Iranian Urban Design Studies.2(2):75-102, 2026

Iranian Urban Design Studies (IUDS)

https://iuds.shirazu.ac.ir/

doi 10.22099/IUDS.2025.54763.1064

Abridged Paper | Original Research Paper

Presenting Strategies and Policies for Realizing Low-Carbon Neighborhoods Based on the Physical Characteristics of Various Urban Fabrics Case Study: Selected Neighborhoods of Shiraz *

Maryam Tahsiri[1], Ali Reza Sadeghi[2]**

1. PhD Candidate in Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Highlights

- The novelty of this paper is to evaluate the physical potential of different urban fabric types in achieving low-carbon neighborhoods.
- Internal urban fabrics demonstrate greater potential for realizing low-carbon neighborhoods compared to both old/historic and new fabrics.
- The application of the most recent extension fuzzy model, minimized uncertainty in criteria weighting.
- Public transportation, climate-responsive land use, and per-capita green space are identified as fundamental factors in low-carbon neighborhoods.

Abstract

Given the increasing importance of environmental challenges and the urgent need to reduce greenhouse gas emissions, cities play an important role in mitigating climate change. Urban neighborhoods have taken shape during various phases of urban development, reflecting the knowledge and approaches characteristic of each era, and thus exhibit distinct physical features. Paying attention to the physical nature and typology of diverse urban fabrics in the design and planning of low-carbon neighborhoods is a topic that has received limited emphasis in previous studies. This study aimed to rank different urban fabric types based on their physical potential and propose practical strategies to achieve low-carbon neighborhood indicators. To this end, three neighborhoods in Shiraz, SangeSiah (historic/old fabric), Vesal (internal fabric), and Valiasre Qasre Dasht (new fabric) were selected as case studies.
Methodologically, this was an expert-oriented research. Data was collected from 7 urban studies experts using the snowball sampling method. The study employed a multi-criteria decision-making framework: the Circular Intuitionistic Fuzzy SWARA (CIF SWARA) approach was used for weighting the indicators, and the CoCoSo method was employed for ranking the different urban fabric types. The results highlight that, overall, the most impactful and fundamental indicators for achieving a low-carbon neighborhood are the public transportation system, the spatial adaptation of land uses to climatic characteristics, and the per-capita green space. Conversely, indicators such as strengthening high-speed internet infrastructure and avoiding the construction of public parking lots play supportive and complementary roles. Crucially, the research found that the priority of indicators varies significantly depending on the specific physical characteristics of the intervention area. Therefore, to propose effective strategies and implementation policies for realizing low-carbon goals, it is of critical importance to pay close attention to the unique capacities and distinctive features of each type of urban fabric (historical, internal, and new).

Article Info

Received	10/05/2025
Revised	22/06/2025
Accepted	08/07/2025
Available Online	20/01/2026

Keywords

Climate Change
Low-Carbon Neighborhood
Urban Fabric
Circular Intuitionistic Fuzzy SWARA
CoCoSo.

© [2026] by the author(s).

Citation of the article

Tahsiri, M., & Sadeghi, A. R. (2026). Presenting Strategies and Policies for Realizing Low-Carbon Neighborhoods Based on the Physical Characteristics of Various Urban Fabrics (Case Study: Selected Neighborhoods of Shiraz). *Iranian Urban design studies,* 2(2), 75-102.

* This article is extracted from the PhD dissertation of the first author entitled "The Impact of Climate Change Factors on the Dimensions of Place Identity at Urban Neighborhoods Scale. Case Study: Shiraz Neighborhoods ", conducted under the supervision of the second author at Shiraz University.

** Author Corresponding: Email: arsadeghi@shirazu.ac.ir

Introduction: Urban climate, as a part of the macro-atmospheric system, encompasses climatic changes in urban areas caused by human activities and structures. Compared to surrounding rural areas, cities exhibit specific characteristics such as increased temperature (Urban Heat Island effect), changes in wind patterns, cloud cover, and precipitation, and altered air quality (Masson et al., 2020: 420). These changes are accompanied by the intensification of climatic phenomena like heatwaves (Mishra et al., 2015), and forecasts indicate a temperature rise of 2 to 8 degrees Celsius in cities (Huang et al., 2019).
Cities, as centers emitting approximately 80% of greenhouse gases (GHGs) and 70% of carbon dioxide (Gurney et al., 2015; Huang et al., 2022), play a key role in reducing emissions and preventing climate change (Grafakos et al., 2019: 89), despite occupying only 2% of the Earth's surface (Huang et al., 2022: 1). Air pollution is also recognized as the fourth leading cause of global mortality and a major environmental threat (Pozzer et al., 2023).
Urban development patterns influence energy consumption, transportation, and land use (Alonso et al., 2017: 399; Sun et al., 2022:12; Niu et al., 2019), and the urban form is considered a tool for controlling gas emissions (Zhu & Hu, 2023:1; Jamali et al., 2025). Urban neighborhoods, as fundamental units, represent the optimal scale for low-carbon design (Zhao et al., 2017; Jamali et al., 2025:8). Shiraz, in the last decade, has faced climate change and increased pollution (Attaei and Fanayi, 2013: 57), and its different urban fabrics (historical, internal, new) possess varying ptential for achieving low-carbon neighborhoods.
The significance of the topic lies in the impact of climate change on urban ecosystems and human well-being (Wang et al., 2021; Weiskopf et al., 2020), making cities key centers for mitigating the consequences (Masson et al., 2020: 423). The necessity of this research stems from its focus on the physical structure of urban fabrics in achieving low-carbon indicators, offering content and methodological innovation (such as CIF SWARA-CoCoSo) that has not been present in similar national studies to date. The main objective of the research is to rank the urban fabrics of Shiraz based on their physical potential and to provide strategies for realizing the physical indicators of a low-carbon neighborhood. This study investigates the potential and challenges of different fabrics in selected neighborhoods (SangeSiah, Vesal, Valiasre Ghasro Dasht) and answers questions regarding the prioritization of indicators, the ranking of fabrics, and practical stratrgies.

Materials and Methods: This research is fundamental-applied and quantitative in nature. The statistical population included experts in the field of urban studies. Purposive sampling was used, comprising 7 experienced professors and researchers (Beiderbeck et al., 2021; Mohamed Yusoff et al., 2021; Hasim et al., 2023). The data collection tools consisted of two questionnaires:
1) Qualitative Questionnaire: Used for weighting the indicators based on the Circular Intuitionistic Fuzzy SWARA (CIF-SWARA) method (Keršuliene et al., 2010; Alinejad et al., 2024).
2) Decision Matrix: Used for ranking the urban fabrics.
The indicator weighting was performed using the CIF-SWARA method. By utilizing the Circular Intuitionistic Fuzzy logic (membership degree μ, non-membership degree ν, and radius of uncertainty r), this method offers higher precision compared to classic Intuitionistic Fuzzy methods and is suitable for urban issues characterized by high uncertainty (Atanassov, 1983; Hashemkhani Zolfani et al., 2018; Alinejad et al., 2024). The final ranking of the three urban fabrics (historical, internal, and new) in the selected neighborhoods of Shiraz was carried out using the Combined Compromise Solution (CoCoSo) method. Introduced in 2018, this method integrates several aggregation strategies, providing a compromise and stable solution for complex multi-criteria decision-making problems (Yazdani et al., 2018).The novel combination of CIF-SWARA and CoCoSo as a new hybrid approach in nationl studies of low-carbon neighborhoods is considered a key methodological feature of this research.

Findings: The results of the weighted priority calculation of the research indicators show that the public transportation system and the spatial adaptation of land uses to climatic characteristics, such as prevailing wind direction, slope percentage and direction, etc. have received the highest weights. In contrast, indicators such as strengthening high-speed internet infrastructure and avoiding the construction of public parking (to encourage less physical mobility and reduce private vehicle use) have the lowest weights.
For ranking the studied neighborhoods based on the calculated weights of the indicators, the following results were obtained:
- Vesal neighborhood (located in the internal urban fabric) ranked 1st,
- Valiasr Qasre Dasht neighborhood (located in the new urban fabric) ranked 2nd,

- Sange Siah neighborhood (located in the historical and old urban fabric) ranked 3rd in achieving the physical indicators of a low-carbon neighborhood.

Discussion and Conclusion: The findings of this research indicate that the physical indicators influencing the realization of the low-carbon neighborhood model can be classified into three levels of impact: foundational, intermediate, and supportive.

At the foundational level, the public transportation system, adaptation of land uses to climatic conditions, and per-capita green space have the greatest direct impact on reducing carbon emissions. These findings are consistent with the results of studies by Jabbarpour Mehrabadi and Abedini (2023), Roosta et al. (2020), and Zhang (2021).

On the other hand, the comparative analysis of urban fabrics in Shiraz showed that the internal fabric (Vesal neighborhood), due to its relative balance between physical structure and climatic performance, has the highest potential for achieving low-carbon indicators. In contrast, the historical fabric (Sange Siah neighborhood), despite its high density, ranked third due to conservation restrictions and infrastructure limitations. This finding contradicts the study by Zeng et al. (2024), which considers density always positive, and demonstrates that density alone is not sufficient, balance with infrastructure and climatic conditions is essential.

By presenting practical implementation strategies tailored to each urban fabrics, this research proves its effectiveness in applied urban planning. However, its main limitation is its exclusive focus on physical dimensions while neglecting social and cultural aspects. It is recommended that future studies investigate these social and cultural dimensions and, in the physical domain, determine the "optimal density threshold" for achieving low-carbon goals.

Declarations

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest related to this research.

Funding

This work is based upon research funded by Iranian National Science Foundation (INSF) under project No. 4047557.

Informed Consent

All participants in this research have provided their informed consent in writing.

Authors' Contributions

Conceptualization and study design: Maryam Tahsiri, AliReza Sadeghi; Data curation: Maryam Tahsiri; Data analysis: Maryam Tahsiri; Visualization: Maryam Tahsiri; Writing (Original Draft): Maryam Tahsiri, AliReza Sadeghi; Writing (Review Editing): Maryam Tahsiri; Validation and Final Approval: All authors have approved the final version of the manuscript.

Acknowledgments:

No acknowledgments were reported by the authors.

References

- Alinejad, S., Alimohammadlou, M., Abbasi, A., & Mirghaderi, S. H. (2024). Smart-Circular strategies for managing biomass resource challenges: A novel approach using circular intuitionistic fuzzy methods. *Energy Conversion and Management*, 314, 118690. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118690
- Alonso, A., Monzón, A., & Wang, Y. (2017). Modelling land use and transport policies to measure their contribution to urban challenges: The case of Madrid. *Sustainability*, 9(3), 378. https://doi.org/10.3390/su9030378
- Ataei, H., & Fanaei, R. (2014). The Survey of Series temperature changes trend at the city of Shiraz in relation to urban development planning. Lournal of Research and Urban Planning, 4 (15). 33-48. [In Persian] 20.1001.1.22285229.1392.4.15.4.
- Atanassov, K.T. (1983). *Intuitionistic Fuzzy Sets. Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96. http://dx.doi.org/10.1016/

S0165-0114(86)80034-3

- Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *MethodsX*,,8 101401. https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101401
- Bitner, A., Hołyst, R., & Fiałkowski, M. (2009). From complex structures to complex processes: Percolation theory applied to the formation of a city. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 80(3), 037102. DOI: 10.1103/PhysRevE.80.037102
- Çakır, E., Taş, M. A., & Ulukan, Z. (2021, August). Circular intuitionistic fuzzy sets in multi criteria decision making. *In International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions*. 34-42. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120076
- Calderón, F., Orellana, D., Carrasco, M. I., Astudillo, J., & Hermida, M. A. (2024). Urban Sustainability Through the Lens of Urban Fabric Typologies: A Case Study of Cuenca, Ecuador. *Sustainability*, 16(23), 1-28. DOI: 10.3390/su162310260
- Chen, J., Zhu, Y., Yang, C., Wang, H., & Wang, K. (2024). Evaluation and prediction of carbon emission from logistics at city scale for low-carbon development strategy. *PloS one*, 19(2), e0298206. doi: 10.1371/journal.pone.0298206
- Condon, P. M. (2012). *Seven rules for sustainable communities: design strategies for the post carbon world*. Island Press.
- Conzen, M. R. G. (1960). Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis. *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, (27), iii-122. https://www.jstor.org/stable/621094
- Dimitrov, R. S. (2016). The Paris agreement on climate change: Behind closed doors. *Global environmental politics*, 16(3), 1-11. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00361
- Fraker, H. (2013). *The hidden potential of sustainable neighborhoods: Lessons from low-carbon communities*, 97-119. Washington, DC: Island press.
- Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L., & Dhakal, S. (2019). Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. *Climatic change*, 154, 87-106. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02394-w
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760. doi: 10.1126/science.1150195
- Guo, J., Liu, H., Jiang, Y., He, D., Wang, Q., Meng, F., & He, K. (2014). Neighborhood form and CO2 emission: evidence from 23 neighborhoods in Jinan, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(1), 79-88. https://doi.org/10.1007/s11783-013-0516-1
- Gupta, A. (2016). Climate change and Kyoto protocol: An overview. *Handbook of environmental and sustainable finance*, 3-23. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803615-0.00001-7
- Gurney, K. R., Romero-Lankao, P., Seto, K. C., Hutyra, L. R., Duren, R., Kennedy, C., ... & Sperling, J. (2015). Climate change: Track urban emissions on a human scale. *Nature*, 525(7568), 179-181. https://doi.org/10.1038/525179a
- Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22, 7399-7405. https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2
- Hasim, M. A., Jabar, J., Sufian, A., Ibrahim, N. F., & Khalid, F. A. (2023). Employing Fuzzy Delphi Techniques to Validate the Components and Contents of E-Learning Antecedents and Usage Behavior Towards ELearning Performance. *European Journal of Educational Research*, 12(1), 467-480. DOI: 10.12973/eu-jer.12.1.467
- Huang, K., Li, X., Liu, X., & Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114037. doi: 10.1088/1748-9326/ab4b71
- Huang, C., Qu, Y., Huang, L., Meng, X., Chen, Y., & Pan, P. (2022). Quantifying the impact of urban form and socio-economic development on china's carbon emissions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2976. https://doi.org/10.3390/ijerph19052976

- Jamali, N., Taghizadeh, K., & Arbab, P. (2025). Exploring the impact of the built environment form on carbon emissions in urban neighborhoods: A systematic literature review. *Sustainable Cities and Society*, 106449. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106449
- Jabbarpour Mehrabad, F. and Abedini, A. (2024). Evaluation and Feasibility Study on the Implementation of Low Carbon City in Urmia. *Urban Planning Knowledge*, 7(4), 25-51. [In Persian] doi: 10.22124/upk.2024.25538.1886
- Javaid, A., Creutzig, F., & Bamberg, S. (2020). Determinants of low-carbon transport mode adoption: systematic review of reviews. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103002. DOI: 10.1088/1748-9326/aba032
- Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12
- Lapenis, A. G. (1998). Arrhenius and the intergovernmental panel on climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(23), 271-271. https://doi.org/10.1029/98EO00206
- Lan, T., Shao, G., Xu, Z., Tang, L., & Dong, H. (2023). Considerable role of urban functional form in low-carbon city development. *Journal of Cleaner Production*, *392*, 136256. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136256
- Lehmann, S. (Ed.). (2014). Low carbon cities: Transforming urban systems. Routledge. ISBN: 1317659147, 9781317659143
- Li, S., Zhou, C., Wang, S., & Hu, J. (2018). Dose urban landscape pattern affect CO2 emission efficiency? Empirical evidence from megacities in China. *Journal of Cleaner Production*, 203, 164-178. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.194
- Liu, Z., Ma, J., & Chai, Y. (2017). Neighborhood-scale urban form, travel behavior, and CO2 emissions in Beijing: implications for low-carbon urban planning. *Urban Geography*, 38(3), 381-400. https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1191796
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. (2020). Urban climates and climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 411-444. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623
- Malekpourasl, B. And Boostani, P. (2022). Collaborative Planning to Achieve a Low Carbon City in Tehran Metropolis. *Journal of Geography and Planning*, 26(81), 226-209. [In Persian] Doi: 10.22034/Gp.2021.46529.2856
- McKibben, B. (2006). *The end of nature*. Random House Trade Paperbacks.
- Mishra, V., Ganguly, A. R., Nijssen, B., & Lettenmaier, D. P. (2015). Changes in observed climate extremes in global urban areas. Environmental Research Letters, 10(2), 024005. doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024005
- Mohammadpour, S., & Mehrjou, M. (2020). Evaluating The Sustainability of Urban Neighborhoods with a Low Carbon Approach; Case Study: Jowlan Neighborhood Of Hamadan. *Journal of Community Development (Rural and Urban Communities)*,12(1), 21-50. [In Persian] Sid. Https://Sid.Ir/Paper/954501/En
- Mohamed Yusoff, A. F., Hashim, A., Muhamad, N., & Wan Hamat, W. N. (2021). Application of fuzzy delphi technique to identify the elements for designing and developing the e-PBM PI-Poli module. *Asian Journal of University Education (AJUE)*, 7(1), 292-304. https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/53697
- Moniri, F., Asghari, H., Pourshikhan, A., & Hasani Mehr, S. S. (2021). Evaluation of the Role of Transportation in Achieving Low-Carbon Cities Using the MICMAC Method (Case Study: Jolfa and Jananloo Cities in Aras Free Zone). *Journal of Geographic Sciences, Islamic Azad University of Mashhad*, *37*(17), 1-16. [In Persian] https://civilica.com/doc/1575543
- Noorian,F. , Fathejalali,A. and Savojbolaghi,T. (2021). Analyzing the Effects of Land Use and Transportation Network on Greenhouse Gas Emissions Based on Low-Carbon City Approach. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 14(35), 311-330. [In Persian] doi: 10.22034/aaud.2021.142938.1638
- Nakamura, K., & Hayashi, Y. (2013). Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects. *Transport Policy*, 29, 264-274. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.003
- Newman, P., Kosonen, L., & Kenworthy, J. (2016). Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency. *Town Planning Review*, 87(4), 429-458.

doi:10.3828/tpr.2016.28
- Niu, F., Wang, F., & Chen, M. (2019). Modelling urban spatial impacts of land-use/transport policies. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 197-212. https://doi.org/10.1007/s11442-019-1592-3
- Pozzer, A., Anenberg, S. C., Dey, S., Haines, A., Lelieveld, J., & Chowdhury, S. (2023). Mortality attributable to ambient air pollution: A review of global estimates. *GeoHealth*, 7(1), e2022GH000711. https://doi.org/10.1029/2022GH000711
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Our World in Data—Urbanization. *Our World in Data*. https://ourworldindata.org/urbanization
- Roosta, M. , Javadpoor, M. and Ebadi, M. (2020). Developing a "Low-Carbon Neighborhood Model" in Order to Implement It in the Urban Planning & Design. *Urban Planning Knowledge*, 4(1), 33-48. [In Persian] doi: 10.22124/upk.2020.15513.1383
- Pringle, A., & Robbins, D. (2022). From denial to delay: Climate change discourses in Ireland. Administration, 70(3), 59-84. doi: https://doi.org/10.2478/admin-2022-0019
- Sharifi, A. (2021). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the total environment*, 750, 141642. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141642
- Shamaei, A., & Pour Ahmad, A. (2005). *Urban Rehabilitation and Renewal from the Perspective of Geography*. Tehran: Tehran University Press. [In Persian]
- Sheikhi, S., Habib, F., & Habib, F. (2022). Developing Conceptual and Evaluative Model of Low Carbon Cities. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(8 (123)), 61-75. [In Persian] Sid. Https://Sid.Ir/Paper/1063696/En
- Sun, C., Zhang, Y., Ma, W., Wu, R., & Wang, S. (2022). The impacts of urban form on carbon emissions: A comprehensive review. *Land*, 11(9), 1430. https://doi.org/10.3390/land11091430
- Statistical Centre of Iran. (2022). Statistical Yearbook of Fars Province. [In Persian] https://www.amar.org.ir
- Tavassoli, M. (1989). Old Texture: An Introduction to the Issue. *Seminar on the Continuation of Life in the Old Texture of Iranian Cities*, 23-25. [In Persian] https://sid.ir/paper/467916/fa
- Tang, M., & Hu, F. (2021). How does land urbanization promote CO2 emissions reduction? Evidence from Chinese prefectural-level cities. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 766839. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.766839
- Wang, X., Wang, G., Chen, T., Zeng, Z., & Heng, C. K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. Sustainable Cities and Society, 90, 104381. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104381
- Wang, X., Zhao, G., He, C., Wang, X., & Peng, W. (2016). Low-carbon neighborhood planning technology and indicator system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1066-1076. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.076
- Wang, X., Zhao, G., He, C., Wang, X., & Peng, W. (2016). Low-carbon neighborhood planning technology and indicator system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1066-1076. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.076
- Yazdani, M.H., & Pourahmad, Ahmad. (2007). The Influence of Modernism Upon the Physical Transformation of Iranian-Islamic Cities (Tabriz'as Case Study). *Geographical Research*, 22(1(84)), 29-52. [In Persian] SID. https://sid.ir/paper/29739/en
- Yang, S., Zhan, Q., Zhang, K., & Paryzat, H. (2024). Urban Texture Identification and Characteristic Analysis Based on Percolation Theory—A Case Study of the Second Ring Road Area in Wuhan City. *Land*, 13(5), 717. https://doi.org/10.3390/land13050717
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management decision*, 57(9), 2501-2519. DOI: 10.1108/MD-05-2017-0458
- Yu, Y. (2022). Explore the theoretical basis and implementation strategy of low-carbon Urban Community Planning. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 989318. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.989318
- Zeng, X., Fan, D., Zheng, Y., & Li, S. (2024). Exploring the Differentiated Impact of Urban Spatial Form on Carbon Emissions: Evidence from Chinese Cities. *Land*, 13(6), 874. https://doi.org/10.3390/land13060874

- Ziyari, K. (2009). *New Cities Planning*. Tehran: SAMT Publications. [In Persian]
- Zhang, M. (2021). Research on strategies of low-carbon city planning and construction. In *E3S Web of Conferences*, Vol. 248. 02037. EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124802037
- Zhao, G. C., Wang, X. M., & Li, X. K. (2017). Life-Cycle Low-Carbon Neighborhood: A Genetic Perspective in China. *Applied Mechanics and Materials*, 858, 249-254. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.858.249
- Zhu, Y., & Hu, Y. (2023). The correlation between urban form and carbon emissions: a bibliometric and literature review. *Sustainability*, 15(18), 13439. https://doi.org/10.3390/su151813439

Note for Readers:

This paper contains an identical English abstract in two sections:

Abridged Paper: To provide an overview for international readers.

Persian Section: To meet the standardized structure of Persian academic publications.

This repetition is intentional to ensure alignment with academic standards and facilitate readability for both audiences. Readers are encouraged to review the full paper for comprehensive details.

یادداشت برای خوانندگان:

این مقاله شامل یک چکیده انگلیسی در دو بخش است:

بخش Abridged Paper: برای ارائه یک دید کلی به خوانندگان بین‌المللی.

بخش فارسی: به‌منظور رعایت استانداردهای ساختار مقالات علمی فارسی.

تکرار این چکیده، با هدف انطباق با استانداردهای علمی و تسهیل مطالعه برای هر دو گروه از مخاطبان طراحی شده است. خوانندگان می‌توانند برای دریافت جزئیات کامل، به متن اصلی مقاله مراجعه کنند.

© [2026] by the author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). The authors retain copyright, and this work may be shared and redistributed with proper attribution.
License link: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

CC BY 4.0

© [۲۰۲۶] نویسنده(گان). این مقاله تحت مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) منتشر شده است. نویسنده(گان) مالک حقوق مادی و معنوی اثر خود هستند، و این مقاله می‌تواند با ذکر منبع مورد استفاده، بازنشر و توزیع شود.
لینک مجوز: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران. دوره ۲. شماره ۲. صفحات ۱۰۲-۷۵. ۱۴۰۴

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران
Iranian Urban Design Studies (IUDS)
https://iuds.shirazu.ac.ir/

doi 10.22099/IUDS.2025.54763.1064

مقاله علمی - پژوهشی

ارائهٔ راهبردها و سیاست‌های تحقق محله‌های کم‌کربن براساس ویژگی‌های کالبدی بافت‌های مختلف شهری مطالعهٔ موردی: محله‌های منتخب شهر شیراز*

مریم تحسیری[۱]، علی‌رضا صادقی[۲]**

۱. دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. دانشیار، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

نکات شاخص

- این پژوهش برای اولین بار ظرفیت کالبدی انواع بافت‌های شهری در تحقق محلهٔ کم‌کربن را بررسی کرده است.
- بافت‌های میانی نسبت به بافت‌های جدید و قدیمی، ظرفیت مناسب‌تری برای تحقق محلهٔ کم‌کربن دارند.
- استفاده از متأخرترین مدل فازی توسعه‌یافته، قطعیت نداشتن وزن‌دهی شاخص‌ها را به حداقل رساند.
- حمل‌ونقل عمومی، انطباق کاربری با اقلیم و سرانهٔ فضای سبز از عوامل بنیادی محلهٔ کم‌کربن هستند.

چکیده

با توجه به اهمیت روزافزون چالش‌های زیست‌محیطی و ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، شهرها نقش محوری در کنترل تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. محله‌های شهری در ادوار مختلف توسعهٔ شهر و متناسب با دانش و رویکردهای هر دوره شکل گرفته‌اند و از ویژگی‌های کالبدی متمایزی برخوردارند. توجه به ماهیت فیزیکی و تیپولوژی بافت‌های گوناگون شهری در طراحی و برنامه‌ریزی محله‌های کم‌کربن، موضوعی است که در مطالعات پیشین کمتر تأکید شده است. براین‌اساس، پژوهش حاضر با هدف رتبه‌بندی انواع بافت‌های شهری با توجه به ظرفیت کالبدی آن‌ها و ارائهٔ راهبردها و سیاست‌های اجرایی تحقق شاخص‌های محلات کم‌کربن انجام شده است. برای این منظور، محله‌های سنگ‌سیاه، وصال و ولی‌عصر قصرالدشت در شیراز به‌عنوان ۳ محلهٔ منتخب از بافت قدیمی و تاریخی، بافت میانی و بافت جدید جهت نمونهٔ مطالعه تحلیل شدند. این پژوهش به‌لحاظ روش‌شناسی در دستهٔ پژوهش‌های خبره‌محور قرار دارد؛ ازاین‌رو برای گردآوری داده با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی ۷ نفر از کارشناسان و پژوهشگران حوزهٔ طراحی و برنامه‌ریزی شهری انتخاب شده‌اند. به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌ها از رویکرد فازی شهودی دایره‌ای روش سوارا (CIF SWARA) و جهت رتبه‌بندی انواع بافت‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره کوکوسو (CoCoSo) استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که به‌طور عام شاخص‌های سیستم حمل‌ونقل عمومی، انطباق مکانی کاربری‌ها با ویژگی‌های اقلیمی و سرانهٔ فضای سبز با بیشترین سطح تأثیرگذاری به‌عنوان شاخص‌های بنیادی در تحقق محلهٔ کم‌کربن هستند؛ درحالی‌که شاخص‌هایی مانند تقویت زیرساخت‌های اینترنت پرسرعت و نساختن پارکینگ عمومی به‌عنوان عوامل پشتیبان و تکمیلی، تأثیرگذار هستند. لازم به ذکر است که اولویت شاخص‌های تحقق محلهٔ کم‌کربن با توجه به ویژگی‌های کالبدی موضع مداخلاتی تقدم‌وتأخر متفاوتی دارند؛ بنابراین در راستای ارائهٔ راهبردها و سیاست‌های اجرایی مؤثرتر، توجه به ظرفیت‌ها و ویژگی‌های متمایز هر نوع بافت شهری (تاریخی، میانی و جدید) امری حائز اهمیت است.

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۴۰۴/۰۲/۲۰
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۴/۱۷
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

واژگان کلیدی

تغییرات اقلیمی
محلهٔ کم‌کربن
بافت شهری
سوارا فازی شهودی دایره‌ای
کوکوسو.

© [۲۰۲۶] نویسنده(گان).

نحوهٔ ارجاع دهی به این مقاله

تحسیری، مریم.، و صادقی، علی‌رضا. (۱۴۰۴). ارائهٔ راهبردها و سیاست‌های تحقق محله‌های کم‌کربن براساس ویژگی‌های کالبدی بافت‌های مختلف شهری (مطالعهٔ موردی: محله‌های منتخب شهر شیراز). *نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران*، ۲(۲)، ۱۰۲-۷۵.

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان « تبیین چگونگی اثرگذاری مؤلفه‌های تغییرات اقلیمی بر ابعاد هویت مکان در سطح محله‌های شهری. مورد پژوهی: محله‌های منتخب شهر شیراز » به راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه شیراز می باشد.

** آدرس پستی نویسندهٔ مسئول: arsadeghi@shirazu.ac.ir

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران. دوره ۲. شماره ۲. صفحات ۱۰۲-۷۵. ۱۴۰۴

نشریهٔ علمی مطالعات طراحی شهری ایران
Iranian Urban Design Studies (IUDS)
https://iuds.shirazu.ac.ir/

Original Research Paper

Presenting Strategies and Policies for Realizing Low-Carbon Neighborhoods Based on the Physical Characteristics of Various Urban Fabrics Case Study: Selected Neighborhoods of Shiraz *

Maryam Tahsiri[1], Ali Reza Sadeghi[2]**

1. PhD Candidate in Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Highlights

- The novelty of this paper is to evaluate the physical potential of different urban fabric types in achieving low-carbon neighborhoods.
- Internal urban fabrics demonstrate greater potential for realizing low-carbon neighborhoods compared to both old/historic and new fabrics.
- The application of the most recent extension fuzzy model, minimized uncertainty in criteria weighting.
- Public transportation, climate-responsive land use, and per-capita green space are identified as fundamental factors in low-carbon neighborhoods.

Abstract

Given the increasing importance of environmental challenges and the urgent need to reduce greenhouse gas emissions, cities play an important role in mitigating climate change. Urban neighborhoods have taken shape during various phases of urban development, reflecting the knowledge and approaches characteristic of each era, and thus exhibit distinct physical features. Paying attention to the physical nature and typology of diverse urban fabrics in the design and planning of low-carbon neighborhoods is a topic that has received limited emphasis in previous studies. This study aimed to rank different urban fabric types based on their physical potential and propose practical strategies to achieve low-carbon neighborhood indicators. To this end, three neighborhoods in Shiraz, SangeSiah (historic/old fabric), Vesal (internal fabric), and Valiasre Qasre Dasht (new fabric) were selected as case studies.
Methodologically, this was an expert-oriented research. Data was collected from 7 urban studies experts using the snowball sampling method. The study employed a multi-criteria decision-making framework: the Circular Intuitionistic Fuzzy SWARA (CIF SWARA) approach was used for weighting the indicators, and the CoCoSo method was employed for ranking the different urban fabric types. The results highlight that, overall, the most impactful and fundamental indicators for achieving a low-carbon neighborhood are the public transportation system, the spatial adaptation of land uses to climatic characteristics, and the per-capita green space. Conversely, indicators such as strengthening high-speed internet infrastructure and avoiding the construction of public parking lots play supportive and complementary roles. Crucially, the research found that the priority of indicators varies significantly depending on the specific physical characteristics of the intervention area. Therefore, to propose effective strategies and implementation policies for realizing low-carbon goals, it is of critical importance to pay close attention to the unique capacities and distinctive features of each type of urban fabric (historical, internal, and new).

Article Info

Received	10/05/2025
Revised	22/06/2025
Accepted	08/07/2025
Available Online	20/01/2026

Keywords

Climate Change
Low-Carbon Neighborhood
Urban Fabric
Circular Intuitionistic Fuzzy
SWARA
CoCoSo.

© [2026] by the author(s).

Citation of the article

Tahsiri, M., & Sadeghi, A. R. (2026). Presenting Strategies and Policies for Realizing Low-Carbon Neighborhoods Based on the Physical Characteristics of Various Urban Fabrics (Case Study: Selected Neighborhoods of Shiraz). *Iranian Urban design studies,* 2(2), 75-102.

* This article is extracted from the PhD dissertation of the first author entitled “The Impact of Climate Change Factors on the Dimensions of Place Identity at Urban Neighborhoods Scale. Case Study: Shiraz Neighborhoods ”, conducted under the supervision of the second author at Shiraz University.

** Author Corresponding: Email: arsadeghi@shirazu.ac.ir

مقدمه

اقلیم شهری به‌عنوان جزئی از سیستم کلان جوی، عبارت است از مجموعه‌ای از شرایط آب‌وهوایی که در مناطق شهری تحت‌تأثیر فعالیت‌ها و ساختارهای انسانی، نسبت به مناطق روستایی اطراف، تغییر می‌کند و ویژگی‌های خاصی می‌یابد. این تغییرات شامل افزایش دما (پدیدۀ جزیرۀ گرمایی)، تغییر در الگوی وزش باد (کاهش سرعت باد، ایجاد جریان‌های هوایی خاص)، تغییر در پوشش ابر و بارش (افزایش ابر و بارش در برخی شرایط) و تأثیرگذاری بر کیفیت هوا (تجمع آلاینده‌ها به‌دلیل ساختار دمایی و جریان‌های هوایی خاص) است (Masson et al., 2020: 420). براین‌اساس، شهرها را می‌توان به‌عنوان نقاط مرکزی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشگیری از تغییرات اقلیمی دانست (Grafakos et al., 2019: 89). افزایش فراوانی و شدت رویدادهای آب‌وهوایی جدی نظیر امواج گرمایی در دهه‌های اخیر حاکی از تشدید پدیدۀ تغییرات اقلیمی در بافت‌های شهری سراسر جهان است (Mishra et al., 2015). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که شهرها در پی تجربۀ تغییرات اقلیمی، افزایش دمای ۲ تا ۸ درجۀ سانتی‌گرادی را نیز تجربه خواهند کرد (Huang et al., 2019). کلان‌شهرها، هرچند در مقیاس سامانه‌های جوی کلان، ساختارهایی محلی به شمار می‌روند؛ اما به‌دلیل اثرات حرارتی و محیطی برجسته، بر متغیرهای جوی پیرامون خود تأثیر گذاشته و در تشدید یا تعدیل پیامدهای تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های گوناگون نقش قابل‌توجهی دارند (Masson et al., 2020: 423). در فرایند جهانی توسعۀ شهری، ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر ظرفیت‌های اکوسیستم‌ها در ارائۀ خدمات ضروری، موضوعی محوری است (Wang et al., 2021). اکوسیستم‌های شهری با ارائۀ خدمات گسترده‌ای که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم رفاه انسانی و پایداری عملکرد شهری را تضمین می‌کنند، در برابر تشدید تغییرات اقلیمی با فشارهای مضاعفی روبه‌رو هستند (Weiskopf et al., 2020). امروزه شهرها را می‌توان مانند خانه‌ای دانست که اکثریت جمعیت جهان را در خود جای داده است و متولی انتشار حدود ۸۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای و ۷ درصد گاز دی‌اکسیدکربن هستند (Gurney et al., 2015; Huang et al., 2022). درحالی‌که شهرها فقط ۲درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند (Huang et al., 2022: 1)، می‌توانند به‌عنوان نقاط کانونی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشگیری از تغییرات اقلیمی قلمداد شوند (Grafakos et al., 2019). براساس گزارش‌های منتشرشده در سال ۲۰۲۱، آلودگی هوا به‌عنوان چهارمین عامل خطر مرگ‌ومیر در سطح جهانی شناخته شده و به‌عنوان برجسته‌ترین تهدید زیست‌محیطی برای سلامت بشر معرفی شده است(Pozzer et al., 2023).

الگوی توسعۀ شهرها بر میزان مصرف انرژی درزمینۀ حمل‌ونقل، رفتار و تقاضای سفر، الگوی کاربری زمین و جانمایی فعالیت‌ها نقش چشمگیری دارد(Alonso et al., 2017: 399; Sun et al., 2022:12). به‌طورکلی می‌توان بین کاربری زمین و حمل‌ونقل رابطۀ مستقیمی متصور شد و این دو عامل را به‌عنوان پایه‌ای‌ترین عوامل توسعۀ فیزیکی شهر دانست(Niu et al., 2019). کالبد و سازمان‌دهی فضایی شهر مستقیماً به‌عنوان عاملی قابل مدیریت و ابزاری مؤثر برای کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. متخصصان حوزۀ طراحی و برنامه‌ریزی شهری با مداخله در مقیاس‌های میانی و خرد، نظیر محله‌ها و بلوک‌های شهری، قادر به مداخلات نسبتاً سریع، مؤثر و مقرون‌به‌صرفه هستند (Zhu & Hu, 2023:1; Jamali et al., 2025).

محله‌های شهری به‌مثابۀ اساسی‌ترین واحد عملکردی در شهر، نقطۀ بهینه و عملیاتی برای طراحی محلۀ کم‌کربن و طبعاً شهر کم‌کربن شناخته می‌شود (Zhao et al., 2017). فرم محیط ساخته‌شده و تیپولوژی برآمده از تراکم ساختمانی در مقیاس محله، از طریق ۲ بعد اساسی کاربری زمین و شبکۀ حمل‌ونقل بر تقویت پیاده‌محوری و کاهش مسافت‌های سفر روزانۀ افراد و درنتیجه ردپای کربن تأثیر می‌گذارد (Jamali et al., 2025:8).

شهر شیراز در یک دهۀ اخیر شاهد تغییراتی در شرایط اقلیمی و همچنین افزایش آلودگی هوا بوده است (عطایی و فنایی، ۵۷: ۱۳۹۲). این شهر مانند سایر شهرها دربرگیرندۀ محله‌هایی با ویژگی‌های ساختاری و بافت‌های متفاوت است که در سه بافت متمایز (تاریخی و قدیمی، میانی و جدید) طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به سازمان فضایی، الگوی تراکم و فرم کالبدی متفاوتی که این بافت‌ها دارند، انتظار می‌رود از ظرفیت‌ها و چالش‌های متفاوتی در تحقق شاخص‌های محلۀ کم‌کربن برخوردار باشند.

این پژوهش علاوه بر نوآوری محتوایی، از نظر تمرکز بر ساختار و ظرفیت کالبدی انواع بافت‌های شهری در تحقق شاخص‌های کالبدی محلۀ کم‌کربن، به‌لحاظ به‌کارگیری روش وزن‌دهی به شاخص‌های محلۀ کم‌کربن(CIF SWARA) و به‌دنبال آن روش رتبه‌بندی انواع بافت‌های شهری (CoCoSo) نیز دارای نوآوری است و در بین مطالعات داخلی حوزۀ محلۀ کم‌کربن تاکنون پژوهشی با روش ترکیبی CIF SWARA-CoCoSo انجام نشده است.

با توجه به این موضوع، هدف اصلی پژوهش حاضر رتبه‌بندی بافت‌های مختلف شهری (تاریخی و قدیمی، میانی و جدید) براساس ظرفیت و پتانسیل برآمده از ساختار کالبدی آن بافت و ارائۀ راهبردها و سیاست‌های اجرایی در تحقق شاخص‌های کالبدی محلۀ کم‌کربن است. این پژوهش در راستای نیل به این هدف سؤال‌های زیر را پاسخ می‌دهد:

- اولویت شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن در محله‌های منتخب شهر شیراز (سنگ‌سیاه، وصال و ولی‌عصر قصرالدشت) به چه صورت است؟
- رتبه‌بندی انواع بافت‌های شهری با توجه به محلات منتخب (سنگ‌سیاه، وصال و ولی‌عصر قصرالدشت) در تحقق شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن چگونه است؟
- پیشنهادهای کاربردی جهت تحقق محلهٔ کم‌کربن در هر نوع بافت شهری با توجه به محلات منتخب (سنگ‌سیاه، وصال و ولی‌عصر قصرالدشت) چیست؟

مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

مبحث تغییرات اقلیمی نخستین‌بار توسط آرنیوس، شیمی‌دان سوئدی مورد توجه واقع شد. وی در سال ۱۸۹۶ به بررسی اثرات گازهای گلخانه‌ای بر دمای هوا پرداخت و وقوع گرمایش جهانی را نتیجهٔ افزایش این گازها در جو دانست (Lapenis, 1998). بسیاری از ذی‌نفعان اقتصادی و سیاسی ضمن انکار این مشکل، درک جمعی مردم از اهمیت این موضوع را تحریف کردند. مردم نیز اگرچه از وجود این چالش آگاه بودند، اما آن را نسبت به سایر دغدغه‌های موجود کم‌اهمیت‌تر می‌دانستند و بر دخالت نکردن فعالیت‌های انسانی در کنترل این چالش معتقد بودند (Pringle & Robbinon, 2022: 71). در اوایـل قرن بیستم، گای استوارت کالندر، مهندس بریتانیایی با استفاده از داده‌های هواشناسی، به افزایش دمای بیش از ۰.۲ درجهٔ سانتی‌گراد در فاصلهٔ زمانی ۱۸۹۰ تا ۱۹۵۰ پی‌برد و فعالیت‌های انسانی را منشأ اصلی افزایش تولید دی‌اکسیدکربن و درنتیجه گرمایش جهانی دانست (Mckibben, 1989: 94). در اوایـل قرن بیستم، رابرت پارک جامعه‌شناس آمریکایی در نظریهٔ اکولوژی شهری خویش، شهر را سیستمی پویا و ارگانیسمی اجتماعی در نظر گرفت که در آن افراد برای بهره‌برداری از منابع و اشغال فضا با یکدیگر رقابت داشته، تعاملی دائمی با محیط‌زیست دارند و تغییراتی را در آن ایجاد می‌کند(Grimm et al., 2008: 756).

پروتکل کیوتو به‌عنوان نخستین گام مؤثر در جهت مقابله با تغییرات اقلیمی است که از سال ۲۰۰۵ به اجرا درآمد. این پروتکل اهداف مشخصی را برای کشورهای صنعتی و اقتصادهای در حال گذار به‌منظور محدودسازی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین کرد که بر پایهٔ تعهدات تعدادی از کشورها در چهارچوب کنوانسیون سازمان ملل متحد دربارهٔ تغییرات اقلیمی تنظیم شده بودند(Gupta, 2016).

در سال ۲۰۱۵ نیز توافق پاریس به‌عنوان نخستین توافق جامع جهانی درزمینهٔ تغییرات اقلیمی مطرح شد و تمامی کشورها را متعهد به اجرای سیاست‌های اقلیمی ساخت. این توافق تلفیقی از رویکردهای «از پایین به بالا» و «از بالا به پایین» در حکمرانی جهانی اقلیم به شمار می‌رود (Dim-itrov, 2016). اصطلاح شهر کم‌کربن که مانند چتری رویکردهای مختلف شهر پایدار را در بر می‌گیرد، از این زمان متداول شد و اشکال مختلفی از تئوری‌های توسعهٔ پایدار شهری را در مقیاس‌های مختلف شامل شد. شهرهای کم‌کربن، مصرف کربن را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهند و تولید گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، را به حداقل می‌رسانند(Lehman, 2014:47). بافت شهری به چگونگی آرایش و ارتباط متقابل فضاها و عناصر شهری (مانند بلوک‌ها و محله‌ها) اشاره دارد که از طریق دانه‌بندی و درهم‌تنیدگی شکل می‌گیرد و تابع ویژگی‌های محیط طبیعی، مانند توپوگرافی و اقلیم است (توسلی، ۲۵:۱۳۶۸). ایـن ساختار پویا، الگوهای رشد و تحول شهر را در گذر زمان نشان می‌دهد و شامل شبکهٔ معابر و ویـژگی‌های حجمی فضاهای کالبدی است (شماعی و پور احمد، ۱۳۸۴؛ Yang et al., 2024:2).

میزان انرژی مصرفی در یک شهر را می‌توان در مقیاس‌های جزئی ازجمله محله پیگیری کرد (ملک‌پور اصل و بوستانی، ۲۱۲:۱۴۰۱). بسیاری از معیارهای کالبدی، ازجمله میزان فشردگی بافت، تراکم ساختمانی و میزان دسترسی و مرکزیت بر انتشار کربن تأثیر دارند و باید در الگوهای توسعهٔ شهری در دوره‌های مختلف مطالعه شوند(Zhang et al., 2021). مفهوم محلهٔ کم‌کربن که از اوایل قرن ۲۱ توجه شد، به ایجاد تعادل بین کاهش تولید کربن و گسترش فرایند جذب و سینک کربن در محله اشاره دارد(Wang et al., 2016:1067).

بافت محله می‌تواند به‌صورت مستقیم از طریق الگوی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، نوع کاربری زمین، شبکهٔ حمل‌ونقل و زیرساخت‌های انرژی و به‌صورت غیرمستقیم از طریق رفتار ساکنان و الگوی زندگی آن‌ها بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن اثر بگذارد (Calderon et al., 2024:1). تراکم ساختمانی، نوع مصالح و عمر بناها از عوامل کلیدی در تعیین کارایی انرژی و درنتیجه میزان مصرف سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شوند. برای مثال، در محله‌هایی با ساختمان‌های قدیمی یا فاقد بهینه‌سازی انرژی، اتلاف گرما در زمستان و نیاز به سرمایش در تابستان بسیار زیاد است و ایـن امر به افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن منجر می‌شود (Guo et al., 2014: 82).

کانزن، مورفولوژیست انگلیسی، در پی گونه‌شناسی انواع بافت‌های شهری در سال ۱۹۶۰، معتقد است تغییرات کالبدی شهر حاصل فرایندهای تاریخی و تجمعی است که در قالب لایه‌های زمانی مختلف در ساختار فضایی شهر نهادینه می‌شوند. براین‌اساس، هر بافت شهری نوعی «ساختار درونی» دارد که از ترکیب الگوهای فضایی و کالبدی گذشته و حال ایجاد شده و از یک حافظهٔ تاریخی برخوردار است. این نظریه با تأکید بر

پیوستگی کالبدی بافت‌ها و درک تاریخی از ساخت فضایی، چهارچوبی برای تحلیل تحولات درونی شهر و شناخت الگوهای پایدار در توسعۀ شهری فراهم می‌کند(Conzen, 1960).

همچنین نظریۀ پرکولیشین[1] که نخستین‌بار در سال ۱۹۵۰ میلادی فیزیک‌دانان برای مطالعۀ چگونگی سیالیت مواد در محیط‌های متخلخل ارائه کردند، در سال ۲۰۰۹ وارد مطالعات شهری شد. این نظریه بافت شهر را سامانه‌ای پیچیده می‌داند که از تعاملات موضعی و تدریجی میان قطعات شکل می‌گیرد. در این مدل، شهر به‌صورت شبکه‌ای از پیوندهای کالبدی تعریف می‌شود که با افزایش تراکم شبکه و بسترهای ارتباطی به «آستانۀ تراوش» می‌رسد؛ جایی که نواحی پراکنده به‌صورت خودسازمان‌یافته به هم متصل شده و ساختار پیوستۀ شهری را تشکیل می‌دهند. تحلیل‌ها نشان می‌دهند توزیع اندازۀ قطعات زمین در بافت مرکزی شهرها از الگویی نمایی و فراکتالی پیروی می‌کند که بیانگر رشد تدریجی و خودسازمان‌یافتۀ نظام شهری است(Bitner et al., 2009).

به‌طورکلی در گونه‌شناسی بافت‌های شهری می‌توان به بافت‌های تاریخی و قدیمی، بافت‌های میانی و بافت‌های جدید اشاره کرد. بافت تاریخی و قدیمی شهر که با عنوان بافت پیاده‌مدار نیز از آن یاد می‌شود، شامل هستۀ اولیۀ شهرها و توسعه‌های پیرامونی آن هستند که بافت‌هایی با تراکم جمعیتی زیاد و خیابان‌هایی کم‌عرض را در بر می‌گیرند (Newman et al., 2016:433). این نوع بافت‌ها در ایران شامل ابنیه و فضاهایی هستند که تا سال ۱۳۰۰ هجری شمسی شکل‌گرفته‌اند (شماعی و پوراحمد، ۸۵:۱۳۸۴). بافت‌های میانی شامل ابنیه و فضاهایی هستند که از اوایل سال ۱۳۰۰ هجری شمسی تا اوایل دهۀ ۴۰، گرداگرد بافت تاریخی و قدیمی ایجاد شده‌اند. این بافت‌ها با احداث خیابان‌هایی جدید در اطراف بافت‌های تاریخی و قدیمی و همچنین ساختار فضایی با برنامه، بافت‌های تاریخی و قدیمی را در حاشیه پشتیبانی می‌کنند و از تنوع کاربری بیشتری برخوردارند. همچنین به‌لحاظ جهت‌گیری ساختمان‌ها تا حدی به شرایط اقلیم آن شهر مقیدند (زیـاری و همکاران، ۲۲۴:۱۳۸۸)

از دهۀ ۱۳۴۰ به بعد، تحولات ساختاری و فناورانه، همراه با مهاجرت گسترده به شهرها، به شکل‌گیری بافت‌های نوین در اطراف محدوده‌های قدیمی منجر شد. توسعه‌های عمرانی مانند بهسازی معابر و ایجاد فضاهای جدید (ساختمان‌های دولتی، مراکز اداری و پارک‌ها)، ساخت‌وساز را تسریع کرد و بافت‌های جدید شهری را شکل داد (یـزدانی و پوراحمد، ۳۲:۱۳۸۶). ایـن بافت‌ها براساس دوره‌های تاریخی، شاخص‌های کالبدی متفاوتی دارند و طبیعتاً از ظرفیت‌های متفاوتی در تحقق محلۀ کم‌کربن برخوردارند.

در ادامه جهت آشنایی با پیشینۀ پژوهش موجود، متأخرترین مطالعات داخلی و خارجی مرتبط با حوزۀ شهر و محلۀ کم‌کربن تحلیل شده است. در سطح داخلی، پژوهش‌ها عمدتاً بر ارزیابی عوامل کاهش کربن در مقیاس شهری و محلی تأکید دارند و اغلب از روش‌های کمی مانند تحلیل عاملی، رتبه‌بندی متغیرها و اولویت‌بندی شاخص‌ها بهره می‌برند. برای مثال، جبارپور مهرآباد و عابدینی (۱۴۰۲) در مطالعۀ امکان‌سنجی رویکرد کم‌کربن در شهر ارومیه، با استفاده از تحلیل عاملی و نرم‌افزار SPSS، عوامل حمل‌ونقلی را به‌عنوان اولویت اصلی شناسایی کرده‌اند و سیاست‌هایی مانند اصلاح شبکۀ شهری، توسعۀ پیاده‌راه‌ها و تشویق به حمل‌ونقل عمومی را پیشنهاد می‌دهند. این یافته با پژوهش منیری و همکاران (۱۴۰۰) که با استفاده از نرم‌افزار Micmac بر متغیرهای حمل‌ونقلی تمرکز کرده و اولویت توسعۀ زیرساخت‌های تکنولوژیکی و اتصالات شبکه را برجسته می‌سازد، هم‌خوانی دارد. هر دو مطالعه نشان‌دهندۀ تمرکز غالب بر بخش حمل‌ونقل به‌عنوان اهرم کلیدی کاهش کربن هستند؛ اما کمتر به جنبه‌های کالبدی بافت شهری می‌پردازند. در مقابل، محمدپور و مهرجو (۱۳۹۹) و روستا و همکاران (۱۳۹۹) به مقیاس محله‌ای نزدیک‌تر شده‌اند. محمدپور و مهرجو با بررسی هم‌بستگی شاخص‌های فرمی محلۀ کم‌کربن با پایداری در شهر همدان، بر اهمیت فرم شهری تأکید می‌کند. روستا و همکاران نیز با استفاده از روش دنپ، شاخص‌هایی مانند فشردگی بافت و زیرساخت‌های پیاده‌مداری را با بیشترین اولویت در تحقق محلۀ کم‌کربن شناسایی می‌کنند. این پژوهش‌ها حاکی از روندی روبه‌رشد در ادبیات داخلی هستند که از تمرکز کلان بر حمل‌ونقل به‌سمت شاخص‌های کالبدی محلی متمرکز شده‌اند؛ هرچند هنوز فاقد تحلیل جامع بر انواع بافت‌های شهری (تاریخی، میانی و جدید) هستند.

در سطح خارجی، مطالعات بر نقش ساختار فضایی و راهبردهای برنامه‌ریزی در کاهش انتشار کربن تمرکز دارند و اغلب از روش‌های محاسباتی مانند ضریب کشش یا تحلیل ساختار فضایی استفاده می‌کنند. زنگ و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی تجانس ساختار فضایی شهرها، نتیجه می‌گیرند که بافت‌های متمرکز شهری انتشار کربن کمتری دارند؛ چراکه این یافته با تأکید مطالعات داخلی بر فشردگی بافت هم‌راستاست. چن و همکاران (۲۰۲۴) درزمینۀ استراتژی ملی کم‌کربن چین، راهبردهای نوآوری تکنولوژیکی و انرژی تجدیدپذیر در حمل‌ونقل راهبردهای کلیدی می‌دانند و بر جنبه‌های ملی و چشم‌انداز بلندمدت تأکید می‌کنند. ژانگ (۲۰۲۱) نیز در مطالعۀ شهر شنزن، با محاسبۀ ضریب کشش، شاخص‌هایی مانند اختلاط کاربری، تراکم ساختمانی و الگوهای رفتاری را بررسی می‌کند و راهبردهای انرژی کم‌مصرف در حمل‌ونقل را برجسته می‌سازد. این پژوهش‌ها به‌طورکلی نشان‌دهندۀ رویکردی یکپارچه‌تر بین عوامل اقتصادی، اجتماعی و کالبدی هستند؛ اما مانند مطالعات داخلی، بیشتر در مقیاس کلان باقی مانده و کمتر به جزئیات محلی مانند تفاوت بافت‌های شهری پرداخته‌اند.

پژوهش حاضر به‌طور هم‌زمان سه نوع بافت شهری متمایز (تاریخی‌قدیمی، میانی و جدید) را به‌عنوان نماینده‌های ساختار کالبدی شهر شیراز

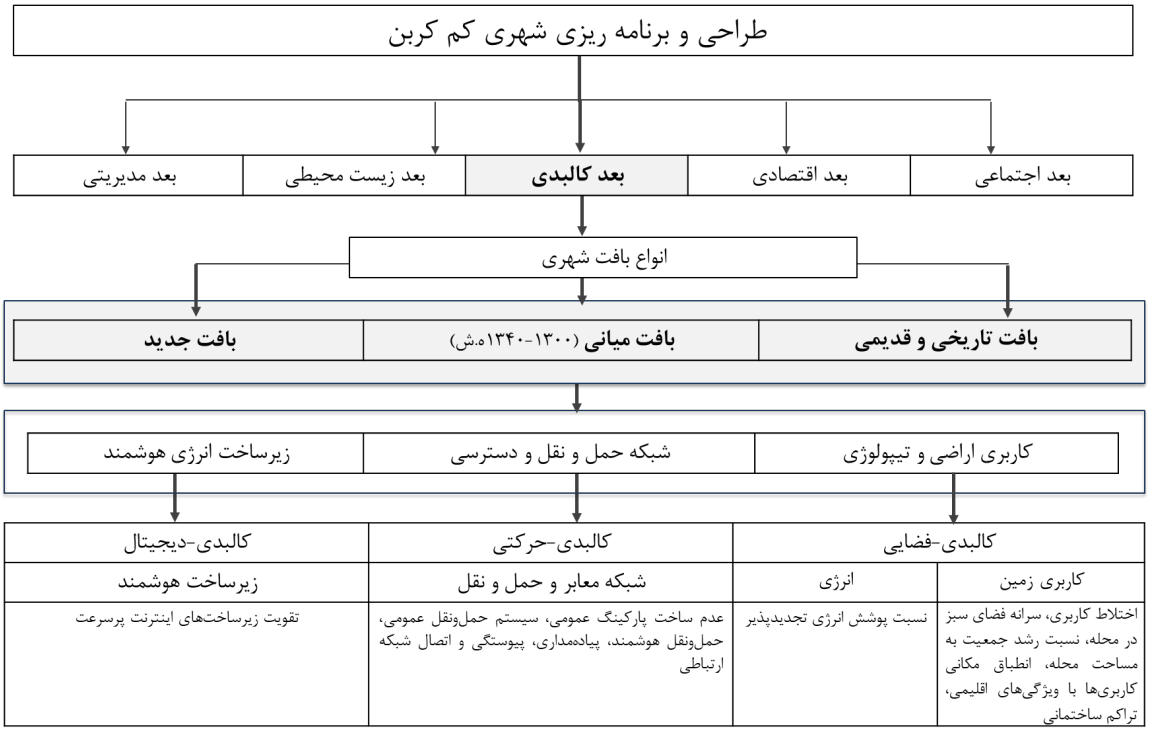
انتخاب کرده و ظرفیت و عملکرد هریک را در تحقق شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن به‌صورت تطبیقی بررسی می‌کند. رویکردی که برخلاف مطالعات پیشین که یا در مقیاس کلان شهری متمرکز بودند یا تنها یک نوع بافت را مورد توجه قرار داده‌اند، شکاف شناخت ظرفیت کالبدی بافت تاریخی‌قدیمی در مقایسه با بافت‌های میانی و جدید را پر کرده و درک دقیق‌تری از پتانسیل‌ها و محدودیت‌های هر بافت در گذار به محلهٔ کم‌کربن ارائه می‌دهد. این پژوهش همچنین در بعد روش‌شناختی، نخستین مطالعهٔ داخلی در حوزهٔ محلهٔ کم‌کربن است که از ترکیب نوین و پیشرفته (CIF SWARA) برای وزن‌دهی دقیق و کاهش سوگیری در اولویت‌بندی شاخص‌ها و روش (CoCoSo) برای رتبه‌بندی نهایی انواع بافت‌های شهری بهره می‌گیرد؛ ترکیبی که در پژوهش‌های پیشین داخلی مرتبط با محلهٔ کم‌کربن به‌کار گرفته نشده و دقت، شفافیت و اعتبار نتایج را به‌طور مناسب ارتقا می‌بخشد؛ بنابراین پژوهش حاضر هم از نظر محتوایی و هم روش‌شناختی نوآوری دارد.

با توجه به مبانی نظری و پیشینهٔ مطالعاتی بررسی‌شده، شاخص‌های مرتبط با بعد کالبدی محلهٔ کم‌کربن استخراج و در جدول ۱ قابل‌مشاهده است:

جدول ۱. شاخص های کالبدی محلهٔ کم کربن (منبع: مطالعات نویسندگان)

بعداصلی	مؤلفه	شاخص	تعاریف عملیاتی	منبع
کالبدی فضایی	کاربری زمین	اختلاط کاربری (C1)	وجود و تنوع همزمان چند نوع کاربری (مسکونی، تجاری، خدماتی و...) در محله به منظور افزایش کارایی و پویایی فضا.	Condon, 2012; Wang, 2023; Zhu & Hu,2023; Lan et al., 2023; Zhang, 2021
		سرانهٔ فضای سبز در محله (C2)	میزان متوسط مساحت فضای سبز در دسترس برای هر نفر در محله بر حسب مترمربع.	ملکپور و بوستانی، ۱۴۰۰؛ Li et al., 2018; Tang & Hu, 2021; Zhu & Hu, 2023
		نسبت رشد جمعیت به مساحت محله (C3)	نسبت تغییر جمعیت محله در یک دورهٔ زمانی مشخص به مساحت کل آن، نشان دهندهٔ فشار جمعیتی بر فضاهای محله است.	Li et al., 2018; Tang & Hu, 2021; Zhu & Hu, 2023
		انطباق مکانی کاربری ها با ویژگی های اقلیمی (C4)	قرارگیری کاربری ها در فضاهای مناسب از نظر نور، باد و دما به گونه ای که با شرایط اقلیمی محله هم خوانی داشته باشد.	Wang, 2023; Lan et al., 2023
		تراکم ساختمانی (C5)	نسبت سطح زیربنای کل ساختمان ها به مساحت زمین محله که نشان دهندهٔ فشردگی و استفاده از زمین است.	Condon, 2012, Liu et al., 2016; Wang et al., 2016; Sharifi, 2021; Zhang, 2021
	زیرساخت انرژی	نسبت پوشش انرژی تجدیدپذیر (C6)	وجود و بهره برداری از تجهیزات و شبکه های انرژی تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی و...) برای تأمین نیازهای انرژی محله.	محمدپور و مهرجو، ۱۳۹۹؛ جبارپور مهرآباد و عابدینی، ۱۴۰۲ Condon, 2012, Zhang, 2021;Yu, 2022; Wang et al., 2023; Chen et al., 2024
کالبدی حرکتی	شبکهٔ معابر و حمل ونقل	نساختن پارکینگ عمومی (C7)	محدودیت یا نبود پارکینگ های عمومی جدید در محله به منظور تشویق استفاده از حمل ونقل پاک و کاهش ترافیک خودروی شخصی.	روستا و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدپور و مهرجو، ۱۳۹۹؛ جبارپور مهرآباد و عابدینی، ۱۴۰۲ Fraker, 2013
		سیستم حمل ونقل عمومی (C8)	میزان دسترسی، کارایی، راحتی و ظرفیت مناسب ناوگان حمل ونقل عمومی در پاسخگویی به نیازهای جابه جایی ساکنان محله	نوریان و همکاران، ۱۴۰۰ Condon, 2012, Javid et al., 2020; Zhang, 2021
		حمل ونقل هوشمند (C9)	مجموعه ای از فناوری های دیجیتال و ارتباطی برای جمع آوری و تحلیل داده های لحظه ای حمل ونقل به منظور بهبود ایمنی، کارایی، پایداری و دسترسی در سطح محله تا منطقه.	نوریان و همکاران، ۱۴۰۰؛ شیخی و همکاران، ۱۴۰۱ Nakamura &Hayashi, 2013
		پیاده مداری (C10)	اولویت دهی به حرکت پیاده از طریق طراحی فضاهای امن، پیوسته و جذاب برای عابران در شبکهٔ معابر محله.	روستا و همکاران، ۱۳۹۹ Nakamura &Hayashi, 2013
		پیوستگی و اتصال شبکهٔ ارتباطی (C11)	میزان یکپارچگی و تداوم مسیرهای ارتباطی (پیاده، سواره و دوچرخه) درون محله و ارتباط مؤثر آن ها با شبکه های پیرامونی شهر.	نوریان و همکاران، ۱۴۰۰، Chapman, 2008; Condon, 2012; Javid et al., 2020
کالبدی دیجیتال	زیرساخت هوشمند	تقویت زیرساخت های اینترنت پرسرعت (C12)	افزایش دسترسی، سرعت و پایداری شبکهٔ اینترنت در سطح محله از طریق توسعهٔ تجهیزات و شبکه های ارتباطی ثابت و بی سیم برای کاهش جابه جایی فیزیکی.	شیخی و همکاران، ۱۴۰۱؛ جبارپور مهرآباد و عابدینی، ۱۴۰۲

در شکل ۱ با توجه به بررسی مبانی نظری و شاخص‌های استخراج‌شده از پیشینهٔ مطالعاتی مرتبط با حوزهٔ مطالعاتی شهر و محلهٔ کم‌کربن مدل مفهومی پژوهش حاضر ترسیم شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش (منبع: مطالعات نویسندگان)

روش‌شناسی و محدودهٔ مطالعه

ایـن پژوهش به‌لحاظ هدف، بنیادی‌کاربردی و از لحاظ ماهیت، کمی است. جامعهٔ آماری این پژوهش افراد خبره و باسابقه در حوزهٔ مطالعات طراحی و برنامه‌ریزی شهری است. ابزار گردآوری اطلاعات دو پرسش‌نامه است که در قالب پرسش‌نامه‌ای کیفی برای تعیین وزن شاخص‌ها و یک ماتریس تصمیم جهت رتبه‌بندی انواع بافت شهری گردآوری شده است.

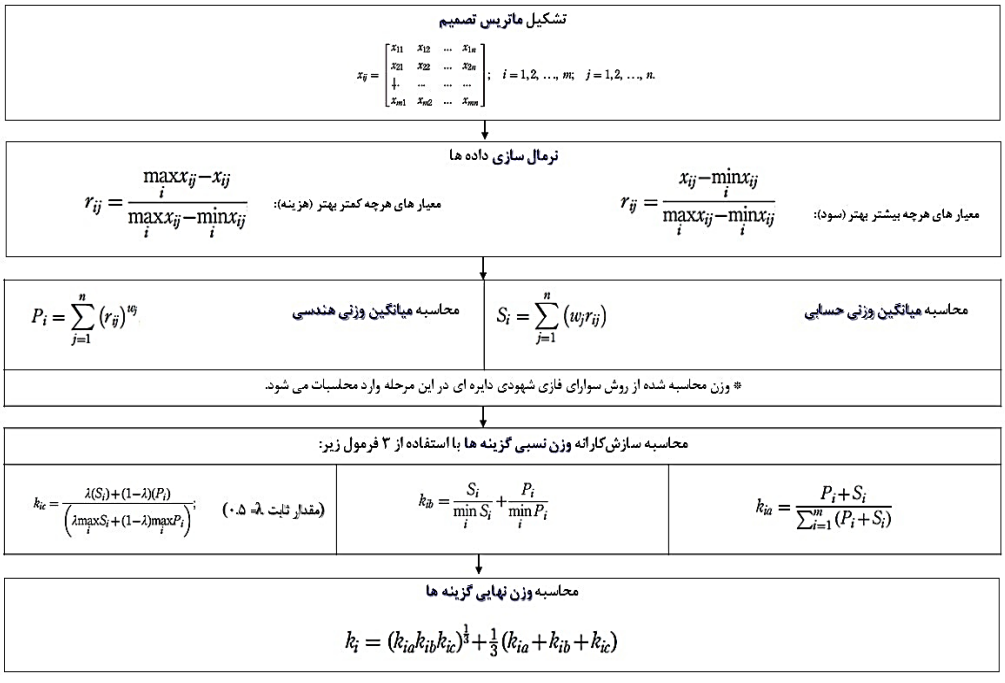
براساس پیشینهٔ پژوهش‌های مرتبط با روش‌های فازی خبره‌محور، حداقل تعداد نمونهٔ آماری مناسب، برابر ۵ است (Beiderbeck et al., 2021) که در بیشتر مقالات جهت ایجاد تعادل و روایی قابل‌قبول، نمونهٔ آماری معادل ۷ نفر در نظر گرفته شده است (Mohamed Yusoff et al., 2021; Hasim et al., 2023). در این پژوهش نیز با توجه به مطالعات پیشین، نمونهٔ آماری به‌صورت هدفمند انتخاب شده و شامل ۷ نفر از پژوهشگران باسابقه و استادان دانشگاه در رشته‌های طراحی و برنامه‌ریزی شهری است.

جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌های گردآوری‌شده، از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. در راستای وزن‌دهی به شاخص‌های پژوهش، از مدل توسعه‌یافتهٔ سوارا[۲] استفاده شده است. روش سوارا برای نخستین‌بار توسط کرسولین و همکارانش در سال ۲۰۱۰ مطرح شد (Keršu-liene et al., 2010). در این روش، خبرگان مرتبط با حوزهٔ مطالعاتی مورد نظر اهمیت هریک از شاخص‌ها را به‌صورت کیفی از کاملاً بااهمیت تا کاملاً بی‌اهمیت بیان می‌کنند؛ سپس با توجه به میانگین ارزش‌های به‌دست‌آمده برای هر شاخص، وزن آن مشخص می‌شود (Hashemkhani Zolfani et al., 2018). در سال ۲۰۲۴، ایـن روش در پژوهشی با رویکرد ریاضیات فازی و به‌طور مشخص مدل بسط‌یافتهٔ فازی شهودی دایره‌ای[۳] (CIFS) که مراحل آن به شرح شکل ۲ است، ترکیب شد و به روشی بادقت بالاتر برای وزن‌دهی تبدیل شد.

مزیت برجستهٔ منطق فازی شهودی دایره‌ای دربارهٔ فازی شهودی ساده که در سال ۱۹۸۳ مطرح شده بود (Atanassov, 1983) ایـن است که علاوه بر محاسبهٔ درجهٔ عضویت (μ) و درجهٔ نداشتن عضویت (ν)، میزان (r) را نیز برای ترازکردن اختلاف‌نظر بین خبرگان و به‌عبارتی دخیل کردن میزان قطعیت نداشتن در محاسبات لحاظ می‌کند(Alinejad et al., 2024) . با توجه به ماهیت و قطعیت نداشتن‌های ذاتی شهر و مطالعات شهری و همچنین خبره‌محور بودن روش‌های رتبه‌بندی، در این روش نسبت به روش‌های پیشین با دقت بیشتری وزن شاخص‌ها تعیین می‌شود.

شکل ۲. فرایند محاسباتی روش CIF SWARA (منبع: مطالعات نویسندگان)

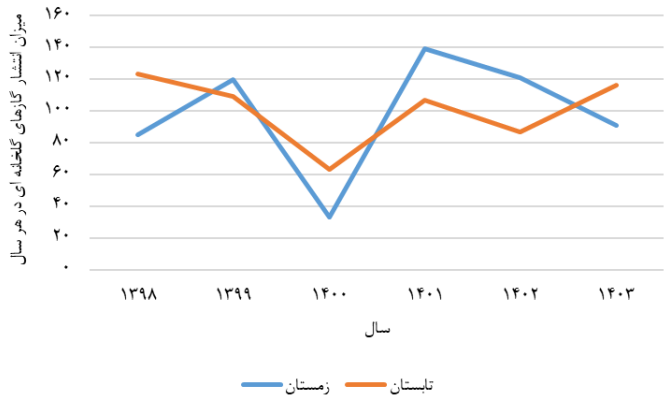
پس از محاسبهٔ وزن شاخص‌های پژوهش برای رتبه‌بندی انواع بافت‌های شهری و محله‌های منتخب این پژوهش، از روش کوکوسو[۴] استفاده شد. این روش، تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۱۸ توسط یزدانی و همکارانش معرفی شد. این روش با ترکیب رویکردهای مختلف تصمیم‌گیری، راه‌حلی سازش‌کارانه (لحاظ کردن کمترین فاصله از حالت ایدئال در تمام گزینه‌ها) برای رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌دهد و به‌ویژه برای مسائل پیچیده و چندبعدی مناسب است. CoCoSo با تلفیق مزایای روش‌های وزن‌دهی و رتبه‌بندی از انعطاف‌پذیری و دقت زیادی در تحلیل معیارها و گزینه‌ها برخوردار است(Yazdani et al., 2018). مراحل اجرای این روش نیز در شکل ۳ ترسیم شده است.



شکل ۳. فرایند محاسباتی روش **CoCoSo** (منبع: مطالعات نویسندگان)

شهر شیراز چهارمین کلان‌شهر ایران، واقع در استان فارس، با تراکم جمعیتی معادل ۸۱۴۸ نفر در کیلومتر مربع و الگوی توسعهٔ فیزیکی خطی است. این شهر دارای آب‌وهوای معتدل با میانگین سالیانهٔ بارندگی ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. با توجه به اقلیم گرم و خشکی که دارد، از تابستان‌های گرم و زمستان‌های سردی برخوردار است و در سایر فصول سال دمای معتدلی را تجربه می‌کند (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۱).

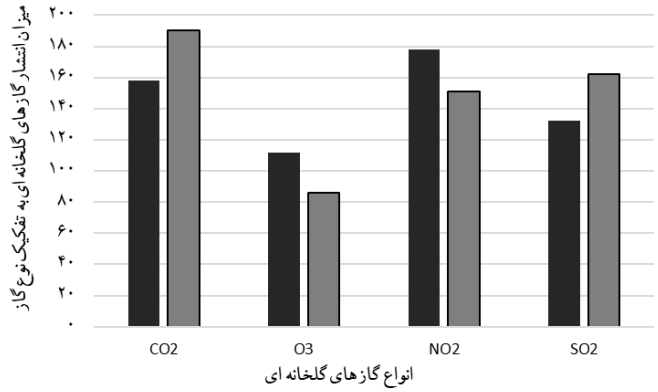
همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، تحلیل مقایسه‌ای میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهر شیراز حاکی از این موضوع است که انتشار در فصل زمستان (نشان‌دهندهٔ مصرف بالای گاز طبیعی برای گرمایش) نوسان‌پذیری بسیار زیادتری نسبت به تابستان دارد. این امر حساسیت سیستم انرژی شهر به‌شدت نوسانات دمایی فصول سرد را برجسته می‌سازد. در نقطهٔ مقابل، اوج‌گیری‌های مشترک در سال‌هایی مانند ۱۴۰۱ نشان‌دهندهٔ وجود یک پیک دوگانه مصرف انرژی (سرمایش یا گرمایش) یا اختلالات کلان در تأمین سوخت و انرژی است.



شکل ۴. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شیراز در بازهٔ زمانی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۳ (منبع: داده‌های موجود در سامانهٔ پایش کیفی هوای کشور[۵])

در شکل ۵ نیز انواع گازهای گلخانه‌ای منتشرشدهٔ شهر شیراز در یک بازهٔ زمانی ۵ساله قابل‌مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان تولید گاز کربن‌دی‌اکسید در هر دو فصل تابستان و زمستان در مقایسه با سایر انواع گازهای گلخانه‌ای بیشتر است.

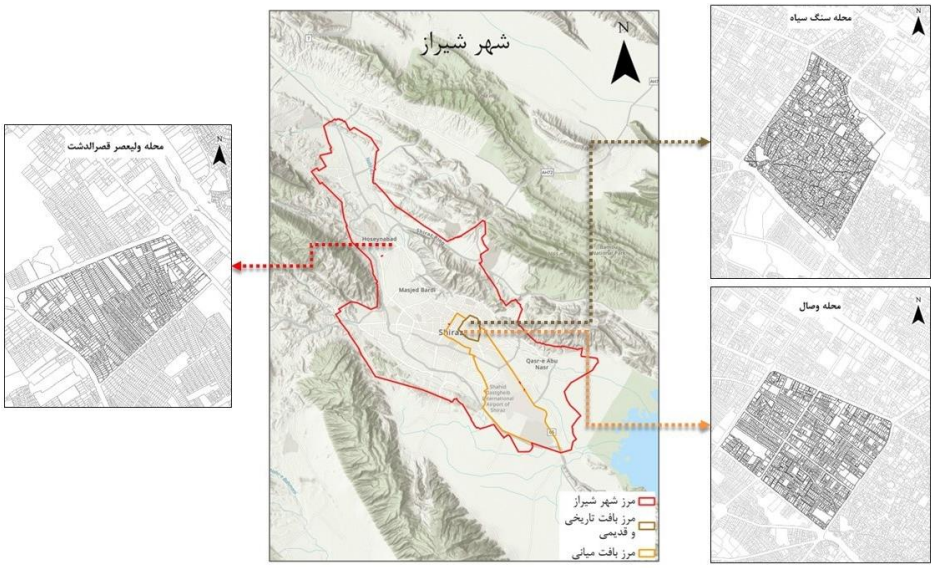
همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، از بین انواع گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن (CO_2) و دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در زمستان انتشار بیشتری دارند. در مقابل، دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) که عمدتاً حاصل احتراق در بخش حمل‌ونقل و فعالیت‌های صنعتی است، در تابستان از میزان انتشار بیشتری برخوردار است.



شکل ۵. میزان انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شیراز در بازهٔ زمانی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۳ (منبع: داده‌های موجود در سامانهٔ پایش کیفی هوای کشور)

شهر شیراز نیز مانند بسیاری از شهرهای ایران شامل بافت تاریخی، قدیمی، میانی و بافت جدید است. بافت تاریخی و قدیمی این شهر با یکدیگر منطبق هستند و در منطقهٔ ۸ واقع شده‌اند. بافت میانی نیز در مجاورت منطقهٔ ۸ و در منطقهٔ ۲ واقع شده است. سایر ۹ منطقهٔ شیراز در بافت جدید واقع می‌شوند که البته توجه به این نکته ضروری است که قرارگیری این مناطق در دستهٔ بافت‌های جدید به این دلیل است که توسعهٔ غالب این بافت در سال‌های پس از انقلاب انجام شده و بعضاً قطعاتی حائز اهمیت تاریخی نیز در این بافت‌ها وجود دارند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در این پژوهش محله‌های سنگ‌سیاه (بافت تاریخی–قدیمی)، وصال (بافت میانی) و ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید) برای

بررسی انواع بافت‌های شهری موجود در شیراز به‌صورت هدفمند انتخاب شده است تا حداکثر قابلیت تعمیم‌پذیری و بررسی تطبیقی تضمین شود. ایـن سه محله تفاوت‌های معناداری در شاخص‌های کالبدی کلیدی دارند: تفاوت در تراکم ناخالص ساختمانی، متوسط عرض معابر، الگوی توسعه و میزان پوشش فضای سبز عمومی ازجمله برجسته‌ترین تفاوت‌های کالبدی موجود بین این محلات است.

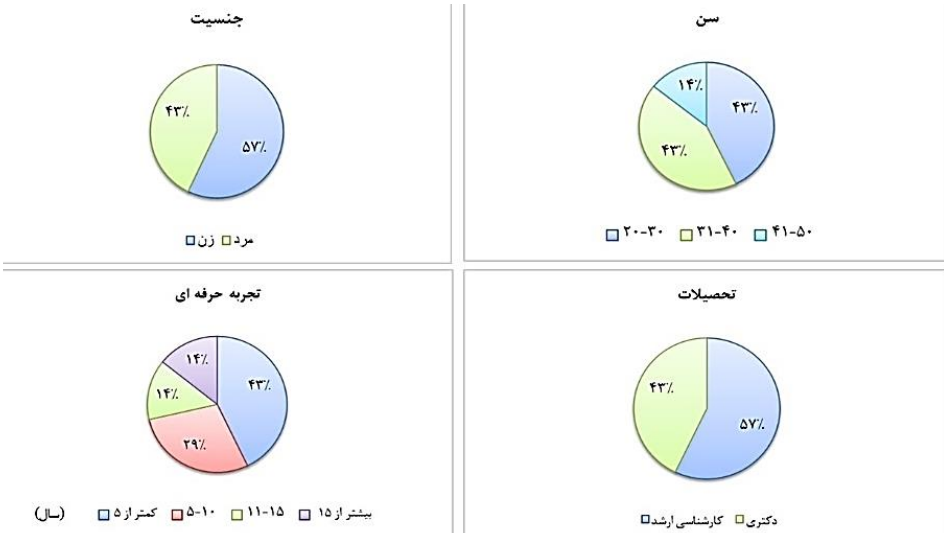


شکل ۶. محدودهٔ مطالعه (منبع: مطالعات نویسندگان)

یافته‌ها

مشخصات جمعیت‌شناختی نمونهٔ مورد بررسی

در شکل ۷ آمار توصیفی نمونهٔ آماری پژوهش در چهار بخش سن، جنسیت، میزان سابقهٔ حرفه‌ای و تحصیلات ترسیم شده است. نمونهٔ آماری مورد مطالعه بیشتر در بازه‌های سنی ۳۱ تا ۴۰ سال و ۴۱ تا ۵۰ سال هستند که هر یک ۴۳درصد از کل نمونه را تشکیل می‌دهند؛ درحالی‌که تنها ۱۴درصد از پاسخ‌گویان در بازهٔ سنی ۲۰ تا ۳۰ سال قرار دارند. این توزیع سنی بیانگر غالب بودن افراد میان‌سال در نمونهٔ مورد بررسی است که با توجه به نظر پژوهشگر در اولویت سابقهٔ حرفه‌ای و پژوهشی زیاد، آمار توصیفی سن در نمونهٔ آماری به این صورت است. به‌لحاظ ترکیب جنسیتی، نمونهٔ آماری ۵۷ درصد از شرکت‌کنندگان مرد و ۴۳ درصد زن هستند که این امر مبین ترکیب نسبتاً متعادل نمونهٔ آماری در هر دو گروه جنسیتی است. از نظر سابقهٔ پژوهشی و سطح تحصیلات ۵۷درصد از افراد تحصیلات مقطع دکتری و ۴۳ درصد تحصیلات مقطع کارشناسی‌ارشد را دارند. بدین ترتیب، نمونهٔ آماری از نظر دانش تخصصی نیز به‌صورت هدفمند از بین افرادی در مقاطع تحصیلات تکمیلی انتخاب شده است که با حوزهٔ مطالعاتی و پژوهشی مورد نظر آشنایی لازم را داشته‌اند.



شکل ۷. آمار توصیفی نمونهٔ آماری (منبع: مطالعات نویسندگان)

محاسبهٔ وزن شاخص‌های پژوهش با استفاده از روش CIF SWARA

پس از جمع‌آوری نظرات ۷ خبره، ابتدا وزن مربوط به هر پرسش‌نامه، براساس آمار توصیفی خبرهٔ پاسخ‌دهنده به آن پرسش‌نامه توسط پژوهشگر مشخص شد و سپس شاخص‌های موجود در هر پرسش‌نامه که خبرگان به‌صورت کیفی پاسخ داده بودند، با استفاده از مقادیر موجود در جدول ۲ کمی شد.

جدول ۲. جدول کلامی فازی سرکولار سوارا (Çakır et al., 2021)

تعاریف	Value	μ	v
کاملاً زیاد	۹	۰/۹	۰/۱
خیلی زیاد	۸	۰/۸	۰/۱۵
زیاد	۷	۰/۷	۰/۲۵
نسبتاً زیاد	۶	۰/۶	۰/۳۵
متوسط	۵	۰/۵	۰/۴۵
نسبتاً کم	۴	۰/۴	۰/۵۵
کم	۳	۰/۳	۰/۶۵
خیلی کم	۲	۰/۲	۰/۷۵
کاملاً کم	۱	۰/۱	۰/۹

با استفاده از مراحل ترسیم‌شده در شکل ۲، محاسبات وزن نسبی و وزن نهایی شاخص‌های پژوهش براساس اهمیت آن‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود. محاسبات مربوط به مقادیر K_j، Q_j و S_j با استفاده از روابط ریاضیاتی موجود در شکل ۳ محاسبه شده است.

جدول ۳. جدول محاسبات وزن نسبی و نهایی شاخص های پژوهش (منبع: مطالعات نویسندگان)

شاخص	μ	v	r	وزن نسبی	S_j	K_j	Q_j	Wj (وزن نهایی)
C8	۰/۸۰۰	۰/۱۵۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱۷		۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۸۷
C4	۰/۷۹۷	۰/۱۴۷	۰/۱۴۲	۰/۲۱۷	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۸۷
C2	۰/۷۸۷	۰/۱۶۲	۰/۱۲۴	۰/۲۰۸	۰/۰۰۸	۱/۰۰۸	۰/۹۹۲	۰/۰۸۷
C9	۰/۷۸۷	۰/۱۶۲	۰/۱۲۴	۰/۲۰۸	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۲	۰/۰۸۷
C10	۰/۷۷۸	۰/۱۷۲	۰/۱۱۰	۰/۲۰۲	۰/۰۰۶	۱/۰۰۶	۰/۹۸۵	۰/۰۸۶
C6	۰/۷۶۰	۰/۱۸۹	۰/۰۸۶	۰/۱۹۰	۰/۰۱۲	۱/۰۱۲	۰/۹۷۴	۰/۰۸۵
C1	۰/۷۵۳	۰/۱۹۴	۰/۳۶۰	۰/۱۸۷	۰/۰۰۴	۱/۰۰۶	۰/۹۷۰	۰/۰۸۵
C5	۰/۷۳۰	۰/۲۱۷	۰/۳۲۸	۰/۱۷۱	۰/۰۱۵	۱/۰۱۵	۰/۹۵۶	۰/۰۸۴
C11	۰/۷۱۶	۰/۲۳۴	۰/۱۱۹	۰/۱۶۱	۰/۰۱۱	۱/۰۱۱	۰/۹۴۶	۰/۰۸۳
C3	۰/۶۴۳	۰/۳۰۵	۰/۲۰۳	۰/۱۱۲	۰/۰۴۸	۱/۰۴۸	۰/۹۰۲	۰/۰۷۹
C12	۰/۶۳۳	۰/۳۱۳	۰/۴۷۴	۰/۱۰۷	۰/۰۰۶	۱/۰۰۶	۰/۸۹۷	۰/۰۷۸
C7	۰/۴۸۲	۰/۴۶۶	۰/۳۰۷	۰/۰۰۵	۰/۱۰۱	۱/۱۰۱	۰/۸۱۵	۰/۰۷۱

براساس محاسبات موجود در جدول ۳، رتبه‌بندی شاخص‌های پژوهش در جدول ۴ مشخص شده و اولویت وزنی آن‌ها مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیستم حمل‌ونقل عمومی و انطباق مکانی کاربری‌ها با ویژگی‌های اقلیمی مانند جهت وزش باد غالب، درصد و جهت شیب و... بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و شاخص‌های تقویت زیرساخت‌های اینترنت پرسرعت و نساختن پارکینگ عمومی برای ترغیب افراد برای جابه‌جایی فیزیکی کمتر و کاهش استفاده از وسیلهٔ نقلیهٔ شخصی کمترین وزن را دارند.

جدول ۴. رتبه بندی شاخص های پژوهش (منبع: مطالعات نویسندگان)

عنوان شاخص		وزن نهایی
سیستم حمل ونقل عمومی (کیفیت، کارآمدی و ظرفیت)	C8	۰/۰۸۷۵
انطباق مکانی کاربری ها با ویژگی های اقلیمی	C4	۰/۰۸۷۴

عنوان شاخص		وزن نهایی
سرانهٔ فضای سبز در محله	C2	۰/۰۸۶۷
حمل ونقل هوشمند	C9	۰/۰۸۶۷
پیاده مداری	C10	۰/۰۸۶۲
زیرساخت های انرژی تجدیدپذیر	C6	۰/۰۸۵۲
اختلاط کاربری	C1	۰/۰۸۴۹
تراکم ساختمانی	C5	۰/۰۸۳۶
پیوستگی و اتصال شبکهٔ ارتباطی	C11	۰/۰۸۲۷
نسبت رشد جمعیت به مساحت محله	C3	۰/۰۷۸۹
تقویت زیرساخت های اینترنت پرسرعت	C12	۰/۰۷۸۵
نساختن پارکینگ عمومی	C7	۰/۰۷۱۲

رتبه‌بندی انواع بافت شهری با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره CoCoSo

جهت رتبه‌بندی انواع بافت‌های شهری و محله‌های نماینده از هر نوع بافت در شهر شیراز، پس از گردآوری داده‌ها، وزن خبرگان معادل با وزن تعیین‌شده در مرحلهٔ قبل در نظر گرفته شد. با استفاده از مراحل و روابط موجود در شکل ۲ ماتریس، تصمیم میانگین از نظرات ۷ خبره تهیه شد که در جدول ۵ قابل‌مشاهده است.

جدول ۵. ماتریس تصمیم تجمیع‌شده (منبع: مطالعات نویسندگان)

	C1	C2	C3	...	C10	C11	C12
محلهٔ سنگ‌سیاه (بافت تاریخی و قدیمی)	۴	۲	۲	...	۴	۴	۳
محلهٔ وصال (بافت میانی)	۴	۳	۳	...	۴	۴	۴
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید)	۳	۴	۴	...	۳	۴	۵

با توجه به این موضوع که تمامی شاخص‌های این پژوهش از نوع سود هستند و دارای جهت‌گیری مثبت هستند، نتیجه بی‌مقیاس‌سازی و نرمال‌سازی ماتریس تصمیم تجمیع‌شده در جدول ۶ محاسبه شده است.

جدول ۶. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس (منبع: مطالعات نویسندگان)

	C1	C2	C3	...	C10	C11	C12
محلهٔ سنگ‌سیاه (بافت تاریخی و قدیمی)	۱	۰	۰	...	۱	۰	۰
محلهٔ وصال (بافت میانی)	۱	۰/۵	۰/۵	...	۱	۱	۰/۵
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید)	۰/۵	۱	۱	...	۰	۰	۱

با استفاده از اوزان محاسبه‌شدهٔ شاخص‌های پژوهش با روش CIF SWARA (جدول ۴) و ماتریس تصمیم بی‌مقیاس (جدول ۶)، مقادیر میانگین وزنی حسابی (Si) و میانگین وزنی هندسی (Pi) شاخص‌ها در هریک از گزینه‌ها در جدول ۷ محاسبه شده است. روابط مورد استفاده برای محاسبهٔ این اوزان در شکل ۳ ذکر شده است.

جدول ۷. میانگین وزن حسابی و هندسی شاخص‌ها در هر گزینه (منبع: مطالعات نویسندگان)

	میانگین وزنی حسابی (Si)	میانگین وزنی هندسی (Pi)
محلهٔ سنگ‌سیاه (بافت تاریخی و قدیمی)	۰/۳۳۰	۴/۰۰۰
محلهٔ وصال (بافت میانی)	۰/۶۳۴	۹/۷۲۱
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید)	۰/۵۸۷	۷/۰۰۰

روش کوکوسو جهت محاسبه فاصله هر گزینه از حالت ایده‌آل ۳ استراتژی محاسباتی K_{ib} ، K_{ia} و K_{ic} را بررسی می‌کند. این مقادیر با استفاده از روابط موجود در شکل ۳ محاسبه شده و در جدول ۸ قابل مشاهده است.

جدول ۸. میانگین وزن حسابی و هندسی شاخص‌ها در هر گزینه (منبع: مطالعات نویسندگان)

	K_{ia}	K_{ib}	K_{ic}
محلهٔ سنگ‌سیاه (بافت تاریخی و قدیمی)	۰/۱۹۴	۲/۰۰۰	۰/۴۱۸
محلهٔ وصال (بافت میانی)	۰/۴۶۵	۴/۳۵۲	۱/۰۰۰
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید)	۰/۳۴۱	۳/۵۳۰	۰/۷۳۳

همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بین هر سه استراتژی، از رابطهٔ موجود در شکل ۳ استفاده شده است و امتیاز نهایی هر گزینه مشخص می‌شود. محلهٔ وصال به‌عنوان یکی از محله‌های موجود در بافت میانی، رتبهٔ اول، محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت به‌عنوان یکی از محله‌های بافت جدید، رتبهٔ دوم و محلهٔ سنگ‌سیاه واقع در بافت تاریخی و قدیمی شهر، رتبهٔ سوم را در تحقق شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن کسب کرده‌اند.

جدول ۹. امتیاز نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها (منبع: مطالعات نویسندگان)

	K_i	رتبه
محلهٔ وصال (بافت میانی)	۳/۲۰۴	۱
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت (بافت جدید)	۲/۴۹۳	۲
محلهٔ سنگ‌سیاه (بافت تاریخی و قدیمی)	۱/۴۱۷	۲

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی و ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، شهرها نقش محوری در کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. موضوع شهر کم‌کربن و در رأس آن محلهٔ کم‌کربن به‌عنوان اساسی‌ترین مقیاس مداخله در شهر، همچنان نیازمند مطالعات کاربردی است. امروزه مطالعات جهانی این حوزه به‌سمت مفاهیم کربن خنثی و کربن صفر گرایش دارند؛ اما شهرهای ایران در حوزهٔ طراحی و برنامه‌ریزی شهری همچنان با عدم کفایت اقدامات شایسته برای نیل به شهر و محلهٔ کم‌کربن مواجه هستند. با توجه به افزایش جمعیت شهرها و به‌دنبال آن توسعهٔ شهرها به‌صورت مختلف میان‌افزا و پراکنده، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری باید به ماهیت فیزیکی بافت‌های مختلف شهری، تیپولوژی و الگوی توسعهٔ انواع بافت‌های شهر در طول تاریخ توجه کنند؛ زیرا هریک از این بافت‌ها با توجه به خصوصیات کالبدی منحصربه‌فرد خود از ظرفیت‌های متفاوتی در تحقق شاخص‌های کالبدی شهر کم‌کربن برخوردار هستند. این پژوهش با هدف رتبه‌بندی بافت‌های مختلف شهری در تحقق شاخص‌های محلهٔ کم‌کربن انجام شده و برای هریک از انواع بافت شهری محله‌ای را به‌عنوان نمونه انتخاب کرده است. نتایج حاصل از تعیین وزن شاخص‌های کالبدی نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری هر شاخص بر تحقق الگوی محلهٔ کم‌کربن تابعی از نوع ارتباط آن با مصرف انرژی، الگوهای حرکتی و شرایط اقلیمی است. براین‌اساس، شاخص‌ها در سه سطح اثرگذاری بنیادی، میانی و پشتیبان قابل طبقه‌بندی‌اند؛ به‌گونه‌ای که شاخص‌های بنیادی مستقیماً بر کاهش انتشار کربن اثر می‌گذارند، شاخص‌های میانی نقش تسهیل‌گر و هم‌افزا دارند و شاخص‌های پشتیبان به‌صورت غیرمستقیم زمینهٔ تعادل و پایداری ساختار فضایی محله را فراهم می‌کنند.

در میان شاخص‌های بررسی‌شده، سیستم حمل‌ونقل عمومی از بیشترین وزن برخوردار است و در سطح اثرگذاری بنیادی قرار می‌گیرد. کیفیت، کارآمدی و ظرفیت این سیستم تأثیر مستقیمی بر کاهش وابستگی به خودروهای شخصی دارد و از این طریق، مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. میزان اهمیت و نقش این شاخص با پژوهش‌های جبارپور مهرآبادی و عابدینی (۱۴۰۲) و ژانگ (۲۰۲۱) هم‌سوست. در همین سطح، انطباق مکانی کاربری‌ها با ویژگی‌های اقلیمی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چراکه طراحی و جانمایی فضاهای شهری متناسب با شرایط اقلیمی، ضمن کاهش نیاز انرژی برای گرمایش و سرمایش، موجب ارتقای آسایش حرارتی و کاهش بار انرژی ساختمان‌ها می‌شود. این شاخص در پژوهش روستا و همکاران (۱۳۹۹) نیز زیرمجموعهٔ شاخص‌های کلیدی قرار دارد. در ادامه، سرانهٔ فضای سبز محله نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های بنیادی، نقش مؤثری در جذب کربن، کاهش دمای محیط و بهبود کیفیت هوای محلی دارد و از این طریق، به کاهش اثر جزیرهٔ حرارتی و ارتقای کیفیت زیست اقلیمی کمک می‌کند. در سطح بعدی، شاخص‌هایی قرار دارند که ماهیت تسریع‌کننده دارند و از طریق بهبود بهره‌وری، ارتقای فناوری یا تغییر رفتارهای شهری، به تحقق اهداف کم‌کربن کمک می‌کنند. در این میان، حمل‌ونقل هوشمند با استفاده از فناوری‌های نوین برای مدیریت جریان ترافیک، زمان‌بندی وسایل نقلیه و پایش مصرف انرژی، سبب افزایش کارایی سامانه‌های حمل‌ونقل و کاهش مصرف غیرضروری انرژی می‌شود.

پیاده‌مداری نیز با فراهم کردن بسترهای مناسب برای تردد عابران پیاده و کاهش وابستگی به وسایل نقلیهٔ موتوری، نقشی مؤثر در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تقویت پیوندهای اجتماعی ایفا می‌کند. منیری و همکاران (۱۴۰۰)، روستا و همکاران (۱۳۹۹)، چن و همکاران (۲۰۲۴) نیز در پژوهش‌های خود دو شاخص حمل‌ونقل هوشمند و توسعهٔ زیرساخت‌های تکنولوژیکی و همچنین پیاده‌مداری را اگرچه با اولویت‌های متفاوت، اما جزو شاخص‌های با اولویت میانی و تسریع‌کننده جهت کاهش کربن شناسایی کرده‌اند. شاخص زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر نیز در ایـن سطح از اهمیت قرار می‌گیرد؛ چراکه با جایگزینی انرژی‌های پاک نظیر خورشید و باد، وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش و کارایی انرژی را افزایش می‌دهد؛ هرچند اجرای آن در مقیاس محله‌ای معمولاً مستلزم سرمایه‌گذاری قابل‌توجه است. اختلاط کاربری‌ها نیز به‌عنوان عاملی رفتاری‌فضایی، از طریق کاهش طول سفرهای روزمره، افزایش پیاده‌روی و کاهش نیاز به جابه‌جایی موتوری، تسریع‌کنندهٔ کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن نقش‌آفرینی می‌کند. درنهایت، گروهی از شاخص‌ها اگرچه از وزن کمتری برخوردارند، اما در عمل در سطح پشتیبان قرار دارند و اثرگذاری غیرمستقیم اما تنظیمی بر ساختار و پایداری عملکردی محله دارند. تراکم ساختمانی در این سطح از اهمیت برخوردار است؛ زیرا در صورت طراحی اقلیمی و تناسب با ظرفیت زیرساخت‌ها، می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف زمین و انرژی شود؛ اما افزایش نامتوازن آن می‌تواند فشار بر زیرساخت‌ها و افزایش تراکم جزایر حرارتی را به‌دنبال داشته باشد. این شاخص در پژوهش ژانگ (۲۰۲۱) نیز یکی از شاخص‌های پشتیبان تحقق رویـکرد کم‌کربن در شهر مطرح شده است.

پیوستگی و اتصال شبکهٔ ارتباطی نیز با کاهش طول مسیرهای حرکتی، افزایش دسترسی محلی و تقویت پیاده‌مداری، به‌طور غیرمستقیم به پایداری حرکتی و کاهش مصرف سوخت کمک می‌کند. همچنین، نسبت رشد جمعیت به مساحت محله شاخصی است که تعادل بین ظرفیت فضایی و جمعیتی را حفظ می‌کند و از فشار بیش از حد بر منابع و زیرساخت‌ها جلوگیری خواهد کرد. در همین راستا، تقویت زیرساخت‌های اینترنت پرسرعت به‌عنوان عامل تسهیل‌گر خدمات شهری، با فراهم‌سازی امکان کار از راه دور، مدیریت داده‌های شهری و خدمات هوشمند، در بلندمدت به کاهش سفرهای غیرضروری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی منجر می‌شود. در پایین‌ترین سطح اثرگذاری، نساختن پارکینگ عمومی قرار دارد که به‌عنوان سیاستی بازدارنده در جهت کاهش استفاده از خودروهای شخصی عمل می‌کند؛ اما در صورت نبود جایگزین‌های مناسب حمل‌ونقل، می‌تواند آثار منفی اجتماعی و عملکردی نیز به‌دنبال داشته باشد. به‌طورکلی، نتایج تحلیل نشان می‌دهد شاخص‌های مرتبط با حمل‌ونقل عمومی، انطباق اقلیمی و فضای سبز بیشترین تأثیر مستقیم بر کاهش انتشار کربن و بهبود کیفیت زیست‌محیطی در محله دارند. در حالی‌که شاخص‌های فناورانه، رفتاری و ساختاری در سطوح میانی و پشتیبان، نقش مکمل و تعادلی در تحقق الگوی کم‌کربن ایفا می‌کنند. در جدول ۱۰ جهت ارتقای هریک از شاخص‌های پژوهش در تحقق محلهٔ کم‌کربن به‌طور عام، راهبردها و سیاست‌های اجرایی ارائه شده است.

جدول ۱۰. راهبردها و سیاست‌های اجرایی پیشنهادی برای ارتقای شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن (منبع: مطالعات نویسندگان)

سطح تأثیرگذاری	شاخص	راهبرد	سیاست
شاخص‌های بنیادی	سیستم حمل‌ونقل عمومی (کیفیت، کارآمدی و ظرفیت)	– توسعهٔ شبکهٔ حمل‌ونقل عمومی در هماهنگی با بافت پیاده‌محور. – بهبود کیفیت ایستگاه‌ها و فضای انتظار. – هماهنگی کالبدی شبکهٔ حمل‌ونقل با بافت محله.	– استقرار ایستگاه‌ها در فاصلهٔ بهینه ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری از مراکز فعالیت محلی. – استفاده از تهویهٔ مناسب و سایه‌بان برای بهبود آسایش حرارتی ایستگاه‌ها. – طراحی مسیرهای ویژهٔ وسایل نقلیهٔ عمومی در محورهای پرجمعیت. – استفاده از وسایل نقلیهٔ سبک برقی در بافت‌های فشرده و تاریخی.
	انطباق مکانی کاربری‌ها با ویژگی‌های اقلیمی	– سازمان‌دهی کاربری‌ها براساس جهت تابش و باد غالب. – توجه به نوع کاربری و تناسب آن با جهت و درجهٔ شیب مکان مورد نظر. – تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و کاربری در سطح محلهٔ شهری.	– انتقال کاربری‌های پرتردد در جهت باد مطلوب به‌منظور بهره‌گیری از تهویهٔ طبیعی. – استقرار کاربری‌های پرمصرف انرژی در پهنه‌های با خنکای شبانهٔ بالا (کاهش نیاز به سرمایش). – اعطای مشوق‌های محلی برای انتقال تدریجی کاربری‌های ناسازگار با اقلیم و ویژگی‌های کالبدی محله.
	سرانهٔ فضای سبز در محله	– ارتقای کیفیت محیطی و غنی‌سازی تنوع عملکردی فضاهای سبز. – یکپارچه‌سازی فضاهای سبز با زیرساخت‌های اکولوژیک شهر.	– طراحی فضاهای سبز چندمنظوره (تفریحی، آموزشی، فرهنگی) در مراکز محله‌ها. – استفاده از کف‌سازی نفوذپذیر و استفاده از گیاهان بومی مقاوم به خشکی برای جذب روان‌آب‌های سطحی. – استفاده از سیاست بام سبز و جدارهٔ سبز در محله‌هایی با بافت فشرده.

سطح تأثیرگذاری	شاخص	راهبرد	سیاست
شاخص‌های میانی و تسهیل‌گر	حمل‌ونقل هوشمند	– توسعهٔ سامانه‌های مدیریت هوشمند ترافیک شهری.	– پایش فضایی و زمانی الگوی حرکتی افراد محله با استفاده از حسگرهای .IOT – رصد لحظه‌ای مسیرهای ناوگان حمل‌ونقل عمومی تا موقعیت فرد متقاضی. – نصب سنسورهای هوشمند تشخیص حضور عابر پیادهٔ آسیب‌پذیر (سالمند، کودک و معلول) با هشدار لحظه‌ای به رانندگان در تقاطع‌های پرترافیک محله.
	پیاده‌مداری	– تقویت سرزندگی و پویایی فضاهای عمومی شهری. – افزایش حس تعلق و هویت محلی از طریق طراحی پیاده‌محور. – اولویت بخشیدن به توسعهٔ زیرساخت‌های انسان محور.	– حذف موانع فیزیکی، نصب رمپ برای افراد کم‌توان، طراحی کف‌سازی مناسب در محله‌ها. – کاهش عرض سواره‌روها در بافت‌های مرکزی و افزایش سطح پیاده‌راه‌ها. – حمایت از کافه‌ها، فروشگاه‌های محلی و فضاهای تجمع خرد. – برگزاری جشنواره‌ها و روزهای بدون خودرو در برخی از محورهای محله.
	زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر	– توسعهٔ دانش، فناوری و ظرفیت‌های محلی درزمینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر.	– تأمین روشنایی محله با نصب چراغ‌های مجهز به سلول‌های خورشیدی. – برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای آشنایی ساکنان محله با سلول‌های خورشیدی و طرح‌های تشویقی.
	اختلاط کاربری	– توسعهٔ الگوی محلهٔ چندمنظوره. – ترویج توسعهٔ عمودی و ترکیبی کاربری‌ها در ساختمان‌ها. – بازآفرینی بافت‌های تک کارکردی.	– جانمایی مراکز محله با ترکیب کاربری‌های آموزشی، فرهنگی، ورزشی و تجاری سبک. – ترکیب خدمات روزمره با فعالیت‌های فرهنگی و اجتماعی برای افزایش سرزندگی. – تسهیل تغییر کاربری‌های خرد ضمن حفظ هویت تاریخی و اجتماعی محله.
	تراکم ساختمانی	– انطباق تراکم ساختمانی با ظرفیت زیست‌محیطی، اقلیمی و کالبدی محله.	– تعیین حداکثر زیربنا، ارتفاع و سطح اشغال مجاز براساس ویژگی‌های هر بلوک. – محاسبهٔ ضریب تراکم مجاز براساس میزان تأمین خدمات و زیرساخت‌ها. – تمرکز ساخت‌وسازهای پرتراکم در امتداد خیابان‌های اصلی و ایستگاه‌های حمل‌ونقل.
	پیوستگی و اتصال شبکهٔ ارتباطی	– افزایش نفوذپذیری شبکهٔ معابر محله. – تقویت پیوند میان فضاهای عمومی محله. – تلفیق شبکهٔ پیاده، دوچرخه، و حمل‌ونقل عمومی برای افزایش دسترسی درون‌محله‌ای.	– هم‌افزایی بین شهرداری، سازمان ترافیک و شورای محله برای اجرای پروژه‌های کوچک‌مقیاس اتصال شبکه‌ای. – برگزاری جلسات محله‌ای برای دریافت نظر ساکنان دربارهٔ مسیرهای مطلوب و نقاط گسسته شبکه. – استقرار ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در اتصال به مسیرهای پیاده‌روی.
شاخص‌های پشتیبان	نسبت رشد جمعیت به مساحت محله	– ارتقای ظرفیت خدمات و زیرساخت‌های محلهٔ متناسب با رشد جمعیت. – هدایت توسعهٔ شهری به‌سمت بازآفرینی محلی به‌جای گسترش افقی. – تعادل‌بخشی بین تراکم جمعیت و ظرفیت کالبدی محله برای کنترل توزیع متوازن جمعیت.	– محدود کردن صدور پروانه‌های ساخت در محله‌هایی با تراکم جمعیتی بالا. – توزیع عادلانهٔ فضاهای باز، سبز و خدماتی درون‌محله‌ای و کاهش فشار ناشی از تراکم جمعیتی بالا. – پایش مستمر داده‌های جمعیتی در سطح محله و تدوین برنامه‌های کنترلی سالانه.
	تقویت زیرساخت‌های اینترنت پرسرعت	– افزایش دسترسی برابر ساکنان به اینترنت پرسرعت و کاهش شکاف دیجیتال. – آموزش و آگاهی‌بخشی برای استفادهٔ بهینه از اینترنت و خدمات هوشمند شهری.	– نصب تجهیزات فیبر نوری محلی و ارتقای پهنای باند در مراکز اصلی محله. – ایجاد نقاط دسترسی به اینترنت عمومی بی‌سیم رایگان و ارزان‌قیمت در فضاهای جمعی محله‌ها. – همکاری شهرداری با اپراتورها برای پوشش کامل سیگنال اینترنت همراه در مناطق کم‌برخوردار.
	نساختن پارکینگ عمومی	– مدیریت تقاضای سفر با وسایل نقلیهٔ شخصی. – بازتخصیص فضاهای شهری به نفع زندگی جمعی.	– دسترسی به مراکز خدماتی روزمرهٔ ساکنان با استفاده از حمل‌ونقل عمومی. – توسعهٔ شبکهٔ حمل‌ونقل اشتراکی (دوچرخه، اسکوتر، خودرو برقی اشتراکی) به‌عنوان جایگزین مالکیت شخصی خودرو.

در بسیاری از مطالعات پیشین، شاخص‌های کالبدی در تحقق رویکرد کم‌کربن به‌عنوان شاخص‌های کلیدی شناسایی شده‌اند؛ اما در این پژوهش بنا به شکاف مطالعاتی موجود پس از تعیین وزن شاخص‌ها، تحقق آن‌ها در انواع بافت‌های شهری موجود نیز تحلیل و رتبه‌بندی شدند. زنگ و همکاران (۲۰۲۴) به میزان انتشار کمتر کربن در بافت‌های متمرکز اشاره کردند؛ اما در پژوهش حاضر بافت میانی در رتبهٔ اول، بافت جدید در رتبهٔ دوم و بافت تاریخی و قدیمی برخلاف بیشترین تراکم و تمرکز در بین انواع بافت‌های شهری در رتبهٔ سوم قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی میزان بهینهٔ تراکم و تمرکز بافت‌های شهری جهت تحقق شهر و محلهٔ کم‌کربن مورد تحلیل واقع شود و حد آستانهٔ تحقق شاخص‌های کم‌کربن تعیین شود. ازجمله محدودیت‌های این پژوهش تمرکز بر شاخص‌های کالبدی محلهٔ کم‌کربن است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی ابعاد اجتماعی و فرهنگی نیز در هریک از انواع بافت‌های شهری مطالعه و تدقیق شود.

در راستای توجه به اتخاذ راهبردها و پیشنهادهای اجرایی شایسته و متناسب با بافت شهری هریک از محله‌های مطالعه در این پژوهش، در جدول ۱۱ راهبردها و سیاست‌های اجرایی مورد نظر ارائه شده است. براساس یافته‌های پژوهش، تفاوت میان بافت‌های شهری موجب تغییر در ماهیت راهبردها و نحوهٔ اجرای شاخص‌های کم‌کربن می‌شود. در بافت میانی مانند محلهٔ وصال، راهبردها بر بهبود کارایی شبکه‌های موجود و هم‌افزایی میان زیرساخت‌ها متمرکز است؛ در حالی‌که در بافت جدید ولی‌عصر قصرالدشت، تمرکز بر مدیریت الگوهای مصرف و جهت‌دهی رشد کالبدی با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند قرار دارد. در بافت قدیمی سنگ‌سیاه با توجه به انطباق آن با بافت تاریخی شیراز، رویکرد حفاظت و احیای تدریجی با استفاده از راهکارهای خردمقیاس و اقلیم‌محور دنبال می‌شود تا پایداری محیطی بدون آسیب به ارزش‌های تاریخی حاصل شود.

جدول ۱۱. راهبردها و سیاست‌های اجرایی پیشنهادی برای تحقق رویکرد کم‌کربن در محله‌های مطالعهٔ پژوهش (منبع: مطالعات نویسندگان)

محله	راهبرد	سیاست
محلهٔ وصال	۱- بهینه‌سازی و یکپارچه‌سازی نظام حمل‌ونقل و کاربری‌ها ۲- ارتقای کیفیت محیطی و تقویت پیاده‌مداری ۳- مدیریت مصرف انرژی و زیرساخت‌های پایدار	– توسعهٔ خطوط اتوبوس برقی و پایانه‌های خردمحلی. – نصب سامانه‌های هوشمند مدیریت ترافیک و ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی. – بازطراحی پیاده‌راه‌ها، افزایش ایمنی عابر و نفوذپذیری شبکه‌های محلی. – اجرای کف‌سازی نفوذپذیر و سایه‌انداز در مسیرهای پیاده. – احیای مسیرهای سبز بین بلوک‌ها و افزایش پوشش گیاهی. – افزایش تراکم متوسط در مجاورت ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی برای تقویت الگوی توسعهٔ فشرده. – ترویج انرژی خورشیدی خانگی و کنترل صدور پروانه در محدوده‌های اشباع. – بهره‌گیری از اینترنت اشیا برای پایش مصرف انرژی.
محلهٔ ولی‌عصر قصرالدشت	۱- مدیریت رفتارهای مصرفی و کاهش وابستگی به خودرو ۲- هوشمندسازی و بهره‌گیری از فناوری‌های پاک ۳- هدایت رشد کالبدی با رویکرد اقلیم‌محور و کاربری ترکیبی	– گسترش مسیرهای دوچرخه و ایستگاه‌های اشتراک وسیله – استفاده از ناوگان الکتریکی در حمل‌ونقل محلی – کاهش عرض معابر سواره در محدوده‌های مسکونی – بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در روشنایی معابر و ساختمان‌ها – طراحی سازگار با اقلیم گرم شیراز (توجه به سایه‌اندازی و مصالح بازتابنده). – ایجاد مراکز خدماتی خرد محلی برای کاهش سفر روزانه. – ترکیب کاربری‌های تجاری و خدماتی در مجاورت واحدهای مسکونی. – محدودسازی ساخت پارکینگ عمومی و جایگزینی آن با فضاهای سبز و ایستگاه‌های دوچرخه.
محلهٔ سنگ‌سیاه	۱- احیای پایدار بافت تاریخی با حداقل مداخلهٔ کالبدی ۲- ارتقای کیفیت زیست‌محیطی و آسایش اقلیمی ۳- گردشگری پایدار و حمل‌ونقل پاک در بافت سنتی	– توسعهٔ سیستم حمل‌ونقل پاک (ون‌های برقی کوچک و مسیرهای دوچرخه آرام). – ایجاد محورهای پیاده درون‌محله‌ای با رویکرد گردشگری پایدار. – احیای حیاط‌های مرکزی و کاشت درختان بومی در معابر باریک. – استفاده از بام‌های سبز و دیوارهای گیاهی برای بهبود آسایش حرارتی. – مرمت و بازسازی بناها با مصالح سنتی و اقلیمی و تهویهٔ طبیعی. – استفاده از سیستم‌های روشنایی خورشیدی در معابر.

بیانیه‌ها

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافعی مرتبط با این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت مالی

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) و برگرفته از طرح شمارهٔ ۴۰۴۷۵۵۷، انجام شده است.

رضایت آگاهانه

تمام شرکت‌کنندگان در این پژوهش، رضایت آگاهانهٔ خود را به‌صورت کتبی اعلام کرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

ایـده‌پردازی و طراحی مطالعه: مریم تحسیری، علیرضا صادقی؛ گردآوری داده‌ها: مریم تحسیری؛ تجزیه‌وتحلیل داده‌ها: مریم تحسیری؛ تصویرسازی: مریم تحسیری؛ نگارش نسخهٔ اولیه: مریم تحسیری، علیرضا صادقی؛ بازبینی و اصلاح مقاله: مریم تحسیری؛ اعتبارسنجی و تأیید نهایی: همهٔ نویسندگان نسخهٔ نهایی را تأیید کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

پی‌نوشت

1. Percolation Theory
2. Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)
3. Circular Intuitionistic Fuzzy Sets
4. Combined Compromise Solution (CoCoSo)
5. https://aqms.doe.ir/

منابع

- توسلی، محمود. (۱۳۶۸). بافت قدیم مقدمه‌ای بر مسئله. *سمینار تداوم حیات در بافت قدیمی شهرهای ایران*، ۲۳-۲۵. SID. https://sid.ir/paper/467916/fa
- جبارپور مهرآباد، فاطمه.، و عابدینی، اصغر. (۱۴۰۲). ارزیابی و امکان‌سنجی تحقق رویکرد شهر کم‌کربن در شهر ارومیه. *دانش شهرسازی*. ۷(۴)، ۲۵-۵۱. doi: 10.22124/upk.2024.25538.1886
- روستا، مریم.، جوادپور، مسعود.، و عبادی، مریم. (۱۳۹۹). تدوین مدل «محلهٔ کم‌کربن» به‌منظور کاربست در برنامه‌ریزی و طراحی شهری. دانش شهرسازی، ۴(۱)، ۳۳-۴۸. Doi:10.22124/upk.2020.15513.1383
- زیاری، کرامت‌الله. (۱۳۸۸). *برنامه‌ریزی شهرهای جدید*. چاپ اول. تهران: سمت.
- شماعی، علی.، و پوراحمد، احمد. (۱۳۸۴). *بهسازی و نوسازی شهری از دیدگاه علم جغرافیا*، تهران: دانشگاه تهران.
- شیخی، سعیده.، حبیب، فرشته.، و حبیب، فرح. (۱۴۰۱). تدوین مدل مفهومی و ارزیابانهٔ شهرهای کم‌کربن. علوم و تکنولوژی محیطزیست، ۲۴(۸ (پیاپی ۱۲۳)، ۶۱-۷۵. https://www.sid.ir/paper/1063696/fa
- عطایی، هوشمند.، و فنایی، راضیه. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییر سری‌های دمای شهر شیراز در ارتباط با برنامه‌ریزی توسعهٔ شهری. *فصلنامهٔ علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۱۵)، ۵۷-۷۶*. ۲۰.۱۰۰۱.۱.۲۲۲۸۵۲۲۹.۱۳۹۲.۴.۱۵.۴.۲
- محمدپور، صابر.، و مهرجو، مهرداد. (۱۳۹۹). ارزیابی پایداری محله‌های شهری با رویکرد محلهٔ کم‌کربن؛ مورد مطالعه: محلهٔ جولان، شهر همدان. *توسعهٔ محلی (روستائی- شهری)*. ۱۲(۱)، ۵۰-۲۱. doi: 10.22059/jrd.2021.299759.668533
- مرکز آمار ایران. (۱۴۰۱). سالنامهٔ آماری استان فارس. https://www.amar.org.ir
- ملک‌پور اصل، بهزاد.، و بوستانی، پریمان. (۱۴۰۱). برنامه‌ریزی همکارانه به‌منظور دستیابی به شهر کم‌کربن در کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۶(۸۱)، ۲۲۶-۲۰۹. doi:10.22034/gp.2021.46529.2856
- منیری، فاطمه و اصغری، حسین، پورشیخان، علیرضا، و حسنی مهر، سیده صدیقه. (۱۴۰۰)، «ارزیابی نقش حمل‌ونقل در تحقق شهرهای کم‌کربن با استفاده از روش MICMAC (مطالعهٔ موردی: شهرهای جلفا و جانانلو در منطقهٔ آزاد ارس)»، مجلهٔ علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، ۳۷(۱۷)، ۱-۱۶. https://civilica.com/doc/1575543
- نوریان، فرشاد.، فتح جلالی، آرش.، و ساوجبلاغی، تارا. (۱۴۰۰). تحلیل اثرات کاربری اراضی و شبکهٔ حمل‌ونقل بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با رویکرد شهر کم‌کربن. *معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۱۴(۳۵)، ۳۱۱-۳۳۰. https://www.sid.ir/paper/967233/fa
- ۱۳. یزدانی، محمدحسن.، و پوراحمد، احمد. (۱۳۸۶). تأثیر مدرنیسم بر تحولات کالبدی شهرهای ایرانی‌اسلامی، نمونهٔ مورد مطالعه: تبریز. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۲(۱ (پیاپی ۸۴))، ۲۹-۵۲. SID. https://sid.ir/paper/29739/fa
- Alinejad ,S ,.Alimohammadlou ,M ,.Abbasi ,A & ,.Mirghaderi ,S .H .(2024) .Smart-Circular strategies for managing biomass resource challenges :A novel approach using circular intuitionistic fuzzy methods .*Energy Conversion and Management*, 314, 118690. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118690
- Alonso, A., Monzón, A., & Wang, Y. (2017). Modelling land use and transport policies to measure their contribution to urban challenges: The case of Madrid. *Sustainability*, 9(3), 378. https://doi.org/10.3390/su9030378
- Ataei, H., & Fanaei, R. (2014). The Survey of Series temperature changes trend at the city of Shiraz in relation to urban de-

velopment planning. Lournal of Research and Urban Planning, 4 (15). 33-48. [In Persian] 20.1001.1.22285229.1392.4.15.4.
- Atanassov, K.T. (1983) .*Intuitionistic Fuzzy Sets .Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96. http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3
- Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *MethodsX*, .101401 ,8 https//:doi.org/10.1016/j.mex2021.101401.
- Bitner ,A ,.Hołyst ,R & ,.Fiałkowski ,M .(2009) .From complex structures to complex processes :Percolation theory applied to the formation of a city .*Physical Review E—Statistical ,Nonlinear ,and Soft Matter Physics*, 80(3), 037102. DOI: 10.1103/PhysRevE.80.037102
- Çakır, E., Taş, M. A., & Ulukan, Z. (۲۰۲۱, August). Circular intuitionistic fuzzy sets in multi criteria decision making. *In International Conference on Theory and Application of Soft Computing ,Computing with Words and Perceptions*. 34-42. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120076
- Calderón, F., Orellana, D., Carrasco, M. I., Astudillo, J., & Hermida, M. A. (2024). Urban Sustainability Through the Lens of Urban Fabric Typologies: A Case Study of Cuenca, Ecuador. *Sustainability*, 16(23), 1-28. DOI: 10.3390/su162310260
- Chen, J., Zhu, Y., Yang, C., Wang, H., & Wang, K. (2024). Evaluation and prediction of carbon emission from logistics at city scale for low-carbon development strategy. *PloS one*, 19(2), e0298206. doi: 10.1371/journal.pone.0298206
- Condon, P. M. (2012). *Seven rules for sustainable communities: design strategies for the post carbon world*. Island Press.
- Conzen, M. R. G. (1960). Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis. *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, (27), iii-122. https://www.jstor.org/stable/621094
- Dimitrov, R. S. (2016). The Paris agreement on climate change: Behind closed doors. *Global environmental politics*, 16(3), 1-11. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00361
- Fraker, H. (2013). *The hidden potential of sustainable neighborhoods: Lessons from low-carbon communities*, 97-119. Washington, DC: Island press.
- Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L., & Dhakal, S. (2019). Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. *Climatic change*, 154, 87-106. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02394-w
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760. doi: 10.1126/science.1150195
- Guo, J., Liu, H., Jiang, Y., He, D., Wang, Q., Meng, F., & He, K. (2014). Neighborhood form and CO2 emission: evidence from 23 neighborhoods in Jinan, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(1), 79-88. https://doi.org/10.1007/s11783-013-0516-1
- Gupta, A. (2016). Climate change and Kyoto protocol: An overview. *Handbook of environmental and sustainable finance*, 3-23. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803615-0.00001-7
- Gurney, K. R., Romero-Lankao, P., Seto, K. C., Hutyra, L. R., Duren, R., Kennedy, C., ... & Sperling, J. (2015). Climate change: Track urban emissions on a human scale. *Nature*, 525(7568), 179-181. https://doi.org/10.1038/525179a
- Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22, 7399-7405. https//:doi.org/۱۰/۱۰۰۷/s۲-۳۰۹۲-۰۱۸-۰۰۵۰۰
- Hasim ,M .A ,.Jabar ,J ,.Sufian ,A ,.Ibrahim ,N .F & ,.Khalid ,F .A .(2023) .Employing Fuzzy Delphi Techniques to Validate the Components and Contents of E-Learning Antecedents and Usage Behavior Towards ELearning Performance .*European Journal of Educational Research*, 12(1), 467-480. DOI: 10.12973/eu-jer.12.1.467
- Huang, K., Li, X., Liu, X., & Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114037. doi: 10.1088/1748-9326/ab4b71
- Huang, C., Qu, Y., Huang, L., Meng, X., Chen, Y., & Pan, P. (2022). Quantifying the impact of urban form and socio-economic development on china's carbon emissions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2976. https://doi.org/10.3390/ijerph19052976
- Jamali, N., Taghizadeh, K., & Arbab, P. (2025). Exploring the impact of the built environment form on carbon emissions in urban neighborhoods: A systematic literature review. *Sustainable Cities and Society*, 106449. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106449
- Jabbarpour Mehrabad, F. and Abedini, A. (2024). Evaluation and Feasibility Study on the Implementation of Low Carbon City in Urmia. *Urban Planning Knowledge*, 7(4), 25-51. [In Persian] doi: 10.22124/upk.2024.25538.1886
- Javaid, A., Creutzig, F., & Bamberg, S. (2020). Determinants of low-carbon transport mode adoption: systematic review of reviews. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103002. DOI: 10.1088/1748-9326/aba032
- Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12
- Lapenis, A. G. (1998). Arrhenius and the intergovernmental panel on climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(23), 271-271. https://doi.org/10.1029/98EO00206
- Lan, T., Shao, G., Xu, Z., Tang, L., & Dong, H. (2023). Considerable role of urban functional form in low-carbon city development. *Journal of Cleaner Production*, *392*, 136256. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136256

- Lehmann, S. (Ed.). (2014). Low carbon cities: Transforming urban systems. Routledge. ISBN: 1317659147, 9781317659143
- Li, S., Zhou, C., Wang, S., & Hu, J. (2018). Dose urban landscape pattern affect CO2 emission efficiency? Empirical evidence from megacities in China. *Journal of Cleaner Production*, 203, 164-178. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.194
- Liu, Z., Ma, J., & Chai, Y. (2017). Neighborhood-scale urban form, travel behavior, and CO2 emissions in Beijing: implications for low-carbon urban planning. *Urban Geography*, 38(3), 381-400. https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1191796
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. (2020). Urban climates and climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 411-444. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623
- Malekpourasl, B. And Boostani, P. (2022). Collaborative Planning to Achieve a Low Carbon City in Tehran Metropolis. *Journal of Geography and Planning*, 26(81), 226-209. [In Persian] Doi: 10.22034/Gp.2021.46529.2856
- McKibben, B. (2006). *The end of nature*. Random House Trade Paperbacks.
- Mishra, V., Ganguly, A. R., Nijssen, B., & Lettenmaier, D. P. (2015). Changes in observed climate extremes in global urban areas. Environmental Research Letters, 10(2), 024005. doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024005
- Mohammadpour, S & ,.Mehrjou ,M .(2020) .Evaluating The Sustainability of Urban Neighborhoods with a Low Carbon Approach ;Case Study :Jowlan Neighborhood Of Hamadan .*Journal of Community Development) Rural and Urban Communities*] .21-50 ,(1)12,(In Persian [Sid .Https//:Sid.Ir/Paper/954501/En
- Mohamed Yusoff ,A .F ,.Hashim ,A ,.Muhamad ,N & ,.Wan Hamat ,W .N .(2021) .Application of fuzzy delphi technique to identify the elements for designing and developing the e-PBM PI-Poli module .*Asian Journal of University Education) AJUE*,(.292-304 ,(1)7https//:ir.uitm.edu.my/id/eprint53697/
- Moniri ,F ,.Asghari ,H ,.Pourshikhan ,A & ,.Hasani Mehr ,S .S .(2021) .Evaluation of the Role of Transportation in Achieving Low-Carbon Cities Using the MICMAC Method) Case Study :Jolfa and Jananloo Cities in Aras Free Zone .(*Journal of Geographic Sciences ,Islamic Azad University of Mashhad*, *37*(17), 1-16. [In Persian] https://civilica.com/doc/1575543
- Noorian,F. , Fathejalali,A. and Savojbolaghi,T. (2021). Analyzing the Effects of Land Use and Transportation Network on Greenhouse Gas Emissions Based on Low-Carbon City Approach. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 14(35), 311-330. [In Persian] doi: 10.22034/aaud.2021.142938.1638
- Nakamura, K., & Hayashi, Y. (2013). Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects. *Transport Policy*, 29, 264-274. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.003
- Newman, P., Kosonen, L., & Kenworthy, J. (2016). Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency. *Town Planning Review*, 87(4), 429-458. doi:10.3828/tpr.2016.28
- Niu, F., Wang, F., & Chen, M. (2019). Modelling urban spatial impacts of land-use/transport policies. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 197-212. https://doi.org/10.1007/s11442-019-1592-3
- Pozzer, A., Anenberg, S. C., Dey, S., Haines, A., Lelieveld, J., & Chowdhury, S. (2023). Mortality attributable to ambient air pollution: A review of global estimates. *GeoHealth*, 7(1), e2022GH000711. https://doi.org/10.1029/2022GH000711
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Our World in Data—Urbanization. *Our World in Data*. https://ourworldindata.org/urbanization
- Roosta, M. , Javadpoor, M. and Ebadi, M. (2020). Developing a "Low-Carbon Neighborhood Model" in Order to Implement It in the Urban Planning & Design. *Urban Planning Knowledge*, 4(1), 33-48. [In Persian] doi: 10.22124/upk.2020.15513.1383
- Pringle, A., & Robbins, D. (2022). From denial to delay: Climate change discourses in Ireland. Administration, 70(3), 59-84. doi: https://doi.org/10.2478/admin-2022-0019
- Sharifi, A. (2021). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the total environment*, 750, 141642. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141642
- Shamaei, A., & Pour Ahmad, A. (2005). *Urban Rehabilitation and Renewal from the Perspective of Geography* .Tehran :Tehran University Press] .In Persian[
- Sheikhi ,S ,.Habib ,F & ,.Habib ,F .(2022) .Developing Conceptual and Evaluative Model of Low Carbon Cities .*Journal of Environmental Science and Technology*, 24(8 (123)), 61-75. [In Persian] Sid. Https://Sid.Ir/Paper/1063696/En
- Sun, C., Zhang, Y., Ma, W., Wu, R., & Wang, S. (2022). The impacts of urban form on carbon emissions: A comprehensive review. *Land*, 11(9), 1430. https://doi.org/10.3390/land11091430
- Statistical Centre of Iran. (2022). Statistical Yearbook of Fars Province. [In Persian] https://www.amar.org.ir
- Tavassoli, M. (1989). Old Texture: An Introduction to the Issue. *Seminar on the Continuation of Life in the Old Texture of Iranian Cities*, 23-25. [In Persian] https://sid.ir/paper/467916/fa
- Tang, M., & Hu, F. (2021). How does land urbanization promote CO2 emissions reduction? Evidence from Chinese prefectural-level cities. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 766839. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.766839
- Wang, X., Wang, G., Chen, T., Zeng, Z., & Heng, C. K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. Sustainable Cities and Society, 90, 104381. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104381
- Wang, X., Zhao, G., He, C., Wang, X., & Peng, W. (2016). Low-carbon neighborhood planning technology and indicator system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1066-1076. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.076
- Wang, X., Zhao, G., He, C., Wang, X., & Peng, W. (2016). Low-carbon neighborhood planning technology and indicator system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1066-1076. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.076
- Yazdani, M.H., & Pourahmad, Ahmad. (2007). The Influence of Modernism Upon the Physical Transformation of Iranian-Islamic Cities (Tabriz'as Case Study). *Geographical Research*, 22(1(84)), 29-52. [In Persian] SID. https://sid.ir/paper/29739/en
- Yang, S., Zhan, Q., Zhang, K., & Paryzat, H. (2024). Urban Texture Identification and Characteristic Analysis Based on Per-

colation Theory—A Case Study of the Second Ring Road Area in Wuhan City. *Land*, 13(5), 717. https://doi.org/10.3390/land13050717

- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management decision*, 57(9), 2501-2519. DOI: 10.1108/MD-05-2017-0458
- Yu, Y. (2022). Explore the theoretical basis and implementation strategy of low-carbon Urban Community Planning. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 989318. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.989318
- Zeng, X., Fan, D., Zheng, Y., & Li, S. (2024). Exploring the Differentiated Impact of Urban Spatial Form on Carbon Emissions: Evidence from Chinese Cities. *Land*, 13(6), 874. https://doi.org/10.3390/land13060874
- Ziyari, K. (2009). *New Cities Planning*. Tehran: SAMT Publications. [In Persian]
- Zhang, M. (2021). Research on strategies of low-carbon city planning and construction. In *E3S Web of Conferences*, Vol. 248. 02037. EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124802037
- Zhao, G. C., Wang, X. M., & Li, X. K. (2017). Life-Cycle Low-Carbon Neighborhood: A Genetic Perspective in China. *Applied Mechanics and Materials*, 858, 249-254. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.858.249
- Zhu, Y., & Hu, Y. (2023). The correlation between urban form and carbon emissions: a bibliometric and literature review. *Sustainability*, 15(18), 13439. https://doi.org/10.3390/su151813439