مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶

E-ISSN: 3115-9265

A Multiscale Morphological–Aerodynamic Framework for Urban Air Quality: Explaining the Mechanisms Linking Urban Form to Pollutant Transport and Human Exposure

Mohammadmehdi Moulaii[1*], Vajiheh Nouri[2]

1- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- PhD student, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
*m.moulaii@basu.ac.ir

Date of submission: 2026/07/01 Revision: 2026/09/06 Acceptance: 2026/09/09

Abstract

Urban air quality is shaped by complex interactions among pollutant emission loads, meteorological conditions, urban spatial structure, and human exposure patterns. Although numerous studies have investigated the influence of urban morphological characteristics on ventilation and pollutant dispersion, fragmented analytical scales, diverse evaluation indicators, and a focus on isolated variables have limited the development of an integrated understanding of how urban form affects air quality. This study aims to elucidate the mechanisms linking urban morphology, aerodynamic processes, pollutant transport, and human exposure by developing a multiscale framework for analysing the relationship between urban form and air quality. The research adopts an applied–developmental approach and employs an integrative literature review with a critical synthesis methodology. Evidence from theoretical studies, field measurements, statistical analyses, computational fluid dynamics (CFD) simulations, spatial analyses, and remote sensing studies was systematically reviewed and synthesized across macro-, meso-, and micro-scales. The findings demonstrate that the effects of morphological attributes on air quality are neither linear nor independent; rather, they depend on the interactions among spatial scale, wind conditions, emission characteristics, urban configuration, and receptor location. Furthermore, ventilation-related indicators, such as airflow velocity and air exchange rate, cannot independently represent air quality performance, and reliable assessment requires simultaneous consideration of pollutant pathways, concentration distribution, and human exposure patterns. The proposed framework integrates the relationships among emission sources, transport mechanisms, environmental responses, and human exposure, providing a knowledge-based foundation for urban planning, morphological design, and evidence-informed air quality strategies.

Keywords: Pollutant dispersion, Human exposure, Urban ventilation, Street canyon, Critical synthesis

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶

E-ISSN: 3115-9265

چارچوب چندمقیاسی مورفولوژیک – آیرودینامیکی کیفیت هوای شهری: تبیین سازوکارهای اثرگذاری فرم شهری بر انتقال آلاینده و مواجهه انسانی

محمدمهدی مولایی[1*]، وجیهه نوری [2]

۱- استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*m.moulaii@basu.ac.ir

تاریخ ارسال:۱۴۰۵/۰۴/۱۰ بازنگری:۱۴۰۵/۰۶/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۸

چکیده

کیفیت هوای شهری حاصل تعامل میان منابع انتشار، شرایط هواشناسی، ساختار فضایی شهر، عناصر منظر و الگوی مواجهه انسانی است. اگرچه مطالعات متعددی اثر ویژگی‌های مورفولوژیک بر تهویه شهری و پراکنش آلاینده‌ها را بررسی کرده‌اند، تفاوت در مقیاس‌های تحلیل و تمرکز بر شاخص‌های منفرد، دستیابی به درکی یکپارچه از سازوکارهای اثرگذاری فرم شهری بر کیفیت هوا را محدود کرده است. پژوهش حاضر با هدف تدوین چارچوبی چندمقیاسی برای تبیین رابطه میان مورفولوژی شهری، فرآیندهای آیرودینامیکی، انتقال آلاینده‌ها و مواجهه انسانی انجام شده است. روش پژوهش مبتنی بر مرور یکپارچه ادبیات با رویکرد سنتز انتقادی است. مطالعات منتخب بر اساس مقیاس تحلیل، روش پژوهش، متغیرهای مورفولوژیک، عناصر منظر، سازوکارهای انتقال و پیامدهای محیطی و انسانی استخراج، کدگذاری و تحلیل شدند. یافته‌ها نشان داد که اثرگذاری ویژگی‌های مورفولوژیک بر کیفیت هوا ماهیتی خطی و مستقل ندارد، بلکه حاصل تعامل میان مقیاس فضایی، شرایط باد، ویژگی‌های منبع انتشار، ساختار بافت، عناصر منظر و موقعیت گیرنده است. همچنین مشخص شد که شاخص‌های مرتبط با تهویه، مانند سرعت جریان هوا یا نرخ تعویض هوا، به‌تنهایی نمی‌توانند عملکرد واقعی کیفیت هوا را تبیین کنند و ارزیابی معتبر نیازمند توجه هم‌زمان به مسیر انتقال، توزیع غلظت و الگوی مواجهه انسانی است. چارچوب پیشنهادی پژوهش با سازمان‌دهی رابطه میان منبع انتشار، سازوکارهای انتقال، پیامدهای محیطی و مواجهه انسانی، می‌تواند مبنایی برای توسعه رویکردهای مبتنی بر شواهد در برنامه‌ریزی شهری، طراحی منظر و سیاست‌گذاری کیفیت هوا فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: پراکنش آلاینده‌ها، مواجهه انسانی، تهویه شهری، خیابان‌دره، سنتز انتقادی

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

۱. مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی شهرهای معاصر است که پیامدهای گسترده‌ای بر کیفیت محیط، سلامت عمومی و آسایش شهروندان دارد (World Health Organization, 2021; GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020). بااین‌حال، کیفیت هوای شهری صرفاً حاصل میزان انتشار آلاینده‌ها نیست، بلکه از تعامل میان منابع انتشار، شرایط هواشناسی، ساختار فضایی شهر، ویژگی‌های محیط ساخته‌شده و الگوی حضور انسان در فضا شکل می‌گیرد. در این میان، مورفولوژی شهری به‌عنوان سازمان‌دهنده اصلی ساختار فضایی شهر، می‌تواند از طریق تغییر در مسیرهای جریان هوا، ظرفیت تهویه، پراکنش و زمان ماند آلاینده‌ها بر عملکرد کیفیت هوا اثرگذار باشد.

بر این اساس، تحلیل رابطه میان فرم شهری و کیفیت هوا نیازمند تفکیک دو مؤلفه مکمل است: نخست، بار انتشار آلاینده‌ها که به الگوی فعالیت، کاربری زمین و شبکه حمل‌ونقل مرتبط است؛ و دوم، ظرفیت انتقال–پاک‌سازی محیط شهری که تحت تأثیر ویژگی‌های مورفولوژیک و شرایط آیرودینامیکی قرار دارد. در مقیاس کلان، الگوی توسعه، ساختار فضایی، توزیع فعالیت‌ها و استقرار منابع انتشار بر تولید و توزیع آلاینده‌ها اثر می‌گذارند (Borrego et al., 2006; Fan et al., 2018; Martins, 2012; McCarty & Kaza, 2015). در مقیاس میانی، شبکه معابر، ویژگی بلوک‌ها، تراکم، زبری و پیوستگی فضاهای باز، مسیر جریان و تهویه شهری را تغییر می‌دهند (Edussuriya et al., 2011, 2014; Hang & Li, 2010; Lin et al., 2014; Wang et al., 2017). در مقیاس خرد نیز هندسه خیابان، نسبت ارتفاع به عرض، آرایش ساختمان‌ها، گشودگی‌ها و عناصر منظر بر انتقال افقی، تبادل عمودی و اختلاط آشفته اثرگذار هستند (Hang et al., 2012; Oke, 1988; Park et al., 2004).

با وجود پیشرفت مطالعات، نتایج پژوهش‌ها درباره عملکرد متغیرهای مورفولوژیک همواره یکسان نیست. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که اثر ویژگی‌های کالبدی ماهیتی زمینه‌وابسته دارد و به عواملی مانند شرایط باد، ویژگی منبع انتشار، نوع آلاینده، آرایش بافت و مقیاس تحلیل وابسته است. برای مثال، فشردگی شهری می‌تواند از یک سو با کاهش وابستگی به خودرو موجب کاهش انتشار شود و از سوی دیگر، با محدودکردن جریان هوا، پراکنش آلاینده‌ها را در مقیاس محلی کاهش دهد (Lee, 2020; Liu et al., 2016; She et al., 2017). بنابراین، ارزیابی فرم شهری نیازمند رویکردی است که تعامل میان ساختار فضایی، فرآیندهای انتقال و پیامدهای محیطی را هم‌زمان در نظر گیرد.

در کنار فرم ساخته‌شده، عناصر منظر شهری و زیرساخت سبز نیز بخشی از سامانه محیطی شهر محسوب می‌شوند. پوشش گیاهی می‌تواند از طریق رسوب آلاینده‌ها، تعدیل حرارتی، ایجاد سایه و تغییر ویژگی‌های جریان هوا بر کیفیت محیط اثرگذار باشد؛ بااین‌حال، عملکرد آن به تراکم، تخلخل، هندسه فضا و شرایط جریان وابسته است و در برخی شرایط ممکن است با افزایش مقاومت آیرودینامیکی، تهویه را محدود کند (Janhäll, 2015; Abhijith et al., 2017). ازاین‌رو، عناصر منظر باید در ارتباط با ساختار مورفولوژیک و شرایط اقلیمی مورد ارزیابی قرار گیرند.

یکی از چالش‌های اصلی در ادبیات موجود، همسان‌پنداری میان بهبود شرایط جریان هوا و ارتقای واقعی کیفیت هوا است. شاخص‌هایی مانند سرعت باد و نرخ تعویض هوا تنها ظرفیت انتقال را نشان می‌دهند و الزاماً بیانگر کاهش غلظت یا کاهش مواجهه انسانی نیستند (Hang et al., 2012; Yousefian et al., 2021). همچنین مواجهه انسانی علاوه بر غلظت آلاینده، به موقعیت گیرنده، ارتفاع تنفس، مدت حضور و الگوی فعالیت وابسته است (Miao et al., 2023; Ng & Chau, 2014). بر این اساس، رابطه میان مورفولوژی شهری، عناصر منظر و کیفیت هوا باید در قالب زنجیره «منبع انتشار–مسیر انتقال–توزیع غلظت–گیرنده انسانی» تحلیل شود.

با توجه به این شکاف، پژوهش حاضر با هدف تدوین یک چارچوب چندمقیاسی مورفولوژیک–آیرودینامیکی انجام شده است تا سازوکارهای اثرگذاری فرم شهری و عناصر منظر بر انتقال آلاینده‌ها، توزیع غلظت و مواجهه انسانی را تبیین کند. این پژوهش با بهره‌گیری از مرور یکپارچه

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

ادبیات و تحلیل محتوای مطالعات موجود، تلاش می‌کند روابط میان محرک‌های کالبدی، فرآیندهای انتقال و پیامدهای انسانی را استخراج کرده و چارچوبی تحلیلی برای پیوند میان برنامه‌ریزی شهری، طراحی منظر و ارتقای کیفیت هوای شهری ارائه دهد.

۲. مبانی نظری پژوهش

۲-۱. مورفولوژی شهری

مورفولوژی شهری به ساختار، پیکربندی و روابط فضایی میان اجزای ساخته‌شده و باز شهر اشاره دارد. این مفهوم افزون بر شکل ظاهری، روابط میان شبکه معابر، قطعات، بلوک‌ها، ساختمان‌ها، فضاهای باز، کاربری‌ها و روند تحول آن‌ها را دربرمی‌گیرد (Cuthbert, 2006; Moudon, 1994; Radberg, 1996; Trache, 2001). از منظر کیفیت هوا، اهمیت مورفولوژی شهری در نحوه استقرار منابع انتشار، ایجاد مقاومت آیرودینامیکی، هدایت جریان هوا و تعیین مسیرهای انتقال و تجمع آلاینده‌ها نهفته است (مولایی و نوری، ۱۴۰۴).

با این حال، مورفولوژی شهری صرفاً به عناصر کالبدی ساخته‌شده محدود نمی‌شود، بلکه تعامل میان فرم ساختمان‌ها، شبکه فضاهای باز، سطوح نفوذپذیر و عناصر منظر شهری نیز بخشی از ساختار محیطی شهر را شکل می‌دهد. این عناصر از طریق تغییر در زبری سطح، میزان بازشدگی بافت، شرایط تابشی، دمای سطح و ویژگی‌های جریان هوا می‌توانند بر عملکرد اقلیمی و کیفیت محیطی فضاهای شهری اثرگذار باشند. مطالعات انجام‌شده در حوزه خرداقلیم شهری نشان داده‌اند که تغییر در هندسه ساختمان‌ها، سازمان فضایی بلوک‌ها و ویژگی‌های فضاهای باز می‌تواند شرایط محیطی و آسایش کاربران را تحت تأثیر قرار دهد (Rezaei Rad et al., 2021). همچنین، بررسی تغییرات حرارتی فضاهای شهری نشان می‌دهد که تغییرات ساختاری شهر، از جمله تغییر در سطوح ساخته‌شده، فضای باز و پوشش طبیعی، می‌تواند با تغییر شرایط حرارتی و عملکرد محیطی شهر همراه باشد (Moulaii et al., 2023).

در پژوهش حاضر، متغیرهای مورفولوژیک در سه مقیاس سازمان‌دهی می‌شوند. مقیاس کلان شامل الگوی توسعه، فشردگی یا پراکندگی، توزیع کاربری‌ها، ساختار تک‌مرکزی یا چندمرکزی، نظام حمل‌ونقل، توپوگرافی و کریدورهای جریان است. مقیاس میانی شبکه معابر، شکل و طول بلوک‌ها، اتصال‌پذیری، سطح پیشانی، زبری، پیوستگی فضاهای باز و آرایش ارتفاعی را دربرمی‌گیرد. مقیاس خرد نیز شامل نسبت منظر خیابان، طول و جهت معبر، ارتفاع و فرم ساختمان، شکل بام، عقب‌نشستگی، گشودگی جداره‌ها و پوشش گیاهی است.

۲-۲. بار انتشار، غلظت و مواجهه

«انتشار» به مقدار آلاینده واردشده به محیط در واحد زمان گفته می‌شود و به نوع منبع، سوخت، فناوری، شدت فعالیت و موقعیت منبع وابسته است. «غلظت» حاصل برهم‌کنش انتشار با فرایندهای انتقال، اختلاط، رسوب، واکنش‌های جوی و آلودگی زمینه‌ای است (Seinfeld & Pandis, 2012). بنابراین، سهم یک منبع از موجودی انتشار را نمی‌توان بدون استفاده از مدل‌های پراکنش یا مدل گیرنده، مستقیماً برابر سهم آن از غلظت محیطی دانست.

«مواجهه انسانی» نیز مفهومی متفاوت از غلظت است و به تماس فرد با غلظت متغیر آلاینده در طول زمان، مکان و فعالیت اشاره دارد. دو فرد در یک محدوده یکسان ممکن است به دلیل تفاوت در مسیر حرکت، مدت حضور، ارتفاع تنفس و نوع ریزمحیط، میزان مواجهه متفاوتی داشته باشند. ازاین‌رو، کاهش میانگین غلظت در یک محدوده الزاماً به معنای کاهش مواجهه همه گروه‌های انسانی نیست.(Zhou et al., 2025)

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

۲-۳. سازوکارهای آیرودینامیکی

مورفولوژی شهری از طریق سه سازوکار اصلی، توزیع آلاینده‌ها را تغییر می‌دهد. نخست، انتقال افقی که جابه‌جایی آلاینده در امتداد خیابان‌ها، تقاطع‌ها، فواصل میان بلوک‌ها و به سمت پایین‌دست را شامل می‌شود و به جهت باد، اتصال شبکه، طول مسیر، اختلاف فشار و میزان انسداد وابسته است. دوم، تبادل عمودی که انتقال آلاینده میان فضای خیابان یا لایه تاج شهری و جریان بالای بام را دربرمی‌گیرد. این فرایند از طریق جریان متوسط عمودی، اختلاف فشار، مکش بام و ساختار گردابه‌ای صورت می‌گیرد. سوم، اختلاط آشفته که در اثر نوسانات جریان و گردابه‌های ناشی از لبه ساختمان‌ها، شکست‌های ارتفاعی و زبری سطح شکل می‌گیرد. اختلاط آشفته می‌تواند رقیق‌سازی و خروج آلاینده را افزایش دهد، اما در برخی شرایط موجب بازگشت آلاینده به لایه‌های پایین‌تر، جداره مقابل یا فضاهای مجاور نیز می‌شود. (Hang & Li, 2010)

شاخص‌هایی مانند سرعت باد، نرخ تعویض هوا، سرعت تبادل آلاینده، زمان ماند، نرخ پاک‌سازی و شار خروج، ابعاد متفاوت این سازوکارها را اندازه‌گیری می‌کنند. بااین‌حال، هیچ‌یک از این شاخص‌ها به‌تنهایی معادل کیفیت هوا یا مواجهه انسانی نیستند و باید همراه با توزیع غلظت، موقعیت منبع و مشخصات گیرنده تفسیر شوند. (Shui et al., 2025)

۲-۴. منظر شهری، زیرساخت سبز و تعامل آن با آیرودینامیک شهری

عناصر منظر شهری، به‌ویژه پوشش گیاهی و زیرساخت‌های سبز، بخشی از سامانه محیطی شهر محسوب می‌شوند که می‌توانند از طریق تغییر ویژگی‌های جریان هوا، تعدیل شرایط خرداقلیمی و اثرگذاری بر فرآیندهای رسوب و پراکنش آلاینده‌ها بر کیفیت هوا اثرگذار باشند. با این حال، اثر پوشش گیاهی بر کیفیت هوا یک رابطه خطی و مستقل از زمینه نیست، بلکه به ویژگی‌های گونه گیاهی، تراکم و تخلخل تاج پوشش، آرایش فضایی، هندسه خیابان و شرایط باد وابسته است (Janhäll, 2015; Abhijith et al., 2017).

در فضاهای شهری متراکم، پوشش گیاهی می‌تواند از طریق افزایش سطح تماس برگ‌ها با ذرات معلق، نقش پالایشی ایفا کند؛ اما در برخی شرایط، افزایش مقاومت آیرودینامیکی و کاهش تبادل هوا ممکن است موجب افزایش زمان ماند آلاینده‌ها شود. ازاین‌رو، طراحی منظر شهری باید بر اساس رویکرد عملکردی و مبتنی بر شواهد انجام شود و انتخاب عناصر سبز نه صرفاً بر مبنای میزان سبزینگی، بلکه با توجه به تعامل میان پوشش گیاهی، فرم شهری و سازوکارهای انتقال هوا صورت گیرد (Janhäll, 2015; Abhijith et al., 2017).

۲-۵- چارچوب نظری پژوهش

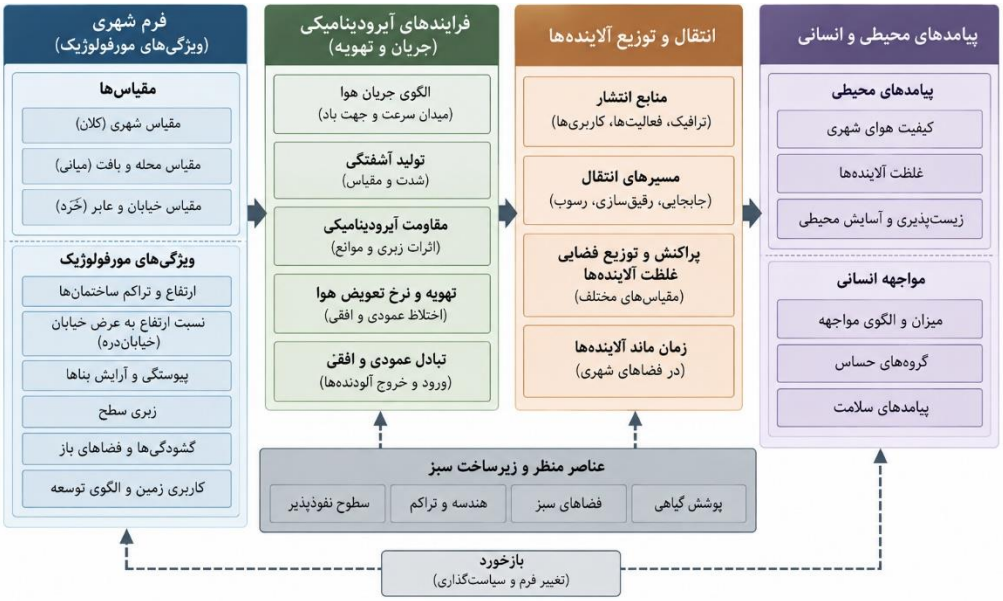
بررسی مبانی نظری نشان می‌دهد که تبیین رابطه میان مورفولوژی شهری و کیفیت هوا نیازمند رویکردی چندبعدی و سامانه‌ای است. در این دیدگاه، فرم شهری به‌عنوان عاملی میانجی میان فرآیندهای انتشار، انتقال آلاینده‌ها، ویژگی‌های محیط ساخته‌شده و الگوی مواجهه انسانی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، اثرگذاری آن نه به‌صورت مستقیم و ثابت، بلکه از طریق تغییر در جریان هوا، نفوذپذیری کالبدی، مسیرهای انتقال و توزیع غلظت آلاینده‌ها شکل می‌گیرد.

بر این اساس، چارچوب نظری پژوهش حاضر بر تلفیق چهار حوزه مورفولوژی شهری، آیرودینامیک شهری، پراکنش آلاینده‌ها و مواجهه انسانی استوار است. در این چارچوب، شهر به‌عنوان یک سامانه فضایی–محیطی در نظر گرفته می‌شود که ویژگی‌های کالبدی آن در سه مقیاس کلان، میانی و خرد بر فرآیندهای مرتبط با کیفیت هوا اثر می‌گذارند. در مقیاس کلان، الگوی توسعه، تراکم، کاربری زمین و ساختار حمل‌ونقل بر بار انتشار و شرایط کلی پراکنش اثر دارند؛ در مقیاس میانی، شبکه معابر، هندسه بلوک‌ها، زبری و پیوستگی فضاهای باز مسیر جریان هوا و ظرفیت تهویه را تنظیم می‌کنند؛ و در مقیاس خرد، هندسه خیابان، آرایش ساختمان‌ها، گشودگی‌ها و پوشش گیاهی بر انتقال افقی، تبادل عمودی و اختلاط آشفته اثرگذارند.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

عناصر منظر و زیرساخت سبز نیز به‌عنوان بخشی از سامانه مورفولوژیک–محیطی شهر، از طریق تعدیل شرایط حرارتی، تغییر مقاومت جریان و تأثیر بر رسوب آلاینده‌ها بر عملکرد محیطی فضاهای شهری اثر می‌گذارند؛ با این حال، عملکرد آن‌ها وابسته به ویژگی‌های فضایی، هندسه محیط و شرایط اقلیمی است.

بر مبنای این چارچوب، کیفیت هوای شهری حاصل تعامل میان ساختار فضایی شهر، فرآیندهای آیرودینامیکی، ویژگی منابع انتشار و موقعیت گیرندگان انسانی است. ازاین‌رو، میان انتشار آلاینده، غلظت محیطی و مواجهه انسانی تمایز قائل شده و رابطه آن‌ها در قالب زنجیره «منبع انتشار–مسیر انتقال–گیرنده انسانی» تحلیل می‌شود. این چارچوب مبنای تدوین مدل مفهومی پژوهش و تحلیل نظام‌مند مطالعات پیشین قرار گرفته است.



شکل ۱. چارچوب نظری پژوهش: تبیین رابطه فرم شهری، فرایندهای آیرودینامیکی و کیفیت هوا، منبع: نگارندگان.
ترسیم توسط هوش مصنوعی (ChatGPT, OpenAI)

۳. پیشینه پژوهش

مطالعات پیشین در زمینه ارتباط میان ساختار فضایی شهر، فرآیندهای آیرودینامیکی، کیفیت هوا و عملکرد محیطی فضاهای شهری، از رویکردهای متنوعی شامل تحلیل‌های اقلیمی، شبیه‌سازی عددی، مطالعات مکانی و ارزیابی‌های محیطی بهره گرفته‌اند. مرور این مطالعات نشان می‌دهد که اثرگذاری مورفولوژی شهری بر کیفیت هوا حاصل عملکرد یک متغیر منفرد نیست، بلکه از تعامل میان ویژگی‌های کالبدی، شرایط جریان هوا، ویژگی‌های محیطی، عناصر منظر و موقعیت گیرندگان انسانی شکل می‌گیرد. بر این اساس، مطالعات پیشین در سه محور اصلی شامل (۱) مورفولوژی شهری و سازوکارهای آیرودینامیکی، (۲) منظر شهری و زیرساخت سبز، و (۳) کیفیت محیطی و مواجهه انسانی بررسی می‌شوند.

۳-۱. مورفولوژی شهری و سازوکارهای آیرودینامیکی

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

بخش قابل توجهی از مطالعات موجود بر نقش ویژگی‌های مورفولوژیک در تنظیم رفتار جریان هوا، ظرفیت تهویه و الگوی پراکنش آلاینده‌ها تمرکز داشته‌اند. مطالعات بنیادی اقلیم شهری نشان داده‌اند که هندسه محیط ساخته‌شده، به‌ویژه نسبت ارتفاع ساختمان به عرض خیابان، زبری سطح و نحوه آرایش ساختمان‌ها، از عوامل تعیین‌کننده در شکل‌گیری جریان‌های هوا در مقیاس نزدیک به سطح زمین هستند (Oke, 1988). مطالعات مبتنی بر شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی نیز نشان داده‌اند که متغیرهایی مانند تراکم، طول معابر، تغییرپذیری ارتفاع ساختمان‌ها و میزان نفوذپذیری همکف، می‌توانند ظرفیت تبادل هوا و عملکرد تهویه شهری را تغییر دهند. Hang و Li (۲۰۱۰) نشان دادند که افزایش فشردگی و طول شبکه معابر در برخی شرایط موجب کاهش تهویه می‌شود، در حالی که تنوع ارتفاعی و بازبودن مسیرهای جریان می‌تواند تبادل هوا را تقویت کند. همچنین Hang et al. (۲۰۱۲) تأکید کردند که اثر تغییرات ارتفاعی بر رفتار جریان، ماهیتی غیرخطی داشته و به شرایط زمینه‌ای وابسته است.

در مقیاس محله و خیابان نیز مطالعات Edussuriya et al. (2011, 2014)، Lin et al. (۲۰۱۴) و Ng & Chau (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که ویژگی‌هایی مانند شبکه معابر، هندسه بلوک‌ها، نسبت منظر خیابان، فاصله ساختمان‌ها و جهت‌گیری معابر، نقش مهمی در شکل‌گیری الگوهای تجمع، انتقال و بازتوزیع آلاینده‌ها دارند. در ایران نیز پژوهش‌های انجام‌شده در تهران بر اهمیت ارتباط میان هندسه خیابان، شرایط باد، ساختار فضایی و ویژگی‌های کالبدی در تغییر عملکرد محیطی شهر تأکید کرده‌اند (Rezaei Rad et al., 2021; Rezaeirad et al., 2025)..

۲-۳. منظر شهری، زیرساخت سبز و عملکرد محیطی

در سال‌های اخیر، مطالعات حوزه منظر شهری نشان داده‌اند که عناصر طبیعی و زیرساخت سبز، بخشی فعال از سامانه محیطی شهر هستند و عملکرد آن‌ها فراتر از نقش زیبایی‌شناختی یا اکولوژیک صرف است. پوشش گیاهی شهری از طریق تعدیل شرایط حرارتی، ایجاد سایه، تغییر ویژگی‌های جریان هوا و رسوب بخشی از آلاینده‌ها می‌تواند بر کیفیت محیطی فضاهای شهری اثرگذار باشد. با این حال، عملکرد این عناصر تابع ویژگی‌های فضایی، تراکم و تخلخل پوشش گیاهی، هندسه محیط و شرایط جریان هوا است.

Janhäll (۲۰۱۵) در مرور مطالعات مرتبط با پوشش گیاهی شهری نشان داد که گیاهان می‌توانند با افزایش رسوب ذرات، در کاهش برخی آلاینده‌ها مؤثر باشند، اما افزایش مقاومت آیرودینامیکی ناشی از پوشش گیاهی متراکم در فضاهای محدود شهری ممکن است موجب کاهش تبادل هوا و افزایش زمان ماند آلاینده‌ها شود. همچنین Abhijith et al. (۲۰۱۷) تأکید کردند که اثرگذاری زیرساخت سبز بر کیفیت هوا باید با توجه هم‌زمان به هندسه خیابان، شرایط باد و ویژگی‌های محیط شهری ارزیابی شود.

در مطالعات داخلی نیز ارتباط میان تغییرات ساختاری شهر، عناصر طبیعی و عملکرد محیطی مورد توجه قرار گرفته است. Moulaii et al. (۲۰۲۳) نشان دادند که تحولات کالبدی و تغییر در سازمان فضایی شهر می‌تواند با تغییرات حرارتی سطوح و فضاهای باز شهری مرتبط باشد و نقش پوشش طبیعی و ساختار فضایی در تعدیل شرایط محیطی اهمیت دارد.

۳-۳. کیفیت محیطی، شرایط حرارتی و مواجهه انسانی

مطالعات اخیر نشان می‌دهند که ارزیابی عملکرد محیطی شهر نمی‌تواند صرفاً بر شاخص‌هایی مانند سرعت باد، دمای سطح یا غلظت متوسط آلاینده‌ها متکی باشد، زیرا پیامد واقعی تغییرات کالبدی به تعامل میان شرایط انتقال، توزیع غلظت، موقعیت گیرنده و الگوی حضور انسان وابسته است. Ng & Chau (۲۰۱۴) نشان دادند که تغییرات هندسه خیابان و عقب‌نشستگی ساختمان‌ها می‌تواند هم‌زمان بر شرایط جریان، غلظت آلاینده و میزان مواجهه عابران اثر بگذارد.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

همچنین پژوهش‌های جدیدتر نشان داده‌اند که پاسخ آلاینده‌ها نسبت به تغییرات مورفولوژیک اغلب غیرخطی و وابسته به شرایط زمینه‌ای است؛ به‌گونه‌ای که یک راهبرد کالبدی ممکن است در شرایطی موجب بهبود انتقال و در شرایطی دیگر موجب افزایش تجمع آلاینده شود (Miao et al., 2023). مطالعات مرتبط با تغییرات حرارتی و محیطی تهران نیز بر اهمیت ارتباط میان ساختار فضایی، فضاهای باز، پوشش طبیعی و عملکرد محیطی شهر تأکید کرده‌اند (Moulaii et al., 2023; Rezaeirad et al., 2025).

در مجموع، مطالعات پیشین نشان می‌دهند که عملکرد محیطی شهر حاصل تعامل میان ویژگی‌های مورفولوژیک، عناصر منظر، فرآیندهای انتقال و شرایط زمینه‌ای است. با توجه به تفاوت مطالعات از نظر مقیاس، روش و شاخص‌های ارزیابی، مطالعات منتخب در جدول ۱ به‌صورت تحلیلی سنتز شده‌اند.

جدول ۱. سنتز مطالعات منتخب مرتبط با مورفولوژی شهری، منظر، فرآیندهای آیرودینامیکی و کیفیت هوا (منبع: نگارندگان)

مرجع	مقیاس، بستر و روش	متغیرهای مورفولوژیک و منظر	شاخص کنترل	یافته کلیدی و سازوکار اثرگذاری	پیامد طراحی
Oke (1988)	خرد؛ خیابان‌دره شهری؛ تحلیل اقلیم شهری	نسبت ارتفاع به عرض خیابان، هندسه معبر، زبری سطح	جریان هوا، تهویه طبیعی و اقلیم خرد	هندسه خیابان از طریق تغییر ساختار گردابه‌ها و تبادل هوا بر شرایط محیطی اثر می‌گذارد.	طراحی خیابان باید با توجه به نسبت H/W و شرایط جریان انجام شود.
بحرینی و همکاران (۱۳۷۶)	شهری؛ تهران؛ تحلیل اقلیمی و طراحی شهری	ارتفاع ساختمان، زبری و سازمان فضایی	سرعت و جهت باد	موانع شهری و آرایش ساختمان‌ها الگوی جریان هوا را تغییر می‌دهند.	توجه به ارتفاع و سازمان فضایی در طراحی اقلیم‌محور ضروری است.
Hang & Li (2010)	بافت بلندمرتبه؛CFD	تراکم، طول شبکه، تنوع ارتفاع، نفوذپذیری همکف	ACH و تبادل هوا	تراکم و طول بیشتر می‌تواند تهویه را کاهش دهد، در حالی که نفوذپذیری و تنوع ارتفاع انتقال هوا را تقویت می‌کند.	ایجاد تعادل میان تراکم و نفوذپذیری در طراحی شهری اهمیت دارد.
Edussuriya et al. (2011)	محله و خیابان؛ هنگ‌کنگ؛GIS ، پایش و تحلیل آماری	تراکم، فاصله ساختمان‌ها، فضای سبز و شاخص‌های مورفولوژیک	NOx ،PM2.5و خرداقلیم	کیفیت هوا حاصل تعامل چند ویژگی کالبدی است و به یک شاخص منفرد وابسته نیست.	ارزیابی چندمعیاره بافت شهری ضروری است.
Hang et al. (2012)	آرایه ساختمان‌های بلندمرتبه؛CFD	آرایش ساختمان‌ها و تغییر ارتفاع	تبادل عمودی و تخلیه آلاینده	اثر تغییر ارتفاع بر تهویه غیرخطی و وابسته به شرایط زمینه‌ای است.	آرایش ارتفاعی باید متناسب با مسیرهای جریان طراحی شود.
Ng & Chau (2014)	خیابان‌دره؛ CFD و مدل مواجهه	نسبت منظر، عقب‌نشستگی، جهت خیابان	غلظت آلاینده و مواجهه عابر	هندسه فضا از طریق تغییر مسیر انتقال بر غلظت و مواجهه اثر می‌گذارد.	طراحی باید فرم و حضور انسان را همزمان در نظر گیرد.
Janhäll (2015)	منظر شهری؛ مرور مطالعات	درختان خیابانی، پوشش گیاهی و زیرساخت سبز	رسوب ذرات و مقاومت آیرودینامیکی	پوشش گیاهی می‌تواند آلاینده‌ها را کاهش دهد، اما در برخی فضاهای متراکم تهویه را محدود کند.	انتخاب پوشش گیاهی باید با هندسه و باد هماهنگ باشد.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

Abhijith et al. (2017)	خیابان شهری؛ مرور انتقادی	درختان، دیوار سبز و زیرساخت سبز	PM، تهویه و پراکنش	عملکرد زیرساخت سبز به شرایط باد، هندسه خیابان و نوع پوشش وابسته است.	راهکارهای سبز باید زمینه‌محور طراحی شوند.
Gromke & Ruck (2012)	خیابان شهری؛ آزمایش و شبیه‌سازی	ردیف درختان و تراکم پوشش گیاهی	پراکنش ذرات	درختان با تغییر آشفتگی و مسیر جریان می‌توانند اثر دوگانه بر کیفیت هوا داشته باشند.	آرایش درختان باید با هدف تهویه و کاهش آلاینده تنظیم شود.
Yousefian et al. (2021)	محله و خیابان؛ تهران؛ CFDو تونل باد	جهت خیابان، گشودگی و سطح ساخته‌شده	CO و جریان هوا	عملکرد تهویه به جهت خیابان و اتصال فضاهای باز وابسته است.	کریدورهای باز باید با مسیرهای مؤثر باد هماهنگ شوند.
Yang et al. (2020)	بلوک شهری؛ نانجینگ؛ CFDو پایش	سطح اشغال، ارتفاع، FARو محصورشدگی	غلظت آلاینده و شاخص‌های مورفولوژیک	یک شاخص منفرد مانند FAR برای ارزیابی کیفیت هوا کافی نیست و تعامل متغیرها اهمیت دارد.	ارزیابی ترکیبی شاخص‌های کالبدی ضروری است.
Rezaei Rad et al. (2021)	محله؛ تهران؛-ENVI met	فرم بلوک، فضای باز و پوشش طبیعی	آسایش حرارتی	سازمان فضای باز و فرم بلوک بر عملکرد محیطی فضا اثرگذار است.	هماهنگی فرم و منظر برای کیفیت محیطی اهمیت دارد.
Moulaii et al. (2023)	تهران؛ سنجش از دور و تحلیل فضایی	پوشش طبیعی، فضای باز و تغییرات کالبدی	دمای سطح زمین و عملکرد محیطی	تغییرات ساختاری شهر و عناصر طبیعی بر شرایط محیطی اثر می‌گذارند.	حفظ عناصر طبیعی در برنامه‌ریزی شهری اهمیت دارد.
Miao et al. (2023)	بافت متراکم شهری؛ GIS، CFDو-ENVI met	تراکم، ارتفاع، زبری و پوشش گیاهی	PM2.5، PM10و آسایش	روابط میان فرم، آلاینده و شرایط حرارتی غیرخطی و زمینه‌وابسته است.	بهینه‌سازی کیفیت هوا باید چندبعدی باشد.
Lu et al. (2022)	مجموعه‌های بلندمرتبه؛ CFD	آرایش ارتفاعی ساختمان‌ها	سرعت، فشار و آسایش	تهویه و آسایش همیشه همسو نیستند و نیازمند ارزیابی همزمان‌اند.	طراحی باید چند شاخص محیطی را لحاظ کند.
Liu et al. (2025)	فضای خیابانی؛CFD	نفوذپذیری و کریدورهای باز	ACH ، PFR، ART و غلظت عابر	نفوذپذیری مناسب می‌تواند انتقال و پاک‌سازی هوا را بهبود دهد، اما مقدار بهینه وابسته به زمینه است.	طراحی مبتنی بر عملکرد واقعی ضروری است.
Zhou et al. (2025)	بافت واقعی شهری؛ شانگهای؛CFD	کریدور باد، تراکم و منابع انتشار	مواجهه عابر و انتقال آلاینده	تعامل میان منبع، مسیر جریان و گیرنده عامل اصلی عملکرد کیفیت هواست.	کریدورهای باد باید با مکان منابع و کاربران هماهنگ شوند.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

سنتز مطالعات جدول ۱ نشان می‌دهد که روابط میان فرم شهری، منظر و کیفیت هوا ماهیتی زمینه‌وابسته دارد و ضرورت توسعه چارچوبی یکپارچه برای تحلیل چندمقیاسی این روابط را آشکار می‌سازد.

۴-۳. جمع‌بندی پیشینه و شکاف پژوهش

مرور مطالعات نشان می‌دهد که پژوهش‌های پیشین ابعاد مختلف رابطه میان مورفولوژی شهری، فرآیندهای آیرودینامیکی، عناصر منظر و کیفیت محیطی را بررسی کرده‌اند، اما اغلب بر یک مقیاس فضایی یا یک شاخص عملکردی خاص تمرکز داشته‌اند. مطالعات آیرودینامیکی عمدتاً بر سازوکارهای جریان و انتقال آلاینده تمرکز کرده‌اند، در حالی که مطالعات منظر بیشتر بر عملکردهای اکولوژیک، حرارتی و تعدیل محیطی عناصر سبز تأکید داشته‌اند. از سوی دیگر، مطالعات مرتبط با مواجهه انسانی نشان داده‌اند که بهبود یک شاخص محیطی منفرد الزاماً به کاهش مواجهه واقعی انسان منجر نمی‌شود.

بنابراین، شکاف اصلی در ادبیات موجود، نبود چارچوبی یکپارچه برای تبیین زنجیره اثرگذاری «مورفولوژی شهری–عناصر منظر–فرآیندهای آیرودینامیکی–پراکنش آلاینده–مواجهه انسانی» در مقیاس‌های مختلف فضایی است. پژوهش حاضر با رویکرد مرور یکپارچه ادبیات و تحلیل انتقادی مطالعات موجود، تلاش می‌کند روابط مشترک میان این مؤلفه‌ها را استخراج کرده و چارچوبی چندمقیاسی برای تبیین سازوکار اثرگذاری ساختار فضایی شهر بر کیفیت هوا ارائه دهد.

۴. روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، مبتنی بر مرور یکپارچه ادبیات با رویکرد سنتز انتقادی است. این رویکرد امکان ترکیب و تحلیل شواهد حاصل از مطالعات نظری، تجربی، شبیه‌سازی‌های عددی و پژوهش‌های مبتنی بر داده‌های مکانی را فراهم می‌کند و برای بررسی موضوعات میان‌رشته‌ای مرتبط با تعامل ساختار فضایی شهر، فرآیندهای محیطی و رفتار انسانی مناسب است (Whittemore & Knafl, 2005; Snyder, 2019). هدف مرور، صرفاً جمع‌آوری یافته‌های پیشین نبوده، بلکه شناسایی الگوهای مشترک، تفاوت‌ها و وابستگی‌های زمینه‌ای مؤثر بر رابطه میان مورفولوژی شهری، فرآیندهای آیرودینامیکی، پراکنش آلاینده‌ها و مواجهه انسانی بوده است.

جست‌وجوی منابع در پایگاه‌های Scopus، Web of Science، ScienceDirect، Google Scholar و پایگاه‌های فارسی SID و Magiran انجام شد. کلیدواژه‌ها در سه محور شامل مورفولوژی شهری و فرم شهر (Urban morphology، Urban form، Urban geometry، Urban block، Street canyon)، فرآیندهای محیطی و کیفیت هوا (Urban ventilation، Wind flow، Pollutant dispersion، Air quality، CFD) و منظر و مواجهه انسانی (Green infrastructure، Urban vegetation، Landscape planning، Pedestrian exposure، Human exposure) تنظیم شدند. بازه اصلی بررسی منابع سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ در نظر گرفته شد و برخی منابع بنیادی مرتبط با اقلیم شهری و آیرودینامیک محیط ساخته‌شده نیز به دلیل اهمیت نظری وارد تحلیل شدند.

مطالعات منتخب بر اساس ارتباط مستقیم با ویژگی‌های مورفولوژیک شهر، عناصر منظر، فرآیندهای جریان هوا، پراکنش آلاینده‌ها و پیامدهای انسانی انتخاب شدند. اطلاعات مربوط به مقیاس تحلیل، روش پژوهش، متغیرهای کالبدی و منظرین، شاخص‌های محیطی و سازوکارهای انتقال استخراج و در قالب یک ماتریس تحلیلی سازمان‌دهی شد. سپس مطالعات بر اساس چهار محور شامل محرک‌های مورفولوژیک، عناصر منظر و زیرساخت سبز، فرآیندهای آیرودینامیکی و پیامدهای محیطی–انسانی تحلیل شدند.

در نهایت، با تحلیل تطبیقی و ترکیب مفهومی یافته‌ها، روابط میان ساختار فضایی شهر، فرآیندهای انتقال آلاینده و مواجهه انسانی استخراج و چارچوب مفهومی پژوهش بر اساس زنجیره «منبع انتشار–مسیر انتقال–گیرنده انسانی» تدوین شد. این چارچوب مبنای تحلیل سازوکارهای اثرگذاری فرم شهری و عناصر منظر بر کیفیت هوا قرار گرفت.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

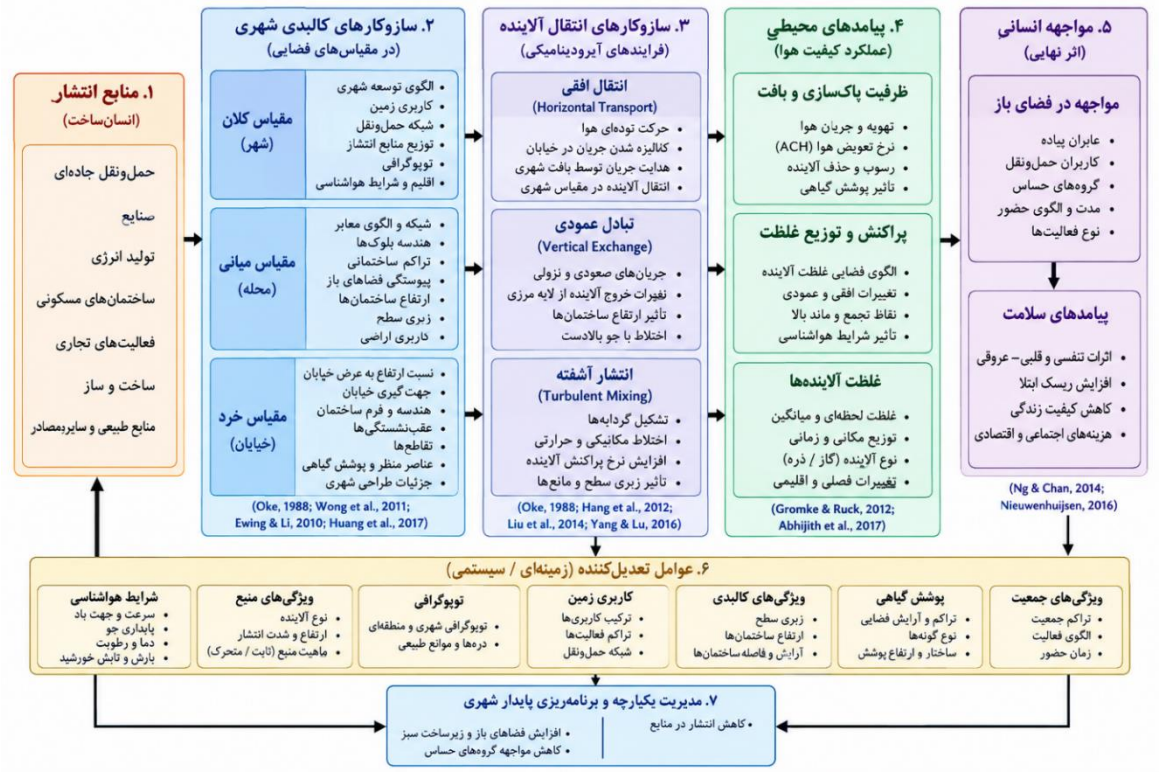
در تدوین مقاله، ابزارهای هوش مصنوعی صرفاً برای ویرایش زبانی، بهبود فرآیند نگارش و ترسیم اشکال به‌کار گرفته شده و تمامی تحلیل‌های علمی، انتخاب منابع و تفسیر یافته‌ها توسط نویسندگان انجام شده است.

۱-۴. مدل مفهومی پژوهش

بر پایه مبانی نظری، مرور مطالعات پیشین و اهداف پژوهش، چارچوب مفهومی پژوهش برای تبیین رابطه میان مورفولوژی شهری، فرآیندهای آیرودینامیکی، پراکنش آلاینده‌ها و مواجهه انسانی تدوین شد (شکل ۲).

در این چارچوب، ویژگی‌های کالبدی و منظرین شهر در سه مقیاس کلان، میانی و خرد به‌عنوان عوامل ساختاری مؤثر بر عملکرد محیطی در نظر گرفته می‌شوند. این عوامل شامل الگوی توسعه، تراکم، ارتفاع ساختمان‌ها، هندسه بلوک‌ها، شبکه معابر، نسبت منظر خیابان، فضاهای باز و عناصر منظر شهری هستند که از طریق تغییر شرایط جریان هوا و سازمان فضایی محیط، بر انتقال و پراکنش آلاینده‌ها اثر می‌گذارند.

فرآیندهای آیرودینامیکی شامل انتقال افقی، تبادل عمودی و اختلاط آشفته، نقش واسط میان ساختار شهری و پیامدهای کیفیت هوا را ایفا می‌کنند. در این میان، شرایط باد، اقلیم، توپوگرافی، ویژگی منابع انتشار و مشخصات گیرنده انسانی به‌عنوان عوامل زمینه‌ای، شدت و جهت این روابط را تعدیل می‌کنند.



شکل ۲. مدل مفهومی چندمقیاسی اثر مورفولوژی شهری بر فرآیندهای انتقال آلاینده‌ها و مواجهه انسانی. منبع: نگارندگان
ترسیم توسط هوش مصنوعی (ChatGPT, OpenAI)

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

بر این اساس، کیفیت هوای شهری حاصل تعامل میان ساختار فضایی شهر، فرآیندهای انتقالی و نحوه مواجهه انسان با محیط است و ارزیابی عملکرد مورفولوژی شهری نیازمند توجه هم‌زمان به انتشار، مسیر انتقال، توزیع غلظت و گیرنده انسانی است.

۵. تحلیل یافته‌ها و سنتز انتقادی شواهد پژوهشی

۵-۱. ماهیت چندعاملی و زمینه‌وابسته رابطه مورفولوژی شهری و کیفیت هوا

تحلیل تطبیقی مطالعات منتخب نشان می‌دهد که رابطه میان مورفولوژی شهری و کیفیت هوا، حاصل تعامل میان مجموعه‌ای از عوامل کالبدی، اقلیمی و انسانی است و نمی‌توان آن را به ارتباط مستقیم میان یک ویژگی منفرد مورفولوژیک و تغییرات غلظت آلاینده‌ها محدود کرد. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در مقیاس‌های مختلف فضایی نشان می‌دهد که ویژگی‌های کالبدی شهر از طریق تأثیرگذاری بر شرایط تولید، انتقال، رقیق‌سازی، بازتوزیع و ماندگاری آلاینده‌ها، در شکل‌گیری کیفیت هوای محیط شهری نقش ایفا می‌کنند (Oke, 1988; Hang & Li, 2010; Edussuriya et al., 2011).

در این چارچوب، مورفولوژی شهری را می‌توان به عنوان یکی از مؤلفه‌های تنظیم‌کننده فرآیندهای محیطی در نظر گرفت که عملکرد آن از طریق تغییر در ساختار جریان هوا و روابط فضایی میان عناصر شهری آشکار می‌شود. به عبارت دیگر، ویژگی‌هایی مانند تراکم ساختمانی، ارتفاع بناها، هندسه معابر، میزان پیوستگی فضاهای باز و عناصر منظر، به صورت مستقیم کیفیت هوا را تعیین نمی‌کنند، بلکه با تغییر شرایط فیزیکی محیط، بر مسیر انتقال و پراکنش آلاینده‌ها اثرگذار می‌شوند (Hang et al., 2012; Ng & Chau, 2014).

بررسی تطبیقی مطالعات نشان می‌دهد که تفاوت در نتایج پژوهش‌های پیشین درباره اثر متغیرهای مورفولوژیک مشابه، عمدتاً ناشی از تفاوت در مقیاس تحلیل، شرایط اقلیمی، نوع آلاینده، ویژگی منبع انتشار و شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد محیطی است. برای نمونه، تراکم شهری در برخی مطالعات به دلیل کاهش فاصله سفر، افزایش کارایی زیرساخت‌ها و کاهش وابستگی به حمل‌ونقل موتوری، با کاهش انتشار سرانه مرتبط دانسته شده است؛ در حالی که در مقیاس خرد، افزایش تراکم و محصوریت فضایی می‌تواند بر الگوی جریان هوا و زمان ماند آلاینده‌ها اثرگذار باشد (Lee, 2020; Liu et al., 2016; She et al., 2017).

بر این اساس، یافته حاصل از سنتز مطالعات نشان می‌دهد که ارزیابی عملکرد مورفولوژی شهری نیازمند توجه هم‌زمان به ویژگی‌های کالبدی، شرایط جریان هوا، موقعیت منابع انتشار و ویژگی‌های گیرندگان انسانی است. بنابراین، عملکرد محیطی یک ساختار شهری نه بر اساس یک ویژگی منفرد، بلکه بر مبنای تعامل میان اجزای مختلف سامانه شهری قابل تبیین است.

۵-۲. نقش مقیاس فضایی در تبیین سازوکار اثرگذاری مورفولوژی شهری

یکی از یافته‌های اصلی حاصل از بررسی مطالعات پیشین، اهمیت مقیاس فضایی در تحلیل رابطه میان ساختار شهری و کیفیت هواست. شواهد موجود نشان می‌دهد که متغیرهای مورفولوژیک در مقیاس‌های مختلف، از طریق سازوکارهای متفاوت بر فرآیندهای محیطی اثر می‌گذارند و تحلیل عملکرد شهری نیازمند توجه هم‌زمان به ارتباط میان این مقیاس‌هاست.

در مقیاس کلان، ساختار فضایی شهر، الگوی توسعه، توزیع کاربری‌ها، شبکه حمل‌ونقل، تمرکز فعالیت‌ها و ویژگی‌های طبیعی مانند توپوگرافی، شرایط اولیه تولید و انتقال آلاینده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعات انجام‌شده در تهران نیز نشان داده‌اند که تغییرات ساختاری شهر، تحولات جمعیتی، تغییرات سطوح شهری و ویژگی‌های کالبدی فضاهای باز می‌توانند با تغییرات شرایط حرارتی و محیطی ارتباط داشته باشند (Moulaii et al., 2023; Rezaeirad et al., 2025).

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

در این مقیاس، مورفولوژی شهری نقش مهمی در سازمان‌دهی فضایی منابع انتشار و تعیین ارتباط میان بخش‌های مختلف شهر ایفا می‌کند. به بیان دیگر، ساختار کلان شهر می‌تواند بر نحوه استقرار فعالیت‌ها، مسیرهای اصلی انتقال و شرایط زمینه‌ای جریان هوا اثرگذار باشد.

در مقیاس میانی، ویژگی‌هایی مانند هندسه بلوک‌ها، شبکه معابر، سطح پیشانی ساختمان‌ها، پیوستگی فضاهای باز و آرایش ارتفاعی ساختمان‌ها، ارتباط میان ساختار کلان شهر و رفتار محلی جریان هوا را شکل می‌دهند. مطالعات شبیه‌سازی عددی نشان داده‌اند که تغییر در سازمان فضایی بلوک‌ها و میزان نفوذپذیری بافت می‌تواند ظرفیت تبادل هوا و الگوی پراکنش آلاینده‌ها را تغییر دهد (Hang & Li, 2010; Chen et al., 2016; Yang et al., 2020).

در مقیاس خرد، ویژگی‌هایی مانند نسبت ارتفاع به عرض خیابان، جهت‌گیری معبر، هندسه جداره‌ها، عقب‌نشستگی ساختمان‌ها و عناصر منظر، بیشترین تأثیر را بر رفتار جریان در مقیاس انسانی دارند و می‌توانند الگوی شکل‌گیری گردابه‌ها، انتقال عمودی و توزیع موضعی آلاینده‌ها را تغییر دهند (Ng & Chau, 2014; Kubilay et al., 2017).

در مجموع، تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد محیطی شهر نتیجه تعامل میان مقیاس‌های مختلف فضایی است و ارزیابی هر متغیر مورفولوژیک باید با توجه به جایگاه آن در سامانه چندمقیاسی شهر انجام شود.

جدول ۲. ماتریس تحلیلی روابط میان ویژگی‌های مورفولوژیک شهری، سازوکارهای آیرودینامیکی و پیامدهای محیطی در مقیاس‌های فضایی مختلف (منبع: نگارندگان)

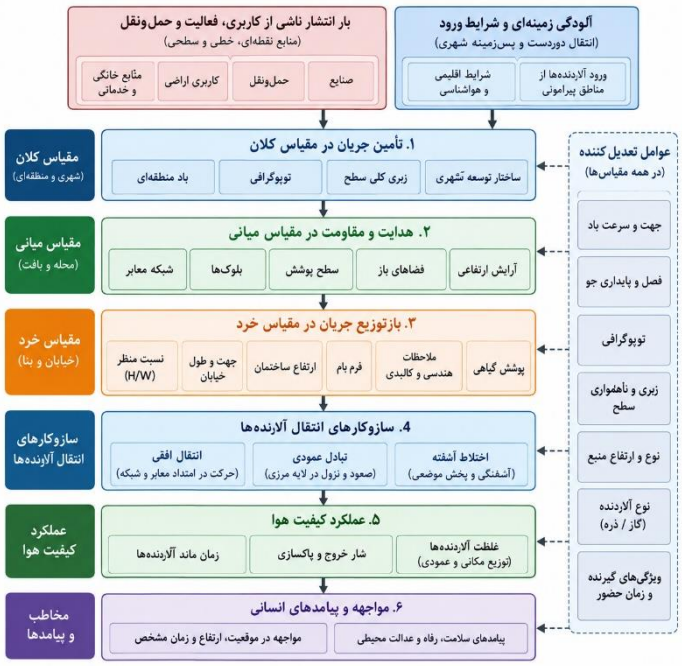
محور تحلیلی	محرک‌های اصلی	سازوکار غالب	نتایج گزارش‌شده	عوامل مؤثر بر تفاوت نتایج	مطالعات نماینده
ساختار کلان و بار انتشار	الگوی توسعه، فشردگی و پراکندگی، چندمرکزی‌بودن، کاربری زمین، شبکه حمل‌ونقل و فضای سبز	تغییر الگوی سفر و بار انتشار، زبری کلی، آلودگی زمینه‌ای و تأمین جریان منطقه‌ای	پراکندگی غالباً با سفر و انتشار بیشتر همراه بوده است؛ فشردگی در برخی مطالعات انتشار را کاهش داده، اما در مجاورت منابع متمرکز یا بافت کم‌نفوذ با غلظت بیشتر همراه بوده است.	فناوری ناوگان، شدت فعالیت، توپوگرافی، باد، مکان منابع و شاخص پیامد	Borrego et al., 2006 Martins, 2012 McCarty & Kaza, 2015 She et al., 2017 Liu et al., 2016 Edussuriya et al., 2011, 2014 مشفقی و یوسفیان، ۱۳۹۸
سازمان فضایی مقیاس میانی	شبکه معابر، ابعاد و شکل بلوک، تراکم سطحی، سطح پیشانی، زبری، اتصال فضاهای باز و آرایش ارتفاعی	هدایت یا استهلاک جریان، انتقال میان‌بافتی، تغییر فشار و شکل‌گیری سایه باد	اتصال شبکه و پیوستگی برخی گشودگی‌ها تبادل را افزایش داده‌اند؛ بلوک‌های طویل، سطح پیشانی زیاد و زبری نامناسب با افت جریان پایین‌دست همراه بوده‌اند.	جهت جریان، طول بلوک، تراکم، زبری بالادست، پیوستگی فضای باز و محل ساختمان مرتفع	Edussuriya et al., 2011, 2014 Hang & Li, 2010 Lin et al., 2014 Wang et al., 2017 Lee, 2020 Zhong et al., 2019 Perret et al., 2017 Shui et al., 2025
متغیرهای خردمقیاس	نسبت منظر، طول و جهت خیابان، ارتفاع، فرم بام، عقب‌نشستگی، گشودگی، تقاطع و پوشش گیاهی	تشکیل و تغییر گردابه، انتقال طولی، تبادل بام و تغییر مقاومت محلی	افزایش محصوریت غالباً نفوذ جریان را کاهش داده است؛ اثر جهت، ارتفاع، عقب‌نشستگی و پوشش گیاهی به هندسه و شرایط جریان وابسته بوده است.	زاویه باد، نسبت منظر، طول محور، محل منبع، موقعیت گیرنده، شکل تاج و نوع آلاینده	حاتمی و معماریان، ۱۳۹۷ کمالی و همکاران، ۱۴۰۳ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸ Oke, 1988 Park et al., 2004 Wania et al., 2012 Kastner-Klein et al., 2004 Hang et al., 2012 Shen et al., 2017 Ng & Chau, 2014 Li et al., 2022

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶

E-ISSN: 3115-9265

مسیرهای آیرودینامیکی و شاخص‌های عملکرد	طول و پیوستگی آرایه، فرم بام، اتصال شبکه، گشودگی‌ها و آرایش ارتفاعی	انتقال افقی، تبادل عمودی، اختلاط آشفته، بازورود و انتقال پایین‌دست	تغییر فرم سهم مسیرهای انتقال را بازتوزیع کرده است؛ افزایش ACH، سرعت یا تبادل بام در همه مطالعات با کاهش غلظت همراه نبوده است.	شدت و تداوم منبع، کیفیت هوای ورودی، طول مسیر، محل سنجش، بازورود و مقصد آلاینده	Hang & Li, 2010 Lin et al., 2014 Hang et al., 2012 Yousefian et al., 2021a Shui et al., 2025
منبع–گیرنده و مواجهه	نوع، ارتفاع و موقعیت منبع، آلودگی زمینه‌ای، ارتفاع گیرنده، مسیر حرکت و زمان حضور	انتقال در مسیرهای افقی و عمودی و بازتوزیع مکانی و ارتفاعی غلظت	منابع زمینی بیشتر ترازهای پایین و منابع مرتفع لایه‌های بالاتر را تحت‌تأثیر قرار داده‌اند؛ آلوده‌ترین تراز ثابت نبوده و کاهش میانگین غلظت الزاماً به کاهش مواجهه همه گیرنده‌ها منجر نشده است.	فصل، پایداری جو، جهت باد، ارتفاع منبع، نوع آلاینده و ویژگی گیرنده	Ng & Chau, 2014 Gao et al., 2019 Miao et al., 2023 Zhou et al., 2025 Cao et al., 2025

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سه ردیف نخست به مقیاس‌های فضایی کلان، میانی و خرد اختصاص دارند؛ درحالی‌که مسیرهای آیرودینامیکی و رابطه منبع–گیرنده، محورهایی فرامقیاسی‌اند که ارتباط میان این سطوح را برقرار می‌کنند. برآیند این روابط در قالب زنجیره چندمقیاسی شکل ۳ سازمان‌دهی شده است.



شکل ۳. زنجیره چندمقیاسی اثر مورفولوژی شهری بر انتقال آلاینده و مواجهه انسانی. منبع: نگارندگان.
ترسیم توسط هوش مصنوعی (ChatGPT, OpenAI)

شکل ۳ نشان می‌دهد که بار انتشار و آلودگی زمینه‌ای، ورودی سامانه را تشکیل می‌دهند، تأمین جریان در مقیاس کلان، هدایت و مقاومت در مقیاس میانی و بازتنظیم انتقال افقی، تبادل عمودی و اختلاط آشفته در مقیاس خرد، مراحل واسطاند و توزیع مکانی و عمودی غلظت و مواجهه

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

انسانی، پیامدهای نهایی این زنجیره محسوب می‌شوند. جهت و سرعت باد، اقلیم و فصل، توپوگرافی و زبری، ویژگی منبع و موقعیت گیرنده نیز در سراسر این زنجیره نقش تعدیل‌کننده دارند.

۵-۳. بازتعریف نقش جریان هوا در ارتباط با کیفیت محیطی و پراکنش آلاینده‌ها

بررسی تطبیقی مطالعات نشان می‌دهد که جریان هوا یکی از مهم‌ترین واسطه‌های ارتباط میان مورفولوژی شهری و کیفیت هواست، اما عملکرد آن را نمی‌توان صرفاً بر اساس افزایش یا کاهش سرعت باد ارزیابی کرد. جریان هوا در محیط شهری حاصل برهم‌کنش میان شرایط جوی، هندسه فضا، ویژگی‌های سطوح شهری و آرایش ساختمان‌هاست و پیامد آن بر کیفیت هوا به نحوه انتقال، رقیق‌سازی و بازتوزیع آلاینده‌ها وابسته است (Hang et al., 2012; Kubilay et al., 2017).

مطالعات انجام‌شده در زمینه خیابان‌دره‌ها نشان می‌دهند که ویژگی‌هایی مانند نسبت ارتفاع به عرض معبر، جهت‌گیری خیابان نسبت به جریان غالب باد، موقعیت منبع انتشار و ویژگی‌های هندسی جداره‌ها می‌توانند الگوهای متفاوتی از گردش هوا و تجمع آلاینده‌ها ایجاد کنند. به عنوان نمونه، یک هندسه شهری مشخص ممکن است در شرایطی موجب تقویت تبادل هوا شود، اما در شرایط دیگر، با ایجاد نواحی بازگشتی یا گردابه‌های پایدار، زمان حضور آلاینده‌ها را افزایش دهد (Ng & Chau, 2014; Kubilay et al., 2017).

از این منظر، عملکرد جریان هوا در شهر را باید به عنوان یک فرآیند انتقالی تحلیل کرد که در آن، افزایش جابه‌جایی هوا لزوماً معادل کاهش غلظت آلاینده در تمام نقاط نیست. محل تخلیه آلاینده، مسیر حرکت آن و موقعیت گیرندگان انسانی، عواملی هستند که تعیین می‌کنند تغییرات جریان هوا چه پیامد محیطی ایجاد خواهد کرد.

بر این اساس، یافته این پژوهش نشان می‌دهد که ارزیابی نقش باد در طراحی شهری باید از شاخص‌های صرفاً آیرودینامیکی فراتر رود و ارتباط میان میدان جریان، الگوی انتشار آلاینده و شرایط مواجهه انسانی را به صورت هم‌زمان مورد توجه قرار دهد. در این چارچوب، هدف طراحی محیطی نه صرفاً افزایش حرکت هوا، بلکه ایجاد شرایطی است که انتقال و پراکنش آلاینده‌ها را در راستای کاهش مواجهه انسانی مدیریت کند.

۵-۴. تمایز میان ظرفیت تهویه، غلظت آلاینده و مواجهه انسانی

یکی از نتایج مهم حاصل از تحلیل شواهد پژوهشی، ضرورت تفکیک میان سه مفهوم مرتبط اما متمایز شامل ظرفیت تهویه، غلظت آلاینده و مواجهه انسانی است. مرور مطالعات نشان می‌دهد که این مفاهیم در بسیاری از پژوهش‌ها به صورت هم‌زمان بررسی نشده‌اند، در حالی که هر یک بیانگر مرحله متفاوتی از فرآیند اثرگذاری مورفولوژی شهری بر کیفیت هوا هستند.

ظرفیت تهویه بیانگر توانایی یک فضا برای تبادل و جابه‌جایی هواست و معمولاً با شاخص‌هایی مانند سرعت باد، نرخ تعویض هوا یا ویژگی‌های آشفتگی جریان ارزیابی می‌شود. با این حال، این شاخص‌ها به تنهایی اطلاعات کاملی درباره غلظت واقعی آلاینده‌ها در محیط ارائه نمی‌کنند. غلظت آلاینده علاوه بر ویژگی‌های جریان، به شدت و موقعیت منبع انتشار، زمان ماند، ویژگی‌های هندسی فضا و شرایط جوی وابسته است (Hang et al., 2012; Wang et al., 2017).

از سوی دیگر، مواجهه انسانی مرحله‌ای فراتر از غلظت محیطی است، زیرا به موقعیت مکانی افراد، مدت حضور، الگوی فعالیت و ارتفاع تنفس وابسته است. مطالعات مرتبط با مواجهه نشان داده‌اند که توزیع آلاینده در فضای شهری می‌تواند حتی در فاصله‌های کوتاه تغییرات قابل توجهی داشته باشد و میانگین غلظت در مقیاس بزرگ الزاماً بیانگر شرایط واقعی تجربه‌شده توسط کاربران فضا نیست (Ng & Chau, 2014; Miao et al., 2023).

بر مبنای این یافته‌ها، پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که رابطه میان مورفولوژی شهری و کیفیت هوا در قالب یک زنجیره پیوسته شامل «ویژگی‌های کالبدی، فرآیندهای انتقال، توزیع غلظت و مواجهه انسانی» تحلیل شود. این رویکرد امکان درک دقیق‌تری از نقش فرم شهری فراهم

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

می‌کند، زیرا عملکرد یک مداخله کالبدی را نه فقط بر اساس تغییر در جریان هوا، بلکه بر اساس پیامد نهایی آن برای کاربران محیط ارزیابی می‌کند.

۵-۵. نقش منظر شهری و زیرساخت سبز در تنظیم فرآیندهای محیطی

تحلیل مطالعات مرتبط با منظر شهری نشان می‌دهد که عناصر طبیعی و زیرساخت سبز بخشی جدایی‌ناپذیر از سامانه محیطی شهر هستند و عملکرد آن‌ها باید در ارتباط با ساختار کالبدی و شرایط اقلیمی هر مکان بررسی شود. پوشش گیاهی، فضاهای باز، سطوح نفوذپذیر و عناصر طبیعی از طریق تغییر در تراز انرژی، شرایط حرارتی، زبری سطح و ویژگی‌های جریان هوا می‌توانند بر کیفیت محیط شهری اثرگذار باشند (Janhäll, 2015; Abhijith et al., 2017).

مطالعات موجود نشان می‌دهند که پوشش گیاهی می‌تواند از طریق فرآیندهایی مانند رسوب ذرات، کاهش دمای سطوح، ایجاد سایه و تعدیل شرایط حرارتی، در بهبود برخی جنبه‌های کیفیت محیط نقش داشته باشد. با این حال، اثرگذاری آن به ویژگی‌های فضایی استقرار گیاهان و رابطه آن‌ها با هندسه شهری وابسته است. در برخی بافت‌های متراکم، افزایش تراکم پوشش گیاهی بدون توجه به شرایط جریان هوا ممکن است بر میزان مقاومت مسیر جریان اثر گذاشته و رفتار پراکنش آلاینده‌ها را تغییر دهد (Janhäll, 2015).

از این رو، یافته پژوهش حاضر نشان می‌دهد که نقش منظر شهری در کیفیت هوا را نمی‌توان صرفاً بر اساس مقدار یا سطح پوشش گیاهی ارزیابی کرد، بلکه باید عملکرد آن در چارچوب ارتباط میان عناصر سبز، هندسه فضا، مسیرهای جریان و موقعیت حضور انسان تحلیل شود. در این رویکرد، منظر شهری به عنوان یک مؤلفه فعال در تنظیم فرآیندهای محیطی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند در کنار ویژگی‌های کالبدی، بر عملکرد اقلیمی و هوایی فضا اثرگذار باشد.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

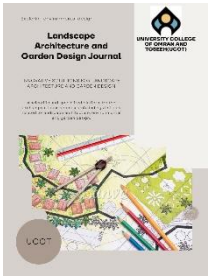
پژوهش حاضر با هدف تبیین سازوکارهای اثرگذاری مورفولوژی شهری و عناصر منظر بر کیفیت هوا و مواجهه انسانی، چارچوبی چندمقیاسی برای تحلیل ارتباط میان ساختار فضایی شهر، فرآیندهای آیرودینامیکی و پیامدهای محیطی ارائه کرد. یافته‌ها نشان می‌دهد که رابطه میان فرم شهری و کیفیت هوا را نمی‌توان به اثر مستقیم یک ویژگی کالبدی منفرد تقلیل داد، بلکه این رابطه حاصل تعامل میان ساختار مورفولوژیک، شرایط انتشار، مسیرهای انتقال، ویژگی‌های منظر و موقعیت گیرندگان انسانی است.

نتایج نشان داد که عملکرد مورفولوژی شهری در سه سطح فضایی قابل تبیین است. در مقیاس کلان، الگوی توسعه، توزیع فعالیت‌ها، ساختار حمل‌ونقل و استقرار منابع انتشار، بر بار آلایندگی و ظرفیت کلی پراکنش اثر می‌گذارند. در مقیاس میانی، شبکه معابر، سازمان بلوک‌ها، پیوستگی فضاهای باز، زبری و آرایش ارتفاعی، مسیرهای جریان و تبادل میان‌بافتی را تعیین می‌کنند. در مقیاس خرد نیز هندسه خیابان، نسبت منظر، ویژگی جداره‌ها، فرم ساختمان و پوشش گیاهی، بر شکل‌گیری گردابه‌ها، انتقال افقی، تبادل عمودی و توزیع موضعی غلظت اثرگذار هستند.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای پژوهش، تفکیک میان چهار مفهوم مرتبط اما متمایز شامل بار انتشار، ظرفیت انتقال–پاک‌سازی، غلظت آلاینده و مواجهه انسانی است. بر این اساس، بهبود شرایط جریان هوا یا افزایش ظرفیت تهویه الزاماً به کاهش مواجهه انسانی منجر نمی‌شود، زیرا عملکرد واقعی کیفیت هوا به محل منبع، مسیر انتقال، مقصد آلاینده و ویژگی‌های گیرنده وابسته است. این رویکرد امکان ارزیابی دقیق‌تر عملکرد محیطی شهر را فراهم می‌کند و از تفسیر ساده‌انگارانه رابطه میان تهویه و کیفیت هوا جلوگیری می‌نماید.

در این چارچوب، عناصر منظر شهری و زیرساخت سبز نیز باید به‌عنوان بخشی از سامانه محیطی شهر مورد توجه قرار گیرند. پوشش گیاهی و فضاهای باز علاوه بر نقش‌های حرارتی و اکولوژیک، می‌توانند بر انتقال آلاینده‌ها و شرایط آسایش عابر اثرگذار باشند؛ بااین‌حال، عملکرد آن‌ها وابسته به نحوه استقرار، تراکم، هندسه فضا و شرایط جریان هوا است. بنابراین، طراحی منظر مؤثر در حوزه کیفیت هوا نیازمند هماهنگی میان انتخاب عناصر سبز، ساختار کالبدی و مسیرهای جریان هواست.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶



E-ISSN: 3115-9265

بر اساس این یافته‌ها، ارتقای کیفیت هوای شهری نباید بر دستیابی به یک فرم کالبدی ثابت یا یک الگوی عمومی توسعه استوار باشد، بلکه باید بر ایجاد تعادل میان کاهش بار انتشار، تقویت ظرفیت انتقال–پاک‌سازی، سازمان‌دهی مناسب فضاهای باز و کاهش مواجهه گروه‌های حساس تمرکز کند. در این راستا، چارچوب ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی سناریوهای طراحی شهری و منظر مبتنی بر شواهد مورد استفاده قرار گیرد.

با وجود ارزش تحلیلی این چارچوب، ناهمگنی مطالعات موجود از نظر مقیاس، روش، شرایط اقلیمی، نوع آلاینده و شاخص‌های ارزیابی، امکان استخراج روابط کمی ثابت و قابل تعمیم را محدود می‌کند. همچنین، بخش قابل توجهی از مطالعات بر شبیه‌سازی‌های عددی و شرایط کنترل‌شده استوار بوده و مطالعات مبتنی بر سنجش مستقیم مواجهه انسانی همچنان محدود هستند. بنابراین، پژوهش‌های آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های واقعی کیفیت هوا، مدل‌سازی چندمقیاسی، پایش‌های چندارتفاعی و سنجش مواجهه انسانی، شناخت دقیق‌تری از رابطه میان فرم شهری، منظر و سلامت محیطی ارائه دهند.

در مجموع، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کیفیت هوای شهری حاصل تعامل میان ساختار فضایی، فرآیندهای فیزیکی انتقال آلاینده و رفتار انسانی است. ازاین‌رو، برنامه‌ریزی شهری و طراحی منظر باید از رویکردهای تک‌بعدی فاصله گرفته و به سمت تحلیل یکپارچه رابطه «منبع انتشار–مسیر انتقال–توزیع غلظت–گیرنده انسانی» حرکت کند.

پیشنهادهای پژوهش‌های آینده

توسعه مدل‌های چندمقیاسی به منظور بررسی پیوند مقیاس شهر، محله و خیابان.

گسترش پایش چندارتفاعی و مواجهه شخصی با استفاده از حسگرهای متحرک.

استفاده از شاخص‌های چندگانه عملکرد به‌جای اتکا به سرعت باد یا ACH.

بررسی توزیع مکانی مواجهه گروه‌های مختلف به‌عنوان مسیر توسعه انسانی‌تر چارچوب.

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶

E-ISSN: 3115-9265

منابع

بحرینی، ح.، عارفی، م.، برک‌پور، ن.، و خوش‌پور، ح. (۱۳۷۶). کاربرد مطالعات هواشناسی آلودگی هوا در طراحی شهری: نمونه خاص تهران. محیط‌شناسی، ۱۸، ۱۷–۳۲.

بحرینی، ح.، و کیان‌مهر، آ. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر سرعت و جهت باد بر تهویه و آلاینده‌ها در دالان‌های خیابانی: نمونه تقاطع ولیعصر و طالقانی. در مجموعه مقالات ششمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا. تهران، ایران.

حسینی، س. ح.، بختیاری، پ.، و نصراللهی، ن. (۱۳۹۸). بررسی پراکنش آلودگی در دره‌های شهری با رویکرد جهت‌گیری باد و استقرار درختان: نمونه موردی بافت شهری اصفهان. فصلنامه تکنولوژی و علوم محیط‌زیست، ۲۱(۲)، ۲۴۱–۲۵۴.

قدمی، ع.، و عبدالله‌وند، م. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر سناریوهای ساختار فضایی شهر بر آلودگی هوا: مورد مطالعه تهران. جغرافیا و توسعه فضای شهری، ۵(۱)، ۲۶۱–۲۸۰.

کمالی، م.، حیدری، ع. ا.، و پیوسته‌گر، ی. (۱۴۰۳). تأثیر فرم ساختمان بر سرعت هوا و غلظت آلاینده در بافت مسکونی شهری: مطالعه موردی منطقه یک شیراز. برنامه‌ریزی و توسعه محیط شهری، ۱۳، ۶۷–۸۲.

مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران. (۱۴۰۱). خلاصه گزارش دوازده‌ساله کیفیت هوای شهر تهران: تغییرات زمانی–مکانی غلظت‌ها، آثار بهداشتی و اقتصادی، ۱۳۹۰–۱۴۰۱. دانشگاه علوم پزشکی تهران.

مشفقی، و.، و یوسفیان، س. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر تغییرات الگوهای کاربری اراضی و ساختار کالبدی شهر بر تغییرات مکانی آلاینده‌های هوای شهری: مطالعه موردی شهر تهران. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱(۸)، ۲۱۰–۲۲۲.

معماریان، م. ح.، و حاتمی، ش. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی جریان شهری و نحوه پخش آلاینده با استفاده از مدل‌های FLUENT و WRF: مطالعه موردی خیابان امام خمینی یزد. در مجموعه مقالات همایش ملی عمران، معماری و توسعه شهری پایدار. یزد، ایران.

مولایی، م. م.، و نوری، و. (۱۴۰۴). بررسی اثرات فرم شهری بر پراکنش آلاینده‌ها در سه مقیاس فضایی. در مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای و کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. تبریز، ایران.

یوسفیان، س.، پورجعفر، م.، مهدوی‌نژاد، م. ج.، و مشفقی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی اثر گشودگی فضای شهری بر پراکنش CO با استفاده از CFD: مطالعه موردی تهران. مطالعات محیط‌زیست، ۴۷(۳)، ۲۹۳–۳۱۶.

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments–A review. *Atmospheric Environment, 162*, 71–86. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014

Bairagi, A. K., & Dalui, S. K. (2021). Wind environment around the setback building models. *Building Simulation, 14*(5), 1525–1541. https://doi.org/10.1007/s12273-020-0758-3

Borrego, C., Martins, H., Tchepel, O., Salmim, L., Monteiro, A., & Miranda, A. I. (2006). How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. *Environmental Modelling & Software, 21*(4), 461–467.

Chen, L., Hang, J., Sandberg, M., Claesson, L., & Di Sabatino, S. (2017a). The influence of building packing densities on flow adjustment and city breathability in urban-like geometries. *Procedia Engineering, 198*, 758–769. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.127

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

Chen, L., Hang, J., Sandberg, M., Claesson, L., Di Sabatino, S., & Wigo, H. (2017b). The impacts of building height variations and building packing densities on flow adjustment and city breathability in idealized urban models. *Building and Environment, 118*, 344–361. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.032

Chen, S. L., Lu, J., & Yu, W. W. (2016). A quantitative method to detect the ventilation paths in a mountainous urban city for urban planning: A case study in Guizhou, China. *Indoor and Built Environment, 26*(8), 1173–1191. https://doi.org/10.1177/1420326X15626233

Cuthbert, A. R. (2006). *The form of cities: Political economy and urban design*. Blackwell Publishing.

Edussuriya, P., Chan, A., & Malvin, A. (2014). Urban morphology and air quality in dense residential environments: Correlations between morphological parameters and air pollution at street level. *Journal of Engineering Science and Technology, 9*(1), 64–80.

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

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.

GBD 2019 Risk Factors Collaborators. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet, 396*(10258), 1223–1249. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2

Hang, J., & Li, Y. (2010). Ventilation strategy and air change rates in idealized high-rise compact urban areas. *Building and Environment, 45*(12), 2754–2767. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.019

Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., & Claesson, L. (2012). Pollutant dispersion and ventilation in idealized city models with different urban morphologies. *Atmospheric Environment, 60*, 667–677.

Heger, M., & Sarraf, M. (2018). *Air pollution in Tehran: Health costs, sources, and policies* (Environment and Natural Resources Global Practice Discussion Paper No. 6). World Bank.

Huang, Y., Chen, B., & others. (2021). Green infrastructure for air quality improvement in street canyons: A review of the effects of vegetation on pollutant dispersion and removal. *Environmental Pollution, 284*, 117

Huang, Y., Hou, R., Liu, Z., Song, Y., Cui, P., & Kim, C. N. (2019). Effects of wind direction on airflow and pollutant dispersion inside a long street canyon. *Aerosol and Air Quality Research, 19*(5), 1152–1171. https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.08.0311

Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution–Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment, 105*, 130–137. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052

Kastner-Klein, P., Berkowicz, R., & Britter, R. (2004). The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons. *Meteorology and Atmospheric Physics, 87*(1–3), 121–131. https://doi.org/10.1007/s00703-003-0054-4

Kubilay, A., Neophytou, M., Matsentides, S., Loizou, M., & Carmeliet, J. (2017). The pollutant removal capacity of urban street canyons as quantified by the pollutant exchange velocity. *Urban Climate, 21*, 136–153. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.06.006

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

Lee, C. (2020). Impacts of urban form on air quality in metropolitan areas in the United States. *Computers, Environment and Urban Systems, 82*, 101489. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101489
Lin, M., Hang, J., Li, Y., Luo, Z., & Sandberg, M. (2014). Quantitative ventilation assessments of idealized urban canopy layers with various urban layouts and the same building packing density. *Building and Environment, 79*, 152–167. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.008
Liu, W., Huang, Z., Cui, D., Ma, D., Mei, S., & Guo, R. (2025). Impact of street interface permeability on ventilation and pollutant dispersion in urban street spaces. *Building and Environment, 274*, 112779. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112779
Lu, M., Song, D., Shi, D., Liu, J., & Wang, L. (2022). Effect of high-rise residential building layout on the spatial vertical wind environment in Harbin, China. *Buildings, 12*(6), 705. https://doi.org/10.3390/buildings12060705
Marulanda-Tobón, A., Moncho-Esteve, I. J., Martínez-Corral, J., & Palau-Salvador, G. (2020). Dispersion of carbon monoxide using computational fluid dynamics in a real urban canyon in the city center of Valencia, Spain. *Atmosphere, 11*(7), 693. https://doi.org/10.3390/atmos11070693
Martins, H. (2012). Urban compaction or dispersion? An air quality modelling study. *Atmospheric Environment, 54*, 60–72. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.075
McCarty, J., & Kaza, N. (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning, 139*, 168–179. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.008
Miao, C., He, X., Xu, S., & Chen, W. (2023). Vertical distribution of air pollutants in an urban street canyon during winter air pollution episodes in Shenyang, China. *Building and Environment, 245*, 110853. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110853
Moudon, A. V. (1994). Getting to know the built landscape: Typomorphology. In K. A. Franck & L. H. Schneekloth (Eds.), *Ordering space: Types in architecture and design* (pp. 289–311). Van Nostrand Reinhold.
Moulaii, M., Rezaeirad, H., & Sadeghipour, T. (2023). *The role of population changes on the temperature changes of the building surfaces and urban open spaces; case study: Tehran metropolis.* Naqshejahan: Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning, 13(2), 40–60.
Ng, W.-Y., & Chau, C.-K. (2014). A modeling investigation of the impact of street and building configurations on personal air pollutant exposure in isolated deep urban canyons. *Science of the Total Environment, 468–469*, 429–448. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.077
Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings, 11*(1–3), 103–113. https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6
Perret, L., Blackman, K., Fernandes, R., & Savory, E. (2017). Relating street canyon vertical mass-exchange to upstream flow regime and canyon geometry. *Sustainable Cities and Society, 30*, 49–57.
Rezaei Rad, H., Khodaee, Z., Ghiai, M. M., Tabe Arjmand, J., & El Haj Assad, M. (2021). *The quantitative assessment of the effects of the morphology of urban complexes on the thermal comfort using the PMV/PPD model (a case study of Gheytariyeh neighborhood in Tehran).* International Journal of Low-Carbon Technologies, 16(2), 672–682. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa100

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

Rezaeirad, H., Pouramin, F., & Afzali, N. (2025). *Measuring the impact of urban morphology on urban ambient temperature changes.* Journal of Urban Planning and Development, 151(3). https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-5233

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2012). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

She, Q., Peng, X., Xu, Q., Long, L., Wei, N., Liu, M., Jia, W., Zhou, T., Han, J., & 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

Shen, J., Gao, Z., Ding, W., & Yu, Y. (2017). An investigation on the effect of street morphology to ambient air quality using six real-world cases. *Atmospheric Environment, 164*, 85–101. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.047

Shui, T., Cao, L., Xiao, T., & Zhang, S. (2025). Influence of building-height variability on urban ventilation and pollutant dispersion characteristics. *Atmosphere, 16*(5), 614. https://doi.org/10.3390/atmos16050614

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Tan, W., Li, C., Wang, K., Zhu, G., & Liu, L. (2019). Geometric effect of buildings on the dispersion of carbon dioxide cloud in idealized urban street canyons. *Process Safety and Environmental Protection, 122*, 271–280. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.12.020

Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96*(10–11), 1749–1761. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058

Tominaga, Y., & Stathopoulos, T. (2013). CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques. *Atmospheric Environment, 79*, 716–730. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.028

Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review, 4*(3), 356–367. https://doi.org/10.1177/1534484305278283

Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N. (2003). Modelling air quality in street canyons: A review. *Atmospheric Environment, 37*(2), 155–182. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00857-9

Wang, Q., Sandberg, M., Lin, Y., Yin, S., & Hang, J. (2017). Impacts of urban layouts and open space on urban ventilation evaluated by concentration decay method. *Atmosphere, 8*(9), 169. https://doi.org/10.3390/atmos8090169

Wania, A., Bruse, M., Blond, N., & Weber, C. (2012). Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management, 94*(1), 91–101.

Wen, H., & Malki-Epshtein, L. (2018). A parametric study of the effect of roof height and morphology on air pollution dispersion in street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 175*, 328–341. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.02.006

مجله معماری منظر و طراحی باغ
دوره۲،شماره۵، پاییز ۱۴۰۵
ص۸۵-۱۰۶
E-ISSN: 3115-9265

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing, 52*(5), 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.

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

Yousefian, S., Pourjafar, M., Moshfeghi, M., & Mahdavinejad, M. J. (2021). Assessing the effects of urban canyon's direction on air flow pattern and CO dispersion using CFD: A case study of Tehran. *Italian Journal of Planning Practice, 11*(1), 101–121.

Zhou, C., Li, S., & Wang, S. (2018). Examining the impacts of urban form on air pollution in developing countries: A case study of China's megacities. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(8), 1565. https://doi.org/10.3390/ijerph15081565

Zhou, M., Cao, X., Qiu, W., & Guo, Y. (2025). Enhancing air quality in high-density cities: Investigating the link between traffic-related air pollution distribution and urban ventilation. *Atmosphere, 16*(2), 243. https://doi.org/10.3390/atmos16020243

Copyright:© 2026 by the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.