



Formulating Sustainability Strategies for Urban Green Infrastructures by using the Landscape Changes Assessment (Case Study: Tehran Metropolitan District 2)

Saeedeh Nasehi¹ | Sayedeh Alemohammad² | Majid Ramezani Mehrian³  |
Naghmeh Mobarghei Dinan⁴

1. Department of Environmental Planning, Management, and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nasehi_sa@ut.ac.ir
2. Department of Environmental Planning, Management, and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Sh.alemohammad@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Environmental Studies Group, the Institute for Research and Development in the Humanities (SAMT), Tehran, Iran. E-mail: Mehrian@samt.ac.ir
4. Department of Environmental Economics, Education, and Policy, the Institute of Environmental Science, Shahid Beheshti University Tehran, Iran. E-mail: n_mobarghei@yahoo.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 04 Jan 2023

Received in revised form:
25 Feb 2023

Accepted: 06 Mar 2023

Available online: 12 June
2023

Keywords:

Green Infrastructure,
Landscape Metrics,
Prediction,
Strategy,
Integrity.

Unbridled physical-spatial development of cities causes changes in land cover and loss of coherence of green infrastructure. One hazard in cities is that the sustainability of these infrastructures is neglected in comparison to urban development. The presence of these infrastructures (riverside lands, gardens, urban parks, agricultural greens, and wastelands) in and around cities can provide countless ecosystem services that would be irreplaceable if lost. In this way, it is necessary to know the process of urban landscape changing to guide planning and management. This research aimed to evaluate and predict the changes in land cover, measure the changes in the landscape structure, and then propose green infrastructure sustainability strategies to guide the landscape management in district 2 in the Tehran metropolitan. This region always had a privileged position due to the crossing of two river valleys (Darakeh and Farahzad). In this research, satellite images of 1986, 2000, and 2016 years were used to prepare maps of different land covers by IDRISI software. Also, the Ca-Markov chain was used to predict land cover for 2032 year. According to the purpose, three classes (green space, open space, and man-made space) were considered. Green and open spaces are green infrastructures. Also, for analysing the structural changes, it has been calculated landscape metrics (NP, MPS, MPAR, CONTIG, MESH, SPLIT, LP, PLAND, and Division) by FRAGSTATS software. In total, during the years 1986 to 2016 years, respectively about 617 ha of green lands and 1100 ha of open lands have turned into man-made lands. According to the results that show the widespread replacement of green infrastructures by man-made lands and the loss of their integrity, strategies based on the five principles of landscape ecology have been proposed.

Cite this article: 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. DOI: 10.22126/GES.2023.8640.2614



© The Author(s).

DOI: 10.22126/GES.2023.8640.2614

Publisher: Razi University

تدوین راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز شهری با استفاده از ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه دو کلان‌شهر تهران)

سعیده ناصحی^۱ | سیده آل محمد^۲ | مجید رضانی مهریان^۳ | نغمه مبرقی دینان^۴

۱. گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nasehi_sa@ut.ac.ir
۲. گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Sh.alemohammad@ut.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، گروه مطالعات محیطی، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی (سمت)، تهران، ایران. رایانامه: Mehrian@samt.ac.ir
۴. گروه اقتصاد، آموزش و سیاست محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: n_mobarghei@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>زیرساخت سبز، سنجه‌های سیمای سرزمین، پیش‌بینی، راهبرد، انسجام.</p>	<p>توسعه افسارگسیخته کالبدی - فضایی شهرها، باعث تغییر پوشش اراضی و ازدست‌رفتن انسجام زیرساخت‌های سبز می‌شود. همواره در شهرها این خطر وجود دارد که پایداری این زیرساخت‌ها در مقایسه با توسعه شهری نادیده گرفته شود. این زیرساخت‌ها (اراضی رودکناری، باغ‌ها، پارک‌های شهری، سبز راه‌های دست کاشت و اراضی بایر) با حضور در درون و پیرامون شهرها، می‌توانند خدمات اکوسیستمی بی‌شماری را عرضه نمایند که در صورت ازدست‌رفتن غیرقابل جایگزین خواهند بود. به‌این ترتیب، شناخت روند تغییرپذیری به‌منظور هدایت برنامه‌ریزی و مدیریت سیمای سرزمین شهری ضروری است. هدف این پژوهش، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی، سنجش تغییرات ساختار سیمای سرزمین و سپس پیشنهاد راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز به‌منظور هدایت مدیریت سیمای سرزمین در منطقه دو کلان‌شهر تهران است. این منطقه از گذشته به دلیل گذر دو رود - دره درکه و فرحزاد موقعیت ممتازی نیز داشته است. در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه پوشش‌های مختلف اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ و نرم‌افزار IDRISI استفاده شده است. همچنین برای پیش‌بینی پوشش اراضی سال ۲۰۳۲، زنجیره مارکوف و همان نرم‌افزار به کار گرفته شده است. بر اساس هدف این پژوهش، سه طبقه فضای سبز، فضای باز و فضای انسان‌ساخت موردنظر بوده و دوطبقه فضای سبز و فضای باز به‌عنوان زیرساخت سبز تلقی شده است. همچنین به‌منظور تحلیل تغییرات ساختاری، از محاسبه سنجه‌های PLAND، LP، SPLIT، MESH، CONTIG، MPAR، MPS، NP و Division در نرم‌افزار FRAGSTATS استفاده شده است. در مجموع طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶، به ترتیب حدود ۶۱۷ هکتار از اراضی سبز و ۱۱۰۰ هکتار از اراضی باز به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند. باتوجه‌به یافته‌ها که بیانگر جایگزین شدن گسترده زیرساخت‌های سبز توسط اراضی ساخته شده و ازدست‌رفتن انسجام آن‌ها است، راهبردهایی بر اساس پنج اصل اکولوژی سیمای سرزمین پیشنهاد شده است.</p>

استناد: ناصحی، سعیده؛ آل محمد، سیده؛ رضانی مهریان، مجید؛ 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.

DOI: 10.22126/GES.2023.8640.2614



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

درک پویایی شبکه زیرساخت‌های سبز^۱ (شامل اراضی رودکناری، باغ‌ها، پارک‌های شهری، سبزه‌راه‌های دست‌کاشت و حتی دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، جویبارها، دره‌ها، تپه‌ها، کوهپایه‌ها و اراضی بایر) در میان ساختارهای خاکستری (فضاهای کاملاً انسان‌ساخت) به‌منظور تبیین اهداف پایداری مدیریت سیمای سرزمین و در نتیجه ارتقای کیفیت زندگی شهری اهمیت فراوانی دارد (Novikov et al., 2021; Telichenko & Tesler, 2018; Girma et al., 2018). از خدمات اکوسیستمی زیرساخت‌های سبز می‌توان به تغذیه مخازن آب زیرزمینی، حفظ کیفیت و عرضه آب شیرین، ایجاد اقلیم معتدل، کاهش تأثیر جزایر حرارتی با جریان آب و گردش هوای پاک، افزایش ذخیره کربن، حمایت فرایندهای شکل‌زایی سرزمین، ایجاد و تقویت زیستگاه‌ها و پناهگاه‌ها، برقرار نمودن مسیر مهاجرت و امکان بقای جمعیت‌های گونه‌های حیات‌وحش، مهیا نمودن شرایط دفاع، تأمین شرایط دسترسی و حمل‌ونقل، عرضه مناظر بدیع و فضاهای مناسب تفرج، افزایش احساس تعلق به مکان و تعاملات اجتماعی، ارتقای سلامت جامعه و کاهش هزینه‌های بهداشتی اشاره نمود (Sadreazam Nouri et al., 2021; Ostrowski & Falkowski, 2020; Nawieśniak-Caesar et al., 2019; Wang & Banzhaf, 2018). در صورت غفلت، جایگزینی برای خدمات اکوسیستمی از دست‌رفته وجود نخواهد داشت. این زیرساخت‌ها به رهیافتی نیاز دارند که بالاترین اهمیت را به آن‌ها اختصاص دهد، حتی در نظر گرفتن آن‌ها در قالب ذخایر طبیعی به‌عنوان یکی از رویکردهای مدیریت سیمای سرزمین شهری بیان شده است (Bratley & Ghoneim, 2018; Mohammadian et al., 2018; Matusik., 2018; Macklin & Lewin, 2015; Harvey & Gooseff, 2015).

در این میان، رود - دره‌ها، به‌عنوان یکی از ابتدایی‌ترین و بادوام‌ترین اجزای ساختار سیمای سرزمین، محدوده‌های وسیعی را حین گذر از شهرها پوشش می‌دهند. حضور رود - دره‌ها در شهرها به‌عنوان محل زایش تمدن‌های باستانی، مزیتی رقابتی در برابر توسعه فضایی سکونتگاه‌های فاقد آن‌ها است. به‌علاوه، این عناصر ساختاری به دلیل امتداد خطی و قابلیت اتصال‌دهندگی می‌توانند از دیگر زیرساخت‌های سبز نیز حمایت کنند. به همین دلیل ارزیابی وضعیت زیرساخت‌های سبز در مقیاس پیرامون رود - دره‌های شهری پیش از هر گونه تصمیم‌گیری برای توسعه و حفاظت پیشنهاد شده است (Wang et al., 2020; Lotfi & Mousazadeh, 2020; Czochanski & Wisniewski, 2018; Christie & Knowles, 2015). همواره تغییرات پوشش اراضی و تبدیل کاربری اراضی از مهم‌ترین فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسان برای بهره‌برداری منابع پایه سرزمین است. جدا از ریشه‌چنین تغییراتی که بیشتر مربوط به وضعیت ناپایدار اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی است (Alemohammad et al., 2014)، نتیجه، از دست‌رفتن انسجام^۲ زیرساخت‌های سبز خواهد بود که خود اثرات محیط‌زیستی بی‌شماری خواهد داشت. طی نیم‌قرن اخیر سیمای سرزمین رود - دره‌های شهری نیز از این روند تباهی مستثنی نبوده است. به‌نحوی که هم‌زمان با رشد افسارگسیخته جمعیت شهرنشین جهان و مداخلات نابخردانه انسانی (به‌ویژه گسترش اراضی مسکونی، توسعه جریان‌های حمل‌ونقل و رشد اراضی کشاورزی) به تدریج رابطه همزیستی پیشین این محیط‌های منحصربه‌فرد با فضای انسان‌ساخت مختل گردیده است (Han et al., 2022; Chen et al., 2019; Hurlimann, 2018).

خوشبختانه، لکه‌های مصنوعی و طبیعی در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به علت داشتن شکل، رنگ و بافت خاص، عناصری بسیار متمایز و قابل‌شناسایی از هم هستند. بر همین اساس، توسط داده‌های سنجنش‌ازدور، پوشش / کاربری اراضی و تغییرات آن، قابل‌دستیابی و حتی پیش‌بینی است (Rajput et al., 2021; Kurwadkar et al., 2020; Orteg et al., 2018). اگرچه بر اساس رویکرد منطقه‌گرا، کسب این اطلاعات فضایی در قالب نقشه‌ها برای تصمیم‌گیری‌های کالبدی - فضایی اکنون و آینده موردنیاز است (Alemohammad et al., 2020; Wenwu et al., 2015)، اما ارزیابی دقیق‌تر وضعیت ترکیب و توزیع لکه‌ها و تغییرات ویژگی‌های ساختار سیمای سرزمین، می‌تواند مبنای مناسب‌تری برای تصمیم‌گیری در مسیر حفاظت پایدار شبکه اکولوژیکی شهرها فراهم نماید. زیرا میزان و نحوه بهره‌مندی یا محرومیت سکونتگاه‌های انسانی

1- Green infrastructure

2- Integrity

از مزایای نزدیکی، هم‌جواری و همپوشانی با زیرساخت‌های سبز، بی‌شک بر پایداری محیط‌زیست شهری مؤثر است (Abshirini & Koch, 2016; Forman, 2014; Liu & Yang, 2015; Arekhi, 2015; Farina & Salutari, 2016). به‌ویژه در کلان‌شهرها که زیرساخت‌های سبز، آخرین نشانه‌های باقیمانده از طبیعت هستند و با تخریب آن‌ها، وضعیت بحرانی آلودگی، جزایر حرارتی و دیگر مخاطرات محیطی رو به وخامت خواهد گذاشت. در راستای پایداری این زیرساخت‌ها، سیاست‌های ترکیبی و راه‌حل‌های چندگانه با تأکید بر رابطه ساختار و کارکرد سیمای سرزمین بر اساس شرایط محلی لازم است و پاسخ‌های کلی (مانند حفاظت، احیا و بازنده‌سازی، مرمت و بهسازی، بهره‌وری و توسعه) کافی نیست (Lavryk et al., 2022; Yu et al., 2020; Masnavi et al., 2016; Wlodarczyk & Dias Mascarenhas, 2016; Alinasab & Suzanchi, 2013; Jones et al., 2013; Szostak, 2013).

امروز، سیمای سرزمین کلان‌شهر تهران بسیار متفاوت با چهره گذشته آن است. پنج رود - دره اصلی (دارآباد، دربند، درکه، فرحزاد و کن) از دیرباز از رشته‌کوه البرز به‌سوی تهران امتداد داشته، مسیر انتقال آب و سیلاب‌ها بوده و از پوشش گیاهی رودکناری، باغ‌ها و اراضی باز نیز پشتیبانی می‌نموده است. شوربختانه بر اثر تحرکات شتاب‌زده تخصیص کاربری‌های انسان‌ساخت به‌ویژه توسعه بزرگراه‌ها و رشد سکونتگاهی پیاپی آن، این سرمایه‌های اکولوژیکی، در بیشتر طول مسیر قدیمی خود با تپه‌ها یک‌دست و همسطح شده و اکوسیستم منطقه دچار آشفتگی بنیادین گشته است. همچنین دولت‌ها به دلیل داشتن اولویت‌های دیگر، نتوانسته‌اند به نارسایی‌های کالبدی - فضایی کلان‌شهر تهران پاسخ مناسب و زودهنگام دهند. در این راستا، اگرچه تلاش شده است مساحت پارک‌های شهری افزایش داده شود. اما این رویکرد تک‌بعدی هم با بی‌توجهی به انسجام زیرساخت‌های سبز، همچنان ناکارآمد مانده است (Kamanroudi Kojuri et al., 2020; Hassanpour et al., 2020; Barghjelve, 2014; Mahmoodi et al., 2013; Moazeni et al., 2020). اهداف این پژوهش، بررسی تغییرات پوشش اراضی، پیش‌بینی آینده آن، تجزیه و تحلیل تغییرات ساختار سیمای سرزمین و سپس پیشنهاد راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز بر اساس اصول اکولوژی سیمای سرزمین به‌منظور هدایت مدیریت سرزمین در منطقه دو کلان‌شهر تهران است. در ادامه مبانی نظری پشتیبان زیرساخت‌های سبز شهری ارائه می‌گردد.

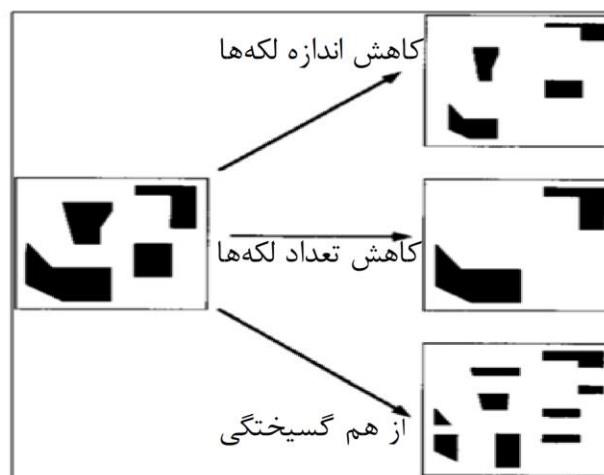
ایده زیرساخت سبز، بر مفاهیم و نظریه‌های قدیمی‌تری تکیه دارد. در دهه ۱۸۷۰، نظریات «المستد^۱» معمار منظر آمریکایی تأکید بسیاری بر نقش پارک و پارک‌راه^۲ در کیفیت محیطی شهرها داشته است. در دهه ۱۸۹۰، نظریه باغ‌شهر^۳ «هاوارد^۴» و در دهه ۱۹۶۰، نظریه شکل شهر «لینچ^۵» و کتاب طراحی با طبیعت «مک‌هارگ^۶» معرفی گردید. به این ترتیب به مرور با تأکید بر هماهنگی با طبیعت و نگاهی کل‌گرا، جنبشی در برنامه‌ریزی محیطی ایجاد شد. در دهه ۱۹۸۰، «مفهوم پایداری» برای حفاظت محیطی بر عدالت و کیفیت محیط زندگی انسان تمرکز نمود. به علاوه، پس از سال ۲۰۰۰، «برنامه‌ریزی سیمای سرزمین» به منظور هدایت ساختار، عملکرد و روند تغییرات سیمای سرزمین شکل گرفت. در نهایت توجه به شبکه اکولوژیکی لایه‌های طبیعی و نیمه طبیعی در شهرها، به عنوان ایده زیرساخت سبز، نه تنها در بین برنامه‌ریزان، شهرسازان و معماران منظر مورد توجه قرار گرفت، بلکه در میان گروه‌های طرفدار محیط‌زیست، بوم‌شناسان و سیاست‌مداران مطرح شد (Ying et al., 2021; Ferreira et al., 2021; Rall et al., 2019; Barghjelve & Mobarghaee Dinan, 2013).

تجربه‌های پژوهشی موفق در زمینه زیرساخت‌های سبز به‌ویژه با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین در آمریکای شمالی، اروپا، استرالیا و برخی کشورهای آسیا مانند چین و ژاپن، افزایش روزافزون دارد. اما در کشورهای آفریقا، 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 این رو لازم است، گزینه‌ها و

1- Olmsted
2- Parkway
3- Garden city
4- Howard
5- Lynch
6- McHarg

الزامات به‌منظور حفظ، ساماندهی و بهبود وضعیت انسجام زیرساخت‌های سبز برای دست‌اندرکاران و تصمیم‌گیران سیمای سرزمین، دست‌کم در سطح محلی تبیین شود (Monteiro et al., 2020; Conway et al., 2020; Parker et al., 2019; Ely & Pitman, 2014). اصول اکولوژی سیمای سرزمین، زیربنای هدایت سیاست‌ها و راه‌حل‌های پایداری زیرساخت‌های سبز است. چنین راه‌حلی پس از ارزیابی ساختار سیمای سرزمین و درک وضعیت انسجام زیرساخت‌های سبز باید ارائه گردد. لازم است این زیرساخت‌ها با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین تعریف گردد:

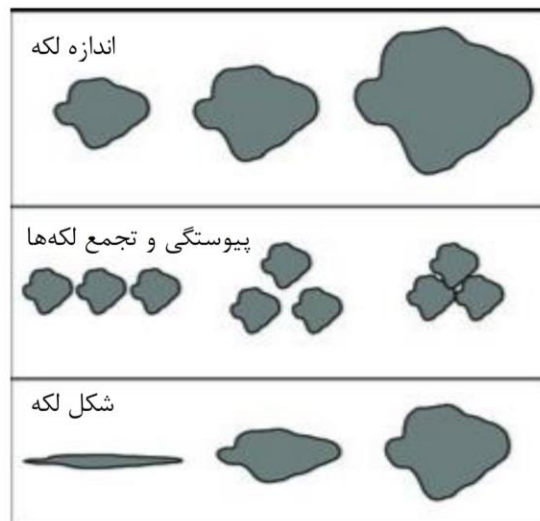
زیرساخت‌های سبز به‌عنوان یک سیستم پشتیبان حیات^۱، شامل لکه‌ها و دالان‌هایی است که کارکردهای اکولوژیکی، اجتماعی، فرهنگی و زیبایی‌شناسی سیمای سرزمین، تحت‌تأثیر ویژگی‌های ساختاری، کارکردی و تغییرپذیری آن‌ها است. پس یک ابزار برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت راهبردی فضایی به‌حساب می‌آید (Teixeira et al., 2021; Jongman, 2008). ساختار یا الگوی سیمای سرزمین^۲ برای درک نظم معنی‌دار در میان بی‌نظمی ظاهری سرزمین، توسط سنج‌های^۳ سیمای سرزمین قابل‌ارزیابی است. ناهمگنی^۴ ساختاری شامل دو ویژگی ترکیب^۵ و توزیع^۶ فضایی است. ترکیب، شامل تعداد و تناوب اجزای سیمای سرزمین است و توزیع فضایی نحوه قرارگیری آن‌ها است. ویژگی‌های ساختاری بر بسیاری از کارکردها^۷ در سیمای سرزمین مؤثر است. به‌عنوان نمونه، ازدست‌رفتن پیوستگی^۸ زیرساخت‌های سبز، با کاهش نفوذ آب، شدت سیلاب‌های شهری را افزایش می‌دهد. همچنین محدوده‌ای که اتصال و ارتباط جمعیت‌های زیست‌مند را فراهم نماید، تناسب زیستگاهی بالاتری دارد و تنوع زیستی بیشتری را پوشش می‌دهد (Gergel & Turner, 2017; Fu et al., 2010; Liding et al., 2008; Farina, 2010; Zonneveld, 2005). در صورتی که سنج‌ها دست‌کم طی دو زمان مختلف با یکدیگر مقایسه شود، می‌تواند نشان‌دهنده فرایندهای^۹ رخ داده در سیمای سرزمین باشند. چندپاره شدن^{۱۰} (تکه‌تکه‌شدن یا از هم گسیختن)، فرایندی اختلالی است که در آن یک ساختارهای طبیعی به چندین لکه کوچک‌تر تبدیل شده که از یکدیگر جدا می‌افتند. مطابق شکل ۱، این فرایند اختلالی شامل کاهش اندازه سطح، افزایش تعداد و همچنین کاهش تراکم و هم‌جواری لکه‌های سبز است (Crews & Peralvo, 2008; Honnay & Jacquemyn, 2007; Kettunen et al., 2007; Ewers & Didham, 2006).



شکل ۱. فرایند از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین در کنار دو فرایند ساده دیگر

- 1- Life support system
- 2- Landscape Structure
- 3- Metrics
- 4- Heterogeneity
- 5- Composition
- 6- Configuration
- 7- Function
- 8- Connectivity
- 9- Processes
- 10- Fragmentation

در ادامه پنج مورد از مهم‌ترین اصول اکولوژی سیمای سرزمین معرفی می‌شود. بنا بر نظریه جزیره جغرافیای زیستی^۱ و نظریه فراجمعیت^۲، سه مورد از اصول اکولوژی سیمای سرزمین به‌منظور آنکه ساختار سیمای سرزمین منسجم‌تر باشد و حمایت بیشتری را از سازگاری‌هایش فراهم نماید، به شرح زیر و مطابق شکل ۲ است: ۱) لکه‌های بزرگ‌تر در فراهم نمودن کارکردهای اکولوژیکی بهتر از لکه‌های کوچک‌تر عمل می‌نمایند. ۲) مجاورت و اتصال لکه‌ها و دالان‌های سبز بهتر از گسستگی آن‌ها است. بی‌توجهی به پیوستگی میان پارک‌های شهری و عدم پیوستگی آن با سایر زیرساخت‌های سبز، سبب توزیع نامتعادل این پارک‌ها در میان کاربری‌های انسان‌ساخت، عدم برقراری ارتباط اکولوژیکی میان زیرساخت‌های سبز و برخوردار نشدن ساکنان شهری از مزایای این زیرساخت‌ها است. ۳) لکه‌هایی که تشابه بیشتر با دایره دارند و از حداقل نسبت محیط به مساحت برخوردارند مناسب‌تر از لکه‌های دارای سایر اشکال هستند، زیرا اثر حاشیه^۳ بر آن‌ها کاهش می‌یابد. این اصول درباره دالان‌ها نیز صدق می‌کند، زیرا دالان یک لکه کشیده است. هر چه عرض دالان بیشتر باشد و اتصال بیشتری با سایر لکه‌ها و دالان‌ها داشته باشد، کارکردهای اکولوژیکی آن افزایش می‌یابد و در مجموع پایداری زیرساخت‌های سبز بیشتر می‌شود (Lausch et al., 2015; Mortelliti et al., 2010; Galvin et al., 2008; Laurance, 2008; Fischer & Lindenmayer 2007; Urban, 2006; Forman, 1995).

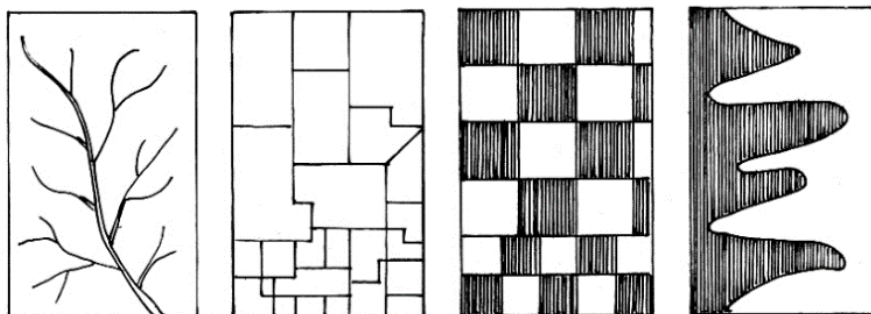


شکل ۲. تأثیر ویژگی‌های ساختاری بر انسجام سیمای سرزمین: پایداری زیرساخت‌های سبز به ترتیب از سمت چپ به راست افزایش می‌یابد (Suzan et al., 2012)

اصول چهارم و پنجم اکولوژی سیمای سرزمین به‌منظور پشتیبانی پایداری زیرساخت‌های سبز به شرح زیر است: ۴) ساختارهایی با الگوی طبیعی دارای کارکرد اکولوژیکی بالاتری از ساختارهای با الگوی مصنوعی هستند. این اصل به‌ویژه در ارتباط با رود - دره‌ها و مناطق رودکناری یا به‌اصطلاح سیمای سرزمین رودخانه‌ای^۴ صادق است. الگوی درخت‌گونه^۵ بیشتر تحت‌تأثیر شبکه سلسله‌مراتبی رودخانه‌ها به وجود می‌آید. الگوی پنجه‌ای^۶ نیز در مرز لکه‌های طبیعی مانند رود - دره‌ها و کوهستان‌ها قابل‌شناسایی است. همچنین در درون و مرز شهرها هم به دلیل وجود عوارض طبیعی وجود دارد. باتوجه‌به آنکه فرایند توسعه شهری بیشتر با الگوهای غیرطبیعی مانند الگوی خطی مستقیم^۷ و یا الگوی شطرنجی^۸ همراه است، حفظ الگوهای طبیعی ضروری است. در شکل ۳، الگوهای نامبرده نمایش داده شده است (Erős & Lowe, 2019; Gwinn et al., 2019).

- 1- Island Biogeography Theory
- 2- Metapopulation Theory
- 3- Edge Effect
- 4- Riverscapes
- 5- Dendritic
- 6- Interdigitated
- 7- Rectilinear
- 8- Checkerboard

با ایفای نقش ضربه‌گیری، در برابر اختلالات و تنش‌ها مناسب‌تر است. این اصل چنان اهمیت دارد که بر اساس آن به تعیین مرز اکولوژیکی برای رود - دره‌های شهری و همچنین تعیین حدود پهنه سپر برای مناطق حفاظت شده در پیرامون شهرها و تالاب‌ها در پایین‌دست شهرها به منظور جلوگیری از هر گونه توسعه و ساخت‌وساز تأکید فراوان شده است (Graziano et al., 2022; Bedla & Halecki, 2021; Surasinghe & Baldwin, 2015; O'Keefe et al., 2013; Marczak et al., 2010). در این پژوهش بر اساس این پنج اصل، راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز پیشنهاد شده است.



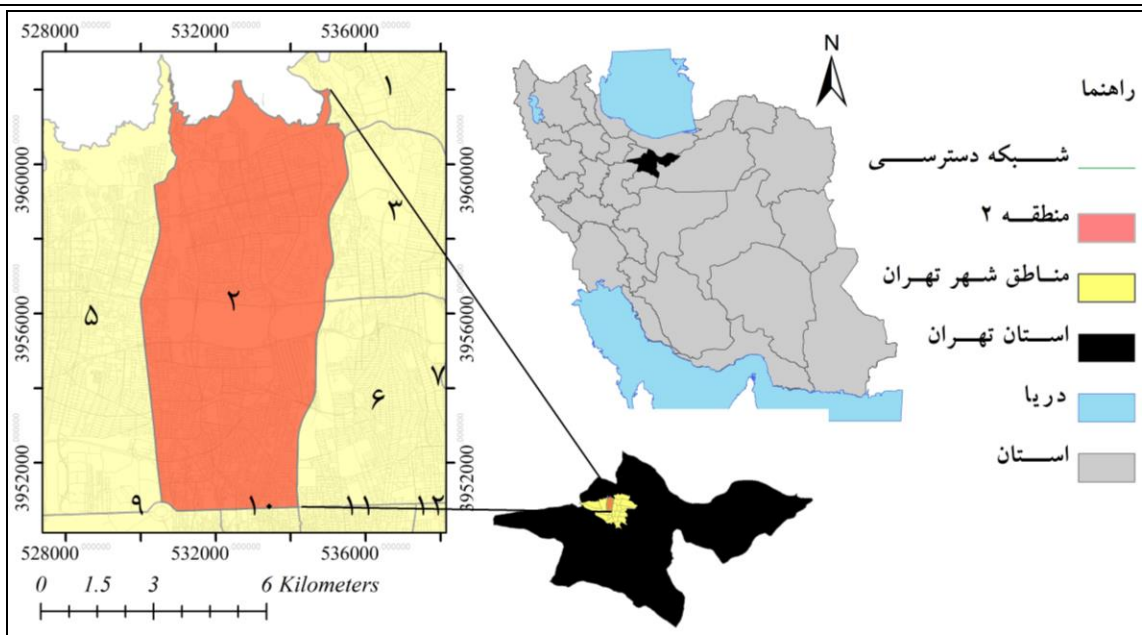
شکل ۳. برخی از انواع آرایش فضایی یا الگوی ساختاری در سیمای سرزمین. به ترتیب از سمت راست به چپ شامل الگوهای پنجه‌ای، شطرنجی، خطی مستقیم و درخت گونه (Forman, 1990)

پیشینه مطالعات مرتبط با پژوهش حاضر بسیار گسترده است. برخی از جدیدترین و مرتبط‌ترین مطالعات مرتبط با تغییرات زیرساخت‌های سبز در کلان‌شهر تهران به این شرح است: برخی مطالعات تغییرات الگوی زیرساخت‌های سبز شهری تهران و یا برخی مناطق آن را به کمک سنجش‌ازدور و محاسبه سنجش‌های سیمای سرزمین ارزیابی نموده‌اند (Naroei et al., 2015; Yazdanpanah et al., 2020; Hassanpour et al., 2020). در مطالعه‌ای مدل مفهومی بازآفرینی پایدار رود - دره‌های شهری به کمک تکنیک معادلات ساختاری ایجاد شده است (Moazeni et al., 2020). در مطالعه‌ای، بی‌کیفیتی شبکه‌های سبز شهرهای معاصر ایران، تحلیل محتوایی و تاریخی شده است (Saboonchi et al., 2018). همچنین در دیگر پژوهش‌ها، ارزیابی اکولوژیکی کارکرد سلسله‌مراتبی رود - دره در که (Barghjelve & et al., 2014)، بررسی معیارهای ارزیابی اکولوژیکی رود - دره دارآباد و ارائه راهکارهای ترکیبی (Alinasab & Suzanchi, 2013) و شناسایی روابط فعالیت‌های انسان و بستر اکولوژیکی رود - دره فرحزاد تهران با تحلیل سلسله‌مراتبی (Mahmoodi et al., 2013) موردنظر بوده است. نقطه تمایز این پژوهش از سویی پیش‌بینی پوشش اراضی برای آینده است که جنبه کاربردپذیری و مشروعیت آن را تقویت می‌نماید و از سوی دیگر پیشنهاد راهبردهای دقیق‌تر برای افزایش انسجام و در نتیجه پایداری زیرساخت‌های سبز باتوجه‌به مهم‌ترین اصول اکولوژی سیمای سرزمین است.

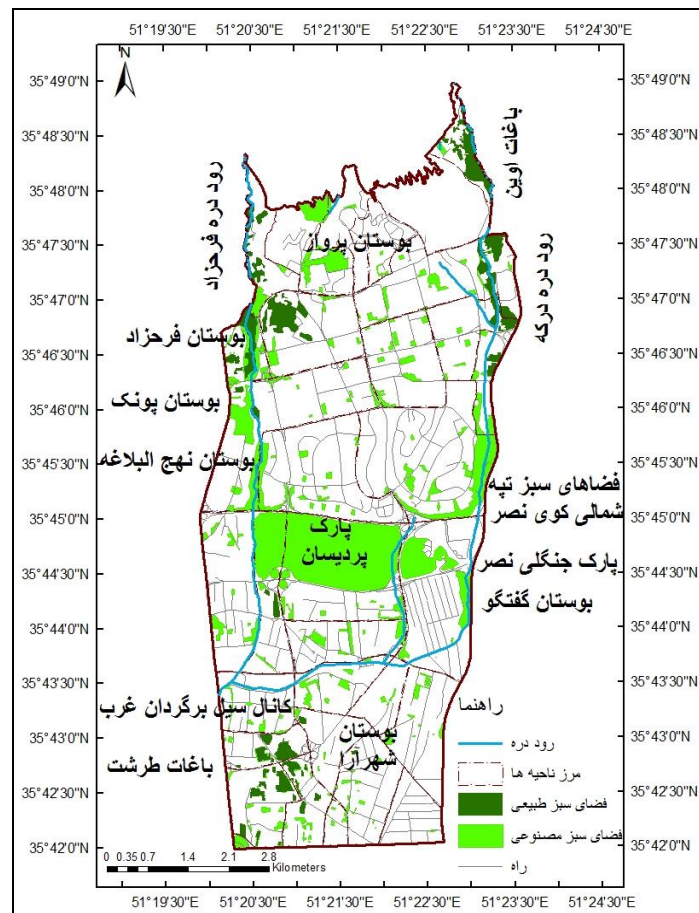
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه دو کلان‌شهر تهران واقع در شمال غرب استان تهران و محدوده میانی و شمال کلان‌شهر تهران، ده درصد مساحت این کلان‌شهر را تشکیل می‌دهد. رشته‌کوه البرز مشرف بر همه چشم‌اندازهای روبه‌شمال این منطقه است. شکل هندسی این منطقه کشیده و در میانه رود - دره‌های در که (در شرق) و فرحزاد (در غرب) است. سایر عناصر طبیعی و شبه طبیعی شاخص در منطقه شامل تپه‌های شمالی کوی نصر، فضاها سبز بزرگ چون پارک جنگلی پردیسان، پارک گفتگو، بوستان نهج‌البلاغه، پارک ژوراسیک، پارک پروار، پارک شهرآرا و باغ‌ها (باغ‌های طرشت، باغ فیض و باغ‌های محله اوین) است. مجموعه‌های روستا - شهری در که و فرحزاد در شمال منطقه و روستا - شهر طرشت در جنوب منطقه از سکونتگاه‌های دیرین منطقه هستند. تمامی این فضاها در گذران اوقات فراغت ساکنان منطقه و سایر تهران‌نشینان نقش قابل‌توجهی دارد. شکل ۴، جانمایی منطقه مورد مطالعه و شکل ۵، شناخته‌شده‌ترین عناصر طبیعی و شبه طبیعی منطقه را نمایش می‌دهند.



شکل ۴. جانمایی موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. موقعیت عناصر طبیعی و شبه طبیعی شاخص در منطقه دو کلان‌شهر تهران

جمعیت این منطقه در سال ۱۳۹۵، بیش از ۶۴ هزار نفر بوده است. فعالیت مراکز اداری، تجاری و آموزشی، موجب پویایی اقتصادی منطقه است. بیشتر شهروندان از طبقه متوسط جامعه و اقشار مختلفی مانند فرهنگیان، دانشگاهیان، مدیران، کارمندان و صنعتگران هستند. بافت اجتماعی به سبب تحصیلات بالا، کوچکی بعد خانوار و ثبات در نسبت جنسیت متمایز

است. بافت شهری نیز بازسازی شده و جدید است. برج میلاد با ۴۳۵ متر ارتفاع در این منطقه قرار دارد. این منطقه به علت دسترسی مناسب به بزرگراه‌های اصلی شهر (همت، حکیم، نیایش، یادگار امام و شیخ فضل‌الله) و همچنین پایانه‌های قطار درون‌شهری، امکان جابه‌جایی سریع و آسان را فراهم کرده است.

روش مطالعه

چارچوب مراحل پژوهش شامل چهار مرحله کلی و مطابق با اهداف پژوهش است. در مرحله اول به منظور تهیه نقشه‌های سه‌زمانه (۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶) پوشش اراضی، از تصاویر ماهواره لندست و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردیده است. پس از تصحیحات هندسی و اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌های آموزشی برای پوشش اراضی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدید میدانی تهیه شده است. در جدول ۱، مشخصات تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های موردنظر، نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک مکانی باندهای انعکاسی (متر)
TM	۱۹۸۶/۰۴/۱۳	۳۰
ETM	۲۰۰۰/۰۳/۲۶	۳۰
OLI	۲۰۱۶/۰۴/۱۳	۳۰

سپس تصاویر ماهواره‌ای با به‌کارگیری این نمونه‌های آموزشی و با روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال^۱ با استفاده از نرم‌افزار Idrisi، طبقه‌بندی شده است. الگوریتم حداکثر احتمال یکی از متداول‌ترین الگوهای طبقه‌بندی نظارت شده است و در آن هر پیکسل به طبقه‌ای اختصاص می‌یابد که بالاترین احتمال را دارد (Taghadosi et al., 2019; Yousefi et al., 2014). به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی، مقایسه با نقشه‌های کاربری موجود، بازدید میدانی و ثبت نمونه‌های آزمایشی به صورت تصادفی به شکل داده‌های پلیگونی توسط GPS صورت گرفت. مطابق جدول ۲، دقت طبقه‌بندی توسط روش ماتریس خطا و بر اساس پارامترهای آماری صحت کلی و ضریب کاپا^۲ برای هر سه سال محاسبه شده و قابل قبول بوده است.

جدول ۲. مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مختلف

سال	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۹۸۶	۹۴/۸۸	۰/۹۱۲
۲۰۰۰	۹۶/۷	۰/۹۴۵
۲۰۱۶	۹۸/۷	۰/۹۷۸

بنا بر هدف پژوهش و نوع پوشش‌های منطقه، سه طبقه (طبقه فضای سبز، طبقه فضای باز یا بایر و طبقه مناطق انسان‌ساخت) مورد شناسایی قرار گرفته است. مناطق انسان‌ساخت بیشتر شامل مناطق مسکونی، خدماتی، تجاری و تأسیسات زیربنایی است. طبقه فضای سبز شامل پوشش‌های طبیعی رودکناری و همچنین پوشش‌های دست‌کاشت (باغ، درختزار و پارک‌شهری) است. طبقه فضای باز یا بایر شامل زمین‌های لخت انتقالی بین پوشش‌ها و زمین‌های کشاورزی رها شده است.

در مرحله دوم، از همان نرم‌افزار و نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ به منظور پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی برای سال ۲۰۳۲ استفاده گردیده است. در این راستا، شبیه‌سازی با روش زنجیره کمارکوف^۳ و بر اساس ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر انجام شده است. همچنین برای مکان‌دار نمودن پوشش اراضی پیش‌بینی شده از روش

1- Maximum likelihood algorithm

2- kappa coefficient

3- CA-MARKOV chain

سلول‌های خودکار^۱ استفاده شده است. به منظور ارزیابی صحت پیش‌بینی پوشش اراضی، ضریب کاپا محاسبه شده است و مقدار آن بالاتر از ۰.۹۵، به دست آمده است که نشان از اعتبار شبیه‌سازی دارد.

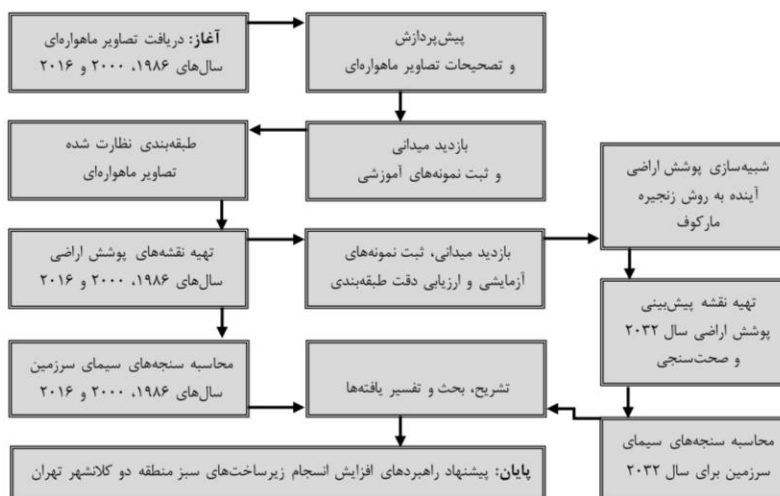
در مرحله سوم، تجزیه و تحلیل تعدادی از سنجه‌ها برای درک بهتر و توصیف پویایی سرزمین، مناسب‌تر از یک سنجه است. اما با توجه به تعداد بالای سنجه‌های ساختار سیمای سرزمین، وجود رابطه همبستگی بین شماری از این سنجه‌ها، برای جلوگیری از ایجاد اطلاعات اضافی و در نهایت با توجه به هدف پژوهش، از سنجه‌هایی استفاده شده است که بر اساس مطالعات در مجموع در کنار یکدیگر بتوانند بر بیشتر جنبه‌های ترکیب و توزیع ساختار سیمای سرزمین احاطه داشته باشد (Alemohammad et al., 2022; McGarigal, 2017; Arekhi, 2015; McGarigal et al., 2009; Botequilha et al., 2006; Fortin & Dale, 2005). در این پژوهش پایه محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، نقشه‌های پوشش اراضی بوده که در سطح طبقات توسط نرم‌افزار Fragstats برای سنجه‌های تعداد لکه^۲ (NP)، میانگین مساحت لکه^۳ (MPS)، میانگین نسبت محیط به مساحت^۴ (MPAR)، میانگین مجاورت^۵ (CONTIG)، اندازه شبکه مؤثر^۶ (MESH)، شکافتگی^۷ (SPLIT)، بزرگترین لکه^۸ (LP)، نسبت مساحت لکه^۹ (PLAND) و تقسیم (D)^{۱۰} محاسبه شده است. تعریف این سنجه‌ها به شرح زیر است:

سنجه تعداد لکه به معنی تعداد لکه‌های یک نوع پوشش خاص است. سنجه میانگین مساحت لکه، میانگین اندازه لکه‌های یک نوع پوشش خاص در سیمای سرزمین است. سنجه میانگین نسبت محیط به مساحت بیانی از شکل لکه‌ها بر اساس نسبت محیط به مساحت (متر در هکتار) است. هر چه این سنجه کمتر باشد شکل لکه‌ها دوارتر و کارکردهای اکولوژیکی بهتر است. سنجه میانگین مجاورت برای سنجش شکل لکه بر اساس ارتباط فضایی و تعداد هم‌پهلویی سلول‌های رستری داخل لکه‌ها است. حداقل صفر و حداکثر یک است. هنگامی که لکه‌های پوشش موردنظر پراکنده و ناپیوسته باشد این متریک صفر است. اما زمانی که لکه‌ها در کنار هم مجتمع باشد، مقدار این نمایه یک است. سنجه اندازه شبکه مؤثر برابر با مجموع مساحت لکه‌های یک پوشش تقسیم بر تعداد کل اتصالات ممکن بین آن‌ها است.

این سنجه نشان‌دهنده احتمال اتصال دونقطه در سیمای سرزمین و قطع نشدن آن توسط موانعی مانند جاده‌ها است. سنجه شکافتگی به معنی تعداد لکه‌های به دست آمده از تقسیم سیمای سرزمین به لکه‌هایی با اندازه مساوی مبتنی بر اندازه شبکه مؤثر است. مقدار این سنجه بین صفر تا صد قرار دارد و افزایش آن نشانه از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین است. اگر اندازه بزرگ‌ترین لکه در زیرساخت سبز روند کاهشی داشته باشد می‌تواند از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین را نشان دهد. سنجه نسبت مساحت لکه، نسبت درصد مساحت هر پوشش را از کل سیمای سرزمین محاسبه می‌کند. در نهایت سنجه تقسیم به معنی تکه‌تکه شدگی لکه‌های یک پوشش و بین صفر و یک است. افزایش این سنجه به معنی تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین است (He et al., 2018; Hagen-Zanker, 2016; Barrett et al., 2015; Fan & Myint, 2014; McGarigal & Cushman, 2012; Hong et al., 2011).

در مرحله چهارم نیز، بر اساس پنج اصل مهم اکولوژی سیمای سرزمین که در بخش مبانی نظری پژوهش مطرح گردید و با توجه به روند تغییرات به وجود آمده در ساختار سیمای سرزمین و شرایط پیش‌بینی شده برای آینده، راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز به منظور هدایت مدیریت سیمای سرزمین در منطقه دو کلان‌شهر تهران پیشنهاد شده است. در شکل ۶، سلسله‌مراتب روش پژوهش با جزئیات بیشتر نمایش داده شده است.

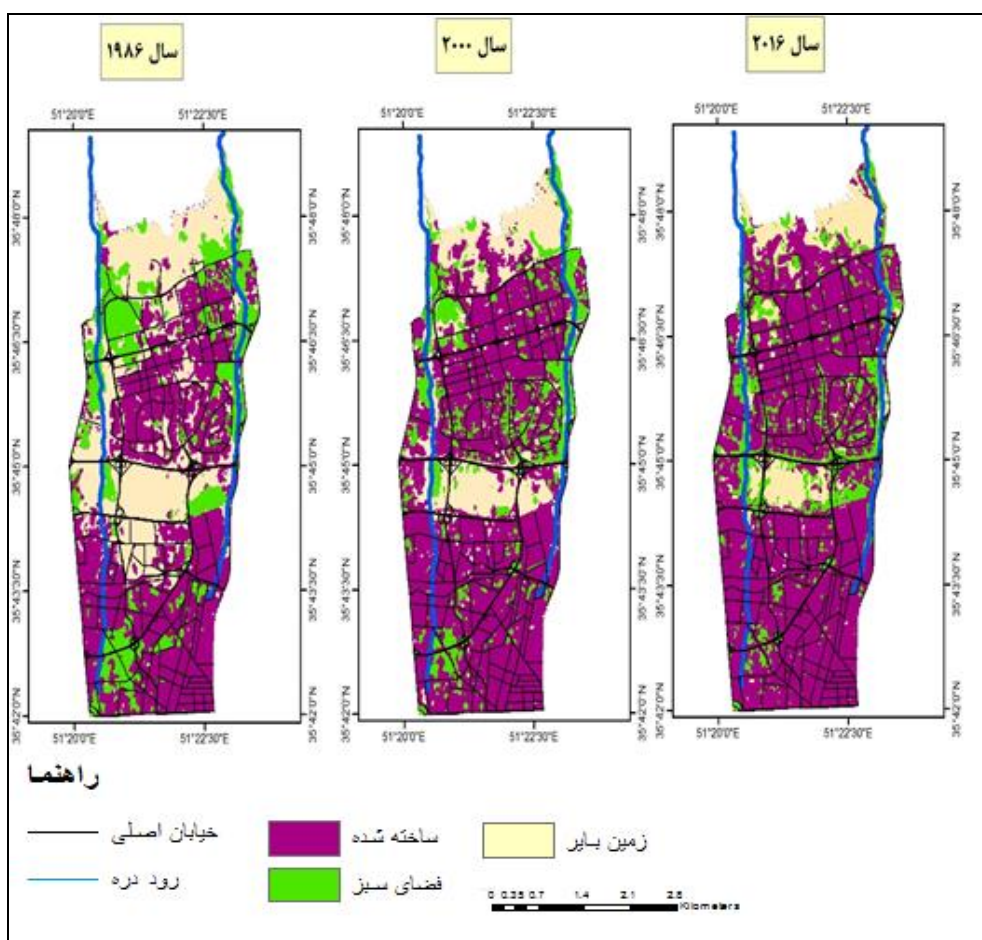
- 1- Automatic cells
- 2- Number of Patches
- 3- Mean Patch Size
- 4- Mean Perimeter to Area Ratio
- 5- Mean Contiguity Index
- 6- Effective Mesh Size
- 7- Perforation
- 8- Largest Patch
- 9- Percentage of Landscape
- 10- Division



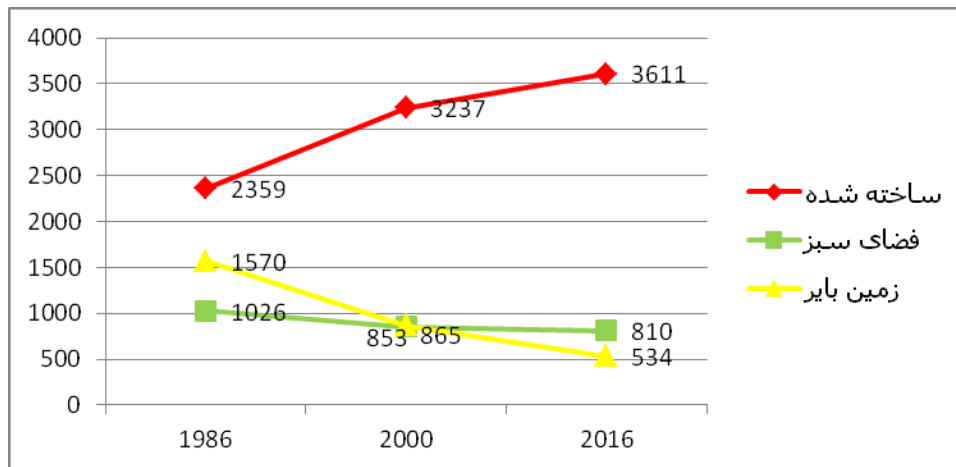
شکل ۶. جزئیات چارچوب روش شناسی پژوهش

نتایج

شکل ۷، تصاویر طبقه‌بندی شده پوشش اراضی و نمودار شکل ۸، تغییر مساحت انواع پوشش را در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶، برای منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهند. سطح اراضی سبز کاهش داشته به‌نحوی که در سال ۱۹۸۶، ۱۰۲۶ هکتار بوده و در سال ۲۰۱۶، ۸۱۰ هکتار شده است. فضای ساخته شده از ۲۳۵۹ هکتار به ۳۶۱۱ هکتار رسیده است. زمین بایر نیز از ۱۵۷۰ هکتار به ۵۳۴ هکتار رسیده است.

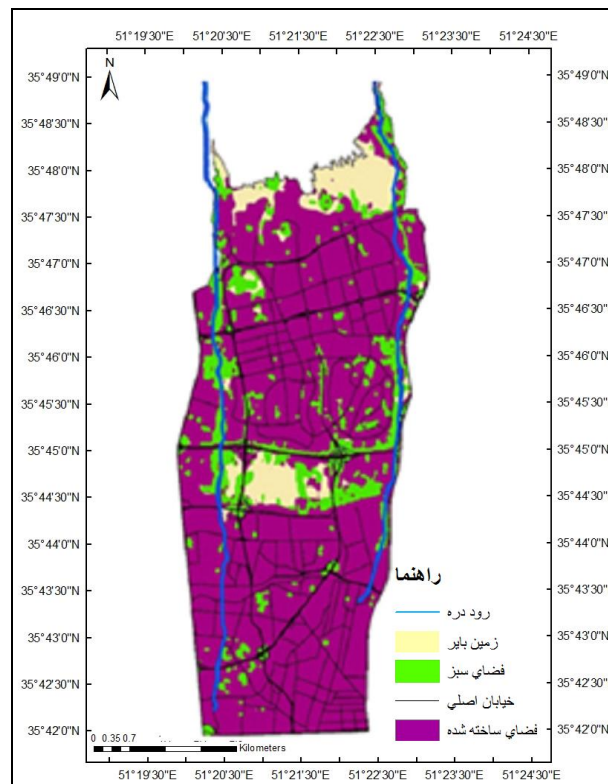


شکل ۷. تصاویر طبقه‌بندی شده پوشش اراضی سه‌زمانه منطقه دو کلان‌شهر تهران

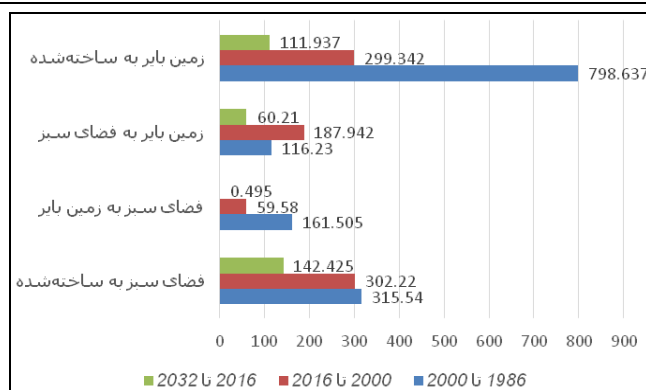


شکل ۸. تغییرات مساحت پوشش اراضی منطقه دو کلان‌شهر تهران در سه سال مختلف

شکل ۹، نقشه پیش‌بینی شده پوشش اراضی برای سال ۲۰۳۲ است. شکل ۱۰ نیز نمودار تبدیل پوشش اراضی طی سه بازه زمانی است. در دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰، حدود ۳۱۵ هکتار از مساحت فضای سبز مورد ساخت‌وساز قرار گرفته است. این مقدار در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، نیز حدود ۳۰۲ هکتار بوده است. تبدیل شدن اراضی باز به فضای سبز در بازه زمانی اول و دوم، به ترتیب حدود ۱۲۰ و ۱۹۰ هکتار بوده است. به‌علاوه، اراضی سبزی که به‌واسطه تخریب شدن یا تسطیح شدن به علت ساخت بزرگراه، به اراضی بایر تبدیل شده‌اند، در بازه زمانی اول حدود ۱۶۰ هکتار و در بازه زمانی دوم حدود ۶۰ هکتار بوده است. همچنین به ترتیب طی دوره اول و دوم، حدود ۸۰۰ هکتار و ۳۰۰ هکتار از اراضی بایر به اراضی ساخته شده، تبدیل شده است. در مجموع طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶، به ترتیب حدود ۶۱۷ هکتار از اراضی سبز و ۱۱۰۰ هکتار از اراضی باز به اراضی انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۲ حدود ۱۵۰ هکتار از اراضی سبز به اراضی ساخته شده تبدیل خواهد گردید، در صورتی که فقط حدود ۶۰ هکتار، به فضای سبز پیشین اضافه خواهد شد.



شکل ۹. نتایج پیش‌بینی پوشش اراضی سال ۲۰۳۲



شکل ۱۰. نمودار تبدیل پوشش اراضی طی سه بازه زمانی

نتایج محاسبه سنجه‌های ترکیب و توزیع سیمای سرزمین در سطح طبقه پوشش اراضی به شرح زیر و مطابق جدول ۳ است. سنجه تعداد لکه برای فضای سبز افزایش یافته و برای طبقه اراضی ساخته شده کاهش داشته است. لکه‌های ناپیوسته و جدا افتاده اراضی ساخته شده، به هم پیوسته و فضای سبز دچار تکه تکه شدن گشته است. تعداد لکه‌های اراضی باز نیز ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی داشته که ناشی از تبدلات آن با دو پوشش دیگر است. سنجه میانگین مساحت لکه در طبقه ساخته شده افزایش داشته است. همچنین در مجموع برای طبقات فضای سبز و باز کاهش داشته که نشان از خرد دانه شدن آن‌ها است. سنجه میانگین نسبت محیط به مساحت در هر سه طبقه افزایش داشته است که به معنی دور شدن از شکل پایدار هندسی دایره است؛ بنابراین سیمای سرزمین طی زمان از هم گسیخته و تخریب شده است.

سنجه میانگین مجاورت برای طبقه فضای ساخته شده افزایش داشته و به یک نزدیک‌تر شده که نشان‌دهنده پیوسته‌تر شدن این فضاها است. اما در دوطبقه دیگر، این سنجه کاهش داشته و به صفر نزدیک‌تر شده و کاهش پیوستگی سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. سنجه اندازه شبکه مؤثر در طبقات فضای سبز و فضای باز کاهش داشته؛ اما در طبقه ساخته شده افزایش داشته است. سنجه شکافتگی در طبقه ساخته شده با کاهش روبه‌رو بوده است. افزایش این سنجه در دوطبقه دیگر نشان از شکافتگی آن‌ها است. سنجه بزرگ‌ترین لکه در طبقات فضای سبز و فضای باز کاهش داشته است. اما برای طبقه ساخته شده افزایش داشته و نشان‌دهنده پیوستن و بزرگ‌تر شدن لکه‌های ساخته شده است. سنجه نسبت مساحت لکه در طبقه ساخته شده افزایش یافته است و منجر به کاهش دوطبقه دیگر و تخریب اکوسیستم‌های حساس شده است. سنجه تقسیم طی زمان برای زیرساخت‌های سبز ثابت و بسیار نزدیک به یک بوده که نشان‌دهنده از هم گسیختگی آن‌ها است. اما در طبقه اراضی ساخته شده روبه کاهش بوده و به صفر نزدیک‌تر شده است.

جدول ۳. سنجه‌های طبقات انواع پوشش سیمای سرزمین در سه سال مختلف

سنجه	نوع پوشش اراضی	۱۹۸۶	۲۰۰۰	۲۰۱۶	۲۰۳۲
سنجه تعداد لکه	فضای ساخته شده	۲۴۶	۱۶۳	۱۶۴	۱۶۸
	فضای باز	۱۷۰	۳۲۲	۱۹۰	۱۷۵
	فضای سبز	۱۴۰	۳۴۷	۵۰۵	۶۸۳
سنجه میانگین مساحت لکه	فضای ساخته شده	۹/۵۹۲	۱۹/۸۶۴	۲۲/۰۲	۳۴/۴۳۳
	فضای باز	۹/۲۴	۲/۶۹	۲/۸۱	۱/۴۰
	فضای سبز	۷/۳۲۹	۲/۴۵۹	۱/۶	۱/۰۰۷
سنجه میانگین محیط به مساحت	فضای ساخته شده	۱۵۲۴/۴۶۲	۱۶۹۵/۷۰۵	۱۷۲۳/۵۴۲	۲۳۱۶/۱۶۳
	فضای باز	۷۷۱/۵۸۱	۱۲۰۷/۳۹	۱۱۱۰/۱۹۹	۱۰۱۱/۱۵۳
	فضای سبز	۶۵۳/۸۶	۹۷۰/۴۷	۱۱۱۹/۰۵	۱۹۶۱/۰۴۸
سنجه میانگین مجاورت	فضای ساخته شده	۰/۳۲	۰/۳۳۴	۰/۳۸	۰/۴۳۳
	فضای باز	۰/۶۵	۰/۵۴۳	۰/۵۰۲	۰/۵
	فضای سبز	۰/۷۰۴	۰/۶	۰/۵۴	۰/۴۸۸

ادامه جدول ۳.

سنجه	نوع پوشش اراضی	۱۹۸۶	۲۰۰۰	۲۰۱۶	۲۰۲۲
سنجه اندازه شبکه مؤثر	فضای ساخته شده	۴۸۷/۹۱	۱۹۶۷/۹۲	۲۵۳۰/۲۳۶	۴۳۴۸/۶۲۲
	فضای باز	۱۷۳/۶	۲۴/۱۰۴	۹/۷	۱/۶
	فضای سبز	۲۹/۹۸	۹/۶۹	۴/۶۲	۱/۵۴
سنجه شکافتگی	فضای ساخته شده	۱۰/۱۶	۲/۵۲	۱/۹۶	۱/۳۹
	فضای باز	۲۸/۵۵	۲۰۵/۶۲	۵۱۱/۳۲	۸۷۲/۶۵۳
	فضای سبز	۱۶۵/۲۸	۵۱۱/۴۹	۱۰۷۱/۸	۲۰۴۵/۵
سنجه بزرگ‌ترین لکه	فضای ساخته شده	۲۵/۹۷	۶۳	۷۱/۴۵	۹۶/۶۵
	فضای باز	۱۴/۹۳	۴/۶۳	۳/۷	۱/۵
	فضای سبز	۵/۵۱	۲/۶۱	۱/۴۲	۱/۰۰۷
سنجه نسبت مساحت لکه	فضای ساخته شده	۴۷/۶۱	۶۵/۳۳	۷۲/۸۶	۹۱/۵۶
	فضای باز	۳۱/۶۹	۱۷/۴۶	۱۰/۸	۶/۵۷
	فضای سبز	۲۰/۷	۱۷/۲۱۱	۱۶/۳۴	۱۲/۴۶
سنجه تقسیم	فضای ساخته شده	۰/۹	۰/۶	۰/۴۹	۰/۳۸
	فضای باز	۰/۹۶۵	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹۷
	فضای سبز	۰/۹۹۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۷۱

بحث

توسعه عناصر انسان‌ساخت و به طور کلی تر شیوه رشد شکل شهر بدون هماهنگی با الگوی ارگانیک و عناصر طبیعی سیمای منطقه صورت گرفته است. در نتیجه شبکه اکولوژیکی منطقه دست خوش تغییرات وسیعی گشته است. این عدم تطابق به گونه‌ای است که دالان‌های طبیعی دو رود دره فرحزاد و درکه که در جهت شمالی - جنوبی قرار دارند به همراه لکه‌ها و دالان‌های سبز حاشیه خود، تحت تسلط الگوی مداری شبکه دسترسی از هم گسیخته شده و بستر منطقه از لکه‌های بزرگ خالی شده است. نبودن حریم در برابر نیروهای خارجی وارد به حاشیه این زیرساخت‌ها سبب شده افزون بر کاهش طول رودخانه و پوشش گیاهی رودکناری، عرض آن‌ها نیز کاهش یابد. افزایش قیمت زمین محرکی بر توسعه غیراصولی و بی‌رویه بوده است. اکنون اغلب باغ‌های منطقه تخریب شده و مسیر گذر رود - دره فرحزاد به باغ‌های طرشت قطع شده است. بسیاری از زمین‌های بایر به فضاهای ساخته شده اختصاص یافته و برخی هم در تپه‌ها به فضاهای سبز تبدیل شده است. ساخت‌وسازهای جدید در تپه‌ها سبب محدودیت تأمین منابع آب شده است.

به علاوه این زیرساخت‌های اصیل دیگر خدمات پیشین خود را جایگزین نمی‌نمایند. لکه‌های سبز دست کاشت بیشتر در حاشیه رود - دره تمرکز یافته است؛ مانند پارک نهج‌البلاغه. دالان‌های سبز دست کاشت نیز در محور خیابان‌ها و کنار رودخانه‌ها هستند. سبز راه‌های محور خیابان‌ها توزیع یکسان و مانند شکل شبکه دسترسی الگوی مداری دارند. سبزه‌ها دست کاشت رودکناری نیز مانند شکل رودخانه الگوی شاخه‌ای دارند، اما با الگوی مداری شبکه دسترسی، قطع شده‌اند. رفته‌رفته زیرساخت‌های سبز نتوانسته‌اند کارکردهای اکولوژیکی خود را به شهر تهران عرضه نمایند. بر اساس مطالب ذکر شده و تجزیه و تحلیل سنجه‌ها، میزان پیوستگی طبقه فضای سبز، روند کاهش و از هم گسیختگی آن، روند فزونی داشته است. اما پیوستگی اراضی انسان‌ساخت بیشتر شده است. مقدار قابل توجهی از اراضی باز هم به فضاهای ساخته شده تخصیص داده شده و مقدار کمی از آن‌ها هم به اراضی سبز تبدیل شده‌اند. در جدول ۴، راهبردهای پایداری زیرساخت‌های سبز (به منظور هدایت مدیریت سیمای سرزمین در راستای تقویت الگوی آرایش فضایی طبیعی و شبه طبیعی یا به عبارت دیگر برای حمایت و حفاظت از زیرساخت‌های سبز شهری) در منطقه دو کلان‌شهر تهران بر اساس پنج اصل اکولوژی سیمای سرزمین (که در مبانی نظری مطرح گردید) و باتوجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد شده است.

جدول ۴. راهبردهای مدیریت سیمای سرزمین برای افزایش انسجام زیرساخت‌های سبز

اصول	راهبردها
حفظ و تقویت اندازه لکه‌ها	۱- حفظ لکه‌های بزرگ به‌ویژه در مناطقی که اراضی سبز و باز درشت‌دانه هستند به‌منظور حمایت از لکه‌های کوچک‌تر ۲- تلفیق لکه‌های کوچک‌تر به‌منظور ایجاد لکه بزرگ‌تر (مانند باغ‌های خرد شده)
حفظ و تقویت اتصال لکه‌ها و دالان‌ها	۳- اتصال لکه‌ها به‌منظور برقراری جریان‌های سیمای سرزمین توسط ایجاد و تقویت سبزه‌راه‌ها و لکه‌های سبز کوچک‌تر ۴- اصلاح شبکه دسترسی برای به‌حداقل‌رسانیدن انقطاع شبکه اکولوژیکی ۵- استفاده از حاشیه پیاده‌روها، بزرگراه‌ها و اراضی باز ساختمان‌های اداری برای افزایش پیوستگی فضاهای سبز ۶- تقویت ارتباط رود - دره‌های فرحزاد و درکه با یکدیگر و تقویت سبزه‌راه‌ها و لکه‌های سبز اتصال‌دهنده این دورود - دره از طریق پارک جنگلی پردیسان که با وسعت زیاد در موقعیتی ممتاز و در میان بزرگراه‌های همت، رسالت، چمران و اشرفی اصفهانی قرار دارد ۷- ایجاد تنوع در زیرساخت‌های سبز توسط حمایت از انواع زیرساخت‌های سبز ۸- توجه به ترکیب کاربری‌ها و توزیع متعادل زیرساخت‌های سبز در میان فضاهای انسان ساخت
تقویت شکل لکه‌ها	۹- طراحی فضای سبز به‌منظور افزایش نسبت مساحت به محیط لکه‌های سبز مصنوعی ۱۰- طراحی فضای سبز در تطابق با شکل طبیعی زمین و ریخت‌شناسی تپه‌ها و رود - دره‌ها و حداقل نمودن خاک‌برداری و تسطیح اراضی
حفظ الگوی طبیعی رود - دره‌ها و لبه آن‌ها	۱۱- حفظ ساختار سلسله‌مراتبی شبکه هیدرولوژیکی در حد فراتر از محدوده شهر به‌منظور حفظ ارتباط بالادست - پایین‌دست در سیمای سرزمین ۱۲- حفظ حاشیه‌های پنجه‌ای، نامنظم و طبیعی رود - دره‌ها به‌جای حاشیه‌های، زاویه‌دار، مصنوعی و سیمانی به‌منظور عرضه بهتر کارکردهای اکولوژیکی
حفظ حریم طبیعی رود - دره‌ها در مقابل عوامل اختلال‌زا	۱۳- حفاظت لبه‌های رودخانه‌ها و مناطق شیب‌دار مستعد فرسایش با ایجاد پوشش گیاهی رودکناری از گونه‌های بومی، متنوع، مقاوم و ترجیحاً کم‌نیاز به آب ۱۴- احیای محدود لکه‌های طبیعی سبز باقیمانده در حاشیه رود - دره‌ها رعایت آرایش فضایی کاشت گیاهان به‌صورت چیدمان توده‌ای هماهنگ با هم ۱۵- بازپس‌گیری مالکیت اراضی حریم رود - دره‌ها توسط اصلاح تدریجی کاربری‌های متعارض، آزاد نمودن اراضی از اشغال مناطق مسکونی و تبدیل به کاربری‌های حفاظت و گردشگری با استفاده از سیاست‌های حمایتی و مشارکتی

در مجموع سایر مطالعات در زمینه تغییرات ساختار سیمای سرزمین، نشان از اتفاق نظر کلی بر اولویت اقدام به‌منظور حفظ و احیای رود - دره‌ها، پوشش گیاهی رودکناری، باغ‌ها، تپه‌های شمالی کلان‌شهر تهران و سپس پارک‌ها و سبزه‌راه‌های دست کاشت دارد و راهبردهای پیشنهاد شده در این پژوهش را تأیید می‌نماید (Moazeni et al., 2020; Barghjelve et al., 2014; Alinasab & Suzanchi, 2013; Mahmoodi et al., 2013). زیرا در کلان‌شهر تهران تغییرات ساختار سیمای سرزمین گواهی بر جدی بودن روند ازهم‌گسیختگی زیرساخت‌های سبز بر اثر توسعه سریع کالبدی - فضایی است و شاهد فرایندهای حذف‌شدن، ریزدانه شدن و تکه‌تکه‌شدن زیرساخت‌های سبز و در نتیجه ساده‌تر شدن سیمای سرزمین به نفع لکه‌های مصنوعی پوشش انسان‌ساخت هستیم (Naroei et al., 2022; Hassanpour et al., 2020). در این راستا به‌منظور حفاظت، مرمت و بهره‌وری فضای سبز و فضای باز، مناطق واقع در شمال و سپس شمال غرب و غرب تهران در اولویت مکانی قرار دارند (Yazdanpanah et al., 2015). روند تغییرات سیمای سرزمین در منطقه دو واقع در شمال تهران در این پژوهش با نتایج سایر مطالعات انجام شده در این منطقه منطبق است (Yazdanpanah et al., 2015; Barghjelve et al., 2014; Mahmoodi et al., 2013; Barghjelveh & Sayad, 2012).

نتیجه‌گیری

نتیجه توسعه، بازسازی و نوسازی اراضی انسان‌ساخت در مقایسه با نتایج اقدام‌های مدیریتی که به‌منظور حمایت از رود - دره‌ها و سایر زیرساخت‌های سبز انجام می‌شوند با سرعت بسیار بالا قابل مشاهده است. همواره در شهرها این خطر وجود دارد که حفاظت و حمایت از این زیرساخت‌ها در مقایسه با توسعه کاربری‌های دیگر (به‌ویژه مسکن و راه) نادیده گرفته شود. انتخاب رود - دره‌ها و دیگر زیرساخت‌های سبز در مسیر ارائه راه‌حل‌های حفاظت، احیا و باززنده‌سازی، مرمت و بهسازی و

بهره‌وری ساختار طبیعی سیمای سرزمین، یک مبنای صحیح اجرایی برای مدیریت محیط‌زیست شهرها است. چنین مدیریتی باتکیه بر مبانی نظری مستحکم اکولوژی سیمای سرزمین و اصول مرتبط با ارتباط ساختار و کارکرد در بستر سیمای سرزمین، می‌تواند اثرات منفی اختلالات انسانی و روند تباهی را کاهش دهد، انسجام زیرساخت‌های سبز شهری را افزایش دهد و در نتیجه کارکردهای اکولوژیکی آن‌ها را بهبود بخشد (Bernat, 2014; Kokabi & Aminzadeh, 2008).

در این پژوهش، ابتدا تغییرات پوشش اراضی بررسی و برای آینده پیش‌بینی شد. سپس تغییرات ساختار سیمای سرزمین تجزیه و تحلیل گردید. یافته‌ها بیانگر جایگزین شدن گسترده زیرساخت‌های سبز توسط اراضی ساخته شده و ازدست‌رفتن پیوستگی آن‌ها، از زمان گذشته و سپس پیش‌بینی ادامه این روند برای زمان آینده است. به همین دلیل، راهبردهای مدیریت سیمای سرزمین به منظور افزایش انسجام زیرساخت‌های سبز موجود در عرصه میانی دورود - دره فرحزاد و درکه در منطقه دو کلان‌شهر تهران پیشنهاد شده است. پانزده راهبرد در پنج محور شامل (۱) حفظ و تقویت اندازه لکه‌ها، (۲) حفظ و تقویت اتصال لکه‌ها و دالان‌ها، (۳) تقویت شکل لکه‌ها، (۴) حفظ الگوی طبیعی رود - دره‌ها و لبه آن‌ها و (۵) حفظ حریم طبیعی رود - دره‌ها در مقابل عوامل اختلال‌زا ارائه گردیده است. روش و اصول به کار گرفته شده در این پژوهش، می‌تواند در استقرار نظام پایش و کنترل تغییرات ساختار سیمای سرزمین به منظور پایداری زیرساخت‌های سبز شهری، کارکردهای اکولوژیکی آن‌ها و در نتیجه بهبود کیفیت زندگی شهری نقش مؤثری داشته باشد. برنامه‌ریزی استعلائی زیرساخت‌های سبز شهری در آینده نه تنها نیاز به چنین ارزیابی‌هایی از وضعیت ساختار سیمای سرزمین و پیش‌بینی آینده آن دارد، بلکه تدوین راهبردها و چارچوب اقدام‌های مدیریتی برای اصلاح و بهبود وضعیت عرصه‌های طبیعی و شبه طبیعی سیمای سرزمین می‌تواند بر اساس اصول مطرح شده و راهبردهای پیشنهادی این پژوهش باشد.

منابع

- آل محمد، سیده؛ یوری، احمدرضا؛ صالحی، اسماعیل؛ زبردست، لعبت (۱۳۹۳). به‌کارگیری ارزیابی راهبردی محیط‌زیست به منظور تدوین سیاست‌های برنامه توسعه پایدار دریاچه ارومیه. *محیط‌شناسی*، ۴۰ (۳)، ۶۴۵-۶۶۷.
- آل محمد، سیده؛ یوری، احمدرضا؛ ملک محمدی، بهرام؛ صالحی، اسماعیل؛ امیری، محمدجواد (۱۳۹۹). نقشه‌سازی مشارکتی پهنه استفاده مردمی دهستان دنا در مجاورت منطقه حفاظت‌شده دنا. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰ (۱)، ۵۳-۶۸.
- برق جلوه، شهیندخت؛ مدقالچی، نیکو؛ مبرقی دینان، نغمه (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد بوم‌شناختی دالان رود دره شهری (تهران: دالان رود دره در که. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۴ (۸)، ۹۱-۱۰۴.
- برق جلوه، شهیندخت؛ صیاد، نیما (۱۳۹۱). راهبردهای ارتقا کیفیت فضاهای عمومی طبیعی شهری سیمای سرزمین رود - دره فرحزاد تهران. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۰ (۱)، ۱۰۳-۱۱۸.
- تقدسی، محمد مهدی؛ حسنلو، مهدی؛ افتخاری، کامران (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده جهت تهیه نقشه درجات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۸ (۱۱۰)، ۳۷-۵۲.
- حسن‌پور، پرستو؛ سیاح نیه رومینا؛ اسماعیل‌زاده، حسن (۱۳۹۹). ارزیابی ساختار اکولوژیکی فضای سبز شهری با رویکرد سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران). *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۸ (۱)، ۱۰۸-۲۰۲.
- صابونچی، پریچهر؛ ابرقویی، حمیده؛ متدین، حشمت‌اله (۱۳۹۷). شبکه‌های سبز منظرین؛ نقش مفصل‌بندی در یکپارچگی فضاهای سبز در منظر شهرهای معاصر ایران. *باغ نظر*، ۱۵ (۶۲)، ۵-۱۶.
- کمانرودی کجوری، موسی؛ صفاری، امیر؛ سلیمانی، محمد؛ نعمتی ثانی، مریم (۱۳۹۹). عوامل و معیارهای مدیریت اکولوژیک محور رود - دره‌های کلان‌شهر تهران (مطالعه موردی: رود - دره کن). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷ (۲)، ۲۱-۳۲.
- لطفی، حیدر؛ موسی‌زاده، حسین (۱۳۹۹). باززنده‌سازی فضاهای باز اطراف رودخانه‌های شهری و نقش آن در کیفیت زندگی و امنیت شهروندان (مطالعه موردی: رودخانه‌النگدره در شهر گرگان). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۵۲ (۱)، ۱۹۹-۲۱۹.
- محمودی، مهران؛ رفیعیان، مجتبی؛ شایان، سیاوش (۱۳۹۲). برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق حساس شهری (مطالعه موردی: رود - دره فرحزاد تهران). *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۴ (۱۶)، ۴۷-۶۴.
- مودنی، کیمیا؛ رفیعیان، مجتبی؛ ایزدی، محمد سعید (۱۳۹۸). ارزش‌گذاری مؤلفه‌ها و شاخص‌های بازآفرینی پایدار رود دره‌های شهری

تهران (مطالعه موردی: رود - دره در که). فصلنامه شهر پایدار، ۲ (۴)، ۵۶-۸۲.

نارویی، بهروز؛ برق جلوه، شهیندخت؛ اسماعیل زاده، حسن؛ زبردست، لعبت (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات فضایی - زمانی زیرساخت سبز شهری مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرایندهای فضایی (مطالعه موردی: سیمای سرزمین تهران). فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۱ (۱۲۲)، ۱۶۷-۱۸۸.

یزدان‌پناه، مهسا؛ یوری، احمدرضا؛ زبردست، لعبت؛ آل‌محمد، سیده (۱۳۹۳). ارزیابی زیرساخت‌های سبز شهری به‌منظور اصلاح تدریجی آن‌ها در سیمای سرزمین تهران. محیط‌شناسی، ۴۱ (۳)، ۶۱۳-۶۲۵.

یوسفی، صالح؛ تازه، مهدی؛ میرزایی، سمیه؛ مرادی، حمیدرضا؛ توانگر، شهلا (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۳)، ۶۷-۷۶.

References

- Abshirini, E., & Koch, D. (2016). Rivers as integration devices in cities. *City, Territory and Architecture*, 3(1), 1-21.
- Alemohammad, S., Yavari, A.R., Malek mohammadi, B., Salehi, E., & Amiri, M. J. (2020). Participatory Mapping of Community Use Zone in Dena District Adjacent to Dena Preserved Area. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(1), 53-68. doi: 10.22126/ges.2020.4750.2158. (In Persian)
- Alemohammad, S., Yavari, A.R., Salehi, S., & Zebardast, L. (2014). Using the Strategic Environmental Assessment for Compilation Polices of Sustainable Development Plan in Lake Urmia. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 645-667. doi: 10.22059/jes.2014.52211. (In Persian)
- Alemohammad, S., Yavari, AR., Malek-Mohammadi, B., & Amiri, M. J. (2022). Landscape conservation and protected areas (case of Dena, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(54), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09696-6>.
- Alinasab M., & suzanchi K. (2013). Sustainable development of urban River Valley based on ecological assessment (Case study: Darabad River Valley ,Tehran). *Naqshejahan*, 3(2), 51-61.
- Arekhi, S. (2015). Application of Landscape Metrics in Assessing Land Use Changes' Trend by Using Remote Sensing and GIS Case study: Dehloran Desert Area. *Journals management system*. 13(40), 59-68.
- Barghjelveh, S., & Mobarghaee Dinan, N. (2013). Developing Sustainability Indicators of Greenways Network Based on Landscape Ecology Principles. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(1), 167-184.
- Barghjelveh, S., & Sayad, N. (2012). Strategies for Enhancing the Quality of Urban Natural Public Spaces: Tehran's Farahzad River-valley's Landscape. *Environmental Sciences*, 10(1), (In Persian)
- Barghjelveh, S., modghalchi, N., & mobarghee, N. (2014). Evaluating Urban River-Valley's Ecological Function (Tehran: Darakeh River-Valley). *Environmental Researches*, 4(8), 91-104. (In Persian)
- Barrett, G.W., Barrett, T.L., & Wu, J.G. (2015). *History of Landscape Ecology in the United States*. Springer, New York. ISBN 978-1-4939-2275-8
- Bedla, D., & Halecki, W. (2021). The value of river valleys for restoring landscape features and the continuity of urban ecosystem functions—A review. *Ecological Indicators*, 129, 107871.
- Bernat, S. (2014). Revitalization of river valleys and development of tourism (Lublin and Puławy Study Case). *Geography and Tourism*, 2, 7-16.
- Botequilha, L., Miller, J., & Mcgarigal, K. (2006). *Measuring Landscapes, A Planners Handbook*. Island Press.
- Bratley, K. & Ghoneim, E. (2018). Modeling urban encroachment on the agricultural land of the eastern Nile Delta using remote sensing and a GIS-Based Markov Chain model. *Land*, 7(4): 114-134.

- Chen, W.X., Duan, X.J., & Zou, H. (2019). On the international experience in the large river basin's ecological protection and comprehensive management of waterfront resources: A case study of Rhine River. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 28, 2786–2792.
- Christie, M.R., & Knowles, L.L. (2015). Habitat corridors facilitate genetic resilience irrespective of species dispersal abilities or population sizes. *Evolutionary Applications*, 8(5), 454-63.
- Conway, T.M., Khan, A., & Esak, N. (2020). An Analysis of Green Infrastructure in Municipal Policy: Divergent Meaning and Terminology in the Greater Toronto Area. *Land Use Policy*, 99, 104864.
- Crews, K.A. & Peralvo, M. F. (2008). Segregation and fragmentation: Extending landscape ecology and pattern metrics analysis to spatial demography. *Population Research and Policy Review*, 27(1), 65-88.
- Czochański, J., & Wiśniewski, P. (2018). River valleys as ecological corridors- structure, function and importance in the conservation of natural resources. *Ecological Questions*, 29, 77–87.
- Ely, M., & Pitman, S. (2014). Green Infrastructure, Life support for human habitats. The compelling evidence for incorporating nature into urban environments Green Infrastructure Project, Botanic Gardens: South Australia.
- Erős, T., & Lowe, W. H. (2019). The landscape ecology of rivers: from patch-based to spatial network analyses. *Current Landscape Ecology Reports*, 4(4), 103-112.
- Ewers, R., & Didham, R. (2006). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*, 81, 117-142.
- Fan, C., & Myint, S. (2014). A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. *Landscape and Urban Planning*, 121 (1), 117-128.
- Farina, A. (2010). *Ecology, Cognition and Landscape. Linking Natural and Social Systems*. Springer
- Farina, A., & Salutati, P. (2016). Applying the ecoacoustic event detection and identification (EEDI) model to the analysis of acoustic complexity. *Journal of Mediterranean Ecology*, 14, 13-42.
- Ferreira, J.C., Monteiro, R., & Silva, V.R. (2021). Planning a green infrastructure network from theory to practice: The case study of Setúbal, Portugal. *Sustainability*, 13(15), 8432.
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global ecology and biogeography*, 16 (3), 265-280.
- Forman, R.T. (1990). *Ecologically sustainable landscapes: the role of spatial configuration. In Changing landscapes: an ecological perspective*. Springer, New York, NY. 261-278.
- Forman, R.T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, 10(3), 133-142.
- Forman, R.T. (2014). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Island Press.
- Fortin, M.J., Dale, M. (2005). *A Guide for Spatial Analysis in Ecology Spatial Analysis: A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press, 365.
- Fu, W., Liu, S., & Beazley, R. (2010). Characterizing the Fragmentation- barrier Effect of Road Networks on Landscape Connectivity: A Case Study in Xishuangbanna, Southwest China. *Landscape and Urban Planning*, 73 (95): 122-129.
- Galvin, K., Robin, S., & Thompson, H. (2008). *Fragmentation in Semi-Arid and Arid Landscapes; Consequences for Human and Natural Systems*.
- Gergel, S.E., & Turner, M. G. (2017). *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer.
- Girma, Y., Terefe, H., Pauleit, S., & Kindu, M. (2018). Urban Green Infrastructure Planning in Ethiopia: The Case of Emerging Towns of Oromia Special Zone Surrounding Finfinne. *J. Urban Management*, 8(1), 75-88.
- Graziano, M. P., Deguire, A. K., & Surasinghe, T. D. (2022). Riparian buffers as a critical landscape feature: Insights for riverscape conservation and policy renovations. *Diversity*, 14(3), 172.
- Gwinn, D. C., Middleton, J. A., Beesley, L., Close, P., Quinton, B., Storer, T., & Davies, P. M. (2018). Hierarchical multi-taxa models inform riparian vs. hydrologic restoration of urban streams in a permeable landscape. *Ecological Applications*, 28(2), 385-397.
- Hagen-Zanker, A. (2016). A computational framework for generalized moving windows and its

- application to landscape pattern analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, 205–216.
- Han, Q., Wang, X., Li, Y., & Zhang, Z. (2022). River Ecological Corridor: A Conceptual Framework and Review of the Spatial Management Scope. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 7752.
- Harvey, J., & Gooseff, M. (2015). River corridor science: Hydrologic exchange and ecological consequences from bed forms to basins. *Water Resource Research*, 51(9), 6893–6922.
- Hassanpour, P., Sayyahnia, R., & Esmailzadeh, H. (2020). Ecological structure assessment of urban green space using the landscape approach (case study: Tehran's 22nd district). *Environmental Sciences*, 18(1), 187-202. (In Persian)
- He, C., Huang, Q., Liu, Z., & J. Wu. (2018). *Urban Landscape Ecology: Processes, Impacts, and Sustainability*. Science Press, Beijing.
- Hong, S.K., Wu, J., & Kim, J.E. (2011). *Landscape Ecology in Asian Cultures*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Honnay, O., & Jacquemyn, H. (2007). Susceptibility of Common and Rare Plant Species to the Genetic Consequences of Habitat Fragmentation. *Conservation Biology*, 21(3), 823–831.
- Hurlimann, A., & Elizabeth, W. (2018). Sustainable Urban Water Management under a Changing Climate: The Role of Spatial Planning. *Water*, 10(5), 546-568.
- Jones, K.B., Zurlini, G., Kienast, F., & Petrosillo, I. (2013) Informing landscape planning and design for sustaining ecosystem services from existing spatial patterns and knowledge, *Landscape ecology*, 28(6), 1175-1192.
- Jongman, R. (2008). Ecological networks are an issue for all of us. *Journal of Landscape Ecology*, 1(1), 7-13.
- Kamanroudi Kojuri, M., Saffari, A., Solimani, M., & Nemati Sani, M., (2020). Ecologically-based management factors and criteria of River-Valleys in Tehran metropolis-case study: River-Valleys of Kan. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(2), 21-32. (In Persian)
- Kettunen, M., Terry, A., & Jones A. (2007). *Guidance on the maintenance of landscape features of major importance for wild flora and fauna- Guidance on the implementation*, Institute for European Environmental Policy, Brussels, 114.
- Kokabi, L., & Aminzadeh, B. (2008). Application of Landscape Ecology in Conservation and Restoration of Urban Rivers: The Case of Khoshk River in Shiraz. *Environmental Sciences*, 6(2), 105- 120
- Kurwadkar, S., Lambert, B., Beran, L., Johnson, J., Marsh, J., & Kwon, M. (2020). Evaluation of ecological, stressor and social factors for the prioritization and restoration of Trinity River Basin watershed. *Wetlands Ecology and Management*, 28, 623–639.
- Laurance, W. (2008). Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Conservation Biology*, 141, 1731–1734.
- Lausch, A., Blaschke, T., & Walz, U. (2015). Understanding and quantifying landscape structure—A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*, 295 (1), 31-41.
- Lavryk, O., Volovyk, V., Maksiytov, A., & Tsymbaliuk, V. (2022). Optimization variations of valley-river landscape-technical systems of the Right Bank zone of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31(3), 504-512.
- Li, C., Wu, W., & Yin, Y. (2018). Hierarchical elimination selection method of dendritic river network generalization. *Plos one*, 13(12), e0208101.
- Liding, C., Yang, L., Yihe, L., Xiaoming, F., & Bojie, F. (2008). Pattern Analysis in Landscape Ecology: Process, Challenges and Outlook. *ACTA Ecologica Sinica*, 28, 5521-5531.
- Lindsay, J. B., & Dhun, K. (2015). Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using LiDAR. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 397-411.
- Liu, T., & Yang, X. (2015). Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. *Applied Geography*, 56, 42-54.
- Lofii, H., & Mousazadeh, H. (2020). Restoration of open spaces around urban rivers and their role in the quality of life and security of citizens (Case study: Alangdareh River, Gorgan). Human

- Geography Research, 52(1), 199-219. (In Persian)
- Macklin, M.G., & Lewin, J. (2015). The rivers of civilization. *Quaternary Science Reviews*, 114(1), 228-244.
- Mahmoodi, M., Rafieian, M., Rafieian, M., & Shayan, S. (2013). Land Use Planning in the Urban Sensitive Areas Case Study, Farahzad Valley Stream-Tehran. *Journal of Urban - Regional Studies and Research*, 4(16), 47-64. (In Persian)
- Marczak, L.B., Sakamaki, T., Turvey, S.L., Deguise, I. Wood, S.L., & Richardson, J.S. (2010). Are forested buffers an effective conservation strategy for riparian fauna? An assessment using meta-analysis. *Ecological Applications*, 20, 126-134.
- Masnavi, M.R., Tasa, H., Ghobadi, M., & Negin Taji, S. (2016) Restoration and Reclamation of the River Valleys' Landscape Structure for Urban Sustainability using FAHP Process, the Case of Northern Tehran-Iran. *International Journal of Environmental Research*, 10(1), 193-202.
- Matusik, A. (2018). River Valley as a Hydrological/Urban Dynamic System in the Structure of the Contemporary City. *Technical Transactions*, 115(2) 57-68.
- McGarigal, K. (2017). Landscape metrics for categorical map patterns. http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf.
- McGarigal, K., & Cushman, S.A. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. University of Massachusetts, Amherst.
- McGarigal, K., Tagil, S., & Cushman, S.A. (2009). Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, 24(3), 433-450.
- Moazeni, K., Rafieian, M., & Izadi, M. S. (2020). Valuation of Indices and Components of Sustainable Urban Regeneration of the River Valleys of Tehran City (Case Study: Darakeh River Valley). *Sustainable city*, 2(4), 65-82. (In Persian)
- Mohammadian, M.R., Sattarzadeh, D., & Poor Hadi Hosseini, M.M.J. (2018). Increasing sustainability using the potential of urban rivers in developing countries with a bio philic design approach, *International journal of agricultural Civil Construction Science*, 12(3), 278-283.
- Monteiro, R., Ferreira, J. C., & Antunes, P. (2020). Green infrastructure planning principles: An integrated literature review. *Land*, 9(12), 525.
- Mortelliti, A., Amori, G., & Boitani, L. (2010). The role of habitat quality in fragmented landscapes: a conceptual overview and prospectus for future research. *Oecologia*, 163(2), 535-547.
- Naroei, B., Barghjelveh, S., Esmailzadeh, 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)
- Nawieśniak-Caesar, M., Wilkosz-Mamcarczyk, M., Hernik, J., Gorzelany, J., & Gorzelany-Dziadkowiec, M. (2019). An integrated approach to river valley revitalisation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 27(1), 22-32.
- Novikov, A. V., Sumarukova, O. V., Lagutina, N. V., Barsukova, M. V., & Rodionov, A. V. (2021). March). Evaluation of the state of the "Yauza River Valley" landscape reserve. *In IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*, 677(5), 052088.
- O'Keefe, J. M., Loeb, S. C., Gerard, P. D., & Lanham, J. D. (2013). Effects of riparian buffer width on activity and detection of common bats in the southern Appalachian Mountains. *Wildlife Society Bulletin*, 37(2), 319-326.
- Orteg, R.G., Vázquez, M.L., Figueired, J.A., & Guijarro-Rodríguez, A., (2018). Sinos River basin social-environmental prospective assessment of water quality management using fuzzy cognitive maps and neutrosophic AHP- TOPSIS, *Neutrosophic sets and systems*, 23, 160-173.
- Ostrowski, P., & Falkowski, T. (2020). Application of Remote Sensing Methods to Study the Relief of Lowland River Valleys with a Complex Geological Structure- A case study of the Bug River. *Water*, 12(2), 487-505.
- Parker, J., & Zingoni de Baro, M. E. (2019). Green infrastructure in the urban environment: A systematic quantitative review. *Sustainability*, 11(11), 3182.

- Rajput, T.S., Singhal, A., Routroy, S., Dhadse, K., & Tyagi, G. (2021). Urban Policymaking for a Developing City Using a Hybridized Technique Based on SWOT, AHP, and GIS. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(2), 04021018.
- Rall, E., Hansen, R., & Pauleit, S. (2019). The Added Value of Public Participation GIS (PPGIS) for Urban Green Infrastructure Planning. *Urban Forestry and Urban Greening*, 40, 264–274.
- Saboonchi, P., Abarghouyi, H., & Motedayen, H. (2018). Green Landscape Networks; The role of articulation in the integrity of green space in landscapes of contemporary cities of Iran. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 15(62), 5-16. (In Persian)
- Sadreazam Nouri, Z., Nouri, J., Habib, F., & Rafieian, M. (2021). Environmental management for urban development around river valleys using a conceptual model. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 6(4), 351-364.
- Surasinghe, T. D., & Baldwin, R. F. (2015). Importance of riparian forest buffers in conservation of stream biodiversity: responses to land uses by stream-associated salamanders across two southeastern temperate ecoregions. *Journal of Herpetology*, 49(1), 83-94.
- Suzan, G., Esponda, F., & Hernandez, R. (2012). habitat fragmentation and infectious disease ecology, In book: *New Directions in Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health*. Oxford, Editors: Alonso, A., Aguirre, R., Ostfeld, S., & Daszak, 135-150.
- Szostak, A.J. (2013). Multifunctional Riverside Buffer Parks—the Research on Nature-Urban Revitalisation of River Valleys, *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 4(5), 42-50.
- Taghadosi, M. M., Hasanlou, M., & Eftekhari, K. (2019). Evaluating and comparing supervised classification algorithms With the aim of mapping soil salinity levels using Sentinel-2 satellite imageries. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 37-52. (In Persian)
- Teixeira, C.P., Fernandes, C.O., Ahern, J., Honrado, J.P., & Farinha-Marques, P. (2021). Urban Ecological Novelty Assessment: Implications for Urban Green Infrastructure Planning and Management.
- Telichenko, V., & Tesler, K. (2018). The coastal territory of the Yauza River as an urban recreational carcass, *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*. 365(2), 022070.
- Urban, D. L. (2006). *Landscape ecology*. Encyclopedia of Environmetrics.
- Wang, J., & Banzhaf, E. (2018). Towards a Better Understanding of Green Infrastructure: A Critical Review. *Ecological Indicators*, 85, 758–772.
- Wang, Y., Chen, X., Borthwick, A.G., Li, T., Zheng, C., Xu, J., & Ni, J., (2020). Sustainability of global Golden Inland Waterways. *Nature Communications*, 11, 1553.
- Wenwu, D., Sofia, M., & Isami, K. (2015). Models and Approaches for Integrating Protected Areas with Their Surroundings: A Review of the Literature. *Sustainability*, 7(7), 8151-8177.
- Włodarczyk, A. M., & Dias Mascarenhas, J. M. R. (2016). Nature in cities. Renaturalization of riverbanks in urban areas. De Gruyter Open, *Open Engineering*, 6, 681-690.
- Yazdanpanah, M., Yavari, A., Zebardast, L., & Alemohammad, S. (2015). Urban Green Infrastructure Assessment for Their Regeneration in Tehran Landscape. *Journal of Environmental Studies*, 41(3), 613-625. doi: 10.22059/jes.2015.55900. (In Persian)
- Ying, J., Zhang, X., Zhang, Y., & Bilan, S. (2021). Green infrastructure: Systematic literature review. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 1-22.
- Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaee, S., Moradi, H. R., & Tavangar, S. (2014). Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), 67-76. (In Persian)
- Yu, G., Xu, H., You, A., Hu, K., & Hu, H. (2020). Evaluation of river connectivity based on TOPSIS model: Taking the North District Expansion Zone of Zhangjiagang Economic Development Zone in Jiangsu Province as an Example. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 474, 1-8.
- Zonneveld, I. (1995). *Landscape Ecology*. Amsterdam, SPB Academic Publishers.