): 285-293.
 23. Madhavi, J., Dimri, A.P. and Niyogi, D. 2016. Urban Sprawl Patterns and Processes in Delhi from 1977 to 2014 Based on Remote Sensing and Spatial
 6. Burchell, R.W., Shad, N.A., Listokin, D. and Phillips, H. 1999. Costs of Sprawl Revisited, Transit Cooperative Program. Transportation Research Board, Washington D.C., 4(4): 45-60.
 7. Clark, D. 1982. *Urban Geography: An Introductory Guide*. Taylor & Francis, London.
 8. Couch, C. and Karecha, J. 2006. Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool. *Cities*, 23(5): 353-363. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2006.05.003>.
 9. Downs, A. 1999. Some Realities about Sprawl and Urban Decline. *Housing Policy Debate*, 4(4): 955-974.
 10. Ewing, R. Pendall, R. and Chen, D. 2001. Measuring Sprawl and Its Transportation Impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1831), Pp 175-183. <https://doi.org/10.3141/1831-20>.
 11. Feng, L. and Li, H. 2012. Spatial Pattern Analysis of Urban Sprawl: Case Study of Jiangning, Nanjing, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 138(3): 263-269.
 12. Fulton, W. Pendall, R. Nguyen, M., and Harrison, A. 2001. Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ across the U.S. Washington, DC: Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy. <http://www.public.asu.edu/~icprv/courses/hst598%20urban/new%20urban%20web/urban%20density%20study.pdf>.
 13. Galster, J., Hanson, R., Ratcliffe, M., Wolman, H., Coleman, S. and Freihage, J. 2001. Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate*, 12(4): 15-28.
 14. Glaeser, E. Kahn, M. and Chu, Ch. 2001. Job Sprawl: Employment Location in U.S. Metropolitan Areas. Washington, DC: Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy. <http://www.distributedworkplace.com/DW/Research/Job%20Sprawl%20->

29. Torrens, P.M. 2008. A Toolkit for Measuring Sprawl. *Appl. Spatial Analysis*, Vol. 1, Pp 5-36. Doi: 10.1007/s12061-008-9000-x.
30. Torrens, P.M. and Alberti, M. 2000. Measuring Sprawl. Center for Advanced Spatial Analysis (CASA), Working Paper Series, University College London.
<http://www.casa.ucl.ac.uk/measuringsprawl.pdf>.
31. Yang, X. and Liu, Z. 2005. Use of Satellite Derived Landscape Imperviousness Index to Characterize Urban Spatial Growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(5): 524-540.
32. Zhang, B. 2004. Study on Urban Growth Management in China. Xinhua Press, Beijing.
33. Zhang, X., Zhu, Y., A.H. and Yao, J. 2008. Measurement and Pattern Analysis of Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Wujiang, China (1978-2004). International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications. 2008 IEEE.
- Metrics Approaches. *Earth Interactions*, 20 (14): 1-29.
24. Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J. and Caetano, M. 2015. Land Cover Mapping Analysis and Urban Growth Modelling Using Remote Sensing Techniques in Greater Cairo Region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4: 1750-1769. Doi: 10.3390/ijgi4031750.
25. Pendall, R. 1999. Do Land Use Control Cause Sprawl?. *The Environment and Planning*, 26: 10-29.
26. Sisodia, P.S., Tiwari, V. and Dahiya, A.K. 2015. Measuring and Monitoring Urban Sprawl of Jaipur City Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Information Systems and Social Change*. 6(2): 46-65.
27. Sudhira, H.S., Ramachandra, T.V. and Jagadish, K.S. 2004. Urban Sprawl: Metrics, Dynamics and Modelling Using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5: 29-39.
28. Torrens, P.M. 2006. Simulating Sprawl. *Annals of the Association of American Geographers*, 96(2): 248-275.

