journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

Providing foresight design model based on emerging technologies in vertical transportation in Tehran city

Alireza Jabarizadegan[1], Razieh Labibzadeh[*2], Mahtiam Shahbazi[3]

1. Department of Architecture, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Architecture, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Department of Architecture, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLEINFO

Research Paper

Article history:

Received: 2025/11/12
Accepted: 2026/07/11
Published online: 2026/07/15

Keywords:
Urban Air Terminal, Urban Air Mobility, Vertical Transportation, Foresight Studies, Tehran

Abstract

Tehran, as the largest metropolitan city of Iran, faces critical challenges including rapid population growth, severe traffic congestion, and escalating air pollution—conditions that highlight the incapacity of traditional transportation networks to meet future urban demands. Within this context, the establishment of urban air terminals based on advanced vertical transportation technologies has become an inevitable necessity. However, the absence of a comprehensive design framework that simultaneously accommodates future technological developments while addressing environmental, economic, and social requirements remains a major challenge for architects and urban planners. Adopting a foresight studies approach, this research aims to identify and prioritize the key components and indicators influencing the design of urban air terminals in Tehran, and to propose strategic design guidelines for their implementation. The study follows a descriptive–analytical and survey-based method. The statistical population comprises architects, university professors, and researchers specializing in the architectural design of transportation terminals, selected purposefully to provide expert insights. Data analysis was conducted using t-test, Friedman test, factor analysis, and structural equation modeling techniques. The results indicate that technological flexibility and environmental adaptability are considered the most critical factors by experts. Indicators such as anticipating future urban landscape impacts, compatibility with aerial mobility technologies, and the use of renewable energy sources received the highest priority scores. Conversely, the components related to economic sustainability and social interaction enhancement, including the design of community-oriented spaces and sustainable revenue models, received the least attention. This imbalance may threaten the long-term equilibrium between technological efficiency and public satisfaction, ultimately challenging the sustainability of urban air mobility systems.

Citation: Jabarizadegan A, Labibzadeh R, Shahbazi M. (2026). **Providing foresight design model based on emerging technologies in vertical transportation in Tehran city,** Journal of Future Cities vision, 7(25), 71-86.

© The Author(s). Publisher: Iranian Geographical Association

[*] **Corresponding author**: Razieh Labibzadeh, **Email:** labibzadeh11@iau.ac.ir

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

Extended Abstract

Introduction

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

As global cities move toward integrating advanced mobility systems, the transformation of transportation infrastructure has become a fundamental aspect of urban resilience and sustainability. In this regard, Tehran, as Iran's largest and most densely populated metropolis, embodies a complex urban condition characterized by rapid demographic expansion, worsening air pollution, and chronic traffic congestion. The traditional ground-based transportation infrastructure is reaching its maximum capacity, proving incapable of accommodating the increasing urban mobility demands of the near future. Consequently, the exploration of vertical mobility and the establishment of urban air terminals emerge as strategic solutions that can reshape Tehran's mobility landscape and contribute to a more sustainable and technologically integrated urban future .The concept of urban air terminals—nodes designed to facilitate vertical take-off and landing aircraft such as drones or eVTOLs—has gained growing attention in international urban design discourse. These terminals are not merely transport infrastructures but complex architectural systems requiring interdisciplinary design strategies that integrate technological innovation with environmental, social, and economic sustainability. However, while many countries have begun developing frameworks for such facilities, Tehran still lacks a comprehensive design model that anticipates technological evolution while maintaining alignment with the city's unique spatial, cultural, and environmental contexts .This research therefore adopts a futures studies approach to explore how Tehran can strategically plan for and design urban air terminals capable of accommodating future technological changes and socio-environmental demands. It seeks to identify the most influential design components and indicators in shaping such terminals and to prioritize them according to expert evaluations. By doing so, the study contributes to the development of strategic guidelines for architects and urban planners, ensuring that technological innovation aligns with human-centered and sustainable design principles.

Methodology

The research employs a descriptive–analytical methodology combined with a survey-based quantitative approach to systematically identify and evaluate the factors affecting the design of urban air terminals in Tehran. The study's conceptual framework is founded on the integration of foresight studies principles with sustainable design theories, emphasizing the need for anticipatory planning and adaptability to emerging technologies in urban transportation. The statistical population consists of professionals with recognized expertise in the field of architecture and transportation design, including university professors, practicing architects, and researchers specializing in the architectural design of transportation terminals. Participants were selected using purposeful sampling, ensuring that the opinions gathered reflect informed and experience-based perspectives. The survey instrument was developed through an extensive literature review of existing studies on vertical mobility, sustainable transport infrastructure, and architectural design frameworks for advanced air mobility systems .The questionnaire included both closed-ended and ranking-type items to evaluate the significance of various design components—technological, environmental, economic, and social—and their respective indicators. Data were analyzed using Spss and Smartpls software, employing statistical techniques such as one-sample t-test, Friedman ranking test, factor analysis, and structural equation modeling (SEM). These methods allowed for the validation of the conceptual model and the extraction of latent relationships among variables, providing a robust analytical basis for prioritizing design indicators. Reliability and validity were ensured through Cronbach's alpha and confirmatory factor analysis, confirming the internal consistency of the questionnaire and the appropriateness of the selected indicators. The combination of quantitative validation and expert judgment provided a balanced methodological approach, integrating empirical rigor with professional insight to establish a context-specific design framework for Tehran's urban air terminals.

Results and Discussion

The results reveal that technological flexibility and environmental adaptability are considered by experts to be the most decisive factors in designing urban air terminals. These two dimensions represent the backbone of sustainable

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

integration between emerging aerial mobility technologies and Tehran's existing urban fabric. Specifically, indicators such as the capacity to accommodate future eVTOL models, anticipation of urban landscape transformations, and use of renewable energy systems achieved the highest mean scores in the ranking analysis. This reflects a strong professional consensus that successful terminal design must prioritize adaptability to rapid technological shifts and ecological resilience. Furthermore, the factor analysis results identified four major latent dimensions influencing design decision-making: 1-Technological innovation and flexibility, encompassing modular construction systems, digital monitoring infrastructure, and smart control interfaces. 2-Environmental sustainability and resilience, including energy-efficient design, renewable resource utilization, and integration with green urban networks. 3-Economic feasibility and operational sustainability, which relate to cost-effectiveness, long-term maintenance strategies, and adaptable revenue generation models.4-Social inclusion and human-centered design, involving accessibility, public perception, and opportunities for community engagement. Interestingly, the Friedman test results indicated a noticeable imbalance between the technological–environmental priorities and the socio-economic ones. While the majority of experts placed significant emphasis on technology-driven performance and ecological design compatibility, aspects related to social integration and community-oriented spatial design were ranked substantially lower. Similarly, economic sustainability indicators—such as developing flexible financial models or promoting partnerships between public and private sectors—received less attention. This disparity suggests a potential risk to long-term system sustainability, as overemphasis on technological performance without sufficient consideration of human and economic factors may lead to social alienation and operational inefficiencies. A sustainable urban air terminal, by contrast, should foster public trust, social interaction, and economic resilience alongside technological advancement. The discussion therefore underscores the necessity of a holistic design paradigm, one that integrates adaptive technology with ecological awareness and social inclusivity. From a strategic perspective, Tehran's urban air terminal design must also address contextual constraints, including the city's complex topography, air quality concerns, and cultural sensitivity regarding urban aesthetics. The findings imply that future guidelines should promote flexible modular structures capable of retrofitting, the incorporation of vertical green systems, and the deployment of intelligent control technologies to ensure safe and efficient air–ground connectivity. Such an approach would allow Tehran to evolve toward a resilient and future-ready mobility ecosystem, balancing innovation with human well-being.

Conclusion

This study contributes to the growing body of knowledge on urban air mobility and architectural design for emerging transport infrastructures by presenting an empirically grounded framework for Tehran's potential network of urban air terminals. Through expert-based analysis and advanced statistical modeling, it highlights the critical importance of technological flexibility and environmental adaptability as primary determinants of sustainable design. However, the observed neglect of socio-economic factors reveals an imbalance that could undermine the long-term equilibrium of urban air mobility systems. To ensure sustainability and public acceptance, future design policies must move beyond purely technical concerns and incorporate community-oriented, economically viable strategies. Encouraging interdisciplinary collaboration between architects, engineers, urban planners, and policymakers will be essential to create frameworks that are both innovative and socially responsive. Ultimately, the findings emphasize that the future of Tehran's mobility infrastructure depends on its capacity to integrate foresight-driven design thinking with comprehensive sustainability considerations. Urban air terminals should not be treated as isolated technological nodes but as dynamic, interactive components of the city's spatial and social structure. By embedding adaptability, ecological awareness, and human-centered values into the design process, Tehran can pioneer a new paradigm of future-ready urban mobility that harmonizes technological progress with environmental responsibility and public well-being.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

.

References

1.Abedi,S. and Anisi,M. (2024). Strategic Planning to Reduce the Social Cost of Air Pollution in Tehran Caused by Buses in the City. *Environment and Interdisciplinary Development*, *9*(84), 21-40. [In Persian].

2.Alamdar, A. and Mirzahossein, H. (2022). Reducing Transportation Inequality in Future Smart Cities by Combining New Technologies and Gamification. *Journal of Iran Futures Studies*, *7*(1), 179-212. doi: 10.30479/jfs.2022.15305.1275. [In Persian].

3.Brunelli, C. (2023). New infrastructures for Urban Air Mobility systems: A systematic review on vertiport location and capacity, Journal of Air Transport Management, 112,

4.Coppola, P., De Fabiis, F. & Silvestri, F. (2025). Urban Air Mobility demand forecasting: modeling evidence from the case study of Milan (Italy). *Eur. Transp. Res. Rev.* 17, 2.

5.Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2022). Urban air mobility: Opportunities and challenges for the future of transportation. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 14, 100615. https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100615

6.Chen, X., Wang, Y., Zhang, H., & Li, J. (2024). Risk-aware urban air mobility network design with overflow redundancy. Transportation Research Part B: Methodological, 185, 102967. https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102967

7.Di Mascio, P., Del Serrone, G., & Moretti, L. (2025). Vertiports: The Infrastructure Backbone of Advanced Air Mobility—A Review. *Eng*, *6*(5), 93.

8.Davari, Ali; Rezazadeh, Arash. (2014). Structural Equation Modeling with PLS Software. Tehran: Jihad Daneshgahi Publishing Organization. [In Persian].

9.Fathi, Mohammad Reza, Maleki, Mohammad Hassan, and Moghadam, Hossein. (2018). Futures of Investment and Financing in the Iranian Rail Transportation Industry (Machinery and Equipment Sector). Futures of Management (Management Research), 29(113), 33-53. [In Persian].

10.FAA. (2023). Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations Version 2.0. Federal Aviation Administration / NASA. https://www.faa.gov/air-taxis/uam_blueprint.

11.Fu, M., Rothfeld, R., & Antoniou, C. (2021). Exploring profitability of urban air mobility services. Transportation Research Part A, 152, 46–65. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.07.012

12.Ghahremanlou,A. , Saffarzadeh,M., Naderan,A. and Javanshir,H. (2022). Mechanism of the Effect of Urban Form and Land Use on Transportation and Air Pollution in Tehran. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, *19*(109), 35-46. doi: 10.22034/bagh.2022.323127.5086. [In Persian].

13.Geels, F. W. (2020). Socio-technical transitions in urban transport systems ، Research Policy. 49(7). 104066.

14.Herniczek, M. T. K., & German, B. J. (2024). Scalable combinatorial vertiport placement method for an urban air mobility commuting service. Transportation Research Record, 2678(10), 1624–1641. https://doi.org/10.1177/03611981241239654

15.Lee, J., Huh, U., Wei, P., & Song, K. (2025). Efficient Urban Air Mobility Vertiport Operational Plans Considering On-Ground Traffic Environment. *Sustainability*, *17*(11), 5054.

16.Lu, Y., Zeng, W., Wei, W., Wu, W., & Jiang, H. (2025). Urban Air Mobility Vertiports: A bibliometric analysis of applications, challenges, and emerging directions. Applied Sciences, 15(20), 10961. https://doi.org/10.3390/app152010961

17.Nazarian, Asghar, Ghaderi, Ismail, and Haghighi, Abdolreza. (2010). The role of air transport in the development of the tourism industry with emphasis on Urmia International Airport. New Perspectives in Human Geography (Human Geography), 2(3), 25-44. [In Persian].

18.Shafienejad, Iman and Hakimi, Ali. (2022). Futures research in the aerospace industry by presenting a new method of designing vision and mission with a resilient approach. Modern

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

journal of Future Cities vision
Spring 2026. Vol 7. Issue 25
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

Management Engineering Quarterly. 8(3). 131-147. [In Persian].
19.Schweiger, K., & Preis, L. (2022). Urban Air Mobility: Systematic Review of Scientific Publications and Regulations for Vertiport Design and Operations. *Drones*, *6*(7), 179.
20.Shakeri, A., Mousavi, M.H. and Safarzadeh, G., 2013. Estimation of Shadow Prices for Environmental Pollutions CO2، Nox & SO2 in Transportation Sector, Journal of Transportation Research, 11(2), 135- 143.
21.Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K. D., Kaiser, J., & Plötner, K. O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility – Setting the scene for UAM introduction. Journal of Air Transport Management, 87, 101852.
26.solution for urban eVTOL operations.
27.Wiedemann, M., et al. (2024). Advanced Air Mobility: A Comparative Review of Policies and Vertiport Design. Transportation Research Part C, 15.
28.Yan, Y., Wang, K., & Qu, X. (2024). Urban air mobility (UAM) and ground transportation integration: A survey. Engineering, 11, 734–758. https://doi.org/10.1007/s42524-024-0298-0
https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852
22.Tang H, Zhang Y, Mohmoodian V, Charkhgard H. (2021). Automated flight planning of high-density urban air mobility. Transp Res Part C Emerg Technol.
23.Van der Duin, P. ،Van der Heijden, K. ،& Smith, J. (2020). Foresight in urban transport: Technology, society, and policy perspectives, Technological Forecasting and Social Change.155.
24.Volakakis, V., & Mahmassani, H. S. (2024). Vertiport Infrastructure Location Optimization for Equitable Access to Urban Air Mobility. *Infrastructures*, *9*(12), 239.
25.Volocopter. (2021). VoloPort: The efficient and ready-made vertiport network

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

نوع مقاله: پژوهشی

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
www.jvfc.ir
دوره هفتم، شماره اول، پیاپی (۲۵)، بهار ۱۴۰۵
صص ۸۶-۷۱

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
Future Cities Vision

ارائه الگو آینده‌نگار طراحی پایانه‌های هوایی شهری با تکیه بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی در شهر تهران[۱]

علیرضا جباری‌زاده‌گان: گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران،ایران.
راضیه لبیب‌زاده[۲]: گروه علمی معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران،ایران.
مه‌تیام شهبازی: گروه علمی معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران،ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

چکیده

تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر کشور، با رشد فزاینده جمعیت، تراکم بالای ترافیک و آلودگی شدید هوا مواجه است؛ شرایطی که بیانگر ناتوانی شبکه‌های حمل‌ونقل سنتی در پاسخ‌گویی به نیازهای آینده کاربران در فضاهای شهری است. در چنین بستری، ایجاد پایانه‌های حمل و نقل هوایی شهری مبتنی بر فناوری‌های نوین حمل‌ونقل عمودی به ضرورتی غیرقابل اجتناب تبدیل شده است. با این وجود، فقدان الگوی جامع برای طراحی پایانه‌های هوایی که ضمن انطباق با تحولات فناورانه آتی، الزامات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را نیز تأمین کند، یکی از چالش‌های اصلی معماران و برنامه‌ریزان شهری محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف ارائه راهکارهای طراحی پایانه هوایی شهری، به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر طراحی این پایانه‌ها در شهر تهران می‌پردازد. روش تحقیق از نوع توصیفی- تحلیلی و پیمایشی است. جامعه آماری شامل معماران، اساتید دانشگاه و پژوهشگران حوزه طراحی معماری پایانه‌های حمل‌ونقل است که با هدف ارائه راهبردهای تخصصی انتخاب شده‌اند. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون تی، فریدمن، تحلیل عاملی و مدل‌سازی معادلات ساختاری انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که انعطاف‌پذیری فناورانه و سازگاری محیطی، بیشترین اهمیت را از دیدگاه خبرگان دارد؛ شاخص‌هایی نظیر پیش‌بینی اثرات منظر شهری، انطباق با فناوری‌های پرنده و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بالاترین امتیاز را کسب کرده‌اند. در مقابل، مؤلفه‌های پایداری اقتصادی و ارتقای تعامل اجتماعی شامل طراحی فضاهای اجتماع‌پذیر و مدل‌های درآمدزایی پایدار، کمترین توجه را دریافت نموده‌اند؛ امری که می‌تواند در بلندمدت تعادل میان کارایی فناورانه و رضایت عمومی را برهم زند و پایداری سامانه حمل‌ونقل هوایی شهری را با چالش مواجه سازد.

واژگان کلیدی: پایانه هوایی شهری، سامانه هوایی شهری، حمل و نقل عمودی، آینده‌نگار، شهر تهران

---

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری آقای علیرضا جباری زاده‌گان با عنوان « مدل توسعه ای-کاربردی طراحی معماری پایانه‌های هوایی درون شهری مبتنی بر آینده پژوهی » به راهنمایی دکتر راضیه لبیب‌زاده و مشاوره دکتر مه‌تیام شهبازی در دانشکده عمران، معماری و هنر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد.

۲. **نویسنده مسئول:** labibzadeh11@iau.ac.ir

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

مقدمه

امروزه رشد شتابان شهرنشینی و تمرکز جمعیت در کلان‌شهرها، نظام‌های حمل‌ونقل شهری را با چالش‌های پیچیده‌ای مواجه ساخته است. افزایش حجم سفرهای روزانه، تراکم ترافیک و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله پیامدهای این روند به شمار می‌روند (عابدی و انیسی، ۱۴۰۳، ۲۲). اگرچه توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل نقش اساسی در رشد اقتصادی، تسهیل دسترسی و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان ایفا می‌کند، اما تداوم الگوهای سنتی جابه‌جایی و اتکای بیش از حد به زیرساخت‌ها، امکان پاسخگویی به نیازهای آینده شهرها را با محدودیت‌های جدی مواجه ساخته است (Shakeri et al., 2013, 137). در این میان، شهر تهران به عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران با مشکلاتی نظیر تراکم ترافیک، محدودیت ظرفیت توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل زمینی، رشد تقاضای سفر و نابرابری دسترسی به خدمات شهری روبه‌رو است. توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل زمینی در بسیاری از مناطق شهر به دلیل محدودیت‌های کالبدی، اقتصادی و زیست‌محیطی با چالش همراه بوده و همین امر ضرورت جستجوی راهکارهای نوین برای پاسخگویی به نیازهای جابه‌جایی آینده را بیش از پیش آشکار ساخته است. از سوی دیگر، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که روندهای فناوری، دیجیتالی شدن زیرساخت‌های شهری و توسعه شهرهای هوشمند در دهه‌های آینده، الگوهای متداول حمل‌ونقل را دستخوش تغییرات بنیادین خواهند کرد. از این‌رو، برنامه‌ریزی شهری دیگر نمی‌تواند صرفاً مبتنی بر شرایط کنونی باشد، بلکه نیازمند رویکردهای آینده‌نگار و آمادگی برای پذیرش فناوری‌های نوظهور است (علمدار و میرزاحسین، ۱۴۰۱، ۱۸۲). در چنین شرایطی، آینده‌نگاری به عنوان رویکردی علمی برای شناسایی روندها، نیروهای پیشران و سناریوهای محتمل آینده، نقش مهمی در هدایت تصمیم‌گیری‌های راهبردی ایفا می‌کند (فتحی و همکاران، ۱۳۹۷، ۳۴).

یکی از مهم‌ترین فناوری‌هایی که در سال‌های اخیر به عنوان بخشی از آینده حمل‌ونقل شهری مطرح شده است، سامانه حمل‌ونقل هوایی شهری[1] مبتنی بر هواگردهای برقی عمودپرواز[2] است. این سامانه با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته ناوبری، سامانه‌های کنترل هوشمند و پیشران‌های الکتریکی، امکان جابه‌جایی سریع مسافر و بار را در فضای هوایی کم‌ارتفاع شهرها فراهم می‌کند. بسیاری از شرکت‌های پیشرو و نهادهای هوانوردی جهان، حمل‌ونقل هوایی شهری را به عنوان یکی از ارکان شبکه‌های حمل‌ونقل آینده معرفی کرده‌اند؛ زیرا این فناوری می‌تواند بخشی از فشار وارد بر شبکه‌های زمینی را کاهش داده و زمان سفرهای درون‌شهری را به شکل قابل توجهی کم کند. با این حال، تحقق عملی حمل‌ونقل هوایی شهری صرفاً به توسعه هواگردها وابسته نیست، بلکه نیازمند ایجاد زیرساخت‌های پشتیبان و شبکه‌ای از پایانه‌های تخصصی موسوم به ورتی‌پورت است. ورتی‌پورت‌ها محل انجام عملیات فرود و برخاست، سوار و پیاده شدن مسافران، نگهداری هواگردها و اتصال سامانه حمل‌ونقل هوایی به سایر مدهای جابه‌جایی شهری هستند. از این رو، طراحی این پایانه‌ها صرفاً یک مسئله معماری یا فنی نیست، بلکه موضوعی میان‌رشته‌ای است که ابعاد کالبدی، عملکردی، زیست‌محیطی، فناورانه و اجتماعی را به صورت همزمان دربرمی‌گیرد (Schweiger & Preis, 2022, 179).

بررسی مطالعات پیشین جهت تبیین مسئله پژوهش نشان می‌دهد که بخش عمده پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه حمل‌ونقل هوایی شهری بر موضوعاتی نظیر توسعه فناوری هواگردهای عمودپرواز، مدیریت ترافیک هوایی، الزامات ایمنی، مدل‌های اقتصادی و پذیرش اجتماعی متمرکز بوده‌اند. در مقابل، پژوهش‌های مرتبط با الگوهای طراحی معماری و شهری پایانه‌های هوایی، به‌ویژه در بستر کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه، بسیار محدود است. علاوه بر این، اغلب چارچوب‌های ارائه‌شده در مطالعات بین‌المللی بر شرایط اقتصادی، مدیریتی و کالبدی شهرهای توسعه‌یافته مبتنی هستند و قابلیت تعمیم مستقیم به کلان‌شهری همچون تهران را ندارند. در نتیجه، همچنان خلأیی جدی در زمینه شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر طراحی پایانه‌های هوایی شهری و تدوین الگوی بومی متناسب با شرایط آینده تهران وجود دارد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه تصمیمات مرتبط با مکان‌یابی، طراحی و توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل دارای آثار بلندمدت و بعضاً غیرقابل

[1] Urban Air Mobility
[2] eVTOL

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

بازگشت هستند، عدم توجه به روندهای فناورانه و سناریوهای آینده می‌تواند منجر به شکل‌گیری زیرساخت‌هایی ناکارآمد و ناسازگار با نیازهای آتی شهر شود. بنابراین، شناخت عوامل مؤثر بر آینده حمل‌ونقل عمودی و استخراج الزامات طراحی پایانه‌های هوایی شهری، ضرورتی راهبردی برای مدیریت آینده تهران محسوب می‌شود. بر اساس موارد ذکر گردیده، هدف اصلی تحقیق، ارائه الگویی برای طراحی پایانه‌های هوایی شهری مبتنی بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی در بستر شهر تهران است. جهت نیل به هدف تحقیق، بایستی به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

۱. شاخص‌های موثر در طراحی پایانه‌های هوایی شهری در کلانشهر تهران جهت توسعه آنها در آینده چیست؟
۲. راهبردهای تعدیل کننده در جهت کاهش اثر محدودیت‌های موجود در طراحی پایانه هوایی شهری در کلانشهر تهران چیست؟

با توسعه فناوری هواگردهای برقی عمودپرواز، پژوهش‌های مرتبط با حمل‌ونقل هوایی شهری و زیرساخت‌های پشتیبان آن در سال‌های اخیر رشد چشمگیری یافته است. با این حال، بخش عمده مطالعات انجام‌شده بر ابعاد فنی، عملیاتی و اقتصادی سامانه‌های حمل‌ونقل هوایی شهری متمرکز بوده و پژوهش‌های محدودی به الزامات طراحی معماری و شهری پایانه‌های هوایی پرداخته‌اند؛ برونلی، دیتا و پستورینو (۲۰۲۳) در یک مطالعه مروری به بررسی پژوهش‌های مرتبط با مکان‌یابی و ظرفیت ورتی‌پورت‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که موقعیت استقرار ورتی‌پورت‌ها، تعداد سکوهای نشست و برخاست و شرایط بهره‌برداری آنها از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد این زیرساخت‌ها هستند. پژوهش مذکور بر اهمیت برنامه‌ریزی زیرساختی تأکید دارد، اما چارچوب مشخصی برای طراحی معماری پایانه‌های هوایی ارائه نمی‌کند (Brunelli et al.,2023). یان، وانگ و کو (۲۰۲۴) با بررسی روندهای توسعه حمل‌ونقل هوایی شهری و نحوه اتصال آن به شبکه‌های حمل‌ونقل زمینی نشان دادند که موفقیت سامانه‌های هوایی شهری وابسته به یکپارچگی عملکردی میان زیرساخت‌های هوایی و زمینی است. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که ورتی‌پورت‌ها باید فراتر از یک سکوی پروازی تلقی شوند و به‌عنوان گره‌های چندوجهی حمل‌ونقل در ساختار شهر عمل کنند. با این حال، مطالعه مذکور بیشتر بر ابعاد حمل‌ونقلی و مدیریتی تمرکز دارد و به شاخص‌های طراحی فضایی و معماری توجه محدودی داشته است (Yan et al.,2024). هرنیچک و جرمن (۲۰۲۴) با ارائه مدل‌های بهینه‌سازی برای استقرار ورتی‌پورت‌ها در محیط‌های شهری نشان دادند که نحوه توزیع فضایی این زیرساخت‌ها تأثیر مستقیمی بر کارایی شبکه حمل‌ونقل هوایی شهری دارد. نتایج مطالعه حاکی از آن است که تصمیمات مکان‌یابی باید همزمان به الگوهای تقاضا، دسترسی شهری و محدودیت‌های کالبدی توجه داشته باشند. با وجود این، تمرکز پژوهش بر انتخاب مکان بوده و معیارهای طراحی پایانه‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است (Herniczek & German,2024). مطالعه چن و همکاران (۲۰۲۴) در زمینه طراحی شبکه‌های حمل‌ونقل هوایی شهری نشان داد که تاب‌آوری زیرساخت‌ها و پیش‌بینی ظرفیت‌های پشتیبان از عوامل کلیدی در پایداری سامانه‌های هوایی هستند. پژوهش مذکور با تأکید بر مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی شبکه، اهمیت زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر را برجسته می‌کند؛ با این حال، راهبردهای طراحی فضایی و کالبدی پایانه‌های هوایی در آن مورد توجه قرار نگرفته است (Chen et al.,2024).

بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده در حوزه حمل‌ونقل هوایی شهری عمدتاً بر جنبه‌های فنی هواگردهای عمودپرواز، مکان‌یابی ورتی‌پورت‌ها، مدیریت ترافیک هوایی و الزامات عملیاتی متمرکز بوده‌اند. در مقابل، پژوهش‌های اندکی به ابعاد معماری و طراحی پایانه‌های هوایی شهری پرداخته و کمتر مطالعه‌ای این موضوع را در چارچوب شیوه پیشرفت و توسعه آن در آینده و متناسب با شرایط کلان‌شهرهای در حال توسعه بررسی کرده است. نوآوری اصلی پژوهش حاضر در ارائه یک الگو و راهبرد طراحی برای پایانه‌های هوایی شهری مبتنی بر فناوری‌های نوظهور حمل‌ونقل عمودی در بستر شهر تهران است. در این راستا، پژوهش حاضر صرفاً به بررسی ویژگی‌های کالبدی یا عملکردی پایانه‌های هوایی محدود نشده، بلکه تلاش نموده است تا از طریق شناسایی شاخص‌های مبتنی بر توسعه حمل‌ونقل هوایی شهری در آینده، چارچوبی برای طراحی زیرساخت‌هایی سازگار با تحولات فناورانه آینده ارائه نماید. از دیگر جنبه‌های نوآورانه این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل اثرگذار بر طراحی پایانه‌های هوایی شهری از طریق بهره‌گیری هم‌زمان از

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

رویکردهای کیفی و کمی و تلفیق تحلیل‌های خبرگانی با مدل‌سازی آماری است. همچنین پژوهش حاضر با تمرکز بر شرایط کالبدی، عملکردی و مدیریتی شهر تهران، به تدوین الگویی بومی می‌پردازد که قابلیت استفاده در برنامه‌ریزی و طراحی نسل جدید زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری را داراست. علاوه بر این، برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که صرفاً به امکان‌سنجی یا مکان‌یابی ورتی‌پورت‌ها پرداخته‌اند، این پژوهش به استخراج راهبردهای طراحی پایانه‌های هوایی شهری توجه نموده است.

مبانی نظری

حمل و نقل هوایی شهری

حمل‌ونقل هوایی یکی از زیرساخت‌های اساسی چرخه تولید و مصرف به شمار می‌آید که در نظام ملی کشورها در زمره بخش خدمات قرار دارد. بر اساس آمارهای رسمی، در ایران فعالیت‌های مرتبط با حمل‌ونقل به‌طور مستقیم بیش از ۹ درصد از تولید ناخالص داخلی را شامل شده و حدود ۱۵ درصد از کل سرمایه‌گذاری ناخالص در حوزه تجهیزات کسب‌وکار را به خود اختصاص داده است. ویژگی‌هایی همچون انتخاب بهترین مسیر، بیشترین میزان ایمنی، سرعت بالا و سلامت جابه‌جایی همراه با صرف حداقل زمان و هزینه، موجب شده است که حمل‌ونقل هوایی جایگاه ویژه‌ای در نظام حمل‌ونقل کشورها پیدا کند (نظریان و همکاران، ۱۳۸۹،۳۶).

سامانه هوایی شهری

سامانه هوایی شهری، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های نوین در حوزه حمل‌ونقل درون‌شهری، به شبکه‌ای اطلاق می‌شود که با بهره‌گیری از هواگردهای برقی عمودپرواز، امکان جابه‌جایی انسان و کالا را در ارتفاع پایین و در محدوده‌های شهری فراهم می‌آورد. این سامانه بخشی از مفهوم «حمل‌ونقل هوایی پیشرفته» است که با هدف کاهش تراکم ترافیک زمینی، ارتقای سرعت سفرهای شهری و کاستن از اثرات زیست‌محیطی توسعه یافته است. در این الگو، سامانه هوایی شهری به‌صورت یکپارچه با سایر شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی مانند مترو، اتوبوس و سیستم‌های اشتراک دوچرخه ترکیب می‌شود تا تجربه‌ای چندوجهی، پیوسته و کارآمد برای کاربران فراهم گردد (Schweiger& Preis, 2022, 179). بر اساس گزارش سازمان هوانوردی ایالات متحده سامانه حمل‌ونقل هوایی شهری به‌عنوان یکی از زیرسیستم‌های کلیدی حمل‌ونقل هوایی با تکیه بر هواگردهای نوآورانه، فناوری‌های نوین و مدل‌های عملیاتی جدید، به‌ویژه در مناطقی که تاکنون فاقد خدمات هوایی مناسب بوده‌اند یا به شکل محدود از آن بهره‌مند شده‌اند، فعالیت می‌کند(FAA, 2023). با وجود مزایای گسترده، توسعه این سامانه با چالش‌هایی نظیر تدوین مقررات مناسب، تضمین ایمنی پرواز، پذیرش اجتماعی، تأمین زیرساخت‌های انرژی و تسهیل پذیرش فناوری‌های نوین مواجه است(Wiedemann, 2024, 150). شکل ۱، نمونه‌ای مفهومی از سامانه هوایی شهری را به نمایش می‌گذارد:



شکل ۱. نمایش کانسپتی از سرعت و افق دید کاربر از سامانه هوایی شهری(ماخذ:Tang et al,2021)

۲-۳ پایانه هوایی شهری و معیارهای طراحی

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

فرایند طراحی پایانه‌های هوایی شهری مستلزم توجه هم‌زمان به مؤلفه‌هایی چون ظرفیت عملیاتی، ایمنی، قابلیت دسترسی و اثرات زیست‌محیطی است. انتخاب محل احداث پایانه هوایی نیز باید بر پایه شاخص‌هایی همچون دسترسی مناسب به شبکه‌های حمل‌ونقل زمینی، الگوی تقاضای سفر، و وجود زیرساخت‌های پشتیبان انجام گیرد. در این زمینه، چارچوب‌هایی برای مکان‌یابی بهینه پایانه‌ها ارائه شده‌اند که تمرکز آن‌ها بر پوشش حداکثری تقاضا، سهولت دسترسی به زیرساخت‌ها و کارایی عملیاتی است. چنین رویکردی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد کلان در انتخاب موقعیت‌های مناسب برای توسعه شبکه پایانه‌های هوایی مورد استفاده قرار گیرد. با وجود این، گسترش این سامانه با چالش‌هایی از قبیل الزامات ایمنی پرواز، سطح پذیرش اجتماعی، نیاز به زیرساخت‌های انرژی و چگونگی پذیرش فناوری‌های نوین است (Lee et al., 2025). بر اساس مرور مطالعات متعدد، می‌توان مجموعه‌ای از معیارهای اصلی برای طراحی پایانه‌های هوایی شهری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: معیارهای طراحی پایانه هوایی شهری

ردیف	معیار	شاخص	منبع
۱	فضایی و شهری	۱.مکان‌یابی استراتژیک: ●دسترسی به شبکه حمل‌ونقل زمینی (مترو، اتوبوس، تاکسی) ●نزدیکی به مراکز اقتصادی، تجاری و اداری ●فاصله امن از مناطق پرتراکم مسکونی	(Brunelli,2023) (Lee,2025) (Volakakis & Mahmassani.2024). (Di Mascio et al., 2025) (Wiedemann,2024).
		۲.یکپارچگی شهری و منظر شهری: ●انطباق با کاربری اراضی اطراف ●حفظ منظر و هویت شهری ●جلوگیری از اثرات بصری منفی	
		۳.پیش‌بینی جریان مسافر و ظرفیت: ●تحلیل میزان ترافیک مسافر در ساعات اوج ●تعیین تعداد سکوی فرود/برخاست مورد نیاز	
۲	طراحی کالبدی	۱.ایمنی و دسترسی اضطراری: ●مسیرهای خروج اضطراری، دسترسی آتش‌نشانی ●جانمایی تجهیزات ایمنی و روشنایی مناسب	
		۲.سازه و مصالح: ●استفاده از مصالح سبک و مقاوم در برابر لرزش و ارتعاشات ناشی از برخاست/فرود ●انعطاف‌پذیری در تغییرات و توسعه آینده ●استفاده از مصالح و تکنولوژی های نوین در طراحی سامانه	
		۳.تأثیر صوتی و محیطی: ●کاهش نویز و آلودگی صوتی ناشی از برخاست و فرود ●طراحی نمای ساختمان و پوشش‌های صوتی ●جداسازی ثابت و پویا پایانه از سایر ساختمان‌ها	
۳	عملکردی و زیرساختی	۱–سیستم‌های انرژی و پایداری: ●بهره گیری از منابع تجدیدپذیر مثل پنل‌های خورشیدی ●ارائه راهکارهای مدیریت هوشمند مصرف انرژی.	
		۲–انعطاف‌پذیری و توسعه‌پذیری: ●قابلیت افزودن سکوی فرود یا تغییر عملکرد فضاها بدون نیاز به تخریب در محوطه ●رعایت سلسله مراتب دسترسی به محدوده پرواز ●طراحی فضاهای انعطاف پذیر و چند عملکردی در داخل پایانه	
		۳–ایمنی عملیاتی و نگهداری: ●طراحی بر اساس مسیرهای ایمن برای کارکنان و هواگردها و تعمیرات ●هدایت جریان باد از طریق فاصله مناسب از ساختمان‌های مجاور ●توجه به تناسبات و مقیاس های انسانی در پایانه	

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

بررسی نمونه‌های جهانی و منطق‌های طراحی پایانه‌های هوایی شهری

در سال‌های اخیر، همزمان با توسعه فناوری هواگردهای برقی عمودپرواز، نمونه‌های متعددی از پایانه‌های هوایی شهری در کشورهای مختلف طراحی و اجرا شده‌اند که می‌توانند به‌عنوان مرجعی برای تدوین اصول طراحی این زیرساخت‌ها مورد استفاده قرار گیرند. بررسی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که رویکردهای طراحی پایانه‌های هوایی شهری صرفاً بر تأمین الزامات پروازی متمرکز نبوده و به تدریج به سمت یکپارچگی با ساختار شهری، حمل‌ونقل چندوجهی و ارتقای تجربه کاربری حرکت کرده‌اند (Schweiger& Preis, 2022, 180). یکی از نمونه‌های شاخص، پروژه Air-One در شهر Coventry است که به‌عنوان نخستین ورتی‌پورت عملیاتی جهان معرفی شد. در این پروژه، انعطاف‌پذیری فضایی، قابلیت استقرار در محیط‌های متراکم شهری، تفکیک عملکردی فضاها و اتصال به سایر شیوه‌های حمل‌ونقل به‌عنوان اصول اصلی طراحی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین طراحی ماژولار مجموعه امکان توسعه تدریجی و انطباق با نیازهای آینده را فراهم می‌کند (Urban-Air Port, 2022). نمونه دیگر، پایانه مفهومی Voloport است. در این الگو، سازماندهی فضایی پایانه بر پایه کاهش زمان جابه‌جایی مسافران، تفکیک مسیرهای حرکتی، تأمین ایمنی عملیاتی و قابلیت توسعه‌پذیری شکل گرفته است. طراحی ماژولار و امکان استقرار بر روی بام ساختمان‌ها، سطوح زمینی یا سازه‌های موجود از مهم‌ترین ویژگی‌های این نمونه محسوب می‌شود (Volocopter, 2021). علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان می‌دهد که موفقیت پایانه‌های هوایی شهری وابسته به ارتباط مؤثر آن‌ها با شبکه حمل‌ونقل زمینی و ایفای نقش به‌عنوان گره‌های چندوجهی حمل‌ونقل است. در این رویکرد، ورتی‌پورت صرفاً محل نشست و برخاست هواگردها نیست، بلکه بخشی از ساختار یکپارچه جابه‌جایی شهری محسوب می‌شود که باید دسترسی، ایمنی، انعطاف‌پذیری و قابلیت توسعه در آن به‌طور همزمان مورد توجه قرار گیرد (Brunelli et al., 2023 ؛Yan et al., 2024). از این رو، شاخص‌هایی نظیر یکپارچگی با شبکه حمل‌ونقل شهری، انعطاف‌پذیری کالبدی، توسعه‌پذیری، تفکیک عملکردی فضاها، رعایت الزامات ایمنی و قابلیت انطباق با سناریوهای آینده به‌عنوان مبانی استخراج الگوی پیشنهادی پژوهش حاضر در نظر گرفته شدند.

آینده‌پژوهی و مدیریت حمل و نقل

مدیریت در حوزه حمل‌ونقل شهری همواره از چالش‌برانگیزترین و پیچیده‌ترین عرصه‌های مدیریت شهری در کشور به شمار می‌رود. پویایی بالا، تغییرات سریع و گاه پیش‌بینی‌ناپذیر در مؤلفه‌های اصلی این بخش، در کنار عواملی همچون سیاست‌های متغیر دولت‌ها، تنوع عناصر اثرگذار بر نظام حمل‌ونقل و نقش حیاتی این حوزه در فرایند توسعه شهری، موجب شده است که مدیریت حمل‌ونقل شهری به یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بدل گردد (باباغیبی ازغندی، ۱۳۸۹،۸۰). بر همین اساس، مؤلفه‌های کلان آینده پژوهی در راستای مدیریت حمل و نقل بر اساس مرور مطالعات پیشین و تحلیل پژوهش‌های مرتبط، در قالب جدول ۲ ارائه شده‌اند

جدول ۲. معیارهای کلان آینده پژوهی در حوزه مدیریت حمل و نقل

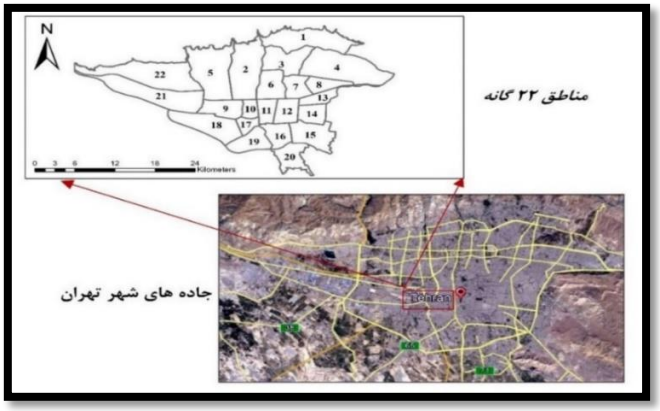
ردیف	معیار	شاخص	منبع
۱	فناوری و نوآوری	سطح آمادگی فناوری/ نرخ جذب فناوری‌های نو / نوآوری در سیستم مدیریت ترافیک	(Van der Duin et al., 2020). (Geels,2020) (شفیعی‌نژاد و حکیمی،۱۴۰۱)
۲	سیاست و مقررات	انعطاف‌پذیری چارچوب قانونی/سرعت به‌روزرسانی مقررات/ همکاری میان نهادهای مختلف	
۳	اقتصاد و سرمایه‌گذاری	هزینه چرخه عمر /شاخص بازده سرمایه / میزان جذب سرمایه خصوصی.	
۴	اجتماع و پذیرش اجتماعی	سطح آگاهی عمومی/ درصد پذیرش فناوری در میان شهروندان/ عدالت دسترسی	
۵	پایداری و محیط‌زیست	میزان کاهش انتشار کربن/ شاخص آلودگی صوتی/ سهم انرژی تجدیدپذیر	

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

۶	انعطاف‌پذیری	توانایی تدوین سناریو و پاسخ به عدم‌قطعیت/ سرعت انطباق با تغییرات تقاضا	

قلمرو مکانی تحقیق

کلان‌شهر تهران، به‌عنوان پایتخت جمهوری اسلامی ایران، در محدوده جغرافیایی بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این شهر که یکی از بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین کلان‌شهرهای منطقه خاورمیانه به شمار می‌رود، با مجموعه‌ای از چالش‌ها در حوزه حمل‌ونقل، زیرساخت‌های شهری و برنامه‌ریزی فضایی مواجه است. موقعیت دقیق محدوده مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است (قهرمانلو و همکاران،۱۴۰۱،۳۸).

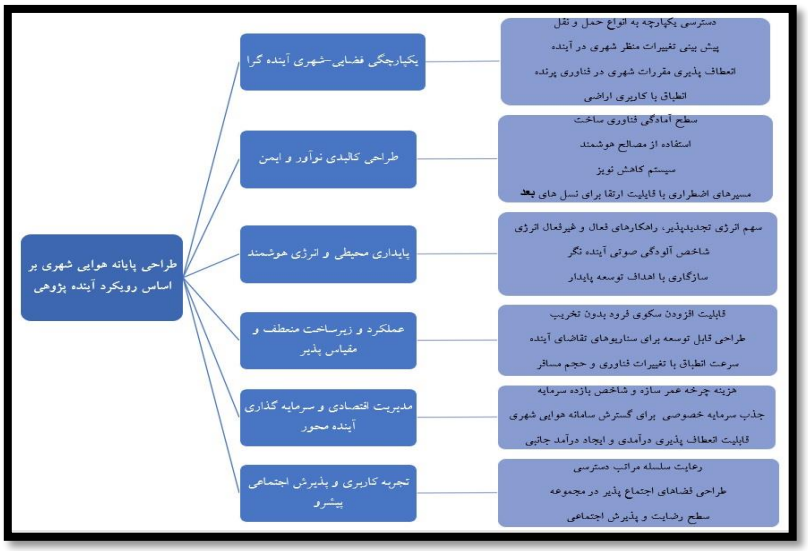


شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه(ماخذ:همان)

روش تحقیق

در این پژوهش، به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، پاسخگویی به سوالات پژوهشی و ارائه الگوی نهایی، از رویکرد آمیخته (ترکیبی از کمی و کیفی) بهره گرفته شده است. از منظر ماهیت داده‌ها، این تحقیق شامل داده‌های متنی و غیرساختاریافته (کیفی) و همچنین داده‌های سازمان‌یافته (کمی) می‌باشد. از لحاظ هدف، پژوهش از نوع کاربردی و از منظر تحلیل، هم شامل تحلیل توصیفی (کیفی) و هم تحلیل مقایسه‌ای علی (کمی) است. بنابراین، روش تحقیق توصیفی–تحلیلی و پیمایشی در نظر گرفته شده است. جامعه آماری پژوهش شامل ۵۰ نفر از خبرگان و متخصصان حوزه‌های معماری، شهرسازی، حمل‌ونقل و فناوری‌های مرتبط با حمل‌ونقل هوایی شهری بوده است که به‌صورت هدفمند انتخاب شده‌اند. معیار انتخاب خبرگان شامل برخورداری از تحصیلات تخصصی مرتبط، سابقه حرفه‌ای و پژوهشی در حوزه‌های مرتبط و آشنایی با موضوع حمل‌ونقل عمودی و پایانه‌های هوایی شهری بوده است. همچنین تلاش شده است ترکیب خبرگان به‌گونه‌ای باشد که دیدگاه‌های علمی و اجرایی مختلف را پوشش دهد تا اعتبار و روایی نتایج پژوهش افزایش یابد.با وجود تلاش برای انتخاب خبرگان واجد شرایط به‌صورت هدفمند، این پژوهش با محدودیت‌هایی در فرآیند نمونه‌گیری مواجه بوده است. از جمله می‌توان به دسترسی محدود به تمامی متخصصان حوزه حمل‌ونقل هوایی شهری و فناوری‌های نوظهور در کشور، پراکندگی جغرافیایی خبرگان، و نوپا بودن موضوع تحقیق اشاره کرد. همچنین به دلیل ماهیت تخصصی موضوع، امکان استفاده از نمونه‌گیری تصادفی وجود نداشته و نمونه‌گیری هدفمند بر اساس معیارهای تخصصی انجام شده است. برای تحلیل داده‌ها، از آزمون تی‌تست، آزمون فریدمن، تحلیل عاملی و مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. همچنین، نرم‌افزارهای Smartpls و Spss برای پردازش داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها به کار گرفته شده‌اند. بر اساس مبانی نظری تحقیق، مدل مفهومی پژوهش در شکل ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]



شکل ۳. مدل مفهومی تحقیق

یافته‌های تحقیق

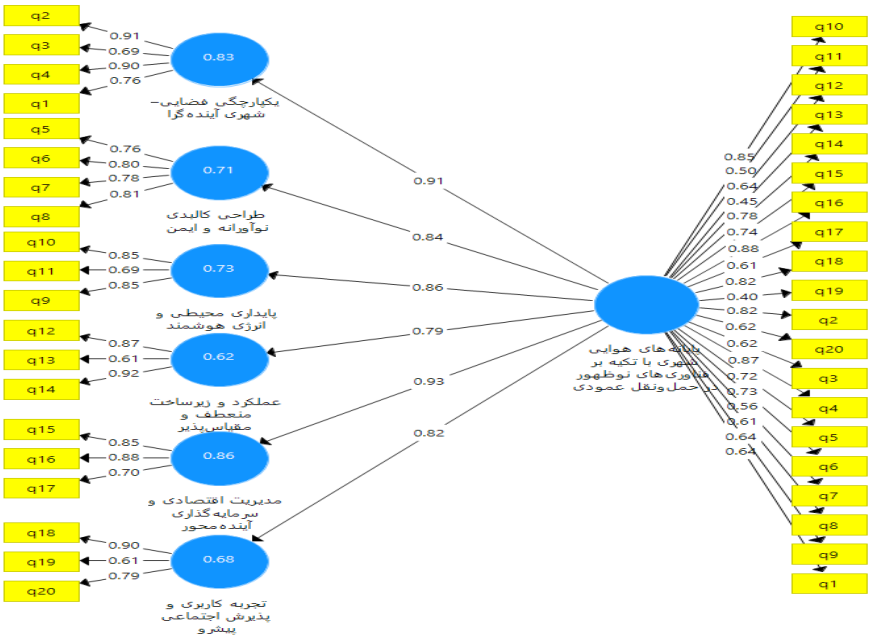
مطابق با رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری، در نخستین گام لازم است ضرایب گویه‌ها و پایایی مقیاس‌های مورد استفاده در سنجش متغیرهای مکنون مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج این بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. ضرایب گویه‌ها و ضرایب پایایی‌های متغیرها

متغیر	مولفه	گویه	متغیرهای آشکار		متغیرهای پنهان	
			بار عاملی	ضریب معناداری	آلفا کرانباخ	پایایی ترکیبی
پایانه‌های هوایی شهری با تکیه بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی	یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا	q۱	۰/۷۶	۸/۱۶	۰/۸۳	۰/۸۹
		q۲	۰/۹۱	۲۹/۶۶		
		q۳	۰/۶۹	۷/۸۸		
		q۴	۰/۹۰	۵۴/۶۴		
	طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن	q۵	۰/۷۶	۱۰/۱۰	۰/۸۰	۰/۸۷
		q۶	۰/۸۰	۱۸/۷۲		
		q۷	۰/۷۸	۹/۶۳		
		q۸	۰/۸۱	۱۲/۴۱		
	پایداری محیطی و انرژی هوشمند	q۹	۰/۸۵	۱۳/۹۳	۰/۷۲	۰/۸۴
		q۱۰	۰/۸۵	۲۸/۲۸		
		q۱۱	۰/۶۹	۵/۶۵		
	عملکرد و زیرساخت منعطف و مقیاس‌پذیر	q۱۲	۰/۸۷	۱۹/۵۳	۰/۷۳	۰/۸۵
		q۱۳	۰/۶۱	۵/۵۹		
		q۱۴	۰/۹۲	۴۸/۳۳		
	مدیریت اقتصادی و سرمایه‌گذاری آینده‌محور	q۱۵	۰/۸۵	۱۹/۳۵	۰/۷۴	۰/۸۵
		q۱۶	۰/۸۸	۳۶/۲۹		
		q۱۷	۰/۷۰	۵/۷۷		
	تجربه کاربری و پذیرش اجتماعی پیشرو	q۱۸	۰/۹۰	۳۷/۵۷	۰/۶۷	۰/۸۲
		q۱۹	۰/۶۱	۴/۰۹		
		q۲۰	۰/۷۹	۹/۹۹		
	مجموع				۰/۹۴	۰/۹۵

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

بر اساس داده‌های جدول ۳، میزان بارهای عاملی و ضرایب معناداری میان گویه‌های هر سازه محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار t بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بیانگر وجود رابطه‌ای معنادار میان گویه‌ها و مؤلفه‌های مربوطه است. همچنین، مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بالاتر از ۰/۷ حاکی از سطح مطلوب پایایی ابزار سنجش می‌باشد (به نقل از داوری و رضازاده، ۹۳،۱۳۹۳). بر این اساس، تمامی متغیرهای پژوهش از پایایی قابل قبول برخوردار هستند.

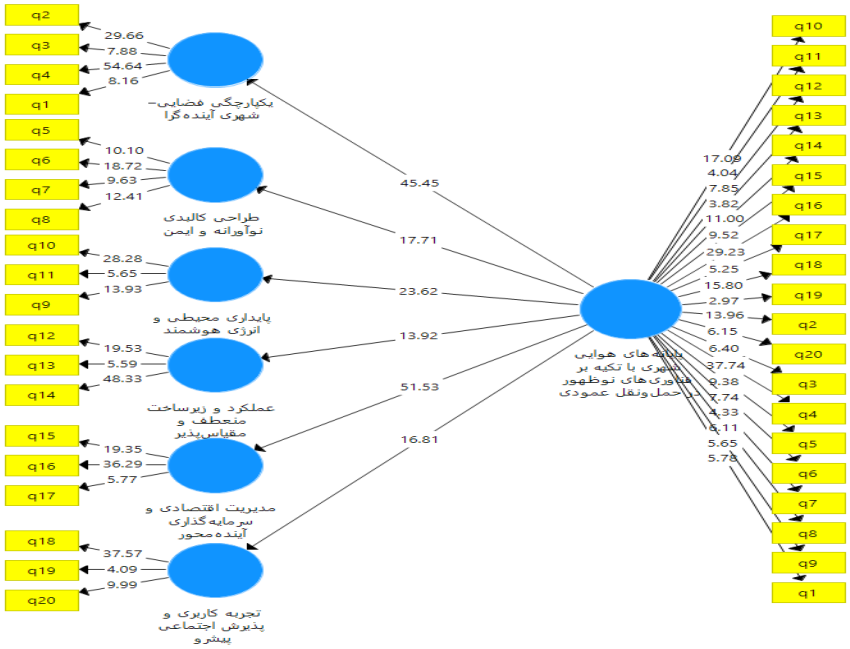


شکل ۴. بار عاملی و ضریب تعیین مدل اندازه‌گیری

پس از انجام تحلیل عاملی تأییدی مرتبه اول و شناسایی گویه‌هایی که دارای بار عاملی معنادار بودند، پایایی و روایی سازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، با بهره‌گیری از مدل ساختاری، روابط علی میان سازه‌های پژوهش تحلیل شد. در واقع، با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده از روابط بین سازه‌ها، امکان بررسی معناداری اثرات متقابل میان متغیرهای تحقیق فراهم گردید. برای آزمون معناداری ضرایب مسیر، از روش بازنمونه‌گیری[1] با تعداد ۱۰۰۰ نمونه استفاده شد که این روش در چارچوب مدل‌سازی حداقل مربعات جزئی توصیه می‌شود. نتایج حاصل، مطابق اشکال ۴ و ۵، بیانگر برازش مناسب و اعتبار مطلوب مدل ساختاری پژوهش است.

[1] Resample

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]



شکل ۵. ضرایب معناداری آزمون t مدل اندازه‌گیری

طبق نتایج حاصل از جدول ۴ مقدار روایی همگرا بالای ۰/۴ قابل قبول می‌باشد (داوری و رضازاده، ۵۷،۱۳۹۳).

جدول ۴. ماتریس همبستگی و روایی همگرا و واگرا فورنل و لارکر

		روایی همگرا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا	۰/۶۷	۰/۸۲						
۲	طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۷۹					
۳	پایداری محیطی و انرژی هوشمند	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۸۰				
۴	عملکرد و زیرساخت منعطف و مقیاس‌پذیر	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۸۱			
۵	مدیریت اقتصادی و سرمایه‌گذاری آینده‌محور	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۸۱		
۶	تجربه کاربری و پذیرش اجتماعی پیشرو	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۵۹	۰/۷۰	۰/۷۸	
۷	پایانه‌های هوایی شهری با تکیه بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی	۰/۴۷	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۶۹

در بخش بعدی کیفیت مدل ساختاری با استفاده از شاخص قدرت پیش‌بینی ارزیابی شده است. هدف از این شاخص، سنجش توانایی مدل در پیش‌بینی مقادیر متغیرهای درون‌زا بر اساس روش چشم‌پوشی است. مقادیر مثبت و بزرگ‌تر از صفر بیانگر بازسازی مناسب داده‌های مشاهده‌شده بوده و حاکی از کیفیت مطلوب مدل ساختاری می‌باشند. علاوه بر این، شاخص نیکویی برازش[1] به‌عنوان معیاری جامع برای ارزیابی عملکرد کلی مدل (اعم از بخش اندازه‌گیری و ساختاری) مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص پس از تأیید برازش بخش‌های مذکور، برای سنجش مطلوبیت کلی مدل محاسبه می‌شود. بر اساس مقادیر مرجع ارائه‌شده، اعداد ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ به‌ترتیب بیانگر برازش ضعیف، متوسط و قوی هستند. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در پژوهش حاضر، نشان‌دهنده برازش کلی مطلوب مدل مفهومی می‌باشد

[1] goodness-of-fit GOF

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

$$\text{نیکوی برازش مدل} = \sqrt{\overline{\text{ضریب تعیین}} \times \overline{\text{روایی همگرا}}} = \sqrt{0.62 \times 0.74} = 0.68$$

به‌منظور بررسی وضعیت متغیرهای پژوهش، از آزمون تی تک‌نمونه‌ای استفاده گردید. نتایج این آزمون در جدول زیر ارائه شده است. در فرآیند امتیازدهی، میانگین مجموع نمرات مربوط به سؤالات هر مؤلفه به‌عنوان مبنای ارزیابی در نظر گرفته شد. با توجه به مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت، مقدار میانگین نظری یا نقطه برش در سطح ۳ تعیین گردید. بر این اساس، مقادیر میانگین تجربی در بازه ۱ تا ۳ بیانگر وضعیت نامطلوب، و مقادیر در بازه ۳/۱ تا ۵ نشان‌دهنده وضعیت مطلوب ارزیابی شدند. در نتیجه، مقدار میانگین ملاکی برابر با ۳/۱ به‌عنوان سطح مطلوب عملکرد متغیرها در این پژوهش در نظر گرفته شد.

جدول ۵. آزمون t وضعیت گویه‌های مولفه پایانه‌های هوایی شهری با تکیه بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی

متغیر	مولفه	گویه	متن گویه	میانگین ملاکی = ۳/۱		df=۴۹		آزمون فریدمن	
				میانگین تجربی	تفاوت میانگین	t	معناداری	میانگین رتبه	رتبه
پایانه‌های هوایی شهری با تکیه بر فناوری‌های نوظهور در حمل‌ونقل عمودی	یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا	q۱	دسترسی یکپارچه به انواع حمل و نقل	۲/۸۸	-۰/۲۲	-۱/۱۵	۰/۲۵	۱/۸۰	۴
		q۲	انطباق با کاربری اراضی	۳/۲۰	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۶۳	۲/۱۵	۳
		q۳	پیش‌بینی تغییرات منظر شهری در آینده	۴/۰۰	۰/۹۰	۵/۲۵	۰/۰۰	۳/۰۴	۱
		q۴	انعطاف‌پذیری مقررات شهری برای فناوری‌های پرنده	۳/۸۸	۰/۷۸	۴/۳۹	۰/۰۰	۳/۰۱	۲
		مجموع		۳/۴۹	۰/۳۹	۲/۵۶	۰/۰۱	خی‌دو= ۴۸/۷۷	معناداری = ۰/۰۰
	طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن	q۵	مسیرهای اضطراری با قابلیت ارتقا برای نسل‌های بعد	۳/۵۰	۰/۴۰	۲/۲۶	۰/۰۳	۲/۸۱	۱
		q۶	سطح آمادگی فناوری ساخت (TRL)	۳/۱۶	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۷۹	۲/۴۸	۳
		q۷	استفاده از مصالح هوشمند	۲/۷۴	-۰/۳۶	-۱/۹۷	۰/۰۵	۱/۹۲	۴
		q۸	سیستم‌های کاهش نویز	۳/۵۴	۰/۴۴	۲/۴۰	۰/۰۲	۲/۷۹	۲
		مجموع		۳/۲۴	۰/۱۴	۰/۸۹	۰/۳۸	خی‌دو= ۱۹/۶۸	معناداری = ۰/۰۰
	پایداری محیطی و انرژی هوشمند	q۹	شاخص آلودگی صوتی آینده‌نگرا	۳/۴۶	۰/۳۶	۱/۹۶	۰/۰۵	۲/۲۴	۱
		q۱۰	سازگاری با اهداف توسعه پایدار	۳/۳۶	۰/۲۶	۱/۳۰	۰/۲۰	۲/۰۸	۲
		q۱۱	سهم انرژی تجدیدپذیر، راهکارهای فعال و غیرفعال انرژی	۲/۷۰	-۰/۴۰	-۲/۲۶	۰/۰۳	۱/۶۸	۳
		مجموع		۳/۱۷	۰/۰۷	۰/۴۹	۰/۶۳	خی‌دو= ۱۲/۵۱	معناداری = ۰/۰۰
	عملکرد و زیرساخت	q۱۲	قابلیت افزودن سکوی فرود بدون تخریب	۲/۷۴	-۰/۳۶	-۱/۹۳	۰/۰۶	۱/۵۹	۳

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

	منعطف و مقیاس‌پذیر	q۱۳	طراحی قابل توسعه برای سناریوهای تقاضای آینده	۳/۸۴	۰/۷۴	۵/۱۴	۰/۰۰	۲/۳۲	۱
		q۱۴	سرعت انطباق با تغییرات فناوری و حجم مسافر	۳/۳۲	۰/۲۲	۱/۰۷	۰/۲۹	۲/۰۹	۲
		مجموع		۳/۳۰	۰/۲۰	۱/۳۶	۰/۱۸	خی‌دو= ۱۹/۳۴	معناداری = ۰/۰۰
	مدیریت اقتصادی و سرمایه‌گذاری آینده‌محور	q۱۵	جذب سرمایه خصوصی برای گسترش سامانه هوایی شهری	۳/۶۴	۰/۵۴	۲/۶۸	۰/۰۱	۲/۳۰	۱
		q۱۶	هزینه چرخه عمر سازه و شاخص بازده سرمایه	۳/۳۲	۰/۲۲	۱/۱۰	۰/۲۸	۲/۰۶	۲
		q۱۷	قابلیت انعطاف پذیری درآمدی و ایجاد درآمد جانبی	۲/۸۲	-۰/۲۸	-۱/۲۳	۰/۲۳	۱/۶۴	۳
		مجموع		۳/۲۶	۰/۱۶	۰/۹۴	۰/۳۵	خی‌دو= ۱۶/۴۱	معناداری = ۰/۰۰
	تجربه کاربری و پذیرش اجتماعی پیشرو	q۱۸	طراحی فضاهای اجتماع پذیر در مجموعه	۲/۸۶	-۰/۲۴	-۱/۲۷	۰/۲۱	۱/۵۲	۳
		q۱۹	سطح رضایت و پذیرش اجتماعی	۳/۷۶	۰/۶۶	۳/۳۵	۰/۰۰	۲/۳۴	۱
		q۲۰	رعایت سلسله مراتب دسترسی عدالت دسترسی	۳/۵۲	۰/۴۲	۲/۴۴	۰/۰۲	۲/۱۴	۲
		مجموع		۳/۳۸	۰/۲۸	۱/۹۴	۰/۰۶	خی‌دو= ۲۳/۸۹	معناداری = ۰/۰۰
	مجموع			۳/۳۱	۰/۲۱	۱/۶۰	۰/۱۲		

نتایج حاصل از آزمون t یک نمونه‌ای نشان می‌دهد که از مولفه یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا گویه های ۳، ۴ در سطح مطلوب ($p<۰/۰۵$ و میانگین ملاکی بالاتر از ۳/۱) قرار گرفته است. در نهایت مولفه یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا سطح مطلوب ($p<۰/۰۵$ و میانگین ملاکی بالاتر از ۳/۱) قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آزمون فریدمن اولویت گویه‌های مولفه یکپارچگی فضایی–شهری آینده‌گرا به ترتیب اهمیت گویه «۳» و گویه «۱» به‌عنوان رتبه نخست و آخر را به خود اختصاص گرفت. نتایج حاصل از مولفه طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن گویه های ۵، ۸ در سطح مطلوب قرار گرفته است و گویه‌های ۷ در سطح نامطلوب قرار گرفته است. در نهایت مولفه طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن سطح نسبتا مطلوب قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آزمون فریدمن اولویت گویه‌های مولفه طراحی کالبدی نوآورانه و ایمن به ترتیب اهمیت گویه «۵» و گویه «۷» به‌عنوان رتبه نخست و آخر را به خود اختصاص گرفت. نتایج حاصل از مولفه پایداری محیطی و انرژی هوشمند گویه های ۹ در سطح مطلوب قرار گرفته است و گویه‌های ۱۱ در سطح نامطلوب قرار گرفته است. در نهایت مولفه پایداری محیطی و انرژی هوشمند سطح نسبتا مطلوب قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آزمون فریدمن اولویت گویه‌های مولفه پایداری محیطی و انرژی هوشمند به ترتیب اهمیت گویه «۹» و گویه «۱۱» به‌عنوان رتبه نخست و آخر را به خود اختصاص گرفت. نتایج حاصل از مولفه عملکرد و زیرساخت منعطف و مقیاس‌پذیر گویه های ۱۳ در سطح مطلوب قرار گرفته است. و گویه های ۱۲ در سطح نامطلوب قرار گرفته است. در نهایت مولفه عملکرد و زیرساخت منعطف و مقیاس‌پذیر سطح نسبتا مطلوب قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آزمون فریدمن اولویت گویه‌های مولفه عملکرد و زیرساخت منعطف و مقیاس‌پذیر به ترتیب اهمیت گویه «۱۳» و گویه «۱۲» به‌عنوان رتبه نخست و آخر را به خود اختصاص گرفت. نتایج حاصل از مولفه مدیریت اقتصادی و سرمایه‌گذاری آینده‌محور گویه

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

های ۱۵ در سطح مطلوب قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آزمون فریدمن اولویت گویه‌های مولفه مدیریت اقتصادی و سرمایه‌گذاری آینده‌محور به ترتیب اهمیت گویه «۱۵» و گویه «۱۷» به‌عنوان رتبه نخست و آخر را به خود اختصاص گرفت.

بحث و **نتیجه‌گیری**

در این بخش یافته‌های پژوهش حاضر در پیوند با مطالعات مرتبط تبیین می‌شود و هدف آن است که به چگونگی تمایز میان نتیجه‌ها با دانش موجود، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری و خلأهای موجود در ادبیات جهت پژوهش‌های آتی بپردازد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پایانه‌های هوایی شهری باید همزمان چندوجهی طراحی شوند تا نیازهای فنی (ایمنی، سازگاری با فناوری‌های حمل‌ونقل عمودی نوین) و اجتماعی (دسترسی، قابلیت پذیرش عمومی، تجربه کاربری) را برآورده سازند. الگوهای طراحی مؤثر نیازمند یکپارچگی میان شبکه‌های حمل‌ونقل زمینی و عمودی، زیرساخت‌های انرژی، مدیریت ترافیک هوایی محلی و قواعد فضایی شهری هستند. بحث یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که توسعه پایانه‌های هوایی شهری در بستر کلان‌شهری مانند تهران، برخلاف بسیاری از رویکردهای غالب در ادبیات حمل‌ونقل هوایی شهری، صرفاً یک مسئله تکنولوژیک یا بهینه‌سازی شبکه نیست، بلکه به‌شدت تحت تأثیر عوامل نهادی، اجتماعی و کالبدی قرار دارد. در مطالعاتی مانند تحلیل‌های (Brunelli,2023) و همچنین مرورهای (Yan et al.,2024) تمرکز اصلی بر ظرفیت شبکه، مکان‌یابی ورتی‌پورت‌ها و یکپارچگی با حمل‌ونقل زمینی بوده است. این در حالی است که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در شهری مانند تهران، محدودیت‌های نهادی و نبود چارچوب‌های تنظیم‌گری، حتی پیش از چالش‌های فنی، مانع اصلی تحقق این سامانه‌ها محسوب می‌شوند. از منظر حکمرانی و مقررات، یافته‌ها با نتایج مطالعه (Cohen et al.,2023) و همچنین بررسی‌های (Fu et al.,2021) هم‌راستا است که بر پیچیدگی مدیریت فضای هوایی شهری و نبود استانداردهای یکپارچه برای سامانه هوایی شهری تأکید دارند. با این حال، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که این چالش‌ها در زمینه ایران صرفاً یک مسئله مقرراتی نیست، بلکه به ساختار چندلایه تصمیم‌گیری شهری و ضعف هماهنگی نهادی نیز مرتبط است؛ موضوعی که در ادبیات بین‌المللی کمتر به‌صورت زمینه‌مند بررسی شده است. در بعد اقتصادی، نتایج با یافته‌های (Straubinger et al.,2020) هم‌راستا است که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، زیرساخت انرژی و عدم قطعیت مدل‌های درآمدی را از موانع کلیدی توسعه سامانه هوایی شهری می‌دانند. با این حال، در شرایط تهران، محدودیت منابع شهری و اولویت‌های رقیب در توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل زمینی، این چالش را تشدید می‌کند و امکان مقیاس‌پذیری سریع این فناوری را کاهش می‌دهد. در بعد اجتماعی، نتایج این پژوهش با یافته‌های (Lior & Hirsch, 2022) درباره پذیرش اجتماعی ورتی‌پورت هم‌راستا است؛ این مطالعات نشان می‌دهند که ادراک ریسک، ایمنی و آلودگی صوتی از عوامل تعیین‌کننده پذیرش عمومی هستند. با این حال، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در تهران، علاوه بر این عوامل، حساسیت نسبت به تغییر منظر شهری و تراکم عملکردی فضا نیز نقش پررنگ‌تری در مقاومت نسبت به پذیرش اجتماعی نسبت به این فناوری دارد.

در نهایت جهت تبیین نتایج پژوهش و ارائه راهکار، بایستی ابتدا به بررسی یافته‌های پژوهش پرداخت. بررسی‌ها نشان داد که میانگین امتیاز شاخص‌ها از دیدگاه خبرگان و ذی‌نفعان، بیشترین وزن را به مؤلفه‌های فناورانه و زیست‌محیطی اختصاص می‌دهد. شاخص‌هایی مانند «پیش‌بینی اثرات منظر شهری »، «انعطاف با فناوری‌های پرنده»، «سهم انرژی‌های تجدیدپذیر»، «طراحی فضا برای سناریوهای تقاضای آینده» و «مسیرهای اضطراری با قابلیت ارتقا» بالاترین اولویت را کسب کرده‌اند. این نتایج بیانگر آن است که جامعه متخصصان در مواجهه با طراحی پایانه‌های هوایی شهری، توان انطباق با فناوری‌های نوظهور، کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و انعطاف‌پذیری فضایی برای آینده را مهم‌ترین ضرورت توسعه می‌دانند.در مقابل، شاخص‌های «شاخص آلودگی صوتی آینده‌نگر»، «هزینه عمر سازه و بازده سرمایه»، «پایداری اقتصادی و درآمدزایی جانبی» و به‌ویژه «طراحی فضاهای اجتماع‌پذیر و سطح پذیرش اجتماعی» نشان می‌دهد که ابعاد اقتصادی و

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

اجتماعی هنوز در برنامه‌ریزی پایانه‌های هوایی شهری تهران جایگاه ضعیف‌تری دارند. این ضعف می‌تواند در بلندمدت موجب عدم تعادل میان کارایی فناورانه و رضایت عمومی شده و تحقق یک سامانه حمل‌ونقل هوایی پایدار را تهدید کند. بر اساس این یافته‌ها، چند پیشنهاد تخصصی برای بهبود سیاست‌گذاری و طراحی پایانه‌های هوایی شهری تهران ارائه می‌شود:

الف)-تدوین و بهبود الگوهای اقتصاد پایدار

- تدوین بسته‌های سرمایه‌گذاری عمومی—خصوصی برای تأمین مالی پایانه‌ها.
- طراحی کاربری‌های درآمدزای مکمل (تجاری، فرهنگی و خدماتی) در ساختمان پایانه.
- پیش‌بینی چرخه عمر هزینه- فایده و استفاده از روش‌های تحلیل ارزش حال برای مدیریت هزینه‌های نگهداری.

ب)-کاهش اثرات صوتی و ارتقای استانداردهای زیست‌محیطی

- طراحی پوسته‌های معماری با مصالح جاذب صوت و جانمایی سکوها با فاصله ایمن از مناطق مسکونی.
- پایش لحظه‌ای سطح صدا با سامانه‌های هوشمند و اعمال محدودیت پرواز در ساعات حساس.

پ)-ارتقای بعد اجتماعی و تجربه کاربری

- ایجاد فضاهای اجتماع‌پذیر چندمنظوره مانند پلازاهای شهری، سالن‌های نمایشگاه و رویدادهای فرهنگی.
- درگیر کردن جامعه محلی در فرایند تصمیم‌گیری و طراحی مشارکتی برای افزایش حس تعلق و مقبولیت اجتماعی.
- طراحی مسیرهای پیاده و فضاهای سبز متصل به بافت شهری برای ایجاد ارتباط عاطفی و بصری بین پایانه و شهر.

ت)-تقویت انعطاف‌پذیری آینده‌نگار

- طراحی سازه‌های ماژولار و قابل توسعه برای پذیرش نسل‌های بعدی هواگردهای eVTOL و پهپادهای مسافر.
- ایجاد زیرساخت‌های هوشمند داده‌محور برای پیش‌بینی ترافیک و مدیریت همزمان پروازها و حمل‌ونقل زمینی.

به طور کلی، موفقیت توسعه پایانه‌های هوایی شهری در آینده و در شهر تهران در گرو برقراری تعادل میان سه محور است:

۱. پیشرفت فناورانه و زیست‌محیطی
۲. پایداری اقتصادی و جذب سرمایه
۳. ارتقای کیفیت تجربه شهروندان و تعاملات اجتماعی

در یک جمع‌بندی می‌توان اذعان نمود که خبرگان، شاخص‌های مرتبط با فناوری، انعطاف‌پذیری فضایی و ملاحظات زیست‌محیطی را در اولویت بالاتری نسبت به مؤلفه‌های اقتصادی و اجتماعی قرار داده‌اند. با این حال، بررسی شرایط موجود شهر تهران بیانگر آن است که تحقق پایانه‌های هوایی شهری صرفاً به توسعه فناوری‌های حمل‌ونقل عمودی وابسته نیست. در شرایطی که مدیریت حمل‌ونقل، توسعه شهری و بهره‌برداری از فضای هوایی در حوزه مسئولیت نهادهای مختلف قرار دارد، نبود سازوکارهای هماهنگ نهادی می‌تواند یکی از مهم‌ترین موانع اجرای این زیرساخت‌ها باشد. از این رو، تدوین چارچوب‌های قانونی و مدیریتی مشخص برای هماهنگی میان شهرداری تهران، سازمان هواپیمایی کشوری، وزارت راه و شهرسازی و سایر نهادهای ذی‌ربط، پیش‌نیاز توسعه این سامانه‌ها به شمار می‌آید. از سوی دیگر، پایین‌تر بودن رتبه شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی در مقایسه با مؤلفه‌های فناورانه، لزوماً به معنای کم‌اهمیت بودن آن‌ها نیست. شرایط اقتصادی حاکم بر پروژه‌های زیرساختی شهری، هزینه بالای احداث و نگهداری پایانه‌های هوایی و همچنین ضرورت جلب مشارکت سرمایه‌گذاران، نشان می‌دهد که پایداری اقتصادی یکی از عوامل تعیین‌کننده در موفقیت این طرح‌ها خواهد بود. همچنین ویژگی‌های اجتماعی و کالبدی تهران، از جمله تراکم بالای جمعیت، مجاورت کاربری‌های مسکونی با پهنه‌های فعالیت، نگرانی‌های مرتبط با ایمنی و آلودگی صوتی و ضرورت جلب اعتماد، ایجاب می‌کند که فرایند طراحی و استقرار پایانه‌های هوایی صرفاً بر مبنای معیارهای فنی انجام نشود. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که موفقیت پایانه‌های هوایی شهری در گرو ایجاد توازن میان الزامات فناورانه، ملاحظات اقتصادی و پذیرش اجتماعی است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

پی نوشت

- Urban Air Mobility
- eVTOL
- Resample
- goodness-of-fit GOF

منابع

داوری، علی؛ رضازاده، آرش. (۱۳۹۳). *مدل سازی معادلات ساختاری با نرم افزارPLS* . تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

شفیعی نژاد، ایمان و حکیمی، علی.(۱۴۰۱). آینده پژوهی در صنعت هوافضا با ارائه روش نوین طراحی چشم انداز و ماموریت با رویکرد مقاوم. فصلنامه مهندسی مدیریت نوین. ۸(۳). ۱۳۱-۱۴۷.Doi:10.30495/jmemiau.2023.1968522.1218

عابدی, سمانه و انیسی, مهدی . (۱۴۰۳). برنامه‌ریزی راهبردی کاهش هزینه اجتماعی آلودگی هوای شهر تهران ناشی از اتوبوس‌های درون شهری .محیط زیست و توسعه فرابخشی۹(۸۴).۲۱-۴۰. Doi: https://doi.org/10.22034/envj.2024.409692.1304

علمدار, علی و میرزاحسین, حمید . (۱۴۰۱). کاهش نابرابری حمل و نقل در شهرهای هوشمندآینده به‌وسیله ترکیب فناوری های نوین و بازی‌وارسازی .آینده پژوهی ایران۷(۱).۱۷۹-۲۱۲.Doi: 10.30479/jfs.2022.15305.1275

فتحی، محمدرضا، ملکی، محمدحسن، و مقدم، حسین. (۱۳۹۷). آینده پژوهی سرمایه گذاری و تامین مالی در صنعت حمل و نقل ریلی ایران (بخش ماشین آلات و تجهیزات). آینده پژوهی مدیریت (پژوهش های مدیریت)، ۲۹(۱۱۳)، ۳۳-۵۳. https://sid.ir/paper/204213/fa

قهرمانلو, امیر , صفارزاده, محمود , نادران, علی و جوانشیر, حسن . (۱۴۰۱). مکانیسم تأثیر شکل شهری و کاربری زمین بر حمل‌ونقل و آلودگی هوای کلانشهر تهران. باغ نظر.۱۹(۱۰۹).۳۵-۴۶. https://doi.org/10.22034/bagh.2022.323127.5086

نظریان، اصغر، قادری، اسماعیل، و حقیقی، عبدالرضا. (۱۳۸۹). نقش حمل و نقل هوایی در توسعه صنعت توریسم با تاکید بر فرودگاه بین‌المللی ارومیه. نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی (جغرافیای انسانی)، ۲(۳)، ۲۵-۴۴.https://sid.ir/paper/177066/fa

Brunelli, C. (2023). New infrastructures for Urban Air Mobility systems: A systematic review on vertiport location and capacity, Journal of Air Transport Management, 112, https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102460.

Coppola, P., De Fabiis, F. & Silvestri, F. (2025). Urban Air Mobility demand forecasting: modeling evidence from the case study of Milan (Italy). *Eur. Transp. Res. Rev.* **17**, 2 .https://doi.org/10.1186/s12544-024-00700-x

Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2022). Urban air mobility: Opportunities and challenges for the future of transportation. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 14, 100615. https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100615

Chen, X., Wang, Y., Zhang, H., & Li, J. (2024). Risk-aware urban air mobility network design with overflow redundancy. Transportation Research Part B: Methodological, 185, 102967. https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102967

Di Mascio, P., Del Serrone, G., & Moretti, L. (2025). Vertiports: The Infrastructure Backbone of Advanced Air Mobility—A Review. *Eng*, *6*(5), 93. https://doi.org/10.3390/eng6050093.

FAA. (2023). Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations Version 2.0. Federal Aviation Administration / NASA. https://www.faa.gov/air-taxis/uam_blueprint.

Fu, M., Rothfeld, R., & Antoniou, C. (2021). Exploring profitability of urban air mobility services. Transportation Research Part A, 152, 46–65. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.07.012

Geels, F. W. (2020). Socio-technical transitions in urban transport systems ،Research Policy. 49(7). 104066. Doi:10.4337/9781781007235.00021

Herniczek, M. T. K., & German, B. J. (2024). Scalable combinatorial vertiport placement method for an urban air mobility commuting service. Transportation Research Record, 2678(10), 1624–1641. https://doi.org/10.1177/03611981241239654

Lee, J., Huh, U., Wei, P., & Song, K. (2025). Efficient Urban Air Mobility Vertiport Operational Plans Considering On-Ground Traffic Environment. *Sustainability*, *17*(11), 5054. https://doi.org/10.3390/ su 17115054

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

Lu, Y., Zeng, W., Wei, W., Wu, W., & Jiang, H. (2025). Urban Air Mobility Vertiports: A bibliometric analysis of applications, challenges, and emerging directions. Applied Sciences, 15(20), 10961. https://doi.org/10.3390/app152010961

Schweiger, K., & Preis, L. (2022). Urban Air Mobility: Systematic Review of Scientific Publications and Regulations for Vertiport Design and Operations. *Drones*, *6*(7), 179. https://doi.org/10.3390/drones6070179

Shakeri, A., Mousavi, M.H. and Safarzadeh, G., 2013. Estimation of Shadow Prices for Environmental Pollutions CO2، Nox & SO2 in Transportation Sector, Journal of Transportation Research, 11(2), 135- 143. https://www.trijournal.ir/article_11513.html?lang=en

Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K. D., Kaiser, J., & Plötner, K. O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility – Setting the scene for UAM introduction. Journal of Air Transport Management, 87, 101852. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852

Tang H, Zhang Y, Mohmoodian V, Charkhgard H. (2021). Automated flight planning of high-density urban air mobility. Transp Res Part C Emerg Technol. doi: 10.1016/j.trc. 2021.103324.

Van der Duin, P. ،Van der Heijden, K. ،& Smith, J. (2020). Foresight in urban transport: Technology, society, and policy perspectives, Technological Forecasting and Social Change.155. doi:10.1016/j.techfore.2022.121680

Volakakis, V., & Mahmassani, H. S. (2024). Vertiport Infrastructure Location Optimization for Equitable Access to Urban Air Mobility. *Infrastructures*, *9*(12), 239. https://doi.org/10.3390/infrastructures9120239

Volocopter. (2021). VoloPort: The efficient and ready-made vertiport network solution for urban eVTOL operations.

Wiedemann, M., et al. (2024). Advanced Air Mobility: A Comparative Review of Policies and Vertiport Design. Transportation Research Part C, 15. Doi:10.1016/j.trip.2023.100988

Yan, Y., Wang, K., & Qu, X. (2024). Urban air mobility (UAM) and ground transportation integration: A survey. Engineering, 11, 734–758. https://doi.org/10.1007/s42524-024-0298-0

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]