

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 Hamidianpour³ 

1. Graduated in Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. barahouiahmad1@gmail.com
2. Professor of Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. E-mail: iazh@gep.usb.ac.ir.
3. Associate professor in Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 2025 May 9

Revised: 2025 May 29

Accepted: 2025 June 9

Available online:

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 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 justice in green space distribution.

Cite this article: Barahout, Ahmad., Ebrahimzadeh Akbad Eisa, & Hamidianpour, Mohsen. (2025). Assessment of urban green spaces from the perspective of social justice using satellite imagery in the five zones of Zahedan city. *Academic Librarianship and Information Research*, 58 (X), 1-20. <http://doi.org/00000000000000000000>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran

DOI: <http://doi.org/00000000000000000000000000000000>

تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای،

مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان

احمدبراهویی^۱، عیسی ابراهیم زاده آکباد^۲، و محسن حمیدیان پور^۳✉

1. دانش‌آموخته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: barahouiahmad1@gmail.com
2. استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: iazh@gep.usb.ac.ir
3. دانشیار اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رشد سریع شهرنشینی در شهرهایی مانند زاهدان موجب نابرابری فضایی در توزیع خدمات شهری، به‌ویژه 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-9 و سنتینل-2 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. در حالی که منطقه ۵ به دلیل استقرار نهادهای مهم، وضعیت بهتری دارد. بسیاری از پارک‌های شهری فاقد پوشش گیاهی واقعی بوده 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 الگوبرداری 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 نماید.
تاریخ دریافت: 1404/2/19 تاریخ بازنگری: 1404/3/8 تاریخ پذیرش: 1404/3/19 تاریخ انتشار:	
کلیدواژه‌ها: توزیع فضای سبز، عدالت اجتماعی، گوگل ارث انجین، سرانه فضای سبز، زاهدان،	

استناد: براهویی، احمد؛ ابراهیم زاده آکباد، ابراهیم؛ و حمیدیان پور، محسن (1404). تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان. *آمایش سرزمین*، 58 (1)، 1-20.



<http://doi.org/00000000000000000000000000000000>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تهران.

تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای،

مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان

مقدمه

زندگی شهری به طور فزاینده‌ای در حال گسترش است، به گونه‌ای که در حال حاضر 55 درصد از جمعیت جهان در شهرها سکونت دارند (United Nations, 2019) و پیش‌بینی می‌شود تا سال 2050 این رقم به 68 درصد افزایش یابد (Haines, and Frumkin, 2021). یعنی از مجموع 9/5 میلیارد نفر جمعیت جهان، بیش از 6/3 میلیارد نفر ساکن شهرها خواهند بود. سازمان ملل برآورد کرده است که جمعیت شهری در کشورهای کمتر توسعه یافته تا 2030 از 0/5 به 3 میلیارد نفر افزایش خواهد یافت (شمسی‌پور، 1401). در این میان، فضاهای سبز شهری نقش مهمی در شهرها ایفا می‌کنند، زیرا دسترسی به فضای سبز شهری هم برای سلامت جسمی و هم برای لذت معنوی بسیار مهم است، بنابراین به عنوان شاخصی از عدالت اجتماعی در نظر گرفته می‌شود (Barbosa et al, 2007; Dai, 2011; Wu et al. 2020). زیرا این مهم به عنوان یکی از عوامل اساسی در بهبود سلامت انسان شناخته شده و نقشی مهم در پیشگیری از بیماری‌هایی مانند کاهش فشار خون، اختلالات روانی و خستگی ایفا می‌کند (Maas et al, 2006; Mitchell et al, 2007; Richardson et al, 2010; Richardson et al, 2013; Gascon et al, 2016; Bergeron and Strachan, 2011; Li and Wang, 2021; Venter et al, 2024). تأثیرات مثبت آن بر شهروندان کاملاً آشکار بوده و فضای سبز به عنوان 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 هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، اقلیم جهان رو به تغییر و گرمایش است (IPCC, 2006). لذا 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 زیست محیطی در جوامع شهری است. بر این اساس، برنامه‌ریزی فضای سبز شهری با هدف ایجاد تعادل زیست محیطی 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. 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 نرخ شهرنشینی در بسیاری از کشورهای کشورهای در حال توسعه است. این روند با توسعه کالبدی-فضایی شهرها، کاهش چشمگیر فضای سبز شهری و مناطق حومه‌ای را به دنبال داشته است (بهمن‌پور و بهرننگ، 1389: 2؛ خراسانی، 1382: 4). 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 راستا 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 نماید. رهیافت‌های این پژوهش می‌تواند نخستین گام در اجرای عدالت اجتماعی در راستای دسترسی برابر به فضای سبز شهری برای همه شهروندان باشد. اهداف پژوهش دربرگیرنده نیل و رسیدن به آمارهای دقیق توزیع فضای سبز شهروندان بوده و تفاوت سرانه فضای سبز با سطح نرمال تعیین شده و پیشنهادات در رابطه با حل این مشکل را مورد تحلیل قرار می‌دهد. بدین منظور پرسش‌های پژوهش شامل؛ میزان فضای سبز موجود در شهر به چه میزانی است و به چه نسبتی در سطح شهر توزیع شده است؟ همچنین اینکه آیا عدالت اجتماعی توزیع فضای سبز به ازای هر نفر نسبت به سطح نرمال به چه میزان رعایت در زاهدان شده است؟

پیشینه تحقیق

فضاهای سبز شهری نقش مهمی در شهرها ایفا می‌کنند، اما توزیع آنها اغلب منعکس کننده نابرابری‌های اجتماعی است. به طوری که لیانگ و ژانگ^۱ (2017) در بررسی خود در شهر شانگهای نشان دادند با وجود اینکه 99/95 درصد منازل مسکونی با استفاده از حمل و نقل عمومی به پارک‌ها متصل می‌شود ولی توزیع فضایی و دسترسی به این پارک‌ها نابرابر می‌باشد و بیشترین تمرکز پارک‌ها در مرکز شهر هستند. جیمی^۲ (2019) در پژوهش خود سطح رضایت شهروندان را نسبت به پارک (کیوتوی ژاپن) با استفاده مصاحبه و پرسشنامه بررسی کرد. نتایج نشان داد که باز بودن مناطق سبز پارک‌ها عامل اصلی در افزایش زیست‌پذیری شهرها و جذب افراد برای اوقات فراغت است. نتایج نشان داد که بسیاری از افراد رضایت کافی از فضای سبز موجود در پارک‌ها را نداشتند، که این نشان‌دهنده علاقه مردم به فضاهای سبز و تأثیر مثبت آن‌ها بر روح و روان انسان است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که مدیران شهری در طراحی پارک‌ها به فضای سبز توجه ویژه‌ای داشته باشند تا رضایت شهروندان جلب شود. نگوین^۳ و همکاران (2021) در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی سیستماتیک فضای سبز و سلامت، به مقایسه اثرات فضای سبز بر سلامت انسان به روش مقایسه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که 68 مقاله از 59 مطالعه با طراحی‌های متفاوت و تعاریف متنوع در زمینه فضای سبز، بیشتر مقطعی و اکولوژیکی بودند. آن‌ها دریافتند که انواع محیط‌ها، پوشش‌های گیاهی و اندازه فضاهای سبز با بهبود سلامت مرتبط هستند، اگرچه نتایج بسته به سن و جنسیت متغیر بود، اما به‌طور کلی فضای سبز تأثیر قابل توجهی بر روان انسان داشت. کوآنگ^۴ و همکاران (2021) در مقاله‌ای با عنوان نقشه‌برداری سطح نفوذناپذیر شهری و نسبت فضای سبز با استفاده از Google Earth Engine (GEE) از داده‌های ماهواره‌ای Landsat و الگوریتم جنگل تصادفی^۵ برای استخراج شاخص‌های تراکم سکونتگاه نرمال شده (NSDI) و فضای سبز نرمال شده (NGSI) بهره گرفتند. این پژوهش نشان داد که نسبت فضای سبز شهری در مناطق مختلف به‌طور قابل توجهی متغیر است و ابزار GEE می‌تواند در تحلیل پویایی‌های شهری و ارزیابی تأثیرات شهرسازی بر اقلیم، اکولوژی و پایداری شهری نقش مهمی ایفا کند. چن^۶ و همکاران (2021) در مقاله‌ای تحت عنوان نقشه‌برداری سریع و ارزیابی سالانه تغییرات کیفیت فضای سبز شهری از فضای پردازشی GEE و روش خودکار (الگوریتم Otsu و جنگل

1 - Liang and Zhang

2. Jimmy

3. Nguyen

4 - Kuang

5 - Random Forest

6. Chen

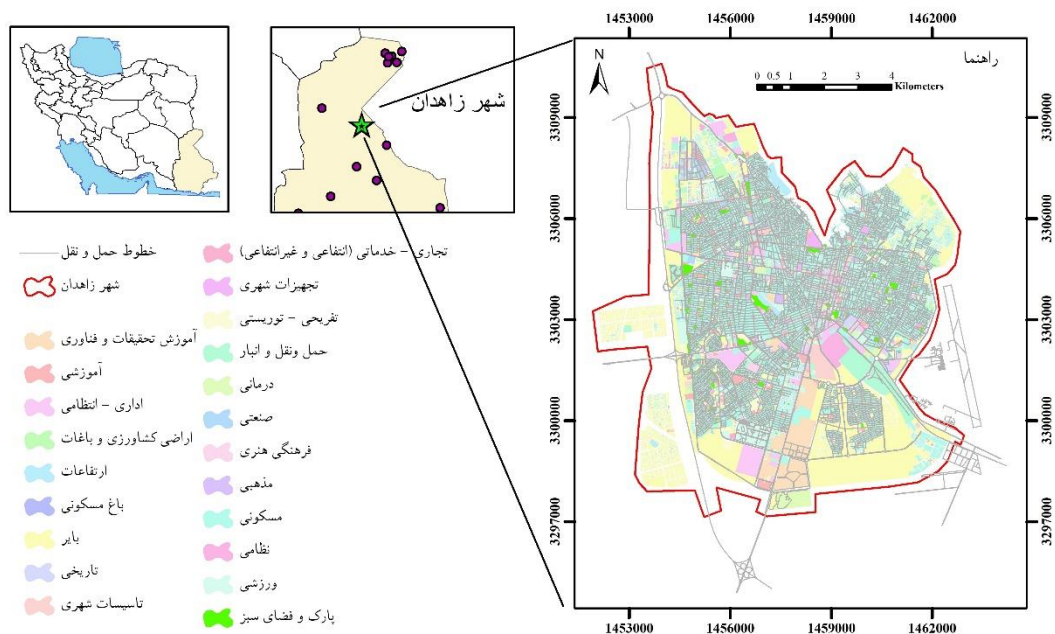
تصادفی) برای نقشه‌برداری و تحلیل تغییرات فضای سبز در پکن ارائه استفاده کردند. پتزولد و موس^۱ (2023) تأکید دارند که با افزایش موج‌های گرمایی، فضای سبز شهری نقش حیاتی در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت زندگی دارد. با وجود توافق عمومی بر اهمیت این راهکار، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هنوز درک کاملی از مکان‌های مناسب اجرای این اقدامات و دسترسی گروه‌های مختلف به فضای سبز شهری وجود ندارد. همچنین، ضرورت توجه به عدالت محیطی در برنامه‌ریزی شهری مورد تأکید قرار گرفته است. در همین راستا، گرابوفسکی^۲ و همکاران (2023) بررسی کرده‌اند که چگونه برنامه‌ریزی زیرساخت‌های سبز شهری (GI^3) در ایالات متحده به عدالت محیطی توجه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تنها 13٪ از برنامه‌ها تعاریف مشخصی از عدالت و برابری ارائه داده‌اند و بیش از 90٪ فاقد فرآیندهای فراگیر برای اجرا هستند. مقاله تأکید دارد که زیرساخت‌های سبز شهری می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک کند، اما برای دستیابی به این اهداف، برنامه‌ریزی شهری باید فراگیرتر و مشارکتی‌تر باشد. فاركاس^۴ و همکاران (2023) در بررسی روند پژوهش‌های مربوط به فضای سبز شهری در سه دهه گذشته پرداختند و نشان دادند که با افزایش شهرنشینی، اهمیت این فضاها در برنامه‌ریزی شهری بیشتر شده است. در ابتدا، مطالعات بر جنگل‌های شهری و جنبه‌های اکولوژیکی متمرکز بودند، اما در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به جنبه‌های اجتماعی مانند عدالت محیطی و دسترسی به فضای سبز معطوف شده است. همچنین، پیشرفت‌های فناوری مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور، و یادگیری ماشین نقش مهمی در تحلیل و مدیریت فضای سبز شهری ایفا کرده‌اند. بابالووا^۵ و همکاران (2024) 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 پرداخته‌اند. 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، اطلس شهری و نقشه خیابان، پیشنهاد می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که دسترسی به پارک‌های دارای امکانات رفاهی تأثیر زیادی بر جذب گروه‌های خاص جمعیت مانند افراد مسن، مادران دارای فرزند، کودکان و افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی دارد. در طول موج گرما، این افراد آسیب‌پذیرترین گروه‌ها هستند. لی و همکاران (2024) 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* داده‌های سنجش از دور، میزان ذخیره کربن در منطقه کایفنگ، چین را ارزیابی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که کل ذخیره کربن فضای سبز شهری 114,389.17 تن است و میانگین ذخیره کربن هر فرد 175.39 کیلوگرم محاسبه شده است. همچنین، حداقل مقیاس مناسب برای نقشه‌برداری ذخیره کربن شهری 0.25 کیلومتر تعیین شده است. لی^۶ و همکاران (2024) 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* داده‌های سنجش از دور، میزان ذخیره کربن در منطقه کایفنگ، چین را ارزیابی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که کل ذخیره کربن فضای سبز شهری 114,389.17 تن است و میانگین ذخیره کربن هر فرد 175.39 کیلوگرم محاسبه شده است. همچنین، حداقل مقیاس مناسب برای نقشه‌برداری ذخیره کربن شهری 0.25 کیلومتر تعیین شده است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که فضای

-
1. Petzold and Mose
 2. Grabowski
 - 3 - Green Infrastructure
 4. Farkas
 5. al'ova
 6. Li

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. بنابراین، برنامه‌ریزی شهری باید علاوه بر بهینه‌سازی ذخیره کربن، به دسترسی عادلانه به فضای سبز نیز توجه کند تا همزمان با کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، کیفیت زندگی شهروندان بهبود یابد. این پژوهش اهمیت برنامه‌ریزی پایدار شهری را در راستای 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 60 درجه و 51 دقیقه و 25 ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی 29 درجه و 30 دقیقه و 45 ثانیه شمالی قرار دارد و ارتفاع شهر از سطح دریا 1378 متر قرار گرفته است (مهندسین مشاور شهر و خانه، 1398: 7). شهر زاهدان دارای پنج منطقه مصوب شهرداری می‌باشد که در حال حاضر دو شهرک (جهاد، قدیر شهر) جهت سربز جمعیت شهری به آن اضافه شده است. محله جهاد شهر و غدیر شهر نیز در حال حاضر نیز از خدمات شهرداری بهره‌مند هستند و برنامه‌ریزان شهری درصدد می‌باشند تا منطقه شهری دیگر را به شهر زاهدان اضافه نمایند. در حال حاضر شهرداری منطقه 2 و 3 خدمات لازم را به ساکنان این مناطق عهده‌دار می‌باشد.



شکل (1) محدوده مورد پژوهش (ترسیم نگارنده)، 1403

داده‌ها و روش شناسی 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 2 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 ($LULC^1$) 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 تأثیری که پوشش سبز بر روی میکرو اقلیم منطقه دارد، ارزش اقتصادی آن از منظر ترسیب یا ذخیره‌سازی کربن نیز بررسی گردید. تحلیل ترسیب کربن با توجه به شرایط موجود صورت گرفته و نقش پوشش گیاهی در جذب و ذخیره کربن محاسبه شده است.

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^2 و تکنیک‌های تحلیلی مناسب مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا بتوان به نتایج دقیقی در باره‌ی وضعیت مطلوبیت پوشش گیاهی و دسترسی به کاربری‌های شهری دست یافت. در این پژوهش، برای تشخیص توزیع فضایی وضعیت پوشش گیاهی، از شاخص $NDVI^3$ استفاده شده است. $NDVI$ به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش از دور، قابلیت شناسایی و تفکیک مناطق گیاهی از غیرگیاهی را داراست و به طور گسترده‌ای در مطالعات شهر، محیطی و کشاورزی به کار می‌رود ($Huang et al, 2021:1$). این داده‌ها در محیط کدنویسی گوگل ارث انجین (GEE^4) پردازش شده‌اند که امکان تجزیه و تحلیل سریع و کارآمد حجم بالای داده‌های فضایی را فراهم می‌آورد ($Zhao et al, 2021:4$).

$$NDVI = \frac{N_{IR}NIR - R_{ed}Red}{N_{IR} + R_{ed}Red}$$

رابطه (1) شاخص $NDVI$

جدول (1) نحوه طبقه بندی شاخص $NDVI$

Range $NDVI$ ⁵	کلاس
0/015	ساختمان
0/14	زمین بایر
0/18	تک درخت خیابانی
0/27	بوته و چمنزار
0/36	پوشش گیاهی کم تراکم
0/74	پوشش گیاهی متراکم

($Sahebjalal et al, 2013: 4616$)

همانطور که پیش‌تر بیان شد جهت ارزش اقتصادی پوشش گیاهی و اهمیت آن در کاهش گرمایش جهانی محیط خرد اقلیمی شهری از مبحث ذخیره سازی کربن بهره گرفته شد. به منظور استخراج ذخیره‌سازی کربن در طبقات مختلف کاربری زمین/پوشش

1 - Land Use / Land Cover

2. Geographic information system

3. Normalized Difference Vegetation Index

4. Google Earth Engine

5. دامنه شاخص سبزی‌نگی

زمین، این پژوهش از مدل $InVEST^1$ 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 2 (با قدرت تفکیک فضایی 10×10 متر، مبنای تحلیل قرار گرفته‌اند (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 (Mather, 1999). سپس، داده‌های مربوط به موجودی ذخیره کربن از منابع معتبر مانند IPCC استخراج شده و به مدل وارد شدند (جدول 2).

جدول 2. مقادیر ذخیره کربن

کد کاربری اراضی	نوع کاربری اراضی	C_{above}	C_{below}	C_{soil}	C_{dead}
0	پوشش گیاهی	13/01	5/5	47/38	0/036
1	آب	0	0	0	0
2	ساخت و سازهای انسانی	3	2	8	1
3	بایر و خاک	0	0	26/67	0
4	سطح مرتفع و سنگی	10	20	10	5

مدل $InVEST$ میزان ذخیره‌سازی کربن را در چهار مخزن اصلی شامل زیست‌توده زنده روی زمین، زیست‌توده زیرزمینی، خاک، و 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 شده و سپس ارزیابی ارزش اقتصادی کربن ذخیره‌شده در سال 2025 محاسبه شده است (لی و همکاران، 2018؛ انصاری قولنجی و همکاران، 1403). در واقع با استفاده از نقشه‌های رستری $LULC$ ، مساحت کل برای هر طبقه کاربری زمین / پوشش زمین محاسبه شده و با شناخت مقدار کربن ذخیره‌شده در هر کاربری، کل مقادیر کربن ذخیره شده در هر نقشه مطابق رابطه زیر به دست می‌آید (لی و همکاران، 2022).

$$C_i = C_{i-above} + C_{i-below} + C_{i-soil} + C_{i-dead} \quad \text{رابطه (2)}$$

$$C_{total} = \sum_{i=1}^m C_i * A_i \quad \text{رابطه (3)}$$

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 A_i نوع $LULC$ و A_i مساحت A_i 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 (3) وضعیت سرانه فضای سبز شهر زاهدان را در دو کلاس پوشش گیاهی برای سال 2024 نشان می‌دهد. بر اساس این متوسط سرانه فضای سبز یا به بیانی پوشش سبز به ازای هر نفر حدود 2/12 است. در مقایسه با استانداردهای مربوطه از مقدار بسیار پایینی برخوردار است. این موضوع در بررسی منطقه‌ای بسیار قابل تبیین‌تر است.

جدول (3) سرانه فضای سبز شهر زاهدان در سال (2024)

عنوان	سال	سرانه به ازای هر نفر (متر مربع)
سرانه فضای سبز (متراکم)	2024	1/56
سرانه فضای سبز (کم تراکم و متراکم)	2024	2/68

بر اساس محاسبات صورت گرفته (جدول 4)، در منطقه (1) بیشترین مساحت به ساختمان‌ها با 2,824,300 متر مربع اختصاص دارد که نشان‌دهنده تمرکز بالای شهری در این منطقه است. زمین‌های بایر نیز با مساحت 10,068,000 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 103,200 متر مربع و سایر پوشش‌ها مانند تک درخت خیابانی و بوته و چمنزار در مجموع 577,900 متر مربع است که نشان‌دهنده کمبود فضای سبز مناسب در این منطقه می‌باشد. در منطقه (2) ساختمان‌ها با مساحت 2,717,600 متر مربع نشان‌دهنده تراکم نسبی متوسط شهری هستند. زمین‌های بایر این منطقه نیز با 9,159,600 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 79,300 متر مربع و سایر پوشش‌های سبز مانند تک درخت خیابانی و بوته و چمنزار مجموعاً 394,300 متر مربع است. منطقه (3) بیشترین سهم خود را به ساختمان‌ها با مساحت 3,156,600 متر مربع اختصاص داده که بیانگر تراکم بالای ساخت‌وساز است. زمین‌های بایر این منطقه با 15,048,300 متر مربع بیشترین مساحت را در میان مناطق دارند و نیاز به توجه ویژه جهت بهبود وضعیت فضای سبز دارند. در زمینه پوشش‌های سبز، مجموع پوشش گیاهی متراکم و کم تراکم تنها 98,200 متر مربع بوده که این مقدار نیز حاکی از کمبود فضای سبز در منطقه است.

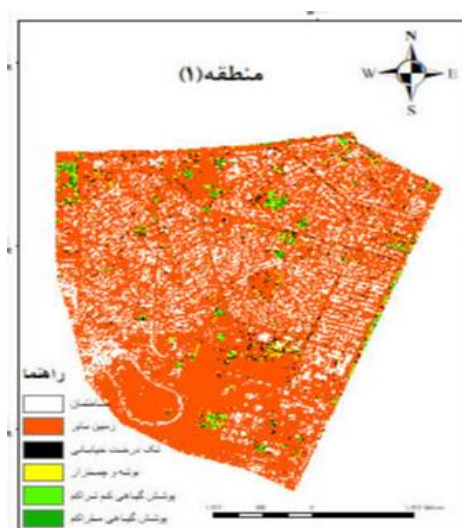
در منطقه (4) ساختمان‌ها با 4,097,000 متر مربع بالاترین سهم مساحت را دارند که نشان‌دهنده تراکم ساخت‌وساز بالا است. زمین‌های بایر این منطقه با 6,769,100 متر مربع بخش قابل توجهی از منطقه را شامل می‌شوند که می‌تواند هدف توسعه فضای سبز باشد. فضای سبز منطقه، با پوشش گیاهی متراکم 258,800 متر مربع، نسبت به سایر مناطق وضعیت بهتری دارد. مجموع سایر پوشش‌های سبز مانند تک درخت خیابانی و بوته و چمنزار حدود 264,400 متر مربع است که همچنان نیازمند بهبود و گسترش است. منطقه (5) بالاترین تراکم ساخت‌وساز را با 9,435,800 متر مربع داراست. زمین‌های بایر نیز با 12,044,500 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 431,600 متر مربع و بوته و چمنزار با مساحت 615,700 متر مربع است که در مقایسه با سایر مناطق از ظرفیت بهتری برخوردار است. جدول زیر نشان‌دهنده مساحت کل فضای سبز (متر مربع) در هر منطقه در شهر زاهدان می‌باشد. جهت درک بهتر از توزیع فضایی کاربری‌های مختلف شکل‌های 2 تا 6 به ترتیب منطقه 1 تا 5 آورده شده است.

جدول (4) مساحت طبقات کاربری شهر زاهدان به تفکیک مناطق پنج گانه (مترمربع)

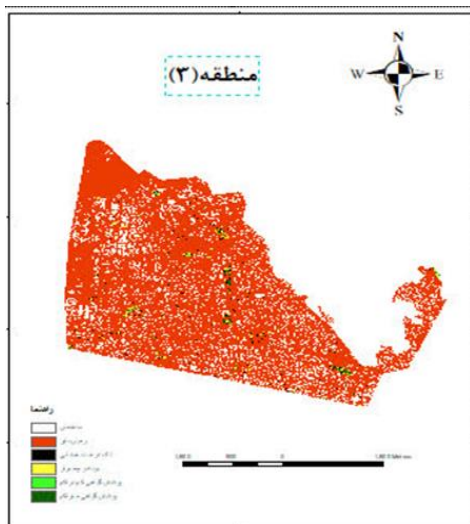
ردیف	کلاس	مساحت (منطقه 1)	مساحت (منطقه 2)	مساحت (منطقه 3)	مساحت (منطقه 4)	مساحت (منطقه 5)
1	ساختمان	2824300	2717600	3156600	4097000	9435800
2	زمین بایر	1006800	915960	1504830	676910	1204450
3	تک درخت خیابانی	290400	194000	125300	92400	473700
4	بوته و چمنزار	287500	200300	125700	101800	615700
5	پوشش گیاهی کم تراکم	126500	79600	53200	69700	327200
6	پوشش گیاهی متراکم	103200	79300	44900	258800	431600



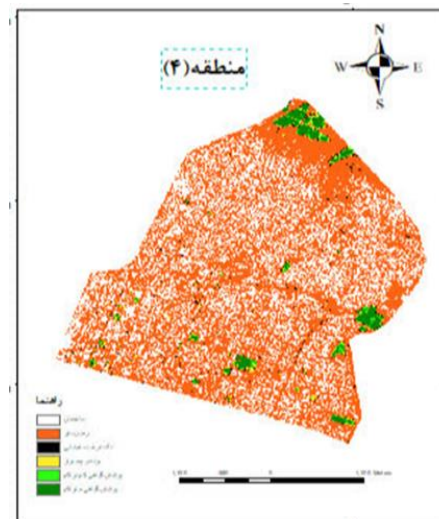
شکل (2) توزیع فضای سبز در منطقه (1)



شکل (3) توزیع فضای سبز در منطقه (2)



شکل (4) توزیع فضای سبز در منطقه (3)



شکل (5) توزیع فضای سبز در منطقه (4)



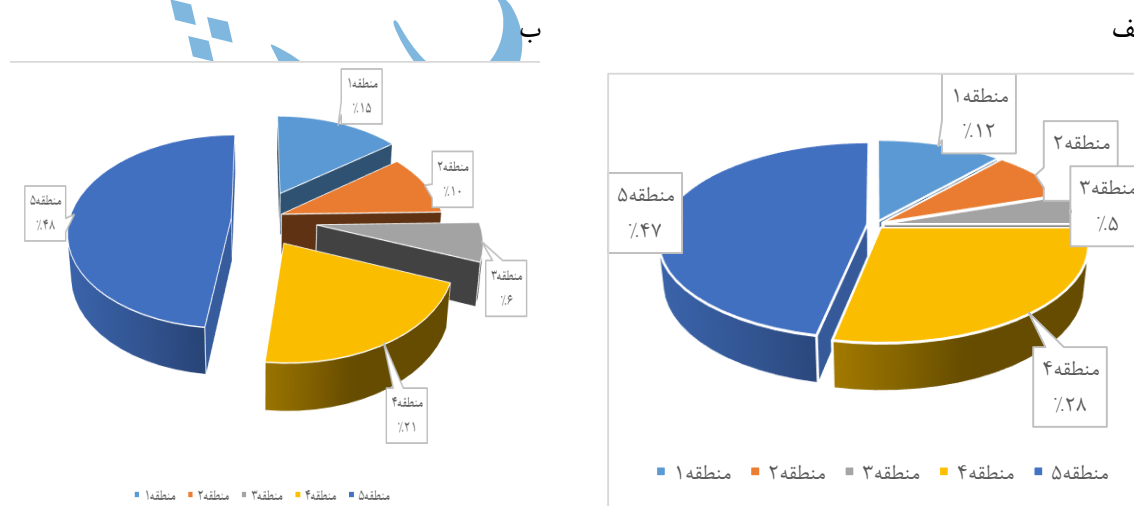
شکل (6) توزیع فضای سبز در منطقه (5)

براساس محاسبات انجام شده برای هریک از مناطق پنجگانه شهر زاهدان و انجام طبقه‌بندی جداگانه برای هر منطقه سرانجام به برآورد سرانه فضای سبز برای هر منطقه پرداخته شد (جدول 5 و شکل 7). نتایج نشان می‌دهد که توزیع فضای سبز در مناطق شهر زاهدان ناموزون بوده 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 5 با $4/12$ متر مربع بهترین وضعیت را دارد، در حالی که منطقه (3) 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 (1) با $1/07$ متر مربع، منطقه (2) با $0/70$ متر مربع و منطقه (4) با $2/27$ متر مربع در وضعیتی میانه قرار می‌گیرند. استانداردهای جهانی فضای سبز برای هر فرد بین 9 تا 12 متر مربع در نظر گرفته می‌شود که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO^1) توصیه شده است. همچنین شهرهای پیشرفته‌ای مانند نیویورک و توکیو سرانه‌ای حدود 23 تا 50 متر مربع دارند. در مقایسه با این استانداردها، زاهدان حتی در بهترین منطقه خود (منطقه 5) نیز فاصله زیادی با حداقل استاندارد جهانی دارد و در محروم‌ترین مناطق مانند منطقه (3)، این فاصله به وضعیت بحرانی می‌رسد. این مقایسه

1. Word Health Organization

نشان می‌دهد که زاهدان به 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. به عنوان نمونه، در دبی، یکی از شهرهای خشک جهان، سرانه فضای سبز حدود 13 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 1/8 متر مربع دارد که گرچه بسیار پایین است، اما همچنان از برخی مناطق زاهدان (مانند منطقه 3) بهتر است (Aly and Dimitrijevic, 2022: 9). در ریاض، پایتخت عربستان سعودی، با تلاش برای گسترش طرح‌های سبز، سرانه فضای سبز به حدود 4 متر مربع و در برخی مناطق به 5 متر مربع رسیده است. (Addas, 2020: 5) این مقایسه نشان می‌دهد که 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 5) تنها 4/12 متر مربع است و در بدترین حالت (منطقه 3) به 0/28 متر مربع کاهش می‌یابد، فاصله زیادی با این شهرها دارد و نیازمند برنامه‌های پایدار و مدیریت بهینه منابع آبی برای توسعه فضای سبز است.



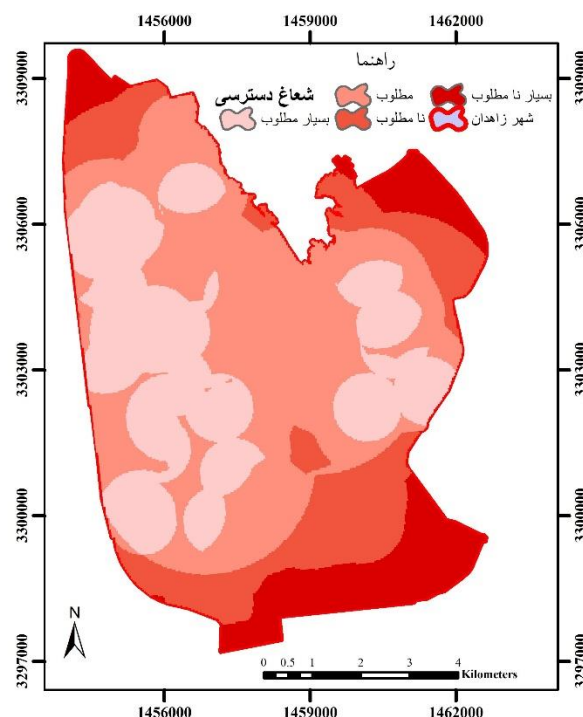
شکل (7) درصد سرانه هر منطقه بر اساس پوشش گیاهی متراکم (الف) و پوشش گیاهی متراکم و کم تراکم (ب)

جدول (5) درصد سرانه فضای سبز به تفکیک هر منطقه

منطقه	سرانه براساس جمع پوشش گیاهی متراکم و کم تراکم	سرانه بر اساس پوشش گیاهی متراکم
1	2/38	1/07
2	1/41	0/70
3	0/62	0/28
4	2/88	2/27
5	7/27	4/12

شعاع دسترسی پارک‌های شهر زاهدان

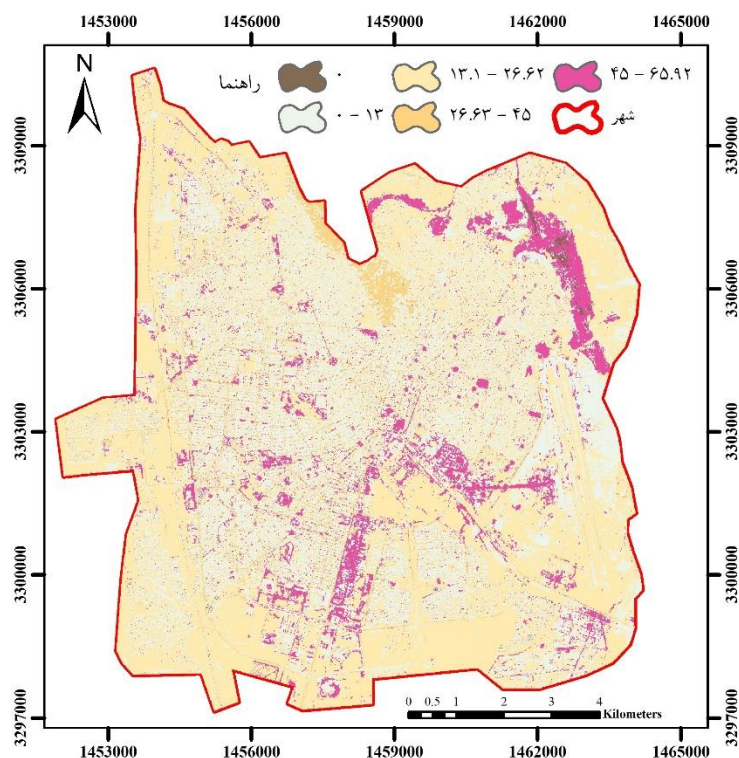
در مطالعات برنامه‌ریزی شهری، پارک‌ها بر اساس مقیاس و شعاع دسترسی دسته‌بندی می‌شوند. برای شهر زاهدان، تحلیل‌های مربوط به دسترسی به پارک‌های شهری در سه مقیاس محله‌ای، ناحیه‌ای، و منطقه‌ای در محیط GIS انجام شده و نقشه‌های مربوطه طراحی شده‌اند. بر اساس این بررسی‌ها، پارک‌های محله‌ای مساحتی بین 4 تا 5 هزار مترمربع داشته و شعاع دسترسی آن‌ها بین 300 تا 500 متر است. پارک‌های ناحیه‌ای با مساحتی بین 4 تا 8 هزار مترمربع و شعاع دسترسی 650 تا 750 متر قرار می‌گیرند. در نهایت، پارک‌های منطقه‌ای با مساحتی بیش از 8 هزار مترمربع و شعاع دسترسی بیش از 750 متر دسته‌بندی شده‌اند. این استانداردها که بر اساس مطالعات ضرابی و همکاران (1392) ارائه شده‌اند، به تحلیل بهینه دسترسی شهروندان به فضای سبز و ایجاد تعادل در توزیع این فضاها کمک می‌کنند (فصیحی و همکاران، 1399: 5). نکته مهم و قابل توجهی که در بررسی میدانی پارک‌های شهر زاهدان وجود دارد این است که بسیاری از پارک‌هایی که در شکل (8) نمایش داده شده اند فاقد پوشش گیاهی بوده و فقط شکل فیزیکی پارک و جایگاه پارک مشخص شده است.



شکل (8) شعاع دسترسی به پارک‌های محلی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای در شهر زاهدان

ترسیب کربن و ارزش خدمت اکوسیستمی پوشش گیاهی

یکی از چالش‌های قرن بیست و یکم رشد شهرنشینی است و این مساله 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 مکملی در تحقق پایداری محیط‌زیستی ایفا می‌کند (جهان‌داری و همکاران، 1401). لذا 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 نقشه‌ی نهایی ذخیره کربن به دست آمد مقادیر ذخیره کربن از مجموع تمام منابع ذکر شده، در شکل 9 نمایش داده شده است. کمینه و بیشینه موجودی کربن در شهر زاهدان در دامنه‌ی حدود 0 تا 66 تن در هکتار قرار دارد و میانگین موجودی کربن حدود 33 تن در هکتار است. شکل 10 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 مکان‌های که پوشش گیاهی اعم از فضای سبز، مرتع، فضای سبز هست توان ذخیره کربن نیز بیشتر است. جدول (6) در این باره اطلاعات بیشتری مبتنی بر مساحت کل شهر زاهدان ارائه می‌دهد. بر این اساس مجموع ذخیره کربن در منطقه را حدود 210922 تن محاسبه نموده است که به طور متوسط برای همه کاربری‌ها بیش از 18 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 مختلفی 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، در حالی که در کشورهایی مانند اوکراین، مکزیک و لهستان این قیمت کمتر از ۱ دلار است. میانگین جهانی قیمت کربن حدود 20/11 دلار آمریکا در هر تن متریک تخمین زده شده است.



شکل (9): نقشه ذخیره کل کربن شهر زاهدان

جدول 7. مقادیر ذخیره کل کربن در شهر زاهدان (تن در هکتار)

طبقات	مقادیر ذخیره کربن	مساحت به مترمربع	مساحت به هکتار	درصد از مساحت کل	مقدار کل ظرفیت ذخیره کربن (تن)
1	0	300700	30/07	0/26	0
2	0 - 13	45055400	4505/54	39/64	29286/01
3	13 - 26	49592900	4959/29	43/64	96706/16
4	26 - 44	8970500	897/05	7/89	31396/75
5	44 - 66	9733300	973/33	8/56	53533/15
جمع		113652800	11365/28	100	210922/06

بحث و نتیجه گیری

توزیع فضای سبز در شهر زاهدان در سال 2024 نشان‌دهنده کمبود جدی و توزیع نامتوازن این منابع در سطح شهر است. کل فضای سبز متراکم زاهدان 916100 متر مربع برآورد شده که به ازای هر نفر سرانه‌ای معادل 56/1 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 گرفته است. طبق جدول (4و3) و شکل (5)، منطقه 3 دارای 44900 متر مربع فضای سبز متراکم با سرانه‌ای معادل

0/28 متر مربع به ازای هر نفر است. این مقدار نشان‌دهنده محرومیت شدید این منطقه است. در مقابل، منطقه 5 با 431600 متر مربع فضای سبز و سرانه‌ای معادل 4/12 متر مربع به ازای هر نفر، بهترین وضعیت را دارد. این تفاوت تا حد زیادی به وجود دانشگاه سیستان و بلوچستان در منطقه 5 و جمعیت بیشتر منطقه 3، که عمدتاً حاشیه‌نشین هستند، مربوط است. سرانه فضای سبز سایر مناطق نیز نشان‌دهنده نابرابری در توزیع است:

- منطقه (1): 1/07 متر مربع
- منطقه (2): 0/70 متر مربع
- منطقه (4): 2/27 متر مربع

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که وضعیت فضای سبز شهر زاهدان مطلوب نیست. با توجه به جمعیت شهر، 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 در راستای توسعه فضای سبز این گونه مکان‌ها اقدام شود. این موضوع نه تنها ارزش روانی و بهداشتی برای ساکنین شهر دارد همچنین از دیدگاه اکولوژی شهری و یا به بیانی از نگاه خدمات اکوسیستمی دارای ارزش تنظیم اقلیم نیز دارد. 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 کاشته 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 بادبزی 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 (کارپوبروتوس)، گل یخ بندانگشتی آبتیلا، پتنتیلا، فرانکنیا و ...) و گل فصلی و دائمی (ابری نقره ای میمون اطلسی، قرنفل شب بو رعنا زیبا، آهار و ...) است (نارویی و همکاران، 1398). نارویی و همکاران (1398) در مطالعه‌ی موردی در دانشگاه سیستان و بلوچستان گستردگی این گونه‌ها و تنوع کارکردهایشان مورد بررسی دقیق قرار داده است. این فضاهای سبز به کاهش ردپای کربن شهری کمک کرده و با جذب و ذخیره کربن، تأثیر مهمی در بهبود کیفیت هوا و مقابله با تغییرات اقلیمی دارند (انصاری قولنجی و همکاران 1403؛ Dadhich et al, 2023). به طوری که بر اساس بخش مدل‌سازی مشخص گردید که بیشتر میزان ذخیره کربن مربوط به گیاه است که با توجه به اینکه از میزان کمی در منطقه برخوردار بوده است ولی می‌تواند ارزش اکوسیستمی مطلوبی باشد و این منظور با پوشش گیاهی مناسب همراستا گردد بسیار مطلوب‌ترین می‌گردد. نتایج این بخش از پژوهش با پژوهش‌های پیشین مانند محمدیاری (1402) و لیدن و همکاران، 2020 همراستا می‌باشد. 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 می‌نماید. 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، کاهش آلودگی هوا و مقابله با تغییر اقلیمی محسوب می‌شود.

منابع و ماخذ:

1. احمدتوزه، واحد (1392). بررسی و تحلیل عدالت فضایی شهر در سقز، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، استاد راهنما: دکتر کرامت الله زیاری، دانشگاه تهران.
2. اذانی، مهری، احمدزاده، مصطفی و قاسمی، احمد (1390). مکان‌یابی فضاهای گذران اوقات فراغت با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهر فیروزآباد)، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا، 2(2)، 99-116.
3. انصاری قولنجی، رقیه؛ شمسی پور، علی اکبر و شجاع، فائزه. (1403). محاسبه میزان ظرفیت ذخیره کربن در شهری با اقلیم سرد و کوهستانی مطالعه موردی: شهر و پیرا شهر ارومیه. مجله شهر پایدار، 2(2)، 4.
4. بهمن‌پور، هومن و سلاجقه، بهرنگ (1389). گونه‌های گیاهی سازگار با آب و هوای شهر تهران. ماهنامه شهرداری‌ها، 9(95)، 94-98.
5. حاتمی نژاد، حسین، فرهودی، رحمت الله و محمد پورجایری، مرتضی (1387). تحلیل نابرابری اجتماعی در برخورداری از کاربری های خدمات شهری مطالعه موردی: شهر اسفراین، انتشارات پژوهش های جغرافیای انسانی، شماره 3 (65) 99-116.
6. جهاننداری، جاوید؛ حجازی، رخشاد؛ جوزی، سید علی و مرادی، عباس (1401). 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، 2(4)، 91-106.
7. خراسانی، نعمت الله (1382). ویژگی‌های اکولوژیک برخی از درختان مناسب برای کاشت در تهران، انتشارات سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران.
8. شبلینگ، ژاک (1385). جغرافیا چیست؟ ترجمه دکتر سیروس سهامی، انتشارات گیسوم.
9. شمسی‌پور، علی اکبر (1401). نگاشت اقلیم شهر و توصیه‌های برنامه ریزی (مروری بر تجارب جهانی). انتشارات دانشگاه تهران.
10. فصیحی، شماعی، آذرخش (2020). تحلیل دسترسی به بوستان‌های شهری با رویکرد عدالت فضایی (نمونه مطالعه: شهر ایلام). برنامه ریزی فضایی، 10(2)، 105-118.
11. محمودزاده حسن، عسکر نژاد، رقیه و رضازاده، زهرا (1395). تحلیل توزیع فضای سبز شهری با رویکرد عدالت فضایی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، مجله پژوهش های جغرافیایی برنامه ریزی شهری 4(4)، 691-715.
12. نارویی، بهروز؛ معرب، یاسر و دارایی، حسن (1398). ارزیابی مؤلفه های تأثیرگذار بر تاب‌آوری الگوی کشت فضاهای سبز شهری در مناطق گرم و خشک (مورد شناسی: شهر زاهدان)، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری-منطقه ای 10(34) 23-44.
13. محمدیاری، فاطمه (1402). ارزیابی آثار تغییرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستم بر اساس مدل *InVEST* (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). آمایش سرزمین. آمایش سرزمین، 15 (2)
14. Addas, A., and 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.
15. Agyeman J. (2005). Sustainable Communities and the Challenge of Environmental Justice. New York: NYU Press.

16. Agyeman, J., Schlosberg, D., Craven, L., and 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.
17. Ahmadtozeh, V. (2013). Analysis of spatial justice in the city of Saqqez (Master's thesis, University of Tehran). Supervisor: Dr. Keramatollah Ziari. (In Persian).
18. Aly, D., and Dimitrijevic, B. (2022). Public green space quantity and distribution in Cairo, Egypt. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 15.
19. Ansari-Goleji, R. , Shamsipour, A. and 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).
20. Azani, M., Ahmadzadeh, M., and Ghasemi, A. (2011). Locating recreational spaces using GIS (Case study: Firouzabad city). *Geography Scientific-Research Quarterly*, 2(2), 99-116. (In Persian).
21. Bahmanpour, H., and Salajegheh, B. (2010). Plant species adapted to Tehran's climate. *Municipalities Monthly*, 95. (In Persian).
22. Barbosa, O., Tratalos, J. A., Armsworth, P. R., Davies, R. G., Fuller, R. A., Johnson, P., and Gaston, K. J. (2007). Who benefits from access to green space? [1](#) A case study from Sheffield, UK. *Landscape and Urban Planning*, 83(2–3), 187-195.
23. 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>.
24. Bilgili, B. C., and Gökyer, E. (2012). Urban green space system planning. *Landscape planning*, 360.
25. Bobáľová, H., Falt'an, V., Benová, A., Kožuch, M., Kotianová, M., and 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.
26. Chen, Q., Zhong, C., Jing, C., Li, Y., Cao, B., and 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.
27. Chunxia Wu et al ,(2008): "A method for locating potential tree-planting sites in urban areas:A case study of Los ngeles", USA, *Urban Forestry and Urban Greening* 7, p.p 65–76.

28. Dadhich, P., Malav, A., and 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
29. Dai, D. (2011) Racial/ethnic and Socioeconomic Disparities in Urban Green Space Accessibility: Where to Intervene? *Landscape and Urban Planning*, 102, 234-244.
30. Farkas, J. Z., Hoyk, E., de Moraes, M. B., and Csomós, G. (2023). A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 9(2).
31. Fasihei, Shamaei, and Azarakhsh. (2020). Analysis of access to urban parks with a spatial justice approach (Case study: Ilam city). *Spatial Planning*, 10(2), 105-118. (In Persian).
32. Frank, L.D, (2010): "The built environment and human activity patterns: Exploring the impact of urban form on public health", *Journal of planning literature*, p.p 218-202.
33. Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Rojas-Rueda, D., Plasència, A., and Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Residential green spaces and mortality: A systematic review. *Environment International*, 86, 60-67.
34. Grabowski, Z. J., McPhearson, T., and Pickett, S. T. (2023). Transforming US urban green infrastructure planning to address equity. *Landscape and Urban Planning*, 229, 104591.
35. Hadman, Richard and Yazovsky, André (2022), "The Basics of Urban Design", Razieh Reza Zadeh and Mostafa Abbaszadegan, Science and Technology University Press, Third Edition.
36. Haines, A., and 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.
37. Hataminejad, H., Farhudi, R., and 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).
38. Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., and 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.
39. IPCC, (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
40. Jahandari, J. , Hejazi, R. , Jozi, S. A. and 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).
41. Jennings, V., Browning, M. H., Rigolon, A., Jennings, V., Browning, M. H., and 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.
 42. Jimmy, D. W. (2019). The Kyoto research park and innovation in Japanese cities. *Urban Geography*, 29(5), 411-450.
 43. 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).
 44. Kothencz, G., Kolcsár, R., Cabrera-Barona, P., and Szilassi, P. (2017). Urban green space perception and its contribution to well-being. *International journal of environmental research and public health*, 14(7), 766.
 45. Krellenberg, K., Artmann, M., Stanley, C., and 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>.
 46. Kuang, W., Hou, Y., Dou, Y., Lu, D., and Yang, S. (2021). Mapping global urban impervious surface and green space fractions using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(20), 4187.
 47. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–7.
 48. Li, N., Deng, L., Yan, G., Cao, M., and 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),
 49. Li, P., and Wang, Z.-H. (2021). Environmental co-benefits of urban greening for mitigating heat and carbon emissions. *Journal of Environmental Management*, 293, 112963.
 50. 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>
 51. 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.
 52. Liang, H., and 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.

53. 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>
54. 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.
55. Mahmoudzadeh, H., Askarnajad, R., and 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).
56. Mather, A.S. (1999). Land Use and Cover Change. *Land Use Policy*, 16, 143.
57. Mitchell, R., Popham, F. (2007). Greenspace, urbanity and health: Relationships in England. *J Epidemiol Community Health* 2007, 61(8):681-683.
58. 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).
59. Narooei, B. , Moareb, Y. and 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).
60. Nguyen, P. Y., Astell-Burt, T., Rahimi-Ardabili, H., and Feng, X. (2021). Green space quality and health: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 18(21), 11028.
61. Petzold, J., and Mose, L. (2023). Urban greening as a response to climate-related heat risk: A Social–Geographical Review. *Sustainability*, 15(6), 4996.
62. Richardson, E. A., Pearce, J., Mitchell, R., and Kingham, S. (2013). Role of physical activity in the relationship between urban green space and health. *Public health*, 127(4), 318-324.
63. Richardson, E., Pearce, J., Mitchell, R., Day, P., and 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>
64. Sahebjalal, E., and 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.
65. Scheibling, J. (2006). What is geography? (Siroos Sahami, Trans.). Mohaqqueq Publications. 197p. (In Persian).

66. Shamsipour, A. A. (2022). Urban climate mapping and planning recommendations (A review of global experiences). University of Tehran Press. (In Persian).
67. Sugathan, S. (2018). Research on the Potential of Photovoltaic Technologies in Reducing Energy Consumption in an Urban Mixed Use Residential Community. A Case Study for Net Zero Energy Community in Dubai, UAE (Master's thesis, The British University in Dubai).
68. United Nations Environment Programme. (2019). Green Cities Report. New York: UNEP
69. United Nations, (2019). World Urbanization Prospects - the 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs, New York.
70. 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.
71. 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>.
72. World Health Organization. (2016). Urban green spaces and health: a review of evidence. World Health Organization: Copenhagen, Denmark.
73. Wu, J., He, Q., Chen, Y., Lin, J., and 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.
74. 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>
75. Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., and Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778.