University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

Conceptual Analysis of Urban Ventilation: Explaining Conceptual Models and Identification of Measurement Indicators

Mahsa Keshavarz Mohammadian [1], Ahmad Khalili [2,*] and Sayed Majid Mofidi Shemirani [2]

[1.] Master's Student in Urban Design, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
[2.] Associate Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

* Corresponding Author, akhalili@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

UPK, 2021
VOL. 5, Issue 3, PP, 65-89
Received: 31 Jan 2021
Accepted: 13 May 2021
Research article

KEYWORDS: Urban design based on ventilation performance, Urban natural ventilation, Measurement indicators

ABSTRACT

Background: Air pollution and declining urban air quality in the next 30 years will be one of the main challenges for metropolitan residents and the main cause of premature death. It seems that along with the unbridled growth of urban population, physical changes resulting from the use of traditional approaches in urban planning and design, have led to a decline in urban air quality.
Objectives: The present study intends to provide a theoretical and operational framework for conceptualization and measuring the quality of urban natural ventilation in the local level (neighborhood and block).
Methodology: The present study is a survey- case study and intends to explain the main components of the concept of urban natural ventilation, determine the components affecting urban ventilation and its effective dimensions, and thus extract the general indicators for measuring the quality of urban ventilation.
Results: In the present article, five effective factors on natural ventilation, and five affected areas of natural ventilation based on their scale, the conceptual model of the research which shows a comprehensive connection among the influential components have been provided. In addition, by using the Goeller evaluation matrix and determining the prioritization criteria, among 35 morphological indicators extracted from the literature review, 10 indicators were selected as the final indicators of ventilation measurement.
Conclusion: The identification of 10 morphological indicators affecting natural ventilation indicates that the application of these indicators in urban development based on ventilation may be in conflict with some general guidelines for the development of other urban approaches. Substantial differences between the macro strategies of approaches such as sustainable development, Compact City, etc. with the solutions considered in urban development based on natural ventilation, are among these differences. Therefore, it appears necessary to conduct multifaceted solutions based on contextual circumstances.

Highlights:
Unlike other studies in the field of natural ventilation in cities, this study explains different dimensions of urban ventilation by an inclusive and comprehensive review of related literatures. In addition, it has been tried to provide an indicator-based framework for measuring natural ventilation according to the contextual circumstances of cities.

Cite this article:
Keshavarz Mohammadian, M., Kalili, A., & Mofidi Shemirani, M. (2021). Conceptual analysis of urban ventilation: explaining conceptual models and identification of measurement indicators. *Urban Planning Knowledge*, 5(3), 65-89.
https://dx.doi.org/10.22124/upk.2021.18549.1600

ISSN: 2645-5412

واکاوی مفهوم‌شناختی تهویه شهری: تبیین مدل‌های مفهومی و شناسایی شاخص‌های اندازه‌گیری [1]

مهسا کشاورز محمدیان[1]، احمد خلیلی[2]* و سید مجید مفیدی شمیرانی [2]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری، گروه شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: akhalili@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

***دانش شهرسازی*، ۱۴۰۰**
دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۶۵-۸۹
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۳
مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: طراحی شهری مبتنی بر عملکرد تهویه، تهویه طبیعی شهری، اندازه‌گیری شاخص‌ها

چکیده

بیان مسئله: آلودگی هوا و نزول کیفیت هوای شهری در ۳۰ سال آینده به عنوان یکی از اصلی‌ترین چالش‌های ساکنین کلان‌شهرها و دلیل اصلی مرگ و میر زودرس مطرح خواهد بود. به نظر می‌رسد که در کنار رشد لجام‌گسیخته جمعیت شهری، تغییرات کالبدی منتج از بکارگیری رویکردهای سنتی در نظام‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری، موجب نزول کیفیت هوا در شهرها شده است.

هدف: پژوهش حاضر، در نظر دارد تا با مرور ادبیات مرتبط با تهویه طبیعی، چارچوبی نظری و عملیاتی برای مفهوم‌سازی و سنجش تهویه شهری در مقیاس میانی (محله و بلوک)، ارائه دهد.

روش: پژوهش حاضر از نوع پیمایشی و موردکاوی است و در نظر دارد تا با تبیین ارکان و محورهای اصلی مفهوم تهویه شهری، مؤلفه‌های اثرگذار بر تهویه شهری و ابعاد اثرپذیر از آن را مشخص و از این ره شاخص‌های عام سنجش کیفیت تهویه شهری را استخراج نماید.

یافته‌ها: در مقاله حاضر، پنج عامل اثرگذار بر تهویه طبیعی و پنج حوزه اثرپذیر از آن به تفکیک مقیاس مشخص شده و در نهایت مدل مفهومی پژوهش که نماینگر تصویری کلان از ارتباطات میان مؤلفه‌های تأثیرگذار و نوع کنش آنها با مفهوم تهویه شهری است؛ ارائه شده است. همچنین با بهره‌گیری از ماتریس ارزیابی گولر و تعیین معیارهای اولویت‌بندی، از میان ۳۵ شاخص عام مستخرج از مطالعات جهانی، ۱۰ شاخص به عنوان شاخص‌های نهایی سنجش تهویه انتخاب گردیدند.

نتیجه‌گیری: شناسایی شاخص‌های ۱۰ گانه مورفولوژیک تأثیرگذار بر تهویه طبیعی، نشان از آن دارد که اعمال این شاخص‌ها در توسعه‌های شهری مبتنی بر تهویه ممکن است در تقابل با برخی از دستورالعمل‌های عام توسعه‌ای سایر رویکردهای شهری قرار گیرد. اختلافات ماهُوی میان راهبردهای کلان رویکردهایی چون توسعه پایدار، شهر فشرده و... با راهکارهای مدنظر در توسعه شهری مبتنی بر تهویه طبیعی، از جمله این تفاوت‌هاست؛ لذا تدقیق و تلفیق راهکارهای چندوجهی را با توجه به زمینه اقدام ضروری می‌نماید.

نکات برجسته:

برخلاف سایر پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه تهویه طبیعی در شهرها، مطالعه حاضر از طریق مرور جامع و یکپارچه‌ی ادبیات مرتبط به شناسایی ابعاد تهویه شهری پرداخته است. علاوه بر این، تلاش شده است تا چارچوبی شاخص‌مدار برای سنجش تهویه طبیعی با توجه به شرایط زمینه‌ای شهرها ارائه شود.

[1] این مقاله برگرفته است از پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان «تسهیل تهویه طبیعی شهر از طریق باز تعریف توده و فضا» به راهنمایی آقایان دکتر احمد خلیلی و دکتر سید مجید مفیدی شمیرانی در دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران است.

ارجاع به این مقاله: کشاورز محمدیان، مهسا، خلیلی، احمد و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۴۰۰). واکاوی مفهوم‌شناختی تهویه شهری: تبیین مدل‌های مفهومی و شناسایی شاخص‌های اندازه‌گیری. *دانش شهرسازی*، ۵(۳)، ۶۵-۸۹. https://dx.doi.org/10.22124/upk.2021.18549.1600

دانش شهرسازی، دوره ۵، شماره ۳، ۶۵-۸۹، پاییز ۱۴۰۰

بیان مسئله

شهرنشینی فزاینده و افزایش ساخت و سازهای شهری بدون توجه به زمینه‌های اقلیمی بستر، موجب شده است تا شهرها با چالش‌های زیست محیطی متعددی مواجه باشند. بنابر گزارشات سازمان ملل، در سال ۲۰۱۴ بالغ بر ۵۴ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کرده‌اند (سازمان ملل[1]، ۲۰۱۵)؛ که از این میان بیش از ۸۰ درصد از جمعیت شهرنشین در معرض سطح پایینی از کیفیت هوا قرار دارند. در همین ارتباط، سازمان بهداشت جهانی اعلام کرده است که سالانه حدود هفت میلیون نفر از ساکنان کره زمین به دلیل آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند (سازمان بهداشت جهانی[2]، ۲۰۱۶) و به نظر می‌رسد بدون در نظر گرفتن اقدامات کاهشی مناسب، تا سال ۲۰۵۰ آلودگی هوای شهری دلیل اصلی مرگ و میر زودرس در سراسر جهان باشد (آنتونیو و همکاران[3]، ۲۰۱۷). در میان عوامل اقلیمی، مؤلفه باد به‌عنوان یک کنترل‌کننده چندمنظوره در محیط‌های شهری، تأثیرات قابل توجهی در کاهش غلظت و پراکندگی آلاینده‌ها در شهرها دارد (هی، دینگ و پراساد[4]، ۲۰۱۹). از این رو می‌بایست از همان ابتدایی ترین گام‌های برنامه‌ریزی و طراحی در شهرها، نفوذ باد به درون شهر و محلات به‌منظور کاهش معضلات زیست‌محیطی، به‌ویژه کاهش آلودگی هوا در نظر گرفته شود. این در حالیست که، مداخلات شهرسازانه معاصر اعم از گسترش نامعقول ساختارهای شهری، بهره‌گیری از الگوهای طراحی و برنامه‌ریزی بدون توجه به عملکرد و نیاز بستر، تعریف روابط توده و فضا بدون درنظرگیری حد آستانه‌ای از فشردگی و نیز طراحی شبکه معابر بدون توجه به کانال‌های ورودی جریان هوا منجر به تشدید ناکارآمدی بافت و سازمان شهرها به‌لحاظ زیست محیطی، فقدان تهویه طبیعی و تشدید شیوع بیماری‌های هوازی گردیده است. در همین راستا «تهویه شهری» به‌عنوان یک رویکرد معاصر در حل معضل کیفیات هوای محیطی در شهرها مطرح شده است. بدین ترتیب در مقاله حاضر با هدف ارائه و طراحی الگوی مفهومی و عملیاتی جهت اندازه‌گیری تهویه شهری، سعی شده است تا با بسط دادن مفهوم نظری رویکرد تهویه شهری، تعاریف موجود از این رویکرد در ادبیات جهانی ارائه شود، سیر تطور مفهوم‌شناختی تهویه شهری بررسی شود و پس از تبیین سطوح و مقیاس‌های تهویه شهری، انواع مدل‌های مفهومی آن گونه‌بندی شوند. سپس با مروری بر عوامل تأثیرگذار بر تهویه شهری وحوزه‌های تأثیرپذیر از آن، مدل مفهومی پیشنهادی برای سنجش یکپارچه وضعیت تهویه طبیعی در شهرها با تأکید بر بُعد مورفولوژیک به همراه شاخص‌های اندازه‌گیری آن ارائه خواهد شد.

مبانی نظری

مفهوم‌شناسی تهویه شهری

ریشه اصطلاح تهویه[5] از واژه لاتین "ventus"، به معنای حرکت هوا آمده است (واتسون[6]، ۱۹۸۳) و به‌عنوان فرآیند تبادل هوای داخل با هوای بیرون تعریف می‌شود (پاناگیوتو، نئوفیتو، هملاین و بریتر[7]، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر با گسترش سریع شهرنشینی و افزایش تعداد وسایل نقلیه، شرایط آب و هوایی در مناطق شهری رو به وخامت گذاشته و شهرها با معضلات زیست محیطی فراونی مواجه شده‌اند. در همین راستا تهویه شهری به عنوان یک رویکرد معاصر و راهکاری برای پاسخ به این چالش‌ها، در حوزه عمل رشته شهرسازی می‌تواند بسیار کارا باشد. اصطلاح تهویه شهری که از آن به تنفس شهری نیز یاد می‌شود، به عنوان قابلیت یک منطقه شهری برای رقیق کردن آلاینده‌ها، گرما و رطوبت با استفاده از تبادل هوای میان داخل و بالای کانوپی شهری تعریف می‌شود (نئوفیتو[8]، ۲۰۰۵). در ادامه و در جدول ۱ مهم‌ترین تعاریف تهویه شهری از دیدگاه اندیشمندان مختلف به همراه پارامتر مدنظر هر تعریف آورده شده است:

---

1 United Nations
2 World Health Organization
3 Antoniou
4 He, Ding & Prasad
5 Ventilation
6 Watson
7 Panagiotou, Neophytou, Hamlyn & Britter
8 Neophytou

جدول ۱

مفهوم‌شناسی تهویه شهری از دیدگاه اندیشمندان مختلف

صاحب‌نظران	آراء و نظرات	پارامتر مدنظر
گولتن و اوزتوپ[1]، ۲۰۲۰	تهویه بهتر شهری باید با در نظر گرفتن دو هدف اصلی، کیفیت بهتر هوا و آسایش حرارتی فراهم شود.	بهبود کیفیت هوا، آسایش حرارتی
پنگ، بوکلیری، جا او و دینگ[2]، ۲۰۲۰	فرآیند تهویه در فضای باز و محیط داخلی مشابه هستند و فرآیند تأمین هوای خارجی و توزیع آن‌ها در یک فضا، رقیق کردن و حذف آلاینده‌ها با متوسط جریان و گردش مجدد آلاینده‌ها توسط اختلاط آشفتگی است.	بهبود کیفیت هوا تبادل هوا
هی، تبلادا و وونگ[3]، ۲۰۱۸	تهویه شهری تحت تأثیر پدیده‌های پیچیده فیزیکی قرار دارد و بنابراین می‌تواند توسط شاخص‌های مختلف و در موقعیت‌های مختلف ارزیابی شود.	تعاملی
هو و یوشی[4]، ۲۰۱۳	تهویه شهری، به عنوان عامل کاهش اثرات منفی جزایر حرارتی، پراکندگی و رقیق شدن آلاینده‌ها و گرما در مناطق شهری تأثیر می گذارد.	بهبود کیفیت هوا، آسایش حرارتی
دنگ، هی، لو و لیبو[5]،۲۰۱۲	تهویه شهری، هدایت آگاهانه جریان هوا از خارج از یک فضا به درون و یکی از مؤثرترین روش‌ها برای از بین بردن گرمای اضافی، آلودگی هوا و ویروس‌های موجود در هوا، در فضای شهری است.	بهبود کیفیت هوا، آسایش حرارتی، بهداشت شهری، تبادل هوا
یانگ و لی، ۲۰۰۹[6]	تهویه شهری،فرآیند تأمین هوای خارجی پاک و خنک از مناطق روستایی به درون هسته شهری و توزیع آن در کانیون‌های شهری است.	بهبود کیفیت هوا، آسایش حرارتی
نئوفیتو، ۲۰۰۵	تهویه شهری، توانایی یک منطقه شهری برای رقیق کردن آلاینده‌ها، گرما و رطوبت با تبادل هوا بین داخل و بالای کانوپی شهری است.	بهبود کیفیت هوا، آسایش حرارتی، تبادل هوا
بریتر و هانا[7]، ۲۰۰۳	تهویه شهری را می‌توان به عنوان یکی ازمکانیسم‌های مؤثر برای حذف آلاینده‌های موجود در هوا در نظر گرفت.	بهبود کیفیت هوا
لیتلفیر[8]، ۲۰۰۰	تهویه طبیعی به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که عمداً طراحی شده است تا با استفاده از آن‌ها کیفیت و کمیت حرکت هوا که به طور طبیعی در جریان است، برای دستیابی به راحتی حرارتی یا افزایش کیفیت هوای داخلی کنترل شود.	بهبود کیفیت هوا، تهویه داخلی، آسایش حرارتی
واتسون، ۱۹۸۳	فرآیند تأمین یا از بین بردن هوا به صورت طبیعی یا مکانیکی، که معمولاً از طریق تبادل هوای داخل با خارج از طریق بازشوها صورت می‌گیرد.	تبادل هوا

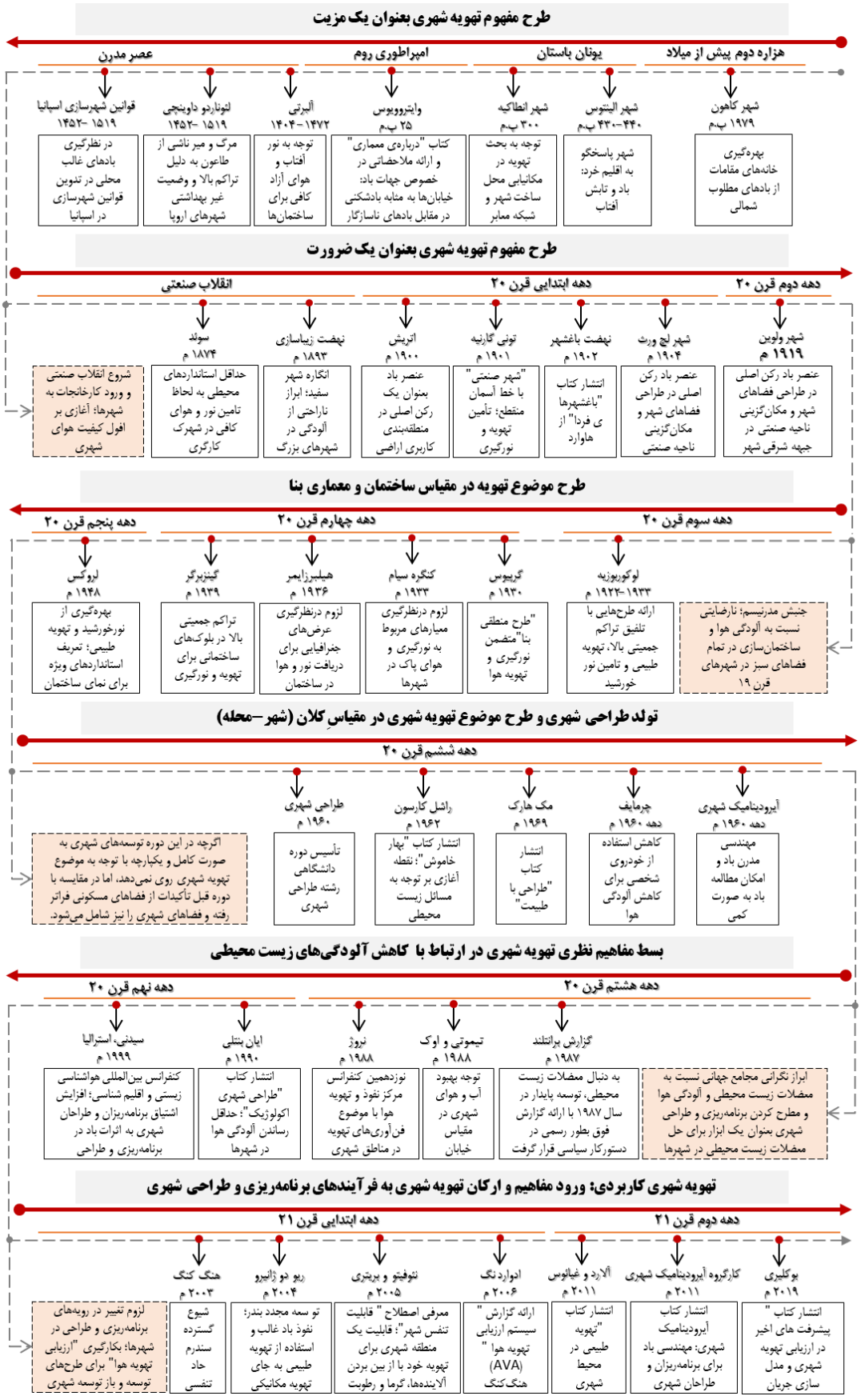
با بررسی آرای صاحب‌نظران، به شرح جدول ۱، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در مفاهیم مرتبط با تهویه شهری چند مفهوم که عبارتند از آلودگی هوا، آسایش حرارتی و سلامت و بهداشت شهری دارای نقش محوری‌تری هستند. از این رو، به نظر می‌رسد که بررسی جزئی‌تر هر یک از این مفاهیم در ارتباط با مفهوم تهویه شهری، نه تنها موجب تدقیق موضوع خواهد بود، بلکه می‌تواند عناصر و اجزای اثرگذار بر تسهیل تهویه شهری و یا عوامل و مسائل تأثیرگذار بر کاهش آن را نیز بهتر مشخص سازد.

پیشینه مفهوم تهویه شهری، فارغ از ادبیات مدرن آن در دوره معاصر را شاید به توان به قدمت پیشینه توسعه‌های شهری از پیش اندیشیده شده محسوب نمود. از طرح مفهوم تهویه شهری به عنوان یک «مزیت توسعه‌ای» در دوره‌ی پیشامدرن که نمونه‌های آن در شهرسازی‌های مصر، یونان و روم و در شهرهایی چون کاهون، الینتوس و انطاکیه دیده می‌شود (پاکزاد، ۱۳۸۹؛ واتروویوس[9]، ۱۹۶۰)، تا پایان دوره مدرن و اندیشه‌های نظریه‌پردازانی چون داوینچی و آلبرتی که بر اهمیت تهویه طبیعی و نورگیری معابر شهری برای کاهش بیماری‌های واگیردار پافشاری می‌کنند (موریس، ۱۹۷۹؛ کمیته وظیفه آیرودینامیک شهری انجمن مهندسین

[1] Gülten & Öztop
[2] Peng, Buccolieri, Gao & Ding
[3] He, Tablada & Wong
[4] Hu & Yoshie
[5] Deng, He, Lu & Liu
[6] Yang & Li
[7] Britter & Hanna
[8] Littlefair
[9] Vitruvius

عمران آمریکا[1]، ۲۰۱۱). مزیتی که پس از انقلاب صنعتی، ناگزیر به مانند یک ضرورت طرح می‌گردد و با تدوین نخستین مبانی و استانداردهای نظری مرتبط با تهویه طبیعی در شهرها در آرای افرادی چون تونی گارنیه و ابنزر هاوارد، سنگ بنای اجرایی آن در شهرهای لچورث و ولوین گذارده می‌شود. اهمیت مفهوم تهویه طبیعی تا جایی پیش می‌رود که در سال‌های دهه ۱۹۳۰ میلادی و همزمان با غلبه پارادایم مدرنیسم بر جهان، نقطه اشتراک آراء متفکرین معماری و شهرسازی مدرن چون گروپیوس، لوکوربوزیه و هیلبرزایمر بر «لزوم تضمین تهویه طبیعی و نورگیری ساختمان» قرار می‌گیرد و حتی در کنگره ۱۹۳۳ سیام نیز بر این موضوع فراتر از مقیاس ساختمان و در «سطح شهری» تأکید می‌شود (بحرینی، بلوکی و تقابن، ۱۳۹۲؛ پاکزاد، ۱۳۸۹؛ الگیای[2]، ۲۰۱۵؛ مونتاون[3]، ۲۰۱۰؛ اوستروفسکی، ۱۹۶۸). از دهه ۱۹۶۰ به بعد و با تولد طراحی شهری (گلکار، ۱۳۹۰) نیز شاهد ترکیب دو مفهوم تهویه شهری و طراحی شهری به صورت تخصصی و توجه به مفاهیمی چون آیرودینامیک شهری در نظام توسعه شهرها هستیم. توجه و تأکیدی که در دو دهه پایانی قرن بیستم در ترکیب با مفاهیم مربوط به توسعه پایدار تبدیل به «الزامات برنامه‌ریزی و طراحی شهری» برای کاهش آلودگی‌های محیطی می‌شوند. نهایتاً، از دهه ابتدایی قرن ۲۱، این الزامات منجر به تغییر در رویه‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری سنتی شده و «ادبیاتی نوین در توسعه‌های شهری با تأکید بر تهویه طبیعی» را شکل می‌دهند. شکل ۱، به تفصیل سیر تطور مفهوم شناختی تهویه شهری را تشریح می‌کند.

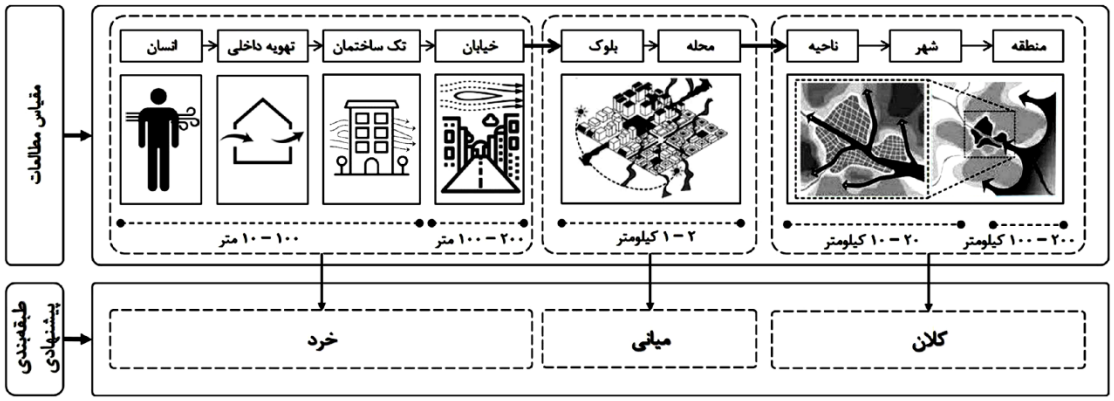
[1] ASCE's Task Committee on Urban Aerodynamics
[2] Olgyay
[3] Montavon



شکل ۱. سیر تطور مفهوم شناختی تهویه شهری

مقیاس تهویه شهری

همانطور که در بخش‌های پیشین گفته شد، رشد شهرنشینی و نگرانی در خصوص مسائل مربوط به پایداری و کیفیت زندگی، توجه زیادی را در مورد مسائل مربوط به جریان هوا و تهویه شهری به‌وجود آورده است، که این موضوع از دیدگاه اندیشمندان مختلف در سطوح و مقیاس‌های متفاوتی قابل طرح هستند. مروری بر مطالعات صورت گرفته در این حوزه (نگ[1]، ۲۰۰۹؛ هانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۵؛ مرلیر، کوزنیکا، روسائوئنا و سالات[3]، ۲۰۱۸؛ هی، دینگ و پراساد[4]، ۲۰۲۰الف) چنین برمی‌آید که مفهوم تهویه طبیعی در شهرها به‌طور عمده قابل تقسیم‌بندی در سه سطح خرد، میانی و کلان به تفکیک عناصر و اجزای مشروح در شکل ۲ قابل بررسی باشد:



شکل ۲. طبقه‌بندی مقیاس مطالعات تهویه شهری

بنابراین بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده در شکل ۲، به تفصیل هریک از مقیاس‌ها در ادامه بیان می‌گردد:

- **مقیاس خرد:** در این سطح، با توجه به آنکه بحث تهویه داخلی و تأثیر ساختمان‌های تکی بر الگوی رفتار باد بیشتر در حوزه عمل معماران است؛ اصلی‌ترین مؤلفه کانیون[5]های خیابانی محسوب می‌شود. کانیون‌های خیابانی یکی از عناصر پرتکرار در نواحی شهری محسوب می‌شوند که می‌توان به عنوان یک خیابان نسبتاً باریک با ساختمان‌هایی که به طور مداوم در امتداد هر دو سمت خیابان صف کشیده‌اند (نیکلسون[6]، ۱۹۷۵)، توضیح داد. وجه مشخصه یک کانیون شهری، نسبت ابعاد خیابان است، که برابر است با نسبت ارتفاع (H) به عرض (W) خیابان (اُکی[7]، ۱۹۸۸). در صورتی‌که مقدار نسبت ابعاد خیابان از ۲ فراتر رود، کانیون عمیق است (جورگاکیس و سانتاموریس[8]، ۲۰۰۶) از این رو در کانیون‌های باریک به دلیل تهویه نامطلوب در انتهای خیابان، می‌توانند باعث افزایش آلودگی هوا شوند (لیتلفیر، ۲۰۰۰).
- **مقیاس میانی:** در این مقیاس، متشکل از محله و بلوک، جریان هوا تحت تأثیر خواص ناهمگن مورفولوژیکی کانیون‌ها و تراکم فضای ساختمانی قرار می‌گیرد (مرلیر و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات نشان می‌دهند، هنگامی که تراکم فضای ساختمانی مناسب باشد، جریان هوا قابلیت نفوذ به درون بافت شهری و عبور از طریق کانیون‌های خیابانی را داشته و در نهایت موجب بهبود راندمان تهویه شهری در این مقیاس می‌شود (بوکلیری، سندبرگ و سباتینو[9]، ۲۰۱۰).
- **مقیاس کلان:** شهرها به طور معمول شامل طیف وسیعی از کاربری اراضی، گونه‌های ساختمانی و فضاها می‌شوند. علیرغم مطالعات میدانی متعددی که در شهرهای مختلف انجام شده است، تحقیقات در داخل شهرها همچنان پرهزینه است

---

[1] Ng
[2] Hang et al.
[3] Merlier, Kuznika, Rusaouëna & Salat
[4] He, Ding & Prasad
[5] canyon
[6] Nicholson
[7] Oke
[8] Georgakis & Santamouris
[9] Buccolieri, Sandberg & Sabatino
[10] Gough

۲۰۱۷). در معدود مطالعات صورت گرفته نیز، غالباً به دلیل فقدان درک کافی در خصوص ویژگی‌های جریانات آشفته پیرامون مجموعه ساختمان‌ها و تک بناها، نتایج بدست آمده به سختی قابل تجزیه و تحلیل هستند (کوکسل، دوبری، توماس و بلچر[1]، ۲۰۰۷). به همین دلیل در مقیاس شهر غالباً به منظور کاستن از پیچیدگی‌های تجزیه و تحلیل، میانگین تغییرات در جریان هوا و پراکندگی آلایندها در اطراف ساختمان‌های منفرد یا مجموعه‌ای از ساختمان‌های مشابه (مقیاس‌های خرد و میانی) در نظر گرفته می‌شود (بریتر و همکاران، ۲۰۰۳).

همانطور که مطالعات فوق نشان می‌دهند، ساختار جریان در مناطق شهری به دلیل اثرات تداخلی با ساختمان‌ها و سایر عناصر زبری، بسیار پیچیده‌تر می‌شود، بنابراین مطالعات در مقیاس کانیون‌های شهری (مقیاس خرد) به دلیل در نظر نگرفتن بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک از قبیل آرایش فضایی ساختمان‌ها، موانع، درختان و سایر عناصری که منجر به پیچیده‌تر شدن الگوی جریان ورودی می‌شود، جهت ارزیابی و بهبود راندمان تهویه شهری مناسب نیست. همچنین همانطور که در بالا گفته شد، مطالعات در مقیاس ناحیه و شهر (مقیاس کلان) علاوه براینکه متحمل هزینه بالا و زمان طولانی محاسبات است، به دلیل مدلسازی هندسه شهری به صورت ساده شده، اغلب نتایج دقیقی ارائه نمی‌دهد. بررسی مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های مورفولوژیک منجر به تغییر ساختارهای جریان هوا شده و باعث به‌وجود آمدن شرایط آب و هوایی متفاوت می‌شوند. شهرها از محلات بسیاری تشکیل شده‌اند که هر یک از این محلات دارای خصوصیات مورفولوژیک متفاوت از دیگری هستند، پس به تعداد محلات می‌تواند شرایط اقلیمی محلی متفاوت وجود داشته باشد. از این‌رو مطالعات در مقیاس محله و بلوک می‌تواند کاراتر باشد و نتایج دقیق‌تری از وضع موجود شرایط تهویه ارائه دهد. بنابراین در پژوهش حاضر، مقیاس بلوک و محله (مقیاس میانی) به دلیل اینکه به طور روشنی می تواند نشانگر عملکرد تهویه طبیعی در شهرها و سناریوهای الگوهای واقعی جریان در ساختارهای شهری باشد، به‌عنوان مقیاس مناسب مطالعات تهویه شهری انتخاب شده است.

گونه‌شناسی مدل‌های مفهومی تهویه شهری

تهویه شهری ابعاد گسترده‌ای را شامل می‌شود و تاکنون اندیشمندان و متفکران مختلف این حوزه، جهت شناخت بهتر الگوی روابط میان مؤلفه‌ها، به تدوین مدل‌های مفهومی مختلفی برای درک و ارزیابی مفهوم تهویه شهری پرداخته‌اند که در ادامه به معرفی چند مورد از آنها پرداخته شده‌است:

پس از شیوع گسترده سندروم حاد تنفسی (۲۰۰۳) در هنگ‌کنک، مفهوم تهویه شهری توانست نقش محوری در ارتقاء بهداشت شهری و کاهش نرخ مرگ‌ومیر در هنگام شیوع بیماری‌های هوازی داشته باشد. بدین ترتیب نگ (۲۰۰۹) مطالعه‌ای به منظور تدوین دستورالعمل‌های فنی مختص شهرها با سرعت وزش باد پایین تهیه و تدوین نموده است. با توجه به پیامدهای مثبتی که تهویه طبیعی در شهرها می‌تواند در جهت ارتقاء کیفیات محیطی داشته باشد، اما هنوز کاربست و حضور مؤلفه یاد شده در محیط های شهری با چالش‌های جدی مواجه است، همچنین یوآن و نگ[2] (۲۰۱۲) طی مطالعه‌ای از جمله عوامل اصلی تأثیرگذار بر ناکارآمدی تهویه طبیعی در شهرها را نیازهای اقتصادی و اجتماعی ناشی افزایش جمعیت در شهرها و به تبع آن توسعه سریع شهرنشینی در قرن اخیر دانسته که منجر به تغییرات گسترده موروفولوژیکی در سطح شهرها شده است. تغییراتی که هو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود آن را عامل جدی شدن معضلات شهری از جمله آلودگی هوا در شهرها می‌دانند. همچنین آنتونیو و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه خود آلودگی هوای شهرها را دلیل اصلی مرگ و میر زودرس در سراسر جهان در سال‌های پیش رو عنوان کرده‌اند و با تأکید بر ارتباط میان تهویه شهری و مورفولوژی شهری، سعی در بهبود کیفیت هوا از طریق بررسی الگوی روابط میان این دو مؤلفه شهری و الگوهای جریان باد دارند. روابط مؤثری که کوبوتا، میورا، تومیناجا و موچید[3] (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای آن را موجب ارتقاء آسایش اقلیمی عابر پیاده و بهبود کیفیت زندگی شهری می‌داند.

در کنار توسعه‌های مداوم شهری، تغییرات منتج از رویکردهای سنتی در ساختارهای شهری نیز تغییراتی در کیفیت آب و هوای شهری به ویژه خرد اقلیم‌ها اعمال کرده است که تفاوت شرایط آب و هوایی مناطق روستایی یا حومه‌ای اطراف می‌تواند خود دلیلی بر این ادعا باشد. در این راستا هی و همکاران (۲۰۱۹) از طریق انجام مطالعات سیستماتیک مبتنی بر عملکرد تهویه و ارائه یک

[1] Coceal, Dobre, Thomas & Belcher
[2] Yuan & Ng
[3] Kubota, Miura, Tominaga & Mochid

پروتوکل از خصوصیات تهویه محلی، سعی داشته‌اند تا یک درک شهودی از ارتباط میان تهویه شهری و برنامه‌ریزی و طراحی شهری مبتنی بر عملکرد تهویه به محققان، مهندسان، طراحان و برنامه‌ریزان شهری ارائه دهند، از این رو یانگ و همکاران[1] (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای که به منظور بهبود محیط بادی و کاهش مشکلات مختلف زیست محیطی انجام داده‌اند، برنامه‌ریزی خوب شهری را به‌عنوان بخشی از اکوسیستم، تضمینی برای توسعه پایدار شهری و به عبارت دقیق‌تر توسعه بر مبنای ویژگی‌های محلی بیان کرده‌اند. همچنین هی، دینگ و پراساد[2] (۲۰۲۰ب) در مطالعه‌ای دیگر بهره‌گیری از برنامه‌ریزی و طراحی شهری منطقی را که می‌تواند منجربه نفوذ بادهای خنک به درون شهرها شود، عاملی مهم در تسکین جزایر حرارتی در شهرها عنوان کرده‌اند، که می‌بایست از ابتدایی‌ترین گام‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری مورد توجه قرار گیرد. در جهت کاربست تهویه شهری برای بهبود آب و هوای شهری، رن و همکاران[3] (۲۰۱۸) طراحی و ایجاد کریدورهای بادی در شهرها را اقدام مناسبی در راستای تبادل هوا و نفوذ هوای تازه و خنک به درون مناطق مرکزی شهر می‌دانند که می‌تواند علاوه بر کاهش گرمایش شهری و پراکنندگی آلاینده‌ها، در زمینه ارتباط میان تهویه شهری و انرژی که صنایعیان، تنپیریک، لیندن، سراج و شمیرانی[4] (۲۰۱۴) مورد مطالعه قرار داده‌اند، بر میزان مصرفی انرژی در ساختمان‌ها نیز اثرگذار باشد.

تمامی مطالعات که در بالا به آنها پرداخته شد در جدول ۲ آمده است، لازم به ذکر است که در بسیاری از مطالعات به طور روشن و صریح مقیاسی که تهویه شهری مورد بررسی قرار گرفته بیان نشده است، بنابراین به دلیل دشوار بودن تفکیک مقیاس‌ها، در این مقاله مقیاس مطالعات بر اساس طبقه‌بندی پیشنهادی در شکل ۲ ارائه شده است:

جدول ۲

مستندسازی و استخراج مؤلفه‌های عام تهویه شهری

نام مدل	نمونه موردی / مقیاس	هدف مطالعه	روش مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	یافته‌ها
تهویه محلی مورفولوژیک کوبوتا و همکاران (۲۰۰۸)	نمونه موردی: ژاپن مقیاس: میانی	بررسی رابطه میان ضریب سطح اشغال ساختمان و ضریب سطح زیربنا با متوسط سرعت باد در سطح عابر پیاده.	ارزیابی محیط بادی با استفاده از آزمایشات تونل و شرایط آب و هوایی باد در ۲۲ محله مسکونی	۱) مورفولوژی شهری ۲) آب و هوای شهری ۳) گرمایش شهری ۴) کیفیت هوای شهری ۵)کیفیت زندگی شهری	با افزایش ضریب ناخالص سطح اشغال ساختمان، ضریب متوسط سرعت باد کاهش می‌یابد.
تهویه شهری متخلخل نگ (۲۰۰۹)	نمونه موردی: هنگ‌کنگ مقیاس: کلان	توسعه پروتکل‌ها جهت حرکت هوای خارجی برای دستیابی به یک محیط بادی قابل قبول	با مروری بر نمونه‌های علمی و سیاسی، مشکلات شهری شناسایی و سپس اصول و روش‌هایی برای یک محیط بادی قابل قبول ارائه شده است.	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۳) بهداشت شهری ۴) مورفولوژی شهری ۵) آب و هوای شهری ۶) بهداشت شهری ۷) گرمایش شهری ۸) کیفیت هوای شهری	جهت‌گیری در راستای باد غالب و کاهش نسبت سطح پوشش سایت باعث افزایش عملکرد تهویه طبیعی در سطح عابر پیاده می‌شود.
تهویه شهری مبتنی برتوده – فضا یوآن و همکاران (۲۰۱۲)	نمونه موردی: مونگ کوک، هنگ‌کنگ	۱) ارزیابی اثر توسعه سریع شهرنشینی قرن گذشته بر تهویه طبیعی و پیش‌بینی عملکرد باد در آینده	از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی‌های محیط بادی و از آزمایشات تونل باد برای	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) مورفولوژی شهری ۳) آب و هوای شهری ۴) محیط زیست شهری ۵) بهداشت شهری	۱) افزایش تراکم ناحیه جلویی منجر به کاهش تهویه شهری می‌شود. ۲) کاهش نسبت سطح پوشش سایت باعث

[1] Yang et al.
[2] He, Ding & Prasad
[3] Ren et al.
[4] Sanaieian, Tenpierik, Linden, Seraj & Shemrani

نام مدل	نمونه موردی / مقیاس	هدف مطالعه	روش مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	یافته‌ها
	مقیاس: کلان	۲) ارائه استراتژی‌های طراحی با حفظ کاربری زمین برای دستیابی به آسایش حرارتی در تابستان	اعتبارسنجی استفاده شده است.	۶) انرژی ۷) حمل و نقل شهری ۸) گرمایش شهری ۹) کیفیت هوای شهری ۱۰) کیفیت زندگی شهری	افزایش عملکرد تهویه طبیعی در سطح عابر پیاده می‌شود
تهویه نسبی هو و یوشی (۲۰۱۳)	نمونه موردی: شانگهای مقیاس: میانی	ارزیابی کمی اثرات چیدمان فضایی ساختمان‌ها بر میانگین راندمان تهویه جهت تدوین پارامترهای طراحی کاربردی به عنوان یک راهنمای عملی طراحی	بر اساس یک مدل شهری مرجع، راندمان تهویه در ۱۸ مدل شهری با استفاده از شبیه‌سازی‌های (CFD) ارزیابی شده است.	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۳) مورفولوژی شهری ۴) آب و هوای شهری ۵) گرمایش شهری ۶) کیفیت هوای شهری ۷) کیفیت زندگی شهری	۱) شهرها با ضریب سطح اشغال پایین و معابر عریض بالاترین راندمان تهویه را دارند. ۲) آرایش فضایی غیریکنواخت نسبت به یکنواخت راندمان تهویه بهتری دارد.
تهویه شهری بهینه صنایعیان و همکاران (۲۰۱۴)	نمونه موردی: مطالعه مروری مقیاس: میانی	مرور سیستماتیک تأثیر فرم بلوک‌های شهری بر عملکرد زیست محیطی ساختمان‌ها	بررسی مروری مقالات در سه گروه اصلی: رفتار گرمایی، دسترسی به نور خورشید و تهویه طبیعی داخل و خارج ساختمان با تمرکز بر بلوک‌های شهری	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) مورفولوژی شهری ۳) آب و هوای شهری ۴) محیط زیست شهری ۵) گرمایش شهری ۶) کیفیت هوای شهری ۷) کیفیت زندگی شهری ۸) انرژی	۱) نسبت ابعاد خیابان عامل اصلی در میزان راندمان تهویه در مقیاس خیابان است. ۲) آرایش فضایی ساختمان‌ها یک عامل اثرگذار بر بهبود جریان هوا می‌باشد.
تهویه‌ی محلی ناهمگن آنتونیو و همکاران (۲۰۱۷)	نمونه موردی: نیکوزیا – قبرس مقیاس: میانی	ارائه یک ارزیابی از شرایط تهویه خارجی در مناطق شهری پیچیده و ارزیابی کمی از دقت دو رویکرد (LES) و (RANS)	بررسی جریان باد در یک منطقه فشرده شهری با استفاده از شبیه‌سازی‌های (CFD) و استفاده از آزمایشات تونل باد برای اعتبارسنجی	۱) بهداشت شهری ۲) مورفولوژی شهری ۳) آب و هوای شهری ۴) محیط زیست شهری ۵) گرمایش شهری ۶) کیفیت هوای شهری	مناطق شهری فشرده با فضاهای باز و سبز اندک پتانسیل بالاتری برای کاهش راندمان تهویه و تجربه جزایر حرارتی دارند.
تهویه شهری مبتنی بر کریدور بادی رن و همکاران (۲۰۱۸)	نمونه موردی: چین مقیاس: کلان	یک نگاه مروری بر طرح‌های کریدور تهویه شهری، موقعیت کاربرد طرح‌های فوق در سیستم برنامه‌ریزی شهری چین، معرفی نحوه ترکیب آن‌ها در طرح جامع شهر	یک مطالعه مروری سیستماتیک برای نشان دادن روش‌های محلی ارزیابی تهویه شهری و طرح‌های کریدور تهویه در چین می‌باشد.	۲) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۲) محیط زیست شهری ۳) مورفولوژی شهری ۴) آب و هوای شهری ۵) گرمایش شهری ۶) کیفیت هوای شهری ۷) کیفیت زندگی شهری ۸) بهداشت شهری	ارائه یک راهنمای فنی توسعه یافته جهت امکان‌سنجی اقلیمی کریدورهای تهویه شهری به ویژه ارزیابی نفوذپذیری مناطق ساخته شده تحت شرایط بادی ضعیف (نسیم).
تهویه‌ی منطقه‌ای شهر هی و همکاران (۲۰۱۹)	نمونه موردی: سیدنی، استرالیا	مشخص کردن ساختارهای سطحی شهر جهت انجام مطالعات مبتنی بر عملکرد تهویه و ارائه یک پروتوکل از	۲۰ محله در سیدنی بر مبنای ۳ شاخص، الگوی شبکه معابر، ارتفاع ساختمان‌ها و فشردگی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۳) مورفولوژی شهری ۴) آب و هوای شهری ۵) محیط زیست شهری ۶) گرمایش شهری	۱) مناطق بلند مرتبه و مانعی در برابر بادهای ضعیف هستند. ۲) در مجموعه‌های کوتاه مرتبه اثر مسدودکنندگی

نام مدل	نمونه موردی / مقیاس	هدف مطالعه	روش مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	یافته‌ها
	مقیاس: میانی	خصوصیات تهویه در مقیاس محله		۷) کیفیت هوای شهری ۸) کیفیت زندگی شهری ۹) انرژی ۱۰) بهداشت شهری	ساختمان در برابر باد کم است، به سختی می توان تأثیر الگوی شبکه معابر بر تهویه را سنجید.
تهویه شهری عملکردی یانگ و همکاران (۲۰۱۹)	نمونه موردی: شانگهای، چین مقیاس: کلان	ارزیابی تأثیر مورفولوژی شهری بر دمای سطح تحت شرایط مختلف بادی	از طریق سنجش از راه دور داده‌های اقلیم محلی جمع‌آوری و بر اساس اطلاعات معماری ساختمان و با استفاده از (GIS) تحلیل شده است.	۱) نیازهای اقتصادی و اجتماعی ۲) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۳) مورفولوژی شهری ۴) آب و هوای شهری ۵) محیط زیست شهری ۶) گرمایش شهری ۷) کیفیت هوای شهری	۱) ساختمان‌های بلند مرتبه با تراکم بالا می‌توانند دمای سطح را افزایش دهند ۲) همبستگی میان تراکم ناحیه جلویی و دمای سطحی در اقلیم محلی وجود دارد.
تهویه شهری با فضای مشبک هی و همکاران (۲۰۲۰)	نمونه موردی: سیدنی، استرالیا مقیاس: میانی	بررسی عملکرد تهویه محلی و تأثیر بالقوه آن بر دمای هوا و آسایش حرارتی در محیط خارجی	جمع‌آوری اطلاعات از طریق ایستگاه‌های سیار ثبت اطلاعات خرد اقلیمی و ارزیابی با ویژگی‌های مورفولوژیکی	۱) برنامه‌ریزی و طراحی شهری ۲) مورفولوژی شهری ۳) آب و هوای شهری ۴) محیط زیست شهری ۵) گرمایش شهری ۶) کیفیت هوای شهری	۱) جهت‌گیری خیابان‌ها پارامتر تعیین کننده‌ای در تهویه شهری نمی باشد

بنابراین بر اساس مطالعات صورت گرفته و جدول ۲ می‌توان چنین نتیجه گرفت که در حوزه عمل شهرسازی بر همکنش میان دو مؤلفه آب و هوای شهری و مورفولوژی شهری بیش‌ترین میزان تعیین‌کنندگی را بر تهویه طبیعی در شهرها دارد. در ادامه و در بخش یافته‌ها به تفصیل به این موضوع پرداخته خواهد شد.

مروری بر متون و شناسایی شاخص‌های سنجش تهویه شهری

در مفهوم تهویه شهری و شاخص‌هایی که بتوانند میزان راندمان تهویه طبیعی را در شهرها تعیین و اندازه‌گیری کنند، در کشورهای مختلف مطالعات علمی مختلفی صورت گرفته است. در بخش پیشین از طریق بررسی سیستماتیک مطالعات، ابعاد اثرگذار و اثر پذیر از تهویه شهری شناسایی شده است. در ادامه و در بخش حاضر، ابتدا مطالعاتی که با تمرکز در حوزه ارتباط میان تهویه طبیعی در شهرها و مورفولوژی شهری انجام شده‌اند، جمع‌آوری و سپس اقدام به استخراج شاخص‌های عام ارزیابی تهویه شهری حاضر شده است. به این ترتیب در این بخش از مقاله به بررسی متون مرتبط با موضوع تهویه شهری و تدقیق شاخص‌های عینی و ذهنی به کار رفته در پژوهش‌های معتبر بین المللی پرداخته شده است.

جورگاکیس و همکاران (۲۰۰۶) مطالعه‌ای با هدف فهم بهتر جریان هوا و پدیده حرارتی در کانیون‌های عمیق شهری انجام داده‌اند. این مطالعه بر روی شاخص‌های عینی صورت گرفته است که می‌توان به نسبت ابعاد خیابان و جهت‌گیری معابر اشاره نمود. یکی دیگر از مطالعاتی که شناخت و درک خوبی از رابطه میان کیفیت هوا در سطح خیابان و مورفولوژی شهری ارائه می‌دهد توسط ادوسوریا، چان و یی[1] (۲۰۱۱) انجام شده است. در این مطالعه ۲۱ شاخص مورفولوژیک مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته است که در این میان تنها ۵ شاخص که عبارتند از: تراکم فضای ساختمانی، انسداد، ارتفاع زبری، ارتفاع جابه‌جایی صفحه صفر و میانگین توده ساخته شده، تنوع قابل تشخیصی را در سطح منطقه گزارش می‌دهند. رزاک، هاگیشیما، ایکیگایا و تانیموتو[2] (۲۰۱۳) نیز در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر هندسه شهری بر روی میانگین سرعت باد در سطح عابر پیاده از شاخص ارتفاع ساختمان، نسبت ابعاد ساختمان، نسبت مساحت پلان، نسبت ناحیه جلویی استفاده کرده‌اند. همچنین در ارتباط با تعیین رابطه میان تراکم ساختمانی و سرعت باد در سطح عابر پیاده، کوبوتا و همکاران (۲۰۰۸) نیز شاخص‌های عینی از قبیل ارتفاع ساختمان، گونه ساختمانی، ضریب سطح اشغال ساختمان و

[1] Edussuriya, Chan & Ye
[2] Razak, Hagishima, Ikegaya, Tanimoto

ضریب سطح زیربنا را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج حاکی از وجود یک رابطه معکوس قوی میان ضریب سطح اشغال ساختمان و میانگین سرعت باد است. هو و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی کارایی تهویه با استفاده از شاخص‌های مورفولوژیک از قبیل عرض معابر، ارتفاع ساختمان، ضریب سطح اشغال ساختمان، آرایش فضایی ساختمان‌ها و هندسه شهری انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش سطح اشغال ساختمان، متوسط سرعت باد کاهش یافته و موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌شود. همچنین معابر عریض و آرایش فضایی غیریکنواخت موجب بهبود راندمان تهویه می‌شوند.

یانگ، شیان و لایو[1] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با هدف بررسی وزش بادهای تابستانی در سطح عابر پیاده در مناطق مسکونی مرتفع علاوه بر ارزیابی شاخص‌های مورفولوژیک از قبیل آرایش فضایی ساختمان‌ها، ضریب سطح اشغال ساختمان و ضریب سطح زیربنا، درجه محصوریت را نیز با استفاده از سنجه‌های فاکتور دید به آسمان، فاکتور دید درختان و نسبت قطعه سبز، کمی‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که فاکتور دید به آسمان در میان دیگر سنجه‌ها بیشترین همبستگی را داشته و با افزایش میزان فاکتور دید به آسمان، ضریب سرعت باد نیز افزایش می‌یابد. لئو، هی و نی[2] (۲۰۱۷) مطالعه‌ای دیگری است که در زمینه سنجش درجه محصوریت انجام شده است. در این مقاله با در نظر گرفتن این موضوع که مطالعات تهویه شهری بر اساس شبیه‌سازی‌های عددی نیازمند تلاشی قابل توجه و زمان است، با استفاده از مدلسازی مبتنی بر قاعده (CE[3])، شاخص‌های نسبت ابعاد خیابان، جهت‌گیری معابر، ارتفاع ساختمان، ضریب سطح زیربنا، تراکم ساختمانی، موانع طبیعی و کاربری اراضی را برای ارزیابی میزان محصوریت مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، ارتفاع ساختمان‌ها، ضریب سطح زیربنا و تراکم ساختمانی با میزان درجه محصوریت رابطه مستقیم داشته و با کاهش پارامترهای فوق می‌توان میزان محصوریت را کاهش داده و در نهایت موجب بهبود تهویه شهری شد. هی و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای جهت ارزیابی میزان میزان نفوذپذیری جریان هوا در شهرهای متراکم، ۶ مدل کلی را با استفاده از شاخص‌هایی از قبیل ارتفاع ساختمان، ضریب سطح اشغال ساختمان، تراکم ناحیه جلویی، تراکم مسیر جریان هوا و شاخص نسبت مساحت مسیر جریان هوا، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تهویه شهری نه تنها از ویژگی‌های شبکه معابر، فضاهای باز و ساختمان‌ها به طور جداگانه، بلکه از تعاملات آن‌ها تأثیر می‌پذیرد. همچنین شاخص نسبت مساحت مسیر جریان هوا، می‌تواند میزان نفوذپذیری در شهرهای متراکم را در جهت باد طبیعی توصیف کند، درحالی‌که شاخص تراکم ناحیه جلویی در جهت باد مورب بیشتر کاربرد دارد. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته یکی دیگر از پارامترهایی که در میزان راندمان تهویه طبیعی در شهرها نقش مهمی ایفا می‌کند، میزان فشردگی شهرها است. از این رو هی و همکاران (۲۰۱۹) در یک مطالعه سیستماتیک مبتنی بر عملکرد تهویه و با توجه به رابطه تعاملی میان موفولوژی شهری و خرداقلیم‌ها، ۳ شاخص ارتفاع ساختمان، الگوی معابر و فشردگی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، مجموعه‌های بلند مرتبه و فشرده مانعی در برابر بادهای ضعیف هستند و در مجموعه‌های کوتاه‌مرتبه هنگامی که اثر مسدودکنندگی ساختمان در برابر باد کم است، به سختی می‌توان تأثیر الگوی شبکه معابر بر تهویه را سنجید. ازاین‌رو، ضروری است تا از ابزارهای سنجش میدانی و یا مدل‌سازی‌های کمی برای سنجش عملکرد تهویه در مناطق مختلف استفاده نمود. همچنین در مطالعه دیگری که توسط هی و همکاران (۲۰۲۰ب) به منظور ارزیابی عملکرد تهویه محلی و با استفاده از شاخص‌های نسبت ابعاد خیابان، عرض معابر، جهت‌گیری معابر، ضریب سطح اشغال ساختمان، تراکم گروهی ساختمان، فاکتور دید به آسمان و انسداد انجام شده است، نتایج حاکی از این است اثرات ترکیبی ویژگی‌های مورفولوژیکی متفاوت از قبیل، شکل نامتقارن و ترکیبات پیچیده خیابان‌ها و ساختمان‌ها می‌تواند منجر به تغییرات چشمگیری در عملکرد تهویه محلی شود. گو، ژو، وانگ، دوآن و جین[4] (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی عملکرد تهویه طبیعی با استفاده از دو شاخص تراکم ساختمانی و ضریب سطح زیر بنا انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد دو شاخص فوق با سرعت باد رابطه معکوس دارد. وانگ، سان و دوآن[5] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای میزان راندمان تهویه در ۷ بافت مختلف شهری را بر اساس شاخص‌های مورفولوژیک از قبیل ضریب سطح زیربنا، نسبت قطعه، متوسط ارتفاع ساختمان، انحراف معیار ارتفاعات ساختمان، میانگین حجم ساختمان، زبری نسبی و تخلخل ارزیابی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نیز همانند مطالعه قبل رابطه معکوس

[1] Yang, Qian & Lau
[2] Luo, He & Ni
[3] CityEngine
[4] Guo, Zhu, Wang, Duan & Jin
[5] Wang, Sun & Duan

ضریب سطح زیر بنا با میزان تهویه را نشان می‌دهد. شاخص تخلخل نیز با راندمان تهویه رابطه مثبتی داشته و با افزایش این شاخص میزان تهویه در بافت‌های شهری افزایش می‌یابد.

شاخص دیگر با اثرات چشمگیر در سرعت باد؛ ارتفاع ساختمان‌ها و به بیان دقیق‌تر بلند مرتبه‌سازی می‌باشد که ییم، فانگ، لایو و کوت[1] (۲۰۰۹) در مطالعه خود آن را پدیده انسداد نامیده‌اند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد قرارگیری ساختمان‌های بلند مرتبه در جهت جریان ورودی، علاوه بر کاهش ۳۰ الی ۴۰ درصدی سرعت باد، بر میزان پراکندگی آلاینده‌ها نیز اثر می‌گذارد. هانگ و لی[2] (۲۰۱۰) نیز در مطالعه‌ای دیگر، اثرات بلندمرتبه‌سازی در مناطق شهری متراکم را بر اساس مدلسازی‌های آزمایشگاهی، با استفاده از شاخص‌های عینی ارتفاع ساختمان، عرض معابر، طول معابر و تراکم فضای ساختمانی به صورت کمی مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج نشان دهنده‌ی مقاومت نرخ جریان‌های افقی در برابر ساختمان‌های بلندمرتبه و همچنین نرخ تهویه بهتر در گروه‌های ساختمانی با ارتفاع غیریکنواخت است. در این زمینه، عزیزی و جوانمردی[3] (۲۰۱۷) نیز مطالعه‌ای با استفاده از دو شاخص عرض معابر و ارتفاع ساختمان، اثرات فرم بلوک‌های شهری بر روی الگوهای تهویه طبیعی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می دهند که دو شاخص فوق بیشترین تأثیر را در اختلاف فشار باد و کاهش میزان تهویه در اطراف بلوک‌های شهری دارند. در خصوص شاخص ارتفاع ساختن‌ها مطالعات نشان می‌دهند بر خلاف نقش مسدود کنندگی ساختمان‌های بلند مرتبه، وجود تنوع ارتفاعی ساختمان‌ها در شهرها می‌تواند اثرات چشمگیری بر بهبود و افزایش راندمان تهویه شهری داشته باشد. نتایج مطالعه‌ای که توسط کاسب، حافظی، تهباز و دلفانی[4] (۲۰۲۰) و با هدف ارزیابی و بهینه‌سازی اثر ترکیبی ۲ شاخص ارتفاع ساختمان و تراکم فضای ساختمانی در جهت بهبود شرایط باد در مناطق واقعی پیچیده شهری انجام شده است، نشان می‌دهد که تنوع ارتفاعی ساختمان‌ها موجب بهبود سرعت باد و کاهش غلظت آلاینده‌ها در مناطق کم سرعت می‌شود. هی، دینگ و پراساد [5](۲۰۲۰ج) نیز در مطالعه‌ای دیگر و با هدف ارزیابی عملکرد تهویه محلی و تأثیر آن بر جزایر حرارتی در فضای باز، از شاخص‌هایی از قبیل جهت‌گیری معابر، ارتفاع ساختمان، ضریب سطح اشغال ساختمان و فاکتور دید به آسمان، استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهند، ساختمان‌های بلند مرتبه در ناحیه جلویی موجب اثر انسداد و کاهش سرعت باد می‌شود، اما وجود ساختمان‌ها با تغییرات ارتفاعی (برای مثال ساختمان ۴ طبقه در جلو و ساختمان بلند مرتبه در عقب) موجب افزایش سرعت باد در محله می‌شود. مطالعه دیگری که بر مبنای ارزیابی شاخص‌های نسبت ابعاد خیابان، عرض معابر و ارتفاع ساختمان، توسط دنگ و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده است، تأیید دیگری است بر کنش متقابل میان ارتفاع لایه عمودی و سرعت افقی باد که ضمناً بیانگر نرخ تهویه شهری است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت برخلاف آنچه معمولاً در شهرها اتفاق می‌افتد، با تغییر صحیح ارتفاع ساختمان‌ها و تراکم‌های ساختمانی، شرایط باد را به طور مؤثر بهبود بخشید.

یکی از سنجه‌هایی که می‌تواند برای اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری جریان باد به درون شهر و محلات مورد استفاده قرار گیرد، شاخص تراکم ناحیه جلویی است. نگ، یوآن، چن، رن و فانگ[6] (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای برای ایجاد رابطه میان مورفولوژی شهری و تهویه هوای شهر از درک ناهمواری‌های سطحی شهر از شاخص‌های تراکم ناحیه جلویی زمین و ضریب سطح اشغال زمین استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزان براساس اطلاعات موجود از دو شاخص یاد شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی به راحتی می‌توانند نقشه نفوذپذیری باد در شهر را ایجاد کنند. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با ترکیب برنامه‌ریزی مبتنی بر عملکرد و سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص‌های ارتفاع ساختمان، تراکم ساختمانی و تراکم ناحیه جلویی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهند که تراکم ناحیه جلویی به دلیل اینکه عمدتاً به جهت باد بستگی دارد، میزان تغییرات فصلی کمی دارد. همچنین با توجه به اینکه استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی و آزمایشات تونل باد در مقیاس بزرگ مناسب نیستند، زی، یانگ، وانگ، فانگ لی یو و لی یو[7] (۲۰۲۰) نیز، شاخص‌های جهت‌گیری معابر، ارتفاع ساختمان، تراکم ساختمانی،

---

1 Yim, Fung, Lau & Kot
2 Hang & Li
3 Azizi & Javanmardi
4 Kaseb, Hafezi, Tahbaz & Delfani
5 He, Ding & Prasad
6 Ng, Yuan, Chen, Ren & Fung
۷ Xie, Yang, Wang, fang Liu & Liu

شاخص تراکم ناحیه جلویی، فضاهای باز و بدنه‌های آبی را، با استفاده از تئوری مدار و شبیه‌سازی‌های عددی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار داده‌اند.

در ارتباط با پیکره‌بندی فضایی ساختمان‌ها در شهرها، گولتن و اوزتوپ (۲۰۲۰) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی عملکرد تهویه طبیعی براساس شاخص‌های عرض معابر، ارتفاع ساختمان، ضریب سطح اشغال ساختمان، در ۴ پیکره‌بندی فضایی شهری مختلف، که نمایانگر طرح کلی مناطق مسکونی موجود در بخش مرکزی و قدیمی شهر الازیگ، ترکیه است، انجام داده‌اند. بررسی‌ها نشان می دهد که پیکره‌بندی فضایی شهری می‌تواند به عنوان یک پارامتر اصلی، بر عملکرد تهویه یک منطقه تأثیرگذار باشد. همچنین شین، لین، لایو و سانگ[۱] (۲۰۲۰) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی عملکرد تهویه شهری در مقیاس خیابان و برج‌ها، ۹ سناریوی طراحی مسکونی با تراکم بالا را بر اساس استراتژی‌های مختلف تقسیم سایت و انواع برج‌ها و با استفاده از شاخص‌های عرض معابر، جهت‌گیری معابر، ارتفاع ساختمان، نسبت قطعه، تراکم ناحیه جلویی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که سایت‌های بسیار بزرگ توانایی دستیابی به بهترین عملکرد را در تهویه خیابان و سطح شهر دارند، در حالی که احتمالاً کیفیت هوای داخلی را ندارند. همچنین در سایت‌های متوسط و کوچک تهویه هوا در سطح خیابان ضعیف است.

همانطور که در بخش‌های پیشین نیز گفته شد، یکی از پیامدهای بهبود تهویه در شهرها، پراکندگی آلاینده‌های شهری و کاهش میزان آلودگی هواست. در مطالعه‌ای که پاناگیوتو و همکاران (۲۰۱۳) انجام داده‌اند، مفهوم سرعت تبادل آلاینده‌ها را به عنوان معیاری از قابلیت تنفس شهر بیان شده و به منظور سنجش این مفهوم از شاخص هندسه شهری، تراکم فضای ساختمانی و تراکم ناحیه جلویی استفاده کرده‌اند و نتایج نشان می‌دهد با افزایش تراکم ساختمانی، فرآیند تبادل هوا روند کاهشی به خود می‌گیرد. هانگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز تهویه شهری را بر اساس مفهوم تنفس شهری با استفاده از شاخص‌های انحراف معیار ارتفاع ساختمان، شاخص مساحت پلان، تراکم ناحیه جلویی و اندازه شهر اندازه‌گیری کرده‌اند. بداچ، وردکراس، نیکا و آکر[۲] (۲۰۲۰) با هدف مدیریت کیفیت هوای مناطق، شاخص‌های انحراف معیار ارتفاع ساختمان، تراکم کانیون‌های خیابانی، تراکم فضای ساخته شده، ضریب سطح زیربنا و تراکم پوشش گیاهی بلند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی کرده‌اند. چن و همکاران[۳] (۲۰۱۷) نیز مطالعه‌ای دیگری در زمینه قابلیت تنفس شهری به عنوان یکی از اقدامات عملی برای بهبود رقت آلاینده‌ها با استفاده از شاخص عرض معابر، انحراف معیار ارتفاع ساختمان، تراکم گروهی ساختمان، شاخص مساحت پلان و شاخص مساحت ناحیه جلویی انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد مدل‌هایی با تراکم و انحراف معیار ارتفاع ساختمان متوسط تهویه کلی بهتری تجربه می‌کنند.

مرلیر و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای مروری خصوصیات کمی و کیفی ساختارهای شهری که در مطالعات جریان هوای شهری استفاده شده، بررسی کرده‌اند و شاخص‌های نسبت ابعاد خیابان و طول خیابان، ضریب انسداد، تخلخل، نسبت ناحیه جلویی و نسبت مساحت پلان ساختمان را جهت توصیف کمی اشکال شهری از منظر تهویه شهری ارائه کرده‌اند. یونهاو و همکاران[۴] (۲۰۲۰) نیز ارتفاع ساختمان، تراکم ساختمانی شهر، تراکم ناحیه جلویی ساختمان، زبری سطح زمین، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی متفاوت و شاخص اصلاح شده، نرمال شده تفاوت آب را به طور نوآورانه‌ای بر اساس چهار سناریوی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که مناطق سبز و آب‌ها قابلیت بهینه‌سازی تهویه شهری و کاهش مؤثر دمای سطح را دارند. پنگ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه مروری دیگری شاخص‌های نسبت ابعاد خیابان، طول خیابان، عرض معابر، انحراف معیار ارتفاع ساختمان، شاخص مساحت پلان، شاخص مساحت ناحیه جلویی و ضریب سطح اشغال ساختمان را با هدف ارائه مزایا و محدودیت‌های هر شاخص که می‌تواند برای جامعه علمی کمک کننده باشد، معرفی کرده‌اند.

در پایان این بخش، پیرو توضیحات تفصیلی ارائه شده در سطور پیشین، ذکر چند مورد در خصوص شاخص‌های سنجش تهویه شهریِ مستخرج در مقاله حاضر ضروری می‌نماید. نخست آنکه به منظور تضمین کارآمدی شاخص‌های استخراج شده از ۳۰ پژوهش اشاره شده در بالا و همچنین اطمینان از همخوانی آن‌ها با شرایط و مسائل شهرهای امروزین، تلاش شده است تا مطالعات اخیر (حد فاصل سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ میلادی) مورد مستندسازی قرار گیرند. دوم، با توجه به ماهیت پیچیده بعد

---

[۱] Qin, Lin, Lau & Song

[۲] Badach, Voordeckers, Nyka & Acker

[۳] Chen et al.

[۴] Yunhao et al.

مورفولوژیک شهرها، در هر یک از مطالعات از شاخص‌های مورفولوژیک متعددی در سنجش وضعیت کیفیت تهویه طبیعی شهرها استفاده شده است؛ که در این میان مطالعاتی با ۲ شاخص (رجوع به مطالعه جورگاکیس و همکاران، ۲۰۰۶) تا پژوهش‌هایی با ۷ شاخص (رجوع شود به مطالعه پنگ و همکاران، ۲۰۲۰) قابل مشاهده است.

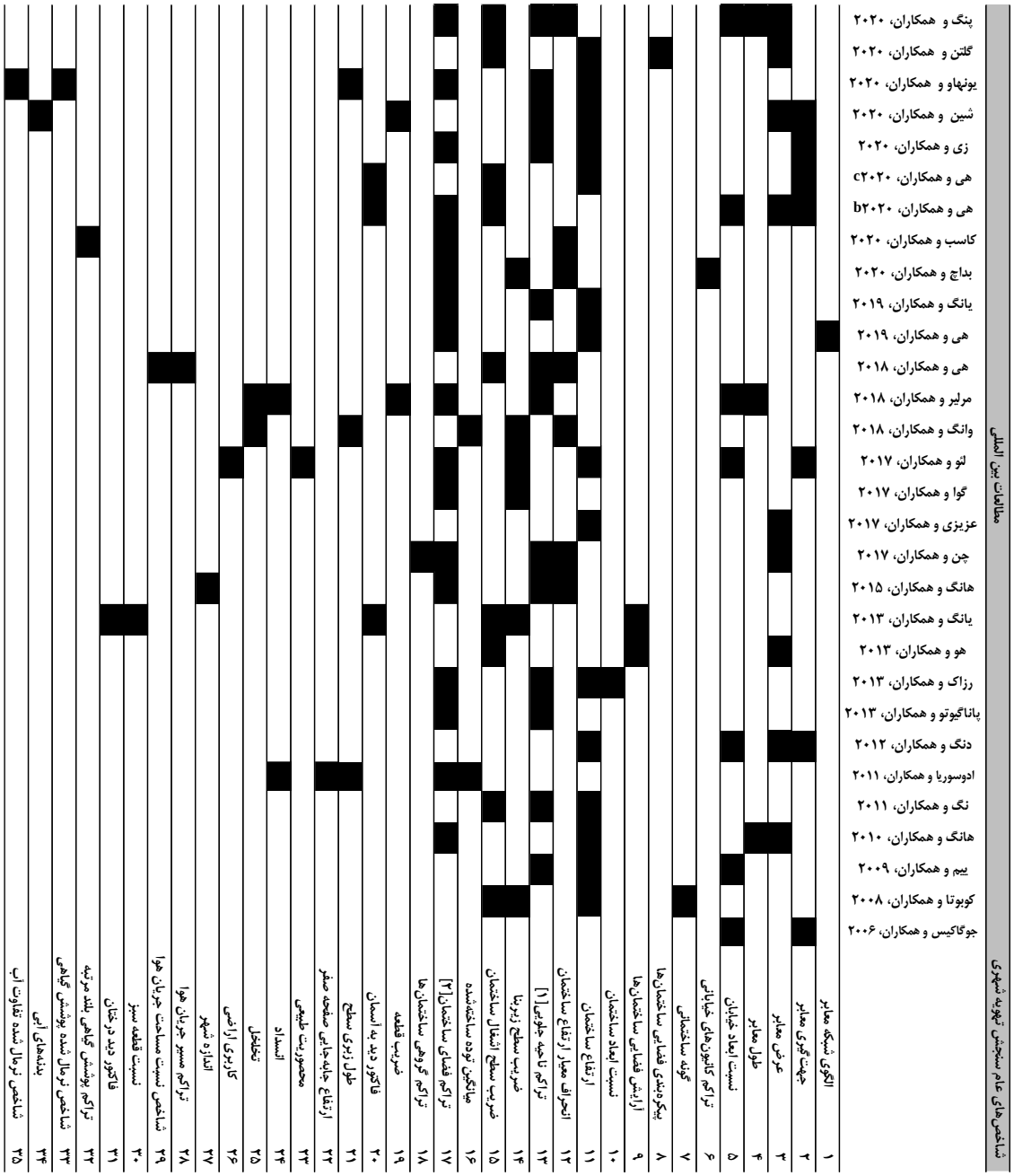
از این رو، چنین به نظر می‌رسد که به منظور ارائه تصویری جامع و یکپارچه از شاخص‌های مورد استفاده در هر یک از این مطالعات ۳۰ گانه، بررسی توأمان مطالعات در یک قاب واحد ضروری باشد. جدول ۳ که ردیف‌ها نمایانگر شاخص‌های مورد استفاده در مطالعات و ستون‌ها، هر یک از مطالعات می‌باشد، شاخص‌های عام سنجش تهویه شهری مورد استفاده در مطالعات بین‌المللی مورد بررسی را نمایش می‌دهد. بر اساس این جدول شاخص‌هایی چون تراکم فضای ساختمانی (۱۷ مرتبه)، ارتفاع ساختمان (۱۵ مرتبه) و تراکم ناحیه جلویی (۱۳ مرتبه) پرتکرارترین شاخص‌ها و نسبت قطعه سبز، فضای باز و... با تنها یک مرتبه استفاده، کم تکرارترین شاخص‌های مورد بحث در مطالعات جهانی تهویه طبیعی در شهر هستند. بدیهی است استفاده مکرر و یا کم تعداد از هر یک از ۳۵ شاخص ذکر شده در جدول ۳، به تنهایی نمی‌تواند بیانگر اهمیت و یا بی اهمیتی شاخص مورد بحث باشد. بنابراین، در ادامه تلاش شده است تا با بهره‌گیری از معیارهای تعیین درجه اهمیت شاخص‌های عام تهویه طبیعی در شهر، نسبت به پالایش مهم‌ترین این شاخص‌ها با توجه به شرایط زمینه‌ای شهرهای کشور اقدام شود.

روش پژوهش

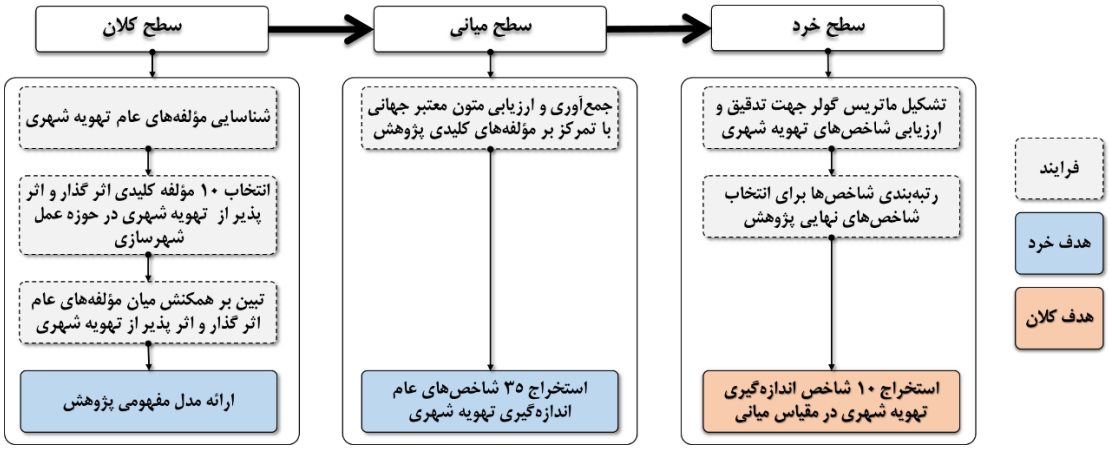
این پژوهش به موضوع تهویه طبیعی در مناطق شهری پرداخته است. در این راستا، با توجه به ابعاد فرآیند و اهداف اصلی که به دنبال محصولی عملی در زمینه واقعی است و منشأ الگویی نوین و آغازگر حیاتی دگرگون در طراحی شهری مبتنی بر عملکرد تهویه شهری است، می توان ردپای فلسفه عمل گرایی در این پژوهش جست و جو نمود. پژوهش حاضر دارای رویکرد قیاسی است؛ یعنی رسیدن از کل به جزء. بدین منظور با انتخاب رویکرد قیاسی به عنوان راهبرد پژوهش و در جهت دستیابی به هدف مقاله، در سطح کلان؛ از طریق بررسی مطالعات داخلی و خارجی اقدام به شناسایی مؤلفه‌های عام اثرگذار و اثر پذیر از تهویه شهری شده، و پس ارزیابی بر همکنش میان آنها، بر اساس مؤلفه‌های اثر گذاری که در حوزه عمل شهرسازی هستند، مدل مفهومی پژوهش تدوین شده است. در سطح میانی؛ با تمرکز بر ابعاد ارائه شده در مدل مفهومی، اقدام به شناسایی و استخراج شاخص‌های عام سنجش تهویه شهری شده است. و در نهایت، در سطح خرد؛ از ماتریس گولر جهت تدقیق و ارزیابی شاخص‌ها استفاده شده است. این پژوهش از حیث هدف در دسته پژوهش‌های بنیادی و کاربردی است که تلاش می‌کند با گسترش و توسعه دانش به معضل و مشکل عملی در خصوص تهویه طبیعی در سطح میانی (مقیاس بلوک و محله) پاسخ داده شود. از این رو ماهیت و روش این پژوهش پیمایشی و مورد کاوی است. در راهبر مورد کاوی سعی می‌شود که با مشاهده تمامی جوانب پدیده تهویه طبیعی شهری و بررسی روابط آن پدیده با سایر پدیده هایی که آن را احاطه کرده اند، شناختی جامع از مفهوم طراحی شهری مبتنی بر عملکرد تهویه طبیعی فراهم شود. دو منبع اصلی مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی داده‌های مطالعه را شکل می‌دهند. شکل ۳ روش‌شناسی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۳

مستندسازی شاخص‌های عام اندازه‌گیری تهویه طبیعی شهری بر اساس مروری بر متون و ادبیات جهانی



دانش شهرسازی، دوره ۵، شماره ۳، ۶۵-۸۹، پاییز ۱۴۰۰



شکل ۳. فرآیند پژوهش

یافته‌ها و بحث

پیرو بررسی‌های به عمل آمده در قسمت گونه‌شناسی مدل‌های مفهومی تهویه شهری، در ارتباط با مدل‌های مفهومی ۱۰ گانه، چنین به نظر می‌رسد که با درنظرگیری اشتراکات مورد تأکید در هریک از این مدل‌های مفهومی یاد شده، در نهایت ۵ مؤلفه اصلی اثرگذار بر تهویه شهری و ۵ مؤلفه اصلی اثر پذیر از تهویه شهری می‌توان شناسایی کرد. در این بخش ابتدا، به منظور ارائه مدل مفهومی پژوهش، روابط میان مؤلفه‌های اثرگذار و اثر پذیر بر تهویه شهری به تفصیل پرداخته شده است. سپس به منظور تدقیق و ویژه‌سازی شاخص‌های عام تهویه شهری شناسایی شده، از ماتریس گولر استفاده شده است.

واکاوی ابعاد اثرگذار و اثرپذیر بر مفهوم تهویه شهری

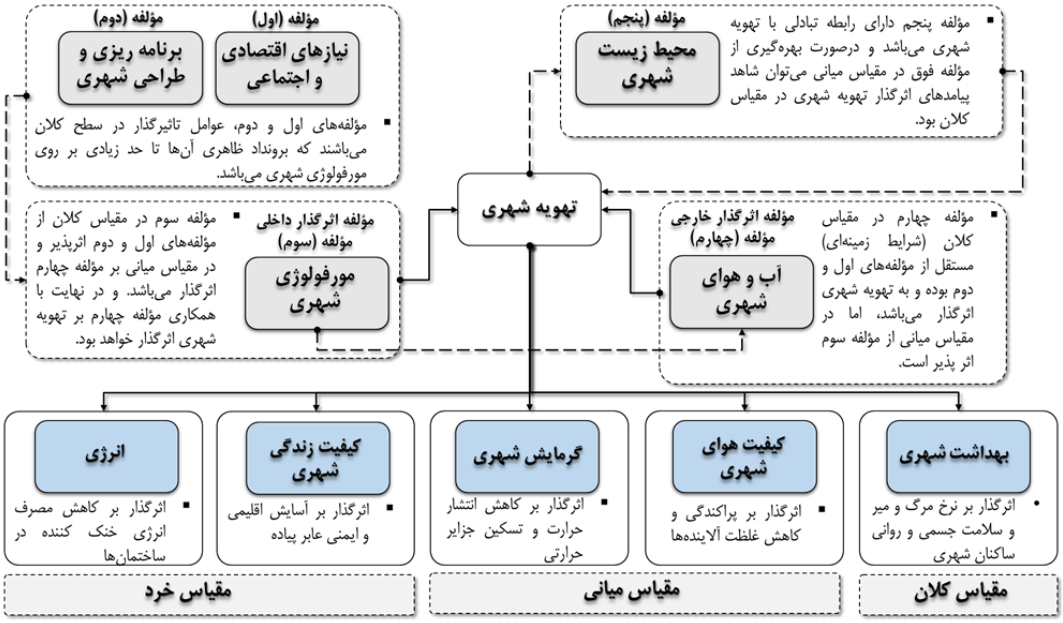
نیازهای اقتصادی- اجتماعی منتج از جریانات کلان شهرنشینی و نتایج کالبدی ناشی از آن را می‌توان به عنوان عوامل تأثیرگذار در سطح کلان به شمار آورد که برونداد ظاهری آن‌ها تا حد زیادی در مورفولوژی شهری نمایان می‌شود. به عبارت دیگر، می‌توان چنین گفت نیازهای اقتصادی- اجتماعی بدون توجه به برنامه‌ریزی و طراحی شهری مبتنی بر عملکرد و نقش سیاست‌گذاری‌های کلان، رویکردهای ناظر بر توسعه شهری و نهایتاً تأثیر این سیاست‌ها بر شکل شهر و نوع توسعه، منجر به گسترش نامعقول ساختارهای شهری شده است. شهرها به مانند حصاری مستحکم از نفوذ باد به درون خود جلوگیری کرده و ساختمان‌ها و سایر عناصر زبری مانع جریان یافتن بادها در درون کانیون‌های شهری می‌شوند. امروزه در بسیاری از شهرها اصلی‌ترین و ابتدایی‌ترین نیاز شهروندان، نیاز به هوای پاک، به دلیل ساخت و سازهای متراکم و بلند مرتبه، می‌بایست مورد مطالبه قرار گیرد. پژوهش‌های صورت گرفته و آزمایشات تونل باد نشان می‌دهند با استفاده از الگوهای طراحی شهری مبتنی بر عملکرد تهویه می‌توان بر رفتار جریان هوا اثرگذار بود و در نهایت موجب تخلیه فضاها و کانیون‌های شهری از آلاینده‌ها شد. بنابراین کاهش غلظت آلاینده‌ها و آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین پیامدها و ابعاد اثر پذیر از تهویه شهری در مقیاس میانی هستند. همچنین، جمعیت‌های قرار گرفته در محیط‌های شهری متراکم و محصور، ناقلین مستعدی برای گسترش بیماری‌ها محسوب می‌شوند. پس می‌توان چنین گفت که یکی دیگر از مهم‌ترین و اثرگذارترین ابعاد تهویه شهری در خصوص بهداشت شهروندان، جلوگیری از شیوع بیماری‌های واگیردار و خلق شهرهای سازگار با بیماری‌های پاندمیک است. از سوی دیگر، به زیر ساخت رفتن سطوح نرم و طبیعی و ایجاد سطوح سخت در شهرها از مهم‌ترین علل وجود تفاوت‌های دمایی قابل توجه میان نواحی شهری و مناطق روستایی است. بنابراین، استفاده از تهویه شهری که موجب افزایش سرعت جریان باد و کوران هوا در شهرها می‌شود، علاوه بر کاهش آلودگی هوا و ارتقاء بهداشت شهری تأثیر چشمگیری بر کاهش دما و نقشی به‌سزا در تسکین جزایر حرارتی و بهبود آسایش حرارتی برای شهروندان دارد.

از سوی دیگر آب و هوای شهری نیز می‌تواند در ۲ مقیاس کلان و میانی، به‌عنوان دو مؤلفه اثرگذار و اثرپذیر از تهویه شهری عمل کند. در مقیاس کلان، منابع باد خارجی که بسته به اقلیم و مکان جغرافیایی به میزان قابل توجهی در میان شهرها متفاوت است، علاوه بر اینکه منابع باد پایدار را در مقیاس‌های منطقه و شهر ارائه می‌دهند، گاهاً در مقیاس میانی نیز تعیین کننده شرایط باد داخلی و تنظیم کننده شدت محیط‌های بادی هستند و مستقل از نیازهای اقتصادی و اجتماعی، برنامه‌ریزی و طراحی شهری و

مورفولوژی شهری موجب ارتقاء راندمان تهویه شهری و بهبود کیفیت هوا در شهرها می‌شوند. در مقیاس میانی نیز، آب و هوایی شهری به ویژه زمانیکه شرایط باد زمینه‌ای مناسبی وجود نداشته باشد، تحت تأثیر خصوصیات مورفولوژیک، دستخوش تغییرات قابل توجهی شده و در شهرها باعث تغییر خرد اقلیم‌ها می‌شود. بنابراین در مقیاس فوق آب و هوای شهری، اثر پذیر از مورفولوژی شهری است و هرگونه اقدامات و مداخلات نادرست مورفولوژیکی می‌تواند عواقب جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد.

در این میان محیط زیست شهری نیز با تهویه شهری دارای اثر تبادلی بوده و در صورت بهره‌گیری از زیرساخت‌های سبز و پوشش گیاهی مناسب با شرایط زمینه‌ای، در مقیاس میانی می‌توان موجب تلطیف هوا، کاهش آلودگی هوا و بهبود آسایش حرارتی شده و از تغییرات اقلیمی و مسائل زیست محیطی در مقیاس کلان جلوگیری کرد. اما نکته حائز اهمیت این است که، گاهی در شهرها از پوشش گیاهی در الگوی پراکنش نامناسبی استفاده می‌شود و درختان به جای تشکیل تونل‌هایی جهت کوران هوای تازه و خنک به درون محلات و کانیون‌های شهری به‌مثابه موانعی عمل کرده و مانع نفوذ باد می‌شوند. بنابراین در صورت استفاده از پوشش گیاهی و بدنه‌های آبی در یک الگوی مناسب، بعد محیط‌زیست شهری می‌تواند به‌عنوان یک مؤلفه اثرگذار بر تهویه شهری در مقیاس کلان و میانی، اثرات مثبت و قابل توجهی در راستای تلطیف هوای شهرها داشته باشد و در نهایت انرژی و کیفیت زندگی شهری در مقیاس خرد از تهویه شهری اثر می‌پذیرند؛ بهینه‌سازی منابع، کاهش مصرف انرژی خنک‌کننده‌ها در ساختمان‌ها به‌ویژه در فصل تابستان و همچنین افزایش کیفیت زندگی در شهرها از طریق تأمین آسایش اقلیمی برای شهروندان، از دیگر ابعاد اثرپذیر از تهویه طبیعی در شهرها است. البته لازم به ذکر است در برخی شهرها، گاهی به دلیل الگوهای ساخت و ساز غیرمنطبق با شرایط زمینه‌ای، سرعت باد در برخی نقاط از بافت شهری از حد آستانه فراتر رفته و ایمنی عابر پیاده را به مخاطره می‌اندازد، بنابراین در چنین شرایطی می‌بایست از اصول تهویه طبیعی شهری در جهت اعمال تمهیدات کاهشی مناسب در نقاط حساس استفاده کرد.

از این رو مبنی بر آنچه گفته شد، تصویر کلان نوع بر همکنش تمامی مؤلفه‌ها با یکدیگر و مفهوم تهویه شهری را می‌توان بر اساس آنچه در شکل ۴ ترسیم شده است، مشاهده نمود:



شکل ۴. تصویر کلان ارتباطات میان مؤلفه‌های تأثیرگذار، تأثیر پذیر و نوع کنش آن‌ها با مفهوم تهویه شهری

شناسایی شاخص‌های اندازه‌گیری تهویه شهری

در بخش‌های پیشین، پس از تبیین عوامل اثرگذار بر تهویه طبیعی و حوزه‌های اثرپذیر از آن مدل مفهومی پیشنهادی پژوهش (شکل ۴)، طراحی گردید. سپس با بررسی تحلیلی ۳۰ مطالعه برجسته در حوزه «تهویه طبیعی با تأکید بر بعد مورفولوژیک» شاخص‌های ۳۵ گانه مورد استناد برای ارزیابی وضعیت کیفی تهویه شهری در مطالعات جهانی استخراج گردید. همان‌گونه که در

بخش شاخص‌های سنجش تهویه شهری بیان شد، به‌رغم در دست بودن تصویری یکپارچه از شاخص‌های مورد استفاده در سنجش تهویه طبیعی شهرها (جدول ۳)، تعدد تکرار و استناد شاخص‌های مورد اشاره به تنهایی نمی‌تواند معیاری مناسب برای تعیین کارآمدترین و مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی باشد. در این بخش، در نظر است تا با بهره‌گیری از چارچوب ارزیابی ماتریس گولر[1] و معیارهای ترکیبی، به رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس کارآمدی و میزان اهمیت پرداخته شود. ۸ معیار مورد استفاده در چارچوب ماتریس گولر در این بخش عبارتند از:

- مقیاس میانی: همان‌گونه که در بخش «مقیاس‌های تهویه شهری» نیز تشریح شد، با توجه به آنکه مطالعات سطح خرد تهویه طبیعی بیشتر در حوزه عمل معماران قرار دارد و مطالعات سطح کلان نیز به دلیل پیچیدگی سیستم‌های شهری عملا از دقت کافی برخوردار نیست؛ امکان اندازه‌گیری و کاربرد شاخص در مقیاس میانی، نخستین معیار اولویت‌بندی شاخص‌ها است.
- فراوانی استناددهی در ادبیات جهانی: دلالت بر تعدد استفاده از شاخص در مطالعات بین‌المللی دارد.
- موضوعیت در طراحی شهری: امکان تغییر وضعیت شاخص با کاربرد ابزارهای طراحی شهری را بیان می‌کند.
- سهولت دسترسی به اطلاعات: در دسترس بودن داده‌های اولیه مربوط به شاخص در آمار رسمی و مستند.
- قابلیت اندازه‌گیری شاخص: کمی بودن ماهیت شاخص.
- همپوشانی با سایر شاخص‌ها: نشانگر جامعیت شاخص و توانایی آن در سنجش یکپارچه وضعیت.
- تغییرات تنوع فضایی شاخص در محله: میزان تنوع داده‌های مکانی شاخص در ارزیابی های دو به دو
- انطباق با نمونه موردی: ناظر بر میزان انطباق شاخص با خصوصیات محله انتخابی دارد[2].

و بدین ترتیب، ماتریس اولیه مربوط به مدل گولر در جدول ۴ تنظیم شده است، بنابراین جدول با کسب آراء ۱۲ نفر از متخصصین شهرسازی میانگین اهمیت نسبی شاخص‌های ۳۵ گانه بر حسب درصد تعیین شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با در نظرگیری چهار چارک امتیازی (چارک اول، ۲۵-۰؛ چارک دوم، ۵۰-۲۵؛ چارک سوم، ۷۵-۵۰؛ چارک چهارم، ۱۰۰-۷۵) برای هر یک از معیارهای ۸ گانه میانگین امتیاز مکتسبه برای هر شاخص محاسبه و شاخص‌هایی که امتیاز بالای ۵۰ کسب نموده‌اند؛ به عنوان اولویت نخست انتخاب شده‌اند. بر این اساس ۱۰ شاخص نسبت ابعاد خیابان، تراکم کانیون‌های خیابانی، انحراف معیار ارتفاع ساختمان، تراکم ناحیه جلویی، ضریب سطح اشغال ساختمان، تراکم فضای ساختمانی، ضریب قطعه، فاکتور دید به آسمان، ضریب انسداد و تراکم پوشش گیاهی بلندمرتبه به‌عنوان شاخص‌های سنجش تهویه شهری منتخب مشخص می‌گردند.

در ادامه، به منظور تدقیق مشخصات شاخص‌های ۱۰ گانه منتخب، به شرح جدول ۵ «شناسنامه شاخص‌های ارزیابی تهویه شهری در مقیاس میانی» ارائه می‌گردد. اصلی‌ترین موارد ارائه شده در شناسنامه شاخص‌ها عبارت است از:

- مؤلفه شاخص: بیانگر جنبه‌ای از بُعد مورفولوژیک تهویه که به طور مستقیم توسط شاخص سنجیده می‌شود (برای مثال: تراکم فضای ساختمانی، سنجه‌ای برای تعیین وضعیت میزان فشردگی).
- جهت شاخص: بیانگر نوع همبستگی هر شاخص با میزان راندمان تهویه شهری است (برای مثال: افزایش تراکم ناحیه جلویی ساختمان‌ها موجب کاهش میزان نفوذپذیری باد و در نتیجه کاهش راندمان تهویه طبیعی می‌شود؛ بنابراین جهت شاخص منفی است)
- نوع داده: مشخص‌کننده نوع داده‌های مورد نیاز (کمی/کیفی) برای سنجش شاخص مدنظر است. همچنین، نوع داده بر اساس پیوسته یا گسسته بودن مقدار عددی قابل احصاء نیز مشخص شده است.
- ماهیت داده: تعیین‌کننده روش موردنیاز برای احصاء داده‌های شاخص است (عینی: از طریق پیمایش و برداشت / ذهنی: بر اساس مصاحبه و تکمیل پرسشنامه).

همچنین، به منظور تسهیل برداشت داده‌ها اطلاعاتی همچون منبع شاخص (مأخذ ممکن برای دسترسی به داده)، منطق سنجش (فرمول محاسبه) و بیان تصویری شاخص نیز مشخص شده‌اند.

---

[1] Goeller Scorecard

[2] با توجه به ماهیت نظری مقاله حاضر و نبود نمونه مطالعاتی، به تمامی شاخص‌ها بر اساس این معیار امتیاز برابر داده شده است. بدیهی است که در نظرگیری معیار انطباق در مطالعات دارای نمونه مطالعاتی الزامی است.

جدول ۴

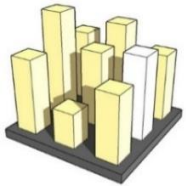
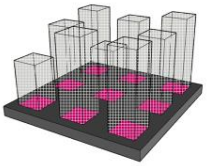
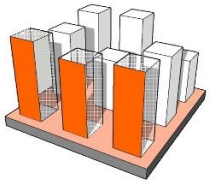
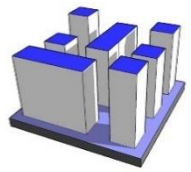
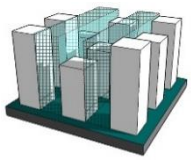
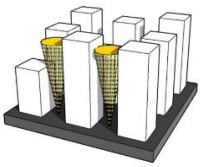
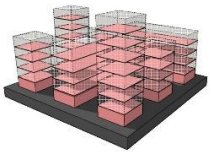
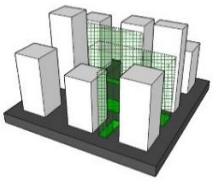
مدل ماتریسی گولر به تفکیک هر معیار و شاخص‌های هدف مطالعه در شبکه‌ای از سلول‌های متقاطع

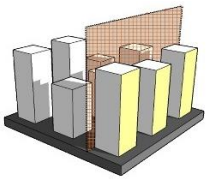
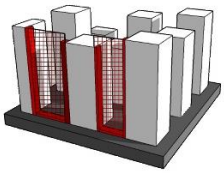
شاخص‌های عام تهویه شهری		معیارهای غربال‌گری شاخص‌ها								
		مقیاس میانی (محله و بلوک)	فراوانی استناددهی در ادبیات جهانی	موضوعیت در طراحی شهری	سهولت دسترسی به اطلاعات	قابلیت اندازه‌گیری شاخص	همپوشانی با سایر شاخص‌ها	تغییرات تنوع فضایی شاخص در محله	انطباق با نمونه موردی	مجموع امتیازها
۱	الگوی شبکه معابر	■	□	■	■	■	■	□	□	۴۵
۲	جهت‌گیری معابر	■	□	■	■	□	□	□	□	۴۵
۳	عرض معابر	■	□	■	■	□	□	■	□	۵۰
۴	طول معابر	■	□	■	■	■	□	■	□	۵۰
۵	نسبت ابعاد خیابان	■	□	■	■	■	■	■	□	۶۰
۶	تراکم کانیون‌های خیابانی	■	□	■	■	■	■	■	□	۶۲/۵
۷	گونه ساختمانی	■	□	■	■	□	■	□	□	۴۵
۸	پیکره‌بندی فضایی ساختمان‌ها	■	□	■	■	□	■	□	□	۴۰
۹	آرایش فضایی ساختمان‌ها	■	□	■	■	□	■	□	□	۴۵
۱۰	نسبت ابعاد ساختمان	■	□	□	■	■	□	■	□	۴۵
۱۱	ارتفاع ساختمان	■	■	■	■	■	□	□	□	۵۰
۱۲	انحراف معیار ارتفاع ساختمان	■	□	■	□	■	■	■	□	۶۵
۱۳	تراکم ناحیه جلویی	■	■	□	□	■	■	■	□	۶۲/۵
۱۴	ضریب سطح زیربنا	■	□	■	□	■	□	□	□	۵۰
۱۵	ضریب سطح اشغال ساختمان	■	□	■	■	■	■	■	□	۶۲/۵
۱۶	میانگین توده ساخته‌شده	■	□	□	□	■	□	□	□	۴۵
۱۷	تراکم فضای ساختمانی	■	■	■	■	■	■	■	□	۷۰
۱۸	تراکم گروهی ساختمان‌ها	■	□	□	□	■	□	□	□	۴۷/۵
۱۹	ضریب قطعه	■	□	■	■	■	■	■	□	۶۲/۵
۲۰	فاکتور دید به آسمان	■	□	■	□	■	■	■	□	۵۲/۵
۲۱	طول زبری سطح	□	□	□	□	■	□	■	□	۳۵
۲۲	ارتفاع جابه‌جایی صفحه صفر	□	□	□	□	■	□	■	□	۳۷/۵
۲۳	محصوریت طبیعی	□	□	■	□	□	□	□	□	۱۷/۵
۲۴	ضریب انسداد	■	□	■	■	■	■	■	□	۶۵
۲۵	تخلخل	■	□	■	□	■	□	□	□	۵۲
۲۶	کاربری اراضی	□	□	■	■	■	■	□	□	۴۲/۵
۲۷	اندازه شهر	□	□	■	■	□	■	□	□	۳۷/۵
۲۸	تراکم مسیر جریان هوا	■	□	□	□	■	□	■	□	۴۰
۲۹	نسبت مساحت مسیرجریان هوا	■	□	□	■	■	□	■	□	۴۰
۳۰	نسبت قطعه سبز	■	□	□	□	□	□	□	□	۳۰
۳۱	فاکتور دید درختان	■	□	□	□	■	■	□	□	۴۵
۳۲	تراکم پوشش گیاهی بلند مرتبه	■	□	□	□	■	■	□	□	۳۷/۵
۳۳	شاخص پوشش گیاهی متفاوت	□	□	□	□	■	□	□	□	۲۷/۵
۳۴	بدنه‌های آبی	□	□	□	■	□	■	□	□	۳۲/۵
۳۵	شاخص نرمال شده تفاوت آب	□	□	□	□	■	□	□	□	۲۷/۵

دانش شهرسازی، دوره ۵، شماره ۳، ۶۵-۸۹، پاییز ۱۴۰۰

جدول ۵

شناسنامه شاخص‌های ارزیابی تهویه شهری در مقیاس میانی

	مؤلفه	شاخص	نام اختصاری	جهت	نوع و ماهیت	منبع شاخص	منطق سنجش	تبلور فضایی شاخص
۱	محصوریت	انحراف معیار ارتفاع ساختمان	SDBH	↕	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت تفاضل ارتفاع ساختمان‌ها به مجموع ارتفاع ساختمان‌ها. $\sigma_H = \frac{(H_2 - H_1)}{(H_2 + H_1)} \times 100$	
۲	فشردگی	ضریب سطح اشغال ساختمان	BCR	↓	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری	برابر است با نسبت سطح اشغال ساختمان به کل مساحت زمین: $\frac{\text{Building area}}{\text{Site area}} \times 100$	
۳	نفوذپذیری	تراکم ناحیه جلویی	FAD	↓	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت مساحت نمای رو به باد غالب ساختمان به کل مساحت زمین: $\lambda_f = \frac{A_f}{A_T}$	
۴	فشردگی	تراکم فضای ساختمانی	UBD	↓	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت مساحت پلان ساختمان‌ها از بالا به کل مساحت زمین: $\lambda_p = \frac{A_p}{A_T}$	
۵	نفوذپذیری	تراکم کانیون‌ها ی خیابانی	SCD	↕	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت میان طول کل کانیون‌های خیابان به مساحت زمین: $\frac{\text{total length of street canyons}}{\text{the site area}}$	
۶	محصوریت	فاکتور دید به آسمان	SVF	↕	کمی پیوسته عینی	برداشت میدانی	برابر است با مساحت فضای قابل رؤیت از تصاویر نیم کره‌ای لنز چشم ماهی به سوی آسمان به کل مساحت لنز: $\frac{S_{sky}}{S_{total}}$	
۷	فشردگی	نسبت قطعه	PR	↓	کمی پیوسته عینی	داده‌های شهرداری	برابر است با مجموع مساحت ناخالص سطح زیربنا به مساحت سایت: $\frac{\text{total gross floor area}}{\text{area of the plot}}$	
۸	محصوریت	تراکم پوشش گیاهی بلند مرتبه	TVAD	↓	کمی پیوسته عینی	برداشت میدانی	برابر است با نسبت پوشش گیاهی بلند به مساحت زمین: $\frac{\text{tall vegetation cover}}{\text{the site area}}$	

مؤلفه	شاخص	نام اختصاری	جهت	نوع و ماهیت	منبع شاخص	منطق سنجش	تبلور فضایی شاخص
۹ محصوریت	ضریب انسداد	BR	↓	کمی / پیوسته / عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت مساحت نمای رو به جهت باد غالب ساختمان به توان دوم مجموع عرض ساختمان و عرض معبر: $(W \times H) \div (W+L)^2$	
۱۰ نفوذپذیری	نسبت ابعاد خیابان	AR	↓	کمی / پیوسته / عینی	داده‌های شهرداری، برداشت میدانی	برابر است با نسبت ارتفاع به عرض خیابان: $\text{Aspetc ratio} = \frac{H}{W}$	

نتیجه‌گیری

همانطور که در بخش‌های پیشین بدان اشاره شد، مسئله آلودگی هوا و نزول کیفیت هوای شهری در ۳۰ سال آینده به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین چالش‌های پیش‌روی ساکنین کلان‌شهرها مطرح خواهد بود. در این میان، در پژوهش حاضر تلاش گردید تا با هدف نهایی اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی تهویه طبیعی در شهرها، پایه‌های نظری مورد نیاز برای رویارویی با این مسئله خطیر در ایران نیز فراهم شود. بدین منظور، در گام نخست و با هدف ارائه شمایی کلی از رویکرد تهویه طبیعی، پس از تبیین ابعاد این مسئله جهانی و ارائه تعاریف علمی موجود در مطالعات جهانی، مشخص گردید که اساساً تهویه طبیعی در رویکرد مدرن ناظر بر «بهبود کیفیت هوا از طریق تضمین جریان تبادلی و تأمین آسایش اقلیمی» است (جدول ۱). همچنین، با هدف تدقیق حوزه کاربرد تهویه طبیعی در شهرها، مقیاس‌های مطالعاتی مطرح در این رویکرد تشریح گردید و مشخص شد که اساساً فصل مشترک رویکرد تهویه طبیعی و ابزارهای طراحی شهری در مقیاس میانی و در سطح بلوک و محلات شهری در دسترس است. تعیین این مقیاس کاری از آن جهت حائز اهمیت است که می‌تواند راهنمایی مناسب در واکاوی عوامل اثرگذار بر تهویه طبیعی و حوزه‌های شهری اثرپذیر از آن باشد. در ادامه با واکاوی پیشینه رویکردهای نظری تهویه طبیعی و اقدامات عملی مبتنی بر آن، سیر تکامل مفهوم و کاربرد تهویه در شهرها مورد بررسی قرار گرفت و شش عصر مختلف آن تشریح گردید (شکل ۲). در گام دوم، با درنظرگیری مقیاس میانی رویکرد تهویه، با تحلیل ۱۰ مطالعه جهانی تهویه طبیعی که «رویکردی عام» در این زمینه داشتند (جدول ۲)، پنج عامل اثر گذار بر تهویه طبیعی و پنج حوزه اثرپذیر از آن مشخص گردید. نهایتاً، در گام سوم و با هدف استخراج شاخص‌های عام ارزیابی تهویه طبیعی در شهرها، ۳۰ مطالعه جهانی تهویه طبیعی که «رویکردی خاص» با تأکید بر بعد مورفولوژیک در این زمینه داشتند مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج آن به صورت یکپارچه در جدول ۳ ارائه گردید. همچنین با بهره‌گیری از ماتریس ارزیابی گولر و تعیین معیارهای اولویت‌بندی، از میان ۳۵ شاخص مورفولوژیک مستخرج از مطالعات جهانی، ۱۰ شاخص انحراف معیار ارتفاع ساختمان، تراکم فضای ساختمانی، تراکم ناحیه جلویی، ضریب سطح اشغال ساختمان، تراکم کانیون‌های خیابانی، فاکتور دید به آسمان، نسبت قطعه، ضریب انسداد، نسبت ابعاد خیابان و تراکم پوشش گیاهی بلندمرتبه، به عنوان شاخص‌های نهایی ارزیابی تهویه طبیعی شهری در مقیاس میانی انتخاب گردیدند.

در مطالعه حاضر، برخلاف پژوهش‌های بین‌المللی معرفی شده، تلاش شده است تا علاوه بر در نظرگیری بعد مورفولوژیک که در حوزه عمل رشته شهرسازی است، به‌عنوان جنبه خاص و نیازمند تدقیق و شاخص‌سازی در مطالعه، از سایر جنبه‌های اثرگذار و اثرپذیر تهویه طبیعی نیز غافل نشده و چارچوب تأثیرات جریان‌های کلان اقتصادی، اجتماعی، اقلیمی و... نیز بر کیفیت تهویه طبیعی در شهرها مورد ملاحظه قرار گیرد. ازاین‌رو می‌توان به‌عنوان مطالعات تکمیلی، پردازش و شاخص‌سازی برای سایر ابعاد ده گانه ذکر شده در شکل ۵ را نیز به عنوان الگوی یکپارچه تحلیل و ارزیابی وضعیت تهویه طبیعی در شهرها مدنظر قرار داد. همچنین، ۱۰ شاخص نهایی منتخب در مقاله حاضر از چند منظر در سنجش کیفیت تهویه طبیعی در شهرها حائز اهمیت است.

نخست آنکه سعی شده است تا شاخص‌های انتخابی با بیشترین همخوانی با شرایط زمینه‌ای شهرهای ایران مورد گزینش قرار گیرند. دوم، ترکیب ۱۰ گانه حاضر، تلفیقی از مهم‌ترین شاخص‌های دارای دامنه کاربرد در مقیاس میانی را بدست می‌دهد؛ که کمیت و کیفیت آن‌ها با استفاده ابزار در دسترس طراحی شهری قابل تغییر بوده و در صورت درنظرگیری، امکان بهبود وضعیت تهویه طبیعی در سطح بلوک و محلات شهری را فراهم می‌آورد. سوم آنکه، جامع‌ترین شاخص‌هایی که به لحاظ کمی قابلیت سنجش را دارا هستند انتخاب شده‌اند؛ لذا امکان ارائه راهنمای طراحی شهری با هدف بهینه‌سازی مورفولوژیک فضای محله‌ای با تأکید بر رویکرد تهویه طبیعی ممکن است.

لازم به ذکر است که نکته حائز اهمیت در بررسی کلی از شاخص‌های ۱۰ گانه استخراج شده، وجود نوعی اختلاف میان «باورهای عمومی از توسعه‌های شهری ضابطه‌مند» و «توسعه‌های مبتنی بر تهویه طبیعی» است. به بیان دیگر، چنین به نظر می‌رسد که شاخص‌های استخراج شده از مطالعات جهانی تهویه طبیعی، عملاً مخالف و یا محتاط در پذیرش برخی از دستورالعمل‌های عام برنامه‌ریزی و طراحی شهری چون: درنظرگیری تراکم‌های شهری بالا در مراکز (مطابق با رویکردهای نوشهرسازی، توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی و پیروی از الگوی شهر فشرده) و یا داشتن ارتفاع‌های تقریباً یکسان در محلات شهری (در اغلب مناطق حداکثر ۴ طبقه) به منظور بهره‌گیری از مزایای توسعه پایدار شهری است. برای مثال در مؤلفه محصوریت، شاخص «انحراف معیار ارتفاع ساختمان (SDBH)»، به وضوح بر لزوم وجود تفاوت‌های معنادار در ارتفاع ساختمان‌های یک بلوک شهری در تسهیل تهویه تأکید دارد و شاخص «ضریب انسداد (BR)» نیز تأثیر منفی تراکم‌های بالای شهری بر تهویه طبیعی در شهرها را هویدا می‌سازد. همچنین، علیرغم تأکیدات متعدد رویکردهای توسعه شهری گوناگون (با سویه‌ی پایداری و توسعه سبز) بر لزوم درنظرگیری فضاهای باز و سبز میانی به عنوان نقاط تنفس شهری، شاخص «تراکم پوشش گیاهی بلند مرتبه (TVAD)» در عمل نشان از آن دارد که شکل‌دهی به این فضاهای باز و سبز در صورت استفاده از درختان بلند قامت با چیدمان نامناسب تأثیر منفی بر تهویه و به عبارت دقیق‌تر بر قابلیت تنفس شهر خواهد داشت. شاخص‌های ارائه شده در مؤلفه‌های فشردگی و نفوذپذیری نیز به شکلی مشابه در ارتباط با سایر دستورالعمل‌های عام شهرسازی می‌توانند تأثیرات گوناگونی بر بهبود و یا وخامت کیفیت هوای شهری و متعاقباً کیفیت زندگی شهروندان داشته باشند. از این رو، قابل توصیه است که با توجه به اولویت‌های موجود در زمینه هر یک از بافت‌های شهری و با درنظرگیری پتانسیل‌ها و محدودیت‌های هر یک، به تناوب از دستورالعمل‌های عام شهرسازی، دستورالعمل‌های شهرسازی مبتنی بر تهویه طبیعی و یا ترکیبی از هر دوی آن‌ها استفاده شود.

منابع

اوستروفسکی، واتسلاف. (۱۹۶۸). *شهرسازی معاصر: از نخستین سرچشمه‌ها تا منشور آن*. ترجمه لادن اعتضادی. (۱۳۷۱). تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

موریس، جیمز. (۱۹۷۹). *تاریخ شکل شهر تا انقلاب صنعتی*. ترجمه راضیه رضازاده. (۱۳۸۶). تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.

پاکزاد، جهانشاه. (۱۳۸۹). *تاریخ شهر و شهرنشینی در اروپا از آغاز تا انقلاب صنعتی*. تهران: آرمان شهر.

گلکار، کوروش. (۱۳۹۰). *آفرینش مکان پایدار: تاملاتی در باب نظریه طراحی شهری*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

بحرینی، سید حسین؛ بلوکی، بهناز و تقابن، سوده. (۱۳۹۲). *تحلیل مبانی نظری طراحی شهری معاصر جلد اول: اواخر قرن ۱۹ تا دهه هفتم قرن ۲۰ میلادی*. تهران: دانشگاه تهران.

References

Abd Razak, A., Hagishima, A., Ikegaya, N., & Tanimoto, J. (2013). Analysis of airflow over building arrays for assessment of urban wind environment. *Building and Environment*, 59, 56-65.

Antoniou, N., Montazeri, H., Wigo, H., Neophytou, M. K. A., Blocken, B., & Sandberg, M. (2017). CFD and wind-tunnel analysis of outdoor ventilation in a real compact heterogeneous urban area: Evaluation using "air delay". *Building and Environment*, 126, 355-372.

ASCE's Task Committee on Urban Aerodynamics. (2011). *Urban Aerodynamics: Wind Engineering for Urban Planners and Designers*. American Society of Civil Engineers.

Azizi, M. M., & Javanmardi, K. (2017). The effects of urban block forms on the patterns of wind and natural ventilation. *Procedia engineering*, 180, 541-549.

Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, L., & Van Acker, M. (2020). A framework for Air Quality Management Zones-useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. *Building and Environment*, 106743.

Bahrainy, S. H., Bolooki, B., & Taghabon, S. (2013). *Analysis of Contemporary Urban Design Theories Vol. 1: From Late 19 Century to 1970s (A.D.)*. Tehran: University of Tehran. (in Persian)

Britter, R. E., & Hanna, S. R. (2003). Flow and dispersion in urban areas. *Annual review of fluid mechanics*, 35(1), 469-496.

Buccolieri, R., Sandberg, M., & Di Sabatino, S. (2010). City breathability and its link to pollutant concentration distribution within urban-like geometries. *Atmospheric Environment*, 44(15), 1894-1903.

Chen, L., Hang, J., Sandberg, M., Claesson, L., Di Sabatino, S., & Wigo, H. (2017). 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.

Coceal, O., Dobre, A., Thomas, T. G., & Belcher, S. E. (2007). Structure of turbulent flow over regular arrays of cubical roughness. *Journal of Fluid Mechanics*, 589, 375-409.

Deng, Q., He, G., Lu, C., & Liu, W. (2012). Urban ventilation-a new concept and lumped model. *International Journal of Ventilation*, 11(2), 131-140.

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.

Georgakis, C., & Santamouris, M. (2006). Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and buildings*, 38(4), 367-376.

Golkar, K. (2011). *Creating Sustainable Place: Reflections on Urban Design Theory*. Tehran: Shahid Beheshti University. (in Persian)

Gough, H. (2017). *Effects of meteorological conditions on building natural ventilation in idealised urban settings*. (Doctoral dissertation, University of Reading). https://centaur.reading.ac.uk/71951/

Gülten, A., & Öztop, H. F. (2020). Analysis of the natural ventilation performance of residential areas considering different urban configurations in Elazığ, Turkey. *Urban Climate*, 34, 100709.

Guo, F., Zhu, P., Wang, S., Duan, D., & Jin, Y. (2017). Improving natural ventilation performance in a high-density urban district: A building morphology method. *Procedia Engineering*, 205, 952-958.

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.

Hang, J., Wang, Q., Chen, X., Sandberg, M., Zhu, W., Buccolieri, R., & Di Sabatino, S. (2015). City breathability in medium density urban-like geometries evaluated through the pollutant transport rate and the net escape velocity. *Building and Environment*, 94, 166-182.

He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2019). Enhancing urban ventilation performance through the development of precinct ventilation zones: A case study based on the Greater Sydney, Australia. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101472.

He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020a). Wind-sensitive urban planning and design: Precinct ventilation performance and its potential for local warming mitigation in an open midrise gridiron precinct. *Journal of Building Engineering*, 29, 101145.

He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020b). Urban ventilation and its potential for local warming mitigation: A field experiment in an open low-rise gridiron precinct. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102028.

He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020c). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289.

He, Y., Tablada, A., & Wong, N. H. (2018). Effects of non-uniform and orthogonal breezeway networks on pedestrian ventilation in Singapore's high-density urban environments. *Urban climate*, 24, 460-484.

Hu, T., & Yoshie, R. (2013). Indices to evaluate ventilation efficiency in newly-built urban area at pedestrian level. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 112, 39-51.

Kaseb, Z., Hafezi, M., Tahbaz, M., & Delfani, S. (2020). A framework for pedestrian-level wind conditions improvement in urban areas: CFD simulation and optimization. *Building and Environment*, 184, 107191.

Kubota, T., Miura, M., Tominaga, Y., & Mochida, A. (2008). Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: Development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods. *Building and Environment*, 43(10), 1699-1708.

Littlefair, P. J. (2000). *Environmental site layout planning: solar access, microclimate and passive cooling in urban areas*. BRE publications.

Luo, Y., He, J., & Ni, Y. (2017). Analysis of urban ventilation potential using rule-based modeling. Computers. *Environment and Urban Systems*, 66, 13-22.

Merlier, L., Kuznik, F., Rusaouën, G., & Salat, S. (2018). Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies. *Sustainable cities and society*, 36, 71-80.

Montavon, M. (2010). *Optimisation of urban form by the evaluation of the solar potential.* (Doctoral dissertation, EPFL). https://infoscience.epfl.ch/record/145897?ln=en

Morris, A. E. J. (1979). *History of urban form: before the industrial revolutions* (R. Rezazadeh, Trans.). Tehran: Iran University of Science and Technology. (in Persian)

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2015). *World urbanization prospects: The 2014 revision*, (ST/ESA/SER.A/366).

Neophytou, M. (2005). Modelling the wind flow in complex urban topographies: a Computational-Fluid-Dynamics simulation of the central London area. In *Proceedings of the 5th GRACM Inter Congress on Comput Mech*, Limassol.

Ng, E. (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities–air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and environment*, 44(7), 1478-1488.

Ng, E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., & Fung, J. C. (2011). Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: a study in Hong Kong. *Landscape and Urban planning*, 101(1), 59-74.

Nicholson, S. E. (1975). A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment (1967)*, 9(1), 19-31.

Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11(1-3), 103-113.

Olgyay, V. (2015). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism-new and expanded edition*. Princeton university press.

Ostrowski, W. (1968). *L'urbamisme contemporiam des origines o'la charte d' Athenes* (L. Etezadi, Trans.). Tehran: university publication center. (in Persian)

Pakzad, J. (2010). *History of European city: from Greek polis to industrial revolution* (3rd Ed.). Tehran: Armanshahr. (in Persian)

Panagiotou, I., Neophytou, M. K. A., Hamlyn, D., & Britter, R. E. (2013). City breathability as quantified by the exchange velocity and its spatial variation in real inhomogeneous urban geometries: An example from central London urban area. *Science of the total environment*, 442, 466-477.

Peng, Y., Buccolieri, R., Gao, Z., & Ding, W. (2020). Indices employed for the assessment of "urban outdoor ventilation"-A review. *Atmospheric Environment*, 223, 117211.

Qin, H., Lin, P., Lau, S. S. Y., & Song, D. (2020). Influence of site and tower types on urban natural ventilation performance in high-rise high-density urban environment. *Building and Environment*, 179, 106960.

Ren, C., Yang, R., Cheng, C., Xing, P., Fang, X., Zhang, S., Wang, H., Shi, Y., Zhang, X., Kwok, Y. T., & Ng, E. (2018). Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan–The implementation in Chinese cities. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 182, 170-188.

Sanaieian, H., Tenpierik, M., Van Den Linden, K., Seraj, F. M., & Shemrani, S. M. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551-560.

Vitruvius, M. P. (1960). *The ten books on architecture* (M. H. Morgan, Trans.). New York: Dover publications.

Wang, B., Sun, S., & Duan, M. (2018). Wind potential evaluation with urban morphology-A case study in Beijing. *Energy Procedia*, 153, 62-67.

Watson, D. (1983). *Climatatic design: Energy efficient building principles and practices*. McGraw Hill Higher Education.

World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*.

Xie, P., Yang, J., Wang, H., fang Liu, Y., & Liu, Y. (2020). A New Method of Simulating Urban Ventilation Corridors Using Circuit Theory. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102162.

Yang, F., Qian, F., & Lau, S. S. (2013). Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. *Building and environment*, 70, 122-137.

Yang, J., Jin, S., Xiao, X., Jin, C., Xia, J. C., Li, X., & Wang, S. (2019). Local climate zone ventilation and urban land surface temperatures: Towards a performance-based and wind-sensitive planning proposal in megacities. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101487.

Yang, L., & Li, Y. (2009). City ventilation of Hong Kong at no-wind conditions. *Atmospheric Environment*, 43(19), 3111-3121.

Yim, S. H., Fung, J. C. H., Lau, A. K. H., & Kot, S. C. (2009). Air ventilation impacts of the “wall effect” resulting from the alignment of high-rise buildings. *Atmospheric Environment*, 43(32), 4982-4994.

Yuan, C., & Ng, E. (2012). Building porosity for better urban ventilation in high-density cities–A computational parametric study. *Building and Environment*, 50, 176-189.

Yunhao, F., Kangkang, G., Zhao, Q., Zhen, S., Yongzheng, W., & Ai, W. (2020). Performance evaluation on multi-scenario urban ventilation corridors based on least cost path. *Journal of Urban Management*, 10(1), 3-15.