

Urban green infrastructure planning based on environmental performance of geospheric landscape change(Case Study: 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, 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. Also, 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. Also, the gradual decrease in PD, NP, SHDI, ED, LSI metrics and the increase in CONTAG at the landscape level indicate a decrease in diversity, expansion of construction and 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.

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

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

چکیده

شهرنشینی، از جمله عوامل اصلی تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، تأثیرات عمیقی بر تعادل محتوای ساختاری، سازوکار 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 و تغییر)، انجام شد. بدین منظور، نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ با 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 در راستای ارتقاء ساختار طبیعی و رونق عملکرد محیطی روند تغییر جغرافیای سیمای سرزمین ارائه شد. بر مبنای نتایج، بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۳، گسترش مناطق ساخت‌وساز همراه با فرایند تجمع فضایی، منجر به افزایش سطح (CA)، انسجام لکه‌های ساخت‌وساز (COHESION) و کاهش از هم گسیختگی و پیچیدگی فضایی (کاهش JI، ENN-MN، ED، PD، NP و LSI) 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 ساییدگی، انقطاع ساختاری، محدودیت عملکردی و نهایتاً تأثیر نامطلوب بر یکپارچگی فرایندی سیمای سرزمین می‌شود. همچنین، کاهش تدریجی در سنجه‌های PD، NP، SHDI، ED و LSI و افزایش CONTAG در سطح سیمای سرزمین حاکی از کاهش تنوع، گسترش ساخت‌وساز و ساده‌شدن ساختار سرزمین است. بر مبنای چارچوب تحلیلی پژوهش، با تنظیم پیوستگی ساختاری، رونق عملکرد محیطی برنامه‌ریزی‌های چند-کارکردی افزایش می‌یابد و راه‌حل‌های زیرساخت سبز-خاکستری فراتر عمل می‌نمایند، و لذا رعایت اصول "پیوستگی ساختاری"، "برنامه‌ریزی‌های چند-کارکردی" و "ادغام سبز-خاکستری"، همراه با اصل "مشارکت اجتماعی" در روند شناخت نیازها و کسب خدمات سیمای سرزمین مؤثرتر عمل می‌نمایند؛ و نهایتاً، برنامه‌های توسعه شهری، بر مبنای "ارزیابی شبکه زیرساخت سبز"، استراتژی‌های برنامه-ریزی، "مشارکت ذینفعان" و "اجرا" پیاده‌سازی می‌شوند. از این طریق، در راستای ارتقاء ساختار طبیعی، تخصیص عملکرد محیطی و تبیین جغرافیای سیمای سرزمین، مدیریت بقاء ساختاری و پایداری عملکردی زیرساخت‌های سبز شهری، امکان‌پذیر می‌شود.

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

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 محیط‌زیستی عظیمی را در شهرها، از جمله: افزایش فقر، جرم، جنایت و بحران‌های سیاسی از یک سو، و کاهش منابع زیستی، تنوع گونه‌ای و بحران‌های محیطی از سوی دیگر را ایجاد می‌کند. در مواجهه با این چالش‌ها، راه‌حل‌های مبتنی بر حفظ روابط اکولوژیک و بهره‌وری‌های استراتژیک از خدمات سرزمین در سراسر جهان توسعه یافته‌اند که به‌طور همزمان به افزایش رفاه انسان و حفاظت از محیط‌زیست 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 در راستای توسعه پایداری و تاب‌آوری شهر فراهم می‌آورند (Fu et al, 2021). چنانچه 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 زیست‌شهروندی را موجب می‌گردند و ابزاری ساده و مؤثر در کسب مزایای محیط-زیستی سرزمین محسوب می‌شوند (Cheshmehzangi & Griffiths, 2014).

لذا، به‌طور فزاینده‌ای برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری از سوی برنامه‌ریزان توسعه سرزمین، به منزله‌ی راه‌حلی مؤثر برای حفظ سلامت شبکه‌ای از اجزاء 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، و لذا، برنامه‌ریزی با هدف استفاده از مفاهیم بوم‌شناسی سیمای سرزمین در راستای ارزیابی و مدیریت چرخه‌ی پویای ساختار، عملکرد و تغییر فرآیندهای زیستی سرزمین، هنوز جای تأمل بسیار دارد (Marcucci & Jordan, 2013). در این راستا، شهر کرمانشاه از جمله شهرهای بزرگ ایران است که طی دهه‌های گذشته رشد شتاب‌زده‌ای را تجربه نموده و این امر منجر به کاهش چشم‌گیر پهنه‌های سبز نواحی شهری آن شده است، به گونه‌ای که روز به روز زیرساخت‌های سبز خود را به نفع سایر کاربری‌ها از دست می‌دهد. از این رو، مطالعه حاضر سعی نموده است 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 نماید.

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، حال و آینده‌ی زیرساخت‌های سبز شهری در راستای 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 در راستای رونق عملکرد محیطی سیمای سرزمین کدام است؟

پیشینه تجربی پژوهش

تجربه‌های پژوهشی موفق در زمینه زیرساخت‌های سبز به‌ویژه با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در آمریکای شمالی، اروپا، استرالیا و برخی از کشورهای آسیایی مانند چین و ژاپن افزایش روزافزون دارد، اما در کشورهای آفریقایی، آمریکای 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 سنج‌های 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
شید و کرمر (۲۰۱۹) (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 سنج‌های سیمای سرزمین	یافته‌های سنج‌های سیمای سرزمین، کاهش کلی فرایند اضمحلال گسیختگی 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 نسبت داد.
نازومبه و نامبازو (۲۰۲۳) (Nazombe & Nambazo, 2023)	پایش و ارزیابی از بین رفتن و اضمحلال گسیختگی فضای سبز شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور در چهار شهر مالاوی از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۱	کمی‌سازی سنج‌های 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 اضمحلال گسیختگی فضای سبز در چهار شهر مالاوی شده است.
نارویی و دیگران (۱۴۰۱)	ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی زیرساخت‌های سبز شهری مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرابندهای 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، کمی‌سازی سنج‌های سیمای سرزمین سرزمین در محیط نرم-افزار Fragstats	بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، فرایندهای فضایی حذف و قطعه‌قطعه‌شدن به‌ترتیب 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 دیگران (۱۴۰۲)	تدوین راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز شهری با استفاده از ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه دو کلان‌شهر تهران)	استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶، مدل-سازی نقشه پیش‌بینی پوشش اراضی سال ۲۰۳۲ با استفاده از زنجیره مارکوف در محیط نرم‌افزار IDRISI و کمی-سازی سنج‌های سیمای سرزمین در محیط نرم‌افزار Fragstats	میزان پیوستگی فضای سبز، روند کاهشی داشته و از هم گسیختگی 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 برهم بدون تفکیک از هم تأکید دارد، قابلیت تحلیل و بیان کمی نتایج حاصل از تعامل انسان و محیط‌زیست 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 سبزراه‌ها و فضاهای باز شهری و فراشهری (Fu & Chen., 1999)، ارزیابی زمین به‌منظور 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 می‌باشد. در این پژوهش، با معرفی مفهوم " زیرساخت سبز شهری " و اشاره به اهمیت آن به‌عنوان 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" به‌منظور 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 با توسط ترول (Karl Troll., 1950) و نیف (Neef., 1963) به‌کار 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 و گودرون (Forman & Godron., 1986)، فورمن (Forman., 1995)، فارینا (Farina., 1998)، ترنر (Turner., 1989) و ناوه و لیبرمن (Nave & Liberman., 1984) تمرکز اصلی این رویکرد بر موارد زیر است:

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

- شناخت چگونگی جریان و حرکت ماده، انرژی، گیاه، حیوان و انسان در بین این اجزاء (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 موردنظر (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 می‌باشد و لذا تغییر در ساختار منجر به بروز تغییر در عملکرد می‌گردد و نحوه مدیریت و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین از طریق ساختار و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Turner., 1986; Forman & Godron., 1986; McGarigal., 1998; 1989). بروز ازهم گسیختگی 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 به‌صورت کمی اندازه‌گیری و به‌عنوان مبنایی برای تحلیل شرایط موجود و تصمیم‌گیری برای آینده مورد استفاده قرار داد. سنجها به‌طور 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 می‌باشد. سنجهای مورد نیاز در تشریح سیمای سرزمین و فرایندهای کلیدی مرتبط با آن‌ها که قابل کاربرد در برنامه‌ریزی شهری هستند را می‌توان به‌طور کلی به دو دسته متریک‌های ترکیب که بیان‌کننده ویژگی‌های تنوع، تعداد و چیرگی انواع کاربری‌ها می‌باشند و متریک‌های توزیع یا آرایش فضایی که بیان‌کننده ویژگی‌های هندسی، مکان هندسی و همجواری کاربری‌ها هستند به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود (Botequilha & Ahern., 2002):

- برخی متریک‌های مربوط به ترکیب سیمای سرزمین عبارتند 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 عبارتند از: شکل لکه‌ها (نسبت قطر به مساحت)؛ کتراست لبه؛ فاصله از نزدیک‌ترین لکه مجاور؛ شاخص میانگین مجاورت؛ شاخص سرایت ..

جدول ۲. تعریف برخی متریک‌های سیمای سرزمین و فرایندهای مرتبط

PR-Patch Richness; CAP-Class Area Proportion; NP-Number of Patches; MPS-Mean Patch Size; MNND-Mean Nearest Neighbor Distance; MPI-Mean Proximity Index (Botequilha and 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(غناي لکه‌ها): سنجش تعداد پدیده‌های موجود سیمای سرزمین. در حداقل ارزش خود فقط یک نوع کاربری(پدیده) یا پوشش را نشان می‌دهد و لذا سیمای سرزمین فاقد تنوع است.همچنان که این متریک افزایش می‌یابد، تنوع/ناهمگنی بیشتری بوجود 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(تکه تکه شدن) سیمای سرزمین: یک سیمای سرزمین اختلال یافته پیوستگی کمتری را فراهم کرده 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 به‌طور 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	MNND و PROXIM(میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین لکه هم‌نوع و مجاورت): سنجش فاصله نسبی بین لکه‌های یک نوع کاربری یا پوشش خاص که می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای نشان‌دادن پیوستگی بستر سیمای سرزمین به کار روند. گسترش اختلال(ناشی از آلودگی یا آتش‌سوزی) در صورتی که MNND پایین و PROXIM بالا است بیشتر می‌شود. CONTAG(سرایت): سنجش تجمع نسبی انواع مختلف لکه‌ها در مقیاس سیمای سرزمین. سطوح بالای سرایت ممکن است نشان‌دهنده پتانسیل گسترش اختلال باشد.

چارچوب تحلیل پژوهش

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

[ارزیابی تعادل ساختاری زیرساخت سبز]

[ارزیابی سازوکار فضایی زیرساخت سبز]

[ارزیابی ارتباط فرآیندی زیرساخت سبز]

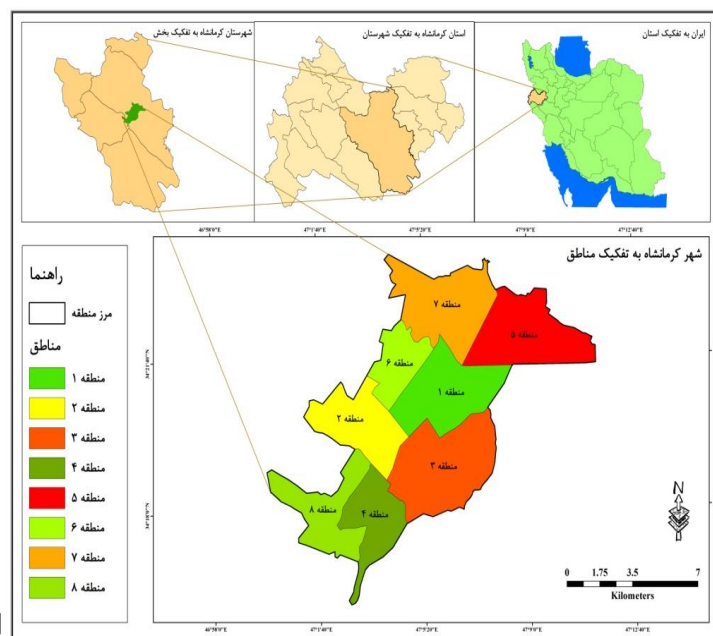
- عناصر ساختار طبیعی

- موزاییک 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 محدود 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 ارتفاع شهر به ترتیب ۱۶۲۷ و ۱۲۸۹ متر است. در شمال شهر کرمانشاه سیستم کوهستانی گسترده‌ای وجود دارد که قریب ۲۰۰۰ کیلومترمربع 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 کلان شهر کرمانشاه در تقسیمات کشوری

روش و ابزار پژوهش

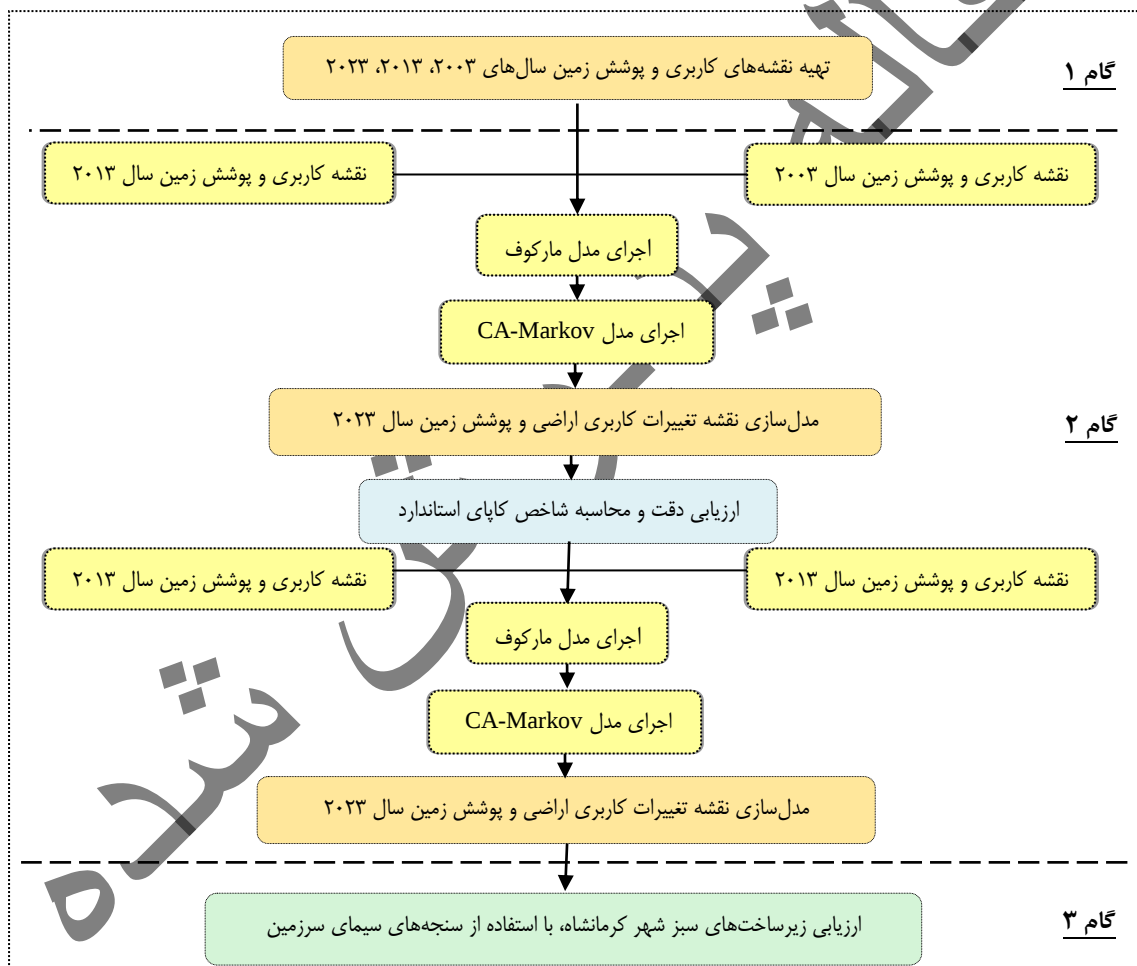
پژوهش حاضر نوعی تحقیق توصیفی-تحلیلی با هدف‌گذاری کاربردی بوده و روش آن مبتنی بر کار کتابخانه‌ای و میدانی است. در این پژوهش مفاهیم پایه و نظری پیرامون زیرساخت‌های سبز و اصول بوم‌شناسی سیمای سرزمین از طریق جمع‌آوری اطلاعات از منابع و اسناد کتابخانه‌ای، استخراج شد. سپس به مطالعه و بررسی داده‌های حاصل از سنجش از دور و تحلیل فضایی تصاویر مستخرج شده از منطقه مورد مطالعه طی سه مرحله پرداخته شده است که عبارتند 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 ArcMap 10.3 و ENVI 5.3

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

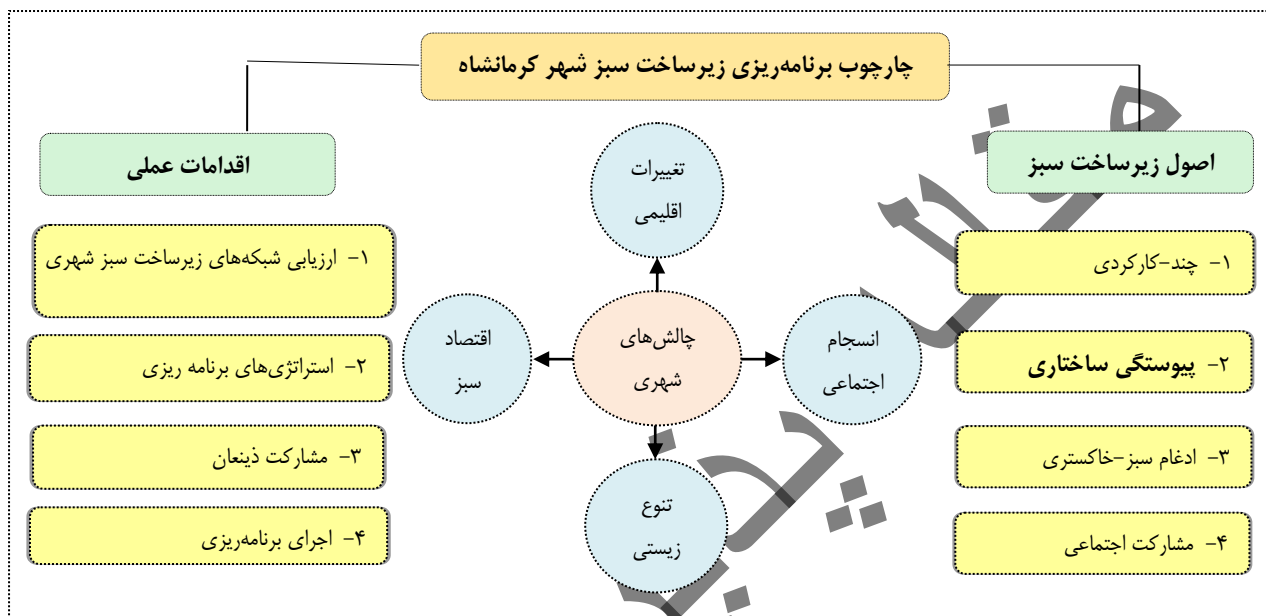
۳- محاسبه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در سه سال ۲۰۰۳، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۳ توسط نرم‌افزار Fragstats v4.2

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



شکل ۲. چارچوب مراحل و روش کار پژوهش

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، چند-کارکردی 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 ۳. چارچوب برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهر کرمانشاه (برگرفته از: 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، 8 و 9 OLI/TIRS، به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ از طریق سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا اخذ شد. جدول ۲، اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

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

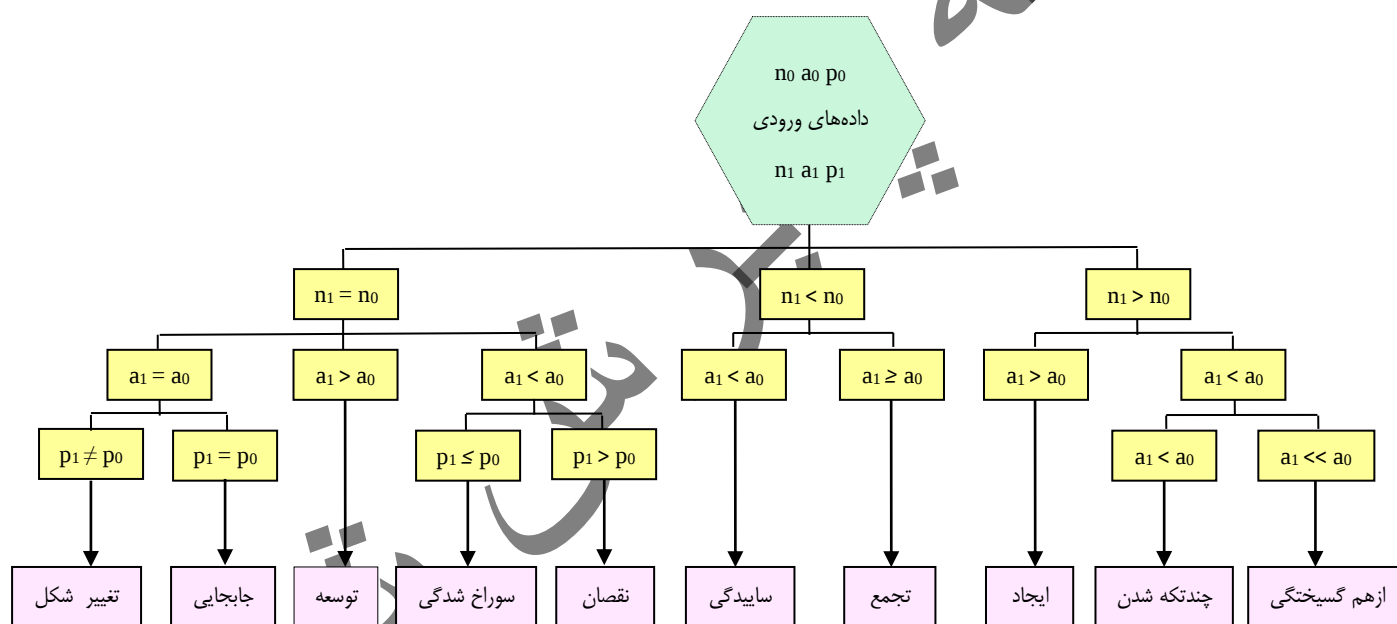
مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-Markov)

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 برنامه ریزی 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 مدل سازی مدیریت آبخیز استفاده می شود. به علاوه، برای طراحی سیاست کاربری زمین، برنامه ریزی 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 تصمیم گیری

از آنجایی که فرایندهای فضایی مؤثر در دگرگونی سیمای سرزمین و تأثیر آنها بر ویژگی های فضایی از اهمیت زیادی برخوردار هستند، بنابراین در این پژوهش از الگوریتم درخت تصمیم گیری جهت تشخیص این فرایندها استفاده شده است. الگوریتم درخت تصمیم گیری، تشخیص فرایندهای فضایی تغییر سیمای سرزمین را براساس سه فاکتور مساحت، محیط و تعداد لکه ها در هر کلاس از سیمای سرزمین که باید قبل و بعد از تغییر سیمای سرزمین تعیین شوند را انجام می دهد (Bogaert et al, 2004).



شکل ۴. الگوریتم درخت تصمیم گیری برای شناسایی فرایندهای دگرگونی که الگوی فضایی سیمای سرزمین را تغییر می دهد (پارامترهای a_0 و p_0 به مساحت، محیط و تعداد لکه ها قبل از تغییر و پارامترهای a_1 و p_1 به مساحت، محیط و تعداد لکه ها پس از تغییر الگوی سیمای سرزمین اشاره دارند) (منبع: Bogaert et al., 2004)

استخراج و انتخاب سنجه های سیمای سرزمین

در این پژوهش برای انتخاب سنجه های 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 نرم افزار Fragstats v4.2 استفاده شده است. بنابراین در مطالعه حاضر جهت تحلیل الگوی ترکیب و توزیع زیرساخت سبز سیمای سرزمین شهر کرمانشاه، از ۱۰ سنجه در سطح کلاس شامل CA, PLAND, LPI, ED, ENN_MN, PD, PN,

LSI, IJI, COHESION و ۶ ستجه در سطح سیمای سرزمین شامل NP, PD, SHDI, ED, LSI و CONTAG انتخاب شدند. جدول ۳، اطلاعات مربوط به سنجه‌های ترکیب و توزیع استفاده شده در پژوهش را نشان می‌دهد.

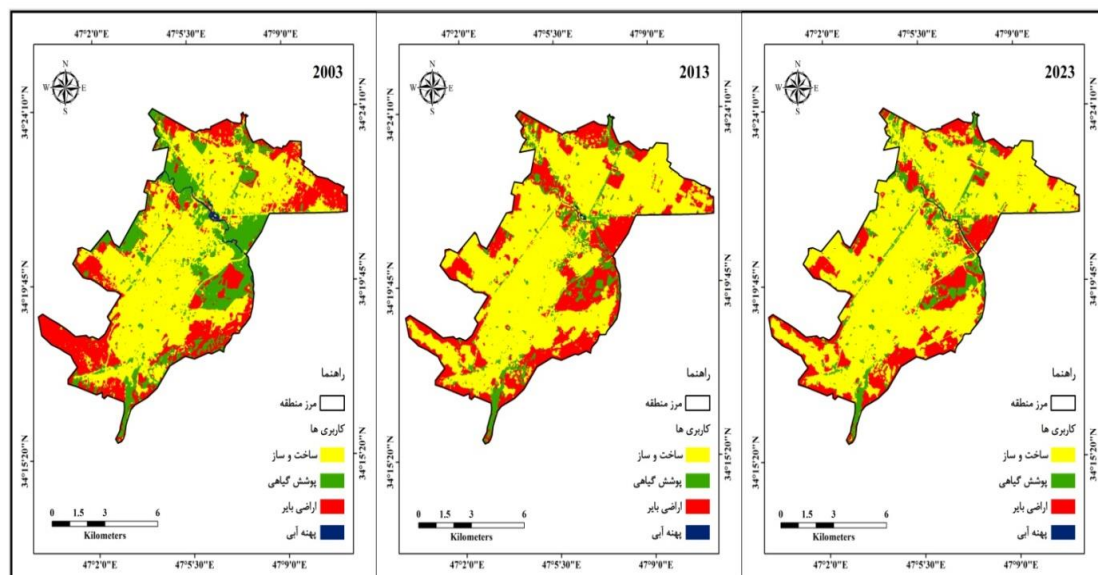
جدول ۳. سنجه‌های ترکیب و توزیع استفاده شده در پژوهش (منبع: McGarigal et al., 2002)

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 نزدیک ترین 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 که 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 ذکر شده به ترتیب ۹۵/۷۶، ۹۶/۳۲ و ۹۶/۹۶ درصد به دست آمد، که این میزان صحت در سطح قابل قبولی و نشان‌دهنده تطابق بالا بین نقشه‌های طبقه-

جدول ۴. میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به درصد و هکتار

بندی‌شده و اطلاعات مرجع زمینی است. 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)

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

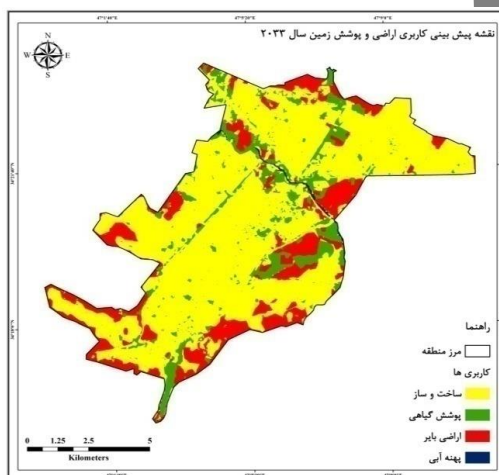
جدول ۴ نیز، میزان مساحت هر کدام از کاربری ها را برای سه سال ذکر شده به صورت هکتار و درصد نشان می دهد.

اطلاعات جدول ۵ نشان می دهد که بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ مساحت کاربری های ساخت و ساز از ۵۶۷۱/۹۹ هکتار به ۷۳۸۰/۳۹ هکتار افزایش یافته است، اما مساحت پوشش گیاهی، اراضی بایر و پهنه های آبی در دوره زمانی ذکر شده به ترتیب از ۲۱۳۷/۵۴، ۲۶۴۶/۱۳ و ۷۸/۴۰ هکتار به ۹۴۱/۷۳، ۲۸۰۹/۱۱ و ۲۰۶۴/۰۹ هکتار کاهش یافته که این امر بیشتر به علت رشد و توسعه کاربری ساخت و ساز و افزایش جمعیت در شهر کرمانشاه است.

اراضی و پوشش زمین شهر

Markov در سال ۲۰۲۳

کاربری اراضی و پوشش زمین بندی شده سال ۲۰۰۳ به عنوان سال ۲۰۱۳ به عنوان دومین نقشه شدند. پس از اجرای مدل، سه احتمال شرطی، ماتریس احتمال بدست آمد. برای پیش بینی نقشه سال ۲۰۲۳ نیاز به نقشه کاربری ماتریس مساحت انتقال و تصاویر



مدل سازی تغییرات کاربری

کرمانشاه براساس مدل CA-

جهت تولید نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۳، ابتدا نقشه طبقه اولین نقشه و نقشه طبقه بندی شده به مدل زنجیره مارکوف وارد خروجی تحت عناوین، تصاویر انتقال و ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین اراضی پایه (نقشه سال ۲۰۱۳)،

احتمال شرطی جهت مدل سازی است. با وارد کردن این ورودی ها در مدل CA-Markov، نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۳ تولید شد. پس از پیش بینی و مدل سازی با روش CA-Markov، باید ارزیابی و تعیین اعتبار مدل برای مشخص کردن توانایی مدل در پیش بینی انجام گیرد (Lotfian, 2016). در این مطالعه، مقدار شاخص کاپای استاندارد حاصل از صحت سنجی مدل براساس نقشه های طبقه بندی شده و پیش بینی شده سال ۲۰۲۳، ۰/۸۷ بدست آمد که این میزان صحت در سطح قابل قبولی است و می توان نتیجه گرفت که مدل CA-Markov با میزان صحت ۰/۸۷ می تواند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۲۳ را با دقت بالایی پیش بینی کند. بنابراین با وارد کردن نقشه سال ۲۰۲۳ به عنوان نقشه پایه، ماتریس مساحت انتقال بین سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ و تصاویر احتمال شرطی در مدل CA-Markov، نقشه پیش بینی کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۲۳ تولید شد. شکل ۶، نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۳ حاصل از مدل CA-Markov، را نمایش می دهد.

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

جدول ۵. میزان مساحت کاربری ساخت‌وساز، پوشش زمین، اراضی بایر و پهنه‌های آبی را برای سال ۲۰۳۳ به صورت هکتار و درصد نشان می‌دهد.

جدول ۵. میزان مساحت طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر کرمانشاه در سال ۲۰۳۳ به درصد و هکتار				
مساحت	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

براساس داده‌های جدول ۶، بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۳، 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 کاهشی تعداد لکه‌ها تداوم خواهد داشت و فرایند فضایی تجمع تقویت می‌شود. پوشش گیاهی شهر کرمانشاه در دوره ۲۰ ساله 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 به‌سوی 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، با 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 ۶. فرایندهای فضایی مؤثر در دگرگونی سیمای سرزمین شهر کرمانشاه براساس الگوریتم درخت تصمیم‌گیری

دوره زمانی	کاربری‌ها	تعداد لکه‌ها	مساحت لکه‌ها (km ²)	محیط لکه‌ها (km)	فرایند فضایی تغییر
۲۰۰۳ - ۲۰۲۳	ساخت‌وساز	۳۷۰ - ۲۱۰	۵۶/۷۲ - ۷۳/۸۰	۵۶۱/۶۲ - ۵۹۶/۲۸	تجمع
	پوشش گیاهی	۶۱۸ - ۶۱۶	۲۱/۲۸ - ۱۰/۵۴	۴۲۳/۷۹ - ۵۱۸/۷۶	ساییدگی
	اراضی بایر	۴۹۱ - ۳۱۱	۲۶/۴۶ - ۲۰/۶۴	۳۹۷/۹۳ - ۵۰۹/۳۲	ساییدگی

پهنه آبی	۹-۱۳	۰/۷۸-۰/۳۶	۳۱/۴۷-۱۸/۸۳	ازهم گسیختگی
ساخت‌وساز	۲۱۰-۱۲۲	۷۳/۸۰-۷۵/۶۴	۵۶۱/۶۲-۳۵۸/۲۷	تجمع
پوشش گیاهی	۶۱۶-۵۰۷	۱۰/۵۴-۱۲/۴۲	۴۲۳/۷۹-۳۹۶/۴۲	تجمع
اراضی بایر	۳۱۱-۱۱۳	۲۰/۶۴-۱۶/۸۵	۳۹۷/۹۳-۱۹۲/۸۰	ساییدگی
پهنه آبی	۱۳-۱۶	۰/۳۶-۰/۴۱	۱۷/۸۳-۱۷/۳۷	ایجاد

۲۰۲۳-۲۰۳۳

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 سنج‌های سیمای سرزمین در سطوح کلاس و سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گرفته است.

تحلیل روند تغییرات سنج‌ها در سطح کلاس

بررسی سنج‌های CA و PLAND نشان‌دهنده روند فزاینده گسترش کاربری ساخت‌وساز در شهر کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ است، به‌طوری‌که هم مساحت و هم درصد پوشش این کاربری افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که این روند تا سال ۲۰۳۳ ادامه یابد (جدول ۷). این رشد فضایی بیانگر جایگزینی عناصر انسان‌ساخت به‌جای کاربری‌های بوم‌شناختی همچون پوشش گیاهی و اراضی بایر است. در مقابل پوشش گیاهی در دوره نخست دچار افت شدید در هر دو سنج 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، 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 ۷. نتایج محاسبه سنج‌های 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	۲۰/۳۴	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	۶۴/۹۵	۲۳/۸۴	۹۷/۵۱
	پهنه آبی	۷۸/۴۰	۹	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۵۱	۲/۷۷	۱۲۴۰/۴۶	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	۰/۸۶	۳۵/۹۰	۱۲۷/۲۹	۶۲/۹۹	۲۹/۵۹	۸۹/۹۶
	اراضی بایر	۲۰۶۴/۰۹	۳۱۱	۲/۹۵	۱۹/۶۳	۳/۵۱	۳۱/۴۹	۱۲۴/۵۱	۵۸/۳۵	۲۱/۱۷	۹۶/۷۰
	پهنه آبی	۳۵/۶۲	۱۳	۰/۱۲	۰/۳۵	۰/۲۶	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	۰/۹۵	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	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۱۹	۱/۷۱	۹۳۸/۵۴	۸۶/۸۰	۷/۹۳	۸۹/۳۹

کاهش در سنجه‌های NP و PD برای کاربری ساخت‌وساز (NP از ۳۷۰ به ۱۲۲ 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 انسان‌ساخت، 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 که 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، تعداد و تراکم لکه‌ها، وارد فاز پیش‌رونده ساییدگی شده‌اند و برطبق پیش‌بینی این مطالعه همچنان با کاهش NP و PD و افزایش ازهم گسیختگی مواجه خواهند بود. پهنه‌های آبی نیز از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ کاهش در مساحت و انسجام لکه‌ها را تجربه کرده‌اند، اما پیش‌بینی می‌شود در دهه پیش‌رو 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 انسان‌ساخت دارد، درحالی‌که برای پوشش گیاهی و اراضی بایر بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ کاهش یافته است. بالاین‌حال، 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
اول
جدول ۸. نتایج محاسبه سنجه‌های ترکیب و توزیع سیمای سرزمین شهر کرمانشاه در سطح سیمای سرزمین

افزایشی بود ولی در دهه پیش‌رو 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 ازهم گسیختگی 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 انسان‌ساخت در سیمای سرزمین شهری است. این درحالی‌که 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 ازهم گسیختگی خواهند بود.

تحلیل روند تغییرات سنجه‌ها 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 ۸).

توزیع			ترکیب			سنجه	سال
CONTAG	LSI	ED	SHDI	PD	NP		
۴۷/۷۳	۲۰/۰۴	۶۹/۷۰	۱/۰۴	۱۴/۱۲	۱۴۸۸	۲۰۰۳	
۵۸/۲۲	۱۷/۱۷	۵۸/۵۱	۰/۸۲	۱۰/۹۱	۱۱۵۰	۲۰۲۳	
۶۰/۷۳	۱۴/۰۴	۴۶/۰۶	۰/۸۱	۷/۱۹	۷۵۸	۲۰۳۳	

کاهش پیوسته سنجه NP، بیانگر افزایش یکپارچگی و هم‌پیوندی کاربری‌ها و در نتیجه ساده‌سازی ساختار فضایی منطقه است. در همین راستا، سنجه 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. سنجه 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. هم‌راستا با این تغییرات، سنجه LSI نیز از ۲۰/۰۴ در سال ۲۰۰۳ به ۱۴/۰۴ در سال ۲۰۳۳ کاهش خواهد یافت که این امر نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و مقارن‌تر شدن فرم لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین است. در مورد سنجه 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 نتیجه‌گیری

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 سنجه‌های 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 غیرهم‌نوع است. این تغییرات عمدتاً ناشی از توسعه سریع کاربری‌های انسانی، رشد جمعیت و فرایندهای فضایی ساییدگی و ازهم گسیختگی است که موجب شده الگوی توزیع زیرساخت‌های سبز ازهم گسیخته 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.

براساس یافته‌های پژوهش طی یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۳۳)، تأثیر فرایندهای نامطلوب ساییدگی و ازهم گسیختگی بر زیرساخت‌های سبز شهر کرمانشاه، 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. به‌طور کلی، روند تغییرات ۳۰ ساله نشان‌دهنده کاهش مساحت و تعداد لکه‌های سبز، کاهش پیوستگی و ارتباط فیزیکی بین لکه‌های زیرساخت سبز و افزایش پراکندگی آن‌ها و در نهایت ساده‌شدن 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 ازهم گسیختگی و افزایش اتصال فیزیکی سیمای سرزمین شده است، روندی که با نتایج مطالعه ذکرشده درباره شهر فیلادلفیا هم‌راستا 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 نازومبه و نامبازو (۲۰۲۳) نیز تطابق دارد، به‌طوری‌که تأثیر فرایند ازهم گسیختگی بر پهنه آبی شهر کرمانشاه با افزایش تعداد و تراکم لکه‌ها و کاهش شاخص LPI همراه بوده، مشابه آن‌چه در فضای سبز چهار شهر مورد بررسی در مطالعه ذکرشده گزارش شده است. ازجمله 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 به‌منظور بهبود عملکرد بوم‌شناختی زیرساخت‌های سبز.

همچنین، مقایسه این پژوهش با مطالعه ناروئی و همکاران (۱۴۰۱) نشان می‌دهد که در هر دو تحقیق، فرایندهای فضایی سایدگی و تجمع منجر به تضعیف عملکرد بوم‌شناختی زیرساخت‌های سبز و ساده‌شدن ساختار سیمای سرزمین در کلان-شهرهای 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 چند-کارکردی، 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 براساس نتایج حاصل از چارچوب تحلیلی پژوهش، راهبرد برنامه توسعه زیرساخت‌های سبز شهری، مشتمل بر برنامه‌ریزی پیوستگی ساختاری زیرساخت‌های سبز شهری در راستای رونق عملکرد محیطی تغییر جغرافیای سیمای سرزمین (و بر مبنای سنجش متریک‌های سیمای سرزمین)، به شرح ذیل پیشنهاد می‌نماید:

[محتوای ساختاری زیرساخت سبز]

- برنامه‌ریزی جغرافیای ساخت طبیعی

[توزیع فضایی زیرساخت سبز]

- برنامه‌ریزی جغرافیای زیرساخت محیطی

[دالان فرآیندی زیرساخت سبز]

- برنامه‌ریزی جغرافیای شبکه‌ساخت سیمای سرزمین

۱- اصل چندکارکردی: این اصل به بهینه‌سازی هم‌زمان عملکردهای محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی زیرساخت سبز اشاره دارد. برای کرمانشاه، راهکارهایی چون نوسازی پارک‌ها، ایجاد بام‌های سبز و مدیریت آب‌های سطحی، بهبود زیبایی‌شناسی و

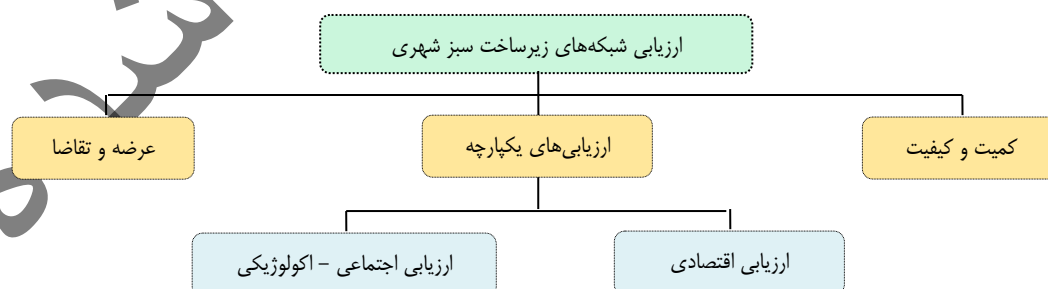
ثبات اجتماعی را به همراه دارد. تخصیص اراضی کم‌بازده شرقی شهر به پارک جنگلی با درختان بومی نیز کارکردهایی نظیر بهبود کیفیت هوا، کنترل سیلاب و افزایش زیستگاه‌های پرندگان را دنبال می‌کند. حفاظت از فضاهای سبز کلیدی، تبدیل اراضی بایر به کاربری‌های عمومی مانند پارک‌های علمی و بازطراحی مناطق مسکونی با رویکرد چندمنظوره، از دیگر اقدامات پیشنهادی است.

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

۳- 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.

۴- 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 براساس اصول ذکر شده اجرا شود:

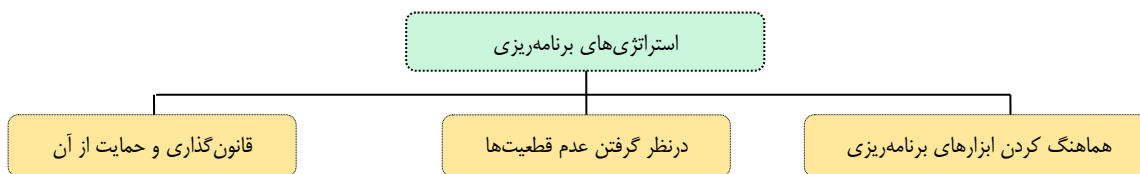
۱- ارزیابی شبکه‌های زیرساخت سبز شهری: ارزیابی سیستماتیک زیرساخت‌های سبز شهری موجود، پیش‌درآمد اساسی برای توسعه هر طرح زیرساخت سبز شهری سالم است، اما ارزیابی‌ها نیز ابزارهایی برای افزایش آگاهی از مزایای چندگانه زیرساخت شهری هستند. کمی کردن این مزایا می‌تواند یک استراتژی مؤثر برای ترویج سرمایه‌گذاری در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



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

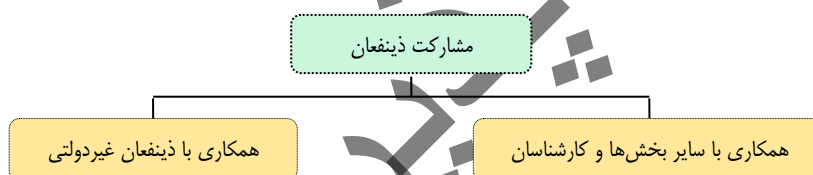
۲- استراتژی‌های برنامه‌ریزی: طیف گسترده‌ای از طرح‌ها و سیاست‌ها را می‌توان برای حمایت از زیرساخت‌های سبز شهری، مانند استراتژی‌های توسعه جامع شهری، طرح‌های فضای سبز یا استراتژی‌های موضوعی در مورد تنوع زیستی، آب

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.



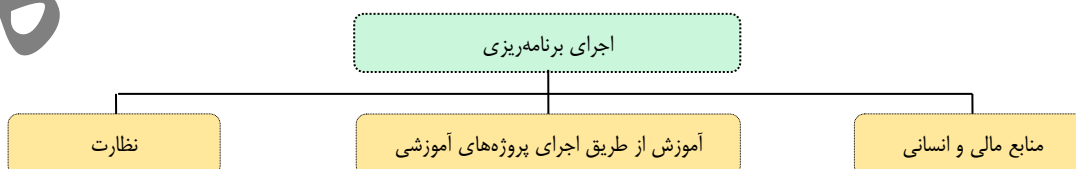
شکل ۸. چارچوب استراتژی‌های برنامه‌ریزی برای زیرساخت سبز شهر کرمانشاه

۳- 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، ارتقاء دهد.



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

۴- 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 به‌دست آورد. 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، شهین دخت؛ اسماعیل زاده، حسن و زبردست، لعبت (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی زیرساخت سبز شهری مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرآیندهای فضایی- مطالعه موردی: سیمای سرزمین تهران، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۱ (۱۲۲)، ۱۸۸-۱۶۷.

ناصری، 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 دو 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*. 1st edition.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons Ltd, New York.
- 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 evaluation 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., & Comin, A. (2021). Urban Green Infrastructure and Sustainable Development: A Review. *Scientific African*, 13(20), 11498.
- Hansen, R., Lorance 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>.
- Laforteza, 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*. Springer Series on Environmental Management. Springer-Verlag, New York, 153.

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 change 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.

مقاله پذیرش نشده