



Spatial Justice Analysis of Urban Green Space Distribution and Its Overlap with Carbon Monoxide Pollution in Neighborhoods of Tabriz Metropolis

Iraj Teymuri¹  , Parinaz Badamchizadeh² , Ali Oskouee Aras³ 

1. (Corresponding Author) *Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Email: iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir

2. *Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Email: parinaz.badamchizadeh@tabrizu.ac.ir

3. *Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Email: ali.oskouee.aras@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article History:

Received:

6 July 2025

Received in revised form:

10 October 2025

Accepted:

19 November 2025

Available online:

23 December 2025

Keywords:

*Spatial Justice,
Urban Green Space,
Carbon Monoxide,
Air Pollution,
Cluster Analysis,
Tabriz Metropolis.*

ABSTRACT

The present study aims to analyze spatial inequality in the distribution of urban parks and its co-occurrence with CO pollution hotspots at the neighborhood level in the metropolis of Tabriz. The research data include the area of 238 urban parks, the population of 97 neighborhoods, the NDVI index derived from Sentinel-2 (2024), and the cumulative concentration of CO from Sentinel-5P (2019–2024). Data analysis was conducted using the Lorenz curve, the Gini coefficient calculated via the trapezoidal numerical integration method, global and local Moran's I statistics, and Lee's L-index spatial correlation index within ArcGIS Pro and Excel environments. The Gini coefficient for green space was calculated as 0/7066, indicating extreme inequality, while the Gini coefficient for population distribution was 0/1965, reflecting a relatively balanced dispersion. Only 10% of neighborhoods account for half of the total park area in the city. The spatial distribution pattern of both NDVI and CO indices was identified as clustered (global Moran's I values of 0/94 and 0/98, respectively, significant at the 0/01 level). Lee's L-index identified neighborhoods with "double deprivation" (low vegetation and high pollution – LH class) primarily in the central and densely built-up areas of the city (including Bazar, Valiasr, Monajjem, and Khatib). Northwestern neighborhoods (Gharamalek, Shahrak-e Emam, and the vicinity of the airport) fell into the HH category (high vegetation coupled with high pollution), while neighborhoods such as Roshdiyeh were classified as HL (high vegetation and low pollution – a desirable environmental condition). The results indicate that spatial justice in Tabriz faces a serious challenge, and a deep gap exists between population distribution and green space allocation. Central neighborhoods and deteriorated urban fabrics are identified as critical dual hotspots (deprived of green space and exposed to high pollution).

Citation: Teymuri, I., Badamchizadeh, P., & Oskouee Aras, A. (2025). Spatial Justice Analysis of Urban Green Space Distribution and Its Overlap with Carbon Monoxide Pollution in Neighborhoods of Tabriz Metropolis. *Journal of Geography and Spatial Development*, 2 (4), 55-70.
<http://doi.org/10.22098/gsd.2026.19494.1122>



Extended Abstract

Introduction

Urban environmental justice has emerged as a critical concern in rapidly developing cities, especially in contexts where spatial inequality intersects with ecological vulnerability. In Iranian metropolises such as Tabriz, the uneven distribution of urban green space and disproportionate exposure to air pollutants like carbon monoxide (CO) reflect deep-rooted disparities in urban planning and resource allocation. Green spaces are not merely aesthetic or recreational assets; they serve as vital ecological infrastructures that regulate microclimates, absorb pollutants, and promote physical and mental well-being. However, when access to these spaces is skewed across neighborhoods, it raises pressing questions about spatial justice and the right to a healthy urban environment. This study investigates the spatial distribution of urban green space in Tabriz and examines its correlation with CO pollution levels across neighborhoods. By integrating remote sensing data, spatial statistical techniques, and inequality metrics, the research aims to identify patterns of environmental injustice and propose a replicable framework for urban equity analysis.

Methodology

The study adopts a multi-layered analytical approach combining geospatial analysis, statistical modeling, and environmental assessment. Data sources include: Population data from the latest national census, aggregated at the neighborhood level. Land-use maps identifying urban parks and green infrastructure. Sentinel-2 satellite imagery for calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a proxy for green space density. Sentinel-5P satellite data for measuring carbon monoxide (CO) concentrations as an indicator of urban air pollution.

To assess inequality in green space distribution, the Lorenz curve and Gini coefficient were employed. These metrics quantify the degree of concentration and disparity in green space allocation relative to population distribution. Spatial autocorrelation was analyzed using Global

Moran's I and Local Moran's I, which detect clustering patterns and spatial outliers. Additionally, Lee's L-index was used to examine the spatial association between NDVI and CO levels, offering insight into the co-location of vegetation and pollution. All spatial analyses were conducted in ArcGIS Pro, supplemented by statistical validation in R and Python environments to ensure reproducibility and robustness.

Results and Discussion

The results reveal stark disparities in the distribution of green space across Tabriz neighborhoods. Specifically: Only 10% of neighborhoods account for over 50% of the city's total green space, indicating a highly concentrated allocation. The Gini coefficient for green space was calculated at 0.7066, signifying severe inequality. In contrast, the Gini coefficient for population was 0.1965, suggesting a relatively balanced demographic spread. NDVI analysis showed that vegetation cover is clustered and uneven, with significant variation between peripheral and central districts. CO pollution data also exhibited spatial clustering, with elevated concentrations in densely populated central areas and industrial zones. Spatial correlation analysis using Lee's L-index identified distinct zones of environmental injustice: HH zones (High NDVI, High CO) were found in the northwestern neighborhoods and areas near the airport, indicating green space presence but high pollution exposure—possibly due to traffic and industrial activity. LH zones (Low NDVI, High CO) were concentrated in central urban districts, where population density is high, vegetation is scarce, and pollution levels are elevated. These areas represent critical hotspots of spatial and environmental vulnerability.

The juxtaposition of green space scarcity and pollution exposure in central neighborhoods underscores a compounded form of environmental injustice. Residents in these areas not only lack access to ecological benefits but are also disproportionately burdened by health risks associated with air pollution. The findings challenge conventional urban planning

paradigms that prioritize aesthetic greening in affluent districts while neglecting the ecological needs of marginalized communities. Moreover, the significant spatial association between NDVI and CO levels suggests that vegetation cover may play a role in modulating pollution concentrations. However, the presence of HH zones indicates that green space alone is insufficient to mitigate pollution in areas with high vehicular or industrial emissions. This calls for integrated urban strategies that combine ecological restoration with emission control and equitable resource distribution. The methodological framework—combining remote sensing, spatial statistics, and inequality metrics—demonstrates a scalable and adaptable approach for assessing spatial justice in other urban contexts. It also highlights the importance of using context-sensitive indicators that reflect local climatic, cultural, and infrastructural realities rather than relying solely on global benchmarks.

Conclusion

This study provides a comprehensive analysis of spatial justice in urban green space distribution and pollution exposure in Tabriz. The findings reveal a dual burden of ecological deprivation and environmental risk in specific neighborhoods, emphasizing the need for data-driven, equity-oriented urban planning. Policymakers should prioritize interventions in LH zones, where residents face the greatest environmental and health challenges. By integrating satellite data, spatial analysis, and inequality assessment, the research offers a replicable model for diagnosing urban environmental injustice. Future studies should expand this framework to include other pollutants, socio-economic indicators, and longitudinal data to capture temporal dynamics of urban inequality. Ultimately, achieving spatial justice requires not only technical precision but also a commitment to inclusive and sustainable urban governance.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



تحلیل عدالت فضایی در توزیع فضای سبز و همپوشانی آن با آلاینده‌گی مونوکسید کربن در محلات کلان‌شهر تبریز

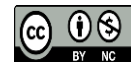
ایرج تیموری^۱، پریناز بادامچی زاده^۳، علی اسکویی ارس^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir
 ۲- گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: parinaz.badamchizadeh@tabrizu.ac.ir
 ۳- گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: ali.oskouee.aras@tabrizu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>پژوهش حاضر با هدف تحلیل نابرابری فضایی در توزیع پارک‌های شهری و هم‌مکانی آن با کانون‌های آلودگی CO در سطح محلات کلان‌شهر تبریز انجام شده است. داده‌های پژوهش شامل مساحت ۲۳۸ پارک شهری، جمعیت ۹۷ محله، شاخص NDVI از سنتینل ۲ (۲۰۲۴) و غلظت تجمعی CO از سنتینل ۵ (۲۰۲۴-۲۰۱۹) است. برای تحلیل داده‌ها از منحنی لورنز، ضریب جینی به روش دوزنقه‌ای، آماره موران جهانی و محلی، و شاخص Lee's L-index در ArcGIS Pro و Excel استفاده شد. ضریب جینی فضای سبز برابر ۰/۷۰۶۶ محاسبه شد که نشان‌دهنده نابرابری بسیار شدید است، درحالی‌که ضریب جینی جمعیت ۰/۱۹۶۵ بیانگر پراکندگی نسبتاً متعادل است. تنها ۱۰ درصد از محلات، مالک نیمی از مساحت پارک‌های شهر هستند. الگوی توزیع هردو شاخص NDVI و CO خوشه‌ای تشخیص داده شد (موران جهانی به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۸، معنادار در سطح ۰/۰۱). شاخص Lee's L-index محلات دارای «محرومیت مضاعف» (پوشش گیاهی پایین و آلودگی بالا - طبقه LH) را در بافت مرکزی و پرتراکم شهر (بازار، ولیعصر، منجم، خطیب) شناسایی کرد. محلات شمال غربی (قرامک، شهرک امام، اطراف فرودگاه) در وضعیت HH (پوشش گیاهی بالا همراه با آلودگی بالا) و محلاتی نظیر رشیدیه در وضعیت HL (پوشش گیاهی بالا و آلودگی پایین - وضعیت مطلوب) قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد عدالت فضایی در تبریز با چالش مواجه است و شکاف عمیقی بین توزیع جمعیت و تخصیص فضای سبز وجود دارد. محلات مرکزی و بافت‌های فرسوده به‌عنوان کانون‌های بحرانی دوگانه (محرومیت از فضای سبز و مواجهه با آلودگی بالا) شناسایی شدند.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸</p> <p>تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲</p> <p>واژگان کلیدی: عدالت فضایی، فضای سبز شهری، مونوکسید کربن، آلودگی هوا، تحلیل خوشه‌ای، کلان‌شهر تبریز</p>

استناد: تیموری، ایرج؛ بادامچی زاده، پریناز و اسکویی ارس، علی. (۱۴۰۴). تحلیل عدالت فضایی در توزیع فضای سبز و همپوشانی آن با آلاینده‌گی مونوکسید کربن در محلات کلان‌شهر تبریز. *مجله جغرافیا و توسعه فضایی*، ۳(۴)، ۷۰-۵۵.

<http://doi.org/10.22098/gsd.2026.19494.1122>



مقدمه

آنچه در گذشته بیشتر در برنامه‌ریزی‌ها مورد تأکید قرار می‌گرفت، عمدتاً مقوله‌هایی نظیر امنیت شهری و ساختارهای فیزیکی و کالبدی بود، اما امروزه شهروندان خواستار توجه به این معیارهای پیشین در کنار مقوله‌های نوظهوری مانند هوای پاک و محیط‌زیست سالم هستند (اسکوئی ارس و حکیمی، ۱۴۰۰: ۱۴۴). در این میان، فضای سبز شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های پاسخگو به این مطالبات نوین، نقشی کلیدی در ارتقای کیفیت زندگی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش تاب‌آوری شهری ایفا می‌کند. سازمان جهانی بهداشت نیز با تأکید بر اهمیت دسترسی روزمره به فضای سبز، آن را با بهبود سلامت روان، کاهش بیماری‌های قلبی و افزایش تعاملات اجتماعی مرتبط دانسته است (WHO, 2020). با این حال، توزیع فضایی فضای سبز در شهرها اغلب خوشه‌ای و نامنظم است و برخی مناطق از دسترسی کافی محروم‌اند. این نابرابری افزون بر پیامدهای زیست‌محیطی، به تشدید شکاف‌های اجتماعی و کاهش سرمایه اجتماعی می‌انجامد (Grinspan et al., 2020; He et al., 2020). کلان‌شهر تبریز نیز از این قاعده مستثنی نبوده و پراکنش نامتوازن فضای سبز از چالش‌های اصلی آن است.

مطالعات داخلی متعددی به این موضوع پرداخته‌اند. حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) در آمل نشان دادند توزیع نامناسب پارک‌ها رضایت شهروندان را کاهش داده است. شریف‌زاده‌اقدم و قدسی (۱۴۰۰) در زنجان با شاخص موران، وجود نواحی کاملاً فاقد فضای سبز را تأیید کردند. طهماسبی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۰) در سبزوار، تمرکز پارک‌ها در شرق و کمبود شدید در غرب را آشکار ساختند. رسولی و همکاران (۱۴۰۳) در منطقه ۱۰ تهران نشان دادند که کمتر از ۳۰٪ فضای سبز در وضعیت مطلوب قرار دارد. در سطح کلان‌شهرها، قاسمی و همکاران (۲۰۲۲) مناطق ۱۰ و ۱۱ تهران را محروم‌ترین از نظر دسترسی به فضای سبز معرفی کردند و زیاری و زبردست (۲۰۲۴) با مدل ترکیبی $F'ANP$ به نابرابری بالای کمیّت فضای سبز در تهران اشاره کردند. در سطح بین‌المللی، لو^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در ۲۶۳ شهر چین نشان دادند رشد تولید ناخالص داخلی و جمعیت، عدالت فضایی را افزایش می‌دهد اما مهاجرت داخلی آن را کاهش می‌دهد. فانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۵) در شیکاگو با روش SFCA^۳ و ضریب جینی، نابرابری بالای دسترسی را گزارش کرده و نقش شیوه حمل‌ونقل را برجسته ساختند. در حوزه پیوند فضای سبز و آلودگی، لی^۳ و همکاران (۲۰۲۵) در شنژن^۴ نشان دادند اقلیت‌ها و کودکان بیشتر در معرض گرمای شدید هستند و فضای سبز نسبت به فضاهای آبی مؤثرتر است. یانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۵) در مرور ۱۰۲ شهر جهانی، چارچوبی برای برنامه‌ریزی اقلیمی ارائه دادند. جالکانن^۶ و همکاران (۲۰۲۵) در هلسینکی^۷ ناهماهنگی بین حفاظت از تنوع زیستی و اهداف تفریحی را آشکار ساختند. روی^۸ (۲۰۲۵) در نانجینگ^۹ نشان داد سالمندان، اقلیت‌ها و کم‌درآمدها در معرض نابرابری مضاعف هستند. لیو^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۵) در چنگدو^{۱۱} بهبود نسبی دسترسی اما توزیع نامتعادل فضای سبز را تأیید کردند. یازار و یورک^{۱۲} (۲۰۲۳) در استانبول نقش کنش جمعی را در مقاومت در برابر توسعه نابرابر برجسته ساختند.

1. Lu
2. Fang
3. Lee
4. Shenzhen
5. Yang
6. Jalkanen
7. Helsinki
8. Rui
9. Nanjing
10. Liu
11. Chengdu
12. Yazar & York

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که همپوشانی احتمالی بین توزیع فضاهای سبز و کانون‌های آلودگی در شهرها کمتر مورد توجه پژوهشگران داخلی قرار گرفته است. به عبارت دیگر، آیا محلاتی که از فضای سبز محروم‌اند، همان محلاتی هستند که ساکنانشان آلودگی بیشتری تنفس می‌کنند؟ پاسخ به این پرسش می‌تواند ابعاد تازه‌ای از نابرابری فضایی را در شهر آشکار کند. پژوهش حاضر دو هدف اصلی را دنبال می‌کند اول: بررسی الگوی فضایی توزیع پارک‌ها و آلودگی مونوکسید کربن در کلان‌شهر تبریز، دوم: احتمال همپوشانی آلودگی مونوکسید کربن با شاخص NDVI. هم‌راستا با پژوهش‌های پیشین، از سه جهت مطالعه این پژوهش می‌تواند مهم باشد: نخست، تحلیل در مقیاس محلات شهری تبریز انجام می‌شود که امکان شناسایی نابرابری‌های خردمقیاس را فراهم می‌کند. دوم، برای سنجش عدالت فضایی از نمودار لورنز^۱ و محاسبه ضریب جینی با روش انتگرال‌گیری عددی دوزنقه‌ای استفاده شده که رویکردی ریاضیاتی، شفاف و قابل تکرار است که در مطالعات پیشین نحوه محاسبه آن فرق دارد. سوم، با استخراج داده‌های تجمع فصلی مونوکسید کربن از تصاویر Sentinel-5P در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ و تحلیل همبستگی فضایی آن با شاخص NDVI، پیوند میان عدالت فضایی و آلودگی مونوکسید کربن در سطح محلات بررسی می‌شود. که امکان شناسایی محلات دارای "محرومیت مضاعف" (دسترسی پایین به فضای سبز و آلودگی بالا) را فراهم کرده و از منظر عدالت اقلیمی نیز حائز اهمیت است.

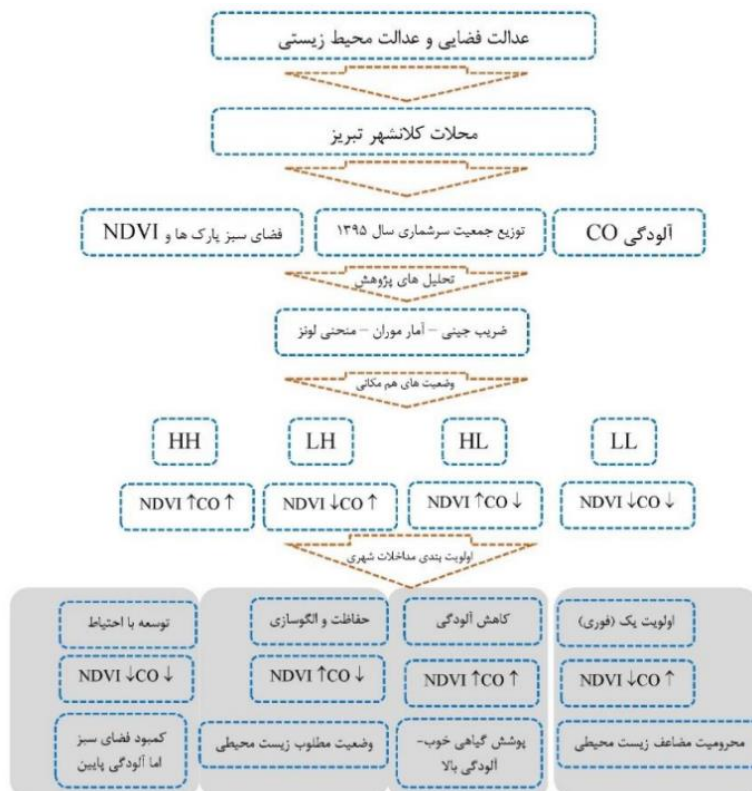
مبانی نظری

شهرها در ادبیات معاصر به‌عنوان زیست‌بوم‌های پیچیده‌ای شناخته می‌شوند که عناصر کالبدی، اجتماعی و زیست‌محیطی در آن‌ها با یکدیگر تعامل دارند و کیفیت زندگی شهروندان را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند. فضای سبز شهری در این میان نه تنها به‌عنوان کاربری زمین، بلکه به‌مثابه زیرساختی عملکردی برای تحقق عدالت محیطی، تاب‌آوری اقلیمی و ارتقای سرمایه اجتماعی شناخته می‌شود. پژوهش‌های نوین نشان داده‌اند که دسترسی عادلانه و روزمره به فضای سبز شهری با شاخص‌های متعدد سلامت جسمی و روانی از جمله کاهش اضطراب، بهبود عملکرد شناختی و افزایش تعاملات اجتماعی ارتباط معناداری دارد (Jennings et al., 2020). با رشد سریع شهرنشینی و فشار بر اراضی قابل توسعه، بسیاری از مناطق شهری با بحران کمبود فضای سبز مواجه شده‌اند؛ وضعیتی که به تشدید جزایر گرمایی، کاهش کیفیت زیست‌محیطی و گسست اجتماعی منجر گردیده است (Breed et al, 2024). در ادبیات معاصر، فضای سبز شهری فراتر از کاربری تفریحی یا زیباسازانه، به‌عنوان زیرساختی چندمنظوره در توسعه پایدار، سلامت عمومی و عدالت اجتماعی شناخته می‌شود. از منظر اکولوژیکی، این فضاها نقش مؤثری در کاهش آلودگی هوا، تنظیم دمای شهری، حفظ تنوع زیستی و کنترل روان آب ایفا می‌کنند (Breed et al, 2024; UN-Habitat, 2025). در بُعد اجتماعی نیز فضای سبز بستری برای تعاملات روزمره، افزایش سرمایه اجتماعی و تقویت حس تعلق به مکان فراهم می‌سازد (Grinspan et al., 2020). این فضاها به‌ویژه در مناطق کم‌برخوردار می‌توانند به کاهش طرد فضایی و ارتقاء مشارکت مدنی کمک کنند. باوجود این، نابرابری در توزیع فضایی فضای سبز یکی از چالش‌های بنیادین در برنامه‌ریزی شهری باقی‌مانده است. مطالعات نشان می‌دهند که گروه‌های کم‌درآمد، اقلیت‌های نژادی، سالمندان و کودکان اغلب از دسترسی کافی به فضای سبز محروم‌اند (He et al., 2020؛ قنبری و همکاران، ۱۴۰۳). از سوی دیگر، نابرابری در توزیع فضایی فضای سبز، به‌ویژه اقشار آسیب‌پذیر مانند کودکان، سالمندان و گروه‌های کم‌درآمد را تحت تأثیر قرار داده و

عدالت فضایی را با چالش مواجه ساخته است (Grinspan et al., 2020; He et al., 2020). از دیدگاه علم فضایی (با ریشه‌های پوزیتیویستی)، عدالت فضایی بر توزیع منصفانه خدمات محیطی و دسترسی برابر به فرصت‌های زیست‌محیطی تأکید دارد. در این چارچوب، شاخص‌های کمی مانند فاصله، شعاع دسترسی، ضریب جینی و تحلیل نقاط داغ در GIS به کار می‌روند و فرض بر این است که با بهینه‌سازی توزیع خدمات می‌توان به عدالت دست یافت (Baučić et al., 2020). در مقابل، رویکرد انتقادی (برگرفته از مارکسیسم، فمینیسم و پسا ساختارگرایی) عدالت را نه یک وضعیت توزیعی، بلکه یک فرآیند اجتماعی - فضایی می‌داند که در بستر روابط قدرت و سرمایه‌داری تولید می‌شود (Harvey, 1973; Soja, 2010). از این منظر، نابرابری در دسترسی به فضای سبز بازتابی از روندهای تاریخی، تبعیض نظام‌مند و سیاست‌های نئولیبرال است. بنابراین، عدالت فضایی در رویکرد انتقادی شامل سه بعد اصلی است: عدالت توزیعی (مشترک با رویکرد پوزیتیویستی): توزیع عادلانه امکانات و خدمات. عدالت فرایندی: تأکید بر فرآیندهای مشارکتی و دموکراتیک در تصمیم‌گیری؛ نه فقط نتیجه، بلکه چگونگی رسیدن به آن باید عادلانه باشد (Fainstein, 2010). عدالت شناسایی: توجه به گروه‌هایی که به‌طور نظام‌مند به حاشیه رانده شده‌اند و صدایشان شنیده نمی‌شود؛ عدالت مستلزم جبران این حذف‌های تاریخی است (Fraser, 2008).

در رویکرد انتقادی، استفاده صرف از شاخص‌های کمی کافی نیست؛ باید پرسید چه فرآیندهایی به نابرابری انجامیده، کدام گروه‌های قدرت از آن سود می‌برند، و چگونه می‌توان ساختارهای مولد نابرابری را دگرگون کرد. در این دیدگاه، فضاهای سبز به‌عنوان میدان‌های مبارزه و کنش جمعی برای «حق به شهر» دیده می‌شوند (Yazar & York, 2023). روش‌شناسی انتقادی عمدتاً کیفی (مردم‌نگاری، تحلیل گفتمان، پژوهش مشارکتی) است. اما در پژوهش حاضر، به دلیل ماهیت موضوع (همپوشانی فضایی آلودگی CO با توزیع فضای سبز و مساحت پارک‌ها در سطح محلات) که نیاز به کمی‌کردن الگوهای عینی، اندازه‌گیری شدت نابرابری و شناسایی نقاط داغ مکانی به‌صورت دقیق و قابل تکرار دارد، از رویکرد پوزیتیویستی و ابزارهای آن (منحنی لورنز، ضریب جینی، موران، شاخص Lee's L-index) در GIS استفاده شده است. به‌عبارت‌دیگر، به دلیل قابلیت بالای شاخص‌های کمی در عینیت‌بخشی، مقایسه‌پذیری و دقت مکانی، این پژوهش پارادایم پوزیتیویستی را مبنای کار خود قرار می‌دهد.

عدالت فضایی در توزیع فضای سبز دارای دو بُعد افقی (برابری بین مناطق) و عمودی (توجه به گروه‌های آسیب‌پذیر) است. ابزارهایی مانند ضریب جینی، تحلیل نقاط داغ و مدل‌های چندمعیاره در GIS برای سنجش آن مؤثرند (Baučić et al., 2020: 407). برنامه‌ریزی فضای سبز باید بر اساس سلسله‌مراتب عملکردی (همسایگی تا منطقه‌ای) و هم‌خوان با شعاع دسترسی و ویژگی‌های جمعیتی باشد (UN-Habitat, 2025). طراحی پارک‌های چندمنظوره (فرهنگی، اقلیمی، درمانی) بهره‌وری و رضایت را افزایش می‌دهد (بادامچی زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Szczepańska et al., 2022). فناوری‌های نوین مانند تصاویر ماهواره‌ای و هوش مصنوعی، تحلیل الگوهای فضایی و مکان‌یابی بهینه را ممکن ساخته‌اند (Baučić et al., 2020). در مجموع، فضای سبز زیرساختی اجتماعی - اکولوژیکی برای کاهش نابرابری و زیست‌پذیری پایدار شهرهاست.



شکل ۱. چارچوب تحلیلی پژوهش

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و با رویکرد کمی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی است. محدوده مورد مطالعه، کلان‌شهر تبریز در سطح ۱۲۲ محله شهری (مطابق آخرین تقسیمات شهرداری) می‌باشد که پس از حذف محلات فاقد سکنه و ادغام برخی واحدهای هم‌جوار، ۹۷ واحد تحلیلی در نظر گرفته شد. داده‌های مورد استفاده شامل چهار دسته اصلی است.

جدول ۱. داده‌های پژوهش

دسته داده	منبع	مشخصات فنی	کاربرد در پژوهش
جمعیت محلات	بلوک‌های آماری سرشماری ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران	تجمع در سطح ۹۷ محله	محاسبه سرانه فضای سبز و ضریب جینی
مساحت پارک‌ها	طرح جامع شهر تبریز (مصوب ۱۳۹۴) - لایه کاربری اراضی	۲۳۸ پارک شهری	محاسبه سرانه فضای سبز و بررسی توزیع فضایی
پوشش گیاهی (NDVI)	تصاویر ماهواره سنتینل-۲ (سال ۲۰۲۴)	تفکیک مکانی ۱۰ متر، میانگین ماه‌های فروردین تا مهر (فصل رشد)	نماینده توزیع فضای سبز متراکم
مونوکسید کربن (CO)	تصاویر ماهواره سنتینل-۵ (TROPOMI) بازه ۲۰۱۹-۲۰۲۴	تفکیک مکانی ۰/۵ درجه قوسی (۵۵~ کیلومتر)، مقادیر تجمعی فصلی بر حسب mol/m^2	نماینده آلودگی هوای شهری با منشأ ترافیکی و صنعتی

لازم به ذکر است که تصاویر مونوکسید کربن (CO) دریافتی از سنجنده (TROPOMI) ماهواره سنتینل-۵، در سامانه گوگل ارث انجین با اعمال کد نویسی و نمونه‌گیری مجدد (Resampling) به سل سایز ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر (در سیستم تصویر جغرافیایی WGS84 معادل ۰/۰۴۴۹۱ درجه) تبدیل شدند. همچنین تصاویر شاخص NDVI حاصل از

سنیتیل-۲، با سل سایز ۰/۰۰۰۰۸۹۸ درجه (معادل تقریباً ۱۰ متر در سیستم متریک) در همان سیستم WGS84 مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

الف) سنجش نابرابری توزیع فضای سبز: منحنی لورنز و ضریب جینی

برای اندازه‌گیری میزان نابرابری در توزیع مساحت پارک‌ها نسبت به جمعیت، از منحنی لورنز و ضریب جینی استفاده شد. محور افقی منحنی درصد تجمعی جمعیت و محور عمودی درصد تجمعی مساحت پارک‌ها است. خط ۴۵ درجه نشان‌دهنده وضعیت برابری کامل است و هرچه منحنی لورنز از این خط فاصله بگیرد، نابرابری بیشتر است. ضریب جینی از نسبت مساحت بین منحنی لورنز و خط برابری به کل مساحت زیرخط برابری محاسبه می‌شود.

در این پژوهش، ضریب جینی به روش انتگرال‌گیری عددی ذوزنقه‌ای محاسبه گردید. بازه [۰, ۱۰۰] به ۱۰۰ زیر بازه مساوی ($N = 100$) تقسیم شد. فرمول مورد استفاده به صورت زیر است:

$$\int_a^b f(x) dx \quad (۱)$$

برای حل این انتگرال به روش عددی، بازه $[a, b]$ به n قسمت مساوی تقسیم می‌شود تا مقدار h از رابطه زیر به دست آید:

$$h = \frac{(b - a)}{n}$$

در نهایت جواب انتگرال به روش ذوزنقه‌ای از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \left(\frac{h}{2}\right) * [f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (۳)$$

که در آن $h = (b - a)/n$ و $f(x)$ تابع چندجمله‌ای درجه دوم برازش شده بر منحنی لورنز است (درجه دوم بر اساس کمترین RMSE انتخاب شد). انتخاب روش ذوزنقه‌ای به دلیل سادگی محاسبات، کفایت ۱۰۰ زیر بازه برای دقت مورد نظر و اجتناب از پیچیدگی‌های غیرضروری روش‌های مرتبه بالاتر بود. استفاده از ضریب جینی محدودیت‌های نیز دارد به طوری که این روش نابرابری‌های درون محله‌ای و کیفیت دسترسی پیاده را نادیده می‌گیرد و صرفاً به برخورداری محلات اکتفا می‌کند در این پژوهش به دلیل در دسترس نبودن لایه معابر استاندارد و تحلیل شبکه دسترسی (شعاع ۳۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ متر)، از شاخص سرانه مبتنی بر مساحت تجمعی پارک در سطح محله استفاده شد.

ب) تحلیل الگوی فضایی: آماره موران

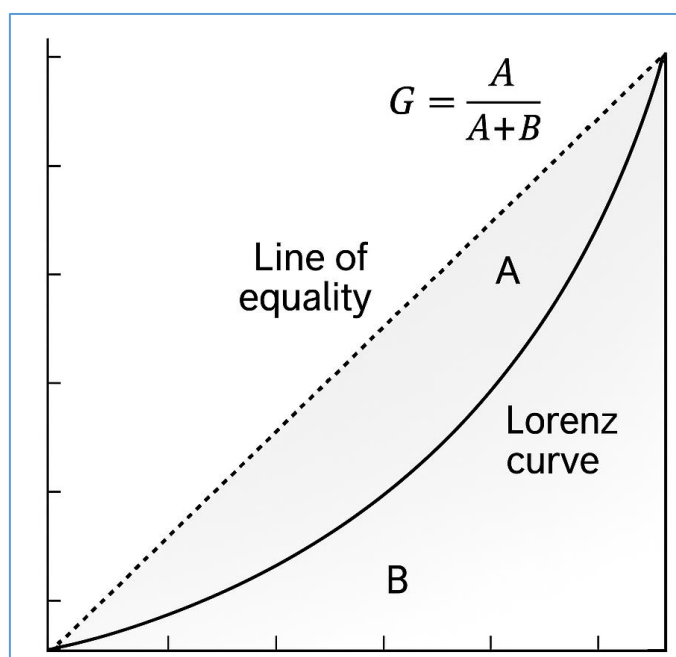
برای بررسی الگوی توزیع فضایی NDVI (در سطح محلات) و غلظت CO (در سطح پیکسل‌های درشت) از آماره موران جهانی و محلی استفاده شد. ماتریس وزن فضایی بر اساس مجاورت درجه یک (Queen contiguity) تعریف گردید. معناداری آماری با روش تست جایگشت^۱ در محیط نرم‌افزاری آرک جی آی اس پرو ارزیابی شد. در این تحلیل مقدار موران نزدیک به +۱ نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای، نزدیک به -۱ نشان‌دهنده پراکندگی و نزدیک به صفر نشان‌دهنده تصادفی بودن توزیع است.

ج) همبستگی فضایی دو متغیره: شاخص Lee's L-index

برای بررسی هم‌مکانی فضایی (اینکه دو پدیده مختلف در فضا در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند) بین پوشش گیاهی (NDVI) و آلودگی هوا (CO)، از شاخص Lee's L-index استفاده گردید. این شاخص برخلاف همبستگی خطی پیرسون، ساختار همسایگی و مجاورت فضایی را در نظر می‌گیرد. تحلیل‌های مربوط به این شاخص نیز در محیط نرم‌افزاری آرک جی آی اس پرو انجام گرفت. خروجی شاخص، چهار طبقه فضایی زیر را مشخص می‌کند:

❖ NDVI: HH (High-High): بالا و CO بالا - پوشش گیاهی مناسب اما آلودگی زیاد
 ❖ NDVI: HL (High-Low): بالا و CO پایین - وضعیت مطلوب زیست‌محیطی
 ❖ NDVI: LH (Low-High): پایین و CO بالا - محرومیت مضاعف (اولویت اول مداخله)
 ❖ NDVI: LL (Low-Low): پایین و CO پایین - کمبود فضای سبز اما آلودگی کمتر

با توجه به تفاوت قدرت تفکیک مکانی تصاویر (سل سایز نهایی NDVI معادل ۱۰ متر و سل سایز نهایی CO معادل ۵۰۰×۵۰۰ متر)، مقادیر هر دو متغیر در سطح ۹۷ واحد تحلیل (محلات شهری) میانگین‌گیری گردید. بدین صورت که با استفاده از فرمان (Extract by Polygons) در آرک جی آی اس پرو، برای هر محله، میانگین تمام پیکسل‌های NDVI واقع در آن محله و نیز میانگین تمام پیکسل‌های CO واقع در آن محله محاسبه گردید. بدین ترتیب یک جدول داده با ۹۷ رکورد (هر رکورد شامل میانگین NDVI و میانگین CO یک محله) تشکیل شد.

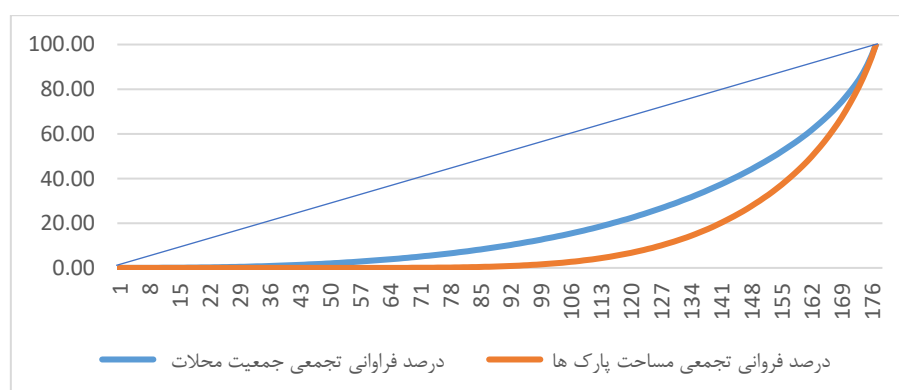


شکل ۲. نحوه محاسبه ضریب جینی به روش هندسی

پژوهش حاضر به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های تفکیک‌شده، فاقد اطلاعات مربوط به متغیرهای (تراکم و حجم ترافیک در سطح معابر اصلی، موقعیت و نوع کاربری‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی، توپوگرافی و الگوی جریان باد، شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی (درآمد خانوار، نرخ بیکاری و...)) در سطح محله است این متغیرها می‌توانستند به‌عنوان عوامل مداخله‌گر یا علی در نظر گرفته شوند. بنابراین، هیچ‌گونه ادعای علی (مانند «به دلیل قیمت زمین» یا «به دلیل تمرکز گروه‌های پردرآمد») در این پژوهش مطرح نمی‌شود. یافته‌ها صرفاً به توصیف همبستگی‌ها و الگوهای فضایی محدود هستند و هرگونه تعبیر علی نیازمند پژوهش‌های تکمیلی با مدل‌های رگرسیونی چند سطحی (مانند رگرسیون وزنی جغرافیایی یا مدل‌های فضایی لاگ) می‌باشد. تمامی تحلیل‌های فضایی در محیط آرک جی آی اس پرو نسخه ۳.۱ و محاسبات عددی در نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹ انجام گرفت.

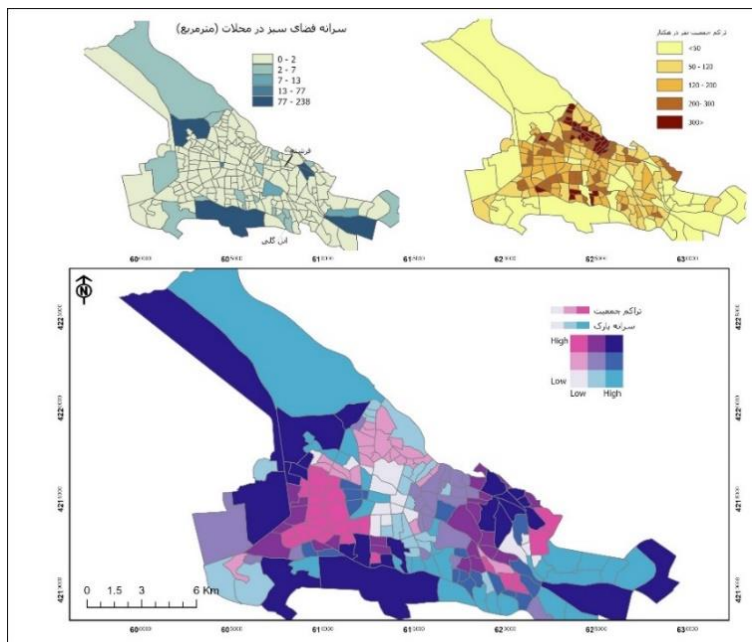
یافته‌ها

برای سنجش میزان نابرابری در توزیع فضای سبز شهری، ابتدا منحنی لورنز با استفاده از درصد تجمعی جمعیت و درصد تجمعی مساحت پارک‌ها در سطح ۹۷ محله شهر تبریز ترسیم شد (شکل ۳). همان‌طور که شکل زیر نشان می‌دهد، تنها ۱۰ درصد از محلات شهر تبریز حدود ۵۰ درصد از کل مساحت پارک‌ها را در اختیار دارند که بیانگر تمرکز شدید فضای سبز در تعداد محدودی از محلات است. با استفاده از روش انتگرال‌گیری عددی ذوزنقه‌ای (روابط ۱ تا ۳)، ضریب جینی برای توزیع پارک‌ها برابر با $0/7066$ محاسبه شد. این مقدار نشان‌دهنده نابرابری بسیار شدید در توزیع فضای سبز در سطح محلات شهری تبریز است. در مقابل، ضریب جینی توزیع جمعیت در سطح محلات برابر با $0/1965$ به دست آمد که حاکی از توزیع نسبتاً متعادل جمعیت در سطح شهر است. به عبارت دیگر، درحالی‌که جمعیت به صورت متوازن در محلات پراکنده شده، امکانات و خدمات مرتبط با فضای سبز از الگوی عادلانه‌ای پیروی نمی‌کند.



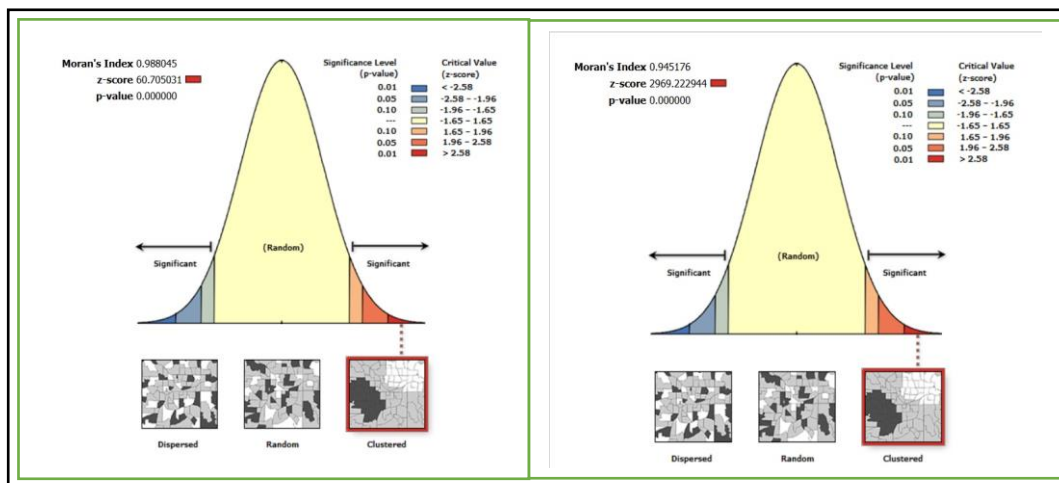
شکل ۳. منحنی لورنز توزیع مساحت پارک‌ها در مقابل جمعیت محلات کلان‌شهر تبریز

در شکل (۳)، توزیع فضایی سرانه فضای سبز و تراکم جمعیت در سطح محلات تبریز به همراه تحلیل ترکیبی این دو شاخص نمایش داده شده است. بر اساس یافته‌ها، بالاترین سرانه فضای سبز در محلات ائل‌گلی، الهیه، فرشته، رجائی‌شهر و زعفرانیه مشاهده می‌شود که در بخش شمال شرقی شهر متمرکز شده‌اند. در مجموع، ۱۹ محله از ۹۷ محله شهر (حدود ۲۰ درصد) از وضعیت مطلوب سرانه فضای سبز برخوردارند که عمدتاً به دلیل وجود پارک‌های بزرگ شهری در این محلات است. از سوی دیگر، بیشترین تراکم جمعیت در محلات مرکزی و برخی محلات پرتراکم حاشیه‌ای مشاهده می‌شود. محلات فرشته و شهرک امام با تراکم جمعیتی بالای ۱۵۰ نفر در هکتار از پرتراکم‌ترین محلات شهر محسوب می‌شوند. تحلیل ترکیبی این دو شاخص نشان می‌دهد که تنها ۱۲ محله در شرایطی قرار دارند که یا تراکم جمعیت بالا دارند یا سرانه فضای سبز بالا (HH)، در واقع هم‌پوشانی (محلات با تراکم بالا و سرانه بالای فضای سبز) بسیار کم است. همچنین تعداد ۲۱ محله نیز در شرایط تراکم جمعیتی پایین و سرانه فضای سبز بالا (LH) بودند. البته باید در نظر داشت که داده‌های جمعیتی مربوط به سال ۱۳۹۵ می‌باشد و به احتمال زیاد این وضعیت الان تغییر کرده است.



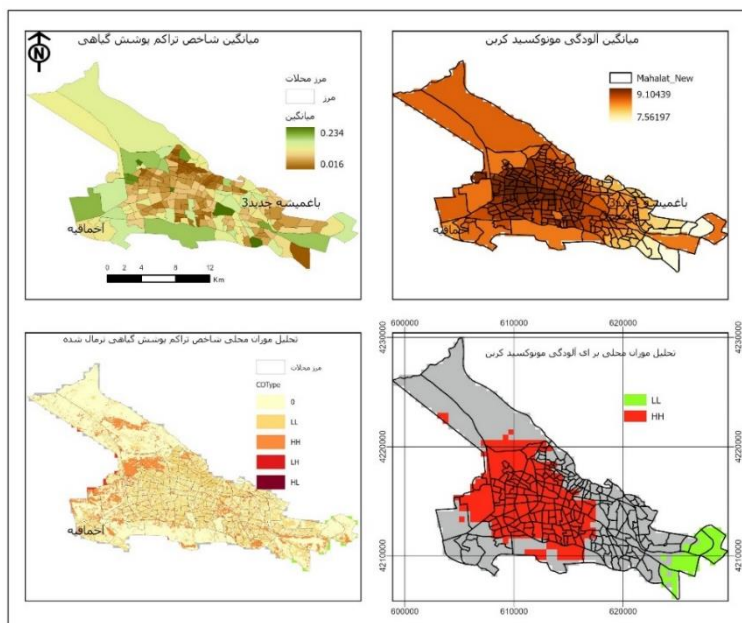
شکل ۴. تحلیل فضایی سرنانه فضای سبز، تراکم جمعیت و وضعیت ترکیبی در محلات کلان‌شهر تبریز

برای بررسی دقیق‌تر توزیع فضای سبز و ارتباط آن با آلودگی هوا، از شاخص NDVI (برگرفته از تصاویر سنتینل ۲) و داده‌های غلظت مونوکسید کربن (برگرفته از تصاویر سنتینل ۵) استفاده شد. نتایج آماره موران جهانی (شکل ۵) نشان می‌دهد که توزیع فضایی هر دو شاخص از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند و توزیع نرمال (تصادفی) ندارند. این یافته با نتایج حاصل از تحلیل پارک‌ها (که نشان‌دهنده تمرکز فضای سبز در محلات خاصی بود) همخوانی دارد.



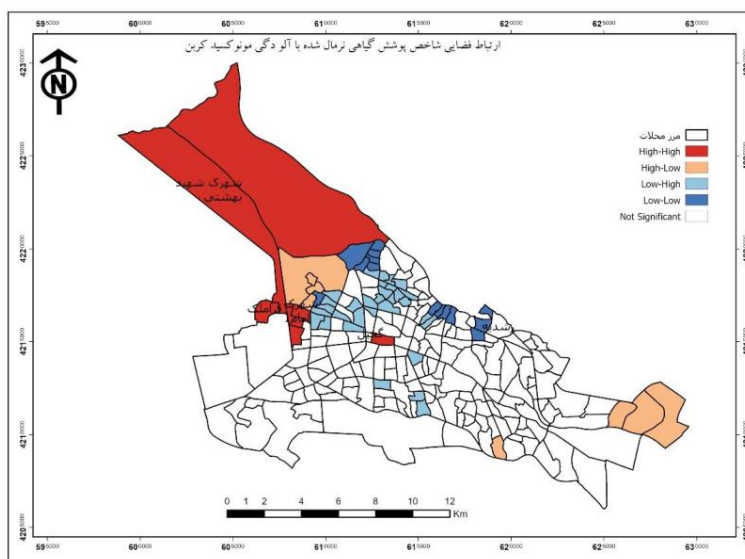
شکل ۵. آماره موران جهانی برای شاخص NDVI (راست) و غلظت CO (چپ)

تحلیل موران محلی (شکل ۵) الگوی خوشه‌بندی این دو شاخص را در سطح محلات نشان می‌دهد. آماره موران جهانی برای NDVI در سطح محلات برابر با ۰/۹۴ (معنادار در سطح ۰/۰۱) و برای CO در سطح پیکسل‌های درشت برابر با ۰/۹۸ (معنادار در سطح ۰/۰۱) محاسبه گردید. هر دو مقدار نشان‌دهنده الگوی توزیع خوشه‌ای هستند؛ یعنی مقادیر بالا و پایین هر شاخص به‌صورت متمرکز در فضا قرار گرفته‌اند.



شکل ۶. الگوی محلی توزیع فضایی شاخص NDVI و غلظت CO در سطح محلات کلان‌شهر تبریز

برای درک ارتباط فضایی بین پوشش گیاهی و آلودگی هوا، از شاخص همبستگی فضایی Lee's L-index استفاده شد. یافته‌های این تحلیل در شکل (۶) و جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۷. همبستگی فضایی بین شاخص NDVI و غلظت CO در سطح محلات کلان‌شهر تبریز

همان‌طوری که شکل (۷) نیز نشان می‌دهد شدت ارتباط فضایی در محلات شمال غربی شامل قرامک، شهرک امام و اطراف فرودگاه تبریز بالا می‌باشد. این هم‌مکانی مثبت را می‌توان به وجود پوشش گیاهی نسبتاً مناسب (باغات باقی‌مانده) در کنار منابع آلاینده (فرودگاه، ترافیک سنگین و برخی فعالیت‌های صنعتی) نسبت داد. با این حال، از آنجاکه داده‌های تفکیک‌شده از ترافیک و صنایع در دسترس نبود، این تفسیر به‌عنوان فرضیه‌ای برای آزمون در پژوهش‌های آینده مطرح می‌شود و نتیجه قطعی نیست. و در بخش مرکزی شهری فقط در اطراف پارک گلستان باغی (محل گجیل) این رابطه حالت (HH) را دارد. در محله‌هایی نظیر ولی امیر، باغمیشه ۲، یوسف‌آباد و مناطقی که به رنگ آبی تیره نشان

داده شده این رابطه حالت (LL) را دارند. یعنی در وضعیت (پوشش گیاهی پایین و آلودگی پایین) قرار دارند که نشان دهنده مناطق کم سبز اما با آلودگی کمتر است. اما محلاتی که به رنگ آبی روشن (LH) در شکل دیده می‌شوند. محلاتی هستند که شاخص NDVI در آن پایین و شاخص آلودگی مونوکسید کربن بالایی را دارند. محلاتی نظیر خلیل آباد، ۴۲ متری، قره‌آغاچ، شربت‌زاده، مفتاح، امیرقیز، آخونی، حکم‌آباد، بهار، دوه‌چی، طالقانی، مارالان، جزو این قبیل محلات می‌باشند. این وضعیت نشان‌دهنده محرومیت مضاعف در این محلات می‌باشد. رنگ نارنجی در شکل به محلات با تراکم بالای فضای سبز و آلودگی پایین مونوکسید کربن اشاره دارد. نواحی را با توجه به رنگ می‌توان به شکل جدول (۲) تفسیر کرد.

جدول ۲. تفسیر وضعیت‌های همبستگی فضای NDVI و CO

رنگ	طبقه	تفسیر
قرمز ●	High-High (HH)	نواحی با NDVI بالا و CO بالا - پوشش گیاهی مناسب اما آلودگی زیاد
نارنجی ■	High-Low (HL)	نواحی با NDVI بالا و CO پایین - وضعیت مطلوب زیست‌محیطی
آبی روشن ●	Low-High (LH)	نواحی با NDVI پایین و CO بالا - محرومیت مضاعف (اولویت اول مداخله)
آبی تیره ◆	Low-Low (LL)	نواحی با NDVI پایین و CO پایین - کمبود فضای سبز اما آلودگی کمتر
سفید ○	Not Significant	همبستگی فضایی معنادار نیست

بحث

پژوهش حاضر با هدف تحلیل الگوی فضایی توزیع فضای سبز شهری و ارزیابی هم‌مکانی آن با آلودگی مونوکسید کربن در کلان‌شهر تبریز انجام شد. یافته‌های پژوهش در قالب سه دسته نتیجه اصلی قابل جمع‌بندی است. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده نابرابری شدید در توزیع فضایی فضای سبز شهری در کلان‌شهر تبریز است، به طوری که تنها ۱۰ درصد از محلات شهری مالک نیمی از کل پارک‌ها و فضاهای سبز شهر هستند. ضریب جینی ۰/۷۰۶۶ برای توزیع پارک‌ها در مقابل ضریب جینی ۰/۱۹۶۵ برای توزیع جمعیت، شکاف عمیقی را بین نیاز جمعیتی و تخصیص منابع زیست‌محیطی آشکار می‌سازد. بر اساس یافته‌ها، محلاتی مانند ائل‌گلی، الهیه، فرشته و رجائی‌شهر از سرانه فضای سبز مطلوبی برخوردارند که عمدتاً ناشی از استقرار پارک‌های بزرگ شهری در این نواحی است. در مقابل، محله‌هایی نظیر شهرک امام و فرشته با تراکم جمعیتی بسیار بالا و کمبود فضای سبز مواجه‌اند. این تضاد فضایی نه تنها نشان‌دهنده ضعف در مکان‌یابی عملکردی فضاهای سبز، بلکه بیانگر غفلت از شاخص‌های جمعیتی و اجتماعی در برنامه‌ریزی شهری است. این مسئله در مطالعات مشابه در تهران، زنجان، سبزوار و آمل نیز مشاهده شده است (رسولی و همکاران، ۱۴۰۳؛ قاسمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴)، اما شدت نابرابری در تبریز با ضریب جینی ۰/۷۰۶۶ چشمگیرتر به نظر می‌رسد. این یافته مستقل از هرگونه فرضیه علی، یک واقعیت فضایی را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر، تحلیل‌های فضایی با استفاده از آماره موران جهانی و محلی نشان داد که توزیع شاخص NDVI و آلاینده CO در سطح کلان‌شهر تبریز از الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌کند. این یافته با مطالعات بین‌المللی در شهرهای سنژن، شیکاگو و چنگدو هم‌راستا است که بر وجود ناهمبستگی فضایی بین منابع زیست‌محیطی و گروه‌های آسیب‌پذیر تأکید دارند (Lee et al., 2025; Fang et al., 2025; Liu et al., 2025). در کلان‌شهر تبریز نیز نواحی شمال غربی مانند قرامک و اطراف فرودگاه، هم‌زمان دارای NDVI بالا و CO بالا هستند که در این پژوهش وضعیت HH نامیده شد. این وضعیت که در نگاه اول متناقض به نظر می‌رسد، به دلیل مجاورت این محلات با منابع آلاینده (فرودگاه، صنایع

و ترافیک سنگین) از یک سو و وجود پوشش گیاهی نسبتاً مناسب (باغات و فضاهای سبز باقی مانده) از سوی دیگر ایجاد شده است. چنین یافته‌ای نشان می‌دهد که صرف وجود فضای سبز برای کاهش آلودگی کافی نیست و باید به منابع آلاینده نیز توجه جدی معطوف شود.

در مقابل، نواحی با وضعیت NDVI (LH پایین و CO بالا) که عمدتاً در بافت مرکزی و پرتراکم شهر واقع شده‌اند، به‌عنوان نواحی بحرانی و محرومیت مضاعف یعنی محلاتی که سرانه فضای سبز کمتر به همراه وضعیت بد آلودگی مونوکسید کربن را دارا می‌باشند، شناسایی شدند. در ادامه، نواحی با وضعیت LL مانند ولی امر و باغمیشه و برخی محلات شمال شرقی، بودند که هر دو شاخص در این محلات پایین بودند.

تحلیل همبستگی فضایی Lee's L-index نیز نشان داد که رابطه بین NDVI و CO در سطح محلات کلان‌شهر تبریز معنادار و خوشه‌ای است. این تحلیل امکان شناسایی دقیق نواحی با هم‌پوشانی مثبت یا منفی بین پوشش گیاهی و آلودگی را فراهم ساخت که می‌تواند بستری برای تصمیم‌گیری مکان محور در تخصیص منابع، مکان‌یابی پارک‌های جدید و طراحی زیرساخت‌های سبز فراهم کند. یافته‌های این پژوهش در واقع به شناخت و درک ساختار فضایی توزیع فضاهای سبز و مقدار تجمعی آلودگی مونوکسید کربن در کلان‌شهر کمک می‌کند. بهره‌گیری از ابزارهای تحلیل فضایی مانند محیط نرم‌افزار GIS، شاخص‌های آماری چندمتغیره و داده‌های سنجش‌از‌دور، امکان تحلیل دقیق‌تر این نابرابری‌ها و سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد را فراهم می‌سازد. با این حال، تحقق عدالت فضایی مستلزم تغییر نگرش در برنامه‌ریزی شهری از رویکرد کمی صرف به رویکرد عدالت‌محور و مشارکتی است که در آن نیازهای گروه‌های آسیب‌پذیر و توزیع عادلانه خدمات می‌تواند در کانون توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی ساختار فضایی توزیع فضای سبز شهری و ارزیابی همبستگی مکانی آن با آلودگی مونوکسید کربن در کلان‌شهر تبریز انجام شد. رویکرد پژوهش بر تحلیل کمی الگوهای فضایی و کشف رفتار همساز یا ناهمساز دو پدیده پوشش گیاهی (شاخص NDVI) و آلودگی (غلظت تجمعی CO) در سطح محلات شهری استوار بود. یافته‌های پژوهش بیانگر نابرابری شدید در توزیع فضای سبز است؛ به طوری که ضریب جینی محاسبه‌شده برای مساحت پارک‌ها نسبت به جمعیت برابر با ۰/۷۰۶۶ به دست آمد، در حالی که ضریب جینی توزیع جمعیت ۰/۱۹۶۵ بود. این شکاف عمیق نشان می‌دهد که تنها ۱۰ درصد از محلات شهر، مالک نیمی از کل فضای سبز هستند و توزیع جمعیت در مقایسه با توزیع خدمات زیست‌محیطی از الگوی متعادل‌تری پیروی می‌کند. بررسی الگوی فضایی NDVI و CO با استفاده از آماره موران جهانی نشان داد که هر دو متغیر از توزیع خوشه‌ای برخوردارند (به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۸)، معنادار در سطح ۰/۰۱). این بدان معناست که مقادیر بالا و پایین هر شاخص نه به صورت تصادفی، بلکه به صورت متمرکز در فضا جانمایی شده‌اند و ساختار فضایی مشخصی دارند. برای پاسخ به پرسش اصلی پژوهش مبنی بر اینکه آیا پوشش گیاهی و آلودگی مونوکسید کربن در فضا رفتاری مشابه یا ناهمساز از خود نشان می‌دهند، از شاخص همبستگی فضایی Lee's L-index استفاده گردید. نتایج این تحلیل چهار نوع رفتار فضایی را آشکار ساخت. در محلات شمال غربی شهر نظیر قرامک، شهرک امام و اطراف فرودگاه، هر دو شاخص در سطح بالا قرار دارند الگوی (HH) که نشانگر حضور پوشش گیاهی نسبتاً مناسب در مجاورت منابع آلاینده همچون فرودگاه، ترافیک سنگین و فعالیت‌های صنعتی است. در مقابل، محلات بافت مرکزی و پرتراکم شامل خلیل‌آباد، ۴۲ متری، قره‌آغاج، شربت‌زاده، مفتاح، امیرقیز، آخونی، حکم‌آباد، بهار، دوه‌چی، طالقانی و مارالان در وضعیت LH (پوشش گیاهی پایین - آلودگی بالا) قرار دارند که بیانگر محرومیت مضاعف

به لحاظ این دو شاخص مورد مطالعه می‌باشد. و محلاتی نظیر ولی امر، باغمیشه ۲ و یوسف‌آباد در وضعیت LL (پوشش گیاهی پایین - آلودگی پایین) قرار گرفتند که کمبود فضای سبز را همراه با آلودگی کمتر نشان می‌دهد. بر اساس این یافته‌ها، رفتار فضایی NDVI و CO در کلان‌شهر تبریز یکسان و همسو نیست؛ بلکه الگوی غالب در مناطق مرکزی و پرتراکم، ناهمسازی منفی است. در مقابل، محلات شمال غربی با وجود آلودگی بالا از پوشش گیاهی نسبتاً مناسبی برخوردارند که مؤید آن است که صرف وجود فضای سبز برای خنثی‌سازی آلودگی کافی نبوده و کاهش آلودگی در مبدأ ضروری است. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای محلات دارای محرومیت مضاعف (LH) اقداماتی نظیر ایجاد پارک‌های کوچک، ترویج بام و دیوارهای سبز، توسعه حمل‌ونقل پاک و پایش مستمر آلودگی در اولویت قرار گیرد. در محلات HH ضمن حفظ و تقویت پوشش گیاهی موجود، کنترل آلاینده‌های صنعتی و ترافیکی در مبدأ توصیه می‌شود. محلات HL به‌عنوان الگوی مطلوب نیازمند حفاظت از وضعیت موجود بوده و محلات LL نیز توسعه فضای سبز با اولویت متوسط و پیشگیری از ورود منابع آلاینده را طلب می‌کنند.

پژوهش حاضر به دلیل فقدان داده‌های تفکیک‌شده از متغیرهایی نظیر ترافیک، کاربری‌های صنعتی، توپوگرافی، الگوی باد و شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی در سطح محله، صرفاً به توصیف الگوهای همبستگی فضایی بسنده کرده و هیچ ادعای علیتی مطرح نمی‌کند. در مجموع، ساختار فضایی توزیع فضای سبز و آلودگی CO در تبریز آشکارا نابرابر و عمدتاً ناهمساز است. بافت مرکزی و پرتراکم شهر به‌عنوان کانون بحرانی «محرومیت مضاعف» شناسایی شد. بازنگری در سیاست‌های تخصیص فضای سبز با رویکرد عدالت فضایی و توجه توأمان به کاهش آلودگی در مبدأ، پیش‌نیاز دستیابی به توسعه پایدار و زیست‌پذیری فراگیر در این کلان‌شهر می‌باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

اسکوئی ارس، علی؛ و حکیمی، هادی. (۱۴۰۰). سنجش شاخص‌های سرزندگی شهری در سکونتگاه‌های غیررسمی (مطالعه موردی: سیلاب قوشخانه تبریز). *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۹(۱)، ۱۴۳-۱۶۳.

doi: 10.22059/jurbangeo.2021.309948.1363

بادامچی زاده، پرناز؛ سعادت جو، پریا؛ احمدلوی داراب، مجید و کاظمیان، مهیار. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد پوشش گیاهی در برقراری آسایش باد شهری؛ نمونه موردی: پیاده‌راه خیابان امام تبریز. *نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری*

و شهرسازی، ۱۲ (۴)، ۹۶-۱۱۵. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1401.12.4.4.0>

- حاتمی‌نژاد، حسین؛ خادمی، امیرحسین و ضرغام‌فرد، مسلم. (۱۳۹۴). تحلیل توزیع مکانی- فضایی پارک‌های درون‌شهری آمل با رویکرد عدالت اجتماعی. *مطالعات ساختار و کارکرد شهری*، ۳(۱۰)، ۲۹-۵۳.
- رسولی، نسرین؛ ایلانلو، مریم و نکوئی اصفهانی، آزاده. (۱۴۰۳). ارزیابی و برنامه‌ریزی مکانی- فضایی، فضاهای سبز عمومی با استفاده از GIS (منطقه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ تهران). *فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۶(۳)، ۶۴-۸۸.
<https://doi.org/10.71651/GEOGRAPHY.2024.0041821>
- شریف‌زاده اقدم، ابراهیم و قدسی، سیدجلال. (۱۴۰۰). ارزیابی توزیع فضای سبز شهری با استفاده از رویکرد عدالت فضایی در شهر زنجان. *نشریه علوم جغرافیایی*، ۳۵، ۱۴۸-۱۷۰.
- قنبری، ابوالفضل؛ اسکوئی ارس، علی و بادامچی زاده، پریناز. (۱۴۰۳). ارزیابی وضعیت کلان‌شهر تبریز با تأکید بر شاخص‌های شهر دوستدار سالمند در سکونتگاه‌های رسمی و غیررسمی (مطالعه موردی: مناطق ۲، ۸ و ۱۰). *جامعه‌شناسی اقتصادی و توسعه*، ۱۳(۱)، ۲۳۰-۱۹۵. doi: 10.22034/jeds.2024.60738.1798
- طهماسبی‌مقدم، حسین؛ زنگنه، مهدی؛ حیدری، محمدتقی و ایمانی، محمدتقی. (۱۴۰۰). تبیین الگوی توزیع فضایی پارک‌های درون‌شهری با رویکرد عدالت فضایی، منطقه مورد مطالعه: شهر سبزوار. *نشریه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۲۵(۴)، ۳۱-۴۸.
doi: 10.30473/grup.2022.8664

References

- Badamchizadeh, P., Saadatjoo, P., Ahmadlouydarab, M., & Kazemian, M. (2023). Greenery as a Mitigation Strategy for Pedestrian Level Wind Condition in Urban Areas; Case Study: Imam Street in Tabriz. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 12(4), 96-115. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23224991.1401.12.4.4.0>
- Baučić, M., Tomić, M., & Hribar, M. (2020). GIS-based evaluation of urban green space distribution and accessibility in Ljubljana. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 407. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070407>
- Breed, C. A., Engemann, K., & Pasgaard, M. (2024). A transdisciplinary multiscaled approach to engage with green infrastructure planning, restoration and use in sub-Saharan Africa. *Urban Ecosystems*, (27), 895-907. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01477-y>
- Cao, X., Luo, Y., Chen, X., Xie, Q., & Yao, Z. (2024). Spatial valuation of urban green lungs: Unveiling the true worth of urban parks through MGWR in Chengdu, China. *Land Use Policy*, 145, 107294. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107294>
- Fainstein, S. S. (2010). *The Just City*. Cornell University Press
- Fang, D., Liu, D., & Kwan, M.-P. (2025). Evaluating spatial variation of accessibility to urban green spaces and its inequity in Chicago: Perspectives from multi-types of travel modes and travel time. *Urban Forestry & Urban Greening*, 104, 128-593. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128593>
- Fraser, N. (2008). *Scales of Justice: Reimagining Political Space in a Globalizing World*. Columbia University Press.
- Ghanbari, A., Oskouee Aras, A. and Badamchizadeh, P. (2024). Assessing the Status of Tabriz Metropolis According to the Indicators of an Elderly-Friendly City in Formal and Informal Settlements (Case study: Regions 2, 8 and 10). *Journal of Economic & Developmental Sociology*, 13(1), 195-230. doi: 10.22034/jeds.2024.60738.1798 [In Persian].
- Ghasemi, K., Behzadfar, M., Borhani, K., & Nouri, Z. (2022). Geographic information system based combined compromise solution (CoCoSo) method for exploring the spatial justice of accessing urban green spaces: A comparative study of district 22 of Tehran. *Ecological Indicators*, 144, 109455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109455>
- Grinspan, J., Rahman, S., & Lee, K. (2020). Green for Whom? Environmental justice implications of urban park investments. *Environmental Justice*, 13(2), 55-64.
- Harvey, D. (2009). *Social Justice and the City* (Revised ed.). University of Georgia Press. (Original work published 1973)

- Hatami Nejad, H., Khademi, A. H., & Zargham Fard, M. (2015). Spatial distribution analysis of urban parks in Amol with a social justice approach. *Journal of Urban Structure and Function Studies*, (10), 29–53. [In Persian].
- He, S., Wu, Y., & Wang, L. (2020). Characterizing Horizontal and Vertical Perspectives of Spatial Equity for Various Urban Green Spaces: A Case Study of Wuhan, China. *Frontiers in Public Health*, (8), 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00010>
- Jalkanen, J., Vierikko, K., Kujala, H., Kivistö, I., Kohonen, I., Lehtinen, P., Toivonen, T., Virtanen, E., & Moilanen, A. (2025). Identifying priority urban green areas for biodiversity conservation and equitable recreational accessibility using spatial prioritization. *Landscape and Urban Planning*, 259, 105356. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105356>
- Jennings, V., & Johnson Gaither, C. (2020). Urban green space equity and mental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 880.
- Li, M., Wang, C., Wu, Y., Santamouris, M., & Lu, S. (2025). Assessing spatial inequities of thermal environment and blue-green intervention for vulnerable populations in dense urban areas. *Urban Climate*, 59, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102328>
- Liu, R., Pan, X., Xia, Z., Gou, J., Han, J., Cao, K., Wang, D., & Xue, C. (2025). How to lead the optimization of parks spatial patterns more comprehensively with the philosophy of green equity: A case of Chengdu. *Habitat International*, 157, 103318. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2025.103318>
- Lu, Y., Chen, R., Chen, B., & Wu, J. (2024). Inclusive green environment for all? An investigation of spatial access equity of urban green space and associated socioeconomic drivers in China. *Landscape and Urban Planning*, 241, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104926>
- Oskouee Aras, A. & Hakimi, H. (2021). Measuring Indicators of Urban Vitality in Informal Settlements (Case study: Seilab Qoshkhane Tabriz). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 9(1), 143-163. doi: 10.22059/jurbangeo.2021.309948.1363 [In Persian].
- Rasouli, N., Ilanloo, M., & Nekouei Esfahani, A. (2024). Spatial evaluation and planning of public green spaces using GIS (Case study: District 10 of Tehran). *New Attitudes in Human Geography Quarterly*, 16(3), 64–88. <https://doi.org/10.71651/GEOGRAPHY.2024.0041821> [In Persian].
- Rui, J. (2025). Green disparities, happiness elusive: Decoding the spatial mismatch between green equity and the happiness from vulnerable perspectives. *Cities*, 163, 106063. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106063>
- Sharifzadeh Aghdam, E., & Ghodsi, S. J. (2022). Evaluation of urban green space distribution using spatial justice approach in Zanjan city. *Journal of Geographical Sciences*, (35), 148–170. [In Persian].
- Soja, E. W. (2010). *Seeking Spatial Justice*. University of Minnesota Press
- Szczepańska, M., Szczepański, M., & Kacprzak, A. (2022). Climate Change Mitigation and Preservation of the Cultural Heritage—A Story of the Municipal Park in Rumia, Poland. *Land*, 11(1), 65. <https://doi.org/10.3390/land11010065>
- Tahmasebi moghaddam, H., zanganeh, M., Heydari, M. and Imani, M. (2022). Explaining the Spatial Distribution Pattern of Urban Inner Parks With Spatial Justice Approach, Study Area: Sabzevar City. *Journal of Urban Ecology Researches*, 12(25), 19-36. doi: 10.30473/grup.2022.8664 [In Persian].
- UN-Habitat. (2025). *Guidelines for equitable urban greening*. United Nations Human Settlements Programme.
- WHO. (2020). *Urban green spaces and health: A review of evidence and effectiveness*. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Yang, M., Ye, P., & He, J. (2025). Green and blue infrastructure for urban cooling: Multi-scale mechanisms, spatial optimization, and methodological integration. *Sustainable Cities and Society*, 129, 106501. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106501>
- Yazar, M., & York, A. (2023). Nature-based solutions through collective actions for spatial justice in urban green commons. *Environmental Science & Policy*, 145, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.04.016>

Ziari, K., & Zebardast, K. (2024). Spatial distribution and equity of urban green space provision in Tehran Metropolis using hybrid Factor Analysis and Analytic Network Process (F'ANP) model. *Geomatica*, 76(2), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100022>