



Urban Fabric Typologies Based on Air Ventilation Indicators: A Case Study of District 1, Tehran

ARTICLE INFO

Article Type

Applied research

Authors

Sima Ferdosian ¹

Mohammad Mehdi Azizi ^{2*}

How to cite this article

Ma

URL: <http://>

ABSTRACT

Aims: A proper typology of urban fabrics based on morphology-related ventilation indicators can play a significant role in explaining ventilation performance across different urban contexts. However, previous studies in this area have often lacked comprehensiveness, typically combined only a few indicators and resulted in a limited number of heterogeneous types. This paper aims to address this gap by systematically identifying urban fabric types based on key indicators that influence air ventilation.

Methods: This quantitative study utilizes data collected from available maps and satellite sources. Drawing on specialized literature in urban ventilation and considering constraints in accessing detailed morphological data, ten key indicators were selected. The study applied the “spatial signatures” method, incorporating the average characteristics of neighbouring areas. Clustering was then performed using the K-Means algorithm.

Findings: A comparative analysis of clustering outcomes with varying cluster numbers showed that selecting eight clusters provides a balanced approach between generalization and detailed accuracy. The resulting types represent a diverse range of urban fabric patterns and help ensure that significant morphological configurations are neither overlooked nor excluded.

Conclusion: The “spatial signature method” proved to be a robust and systematic tool for typologizing urban fabrics based on ventilation-related morphological indicators. By integrating key indices and accounting for neighbourhood-level characteristics, the method effectively identifies fabric types that reflect both structural diversity and ventilation potential. The approach demonstrates high accuracy in capturing detail and offers valuable insights for future studies and practical applications in the domain of urban ventilation analysis.

Keywords: Typology, Urban Ventilation, Air Ventilation, Spatial Signature Method, District 1 of Tehran, New Technologies, Wind Direction.

CITATION LINKS

1- Ph.D. Candidate, School of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Ph.D., Professor, School of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Correspondence

Address: School of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: mmazizi@ut.ac.ir

Article History

Received:

Accepted:

Published:

[1]. Fang Y, Gu K, Qian Z, Sun Z, Wang Y, Wang A. Performance evaluation on multi-scenario urban ventilation....[2]. Peng Y, Buccolieri R, Gao Z, Ding W. Indices employed for the assessment of “urban outdoor ventilation...”[3]. Chen X, Xue P, Liu L, Gao L, Liu J. Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area.... [4]. Yang J, Wang Y, Xue B, Li Y, Xiao X, Xia JC, He B. Contribution of urban ventilation to the thermal...[5]. Georgakis C, Santamouris M. Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons....[6]. Juan YH, Wen CY, Li Z, Yang AS. A combined framework of integrating optimized half-open spaces into buildings...[7]. Palusci O, Monti P, Cecere C, Montazeri H, Blocken B. Impact of morphological parameters on urban...[8]. He BJ, Ding L, Prasad D. Enhancing urban ventilation performance through the development of precinct....[9]. Qin H, Lin P, Lau SS, Song D. Influence of site and tower types on urban natural ventilation...[10]. Hang J, Sandberg M, Li Y. Age of air and air exchange efficiency in idealized city...[11]. Di Sabatino S, Buccolieri R, Pulvirenti B, Britter R. Simulations of pollutant dispersion...[12]. Ali-Toudert F, Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and...[13]. Zhang A, Gao C, Zhang L. Numerical simulation of the wind field...[14]. Sha C, Wang X, Lin Y, Fan Y, Chen X, Hang J. The impact of urban...[15]. Hong B, Qin H, Lin B. Prediction of wind environment and indoor/outdoor relationships...[16]. Jing Y, Zhong HY, Wang WW, He Y, Zhao FY, Li Y. Quantitative city....[17]. Ma T, Chen T. Outdoor ventilation evaluation and opt....



گونه‌شناسی بافت‌های شهری بر اساس شاخص‌های مؤثر بر تهویه هوا. نمونه مطالعاتی: منطقه ۱ تهران

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: تحقیق کاربردی

نویسندگان

سیما فردوسیپان^۱
محمد مهدی عزیزی^{۲*}

اهداف: گونه‌شناسی مناسب بافت‌های شهری بر اساس شاخص‌های مورفولوژیک مؤثر بر تهویه، می‌تواند در تبیین عملکرد تهویه هوا در این بافت‌ها نقش مؤثری ایفا کند. باین حال، مطالعات پیشین در این زمینه عمدتاً از جامعیت لازم برخوردار نبوده و با ترکیب چند شاخص، تعداد محدودی گونه ناهمگون معرفی کرده‌اند. مقاله حاضر با هدف پر کردن این خلأ، به شناسایی نظام‌مند گونه‌های مختلف بافت بر اساس شاخص‌های مؤثر بر تهویه هوا می‌پردازد.

روش‌ها: پژوهش حاضر از نوع کمی است و داده‌های آن از نقشه‌ها و منابع ماهواره‌ای موجود گردآوری شده‌اند. با استخراج شاخص‌های کلیدی از ادبیات تخصصی تهویه شهری و با در نظر گرفتن محدودیت‌های دسترسی به داده‌های کلیدی، تعداد ۱۰ شاخص انتخاب شد. سپس با بهره‌گیری از روش «امضاهای فضایی» و در نظر گرفتن میانگین ویژگی‌های همسایگی، خوشه‌بندی با روش K-Means صورت گرفت.

یافته‌ها: مقایسه نتایج خوشه‌بندی با تعداد متفاوت خوشه‌ها نشان داد که انتخاب ۸ خوشه، تعادلی مناسب میان کلی‌نگری و دقت جزئیات فراهم می‌کند. گونه‌های به‌دست‌آمده، تنوع مناسبی از انواع بافت‌های شهری را پوشش می‌دهند و از حذف یا نادیده‌گرفتن الگوهای مهم جلوگیری می‌شود.

نتیجه‌گیری: روش «امضاهای فضایی» در این پژوهش نشان داد که می‌تواند ابزاری مؤثر و نظام‌مند برای گونه‌شناسی بافت‌های شهری بر اساس شاخص‌های مؤثر بر تهویه هوا باشد. این رویکرد با ترکیب شاخص‌های کلیدی مورفولوژیک و لحاظ کردن میانگین ویژگی‌های همسایگی، امکان شناسایی گونه‌هایی از بافت شهری را فراهم می‌آورد که هم از نظر تنوع ساختاری و هم از نظر قابلیت تهویه، و در توجه به جزئیات، دقت مناسبی دارد و می‌تواند در حوزه تهویه شهری مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: گونه‌شناسی، تهویه هوا، تهویه شهری، امضاهای فضایی، منطقه ۱ تهران، فناوری های نوین، جریان باد.

۱. دانشجوی دکترای شهرسازی، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲*. استاد دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

نویسنده مسئول *

mmazizi@ut.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

ارجاع‌دهی

پ

URL: <http://>

مقدمه

شهرهای دوره معاصر با تغییرات بسیار و روزافزونی مواجه هستند. افزایش جمعیت، گسترش‌های عمودی و افقی، عدم کنترل رشد شهری، تغییر سبک زندگی و رشد مصرف‌گرایی از عواملی هستند که از طریق افزایش مصرف انرژی در حوزه‌های مختلف، شکل‌گیری و رشد جزایر حرارتی و افزایش آلودگی‌ها بر گرم تر شدن زمین اثر فزاینده داشته‌اند. بدین ترتیب کیفیت زندگی در شهرها نیز تحت تاثیر قرار گرفته و سلامتی و آسایش شهروندان با مشکلاتی مواجه شده است. در این راستا، پژوهش‌های متعددی نیز در دو دهه اخیر به بررسی تهویه شهری به عنوان راهکاری جهت کاهش گرما [۱]، کاهش آلودگی [۲]، آسایش حرارتی [۳، ۴]، کاهش مصرف انرژی [۴] و افزایش استفاده از تهویه طبیعی [۵] در محدوده‌های شهری پرداخته‌اند.

به دنبال عوامل موثر بر افزایش تهویه هوا، فرم و مورفولوژی شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر جریان هوا و تهویه شناخته شده که با کنترل آن می‌توان شرایط تهویه درون بافت را تحت تاثیر قرار داد [۶، ۷]. مطالعات نشان داده‌اند که سرعت و جهت باد پس از ورود به محدوده شهر تحت تاثیر موانعی که بر سر راه آن قرار گرفته‌اند، تغییر پیدا می‌کند [۸]. در واقع، هر آنچه در شهرها موجود است اعم از ساختمان‌ها، پوشش گیاهی، عناصر شهری، معابر، ماشین‌ها و ... مانند مانع عمل کرده و علاوه بر ایجاد انحرافات در جهت جریان، سرعت آن را نیز تغییر می‌دهند. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده و تلاش نموده‌اند تا ارتباط بین اشکال مختلف شهری با تهویه هوا را بررسی و تبیین کنند. این مسئله در مقیاس‌های مختلف از منطقه و شهر تا مقیاس یک بلوک شهری و ساختمان مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده که تغییرات فرم و مورفولوژی شهری در هر یک از این مقیاس‌ها می‌تواند بر الگوهای جریان هوا و تهویه شهری اثر مثبت یا منفی بر جای گذارد [۹، ۱۰، ۱۱].

بافت‌های شهری بر اساس هدف مطالعه و قابلیت تامین هزینه محاسباتی (زمانی، سخت‌افزاری و نرم‌افزاری)، به سه شیوه مختلف قابل مطالعه هستند. در شیوه اول، فرم‌های ساده شده و عام مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شیوه ساختمان‌ها با

فرم‌های مکعبی، در گروه‌ها و پیکربندی‌های کوچک، مشخص و ساده و دره‌های شهری یا خیابان‌ها با بدنه‌های ساده و یکنواخت مدل‌سازی می‌شوند (مانند [۱۲، ۱۳]). چنین مطالعاتی اغلب به بررسی همبستگی متغیرهایی همچون نسبت ارتفاع به عرض دره، ارتفاع و موقعیت ساختمان و تراکم ساختمانی پرداخته و نتایج آنها بیشتر در طراحی مراحل اولیه و شکل‌گیری کانسپت قابل استفاده است. در شیوه دوم، تحت عنوان فرم‌های ایده‌آل شهری (Idealized urban forms) به مطالعه ترکیب‌های فرضی از ویژگی‌ها و پارامترهای مورفولوژی پرداخته می‌شود. اغلب نتایج آن در قالب همبستگی بین شاخص‌های تهویه و پارامترهای مورفولوژیکی ارائه شده‌اند (مانند [۹، ۱۴، ۱۵، ۱۶]). اما مطالعات چند سال اخیر با توجه به غیرقابل استفاده بودن نتایج دو گروه قبلی مطالعات در شرایط موجود شهرها، بیشتر بر روی بررسی بافت‌های شهری واقعی متمرکز شده‌اند [۱۷، ۱۸]. مطالعه بافت‌های واقعی به دلیل تعدد شاخص‌های موثر بر تهویه، متغیرهای احتمالی پیش‌بینی نشده، تنوع زیاد بافت‌ها و افزایش بسیار زیاد هزینه محاسباتی، با چالش‌های فراوانی مواجه است. در عین حال همین ویژگی‌ها سبب می‌شوند تا نتایج حاصل از این دست مطالعات از دقت بالاتری برخوردار باشند.

با توجه به اهمیت مورفولوژی شهری در وضعیت تهویه هوا و تلاش در جهت تعیین پتانسیل بافت‌های مختلف در تهویه، گونه‌شناسی بافت‌های شهری مورد توجه برخی از پژوهشگران بوده است. در این پژوهش‌ها تعدادی از شاخص‌های مورفولوژیکی نظیر مجزا بودن یا به هم چسبیدگی ساختمان‌ها (انفصال و اتصال) و شکل ساختمان‌ها [۱۹] یا ارتفاع ساختمان، فشردگی و ساختار خیابان [۸] مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما در نهایت تعدادی بافت متفاوت از نظر شاخص‌های منتخب معرفی شده و به گونه‌شناسی کل بافت بر اساس شاخص‌ها پرداخته نشده است. با توجه به این خلاء مطالعاتی، این مقاله تلاش می‌کند تا با روش‌های جدید گونه‌شناسی بافت شهری این فرایند را بر اساس شاخص‌های موثر بر تهویه انجام دهد. یکی از روش‌های نوین گونه‌شناسی بافت بر اساس شاخص‌های کالبدی، امضاهای فضایی (Spatial

بر تهویه به شدت به مقیاس مورد مطالعه وابسته است [۲۵] و محققین تلاش نموده‌اند تا وضعیت تهویه شهری را در مقیاس‌های مختلف بررسی نمایند. مرلیر و همکاران (۲۰۱۸) با تعریف مورفولوژی شهری، به صورت شکل سه‌بعدی گروهی از ساختمان‌ها و فضای ایجاد شده توسط آنها، سه دسته برای آن در نظر گرفته‌اند که با مقیاس‌های هواشناسی که معمولاً در اقلیم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مطابقت دارد. این سه مقیاس عبارتند از ناحیه شهری، محله و بلوک‌ها. آنها همچنین دو سطح بالاتر و پایین‌تر شامل شهر و ساختمان را نیز در مدل خود نشان داده‌اند [۱۹]. این سطوح با پیشنهادات بریترو و هانا (۲۰۰۳) نیز همخوانی دارد. آنها چهار مقیاس را برای مطالعات جریان هوا در مناطق شهری معرفی نمودند: مقیاس منطقه‌ای (۱۰۰-۲۰۰ کیلومتر)، مقیاس شهری (۱۰-۲۰ کیلومتر)، مقیاس محلی (۱-۲ کیلومتر) و مقیاس خیابان (۲۰۰-۱۰۰ متر و کمتر) [۲۶].

در مقیاس اول، به دلیل گستردگی پهنه و حجم بالای داده‌های مورد نیاز، مطالعاتی که به بررسی اثر شکل کلی شهر یا ناحیه شهری بر تهویه پرداخته‌اند، بسیار کم‌شمار هستند [۲۷، ۲۸]. در مقیاس دوم، یعنی مقیاس محلی، همچنان با توجه به حجم داده‌ها و محاسبات مورد نیاز، مطالعات تهویه شهری از محدودیت‌هایی برخوردار بوده‌اند. با این حال، در این مقیاس نسبت به مقیاس ناحیه شهری پژوهش‌های بیشتری انجام شده‌اند [۲۳، ۲۹، ۳۰]. این مقیاس واحدهای سازنده و شکل دهنده شهر را مشخص کرده و در سیاست‌گذاری‌های شهری بیشتر مورد توجه است. مقیاس سوم نیز به حوزه معماری متعلق بوده و برخی از نتایج آنها در مقیاس دوم قابل استفاده هستند.

بنابراین، مقیاس در نظر گرفته شده تعیین‌کننده شاخص‌های مورفولوژیک موثر بر تهویه هوا است. با توجه به اینکه این شاخص‌ها مبنا و معیار پژوهش برای گونه‌شناسی بافت هستند و این پژوهش به مطالعه بافت شهر در مقیاس میانی می‌پردازد، در ادامه به بررسی شاخص‌های مورفولوژیک موثر در این مقیاس پرداخته خواهد شد.

• شاخص‌های مورفولوژیک موثر بر تهویه

جریان هوا هنگام عبور از محیط طبیعی و ورود به محیط شهری با شرایط مرزی جدیدی مواجه می‌شود که اغلب بافت

Signatures) بوده [۲۰] که در این پژوهش با توجه به قابلیت‌های روش مذکور، نزدیکی به هدف گونه‌شناسی و در نظر گرفتن محدودیت‌ها در دستیابی به داده‌های بافت شهری، برای انجام پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیق در راستای تبیین اثر مورفولوژی بر تهویه قابل استفاده بوده و می‌تواند برای سیاست‌گذاری‌های آتی در رابطه با توسعه و تغییر بافت شهری موثر باشد.

مواد و روش‌ها

پیشینه ادبیات در رابطه با موضوع مورد نظر را می‌توان در سه بخش مورد مطالعه قرار داد. بخش اول شامل بررسی مطالعات مرتبط با تهویه هوای شهری و کلیات آن بوده و بخش دوم با توجه به اثر مورفولوژی شهری بر تهویه هوا، شاخص‌های مورفولوژیک موثر بر تهویه را استخراج نموده است. در بخش سوم، گونه‌شناسی بافت شهری مرور شده و در نهایت چارچوب نظری پژوهش تدوین شده است.

• تهویه هوای شهری

روند فزاینده معضلات ناشی از افزایش دمای شهرها و آلودگی هوا در سال‌های اخیر، ضرورت تقویت تهویه هوای شهری از طریق روش‌های گوناگون نظیر استفاده از راهبردهای غیرفعال همچون برنامه ریزی کالبدی و مورفولوژی شهری مطرح شده و پژوهشگران به بررسی این امکان و تبیین نحوه ارتباط بین آنها پرداخته‌اند [۲۱]. به طور کلی، مطالعات مربوط به تهویه هوای شهری با دو دیدگاه متفاوت شکل گرفته‌اند. برخی از پژوهش‌ها به بررسی اثر عوامل مختلف بر تهویه شهری (مانند [۲۲، ۲۳]) و برخی به اثر تهویه شهری بر پدیده‌های دیگری مانند جزایر حرارتی، آسایش حرارتی، آلودگی هوا و... یا به عبارت دیگر اهداف و نتایج تهویه شهری؛ پرداخته‌اند (مانند [۱۸، ۲۴]).

حوزه مطالعاتی تهویه شهری در ارتباط با مورفولوژی و فرم شهری در دهه اخیر در دو حیطه کلی ویژگی‌های مورفولوژیک ساختمان و ویژگی‌های مورفولوژیک بافت قابل تقسیم‌بندی است. گروه اول به حوزه معماری تعلق داشته و به بررسی اثر بخش‌های مختلف ساختمان بر وزش باد و تهویه شهری پرداخته، اما در حوزه شهرسازی مقیاس فراتر از بنا مورد توجه است، که از یک خیابان یا دره شهری تا مقیاس منطقه را در بر می‌گیرد. تحقیقات نشان داده‌اند که اثر مورفولوژی شهری

استفاده شده و ویژگی‌های بافت شهری را کمی می‌کنند، عمدتاً نشان‌دهنده نفوذپذیری بافت نسبت به جریان هستند. قایل ذکر است که مولفه‌های یاد شده در بخش قبل، اغلب در بافت‌های ایده‌آل شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما به دلیل تنوع بالای بافت‌های واقعی و یکنواخت نبودن متغیرهای کمی فوق، در شرایط واقعی تلاش شده است تا ویژگی‌های متوسط و عمومی بافت به مولفه‌های کمی تبدیل گردد. برخی از این مولفه‌ها مانند سطح اشغال به صورت دو بعدی و برخی دیگر نظیر نسبت انسداد، تراکم ناحیه پیشانی و میانگین تخلخل به صورت سه بعدی بافت شهری را توصیف می‌کنند. مهمترین مولفه‌ها در این دسته شامل تراکم [۱۷]، سطح اشغال [۱۷]، شاخص مساحت پلان [۷، ۳۶، ۳۷]، شاخص ناحیه پیشانی (Frontal Area Index) [۱۷، ۲۴، ۳۸]، میانگین تخلخل [۳۷، ۳۹] و ناهمواری مطلق [۳۷] هستند.

ج) شاخص‌های سنجش باز بودن شهرها: سومین دسته از شاخص‌ها باز بودن فضا نسبت به خورشید و آسمان را نشان می‌دهد که بر دریافت انرژی تابشی، دمای محیط و اختلاط عمودی جریان اثرگذار است. ضریب دید به آسمان [۴۰] و انسداد [۳۷، ۴۰] دو پارامتر مهم این دسته هستند. جدول شماره ۱ مهمترین شاخص‌های سنجش مورفولوژی بافت شهری در ادبیات حوزه تهویه شهری را نشان می‌دهد.

های مرتفع‌تر، متنوع‌تر و متراکم‌تر هستند. این امر سبب می‌شود تا جریان هوا در لایه‌های ارتفاعی مختلف، شرایط متفاوتی داشته باشد. در مطالعات این حوزه، لایه قرار گرفته از سطح زمین تا ارتفاع ساختمان‌ها، لایه سایبان شهری یا لایه تاج شهری شناخته می‌شود [۵]. جریان شکل گرفته در لایه سایبان شهری تحت تاثیر تعامل با جریان شکل گرفته در لایه مرزی و اثر ویژگی‌های مورفولوژیکی، ترافیکی و ... است. شاخص‌های مورفولوژیک شهری اغلب برای کمی‌سازی اشکال شهری هنگام بررسی جریان هوا در لایه سایبان شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها را می‌توان بر اساس مقیاس و نحوه استفاده از آنها به دسته‌های کلی زیر تقسیم نمود [۱۹]:

الف) مقیاس خیابان - شاخص‌های سنجش جریان: از این شاخص‌ها عمدتاً برای سنجش جریان در دره‌های شهری استفاده می‌شود و تقریباً تمامی آنها به تناسب دره‌های شهری که هدایت کننده یا مسدود کننده جریان هستند، مربوط می‌شوند. مهمترین مولفه‌های مطالعه شده در این دسته شامل نسبت ابعاد دره [۱۹، ۳۱]، ارتفاع [۳۲] و اختلاف ارتفاع در ساختمان‌ها [۳۲، ۳۳]، فرم ساختمان [۲۱]، چیدمان بلوک‌ها [۳۴، ۳۵] و جهت‌گیری نسبت به باد غالب [۲۵] هستند.

ب) مقیاس بافت - شاخص‌های سنجش عملکرد تهویه: این شاخص‌ها که در مقیاس‌های بزرگتر از یک دره شهری

جدول شماره ۱: مهم‌ترین شاخص‌های سنجش مورفولوژی بافت‌های شهری در ادبیات حوزه تهویه شهری

منبع	شاخص	پارامتر	نوع شاخص
[۱۹]	نسبت ابعاد دره	نسبت ابعاد دره	شاخص‌های سنجش جریان
[۳۱]	نسبت ابعاد موثر دره		
[۳۷]	متوسط نسبت ابعاد دره		
[۱۹]	نسبت طول به ارتفاع	سایر نسبت‌های دره	
[۴۱]	نسبت طول به عرض		
[۱۹]	نسبت گذر بین دو ساختمان		
[۱۹]	نسبت انسداد		

[۴۱]		طول دره	
[۳۲]		ارتفاع ساختمان‌ها	ارتفاع ساختمان‌ها
[۳۲]		اختلاف ارتفاع ساختمان‌ها	
[۳۷، ۱۷]		متوسط ارتفاع ساختمان‌ها	
[۲۵]		زاویه محور نسبت به باد غالب	جهت‌گیری نسبت به باد
[۲۱، ۱۹]		شکل پلان	پیکربندی و چیدمان ساختمان‌ها
[۳۵، ۳۴]		فرم ساختمان	
[۳۵، ۳۴]		چیدمان بلوک	
[۱۷]		نسبت بین سطح زیربنای ساختمان به مساحت سایت	تراکم ساختمانی
[۱۷]		نسبت بین سطح همکف به مساحت سایت	سطح اشغال
[۳۷، ۳۶، ۷]		نسبت بین سطح پلان ساختمان‌ها از بالا به مساحت سایت	شاخص مساحت پلان
[۳۸، ۲۴، ۱۷]		نسبت بین مساحت نماهای رو به باد و مساحت سایت	شاخص ناحیه پیشانی
[۴]		نسبت بین مساحت نماهای رو به باد در ارتفاع مشخص و مساحت سایت	تراکم ناحیه پیشانی
[۴۰، ۳۷]		نسبت حجم بخش باز مفید به حجم کل بافت شهری	میانگین تخلخل
[۴۰، ۳۷]		نسبت حجم ساخته شده به مساحت کل	ناهمواری مطلق
[۴۰]		نسبت انحراف از میانگین حجم به قطر سایبان شهری	ناهمواری نسبی
[۴۰]		نسبت بین نواحی باز به آسمان و کل مساحت یک نیمکره در اطراف یک نقطه مشخص	ضریب دید به آسمان
[۴۰، ۳۷]		نسبت محیط بخش‌های ساخته شده به ساخته نشده در برش‌های افقی	انسداد

همچون اقتصاد شهری، جغرافیا، برنامه‌ریزی شهری، تاریخ شهر و ... هر یک بنا به مقاصد و نیازهای خود به مطالعه فرم و عملکرد شهر پرداخته و شیوه‌های مختلفی را به کار گرفته‌اند. مقیاس بافت یکی از مهمترین عوامل مورد توجه هنگام مطالعه فرم شهر است که به واسطه هدف آن تعیین می‌گردد. در مطالعات کلی فرم شهری نیز مقیاس‌هایی برای درک بهتر شاخص‌های تعیین کننده فرم در نظر گرفته می‌شود. کلیفتون و همکاران (۲۰۰۸) در یک مطالعه مروری فرم شهر را به مقیاس‌های بلوک، محله، ناحیه، کلانشهر و منطقه تقسیم‌بندی کرده‌اند. در این تحقیق، هر یک از مقیاس‌ها متناسب با حوزه خاصی از مطالعات دیده شده است، به طوری که

در این پژوهش شاخص‌های فوق مبنای ابتدایی در جهت تعیین شاخص‌های منتخب برای گونه‌شناسی بافت مورد نظر هستند. بدیهی است ویژگی‌های متعددی در انتخاب نهایی شاخص‌ها اثرگذارند. قابلیت اندازه‌گیری و عینیت، دسترسی به داده‌ها، قابلیت کاربرد در نرم‌افزارهای مرتبط با سنجش تهویه و سازگاری با نمونه موردی از عوامل موثر بر آنها هستند. در بخش روش تحقیق، شاخص‌های مورد نظر معرفی می‌شوند.

• گونه‌شناسی بافت شهری

مطالعه فرم شهر در قالب حوزه‌های مطالعاتی مورد نظر، دارای گستره وسیع و پراکنده‌ای است [۴۲]. حوزه‌های متفاوتی

روش امضاهای فضایی بر اساس ویژگی‌های کمی و کیفی بافت معرفی شده که بر پایه تقسیمات پیشنهادی بافت، به خوشه‌بندی و گونه‌شناسی آن پرداخته است [۴۷].

چنان که گفته شد، سایر حوزه‌های مطالعاتی نیز بنا به اهداف خود به تعریف شاخص‌ها و گونه‌شناسی بافت‌های شهری پرداخته‌اند. لای و همکاران (۲۰۱۸) تنوع منطقه‌ای در فرم را با نگاه به پایداری شهری بررسی کرده و ۵ ویژگی مورفولوژیکی محلات شامل تعداد تقاطع‌ها، تراکم، حجم ساختمان، درصد سبزی‌نگی و تنوع کاربری را در این رابطه معرفی نموده‌اند [۴۸]. در مطالعه دیگری تاثیر نه شاخص مورفولوژیکی در سطح محله بر تغییرات $PM_{2.5}$ را بررسی شده و نشان داده است که ۵ شاخص یکنواختی ساختمان (Building evenness index) نسبت بدنه‌های آبی، نسبت سطح پوشش گیاهی، تعداد طبقات و تراکم ساختمانی بیشترین اثر را بر کاهش آن داشته‌اند [۴۹]. همچنین، اثر پارامترهای مورفولوژی شهری بر خرد اقلیم در پژوهش وی و همکاران (۲۰۱۶) مورد توجه قرار گرفته و مولفه‌های ضریب دید آسمان، نسبت مساحت، سطح اشغال و تعداد طبقات با هدف ارائه بازه آسایش حرارتی عابران پیاده بررسی شده‌اند [۵۰].

در ایران نیز تلاش‌های متعددی برای تبیین اثرات مورفولوژی بر حوزه‌های مختلف علوم صورت پذیرفته است. مدنی‌پور (۲۰۱۱) با مرور تاریخچه توسعه تهران، به فرایندهای حکمرانی و برنامه‌ریزی در حوزه‌های مختلف مانند آلودگی محیطی، ترافیک، مدیریت توسعه شهری و مخاطرات زیست-محیطی پرداخته است [۵۱]. امین‌زاده و قشلاق‌پور (۲۰۲۰) الگوهای فضاهای سبز شهری در تهران و ارتباط آنها با جزایر حرارتی شهری را بررسی کرده و بهره‌گیری از الگوهای مناسب فضای سبز را راهکاری برای کاهش دمای سطح و اثرات جزیره گرمایی معرفی نمودند [۵۲]. در سطح محلات، مجیدی و همکاران (۱۳۹۸) آسایش حرارتی در فضای باز محلات مسکونی شهر اصفهان با بافت‌های سنتی و معاصر را مورد مطالعه قرار داده و محله‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند [۵۳]. آقاملایی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی سه بافت با ویژگی‌های مورفولوژیکی متفاوت در تهران، یک مدل زمانی-فضایی برای

مقیاس منطقه در مطالعات محیط زیستی، مقیاس کلانشهر در حوزه اقتصاد، مقیاس ناحیه در حوزه مطالعات حمل‌ونقل و دو مقیاس محله و بلوک در حوزه برنامه‌ریزی و طراحی شهری حائز اهمیت بیشتری هستند [۴۳]. شیرمر و آگراسن (۲۰۱۵) تلاش نموده‌اند در مقیاس‌های مختلف به توصیف ویژگی‌های کمی مورفولوژی شهری بپردازند. آنها مدلی را تعریف کردند که محیط ساخته شده را بر اساس فرم یعنی ترکیبات هندسی و احجام، بلوک‌ها و شبکه معابر نشان می‌دهد. سپس با در نظر گرفتن سه جزء بلوک، ساختمان و خیابان، شش مقیاس مختلف را معرفی کردند که شامل شیء، ترکیب، محله، ناحیه، شهر و منطقه می‌شود [۴۴]. از تطبیق مقیاس‌های مطالعه فرم شهری و تهویه شهری، سه مقیاس کلی کلان (منطقه و شهر)، میانی (محله و بافت شهری) و خرد (بلوک و ساختمان) را در ساختار مورفولوژی شهر مشاهده می‌شود. مقیاس مورد نظر در این پژوهش چنان که در بخش قبل نیز به آن اشاره شد، مقیاس میانی است.

در مقیاس میانی، گونه‌شناسی بافت اغلب بر مبنای شاخص‌هایی صورت می‌گیرد که محقق با توجه به اهداف خود تعیین کرده است. به طور کلی با توجه به تنوع بسیار بالای بافت‌های شهری، که از تفاوت‌های اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، اقلیمی، عملکردی و ... نشأت می‌گیرند، پژوهش‌های مختلف شاخص‌های متفاوتی را برای گونه‌شناسی کلی بافت در نظر گرفته و آنها را به صورت کمی مورد مطالعه قرار داده‌اند. در بسیاری از این پژوهش‌ها، از روش خوشه‌بندی استفاده شده است. شیرمر و آگراسن (۲۰۱۶) با معرفی مولفه‌های مورد بررسی و استفاده از تحلیل خوشه‌ای، بافت شهری در کانتون زوریخ را مورد مطالعه قرار دادند [۴۴]. گیل و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از روش خوشه‌بندی را برای تحلیل و توصیف بافت‌های خصوصاً جدید، که در طبقه‌بندی‌های استاندارد واقع نمی‌شوند، مناسب برشمرده و از این روش در لیسبون پرتغال استفاده نمودند [۴۵]. باقرنژاد و همکاران (۱۳۹۹) بر اساس ۲۲ شاخص قابل سنجش فرم شهری و به کمک روش خوشه‌بندی، محله‌های شهر تهران را تحلیل نموده و بدین ترتیب کیفیت‌های فرم شهری و توزیع فضایی آنها در محلات تهران را ارائه کردند [۴۶]. در پژوهش فلیشمن و همکاران (۲۰۲۰)

منظور تعریف بافت محله‌ها استفاده شده است [۵۴]. در پژوهش دیگری، بافت‌های شهری معاصر و تاریخی در شهر لار از نظر آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی با یکدیگر عام به طور کامل شناسایی شده و نتیجه‌گیری نهایی از قابلیت تعمیم‌پذیری بیشتری برخوردار باشد.

• چارچوب نظری پژوهش

مورفولوژی شهری به شیوه‌های مختلف و با اهداف گوناگونی در متون موجود مورد بررسی قرار گرفته است که در مباحث پیش گفته ارائه شدند. در این پژوهش، مهم‌ترین بخش قابل استحصال از متون، مربوط به متغیرها و شاخص‌هایی است که به تهویه هوای شهری مرتبط شده‌اند. شاخص‌های معرفی شده در مطالعات، با توجه به مقیاس در سه دسته کلی شاخص‌های سنجش جریان، شاخص‌های سنجش پتانسیل تهویه و شاخص‌های سنجش باز بودن شهرها قابل دسته‌بندی هستند.

شاخص‌های سنجش جریان هوا عمدتاً در مطالعه جریان در دره‌های شهری کاربرد دارند، در حالی که شاخص‌های سنجش پتانسیل تهویه و باز بودن شهرها، با دو دیدگاه متفاوت، اغلب در مقیاس محله و فضای شهری به کار می‌روند. با توجه به اینکه از این شاخص‌ها به منظور گونه‌شناسی منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود، ابتدا لازم است بر اساس معیارهایی همچون قابلیت دسترسی به داده‌ها، سهولت محاسبات، سازگاری با نمونه موردی، شمولیت و امکان دربرگرفتن سایر شاخص‌ها مورد ارزیابی و پالایش قرار گرفته و شاخص‌های نهایی برای گونه‌شناسی معرفی گردند. در جدول شماره ۲ ارزیابی شاخص‌ها انجام شده و شاخص‌های مورفولوژی مرتبط با آنها معرفی شده‌اند. در انتخاب شاخص‌های مورفولوژی برای گونه‌شناسی، تلاش شده تا با موثرترین شاخص‌ها، بیشترین ویژگی‌های بافت تحت پوشش قرار گرفته و قابل بررسی باشند. بدیهی است امکان دسترسی به داده و سهولت انجام محاسبات مربوط به آن در انتخاب شاخص‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای داشته، اما در عین حال شاخص‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در اغلب بافت‌های مشابه قابل استفاده بوده و به کمک حداقل داده‌ها قابل محاسبه باشند.

شبیه‌سازی آسایش حرارتی بافت‌ها ارائه نمودند. در این پژوهش از میانگین تراکم مسکونی، نسبت فضاهای باز به کل مساحت محله، نسبت ابعاد دره‌ها و ارتفاع ساختمان‌ها به مقایسه شده و نتایج با توجه به هندسه شهری و پوشش فضای سبز مورد تحلیل قرار گرفته است [۵۵]. شهر زنجان نیز با هدف ارزیابی عملکرد بارهای حرارتی در سطح بلوک‌های مسکونی مورد گونه‌شناسی قرار گرفته و نشان داده شده مطالعه الگوها می‌تواند در کاهش مصرف انرژی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا نماید [۵۶].

بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که شاخص‌های انتخاب شده برای تحلیل بافت‌های شهری علاوه بر مقیاس، به شدت به هدف مطالعه وابسته است. در رابطه با تهویه هوای شهری، مطالعات گونه‌شناسی بسیار اندک بوده هستند. ونگ و همکاران (۲۰۱۷) بافت‌های شهری را بر اساس موقعیت و جایگاه بافت شهری و کاربری اراضی به ۱۴ دسته تقسیم نمودند [۳۳]. مرلیر و همکاران (۲۰۱۸) گونه‌شناسی کلی ساختمان‌های مجزا و بلوک‌ها را برای مطالعات سیستماتیک جریان هوای محیطی پیشنهاد نمودند [۱۹]. هی و همکاران (۲۰۱۹) نیز بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی شهر، نظیر ارتفاع ساختمان، فشردگی و ساختار خیابان، محوطه‌های مشابه را تفکیک نموده و ادعا کردند بر اساس این داده‌ها می‌توان تا حدودی عملکرد تهویه هر منطقه را پیش‌بینی نمود و دستورالعملی را برای طبقه‌بندی مناطق مختلف تهویه ارائه دادند [۸].

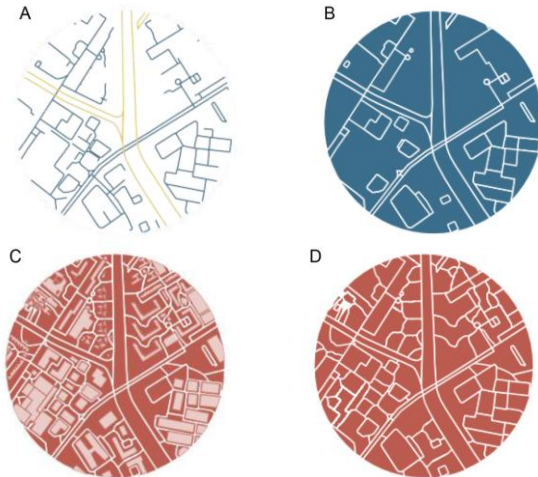
اگرچه تفاوت‌های فضایی بین بافت‌های مختلف به اشکال گوناگون مورد توجه محققان این حوزه بوده و تلاش‌هایی در جهت تفکیک بافت‌های متفاوت صورت گرفته [۸]، اما تا کنون این مساله به صورت ساختاری و نظام‌مند انجام نشده و تفکیک بافت‌ها از یکدیگر بر اساس ویژگی‌های کالبدی اغلب به صورت گزینشی انجام گرفته است. بدیهی است در چنین شرایطی امکان نادیده گرفته شدن برخی از تفاوت‌ها و از دست رفتن تعدادی از گونه‌ها وجود دارد و در نهایت تنها نمونه‌های خاصی از بافت شناسایی و مورد تبیین قرار خواهند گرفت. در این مقاله تلاش می‌شود با استفاده از روش‌های نوین پژوهش کمی بافت‌های شهری، تفکیک گونه‌های مختلف بافت بر اساس شاخص‌های موثر بر تهویه صورت پذیرد تا گونه‌های

جدول شماره ۲: ارزیابی شاخص‌ها جهت انتخاب شاخص‌های نهایی

شاخص مورفولوژی جهت گونه‌شناسی	شمولیت	سازگاری با نمونه	دسترسی به داده یا سهولت محاسبات	تعمیم پذیری	شاخص مرتبط با تهویه
H/W، متوسط عرض معبر	✓	✓	✓	✓	نسبت ابعاد دره
ارتفاع ساختمان، تراکم معابر	✓	✓	✓	✓	نسبت طول به ارتفاع
تراکم معابر، متوسط عرض معبر	-	✓	✓	✓	نسبت طول به عرض
H/W، متوسط عرض معبر	-	-	-	-	نسبت گذر بین دو ساختمان
-	-	✓	-	-	نسبت انسداد معبر
تراکم معابر	✓	✓	✓	✓	طول دره
ارتفاع ساختمان	✓	✓	✓	✓	ارتفاع ساختمان
ارتفاع ساختمان	-	✓	-	-	اختلاف ارتفاع
ارتفاع ساختمان	✓	✓	✓	✓	متوسط ارتفاع
-	-	-	-	-	زاویه محور و باد غالب
فشردگی بافت	-	-	-	-	شکل پلان
-	-	-	-	-	فرم ساختمان
-	-	-	-	-	چیدمان بلوک
تراکم ساختمانی	✓	✓	✓	✓	تراکم ساختمانی
سطح اشغال	✓	✓	✓	✓	سطح اشغال
سطح اشغال	✓	✓	✓	✓	شاخص مساحت پلان
-	-	-	-	✓	شاخص ناحیه پیشانی
-	-	-	-	✓	تراکم ناحیه پیشانی
تخلخل	✓	✓	✓	✓	میانگین تخلخل
ناهمواری مطلق	✓	✓	✓	✓	ناهمواری مطلق
ناهمواری مطلق	-	✓	-	✓	ناهمواری نسبی
-	✓	✓	-	✓	ضریب دید به آسمان
-	-	✓	-	✓	انسداد

دید به آسمان به دلیل نیاز به جمع‌آوری داده‌های خاص خود و افزایش بیش از حد هزینه محاسباتی، در این پژوهش مورد

بدین ترتیب، می‌توان گفت روش مورد استفاده در بافت‌های مشابه از قابلیت تعمیم‌پذیری مطلوبی برخوردار است. همچنین، برخی از شاخص‌های اولیه، مانند انسداد و ضریب



تصویر شماره ۱: مراحل استخراج سلول های ET

[۲۰۱]

روش امضاهای فضایی، مرزها بر اساس معابر و لبه‌های موجود در محدوده تعیین می‌شوند. این مرحله با لبه‌ها و مسیرهای تعریف شده توسط لینچ مطابقت دارد و بر مبنای آن محدوده‌ها شکل می‌گیرند. در گام بعدی، باید از لنگرهایی برای تعیین مرز نهایی پلیگون‌ها استفاده نمود. این لنگرها می‌توانند در زمینه‌ها و موضوعات مختلف متفاوت باشند، اما در ادبیات مورفومتریک اغلب از ساختمان‌ها به این منظور استفاده شده است. در مرحله چهارم، برای تعیین مرز محدوده‌ها از آکس معابر و لبه‌ها استفاده می‌شود. این تقسیم‌بندی فضایی در نهایت دارای سه ویژگی مهم و حائز اهمیت است: ۱- سلول‌های به دست آمده غیر قابل تفکیک هستند، زیرا حداکثر دارای یک لنگر بوده و نمی‌توان آنها را به واحد خردتری تقسیم نمود؛ ۲- هر سلول از نظر داخلی سازگار است؛ و ۳- سلول‌های ET جامع هستند و تمامی خصوصیات موجود در بافت مورد مطالعه را پوشش می‌دهند [۲۰]. با توجه به اینکه ویژگی‌های بافت شهری از ترکیب ویژگی‌های ساختمان‌ها، معابر و بافت پیرامون آنها ایجاد می‌شود، ضروری است ویژگی‌های مرتبط با محدوده‌ها (Enclosures) نیز محاسبه شده و سپس به سلول‌ها نسبت داده شوند تا خوشه‌بندی با عناصر واحد (ET) امکان‌پذیر باشد.

چنان که گفته شد، هدف این پژوهش گونه‌شناسی بافت منطقه ۱ تهران بر اساس شاخص‌های موثر بر تهویه بوده است. بدین‌منظور، پس از مرور ادبیات تهویه شهری و استخراج

مطالعه قرار نگرفته‌اند. در بخش روش تحقیق نحوه محاسبه هر یک از شاخص‌ها شرح داده شده است.

• روش تحقیق

پژوهش‌های مرتبط با فرم شهری از نظر سابقه تاریخی خود به اوایل دهه ۱۹۰۰ باز می‌گردد (گدس در ۱۹۱۵ و تروارتا در ۱۹۳۴) و از ۱۹۶۰ به عنوان یک حوزه مستقل تحقیقاتی به واسطه مطالعات کانزن مورد توجه قرار گرفت. روش‌های اولیه مطالعه فرم شهری اغلب کیفی بوده و اولین رویکردهای کمی در اواخر دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ به‌کار گرفته شدند [۲۰]. داده‌های سنجش از دور و نقشه‌برداری امکان گسترش رویکردهای کمی را فراهم آوردند، بطوری که فلیشمن و همکاران در سال ۲۰۲۰ یک روش کمی برای اندازه‌گیری جنبه‌های مختلف فرم و انجام ریخت‌شناسی بر مبنای آن ابداع نمودند [۴۷]. این روش بر اساس ترکیب شاخص‌های مورفومتریک عمل نموده و بدین‌ترتیب پیچیدگی‌های فرم شهری را نیز در نظر می‌گیرد.

روش امضاهای فضایی بر اساس شاخص‌های فرم و عملکرد به گونه‌شناسی بافت‌های شهری پرداخته می‌پردازد. انعطاف‌پذیری روش امضاهای فضایی امکان بهره‌گیری از آن با داده‌های متفاوت و مبتنی بر اهداف مختلف را فراهم می‌آورد. امضاهای فضایی در واقع مرزهای ارگانیکی را به تصویر می‌کشند که ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی سازگار را در خود جای داده‌اند. پروسه استخراج امضاهای فضایی در بافت مورد نظر به شرح زیر بوده و در تصویر شماره ۱ این مراحل نشان داده شده‌اند:

۱- تعیین مرزها

۲- مشخص نمودن محدوده‌ها (Enclosures)

۳- تعیین ساختمان‌ها به عنوان لنگرهای محدوده‌ها

۴- مشخص نمودن مرز نهایی پلیگون‌ها (Final tessellation cells) (Enclosed Tessellation-ET)

۵- محاسبه ویژگی‌های همسایگی (برای در نظر گرفتن اثر پلیگون‌های همسایه بر یکدیگر)

۶- خوشه‌بندی [۲۰]

که b طول و y عرض مستطیل را نشان می‌دهند [۵۹].

- ناهمواری مطلق از نسبت حجم ساخته شده به مساحت کل به دست آمده است:

$$H_m = \frac{\sum_{built} A_i h_i}{\sum_{built} A_i + \sum_{nonbuilt} A_j} \quad \bullet$$

A_i سطح اشغال و h_i ارتفاع ساختمان i بوده و A_j نیز مساحت بخش ساخته نشده را نشان می‌دهد [۴۰].

- از شاخص‌های سنجش جریان، ارتفاع ساختمان‌ها بر اساس تعداد طبقات محاسبه شده و نسبت H/W نیز از تقسیم ارتفاع متوسط ساختمان‌ها بر عرض متوسط معابر مجاور آنها به دست آمده اس [۱۹].
- برای محاسبه متوسط عرض معبر در هر محدوده، میانگین عرض تمامی معابر واقع در محدوده آن محاسبه شده است.
- تراکم معابر در هر محدوده بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{Street Density} = \frac{\text{Length of Streets in Cell}}{\text{Cell Area}}$$

این شاخص نشان می‌دهد در هر محدوده چه نسبتی از خیابان‌ها وجود دارد. هر چه این مقدار بالاتر باشد، شبکه معابر متراکم‌تر است [۶۰].

چنان که مشاهده می‌شود، در هر سه حوزه، تعدادی شاخص تهویه هوا انتخاب شده که بافت شهری را به صورت دو بعدی و سه بعدی تحلیل می‌کنند و این شاخص‌ها در مرحله بعد برای خوشه‌بندی بافت نمونه به کار گرفته می‌شوند. بدیهی است هر چه تعداد شاخص‌های منتخب بیشتر باشد، ویژگی‌های بیشتری از بافت مورد توجه و تفکیک قرار می‌گیرند. اما از یک سو، اخذ داده‌ها و محاسبه شاخص‌ها هزینه زمانی و محاسباتی بیشتری ایجاد نموده و از سوی دیگر، انجام خوشه‌بندی و گونه‌شناسی با تعداد شاخص‌های بسیار زیاد امکان خطا در آن را افزایش داده و بهره‌گیری از روش‌های تکمیلی بیشتری نظیر تحلیل عاملی را ایجاد می‌کند. در نهایت، پس از محاسبه شاخص‌ها و استانداردسازی داده‌ها، خوشه‌بندی به

شاخص‌های مورفولوژیک موثر بر آن، پالایش داده‌ها بر اساس معیارهای مختلفی همچون امکان دسترسی و قابلیت استفاده از آنها در محاسبات تهویه صورت پذیرفت. سپس، با استفاده از روش امضاهای فضایی، مرزها و سلول‌های مورد نظر تفکیک و استخراج شدند. در ادامه شرح مراحل انجام شده ارائه می‌شود.

- تعیین و نحوه محاسبه شاخص‌ها

- با توجه به داده‌های به دست آمده از بافت مورد نظر و شاخص‌های موثر بر تهویه شهری، شاخص‌های نهایی مورد استفاده برای خوشه‌بندی به شرح زیر تعیین شدند:
- با استفاده از مساحت عرصه و اعیان و تعداد طبقات هر پلاک، سطح اشغال (BCR)، زیربنا (GFA) و تراکم ساختمانی (FAR) آن [۵۷، ۲۳، p] محاسبه شدند. بنابراین، این سه شاخص در شاخص‌های سنجش پتانسیل تهویه قرار گرفتند.
- برای بررسی فشردگی و اینکه هر محدوده تا چه اندازه به دایره نزدیک است، شاخص فشردگی بافت بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{Compactness} = \frac{4\pi * \text{Area}}{\text{Perimeter}^2}$$

هر چه مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، شکل فشرده‌تر و به دایره نزدیک‌تر است [۵۸]. بنابراین، این شاخص میزان کشیدگی یا فشردگی پلاک‌ها را نشان می‌دهد.

- تخلخل بر اساس نسبت حجم بخش باز مفید به حجم کل بافت شهری و به صورت زیر محاسبه شد:

$$P_o = \frac{\sum_{open spaces} \pi r_{hi}^2 L_i}{\sum_{open spaces} V_i + \sum_{built} V_j} \quad \bullet$$

در این رابطه L_i طول فضای باز r_{hi} شعاع هیدرولیکی معادل فضای باز i ، V_i میانگین حجم ساخته شده i و V_j میانگین حجم سایبان در بالای فضای باز i هستند [۴۰]. شعاع هیدرولیکی در مقاطع مستطیلی بر اساس رابطه زیر تعیین شده است:

$$r_{hi} = \frac{by}{b + 2y}$$

روش K-Means و با استفاده از کدنویسی به زبان پایتون انجام می‌گردد.

یافته‌ها

متون نظری تحقیق نشان داد که در گونه‌شناسی بافت‌های شهری، تنوع ویژگی‌های مورفولوژیک در بافت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. منطقه ۱ شهرداری تهران (تصاویر شماره ۲ و ۳) با داشتن تنوع مطلوبی از ویژگی‌ها، شامل انواع بافت‌های ارگانیک و نیمه‌ارگانیک، شطرنجی، برج‌های متنوع و بلندمرتبه و ... بستر مناسبی برای مطالعه



تصویر شماره ۲: موقعیت منطقه ۱ در شهر تهران

جدول شماره ۳: سطح‌بندی شاخص‌های مورد استفاده

شاخص	سطح
تراکم معابر	انکلوژر
متوسط عرض معابر	انکلوژر
نسبت H/W	انکلوژر
ارتفاع ساختمان	سلول تسلیه

گونه‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. از نظر مقیاس، این پژوهش، گونه‌شناسی را در مقیاس میانی بافت‌های شهری انجام می‌دهد. نظر به اینکه اغلب بافت‌های شهری واقع در یک محله دارای تنوع مورفولوژیک هستند، نمی‌توان آنها را به طور قطعی به عنوان یک گونه شناخت. بنابراین، گرچه برخی از مطالعات حوزه گونه‌شناسی از واژه محله به منظور مشخص نمودن مقیاس میانی استفاده نموده‌اند. در اینجا مقیاس میانی معادل بافت‌های شهری و متشکل از چند بلوک شهری در نظر گرفته شده است.

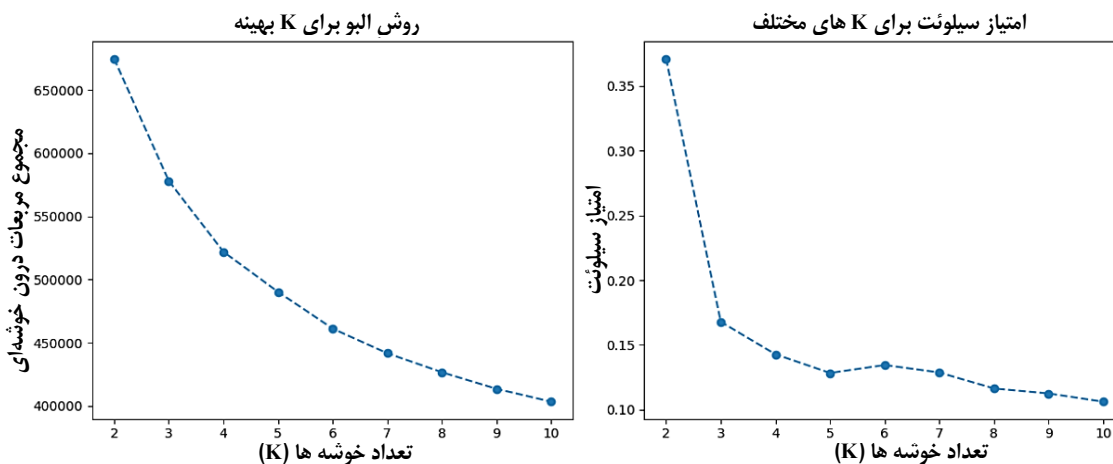
داده‌ها بر پایه نقشه موجود از سال ۱۳۹۷ و به‌روز رسانی توسط تصاویر ماهواره‌ای worldview2 و اطلاعات ساختمان‌های ۳ بعدی در گوگل ارث در سال ۱۴۰۳ جمع‌بندی شده‌اند. شاخص‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی با توجه به موارد استخراج شده از ادبیات تهویه شهری، محدودیت‌های موجود در اخذ و استفاده از داده‌ها و امکان استفاده از آنها در روش مورد نظر انتخاب شده‌اند. شاخص‌ها بر اساس تعلق آنها به سلول یا مرزهای محدوده‌ها محاسبه شده و در نهایت به سلول‌ها نسبت داده شدند. جدول شماره ۳ شاخص‌های مورد استفاده و تعلق آنها به سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

ناهمواری مطلق	انکلوژر
تخلخل	انکلوژر
سطح اشغال	سلول تسلیه
فشرده‌گی بافت	انکلوژر
تراکم ساختمانی	سلول تسلیه
زیربنا	سلول تسلیه

پایتون انجام شده، در این مرحله یافتن ارتباطات مکانی و ساخت ماتریس همسایگی با استفاده از **k-Nearest** و **Neighbors (KNN)** صورت پذیرفته و در نهایت پس از

در گام بعدی، محاسبه ویژگی‌های همسایگی و در نظر گرفتن اثر سلول‌های همسایه بر یکدیگر صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه کلیه مراحل آماده‌سازی داده‌ها و خوشه‌بندی توسط

استانداردسازی داده‌ها خوشه‌بندی به روش **K-Means** انجام شده است. ابتدا از روش البو (**Elbow Method**) و امتیاز سیلوئت (**Silhouette Score**) برای پیش‌بینی تعداد بهینه خوشه‌ها استفاده شد.



۱- تحلیل گونه‌ها (k=4):

- گونه ۱ (نمونه ۹۳۶۲) شامل بخش‌هایی از بافت‌های ارگانیک و نیمه ارگانیک با تراکم، زیربنا و سطح اشغال بالاست.
- گونه ۲ (نمونه ۳۴۶۵) سطح اشغال و تراکم بسیار پایین، نزدیک به ۰ داشته و شامل اغلب اراضی بایر و پارک‌ها است.
- گونه ۳ (نمونه ۱۲۴۰۷) با زیربنا و تراکم نسبتاً بالا و معابر نسبتاً عریض‌تر، در بخش‌های مختلف به صورت پراکنده واقع شده و نشان‌دهنده بافت نسبتاً جدیدتر است.
- در گونه ۴ (نمونه ۱۴۶۳۴) تراکم، زیربنا، ارتفاع ساختمان‌ها و ناهمواری بسیار بالا بوده و نشان‌دهنده مناطق با ساختمان‌های مرتفع و متراکم است. در جدول شماره ۴ میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۴ تایی نشان داده شده‌اند.

۲- تحلیل گونه‌ها (k=8):

- گونه ۱ (نمونه ۵۲۴۷) دارای معابر نسبتاً عریض و ساختمان‌های مرتفع است.
- گونه ۲ (نمونه ۵۹۵۶) دارای تراکم معابر و تخلخل نسبتاً بالا و زیربنای پایین است و اغلب در حاشیه معابر و لبه‌ها واقع شده است.
- گونه ۳ (نمونه ۶۲۸) دارای ارتفاع و تراکم کم با سطح اشغال کم اما معابر نسبتاً عریض است.
- گونه ۴ (نمونه ۲۸۵۵) نشان‌دهنده مناطق کم‌تراکم و زمین‌های باز و بایر است.
- گونه ۵ (نمونه ۷۱۳۰) دارای کمترین تخلخل بوده و بیانگر ساختارهای باز و فضای گسترده است.
- گونه ۶ (نمونه ۳۴۲۳) با تراکم معابر بسیار بالا و سطح اشغال بالا بخشی از بافت‌های ارگانیک را نشان می‌دهد.

در نتیجه می‌توان گفت گونه‌های ۱ و ۸ نشان‌دهنده مناطق متراکم با ساختمان‌های بلند و سطح اشغال بالا، گونه‌های ۳ و ۴ بیانگر مناطق با اعیان‌های اندک و کم‌ارتفاع بوده و گونه‌های ۵ و ۶ و ۷ شرایط متعادلی بین دو حالت را نشان می‌دهند که نمایانگر ترکیبی از مناطق مسکونی متوسط و کم‌تراکم هستند. جدول شماره ۵ میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۸ تایی را نشان داده می‌دهد.

- گونه ۷ (۶۴۹۸ نمونه) شامل بخشی از بافت‌های ارگانیک و نیمه‌ارگانیک با تراکم معابر نسبتاً پایین و نسبت H/W بالاست که تراکم بافت را نشان می‌دهد.
- گونه ۸ (۸۱۳۱ نمونه) نشان‌دهنده مناطق مرتفع با زیربنا و تراکم بالاست.

جدول شماره ۴: میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۴ تایی

تراکم معابر	عرض معابر	نسبت H/W	ناهمواری مطلق	تخلخل	ارتفاع متوسط	سطح اشغال	فشرده‌گی	تراکم ساختمانی	زیربنا	شاخص گونه
۰/۰۵۹	۵/۷۸۶	۱/۲۲۳	۹/۳۷۰	۰/۲۳۶	۶/۵۹۶	۰/۶۸۸	۰/۶۳۲	۱۵۲/۲۱۰	۳۳۸/۳۴۶	گونه اول
۰/۰۳۹	۹/۸۷۶	۰/۷۵۱	۰/۰۱۴	۰/۲۸۴	۰/۳۱۶	۰/۰۰۴	۰/۵۸۱	۰/۵۰۰	۸/۱۴۲	گونه دوم
۰/۰۳۹	۱۲/۱۵۲	۰/۶۳۴	۸/۶۹۹	۰/۲۷۱	۷/۰۶۶	۰/۵۸۶	۰/۵۹۸	۱۳۷/۶۸۴	۷۱۵/۶۲۴	گونه سوم
۰/۰۳۱	۹/۴۴۴	۰/۹۹۷	۲۱/۱۷۱	۰/۱۸۶	۱۰/۷۳۲	۰/۵۴۲	۰/۶۱۷	۱۹۸/۱۷۱	۱۵۲۵/۳۶۷	گونه چهارم
۰/۰۴۱	۹/۴۶۵	۰/۹۱۶	۱۲/۶۷۹	۰/۲۳۳	۷/۷۱۵	۰/۵۴۳	۰/۶۱۱	۱۵۱/۳۷۴	۸۶۲/۷۶۶	میانگین کل بافت

جدول شماره ۵: میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۸ تایی

تراکم معابر	عرض معابر	نسبت H/W	ناهمواری مطلق	تخلخل	ارتفاع متوسط	سطح اشغال	فشرده‌گی	تراکم ساختمانی	زیربنا	شاخص گونه
۰/۰۴۱	۱۵/۳۹۶	۰/۵۰۲	۱۱/۱۲۳	۰/۲۷۶	۷/۸۷۰	۰/۶۰۹	۰/۵۷۹	۱۵۹/۵۵۹	۷۲۳/۲۷۴	گونه اول
۰/۰۵۰	۸/۷۴۹	۰/۸۱۵	۷/۰۹۶	۰/۳۷۷	۶/۴۵۵	۰/۶۷۴	۰/۶۴۳	۱۴۵/۴۳۸	۴۳۷/۲۳۵	گونه دوم
۰/۰۳۹	۱۰/۲۸۵	۰/۴۸۹	۱/۲۴۵	۰/۳۱۶	۱/۳۹۰	۰/۰۶۸	۰/۵۸۴	۱۴/۶۱۹	۳۲۱/۴۰۰	گونه سوم
۰/۰۳۹	۹/۸۶۰	۰/۷۹۷	۰/۰۰۷	۰/۲۸۰	۰/۲۳۱	۰/۰۰۳	۰/۵۸۲	۰/۷۰۶	۳/۶۱۷	گونه چهارم
۰/۰۲۹	۹/۸۸۳	۰/۸۰۷	۸/۹۹۳	۰/۱۴۸	۷/۳۱۰	۰/۴۶۱	۰/۵۹۰	۱۱۲/۱۲۰	۱۰۴۰/۲۶۸	گونه پنجم
۰/۰۸۴	۴/۹۵۰	۱/۳۵۴	۱۰/۰۰۲	۰/۲۴۹	۶/۴۸۴	۰/۷۵۰	۰/۶۳۹	۱۶۴/۸۶۹	۲۳۹/۹۱۰	گونه ششم
۰/۰۳۷	۶/۲۶۶	۱/۲۱۴	۱۱/۳۸۴	۰/۱۵۵	۷/۳۸۸	۰/۶۰۸	۰/۶۱۸	۱۴۹/۶۰۸	۵۶۰/۱۴۹	گونه هفتم
۰/۰۳۲	۱۰/۰۵۴	۱/۰۰۵	۲۸/۵۰۴	۰/۲۰۸	۱۲/۷۹۰	۰/۵۶۸	۰/۶۲۶	۲۴۴/۰۶۲	۱۹۵۶/۳۷۱	گونه هشتم
۰/۰۴۱	۹/۴۶۵	۰/۹۱۶	۱۲/۶۷۹	۰/۲۳۳	۷/۷۱۵	۰/۵۴۳	۰/۶۱۱	۱۵۱/۳۷۴	۸۶۲/۷۶۶	میانگین کل بافت

۳- تحلیل گونه‌ها (k=10):

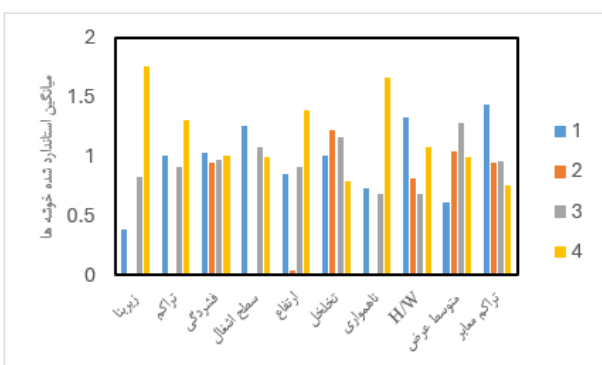
- گونه ۷ (نمونه ۷۰) نشان‌دهنده ساختمان‌های با سطح اشغال کم اما زیربنای بسیار بالاست. متوسط عرض معابر نیز در این گونه بالاست. بنابراین ساختمان‌های نسبتاً مرتفع با فاصله را معرفی می‌نماید.
 - گونه ۸ (نمونه ۶۲۳۱) با ارتفاع متوسط و نسبت H/W بالا نماینده بافت با معابر کم‌عرض و ناهمواری بالاست.
 - گونه ۹ (نمونه ۶۳۶۵) تراکم و زیربنای بسیار بالا همچنین ارتفاع و ناهمواری بالایی دارد و نماینده ساختمان‌های مرتفع بافت است.
 - گونه ۱۰ (نمونه ۱۸۰۰) تراکم، زیربنا و سطح اشغال بسیار کمی دارد اما نسبت H/W آن نشان‌دهنده ساختمان‌های کم‌ارتفاع با سطح اشغال اندک است.
- می‌توان گفت گونه‌های ۲، ۸ و ۹ نشان‌دهنده ساختمان‌های بزرگ و مرتفع بوده و گونه‌های ۱، ۳ و ۴ دارای تراکم متوسط با ساختمان‌های نسبتاً کم‌ارتفاع هستند. گونه‌های ۵ و ۱۰ ساختمان‌های کوچک و کم‌ارتفاع و گونه ۷ ترکیبی از تراکم بالا و ارتفاع زیاد است. جدول شماره ۶ میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۱۰ تایی را نشان داده و در نمودار شماره ۲ به مقایسه مقادیر استاندارد شده میانگین‌ها در خوشه‌بندی‌های ۴ تایی، ۸ تایی و ۱۰ تایی پرداخته شده است.

- گونه ۱ (نمونه ۶۷۴۹) دارای ناهمواری مطلق پایین و ارتفاع متوسط بوده و نشان می‌دهد تراکم بالایی در بافت این گونه وجود دارد.
- گونه ۲ (نمونه ۳۲۸۸) با تراکم ساختمانی و زیربنای بالا و ارتفاع بسیار بالا نشان‌دهنده حجم بالای ساختمان‌ها بوده و بالا بودن ناهمواری مطلق نیز نشان‌دهنده عدم یکنواختی در ارتفاع و وجود فضای باز بیشتر بین ساختمان‌هاست.
- گونه ۳ (نمونه ۵۹۷۹) دارای سطح اشغال بالا بوده و تخلخل بالا نیز فضای باز بیشتر در این گونه را نشان می‌دهد.
- گونه ۴ (نمونه ۴۵۲۵) تراکم، زیربنا و ارتفاع متوسط داشته و معابر عریض‌تری دارد.
- گونه ۵ (نمونه ۳۳۱۶) دارای تراکم معابر بسیار بالا بوده و ساختمان‌های آن سطح اشغال بالا و زیربنای کمی دارند.
- گونه ۶ (نمونه ۱۵۴۵) تراکم، زیربنا و سطح اشغال بسیار پایینی دارد، ارتفاع ساختمان‌ها و ناهمواری مطلق آن نیز بسیار پایین است و نشان‌دهنده فضاهای باز و بایر می‌باشد.

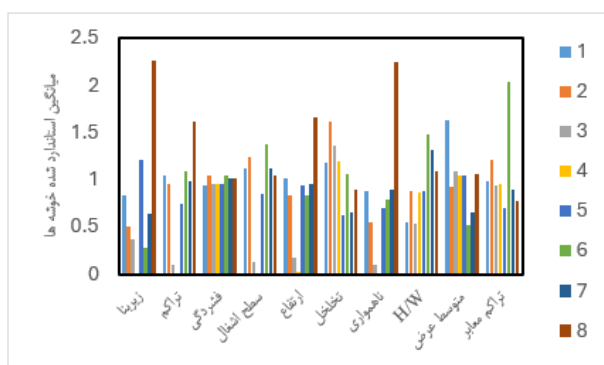
جدول شماره ۶: میانگین مقادیر شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۱۰ تایی

تراکم معابر	عرض معابر	نسبت H/W	ناهمواری مطلق	تخلخل	ارتفاع متوسط	سطح اشغال	فشرده‌گی	تراکم ساختمانی	زیربنا	شاخص گونه
۰/۰۳۰	۹/۵۲۱	۰/۸۰۷	۴/۸۹۶	۰/۱۴۶	۵/۹۰۲	۰/۴۴۸	۰/۵۸۴	۸۴/۶۰۰	۷۰۰/۵۶۲	گونه اول
۰/۰۳۳	۱۰/۱۰۲	۱/۱۰۳	۲۶/۸۰۳	۰/۲۰۹	۱۲/۱۵۴	۰/۵۴۵	۰/۶۲۵	۲۲۸/۹۶۹	۱۷۹۱/۷۶۰	گونه دوم
۰/۰۵۰	۹/۰۲۳	۰/۸۰۷	۶/۴۴۳	۰/۳۹۳	۶/۳۵۱	۰/۶۷۸	۰/۶۴۷	۱۴۳/۴۲۵	۳۹۹/۱۱۸	گونه سوم
۰/۰۴۰	۱۶/۰۴۱	۰/۴۷۹	۱۰/۱۵۰	۰/۲۷۰	۷/۶۷۵	۰/۵۹۹	۰/۵۷۵	۱۵۲/۲۱۶	۷۰۶/۰۱۰	گونه چهارم
۰/۰۸۵	۵/۰۱۸	۱/۳۴۹	۹/۹۸۲	۰/۲۵۲	۶/۵۱۸	۰/۷۵۵	۰/۶۳۸	۱۶۶/۰۳۰	۲۴۳/۴۹۲	گونه پنجم
۰/۰۴۵	۱۰/۹۸۵	۰/۵۱۴	۰/۰۰۷	۰/۳۵۱	۰/۱۸۱	۰/۰۰۳	۰/۵۸۷	۰/۳۵۵	۲/۹۸۹	گونه ششم

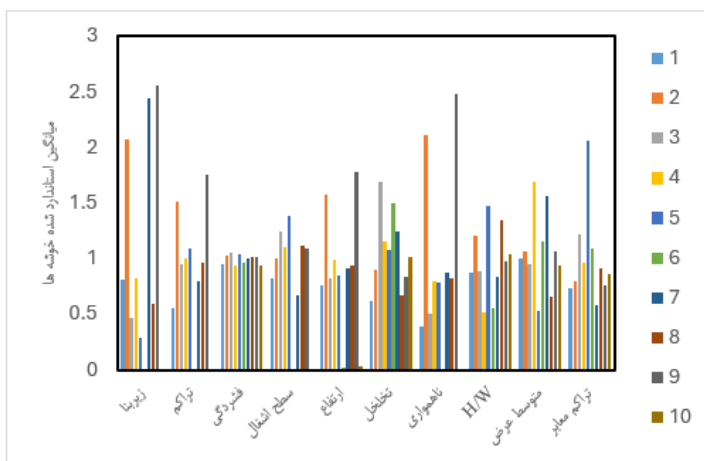
گونه هفتم	۲۱۰۵/۴۹۷	۱۲۰/۳۲۳	۰/۶۱۳	۰/۳۶۶	۷/۰۷۱	۰/۳۹۱	۱۱/۱۱۵	۰/۷۶۱	۱۴/۸۰۲	۰/۰۲۴
گونه هشتم	۵۱۴/۴۸۲	۱۴۵/۷۵۰	۰/۶۲۲	۰/۶۰۸	۷/۲۳۱	۰/۱۵۸	۱۰/۵۱۰	۱/۲۳۸	۶/۱۹۲	۰/۰۳۷
گونه نهم	۲۲۰۲/۹۹۸	۲۶۶/۵۶۶	۰/۶۲۰	۰/۵۹۴	۱۳/۶۹۹	۰/۱۹۴	۳۱/۵۰۲	۰/۸۹۵	۱۰/۰۶۵	۰/۰۳۱
گونه دهم	۵/۰۶۷	۰/۳۷۵	۰/۵۷۸	۰/۰۰۳	۰/۲۴۸	۰/۳۳۸	۰/۰۰۸	۰/۹۲۷	۸/۹۲۷	۰/۰۳۶
میانگین کل بافت	۸۶۲/۷۶۶	۱۵۱/۳۷۴	۰/۶۱۱	۰/۵۴۳	۷/۷۱۵	۰/۲۳۳	۱۲/۶۷۹	۰/۹۱۶	۹/۴۶۵	۰/۰۴۱



الف



ب



ج

نمودار شماره ۲: مقایسه مقادیر استاندارد شده میانگین‌ها در خوشه‌بندی‌های الف) ۴ تایی، ب) ۸ تایی و ج) ۱۰ تایی

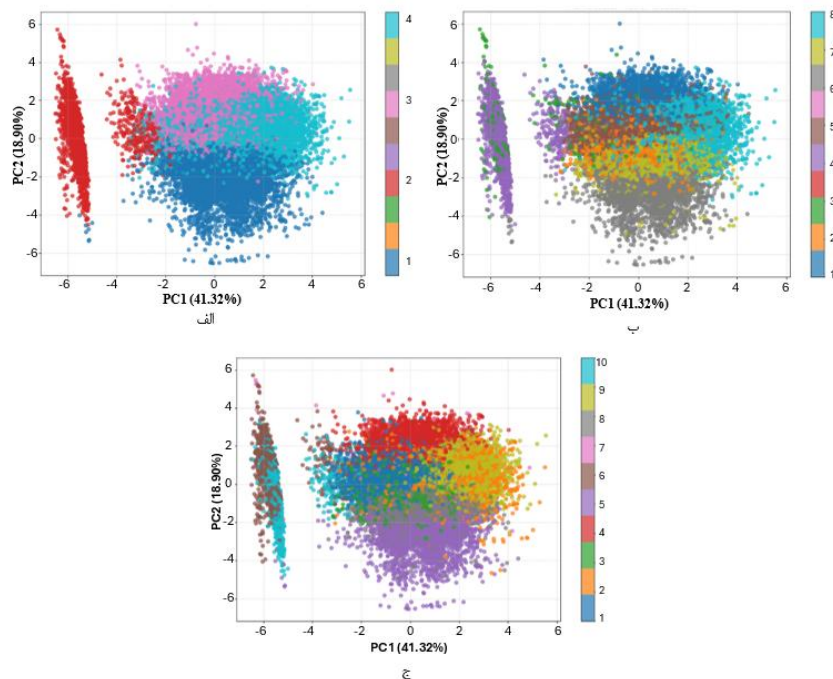
دارد. در خوشه‌بندی ۸ تایی تفکیک و تعادل بهتری بین گروه‌ها وجود دارد. خوشه‌بندی ۱۰ تایی جزئیات بیشتری از داده‌ها را تفکیک نموده، اما برخی خوشه‌های بسیار کوچک ایجاد شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده تفکیک بیش از حد باشد. جدول شماره ۷ فراوانی نمونه‌ها در خوشه‌بندی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۷: فراوانی نمونه‌ها در خوشه‌بندی‌ها

۴- مقایسه خوشه‌بندی‌های ۴، ۸ و ۱۰ تایی:

در این بخش، نتایج حاصل از ۳ خوشه‌بندی فوق مورد مقایسه قرار گرفته و در نتیجه مناسب‌ترین خوشه‌بندی انتخاب می‌گردد. در خوشه‌بندی ۴ تایی توزیع نمونه‌ها بین خوشه‌ها نسبتاً متعادل است، اما خوشه‌های ۲ و ۳ بسیار بزرگ‌تر از سایرین هستند و امکان از دست رفتن جزئیات در آنها وجود

خوشه‌بندی ۱۰ تایی		خوشه‌بندی ۸ تایی		خوشه‌بندی ۴ تایی		
درصد	تعداد نمونه	درصد	تعداد نمونه	درصد	تعداد نمونه	
۱۶/۹	۶۷۴۹	۱۳/۲	۵۲۴۷	۲۳/۵	۹۳۶۲	خوشه ۱
۸/۲	۳۲۸۸	۱۴/۹	۵۹۵۶	۸/۷	۳۴۶۵	خوشه ۲
۱۵/۰	۵۹۷۹	۱/۶	۶۲۸	۳۱/۱	۱۲۴۰۷	خوشه ۳
۱۱/۳	۴۵۲۵	۷/۲	۲۸۵۵	۳۶/۷	۱۴۶۳۴	خوشه ۴
۸/۳	۳۳۱۶	۱۷/۹	۷۱۳۰	-	-	خوشه ۵
۳/۹	۱۵۴۵	۸/۶	۳۴۲۳	-	-	خوشه ۶
۰/۲	۷۰	۱۶/۳	۶۴۹۸	-	-	خوشه ۷
۱۵/۶	۶۲۳۱	۲۰/۴	۸۱۳۱	-	-	خوشه ۸
۱۶/۰	۶۳۶۵	-	-	-	-	خوشه ۹
۴/۵	۱۸۰۰	-	-	-	-	خوشه ۱۰



نمودار شماره ۳: تحلیل PCA خوشه‌بندی‌ها: الف) خوشه‌بندی ۴ تایی، ب) خوشه‌بندی ۸ تایی، ج) خوشه‌بندی ۱۰ تایی

بندی ۸ تایی تفکیک نسبتاً بهتری وجود دارد و گرچه برخی از خوشه‌ها نزدیک به یکدیگر هستند، اما جزئیاتی از داده‌ها را نشان می‌دهند که تفکیک آنها می‌تواند از اهمیت برخوردار باشد. در خوشه‌بندی ۱۰ تایی تفکیک بهتری وجود دارد، اما همپوشانی بین برخی از خوشه‌ها بیشتر شده و وجود از نظر میانگین شاخص‌ها در خوشه‌ها، در خوشه‌بندی ۴ تایی تفکیک کلی بین خوشه‌ها وجود دارد، اما برخی ویژگی‌های

تحلیل نمودار PCA (نمودار شماره ۳) و تفکیک‌پذیری خوشه‌ها بر مبنای مولفه اساسی نشان می‌دهد در خوشه‌بندی ۴ تایی خوشه‌های اصلی از یکدیگر جدا شده، اما بخش‌هایی از داده‌ها همچنان دارای همپوشانی هستند و ممکن است داده‌های درون هر خوشه تنوع بالایی داشته باشند. در خوشه-خوشه‌های بسیار کوچک نشان‌دهنده تجزیه بیش از حد داده‌هاست.

- گونه‌های ۴ و ۶ کمترین بیشینه زیربنا را دارند. سطح اشغال، ارتفاع و ناهمواری بسیار پایین در گونه ۴ مناطق کم تراکم و زمین‌های باز و بایر را نشان می‌دهد. در حالی نسبت H/W ، عرض متوسط معبر و تراکم آن در گونه ۶ وجود معابر با طول بالا و عرض کم را نشان می‌دهد و می‌تواند نماینده بخش‌هایی از بافت ارگانیک باشد.
 - گونه ۳ نشان‌دهنده مناطق کم ارتفاع و کم تراکم با سطح اشغال کم اما معابر نسبتاً عریض است.
 - گونه ۱ ساختمان‌های نسبتاً مرتفع با زیربنای بالا و معابر نسبتاً عریض را نشان می‌دهد.
 - بیشینه نسبت H/W در گونه ۷ بسیار بالا بوده اما میانگین آن چندان بالا نیست. این مساله نشان می‌دهد تعدادی از معابر دارای نسبت H/W بالا هستند، اما نمی‌توانند نماینده تمام این گونه باشند.
 - در گونه ۲ معابر نسبتاً متراکم و عریض بوده، تراکم نزدیک به میانگین بافت است، اما تخلخل بالاتر از میانگین کلی بافت است.
 - چنان که مشاهده می‌شود، تفکیک بین اراضی بایر (گونه ۴) و اراضی وسیع با ساخت بسیار کم (گونه ۳) به خوبی صورت گرفته است.
 - بافت‌های نامنظم در دو گونه ۶ و ۷ به ترتیب نشان‌دهنده بافت ارگانیک و نیمه‌ارگانیک هستند.
 - بافت‌های منظم بر اساس دانه‌بندی و عرض معابر به خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. گونه ۵ بافت درشت‌دانه و گونه ۲ بافت دارای معابر عریض را نشان می‌دهند. گونه ۱ نیز نماینده بافت منظم با معابر کم‌عرض و دانه‌بندی متوسط است.
 - گونه ۸ بافت شامل ساختمان‌های بلندمرتبه را دربر گرفته است.
- تصویر شماره ۴ گونه‌های شناسایی شده در منطقه ۱ تهران بر پایه شاخص‌های موثر بر تهویه هوا و تصویر شماره ۵ نمونه شماتیک هر یک از گونه‌های شناسایی شده را نشان می‌دهند.

خاص درون خوشه‌ها تفاوت زیادی دارند و احتمال از دست رفتن برخی جزئیات در خوشه‌ها وجود دارد. در خوشه‌بندی ۸ تایی، ویژگی‌های خاص هر خوشه بهتر تفکیک شده و دسته‌بندی دقیق‌تری ارائه شده است. در خوشه‌بندی ۱۰ تایی، جزئیات بیشتری از ویژگی‌ها در خوشه‌های مختلف دیده می‌شود، اما برخی خوشه‌ها دارای میانگین بسیار نزدیک به یکدیگر هستند. بدین ترتیب، خوشه‌بندی ۸ تایی از دقت بالاتری برخوردار بوده و به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

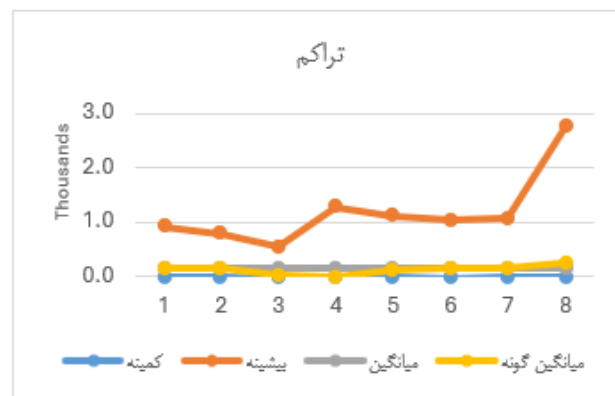
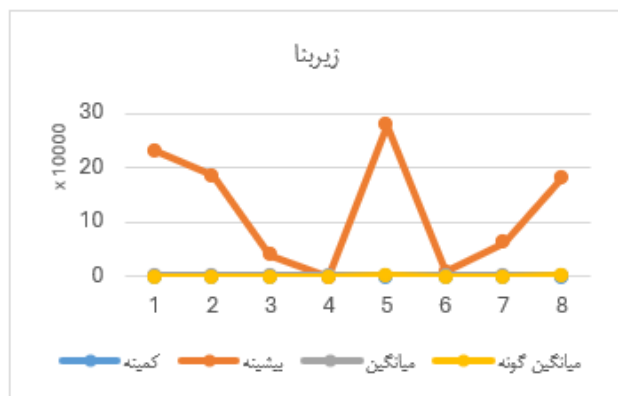
۵- تحلیل گونه‌شناسی

- برای بررسی دقیق‌تر گونه‌های منتخب (در خوشه‌بندی ۸ تایی) لازم است مقادیر کمینه و بیشینه هر یک از شاخص‌ها مورد بررسی قرار گیرند. این مقادیر که در جدول شماره ۸ نشان داده شده‌اند، در کنار نمودارهای شماره ۴ برخی نتایج در رابطه با گونه‌ها را نمایان می‌سازند:
- نمودار زیربنا و موقعیت خط میانگین بافت نسبت به کمینه و بیشینه گونه‌ها نشان می‌دهد تعدادی از گونه‌ها دارای بیشینه‌های بسیار بالا بوده، اما تعداد نمونه‌های بیشینه قابل توجه نبوده و میانگین کل بافت به کمینه بسیار نزدیک‌تر است. این مساله می‌تواند به وجود تعدادی برج و ساختمان مرتفع در بافت اشاره نماید که سبب بالا رفتن بیش از حد بیشینه‌ها در این گونه‌ها شده‌اند.
 - نمودار تراکم خصوصاً در گونه ۸ وجود تراکم‌های بالا در این گونه را نشان می‌دهد که از میانگین کل بافت فاصله زیادی دارند. بنابراین، ترکیب این دو ویژگی همراه با بیشینه ارتفاع بالا در گونه ۸، مناطق مرتفع با تراکم و زیربنای بالا را نشان می‌دهد.
 - ویژگی‌های گونه ۵ با بیشینه زیربنای بالا و تراکم نه چندان بالا، بیشینه ارتفاع بالا و H/W پایین حاکی از وجود پلاک‌های درشت دانه است.

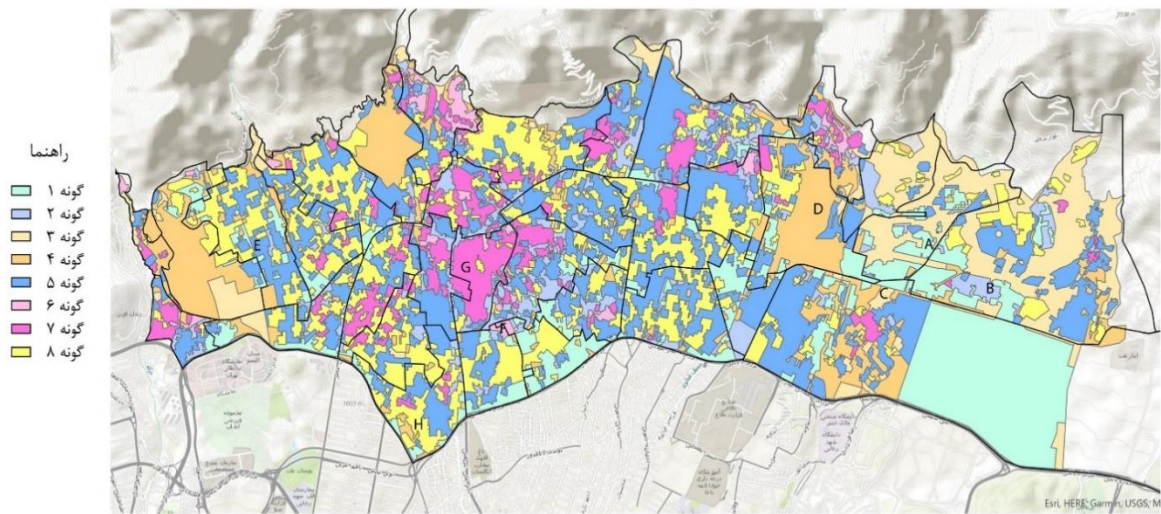
جدول شماره ۸: مقادیر بیشینه و کمینه شاخص‌ها در خوشه‌بندی ۸ تایی

تراکم معابر	عرض معابر	نسبت H/W	ناهمواری مطلق	تخلخل متوسط	ارتفاع متوسط	سطح اشغال	فشرده‌گی ساختمانی	تراکم	زیربنا	شاخص
-------------	-----------	------------	---------------	-------------	--------------	-----------	-------------------	-------	--------	------

گونه	گونه										
		کمینه	۱/۵۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۵/۸۸	۰/۰۰
اول	کمینه	۱۸/۱۰	۱/۵۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۵/۸۸	۰/۰۰
	بیشینه	۲۳۲۶۵۹/۸۹	۹۱۰/۹۹	۰/۹۳	۱/۰۰	۵۱/۰۰	۰/۹۶	۱۱۲/۰۲	۱/۱۱	۴۵/۵۰	۰/۱۴
دوم	کمینه	۳/۲۸	۵/۸۳	۰/۲۵	۰/۰۲	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۱۰	۴/۰۰	۰/۰۱
	بیشینه	۱۸۴۹۰۱/۸۷	۷۹۰/۳۵	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۳۶	۰/۹۵	۱۱۲/۰۲	۲/۰۸	۲۸/۶۰	۰/۱۸
سوم	کمینه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۰	۰/۰۰
	بیشینه	۳۹۹۳۵/۵۲	۵۵۲/۰۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۵۴	۰/۹۹	۱۱۲/۰۲	۱/۳۸	۴۵/۵۰	۰/۳۲
چهارم	کمینه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۱
	بیشینه	۳۶۵/۷۲	۱۲۷۲/۹۱	۰/۹۵	۰/۱۵	۶/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۸	۳/۱۹	۳۲/۶۷	۰/۳۳
پنجم	کمینه	۹/۰۹	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۱	۴/۳۳	۰/۰۱
	بیشینه	۲۷۷۸۹۱/۰۱	۱۱۱۰/۴۶	۰/۸۴	۱/۰۰	۷۸/۰۰	۰/۷۱	۱۱۲/۰۲	۱/۸۰	۲۳/۳۳	۰/۰۹
ششم	کمینه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۲
	بیشینه	۷۳۳۳/۹۷	۱۰۲۲/۵۷	۰/۸۷	۱/۰۰	۳۳/۰۰	۰/۹۲	۱۱۲/۰۲	۴/۲۹	۱۰/۰۰	۰/۳۱
هفتم	کمینه	۷/۹۳	۱/۵۸	۰/۲۱	۰/۰۱	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۶۱	۲/۷۱	۰/۰۱
	بیشینه	۶۲۲۱۹/۴۸	۱۰۶۷/۵۰	۰/۸۸	۱/۰۰	۵۱/۰۰	۰/۶۸	۱۱۲/۰۲	۵/۵۳	۱۱/۰۶	۰/۱۱
هشتم	کمینه	۱۷/۱۳	۰/۵۵	۰/۱۰	۰/۰۱	۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۳۰	۴/۶۷	۰/۰۱
	بیشینه	۱۷۹۳۲۷/۳۷	۲۷۶۳/۱۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱۰۲/۰۰	۰/۷۶	۱۱۲/۰۲	۴/۲۴	۲۵/۰۰	۰/۱۲
کل بافت	کمینه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰
	بیشینه	۲۷۷۸۹۱/۰۱	۲۷۶۳/۱۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۱۰۲/۰۰	۰/۹۹	۱۱۲/۰۲	۵/۵۳	۴۵/۵۰	۰/۳۲







تصویر شماره ۴: گونه‌های شناسایی شده در منطقه ۱ تهران بر پایه شاخص‌های موثر بر تهویه هوا

D - گونه ۴	C - گونه ۳	B - گونه ۲	A - گونه ۱
H - گونه ۸	G - گونه ۷	F - گونه ۶	E - گونه ۵

تصویر شماره ۵: سه بعدی شماتیک گونه‌های مشخص شده در تصویر شماره ۴

در جهت رفع این خلاء علمی، به کمک روش امضاها فضای بافت منطقه ۱ تهران مورد مطالعه و تقسیم‌بندی قرار گرفت. با استناد به مرور ادبیات تهویه هوای شهری، شاخص‌های مورفولوژیک موثر بر آن استخراج شده و در مرحله بعد شاخص‌های مناسب بر اساس سازگاری با نمونه موردی، قابلیت دستیابی به داده‌ها، قابلیت استفاده در نرم‌افزارهای مرتبط با تهویه شهری و تعمیم‌پذیری انتخاب شدند. روش مورد استفاده جهت شناسایی گونه‌های مختلف، خوشه‌بندی بوده و تحلیل نتایج آن نشان داد خوشه‌بندی ۸ تایی در نمونه مورد نظر، گونه‌های کلی با دقت کافی در جزئیات را نشان

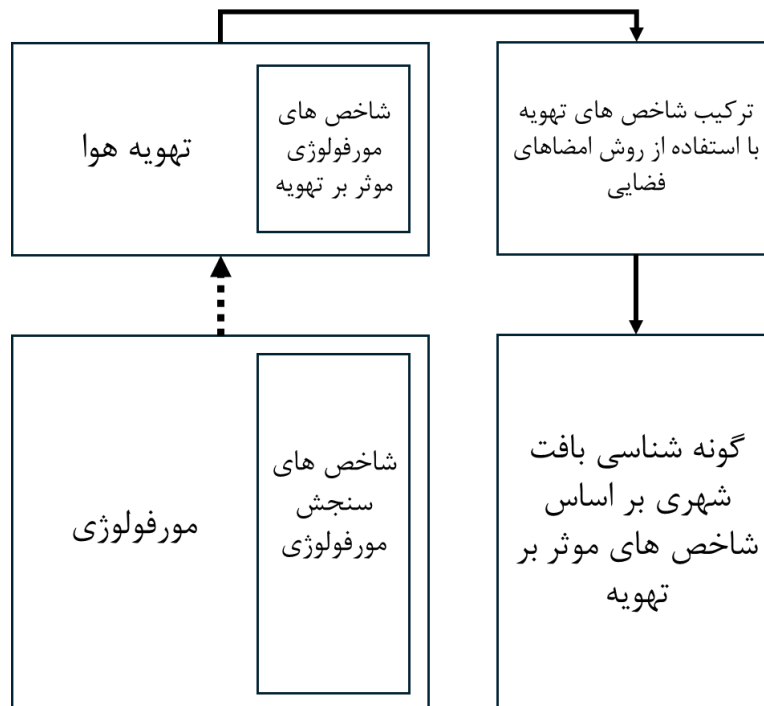
بحث و نتیجه‌گیری

حوزه‌های مختلف شهرسازی از تنوع بسیار بالایی برخوردار بوده و بسیاری از آنها در راستای اهداف مرتبط با خود به گونه‌شناسی بافت‌های شهری پرداخته‌اند. در مطالعات تهویه هوای شهری، این گونه‌شناسی غالباً بر اساس تفاوت‌های کالبدی و مولفه‌های شناخته شده موثر بر تهویه صورت گرفته است. اما گونه‌های شناسایی شده بیشترین و واضح‌ترین تفاوت‌ها را به صورت انتخابی نمایش داده و به ارائه نمونه‌های محدود از گونه‌های متفاوت مورفولوژی منطقه مورد مطالعه اکتفا نموده‌اند. بدین ترتیب، در این پژوهش، به عنوان روشی

نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌گردد برخلاف مطالعات پیشین مانند [۸] که در آن نمونه‌هایی از تفاوت‌ها به صورت انتخابی به عنوان گونه‌ها شناسایی شده‌اند، در این پژوهش تنوع گونه‌ها جزئیات مناسبی را شامل شده و تمامی قسمت‌های بافت مورد مطالعه در گونه‌شناسی واقع شده‌اند. بدین ترتیب، با استفاده از روش امضاهای فضایی در گونه‌شناسی بافت بر اساس شاخص‌های کالبدی موثر بر تهویه، می‌توان تقسیم‌بندی‌های نسبتاً مناسبی برای تحقیقات آتی به دست آورد. بدیهی است با تغییر شاخص‌ها، نتایج متفاوتی نیز حاصل می‌شود. این روش در رابطه با تقسیم‌بندی بافت بر اساس شاخص‌های دیگر و با اهداف متفاوت نیز کاربرد داشته و نتایج آن می‌تواند در رابطه با مطالعات حوزه‌های مرتبط مورد استفاده قرار گیرد.

می‌دهد. مدل مفهومی برگرفته از پژوهش در نمودار شماره ۵ نمایش داده شده است.

تحلیل و بررسی نتایج حاصل از گونه‌شناسی حاکی از آن است که در دو گونه ۳ و ۴ کمترین میزان ساخت وجود دارد، به طوری که گونه ۳ پلاک‌های بسیار درشت‌دانه با ساخت اندک و گونه ۴ اراضی بایر را نشان داده‌اند. گونه ۵ پلاک‌های درشت‌دانه و گونه ۸ مناطق مرتفع بافت را دربر گرفته‌اند. گونه ۲ بافت متخلخل با تراکم نزدیک به میانگین و گونه ۱ بافت نسبتاً مرتفع با زیربنای بالا و معابر نسبتاً عریض را نشان می‌دهد و می‌تواند نماینده بافت نوساز منطقه با شبکه‌های تقریباً شطرنجی باشد. گونه ۶ بخش‌هایی از بافت ارگانیک منطقه با معابر متعدد کم‌عرض و پیچیده را در بر گرفته و گونه ۷ بافت نیمه‌ارگانیک با ساختمان‌های کمی مرتفع‌تر را



نمودار شماره ۵: مدل مفهومی پژوهش

تشکر و قدردانی: این مقاله از رساله دکتری نویسنده اول به راهنمایی نویسنده دوم تحت عنوان "تبیین اثرات مورفولوژی بر تهویه بافت‌های شهری" در دانشگاه تهران استخراج شده است.

تأییدیه‌های اخلاقی: تمام اصول اخلاقی در زمینه چاپ و نشر این مقاله رعایت شده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: نویسنده اول شامل مطالعات کتابخانه‌ای، گردآوری داده‌ها، تهیه محتوی و تدوین متن اولیه مقاله برابر با ۵۰ درصد، نویسنده دوم شامل ارائه چارچوب علمی و اولیه مقاله، اصلاحات متن و محتوای تهیه شده، کنترل داده‌ها، تحلیل نتایج و یافته‌ها برابر با ۵۰ درصد.

منابع مالی / حمایت‌ها: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- [1]. Fang Y, Gu K, Qian Z, Sun Z, Wang Y, Wang A. Performance evaluation on multi-scenario urban ventilation corridors based on least cost path. *Journal of Urban Management*. 2021 Mar 1;10(1):3-15. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.06.006>
- [2]. Peng Y, Buccolieri R, Gao Z, Ding W. Indices employed for the assessment of "urban outdoor ventilation"-a review. *Atmospheric Environment*. 2020 Feb 15;223:117211. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117211>
- [3]. Chen X, Xue P, Liu L, Gao L, Liu J. Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area: A longitudinal survey in Harbin, China. *Building and Environment*. 2018 Oct 1;143:548-60. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.041>
- [4]. Yang J, Wang Y, Xue B, Li Y, Xiao X, Xia JC, He B. Contribution of urban ventilation to the thermal environment and urban energy demand: Different climate background perspectives. *Science of The Total Environment*. 2021 Nov 15;795:148791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148791>
- [5]. Georgakis C, Santamouris M. Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and buildings*. 2006 Apr 1;38(4):367-76. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.009>
- [6]. Juan YH, Wen CY, Li Z, Yang AS. A combined framework of integrating optimized half-open spaces into buildings and an application to a realistic case study on urban ventilation and air pollutant dispersion. *Journal of Building Engineering*. 2021 Dec 1;44:102975. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102975>
- [7]. Palusci O, Monti P, Cecere C, Montazeri H, Blocken B. Impact of morphological parameters on urban ventilation in compact cities: The case of the Tuscolano-Don Bosco district in Rome. *Science of the Total Environment*. 2022 Feb 10;807:150490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150490>
- [8]. He BJ, Ding L, Prasad D. Enhancing urban ventilation performance through the development of precinct ventilation zones: A case study based on the Greater Sydney, Australia. *Sustainable Cities and Society*. 2019 May 1;47:101472. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101472>
- [9]. Qin H, Lin P, Lau SS, Song D. Influence of site and tower types on urban natural ventilation performance in high-rise high-density urban environment. *Building and Environment*. 2020 Jul 15;179:106960. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106960>
- [10]. Hang J, Sandberg M, Li Y. Age of air and air exchange efficiency in idealized city models. *Building and Environment*. 2009 Aug 1;44(8):1714-23. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.013>
- [11]. Di Sabatino S, Buccolieri R, Pulvirenti B, Britter R. Simulations of pollutant dispersion within idealised urban-type geometries with CFD and integral models. *Atmospheric environment*. 2007 Dec 1;41(37):8316-29. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.052>

- [12]. Ali-Toudert F, Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and environment*. 2006 Feb 1;41(2):94-108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>
- [13]. Zhang A, Gao C, Zhang L. Numerical simulation of the wind field around different building arrangements. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*. 2005 Dec 1;93(12):891-904. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.09.001>
- [14]. Sha C, Wang X, Lin Y, Fan Y, Chen X, Hang J. The impact of urban open space and 'lift-up' building design on building intake fraction and daily pollutant exposure in idealized urban models. *Science of the Total Environment*. 2018 Aug 15;633:1314-28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.194>
- [15]. Hong B, Qin H, Lin B. Prediction of wind environment and indoor/outdoor relationships for PM_{2.5} in different building-tree grouping patterns. *Atmosphere*. 2018 Jan 24;9(2):39. <https://doi.org/10.3390/atmos9020039>
- [16]. Jing Y, Zhong HY, Wang WW, He Y, Zhao FY, Li Y. Quantitative city ventilation evaluation for urban canopy under heat island circulation without geostrophic winds: Multi-scale CFD model and parametric investigations. *Building and environment*. 2021 Jun 1;196:107793. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107793>
- [17]. Ma T, Chen T. Outdoor ventilation evaluation and optimization based on spatial morphology analysis in Macau. *Urban Climate*. 2022 Dec 1;46:101335. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101335>
- [18]. Badach J, Wojnowski W, Gębicki J. Spatial aspects of urban air quality management: Estimating the impact of micro-scale urban form on pollution dispersion. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2023 Jan 1;99:101890. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101890>
- [19]. Merlier L, Kuznik F, Rusaouën G, Salat S. Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies. *Sustainable cities and society*. 2018 Jan 1;36:71-80. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.017>
- [20]. Arribas-Bel D, Fleischmann M. Spatial signatures-understanding (urban) spaces through form and function. *Habitat International*. 2022 Oct 1;128:102641. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102641>
- [21]. Gülten A, Öztöpe HF. Analysis of the natural ventilation performance of residential areas considering different urban configurations in Elazığ, Turkey. *Urban Climate*. 2020 Dec 1;34:100709. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100709>
- [22]. Kubota T, Miura M, Tominaga Y, Mochida A. 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*. 2008 Oct 1;43(10):1699-708. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.015>
- [23]. Azizi MM, Javanmardi K. The effects of urban block forms on the patterns of wind and natural ventilation. *Procedia engineering*. 2017 Jan 1;180:541-9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.213>
- [24]. Ng E, Yuan C, Chen L, Ren C, Fung JC. Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. *Landscape and Urban planning*. 2011 May 15;101(1):59-74. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.01.004>
- [25]. Peng Y, Gao Z, Buccolieri R, Shen J, Ding W. Urban ventilation of typical residential streets and impact of building form variation. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Apr 1;67:102735. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102735>
- [26]. Britter RE, Hanna SR. Flow and dispersion in urban areas. *Annual review of fluid mechanics*. 2003 Jan;35(1):469-96. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.35.1011.161147>
- [27]. Skote M, Sandberg M, Westerberg U, Claesson L, Johansson AV. Numerical and experimental studies of wind environment in an urban morphology. *Atmospheric Environment*. 2005 Oct 1;39(33):6147-58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.06.052>
- [28]. Jing Y, Zhong HY, Wang WW, He Y, Zhao FY, Li Y. Quantitative city ventilation evaluation for urban canopy under heat island

- circulation without geostrophic winds: Multi-scale CFD model and parametric investigations. *Building and environment*. 2021 Jun 1;196:107793. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107793>
- [29]. Peng Y, Gao Z, Ding W. An approach on the correlation between urban morphological parameters and ventilation performance. *Energy Procedia*. 2017 Dec 1;142:2884-91. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.412>
- [30]. Hu T, Yoshie R. Indices to evaluate ventilation efficiency in newly-built urban area at pedestrian level. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2013 Jan 1;112:39-51. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.11.002>
- [31]. Duan G, Nakamae K, Takemi T. Impacts of urban morphometric indices on ventilation. *Building and Environment*. 2023 Feb 1;229:109907. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109907>
- [32]. Mei SJ, Hu JT, Liu D, Zhao FY, Li Y, Wang HQ. Airborne pollutant dilution inside the deep street canyons subjecting to thermal buoyancy driven flows: Effects of representative urban skylines. *Building and Environment*. 2019 Feb 1;149:592-606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.050>
- [33]. Wang W, Ng E, Yuan C, Raasch S. Large-eddy simulations of ventilation for thermal comfort—a parametric study of generic urban configurations with perpendicular approaching winds. *Urban climate*. 2017 Jun 1;20:202-27. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.04.007>
- [34]. Kurppa M, Hellsten A, Auvinen M, Raasch S, Vesala T, Järvi L. Ventilation and air quality in city blocks using large-eddy simulation—urban planning perspective. *Atmosphere*. 2018 Feb 13;9(2):65. <https://doi.org/10.3390/atmos9020065>
- [35]. Asfour OS. Prediction of wind environment in different grouping patterns of housing blocks. *Energy and Buildings*. 2010 Nov 1;42(11):2061-9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.06.015>
- [36]. Buccolieri R, Sandberg M, Wigö H, Di Sabatino S. The drag force distribution within regular arrays of cubes and its relation to cross ventilation—Theoretical and experimental analyses. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2019 Jun 1;189:91-103. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.03.022>
- [37]. Wang B, Cot LD, Adolphe L, Geoffroy S, Sun S. Cross indicator analysis between wind energy potential and urban morphology. *Renewable Energy*. 2017 Dec 1;113:989-1006. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.057>
- [38]. Yang J, Wang Y, Xiao X, Jin C, Xia JC, Li X. Spatial differentiation of urban wind and thermal environment in different grid sizes. *Urban Climate*. 2019 Jun 1;28:100458. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100458>
- [39]. Ahmadi J, Mahdavinjad M, Larsen OK, Zhang C, Zarkesh A, Asadi S. Evaluating the different boundary conditions to simulate airflow and heat transfer in Double-Skin Facade. In *Building Simulation 2022* May;15(5):799-815. Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0824-5>
- [40]. Adolphe L. A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and planning B: planning and design*. 2001 Apr;28(2):183-200. <https://doi.org/10.1068/b2631>
- [41]. Oke TR. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*. 1988 Mar 22;11(1-3):103-13. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- [42]. Kropf K. Ambiguity in the definition of built form. *Urban morphology*. 2014;18(1):41-57. <https://doi.org/10.51347/jum.v18i1.3995>
- [43]. Clifton K, Ewing R, Knaap GJ, Song Y. Quantitative analysis of urban form: a multidisciplinary review. *Journal of Urbanism*. 2008 Mar 1;1(1):17-45. <https://doi.org/10.1080/17549170801903496>
- [44]. Schirmer PM, Axhausen KW. A multiscale classification of urban morphology. *Journal of Transport and Land Use*. 2016 Jan 1;9(1):101-30.
- [45]. Gil J, Beirão JN, Montenegro N, Duarte JP. On the discovery of urban typologies: data mining the many dimensions of urban form. *Urban morphology*. 2012 Apr 1;16(1):27.
- [46]. Khodakarami J, Nouri S, Mansouri R. Influence of Tall Buildings on the

- Distribution of Particulate Matter and Air Pollution in the Environment around Them. Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020 Oct 10;10(3):193-203. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.3.2.2>
- [47]. Fleischmann M, Romice O, Porta S. Measuring urban form: Overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2021 Oct;48(8):2133-50. <https://doi.org/10.1177/2399808320910444>
- [48]. Lai PC, Chen S, Low CT, Cerin E, Stimson R, Wong PY. Neighborhood variation of sustainable urban morphological characteristics. *International journal of environmental research and public health*. 2018 Mar;15(3):465. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030465>
- [49]. Chen M, Bai J, Zhu S, Yang B, Dai F. The influence of neighborhood-level urban morphology on PM_{2.5} variation based on random forest regression. *Atmospheric Pollution Research*. 2021 Aug 1;12(8):101147. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101147>
- [50]. Wei R, Song D, Wong NH, Martin M. Impact of urban morphology parameters on microclimate. *Procedia Engineering*. 2016 Jan 1;169:142-9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.017>
- [51]. Madanipour A. Sustainable development, urban form, and megacity governance and planning in Tehran. *Megacities: urban form, governance, and sustainability*. 2011:67-91.
- [52]. Aminzadeh B, Goharrizi B, Gheshlaghpour S. The Effects of Spatial Patterns of Urban Green Structure on the Thermal Changes of Urban Heat Islands: The Case Study of Tehran. *Journal of Environmental Studies*. 2020 Aug 23;46(2):239-54. [10.22059/jes.2021.308065.1008059](https://doi.org/10.22059/jes.2021.308065.1008059)
- [53]. Saadatjoo P, Mahdavejad M, Zhang G, Vali K. Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Jul 1;70:102894. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102894>
- [54]. Aghamolaei R, Azizi MM, Aminzadeh B, Mirzaei PA. A tempo-spatial modelling framework to assess outdoor thermal comfort of complex urban neighbourhoods. *Urban Climate*. 2020 Sep 1;33:100665. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100665>
- [55]. Biqaraz B, Fayaz R, Naeeni GH. A comparison of outdoor thermal comfort in historical and contemporary urban fabrics of Lar City. *Urban Climate*. 2019 Mar 1;27:212-26. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.007>
- [56]. Saadatjoo P, Mahdavejad M, Zarkesh A. Porosity Rendering in High-Performance Architecture: Wind-Driven Natural Ventilation and Porosity Distribution Patterns. *Armanshahr Architecture & Urban Development*. 2019; 12(26): 73-87. <https://doi.org/10.22034/aaud.2019.89057>
- [57]. Saadatjoo P, Mahdavejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Building Simulation*. 2018 Apr 1;11(2):359-372. Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7>
- [58]. Schwarz N. Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and urban planning*. 2010 May 15;96(1):29-47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.01.007>
- [59]. Saadatjoo P, Saligheh E. The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case study: Residential Complexes in Tehran. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2021 Nov 10;11(3):67-92. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.3.4.1>. Available: <https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-50471-en.html>
- [60]. Boeing G. Urban spatial order: Street network orientation, configuration, and entropy. *Applied Network Science*. 2019 Dec;4(1):1-9.
- [61]. Saghaei M, Tavassoli N. The effect of the ventilated air layer in the new open joint facade on energy performance of the building. *Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2016;6(3):5-14. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1395.6.3.6.8>
- [62]. Shih WM, Lin TP, Tan NX, Liu MH. Long-term perceptions of outdoor thermal

[63]. environments in an elementary school in a hot-humid climate. International

Journal of Biometeorology. 2017 Sep;61:1657-66.

