



کاربرد سنجش از دور در ارزیابی ساختار سیمای سرزمین شهری مناطق خشک (مطالعه موردی: شهر یزد، ایران)

مهديه ابوالحسنی^۱، احد ستوده^۲، پرستو پریور

دریافت: ۱۶ خرداد ۱۳۹۹ / پذیرش: ۸ مرداد ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۳ شهریور ۱۳۹۹

چکیده

مناطق خشک با اقلیم خشک، پوشش گیاهی تنک، کمبود آب، بارش محدود و محیط زیست بسیار شکننده مشخص می شوند. این ویژگی ها باعث شکننده شدن اکوسیستم های شهری می شوند. با توجه به اینکه عملکرد و کارکردهای محیطی به ترکیب و توزیع عناصر ساختاری آنها بستگی دارد، برای درک بهتر پویایی سیمای سرزمین، بررسی تغییرات الگوهای مکانی ضروری است. اطلاعات تغییرات کاربری ها در گذر زمان می تواند تغییرات آبی را پیش بینی کرده و همچنین در شناخت توان و استعداد اراضی کاربرد دارند که می تواند در دستیابی به برنامه ریزی و طراحی اصولی و پایدار کمک کرده و روند نامناسب تغییرات اراضی را تعیین و از گسترش آن جلوگیری کرد. برای شناسایی این الگوی مکانی و تغییرات آن از سنجش های سیمای سرزمین می توان استفاده کرد. کمی سازی تغییرات در سیمای سرزمین با استفاده از سنجش های سیمای سرزمین صورت می پذیرد و برای تحلیل و برنامه ریزی کاربری ها مورد استفاده قرار می گیرد. سنجش ها ابزار مناسبی برای طراحی و یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری های سیمای سرزمین هستند.

پیشینه و هدف رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی سبب تغییرات زیاد پوشش و کاربری اراضی شده که به طور گسترده ای بر ساختار، عملکرد و خدمات اکوسیستم تأثیر می گذارد. از سال ۲۰۰۸ بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می کنند که طبق پیش بینی سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰، ۸۰ درصد جمعیت جهانی شهری خواهد شد و این افزایش مداوم موجب گسترش سریع مناطق شهری می شود. اکثر این شهرها در کشورهای در حال توسعه، به ویژه در آسیا و آفریقا واقع شده اند که بخش قابل توجهی از آنها، کشورهای خشک و نیمه خشک هستند. برآوردها نشان می دهد که ۸۵ درصد از کل اراضی ایران تحت تأثیر شرایط خشک و نیمه خشک هستند.

مهديه ابوالحسنی^۱، احد ستوده^۲ (✉)، پرستو پریور^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران

۲. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: a.sotoudeh@yazd.ac.ir

طبقه‌ها، متعلق به طبقه پوشش شهری است، در این مطالعه بیشترین تعداد لکه نسبت به سایر طبقه‌ها را طبقه پوشش گیاهی داشته است. تعداد لکه‌های پوشش گیاهی طی دوره مطالعه افزایش و تعداد لکه‌های اراضی بایر و پوشش شهری کاهش یافته است. نتایج حاصل از این سنجه در کنار سنجه مساحت، نشان‌دهنده پدیده خرد دانه شدن پوشش گیاهی در شهر یزد است. تغییر کاربری‌های کشاورزی و باغداری به مناطق مسکونی باعث ازهم‌گسیختگی لکه‌های پوشش گیاهی شده است. متوسط اندازه لکه در کلاس پوشش شهری افزایش و در دوطبقه پوشش گیاهی و اراضی بایر کاهش یافته که نشان می‌دهد سطح نفوذناپذیر در شهر مورد مطالعه افزایش یافته و سطح به هم پیوسته‌ای را به وجود آورده‌اند. سنجه میانگین فاصله هر سلول در لکه با مرکز ثقل در دو کلاس اراضی بایر و پوشش گیاهی کاهش یافته و بیشترین کاهش مربوط به کلاس پوشش گیاهی است که نشان‌دهنده کاهش فشردگی این لکه‌ها است. سنجه نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی لکه‌ها در تمامی کاربری‌ها افزایش یافته است که بیشترین میزان مربوط به اراضی بایر است.

نتیجه‌گیری نتایج حاصل از بررسی تغییرات سنجه مساحت کلاس نشان‌دهنده این است که مساحت کاربری اراضی شهری طی دوره مورد بررسی به میزان 4346782 هکتار افزایش یافته است. دلیل این امر، افزایش جمعیت شهر یزد است. در سال 1370 جمعیت این شهر 275298 نفر بوده و در سال 1397 به 529673 نفر رسیده است؛ یعنی به میزان 254375 نفر افزایش جمعیت داشته است؛ بنابراین به فضای بیشتری جهت رشد و گسترش شهر نیاز است که سبب توسعه فیزیکی کاربری ساخت‌وساز می‌شود. در اثر گسترش فضایی شهر، حدود $1667/61$ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات موجود در شهر یزد از بین رفته و در محدوده خدماتی شهر ادغام شده و به زیرساخت‌های شهری تبدیل شده است. افزایش زیرساخت و فعالیت‌های انسانی بدون توجه به ظرفیت و توان اکولوژیکی این منطقه، می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی بسیاری را به دنبال داشته باشد. از این رو برای جلوگیری از تخریب بیشتر محیط‌زیست و کاهش کیفیت آن لازم است برنامه‌های پایش و ارزیابی الگوهای پراکنش کاربری اراضی به‌طور مداوم اندازه‌گیری شود تا بتوانند به‌عنوان راهنمایی برای ارزیابی وضعیت موجود اکوسیستم شهری کاربردی باشند.

واژه‌های کلیدی: سیمای سرزمین، سنجه‌های سیمای سرزمین، تجزیه و تحلیل مکانی، مناطق خشک

بر همین اساس در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی و اندازه‌گیری تغییرات ساختار سرزمین شهری شهر یزد با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در طی سه دهه در این منطقه از تخریب و تکه‌تکه شدن الگوهای طبیعی جلوگیری شود و به برنامه ریزان و سیاست‌گذاران برای جهت‌گیری توسعه پایدار شهری کمک کند. هدف این مطالعه کمی سازی و اندازه‌گیری تغییرات الگوهای مکانی پوشش اراضی شهر یزد با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح طبقه و سیمای سرزمین در طی دوره 27 سال است. همچنین توزیع و ترکیب الگوی فضایی پوشش اراضی در دو سطح لکه‌های سبز و ساخته‌شده که نقش عمده‌ای بر کارکرد اکوسیستم دارند، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ به تاریخ 1371 و لندست ۸ به تاریخ 1397 استفاده شد. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال انجام شد. با توجه به تنوع پوشش‌های موجود در منطقه، سه طبقه شامل اراضی بایر، پوشش گیاهی و شهری مورد شناسایی و طبقه‌بندی قرار گرفت. به‌منظور بررسی دقت طبقه‌بندی تصاویر، از ماتریس خطا و محاسبه پارامترهای آماری ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد. ضریب کاپا و صحت کلی تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال 1370 و 1397 به ترتیب $0/83$ ، 96 درصد و $0/81$ ، 90 درصد به دست آمد. با استفاده از نرم‌افزار فرگاستات Fragstats برای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شد. در مطالعه حاضر با توجه به هدف تحقیق، سنجه‌های مساحت لکه (CA)، تعداد لکه (NP)، درصد مساحت لکه (PLAND)، میانگین اندازه لکه (AREA)، فشردگی لکه (GYRATE)، نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی (ENN)، و پیوستگی (CONTAGE) در سطح کلاس و سیمای سرزمین انتخاب و مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

نتایج و بحث در این مطالعه با بررسی سنجه‌های مختلف در دو مقیاس کلاس و سیمای سرزمین استنباط شد که سیمای سرزمین در طبقه اراضی بایر و پوشش گیاهی در حال خرد شدن و گسستگی بیشتر در طی دوره زمانی مورد بررسی است. درحالی‌که پوشش شهری در طی این مدت یکپارچه‌تر و مساحت بیشتری را در بر گرفته است که نشان‌دهنده آثار مخرب فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست است. طی دوره مورد مطالعه بیشترین افزایش مساحت نسبت به سایر

مقدمه

فضایی- زمانی استفاده می‌کنند (۱۸). سنجش توزیع فضایی عناصر ساختاری و تغییرات آن، روشی برای تعیین درجه ازهم‌گسیختگی و ناهمگونی (Heterogeneity) فضایی سیمای سرزمین است (۶). از این رو تجزیه و تحلیل تغییرات الگوی سیمای سرزمین، نقش مهمی در درک سرزمین و تغییرات آن در آینده دارد. همچنین این فرایند می‌تواند به درک بهتر ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات سیمای سرزمین کمک کرده و برای برنامه‌ریزی مناسب کاربری اراضی (۹)، به تصمیم‌گیری مناسب سیاست‌گذاران برای توسعه پایدار کمک کند (۲۴). همچنین بررسی این رابطه می‌تواند مدیریت اکولوژیک شهری را پشتیبانی کند (۷). بنابراین توانایی سنجش الگوهای فضایی در یک سرزمین، پیش‌نیاز پیش‌بینی عملکرد و تغییرات سرزمین و دستیابی به پایداری در برنامه‌ریزی و توسعه فضایی آن است (۶).

مطالعات فراوانی درباره تحلیل اثرات شهرنشینی بر ساختار اکولوژیکی سیمای سرزمین صورت پذیرفته است. از جمله بیکر و همکاران (۳) پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از گسترش سریع شهرنشینی در مناطق خشک و گرم را در شهر فینیکس آریزونا، مورد مطالعه قرار داده‌اند. بررسی‌ها نشان داده گسترش شهرنشینی اثرات منفی روی سیستم پشتیبان حیات منطقه داشته، به طوری که شوری آب و خاک افزایش و به طور کلی پایداری کاهش یافته است. در مطالعه دیگری یآوری و همکاران (۲۳) در شهر تهران به مطالعه کیفیت ساختار سیمای سرزمین شهری پرداخته‌اند. در این مطالعه با استفاده از ۴ سنجه NP (Number of Patch)، CAP (Class Area)، MPS (Mean Patch Size) و ENN (Euclidian Nearest Neighbor) سیمای سرزمین شهری بررسی شده است. بر اساس ارزیابی ساختار سیمای سرزمین، شهر به پهنه‌های همگن طبقه‌بندی شده و استراتژی‌های پایداری برای هر پهنه در نظر گرفته شده است. داسگاپتا و همکاران (۴) سیمای سرزمین شهری را با استفاده از سنجه‌های فضایی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. در این مطالعه شهر بنگلور در ۴ کلاس ساخت و ساز، پوشش گیاهی، آب و فضاهای باز طبقه‌بندی شده

شهرنشینی فرایند پیچیده‌ای از تبدیل سیمای سرزمین روستایی یا طبیعی به الگوهای شهری است که تأثیرات مخربی بر ساختار، عملکرد و پویایی اکوسیستم‌ها می‌گذارد (۲۰). همچنین علت اصلی تغییر کاربری و پوشش اراضی است (۸). از سال ۲۰۰۸ بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند، مطابق با پیش‌بینی سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰، ۸۰ درصد جمعیت جهان شهرنشین خواهند شد. افزایش شهرنشینی مستلزم فرایندهای پیچیده تغییر کاربری اراضی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی است که به نوبه خود پیامدهای شدیدی را برای سیمای سرزمین و محیط‌زیست به همراه می‌آورد. در حال حاضر، حدود ۵ درصد از اراضی جهان به مناطق شهری تبدیل شده‌اند. اکثر این شهرها در کشورهای در حال توسعه، به ویژه در آسیا و آفریقا واقع شده‌اند که بخش قابل توجهی از آن‌ها، حدود $41/3$ درصد از سطح زمین تقریباً یک سوم جمعیت جهان در کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک زندگی می‌کنند (۱۹). برآوردها نشان می‌دهد که ۸۵ درصد از کل اراضی ایران تحت شرایط خشک و نیمه‌خشک هستند (۱).

مناطق خشک با اقلیم خشک، پوشش گیاهی تنک، کمبود آب، بارش محدود و محیط‌زیست بسیار شکننده مشخص می‌شوند. این ویژگی‌ها باعث شکننده بودن اکوسیستم‌های شهری می‌شوند (۱۴). از این رو، برنامه ریزان، مهندسين و تصمیم‌گیرندگانی که برای برنامه‌ریزی سرزمین‌های خشک فعالیت می‌کنند، نیازمند اتخاذ راهکارهایی برای طراحی و برنامه‌ریزی شهر متناسب با شرایط آب و هوایی در راستای ایجاد شهرهای پایدار و قابل زیست هستند (۲).

اولین گام مهم برای درک تأثیرات شهرنشینی بر فرایندهای اکولوژیک تعیین الگوی تغییرات فضایی و زمانی سیمای سرزمین شهری است (۲۱). تجزیه و تحلیل الگوی سیمای سرزمین، به بررسی اجزای سیمای سرزمین و الگوی فضایی آن‌ها می‌پردازد (۱۵). در اغلب مطالعات به منظور توصیف و شبیه‌سازی فرایند تغییر، از روش‌های مدل‌سازی

شهری است که به دلیل تبدیل مراتع و باغات به این طبقه است.

در این مطالعه با توجه به پیشینه تحقیق ارائه شده در زمینه ارزیابی و تحلیل اثرات شهری بر ساختار اکولوژیکی سیمای سرزمین، شهر یزد به عنوان مطالعه موردی برای بررسی الگوی سیمای سرزمین شهری و تغییرات آن انتخاب شده است. شهر یزد با مشکلات و مسائل زیست محیطی متعددی از جمله اقلیم خشک، کمبود فضای سبز، کم آبی، آلودگی، طوفان های گردوغبار مواجه است. شواهد حاکی از آن است که طی دهه های اخیر، این شهر علی رغم توان اکولوژیک و محدودیت های سیستم پشتیبان حیات به ویژه آب، با رشد فیزیکی و جمعیتی قابل توجهی روبرو بوده است. به طوری که جمعیت آن از ۲۷۵۲۹۸ در سال ۱۳۷۰ به ۵۲۹۶۷۳ در سال ۱۳۹۷ رسیده است؛ بنابراین با توجه به آثار منفی ناشی از استفاده نامناسب از سرزمین و توسعه کالبدی بدون برنامه ریزی، استفاده از روش ها و تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی به منظور ارزیابی و نظارت پویایی پوشش زمین برای شناخت تغییرات سیمای سرزمین، ارزیابی اثرات محیط زیستی، پیش بینی تغییرات سیمای سرزمین، ارزیابی نتایج مدیریت و برنامه ریزی ضروری است. از این رو در این پژوهش تغییرات سیمای سرزمین شهر یزد در سه دهه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پراکنش الگوی فضایی پوشش اراضی در دو طبقه پوشش گیاهی و پوشش شهری تحلیل شد.

روش تحقیق

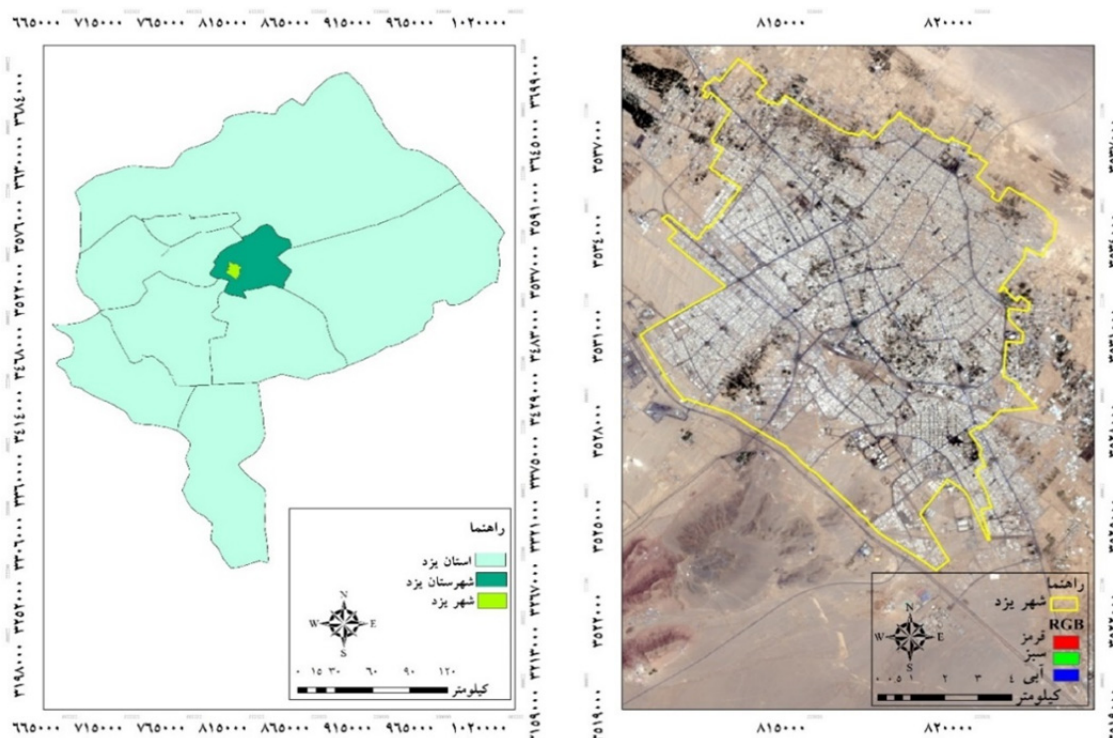
منطقه مورد مطالعه

شهر یزد، در بخش مرکزی فلات ایران واقع شده است. وسعت این شهر ۱۰۷/۳ کیلومتر مربع است که مرکز شهر در ۵۴° ۳۱' عرض شمالی و ۵۴° ۲۳' طول شرقی قرار دارد. این منطقه به سبب موقعیت جغرافیایی، دارای اقلیم گرم و خشک بیابانی است. به علت کمبود بارندگی در این منطقه، منابع آب سطحی بسیار محدود است (۱۳). مدیران شهری برای جبران کمبود آب در این شهر از سیستم انتقال آب بین حوزه استفاده

است. بر اساس نتایج، شهر فشرده تر شده و کاربری فضای باز کاهش یافته است. شا و تیان (۱۶) در پژوهش خود به آنالیز تغییرات مکانی- زمانی الگوی سیمای سرزمین شهری در منطقه کلان شهر فینیکس پرداخته اند. در این پژوهش، پوشش اراضی به چهار طبقه؛ شهری، زمین های کشاورزی، زمین های بیابانی و تفریحی پهنه بندی شده است. نتایج نشان داده که زمین های بیابانی بزرگ ترین سطح پوشش زمین در فینیکس هستند، اما در حال کاهش می باشند؛ این در حالی است که منطقه شهری و پیچیدگی شکل آن در حال افزایش است. اراضی کشاورزی به شدت در حال تغییر کاربری هستند. از سوی دیگر، زمین های تفریحی تحت تأثیر توسعه شهری قرار گرفته اند. در مطالعه لینه و همکاران (۹) به منظور سنجش تغییرات کاربری اراضی و از هم گسیختگی سیمای سرزمین در شهر دان انگ ویتنام از ۹ سنجه در سطح کلاس و سیمای سرزمین استفاده کرده اند. نتایج نشان داده، کاهش چشمگیری در اراضی جنگلی، بوته زار، کشاورزی و بایر ایجاد شده است، در حالی که مناطق شهری گسترش یافته اند. در این مطالعه با تجزیه و تحلیل سنجه های سیمای سرزمین دریافتند، ساختار سیمای سرزمین شهر دان انگ بیشتر تقسیم و ناهمگن شده است. لئو و ونگ (۱۰) به تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی ناشی از شهرنشینی در شهر ایندیاناپولیس با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین پرداخته اند. در پژوهشی که در منطقه بیابانی ایالت چیاواوا در مکزیک انجام شده سیمای سرزمین پوشش گیاهی با توجه به تغییرات کاربری اراضی طی سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش از سنجه های سیمای سرزمین استفاده شده است و نتایج آن حاکی از افزایش تعداد لکه ها است که این تغییر نشان دهنده روند تخریب اکوسیستم است. شاخص سیمسون و شانون به طور واضح از هم گسیختگی سیمای سرزمین را نشان دادند (۱۱). همچنین جعفری و همکاران (۵) در مطالعه خود به ارزیابی سیمای سرزمین شهر جاجرود با استفاده از سنجش از دور و سنجه های سیمای سرزمین طی سال های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ پرداخته اند. در این مطالعه نتایج حاکی از افزایش طبقه

از این رو تحلیل روند این تغییرات و بررسی ترکیب و توزیع فضایی انواع پوشش زمین در این شهر اهمیت دارد. در شکل ۱ حدود و موقعیت شهر یزد نشان داده شده است.

می‌کنند. از سوی دیگر با توسعه سریع شهر، ساختار سیمای سرزمین شهری به شدت در حال تغییر است. به طوری که لکه‌های پوشش گیاهی (باغات و فضاهای سبز) و اراضی بایر در این شهر جای خود را به پوشش و زیرساخت شهری داده‌اند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Fig. 1. Location of the study area

روش تحقیق

شهر یزد در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱ مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است.

در این پژوهش در مرحله نخست روند تغییرات پوشش زمین در شهر یزد در دو تاریخ ۱۳۷۰، ۱۳۹۷ ارزیابی شد. سپس در مرحله بعد ترکیب و توزیع فضایی سیمای سرزمین

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. Specifications of satellite images

تقویم میلادی	منبع	سنجنده	ماهواره
Acquisition Data	source	Sensor	Satellite
2018Jun12	USGS	OLI	Landsat8
1991Jun18	USGS	TM	Landsat5

AREA_AM (سنجه میانگین اندازه لکه) میانگین مساحت لکه‌ها را در دو سطح طبقه و سیمای سرزمین مشخص می‌کند و در سطح طبقه میانگین اندازه لکه‌های هر طبقه و در سطح سیمای سرزمین میانگین اندازه کل لکه‌های موجود در سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند. سنجه LSI در سطح طبقه نسبت مجموع لبه به مساحت هر طبقه را محاسبه می‌کند زمانی که LSI مساوی با یک باشد سیمای سرزمین از یک لکه مربع شکل تشکیل شده است و زمانی که شکل سیمای سرزمین از حالت مربع تغییر یابد (خطوط نامنظم) یا طول لبه لکه‌های موجود افزایش یابد مقدار عددی این متریک نیز افزایش می‌یابد. سنجه NP در سطح طبقه نشان‌دهنده تعداد لکه موجود در هر طبقه در سیمای سرزمین است و در سطح سیمای سرزمین بیان‌کننده تعداد کل لکه‌های موجود در سیمای سرزمین است. زمانی که سیمای سرزمین تنها از یک لکه تشکیل شده باشد این متریک برابر با یک است. با استفاده از سنجه GYRATE_AM (سنجه فشردگی) گستردگی لکه اندازه‌گیری می‌شود و مشخص می‌شود یک لکه تا چه اندازه در سیمای سرزمین گسترش یافته است هر چه لکه بزرگ‌تر و کشیده‌تر باشد شعاع گستردگی بیشتر می‌شود. ENN_AM (سنجه نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی) ساده‌ترین سنجه نشان‌دهنده جدایی لکه‌ها است. نزدیک‌ترین فاصله همسایگی اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین لکه کانونی تا نزدیک‌ترین همسایه همان طبقه است و سنجه CONTAG (سرایت) نشان می‌دهد توزیع پوشش اراضی در سیمای سرزمین به چه صورتی است آیا لکه‌های پوشش اراضی به‌صورت بزرگ و مجتمع و در کنار هم گردآمده‌اند یا به‌صورت لکه‌های کوچک و پراکنده توزیع یافته‌اند با مقایسه این سنجه در سال‌های مختلف می‌توان به نحوه تغییرات پراکنش پوشش‌های اراضی مانند شهرها پی برد. در جدول ۲ مشخصات سنجه‌ها نمایش داده شده است (۱۲).

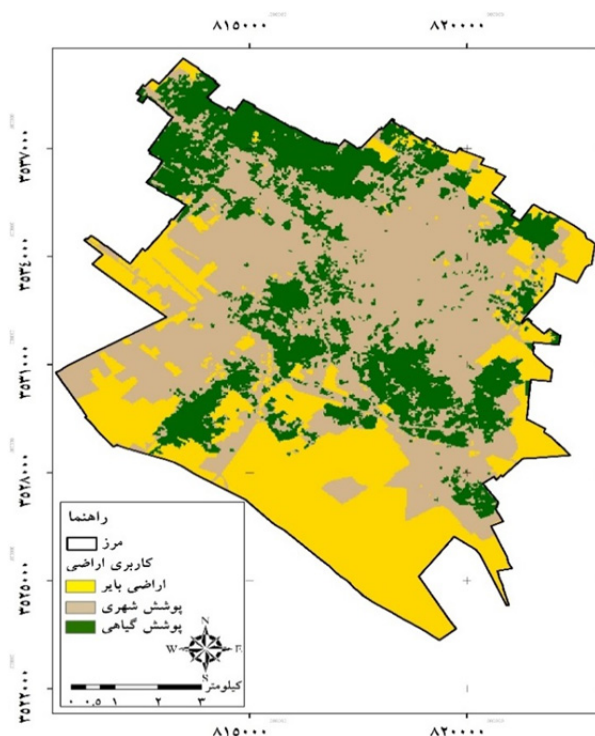
به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌های لندست مربوط به سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۷ از نرم‌افزار Erdas به شیوه طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است. نقشه‌های پوشش اراضی در سه طبقه اراضی بایر (زمینی که رها شده و فاقد پوشش گیاهی و زیرساخت‌های شهری)، پوشش گیاهی (تمامی اراضی کشاورزی، باغات، فضا‌های سبز و پارک‌ها) و پوشش شهری (کاربری‌های مسکونی، تجاری و زیرساخت شهری)، با روش حداکثر احتمال تهیه شدند. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی انجام‌شده، نتایج حاصل با تصاویر Google Earth تطبیق و موردبررسی قرار گرفت. ضریب کاپا و صحت کلی تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۸۱، ۹۰ درصد و سال ۱۳۷۰ ۰/۸۳، ۹۶ درصد به دست آمد. نقشه‌های پوشش کاربری اراضی در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است. با استفاده از نرم‌افزار Fragstats سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح طبقه و سیمای سرزمین با استفاده از دو تکنیک بدون نمونه‌برداری و تکنیک پنجره متحرک محاسبه شد (۱۲). در مطالعه حاضر، مجموعه‌ای از سنجه‌ها انتخاب و مورداندازه‌گیری قرار گرفتند. انتخاب سنجه‌های مناسب به هدف مطالعه، خصوصیات سیمای سرزمین و ویژگی فرایندهای اکولوژیکی وابسته است. سنجه‌های سیمای سرزمین را می‌توان در چهار سطح، سلول، لکه (تنها برای لکه‌های منفرد تعریف‌شده)، طبقه (منظور از طبقه، همه لکه‌هایی که یک نوع کاربری را نشان می‌دهند) و سیمای سرزمین (همه نوع طبقه‌ها و لکه‌های موجود در سیمای سرزمین را به‌صورت یکپارچه شامل می‌شود) دسته‌بندی کرد (۱۲). در این مطالعه از سنجه‌ها در دو سطح طبقه و سیمای سرزمین استفاده شد.

سنجه CA (سنجه مساحت طبقه) و PLAND (سنجه درصد مساحت طبقه) برای سنجش وضعیت ترکیب سیمای سرزمین بکار می‌روند و نشان می‌دهند چه مقدار از سیمای سرزمین از یک نوع لکه خاص تشکیل شده است.

جدول ۲. سنجش‌های استفاده‌شده در تحلیل سیمای سرزمین شهر یزد

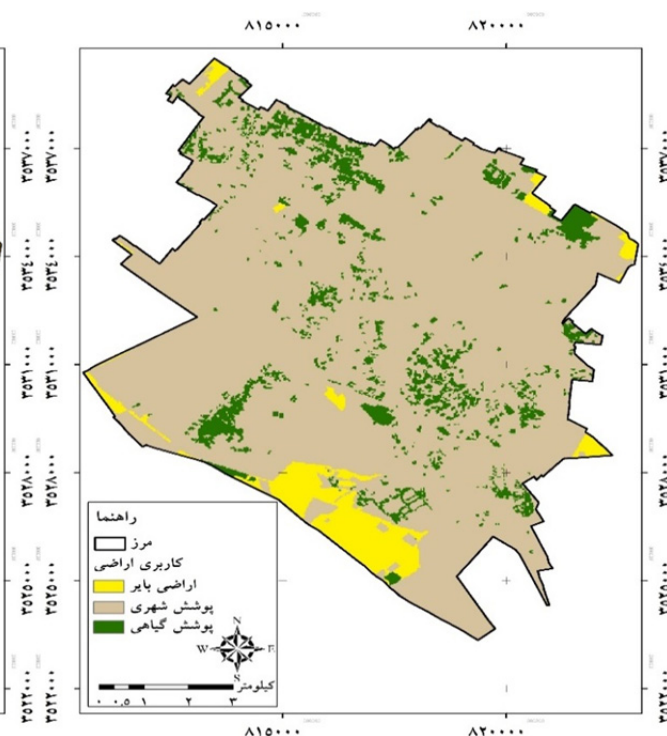
Table 2. Landscape metrics utilized for landscape pattern characterization

دامنه Range	واحد Unit	علامت اختصاری Abbreviation	سنجه Metric
CA>0	هکتار	CA	مساحت لکه Class area
0< PLAND≤100	درصد	PLAND	درصد مساحت طبقه Percentage of landscape
AREA_AM>0	هکتار	AREA_AM	میانگین اندازه لکه Patch area mean
LSI ≥ 1	ندارد	LSI	شاخص شکل سیمای سرزمین Landscape shape index
NP ≥ 1	ندارد	NP	تعداد لکه Number of patches
GYRATE ≥ 0	متر	GYRATE_AM	فشرده‌گی لکه‌ها Radius of gyration
ENN > 0	متر	ENN_AM	نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی Euclidean nearest neighbour distance
0 < CONTAG ≤ 100	متر	CONTAG	پیوستگی سیمای سرزمین Contagion landscape metrics



شکل ۳. نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۷

Fig. 3. Land coverage map of Yazd in 2018



شکل ۲. نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۷۰

Fig. 2. Land coverage map of Yazd in 1991

نتایج

سطح متعلق به کاربری پوشش شهری با ۴۳۴۶/۸۲ هکتار و نرخ سالیانه ۱۶۰/۹۹ هکتار در سال است. مساحت طبقه پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۰، ۲۶۴۹ هکتار که در سال ۱۳۹۷ به ۹۸۱ هکتار رسیده است، حدود ۱۶۶۸ هکتار از سطح این طبقه کاهش یافته است (جدول ۳).

شاخص مکانی مساحت کل در دوره مطالعه مساحت کاربری‌های پوشش گیاهی و اراضی بایر کاهش و کاربری پوشش شهری افزایش یافته است. اراضی بایر با نرخ سالیانه ۹۹/۲۳ هکتار و در مجموع با ۲۶۷۹/۳ هکتار بیشترین کاهش سطح را در دوره مطالعه داشته است. همچنین بیشترین افزایش

جدول ۳. مساحت و تغییرات هر یک از کاربری‌ها در طول دوره زمانی
Table 3. Temporal changes for different land use during times period

نوع کاربری اراضی	سال ۱۳۷۰	سال ۱۳۹۷	تغییرات سطح	درصد تغییرات	نرخ سالیانه
اراضی بایر Barren land	۳۳۳۳/۸۷	۶۵۴/۵۷	-۲۶۷۹/۳	-۸۰/۴	-۹۹/۲۳
پوشش گیاهی Vegetation	۲۶۴۸/۹۷	۹۸۱/۳۶	-۱۶۶۷/۶۱	-۶۳	-۶۱/۷۶
پوشش شهری Built-up	۴۸۴۰/۰۲	۹۱۸۶/۸۴	۴۳۴۶/۸۲	+۸۹/۸۱	+۱۶۰/۹۹

در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۴۰۹۲/۶ و ۹۰۳۰/۵ بوده است. در سال ۱۳۷۰ فشردگی اراضی بایر ۱۳۲۴/۷ متر بوده و در سال ۱۳۹۷ این فاصله به ۸۲۰ متر رسیده که بیانگر کاهش فشردگی این نوع لکه است. بر اساس نتایج میانگین فاصله اقلیدسی، مقدار این سنجه برای پوشش شهری کاهش محسوسی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ داشته است به طوری که از ۶۴ متر در سال ۱۳۷۰ به ۶۰ متر در سال ۱۳۹۷ رسیده است. در مقابل میانگین فاصله از لکه‌های هم نوع در اراضی بایر و پوشش گیاهی افزایش یافته است. بر اساس نتایج سنجه فشردگی، در هر دو مقطع زمانی بیشترین مقدار این سنجه متعلق به کاربری پوشش شهری است و کمترین مقدار مربوط به پوشش گیاهی است.

تغییرات پوشش زمین در سطح طبقه - شهر یزد نتایج محاسبه سنجه درصد مساحت طبقه نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات منفی را اراضی بایر داشته است و از ۳۰/۸ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۶ درصد در سال ۱۳۹۷ کاهش پیدا کرده است. بیشترین تغییرات مثبت متعلق به پوشش شهری است به طوری که از ۴۴/۷ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۸۴/۹ درصد افزایش یافته است. در طول سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷، تعداد لکه‌های اراضی بایر و پوشش شهری کاهش یافته‌اند، در حالی که تعداد لکه‌های پوشش گیاهی از ۲۴۹ لکه در سال ۱۳۷۰ به ۴۳۳ لکه در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است (جدول ۴). بر اساس نتایج محاسبه سنجه متوسط اندازه لکه (جدول ۴)، بزرگ‌ترین متوسط اندازه لکه متعلق به پوشش شهری است که

جدول ۴. نتایج محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح طبقه

Table 4. The result of calculating landscape in class level

ENN_AM	GYRATE_AM	AREA_AM	NP	PLAND	کاربری	سال
۶۸/۵۸	۱۳۲۴/۷	۱۰۴۵	۱۱۷	۳۰/۸	بایر	
۶۳/۸۸	۹۸۳/۴۴	۴۲۷/۶۴	۲۴۹	۲۴/۴۷	پوشش گیاهی	۱۳۷۰
۶۴/۲۱	۳۰۳۶/۴	۴۰۹۲/۶	۱۷۳	۴۴/۷۲	پوشش شهری	
۴۳۴/۷	۸۱۹/۵۹	۳۰۸/۴	۵۳	۶	بایر	
۸۷/۴۹	۲۵۹/۲۷	۳۱/۴۲	۴۳۳	۹	پوشش گیاهی	۱۳۹۷
۶۰/۱۷	۳۹۳۷/۸	۹۰۳۰/۵	۶۰	۸۴/۹	پوشش شهری	

روند افزایشی داشته است. نزدیک‌ترین فاصله همسایگی اقلیدسی در سال ۱۳۷۰، ۶۵/۵ متر که در سال ۱۳۹۷ به ۸۵ متر رسیده است، این نتایج بیانگر آن است که افزایش لکه‌های انسان‌ساخت در یک سیمای سرزمین فاصله بین لکه‌های طبیعی را افزایش می‌دهد. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ سنجه سرایت افزایش یافته که نشان می‌دهد اتصال لکه‌های شهری در طی این ۲۷ سال افزایش یافته است زیرا لکه‌های شهری رشد و توسعه یافته‌اند. به‌طور کلی طی دوره مورد مطالعه در شهر یزد، برنامه ریزان با افزایش تعداد لکه‌ها، افزایش میانگین اندازه سیمای سرزمین، کاهش فشردگی، کاهش پیوستگی و اتصال بین لکه‌ها که نشان‌دهنده خردشدگی سیمای سرزمین است، مواجه هستند.

تغییرات پوشش زمین در سطح سیمای سرزمین- شهر یزد جدول ۵ نتایج محاسبه سنجه‌های تعداد لکه، متوسط اندازه لکه، فشردگی لکه، نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی و پیوستگی را در سطح سیمای سرزمین نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تعداد لکه در سطح سیمای سرزمین از ۵۳۹ در سال ۱۳۷۰ به ۵۴۹ لکه در سال ۱۳۹۷ رسیده است که نشان‌دهنده روند اختلال و تغییر سیمای سرزمین در طول مدت مطالعه است. افزایش میانگین اندازه لکه‌های سیمای سرزمین نشان‌دهنده روند افزایش سطح نفوذناپذیر و یکپارچگی لکه‌های انسان‌ساخت است که منجر به توقف فرایندهای طبیعی و در نتیجه مورد تهدید قرار گرفتن تنوع زیستی شده است. سنجه میانگین فاصله هر سلول در لکه با مرکز ثقل در سطح سیمای سرزمین نیز

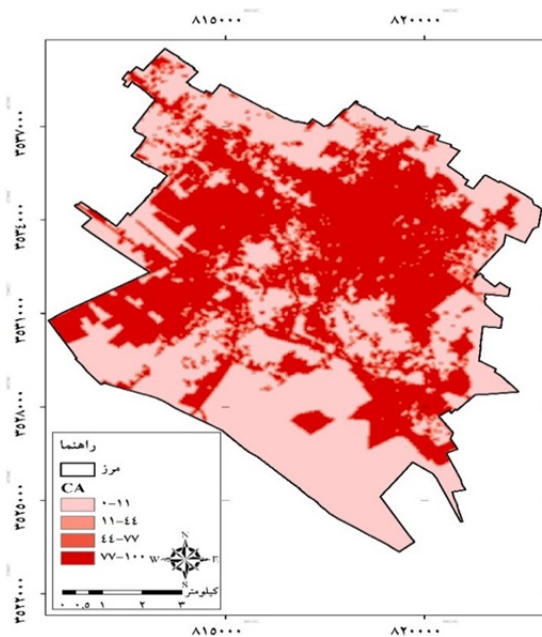
جدول ۵. وضعیت سنجه‌ها در سطح سیمای سرزمین

Table 5. Changes of landscape-level metrics

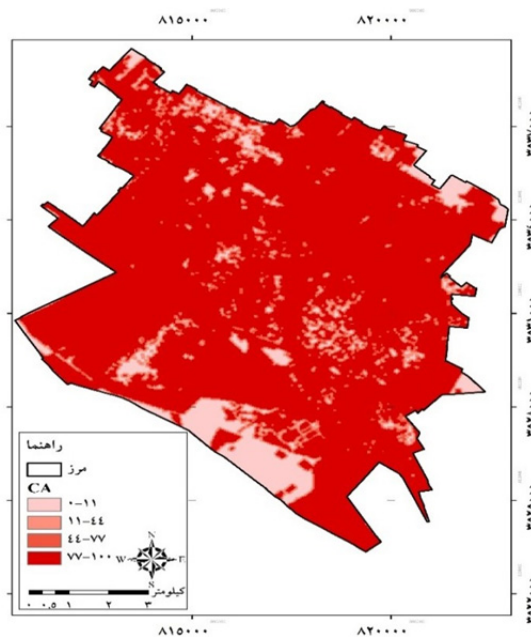
CONTAG	ENN_AM	GYRATE_AM	AREA_AM	NP	سال
۳۷	۶۵/۵	۲۰۰۷	۲۲۵۷	۵۳۹	۱۳۷۰
۶۶/۵	۸۵/۳	۳۴۱۶	۷۶۸۷	۵۴۹	۱۳۹۷
۲۹/۷	۱۹/۸	۱۴۰۹	۵۴۳۰	۷	تغییرات (۱۳۷۰-۱۳۹۷)

۱۳۷۰ ۴۲ درصد مساحت شهر در کمترین نسبت مساحت ساخت‌وساز بین ۰ تا ۱۱ و ۳۹ درصد مساحت در بالاترین نسبت مساحت ساخت‌وساز بین ۷۷ تا ۱۰۰ قرار داشته است. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

بررسی تغییرات ترکیب و توزیع فضایی لکه‌های پوشش شهری با استفاده از تکنیک پنجره متحرک نتایج سنجه CA در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد تقریباً ۹۲ درصد مساحت شهر در کمترین نسبت مساحت پوشش شهری بین ۷۷ تا ۱۰۰ قرار گرفته است. این در حالی است که در سال



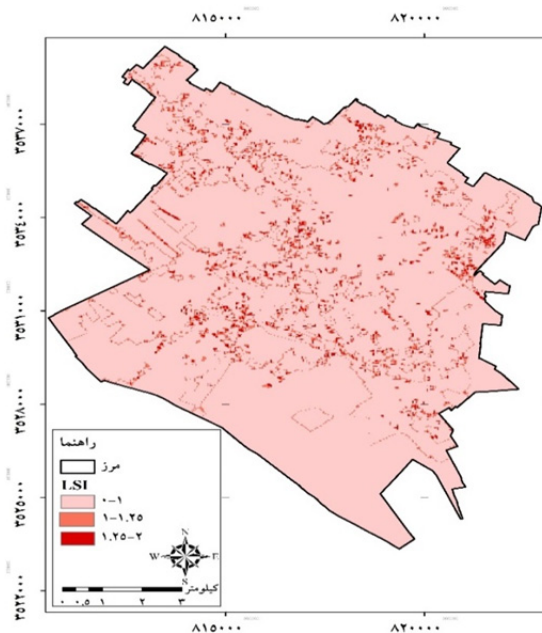
شکل ۵. نقشه وضعیت سنجه CA ساخت و ساز در سال ۱۳۹۷
Fig. 5. CA of Built-up patches-Yazd 2018



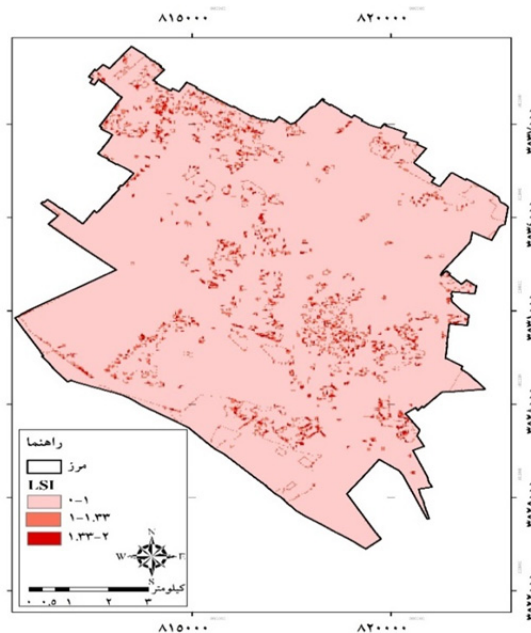
شکل ۴. نقشه وضعیت سنجه CA ساخت و ساز در سال ۱۳۷۰
Fig. 4. CA of Built-up patches-Yazd 1991

سیمای پوشش شهری طی مدت ۲۷ سال یکپارچه‌تر و فشرده‌تر شده است. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است.

کمیت سنجه شکل سیمای سرزمین LSI پوشش شهری باگذشت زمان به ترتیب ۲۰/۱۴ و ۱۲/۴۰ بوده است و روند کاهشی را طی کرده است. با توجه به شکل ۶ و ۷ شکل



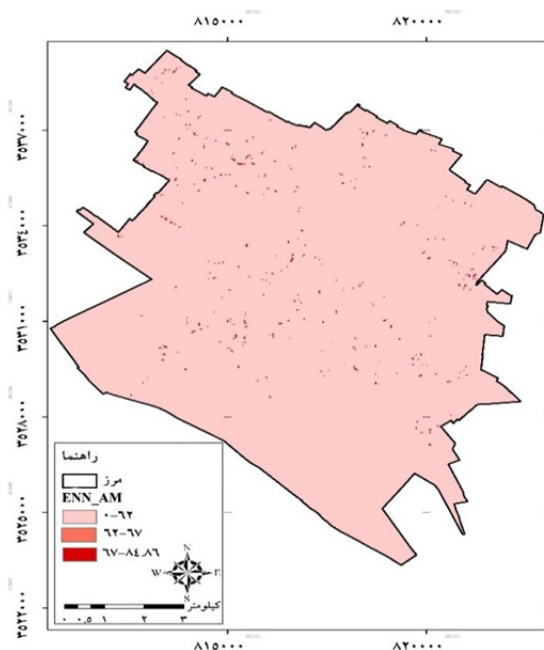
شکل ۷. نقشه وضعیت سنجه LSI ساخت و ساز در سال ۱۳۹۷
Fig. 7. LSI of Built-up patches-Yazd 2018



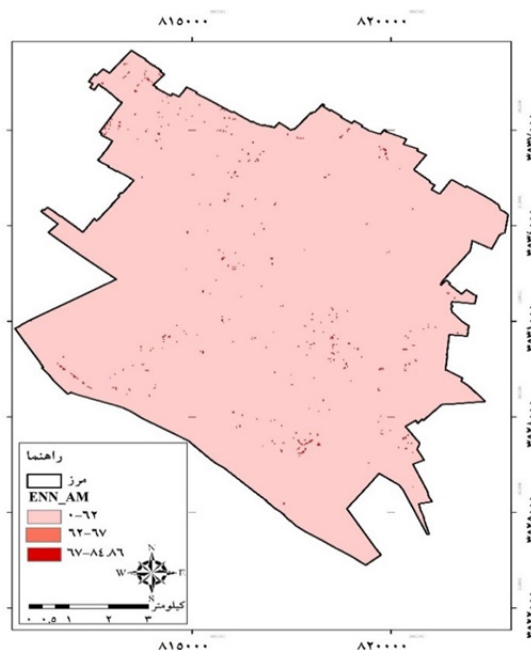
شکل ۶. نقشه وضعیت سنجه LSI ساخت و ساز در سال ۱۳۷۰
Fig. 6. LSI of Built-up patches-Yazd 1991

در اکثر محدوده شهر یزد کم است و این مناطق به هم فشرده‌اند. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است.

بررسی وضعیت سنجه فاصله همسایگی ENN_AM بین لکه‌های ساخت‌وساز با توجه به نقشه نشان می‌دهد که در شهر یزد، متوسط فاصله بین لکه‌های پوشش شهری مجاور تقریباً کمتر از ۶۲ متر است؛ یعنی فاصله بین لکه‌های پوشش شهری



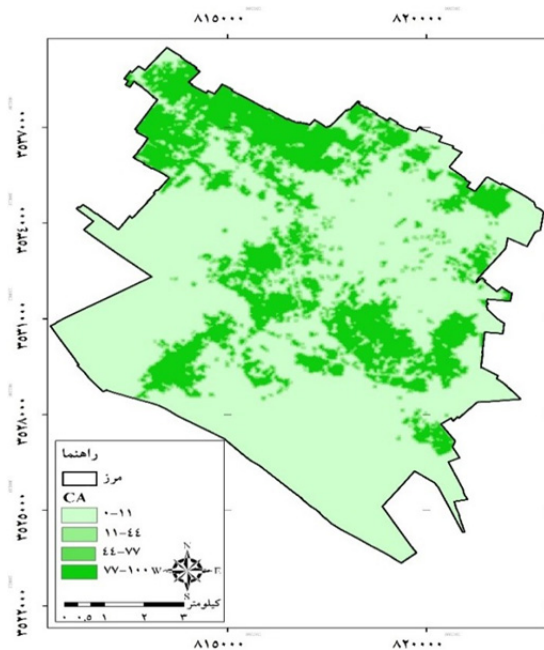
شکل ۹. نقشه وضعیت سنجه ENN_AM ساخت‌وساز در سال ۱۳۹۷
Fig. 9. ENN_AM of Built-up patches-Yazd 2018



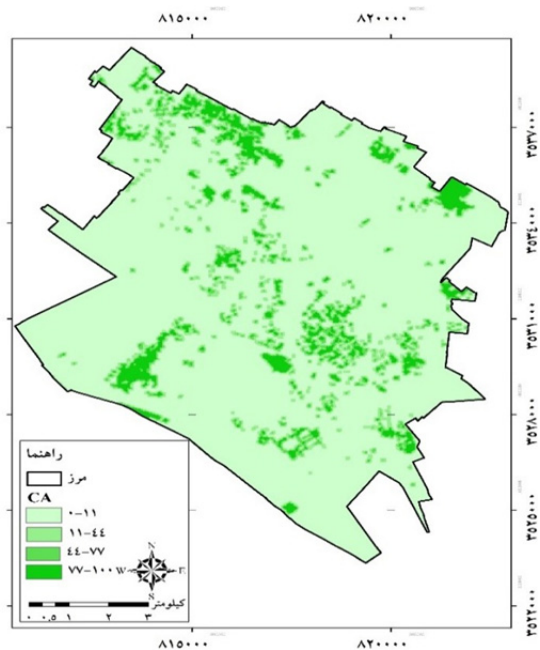
شکل ۸. نقشه وضعیت سنجه ENN_AM ساخت‌وساز در سال ۱۳۷۰
Fig. 8. ENN_AM of Built-up patches-Yazd 1991

در حالی است که در سال ۱۳۷۰ تقریباً ۲۰ درصد مساحت شهر در حداکثر مساحت بین ۷۷ تا ۱۰۰ قرار گرفته است که نشان‌دهنده کاهش پوشش گیاهی طی این سه دهه است. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

بررسی تغییرات ترکیب و توزیع فضایی لکه‌های پوشش گیاهی در شهر یزد با استفاده از تکنیک پنجره متحرک پهنه‌بندی سنجه CA پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، تقریباً ۵ درصد مساحت شهر در بالاترین نسبت مساحت فضای سبز بین ۷۷ تا ۱۰۰ درصد قرار گرفته است. این



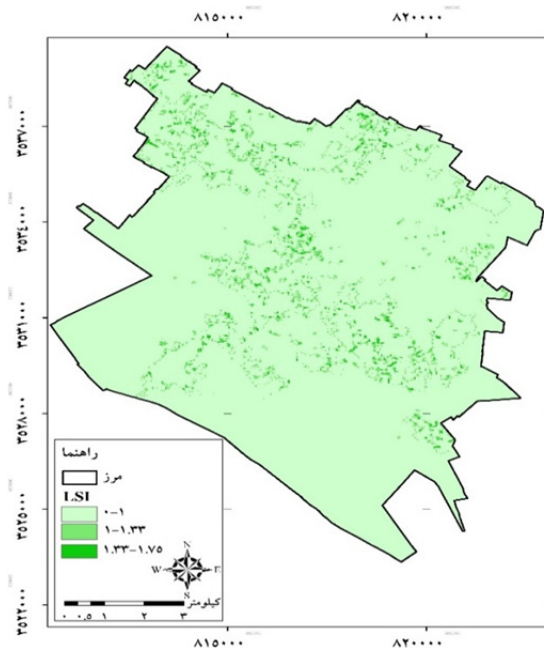
شکل ۱۱. نقشه وضعیت سنجه CA پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۷
Fig. 11. CA of green patches-Yazd 2018



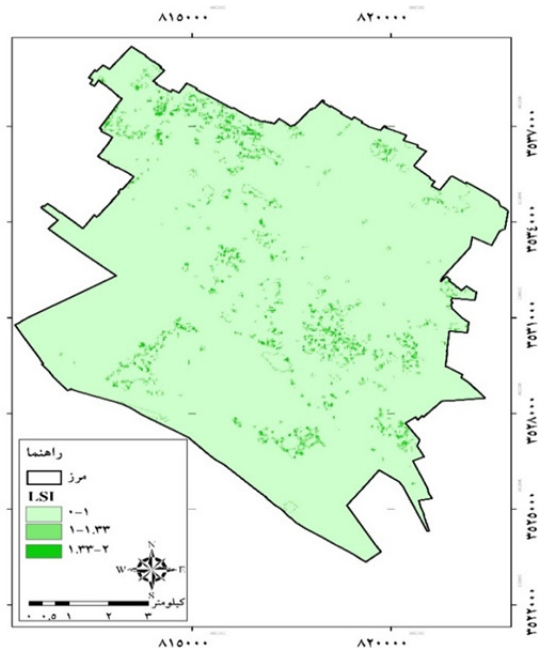
شکل ۱۰. نقشه وضعیت سنجه CA پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۰
Fig. 10. CA of green patches-Yazd 1991

بیشترین شکل سیمای پوشش گیاهی بین ۰-۱ قرار گرفته است که نشان‌دهنده کاهش لکه‌های پوشش گیاهی در سیمای سرزمین شهر یزد است. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.

کمیت سنجه شکل سیمای سرزمین LSI پوشش شهری در کلاس پوشش گیاهی از ۲۲ در سال ۱۳۷۰ به ۳۰ در سال ۱۳۹۷ رسیده که روند افزایشی داشته است. با توجه به نقشه‌ها بررسی وضعیت سنجه LSI نشان می‌دهد که در شهر یزد،



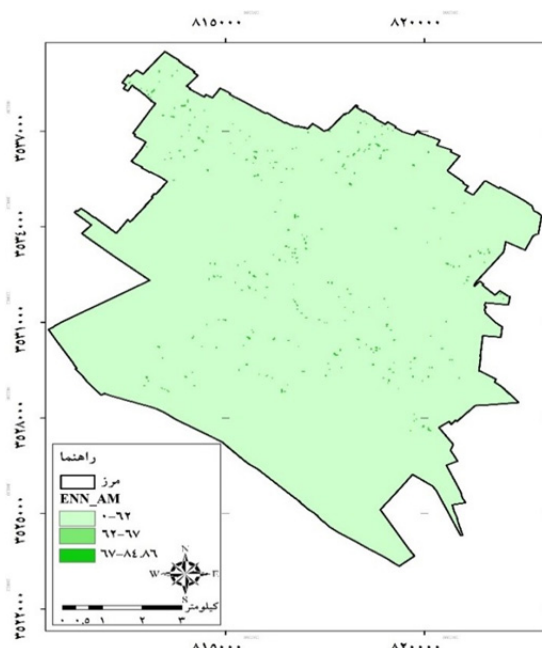
شکل ۱۳. نقشه وضعیت سنجه LSI پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۷
Fig. 13. LSI of green patches-Yazd 2018



شکل ۱۲. نقشه وضعیت سنجه LSI پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۰
Fig. 12. LSI of green patches-Yazd 1991

نتیجه گرفت فاصله بین لکه‌های پوشش گیاهی کم است و لکه‌ها در مجاور یکدیگر قرار دارند و پراکنده نیستند. نقشه‌های این سنجه در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ آورده شده است.

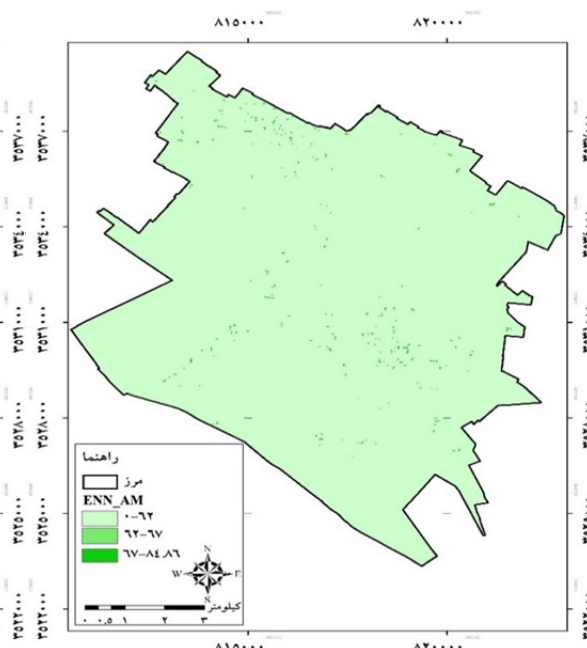
وضعیت سنجه ENN_AM پوشش گیاهی در طی این ۲۷ سال تقریباً کل گستره مطالعاتی فاصله نزدیک‌ترین لکه‌های فضای سبز در طبقه بین ۰ تا ۶۲ متر است، بنابراین می‌توان



شکل ۱۵. نقشه وضعیت سنجه ENN-AM پوشش گیاهی در سال

۱۳۹۷

Fig. 15. ENN-AM of green patches-Yazd 2018



شکل ۱۴. نقشه وضعیت سنجه ENN-AM پوشش گیاهی در سال

۱۳۷۰

Fig. 14. ENN-AM of green patches-Yazd 1991

دو کاربری اراضی بایر و پوشش شهری به ترتیب ۵۵ و ۶۵ درصد کاهش یافته‌اند، تعداد لکه‌های پوشش گیاهی در طی دوره مطالعاتی با روند افزایشی ۷۳/۹ درصد روبه‌رو است. افزایش تعداد لکه‌ها نشانه تجزیه و کاهش پیوستگی است؛ بنابراین با توجه به این سنجه طبقه پوشش گیاهی خرد دانه و تکه‌تکه شده است. تغییر کاربری‌های کشاورزی و باغداری به مناطق مسکونی، تجاری و زیرساخت‌های شهری باعث ازهم‌گسیختگی لکه‌های پوشش گیاهی شده است. طبقه با متوسط اندازه لکه کوچک‌تر، تخریب‌شده‌تر تلقی می‌شود. با توجه به نتایج، بیشترین روند افزایشی ۱۲۰/۷ درصدی در طبقه پوشش شهری است درحالی‌که پوشش گیاهی ۹۲/۷ درصد کاهش یافته است. افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به روند تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در مقیاس طبقه (جدول ۶) درصد مساحت کلاس اراضی بایر به میزان ۸۰/۳۷ کاهش یافته، درحالی‌که پوشش شهری با روند افزایشی ۸۹/۸۱ درصدی روبه‌رو بوده است. از سوی دیگر، وسعت پوشش گیاهی به میزان ۶۲/۹۵ درصد کاهش یافته است. کاهش وسعت پوشش گیاهی و روند افزایشی پوشش شهری بیانگر جایگزینی و تبدیل پوشش طبیعی منطقه به زیرساخت‌های شهری است. نتایج حاصل از بررسی سنجه مساحت در مقیاس طبقه نشان می‌دهد که تحت تأثیر افزایش جمعیت شهر یزد، بیشترین مساحت تشکیل‌دهنده شهر در طی دوره مطالعه مربوط به طبقه پوشش شهری است. تعداد لکه در

نشان‌دهنده آثار مخرب فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست است؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده بیانگر روند درحال‌توسعه تخریب ساختار سیمای سرزمین در منطقه، به دلیل سوء مدیریت و عدم برنامه‌ریزی‌های طولانی‌مدت برای دستیابی به پایداری شهری است.

نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد سنجه‌های مورد‌استفاده در تحقیق بیانگر کارایی سنجه‌ها در بررسی و تحلیل تغییرات سیمای سرزمین است که با یافته‌های مطالعات داسگاپتا و همکاران (۴)، جعفری و همکاران (۵)، لینه و همکاران (۹)، لئو و ونگ (۱۰)، شا و تیان (۱۶)، ستوده و پریور (۱۷)، وو و همکاران (۲۲) که ازهم‌گسیختگی و روند تخریب سیمای سرزمین و همچنین کاهش مساحت اراضی کشاورزی و باغات و تبدیل‌شدن این کاربری‌ها به سطوح غیرقابل نفوذ را اذعان کرده‌اند، مطابقت دارد. همان‌طور که مشخص شد رشد شهرنشینی، ساختار و عملکرد الگوهای سیمای سرزمین را تغییر داده که سبب تغییر در ارائه خدمات اکوسیستم شهری و پیامدهای منفی برای ساکنان شهری می‌شود.

مساحت نشان از تخریب و ازهم‌گسیختگی پوشش گیاهی است که در اثر افزایش ساخت‌وساز و تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر است. شاخص میانگین فاصله هر سلول در لکه با مرکز ثقل در دو کلاس اراضی بایر و پوشش گیاهی به ترتیب ۳۸/۱۳ و ۷۳/۶ روند کاهش و بیشترین کاهش مربوط به طبقه پوشش گیاهی است که نشان‌دهنده کاهش فشردگی این لکه‌ها است. کلاس پوشش شهری در این شاخص ۲۹/۶۸ افزایش‌یافته است. متریک نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی لکه‌ها میزان تکه‌تکه‌شدگی لکه‌ها در یک طبقه را نشان می‌دهد که بیشترین روند این متریک ۵۳۳/۸ مربوط به اراضی بایر است و کلاس پوشش شهری روند کاهشی در طول دوره مطالعه داشته که مفهوم آن این است که اراضی بایر نسبت به سایر طبقات یکپارچگی کمتری داشته‌اند. با بررسی سنجه‌های مختلف در مقیاس کلاس به‌طورکلی سیمای سرزمین در طبقه اراضی بایر و پوشش گیاهی در حال خرد شدن و گسستگی بیشتر در طی دوره زمانی موردبررسی است. درحالی‌که پوشش شهری در طی این مدت یکپارچه‌تر و مساحت بیشتری را در بر گرفته است که

جدول ۶. درصد تغییرات افزایش‌یابنده (+) و کاهش‌یابنده (-) سنجه‌های سیمای سرزمین

Table 6. Percentage of incremental (+) and reduction (-) changes of the landscape metrics

طبقه سرزمین	سنجه‌های سیمای سرزمین	اراضی بایر	پوشش گیاهی	پوشش شهری
	PLAND	-۸۰/۳۷	-۶۲/۹۵	+۸۹/۸۱
	NP	-۵۴/۷	+۷۳/۹	-۶۵/۳
درصد تغییرات	AREA_AM	-۷۰/۵	-۹۲/۷	+۱۲۰/۷
متریک‌های سرزمین	GYRATE_AM	-۳۸/۱۳	-۷۳/۶	+۲۹/۶۸
	ENN_AM	+۵۳۳/۸	+۳۶/۹۷	-۶/۳

موردنیاز شهروندان اشاره کرد. شهر یزد ۵۴/۵۴ درصد از جمعیت شهرنشین و رتبه نخست توسعه شهری در استان را دارد و با توجه به امکانات و تسهیلات موجود در این شهر، جمعیت مهاجر روستایی و همچنین شهرهای توسعه‌نیافته استان را در خود متمرکز کرده است. رشد و توسعه شهرنشینی و به دنبال آن رشد و توسعه کالبدی شهرها مسائلی را در

امروزه شهرها با سونامی افزایش جمعیت روبه‌رو هستند که این امر باعث توسعه فیزیکی شهرها و تغییر الگوی رشد شهرها می‌گردد. توسعه فیزیکی شهرها جدای از مزیت تأمین مسکن و سایر نیازهای انسانی، در طولانی‌مدت اثر منفی و جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست انسانی و طبیعی می‌گذارد. ازجمله آثار منفی توسعه شهری می‌توان به آلودگی خاک، هوا و آب، از بین رفتن اراضی کشاورزی، کاهش فضای سبز

References

1. Arekhi S, Komaki B. 2015. Detecting and Assessing Desertification using Landscape Metrics in GIS Environment (Case Study: Ain-e-khosh Region, Iran). *Environmental Resources Research*, 3(2): 122-138. doi:https://dx.doi.org/10.22069/ijerr.2015.2709.
2. Armour T, Armour S, Hargrave J, Revell T. 2014. *Cities alive: Rethinking green infrastructure*. Arup: London, UK, 1-15.
3. Baker LA, Brazel A, Westerhoff P. 2004. Environmental consequences of rapid urbanization in warm, arid lands: case study of Phoenix, Arizona (USA). *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 72: 155-164. doi:https://dx.doi.org/10.2495/SC040701.
4. Dasgupta A, Kumar U, Ramachandra T. 2009. Urban Landscape analysis through spatial metrics. In: *Proceedings of International Conference on Infrastructure, Sustainable Transportation and Urban Planning*, (CISTUP@ CiSTUP), Indian Institute of Science, Bangalore, India, 18-20 October. pp 18-20.
5. Jaafari S, Sakieh Y, Shabani AA, Danekar A, Nazarisamani A. 2016. Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment, Development and Sustainability*, 18(6): 1701-1717. doi:10.1007/s10668-015-9712-4.
6. Laforteza R, Corry RC, Sanesi G, Brown RD. 2008. Visual preference and ecological assessments for designed alternative brownfield rehabilitations. *Journal of Environmental Management*, 89(3): 257-269. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.063.
7. Li H, Chen W, He W. 2015. Planning of green space ecological network in urban areas: an example of Nanchang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10): 12889-12904. doi:https://doi.org/10.3390/ijerph121012889.
8. Li H, Peng J, Yanxu L, Yi'na H. 2017. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective. *Ecological Indicators*, 82: 50-60. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.032.
9. Linh N, Erasmis S, Kappas M. 2012. Quantifying land use/cover change and landscape fragmentation in Danang City, Vietnam: 1979-2009. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B8, 2012, XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, 501-506.
10. Liu H, Weng Q. 2013. Landscape metrics for analysing urbanization-induced land use and land cover changes. *Geocarto International*, 28(7): 582-593. doi:https://doi.org/10.1080/10106049.2012.752530.

شهرها به وجود می‌آورند که نه تنها ساکنین، بلکه محیط‌زیست آن را تحت تأثیر عوارض ناشی از آن قرار می‌دهند.

با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که افزایش رشد جمعیت و شهرنشینی در منطقه طی دوره موردبررسی باعث شده مساحت لکه‌های انسان‌ساخت در این فاصله افزایش یابد. با رشد و توسعه شهرها، درصد اراضی بدون پوشش کاسته شده است. همچنین مساحت لکه‌های پوشش گیاهی و بایر تغییرات زیادی کرده و افزون بر این، سبب نابودی و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و باغات در محدوده شهری شده است؛ که دلیلی بر ریزدانه شدن ساختار سیمای سرزمین و تغییر ترکیب و توزیع سیمای سرزمین شهری است. افزایش لکه‌ها و افزایش فاصله بین آن سبب افزایش اتصال و پیوند بین لکه‌های شهری شده است؛ بنابراین با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان گفت که ترکیب و شکل سیمای سرزمین در یزد به شدت تغییر یافته است و طی دوره موردبررسی تخریب و تبدیل پوشش اراضی روند افزایشی داشته است؛ بنابراین تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین بیانگر آثار فعالیت‌های انسانی بر تغییر سیمای سرزمین است، از این رو برای جلوگیری از تخریب بیشتر محیط‌زیست و کاهش کیفیت آن لازم است برنامه‌های پایش و ارزیابی الگوهای پراکنش کاربری اراضی به‌طور مداوم اندازه‌گیری شوند تا بتوانند به‌عنوان راهنمایی برای ارزیابی وضعیت موجود اکوسیستم شهری برای آگاهی از وضعیت موجود کاربردی باشند. از نتایج به‌دست‌آمده از بررسی روند تغییرات سیمای سرزمین می‌توان در راستای سیاست‌های مرتبط با کاربری سرزمین، در پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در آینده، همچنین در برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه در منطقه به‌منظور بهره‌برداری مناسب و منطقی از منابع طبیعی و کاهش تخریب منابع استفاده کرد.

11. Manjarrez-Dominguez C, Pinedo-Alvarez A, Pinedo-Alvarez C, Villarreal-Guerrero F, Cortes-Palacios L. 2015. Vegetation landscape analysis due to land use changes on arid lands. *Polish Journal of Ecology*, 63(2): 167-174. doi:<https://doi.org/10.3161/15052249PJE2015.63.2.001>.
12. McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E. 2015. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. 2002. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
13. Ministry of Roads and Urban Development. 2018. Report of Master Plan of Yazd. Yazd, Available at the following web site: <https://yazd.mrud.ir>. (In Persian)
14. Pan T, Lu D, Zhang C, Chen X, Shao H, Kuang W, Chi W, Liu Z, Du G, Cao L. 2017. Urban land-cover dynamics in arid China based on high-resolution urban land mapping products. *Remote Sensing*, 9(7): 730. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9070730>.
15. Sertel E, Topaloğlu RH, Şallı B, Yay Algan I, Aksu GA. 2018. Comparison of landscape metrics for three different level land cover/land use maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10): 408. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi7100408>.
16. Sha M, Tian G. 2010. An analysis of spatiotemporal changes of urban landscape pattern in Phoenix metropolitan region. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 600-604. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.066>.
17. Sotoudeh A, Parivar P. 2016. Applying resilience thinking to select more sustainable urban development scenarios in Shiraz, Iran. *Scientia Iranica Transaction A, Civil Engineering*, 23(5): 1975. doi:<https://dx.doi.org/10.24200/sci.2016.2264>.
18. Sun B, Zhou Q. 2016. Expressing the spatio-temporal pattern of farmland change in arid lands using landscape metrics. *Journal of Arid Environments*, 124: 118-127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.007>.
19. Tao P, Lu D, Zhang C, Chen X, Shao H, Kuang W, Chi W, Liu Z, Du G, Cao L. 2017. Urban land-cover dynamics in arid China based on high-resolution urban land mapping products. *Remote Sensing*, 9(7): 730. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9070730>.
20. Weng Y-C. 2007. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 81(4): 341-353. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.009>.
21. Wu J, He C, Huang G, Yu D. 2013. Urban Landscape Ecology: Past, Present, and Future. In: Fu B, Jones KB (eds) *Landscape Ecology for Sustainable Environment and Culture*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 37-53. https://doi.org/10.1007/978-1094-1007-6530-1006_1003.
22. Wu J, Jenerette GD, Buyantuyev A, Redman CL. 2011. Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8(1): 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.03.002>.
23. Yavari A, Sotoudeh A, Pari VP. 2007. Urban environmental quality and landscape structure in arid mountain environment. *International Journal of Environmental Research (IJER)*, 1(4): 325-340. doi:<https://doi.org/10.22059/IJER.2010.144>.
24. Zhang F, Tashpolat T, Kung H-t, Ding J. 2010. The change of land use/cover and characteristics of landscape pattern in arid areas oasis: an application in Jinghe, Xinjiang. *Geo-spatial Information Science*, 13(3): 174-185. doi:<https://doi.org/10.1007/s11806-010-0322-x>.



Remote sensing application for urban landscape assessment in arid regions (Case study: Yazd city, Iran)

Mahdieh Abolhassani, Ahad Sotoudeh, Parasto Parivar

Received: 5 June 2020 / Accepted: 29 July 2020
Available online 24 August 2020

Abstract

Background and Objective Population growth and urbanization have caused many changes in land use and land cover that has been greatly affected by the structure, function and service of the ecosystem. Since 2008, more than half of the world's population has lived in urban areas, which, according to the United Nations, 80 percent of the world's population will be urban by 2050, and this continuous increase will lead to the rapid expansion of urban areas. Most of these cities are located in developing countries, especially in Asia and Africa, where a considerable part of them are arid and semi-arid countries. Estimates show that 85 percent of total Iran's lands are under arid and semiarid conditions climate. Arid areas with dry climate, poor vegetation, lack of water, limited rainfall and very fragile environment are identified. These characteristics cause the vulnerability of urban ecosystems. Considering that the function and performance of the environment depended on the composition and distribution of their structural elements, to better understand the dynamics of land, it is necessary to study the changes in spatial patterns. Information on land use changes over time can predict future changes and also be used to identify land a

principled and sustainable design and planning, also to determine the improper process of land change and prevent its spread. Landscape metrics can be used to identify this spatial pattern and it's change. Applicability of landscape metrics is for the Quantifying of the landscape change and also it's used for analysis and planning of land uses. Metrics is a useful tool for designing and finding exact relationships between the structure and function of landscape functions. Accordingly, this study has tried to study and measure changes in landscape structure of Yazd city by using landscape metrics for three decades in this region from destruction and fragmentation of natural patterns and help planners and policymakers for the orientation of sustainable urban development. The aim of this study is to quantify and measure changes in spatial patterns of land use in Yazd city by using landscape metrics in two levels of class and landscape during the period of 27 years. Also, the distribution and composition of spatial patterns of land use have been investigated in two levels of green and built-up patches that have a major role in ecosystem function.

Materials and Methods In this study, Landsat 5 at 1991 and Landsat 8 at 2017 satellite images have been used. After performing the necessary corrections on the satellite images, the classification was done using the maximum likelihood method. according to the diversity of vegetation in the area, three categories including bare land, vegetation and built-up were identified and classified.

M. Abolhasani¹, A. Sotoudeh², P. Parivar²

1. MSc. Graduated of Environmental Science, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran
2. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

e-mail: a.sotoudeh@yazd.ac.ir

In order to investigate the accuracy of classification, error matrix and statistical parameters of the kappa coefficient and overall accuracy were used. The kappa coefficient and overall accuracy of the classification images for 2017 and 1991 are 0.81, 90%, 0.83 96%, respectively. The Fragstats 4.1 software was used to calculate the landscape metrics. In the present study, according to the aim of the study, Class Area (CA), Number of patches (NP), Percentage of Landscape (PLAND), AREA, Radius of Gyration (GYRATE), Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN), and Contagion landscape metrics (CONTAGE) were selected and evaluated at the class and landscape level.

Results and Discussion In this research, by studying different metrics in the two scales of class and landscape, it was inferred that the landscape in open land and green spaces are being crushed and discrete over a period. While built-up has become more integrated and more expansive over the period, it shows the destructive effects of human activities on the environment. During the studied period, the highest increase in area to other classes belongs to the built-up class. In this study, the maximum number of patches is related to other classes of a green space class. The number of vegetation patches increased and the number of patches opens land and urban class decreased. The results of this metric along with area metrics show the phenomenon of fragmented in Yazd city. Changes in agricultural and gardening land use to residential areas cause disintegration of vegetation patches. The mean patch size of the built-up class has increased and in two vegetation and open land

decreased. It shows that the impervious area in the studied city has increased. The average distance metric of each cell in the patches with the center of gravity in two classes of open land and vegetation decreased and the largest reduction is in the green space class. The Euclidean nearest-neighbour distance metric of patches in all uses has been increased which is related to open land.

Conclusion The results of the study of metrics changes in the class area show that the built-up has increased by 4346.82 ha in the studied period. The reason for this is the increase in the population of Yazd city, which in 1991 and 2017 were 275298 and 529673 respectively. Therefore, more space is needed for the growth and expansion of the city, which causes the physical development of the construction. Due to the spatial expansion of the city, about 1667.61 ha of the agricultural lands and gardens in Yazd city has been destroyed and integrated into urban infrastructures. Increasing human infrastructure and activities without considering the capacity and ecological capability of this area can cause many environmental problems. Therefore, in order to prevent further degradation of the environment and reduce its quality. Monitoring and evaluation of land use patterns should be measured continuously so that they can be used as a guide to assess the current status of the urban ecosystem.

Keywords: Landscape, Landscape metrics, Spatial analysis, Dry regions