



University of Tehran Press

Town & Country Planning

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

Online ISSN: 2423-6268

Assessment of Urban Green Spaces from the Perspective of Social Justice Using Satellite Imagery in the Five Zones of Zahedan City

Ahmad Barahoui¹ | Eisa Ebrahimzadeh Akbad² | Mohsen Hamidianpour^{3*}

1. Department of Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: barahouiahmad1@gmail.com

2. Department of Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: iazh@gep.usb.ac.ir

3. Corresponding Author, Department of Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received May 09, 2025
Revised May 29, 2023
Accepted June 15, 2025
Published online 17 August 2025

Keywords:
Green space,
Social justice,
Remote sensing,
NDVI,
Zahedan,
Google Earth Engine.

ABSTRACT

The rapid expansion of urban areas and population growth has intensified disparities in the distribution of urban services, particularly in green spaces. As vital components of urban structure, green spaces enhance environmental quality, mental and physical health, and social interaction. This study addresses the spatial inequity of green space distribution in Zahedan, a city affected by structural challenges and informal settlement growth. The objective is to assess green space coverage in the city's five districts using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Google Earth Engine. The research employed a descriptive-analytical method, utilizing satellite imagery from Landsat and Sentinel-2. NDVI values were analyzed to classify land cover types, and ArcGIS was used to calculate green space per capita and generate thematic maps. The classification included built-up areas, barren lands, street trees, grasslands, and varying vegetation densities. Population data were integrated to evaluate green space availability at the district level, and results were compared with international standards and examples from arid-region cities. Findings revealed a highly uneven distribution of green space across Zahedan. District 3 had the lowest green space per capita (0.28 m²), while District 5 had the highest (4.12 m²). The citywide average was 1.56 m², significantly below the global minimum standard of 9 m². Many parks were found to lack actual vegetation coverage, highlighting a gap between physical presence and ecological function. The study emphasizes that spatial injustice in access to green space contributes to broader social inequalities and reduced urban livability. To address this crisis, the study recommends data-driven urban planning, equitable resource allocation, public participation in green infrastructure development, and the utilization of native drought-tolerant plants to enhance sustainability and equity in green space distribution.

Cite this article: Barahoui, A.; Ebrahimzadeh Akbad, E. & Hamidianpour, M. (2025). Assessment of Urban Green Spaces from the Perspective of Social Justice Using Satellite Imagery in the Five Zones of Zahedan City. *Town and Country Planning*.17 (1), 113-128. <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.395013.670509>



© Authors retain the copyright and full publishing rights.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.395013.670509>

Publisher: University of Tehran Press.



انتشارات دانشگاه تهران

آمایش سرزمین

شاپا الکترونیکی: ۶۲۶۸-۲۴۲۳

سایت نشریه: <https://jtcp@ut.ac.ir/>

تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان)

احمد براهویی^۱ | عیسی ابراهیم‌زاده آکباد^۲ | محسن حمیدیان پور^{۳*}

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: barahouiahmad1@gmail.com

۲. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: iazh@gep.usb.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی، مروری

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶

کلیدواژه:

توزیع فضای سبز،
زاهدان،
سرانه فضای سبز،
عدالت اجتماعی،
گوگل ارث انجین.

رشد سریع شهرنشینی در شهرهایی مانند زاهدان موجب نابرابری فضایی در توزیع خدمات شهری، به ویژه فضای سبز، شده است. فضای سبز نه تنها عنصری زیباشناختی بلکه عاملی مؤثر در ارتقای سلامت، تعاملات اجتماعی، و کیفیت زندگی شهری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان و توزیع فضای سبز شهری در پنج منطقه زاهدان و سنجش آن از منظر عدالت اجتماعی انجام شده است. روش پژوهش توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست-۹ و سنتینل-۲ از طریق شاخص NDVI در بستر google earth engine است. داده‌های جمعیتی و تحلیل‌های مکانی نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. یافته‌ها نشان داد میانگین سرانه فضای سبز در زاهدان بسیار پایین‌تر از استاندارد جهانی است (حدود ۵۶/۱ متر مربع در برابر ۹ متر مربع جهانی) و این میزان در مناطق کم‌برخوردار، مانند منطقه ۳، به کمتر از ۲۸/۰ متر مربع می‌رسد. درحالی‌که منطقه ۵ به دلیل استقرار نهادهای مهم وضعیت بهتری دارد. بسیاری از پارک‌های شهری فاقد پوشش گیاهی واقعی هستند و بخش زیادی از زمین‌های شهری بدون بهره‌برداری سبز باقی مانده‌اند. در نتیجه، زاهدان با بحران عدالت محیطی روبه‌روست. برای حل این مشکل، پیشنهاد می‌شود مدیریت شهری با استفاده از داده‌های مکانی، رویکردهای مشارکتی، و الگو برداری از شهرهای مشابه اقدام به بازتوزیع منابع، توسعه فضاهای سبز محلی، بهره‌گیری از گیاهان بومی، و احیای اراضی بایر کند. توسعه متوازن فضای سبز می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای سلامت، کاهش نابرابری، و افزایش سرزندگی اجتماعی ایفا کند.

استناد: براهویی، احمد؛ ابراهیم‌زاده آکباد، عیسی و حمیدیان پور، محسن (۱۴۰۴). تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان). *آمایش سرزمین*، ۱۷ (۱۱۳-۱۲۸). <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.395013.670509>

© نویسندگان. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.395013.670509>



مقدمه

زندگی شهری به طور فزاینده‌ای در حال گسترش است، به گونه‌ای که در حال حاضر ۵۵ درصد از جمعیت جهان در شهرها سکونت دارند (United Nations, 2019) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ این رقم به ۶۸ درصد افزایش یابد (Haines & Frumkin, 2021). یعنی از مجموع ۹/۵ میلیارد نفر جمعیت جهان بیش از ۶/۳ میلیارد نفر ساکن شهرها خواهند بود. سازمان ملل برآورد کرده است که جمعیت شهری در کشورهای کم‌توسعه‌یافته تا ۲۰۳۰ از ۰/۵ به ۳ میلیارد نفر افزایش خواهد یافت (شمسی‌پور، ۱۴۰۱). در این میان، فضاهای سبز شهری نقش مهمی در شهرها ایفا می‌کنند. زیرا دسترسی به فضای سبز شهری هم برای سلامت جسمی هم برای لذت معنوی بسیار مهم است. بنابراین به عنوان شاخصی از عدالت اجتماعی در نظر گرفته می‌شود (Barbosa et al., 2020). زیرا این مهم به عنوان یکی از عوامل اساسی در بهبود سلامت انسان شناخته می‌شود و نقشی مهم در پیشگیری از بیماری‌هایی مانند فشار خون، اختلالات روانی، و خستگی ایفا می‌کند (Maas et al., 2006; Mitchell & Popham, 2007; Richardson et al., 2010; Richardson et al., 2013; Gascon et al., 2016). افزون بر آن گسترش فضای سبز شهری یکی از مؤثرترین راه‌ها برای پاک‌سازی هوا و کاهش آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های شهری است (Bergeron & Strachan, 2011; Li and Wang, 2021; Venter et al., 2024). تأثیرات مثبت آن بر شهروندان کاملاً آشکار است و فضای سبز یکی از عناصر اساسی در افزایش شادی شهری شناخته می‌شود (Kothencz et al., 2017). از همه مهم‌تر دسترسی عادلانه به فضاهای سبز شهری و حفظ و نگهداری آن‌ها از عناصر کلیدی توسعه پایدار به شمار می‌رود و نقشی اساسی در تحقق عدالت اجتماعی دارد (Agyeman et al., 2016; Jennings et al., 2019). محمودزاده و همکاران، (۱۳۹۵: ۱۶۲). مطابق با پژوهش‌های مرکز هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، اقلیم جهان رو به تغییر و گرمایش است (IPCC, 2006). بنابراین نباید نقش خدمت اکوسیستمی پوشش گیاهی فراموش شود. در واقع پوشش گیاهی منجر به ذخیره کربن می‌شود و نقش مهمی در تعدیل اقلیم شهر دارد (Lal, 2004). در جوامع پایدار، به فضاهای سبز و فضاهای بازی کافی توجه ویژه دارند (Agyeman, 2005). وجود چنین نگرش نظام‌مندی در رویکرد توسعه پایدار نشان‌دهنده نقش و اهمیت فضای سبز در دستیابی به عدالت فضایی و اجتماعی و زیست‌محیطی در جوامع شهری است (Ahmadtozeh, 2013; احمدتوزه، ۱۳۹۲). بر این اساس، برنامه‌ریزی فضای سبز شهری با هدف ایجاد تعادل زیست‌محیطی در محیط شهر و دستیابی به اهداف توسعه‌ای، همراه با تأثیر محیط مصنوع شهری بر زندگی اجتماعی ساکنان، به طراحی و اجرای برنامه‌های مدون می‌پردازد (Frank, 2010). همچنین، در نظر گرفتن فضای سبز به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی اهمیت این موضوع را برجسته می‌کند. آنچه امروزه اهمیت فضای سبز شهری را بیش از پیش نمایان می‌سازد افزایش سریع میزان شهرنشینی در بسیاری از کشورهای کشورهای درحال توسعه است. این روند، با توسعه کالبدی- فضایی شهرها، کاهش چشمگیر فضای سبز شهری و مناطق حومه‌ای را به دنبال داشته است (بهمن‌پور و بهرنگ، ۱۳۸۹: ۲؛ خراسانی، ۱۳۸۲: ۴). اهمیت سرانه فضای سبز در شهرها به حدی است که اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت^۱ سازمان ملل متحد سرانه‌ای معادل ۲۰ تا ۲۵ متر مربع برای هر نفر را در شهرها پیشنهاد کرده است (Krellenberg et al., 2021: 2). در نهایت دسترسی به فضاهای سبز شهری برای فعالیت‌های فیزیکی و سلامت عمومی مهم است. با این حال یک نگرانی وجود دارد که آیا تفاوت در دسترسی به فضای سبز وجود دارد یا خیر؟ در همین زمینه این مطالعه با هدف ارزیابی سطح فضای سبز با استفاده از بررسی‌های میدانی و سنجش از دور سعی دارد سهم هر منطقه شهر زاهدان را مبتنی بر سرانه‌های استاندارد در نگاهی فضایی محاسبه کند. رهیافت‌های این پژوهش می‌تواند نخستین گام در اجرای عدالت اجتماعی در جهت دسترسی برابر به فضای سبز شهری برای همه شهروندان باشد. اهداف پژوهش دربرگیرنده نیل و رسیدن به آمارهای دقیق توزیع فضای سبز شهر زاهدان است و تفاوت سرانه فضای سبز با سطح نرمال تعیین می‌شود و پیشنهادهایی در رابطه با حل این مشکل مورد تحلیل قرار می‌گیرد. بدین منظور پرسش‌های پژوهش عبارت است از اینکه میزان فضای سبز موجود در شهر به چه میزانی است و به چه نسبتی در سطح شهر توزیع شده است؟ همچنین عدالت اجتماعی توزیع فضای سبز به ازای هر نفر نسبت به سطح نرمال به چه میزان در زاهدان رعایت شده است؟

پیشینه تحقیق

فضاهای سبز شهری نقش مهمی در شهرها ایفا می کنند. اما توزیع آن ها اغلب منعکس کننده نابرابری های اجتماعی است؛ طوری که لیانگ^۱ و ژانگ (۲۰۱۷) در بررسی خود در شهر شانگهای نشان دادند با وجود اینکه ۹۹/۹۵ درصد منازل مسکونی با استفاده از حمل و نقل عمومی به پارک ها متصل می شوند توزیع فضایی و دسترسی به این پارک ها نابرابر است و بیشترین تمرکز پارک ها در مرکز شهر هستند. جیمی^۲ (۲۰۱۹) در پژوهش خود سطح رضایت شهروندان درباره پارک (کیوتوی ژاپن) را با استفاده از مصاحبه و پرسشنامه بررسی کرد. نتایج نشان داد باز بودن مناطق سبز پارک ها عامل اصلی افزایش زیست پذیری شهرها و جذب افراد برای اوقات فراغت است. نتایج نشان داد بسیاری از افراد رضایت کافی از فضای سبز موجود در پارک ها ندارند که نشان دهنده علاقه مردم به فضاهای سبز و تأثیر مثبت آن ها بر روح و روان انسان است. بنابراین، پیشنهاد می شود مدیران شهری در طراحی پارک ها به فضای سبز توجه ویژه ای داشته باشند تا رضایت شهروندان جلب شود. نگوین^۳ و همکارانش (۲۰۲۱) در مقاله ای تحت عنوان «بررسی سیستماتیک فضای سبز و سلامت» به مقایسه اثر فضای سبز بر سلامت انسان به روش مقایسه ای پرداختند. نتایج نشان داد ۶۸ مقاله از ۵۹ مطالعه، با طراحی های متفاوت و تعاریف متنوع در زمینه فضای سبز، بیشتر مقطعی و اکولوژیکی بوده اند. آن ها دریافتند که انواع محیط ها، پوشش های گیاهی، و اندازه فضاهای سبز با بهبود سلامت مرتبط هستند. نتایج بسته به سن و جنسیت متغیر بود؛ اما به طور کلی فضای سبز تأثیر قابل توجهی بر روان انسان داشت. کوآنگ^۴ و همکارانش (۲۰۲۱) در مقاله ای با عنوان «نقشه برداری سطح نفوذناپذیر شهری و نسبت فضای سبز با استفاده از Google Earth Engine (GEE)» از داده های ماهواره ای لندست و الگوریتم جنگل تصادفی^۵ برای استخراج شاخص های تراکم سکونتگاه نرمال شده (NSDI) و فضای سبز نرمال شده (NGSI) بهره گرفتند. این پژوهش نشان داد نسبت فضای سبز شهری در مناطق مختلف به طور قابل توجهی متغیر است و ابزار GEE می تواند در تحلیل پویایی های شهری و ارزیابی تأثیرات شهرسازی بر اقلیم و اکولوژی و پایداری شهری نقش مهمی ایفا کند. چن^۶ و همکارانش (۲۰۲۱) در مقاله ای تحت عنوان «نقشه برداری سریع و ارزیابی سالیانه تغییرات کیفیت فضای سبز شهری» از فضای پردازشی GEE و روش خودکار (الگوریتم Otsu و جنگل تصادفی) برای نقشه برداری و تحلیل تغییرات فضای سبز در پکن استفاده کردند. پتزولد^۷ و موس (۲۰۲۳) تأکید دارند، با افزایش موج های گرمایی، فضای سبز شهری نقش حیاتی در کاهش اثر تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت زندگی دارد. با وجود توافق عمومی بر اهمیت این راهکار، پژوهش ها نشان می دهد هنوز درک کاملی از مکان های مناسب اجرای این اقدامات و دسترسی گروه های مختلف به فضای سبز شهری وجود ندارد. همچنین، ضرورت توجه به عدالت محیطی در برنامه ریزی شهری مورد تأکید قرار گرفته است. در همین زمینه، گرابوفسکی^۸ و همکارانش (۲۰۲۳) بررسی کرده اند که چگونه برنامه ریزی زیرساخت های سبز شهری^۹ (GI) در ایالات متحده به عدالت محیطی توجه می کند. نتایج نشان می دهد تنها ۱۳ درصد از برنامه ها تعاریف مشخصی از عدالت و برابری ارائه داده اند و بیش از ۹۰ درصد فاقد فرایندهای فراگیر برای اجرا هستند. مقاله تأکید دارد که زیرساخت های سبز شهری می تواند به بهبود کیفیت زندگی و کاهش اثر تغییرات اقلیمی کمک کند. اما، برای دستیابی به این اهداف، برنامه ریزی شهری باید فراگیرتر و مشارکتی تر باشد. فارکاس^{۱۰} و همکارانش (۲۰۲۳) به بررسی روند پژوهش های مربوط به فضای سبز شهری در سه دهه گذشته پرداختند و نشان دادند با افزایش شهرنشینی اهمیت این فضاها در برنامه ریزی شهری بیشتر شده است. در ابتدا، مطالعات بر جنگل های شهری و جنبه های اکولوژیکی متمرکز بود. اما در سال های اخیر به جنبه های اجتماعی مانند عدالت محیطی و دسترسی به فضای سبز توجه بیشتری معطوف شده است. همچنین، پیشرفت های فناوری مانند سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور، و یادگیری ماشین نقش مهمی در تحلیل و مدیریت فضای

1. Liang

2. Jimmy

3. Nguyen

4. Kuang

5. random forest

6. Chen

7. Petzold

8. Grabowski

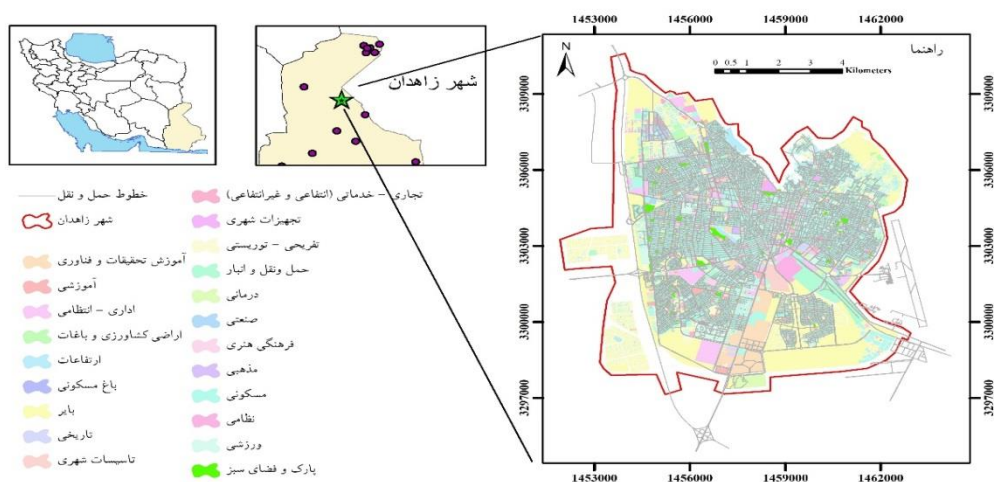
9. green infrastructure

10. Farkas

سبز شهری ایفا کرده‌اند. بابالووا^۱ و همکارانش (۲۰۲۴) در مقاله‌ای با عنوان «سنجش کیفیت و دسترسی به فضای سبز شهری با استفاده از داده‌های رایگان (مطالعه موردی در براتیسلاوا، اسلواکی)» به بررسی کیفیت و دسترسی به فضای سبز شهری از طریق تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. این مقاله مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را برای ارزیابی کیفیت و دسترسی به فضای سبز بر اساس داده‌های جغرافیایی آزادانه در دسترس، نظیر تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و اطلس شهری و نقشه خیابان، پیشنهاد می‌کند. نتایج نشان می‌دهند دسترسی به پارک‌های دارای امکانات رفاهی تأثیر زیادی بر جذب گروه‌های خاص جمعیت- مانند افراد مسن، مادران دارای فرزند، کودکان، افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی- دارد. در طول موج گرما، این افراد آسیب‌پذیرترین گروه‌ها هستند. لی^۲ و همکارانش (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که اهمیت فضای سبز شهری نه تنها در عدالت اجتماعی بلکه در عدالت محیطی نیز قابل بررسی است. پژوهش آن‌ها بر ذخیره‌سازی کربن در فضای سبز شهری و حداقل مقیاس نقشه‌برداری فضایی تمرکز دارد و با استفاده از مدل i-Tree Eco و داده‌های سنجش از دور میزان ذخیره کربن در منطقه کایفنگ چین را ارزیابی کرده است. نتایج نشان می‌دهد کل ذخیره کربن فضای سبز شهری ۱۱۴،۳۸۹،۱۷ تن است و میانگین ذخیره کربن هر فرد ۱۷۵،۳۹ کیلوگرم محاسبه شده است. همچنین، حداقل مقیاس مناسب برای نقشه‌برداری ذخیره کربن شهری ۰،۲۵ کیلومتر تعیین شده است. همچنین، حداقل مقیاس مناسب برای نقشه‌برداری ذخیره کربن شهری ۰،۲۵ کیلومتر تعیین شده است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند فضای سبز شهری، علاوه بر نقش آن در کاهش نابرابری‌های اجتماعی، تأثیر مهمی در تنظیم اقلیم و کاهش ردپای کربن دارد. همان‌طور که در مطالعات پیشین اشاره شده است، توزیع نابرابر فضای سبز شهری می‌تواند منجر به نابرابری‌های زیست‌محیطی شود (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین، برنامه‌ریزی شهری باید علاوه بر بهینه‌سازی ذخیره کربن به دسترسی عادلانه به فضای سبز نیز توجه کند تا هم‌زمان با کاهش اثر تغییرات اقلیمی کیفیت زندگی شهروندان بهبود یابد. این پژوهش اهمیت برنامه‌ریزی پایدار شهری را جهت تحقق عدالت محیطی و اجتماعی برجسته می‌کند.

محدوده مورد پژوهش

شهر زاهدان در بخش مرکزی شهرستان زاهدان، به عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان، واقع شده است. این شهر دارای موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی قرار دارد و ارتفاع شهر از سطح دریا ۱۳۷۸ متر است. شهر زاهدان دارای پنج منطقه مصوب شهرداری است که در حال حاضر دو شهرک (جهادشهر، غدیرشهر) جهت سرریز جمعیت شهری به آن اضافه شده است. محله جهادشهر و غدیرشهر نیز در حال حاضر از خدمات شهرداری بهره‌مند هستند و برنامه‌ریزان شهری درصددند منطقه شهری دیگر را به شهر زاهدان اضافه کنند. در حال حاضر شهرداری منطقه ۲ و ۳ خدمات لازم را به ساکنان این مناطق می‌رساند.



شکل ۱. محدوده مورد پژوهش (ترسیم نگارنده، ۱۴۰۳)

داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش

برای تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی، این پژوهش از داده‌های سنجش از دور و بررسی‌های میدانی بهره گرفته است. به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای بررسی و توزیع پوشش سبز منطقه مورد مطالعه پردازش شده‌اند. همچنین، بازدید میدانی به عنوان ابزاری مکمل برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از تحلیل‌های ماهواره‌ای انجام گرفته است. در این پژوهش، نخست با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای پراکندگی فضایی پوشش سبز و همچنین کاربری اراضی/پوشش زمین^۱ (LULC) شناسایی شد. این رویکرد به ما این امکان را می‌دهد که به بررسی مطلوبیت پوشش گیاهی در منطقه مورد نظر پردازیم و همچنین ارزیابی کنیم که این شهر در زمینه سرانه فضای سبز و تحقق اهداف عدالت اجتماعی در دسترسی به کاربری‌های مختلف در چه موقعیتی قرار دارد. با توجه به تأثیر پوشش سبز بر میکرو اقلیم منطقه، ارزش اقتصادی آن از منظر ترسیب یا ذخیره‌سازی کربن نیز بررسی شد. تحلیل ترسیب کربن با توجه به شرایط موجود صورت گرفت و نقش پوشش گیاهی در جذب و ذخیره کربن محاسبه شد.

همچنین، داده‌های مربوط به کاربری‌های شهری و سرانه فضای سبز از منابع معتبر، مانند سازمان‌های دولتی و پژوهش‌های پیشین، استخراج شد. این داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای GIS^۲ و تکنیک‌های تحلیلی مناسب مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا بتوان به نتایج دقیقی درباره وضعیت مطلوبیت پوشش گیاهی و دسترسی به کاربری‌های شهری دست یافت. در این پژوهش، برای تشخیص توزیع فضایی وضعیت پوشش گیاهی از شاخص NDVI^۳ استفاده شد. NDVI به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش از دور قابلیت شناسایی و تفکیک مناطق گیاهی از غیر گیاهی را داراست و به طور گسترده‌ای در مطالعات شهری و محیطی و کشاورزی به کار می‌رود (Huang et al., 2021: 1). این داده‌ها در محیط کدنویسی گوگل ارث انجین^۴ (GEE) پردازش شده‌اند که امکان تجزیه و تحلیل سریع و کارآمد حجم بالای داده‌های فضایی را فراهم می‌آورد (Zhao et al., 2021: 4).

$$\text{NDVI} = \frac{N_{\text{IR}} - R_{\text{ed}}}{N_{\text{IR}} + R_{\text{ed}}} \quad \text{رابطه ۱) شاخص NDVI}$$

جدول ۱. نحوه طبقه‌بندی شاخص NDVI (Sahebjalal et al., 2013: 4616)

کلاس	Range NDVI ^۵
ساختمان	۰/۰۱۵
زمین بایر	۰/۱۴
تک‌درخت خیابانی	۰/۱۸
بوته و چمنزار	۰/۲۷
پوشش گیاهی کم تراکم	۰/۳۶
پوشش گیاهی متراکم	۰/۷۴

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد جهت ارزش اقتصادی پوشش گیاهی و اهمیت آن در کاهش گرمایش جهانی محیط خرد اقلیمی شهری از مبحث ذخیره‌سازی کربن بهره گرفته شد. به منظور استخراج ذخیره‌سازی کربن در طبقات مختلف کاربری زمین/پوشش زمین این پژوهش از مدل InVEST^۶ به عنوان یک ابزار ارزیابی خدمات اکوسیستمی استفاده کرده است (Zafar et al., 2024). برای این منظور، نقشه‌های کاربری/پوشش زمین (LULC) تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (با قدرت تفکیک فضایی ۱۰*۱۰ متر) مبنای تحلیل قرار گرفتند (Verma et al., 2024). جهت تهیه نقشه LULC نیز از گوگل ارث انجین با استفاده از الگوریتم رندم فارست استفاده شد. نتایج حاصل از تهیه LULC توسط ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت

1. land use/ land cover

2. geographic information system

3. normalized difference vegetation index

4. google earth engine

۵. دامنه شاخص سبزیگی

6. integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs

(Mather, 1999). سپس، داده‌های مربوط به موجودی ذخیره کربن از منابع معتبر، مانند IPCC، استخراج و به مدل وارد شدند (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیر ذخیره کربن

C_dead	C_soil	C_below	C_above	نوع کاربری اراضی	کد کاربری اراضی
۰/۰۳۶	۴۷/۳۸	۵/۵	۱۳/۰۱	پوشش گیاهی	۰
۰	۰	۰	۰	آب	۱
۱	۸	۲	۳	ساخت‌وسازهای انسانی	۲
۰	۲۶/۶۷	۰	۰	بایر و خاک	۳
۵	۱۰	۲۰	۱۰	سطح مرتفع و سنگی	۴

مدل InVEST میزان ذخیره‌سازی کربن را در چهار مخزن اصلی- شامل زیست‌توده زنده روی زمین، زیست‌توده زیرزمینی، خاک، مواد آلی مرده- محاسبه می‌کند و امکان ارزش‌گذاری اقتصادی این ذخیره را فراهم می‌سازد. در این پژوهش، ابتدا مقدار بیوفیزیکی کربن ذخیره‌شده در هر کلاس LULC تعیین شد و سپس ارزیابی ارزش اقتصادی کربن ذخیره‌شده در سال ۲۰۲۵ محاسبه شد (لی و همکاران، ۲۰۱۸؛ انصاری قولنجی و همکاران، ۱۴۰۳). در واقع با استفاده از نقشه‌های رستری LULC مساحت کل برای هر طبقه کاربری زمین/ پوشش زمین محاسبه شد و با شناخت مقدار کربن ذخیره‌شده در هر کاربری کل مقادیر کربن ذخیره‌شده در هر نقشه مطابق رابطه ۲ و ۳ به دست آمد (لی و همکاران، ۲۰۲۲).

$$C_i = C_{i-above} + C_{i-below} + C_{i-soil} + C_{i-dead} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$C_{total} = \sum_{i=1}^m C_i * A_i \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن $C_{i-above}$ ، $C_{i-below}$ ، C_{i-soil} ، و C_{i-dead} به ترتیب چگالی کربن روی زمین، زیرزمین، خام، و کربن بیولوژیک مرده برای A_i نوع LULC هستند. C_i نیز چگالی کربن برای زمین نوع LULC و A_i مساحت زمین نوع LULC و m فراوانی تمامی کاربری اراضی/ پوشش زمین را نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

توزیع فضایی پوشش گیاهی (فضای سبز) در مناطق مختلف

جدول ۳ وضعیت سرانه فضای سبز شهر زاهدان را در دو کلاس پوشش گیاهی برای سال ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. بر اساس این متوسط سرانه فضای سبز یا به بیانی پوشش سبز به ازای هر نفر حدود ۲/۱۲ است که در مقایسه با استانداردهای مربوطه از مقدار بسیار پایینی برخوردار است. این موضوع در بررسی منطقه‌ای به‌راحتی قابل تبیین است.

جدول ۳. سرانه فضای سبز شهر زاهدان در سال ۲۰۲۴

عنوان	سال	سرانه به ازای هر نفر (متر مربع)
سرانه فضای سبز (متراکم)	۲۰۲۴	۱/۵۶
سرانه فضای سبز (کم‌تراکم و متراکم)	۲۰۲۴	۲/۶۸

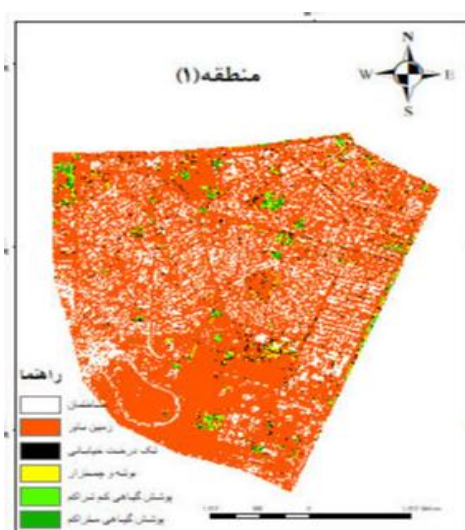
بر اساس محاسبات صورت‌گرفته (جدول ۴)، در منطقه ۱ بیشترین مساحت به ساختمان‌ها با ۲،۸۲۴،۳۰۰ متر مربع اختصاص دارد که نشان‌دهنده تمرکز بالای شهری در این منطقه است. زمین‌های بایر نیز با مساحت ۱۰،۰۶۸،۰۰۰ متر مربع بخش عمده‌ای از منطقه را تشکیل می‌دهند و ظرفیت بالایی برای توسعه فضای سبز دارند. از سوی دیگر، فضای سبز منطقه شامل پوشش گیاهی متراکم با مساحت ۱۰۳،۲۰۰ متر مربع و سایر پوشش‌ها، مانند تک‌درخت خیابانی و بوته و چمنزار، در مجموع ۵۷۷،۹۰۰ متر مربع است که نشان‌دهنده کمبود فضای سبز مناسب در این منطقه است. در منطقه ۲ ساختمان‌ها با مساحت ۲،۷۱۷،۶۰۰ متر

مربع نشان‌دهنده تراکم نسبی متوسط شهری هستند. زمین‌های بایر این منطقه نیز با ۹،۱۵۹،۶۰۰ متر مربع بخش عمده‌ای از مساحت را تشکیل داده‌اند که فرصت مناسبی برای بهبود شرایط محیطی و ایجاد فضای سبز فراهم می‌کند. فضای سبز این منطقه شامل پوشش گیاهی متراکم با مساحت محدود ۷۹،۳۰۰ متر مربع و سایر پوشش‌های سبز، مانند تک‌درخت خیابانی و بوته و چمنزار، مجموعاً ۳۹۴،۳۰۰ متر مربع است. منطقه ۳ بیشترین سهم خود را به ساختمان‌ها با مساحت ۳،۱۵۶،۶۰۰ متر مربع اختصاص داده که بیانگر تراکم بالای ساخت‌وساز است. زمین‌های بایر این منطقه با ۱۵،۰۴۸،۳۰۰ متر مربع بیشترین مساحت را در میان مناطق دارند و نیازمند توجه ویژه جهت بهبود وضعیت فضای سبزند. در زمینه پوشش‌های سبز، مجموع پوشش گیاهی متراکم و کم‌تراکم تنها ۹۸،۲۰۰ متر مربع است که این مقدار نیز حاکی از کمبود فضای سبز در منطقه است.

در منطقه ۴ ساختمان‌ها با ۴،۰۹۷،۰۰۰ متر مربع بالاترین سهم مساحت را دارند که نشان‌دهنده تراکم ساخت‌وساز بالا است. زمین‌های بایر این منطقه با ۶،۷۶۹،۱۰۰ متر مربع بخش قابل توجهی از منطقه را شامل می‌شوند که می‌تواند هدف توسعه فضای سبز باشد. فضای سبز منطقه، با پوشش گیاهی متراکم ۲۵۸،۸۰۰ متر مربع، نسبت به سایر مناطق وضعیت بهتری دارد. مجموع سایر پوشش‌های سبز، مانند تک‌درخت خیابانی و بوته و چمنزار، حدود ۲۶۴،۴۰۰ متر مربع است که همچنان نیازمند بهبود و گسترش است. منطقه ۵ بالاترین تراکم ساخت‌وساز را با ۹،۴۳۵،۸۰۰ متر مربع داراست. زمین‌های بایر نیز با ۱۲،۰۴۴،۵۰۰ متر مربع مساحت قابل توجهی از این منطقه را تشکیل می‌دهند و نیاز به برنامه‌ریزی جدی برای توسعه فضای سبز دارند. فضای سبز این منطقه شامل پوشش گیاهی متراکم با مساحت ۴۳۱،۶۰۰ متر مربع و بوته و چمنزار با مساحت ۶۱۵،۷۰۰ متر مربع است که در مقایسه با سایر مناطق از ظرفیت بهتری برخوردار است. جدول ۴ نشان‌دهنده مساحت کل فضای سبز (متر مربع) در هر منطقه در شهر زاهدان است. جهت درک بهتر توزیع فضایی کاربری‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۶ به ترتیب منطقه ۱ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۴. مساحت طبقات کاربری شهر زاهدان به تفکیک مناطق پنجگانه (متر مربع)

ردیف	کلاس	مساحت (منطقه ۱)	مساحت (منطقه ۲)	مساحت (منطقه ۳)	مساحت (منطقه ۴)	مساحت (منطقه ۵)
۱	ساختمان	۲۸۲۴۳۰۰	۲۷۱۷۶۰۰	۳۱۵۶۶۰۰	۴۰۹۷۰۰۰	۹۴۳۵۸۰۰
۲	زمین بایر	۱۰۰۶۸۰۰۰	۹۱۵۹۶۰۰	۱۵۰۴۸۳۰۰	۶۷۶۹۱۰۰	۱۲۰۴۴۵۰۰
۳	تک‌درخت خیابانی	۲۹۰۴۰۰	۱۹۴۰۰۰	۱۲۵۳۰۰	۹۲۴۰۰	۴۷۳۷۰۰
۴	بوته و چمنزار	۲۸۷۵۰۰	۲۰۰۳۰۰	۱۲۵۷۰۰	۱۰۱۸۰۰	۶۱۵۷۰۰
۵	پوشش گیاهی کم‌تراکم	۱۲۶۵۰۰	۷۹۶۰۰	۵۳۲۰۰	۶۹۷۰۰	۳۲۷۲۰۰
۶	پوشش گیاهی متراکم	۱۰۳۲۰۰	۷۹۳۰۰	۴۴۹۰۰	۲۵۸۸۰۰	۴۳۱۶۰۰



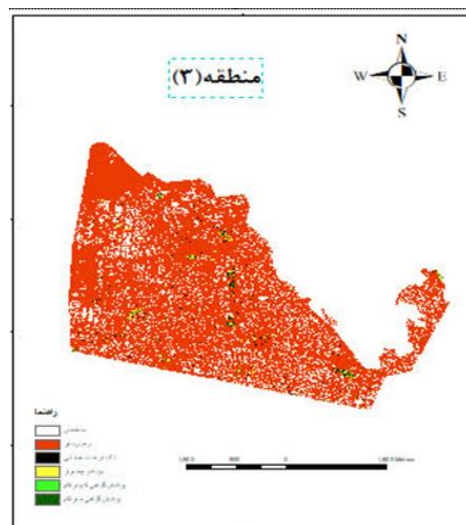
شکل ۳. توزیع فضای سبز در منطقه ۲



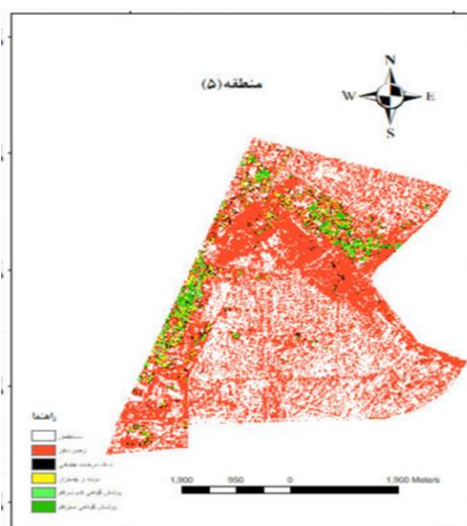
شکل ۲. توزیع فضای سبز در منطقه ۱



شکل ۵. توزیع فضای سبز در منطقه ۴



شکل ۴. توزیع فضای سبز در منطقه ۳



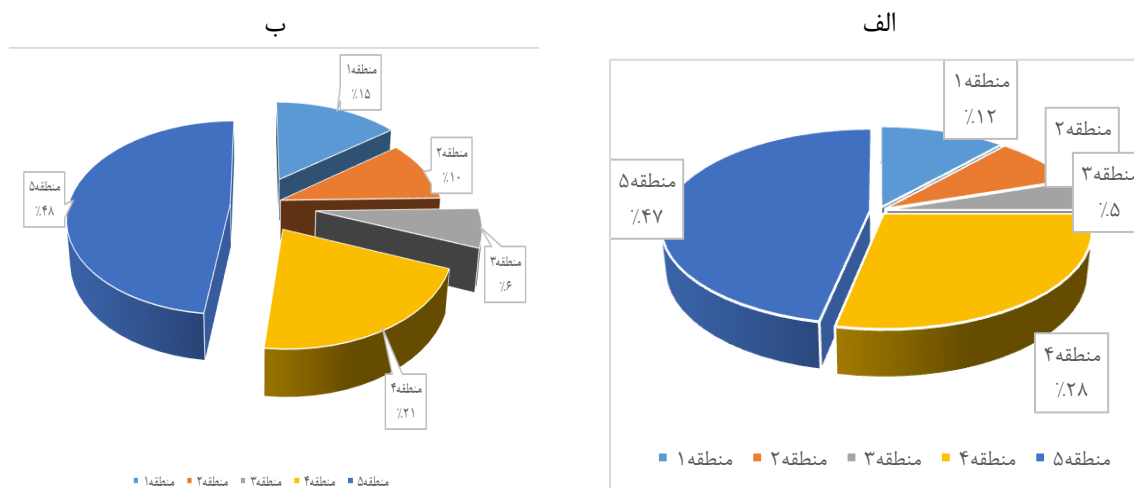
شکل ۶. توزیع فضای سبز در منطقه ۵

بر اساس محاسبات انجام شده برای هر یک از مناطق پنجگانه شهر زاهدان و طبقه‌بندی جداگانه برای هر منطقه، سرانجام به برآورد سرانه فضای سبز برای هر منطقه پرداخته شد (جدول ۵ و شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که توزیع فضای سبز در مناطق شهر زاهدان ناموزون است و تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. سرانه فضای سبز در مناطق مختلف شهر زاهدان، بر اساس داده‌های ارائه شده، به طور چشمگیری متفاوت است. منطقه ۵ با $4/12$ متر مربع بهترین وضعیت را دارد. در حالی که منطقه ۳ با تنها $0/28$ متر مربع محروم‌ترین منطقه است. این اختلاف قابل توجه نشان‌دهنده توزیع نابرابر امکانات فضای سبز در سطح شهر است. سایر مناطق نیز شرایط متفاوتی دارند؛ منطقه ۱ با $1/07$ متر مربع، منطقه ۲ با $0/70$ متر مربع، و منطقه ۴ با $2/27$ متر مربع در وضعیتی میانه قرار می‌گیرند. استانداردهای جهانی فضای سبز برای هر فرد را بین ۹ تا ۱۲ متر مربع در نظر گرفته که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO^۱) توصیه شده است. همچنین شهرهای پیشرفته‌ای مانند نیویورک و توکیو سرانه‌ای حدود ۲۳ تا ۵۰ متر مربع دارند. در مقایسه با این استانداردها، زاهدان حتی در بهترین منطقه خود (منطقه ۵) فاصله زیادی با حداقل استاندارد جهانی دارد و در محروم‌ترین مناطق (مثلاً منطقه ۳) این فاصله به وضعیت بحرانی می‌رسد. این مقایسه نشان می‌دهد زاهدان به

1. word health organization

بازنگری اساسی در سیاست‌گذاری فضای سبز نیاز دارد. برنامه‌ریزی برای افزایش فضاهای سبز و بهبود توزیع عادلانه آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی شهروندان ایفا کند.

برای مقایسه فضای سبز میان دو شهر باید به تشابه ویژگی‌های اقلیمی توجه داشت. مناطقی مانند خاورمیانه و شمال آفریقا که از اقلیم خشک و کمبود منابع آبی رنج می‌برند معمولاً سرانه فضای سبز پایین‌تری نسبت به استانداردهای جهانی دارند. اما همچنان از زاهدان وضعیت بهتری دارند. مثلاً، در دبی، یکی از شهرهای خشک جهان، سرانه فضای سبز حدود ۱۳ متر مربع است که به دلیل سیاست‌های قوی در توسعه پارک‌ها و فضای سبز شهری به این مقدار رسیده است (UNEP, 2019). قاهره، پایتخت مصر، با جمعیت بالا و اقلیم خشک، سرانه‌ای حدود ۱/۸ متر مربع دارد که گرچه بسیار پایین است، همچنان از برخی مناطق زاهدان (مانند منطقه ۳) بهتر است (Aly & Dimitrijevic, 2022: 9). در ریاض، پایتخت عربستان سعودی، با تلاش برای گسترش طرح‌های سبز، سرانه فضای سبز به حدود ۴ متر مربع و در برخی مناطق به ۵ متر مربع رسیده است (Addas, 2020: 5). این مقایسه نشان می‌دهد حتی شهرهای خشک جهان نیز تلاش کرده‌اند با استفاده از سیاست‌های بهینه‌سازی منابع آبی و ایجاد فضای سبز مصنوعی شرایط زیستی بهتری برای شهروندان خود فراهم کنند. زاهدان با سرانه‌ای که در بهترین حالت (منطقه ۵) تنها ۴/۱۲ متر مربع است و در بدترین حالت (منطقه ۳) به ۰/۲۸ متر مربع کاهش می‌یابد فاصله زیادی با این شهرها دارد و نیازمند برنامه‌های پایدار و مدیریت بهینه منابع آبی برای توسعه فضای سبز است.



شکل ۷. الف) درصد سرانه هر منطقه بر اساس پوشش گیاهی متراکم، ب) پوشش گیاهی متراکم و کم‌تراکم

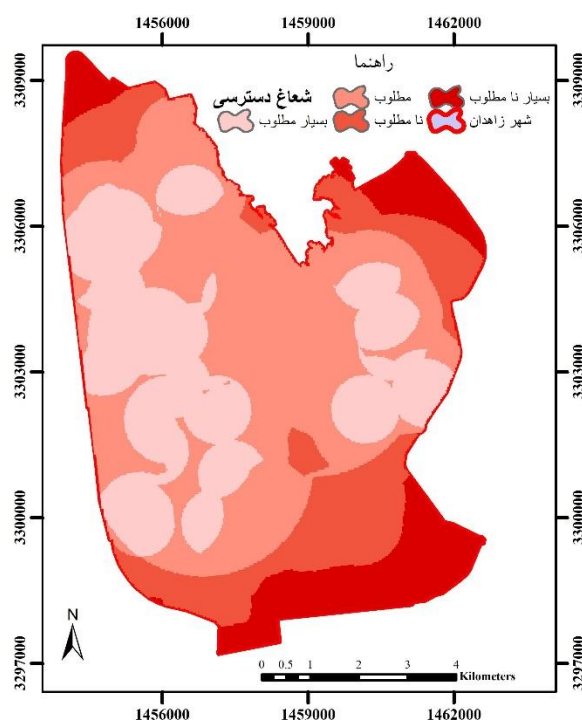
جدول ۵. درصد سرانه فضای سبز به تفکیک هر منطقه

منطقه	سرانه بر اساس جمع پوشش گیاهی متراکم و کم‌تراکم	سرانه بر اساس پوشش گیاهی متراکم
۱	۲/۳۸	۱/۰۷
۲	۱/۴۱	۰/۷۰
۳	۰/۶۲	۰/۲۸
۴	۲/۸۸	۲/۲۷
۵	۷/۲۷	۴/۱۲

شعاع دسترسی پارک‌های شهر زاهدان

در مطالعات برنامه‌ریزی شهری، پارک‌ها بر اساس مقیاس و شعاع دسترسی دسته‌بندی می‌شوند. برای شهر زاهدان، تحلیل‌های مربوط به دسترسی به پارک‌های شهری در سه مقیاس محله‌ای، ناحیه‌ای، منطقه‌ای در محیط GIS انجام شد و نقشه‌های مربوطه طراحی شد. بر اساس این بررسی‌ها، پارک‌های محله‌ای مساحتی بین ۴ تا ۵ هزار متر مربع دارند و شعاع دسترسی آن‌ها بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر است. پارک‌های ناحیه‌ای با مساحتی بین ۴ تا ۸ هزار متر مربع در شعاع دسترسی ۶۵۰ تا ۷۵۰ متر قرار می‌گیرند. در نهایت، پارک‌های منطقه‌ای با مساحتی بیش از ۸ هزار متر مربع و شعاع دسترسی بیش از ۷۵۰ متر دسته‌بندی

شده‌اند. این استانداردها که بر اساس مطالعات دیگر پژوهشگران ارائه شده‌اند به تحلیل بهینه دسترسی شهروندان به فضای سبز و ایجاد تعادل در توزیع این فضاها کمک می‌کنند (فصیحی و همکاران، ۱۳۹۹: ۵). نکته مهم و قابل توجه در بررسی میدانی پارک‌های شهر زاهدان این است که بسیاری از پارک‌هایی که در شکل ۸ نمایش داده شده‌اند فاقد پوشش گیاهی هستند و فقط شکل فیزیکی پارک و جایگاه پارک مشخص شده است.

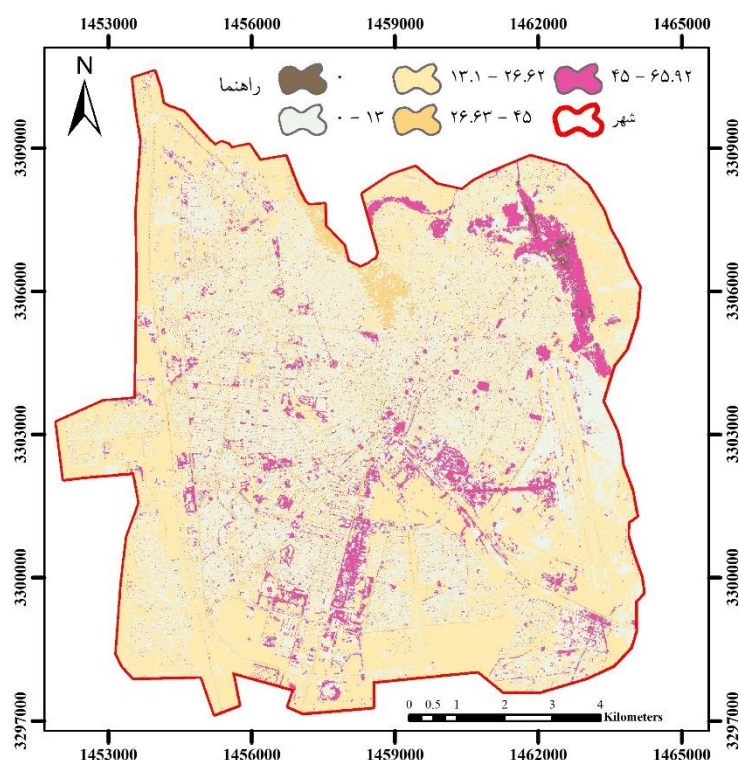


شکل ۸. شعاع دسترسی به پارک‌های محلی، ناحیه‌ای، و منطقه‌ای در شهر زاهدان

ترسیب کربن و ارزش خدمات اکوسیستمی پوشش گیاهی

یکی از چالش‌های قرن ۲۱ رشد شهرنشینی است و این مسئله خود را با تبدیل زمین‌های بایر و مرتعی به مناطق انسان‌ساخت و کشاورزی نشان می‌دهد و اهمیت طراحی شهری سازگار با تغییر اقلیمی را مهم جلوه می‌دهد. شهرهای پایدار، مانند شهرهای فشرده، شهرسازی آبی، شهرهای کربن خنثی، و شهرهای انرژی تجدیدپذیر به عنوان راهکارهای مقابله با این چالش‌ها مطرح شده‌اند. در این میان، شهر بیوفیلیک با تمرکز بر تلفیق طبیعت در بافت شهری و افزایش فضای سبز نقش مکمل در تحقق پایداری محیط زیست ایفا می‌کند (جهاندراری و همکاران، ۱۴۰۱). با توجه به این اهمیت یکی از راه‌های شناخت این ارزش اکوسیستمی استفاده از محاسبه میزان ترسیب و ذخیره کربن است. پس از اجرای مدل کربن InVEST در منطقه مورد پژوهش، لایه‌های مخازن چهارگانه کربن و نقشه نهایی ذخیره کربن به دست آمد. مقادیر ذخیره کربن از مجموع تمام منابع یادشده در شکل ۹ نمایش داده شده است. کمینه و بیشینه موجودی کربن در شهر زاهدان در دامنه حدود ۰ تا ۶۶ تن در هکتار قرار دارد و میانگین موجودی کربن حدود ۳۳ تن در هکتار است. شکل ۱۰ به خوبی نقش و ارزش اکوسیستمی فضای سبز را در شهر زاهدان نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه بالاترین میزان ذخیره کربن مربوط به پوشش گیاهی است. در واقع در مکان‌هایی که پوشش گیاهی اعم است از فضای سبز، مرتع، فضای سبز توان ذخیره کربن نیز بیشتر است. جدول ۶ در این باره اطلاعات بیشتری مبتنی بر مساحت کل شهر زاهدان ارائه می‌دهد. بر این اساس مجموع ذخیره کربن در منطقه را حدود ۲۱۰۹۲۲ تن محاسبه کرده است که به طور متوسط برای همه کاربری‌ها بیش از ۱۸ تن در هکتار به دست خواهد آمد که بیشتر متعلق به پوشش گیاهی است. قیمت هر تن متریک کربن در بازارهای جهانی متغیر است و به عوامل مختلف مانند سیاست‌های مالیاتی، بازارهای تجارت آلاینده‌ها (ETS)، و توافقات بین‌المللی بستگی دارد. در برخی کشورها، مانند سوئد، مالیات کربن باعث شده قیمت هر تن به ۱۱۹

دلار برسد. درحالی که در کشورهای مانند اوکراین و مکزیک و لهستان این قیمت کمتر از ۱ دلار است. میانگین جهانی قیمت کربن حدود ۲۰/۱۱ دلار آمریکا در هر تن متریک تخمین زده شده است.



شکل ۹. نقشه ذخیره کل کربن شهر زاهدان

جدول ۶. مقادیر ذخیره کل کربن در شهر زاهدان (تن در هکتار)

طبقات	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به متر مربع	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن (تن)
۱	۰	۳۰۰۷۰۰	۳۰/۰۷	۰/۲۶	۰
۲	۰ - ۱۳	۴۵۰۵۵۴۰۰	۴۵۰۵/۵۴	۳۹/۶۴	۲۹۲۸۶/۰۱
۳	۱۳ - ۲۶	۴۹۵۹۲۹۰۰	۴۹۵۹/۲۹	۴۳/۶۴	۹۶۷۰۶/۱۶
۴	۲۶ - ۴۴	۸۹۷۰۵۰۰	۸۹۷/۰۵	۷/۸۹	۳۱۳۹۶/۷۵
۵	۴۴ - ۶۶	۹۷۳۳۳۰۰	۹۷۳/۳۳	۸/۵۶	۵۳۵۳۳/۱۵
جمع		۱۱۳۶۵۲۸۰۰	۱۱۳۶۵/۲۸	۱۰۰	۲۱۰۹۲۲/۰۶

بحث و نتیجه

توزیع فضای سبز در شهر زاهدان در سال ۲۰۲۴ نشان دهنده کمبود جدی و توزیع نامتوازن این منابع در سطح شهر است. کل فضای سبز متراکم زاهدان ۹۱۶۱۰۰ متر مربع برآورد شده که به ازای هر نفر سرانه‌ای معادل ۵۶/۱ متر مربع فراهم می‌کند. این سرانه نه تنها بسیار پایین تر از استانداردهای جهانی است، بلکه توزیع نامناسب آن میان مناطق مختلف نیز باعث عدم رعایت عدالت اجتماعی در دسترسی به فضای سبز شهری شده است. برای بررسی دقیق تر، فضای سبز در مناطق پنجگانه شهر زاهدان مورد تحلیل قرار گرفت. طبق جدول ۳ و ۴ و شکل ۵، منطقه ۳ دارای ۴۴۹۰۰ متر مربع فضای سبز متراکم با سرانه‌ای معادل ۵/۲۸ متر مربع به ازای هر نفر است. این مقدار نشان دهنده محرومیت شدید این منطقه است. در مقابل، منطقه ۵ با ۴۳۱۶۰۰ متر مربع فضای سبز و سرانه‌ای معادل ۴/۱۲ متر مربع به ازای هر نفر بهترین وضعیت را دارد. این تفاوت تا حد زیادی به وجود دانشگاه سیستان و بلوچستان در منطقه ۵ و جمعیت بیشتر منطقه ۳، که عمدتاً حاشیه نشین هستند، مربوط است. سرانه فضای سبز سایر مناطق نیز نشان دهنده نابرابری در توزیع است:

- منطقه ۱: ۱/۰۷ متر مربع
- منطقه ۲: ۰/۷۰ متر مربع
- منطقه ۴: ۲/۲۷ متر مربع

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که وضعیت فضای سبز شهر زاهدان مطلوب نیست. با توجه به جمعیت شهر و جوانی جمعیت شهر زاهدان شهروندان برای گذراندن اوقات فراغت خود نیازمند فضاهای سبز نظیر پارک‌ها هستند. همچنین علاوه بر ایجاد پارک برای شهروندان باید به بلوارها، فلکه‌ها، و ... در شهر توجه شود و جهت توسعه فضای سبز این گونه مکان‌ها اقدام شود. این موضوع نه تنها ارزش روانی و بهداشتی برای ساکنان شهر دارد بلکه از دیدگاه اکولوژی شهری یا به بیان دیگر از نگاه خدمات اکوسیستمی دارای ارزش تنظیم اقلیم است (اذانی و همکاران، ۱۳۹۰). پوشش‌های سبز شهری شامل درختان در باغ‌ها، پارک‌ها، خیابان‌ها، جاده‌ها، و کانال‌ها هستند که افزون بر زیباسازی محیط و حفظ تنوع زیستی خدمات اکوسیستمی گوناگونی ارائه می‌دهند. در شهر زاهدان گونه‌های مختلفی از پوشش گیاهی در فضاهای سبز شهری وجود دارد که هر یک نقش مهمی در بهبود کیفیت محیط زیست و سیمای شهری ایفا می‌کنند. پوشش گیاهی شهری زاهدان شامل گونه‌های درختی (بید مجنون، بید معمولی (سفید)، نخل بادبزنی، نخل معمولی (خوراکی)، کاج ایرانی، کاج موگو، نارون، اکالیپتوس آبی، اکالیپتوس جنگلی، ارغوان معمولی، سنجد خوراکی، زیتون خوراکی، زیتون تلخ، کهور ایرانی، و ...)، درختچه (توری، ترون، شمشاد رسمی، زرشک زینتی، پیروکانتا، شیر خشت، شاهپسند کرچک، و ...)، پوششی و پیچ (چمن، عشقه، رزماری، اسطوخودوس، گل یخ شمشیری (کارپروتوس)، گل یخ بندانگشتی، آبتنیا، پتنتیلا، فرانکینیا، و ...)، گل فصلی و دائمی (ابری نقره‌ای، میمون اطلسی، قرنفل، شببو، رعنا، زیبا، آهار، و ...) است (نارویی و همکاران، ۱۳۹۸). نارویی و همکارانش (۱۳۹۸) در مطالعه موردی در دانشگاه سیستان و بلوچستان گستردگی این گونه‌ها و تنوع کارکردهایشان را مورد بررسی دقیق قرار دادند. این فضاهای سبز به کاهش ردپای کربن شهری کمک می‌کنند و با جذب و ذخیره کربن تأثیر مهمی در بهبود کیفیت هوا و مقابله با تغییرات اقلیمی دارند (انصاری قولنجی و همکاران، ۱۴۰۳؛ Dadhich et al., 2023). طوری که بر اساس بخش مدل‌سازی مشخص شد بیشتر میزان ذخیره کربن مربوط به پوشش‌های سبز است که با توجه به اینکه از میزان کمی در منطقه برخوردار بوده است ولی می‌تواند ارزش اکوسیستمی مطلوبی باشد. نتایج این بخش از پژوهش با پژوهش‌های پیشین مانند محمدیاری (۱۴۰۲) و لیندن و همکاران (۲۰۲۰) هم‌سوست. در پایان در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایجاد فضای سبز با گیاهانی که نیاز آبی کمی دارند نه تنها به زیباسازی محیط شهری کمک می‌کند، بلکه نقش مؤثری در کاهش گرمایش جهانی ایفا می‌کند. این نوع پوشش گیاهی از طریق جذب دی‌اکسید کربن، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، و افزایش بازتاب نور خورشید باعث بهبود شرایط اقلیمی می‌شود. از این رو، توسعه فضای سبز کم‌مصرف از نظر منابع آبی در شهرهای خشک و نیمه‌خشک یک راهکار مهم برای افزایش کیفیت زندگی و کاهش آلودگی هوا و مقابله با تغییر اقلیمی محسوب می‌شود.

منابع

- احمدتوزه، واحد (۱۳۹۲). بررسی و تحلیل عدالت فضایی شهر در سقز. *پایان نامه کارشناسی/ارشد*. رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری. استاد راهنما: کرامت الله زیاری. دانشگاه تهران.
- اذانی، مهری؛ احمدزاده، مصطفی و قاسمی، احمد (۱۳۹۰). مکان یابی فضاهای گذران اوقات فراغت با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهر فیروزآباد). *جغرافیا*، ۲(۲)، ۹۹ - ۱۱۶.
- انصاری قولنجی، رقیه؛ شمسی پور، علی اکبر و شجاع، فائزه (۱۴۰۳). محاسبه میزان ظرفیت ذخیره کربن در شهری با اقلیم سرد و کوهستانی (مطالعه موردی: شهر و پیراشهر ارومیه). *شهر پایدار*، ۲(۲)، ۴.
- بهمن پور، هومن و سلاجقه، بهرنگ (۱۳۸۹). گونه های گیاهی سازگار با آب و هوای شهر تهران. *شهرداری ها*، ۹(۹۵)، ۹۴ - ۹۸.
- حاتمی نژاد، حسین؛ فرهودی، رحمت الله و محمدپورجایی، مرتضی (۱۳۸۷). تحلیل نابرابری اجتماعی در برخورداری از کاربری های خدمات شهری (مطالعه موردی: شهر اسفراین). *پژوهش های جغرافیای انسانی*، ۳(۶۵)، ۹۹ - ۱۱۶.
- جهاننداری، جاوید؛ حجازی، رخشاد؛ جوزی، سید علی و مرادی، عباس (۱۴۰۱). اثرات توسعه شهری بر الگوهای مکانی-زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در حوزه آبخیز بندرعباس با نرم افزار InVEST. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۹۱ - ۱۰۶.
- خراسانی، نعمت الله (۱۳۸۲). *ویژگی های اکولوژیک برخی از درختان مناسب برای کاشت در تهران*. انتشارات سازمان پارک ها و فضای سبز شهر تهران.
- شمسی پور، علی اکبر (۱۴۰۱). *نگاشت اقلیم شهر و توصیه های برنامه ریزی (مروری بر تجارب جهانی)*. انتشارات دانشگاه تهران.
- فصیحی، حبیب اله، شمعی، علی و آذرخش، فاطمه (۱۳۹۹). تحلیل دسترسی به بوستان های شهری با رویکرد عدالت فضایی (نمونه مطالعه: شهر ایلام). *برنامه ریزی فضایی*، ۱۰(۲)، ۱۰۵ - ۱۱۸.
- محمودزاده، حسن؛ عسکرنژاد، رقیه و رضازاده، زهرا (۱۳۹۵). تحلیل توزیع فضای سبز شهری با رویکرد عدالت فضایی (مطالعه موردی: شهر اردبیل). *پژوهش های جغرافیایی برنامه ریزی شهری*، ۴(۴)، ۶۹۱ - ۷۱۵.
- نارویی، بهروز؛ معرب، یاسر و دارایی، حسن (۱۳۹۸). ارزیابی مؤلفه های تأثیرگذار بر تاب آوری الگوی کشت فضاهای سبز شهری در مناطق گرم و خشک (موردشناسی: شهر زاهدان). *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای*، ۱۰(۳۴)، ۲۳ - ۴۴.
- محمدیاری، فاطمه (۱۴۰۲). ارزیابی آثار تغییرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستم بر اساس مدل InVEST (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). *آمایش سرزمین*، ۱۵(۲).
- Addas, A. & Alserayhi, G. (2020). Quantitative evaluation of public open space per inhabitant in the Kingdom of Saudi Arabia (A case study of the city of Jeddah). *Sage Open*, 10(2), 2158244020920608.
- Agyeman, J. (2005). *Sustainable Communities and the Challenge of Environmental Justice*. New York: NYU Press.
- Agyeman, J., Schlosberg, D., Craven, L., & Matthews, C. (2016). Trends and directions in environmental justice: From inequity to everyday life, community, and just sustainabilities. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 321-340.
- Ahmadtozeh, V. (2013). Analysis of spatial justice in the city of Saqqez. *Master's thesis*. University of Tehran. Supervisor: Keramatollah Ziari. (in Persian)
- Aly, D. & Dimitrijevic, B. (2022). Public green space quantity and distribution in Cairo, Egypt. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 15.
- Ansari-Golenji, R., Shamsipour, A., & Shoja, F. (2024). Carbon storage capacity in a city with a cold and mountainous climate: the case study of Urmia city and Suburb. *Sustainable city*, 7(2), 45-61. doi: 10.22034/jsc.2024.434150.1758. (in Persian)
- Azani, M., Ahmadzadeh, M., & Ghasemi, A. (2011). Locating recreational spaces using GIS (Case study: Firouzabad city). *Geography Scientific-Research Quarterly*, 2(2), 99-116. (in Persian)
- Bahmanpour, H. & Salajegheh, B. (2010). Plant species adapted to Tehran's climate. *Municipalities Monthly*, 95. (in Persian)
- Barbosa, O., Tratalos, J. A., Armsworth, P. R., Davies, R. G., Fuller, R. A., Johnson, P., & Gaston, K. J. (2007). Who benefits from access to green space? (A case study from Sheffield, UK). *Landscape and Urban Planning*, 83(2-3), 187-195.
- Bergeron, O. & Strachan, I.B. (2011). CO2 sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city. *Atmos. Environ*, 45(8), 1564-1573. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.12.043>.
- Bilgili, B. C. & Gökyer, E. (2012). Urban green space system planning. *Landscape planning*, 360.

- Bobál'ová, H., Falt'an, V., Benová, A., Kožuch, M., Kotianová, M., & Petrovič, F. (2024). Measuring the quality and accessibility of urban greenery using free data sources: A case study in Bratislava, Slovakia. *Urban Forestry and Urban Greening*, 93, 128217.
- Chen, Q., Zhong, C., Jing, C., Li, Y., Cao, B., & Cheng, Q. (2021). Rapid mapping and annual dynamic evaluation of quality of urban green spaces on google earth engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(10), 670.
- Dadhich, P., Malav, A., & Jaiswal, P. (2023). Carbon Sequestration Potential of Trees in Urban Vegetation Islands (A Case Study). *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 2362-2371. DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i1113401.
- Dai, D. (2011). Racial/ ethnic and Socioeconomic Disparities in Urban Green Space Accessibility: Where to Intervene?. *Landscape and Urban Planning*, 102, 234-244.
- Farkas, J. Z., Hoyk, E., de Moraes, M. B., & Csomós, G. (2023). A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 9(2).
- Fasihi, H., Shamaei, A. and Azarakhsh, F. (2020). Analysis of access to urban parks with a spatial justice approach (Case study: Ilam city). *Spatial Planning*, 10(2), 105-118. (in Persian)
- Frank, L.D. (2010). The built environment and human activity patterns: Exploring the impact of urban form on public health. *Journal of Planning Literature*, 218-202.
- Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Rojas-Rueda, D., Plasència, A., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Residential green spaces and mortality: A systematic review. *Environment International*, 86, 60-67.
- Grabowski, Z. J., McPhearson, T., & Pickett, S. T. (2023). Transforming US urban green infrastructure planning to address equity. *Landscape and Urban Planning*, 229, 104591.
- Haines, A. & Frumkin, H. (2021). Sustaining Urban Health in the Anthropocene Epoch. In *Planetary Health: Safeguarding Human Health and the Environment in the Anthropocene* (pp. 271–309). chapter, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hataminejad, H., Farhudi, R., & Mohamadpourjairi, M. (2008). Analysis of social inequality in access to urban service land uses (Case study: Esfarayen city). *Journal of Human Geography Research*, 65, 99-116. (in Persian)
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.
- IPCC (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S.A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem service in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 91-106. doi: 10.22098/mmws.2022.11069.1097. (in Persian)
- Jennings, V., Browning, M. H., Rigolon, A., Jennings, V., Browning, M. H., & Rigolon, A. (2019). Urban green space at the nexus of environmental justice and health equity. *Urban green spaces: public health and sustainability in the United States*, 47-69.
- Jimmy, D. W. (2019). The Kyoto research park and innovation in Japanese cities. *Urban Geography*, 29(5), 411-450.
- Khorasani, N. (2003). *Ecological characteristics of some suitable trees for planting in Tehran*. Publications of the Parks and Green Spaces Organization of Tehran. (in Persian)
- Kothencz, G., Kolcsár, R., Cabrera-Barona, P., & Szilassi, P. (2017). Urban green space perception and its contribution to well-being. *International journal of environmental research and public health*, 14(7), 766.
- Krellenberg, K., Artmann, M., Stanley, C., & Hecht, R. (2021). What to do in, and what to expect from, urban green spaces – Indicator-based approach to assess cultural ecosystem services. *Urban Forestry and Urban Greening*, 59, 126986. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126986>.
- Kuang, W., Hou, Y., Dou, Y., Lu, D., & Yang, S. (2021). Mapping global urban impervious surface and green space fractions using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(20), 4187.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–7.
- Li, N., Deng, L., Yan, G., Cao, M., & Cui, Y. (2024). Estimation for Refined Carbon Storage of Urban Green Space and Minimum Spatial Mapping Scale in a Plain City of China. *Remote Sensing*, 16(2).
- Li, P. & Wang, Z.-H. (2021). Environmental co-benefits of urban greening for mitigating heat and carbon emissions. *Journal of Environmental Management*, 293, 112963.
- Li, X., Huang, C., Jin, H., Han, Y., Kang, S., Liu, J., ... & Sun, L. (2022). Spatio-temporal patterns of carbon storage derived using the InVEST model in Heilongjiang Province, Northeast China. *Frontiers in Earth Science*, 10, 846456. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.846456>.

- Li, Y., Qiu, J., Li, Z., & Li, Y. (2018). Assessment of blue carbon storage loss in coastal wetlands under rapid reclamation. *Sustainability*, 10(8), 2818. DOI: 10.3390/su10082818.
- Liang, H. & Zhang, Q. (2017). Assessing the public transport service to urban parks on the basis of spatial accessibility for citizens in the compact megacity of Shanghai, China. *Urban Studies*, 55(9), 1983-1999.
- Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H., & Yli-Pelkonen, V. (2020). Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126633. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>.
- Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., de Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation?. *J Epidemiol Community Health*, 60, 587-592.
- Mahmoudzadeh, H., Askarnajad, R., & Rezazadeh, Z. (2016). Analysis of urban green space distribution with a spatial justice approach (Case study: Ardabil city). *Geographical Research on Urban Planning*, 4(4), 691-715. (in Persian)
- Mather, A.S. (1999). Land Use and Cover Change. *Land Use Policy*, 16, 143.
- Mitchell, R. & Popham, F. (2007). Greenspace, urbanity and health: Relationships in England. *J Epidemiol Community Health*, 61(8), 681-683.
- Mohammadyari, F. (2023). Evaluation the effects of land use changes on ecosystem services based on the InVEST model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Town and Country Planning*, 15(2), 327-342. doi: 10.22059/jtcp.2023.365685.670408. (in Persian)
- Naroei, B., Moareb, Y., & Darabi, H. (2020). Evaluation of Effective Components on Resilience of Urban Green Spaces planting Pattern in Hot and Dry Areas (Case Study: Zahedan City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(34), 23-44. doi: 10.22111/gaij.2020.5329. (in Persian)
- Nguyen, P. Y., Astell-Burt, T., Rahimi-Ardabili, H., & Feng, X. (2021). Green space quality and health: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 18(21), 11028.
- Petzold, J. & Mose, L. (2023). Urban greening as a response to climate-related heat risk: A Social–Geographical Review. *Sustainability*, 15(6), 4996.
- Richardson, E. A., Pearce, J., Mitchell, R., & Kingham, S. (2013). Role of physical activity in the relationship between urban green space and health. *Public health*, 127(4), 318-324.
- Richardson, E., Pearce, J., Mitchell, R., Day, P., & Kingham, S. (2010). The association between green space and cause-specific mortality in urban New Zealand: An ecological analysis of green space utility. *BMC Public Health*, 10(1), 240. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-240>.
- Sahebjalal, E. & Dashtekian, K. (2013). Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods. *African Journal of Agricultural Research*, 8(37), 4614-4622.
- Shamsipour, A. A. (2022). *Urban climate mapping and planning recommendations* (A review of global experiences). University of Tehran Press. (in Persian)
- United Nations Environment Programme (2019). *Green Cities Report*. New York: UNEP.
- United Nations (2019). *World Urbanization Prospects - the 2018 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, New York.
- Venter, Z.S., Hassani, A., Stange, E., Schneider, P., & Castell, N. (2024). Reassessing the role of urban green space in air pollution control, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 121(6) e2306200121.
- Verma, P., Siddiqui, A.R., Mourya, N.K., & Devi, A.R. (2024). Forest carbon sequestration mapping and economic quantification infusing MLPnn-Markov chain and InVEST carbon model in Askot wildlife sanctuary, Western Himalaya. *Eco. Inform.* 79, 102428 <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2023.102428>.
- Wu, J., He, Q., Chen, Y., Lin, J., & Wang, S. (2020). Dismantling the fence for social justice? Evidence based on the inequity of urban green space accessibility in the central urban area of Beijing. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(4), 626-644.
- Zafar, Z., Zubair, M., Zha, Y., Mehmood, M. S., Rehman, A., Fahd, S., & Nadeem, A. A. (2024). Predictive modeling of regional carbon storage dynamics in response to land use/land cover changes: An InVEST-based analysis. *Ecological Informatics*, 82, 102701. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102701>.
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778.