



University of Tehran Press

Town & Country Planning

Home Page: <https://jtcp@ut.ac.ir>

Online ISSN: 2423-6268

Urban Green Infrastructure Planning Based on Environmental Performance of Geospheric Landscape Change (Case Study: Kermanshah City)

Mahta Maleki Doborji¹ | Shahindokht Barghjelveh^{2*}

1. Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: malesi.mahta@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Tehran, Iran. E-mail: s-barghjelveh@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: August 18, 2025

Revised: September 22, 2025

Accepted: October 01, 2025

Published online: 05 March 2026

Keywords:

Urban green infrastructure,
Landscape ecology,
Ecological connectivity,
Kermanshah city.

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of planning urban green infrastructures based on landscape ecology principles (structure, function, change). For this purpose, land-use/land-cover maps for the years 2003, 2013, and 2023 were prepared using satellite images and ENVI 5.3 software. Then, using the CA-Markov model, changes in the year 2033 were predicted in the TerrSet 18.3 software. Additionally, landscape metrics were analyzed at the class and landscape levels in the Fragstats v4.2 software, and spatial processes were identified using the Decision-Tree-Algorithm. Finally, by utilizing practical planning principles, strategies were presented to enhance the natural structure and promote environmental performance in the process of geospheric landscape change. Based on the results, between 2003 and 2033, the expansion of construction areas, along with the process of spatial aggregation, has led to an increase in the area (CA) and cohesion of construction spots (COHESION), and a decrease in spatial fragmentation and complexity (decrease in IJI, ENN-MN, ED, PD, NP, LSI). In contrast, green infrastructures, such as vegetation-cover and wastelands, have faced a significant decrease in spatial indices, indicating an increase in erosion processes, structural discontinuity, functional limitation, and ultimately, an adverse impact on the process integrity of the landscape. Furthermore, the gradual decrease in PD, NP, SHDI, ED, and LSI metrics and the increase in CONTAG at the landscape level indicate a decrease in diversity, the expansion of construction, and the simplification of the landscape structure. Based on the analytical framework of the research, by adjusting structural continuity, the environmental performance of multi-functional planning increases and green-gray infrastructure solutions perform better. Therefore, observing the principles of "structural continuity," "multi-functional planning," and "green-gray integration," along with the principle of "social participation" in the process of identifying needs and acquiring landscape services, will be more effective; and finally, urban development plans will be implemented based on green infrastructure network assessment, planning strategies, stakeholder participation, and implementation. In this way, in order to promote natural structure, allocate environmental function, and geospheric landscape change, it becomes possible to manage the structural durability and functional sustainability of urban green infrastructures.

Cite this article: Maleki Doborji, M. & Barghjelveh, Sh. (2025-2026). Urban Green Infrastructure Planning Based on Environmental Performance of Geospheric Landscape Change (Case Study: Kermanshah City). *Town and Country Planning*.17 (2), 229-248. <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.400535.670518>



© Authors retain the copyright and full publishing rights.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.400535.670518>

Publisher: University of Tehran Press.



برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری با هدف رونق عملکرد محیطی جغرافیای سیمای سرزمین (مورد مطالعه: شهر کرمانشاه)

مهتا ملکی دوبرجی^۱ | شهین دخت برق جلوه^۲*

۱. گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: maleki.mahta@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s-barghjvelveh@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی، مروری

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۴

کلیدواژه:

بوم‌شناسی سیمای سرزمین، پیوستگی‌های بوم‌شناختی، زیرساخت سبز شهری، شهر کرمانشاه.

شهرنشینی، از جمله عوامل اصلی تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، تأثیرات عمیقی بر تعادل محتوای ساختاری، سازکار آرایش فضایی، و ارتباط تنظیم فرایندی سیمای سرزمین دارد. این پژوهش، با هدف برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری، مبتنی بر اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین (ساختار، عملکرد، تغییر)، انجام شد. بدین منظور، نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۲۳ و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار ENVI 5.3 تهیه شد. سپس، با بهره‌گیری از مدل CA-Markov پیش‌بینی تغییرات سال ۲۰۳۳ در محیط نرم‌افزار TerrSet 18.3 انجام گرفت. همچنین، تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین در سطوح کلاس و سیمای سرزمین در محیط نرم‌افزار Fragstats v4.2 و شناسایی فرایندهای فضایی با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری انجام شد. در نهایت، با بهره‌گیری از اصول عملی برنامه‌ریزی، راهبردهایی برای ارتقای ساختار طبیعی و رونق عملکرد محیطی روند تغییر جغرافیای سیمای سرزمین ارائه شد. بر مبنای نتایج، بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳، گسترش مناطق ساخت‌وساز همراه با فرایند تجمع فضایی، منجر به افزایش سطح (CA)، انسجام لکه‌های ساخت‌وساز (COHESION) و کاهش ازهم‌گسیختگی و پیچیدگی فضایی (کاهش LSI و NP، PD، ED، ENN-MN، JJI) ساخت جغرافیای سیمای سرزمین شده است. در مقابل، زیرساخت‌های سبز، نظیر پوشش گیاهی و اراضی بایر، با کاهش قابل توجه در شاخص‌های فضایی مواجه شده‌اند که نشان‌دهنده افزایش فرایندهای ساییدی، انقطاع ساختاری، محدودیت عملکردی، و نهایتاً تأثیر نامطلوب بر یکپارچگی فرایندی سیمای سرزمین است. همچنین، کاهش تدریجی در سنجه‌های PD، NP، SHDI، LSI و افزایش CONTAG در سطح سیمای سرزمین حاکی از کاهش تنوع، گسترش ساخت‌وساز، و ساده شدن ساختار سرزمین است. بر مبنای چارچوب تحلیلی پژوهش، با تنظیم پیوستگی ساختاری رونق عملکرد محیطی برنامه‌ریزی‌های چندکارکردی افزایش می‌یابد و راه‌حل‌های زیرساخت سبز- خاکستری فراتر عمل می‌کنند. بنابراین رعایت اصول «پیوستگی ساختاری»، «برنامه‌ریزی‌های چندکارکردی»، و «ادغام سبز- خاکستری»، همراه با اصل «مشارکت اجتماعی» در روند شناخت نیازها و کسب خدمات سیمای سرزمین مؤثرتر عمل می‌کنند. و نهایتاً، برنامه‌های توسعه شهری، بر مبنای «ارزیابی شبکه زیرساخت سبز»، «استراتژی‌های برنامه‌ریزی»، «مشارکت ذی‌نفعان»، و «اجرا» به کار گرفته می‌شوند. از این طریق، با هدف ارتقای ساختار طبیعی، تخصیص عملکرد محیطی، و تبیین جغرافیای سیمای سرزمین مدیریت بقای ساختاری و پایداری عملکردی زیرساخت‌های سبز شهری امکان‌پذیر می‌شود.

استناد: ملکی دوبرجی، مهتا و برق جلوه، شهین دخت (۱۴۰۴). برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری با هدف رونق عملکرد محیطی جغرافیای سیمای سرزمین (مورد مطالعه: شهر کرمانشاه). *آمایش سرزمین*، ۱۷ (۲): ۲۳۹-۲۴۸. <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.400535.670518>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.400535.670518>



مقدمه

در سال ۲۰۱۸، بیش از ۴ میلیارد نفر در مناطق شهری زندگی می‌کردند و طبق گزارش سازمان ملل جمعیت شهری تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۲/۵ میلیارد نفر افزایش خواهد یافت. تداوم این روند فشارهای اقتصادی، اجتماعی، و محیط زیستی عظیمی در شهرها ایجاد می‌کند؛ از جمله افزایش فقر و جرم و جنایت و بحران‌های سیاسی از یک سو و کاهش منابع زیستی و تنوع گونه‌ای و بحران‌های محیطی از سوی دیگر. در مواجهه با این چالش‌ها، راه‌حل‌های مبتنی بر حفظ روابط اکولوژیک و بهره‌وری‌های استراتژیک از خدمات سرزمین در سراسر جهان توسعه یافته‌اند که به طور هم‌زمان به افزایش رفاه انسان و حفاظت از محیط زیست کره زمین کمک می‌کنند. یکی از این راهکارها برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های زیرساخت سبز شهری است (Monteiro et al., 2020).

بیان مسئله

زیرساخت‌های سبز شهری بخش مهمی از استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری را با هدف توسعه پایداری و تاب‌آوری شهر فراهم می‌آورند (Fu et al., 2021)، چنان که خدمات اکوسیستمی را با رفاه انسانی و بهره‌وری‌های منابع سرزمین پیوند می‌دهند (Wang & Banzhaf, 2013). حمایت از برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری به مفهوم توسعه پایداری شهر، بهبود شرایط تنوع زیستی، حفظ محیط زیست شهری، و رونق زیست شهروندی را موجب می‌شوند و ابزاری ساده و مؤثر در کسب مزایای محیط زیستی سرزمین به شمار می‌روند (Cheshmehzangi & Griffiths, 2014).

بنابراین، به طور فزاینده‌ای برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری از سوی برنامه‌ریزان توسعه سرزمین به منزله راه‌حلی مؤثر برای حفظ سلامت شبکه‌ای از اجزا و کارکردهای بوم‌شناختی در مناطقی که تحت تأثیر تغییرات برنامه انسانی قرار می‌گیرند مورد توجه واقع شده‌اند. لیکن، با وجود گستردگی مفهوم و مقیاس فضایی مطالعات، برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری اکثراً با هدف برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار زمین انجام می‌شوند. بنابراین، برنامه‌ریزی با هدف استفاده از مفاهیم بوم‌شناسی سیمای سرزمین با هدف ارزیابی و مدیریت چرخه پویای ساختار، عملکرد، و تغییر فرایندهای زیستی سرزمین هنوز جای تأمل بسیار دارد (Marcucci & Jordan, 2013). در این زمینه، شهر کرمانشاه از جمله شهرهای بزرگ ایران است که طی دهه‌های گذشته رشد شتاب‌زده‌ای را تجربه کرده و این امر منجر به کاهش چشم‌گیر پهنه‌های سبز نواحی شهری آن شده است، به گونه‌ای که روزه‌روز زیرساخت‌های سبز خود را به نفع سایر کاربری‌ها از دست می‌دهد. از این‌رو، مطالعه حاضر سعی کرده به ارزیابی روند توزیع زیرساخت‌های سبز شهری کرمانشاه با استفاده از ارکان بوم‌شناسی سیمای سرزمین بپردازد و راهبردهایی در جهت مدیریت الگوی بوم‌شناختی زیرساخت‌های سبز در مقیاس فضایی سیمای سرزمین شهر کرمانشاه ارائه کند.

اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهر کرمانشاه با استفاده از مفاهیم بوم‌شناسی سیمای سرزمین و اهداف فرعی آن بررسی / پیش‌بینی وضعیت گذشته و حال و آینده زیرساخت‌های سبز شهری با هدف بهبود برنامه‌ریزی‌های اصلاحی، تحقق وضعیت مطلوب، و نهایتاً توسعه محیط زیستی سرزمین است. تحلیل تناسب فضایی زیرساخت‌های سبز موجود در سطح سیمای سرزمین و پیش‌بینی تغییرات زیرساخت‌های سبز سال ۲۰۳۳ با استفاده از مدل CA-Markov انجام پذیرفته است.

سؤالات پژوهش

در پژوهش حاضر به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. آیا برنامه توزیع زیرساخت‌های سبز شهری در مقیاس سیمای سرزمین شهر کرمانشاه از الگوی مناسبی پیروی می‌کند؟
۲. راهبرد برنامه توسعه زیرساخت‌های سبز شهری کرمانشاه با هدف رونق عملکرد محیطی سیمای سرزمین کدام است؟

پیشینه تجربی پژوهش

تجربه‌های پژوهشی موفق در زمینه زیرساخت‌های سبز به‌ویژه با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در امریکای شمالی، اروپا، استرالیا، و برخی از کشورهای آسیایی مانند چین و ژاپن افزایش روزافزون دارد. اما در کشورهای افریقایی، امریکای لاتین، و خاورمیانه هنوز درک درستی از ضرورت چنین نگرشی وجود ندارد. به‌علاوه زیرساخت سبز یک مفهوم نسبتاً جدید است و هنوز هیچ دستورالعمل یا قانونی برای آن در سطح جهانی و حتی در سطوح ملی وجود ندارد. از جمله پژوهش‌ها در ارتباط با موضوع زیرساخت سبز شهری که از اصول بوم‌شناسی و سنجه‌های سیمای سرزمین در روش کار آن‌ها استفاده شده است می‌توان به مطالعات خارجی و داخلی که در جدول ۱ آمده است اشاره کرد.

جدول ۱. پیشینه خارجی و داخلی تحقیقات در ارتباط با زیرساخت سبز شهری

نویسندگان (سال)	عنوان	روش	نتیجه
Shade & Kremer, (2019)	پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در فیلادلفیا به دنبال سیاست‌های زیرساخت سبز	مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین با استفاده از ترکیب روش‌های اتوماتای سلولی، LCM و زنجیره مارکوف و استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین	یافته‌های سنجه‌های سیمای سرزمین کاهش کلی فرایند ازم‌گسیختگی را بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۶ در سراسر سیمای سرزمین شهر فیلادلفیا به دلیل افزایش مناطق شهری نشان دادند که این اتفاق را می‌توان به کاهش کلی لکه‌ها از سال ۲۰۱۵ تسبیب داد.
Nazombe & (Nambazo, 2023)	پایش و ارزیابی از بین رفتن و ازم‌گسیختگی فضای سبز شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور در چهار شهر مالاوی از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۱	کمّی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در محیط نرم‌افزار Fragstats و استفاده از دانش سنجش از دور و تصاویر چندزمانی لندست	شهرنشینی شتابان منجر به از بین رفتن و ازم‌گسیختگی فضای سبز در چهار شهر مالاوی شده است.
نارویی و همکاران (۱۴۰۱)	ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی زیرساخت‌های سبز شهری مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرایندهای فضایی (مطالعه موردی: سیمای سرزمین تهران)	مدل‌سازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل CA-Markov در محیط نرم‌افزار TerrSet، استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری، کمّی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در محیط نرم‌افزار Fragstats	بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، فرایندهای فضایی حذف و قطعه‌قطعه شدن به ترتیب موجب کاهش تعداد و مساحت اراضی سبز و باز و کاهش پیوستگی و پراکنش نامتعادل آن‌ها شده است و در سال ۲۰۳۰ فرایند فضایی حذف بر هر دو اراضی سبز و باز زیرساخت سبز سیمای سرزمین تهران تأثیرگذار است.
ناصری و همکاران (۱۴۰۲)	تدوین راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز شهری با استفاده از ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه ۲ کلان‌شهر تهران)	استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶، مدل‌سازی نقشه پیش‌بینی پوشش اراضی سال ۲۰۳۲ با استفاده از زنجیره مارکوف در محیط نرم‌افزار IDRISI و کمّی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در محیط نرم‌افزار Fragstats	میزان پیوستگی فضای سبز روند کاهشی و ازم‌گسیختگی آن روند فزونی داشته است. اما پیوستگی اراضی انسان‌ساخت بیشتر شده است. مقدار قابل توجهی از اراضی باز به فضاهای ساخته‌شده تخصیص داده شده و مقدار کمی از آن‌ها نیز به اراضی سبز تبدیل شده‌اند.

برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهری با استفاده از اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین

بوم‌شناسی سیمای سرزمین که بر توجه هم‌زمان به سیستم‌های انسانی و طبیعی و تأثیر و تأثر آن‌ها بر هم بدون تفکیک از هم تأکید دارد قابلیت تحلیل و بیان کمّی نتایج حاصل از تعامل انسان و محیط زیست خود، که به صورت اختلال و ناهمگنی در پوشش سطح زمین بروز می‌کند، را دارد. کاربرد این رویکرد در زمینه‌های مختلف برنامه‌ریزی شهری (Turner, 2006)، برنامه‌ریزی سبزه‌راه‌ها و فضاهای باز شهری و فراشهری (Fu & Chen, 1999)، ارزیابی زمین به منظور برنامه‌ریزی پایدار کاربری اراضی (Hawking & Selman, 2002)، سناریوسازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مقیاس سیمای سرزمین (Nobukazu & Kong, 2005)، پایش تغییرات زمانی و مکانی کاربری فضای سبز شهری نشان‌دهنده این قابلیت است. در این پژوهش، با معرفی مفهوم «زیرساخت سبز شهری» و اشاره به اهمیت آن به عنوان یکی از عناصر مهم ساختار اکولوژیکی شهرها

از یک سو و معرفی «چالش‌های شهری» و اشاره به اصول اساسی برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهری از سوی دیگر از «اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین» به منظور تحلیل وضعیت موجود زیرساخت سبز شهری کرمانشاه و ارائه راهبرد برنامه‌ریزی زیرساخت سبز سیمای سرزمین کلان‌شهر کرمانشاه استفاده شده است.

واژه بوم‌شناسی سیمای سرزمین نخستین بار توسط ترول^۱ (۱۹۵۰) و نیف^۲ (۱۹۶۳) به کار برده شده است. ترول که یک جغرافیدان است بوم‌شناسی سیمای سرزمین را مطالعه روابط فیزیکی که منجر به ایجاد واحدهای فضایی (کاربری یا پوشش) گوناگون در یک منطقه می‌شوند تعریف می‌کند. به اعتقاد فورمن^۳ و گودرون (۱۹۸۶)، فورمن (۱۹۹۵)، فارینا^۴ (۱۹۹۸)، ترنر^۵ (۱۹۸۹)، و ناوه^۶ و لیبرمن (۱۹۸۴) تمرکز اصلی این رویکرد بر موارد زیر است:

- شناخت ماتریس و الگوهای توزیع اجزای (لکه، پوشش یا کاربری) تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین (ساختار)؛

- شناخت چگونگی جریان و حرکت ماده، انرژی، گیاه، حیوان و انسان در بین این اجزا (فرایند)؛

- شناخت پویایی ساختار و فرایند در طول زمان و مکان (تغییر)؛

- کاربرد یافته‌های حاصل از تحلیل ساختار، فرایند، و تغییر در دست‌یابی به اهداف مورد نظر (برنامه‌ریزی و مدیریت).

بنابراین می‌توان گفت «ساختار»، «فرایند» و «تغییر» سه رکن اصلی در مطالعه سیمای سرزمین هستند و اعتقاد مسلم بر این است که ساختار سیمای سرزمین دارای ارتباط مستقیم با عملکرد است و بنابراین تغییر در ساختار منجر به بروز تغییر در عملکرد می‌شود و نحوه مدیریت و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین از طریق ساختار و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Turner, 1989; McGarigal, 1998; Forman & Godron, 1986). بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین که در نتیجه فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، توسعه شهری و جاده‌سازی رخ می‌دهد از معمول‌ترین فرایندهای «تغییر» هستند که بر ساختار و عملکرد سیمای سرزمین تأثیر می‌گذارند. ساختار، عملکرد، و تغییر در آن‌ها را می‌توان با یک سری سنجها به صورت کمی اندازه‌گیری کرد و به عنوان مبنایی برای تحلیل شرایط موجود و تصمیم‌گیری برای آینده مورد استفاده قرار داد. سنجها به طور گسترده‌ای در تحلیل و برنامه‌ریزی کاربری فضای سبز شهری و فراشهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Nobukazu & Kong, 2005; Zhang & Wang, 2006; DiBari, 2007; Li et al., 2005). این پژوهش نیز در پی به کارگیری تعدادی از این سنجها در برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری کرمانشاه است. سنجهای مورد نیاز در تشریح سیمای سرزمین و فرایندهای کلیدی مرتبط با آن‌ها را که قابل کاربرد در برنامه‌ریزی شهری هستند می‌توان به طور کلی به دو دسته متریک‌های ترکیب، که بیان‌کننده ویژگی‌های تنوع و تعداد و چیرگی انواع کاربری‌ها هستند، و متریک‌های توزیع یا آرایش فضایی، که بیان‌کننده ویژگی‌های هندسی و مکان هندسی و هم‌جواری کاربری‌ها هستند، به صورت زیر تقسیم کرد (Botequilha & Ahern, 2002) (جدول ۲):

- برخی متریک‌های مربوط به ترکیب سیمای سرزمین عبارت‌اند از: غنای لکه‌ای (کاربری) و نسبت درصد هر لکه (کاربری)، تعداد لکه‌ها (کاربری‌ها)، اندازه لکه‌ها (کاربری‌ها)، ...؛

- برخی متریک‌های مربوط به آرایش فضایی لکه‌ها در سیمای سرزمین عبارت‌اند از: شکل لکه‌ها (نسبت قطر به مساحت)، کنتراست لکه، فاصله از نزدیک‌ترین لکه مجاور، شاخص میانگین مجاورت، شاخص سرایت، ...

جدول ۲. تعریف برخی متریک‌های سیمای سرزمین و فرایندهای مرتبط (Botequilha & Ahern, 2002)

فرایندها (شاخص عملکرد)	متریک‌ها (شاخص ساختار)
ساده‌سازی سیمای سرزمین (یا کاهش تنوع و ناهمگنی): مانند سیمای شهری که اساساً از یک نوع محصول تشکیل شده است.	PR (غنا لکه‌ای): سنجش تعداد پدیده‌های موجود سیمای سرزمین. در حداقل ارزش خود فقط یک نوع کاربری (پدیده) یا پوشش را نشان می‌دهد و بنابراین سیمای سرزمین فاقد تنوع است. همچنان که این متریک افزایش می‌یابد، تنوع/ناهمگنی بیشتری به وجود می‌آید. CAP (نسبت درصد هر کاربری): سنجش نسبت درصد هر کاربری یا پوشش سیمای سرزمین. اگر فقط یک کاربری یا پوشش درصد زیادی از مساحت سیمای سرزمین را به خود اختصاص داده باشد سرزمین قادر به فراهم کردن زیستگاه‌های مختلف و افزایش تنوع زیستی نخواهد بود.
اختلال (تکه‌تکه شدن) سیمای سرزمین: یک سیمای سرزمین اختلال‌یافته پیوستگی کمتری را فراهم می‌کند و باعث افزایش جدایی (انزوا) و بالا رفتن درصد وجود لبه‌های اکوتونی در لکه‌ها می‌شود.	NP (تعداد لکه‌ها): سنجش تعداد کل لکه‌های یک کاربری یا پوشش خاص. اگر کمیت این متریک زیاد باشد نشان می‌دهد که آن نوع کاربری یا پوشش دچار اختلالات (چندپارگی) شده است. MPS (میانگین اندازه لکه‌ها): سنجش میانگین اندازه لکه‌های هر کاربری یا پوشش سیمای سرزمین. اگر این متریک کوچک باشد بیانگر آن است که سیمای سرزمین دچار اختلال (چندپارگی) زیادی شده است. NP و MPS باید به طور مکمل به کار برده شوند. زیرا باعث بهبود و افزایش اعتبار تفسیر در شرایطی که سیمای سرزمین به شدت دچار اختلال شده است می‌شود.
گسترش اختلال: شامل آلودگی و آتش‌سوزی	MNNP و PROXIM (میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین لکه هم‌نوع و مجاورت): سنجش فاصله نسبی بین لکه‌های یک نوع کاربری یا پوشش خاص که می‌تواند به عنوان شاخصی برای نشان دادن پیوستگی بستر سیمای سرزمین به کار روند. گسترش اختلال (ناشی از آلودگی یا آتش‌سوزی) در صورتی که MNNP پایین و PROXIM بالا است بیشتر می‌شود. CONTAG (سرایت): سنجش تجمع نسبی انواع مختلف لکه‌ها در مقیاس سیمای سرزمین. سطوح بالایی سرایت ممکن است نشان‌دهنده پتانسیل گسترش اختلال باشد.

چارچوب تحلیل پژوهش

بر اساس نتایج حاصل از پیشینه تجربی پژوهش، چارچوب تحلیلی راهبرد برنامه توسعه زیرساخت‌های سبز شهری مشتمل بر ارزیابی پیوستگی ساختاری زیرساخت‌های سبز شهری با هدف رونق عملکرد محیطی تغییر جغرافیای سیمای سرزمین (و بر مبنای سنجش متریک‌های سیمای سرزمین) به شرح ذیل است:

ارزیابی تعادل ساختاری زیرساخت سبز

ارزیابی سازکار فضایی زیرساخت سبز

ارزیابی ارتباط فرایندی زیرساخت سبز

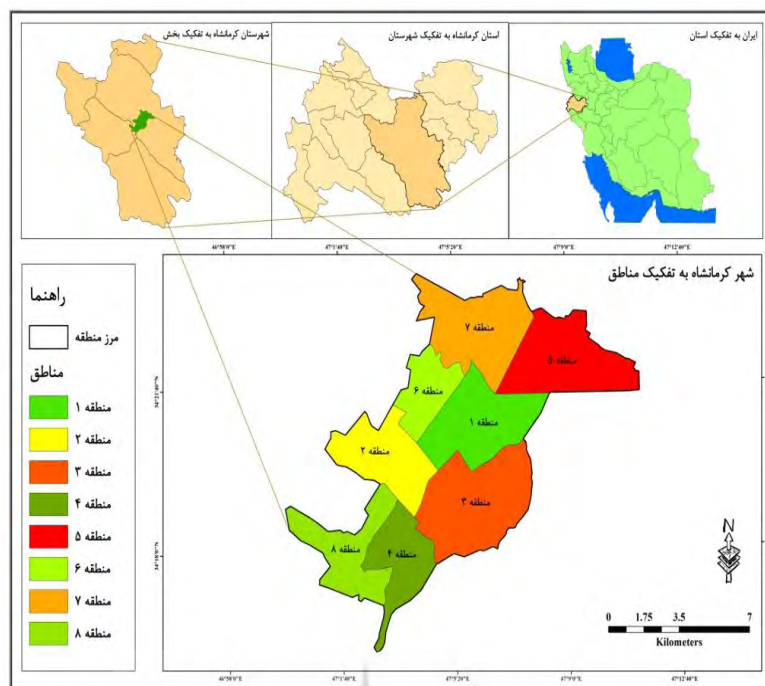
عناصر ساختار طبیعی

موزائیک عملکرد محیطی

دالان تغییر سیمای سرزمین

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

مساحت شهر کرمانشاه ۹۳۳۸/۹۹ هکتار است که با احتساب فضای پادگان‌ها، پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های آن حدود ۱۰۵۴۳/۸۳ هکتار است. این شهر در محدوده بین طول شرقی ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۱ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۴ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). شهر کرمانشاه دارای ارتفاع متوسط ۱۳۵۵/۵۹ متر از سطح دریاست و ارتفاع بالاترین و پایین‌ترین نقطه شهر به ترتیب ۱۶۲۷ و ۱۲۸۹ متر است. در شمال شهر کرمانشاه سیستم کوهستانی گسترده‌ای وجود دارد که قریب ۲۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت دارد (ارتفاعات پراو). این عارضه کوهستانی یکی از قوی‌ترین موانع طبیعی برای تکوین شهرها در مقیاس شهرستان و حتی استان است که به سمت جنوب ابتدا به باریکه‌ای واریزه‌ای تغییر می‌دهد و بعد از آن دشت‌های گسترده و پیوسته کرمانشاه و ماهی‌دشت خودنمایی می‌کنند (مهندسان مشاور معماری و شهرسازی طرح و آمایش، ۱۳۸۲).



شکل ۱. موقعیت کلان‌شهر کرمانشاه در تقسیمات کشوری

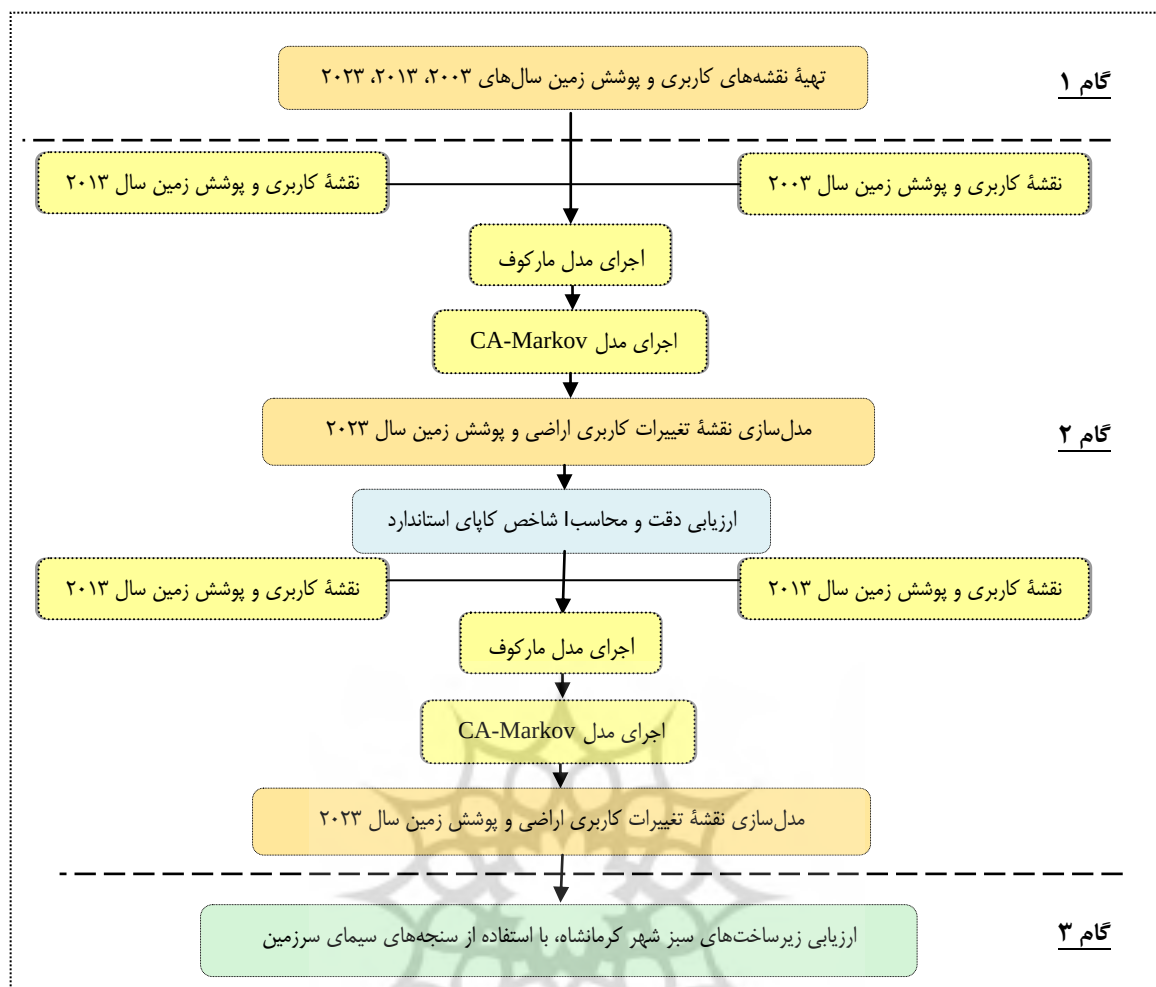
روش و ابزار پژوهش

پژوهش حاضر نوعی تحقیق توصیفی-تحلیلی با هدف‌گذاری کاربردی و روش آن مبتنی بر کار کتابخانه‌ای و میدانی است. در این پژوهش مفاهیم پایه و نظری درباره زیرساخت‌های سبز و اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین از طریق جمع‌آوری اطلاعات از منابع و اسناد کتابخانه‌ای استخراج شد. سپس به مطالعه و بررسی داده‌های حاصل از سنجش از دور و تحلیل فضایی تصاویر مستخرج از منطقه مورد مطالعه طی سه مرحله پرداخته شد که عبارت‌اند از:

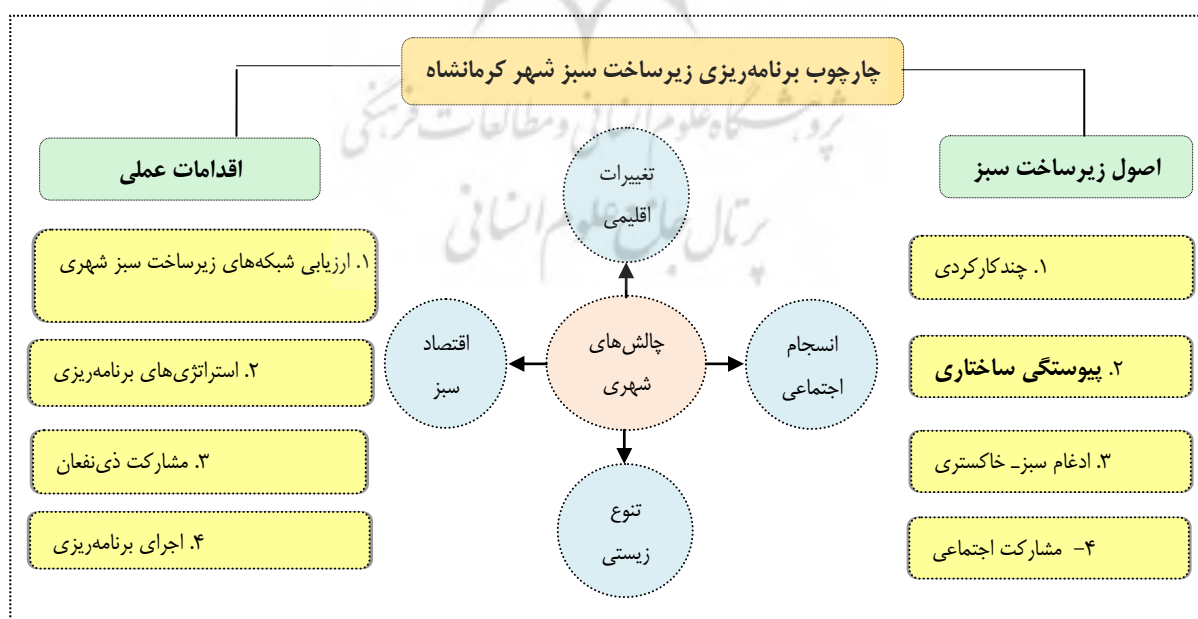
۱. تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ در دوره‌های زمانی ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ و استخراج کلاس‌های کاربری اراضی و پوشش زمین سیمای سرزمین شهر کرمانشاه با استفاده از تصاویر ذکرشده توسط نرم‌افزارهای ENVI 5.3 و ArcMap 10.3؛
۲. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه در سال ۲۰۳۳ با استفاده از مدل CA-Markov در محیط نرم‌افزار TerrSet 18.31؛
۳. محاسبه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در سه سال ۲۰۰۳، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۳ توسط نرم‌افزار Fragstats v4.2.

شکل ۲ چارچوب مراحل روش میدانی این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، جهت برنامه‌ریزی زیرساخت سبز و تبیین راهبردها برای شهر کرمانشاه از چارچوب و اصول برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهری استفاده شده است (شکل ۳). بنابراین بر مبنای اصول ادغام سبز-خاکستری، پیوستگی‌های بوم‌شناختی، چندکارکردی و مشارکت اجتماعی و با در نظر گرفتن چالش‌های شهری از جمله سازگاری با تغییرات اقلیمی، رونق تنوع زیستی، توسعه اقتصاد سبز، و پیشبرد انسجام اجتماعی برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه انجام شده است و در نهایت مکانیسم‌هایی که اجرای برنامه‌ها و اصول زیرساخت سبز شهری را تضمین می‌کند ارائه می‌شود.



شکل ۲. چارچوب مراحل و روش کار پژوهش



شکل ۳. چارچوب برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه (Hansen et al., 2017)

تهیه تصاویر ماهواره‌ای

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه، سه تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده ETM+ 7، OLI/TIRS 8 و OLI/TIRS 9 به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ از طریق سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا اخذ شد. جدول ۳ اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای برداشت‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده

تاریخ	تفکیک مکانی	شماره ردیف/گذر	سنجنده	مشخصات ماهواره
13 May, 2003	۳۰	۱۶۷/۳۶	ETM ⁺	لندست ۷
01 June, 2013	۳۰	۱۶۷/۳۶	OLI/TIRS	لندست ۸
05 June, 2023	۳۰	۱۶۷/۳۶	OLI/TIRS	لندست ۹

مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-Markov)

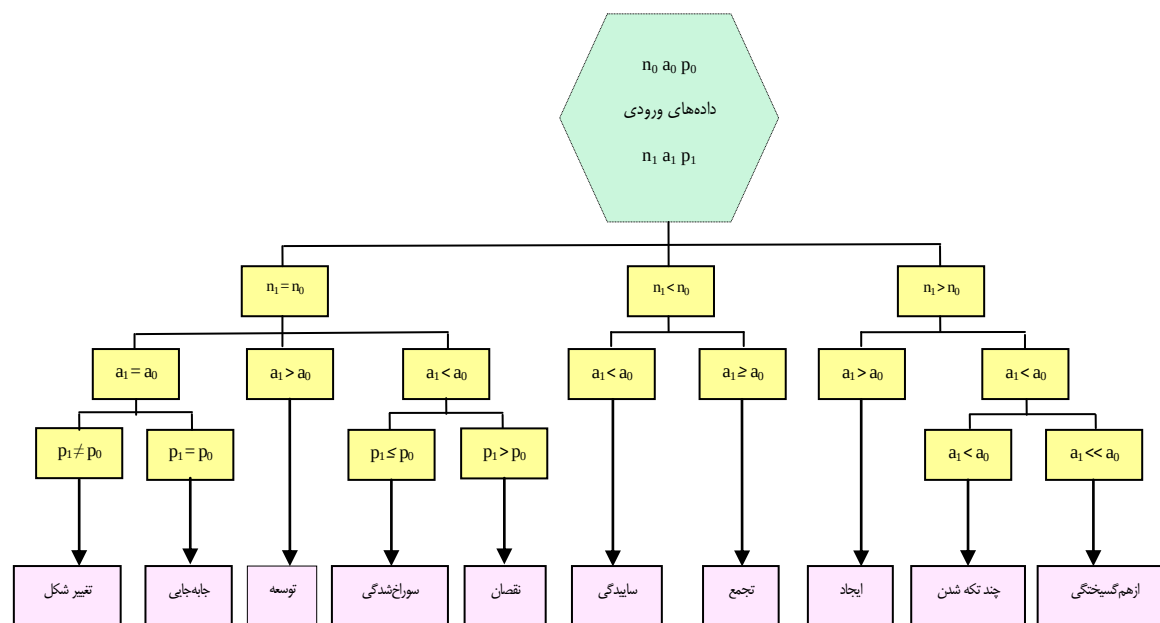
مدل تلفیقی CA-Markov یکی از مدل‌های رایج در میان بسیاری از ابزارها و تکنیک‌های مدل‌سازی کاربری اراضی و پوشش زمین است که تغییرات مکانی و زمانی را مدل‌سازی می‌کند (Regmi et al., 2014). مدل CA-Markov اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف را برای پیش‌بینی روندها و تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در طول زمان ترکیب می‌کند (Nouri et al., 2014). علاوه بر این، مدل CA-Markov یکی از ابزارهای پشتیبانی برنامه‌ریزی برای تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و توزیع فضایی کاربری اراضی و پوشش زمین است (Hua, 2017). همچنین، این مدل به طور گسترده برای توصیف پویایی/تغییر کاربری اراضی، پوشش زمین، پوشش جنگلی، پراکندگی شهری، رشد گیاهان و مدل‌سازی مدیریت آبخیز استفاده می‌شود. به علاوه، برای طراحی سیاست کاربری زمین، برنامه‌ریزی و اهداف توسعه کاربری پایدار زمین اهمیت دارد (Ghosh et al., 2017). بنابراین از دیدگاه بلندمدت، مطالعه تاریخی/زمانی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به منظور درک تعاملات بین انسان و محیط زیست شرط لازم است (Yang et al., 2014).

ارزیابی فرایندهای فضایی تغییر در سیمای سرزمین با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری

از آن‌جا که فرایندهای فضایی مؤثر در دگرگونی سیمای سرزمین و تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های فضایی از اهمیت زیادی برخوردار هستند، در این پژوهش از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری جهت تشخیص این فرایندها استفاده شده است. الگوریتم درخت تصمیم‌گیری تشخیص فرایندهای فضایی تغییر سیمای سرزمین را بر اساس سه فاکتور مساحت، محیط، و تعداد لکه‌ها در هر کلاس از سیمای سرزمین که باید قبل و بعد از تغییر سیمای سرزمین تعیین شوند انجام می‌دهد (Bogaert et al., 2004).

استخراج و انتخاب سنجه‌های سیمای سرزمین

در این پژوهش برای انتخاب سنجه‌های مناسب در سطوح کلاس و سیمای سرزمین که بیانگر ترکیب و توزیع سیمای منطقه باشد از مطالعات پیشین و نظرات کارشناسی استفاده شده است. همچنین به منظور کمی کردن ساختار و الگوی سیمای سرزمین شهری از نرم‌افزار Fragstats v4.2 استفاده شده است. بنابراین در مطالعه حاضر جهت تحلیل الگوی ترکیب و توزیع زیرساخت سبز سیمای سرزمین شهر کرمانشاه ده سنجه در سطح کلاس شامل CA، PLAND، LPI، ED، ENN_MN، PD، LJI، COHESION، LSI و شش سنجه در سطح سیمای سرزمین شامل NP، SHDI، ED، LSI و CONTAG انتخاب شدند. جدول ۴ اطلاعات مربوط به سنجه‌های ترکیب و توزیع استفاده‌شده در پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۴. الگوریتم درخت تصمیم‌گیری برای شناسایی فرایندهای دگرگونی که الگوی فضایی سیمای سرزمین را تغییر می‌دهد (پارامترهای n_0 ، a_0 ، p_0 و n_1 به مساحت، محیط، و تعداد لکه‌ها قبل از تغییر و پارامترهای a_1 ، p_1 و n_1 به مساحت، محیط، و تعداد لکه‌ها پس از تغییر الگوی سیمای سرزمین اشاره دارند) (Bogaert et al., 2004)

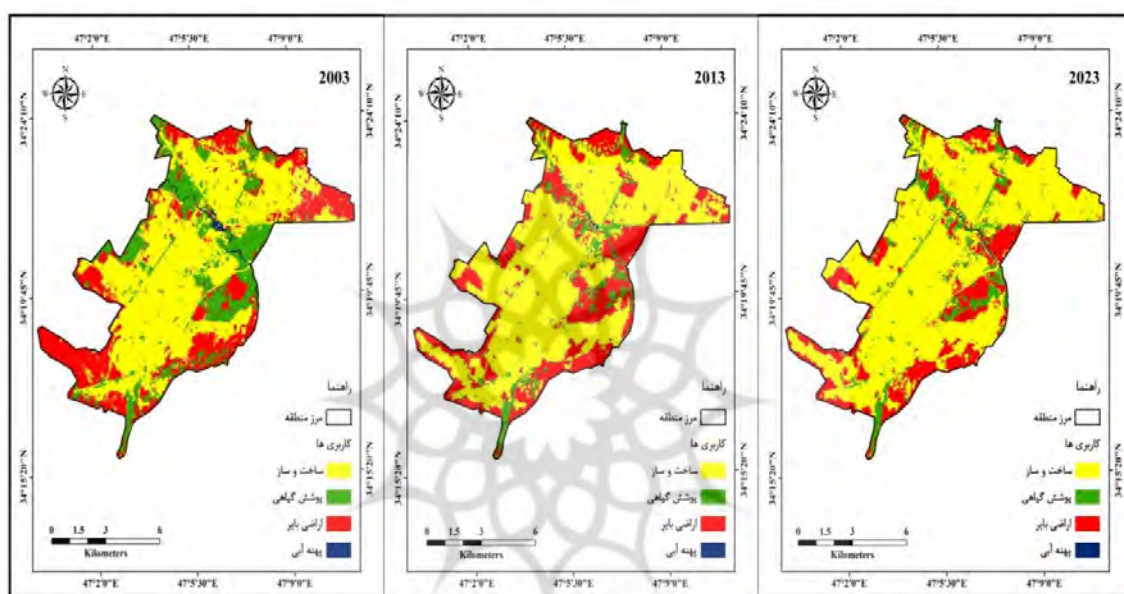
جدول ۴. سنجه‌های ترکیب و توزیع استفاده‌شده در پژوهش (منبع: McGarigal et al., 2002)

نام سنجه	علامت اختصاری	مقیاس مطالعه	واحد	محدوده تغییرات
مساحت هر کلاس	CA (Class of Area)	کلاس	هکتار	بدون محدودیت، $CA > 0$
درصد پوشش سیمای سرزمین	PLAND (Percentage of Landscape)	کلاس	درصد	$0 < PLAND \leq 100$
شاخص بزرگ‌ترین لکه	LPI (Largest Patch Index)	کلاس	درصد	$0 < LPI \leq 100$
تعداد لکه	NP (Number of Patches)	کلاس / سیمای سرزمین	بدون واحد	بدون محدودیت، $NP \geq 1$
تراکم لکه	PD (Patch Density)	کلاس / سیمای سرزمین	تعداد در ۱۰۰ هکتار	محدود به اندازه سلول، $PD > 0$
شاخص تنوع شانون	SHDI (Simpson's Diversity Index)	سیمای سرزمین	بدون واحد	$SHDI \geq 1$
تراکم حاشیه	ED (Edge Density)	کلاس / سیمای سرزمین	متر در هکتار	بدون محدودیت، $ED \geq 0$
میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی	ENN-MN (Euclidean Nearest-Neighbor Distance Mean)	کلاس	متر	بدون محدودیت، $ENN-MN > 0$
شاخص آمیختگی و مجاورت	IJI (Interspersion and Juxtaposition Index)	کلاس	درصد	$0 < IJI \leq 100$
شاخص شکل سیمای سرزمین	LSI (Landscape Shape Index)	کلاس / سیمای سرزمین	بدون واحد	بدون محدودیت، $LSI \geq 1$
شاخص پیوستگی لکه	COHESION (Patch Cohesion Index)	کلاس	بدون واحد	$0 < COHESION < 100$
شاخص شیوع	CONTAG (Contagion Index)	سیمای سرزمین	درصد	$0 < CONTAG \leq 100$

یافته‌های پژوهش

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳

در پژوهش حاضر، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ شهر کرمانشاه با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی و در نهایت چهار کلاس کاربری ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، اراضی بایر و پهنه‌های آبی استخراج شد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر نشان داد مقدار دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۹۷/۲۲، ۹۷/۵۰ و ۹۷/۸۴ درصد و مقدار ضریب کاپا نیز برای هر سه سال یادشده به ترتیب ۹۵/۷۶، ۹۶/۳۲ و ۹۶/۹۶ درصد به دست آمد که این میزان صحت در سطح قابل قبول و تطابق بالا بین نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده و اطلاعات مرجع زمینی را نشان می‌دهد. شکل ۵ نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی و پوشش زمین سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ شهر کرمانشاه را نمایش می‌دهد.



شکل ۵. نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین طبقه‌بندی‌شده شهر کرمانشاه در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ (منبع: یافته‌های پژوهش)

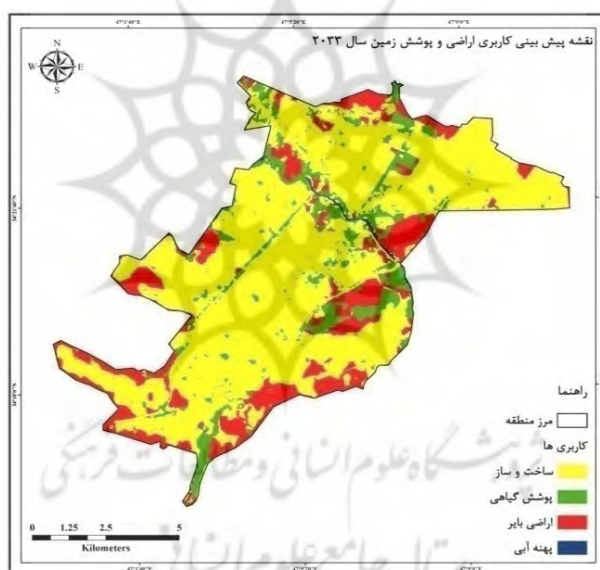
جدول ۵. میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به درصد و هکتار

کاربری	سال					
	۲۰۲۳	۲۰۱۳	۲۰۰۳	۲۰۲۳	۲۰۱۳	۲۰۰۳
	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)	درصد (%)	هکتار (ha)
ساخت‌وساز	۷۰/۰۶	۷۳۸۰/۳۹	۶۴/۱۸	۶۷۶۰/۹۸	۵۳/۸۴	۵۶۷۱/۹۹
پوشش گیاهی	۱۰	۱۰۵۳/۶۷	۸/۹۴	۹۴۱/۷۳	۲۰/۲۹	۲۱۳۷/۵۴
اراضی بایر	۱۹/۵۹	۲۰۶۴/۰۹	۲۶/۶۷	۲۸۰۹/۱۱	۲۵/۱۲	۲۶۴۶/۱۳
پهنه‌های آبی	۰/۳۴	۳۵/۶۲	۰/۲۱	۲۲/۲۵	۰/۷۴	۷۸/۴۰

جدول ۵ نیز میزان مساحت هر یک از کاربری‌ها را برای سه سال یادشده به صورت هکتار و درصد نشان می‌دهد. اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ مساحت کاربری‌های ساخت‌وساز از ۵۶۷۱/۹۹ هکتار به ۷۳۸۰/۳۹ هکتار افزایش یافته است. اما مساحت پوشش گیاهی، اراضی بایر و پهنه‌های آبی در دوره زمانی یادشده به ترتیب از ۲۱۳۷/۵۴، ۲۶۴۶/۱۳ و ۷۸/۴۰ هکتار به ۱۰۵۳/۶۷، ۲۰۶۴/۰۹ و ۳۵/۶۲ هکتار کاهش یافته که این امر بیشتر به علت رشد و توسعه کاربری ساخت‌وساز و افزایش جمعیت در شهر کرمانشاه است.

مدل سازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه بر اساس مدل CA-Markov در سال ۲۰۳۳

جهت تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۳۳، ابتدا نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۰۳ به عنوان اولین نقشه و نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۱۳ به عنوان دومین نقشه به مدل زنجیره مارکوف وارد شدند. پس از اجرای مدل، سه خروجی تحت عناوین تصاویر احتمال شرطی، ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال به دست آمد. برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۲۳ نیاز به نقشه کاربری اراضی پایه (نقشه سال ۲۰۱۳)، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی جهت مدل سازی است. با وارد کردن این ورودی‌ها در مدل CA-Markov، نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳ تولید شد. پس از پیش‌بینی و مدل سازی با روش CA-Markov، باید ارزیابی و تعیین اعتبار مدل برای مشخص کردن توانایی مدل در پیش‌بینی انجام گیرد (Lotfian, 2016). در این مطالعه، مقدار شاخص کاپای استاندارد حاصل از صحت‌سنجی مدل بر اساس نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده و پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۲۳ مقدار ۰/۸۷ به دست آمد که این میزان صحت در سطح قابل قبولی است و می‌توان نتیجه گرفت که مدل CA-Markov با میزان صحت ۰/۸۷ می‌تواند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۳۳ را با دقت بالایی پیش‌بینی کند. بنابراین با وارد کردن نقشه سال ۲۰۲۳ به عنوان نقشه پایه، ماتریس مساحت انتقال بین سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ و تصاویر احتمال شرطی در مدل CA-Markov نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۳۳ تولید شد. شکل ۶ نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۳ حاصل از مدل CA-Markov را نمایش می‌دهد.



شکل ۶. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین در سال ۲۰۳۳ (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۶ نیز میزان مساحت کاربری ساخت‌وساز، پوشش زمین، اراضی بایر و پهنه‌های آبی را برای سال ۲۰۳۳ به صورت هکتار و درصد نشان می‌دهد.

جدول ۶. میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه در سال ۲۰۳۳ به درصد و هکتار

مساحت	کاربری			
	ساخت‌وساز	پوشش گیاهی	اراضی بایر	پهنه‌های آبی
هکتار (ha)	۷۵۶۳/۹۳	۱۲۴۲/۱۸	۱۶۸۵/۲۱	۴۰/۷۸
درصد (%)	۷۱/۸۲	۱۱/۷۹	۱۶	۰/۳۹

تعیین فرایندهای فضایی تغییر با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری

بر اساس داده‌های جدول ۷ بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ مساحت لکه‌های کاربری ساخت‌وساز از ۵۶/۷۲ به ۷۳/۸۰ کیلومتر مربع افزایش یافته، درحالی‌که تعداد لکه‌ها از ۳۷۰ به ۲۱۰ کاهش یافته است. این روند بیانگر شکل‌گیری فرایند فضایی تجمع در این کاربری است. پیش‌بینی‌ها نیز نشان می‌دهد که طی سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۳ روند افزایشی مساحت و کاهش تعداد لکه‌ها تداوم خواهد داشت و فرایند فضایی تجمع تقویت می‌شود. پوشش گیاهی شهر کرمانشاه در دوره بیست‌ساله اول با کاهش هم‌زمان تعداد و مساحت لکه‌ها دچار فرایند فضایی ساییدگی شده است. با این حال، پیش‌بینی‌ها برای دهه آینده نشان‌دهنده افزایش مساحت و کاهش تعداد لکه‌هاست که حاکی از تغییر جهت به سوی فرایند فضایی تجمع در این کاربری است. اراضی بایر نیز در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ روندی مشابه پوشش گیاهی داشته و با کاهش در تعداد و مساحت لکه‌ها وارد فاز ساییدگی شده‌اند. در بازه ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۳ کاهش جزئی مساحت این اراضی از ۲۰/۶۴ به ۱۶/۸۵ کیلومتر مربع و کاهش شدید تعداد لکه‌ها از ۳۱۱ به ۱۱۳ ادامه فرایند ساییدگی را نشان می‌دهد. پهنه‌های آبی کرمانشاه بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ با کاهش مساحت از ۰/۷۸ به ۰/۳۶ کیلومتر مربع و افزایش تعداد لکه‌ها از ۹ به ۱۳ دچار فرایند فضایی ازهم‌گسیختگی شده‌اند. پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش هم‌زمان تعداد و مساحت پهنه‌های آبی در دهه آینده است که بیانگر آغاز فرایند فضایی ایجاد در این کاربری خواهد بود.

جدول ۷. فرایندهای فضایی مؤثر در دگرگونی سیمای سرزمین شهر کرمانشاه بر اساس الگوریتم درخت تصمیم‌گیری

دوره زمانی	کاربری‌ها	تعداد لکه‌ها	مساحت لکه‌ها (km ²)	محیط لکه‌ها (km)	فرایند فضایی تغییر
۲۰۰۳ - ۲۰۲۳	ساخت‌وساز	۲۱۰ - ۳۷۰	۷۳/۸۰ - ۵۶/۷۲	۵۶۱/۶۲ - ۵۹۶/۲۸	تجمع
	پوشش گیاهی	۶۱۶ - ۶۱۸	۱۰/۵۴ - ۲۱/۳۸	۴۲۳/۷۹ - ۵۱۸/۷۶	ساییدگی
	اراضی بایر	۳۱۱ - ۴۹۱	۲۰/۶۴ - ۲۶/۴۶	۳۹۷/۹۳ - ۵۰۹/۳۲	ساییدگی
	پهنه آبی	۹ - ۱۳	۰/۳۶ - ۰/۷۸	۱۸/۸۳ - ۳۱/۴۷	ازهم‌گسیختگی
۲۰۲۳ - ۲۰۳۳	ساخت‌وساز	۱۲۲ - ۲۱۰	۷۵/۶۴ - ۷۳/۸۰	۳۵۸/۲۷ - ۵۶۱/۶۲	تجمع
	پوشش گیاهی	۵۰۷ - ۶۱۶	۱۲/۴۲ - ۱۰/۵۴	۲۹۶/۴۲ - ۴۲۳/۷۹	تجمع
	اراضی بایر	۱۱۳ - ۳۱۱	۱۶/۸۵ - ۲۰/۶۴	۱۹۲/۸۰ - ۳۹۷/۹۳	ساییدگی
	پهنه آبی	۱۶ - ۱۳	۰/۴۱ - ۰/۳۶	۱۷/۳۷ - ۱۷/۸۳	ایجاد

بررسی روند تغییرات الگوی ترکیب و توزیع زیرساخت سبز شهر کرمانشاه

در این بخش روند تغییرات ساختار یا الگوی ترکیب و توزیع زیرساخت سبز سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در چهار طبقه کاربری ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، اراضی بایر و پهنه‌های آبی توسط سنجه‌های سیمای سرزمین در سطوح کلاس و سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گرفته است.

تحلیل روند تغییرات سنجه‌ها در سطح کلاس

بررسی سنجه‌های CA و PLAND نشان‌دهنده روند فزاینده گسترش کاربری ساخت‌وساز در شهر کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ است، طوری که هم مساحت هم درصد پوشش این کاربری افزایش می‌یابد و پیش‌بینی می‌شود که این روند تا سال ۲۰۳۳ ادامه یابد (جدول ۸). این رشد فضایی بیانگر جایگزینی عناصر انسان‌ساخت به جای کاربری‌های بوم‌شناختی همچون پوشش گیاهی و اراضی بایر است. در مقابل پوشش گیاهی در دوره نخست دچار افت شدید در هر دو سنجه شد که ناشی از فرایند ساییدگی و حذف لکه‌هاست. اما بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۳ با افزایش CA از ۱۰۵۳/۶۷ هکتار به ۱۲۴۲/۱۸ هکتار و PLAND از ۱۰/۰۲ درصد به ۱۲/۰۴ درصد بستر سیمای سرزمین وارد فرایند تجمع و پیوستگی فضایی خواهد شد. اراضی بایر نیز با کاهش مداوم CA (از ۲۶۴۶/۱۳ هکتار به ۲۰۶۴/۰۹ هکتار) و PLAND (از ۲۵/۱۲ درصد به ۱۶/۶۳ درصد) در معرض فرایند ساییدگی قرار گرفته‌اند، روندی که تا سال ۲۰۳۳ تداوم می‌یابد. پهنه‌های آبی نیز کاهش چشم‌گیر در مساحت داشته‌اند. اما پیش‌بینی می‌شود طی دهه آینده با شکل‌گیری فرایند ایجاد افزایش در مساحت و تعداد لکه‌ها را تجربه کنند.

جدول ۸. نتایج محاسبه سنجه‌های ترکیب و توزیع سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در سطح کلاس

دوره زمانی	سنجه کاربری	ترکیب									توزیع		
		CA	NP	PD	PLAND	LPI	ED	ENN-MN	IJI	LSI	COHESION		
۲۰۰۳	ساخت‌وساز	۵۶۷۱/۹۹	۳۷۰	۳/۵۱	۵۳/۸۷	۳۴/۷۸	۵۱/۵۱	۹۷/۹۹	۶۸/۵۳	۱۸/۴۰	۹۹/۵۳		
	پوشش گیاهی	۲۱۳۷/۵۴	۶۱۸	۵/۸۶	۲۰/۲۴	۳/۲۸	۴۳/۷۸	۱۱۴/۲۸	۷۴	۲۶/۰۱	۹۴/۸۴		
	اراضی بایر	۲۶۴۶/۱۳	۴۹۱	۴/۶۶	۲۵/۱۲	۶/۵۳	۴۱/۳۴	۱۲۱/۲۴	۶۳/۹۵	۲۳/۸۴	۹۷/۵۱		
	پهنه آبی	۷۸/۴۰	۹	-/۰۸	-/۷۵	-/۵۱	۲/۷۷	۱۳۴۰/۴۶	۷۵/۵۰	۸/۶۳	۹۴/۹۴		
۲۰۲۳	ساخت‌وساز	۷۳۸۰/۳۹	۲۱۰	۱/۹۹	۶۹/۹۸	۴۵/۳۶	۴۷/۹۲	۸۹/۵۹	۶۷/۹۹	۱۵/۴۲	۹۹/۷۲		
	پوشش گیاهی	۱۰۵۳/۶۷	۶۱۶	۵/۸۴	۱۰/۰۲	-/۸۶	۳۵/۹۰	۱۲۷/۲۹	۶۲/۹۹	۲۹/۵۹	۸۹/۹۶		
	اراضی بایر	۲۰۶۴/۰۹	۳۱۱	۲/۹۵	۱۹/۶۳	۳/۵۱	۳۱/۴۹	۱۳۴/۵۱	۵۸/۳۵	۲۱/۱۷	۹۶/۷۰		
	پهنه آبی	۳۵/۶۲	۱۳	-/۱۲	-/۳۵	-/۲۶	۱/۷۰	۱۱۴۱/۲۹	۸۲/۸۳	۸/۲۱	۹۲/۲۵		
۲۰۳۳	ساخت‌وساز	۷۵۶۳/۹۳	۱۲۲	۱/۱۵	۷۱/۵۹	۴۶/۸۷	۳۸/۶۷	۹۲/۵۲	۶۳/۰۹	۱۲/۶۴	۹۹/۷۴		
	پوشش گیاهی	۱۲۴۲/۱۸	۵۰۷	۴/۸۱	۱۲/۰۴	-/۹۵	۳۳/۵۴	۱۳۲/۹۳	۵۴/۵۰	۲۵/۳۶	۹۱/۷۹		
	اراضی بایر	۱۶۸۵/۲۱	۱۱۳	۱/۰۷	۱۵/۹۷	۳/۲۲	۱۸/۱۹	۱۷۴/۲۰	۶۳/۶۲	۱۴/۶۰	۹۷/۱۴		
	پهنه آبی	۴۰/۷۸	۱۶	-/۱۵	-/۳۸	-/۱۹	۱/۷۱	۹۳۸/۵۴	۸۶/۸۰	۷/۹۳	۸۹/۳۹		

کاهش در سنجه‌های NP و PD برای کاربری ساخت‌وساز (NP از ۳۷۰ به ۲۱۰ و PD از ۳/۵۱ به ۱/۱۵) همراه با افزایش سنجه CA نشان‌دهنده پیوستگی لکه‌ها و شکل‌گیری الگوی تجمعی است. این وضعیت ضمن افزایش انسجام لکه‌های انسان ساخت منجر به کاهش پیوستگی‌های بوم‌شناختی در شبکه زیرساخت‌های سبز شهری می‌شود. در سوی دیگر، پوشش گیاهی در دوره اول با کاهش سنجه‌های NP و PD تحت فرایند ساییدگی قرار گرفت. اما پیش‌بینی می‌شود در دوره دوم با افزایش مقدار این سنجه‌ها پیوستگی فضایی و عملکرد اکولوژیکی آن بهبود یابد. اراضی بایر در دوره اول با کاهش هم‌زمان در مساحت و تعداد و تراکم لکه‌ها وارد فاز پیش‌رونده ساییدگی شده‌اند و طبق پیش‌بینی این مطالعه همچنان با کاهش NP و PD و افزایش ازهم‌گسیختگی مواجه خواهند بود. پهنه‌های آبی نیز از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ کاهش در مساحت و انسجام لکه‌ها را تجربه کرده‌اند. اما پیش‌بینی می‌شود در دهه پیش رو با افزایش لکه‌ها و وسعت به سمت پیوستگی بیشتر حرکت کنند. سنجه LPI برای کاربری ساخت‌وساز در تمام دوره‌ها افزایشی بوده که نشان از رشد یکپارچه لکه‌های انسان ساخت دارد، درحالی‌که برای پوشش گیاهی و اراضی بایر بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ کاهش یافته است. با این حال، سنجه LPI برای پوشش گیاهی از ۰/۸۶ در سال ۲۰۲۳ به ۰/۹۵ در ۲۰۳۳ افزایش خواهد یافت که نشان‌دهنده آغاز روند تجمع فضایی است. کاهش LPI در پهنه‌های آبی نیز تداوم خواهد داشت. در مورد ED و LSI، روند کاهشی برای اغلب کاربری‌ها مشاهده شد که به معنی کاهش پیچیدگی شکل لکه‌ها و افزایش انسجام ساختاری آن‌هاست. این روند در بیشتر کاربری‌ها تا سال ۲۰۳۳ نیز ادامه خواهد یافت. هرچند برای پوشش گیاهی سنجه LSI در دوره اول افزایشی بود، در دهه پیش رو کاهش خواهد یافت. مقدار سنجه ENN_MN برای کاربری ساخت‌وساز و پهنه‌های آبی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ کاهش یافته که به معنای نزدیکی فیزیکی لکه‌های هم‌نوع است و این روند برای پهنه‌های آبی در دهه آینده همچنان ادامه خواهد یافت، درحالی‌که برای پوشش گیاهی و اراضی بایر بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ افزایش داشته و ادامه خواهد یافت که بیانگر ازهم‌گسیختگی فزاینده است. سنجه IJI برای کاربری ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، و اراضی بایر کاهش یافته که بیانگر افت در اختلاط با سایر کاربری‌ها است. این روند برای اراضی بایر در دوره آتی معکوس خواهد شد؛ درحالی‌که روند افزایشی IJI برای پهنه‌های آبی در کل دوره حفظ می‌شود. سنجه COHESION برای کاربری ساخت‌وساز از ۹۹/۵۳ به ۹۹/۷۴ افزایش یافته است که نشان‌دهنده پیوستگی فیزیکی بالاتر لکه‌ها و تقویت یکپارچگی عناصر انسان ساخت در سیمای سرزمین شهری است. این در حالی است که سنجه ذکرشده برای پوشش گیاهی، اراضی بایر و پهنه‌های آبی کاهش یافته است، با این تفاوت که در دهه آینده افزایش نسبی در سنجه COHESION برای پوشش گیاهی و اراضی بایر پیش‌بینی می‌شود، ولی پهنه‌های آبی همچنان در مسیر ازهم‌گسیختگی خواهند بود.

تحلیل روند تغییرات سنج‌ها در سطح سیمای سرزمین

در بازه زمانی ۲۰ ساله بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳، تعداد لکه‌های سیمای سرزمین شهر کرمانشاه از ۱۴۸۸ به ۱۱۵۰ لکه کاهش یافته است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۳ این مقدار به ۷۵۸ لکه برسد (جدول ۹).

جدول ۹. نتایج محاسبه سنج‌های ترکیب و توزیع سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در سطح سیمای سرزمین						
سال	سنج			ترکیب		
	CONTAG	LSI	ED	SHDI	PD	NP
۲۰۰۳	۴۷/۷۳	۲۰/۰۴	۶۹/۷۰	۱/۰۴	۱۴/۱۲	۱۴۸۸
۲۰۲۳	۵۸/۲۲	۱۷/۱۷	۵۸/۵۱	۰/۸۲	۱۰/۹۱	۱۱۵۰
۲۰۳۳	۶۰/۷۳	۱۴/۰۴	۴۶/۰۶	۰/۸۱	۷/۱۹	۷۵۸

کاهش پیوسته سنج NP بیانگر افزایش یکپارچگی و هم‌پیوندی کاربری‌ها و در نتیجه ساده‌سازی ساختار فضایی منطقه است. در همین زمینه، سنج PD نیز از ۱۴/۱۲ به ۱۰/۹۱ کاهش یافته است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۳ به ۷/۱۹ برسد که مؤید کاهش تعداد لکه‌ها در واحد سطح و تقویت ساختار فضایی منسجم‌تر است. شاخص تنوع شانون (SHDI)، که منعکس‌کننده غنای نسبی لکه‌هاست، از ۱/۰۴ در سال ۲۰۰۳ به ۰/۸۲ در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است و این روند نزولی تا ۰/۸۱ در سال ۲۰۳۳ ادامه خواهد داشت، که بیانگر کاهش تنوع نسبی لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین شهر کرمانشاه است و از منظر بوم‌شناختی یک روند نامطلوب محسوب می‌شود. سنج ED نیز روند کاهشی داشته است و از ۶۹/۷۰ به ۵۸/۵۱ و سپس به ۴۶/۰۶ خواهد رسید. این کاهش نشانگر منظم‌تر شدن لکه‌ها، کاهش نواحی مرزی و ساده‌تر شدن ساختار کلی سیمای سرزمین شهر کرمانشاه است. هم‌سو با این تغییرات، سنج LSI نیز از ۲۰/۰۴ در سال ۲۰۰۳ به ۱۴/۰۴ در سال ۲۰۳۳ کاهش خواهد یافت که این امر نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و متقارن‌تر شدن فرم لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین است. در مورد سنج شیوع یا سرایت (CONTAG)، که نمایانگر درجه آمیختگی یا هم‌جواری لکه‌هاست، روندی افزایشی از ۴۷/۷۳ درصد در سال ۲۰۰۳ به ۶۰/۷۳ درصد در سال ۲۰۳۳ مشاهده می‌شود. این افزایش احتمال گسترش اختلالات ناشی از گسترش بیش از حد برخی کاربری‌ها، خصوصاً کاربری‌های غالب را بالا می‌برد و نشان‌دهنده همگن‌تر شدن الگوی فضایی در سطح سیمای سرزمین است.

بحث و نتیجه

در این پژوهش، ابتدا نقشه تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ تهیه و در گام دوم با استفاده از مدل CA-Markov نقشه پیش‌بینی‌شده برای سال ۲۰۳۳ استخراج شد. سپس سنج‌های ساختاری سیمای سرزمین در سطوح کلاس و سیمای سرزمین محاسبه و در نهایت راهکارهایی برای بهبود وضعیت زیرساخت‌های سبز شهری پیشنهاد شد. یافته‌ها نشان می‌دهند که در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۳ زیرساخت‌های سبز شهر کرمانشاه با تغییرات قابل توجهی مواجه بوده که شامل کاهش پیچیدگی و ساده‌تر شدن شکل لکه‌های سبز، افزایش فاصله بین لکه‌های زیرساخت سبز به‌ویژه لکه‌های پوشش گیاهی و اراضی بایر، جدافتادگی و انزوای آن‌ها، تضعیف پیوستگی عملکردی و ساختاری بین لکه‌های زیرساخت سبز و کاهش مجاورت و اختلاط بین لکه‌های هم‌نوع و غیر هم‌نوع است. این تغییرات عمدتاً ناشی از توسعه سریع کاربری‌های انسانی، رشد جمعیت و فرایندهای فضایی ساییدگی و ازهم‌گسیختگی است که موجب شده الگوی توزیع زیرساخت‌های سبز ازهم‌گسیخته و فاقد انسجام اکولوژیکی شود. بنابراین روند توزیع زیرساخت‌های سبز در سطح سیمای سرزمین شهر کرمانشاه بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۳ از الگوی مناسبی پیروی نمی‌کند.

بر اساس یافته‌های پژوهش طی یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۰۳ - ۲۰۳۳) تأثیر فرایندهای نامطلوب ساییدگی و ازهم‌گسیختگی بر زیرساخت‌های سبز شهر کرمانشاه و کاهش تعداد لکه‌های سبز و تبدیل آن‌ها به مناطق ساخت‌وساز منجر به انزوای عناصر زیرساخت سبز، کاهش تنوع زیستی، از بین رفتن زیستگاه‌های کوچک و افزایش آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر عوامل محیطی می‌شود. به طور کلی، روند تغییرات سی ساله نشان‌دهنده کاهش مساحت و تعداد لکه‌های سبز، کاهش پیوستگی و ارتباط

فیزیکی بین لکه‌های زیرساخت سبز و افزایش پراکندگی آن‌ها و در نهایت ساده شدن الگوی سیمای سرزمین شهر کرمانشاه است؛ موضوعی که عملکرد بوم‌شناختی، چرخه انرژی و جریان مواد را با اختلال مواجه می‌کند و تهدیدی برای پایداری اکولوژی شهر به شمار می‌رود.

مقایسه یافته‌های این پژوهش با مطالعات مشابه، نظیر شید و کرمر (۲۰۱۹)، نشان می‌دهد که کاهش تعداد لکه‌ها، افزایش شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) برای کاربری ساخت‌وساز، و توسعه مناطق انسان‌ساخت در شهر کرمانشاه موجب کاهش ازهم‌گسیختگی و افزایش اتصال فیزیکی سیمای سرزمین شده است، روندی که با نتایج مطالعه یادشده درباره شهر فیلادلفیا هم‌سو بوده است. در هر دو مطالعه افزایش اتصال فیزیکی سیمای سرزمین به توسعه کاربری‌های شهری و کاهش تعداد لکه‌ها نسبت داده شده است. همچنین، یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه نازومیه و نامبازو (۲۰۲۳) تطابق دارد؛ طوری که تأثیر فرایند ازهم‌گسیختگی بر پهنه آبی شهر کرمانشاه با افزایش تعداد و تراکم لکه‌ها و کاهش شاخص LPI همراه بوده است، مشابه آنچه در فضای سبز چهار شهر مورد بررسی در مطالعه یادشده گزارش شده است. از مزایای این پژوهش نسبت به مطالعات خارجی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. استفاده از مجموعه گسترده‌تری از سنج‌های ساختاری در هر دو سطح کلاس و سیمای سرزمین برای تحلیل دقیق‌تر ساختار و تحولات زیرساخت‌های سبز شهری؛

۲. ارائه راهبردهای بومی‌شده و متناسب با ویژگی‌های جغرافیای طبیعی شهر کرمانشاه به منظور بهبود عملکرد بوم‌شناختی زیرساخت‌های سبز.

همچنین، مقایسه این پژوهش با مطالعه ناروئی و همکارانش (۱۴۰۱) نشان می‌دهد که در هر دو تحقیق فرایندهای فضایی ساییدگی و تجمع منجر به تضعیف عملکرد بوم‌شناختی زیرساخت‌های سبز و ساده شدن ساختار سیمای سرزمین در کلان‌شهرهای کرمانشاه و تهران شده‌اند. با این حال، مزیت پژوهش حاضر در تلفیق اصول برنامه‌ریزی زیرساخت سبز با سه رکن اصلی رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین (ساختار، عملکرد و تغییر) برای ارزیابی جامع‌تر و راهبردی‌تر زیرساخت‌های سبز شهری است. در این مطالعه، چهار اصل کلیدی بوم‌شناسی سیمای سرزمین شامل چندکارکردی، پیوستگی‌های بوم‌شناختی، ادغام عملکردی و مشارکت اجتماعی در برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه با توجه به چالش‌های تغییر اقلیم، کاهش تنوع زیستی، نیاز به اقتصاد سبز و انسجام اجتماعی مدنظر قرار گرفته است و بر اساس نتایج حاصل از چارچوب تحلیلی پژوهش، راهبرد برنامه توسعه زیرساخت‌های سبز شهری، مشتمل بر برنامه‌ریزی پیوستگی ساختاری زیرساخت‌های سبز شهری، به منظور رونق عملکرد محیطی تغییر جغرافیای سیمای سرزمین (و بر مبنای سنجش متریک‌های سیمای سرزمین) به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

- برنامه‌ریزی جغرافیای ساخت طبیعی [محتوای ساختاری زیرساخت سبز]

- برنامه‌ریزی جغرافیای زیرساخت محیطی [توزیع فضایی زیرساخت سبز]

- برنامه‌ریزی جغرافیای شبکه ساخت سیمای سرزمین [دالان فرایندی زیرساخت سبز]

اصل چندکارکردی: این اصل به بهینه‌سازی هم‌زمان عملکردهای محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی زیرساخت سبز اشاره دارد. برای کرمانشاه، راهکارهایی چون نوسازی پارک‌ها، ایجاد بام‌های سبز و مدیریت آب‌های سطحی، بهبود زیبایی‌شناسی و ثبات اجتماعی را به همراه دارد. تخصیص اراضی کم‌بازده شرقی شهر به پارک جنگلی با درختان بومی نیز کارکردهایی نظیر بهبود کیفیت هوا، کنترل سیلاب و افزایش زیستگاه‌های پرندگان را دنبال می‌کند. حفاظت از فضاهای سبز کلیدی، تبدیل اراضی بایر به کاربری‌های عمومی مانند پارک‌های علمی و بازطراحی مناطق مسکونی با رویکرد چندمنظوره از دیگر اقدامات پیشنهادی است.

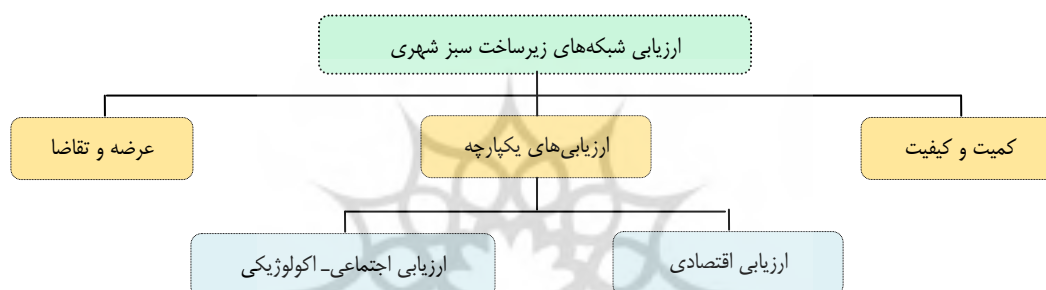
اصل پیوستگی: هدف این اصل کاهش ازهم‌گسیختگی فضاهای سبز و بازایی اتصال عملکردی و فیزیکی بین لکه‌های سبز شهری است. راهکارهایی چون ایجاد کمربندی‌های سبز پیرامونی، کریدورهای اکولوژیکی در مناطق شمالی و غربی و شرقی شهر کرمانشاه، اتصال شبکه پارک‌ها و فضای سبز خیابان‌ها، و احیای فضای پیرامون رودخانه قره‌سو با مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری با هدف توسعه همبستگی سرزمینی و ارتقای کیفیت اکولوژیکی شهر پیشنهاد می‌شود.

اصل ادغام سبز- خاکستری: این اصل بر یکپارچگی زیرساخت‌های سبز با دیگر اجزای کالبدی و عملکردی شهر تأکید

دارد. راهکارهایی مانند تلفیق فضاهای سبز با شبکه معابر، ساخت حوضچه‌های کنترل آب سطحی، استفاده از سنگفرش‌های اکولوژیکی، احداث ترانشه‌های سبز نفوذپذیر و کاشت گیاهان بومی در حاشیه معابر جهت کاهش آلودگی، تعدیل دمایی و بهبود کیفیت محیط شهری از مصادیق ادغام هستند.

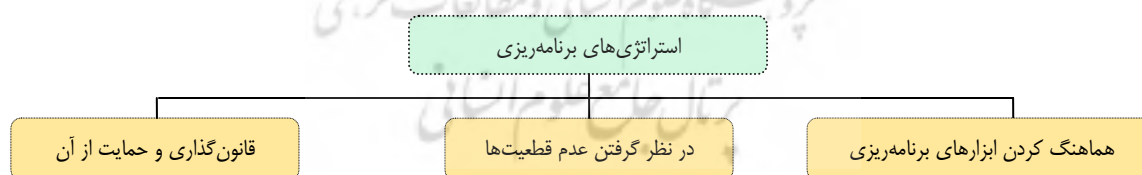
اصل مشارکت اجتماعی: مشارکت شهروندان در برنامه‌ریزی و مدیریت زیرساخت‌های سبز در قالب ارائه ایده‌ها، اداره فضاهای متروکه و ایجاد باغ‌های اجتماعی، به خودمدیریتی و حس تعلق اجتماعی منجر می‌شود. همچنین تلفیق GIS با ابزارهای WebGIS برای جمع‌آوری نظرات مکانی مردم فرایند تصمیم‌گیری را به صورت علمی-اجتماعی تقویت می‌کند. همچنین، چهار جنبه اصلی زیر باید برای شهر کرمانشاه فراهم باشد تا سیاست‌ها و برنامه‌های زیرساخت سبز شهر کرمانشاه بر اساس اصول بیان شده اجرا شود:

- ارزیابی شبکه‌های زیرساخت سبز شهری: ارزیابی سیستماتیک زیرساخت‌های سبز شهری موجود پیش‌درآمد اساسی برای توسعه هر طرح زیرساخت سبز شهری سالم است. اما ارزیابی‌ها نیز ابزارهایی برای افزایش آگاهی از مزایای چندانة زیرساخت شهری هستند. کمی کردن این مزایا می‌تواند یک استراتژی مؤثر برای ترویج سرمایه‌گذاری در زیرساخت سبز شهری باشد، اگر به‌خوبی به مردم و تصمیم‌گیرندگان ابلاغ شود.



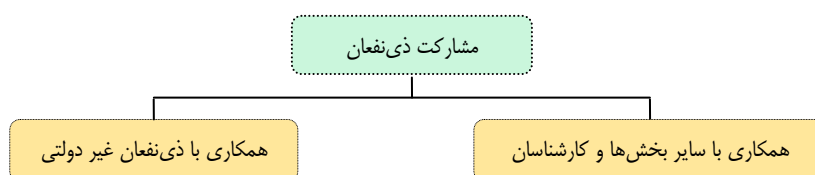
شکل ۷. معیارهای لازم برای ارزیابی شبکه‌های زیرساخت سبز شهر کرمانشاه

- استراتژی‌های برنامه‌ریزی: طیف گسترده‌ای از طرح‌ها و سیاست‌ها را می‌توان برای حمایت از زیرساخت‌های سبز شهری، مانند استراتژی‌های توسعه جامع شهری، طرح‌های فضای سبز یا استراتژی‌های موضوعی در مورد تنوع زیستی، آب شهری یا اقلیم استفاده کرد. بنابراین یک چشم‌انداز استراتژیک در وسعت شهر یا گستره شهر- منطقه‌ای مهم است تا اطمینان حاصل شود که کل شبکه در نظر گرفته شده است.



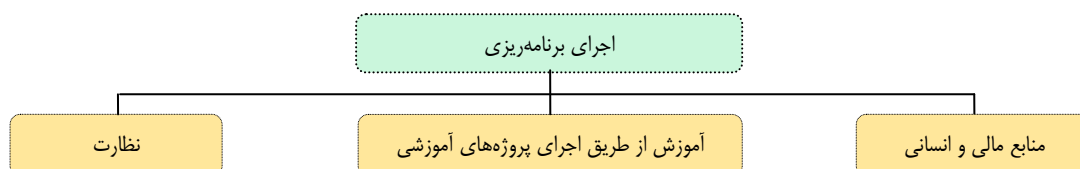
شکل ۸. چارچوب استراتژی‌های برنامه‌ریزی برای زیرساخت سبز شهر کرمانشاه

- مشارکت ذی‌نفعان: برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهری مستلزم مشارکت بازیگران مختلف مثل مقامات دولتی، مشاغل، جامعه مدنی و شهروندان است. مشارکت فعال می‌تواند احساس مسئولیت مشترک برای فضاهای سبز محلی را در جهت ایجاد هم‌آفرینی، مدیریت مشترک و مقدمات حاکمیت مشارکتی ارتقا دهد.



شکل ۹. برنامه‌ریزی فراگیر و فرابخشی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه با مشارکت ذی‌نفعان

- اجرای برنامه‌ریزی: جهش از کاغذ به عمل یک چالش برای هر سیاست یا برنامه‌ریزی است. طیف وسیعی از ابزارها برای کمک به اجرای برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری در دسترس هستند. اما یک سؤال کلیدی معمولاً این است که چگونه می‌توان این ابزارها و منابع را به دست آورد. پاسخ امر، همکاری در سطح کارشناسان و ذی‌نفعان است. مشارکت شهروندان نیز می‌تواند به برنامه‌ریزی برای مطابقت بهتر با نیازهای محلی و هدف‌گذاری مؤثرتر سرمایه‌گذاری‌ها کمک کند.



شکل ۱۰. ابزارهای لازم برای اجرای برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه



منابع

- مهندسان مشاور معماری و شهرسازی طرح و آمایش (۱۳۸۲). طرح تجدیدنظر طرح جامع شهر کرمانشاه. تهران.
- ناروئی، بهروز؛ برق جلوه، شهین‌دخت؛ اسماعیل‌زاده، حسن و زبردست، لعبت (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات فضایی- زمانی زیرساخت سبز شهری مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرایندهای فضایی (مطالعه موردی: سیمای سرزمین تهران). *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۶۷ - ۱۸۸، (۱۲۲)۳۱.
- ناصحی، سعیده؛ آل محمد، سیده؛ رضانی مهریان، مجید و مبرقی دینان، نغمه (۱۴۰۲). تدوین راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز شهری با استفاده از ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه ۲ کلان‌شهر تهران). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳(۲)، ۹۵ - ۱۱۴.
- Asla, J. (2011). Green infrastructure-Updated 2011. Available from American Society of Landscape Architects, <http://www.asla.org>.
- Benedict, M. A. & McMahon, E. T. (2002). Green Infrastructure Smart Conservation for the 21st Century. *Renewable Resources Journal*, 20(3), 12-17.
- Bogaert, J., Ceulemans, R., & Salvador-Van Eysenrode, D. (2004). Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape Transformation. *Environmental Management*, 33, 62-73.
- Botequilha, L. A. & Ahern, J. (2002). Applying Landscape Ecological Concepts and Metrics in Sustainable Landscape Planning. *Landscape and Urban Planning*, 59(2), 65-93.
- Cheshmehzangi, A. & Griffiths, C. J. (2014). Development of green infrastructure for the city. A holistic vision sustainable urbanism. *Journal of Architecture and Environment*, 2(2), 13-20.
- Dibari, J. N. (2007). Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning*, 79(3-4), 308-313.
- Farina, A. (1998). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*.
- Forman, R. T. T. & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.
- Fu, B. & Chen, L. (1999). Integrating landscape ecological principals and land evaluatin for sustainable land use. *Journal of Environmental Science*, 11, 136-140.
- Fu, X., Hopton, M. E., & Wang, X. (2021). Assessment of green infrastructure performance through an urban resilience lens. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 289, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125146>.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S. K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., & Hazra, S., (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5, 64-77.
- Hanna, E. & Comín, A. (2021). Urban Green Infrastructure and Sustainable Development: A Review. *Scientific African*, 13(20), 11498.
- Hansen, R., Lorange Rall, E., Chapman, E., Rolf, W., & Pauleit, S. (2017). Urban green infrastructure planning: A guide for practitioners. *Green Surge*. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.10100.86406>.
- Hawkins, V. & Selman, P. (2002). Landscape scale planning: exploring alternative land use scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 60(4), 211-224.
- Hua, A. K. (2017). Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics. *Journal of Environmental and Public Health*, Vol. 2017, 1-12, <https://doi.org/10.1155/2017/7515130>.
- Lafortezza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, CC. (2013). Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 102-108.
- Li, X., He, S. H., Bu, R., Wen, Q., Chang, Yu., Hu, Y., & Li, Y. (2005). The adequacy of different landscape metrics for various landscape patterns. *Pattern Recognition*, 38(12), 2626-2638.
- Lotfian, R. (2016). Change Detection and Predication of Urban Development in Kashan Region Using CA-Markov and GEOMOD Method. *Master of science thesis Resources Natural*. Isfahan University of Technology, Department of Natural Resources. (in Persian)
- Marcucci, D. J. & Jordan, L. M. (2013). Benefits and challenges of linking green infrastructure and highway planning in the United States. *Environmental Management*, 51, 182-197.
- McGarigal, K. (1998). Ecosystem management. Department of forestry and wildlife. University of Massachusetts AT Amherst, MA.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Neel, M. C., (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, Computer Software Program Produced by the Authors at University of Massachusetts, Amherst.
- Mell, I.C. (2010). Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, School of Architecture, Planning and Landscape, Newcastle University.

- Monteiro, R., Ferreira, J. C., & Antunes, P. (2020). Green infrastructure Planning Principles: An Integrated Literature Review. *Land*, 9(12), 525.
- Naroei, B., Barghjelveh, Sh., Esmaeilzadeh, H., & Zebardast, L. (2022). Evaluating spatial-temporal changes of urban green infrastructure using decision tree algorithm of spatial processes – Case study: Tehran landscape system. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(122), 167-188. (in Persian)
- Nasehi, S., Alemohammad, S., Ramezani Mehrian, M., & Mobarghei Dinan, N. (2023). Formulating sustainability strategies for urban green infrastructures by using the landscape changes assessment (Case study: Tehran metropolitan district 2). *Geography and Environmental Sustainability*, 13(2), 95–114. (in Persian)
- Naveh, Z. & Liberman, A. S. (1984). *Landscape Ecology*. New York: Springer Series on Environmental Management. Springer-Verlag.
- Nazombe, K. & Nambazo, O. (2023). Monitoring and assessment of urban green space loss and fragmentation using remote sensing data in the four cities of Malawi from 1986 to 2021. *Scientific African*, 20, e01639.
- Neef, E. (1963). Topologische und corologische Arbeitsweisen in der landschaftsforschung. *Petermanns Geogr. Mitt*, 107, 250-259.
- Nouri, J., Gharagozlou, A., Arjmandi, R., Faryadi, S., & Adl, M., (2014). Predicting Urban Land Use Changes Using a CA–Markov Model. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 5565-5573.
- Project Green Surge. Suggested citation: Hansen, R., Rall, E., Chapman, E., Rolf, W., & Pauleit, S. (2017). Urban Green Infrastructure Planning: A Guide for Practitioners. GREEN SURGE. Retrieved from <http://greensurge.eu/working-packages/wp5/>
- Regmi, R., Saha, S., & Balla, M. (2014). Geospatial analysis of land use land cover changes predictive modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(4), 2617–2627.
- Rusche, K., Reimer, M., & Stichmann, R. (2019). Mapping and assessing green infrastructure connectivity in European city regions. *Sustainability*, 11(6), 1819.
- Shade, C. & Kremer, P. (2019). Predicting Land Use Changes in Philadelphia Following Green Infrastructure Policies. *Land*, 8(2), 28. <https://doi.org/10.3390/land8020028>.
- TARH O AMAYESH consultant architects and town planners (2003). *Kermanshah city master plan revision plan*. Tehran, Iran. (in Persian)
- Turner, T. (1989). Landscape ecology: The effect of pattern process. *Annu. Rev. Ecol. Syst*, 20, 171-197.
- Turner, T. (2006). Greenway planning in Britain: recent work and future plans. *Landscape and Urban Planning*, 76(1-4), 240-251.
- Wang, J. & Banzhaf, E. (2018). Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators*, 85, 758-772.
- Weber, T., Sloan, A., & Wolf, J. (2006). Maryland's Green Infrastructure Assessment: Development of a Comprehensive Approach to Land Conservation. *Landscape and Urban Planning*, 77(1-2), 94-110.
- Yang, X., Zheng, X.-Q., & Chen, R., (2014). A land use change model: integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, 283, 1–7.
- Zhang, D., Wang, W., Zheng, H., Ren, Z., Zhai, C., Tang, Z., Shen, G., & He, X. (2017). Effects of urbanization intensity on forest structural-taxonomic attributes, landscape patterns and their associations in Changchun, Northeast China: Implications for urban green infrastructure planning. *Ecological Indicators*, 80, 286-296.