

The Impact of Urban Form Indicators on Air Pollution levels (Case Study: of Tehran's 22 Districts)

Zeinab Adeli- Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Azin Pirasteh¹- Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received: 29 August 2025 Accepted: 22 September 2025

Highlights

- **Comprehensive Assessment:** Systematic, multi-scalar analysis of the correlation between 22 distinct urban form indicators and primary air pollutants across all 22 administrative districts of Tehran.
- **Spatial Determinism:** Empirical confirmation of the decisive role of urban spatial structure and morphological patterns in modulating air quality variations.

Extended Abstract

Introduction

Despite occupying less than three percent of the Earth's surface, contemporary cities are the primary drivers of anthropogenic pollution, exposing a vast global population to hazardous air quality with severe public health and economic repercussions. While vehicular emissions and fossil fuel consumption are the dominant sources of atmospheric pollutants, local climatic conditions, complex topography, and—critically—urban form exert a profound influence on pollutant dispersion and concentration. Recent scholarship has increasingly focused on the nexus between urban morphology and air quality, suggesting that land-use patterns and spatial configurations can significantly attenuate or exacerbate the accumulation of pollutants. However, much of the extant research has been geographically limited or focused on restricted sets of environmental indicators.

Tehran, as a rapidly expanding megacity characterized by industrial development, high population density, and intensive motorized transport, serves as a critical case study for this environmental challenge. This research aims to investigate the complex relationship between various urban form indicators and air pollution levels across Tehran's 22 districts. Specifically, the study seeks to answer: What are the primary morphological indicators affecting air quality, and what are the specific correlations between these urban form dimensions and major pollutants (CO, O₃, NO₂, SO₂, and PM_{2.5})? This understanding is essential for shifting towards more sustainable urban planning paradigms.

Theoretical Framework

This study conceptualizes the city as a dynamic system where physical form and environmental processes are inextricably linked. The research operationalizes urban form through 22 metrics categorized into four strategic dimensions: environmental design, land use, accessibility, and density. By meticulously calculating the quantitative values of these metrics for each district, the study provides a robust empirical basis for evaluating the spatial distribution and intensity of pollutants.

The correlation between these indicators and annual pollutant concentrations is analyzed to assess how spatial and design configurations influence urban environmental performance. This research adopts an applied analytical approach, utilizing quantitative spatial data to delineate the association between the dense urban fabric of Tehran

¹ Correspondence to: a.pirasteh@edu.ikiu.ac.ir

and the magnitude of pollutants. Pearson's correlation coefficient is employed as the primary statistical tool to establish the strength, direction, and structural significance of these bivariate dependencies. By integrating concepts from urban morphology and environmental science, this research offers a comprehensive understanding of how strategic spatial interventions can be leveraged to enhance urban environmental resilience.

Methodology

This research is an applied study utilizing a quantitative-statistical approach. The primary objective is to analyze the correlation between urban form indicators and air pollution across Tehran's 22 districts. Data regarding the concentration of pollutants (CO, SO₂, NO, O₃, and PM_{2.5}) were compiled from official air quality monitoring station archives and longitudinal environmental reports.

The indicators of urban form were categorized based on a thorough literature review, followed by the definition of standardized quantitative measures for each. Subsequently, the Pearson correlation test was performed to test the null hypotheses concerning the relationships between independent variables (urban form metrics) and dependent variables (pollutant concentration). This method allows for a clear evaluation of linear relationships within the high-density urban environment of Tehran, facilitating the identification of critical morphological factors that correlate with air quality degradation.

Results and Discussion

The Pearson correlation analysis revealed a diverse range of relationships between urban form and pollutant concentrations. Statistically significant positive correlations were observed between "residential unit density" and pollutants such as CO, SO₂, NO₂, and PM_{2.5}, confirming that high-density residential areas—often associated with increased traffic and energy consumption—are more susceptible to air quality issues. Similar trends were noted for "gross population density" and "distance traveled," which show a strong positive correlation with SO₂ and NO₂ emissions, underscoring the role of transport and human intensity in pollution cycles.

Conversely, indicators associated with sustainable urban design, such as "public transport network length" and "per capita green space," demonstrated inverse relationships with several pollutants. For instance, increased green space coverage was negatively correlated with SO₂ and CO levels, suggesting a significant mitigating effect. However, the study also encountered complex nuances; for example, while some indicators like "pedestrian and bicycle path length" showed negative associations with SO₂, they exhibited positive correlations with others, indicating that the impact of urban form on air quality is multifaceted and highly dependent on the specific pollutant under examination.

Conclusion

This study provides empirical evidence that urban form is a fundamental determinant of air pollution distribution. By analyzing 22 morphological indicators, the research confirms that structural characteristics—such as land-use intensity, density, and spatial connectivity—directly influence the accumulation of CO, SO₂, NO₂, and PM_{2.5}. The results suggest that urban air quality is not merely a product of emissions, but also a result of how urban space is organized. Therefore, to mitigate air pollution, urban planners must move beyond traditional emission-control policies and embrace strategic spatial planning. Targeted interventions in density management, the enhancement of green infrastructure, and the optimization of accessibility can act as effective tools for long-term environmental management and sustainability in the Tehran metropolitan area.

Key words

Air pollution, air pollutant concentration, urban form, Pearson correlation

Acknowledgment

We sincerely acknowledge all those who provided scientific support for this research.

Citation: Adeli, Z., Pirasteh, A. (2026) The Impact of Urban Form Indicators on Air Pollution levels: a Case study of Tehran's 22 Districts, *Motaleate Shahri*, 15 (57), 39–54. Doi: 10.22034/urbs.2025.144395.5208

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



تأثیر فرم شهری بر میزان آلودگی هوا

نمونه مورد مطالعه: مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

زینب عادل، استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
آدین پیراسته^۱، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۷ شهریور ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۳۰ مهر ۱۴۰۴

چکیده

با گسترش روزافزون شهرنشینی و تغییرات ساختاری در کالبد شهری، کیفیت محیط‌زیست شهری به‌ویژه وضعیت آلودگی هوا به یکی از چالش‌های جدی کلانشهرها تبدیل شده است. در این میان، علاوه بر شرایط جوی، حجم تردد وسایل نقلیه، ویژگی‌های طبیعی زمین و ... شیوه سازمان‌یابی فضاهای شهری و ویژگی‌های مورفولوژیک آن نیز بر الگوهای انتشار آلاینده‌ها اثرگذار است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی ارتباط میان شاخص‌های فرم شهری در ۲۲ منطقه شهر تهران و نوع و میزان آلاینده‌های هواست. به همین منظور پس از تعریف و انتخاب شاخص‌ها و سنجش‌های فرم شهری (۲۲ شاخص که در ابعاد طراحی محیط، کاربری زمین، دسترسی و تراکم مشخص شده‌اند) میزان کمی هر شاخص در ۲۲ منطقه شهر تهران محاسبه شد. سپس از طریق داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوا، میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های هوا (SO_2 , NO_2 , $PM_{2.5}$, O_3 , CO) در بازه زمانی یکسال - از ابتدای فروردین سال ۱۴۰۳ تا اول فروردین ۱۴۰۴ - محاسبه گردید. روش پژوهش بر پایه روش همبستگی پیرسون است، به این صورت که به کمک نرم‌افزار SPSS، همبستگی هر یک از شاخص‌های فرم شهری با انواع آلاینده‌های هوا به دست آمد. نتایج این همبستگی‌ها نشان داد شاخص‌های تراکم واحدهای مسکونی، تراکم ناخالص جمعیتی، سطح ساخته شده از منطقه، مساحت کاربری‌های غیرمسکونی، تراکم واحدهای خرده‌فروشی، خدمات محلی، ریزدانگی، مسافت طی شده، منابع آلودگی و تعداد تقاطع با آلاینده‌ها، رابطه همبستگی داشتند که از نظر آماری نیز معنادار بودند. این نتیجه حاکی از آن است که الگوهای طراحی فضای شهری و فرم شهری، نقش معناداری در تغییرات آلودگی هوا و کیفیت هوا، به خصوص در ۲۲ منطقه شهر تهران ایفا می‌کنند.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، غلظت آلاینده‌های هوا، فرم شهری، همبستگی پیرسون.

نکات برجسته

- ارزیابی جامع: تحلیل سیستماتیک و چندمقیاسی همبستگی بین ۲۲ شاخص مشخص فرم شهری و آلاینده‌های اولیه هوا در تمامی ۲۲ منطقه اداری تهران.
- جبرگرایی فضایی: تأیید تجربی نقش تعیین‌کننده ساختار فضایی شهری و الگوهای ریختشناختی در تعدیل نوسانات کیفیت هوا.

^۱ ایمیل نویسنده مسئول: a.pirasteh@edu.ikiu.ac.ir

۱. مقدمه

پژوهش بررسی رابطه بین شاخص‌های مورفولوژی شهری و آلودگی هوا در ۲۲ منطقه تهران است.

برای دستیابی به این هدف، سئوالات زیر به عنوان سئوالات پژوهش مورد بررسی قرار گرفت: شاخص‌های فرم شهری کدامند؟ و چه ارتباطی میان شاخص‌های فرم شهری منتخب در این پژوهش و آلاینده‌های هوا ($PM_{2.5}$ ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 ، CO) در شهر تهران وجود دارد؟ شناخت این رابطه می‌تواند گامی مؤثر در جهت برنامه‌ریزی شهری پایدار باشد.

۲. چارچوب نظری

هرگونه تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عناصر تشکیل‌دهنده هوا را آلودگی هوا می‌گویند که از منابع مختلف طبیعی و مصنوعی ایجاد می‌شود (Seigneur, 2019). برای درک آلودگی هوا ابتدا باید عوامل آلوده‌کننده هوا و آلاینده‌های مرتبط با آلودگی هوا شناسایی شوند. آلاینده‌ها به دو دسته آلاینده‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. آلاینده اولیه آلاینده‌ای است که مستقیماً در جو منتشر می‌شود (اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌ها) اما آلاینده ثانویه (مانند ازن) در جو از طریق واکنش‌های شیمیایی در میان گونه‌های شیمیایی دیگر که پیش‌ساز نامیده می‌شوند، تشکیل می‌شود. آلاینده‌های اصلی هوا که برای آنها استاندارد تعریف شده عبارتند از: مونواکسیدکربن (CO)، اکسیدهای ازن (NO_x)، تمامی هیدروکربن‌ها (THC) یا ترکیبات آلی فرار (VOC)، اکسیدهای گوگرد (SO_x) به طور عمده SO_2 ، تمامی ذرات معلق (PM_{10} ، $PM_{2.5}$)، سرب (Pb)، ازن (O_3)، بنزن، بنزوپیرن (Moghadam et al, 2016).

اثرات آلودگی هوا بر سلامت بشر نه تنها به صورت کاهش کیفیت زندگی، بلکه به صورت افزایش هزینه‌های سلامت بر جامعه تأثیر می‌گذارد (Fattahi et al, 2015) و این اثرات در شهرها و کلانشهرهای مختلف دنیا به مراتب بیشتر است که با جنبه‌های زیادی در شهرسازی سروکار دارد که عبارتند از: ریخت‌شناسی شهری، محیط فیزیکی و هندسه شهر، فعالیت‌های انسانی و صنعتی و غیره (Edussuriya et al, 2011). مطالعات متعددی بر روی تأثیر فرم شهری و پدیده آلودگی هوا و نحوه انتشار آن انجام شده است (در بخش پیشینه به بخشی از این مطالعات اشاره شده است). سیاست‌های مرتبط با فرم شهری ممکن است قرار گرفتن انسان در معرض آلودگی هوا را بهبود بخشد (Hankey et al, 2017). ویلیام کیت (Williams, 2014) تعریف خوبی از فرم شهری ارائه کرد؛ از دیدگاه او فرم‌های شهری

شهرها کمتر از سه درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند، اما مسئول تولید بخش عمده‌ای از آلاینده‌های انسانی هستند (Bereitschaft & Debbage, 2013). بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، ۹۲ درصد جمعیت جهان هوایی با سطوح ذرات معلق فراتر از حد مجاز را تنفس می‌کنند که سالانه منجر به میلیون‌ها مورد مرگ مرتبط با آلودگی هوا می‌شود (Kirby, 2016; Health Effects Institute, 2019; HEI, 2018). آلودگی هوا به عنوان یکی از تهدیدات جدی سلامت عمومی، تأثیرات گسترده‌ای بر افراد، اکوسیستم‌ها و اقتصاد کشورهای مختلف دارد (Chen et al., 2017; Lim et al., 2018). منابع اصلی آلاینده‌ها شامل ترافیک شهری و مصرف سوخت‌های فسیلی هستند، اما عوامل دیگری مانند شرایط هواشناسی، توپوگرافی و الگوهای توسعه شهری نیز بر کیفیت هوا تأثیرگذارند (Carty & Kaza, 2015). در سال‌های اخیر، کیفیت هوا و ارتباط آن با شکل شهری در کلانشهرها به یکی از اولویت‌های مهم تبدیل شده است، زیرا بسیاری از شهرها به دلیل آلودگی هوا با چالش‌های توسعه مواجهند (Zhang et al., 2019; Bell et al., 2011; Li et al., 2019). مورفولوژی شهری که بیانگر ویژگی‌های فیزیکی و چیدمان کاربری زمین است، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد شهری و میزان آلودگی دارد (Bereitschaft & Debbage, 2013). مطالعات متعددی رابطه بین فرم شهری و کیفیت هوا را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که شکل و ساختار شهری می‌تواند بر توزیع آلاینده‌ها تأثیرگذار باشد (Marquez & Smith, 1999; Bell et al., 2011; Yang et al., 2020; Liu et al., 2018; She et al., 2019; Song et al., 2017). هر یک از این مطالعات بر دسته خاصی از متغیرهای فرم متمرکز شده‌اند و یا بر پراکنش یک یا چند نوع از آلاینده‌ها تمرکز یافته‌اند. در این پژوهش رابطه میان متغیر وابسته پراکنش آلاینده‌های هوا و متغیر مستقل فرم شهری بررسی می‌شود. در این میان کوشش شده حداکثر شاخص‌های فرم شهری با جزئیات بررسی شده و کلیه آلاینده‌هایی که توسط سامانه پایش آلودگی هوا رصد می‌شوند، در این مطالعه لحاظ شود. آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی کلانشهرهایی مانند تهران است که به دلیل توسعه صنعتی، افزایش جمعیت و گسترش حمل‌ونقل موتوری، از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب می‌شود (Zebardast, 2013). با توجه به آنچه گفته شد، هدف این

می‌داند (Madanipour 2001: 78) در یک اجماع نظر، کلارک (۱۹۸۵)، اسمال و ویدریک (۱۹۸۶) و گودال (۱۹۸۷) فرم شهری را "بررسی شکل، فرم، پلان، ساختار و عملکرد بافت ساخته شده شهرها یا شهرک‌ها در طول زمان" می‌دانند (Cömert et al, 2013: 5). به‌طور کلی فرم شهری ترکیبی ساده از عوامل هندسی نیست، بلکه تعاملی میان مجموعه‌ای از پارامترهاست که ویژگی‌های کالبدی، عملکردی و ساختاری در طیف وسیعی از مقیاس‌ها را شامل می‌شود (Tsirigotia & Bikasa 2017: 682). در ادامه شاخص‌های فرم شهری از دیدگاه پژوهشگران مختلف در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول شماره ۱: ابعاد و شاخص‌های فرم شهری از دیدگاه پژوهشگران مختلف

شاخص‌ها	زیرشاخص‌ها	منابع
تراکم	تراکم واحد مسکونی	Chatman, 2006 ; Song & Knaap, 2004 ; Frank et al, 2007 ; Frank et al, 2010 ; Certero & Radisch, 1996; Lee et al, 2009; Fan, 2018 , Riazi, 2012, Zebardast & Rizai, 2015. Arifwidodo & Perera, 2010 ; Handy et al, 2002 ; Certero & Kockelman, 1997 ;Rodríguez, 2016
	تراکم جمعیتی	Li et al, 2019; Handy et al, 2002
	تراکم واحدهای خرده‌فروشی	
	تراکم ساختمانی	
	سطوح غیرقابل نفوذ	
	پوشش تاج درخت	Martino et al, 2021
	تعداد قطعات	Rodríguez, 2016
	مساحت ساخته شده	
	تراکم خیابان‌ها و بزرگراه‌ها	
	شدت استفاده از زمین	Adolphe, 2001
تراکم اشتغال	Barati & Sardareh, 2013	
تراکم تقاطع‌ها	Chatman, 2006 ; Song & Knaap, 2004 ; Frank et al, 2010 ; Frank et al, 2007 ; Frank & Stone, 2000 ; Handy et al, 2002 ; Frank et al, 2007 ; Barati & Sardareh, 2013. Zebardast & Rizai, 2015	
تراکم خالص واحد مسکونی	Zebardast & Rizai, 2015	
دسترسی	دسترسی به خدمات محلی	Handy, et al., 2005 ; Ewing et al, 2004 ; Arifwidodo and Perera, 2010 Certero & Kockelman, 1997, Zebardast & Rizai, 2015
	دسترسی به شبکه ارتباطی منطقه‌ای	Rodríguez, 2016
	دسترسی به گزینه‌های حمل‌ونقل عمومی	Chatman, 2006; Handy, et al., 2005; Chatman, 2006 ; Song & Knaap, 2004 ; Arifwidodo & Perera, 2010 ; Frank et al, 2010 ; Brennan Ramirez et al, 2006, Zebardast & Rizai, 2015
	دسترسی به مراکز شهری	Arifwidodo and Perera, 2010; Zebardast & Rizai, 2015 Certero & Kockelman, 1997
الگوهای فضایی	الگوی فضایی مراکز عمومی در سطوح محلی	Handy et al, 2002 ; Ewing and Handy, 2009
	پیوستگی فضای شهری	
	میانگین نسبت محیط مناطق شهری به مساحت کل	Kahrari et al, 2025
	سازیندگی بلوک‌های شهری	Song & Knaap, 2004 ; Handy et al, 2002 ; Certero & Kockelman 1997, Martino et al, 2021 Li et al, 2019 Zebardast & Rizai, 2015
	کیفیت طراحی پیاده‌روها و مسیرهای دوچرخه	Chatman, 2006; Forsyth, et al., 2007 ; Ewing and Handy, 2009 ; Frank & Stone, 2000 ; Handy et al, 2002 ; Brennan Ramirez et al, 2006.
	الگوی شبکه معابر سواره	Certero & Kockelman, 1997; Chatman, 2006; Bagley & Mokhtarian, 2002; Forsyth, et al., 2007 ; Frank et al, 2000.

Ewing and Handy,2009	الگوی ساخت مسکن	
Ewing and Handy,2009. Handy et al, 2002	میزان محصوریت معابر اصلی	
Edussuriya et al,2011	ابعاد خیابان و ساختمان‌ها	
	جهت‌گیری ساختمان‌ها	
Kahrari et al,2025	شکل سیمای سرزمین	
	میانگین اندازه لکه‌های شهری	
	تعداد لکه‌های شهری	
Fan, 2018	توسعه منفصل	
I et al, 2019; Kahrari et al,2025 Sovacool, 2010	فشرده‌گی و پراکنده رویی	
Rodríguez, 2016	تعداد قطعات	
Zebardast & Riazi,2015 Handy et al,2002; Frank and Pivo 1994 : Song & Knaap, 2004 ; Frank et al,2010 ; Frank et al,2007 ; Handy et al, 2002 ; Cervero & Kockelman, 1997 ; Brennan Ramirez et al, 2006 ; Lee et al, 2009 ;Lee et al, 2009;Handy et al, 2002; Li et al, 2019	سرانه فضای سبز عمومی	الگوهای کاربری زمین
	اختلاط کاربری	
	مساحت فضاهای باز	
	سطوح غیرقابل نفوذ	
Cionco and Ellefsen, 1998; Adolphe, 2001	مساحت فضای سبز	
Hankey & Marshal, 2017		
Martino et al, 2021	تنوع مسکونی	تنوع
	تنوع عملکردی	
	تنوع قدمت ساختمان	
Martino et al,2021 Li et al, 2019	تعداد تقاطع‌ها	مرکزیت
	طول خیابان	
	مرکزیت نزدیکی تقاطع	
	طول خط محوری	
Cionco & Ellefsen, 1998; Givoni, 1998; Theurer, 1999 Fan, 2018	طرح، توسعه، شکل خیابان، فضاهای باز	سطح شهری
Givoni, 1998; Theurer, 1999	اندازه شهر	
Edussuriya et al,2011	نزدیکی به منابع آلودگی	

ماخذ: نگارندگان به نقل از منابع ذکر شده در جدول

مربعات معمولی^۳ انجام شده است. دو نتیجه اصلی از این بررسی حاصل شده است: فرم شهری نقش کلیدی در توزیع انتشار آلاینده‌های غیرنقطه‌ای ایفا می‌کند و پراکنده‌گی شهری و تراکم جمعیت به طور قابل توجه و مثبتی با انتشار CO، NOx و PM_{2.5} مرتبط هستند. از سویی دیگر انتشار آلودگی در شهرهای چند مرکزی به نسبت شهرهای تک مرکزی کمتر است (Fan et al, 2018).

لی و همکاران در پژوهش خود با عنوان " بررسی رابطه بین تغییرات انتشار آلودگی و فرم شهری " در شهر شانگهای به بررسی نحوه انتشار آلودگی هوا پرداختند. آنها تغییرات مکانی هشت آلاینده هوا را در بین ۱۸ ایستگاه پایش هوای محیط در سراسر شانگهای تجزیه و تحلیل کردند. در هر یک از ۱۸ ایستگاه، در محدوده‌ای به شعاع یک کیلومتر، ویژگی‌های کمی از فرم شهری شامل تعداد طبقات، نوع فعالیت‌ها و کاربری‌ها، نحوه

مطالعات متعددی در جهان به بررسی رابطه میان فرم شهری و آلودگی هوا پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها از نوع منبع انتشار آلودگی و شاخص‌های منتخب فرم شهری برای بررسی رابطه با میزان انتشار آلودگی هوا متفاوتند. از پر استنادترین مقالات می‌توان به مقالات ذیل اشاره نمود.

فان و همکاران در مقاله‌ای با عنوان " بررسی تأثیرات فرم شهری بر انتشار آلاینده‌های هوا: شواهدی از چین " ارتباط بین متغیرهای فرم شهری و انتشار منابع غیرنقطه‌ای آلودگی هوا را در ۳۴۴ شهر در سطح استان‌های چین بررسی می‌کنند. شاخص‌های تراکم جمعیت، شاخص فشرده‌گی شهری، شکل شهر (خطی، تک مرکزی یا چند مرکزی)، یکپارچگی توسعه یا توسعه منفصل به عنوان متغیرهای فرم شهر در این پژوهش انتخاب شده‌اند. این بررسی با استفاده از روش رگرسیون خطی حداقل

³ ordinary least squares linear (OLS) regression models

است که تکامل شکل شهری تأثیرات بلندمدتی بر سطح ذرات معلق در شهرها دارد، اما عوامل غالب در طول مراحل شهرنشینی تغییر می‌کند (Liang & Gong, 2020).

زبردست و ریاضی، در پژوهش خود با عنوان "شاخص‌های محیط انسان‌ساخت و تأثیرات آن بر آلودگی هوا، مطالعه موردی: محدوده پیرامونی چهارده ایستگاه سنجش کیفیت هوا در شهر تهران" با تحلیل اثرات سنجش‌های محیط انسان‌ساخت بر کیفیت هوای شهری به کمک استخراج شاخص‌ها از مبانی نظری و میانگین غلظت سالانه آلاینده‌های NO_2 ، NO ، O_3 ، CO و PM_{10} ، به این نتیجه رسیدند که بین شاخص‌های محیط انسان‌ساخت و غلظت آلاینده‌های هوا، همبستگی وجود دارد (Zebardast & Riazi, 2015). قدمی و عبداله‌وند، در پژوهش خود با عنوان "بررسی سناریوهای ساختار فضایی شهر بر آلودگی هوا، مطالعه موردی: شهر تهران" با بررسی ساختار فضایی شهر تهران توسط ضریب آنتروپی شانون و ضریب موران براساس آمار بلوک‌های جمعیتی و جرم فعالیت‌های جاذب سفر در سطح مناطق ۲۲ گانه تهران و بررسی وضعیت آلودگی هوای این شهر و با استفاده از مدل‌سازی سناریو، به بررسی تأثیر ساختارهای فضایی مختلف شهری بر آلودگی هوای شهر تهران پرداخته‌اند با این توضیح که ساختار فضایی بی‌مرکز یا پراکنده تأثیر معناداری بر افزایش میزان آلودگی هوای تهران دارد (Ghadami & Abdollahvand, 2018).

کهراری و همکاران، در پژوهش خود با عنوان "بررسی اثرات فرم شهری و عناصر هواشناسی بر آلودگی هوای تهران و تبریز" به بررسی ارتباط فرم شهری با غلظت آلاینده‌های CO ، NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و BC در تهران و تبریز و بازخوردهای آب‌وهوایی آنها در طول ۲۰۱۵-۲۰۲۱، با محاسبه سنجش‌های سیمای سرزمین مرتبط با ویژگی‌های مختلف فرم شهری شامل اندازه، شکل، تکه‌تکه‌شدگی، فشردگی و پراکندگی براساس سری زمانی داده‌های کاربری اراضی ماهانه و به کمک روش تحلیل همبستگی اسپیرمن و مدل رگرسیون خطی چندگانه و جنگل تصادفی، پرداخته‌اند و نتایج این پژوهش حاکی از آن بوده که فرم شهری، نقش بسیار مهمی در تولید و انتشار آلاینده‌های هوا در شهرهای تهران و تبریز در بازه زمانی مورد نظر داشته است (Kahrari et al, 2025). در ادامه در جدول شماره ۲ نتایج تحقیقات پیشین آورده شده است.

حمل‌ونقل و دسترسی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات مکانی هر آلاینده، براساس ویژگی‌های فرم شهری، متفاوت است. غلظت $PM_{2.5}$ در غرب شانگهای بالا و در شرق آن پایین بود که می‌توان آن را با تأثیرات منطقه‌ای و فاصله از دریای شرق چین توضیح داد. PM_{10} در مناطق شهری توسعه‌یافته سطح نسبتاً بالایی را نشان داد و ساختمان‌های بلند پراکندگی PM_{10} را به طور قابل توجهی مهار می‌کنند. تغییرات مکانی آلاینده‌های گازی عمدتاً به نوع و شدت فعالیت‌ها (کاربری‌ها) و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با نحوه حمل و نقل است. فاصله تا جاده اصلی، انحراف معیار طبقات ساختمان و میانگین طبقات ساختمان، سه ویژگی برتر شکل شهری بودند که بر تغییرات مکانی همه آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند. تهویه باد به عنوان یک شاخص حیاتی برای طراحی شهری با محوریت کیفیت هوا شناسایی شد (Li et al, 2019).

رودریگز و همکاران، در پژوهش خود با عنوان "آلودگی هوا و ساختار هم‌پیوند شهری: شواهدی از شهرهای اروپایی" با مطالعه بر روی ۲۴۹ شهر در سراسر اروپا و آلاینده‌های NO_2 ، PM_{10} و SO_2 به این نتیجه رسیدند که ساختار شهری تأثیرات قابل توجهی بر غلظت آلودگی دارد. به طور خاص، نتایج نشان می‌دهد که شهرهای چندپارهای^۱، غلظت‌های بالاتری از NO_2 و PM_{10} را تجربه می‌کنند و شهرهای پرجمعیت از غلظت SO_2 بالاتری رنج می‌برند. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌هایی که از مناطق شهری پیوسته حمایت می‌کنند، ممکن است منجر به بهبود محیط‌زیست شوند (Rodríguez, 2016). سواکول و براون تأثیر فشردگی شهر را بر انتشار CO_2 در ۱۲ پایتخت بزرگ مقایسه می‌کنند و متوجه می‌شوند که میان فشردگی شهری، مصرف انرژی و انتشار آلودگی از طریق اتصالات بیشتر شهری، تمرکز فعالیت‌ها و کاهش اندازه شبکه حمل‌ونقل رابطه وجود دارد (Sovacool & Brown, 2010). بارت همبستگی بین تغییر کاربری زمین و انتشار CO_2 را بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ تجزیه و تحلیل می‌کند و دریافته است که مساحت ساخته شده بالاتر با سطوح بالاتر CO_2 مرتبط است (Bart, 2010). لیانگ و گونگ در پژوهش خود با بررسی ۶۲۶ شهر در چین، با طراحی شهری و جمعیت‌های مختلف، به این موضوع پرداخته‌اند که تفاوت در طراحی و الگوی شهری باعث تغییر در روند آلودگی هوای شهری می‌شود و نتایج این پژوهش به این صورت بوده

جدول شماره ۲: نتایج تحقیقات پیشین

مورد مطالعه	روش	شاخص‌ها یا ویژگی‌های فرم شهری	شاخص آلودگی	نتایج اصلی
۴۵ منطقه کلانشهری بزرگ در ایلات متحده در سال ۲۰۰۰	مدل رگرسیون خطی	مرکزیت، اتصال، تراکم، ترکیب کاربری ها، شاخص پراکندگی	NOx, VOC, O ₃	<ul style="list-style-type: none"> تراکم با انتشار NOx و VOC همبستگی دارد. مرکزیت، اتصال، تراکم و شاخص پراکندگی با O₃ همبستگی دارند.
۸۳ شهر در سراسر جهان در سال ۲۰۰۵	مدل رگرسیون خطی	جمعیت، درآمد، شاخص پیوستگی، شاخص فشردگی، میانگین توافقی کشت	NO ₂	<ul style="list-style-type: none"> جمعیت، درآمد و شاخص پیوستگی با آلودگی همبستگی دارند.
۱۱۱ شهر ایالات متحده از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰	مدل رگرسیون خطی	شکل شهر، اشتغال، تراکم جمعیت، تراکم جاده ها، میزان حمل و نقل عمومی، میانگین مسافت طی شده با اتومبیل ^۵ ، درآمد، مساحت ساخته شده	O ₃ , PM _{2.5} , LAQI	<ul style="list-style-type: none"> تراکم جمعیت و میزان حمل و نقل عمومی با آلودگی همبستگی دارند.
۸۶ منطقه کلانشهری در ایالات متحده در سال ۲۰۰۰	تحلیل مؤلفه های اصلی ^۶	پیوستگی شهری، پیچیدگی شکل شهری، تراکم مسکونی، ترکیب کاربری اراضی، شاخص پراکندگی، درجه مرکزیت	O ₃ , PM _{2.5} , VOCs, NO _x , CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> تراکم مسکونی، شاخص شکل شهر و شاخص پراکندگی با غلظت O₃ یا PM_{2.5} همبستگی دارند. پیوستگی شهری، پیچیدگی شکل شهر، تراکم مسکونی، درجه مرکزیت، و شاخص پراکندگی با انتشار غیر نقطه‌ای آلاینده‌ها همبستگی دارند.
۴۱ شهر در ایالات متحده در سال ۲۰۰۶	مدل خطای فضایی اتورگرسیون فضایی (تاخیر فضایی) ^۷	مساحت شهر، تعداد قطعات، میانگین مساحت قطعات شهر، مساحت جنگل ها و فضای سبز، جمعیت، درآمد، اشتغال صنعتی	PM _{2.5} , O ₃ , and AQI exceedance days	<ul style="list-style-type: none"> کل مساحت شهری، تعداد قطعات، میانگین مساحت قطعات، مساحت جنگل و فضای سبز در شهر، جمعیت، درآمد، مرکزیت، نسبت اشتغال صنعتی، با آلودگی هوا همبستگی دارند.
۲۱۷ شهر چین در سال ۲۰۰۹	مدل رگرسیون خطی	شاخص فشردگی، شاخص شکل، تراکم جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، تولید صنعتی، درجه ناهمواری زمین	NO ₂ , SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> شهرهایی که به شکل «X» یا «H» در شمال یا مرکز چین هستند، آلودگی هوای کمتری دارند. شاخص تراکم جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، تولید صنعتی در هر کیلومتر مربع و درجه ناهمواری سطح زمین با آلودگی هوا همبستگی دارند.
۳۰ شهر چین در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰	مدل رگرسیون خطی	نسبت کشیدگی شهر، شاخص فشردگی، سهم پوشش سبز، میزان مصرف برق، ارزش ناخالص تولیدات صنعتی و تعداد اتوبوس به ازای هر میلیون نفر با مه دود شهری همبستگی دارند.	Normalize d AOD, PM ₁₀	<ul style="list-style-type: none"> نسبت کشیدگی شهر، شاخص فشردگی، سهم پوشش سبز، میزان مصرف برق، ارزش ناخالص تولیدات صنعتی و تعداد اتوبوس به ازای هر میلیون نفر با مه دود شهری همبستگی دارند.

⁵ Vehicle Kilometers of Travel

⁶ Principal component analysis

⁷ Spatial Error Model Spatial Lag Model

<ul style="list-style-type: none"> ○ تراکم، مرکزیت، ترکیب، دسترسی و یکپارچگی، با غلظت PM2.5 همبستگی دارند. ○ تراکم، مرکزیت، دسترسی، تداوم، بارش، باد، انتشار سند و تولید ناخالص داخلی با غلظت PM10 همبستگی دارند. ○ پیچیدگی و تراکم جمعی با غلظت NO2 همبستگی دارند. ○ مرکزیت، دسترسی، یکپارچگی و تولید ناخالص داخلی با غلظت CO همبستگی دارند. ○ مرکزیت، دسترسی، با غلظت SO2 همبستگی دارند. ○ تراکم جمعیت با غلظت O3 همبستگی دارند. 	<p>PM2.5, PM10, NO2 SO2, CO, O3</p>	<p>تراکم، مرکزیت، ترکیب کاربری، دسترسی، تراکم جمعیت، یکپارچگی، تولید ناخالص داخلی، سهم مناطق صنعتی، پیچیدگی</p>	<p>مدل رگرسیون خطی</p>	<p>۱۵۷ شهر چین در سال ۲۰۱۵</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ ساختار فضایی نقش مهمی در میزان آلودگی هوا دارد. ○ رشد جمعیت و پراکندگی در تهران، بالاترین پتانسیل افزایش میزان آلودگی هوا را دارد و در صورت عدم تغییرات اساسی در ساختار فعلی این شهر، افزایش شدیدتر آلودگی هوا مورد انتظار است. ○ در نظر گرفتن ملاحظات کلان فضایی در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، تاکید بر ترکیب و اختلاط کاربری در مقیاس‌های محله‌ای و ناحیه‌ای، بازآفرینی بافت‌های فرسوده و مناطق مرکزی شهر و حمایت از طرح‌های انبوه‌سازی در کانون‌های مرکزی با دسترسی به ایستگاه‌های شبکه حمل‌ونقل عمومی در راستای پایدار سازی ساختار فضایی شهر تهران مفید و موثر است. 	<p>آلودگی‌ها، منواکسیدکربن، هیدروکربورها، اکسیدازت، دی‌اکسید گوگرد، اسیدآلی، ذرات معلق و سرب</p>	<p>جمعیت، تراکم ساختمانی، وسایل نقلیه شخصی و عمومی</p>	<p>ضریب آنتروپی شانون و موران و سناریوسازی</p>	<p>شهر تهران</p>

خردتر در مقیاس منطقه، رابطه شاخص‌های فرم شهری با میزان انتشار آلاینده‌های هوا (کلیه آلاینده‌هایی که داده‌های آن در سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران، <https://air.tehran.ir> وجود داشت) بررسی شود. براساس بررسی‌های صورت گرفته مدل مفهومی پژوهش در تصویر شماره ۱ آورده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در غالب پژوهش‌ها و مقالات انجام شده، مقیاس مطالعه شهر و ارتباط تعداد محدودی شاخص فرم شهری در مقیاس کلان (همانند مساحت شهر، تراکم جمعیتی، پراکنده رویی یا فشردگی و ...) با یک یا نهایت دو نوع از آلاینده‌های هوا بررسی شده است. در این پژوهش کوشش شده با در نظر گرفتن شاخص‌های بیشتر فرم شهری و در مواردی



تصویر شماره ۱: مدل مفهومی پژوهش

۳. روش

۳.۱. محدوده مورد مطالعه پژوهش

آن باعث توسعه بی‌رویه و فشار بر زیرساخت‌های شهری شده است. تهران به دلیل موقعیت جغرافیایی، تراکم جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقلی یکی از آلوده‌ترین شهرهای ایران است و فرارگیری در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز و محدود شدن آن از شمال به ارتفاعات کوهستانی و از جنوب به دشت‌ها، بر تجمع آلاینده‌ها در سطح شهر دامن زده است. اقلیم نیمه‌خشک، موقعیت جغرافیایی، حمل‌ونقل، صنایع و کارگاه‌ها، ساخت‌وساز و گردوغبار شهری، جمعیت و تراکم شهری از جمله دلایل آلودگی هوای شهر تهران محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از برآورد میانگین سالانه غلظت آلاینده‌ها در بازه زمانی یک‌ساله نیز در جدول شماره ۳ گزارش شده است.

جدول شماره ۳: میانگین غلظت آلاینده‌های هوا در بازه زمانی یک‌ساله (از یکم فروردین ۱۴۰۳ تا یکم فروردین ۱۴۰۴)

آلاینده‌ها	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰	منطقه ۱۱
CO	۳۲.۹	۳۵	۳۲.۹	۲۱.۱۵	۱۹.۷	۳۷.۶	۴۲.۹	۲۱.۱۵	۲۷.۹	۳۰.۵	۲۴.۷
SO ₂	۱۳.۸	۳۷.۲	۱۳.۸	۱۴.۱	۱۴.۳	۱۶.۴	۱۷.۳	۱۴.۱	۲۱.۳	۴۴.۴	۳۴.۲
NO ₂	۸۴.۲	۸۰.۹	۸۴.۲	۷۳.۷	۷۱.۸	۶۹.۱۹	۷۳.۲	۷۳.۷	۸۲.۷	۵۷.۹	۳۷.۶
O ₃	۴۸.۲	۳۷.۲	۴۸.۲	۵۵.۲	۴۴.۵	۵۳.۸	۵۶.۲	۵۵.۲	۵۶.۸	۳۰.۲	۴۱.۵
PM _{2.5}	۷۴.۸	۱۱۷.۳	۷۴.۸	۷۱.۵	۸۰	۹۳.۳	۸۴.۵	۷۱.۵	۱۱۴.۵	۱۲۵.۳	۷۸.۹
آلاینده‌ها	منطقه ۱۲	منطقه ۱۳	منطقه ۱۴	منطقه ۱۵	منطقه ۱۶	منطقه ۱۷	منطقه ۱۸	منطقه ۱۹	منطقه ۲۰	منطقه ۲۱	منطقه ۲۲
CO	۲۴.۷	۳۰.۹	۲۴.۵	۲۱.۸	۲۱.۸	۳۰.۵	۲۸.۵	۳۴.۳	۳۲.۲	۲۷.۹	۱۸.۴
So ₂	۳۴.۲	۱۷.۵	۹.۸	۱۴.۹	۱۴.۹	۴۴.۴	۲۴.۲	۱۷.۹	۲۱.۳	۲۱	۱۷.۸
NO ₂	۳۷.۶	۷۲.۳	۷۴.۶	۷۵.۲	۷۵.۲	۵۷.۹	۷۴.۳	۴۷.۴	۷۴.۸	۶۲.۲	۷۲.۴
O ₃	۴۱.۵	۴۵.۶	۴۰.۴	۴۰.۴	۳۰.۲	۳۰.۲	۴۰.۴	۳۰.۲	۳۴.۳	۴۰.۳	۴۰.۳
PM _{2.5}	۷۸.۹	۹۹.۲	۹۹.۲	۷۸.۹	۷۸.۹	۱۲۵.۳	۱۰۱.۸	۱۱۶.۷	۹۵.۷	۱۰۴.۸	۸۳.۸

ماخذ: نگارندگان به نقل از اطلاعات موجود در سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران

۳.۲. داده‌ها و روش کار

پیشینه پژوهش، ابعاد و شاخص‌های فرم شهری استخراج و برای هریک از آنها، سنجه‌های کمی تعریف گردید. وضعیت این شاخص‌ها در هر یک از مناطق شهر تهران با توجه به سنجه تعریف شده، بررسی شد.

به منظور تحلیل رابطه میان شاخص‌های فرم شهری و غلظت آلاینده‌ها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. این آزمون امکان سنجش میزان رابطه خطی میان متغیرهای مستقل (شاخص‌های فرم شهری) و متغیرهای وابسته (آلاینده‌های هوا) را فراهم کرد. در ادامه در جدول شماره ۴ ابعاد و شاخص‌های استخراج شده از مبانی نظری و پیشینه پژوهش همراه با سنجه هریک آورده شده است.

پژوهش حاضر از نظر هدف در زمره پژوهش‌های کاربردی و از نظر رویکرد بر مبنای رویکرد کمی است. در این پژوهش تلاش شده است با تکیه بر داده‌های آماری و تحلیل‌های مکانی، رابطه میان شاخص‌های مرتبط با فرم شهری و میزان آلودگی هوا در ۲۲ منطقه شهر تهران بررسی شود. داده‌های مرتبط با غلظت آلاینده‌های هوا (شامل مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، مونوکسید نیتروژن (NO)، ازن (O₃) و ذرات معلق (PM_{2.5})) بر اساس گزارشات و مطالعات پیشین و میانگین داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران، در بازه زمانی یک‌ساله، گردآوری شده‌اند. با مروری بر مبانی نظری و

جدول شماره ۴: تحلیل شاخص و سنجه‌های پژوهش

معیار	شاخص	سنجه
تراکم	تراکم واحد مسکونی	تعداد واحد مسکونی تقسیم بر مساحت منطقه
	تراکم خالص جمعیتی	نسبت جمعیت کل بر سطح اراضی مسکونی
	تراکم ناخالص جمعیتی	نسبت جمعیت کل بر مساحت کل منطقه
	سطح ساخته شده از منطقه	مساحت زیربنا به مساحت کل منطقه
	نسبت مساحت کاربری‌های غیرمسکونی	نسبت مساحت کاربری‌های غیرمسکونی به مساحت کل منطقه
	تراکم واحدهای خرده‌فروشی	نسبت مساحت واحدهای خرده‌فروشی به مساحت کل منطقه
دسترسی	خدمات محلی	درصد مساحت خدمات محلی به مساحت کل منطقه
	فاصله از حمل‌ونقل عمومی	میانگین طول مسافت طی شده تا ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی
	طول شبکه حمل‌ونقل عمومی	درصد طول مسیر اتوبوس و مترو به کل مسیرها
	الگوی شبکه معابر سواره	درصد مساحت بافت ارگانیک به مساحت کل منطقه
	تعداد ترمینال‌ها	درصد ترمینال‌های موجود به کل تعداد آن‌ها
	مسافت طی شده	مسافت طی شده توسط ساکنین منطقه
کاربری زمین	فضای سبز عمومی	سرانه فضای سبز عمومی در منطقه
	اختلاط کاربری	مساحت کاربری‌های غیرمسکونی به مسکونی
	مساحت فضاهای باز	درصد مساحت فضاهای ساخته نشده و فضاهای سبز و راه‌ها به کل منطقه
طراحی محیط	منابع آلودگی	نسبت مساحت کارخانه‌های صنعتی، کارگاه‌ها، کشتارگاه، محل تصفیه فاضلاب، کوره‌پزخانه‌ها، چاله‌های معدنی، فرودگاه‌ها، ترمینال‌های بین شهری و... به کل مساحت منطقه
	ریزدانگی	درصد مساحت قطعات با مساحت کمتر از ۲۰۰ مترمربع به کل مساحت منطقه
	ارتفاع ساختمان‌ها	درصد مساحت ساختمان‌های بالای ۱۱ طبقه به کل مساحت منطقه
	سایزبندی بلوک‌های شهری	میانگین مساحت بلوک‌های شهری در منطقه
	تعداد تقاطع‌ها	تعداد تقاطع‌ها به مساحت کل منطقه
	مساحت خیابان‌ها	مساحت خیابان‌ها به کل مساحت منطقه
	طول مسیر پیاده و دوچرخه	طول مسیر پیاده و دوچرخه به کل مساحت منطقه

۴. بحث و یافته‌ها

از شاخص‌ها، همبستگی منفی با برخی دیگر از آلاینده‌ها داشتند. با این وجود تمامی روابط مشاهده شده از نظر آماری معنادار نبوده و تنها بخشی از آنها قابلیت استناد دارند. به منظور ارائه تصویری شفاف از نتایج، جدول شماره ۵ جزئیات ضرایب همبستگی و سطوح معناداری را نمایش می‌دهد و زمینه را برای تحلیل و بحث تفصیلی در بخش بعدی فراهم می‌سازد.

به منظور سنجش ارتباط میان شاخص‌های فرم شهری و غلظت آلاینده‌ها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. این آزمون، امکان ارزیابی شدت و جهت روابط میان متغیرها را فراهم می‌سازد و بدین ترتیب می‌توان دریافت که افزایش یا کاهش هریک از شاخص‌ها چگونه با تغییر در میزان آلاینده‌ها همراه بوده است. نتایج حاصل نشان داد بخشی از شاخص‌ها دارای همبستگی مثبت با برخی آلاینده‌ها بوده‌اند. در مقابل برخی دیگر

جدول شماره ۵: همبستگی و معناداری شاخص‌ها با غلظت آلاینده‌ها

شاخص	آلاینده‌ها										
	تراکم واحد مسکونی	تراکم خالص جمعیتی	تراکم ناخالص جمعیتی	سطح ساخته شده از منطقه	مساحت کاربری‌های	تراکم واحدهای خرده‌فروشی	خدمات محلی	فاصله از حمل‌ونقل عمومی	طول شبکه حمل‌ونقل عمومی	الگوی شبکه معابر سواره	تعداد ترمینال‌ها
CO	۰.۴۰	-۰.۱۱۷	۰.۰۰۳	۰.۲۵۹	۰.۱۴۸	-۰.۱۱۷	-۰.۰۳۹	۰.۱۷۷	-۰.۲۴۴	-۰.۰۱۵	۰.۲۱۴
معناداری	۰.۰۶۰	۰.۶۰۵	۰.۹۹۰	۰.۲۴۴	۰.۵۱۰	۰.۶۰۴	۰.۸۶۲	۰.۴۳۱	۰.۲۷۴	۰.۹۴۸	۰.۳۴۰
O ₃	-۰.۲۲۵	-۰.۱۵۲	-۰.۲۲۱	۰.۰۷۳	۰.۱۲۹	-۰.۱۱۶	-۰.۴۹۳	۰.۱۳۸	۰.۱۲۳	۰.۰۴۸	۰.۳۶۴
معناداری	۰.۳۱۴	۰.۴۹۸	۰.۳۲۳	۰.۷۴۷	۰.۵۶۶	۰.۶۰۸	۰.۰۲۰	۰.۵۴۰	۰.۵۸۶	۰.۸۶۸	۰.۰۹۶
NO ₂	۱	۰.۱۰۹	۱	-۰.۳۱۴	-۰.۴۸۷	۰.۴۸۹	۰.۲۸۵	۰.۱۲۴	۰.۰۲۱	۰.۳۰۴	۰.۰۷۴
معناداری	۰.۰۰۰	۰.۶۳۰	۰.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۰۲۱	۰.۰۲۱	۰.۱۹۹	۰.۵۶۸	۰.۹۲۷	۰.۱۶۹	۰.۷۴۴
SO ₂	۰.۳۵۰	۰.۲۸۶	۰.۵۳۳	۰.۴۴۲	۰.۳۳۱	۰.۲۵۹	۰.۰۹۰	-۰.۲۲۷	-۰.۰۹۲	۰.۰۷۴	-۰.۱۷۰
معناداری	۰.۰۵۰	۰.۱۹۷	۰.۰۱۱	۰.۰۳۹	۰.۱۳۳	۰.۲۴۵	۰.۶۸۹	۰.۳۰۹	۰.۶۸۳	۰.۷۴۳	۰.۴۵۰
PM _{2.5}	۰.۴۵	۰.۲۲۲	۰.۱۷۸	-۰.۰۴۶	-۰.۱۳۳	۰.۲۳۳	۰.۰۰۳	۰.۱۵۹	۰.۲۰۱	۰.۰۱۹	-۰.۲۷۴
معناداری	۰.۰۵۰	۰.۳۲۱	۰.۴۲۸	۰.۸۴۰	۰.۵۵۵	۰.۲۹۶	۰.۹۸۹	۴۷۹	۰.۳۷۰	۰.۹۳۱	۰.۲۱۷
شاخص	مسافت طی شده	سرانه فضای سبز عمومی	اختلاف کاربری	مساحت فضاهای باز	منابع آلودگی	رینداگی	ارتفاع ساختمان‌ها	سازندگی بلوک‌های شهری	تعداد تقاطع‌ها	مساحت خیابان‌ها	طول مسیر پیاده و دوچرخه
CO	۱.۰۰	-۰.۰۲۳	۰.۰۰۳	۰.۱۶۰	۰.۳۷۰	-۰.۱۳۸	۰.۸۰	-۰.۲۴۳	۰.۷۸	۰.۰۶۳	۰.۰۰۴
معناداری	۰.۰۰	۰.۹۱۹	۰.۹۹۱	۰.۴۷۷	۰.۰۴۰	۰.۵۶۲	۰.۰۱	۰.۳۷۶	۰.۰۰۱	۰.۶۳۲	۰.۹۸۷
O ₃	-۰.۳۰	۰.۱۱۰	۰.۲۵۸	-۰.۲۴۱	-۰.۰۳۱	-۰.۴۷۹	۰.۳۳۴	۰.۰۶۶	۰.۰۷۱	-۰.۰۸۶	۰.۰۴۹
معناداری	۰.۰۵	۰.۶۲۵	۰.۲۴۶	۰.۲۸۰	۰.۸۹۲	۰.۰۸۲	۰.۱۵۱	۰.۷۷۱	۰.۷۵۴	۰.۷۰۵	۰.۸۲۸
NO ₂	۰.۷۸	۰.۱۱۰	۰.۱۵۳	۰.۰۵۲	۰.۴۰	-۴۳۹	۰.۸۸	۰.۱۰۹	۰.۷۳	۰.۱۲۵	۰.۳۴۰
معناداری	۰.۰۰	۰.۶۲۶	۰.۴۹۸	۰.۸۱۹	۰.۰۵	۰.۰۴۱	۰.۰۰۱	۰.۶۳۱	۰.۰۱	۰.۲۵۲	۰.۱۲۱
SO ₂	۰.۵۰	-۰.۳۹۴	-۰.۰۲۱	۰.۰۵۰	۰.۶۶	۰.۵۷۷	۰.۷۰	-۰.۱۹۱	۰.۴۸	۰.۸۶۲	-۰.۲۴۲
معناداری	۰.۰۱	۰.۰۷۰	۰.۹۲۷	۰.۸۲۵	۰.۰۱۰	۰.۰۰۵	۰.۰۱	۰.۳۹۵	۰.۰۵	۰.۲۶۳	۰.۲۷۷
PM _{2.5}	۰.۶۲	۰.۱۵۲	۰.۲۷۶	۰.۱۵۰	۰.۵۳	۰.۳۶۹	۰.۹۰	۰.۰۱۲	۰.۸۵	۰.۰۵۶	۰.۲۹۸
معناداری	۰.۰۱	۰.۴۹۹	۰.۲۱۴	۰.۵۰۴	۰.۰۵	۰.۰۹۱	۰.۰۰۱	۰.۹۵۷	۰.۰۰۱	۰.۳۶۰	۰.۱۷۹

- شاخص تراکم ناخالص جمعیتی با آلاینده‌های SO₂ و NO₂ رابطه همبستگی مثبت و معناداری را نشان داد. این امر می‌تواند ناشی از آن باشد که مناطق با جمعیت بیشتر، هم تردد وسایل نقلیه افزایش می‌یابد (که منبع اصلی NO₂ است) و هم مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش خانگی بیشتر می‌گردد که به انتشار SO₂ منجر می‌شود.
- شاخص مسافت طی شده با آلاینده‌های CO و SO₂ و NO₂ و PM_{2.5} رابطه همبستگی مثبت و قوی و معناداری را نشان داد. این رابطه نشان‌دهنده نقش مستقیم فعالیت‌های حمل‌ونقل و انتشار ترافیکی آلاینده‌ها در افزایش غلظت این آلاینده‌هاست.

نتایج حاصل از جدول نشان داد که برخی شاخص‌ها روابط مثبت و معنادار بیشتری با آلاینده‌ها داشتند که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

- شاخص تراکم واحد مسکونی با آلاینده‌های CO و SO₂ و NO₂ و PM_{2.5} رابطه همبستگی متوسط و قوی‌ای را نشان داد که از نظر آماری معنادار نیز بودند. تراکم واحد مسکونی به عنوان یک شاخص شهری کلیدی نشان‌دهنده تمرکز جمعیتی و فعالیت‌های انسانی در مناطق مختلف شهری است و مناطق پرجمعیت نیز معمولاً ترافیک خودرو بیشتر، مصرف انرژی بالاتر و فعالیت‌های انسانی فشرده‌تری دارند که منابع اصلی آلاینده‌های مطرح شده، محسوب می‌شود.

مسیر پیاده و دوچرخه است. در خصوص سه شاخص عنوان شده، با بیشتر شدن میزان آنها، میزان آلودگی و غلظت آلاینده‌های هوا کاهش می‌یابد و برعکس. در خصوص شاخص طول شبکه حمل‌ونقل عمومی باید گفت، رابطه این شاخص با آلاینده CO و SO₂ و NO₂ رابطه‌ای منفی شده است، اما با آلاینده‌های دیگر رابطه مثبت داشته است. شاخص سرانه فضای سبز عمومی نیز با آلاینده‌های SO₂ و CO رابطه منفی داشته و در شاخص طول مسیر پیاده و دوچرخه، روابط همبستگی به این شکل بوده است که رابطه این شاخص با آلاینده‌های CO، O₃، NO₂، PM_{2.5} رابطه مثبتی بوده و تنها با آلاینده SO₂ رابطه منفی‌ای را شکل داده است. البته شایان ذکر است که عدد همبستگی آنها، نشان از همبستگی ضعیف این شاخص‌ها با آلاینده‌های مطرح دارد. در ادامه در جدول شماره ۶ معناداری و همبستگی آلاینده‌ها و شاخص‌ها آورده شده است.

- شاخص‌های منابع آلودگی و تعداد تقاطع‌ها نیز با آلاینده‌های CO و SO₂ و NO₂ و PM_{2.5} رابطه همبستگی مثبت و معناداری را نشان دادند. همچنین شاخص‌های سطح ساخته شده از منطقه و ریزدانی با آلاینده SO₂، مساحت کاربری‌های غیرمسکونی و تراکم واحدهای خرده‌فروشی با آلاینده NO₂، روابط معنادار و دارای همبستگی مثبت بودند؛ تنها رابطه مساحت کاربری‌های غیرمسکونی با آلاینده NO₂ و خدمات محلی با O₃ رابطه مثبتی نبود. در خصوص شاخص ریزدانی، اگرچه عدد همبستگی به دست آمده این شاخص با آلاینده O₃ نشان‌دهنده همبستگی متوسط است، اما این عدد منفی بوده و رابطه نیز معنادار نبوده است.
- نکته حائز اهمیت پژوهش در خصوص شاخص‌های طول شبکه حمل‌ونقل عمومی، سرانه فضای سبز عمومی و طول

جدول شماره ۶: معناداری و همبستگی برخی شاخص‌ها با برخی آلاینده‌ها براساس برآوردهای حاصل از جدول شماره ۵

شاخص	آلاینده	معناداری	همبستگی
تراکم واحد مسکونی	SO ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
	No ₂	کاملاً معنادار	همبستگی قوی و مثبت
	CO	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
	PM _{2.5}	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
تراکم ناخالص جمعیتی	SO ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
	No ₂	کاملاً معنادار	همبستگی قوی و مثبت
سطح ساخته شده از منطقه	SO ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
مساحت کاربری‌های غیرمسکونی	No ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و منفی
تراکم واحدهای خرده‌فروشی	No ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
خدمات محلی	O ₃	معنادار است	همبستگی متوسط و منفی
ریزدانی	SO ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
مسافت طی شده	CO	کاملاً معنادار	همبستگی قوی و مثبت
	PM _{2.5}	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
	No ₂	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
	SO ₂	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
منابع آلودگی	CO	معنادار است	همبستگی متوسط و متوسط
	PM _{2.5}	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
	No ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت
	SO ₂	معنادار است	همبستگی نسبتاً قوی و مثبت
تعداد تقاطع‌ها	CO	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
	PM _{2.5}	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
	No ₂	معنادار است	همبستگی قوی و مثبت
	SO ₂	معنادار است	همبستگی متوسط و مثبت

۵. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی رابطه و تأثیر فرم شهری بر پراکنش آلاینده‌های هوا طراحی شد. شاخص‌های فرم شهری بر اساس مطالعات نظری در چهار بعد اصلی شامل طراحی محیط، کاربری زمین، دسترسی و تراکم، در ۲۲ شاخص مورد ارزیابی قرار گرفت. آلاینده‌های مورد بررسی شامل $PM_{2.5}$ و O_3 ، CO ، SO_2 ، NO_2 بوده‌اند که میزان همبستگی هریک از این آلاینده‌ها با هریک از شاخص‌ها محاسبه گردید و نتیجه این تحلیل به این صورت بوده است که شاخص‌های تراکم واحدهای مسکونی که در نتایج پژوهش‌های زبردست و ریاضی ۱۳۹۳، کهراری و همکاران ۱۴۰۳، لی و همکاران ۲۰۱۹ این نتیجه صدق می‌کند (Zebardast & Riazi, 2015; Kahrar, et al., 2025; Lee, et al., 2019)، تراکم‌ناخالص جمعیتی که با نتایج پژوهش‌های لیانگ و گونگ ۲۰۲۰، زبردست و ریاضی ۱۳۹۳، کهراری و همکاران ۱۴۰۳، فان و همکاران ۲۰۱۸، رودریگز و همکاران، ۲۰۱۶ همپوشانی دارد (Zebardast & Riazi, 2015; Kahrar, et al., 2025; Fan, et al., 2018, Rodríguez, et al., 2016)، سطح ساخته شده از منطقه که در پژوهش بارت ۲۰۱۰ این نتیجه به دست آمده است (Bart, 2010)، مساحت کاربری‌های غیرمسکونی که با نتیجه پژوهش زبردست و ریاضی ۱۳۹۳ همپوشانی دارد (Zebardast & Riazi, 2015)، تراکم واحدهای خرده‌فروشی که در پژوهش زبردست و ریاضی ۱۳۹۳ این نتیجه به دست آمده است (Zebardast & Riazi, 2015)، خدمات محلی که در پژوهش زبردست و ریاضی ۱۳۹۳ چنین نتیجه‌ای حاکم است (Zebardast & Riazi, 2015)، ریزدانی که در نتایج پژوهش زبردست و ریاضی ۱۳۹۳ آمده است (Zebardast & Riazi, 2015)، مسافت طی شده که از نتایج پژوهش براتی و سردره ۱۳۹۲، قدمی و عبداله‌وند ۱۳۹۷ حمایت می‌کند (Barati & Sardareh, 2013; Ghadami & Abdollahvand., 2018)،

منابع آلودگی (در پژوهش کهراری و همکاران ۱۴۰۳، این نتیجه حاصل شده است) (Kahrari, et al, 2025) و تعداد تقاطع‌ها (در پژوهش زبردست و ریاضی ۱۳۹۳، چنین نتیجه‌ای حاکم است) (Zebardast & Riazi, 2015) با آلاینده‌ها، رابطه همبستگی داشتند که از نظر آماری نیز معنادار بودند. در این بین شاخص خدمات محلی با آلاینده O_3 رابطه معنادار با همبستگی متوسط داشت ولی این همبستگی منفی است، همچنین رابطه شاخص مساحت کاربری‌های غیرمسکونی با آلاینده NO_2 رابطه معناداری بود اما همبستگی آن منفی شده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های ساختاری و کلیدی شهر به طور قابل توجهی با آلاینده‌های کلیدی شهری (CO و SO_2 و NO_2 و $PM_{2.5}$) مرتبط هستند. این نتایج مثبت و معنادار، حاکی از آن است که چگونگی سازماندهی فضاهای شهری و الگوی فعالیت‌های انسانی در محیط‌های با تراکم ساخت بالا، می‌تواند باعث افزایش انتشار و تجمع آلاینده‌ها شود. همبستگی مشاهده شده بین ویژگی‌های مورفولوژیک شهری و نحوه انتشار غلظت آلاینده‌ها نشان می‌دهد که تغییرات در ابعاد فرم شهری، مانند تراکم، نحوه توزیع کاربری زمین، طراحی محیط و میزان دسترسی، مستقیماً بر الگوهای پراکندگی و تمرکز آلاینده‌ها تأثیرگذار است. این یافته‌ها دلالت بر آن دارد که با برنامه‌ریزی فضایی و طراحی هدفمند می‌توان پراکندگی آلاینده‌ها در سطح شهرها مدیریت نمود.

Reference

- Adolphe, L. (2001). A simplified model of urban morphology: Application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 183–202. <https://doi.org/10.1068/b2631>
- Arifwidodo, S. D., & Perera, R. (2011). Quality of life and compact development policies in Bandung, Indonesia. *Applied Research in Quality of Life*, 6(2), 159–179.
- Bagley, M. N., & Mokhtarian, P. L. (2002). The impact of residential neighborhood type on travel behavior: A structural equations modeling approach. *The Annals of Regional Science*, 36(2), 279–297.
- Barati, N., & Sardare, A. A. (2013). The Impact of Urban Form Indicators on Private Car Use and Energy Consumption in Tehran Districts. *Baghe Nazar*, 10(26), 3–12. <https://www.magiran.com/p1169144>[in Persian]
- Bart, I. L. (2010). Urban sprawl and climate change: A statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU. *Land use policy*, 27(2), 283–292. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.03.003>
- Batty, M. (2008). The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319(5864), 769–771. <https://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Bell, J. N. B., Power, S. A., Jarraud, N., Agrawal, M., & Davies, C. (2011). The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(3), 226–235. <https://doi.org/10.1080/13504509.2011.570803>
- Bereitschaft, B., & Debbage, K. (2013). Urban form, air pollution, and CO2 emissions in large US metropolitan areas. *The Professional Geographer*, 65(4), 612–635. <https://doi.org/10.1080/00330124.2013.799991>
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- Chatman, D. (2006). Transit-oriented development and household travel: A study of California cities. Los Angeles: Institute of Transportation Studies, School of Public Affairs, University of California, Los Angeles.
- Chen, X., Shao, S., Tian, Z., Xie, Z., & Yin, P. (2017). Impacts of air pollution and its spatial spillover effect on public health based on China's big data sample. *Journal of Cleaner Production*, 142, 915–925. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.119>
- Cionco, R. M., & Ellefsen, R. (1998). High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling. *Atmospheric Environment*, 32(1), 7–17. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00274-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00274-4)
- Cömert, N. Z., & Hoskara, S. Ö. (2013). A typomorphological study: The CMC industrial mass housing district, Lefke, Northern Cyprus. *Open House International*, 38(2), 16–30. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2013-B0003>
- Edussuriya, P., Chan, A., & Ye, A. (2011). Urban morphology and air quality in dense residential environments in Hong Kong. Part I: District-level analysis. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4789–4803. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.061>
- Ewing, R., & Handy, S. (2009). Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability. *Journal of Urban Design*, 14(1), 65–84. <https://doi.org/10.1080/13574800802451155>
- Fan, C., Tian, L., Zhou, L., Hou, D., Song, Y., Qiao, X., & Li, J. (2018). Examining the impacts of urban form on air pollutant emissions: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 212, 405–414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.001>
- Fattahi, M., Hesari, A., Sadeghi, H., & Asgharpour, H. (2015). Empirical Analysis of the Relationship between Air Pollution and Public Health Expenditures: A Dynamic Panel Data Approach. *Fasname-ye Model Sazi-ye Eghtesadi*, 9(31), 43–60. [in Persian]
- Frank, L. D., Greenwald, M. J., Winkelmann, S., Chapman, J., & Kavage, S. (2010). Carbonless footprints: Promoting health and climate stabilization through active transportation. *Preventive Medicine*, 50, S99–S105. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.09.025>
- Frank, L. D., Saelens, B. E., Powell, K. E., & Chapman, J. E. (2007). Stepping towards causation: Do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Social Science & Medicine*, 65(9), 1898–1914. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.05.053>
- Frank, L. D., Stone, B., Jr., & Bachman, W. (2000). Linking land use with household vehicle emissions in the central Puget Sound: Methodological framework and findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(3), 173–196. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00032-2)
- Ghadami, M., & Abdollahvand, H. (2018). Investigating the impact of urban spatial structure

- scenarios on air pollution (Case study: Tehran). *Geography and Urban Spatial Development*, 5(1), 261–280. <https://doi.org/10.22067/gusd.v5i1.73356> [in Persian]
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
 - Handy, S. L., Boarnet, M. G., Ewing, R., & Killingsworth, R. E. (2002). How the built environment affects physical activity: Views from urban planning. *American Journal of Preventive Medicine*, 23(2), 64–73. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(02\)00475-0](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(02)00475-0)
 - Hankey, S., Lindsey, G., & Marshall, J. D. (2017). Population-level exposure to particulate air pollution during active travel: Planning for low-exposure, health-promoting cities. *Environmental Health Perspectives*, 125(4), 527–534. <https://doi.org/10.1289/EHP442>
 - Health Effects Institute. (2018). *State of Global Air 2018: Over 7 billion people face unsafe air* (Special report, pp. 1–2). Health Effects Institute.
 - Hough, M. (1995). *Cities and natural processes*. Routledge. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.04.011>
 - Kahrari, K., Shahrivar, S., Keykhosravi, A., & Seyed Jalil, (2025). Investigating the Effects of Urban Form and Meteorological Elements on Air Pollution in Tehran and Tabriz. *Journal of Geography and Development*, 23(79), 103–132. [in Persian]
 - Khaleghi Moghadam, N., Nazari, M., & Haghdoost, A. (2016). Environmental Pollutants (Case Study: Air Pollution and Its Harmful Effects). Proceedings of the 10th Pishgaman-e Pishraf Conference, Tehran. [in Persian]
 - Kirby, T. (2016). WHO: 92% of the world's population breathe polluted air. *The Lancet Respiratory Medicine*, 4(11), 862.
 - Lee, Y., Washington, S., & Frank, L. D. (2009). Examination of relationships between urban form, household activities, and time allocation in the Atlanta Metropolitan Region. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(4), 360–373. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.11.013>
 - Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z. R., & Fu, Q. (2019). Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*, 147, 559–568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.038>
 - Liang, L., & Gong, P. (2020). Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Scientific reports*, 10(1), 18618.
 - Lim, C. C., Hayes, R. B., Ahn, J., Shao, Y., Silverman, D. T., Jones, R. R., ... & Thurston, G. D. (2018). Association between long-term exposure to ambient air pollution and diabetes mortality in the US. *Environmental Research*, 165, 330–336.
 - Madanipour, A. (2000). *Urban Space Design: A Perspective on Social-Spatial Processes* (F. Mortazayi, Trans.). Tehran: Shirkate Pardazesh va Barname-rizi-ye Shahri. [in Persian]
 - Marquez, L. O., & Smith, N. C. (1999). A framework for linking urban form and air quality. *Environmental Modelling & Software*, 14(6), 541–548. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(99)00018-3)
 - Martino, N., Girling, C., & Lu, Y. (2021). Urban form and livability: Socioeconomic and built environment indicators. *Buildings & Cities*, 2(1).
 - Riazi, H. (2012). *Urban Form Characteristics and Air Pollution*. 1st Conference on Air and Noise Pollution Management, Tehran, Iran. [in Persian]
 - Rodríguez, M. C., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
 - Seigneur, C. (2019). *Air pollution: Concepts, theory, and applications*. Cambridge University Press.
 - She, Q., Peng, X., Xu, Q., Long, L., Wei, N., Liu, M., ... & Xiang, W. (2017). Air quality and its response to satellite-derived urban form in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 75, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.045>
 - Song, Y., & Knaap, G. J. (2004). Measuring urban form: Is Portland winning the war on sprawl? *Journal of the American Planning Association*, 70(2), 210–225. <https://doi.org/10.1080/01944360408976371>
 - Sovacool, B. K., & Brown, M. A. (2010). Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment. *Energy Policy*, 38(9), 4856–4869. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.001>
 - Theurer, W. (1999). Typical building arrangements for urban air pollution modelling. *Atmospheric Environment*, 33(24–25), 4057–4066. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00147-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00147-8)
 - Tsigoti, D., & Bikas, D. (2017). A cross scale analysis of the relationship between energy efficiency and urban morphology in the Greek city context. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 682–687. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.149>

- Tsirigoti, D., & Bikas, D. (2017). A cross scale analysis of the relationship between energy efficiency and urban morphology in the Greek city context. *Procedia environmental sciences*, 38, 682-687.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.149>
- Williams, T. (2014). Archaeology: Reading the city through time. In *Reconnecting the city: The historic urban landscape approach and the future of urban heritage* (pp. 17-45).
<https://doi.org/10.1002/9781118383940.ch1>
- Yang, J., Shi, B., Zheng, Y., Shi, Y., & Xia, G. (2020). Urban form and air pollution disperse: Key indexes and mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 57, 101955.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101955>
- Zebardast, E., & Riazi, H. (2013). The analysis of the relationship between neighborhood walkability capability and air pollution: Case study of areas around air quality monitoring stations in Tehran. *Motaleate Shahri (Urban Studies)*, 2(5), 35-46. (In Persian).
- Zebardast, E., & Riazi, H. (2015). Built Environment Indicators and Their Effects on Air Pollution (Case Study: Surrounding Areas of Fourteen Air Quality Monitoring Stations in Tehran). *Honarha-ye Ziba: Memari va Shahrsazi*, 20(1), 55-66.
<https://doi.org/10.22059/jfaup.2015.56371> [in Persian]
- Zhang, A., Xia, C., & Li, W. (2022). Exploring the effects of 3D urban form on urban air quality: Evidence from fifteen megacities in China. *Sustainable Cities and Society*, 78, 103649.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103649>

نحوه ارجاع به مقاله:

عادلی، زینب؛ پیراسته، آذین (۱۴۰۴) تاثیر فرم شهری بر میزان آلودگی هوا (نمونه مورد مطالعه: مناطق ۲۲گانه شهر تهران)، *مطالعات شهری*، ۱۵ (۵۷)، ۵۴-۳۹.
Doi: 10.22034/urbs.2025.144395.5208

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

