آمایش سرزمین
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۷
صفحات ۲۴۷– ۲۲۵

Print ISSN: 2008-7047
Online ISSN: 2423-6268
http://jtcp.ut.ac.ir

ارزیابی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر کرج)

فاطمه محمدیاری[۱*]، میرمهرداد میرسنجری[۲]، اردوان زرندیان[۳]

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست و منابع طبیعی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. استادیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست و منابع طبیعی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳. استادیار گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکدهٔ محیط زیست و توسعهٔ پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰)

چکیده

تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین، مهم‌ترین چالش توسعهٔ شهری است که مانع گسترش جریان مواد و انرژی در منطقه می‌شود. این تغییرات، ویژگی‌های بوم‌شناختی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ در نتیجه، شبکه‌های بوم‌شناختی به‌عنوان ابزارهایی برای برنامه‌ریزی حفاظت بررسی می‌شود. در این راستا، به‌منظور ارزیابی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین کلان‌شهر کرج از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ استفاده شد. طبقه‌بندی و تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی براساس پوشش سرزمین و با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان صورت گرفت. همچنین به‌منظور ارزیابی وضع موجود و روند تغییرِ ویژگی‌های ناهمگنی، پیوستگی و شبکهٔ ارتباطی- انزوایی در سال‌های گذشته از متریک‌های سیمای سرزمین استفاده شد. نتایج نشان داد روند تغییر معیارهای بررسی در منطقهٔ مطالعاتی مطلوب نیست. روند نامناسب تغییر معیارهای ناهمگنی فضایی سیمای سرزمین، پیوستگی لکه‌های هم‌نوع در سراسر سیمای سرزمین و بهینگی ارتباطی باعث کاهش عملکرد بوم‌شناختی و به‌دنبال آن، کاهش پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی می‌شود. همچنین با توجه به روند کاهشی متریک‌ها در لکه‌های سبز به‌ویژه سبز انسان‌ساخت و روند افزایشی متریک‌ها در لکه‌های ساخت‌وساز و لکه‌های باز، می‌توان به این نتیجه رسید که عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین و ویژگی‌های شبکهٔ بوم‌شناختی سیمای سرزمین سیر نزولی را دنبال می‌کند.

واژگان کلیدی

بوم‌شناسی سیمای سرزمین، تغییر کاربری اراضی، شبکه‌های بوم‌شناختی، متریک‌های سیمای سرزمین.

* نویسندهٔ مسئول، رایانامه: m.fatima.1364@gmail.com

مقدمه و بیان مسئله

از قرن بیستم، شهرها مهم‌ترین زیستگاه را برای انسان‌ها فراهم کردند (Su et al., 2011: 442) و به همین دلیل، شهرنشینی[1] به یکی از ویژگی‌های قابل توجه توسعهٔ اجتماعی تبدیل شده است (Zhao et al., 2016: 869). گسترش شهری[2] یک فرایند تغییر کاربری زمین است که زمین‌های غیرشهری را به زمین‌های شهری تبدیل می‌کند (He et al., 2016: 46) و باعث تغییر جمعیت، ساختار صنعتی و الگوهای سیمای سرزمین می‌شود (Zhang & Su 2016: 92).

نظارت بر تغییرات الگوی سیمای سرزمین، رویکردی غیرمستقیم برای توصیف پیامدهای بوم‌شناختی گسترش شهری است (Shrestha et al., 2012: 525)؛ به دلیل اینکه چنین تغییراتی بر فرایندها و عملکردهای محیط‌زیستی (Su et al., 2012: 297) تأثیر می‌گذارد. لذا بسیاری از محققان در مطالعات اخیر به تغییرات بوم‌شناسی سیمای سرزمین توجه زیادی نشان داده‌اند (Zang et al., 2017: 118). بوم‌شناسی سیمای سرزمین، علم و هنر مطالعه و بهبود رابطهٔ بین الگوی مکانی و فرایندهای محیط‌زیستی در بسیاری از مقیاس‌ها و سطوح سازمانی است (Jianguo, 2018). این علم در طول زمان متمرکز بر روابط بین الگوهای فضایی و فرایندهای بوم‌شناختی بوده است (Englund et al., 2017: 495). در واقع، شکل‌گرفتن بوم‌شناسی سیمای سرزمین براساس این تفکر بوده است که تغییر در الگوهای سیمای سرزمین به‌شدت ویژگی‌های بوم‌شناختی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شعبانی و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۸۸).

سه اصل پایه در مطالعات بوم‌شناسی، ساختار، عملکرد و تغییر سیمای سرزمین هستند (Botequilha & Ahren, 2002: 72). ساختار سیمای سرزمین (ترکیب، پیکربندی و اتصال) نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی و ارائهٔ خدمات اکوسیستمی ایفا می‌کند (Zhang & Gao, 2006: 42). این سه مفهوم کلی ابزاری برای مقایسه و تفسیر سرزمین‌هایی با سیماهای بسیار متفاوت پدید می‌آورند که خود ابزار برنامه‌ریزی و معماری سیمای سرزمین هستند؛ زیرا از طریق این الگوهای فضایی است که همهٔ حرکت‌ها، جریان‌ها و تغییرهای محیط کنترل می‌شود (آذری دهکردی، ۱۳۸۶: ۱۶).

با افزایش جمعیت، برخی از کارکردهای بوم‌شناختی و محیطی، به سمت متناسب‌سازی کیفیت

1. Urbanization
2. Urban expansion

زندگی برای جمعیت انسان‌ها حرکت می‌کنند (Jim & Chen, 2009: 191). لذا در فرایند شهری‌شدن عارضه‌های طبیعی با مصالح ساختمانی برای مناطق مسکونی، ساختمان‌های تجاری و جاده‌ها جایگزین می‌شوند (Thaiutsa et al., 2008: 222). بر این اساس، گسترش شهرها به تغییرات بسیاری مانند ازدست‌دادن زمین‌های کشاورزی و طبیعی، تکه‌تکه‌شدن جنگل‌ها و ازدست‌دادن زیستگاه‌های طبیعی منجر شده است (میرسنجری و محمدیاری، ۱۳۹۶: ۸۵).

در واقع، توسعهٔ مناطق انسان‌ساخت باعث اختلال در تعادل و پویایی عملکرد محیط و سیمای سرزمین می‌شود (Montis et al., 2019: 725). این ساختمان‌های مصنوعی به‌عنوان مداخله‌گرها عمل می‌کنند و تداوم و ارتباط را که در ابتدا در مناطق وسیعی از پوشش‌های طبیعی دیده می‌شود، قطع می‌کند (Fichera et al., 2015: 56). تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین[1] یا به اصطلاح پهروشدگی، پدیده‌ای است که بر اساس آن بخش‌های بسیار زیادی از زیستگاه اولیه (اصطلاحاً لکه) به‌طور پیوسته برش داده شده، به قطعات کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین مهم‌ترین چالش توسعهٔ شهری است (Alberti, 2004) که مانع گسترش جریان مواد و انرژی و تغییرات روند این فرایندها در منطقه می‌شود (Huilei et al., 2017: 55). بنابراین، تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین بر عملکرد و خدمات اکوسیستم منطقه تأثیر می‌گذارد (Peng et al., 2016: 1083) و در نتیجه، به مشکلات بوم‌شناختی و محیط‌زیستی (Li et al., 2010: 221) مانند جزیره‌گرمایی شهری، آلودگی‌های محیطی، فرسایش خاک و... منجر می‌شود (Zhou et al., 2014: 162).

با توجه به این موارد می‌توان بیان کرد که شبکه‌های شهری در حال مسلط‌شدن بر شبکه‌های بوم‌شناختی هستند (Thaiutsa et al., 2008: 219). شناسایی، نظارت و پایش تغییرات پوشش سطح زمین یک فرایند پیچیده است (Sun & Zhou, 2016: 121). در این راستا، مهم‌ترین روش برای درک و تعیین تغییر پوشش و کاربری سرزمین، تجزیه‌وتحلیل تغییرات الگوی سیمای سرزمین است (Fan & Ding, 2016: 156). بر این اساس، شناسایی متریک‌های مناسب مانند اتصال برای تأثیر عملکرد شبکه‌های بوم‌شناختی و ارزیابی تأثیر بوم‌شناختی تحولات جدید سودمند است (Foltête et al., 2014: 392).

1. Landscape fragmentation

مطالعات متعددی در زمینهٔ بوم‌شناسی سیمای سرزمین انجام شده است (شعبانی و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۸۹؛ گومه و دیگران، ۱۳۹۳: ۳۲۸؛ میرسنجری و محمدیاری، ۱۳۹۶: ۸۴؛ مهری و دیگران، ۱۳۹۷: ۹۴؛ Fan & Ding, 2016: 154؛ Lausch et al., 2014: 36)؛ اما مطالعات اندکی شبکه‌های بوم‌شناختی با متریک‌هایی که برای این کار تعریف شده است، بررسی کرده‌اند (فتوحی، برق جلوه، ۱۳۹۷: ۲۸۲؛ Wu et al., 2014: 215؛ Qi et al., 2017: 68).

امروزه شهر کرج، دومین مرکز بزرگ جمعیتی بعد از تهران، از لحاظ سیمای سرزمین بوم‌شناختی با مشکلات بسیاری مواجه است که حل بخش عمده‌ای از آن‌ها از طریق رعایت اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین و دخالت معیارهای بوم‌شناختی و انسان‌شناختی امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین، لزوم توجه به اصول بوم‌شناختی در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، با توجه به تأثیراتی که برنامه‌ریزی اشتباه می‌تواند بر تخریب ساختارهای بوم‌شناختی مانند پوشش گیاهی درون و مجاورت شهرها و در نتیجه، کاهش تنوع زیستی و پایداری فرایندهای بوم‌شناختی منطقه داشته باشد، امری ضروری است. همسونبودن فعالیت‌های انسانی با سازوکار عناصر سیمای سرزمین، عدم تعامل بین ابعاد فضایی- اجتماعی و ابعاد محیط‌زیستی سیمای سرزمین (برق جلوه و دیگران، ۱۳۹۲: ۹۳)، عدم توسعهٔ پایدار شهری (Opdam et al., 2006: 325) و روندهای مخاطره‌آمیز تغییر چرخهٔ ماده و انرژی (Farina et al., 2009) از دلایلی است که مشکلات را در کلان‌شهرها به وجود آورده است. بنابراین با بهینه‌سازی بوم‌شناختی عملکردها، هم می‌توان از خدمات بوم‌شناختی سیمای سرزمین بهره برد و هم نیازهای اجتماعی جامعهٔ شهری را رفع کرد (برق جلوه و دیگران، ۱۳۹۲: ۹۳). بر این اساس، مطالعهٔ حاضر به ارزیابی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری در کلان‌شهر کرج می‌پردازد.

منابع نظری

سیمای سرزمین منطقه‌ای است که در مقیاس تعیین‌شده توسط ملاحظات محیط‌زیستی، فرهنگی، تاریخی، اجتماعی و اقتصادی بررسی می‌شود (Englund et al., 2017: 493). الگوهای سیمای سرزمین را می‌توان با متریک‌های سیمای سرزمین کمی کرد که یکی از ابزارهای کلیدی برای نظارت، ارزیابی و مدیریت سیمای سرزمین است (Li & Wu, 2004: 224). در روند تهیه و تدوین برنامه‌های ارزیابی و آمایش سرزمین، تشخیص و درک به‌هنگام و دقیق تغییرات کاربری و پوشش

اراضی بسیار مهم است؛ زیرا با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (پورخباز و دیگران، ۱۳۹۴: ۱۸۸).

پیامدهای بوم‌شناختی گسترش شهری را می‌توان با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین برای توصیف و تحلیل تغییرات پویا در سیمای سرزمین منطقه‌ای درک کرد (Schwoertzig et al., 2016: 569). یکی از ابزارهای بوم‌شناسی سیمای سرزمین، شبکه‌های بوم‌شناختی است (Opdam et al., 2006: 326) که به مجموعه جریان‌های انرژی و نفوذها در بخش‌های مختلف سیمای سرزمین گفته می‌شود (برق جلوه و دیگران، ۱۳۹۵: ۱۸۰). شبکه‌های بوم‌شناختی ابزارهایی برای برنامه‌ریزی حفاظت هستند (Foltête, 2019: 395) که ارتباط نزدیکی با عملکرد دارند (Taylor et al., 1995: 45). با توجه به اینکه شبکه‌های بوم‌شناختی جزئی از روابط سیمای سرزمین منطقه‌های شهری هستند، با بررسی آن‌ها می‌توان به وضعیت سیمای سرزمین منطقه پی برد و ساختار سلسله‌مراتبی آن را کنترل کرد (برق جلوه و دیگران، ۱۳۹۵: ۱۸۰).

به عقیدهٔ بسیاری از بوم‌شناسان سیمای سرزمین، روابط بین عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین یعنی ناهمگنی فضایی و پیوستگی بین عناصر، برای بهینگی عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری ضروری است (Alberti, 2004). شبکه‌های بوم‌شناختی تحت تأثیر کیفیت محتوا و روابط بین عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین هستند. در این راستا، بررسی این دو فاکتور در ارزیابی روند تغییر میزان عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین و پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی کمک شایانی می‌کند (فتوحی، برق جلوه، ۱۳۹۷: ۲۸۴).

با توجه به سرعت در حال گسترش مناطق شهری، سنجش از راه دور به طور قابل توجهی می‌تواند در ایجاد نقشهٔ کاربری زمین شهری که برای تهیهٔ آن هیچ اطلاعات دیگری در دسترس نیست یا جمع‌آوری اطلاعات مشکل است، کمک کند (Haas & Ban, 2017). ترکیب نقشه‌های کاربری اراضی با متریک‌های سیمای سرزمین می‌تواند به شناسایی مناطقی که آسیب‌پذیرترین تغییرات در خدمات اکوسیستم در سطح سیمای سرزمین را دارند، کمک کند که این نکته به‌منزلهٔ نقطهٔ ورود برای فرصت‌های مدیریت زمین در آینده است (Tolessa et al., 2017: 49).

مواد و روش‌ها

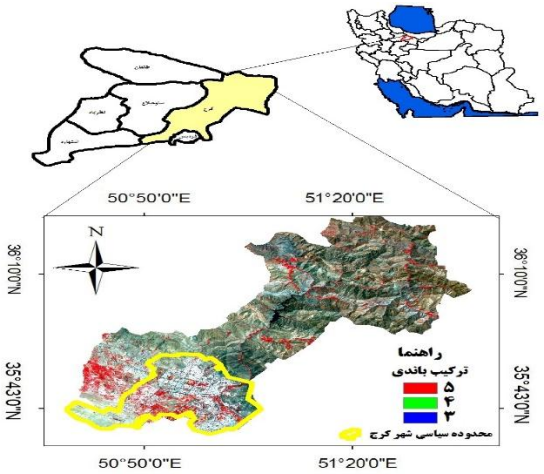
مرزبندی سیمای سرزمین مورد بررسی

به‌منظور تعریف مقیاس فضایی مناسب برای انجام تغییرات پوشش/کاربری، یک واحد سیمای سرزمین پایلوت تعریف شد؛ زیرا سیمای سرزمین با حضور توأمان پوشش‌های طبیعی زمین و کاربری‌های انسان‌ساخت، امکان بررسی فشارهای ناشی از محرکه‌های انسانی مانند تغییرات کاربری را بر شرایط بوم‌شناختی به نحو ملموس‌تری فراهم می‌سازد (زرندیان و دیگران، ۱۳۹۷: ۱۱۸). با توجه به اینکه مرز حقوقی کلان‌شهر کرج منطبق بر مرزهای بوم‌شناختی نیست، مرزبندی با توجه به واحدهای لنداسکیپ صورت گرفت. بر این اساس برای تعیین محدودهٔ نهایی بررسی‌شده با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و استخراج واحدهای هیدرولوژیک، مرز نهایی کلان‌شهر کرج، منطبق بر خط‌الرأس آبراهه‌های اصلی موجود در ناحیه‌ای به مساحت ۱۱۷۵۲۰ هکتار به صورتی تعریف شد که هم دربرگیرندهٔ زمین‌های مرتفع در بالادست به‌عنوان اجزای طبیعی سیمای سرزمین و هم جلگه‌های سیلابی پایین‌دست باشد که عمدتاً محل استقرار سکونتگاه‌های انسانی و سایر کاربری‌های انسان‌ساخت است.

بر این اساس، محدودهٔ مورد مطالعهٔ بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۹ دقیقهٔ شمالی در شرق استان البرز قرار دارد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر کرج از لحاظ قرارگرفتن در مسیر شاه‌راه‌های ارتباطی به غرب و جنوب کشور، آب‌وهوای ییلاقی و مناسب، دسترسی به جمعیت ساکن در تهران و تأمین امنیت سرمایه‌گذاری از نظر جمعیت مصرف‌کننده، دارابودن چندین شهرک صنعتی دولتی و خصوصی و حجم بالای واحدهای صنعتی و استقرار صنایع استراتژیک و بزرگ، سبب رشد سریع جمعیت و در نتیجه، رشد روزافزون گسترهٔ شهر و تراکم جمعیتی خارج از ظرفیت شده است؛ به طوری که طی سال‌های گذشته، جمعیت درخور ملاحظه‌ای به این شهر مهاجرت کرده‌اند.

رشد جمعیت شهری و تغییر الگوهای زندگی و وابستگی برخی کانون‌های جمعیتی ساکن در خارج منطقه به کرج، بی‌تردید مشکلات محیط‌زیستی و تأثیر بر خدمات اکوسیستم شهری را دنبال

دارد. این کلان‌شهر از نظر مرزبندی سیاسی نیز از سال ۱۳۸۵ تـاکنون دسـتخوش تغییـرات زیـادی شده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، این کلان‌شـهر دارای جمعیتـی معـادل ۱۷۵۹۳۸۶ نفـر است که از این تعداد ۱۷۲۶۴۷۰ نفر ساکن مناطق شـهری و ۳۲۸۶۳ نفـر سـاکن منـاطق روسـتایی هستند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز، معاونت آمار و اطلاعات، ۱۳۹۵).



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعاتی

تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی

در این تحقیق برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی سال ۱۳۸۵، ۱۳۹۰و ۱۳۹۶ از تصاویر ماهوارهٔ لندست سـنجه‌هـای TM^+ و OLI اسـتفاده شـده اسـت. تصـاویر پـس از تصـحیح هندسـی، اتمسـفری و پیش‌پردازش‌های اولیه در نرم‌افزار ENVI با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشـتیبان[1] طبقـه‌بنـدی شدند.

بررسی پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین کلان‌شهر کرج

عناصر شبکه‌های بوم‌شناختی شامل نقاط، لکه‌ها و خطوط طبیعی هستند. در کلان‌شهر کـرج نقـاط طبیعی فضاها و لکه‌های سبز کوچک در سطح شهر را در بر می‌گیرد. لکه‌هـای طبیعـی نیـز شـامل کوه‌ها، تپه‌ها و ارتفاعات بالادست می‌شود. همچنین رودخانهٔ کرج، سد امیرکبیر و شبکه‌هـای سـبز

1. support Vector Machine (SVM)

پیرامون رودخانه، خطوط طبیعی را تشکیل می‌دهند. بر این اساس می‌توان گفت هر شهری جایگاه بوم‌شناختی ویژهٔ خود را دارد و متفاوت‌بودن بستر طبیعی هر شهر آن را از سایر شهر متمایز می‌کند. هریک از عناصر سیمای سرزمین شهری میزان عملکرد بوم‌شناختی متفاوتی دارند که به عوامل مختلفی بستگی دارند. یکی از این عوامل، کیفیت محتوای آن‌ها مانند پوشش سرزمین است (فتوحی، برق جلوه، ۱۳۹۷: ۲۸۹).

در این مطالعه از بین روش‌های مختلف نشان‌دادن عناصر سیمای سرزمین، طبقه‌بندی براساس پوشش سرزمین انتخاب شد (Leitão et al., 2012). با توجه به طبقه‌بندی Ndubisi (۱۹۹۷) هریک از عناصر سیمای سرزمین به زیرمجموعه‌هایی تقسیم شد:

لکه‌های ساخت‌وساز: شامل مناطق مسکونی، مراکز خدماتی، صنایع و مراکز تجاری؛

لکه‌های سبز طبیعی: شامل مراتع پرتراکم و کم‌تراکم (پوشش گیاهی خوب، متوسط و کم)؛

لکه‌های سبز انسان‌ساخت: شامل اراضی کشاورزی (تمامی اراضی کشت آبی و دیم)، باغ (باغات و تاکستان‌ها) و انواع فضای سبز شهری؛

لکه‌های باز: شامل اراضی بایر (شامل زمین‌های بدون پوشش و زمین‌های رهاشده و بایر)؛ تپه‌ها و رخنمون‌های سنگی (شامل زمین‌های سنگلاخی و با پوشش درختی انبوه یا پراکنده)؛

لکه‌های آبی: شامل آب‌های عمیق و کم‌عمق سد دریاچهٔ امیرکبیر و بستر رودخانهٔ کرج.

متریک‌های مورد نیاز

میزان عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین و به‌دنبال آن، پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی، به چیدمان فضایی عناصر ساختاری بستگی دارد. این عناصر شامل ناهمگنی فضایی سیمای سرزمین (Risser, 1984)، پیوستگی و ارتباط بوم‌شناختی و ساختاری عناصر هم‌نوع سیمای سرزمین (Alberti, 2008) و بهینگی ارتباطی- انزوایی بوم‌شناختی ساختاری تمامی عناصر سیمای سرزمین با یکدیگر و با بستر سیمای سرزمین است (فتوحی، برق جلوه، ۱۳۹۷: ۲۸۶). در این پژوهش به‌منظور ارزیابی وضع موجود و روند تغییر ویژگی‌های ناهمگنی، پیوستگی و شبکهٔ ارتباطی- انزوایی در سال‌های گذشته، از متریک‌های سیمای سرزمین استفاده شد. انتخاب متریک‌های مناسب در این مطالعه براساس مطالعهٔ فتوحی و برق جلوه (۱۳۹۷)، Leitão و همکاران (۲۰۱۲) و

McGarigal و Marks (۱۹۹۵) و با توجه به تناسب متریک‌ها با هدف مطالعه صورت گرفت. در این مطالعه متریک‌ها در ۲ سطح سیمای سرزمین و کلاس (Qi et al., 2017: 69) در نرم‌افزار Fragstats محاسبه شدند (جدول ۱).

جدول ۱. متریک‌های بررسی عملکرد بوم‌شناختی و پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری

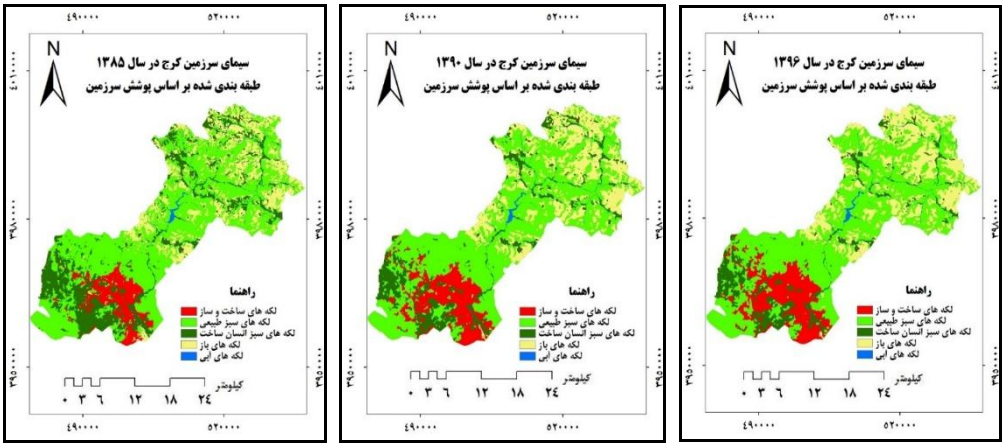
ویژگی‌های ساختاری لازم برای پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین	متریک‌ها	
	تعریف	علامت اختصاری
ناهمگنی فضایی سیمای سرزمین	**درصد مساحت از سیمای سرزمین:** درصد مساحت اشغال‌شده از سیمای سرزمین که یک کلاس اشغال کرده است.	PLAND
	مساحت کل نوع لکه در سطح کلاس: ترکیب سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند؛ یعنی چه مقدار از سیمای سرزمین شامل یک نوع لکهٔ خاص (طبقه) می‌شود؟	CA
	تعداد انواع لکه: تعدادی از انواع کلاس‌ها در سیمای سرزمین	PR
پیوستگی و ارتباط بوم‌شناختی و ساختاری عناصر هم‌نوع سیمای سرزمین	**میانگین مساحت:** میانگین اندازهٔ لکه	AREA-MN
	تراکم لکه: این متریک تعداد لکه‌ها را در واحد سطح نشان می‌دهد و امکان مقایسهٔ بین مساحت‌های مختلف را فراهم می‌کند.	PD
	تعداد لکه: مجموع تعداد لکه‌ها در هر کاربری را نشان می‌دهد.	PN
ارتباط تمامی عناصر سیمای سرزمین با یکدیگر	**نمایهٔ سرایت، انبوهگی یا شیوع** نمایهٔ شیوع، میزان پراکنش و درون پراکنش را در سطح سیمای سرزمین اندازه‌گیری می‌کند.	CONTAG
	نمایهٔ درون پراکنش و مجاورت برخلاف نمایهٔ سرایت که براساس مجاورت سلول‌های رستری است، این نمایه براساس مجاورت لکه است. در این نمایه، مجاورت هر لکه با لکه‌های دیگر ارزیابی می‌شود.	IJI
	نمایهٔ تجمع: درصد تجمع را اندازه‌گیری می‌کند و براساس نسبت تعداد همسایه‌های مشابه مشاهده‌شده به بیشینهٔ ممکن تعداد همسایه مشابه از کلاس مدنظر می‌گویند.	AI

یافته‌های تحقیق

نقشهٔ کاربری اراضی تهیه‌شده برای سال‌های بررسی‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

بررسی صحت نقشه از طریق انتخاب تصادفی ۱۵۲ نقطه در سطح نقشه و بررسی تطابق آن‌ها با موقعیت واقعی نقاط روی زمین با استفاده از Google Earth انجام شد. بر این اساس، صحت‌سنجی نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا صورت گرفت. براساس استاندارد سازمان زمین‌شناسی آمریکا، حداقل مقدار قابل قبول ضریب کاپا ۸۵ درصد است. با توجه به نتایج، دقت طبقه‌بندی تأیید می‌شود (جدول ۲).

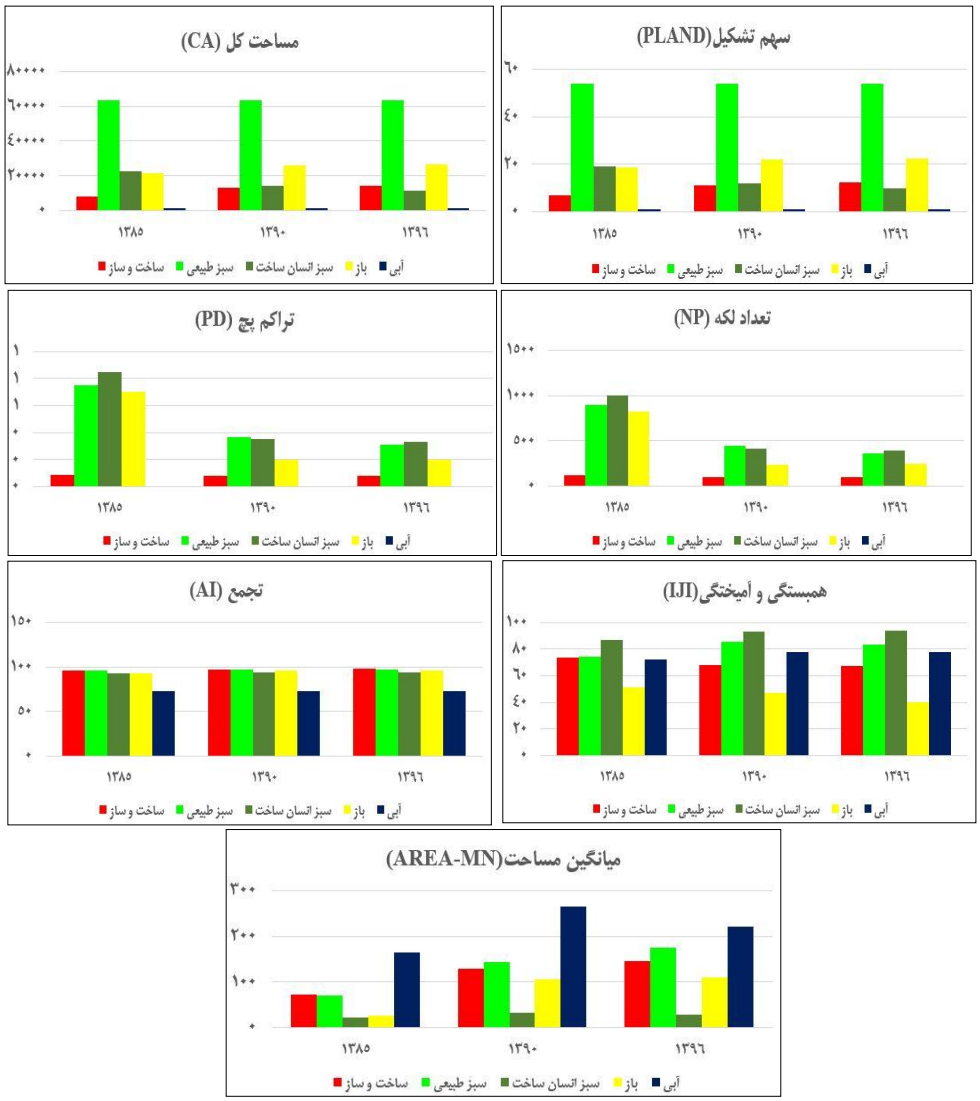
نتایج حاصل از بررسی متریک‌های سیمای سرزمین شهری در سطح کلاس در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۲. سیمای سرزمین کرج در سال‌های بررسی‌شده

جدول ۲. نتایج صحت سنجی

نقشهٔ کاربری اراضی	طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان	
	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
۱۳۸۵	۹۵/۰۸	۰/۹۳
۱۳۹۰	۹۵/۴۹	۰/۹۴
۱۳۹۶	۹۶/۰۱	۰/۹۵



شکل ۳. نمودارهای تشریح‌کنندهٔ روند تغییر عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین در سطح کلاس

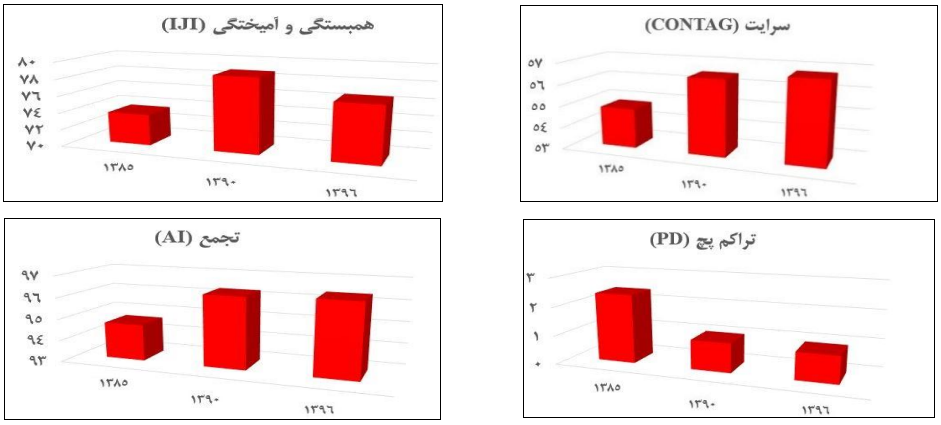
با توجه به شکل ۳، نتایج متریک مساحت نشان می‌دهد بیشترین قسمت سیمای سرزمین منطقهٔ مورد مطالعاتی را لکه‌های سبز طبیعی و کمترین مساحت را لکه‌های آبی تشکیل می‌دهند که طی دورهٔ زمانی مورد مطالعه، مساحت آن‌ها روند ثابتی داشته است. لکه‌های سبز انسان‌ساخت نیز از

نظر سهم مساحتی در رتبهٔ دوم قرار دارد که از سال ۱۳۸۵ به‌تدریج از مساحت آن کاسته شده و در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ به کمترین مقدار خود رسیده است.

همچنین لکه‌های ساخت‌وساز و لکه‌های باز افزایش مساحت داشته و رشد لکه‌های انسان‌ساخت بین آن‌ها چشمگیر است. بیشترین سهم تشکیل لکه‌ها در هر ۳ سال مربوط به لکه‌های سبز طبیعی است. روند سهم تشکیل لکه‌های انسان‌ساخت و سبز انسان‌ساخت کاملاً برعکس است؛ به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با ۲ سال دیگر، سهم تشکیل لکه‌های انسان‌ساخت بیشتر و لکه‌های سبز انسان‌ساخت کمتر شده است.

نتایج متریک تراکم لکه و تعداد لکه نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶، لکه‌های سبز انسان‌ساخت و لکه‌های انسان‌ساخت به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارند. همچنین بیشترین و کمترین مقدار این متریک در سال ۱۳۹۰ مربوط به لکه‌های سبز طبیعی و لکه‌های انسان‌ساخت است. بررسی متریک هم‌بستگی و آمیختگی در این سطح حاکی از این است که بیشترین و کمترین هم‌بستگی و آمیختگی به ترتیب متعلق به لکه‌های سبز انسان‌ساخت و لکه‌های باز است. لکه‌های ساخت‌وساز و لکه‌های سبز طبیعی نیز بیشترین میزان متریک تجمع را در سال‌های بررسی‌شده دارند.

شکل ۴ نتایج بررسی متریک‌های سیمای سرزمین شهری در سطح سیمای سرزمین را نشان می‌دهد.



شکل ٤. نمودارهای تشریح‌کنندهٔ روند تغییر عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین

متریک شاخص سرایت فقط در سطح سیمای سرزمین بررسی می‌شود. نتایج این متریک نشان می‌دهد از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۵، به‌تدریج مقدار این متریک افزایش می‌یابد. همچنین نتایج متریک هم‌بستگی و آمیختگی حاکی از این است که بیشترین مقدار این متریک در سال ۱۳۹۰ و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۸۵ است. بیشترین تراکم لکه در سطح سیمای سرزمین نیز در سال ۱۳۸۵ است و در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ تقریباً روند ثابتی دارند. مقدار متریک تجمع نیز در سال ۱۳۸۵ کمترین و در سال‌های بعد افزایش و در سال ۱۳۹۶ به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح کلاس

لکه‌های ساخت‌وساز: افزایش دو متریک مساحت و سهم تشکیل در طول هر سه سال بررسی‌شده در این لکه رخ داده است. این افزایش نشان‌دهندهٔ بیشترشدن سهم تشکیل این لکه‌ها و جایگزینی آن‌ها با لکه‌هایی است که دارای عملکرد بوم‌شناختی بیشتر هستند. افزایش متریک میانگین مساحت و کاهش تراکم لکه (که روند کاهشی آن به‌تدریج صورت گرفته است) و تعداد لکه، حاکی از پیوستگی سیمای سرزمین شهر در سطح کلاس است. متریک هم‌بستگی و آمیختگی میزان اختلاط لکه‌ها را نشان می‌دهد و مقادیر بالاتر سیماهایی با انواع لکهرا نشان می‌دهد که با هم بیشتر اختلاط دارند؛ یعنی لکه‌های مختلف کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این در حالی است که مقادیر پایین‌تر، سیماهایی را نشان می‌دهد که لکه‌ها به‌خوبی با هم اختلاط ندارند.

همچنین در صورتی که انواع لکه به‌طور یکسان درون پراکنش داشته باشند، مقدار این نمایه برابر است. با توجه به روند تغییرات متریک هم‌بستگی و آمیختگی می‌توان گفت این متریک در مقایسه با سال اول روند کاهشی و در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ روند ثابتی داشته است. این تغییرات نشان از هم بستگی و آمیختگی کم این لکه‌ها با سایر لکه‌ها دارد. به عبارتی، در سال ۱۳۸۵ لکه‌های مختلف کنار هم قرار گرفته‌اند؛ اما در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ پراکنش انواع لکه‌ها یکسان بوده است. به‌طور کلی، این متریک در لکه‌های ساخت‌وساز تغییر معناداری نشان نمی‌دهد. همچنین روند متریک تجمع افزایشی است. این متریک زمانی که در سیمای سرزمین هیچ

همسایگی مشابهی وجود نداشته باشد (زمانی که کلاس به‌صورت حداکثری غیرمجتمع است)، برابر صفر و زمانی که حداکثر همسایگی وجود داشته باشد، برابر یک است.

لکه‌های سبز طبیعی: با مشاهدهٔ نتایج دو متریک مساحت و سهم تشکیل می‌توان گفت مساحت این لکه‌ها در سال پایه در مقایسه با سال ۱۳۹۰ کاهش، ولی در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ بهبود یافته است؛ ولی میزان این متریک همچنان در مقایسه با سال نخست روند کاهشی را دنبال می‌کند. سهم تشکیل این لکه‌ها نیز روند ثابتی در هر ۳ سال بررسی‌شده دارد. در این لکه نیز مانند لکه‌های ساخت‌وساز با افزایش متریک میانگین مساحت و کاهش تراکم لکه و تعداد لکه روبه‌رو هستیم. همچنین متریک هم‌بستگی و آمیختگی و متریک تجمع در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۵ روند افزایشی و در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ با شیب ملایمی کاهش یافته است. به‌طور کلی، در سال جاری در مقایسه با سال پایه روند افزایشی داشته است که هم‌بستگی و آمیختگی و تجمع بیشتر با سایر عناصر را نشان می‌دهد.

لکه‌های سبز انسان‌ساخت: با کاهش شدید ۲ متریک مساحت و سهم تشکیل در این لکه‌ها روبه‌رو هستیم که بیشتر این لکه‌ها به لکه‌های انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند. در این لکه نیز با افزایش متریک میانگین مساحت و کاهش تراکم لکه و تعداد لکه روبه‌رو هستیم. متریک هم‌بستگی و آمیختگی نیز در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۵ روند افزایشی و در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ روند کاهشی دارد. این نتیجه نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۶ عملکرد بوم‌شناختی این لکه‌ها در مقایسه با سال ۱۳۹۰ تنزل پیدا کرده است؛ اما به‌طور کلی، مقدار این متریک طی سال‌های بررسی‌شده افزایش یافته است که حاکی از هم‌بستگی و آمیختگی بیشتر با دیگر عناصر است. همچنین روند متریک تجمع ثابت است که تغییر معناداری نشان نمی‌دهد.

لکه‌های باز: دو متریک مساحت و سهم تشکیل در این لکه‌ها افزایش یافته است. در این لکه متریک میانگین مساحت افزایش و تراکم لکه و تعداد لکه کاهش یافته‌اند. متریک هم‌بستگی و آمیختگی نیز کاهش داشته و متریک تجمع روند ثابتی را دنبال می‌کند.

لکه‌های آبی: مساحت این لکه‌ها با سرعت بسیار کمی در مقایسه با سال اول افزایش یافته است. متریک سهم تشکیل روند ثابتی را طی کرده و تغییر معناداری در آن رخ نداده است.

همچنین متریک میانگین مساحت، تجمع و هم‌بستگی و آمیختگی نیز روند افزایشی داشته است. همچنین تراکم لکه و تعداد لکه کاهش یافته است.

بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین

متریک سرایت، میزان پراکنش و درون پراکنش را در سطح سیمای سرزمین اندازه‌گیری می‌کند. اگر همه چیز را یکسان فرض کنیم، سیمای سرزمینی که در آن انواع لکه‌ها به‌خوبی پراکنده شده‌اند، نمایهٔ شیوع کمتری از سیمای سرزمینی دارد که در آن انواع لکه به‌خوبی پراکنده نشده‌اند. مقادیر بالاتر متریک سرایت در واقع نشان‌دهندهٔ سیمای سرزمینی با تعداد کمی لکهٔ بزرگ است؛ در حالی که مقادیر پایین‌تر شیوع، سیمای سرزمینی با تعداد زیادی لکه‌های کوچک و پراکنده نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج، متریک سرایت در سیمای سرزمین روند افزایشی دارد. این روند نشان از کاهش انبوهگی و پیوستگی بین انواع لکه‌های سیمای سرزمین و افزایش تکه‌تکه‌شدگی است. متریک هم‌بستگی و آمیختگی در سال ۱۳۹۰ در مقایسه با سال ۱۳۸۵ روند افزایشی و در سال ۱۳۹۶ در مقایسه با سال ۱۳۹۰ روند کاهشی دارد. با توجه به نتایج، در سال ۱۳۸۵ کمترین آمیختگی و در سال ۱۳۹۰ بیشترین آمیختگی عناصر سیمای سرزمین را داریم.

در نهایت، روند این متریک در بازه زمانی ۱۱ساله با مقایسهٔ میزان متریک در سال نخست و سال جاری افزایشی و حاکی از آمیختگی و ارتباط بیشتر تمامی عناصر سیمای سرزمین با یکدیگر است. همچنین روند متریک تجمع در سیمای سرزمین افزایشی است. متریک انواع لکه، تنوع عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین و ناهمگنی فضایی را شناسایی می‌کند. روند تغییرات این متریک در هر سه سال بررسی‌شده ثابت بوده است. همچنین کاهش تراکم لکه نشان‌دهندهٔ افزایش پیوستگی در سطح سیمای سرزمین است. این متریک به‌عنوان شاخص تکه‌تکه‌شدگی زیستگاه استفاده می‌شود. با توجه به روند متریک‌های ناهمگنی که حاصل تخریب مناطق سبز طبیعی و به‌ویژه مناطق سبز انسان‌ساخت است، انزوای بین لکه‌های آبی، لکه‌های باز و لکه‌های سبز (طبیعی و انسان‌ساخت) با لکه‌های ساخت‌وساز روند کاهشی داشته و ارتباط انزوای آن‌ها روند بهینه‌ای ندارد.

کیفیت و میزان عملکرد بوم‌شناختی از لکه‌های سبز (طبیعی و انسان‌ساخت) به طرف لکه‌های ساخت‌وسازی کاهش یافته و بر عملکرد جامعه‌شناختی متمرکز می‌شود. با توجه به نتایج و روند

کاهشی متریک‌های لکه‌های سبز به‌ویژه سبز انسان‌ساخت و روند افزایشی متریک‌های ساخت‌وساز و لکه‌های باز، عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین و ویژگی‌های شبکهٔ بوم‌شناختی سیمای سرزمین سیر نزولی را دنبال می‌کند. خلاصهٔ نتایج بررسی متریک‌ها در انواع لکه‌ها در جدول ۳ آمده است که به تفسیر روند تغییر عملکرد و کارایی شبکه‌های بوم‌شناختی کمک می‌کند.

جدول ۳. خلاصهٔ نتایج بررسی سیمای سرزمین شهر کرج

عناصر تشکیل‌دهندهٔ سیمای سرزمین	اطلاعات به‌دست‌آمده
عناصر انسان‌ساخت	افزایش سهم تشکیل، پیوستگی، پراکنش و توزیع مکانی
عناصر سبز طبیعی	کاهش سهم تشکیل، افزایش پیوستگی و ارتباط روند افزایشی تجمع، هم‌بستگی و آمیختگی با سایر عناصر سیمای سرزمین
عناصر سبز انسان‌ساخت	کاهش سهم تشکیل، افزایش پیوستگی و ارتباط روند افزایشی هم‌بستگی و آمیختگی با سایر عناصر سیمای سرزمین
عناصر باز	افزایش سهم تشکیل و پیوستگی روند کاهشی هم‌بستگی و آمیختگی با سایر عناصر سیمای سرزمین
عناصر آبی	افزایش پیوستگی نداشتن تأثیرگذاری قابل توجه به دلیل وسعت کم روند افزایشی تجمع هم‌بستگی و آمیختگی با سایر عناصر سیمای سرزمین

لکه‌های سبز طبیعی و انسان‌ساخت شامل مراتع، باغات، اراضی کشاورزی و فضای سبز منطقه به ترتیب دارای ارزش بوم‌شناختی از زیاد تا کم هستند. با توجه به نتایج، روند تغییر معیارهای بررسی در منطقهٔ مطالعاتی مطلوب نیست. روند نامناسب تغییر معیارهای ناهمگنی فضایی سیمای سرزمین، پیوستگی لکه‌های هم‌نوع (مثلاً لکه‌های ساخت‌وساز) در سراسر سیمای سرزمین و بهینگی ارتباطی باعث کاهش عملکرد بوم‌شناختی و به‌دنبال آن، کاهش پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی می‌شود.

افزایش سهم پیوستگی لکه‌های ساخت‌وساز باعث کاهش عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین می‌شود. به عبارتی، با پیوستگی این لکه‌ها کریدورهای ارتباطی با لکه‌های سبز طبیعی و انسان‌ساخت قطع می‌شود. در کلان‌شهر کرج توسعهٔ شهر به هر دو صورت افقی و عمودی است. توسعهٔ لکه‌های انسان‌ساخت به‌صورت افقی و عمودی به ترتیب تهدیدی برای لکه‌های سبز

انسان‌ساخت و لکه‌های سبز طبیعی به شمار می‌رود. همچنین با توجه به روند تغییرات لکه‌های سبز می‌توان گفت عملکرد بوم‌شناختی این لکه‌ها کاهش یافته است. این کاهش به‌ویژه دربارهٔ لکه‌های سبز انسان‌ساخت صادق است. لکه‌های سبز انسان‌ساخت طی زمان پویایی بسیار زیادی داشته که افزایش ازهم‌گسیختگی، بی‌نظمی و پیچیدگی تکه‌ها و کاهش مساحت آن‌ها از ویژگی‌های بارز این پویایی بوده است. مهم‌ترین دلیل این روند در کلان‌شهر کرج، تخریب لکه‌های سبز انسان‌ساخت به لکه‌های ساخت‌وساز است.

همچنین لکه‌های سبز طبیعی که قسمت اعظم آن‌ها در بالادست قرار دارد، از نظر توسعهٔ راه‌های ارتباطی در معرض تهدید هستند. در واقع، تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین در لکه‌های سبز انسان‌ساخت براثر توسعهٔ شهری در شهر کرج رخ داده است که با نتایج مطالعهٔ مرادی و دیگران (۱۳۹۴: ۱۳۵) که سیمای سرزمین شهر کرج را بررسی کرده‌اند، مطابقت دارد.

همچنین به دلیل آنکه شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین در منطقهٔ مطالعاتی تاکنون بررسی نشده است، امکان مقایسهٔ نتایج این مطالعه نیست. هرچه از سمت لکه‌های پوششی و لکه‌های آبی به سمت لکه‌های انسان‌ساخت برویم، کیفیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین کاهش می‌یابد. به‌دنبال کاهش کیفیت، عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین نیز روند کاهشی خواهد داشت. به عبارت دیگر، با کاهش کیفیت و عملکرد، سیمای سرزمین به سمت جامعه‌شناختی (غلبهٔ عوامل انسانی و اولویت منافع اقتصادی و اجتماعی انسان‌ها و نادیده‌گرفتن عوامل بوم‌شناختی و طبیعی) می‌رود. این غلبه بدون شک تعادل بین عملکردهای بوم‌شناختی و جامعه‌شناختی را بر هم می‌زند.

سیاست‌ها و راهبردها

در حال حاضر، کلان‌شهر کرج با چالش‌های رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی مواجه است. بدون شک، این تغییرات بر عملکرد بوم‌شناختی این کلان‌شهر تأثیر منفی می‌گذارد. با توجه به نتایج، طی بازه زمانی ۱۱ساله، لکه‌های سبز انسان‌ساخت (اراضی کشاورزی، باغات و فضای سبز) با کاهش همراه بوده است. دلیل این امر، گسترش مناطق شهری و کارکردهای صنعتی به‌همراه رشد جمعیت است. بنابراین، باید توجه بیشتری به حفاظت از زمین‌های کشاورزی و باغی (لکه‌های سبز انسان‌ساخت) در مناطق به‌سرعت در حال گسترش شهری داشت.

همچنین برای اطمینان از توسعهٔ پایدار در منطقه، سیاست‌ها و مقررات مؤثر برای حفاظت از زمین‌های کشاورزی و باغی با ارزش‌های فراوان در برابر گسترش شهرها باید در دستور کار تصمیم‌گیرندگان شهری قرار بگیرد. اراضی باغی در هر دو قسمت بالادست و پایین‌دست منطقهٔ مورد مطالعه، به ترتیب برای اهداف لکه‌های ساخت‌وساز شهری و ایجاد راه‌های ارتباطی تخریب می‌شوند. نمونهٔ بسیار مهم این اراضی باغ سیب است که در پایین‌دست و در بین لکه‌های شهری محصور شده است. در واقع، روند نامناسب تغییر معیارهای ناهمگنی، پیوستگی و ارتباطی سیمای سرزمین باعث شده است سیمای سرزمین شهر کرج از عملکرد بوم‌شناختی به سمت جامعه‌شناختی و کاهش پایداری شبکه‌های بوم‌شناختی حرکت کند.

به‌دست‌آوردن اطلاعات دربارهٔ اینکه چگونه شهرنشینی سریع در این کلان‌شهر باعث تغییرات در سیمای سرزمین و عملکرد بوم‌شناختی آن می‌شود، ممکن است به برنامه‌ریزی شهری پایدار، توسعهٔ شهری و رفاه نسل حاضر و آتی کمک کند. بنابراین با ارزیابی سیمای سرزمین، گسترش شهری، اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مؤثر و ایجاد تعادل و توازن بین عملکردهای بوم‌شناختی و انسان‌شناختی می‌توان در راستای هدایت اکوسیستم شهری کرج به سمت مطلوب گام برداشت. طرح‌ریزی صحیح منطقه‌های شهری با توجه به اهمیت حفظ منابع طبیعی و افزایش پایداری محیط‌زیستی شهرها برای توسعهٔ آیندهٔ کلان‌شهر کرج نیز می‌تواند صورت گیرد.

کاهش مساحت لکه‌های سبز طبیعی و انسان‌ساخت در مناطق پایین‌دست (به‌ویژه بخش شرقی و غربی) که حوزهٔ شهری کلان‌شهر کرج را در برگرفته است، کاهش ظرفیت سیمای سرزمین را برای تأمین غذای ساکنان شهر به‌دنبال دارد. بنابراین، برنامه‌ریزان شهری باید برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و توسعه‌ای مناسبی برای این لکه‌ها ارائه دهند.

علاوه بر آن، تنویر افکار عمومی و برنامه‌های آموزشی مفید در راستای شناسایی نقش لکه‌های طبیعی و انسان‌ساخت منطقه‌های شهری در ارتقای کیفیت ساختاری شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین کلان‌شهر کرج می‌تواند گامی مؤثر به‌منظور حفاظت از این لکه‌ها باشد. با توجه به اینکه با توسعهٔ کلان‌شهر کرج، مناطق مسکونی و به‌طور کلی، لکه‌های ساخت‌وساز بخش عمده‌ای از سیمای شهر را فرا گرفته است و همین عامل کاهش عملکرد بوم‌شناختی را دنبال داشته است،

توسعهٔ مناطق ساخت‌وساز در کلان‌شهر کرج باید با برنامه‌ریزی صحیح مدیریت شود؛ به گونه‌ای که از توسعهٔ متوازنی برخوردار شود و با توجه به افزایش پیوستگی این لکه‌ها در سال جاری در مقایسه با سال پایه، حفظ حریم دالان‌ها و شبکه‌های بوم‌شناختی باید در زمرهٔ سیاست‌های برنامه‌ریزان این کلان‌شهر در راستای توسعهٔ پایدار شهری کانون توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام گرفته است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از صندوق مذکور تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

۱. آذری دهکردی، فرود (۱۳۸۶). اصول اکولوژی سیمای سرزمین در معماری سیمای سرزمین و برنامه‌ریزی کاربری زمین، ترجمهٔ نشر اتحاد ادبستان تهران، ۹۶.

۲. زرندیان، اردوان؛ موسی‌زاده، رؤیا؛ بادام فیروز، جلیل و رحمتی، علیرضا (۱۳۹۷). مدل‌سازی سناریویی برای پیش‌بینی تغییرات آتی پوشش/کاربری زمین با استفاده از نرم‌افزار (InVEST) (بررسی موردی: سیمای سرزمین جنگلی دوهزار و سه‌هزار)، علوم محیطی، ۱۶: (۲)، ۱۳۲-۱۱۱.

۳. برق جلوه، شهیندخت؛ مدقالچی، نیکو و مبرقعی دینان، نغمه (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد بوم‌شناختی دالان رود درهٔ شهری (تهران: دالان رود درهٔ درکه)، پژوهش‌های محیط زیست، ۸: (۴)، ۹۱-۱۰۴.

۴. برق جلوه، شهیندخت؛ منصوری، مینا و اسلامی، سیدیحیی (۱۳۹۲). نقش شبکه‌های بوم‌شناختی در طرح‌ریزی محیط‌شناختی هویت‌بخشی منطقه‌های شهری (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ شهری پولاد شهر اصفهان)، محیط‌شناسی، ۴۲: (۱)، ۱۹۴-۱۷۷.

۵. پورخباز، حمیدرضا؛ محمدیاری، فاطمه؛ اقدر، حسین و توکلی، مرتضی (۱۳۹۴). رویکرد آمایشی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بهبهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای، آمایش سرزمین، ۷: (۲)، ۲۰۷-۱۸۷.

۶. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز (۱۳۹۴). معاونت آمار و اطلاعات، سالنامهٔ آماری ۱۳۹۴.

۷. شعبانی، نگین؛ ابرکار، مهرو؛ پریور، پرستو و کوچک‌زاده، محسن (۱۳۸۹). معرفی و کاربرد رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در مقیاس شهر (نمونهٔ موردی: شهر تهران)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲: (۴)، ۱۹۷-۱۸۵.

۸. فتوحی، امید و برق جلوه، شهیندخت (۱۳۹۷). بررسی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری (نمونهٔ مطالعاتی: شهر تهران)، محیط‌شناسی، ۴۴: (۲)، ۲۹۵-۲۷۷.

۹. گومه، زینت؛ رنگزن، کاظم؛ نظری سامانی، علی اکبر و قدوسی، جمال (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات کمی فضای سبز کلان‌شهر کرج با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیمای سرزمین، محیط زیست طبیعی، ۶۷: (۳)، ۳۳۱-۳۲۳.

۱۰. مرادی، عباس؛ تیموری، حسن و دژکام، صادق (۱۳۹۴). پایش تغییرات فیزیکی سیمای سرزمین شهر کرج با استفاده از تحلیل سینوپتیک و تصاویر ماهواره‌ای، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۹: (۱)،

.۱۲۷-۱۴۶

۱۱. مهری، آزاده؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ میکاییلی تبریزی، علیرضا؛ میرکریمی، سید حامد و سعدالدین، امیر (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات بوم‌شناختی تغییر کاربری سرزمین بر ساختار طبیعی حوضهٔ رودخانهٔ قره‌سو، آمایش سرزمین، ۱۰: (۱)، ۱۱۶-۹۳.

۱۲. میرسنجری، میرمهرداد و محمدیاری، فاطمه (۱۳۹۶). پایش تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از تحلیل گرادیان (مطالعهٔ موردی: شهرستان بهبهان)، جغرافیا و پایداری محیط، ۲۲: (۷)، ۹۶-۸۳.

13. Alberti, M (2008). Advances in urban ecology integrating humans and ecological processes in urban ecosystems. springer, washington.
14. Alberti, M., & Marzluff, J. (2004). Resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions, Urban Ecosystems, 7, 241–265.
15. Botequilha, A., & Ahren, J. (2002.) Applying Landscape Ecological Concepts and Metrics in Sustainable Landscape Planning, Landscape and Urban Planning, 59, 65-93.
16. Englund, O., Berndes, G., & Cederberg, C. h. (2017). How to analyse ecosystem services in landscapes—A systematic review, Ecological Indicators, 73, 492–504.
17. Fan, Q., & Ding, S. (2016). Landscape pattern changes at a county scale: A case study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013. Catena Journal, 137, 152-160.
18. Farina, A. (2009). Linking Natural and Social Systems, Ecology, Cognition and Landscape, ISBN-13: 978-9048131372, ISBN-10: 9048131375
19. Fichera, C.R., Laudari, L., & Modica, G. (2015). Application, validation and comparison in different geographical contexts of an integrated model for the design of ecological networks. J. Agric. Eng. 46 (2), 52–61.
20. Foltête, J. (2019). How ecological networks could benefit from landscape graphs: A response to the paper by Spartaco Gippoliti and Corrado Battisti, Land Use Policy, 80 , 391–394.
21. Haas, J., Ban, Y. (2017). Sentinel-1A SAR and Sentinel-2A MSI data fusion for urban ecosystem service mapping, Remote Sensing Applications: Society and Environment, S2352-9385(17)30012-5.
22. He, C., Y., Zhang, D., Huang, Q. X., & Zhao, Y. Y. (2016). Assessing the potential impacts of urban expansion on regional carbon storage by linking the LUSD-urban and InVEST models. Environ. Modell. Softw, 75: 44–58.
23. Huilei, L., Jian, P., Yanxu, L., & Yina, H. (2017). Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective, Ecological Indicators, 82, 50–60.
24. Jianguo, W. (2018). Landscape Ecology, Landscape Ecology, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10919-4
25. Jim, C.H., & Chen, W.Y. (2009). Ecosystem services and valuation of urban forests in China, Cities, 26, 187–194
26. Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R.U., Tischendorf, L., & Walz, U. (2014). Understanding and quantifying landscape structure e a review on relevant

process characteristics, data models and landscape metrics. Ecol. Model. 295, 31-41.
27. Leitão, A.B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K. (2012). Measuring landscapes: A planner's handbook, Island press, washington.
28. Li, Y., Zhu, X., Sun, X., & Wang, F. (2010). Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China. Landscape Urban Plann, 94, 218–227.
29. McGarigal, K., Marks, B.J. (1995). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
30. Montis, A.D., Ganciu, A., Cabras, M., Bardi, A., Mulas, M. (2019). Comparative ecological network analysis: An application to Italy. Land Use Policy, 81, 714–724.
31. Ndubisi, F. (1997). Landscape ecological planning. Ecological design and planning. John Wiley and Sons, Newyork
32. Opdam, P., Steingröver, E., & Van Rooij, S. (2006). Ecological networks: a spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. Landscape and Urban Planning, 75, 322-332.
33. Peng, J., Shen, H., Wu, W., Liu, Y., & Wang, Y. (2016). Net primary productivity (NPP) dynamics and associated urbanization driving forces in metropolitan areas: a case study in Beijing City. China. Landscape Ecol, 31, 1077–1092.
34. Qi, K. Fan, K. H. Ng, C. N. Wang, X. & Xie, Y. (2017). Functional analysis of landscape connectivity at the landscape, component, and patch levels: A case study of Minqing County, Fuzhou City, China. Applied Geography**,** 80, 64-77.
35. Risser, P.G. (1984). Landscape ecology: directions and approaches: Illinois Natural History Survey.
36. Schwoertzig, E., Poulin, N., Hardion, L., & Trémolières, M. (2016). Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban–rural gradient. Ecol. Indic, 61: 568–576.
37. Shrestha, M.K., York, A.M., Boone, C.G., & Zhang, S. (2012). Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. Appl. Geogr, 32: 522–531.
38. 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.
39. Su, S., Jiang, Z., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2011). Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: a treat to sustainability in Hang-Jia-Hu region, China. Appl. Geogr, 31: 439–449.
40. Su, S. h., Xiao, R., Jiang, Z., & Zhang, Y. (2012). Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale, Applied Geography, 34: 295-305.
41. Taylor, P.D., & Merriam, G. (1995). Wing morphology of a forest damselfly is related to landscape structure. Oikos, 73, 43-48.
42. Thaiutsa, B., Puangchit, A., Kjelgren, R., Arunpraparut, W. (2008). Urban green space, street tree and heritage large tree assessment in Bangkok, Thailand, Urban Forestry & Urban Greening, 7, 219–229.
43. Tolessa, T., Senbeta, F., & Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover

change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. Ecosystem Services, 23: 47–54.
44. Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. Landscape and Urban Planning, 125, 209-221.
45. Zhang, Z. Gao, J. (2016). Linking landscape structures and ecosystem service value using multivariate regression analysis: a case study of the Chaohu Lake Basin, China, Environ Earth Sci, 75, 38-51.
46. Zhang, Q., Su, S. (2016). Determinants of urban expansion and their relative importance: a comparative analysis of 30 major metropolitans in China. Habitat Int, 58: 89–107.
47. Zhang, D., Huang, Q., He, C.h., & Wu. J. (2017). Impacts of urban expansion on ecosystem services in the Beijing-Tianjin- Hebei urban agglomeration, China: A scenario analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways, Resources, Conservation & Recycling, 125: 115–130.
48. Zhou, W., Qian, Y., Li, X., Li, W., & Han, L. (2014). Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. Landscape Ecol, 29, 153–167.
49. Zhao, Y.B., Wang, S.J., & Zhou, C.S. (2016). Understanding the relation between urbanization and the eco-environment in China's Yangtze River Delta using an improved EKC model and coupling analysis. Sci. Total Environ, 571: 862–875.