



eISSN: 2981-1791

Urban Strategic Thought

<https://ut.journals.ikiu.ac.ir/>

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Publisher: Imam Khomeini International University

Needs Assessment and Location of Micromobility Stations in Tehran's District 6 Based on Citizens' Daily Travel Patterns

Zahra Jeddi⁽¹⁾, Alireza Hasani^{(2)*}, Meisam Alipour⁽³⁾

1. Master of Urban Planning, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 12/11/2025

Accepted: 14/06/2026

PP. 237-261

Keywords:

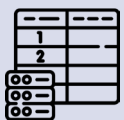
Air Pollution, Urban Sustainability, Bike- Sharing, Logistic Regression, Low-Carbon City



Number of references: 27



Number of figures: 17



Number of tables: 12



Use your device to scan and read the article online

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: In recent decades, rapid urbanization has profoundly transformed metropolitan regions worldwide, creating complex socio-spatial systems marked by high population densities, intensified economic activities, extensive infrastructure networks, and mounting environmental pressures. While urbanization has historically brought economic growth, technological innovation, and improved service access, it has also generated interrelated challenges threatening urban sustainability, including air pollution, traffic congestion, excessive energy consumption, greenhouse gas emissions, and adverse public health outcomes. These issues largely result from automobile-dependent development, fragmented land-use planning, rapid spatial expansion, and insufficient integration of sustainable mobility strategies, compounded by governance inefficiencies and institutional fragmentation. The urgency of climate change mitigation further emphasizes the need to rethink urban mobility as part of broader sustainability transitions, highlighting the importance of integrated transport, land-use, and environmental policies.

As cities expand horizontally through suburbanization and vertically through densification, mobility demand rises, often exceeding the capacity of existing infrastructure and regulatory systems. This mismatch generates inefficiencies, longer travel times, and heightened environmental pollution. The dominance of private motorized vehicles reinforces traffic congestion, increases fossil fuel use, and contributes to urban sprawl, while limiting active transport modes such as walking and cycling. These patterns not only diminish opportunities for physical activity but also exacerbate health issues, including obesity and related chronic diseases. Urban planners increasingly advocate low-carbon, people-centered mobility solutions that combine infrastructure development with behavioral strategies, technological innovation, and governance reforms, aiming to create efficient, inclusive, and environmentally responsible transport systems.

Tehran exemplifies these global urban dynamics. As Iran's political, economic, and cultural center, Tehran houses over eight million residents within the municipal boundary and more than fifteen million in the broader metropolitan area. The city faces acute environmental challenges, particularly air pollution and traffic congestion, worsened by its location at the foothills of the Alborz Mountains, which limits atmospheric circulation and promotes temperature inversion events that trap pollutants near ground level. Winter months are especially critical, as cold air layers prevent the dispersion of particulate matter, leading to prolonged pollution episodes. Rapid urban growth has increased travel distances and reinforced car dependency, while socio-economic disparities complicate equitable mobility provision. National and international monitoring consistently rank Tehran among cities with critically poor air quality, with fine particulate matter (PM_{2.5}) and nitrogen dioxide frequently exceeding recommended thresholds. The rapid growth of private vehicle and motorcycle ownership over the past two decades has significantly raised fuel consumption and carbon emissions. Despite substantial investments in

public transit, including metro expansions and Bus Rapid Transit (BRT) systems, private vehicles dominate short- and medium-distance trips. This reliance on fossil-fuel-based transport fosters congestion, noise, inefficient land use, and reduced accessibility for non-motorized users, exposing the limitations of supply-oriented transport policies that prioritize road expansion over demand management. Integrating land-use planning with sustainable mobility interventions is therefore essential for effective urban transport strategies.

These mobility patterns have extensive implications for environmental sustainability, public health, and social well-being. High pollution levels are linked to respiratory and cardiovascular diseases and premature mortality, while car-dependent urban environments contribute to sedentary lifestyles and chronic health conditions. Traffic congestion further reduces productivity, increases stress, and undermines urban life quality. Vulnerable populations often bear the greatest social costs, highlighting the need for mobility policies that also address social justice and equitable access to urban services.

Sustainable urban mobility has consequently become central to global urban policy discourse. Among proposed strategies, bike-sharing systems have emerged as effective, flexible, and economically viable tools for promoting low-carbon transport and enhancing urban livability. By providing accessible bicycles at strategically located docking stations, these systems encourage a shift from private motorized travel to active mobility modes, offering environmental, social, and economic benefits, including reduced emissions, improved public health, enhanced accessibility, and equitable mobility. Advances in digital technologies and smart mobility platforms have further improved the efficiency, usability, and scalability of bike-sharing systems, positioning them as integral elements of smart and sustainable cities.

Within this context, the present study examines the potential application and impacts of bike-sharing systems in Tehran, focusing on District 6 as a representative urban area. District 6 is highly functionally diverse, encompassing residential neighborhoods, commercial zones, administrative centers, and major educational institutions. Its strong connectivity to public transit, dense urban fabric, high pedestrian activity, and concentration of daily trips create favorable conditions for bike-sharing adoption. Its central metropolitan location further enhances its strategic importance for mobility planning, offering lessons for broader city-wide implementation of sustainable transport strategies.

The Purpose of the Research: The primary objective of this research is to investigate the role of bike-sharing systems in reducing carbon emissions and improving urban quality of life in Tehran, using District 6 as a case study. To achieve this overarching aim, the study pursues several interrelated objectives.

First, the study seeks to identify and analyze the behavioral, social, economic, and environmental determinants that influence citizens' willingness to adopt bike-sharing systems. Understanding these determinants is essential because the mere provision of infrastructure does not automatically lead to behavioral change. Travel behavior is shaped by a complex interplay of socio-demographic factors, perceptions of safety, environmental awareness, accessibility conditions, cultural norms, and prior mobility habits. By identifying these factors, the study aims to provide insights into how bike-sharing systems can be designed and implemented in a manner that aligns with user preferences and encourages widespread adoption. This objective also contributes to the development of more user-centered transport planning approaches. In addition, it supports the design of targeted policy interventions tailored to specific demographic groups.

Second, the research aims to evaluate the potential of bike-sharing systems to complement existing public transportation networks, particularly metro and bus systems, by addressing the "first-mile/last-mile" challenge. The integration of bike-sharing with mass transit has the potential to enhance the efficiency and attractiveness of multimodal transport networks, thereby reducing reliance on private cars for short-distance trips and improving overall system connectivity. This integration can also increase the catchment area of transit stations and improve accessibility for a wider range of users. As a result, bike-sharing can play a critical role in strengthening the overall performance of urban transport systems.

Third, the study aims to quantify the environmental benefits of bike-sharing adoption by estimating potential reductions in carbon emissions. Through simulation modeling, the research assesses how replacing short motorized trips with bicycle travel can contribute to measurable decreases in CO₂ emissions at both individual and district scales. These estimates provide important evidence for evaluating the environmental effectiveness of sustainable mobility policies. They also support the alignment of urban transport strategies with national and international climate commitments.

Finally, the study aims to generate empirical evidence and policy-relevant recommendations for urban planners, transportation authorities, and municipal decision-makers. By integrating behavioral analysis, spatial modeling, and environmental assessment, the research contributes to the broader discourse on sustainable urban mobility and low-carbon urban development while supporting evidence-based decision-making. The findings are intended to inform both short-term interventions and long-term strategic planning processes. In doing so, the study contributes to the development of more resilient and adaptive urban transport systems.

Methodology: To address the research objectives comprehensively, the study employs a mixed-method research design that integrates documentary analysis, quantitative survey research, and spatial modeling techniques. This methodological triangulation enhances the reliability and validity of the findings by drawing on multiple data sources and analytical approaches.

The first phase of the study involved a documentary review of national and municipal policy documents, transport plans, and academic literature related to bike-sharing systems and sustainable mobility transitions. This review provided the theoretical foundation for the study and informed the development of the conceptual framework. It also enabled the identification of best practices and lessons learned from international experiences. These insights were used to contextualize the research within global sustainability debates.

The second phase involved the collection of primary data through a structured questionnaire administered to residents and commuters in District 6. The questionnaire included sections on socio-demographic characteristics, travel behavior patterns, environmental perceptions, and attitudes toward bike-sharing systems. The instrument was validated through expert review and pilot testing to ensure clarity and reliability. Additional measures were taken to ensure the anonymity and confidentiality of respondents. This helped improve the accuracy and honesty of the responses collected.

Using Cochran's formula, a representative sample size of 384 respondents was calculated. A total of 333 valid responses were obtained and used for statistical analysis. Logistic regression modeling was employed to identify the key determinants influencing willingness to adopt bike-sharing systems. This method is appropriate for analyzing binary outcome variables and allows for the estimation of adoption probabilities based on multiple predictors. Model diagnostics were conducted to ensure statistical robustness and validity. These included tests for multicollinearity, goodness-of-fit, and predictive accuracy. In addition to statistical analysis, Geographic Information Systems (GIS) were used to conduct spatial analysis for identifying optimal locations for bike-sharing stations. Criteria such as population density, proximity to transit stations, land-use patterns, commercial activity, and pedestrian flow were incorporated into a multi-criteria spatial overlay analysis. This approach allowed for the identification of spatial clusters with high potential demand. It also supported the optimization of station placement to maximize accessibility and usage.

Finally, environmental impact simulations were conducted to estimate potential reductions in CO₂ emissions resulting from increased bike-sharing adoption. These simulations were based on average trip distances and standard emission factors for private vehicles and adjusted to reflect local travel patterns and modal substitution assumptions. Scenario analysis was used to estimate impacts under different adoption rates. This provided a range of possible environmental outcomes for policy consideration.

Findings and Discussion: The results of the logistic regression analysis identified several significant determinants of citizens' willingness to adopt bike-sharing systems. Age was found to have a negative effect on adoption, with younger individuals more likely to use shared bicycles. Income level and car ownership were also negatively associated with willingness to adopt, reflecting the continued influence of automobile dependency in shaping travel behavior. These findings indicate that socio-economic factors play a critical role in shaping mobility preferences. They also suggest that targeted policies may be needed to encourage adoption among higher-income and car-owning groups.

In contrast, environmental awareness had a positive and statistically significant effect on adoption willingness. Individuals who recognized air pollution as a serious urban issue were more inclined to use bike-sharing systems. Similarly, frequent users of public transportation were more likely to adopt bike-sharing, indicating a strong complementary relationship between active mobility and mass transit. This finding supports the concept of multimodal integration in sustainable transport planning. It also highlights the potential for bike-sharing to strengthen public transport systems.

Spatial analysis identified key locations within District 6 that are well-suited for bike station placement, including areas near universities, commercial corridors, metro stations, and high-density residential zones. These locations maximize accessibility and integration with existing transport systems. The clustering of these locations suggests strong latent demand for bike-sharing services. It also indicates the importance of spatial planning in maximizing system effectiveness.

Environmental simulations demonstrated that replacing short car trips with bicycle travel could result in substantial reductions in CO₂ emissions. Even modest adoption rates could lead to significant cumulative environmental benefits at the district level. These findings provide quantitative evidence supporting the environmental benefits of bike-sharing systems. They also reinforce the role of active mobility in achieving low-carbon urban development.

However, the study also identified critical barriers to implementation, including inadequate cycling infrastructure, safety concerns, lack of protected bike lanes, and limited public awareness. Addressing these challenges requires a comprehensive and integrated policy approach that combines infrastructure investment, behavioral interventions, regulatory support, and

institutional coordination. Without such measures, the full potential of bike-sharing systems may not be realized. Therefore, policy frameworks must prioritize both physical infrastructure and social acceptance.

Conclusion: In conclusion, this study demonstrates that bike-sharing systems have significant potential to contribute to sustainable urban mobility in Tehran. By reducing carbon emissions, improving public health, and enhancing urban livability, bike-sharing can play a key role in transitioning toward a low-carbon urban future. However, successful implementation requires coordinated efforts to improve infrastructure, promote behavioral change, and integrate bike-sharing into broader urban mobility strategies. These efforts must be supported by strong institutional frameworks and long-term policy commitment. They should also involve collaboration among multiple stakeholders, including government agencies, private sector actors, and local communities.

District 6 offers a promising pilot context for demonstrating the feasibility and benefits of bike-sharing in Tehran. With appropriate planning, investment, and community engagement, bike-sharing systems can become an integral component of a resilient, sustainable, and people-centered urban transport system, supporting long-term environmental sustainability and urban quality of life. The lessons learned from this case study can inform future policy development in other districts and cities. Ultimately, such initiatives contribute to the global transition toward more sustainable and livable urban futures.

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: First Author (Zahra Jaddi): Data curation, formal analysis, investigation, resources, software, and writing the original draft.

Second Author (Alireza Hasani) (Corresponding Author): Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, project administration, resources, supervision, validation, writing the original draft, review, editing, and finalization of the manuscript.

Third Author (Meysam Alipour): Data curation, formal analysis, investigation, methodology, resources, validation, writing the original draft, review, and editing of the manuscript.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments: We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.

Highlight

- Identification of social, economic, and environmental factors influencing citizens' willingness to use the bike-sharing system and development of a high-accuracy predictive model.
- Spatial analysis to determine optimal locations for bike station deployment in District 6 of Tehran, aimed at improving efficiency and increasing user engagement.
- Emphasis on the role of bike-sharing in reducing carbon emissions, promoting public health, and advancing low-carbon city development within the framework of sustainable urban planning.



This paper is an open access and licenced under the [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) licence.

©2025, UST. All rights reserved.

Cite this article: Jaddi, Z., Hasani, A., & Alipour, M. (2026). Needs Assessment and Location of Micromobility Stations in Tehran's District 6 Based on Citizens' Daily Travel Patterns. *Urban Strategic Thought*, 4(1(7)), 237-261.



<https://doi.org/10.30479/UST.2026.22989.1237>

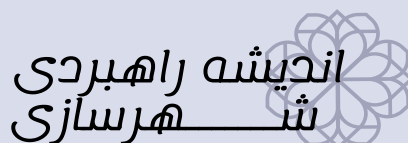


https://ut.journals.ikiu.ac.ir/article_4201.html



*. Corresponding Author (Email: al_hasani@ub.ac.ir) / (Phone: +989377606278)

This article is taken from the master's thesis of the first author with the title "Measuring the impact of micromobility on carbon zero city (example: Tehran)" which was guided by the second author and the advice of the third author has been defended at the University of Bojnord.



شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۱-۱۷۹۱



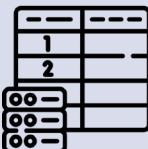
ناشر: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

مقاله علمی-پژوهشی

نیازسنجی و مکان‌یابی ایستگاه‌های میکروموبیلیتی در منطقه ۶ تهران بر اساس الگوهای سفر روزانه شهروندان

زهرا جدی^(۱)، علیرضا حسینی^{(۲)*}، میثم علیپور^(۳)

- ۱- کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری، گروه شهرسازی دانشکده هنر دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.
- ۲- استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.
- ۳- استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده فارسی	Simple English Abstract
دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۴ صص: ۲۶۱-۲۳۷ واژگان کلیدی: آلودگی هوا، پایداری شهری، دوچرخه اشتراکی، رگرسسیون لجستیک، شهر کم‌کربن  تعداد منابع: ۲۷  تعداد اشکال: ۱۷  تعداد جداول: ۱۲	مقدمه: کلان‌شهر تهران در دهه‌های اخیر، تحت تأثیر رشد شتابان شهرنشینی، وابستگی به خودروی شخصی و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، با چالش‌های محیط‌زیستی و حمل‌ونقلی روبه‌رو شده است. تمرکز جمعیت و فعالیت در نواحی مرکزی، به‌ویژه منطقه ۶، موجب تشدید آلودگی هوا، تراکم ترافیک و کاهش کیفیت زندگی شهری شده است. در این شرایط، توسعه حمل‌ونقل پاک، به‌ویژه نظام‌های دوچرخه اشتراکی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری در دسترس، کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست، در جایگزینی سفرهای کوتاه و تکمیل شبکه حمل‌ونقل عمومی نقش مؤثری ایفا کند. هدف پژوهش: پژوهش حاضر با هدف تحلیل عوامل مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی و ارزیابی نقش آن در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه ۶ تهران انجام شده است. تمرکز اصلی مطالعه بر شناسایی متغیرهای رفتاری، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی اثرگذار بر پذیرش این سیستم و تبیین ظرفیت آن در مسیر تحقق شهر کم‌کربن و ارتقای پایداری شهری است. روش‌شناسی: روش تحقیق مبتنی بر رویکرد ترکیبی اسنادی، پیمایشی و تحلیل فضایی است. داده‌های تجربی از پرسشنامه معتبر ۳۳۳ نفر از ساکنان و کاربران منطقه گردآوری شد. مدل رگرسسیون لجستیک برای تحلیل عوامل تعیین‌کننده تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی و شاخص‌هایی مانند تراکم جمعیت، کاربری اراضی و دسترسی به حمل‌ونقل عمومی برای مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌ها به‌کار گرفته شد. یافته‌ها و بحث: یافته‌ها نشان می‌دهد متغیرهای سن، درآمد و مالکیت خودرو اثر منفی و معناداری بر تمایل به استفاده از	Introduction: In recent decades, the metropolis of Tehran has faced environmental and transportation challenges due to rapid urbanization, growing reliance on private vehicles, and high fossil fuel consumption. The concentration of population and activities in central areas, particularly District 6, has exacerbated air pollution, traffic congestion, and diminished urban quality of life. In this context, the development of clean transportation, especially shared bicycle systems, can serve as an accessible, low-cost, and environmentally friendly solution, effectively replacing short trips and complementing the public transit network. Research Objective: This study aims to analyze the factors influencing citizens' willingness to use a shared bicycle system and to assess its role in reducing carbon dioxide emissions in District 6 of Tehran. The primary focus is on identifying behavioral, social, economic, and environmental variables affecting system adoption and evaluating its potential to advance low-carbon urban development and enhance urban sustainability. Methodology: The research employs a mixed-methods approach, combining documentary review, surveys, and spatial analysis. Empirical data were collected through a validated questionnaire from 333 residents and users of the area. A logistic regression model was applied to analyze the determinants of willingness to use the shared bicycle system, while indicators such as population density, land use, and access to public transport were used for optimal station location analysis.

Simple English Abstract	چکیده فارسی	اطلاعات مقاله
Findings and Discussion: The findings indicate that age, income, and car ownership have significant negative effects on the willingness to use the shared bicycle system, whereas environmental concern and public transport usage exert significant positive effects. The model's predictive accuracy was estimated at 84%, indicating a good fit. Spatial analysis further shows that locating stations near academic, administrative, and commercial centers maximizes user attraction and can substantially contribute to carbon emission reduction. Conclusion: The study's findings indicate that the systematic development of shared bicycle systems in densely populated urban areas not only reduces pollutant emissions and improves public health indicators but also plays a key role in advancing low-carbon cities and enhancing urban quality of life. Careful spatial planning, the strengthening of safe infrastructure, and the promotion of a culture of clean transportation are essential prerequisites for the successful implementation of this approach within the framework of sustainable urban development policies.	دوچرخه اشتراکی دارند، درحالی که نگرانی زیست محیطی و استفاده از حمل و نقل عمومی اثر مثبت و معناداری نشان می دهند. دقت پیش بینی مدل ۸۴ درصد برآورد شده و بیانگر برازش مناسب آن است. تحلیل فضایی نیز نشان می دهد استقرار ایستگاه ها در مجاورت مراکز دانشگاهی، اداری و تجاری بیشترین پتانسیل جذب کاربر را داشته و می تواند به کاهش قابل توجه انتشار کربن منجر شود. نتیجه گیری: یافته های پژوهش نشان می دهد توسعه نظام مند دوچرخه های اشتراکی در مناطق متراکم شهری، ضمن کاهش انتشار آلاینده ها و بهبود شاخص های سلامت عمومی، نقشی مؤثر در تحقق شهر کم کربن و ارتقای کیفیت زندگی شهری ایفا می کند. برنامه ریزی فضایی دقیق، تقویت زیرساخت های ایمن و ترویج فرهنگ استفاده از حمل و نقل پاک، از الزامات اساسی موفقیت این رویکرد در چارچوب سیاست های توسعه پایدار شهری به شمار می آید.	 با استفاده از دستگاه خود رمزینه را جهت مطالعه مقاله اسکن فرمایید.

نکات برجسته:

- شناسایی عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی
- تحلیل مکانی به منظور تعیین نقاط بهینه استقرار ایستگاه های دوچرخه در منطقه ۶ تهران با هدف افزایش کارایی و جذب کاربران.
- تأکید بر نقش دوچرخه اشتراکی در کاهش انتشار کربن، ارتقای سلامت عمومی و تحقق شهر کم کربن در برنامه ریزی شهری پایدار.

ارجاع به این مقاله: جدی، زهرا، حسنی، علیرضا و علیپور، میثم. (۱۴۰۴). نیازسنجی و مکان یابی ایستگاه های میکروموبیلیتی در منطقه ۶ تهران بر اساس الگوهای سفر روزانه شهروندان. / *نمایشه راهبردی شهرسازی*، ۴(۷۱)، ۲۳۷-۲۶۱.



این مقاله به صورت دسترسی باز و با مجوز [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) قابل استفاده است.

©2025, UST. All rights reserved.

 <https://doi.org/10.30479/UST.2026.22989.1237>



* نویسنده مسئول (رایانامه: al_hasani@ub.ac.ir) / (تلفن: ۰۹۳۷۷۶۰۶۲۷۸)

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده نخست اول با عنوان "سنجش میزان تأثیر میکروموبیلیتی بر تحقق شهر صفر کربن (نمونه موردی: تهران)" است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه بجنورد دفاع شده است.

۱- مقدمه و بیان مسئله

در دهه‌های اخیر، کلان‌شهر تهران با بحرانی چندبعدی در حوزه حمل‌ونقل مواجه شده است؛ بحرانی که نمود اصلی آن در ازدحام ترافیک، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، انتشار گسترده آلاینده‌های هوا و کاهش کیفیت زندگی شهری مشاهده می‌شود. رشد روزافزون مالکیت خودرو، ناکارآمدی شبکه حمل‌ونقل عمومی در پاسخ‌گویی به تقاضای فزاینده سفرهای درون‌شهری و کمبود گزینه‌های جابه‌جایی پاک موجب شده است که سهم مدهای پایدار حمل‌ونقل در الگوی سفر شهروندان بسیار ناچیز باقی بماند. پیامد مستقیم این روند، افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن و تشدید ردپای کربنی شهر است؛ موضوعی که تهران را در فهرست آلوده‌ترین شهرهای جهان قرار داده و تحقق اهداف توسعه پایدار و شهر کم‌کربن را با چالش جدی مواجه کرده است.

در این میان، سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی-به‌ویژه دوچرخه‌های اشتراکی- به‌عنوان راهکاری کارآمد، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست در بسیاری از شهرهای جهان توسعه یافته‌اند. این سیستم‌ها قادرند بخش قابل‌توجهی از سفرهای کوتاه‌مدت شهری و نیز سفرهای اتصال‌دهنده به حمل‌ونقل عمومی را جایگزین سفرهای خودرویی کنند (Kabir et al., 2023). با این حال، میزان موفقیت و کارآمدی این سیستم‌ها وابسته به دو عامل کلیدی است:

- ۱- درک دقیق عوامل اجتماعی، اقتصادی، رفتاری و ادراکی مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از این سیستم‌ها
- ۲- مکان‌یابی علمی و مبتنی بر تحلیل فضایی جهت استقرار ایستگاه‌ها

منطقه ۶ تهران به‌عنوان یکی از پرتراکم‌ترین و پرترددترین پهنه‌های شهری با تمرکز بالای فعالیت‌های اداری، دانشگاهی و خدماتی بستر مناسبی برای استقرار سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی دارد. اما نبود تحلیل دقیق از الگوهای سفر، ضعف در مکان‌یابی ایستگاه‌ها، و عدم بررسی کمی اثرات این سیستم بر کاهش انتشار کربن موجب شده است که ظرفیت‌های بالقوه منطقه برای تحقق شهر کم‌کربن مغفول بماند.

بنابراین، مسئله اصلی پژوهش این است که:

چه عوامل اجتماعی-اقتصادی و رفتاری بر تمایل شهروندان منطقه ۶ تهران برای استفاده از دوچرخه اشتراکی اثرگذار

هستند و چگونه می‌توان بر اساس این عوامل، مکان‌های بهینه استقرار ایستگاه‌ها را تعیین و میزان کاهش انتشار کربن ناشی از جایگزینی سفرهای موتوری را به‌صورت کمی برآورد کرد؟

این شکاف دانشی در ادبیات ملی و حتی بخشی از ادبیات بین‌المللی وجود دارد؛ زیرا اغلب پژوهش‌ها تنها به تحلیل رفتاری یا تحلیل مکانی پرداخته‌اند و ترکیب تحلیل رفتاری، مدل‌سازی لجستیک، بهینه‌سازی مکانی و مدل‌سازی کاهش کربن کمتر به‌صورت یکپارچه بررسی شده است. این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ، تحلیل جامعی ارائه می‌دهد که می‌تواند زیربنای سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار و برنامه‌ریزی شهر کم‌کربن قرار گیرد.

۲- پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش حاضر بر مبنای چارچوب نظری تحقیق و متغیرهای واردشده در مدل رگرسیون لجستیک، در چهار خوشه مفهومی اصلی سازمان‌دهی شده است:

۲-۱- نظریه‌های رفتار سفر و انتخاب مد حمل‌ونقل

بخش قابل توجهی از مطالعات حمل‌ونقل شهری بر این فرض استوار است که انتخاب مد سفر نتیجه تعامل میان ویژگی‌های فردی، ویژگی‌های محیط ساخته‌شده و ادراک ذهنی کاربران است. در این راستا، نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده آجنز، یکی از پرکاربردترین چارچوب‌ها برای تبیین پذیرش مدهای حمل‌ونقل پایدار محسوب می‌شود. بر اساس این نظریه، نگرش فرد نسبت به رفتار، هنجارهای ذهنی و کنترل رفتاری ادراک‌شده، تمایل و در نهایت رفتار واقعی سفر را شکل می‌دهند (Zhao et al., 2024).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که میزان استفاده از سامانه‌های دوچرخه اشتراکی و سایر اشکال میکروموبیلیتی، به‌طور معناداری تحت تأثیر ادراک کاربران از سهولت استفاده، ایمنی، مطلوبیت و میزان سازگاری این شیوه‌ها با الگوهای روزمره سفر قرار دارد. در این راستا، پژوهش «مرور و تلفیق ادبیات پژوهشی دوچرخه‌های اشتراکی» توسط فیشمن^۱ و همکاران (2013) نشان داد که انتخاب دوچرخه اشتراکی صرفاً تابع وجود زیرساخت‌های فیزیکی مناسب نیست، بلکه نگرش کاربران نسبت به کارایی، مطلوبیت و مزیت نسبی این شیوه در مقایسه با خودروی شخصی نیز نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کند. بر این اساس، متغیرهایی

همچون تمایل به استفاده از دوچرخه، شیوه غالب سفر و بهره‌گیری ترکیبی از دوچرخه با حمل‌ونقل عمومی، ریشه در رویکردهای رفتاری و ادراکی کاربران داشته و از عوامل کلیدی در تبیین الگوی استفاده از این سامانه‌ها به شمار می‌آیند (Fishman et al., 2013).

۲-۲- عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر پذیرش میکروموبیلیتی

دسته دوم مطالعات، به بررسی نقش ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی در استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی می‌پردازد. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سن، درآمد و مالکیت خودرو از تعیین‌کننده‌ترین عوامل در پذیرش یا عدم پذیرش دوچرخه‌های اشتراکی هستند.

ژانگ^۲ و می^۳ (2018) در پژوهشی با عنوان «مزایای زیست‌محیطی دوچرخه‌های اشتراکی: تحلیلی مبتنی بر داده‌ها» نشان دادند که کاربران جوان‌تر و افراد فاقد خودروی شخصی، بیشترین سهم را در استفاده از سامانه‌های دوچرخه اشتراکی به خود اختصاص می‌دهند. همچنین نتایج این پژوهش بیانگر آن است که این گروه‌ها بیشترین نقش را در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) و بهبود پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از جابه‌جایی شهری ایفا می‌کنند (Zhang & Mi, 2018).

به‌طور مشابه، بوزی^۴ و آگیلرا- بلانژه^۵ (2022) در پژوهشی با عنوان «اسکوترهای برقی اشتراکی: مروری بر الگوهای استفاده، پیامدهای سلامت و زیست‌محیطی، و دلالت‌های سیاستی یک خدمت نوین میکروموبیلیتی» بیان کردند که مالکیت خودروی شخصی یکی از مهم‌ترین موانع ساختاری در گرایش به استفاده از خدمات اشتراکی محسوب می‌شود. یافته‌های این مطالعه نشان داد افرادی که به خودروی شخصی دسترسی دارند، تمایل کمتری به استفاده از شیوه‌های حمل‌ونقل اشتراکی و پایدار از خود نشان می‌دهند (Bozzi & Aguilera-Belanger, 2022).

از منظر عدالت حمل‌ونقل، گوان^۶ و همکاران (2024) در پژوهشی با عنوان «میکروموبیلیتی اشتراکی و عدالت حمل‌ونقل: مطالعه موردی سه کشور اروپایی» نشان دادند که آثار و پیامدهای میکروموبیلیتی برای گروه‌های مختلف اجتماعی یکسان نیست و شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی هر شهر نقشی کلیدی در شکل‌دهی به الگوهای استفاده ایفا می‌کند. یافته‌های این پژوهش، اهمیت انجام

تحلیل‌های زمینه‌محور و بومی را در مطالعات موردی، از جمله شهر تهران، برجسته می‌سازد. بر این اساس، گنجاندن متغیرهایی نظیر سن، درآمد و مالکیت خودرو در مدل لجستیک پژوهش حاضر، کاملاً همسو با ادبیات بین‌المللی و نظریه‌های رفتار سفر ارزیابی می‌شود (Guan et al., 2024).

۲-۳- نگرش‌های زیست‌محیطی و نقش میکروموبیلیتی در کاهش کربن

مطالعات متعددی تأکید کرده‌اند که نگرانی نسبت به آلودگی هوا و تغییر اقلیم می‌تواند نقش انگیزشی مهمی در پذیرش حمل‌ونقل پایدار ایفا کند. بر اساس نظریه‌های رفتار محیط‌زیستی، افرادی که سطح بالاتری از آگاهی زیست‌محیطی دارند، احتمال بیشتری برای جایگزینی سفرهای موتوری با مدهای پاک از خود نشان می‌دهند.

ژانگ و می (2018) در پژوهشی با عنوان «مزایای زیست‌محیطی دوچرخه‌های اشتراکی: تحلیلی مبتنی بر داده‌های بزرگ» و لیتمن^۷ (2023) در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی اثرات حمل‌ونقل و کاربری زمین: بررسی پیامدها، منافع و هزینه‌های الگوهای مختلف توسعه کاربری زمین» نشان دادند که سامانه‌های دوچرخه اشتراکی نه تنها موجب کاهش مستقیم انتشار کربن و آلاینده‌های ناشی از جابه‌جایی شهری می‌شوند، بلکه از طریق تغییر الگوهای رفتار سفر، کاهش وابستگی به خودروی شخصی و تقویت استفاده از شیوه‌های حمل‌ونقل پایدار، آثار غیرمستقیم و بلندمدتی نیز بر پایداری شهری برجای می‌گذارند. این مطالعات بیانگر آن است که توسعه دوچرخه اشتراکی می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت تقاضای سفر و ارتقای کیفیت محیط زیست شهری مورد توجه قرار گیرد (Zhang & Mi, 2018; Litman, 2023).

همچنین اولابی^۸ و همکاران (2023) در پژوهشی با عنوان «میکروموبیلیتی: پیشرفت‌ها، مزایا، چالش‌ها، سیاست‌ها و مقررات، منابع و ذخیره‌سازی انرژی، و نقش آن در تحقق اهداف توسعه پایدار» میکروموبیلیتی را به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار و شکل‌گیری شهرهای کم‌کربن معرفی کرده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش شیوه‌های حمل‌ونقل خردمقیاس می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌ها و ارتقای پایداری شهری ایفا کند. در پژوهش حاضر، متغیر ادراک آلودگی هوا

۳- مبانی نظری

۳-۱- نظریه شهر کم کربن

مفهوم شهر کم کربن نخستین بار در ادبیات توسعه پایدار و در پاسخ به تشدید تغییرات اقلیمی مطرح شد و بر کاهش سیستماتیک انتشار گازهای گلخانه‌ای در تمامی بخش‌های شهری تأکید (unhabitat, 2020). در این رویکرد، بخش حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین منابع انتشار دی‌اکسیدکربن شهری شناخته می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در بسیاری از کلان‌شهرها، بیش از ۳۰ درصد انتشار CO₂ به این بخش اختصاص دارد.

نظریه شهر کم کربن بر سه اصل بنیادین استوار است: کاهش تقاضای سفر موتوری از طریق فشردگی شهری و اختلاط کاربری‌ها؛

تغییر الگوی مد حمل‌ونقل از وسایل موتوری شخصی به شیوه‌های پاک؛

افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش شدت کربن در سامانه‌های حمل‌ونقل، در این چارچوب، توسعه دوچرخه‌سواری و میکروموبیلیتی نه تنها به‌عنوان ابزار حمل‌ونقل، بلکه به‌مثابه راهبرد اقلیمی شهری تلقی می‌شود که می‌تواند در مقیاس محله‌ای و منطقه‌ای اثرگذاری معناداری بر کاهش انتشار کربن ایجاد کند (Zhang & Fujimori, 2020).

ارتقای بهره‌وری در فرایندهای تولید، توسعه فناوری‌های نوین، بهبود استانداردهای فنی و زیست‌محیطی، و گسترش آموزش‌های فرهنگی در زمینه حفاظت از محیط‌زیست، همراه با فراهم‌سازی زیرساخت‌های لازم و توسعه متوازن مناطق روستایی، می‌تواند به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و بهبود کیفیت هوا بینجامد. حمل و نقل در بخش‌های جاده‌ای، ریلی و هوایی از اصلی‌ترین عوامل افزایش ردپای کربن به شمار می‌رود. به‌کارگیری سوخت‌های پاک به‌صورت ترکیبی، نوسازی و گسترش ناوگان حمل‌ونقل عمومی به‌ویژه در سیستم ریلی، و تقویت زیرساخت‌ها در تمامی زیربخش‌های حمل‌ونقل، می‌تواند سهم قابل‌توجهی در کاهش میزان انتشار ترکیبات کربنی و آلاینده‌های مرتبط ایفا کند (Mohammadi Dehcheshme et al., 2020).

به‌عنوان شاخصی از نگرش زیست‌محیطی، مستقیماً با این چارچوب نظری مرتبط شده و نقش آن در مدل‌سازی کاهش کربن مورد آزمون قرار گرفته است (Olabi et al., 2023).

۲-۴- یکپارچگی میکروموبیلیتی و حمل‌ونقل عمومی

بخش مهمی از ادبیات جدید حمل‌ونقل پایدار، بر نقش میکروموبیلیتی به‌عنوان حلقه اتصال سفرهای اول و آخر تأکید دارد. مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب دوچرخه اشتراکی با مترو، اتوبوس و سایر مدهای عمومی، می‌تواند کارایی کل سیستم حمل‌ونقل شهری را به‌طور معناداری افزایش دهد.

شاهین^۹ و همکاران (2008) در پژوهشی با عنوان «اشتراک خودروی آمریکای شمالی: مروری بر یک دهه تجربه» و گوان و همکاران (2024) در مطالعه‌ای با عنوان «میکروموبیلیتی اشتراکی و عدالت حمل‌ونقل: مطالعه موردی سه کشور اروپایی» نشان دادند که استفاده ترکیبی از خدمات میکروموبیلیتی و سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی، بیشترین اثر را در کاهش وابستگی به خودروی شخصی، افزایش دسترسی سفرهای شهری و کاهش انتشار آلاینده‌ها دارد. یافته‌های این مطالعات بیانگر آن است که هم‌افزایی میان مدهای حمل‌ونقل اشتراکی و عمومی می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در توسعه جابه‌جایی پایدار شهری مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا، مدل دوم رگرسیون لجستیک در پژوهش حاضر، به‌طور مشخص برای تحلیل تمایل به استفاده ترکیبی از دوچرخه اشتراکی و حمل‌ونقل عمومی طراحی شده است تا این رویکرد به‌صورت کمی مورد آزمون قرار گیرد (Shaheen et al., 2008; Guan et al., 2024).

۲-۵- جمع‌بندی شکاف پژوهشی

با وجود گستردگی مطالعات بین‌المللی، مرور ادبیات نشان می‌دهد که ترکیب همزمان تحلیل رفتاری، مدل‌سازی کاهش کربن و مکان‌یابی مکانی در مقیاس محله‌ای، به‌ویژه در کلان‌شهرهای در حال توسعه مانند تهران، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با تلفیق رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی انتشار کربن و تحلیل‌های GIS، تلاش می‌کند این شکاف را پر کرده و شواهد تجربی معتبری برای سیاست‌گذاری حمل‌ونقل کم کربن در بستر شهری ایران ارائه دهد.

- ۲- هنجارهای ذهنی (پذیرش اجتماعی دوچرخه‌سواری)،
۳- کنترل رفتاری ادراک‌شده (ایمنی، دسترسی و زیرساخت).

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این نظریه قدرت تبیین بالایی در پیش‌بینی پذیرش دوچرخه‌های اشتراکی دارد، به‌ویژه در شهرهایی با فرهنگ خودرومحور (Zhao et al., 2024).

۳-۲-۲- نظریه انتخاب عقلانی و هزینه-فایده

بر اساس نظریه انتخاب عقلانی، افراد وسیله حمل‌ونقل خود را با مقایسه هزینه‌ها و منافع ادراک‌شده انتخاب می‌کنند (Ben-Akiva & Lerman, 2018). در این چارچوب، متغیرهایی مانند هزینه سفر، زمان، راحتی، و دسترسی به خودرو نقش تعیین‌کننده‌ای دارند.

یافته‌های پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که سامانه‌های دوچرخه اشتراکی، به‌ویژه برای سفرهای کوتاه و زنجیره‌ای، می‌توانند از منظر هزینه-فایده با خودروی شخصی رقابت‌پذیر محسوب شوند و همین امر، تمایل به استفاده از آن‌ها را افزایش می‌دهد (Fishman & Allan, 2019).

۳-۳- میکروموبیلیتی اشتراکی در چارچوب پایداری شهری

میکروموبیلیتی یا حمل‌ونقل کوچک‌مقیاس، به‌عنوان یکی از شیوه‌های نوین جابه‌جایی در مناطق شهری، سهمی قابل‌توجه در ارتقای پایداری حمل‌ونقل دارد و می‌تواند در تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد نقشی مؤثر ایفا کند (Olabi et al., 2023).

بررسی جایگاه این نظام در چارچوب اهداف توسعه پایدار، سیاست‌های حمایتی، قوانین مرتبط، فناوری‌های نوظهور، و نیز عوامل مؤثر بر استفاده، منبع و ذخیره‌سازی انرژی نشان می‌دهد که میکروموبیلیتی می‌تواند به‌طور مستقیم بر تحقق چندین هدف کلیدی توسعه پایدار تأثیرگذار تلقی شود. این اهداف شامل «سلامت و رفاه»، از طریق کاهش انتشار گازهای آلاینده و کاهش تصادفات شهری؛ «کار شایسته و رشد اقتصادی»، از راه کاهش اثرات زیست‌محیطی حمل‌ونقل؛ «شهرها و جوامع پایدار»، با بهبود دسترسی، کاهش ازدحام ترافیکی و ارتقای کیفیت هوا؛ و «مصرف و تولید مسئولانه»، از طریق بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش ضایعات انرژی است. افزون بر این، میکروموبیلیتی در تحقق هدف «اقدام برای مقابله با

ایجاد و توسعه شهرهای کم‌کربن به‌عنوان یکی از رویکردهای راهبردی در طراحی و برنامه‌ریزی شهری، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتقای پایداری زیست‌محیطی مطرح است. این مفهوم در دهه‌های اخیر، به‌طور فزاینده‌ای در سیاست‌گذاری‌های شهری کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است.

۳-۱-۱- اصول و شاخصه‌های طراحی شهر کم‌کربن

در جدول شماره ۱ شاخص‌های شهر کم‌کربن در محورهای تحرک شهری، محیط زیست، اقتصادی، اجتماعی و الگوی انرژی ارائه شده است.

جدول ۱. شاخص‌های شهر کم‌کربن

شاخص‌های شهر کم‌کربن	
تحرک شهری	تعداد اتوبوس‌های عمومی به‌ازای هر نفر (+) طول خطوط راه‌آهن به‌ازای هر نفر (+) تعداد خودروها به‌ازای هر نفر (-)
محیط‌زیست	انتشار CO ₂ به‌ازای هر نفر (-) دی‌اکسید نیتروژن روزانه (-) دی‌اکسید گوگرد روزانه (-) میزان ذرات معلق روزانه (-)
اقتصادی	تولید ناخالص داخلی به‌ازای هر نفر (+) نسبت صنعت TERCARY به تولید ناخالص داخلی (+) بهره‌وری کربن (+)
اجتماعی	نسبت فضای سبز عمومی (+) چگالی جمعیت (-)
الگوی انرژی	نسبت انرژی‌های تجدیدپذیر (+) شدت مصرف انرژی (-)

منبع: (Mohammadi Dehcheshme et al., 2020);

(Mohammadpour et al., 2016; Lotfi et al., 2016)

۳-۲- نظریه‌های رفتاری انتخاب مد حمل‌ونقل

پذیرش و استفاده از سامانه‌های میکروموبیلیتی صرفاً تابع فراهم‌بودن زیرساخت نیست، بلکه به‌شدت تحت تأثیر عوامل رفتاری، ادراکی و اجتماعی کاربران قرار دارد. در این زمینه، چند نظریه کلیدی به‌عنوان پایه تحلیلی این پژوهش مطرح هستند.

۳-۲-۱- نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده

نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده که توسط ایچیکن آژن در سال ۱۹۸۵ ارائه شد، یکی از پرکاربردترین چارچوب‌ها برای تبیین رفتارهای حمل‌ونقلی پایدار است. بر اساس این نظریه، تمایل به رفتار (در اینجا استفاده از دوچرخه اشتراکی) تحت تأثیر سه مؤلفه اصلی شکل می‌گیرد:

- ۱- نگرش فرد نسبت به رفتار (مانند ادراک منافع زیست‌محیطی)،

میکروموبیلیتی، برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل هستند (Olabi et al., 2023). در شکل ۱ اهداف و اصول طراحی سامانه های میکروموبیلیتی در راستای توسعه پایدار ارائه شده است.

تغییرات اقلیمی» نیز مؤثر است، زیرا موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در همین راستا، دولت‌ها، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان در پی شناسایی و گسترش گزینه‌های حمل‌ونقل پایدار، از جمله سامانه‌های



شکل ۱. اهداف و اصول طراحی سامانه‌های میکروموبیلیتی اشتراکی در راستای توسعه پایدار (Olabi et al., 2023)

زنجیره‌ای، به تحقق عدالت حمل‌ونقل کمک نمایند. دستیابی به این عدالت مستلزم آن است که گروه‌های محروم بتوانند به‌طور برابر با سایر کاربران به این خدمات دسترسی داشته و از آن‌ها بهره‌مند شوند.

افزون بر این، خدمات میکروموبیلیتی اشتراکی باید توانایی افزایش قابل‌توجه سطح جابه‌جایی و دسترسی کاربران را فراهم کند تا بتوانند به کاهش فقر حمل‌ونقل در میان گروه‌های کم‌دسترسی کمک کنند. شواهد نشان می‌دهد که کاربران این خدمات معمولاً از سطح پایین‌تری از دسترسی و تحمل سفر نسبت به غیرکاربران برخوردارند. اگرچه استفاده از موتورسیکلت‌ها و اسکوترهای برقی می‌تواند به ارتقای عدالت حمل‌ونقل با حمایت از تحرک افراد کم‌درآمد، حتی به میزان برابر یا بیشتر نسبت به گروه‌های با درآمد بالا کمک کند، این اثر در مورد استفاده از دوچرخه‌ها و دوچرخه‌های برقی به همان میزان صادق نیست (Guan et al., 2024).

بنابراین، برای تحقق برابری حمل‌ونقل، ضروری است که میکروموبیلیتی اشتراکی نه‌تنها دسترسی برابر فراهم کند، بلکه بتواند به‌طور مؤثر سطح تحرک و دسترسی کلی کاربران، به‌ویژه گروه‌های محروم، را ارتقا دهد.

میکروموبیلیتی اشتراکی شامل دوچرخه‌ها و اسکوترهای اشتراکی، به‌عنوان بخشی از نظام حمل‌ونقل هوشمند و پایدار شهری، در دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. این سامانه‌ها به دلیل انتشار نزدیک به صفر، مصرف انرژی پایین و انعطاف‌پذیری بالا، نقش مهمی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کنند (Abduljabbar et al., 2021).

مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که میکروموبیلیتی: موجب کاهش وابستگی به خودروهای شخصی می‌شود؛ به‌عنوان حلقه تکمیل‌کننده حمل‌ونقل عمومی عمل می‌کند؛ در صورت جانمایی صحیح، می‌تواند نابرابری دسترسی حمل‌ونقلی را کاهش دهد (Guan et al., 2024). با این حال، اثرگذاری واقعی این سامانه‌ها وابسته به شرایط مکانی، ویژگی‌های جمعیتی و الگوهای رفتاری کاربران است. از این‌رو، تلفیق تحلیل‌های رفتاری با تحلیل‌های مکانی (GIS) در چارچوب نظری این پژوهش، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود.

۳-۴- تأثیر توسعه خدمات میکروموبیلیتی اشتراکی بر روی حمل‌ونقل

خدمات میکروموبیلیتی اشتراکی می‌توانند نقش مؤثری در ارتقای سطح تحرک و دسترسی افراد ایفا کنند و به‌عنوان گزینه‌ای انعطاف‌پذیر برای سفرهای کوتاه یا سفرهای

۳-۵- مسافت و انتشار کربن

شهرهای کوچک و متوسط فشرده می‌توانند از طریق کاهش مسافت‌های سفر و تغییر مد حمل‌ونقل، به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن کمک کنند. کاهش طول سفرها، علاوه بر کاهش آلاینده‌ها، ممکن است به کاهش خطر تصادفات جاده‌ای نیز بیانجامد.

با این حال، جابه‌جایی افراد در یک شهر می‌تواند انتشار آلاینده‌هایی را به همراه آورد که مستقیماً به سفرهای واقعی مرتبط نیستند. به‌عنوان نمونه، مسافت‌های طی‌شده برای انتقال وسایل نقلیه به محل سوار شدن مسافران و بازگرداندن آن‌ها به پایگاه در پایان روز، یا مسافت‌های بین سفرها، به‌ویژه در سیستم‌های حمل‌ونقل انعطاف‌پذیر مانند خودروهای اشتراکی و اتوبوس‌های درخواستی، از جمله این منابع انتشار محسوب می‌شوند. علاوه بر این، فعالیت‌های مرتبط با سوخت‌گیری، تعمیر و نگهداری، خدمات‌دهی، پارک کردن یا جابه‌جایی وسایل نقلیه برای آماده‌سازی سرویس‌دهی نیز می‌توانند به انتشار آلاینده‌ها منجر شوند (Standard Chartered PLC, 2022).

۳-۶- عوامل مؤثر بر استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی

استفاده از سامانه‌های میکروموبیلیتی اشتراکی، شامل دوچرخه‌ها و اسکوترهای اشتراکی، تحت تأثیر عوامل متنوعی قرار دارد که می‌توان آن‌ها را در چهار بعد اصلی دسته‌بندی کرد: بعد رفتاری، بعد اجتماعی، بعد اقتصادی و زیرساخت‌ها.

۳-۶-۱- بعد رفتاری

این بعد شامل ویژگی‌ها و ترجیحات کاربران در تصمیم‌گیری برای استفاده از سامانه‌های اشتراکی است: مکان‌های جاذب سفر: دسترسی آسان به مراکز خرید، محل کار و اماکن تفریحی می‌تواند استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی را افزایش دهد.

مدهای سفر: ترکیب سفر با روش‌های دیگر مانند پیاده‌روی یا وسایل نقلیه عمومی، بر انتخاب کاربران تأثیرگذار است. سامانه‌هایی که نیازهای سفر را به طور مؤثر برآورده کنند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Litman, 2023; Fishman et al., 2013).

ترجیحات فردی: عواملی مانند صرفه‌جویی در هزینه، راحتی و انگیزه‌های زیست‌محیطی می‌توانند کاربران را به استفاده

از این خدمات ترغیب کنند (Shaheen et al., 2008; Litman, 2023).

۳-۶-۲- بعد اجتماعی

ویژگی‌های جمعیتی و سبک زندگی کاربران نقش مهمی در استفاده از میکروموبیلیتی دارند: سن: جوانان به دلیل آشنایی بیشتر با فناوری و تمایل به تجربه روش‌های نوین، بیشترین بهره‌برداری را دارند. جنسیت: احساس امنیت و راحتی ممکن است موجب تفاوت در رفتار مردان و زنان در استفاده از این خدمات شود. سبک زندگی: افراد با سبک زندگی فعال و محیط‌زیست‌محور اغلب بیشتر از سامانه‌های اشتراکی بهره می‌گیرند (Shaheen et al., 2008; Litman, 2023).

۳-۶-۳- بعد اقتصادی

شرایط اقتصادی کاربران و سیاست‌های قیمت‌گذاری سامانه‌ها تأثیر قابل توجهی دارند: وضعیت اشتغال: شاغلان به دلیل نیاز به جابه‌جایی سریع و کارآمد، بیشتر از خدمات اشتراکی استفاده می‌کنند. میزان درآمد: افراد با درآمد پایین به دلیل هزینه کمتر این خدمات، تمایل بیشتری به استفاده دارند. مالکیت خودرو: نبود خودروی شخصی انگیزه‌ای برای استفاده از سامانه‌های اشتراکی ایجاد می‌کند، در حالی که مالکان خودرو ممکن است کمتر از این خدمات بهره ببرند. مدل‌های قیمت‌گذاری: ارائه گزینه‌های انعطاف‌پذیر و قیمت‌های رقابتی، استفاده از خدمات را افزایش می‌دهد (Litman, 2023; Fishman et al., 2013).

۳-۶-۴- زیرساخت‌ها و محدودیت‌ها

توسعه مسیرهای ایمن دوچرخه‌سواری، پارکینگ‌های اختصاصی و طراحی شهری مناسب، به طور مستقیم موجب افزایش استفاده از سامانه‌های اشتراکی می‌شود. در مقابل، نگرانی‌های ایمنی، شرایط آب‌وهوایی و محدودیت‌های جغرافیایی می‌توانند مانع بهره‌گیری از این خدمات شوند (Zhang & Mi, 2018; Wong et al., 2020; Fishman et al., 2013).

۳-۷- تحلیل الگوهای رفتاری سفر شهری

تحلیل الگوهای رفتاری سفر شهری شامل بررسی زمان‌بندی سفر، انتخاب وسیله نقلیه، و مسیرهای پررفت‌وآمد می‌شود. این تحلیل‌ها می‌توانند با استفاده از داده‌های GPS، نظرسنجی‌ها، و مدل‌های شبیه‌سازی انجام

جایگزینی سفرها منجر به کاهش انتشار کربن در مقیاس فردی و محله‌ای می‌شود؛
جانمایی بهینه ایستگاه‌ها می‌تواند این چرخه را تقویت کند و اثرات محیط‌زیستی را تشدید نماید.
این چارچوب، پیوند منطقی میان نظریه، روش‌شناسی و تحلیل‌های تجربی پژوهش را برقرار می‌کند و زمینه تفسیر نتایج در بخش بحث و نتیجه‌گیری را فراهم می‌سازد.
در جدول شماره ۲ پیوند متغیرهای مدل لجستیک با نظریه‌های رفتاری و حمل‌ونقل پایدار در انواع متغیرهای مرتبط ارائه شده است.

شوند. درک این الگوها برای پیش‌بینی تقاضا و مکان‌یابی ایستگاه‌های میکروموبیلیتی حیاتی است.

۳-۸- چارچوب مفهومی پژوهش

بر اساس مبانی نظری مطرح‌شده، چارچوب مفهومی این پژوهش بر این فرض استوار است که:
عوامل اجتماعی-اقتصادی و رفتاری بر تمایل به استفاده از میکروموبیلیتی تأثیر مستقیم دارند؛
این تمایل، میزان جایگزینی سفرهای موتوری را تعیین می‌کند؛

جدول ۲. پیوند متغیرهای مدل لجستیک با نظریه‌های رفتاری و حمل‌ونقل پایدار

متغیر مدل لجستیک	نوع متغیر	نظریه / چارچوب نظری	تبیین نظری اثر متغیر	منبع علمی معتبر
سن	اجتماعی-جمعیتی	نظریه چرخه زندگی	الگوهای تحرک و انتخاب وسیله نقلیه در طول چرخه زندگی تغییر می‌کند؛ با افزایش سن، تمایل به ریسک کمتر، کاهش توان جسمانی و وابستگی بیشتر به خودروی شخصی مشاهده می‌شود.	(Ben-Akiva & Lerman, 2018; Schmöcker et al, 2008)
درآمد ماهانه	اقتصادی	نظریه بیشینه‌سازی مطلوبیت	افراد با درآمد بالاتر هزینه زمانی و روانی سفر را مهم‌تر از هزینه مالی می‌دانند و تمایل بیشتری به استفاده از خودروی شخصی دارند.	(Train, 2009; Litman, 2023)
مالکیت خودرو	اقتصادی-ساختاری	نظریه وابستگی به خودرو	مالکیت خودرو موجب شکل‌گیری عادات سفر خودرهم‌محور شده و پذیرش مدهای جایگزین را کاهش می‌دهد.	(Newman & Kenworthy, 2015)
شیوه غالب حمل‌ونقل (حمل‌ونقل عمومی)	رفتاری-ساختاری	نظریه انتخاب بین‌مدی	کاربران حمل‌ونقل عمومی آمادگی بیشتری برای استفاده از مدهای مکمل مانند دوچرخه اشتراکی دارند.	(Pucher & Buehler, 2012)
زیست‌محیطی / درک آلودگی هوا	نگرشی	نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده	نگرش مثبت زیست‌محیطی و ادراک پیامدهای آلودگی، نیت رفتاری و در نهایت رفتار استفاده از مدهای پایدار را تقویت می‌کند.	(Zhao et al., 2024; Fishman et al., 2013)
تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی	نگرشی-رفتاری	Attitude-Behavior Consistency Theory	نگرش مثبت نسبت به دوچرخه‌سواری احتمال تبدیل نیت به رفتار واقعی را افزایش می‌دهد.	(Bamberg & Möser, 2007)
استفاده ترکیبی دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی	رفتاری	Sustainable Urban Mobility Paradigm	حمل‌ونقل پایدار مبتنی بر هم‌افزایی مدهای پاک و کاهش وابستگی به خودرو است، نه جایگزینی تک‌مدی.	(Banister, 2008)
کاهش انتشار کربن	پیامدی	چارچوب شهر کم‌کربن	تغییر الگوی سفر، کاهش VKT خودرویی و افزایش مدهای فعال، منجر به کاهش مستقیم انتشار CO ₂ می‌شود.	(Zhang & Mi, 2018; Newman & Kenworthy, 2015)

۳-۹- جمع‌بندی نظری

در مجموع، نتایج مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که رفتار استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی، پدیده‌ای چندبعدی است که در تقاطع عوامل فردی، اقتصادی، رفتاری و نگرشی شکل می‌گیرد. هم‌راستایی معنادار یافته‌های تجربی با نظریه‌های معتبر حوزه حمل‌ونقل پایدار،

همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، هر یک از متغیرهای اجتماعی، اقتصادی، رفتاری و نگرشی، ریشه در چارچوب‌های نظری شناخته‌شده‌ای دارد که در ادبیات بین‌المللی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این پیوند نظری، اعتبار تبیینی مدل‌ها را افزایش داده و امکان تفسیر عمیق‌تر نتایج در بخش بحث را فراهم می‌سازد.

روایی نظری مدل پژوهش را تأیید کرده و نشان می‌دهد که توسعه میکروموبیلیتی می‌تواند به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی تحقق شهر کم‌کربن مورد استفاده سیاست‌گذاران شهری قرار گیرد.

۴- روش پژوهش

این پژوهش با استفاده از رویکرد ترکیبی کمی-کیفی، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز را به‌صورت اسنادی و پیمایشی (پرسشنامه) گردآوری کرده است. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون و تحلیل‌های فضایی در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد تا متغیرهای مؤثر بر استفاده از سیستم، میزان انتشار کربن بر اساس این متغیرها و توزیع فضایی آلودگی بررسی شود. همچنین اثرات استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی در منطقه ۶ تهران مورد ارزیابی قرار گرفت.

جامعه آماری این تحقیق شامل تمام افرادی است که توانایی استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی را دارند، با توجه به شرایط جسمانی و ایمنی، به‌ویژه شهروندان منطقه ۶ تهران در بازه سنی ۱۵ تا ۶۵ سال تعداد نمونه بر اساس فرمول کوکران ۳۸۴ نفر محاسبه شد، اما با توجه به محدودیت‌های زمانی، مکانی و مشارکت، ۳۳۳ نفر مورد مطالعه قرار گرفتند که از این میان ۱۵۹ نفر به‌صورت آنلاین و ۱۷۴ نفر به‌صورت حضوری به پرسش‌نامه پاسخ دادند. به منظور انتخاب نمونه، از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد. در نمونه‌گیری میدانی، تمرکز بر افرادی بود که مقصدشان مکان‌های پرتقاضا بود، بدون تخصیص آن‌ها به گروه یا هدف خاصی.

برای ارزیابی روایی پرسش‌نامه از روش محتوایی استفاده شد و پرسشنامه به کارشناسان حوزه برنامه‌ریزی شهری و حمل‌ونقل ارائه گردید. پس از دریافت بازخورد و اصلاحات لازم، پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت. پیاپی ابزار نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ سنجیده شد؛ نتایج نشان داد که مقدار اولیه ۰/۵۹۲ و مقدار استاندارد شده ۰/۷۷۴ است که نشان‌دهنده همسانی درونی مطلوب است. داده‌های نامعتبر با روش حذف لیست‌وایز کنار گذاشته شدند و در نهایت ۳۲۵ نمونه (۰/۹۷۶٪) معتبر باقی ماندند.

در بخش کمی پژوهش، ابتدا از رگرسیون لجستیک برای تحلیل تأثیر ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و رفتاری

بر تمایل شهروندان به استفاده از دوچرخه اشتراکی استفاده شد. این مدل امکان شناسایی متغیرهای مؤثر و پیش‌بینی احتمال استفاده از دوچرخه را به‌صورت مستقل یا در ترکیب با حمل‌ونقل عمومی فراهم کرد. سپس با مدل‌سازی ریاضی، میزان سفرهای جایگزین‌شده، فاصله آن‌ها و کاهش انتشار کربن برای هر فرد محاسبه شد تا اثرات محیطی سیستم به‌صورت کمی ارزیابی شود.

در مرحله بعد، تحلیل فضایی با استفاده از GIS برای شناسایی مناطق با تقاضای بالا و پهنه‌های مناسب استقرار ایستگاه‌ها انجام شد. با ترکیب تحلیل شبکه و معیارهای بهینه‌سازی، مکان‌های بهینه ایستگاه‌ها شبیه‌سازی و مناطقی با بیشترین پتانسیل پوشش‌دهی و کاهش کربن مشخص گردید. این رویکرد امکان بررسی دقیق اثرات زیست‌محیطی سیستم دوچرخه اشتراکی در سطح محله و بلوک‌های آماری را فراهم کرده و نتایج ملموسی در بهره‌برداری بهینه از این سیستم ارائه می‌دهد.

۵- معرفی محدوده مورد پژوهش

منطقه ۶ شهرداری تهران با مساحتی در حدود ۲۱۳۸ هکتار در بخش مرکزی شهر واقع شده و حدود ۳/۲ درصد از کل مساحت پایتخت را به خود اختصاص داده است. این منطقه از شمال به بزرگراه همت، از شرق به بزرگراه مدرس و خیابان مفتاح، از جنوب به خیابان انقلاب و از غرب به بزرگراه چمران محدود می‌شود و شامل شش ناحیه و چهارده محله است. از مهم‌ترین محله‌های این منطقه می‌توان به جهاد، سنایی، وصال، امیرآباد، جمالزاده، کریم‌خان، یوسف‌آباد و بهجت‌آباد اشاره کرد. موقعیت مرکزی منطقه و دسترسی آسان به محورهای اصلی شهر نظیر خیابان‌های ولیعصر، انقلاب، کریم‌خان زند و مطهری، موجب شده است این محدوده یکی از پرتددترین بخش‌های شهر تهران به شمار آید. افزون بر این، تمرکز دانشگاه‌ها، مراکز فرهنگی و اداری و حضور نهادهای دولتی در این منطقه، جایگاه اجتماعی و اقتصادی آن را در ساختار شهری تهران تقویت کرده است.

با توجه به تراکم بالای جمعیت و حجم قابل توجه تردد در این منطقه، اجرای سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تراکم ترافیک و آلودگی هوا ایفا کند. دسترسی مناسب به شبکه حمل‌ونقل عمومی و زیرساخت‌های موجود، شرایط مناسبی برای پیاده‌سازی

۶- یافته‌های پژوهش و بحث

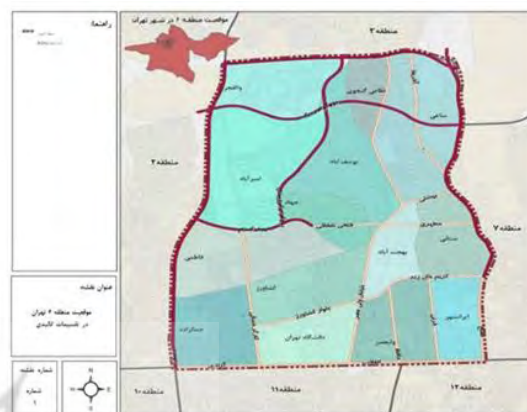
۶-۱- یافته‌های پژوهش

۶-۱-۱- تحلیل تأثیر عوامل اجتماعی، اقتصادی و رفتاری بر کاهش کربن

برای بررسی نقش عوامل اجتماعی، اقتصادی و رفتاری در تمایل افراد به استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی و شناسایی عواملی که پذیرش یا عدم پذیرش این سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از مدل رگرسیون لجستیک بهره گرفته شده است.

اطلاعات مورد نیاز مدل از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد و پاسخ‌های شرکت‌کنندگان در دسته‌بندی‌های مختلف کدگذاری شدند. کدگذاری اولیه متغیرها به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای تحلیل و بررسی تأثیر هر عامل بر پذیرش سیستم انجام شد. در جدول ۳ پیش‌پردازش و کدگذاری داده‌ها برای ورود به مدل تحلیلی ارائه و تعریف شده است.

موفق این سیستم فراهم می‌کند. انتخاب منطقه ۶ به‌عنوان فرصت مناسبی برای ارزیابی اثرات آن بر کاهش انتشار کربن و بهبود کیفیت زندگی شهری فراهم می‌آورد و نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان الگوی توسعه این سیستم در سایر مناطق تهران و حتی سایر شهرهای کشور مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲. محدوده مطالعاتی پژوهش

جدول ۳. پیش‌پردازش و کدگذاری داده‌ها برای ورود به مدل تحلیلی

تعریف کد						متغیر
۵	۴	۳	۲	۱	۰	جنسیت
-	-	-	-	مرد	زن	وضعیت شغلی
بازنشسته	کارمند	شغل آزاد	خانه‌دار	دانشجو	دانش‌آموز	مالکیت خودرو
-	-	-	-	مالکیت	عدم مالکیت	میزان درآمد ماهانه (میلیون تومان)
-	-	بیشتر از ۳۰	۱۵-۳۰	۵-۱۵	کمتر از ۵	تأثیر آلودگی هوا در استفاده از دوچرخه
-	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بی‌اهمیت	وسیله غالب سفر
دوچرخه	اتوبوس-مترو	خودرو-مترو	تاکسی	خودرو	بله	تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی
-	-	-	-	بله	خیر	تمایل به استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی با دوچرخه اشتراکی
-	-	-	-	بله	خیر	

انتخاب مدل رگرسیون لجستیک در این پژوهش به دلیل ماهیت انتخابی و دوتایی متغیر وابسته و همچنین قابلیت بالای این مدل در تجزیه و تحلیل داده‌های ترکیبی فردی، اجتماعی و اقتصادی صورت گرفته است. این روش امکان می‌دهد تا تأثیر نسبی هر یک از متغیرهای مستقل (مانند سن، جنسیت، درآمد، سطح تحصیلات، آگاهی زیست‌محیطی و الگوهای سفر شهری) بر احتمال تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی به‌صورت کمی سنجیده شود. علاوه بر این، رگرسیون لجستیک با ارائه ضرایب معناداری آماری، به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا الگوهای رفتاری شهروندان در تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقلی را شناسایی و تفسیر کند.

۶-۱-۲- مدل‌سازی رفتار کاربران در انتخاب و استفاده از دوچرخه اشتراکی در محیط شهری

در این پژوهش، برای شناسایی عوامل مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم دوچرخه‌های اشتراکی، از مدل رگرسیون لجستیک بهره گرفته شده است. رگرسیون لجستیک یکی از روش‌های تحلیلی پیشرفته در آمار است که برای تخمین احتمال وقوع یک پدیده وابسته به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل به کار می‌رود. در این مدل، متغیر وابسته ماهیتی دوحالته (باینری) دارد؛ به عبارت دیگر، تنها دو وضعیت ممکن را شامل می‌شود، مانند «تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی» در مقابل «عدم تمایل به استفاده از آن».

ساختار مدل رگرسیون لجستیک :

$$\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n = \left(\frac{P(y=1)}{P(y=1) - 1} \right) \log P(y=1)$$

و ابسته).

$X_1, X_2, \dots, X_n$: متغیرهای مستقل هستند (مانند سن، درآمد ماهانه، مالکیت خودرو، وسیله غالب سفر و نگرش زیست‌محیطی).

و $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: ضرایب مدل هستند که نشان‌دهنده اثر هر متغیر مستقل بر احتمال وقوع رویداد هستند.

۶-۱-۳- ارزیابی دقت و کارایی مدل نخست رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی

جدول شماره ۴ نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی تمایل شهروندان به استفاده از سامانه دوچرخه اشتراکی نشان می‌دهد که مدل از کارایی مناسبی در تفکیک گروه‌های مختلف برخوردار است. بر اساس نتایج ارزیابی، دقت کلی مدل برابر با ۰/۸۴ بوده که بیانگر صحت پیش‌بینی در ۸۴ درصد از مشاهدات است. میانگین که میانگین ساده شاخص‌های دقت، بازخوانی و نمره F1 در تمامی طبقات را نشان می‌دهد، مقادیر قابل‌قبولی به‌دست آورده است (دقت ۰/۸۴، بازخوانی ۰/۸۳ و نمره F1 برابر با ۰/۸۳). این نتایج حاکی از توازن عملکرد مدل در هر دو طبقه‌ی پیش‌بینی‌شده است.

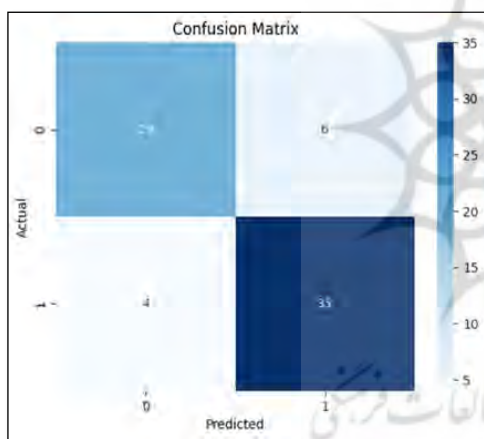
علاوه بر آن، میانگین وزنی نیز پایداری مدل را تأیید می‌کند؛ به‌گونه‌ای که دقت و نمره F1 هر دو برابر با ۰/۸۴ گزارش شده‌اند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی، عملکردی پایدار، متوازن و از نظر آماری رضایت‌بخش داشته است.

جدول ۴. گزارش طبقه بندی مدل اول

تعداد نمونه	امتیاز F1	بازخوانی	دقت	طبقه
۲۵	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۸۳	۰
۳۹	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۵	۱
۶۴	۰/۸۴	-	-	صحت کلی
۶۴	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۴	میانگین ماکرو
۶۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	میانگین وزنی

بر اساس نتایج حاصل از ماتریس سردرگمی، مدل از دقت بالایی برخوردار بوده و توانسته است در حدود ۸۴/۳۷ درصد از موارد را به‌درستی طبقه‌بندی کند. میزان Precision برابر با ۸۵/۳۷ درصد و Recall برابر با ۸۹/۷۴ درصد محاسبه شده که نشان‌دهنده توان مناسب مدل در شناسایی موارد مثبت (تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی) است.

با این حال، مدل در تعداد محدودی از موارد دچار خطا شده است؛ به‌طوری‌که ۶ نمونه از افرادی که تمایلی به استفاده نداشتند به اشتباه به‌عنوان کاربران متمایل پیش‌بینی شده‌اند و چهار نمونه از افراد دارای تمایل به استفاده نیز به‌صورت نادرست در گروه مخالف قرار گرفته‌اند. این خطاهای جزئی نشان می‌دهد که مدل، علی‌رغم عملکرد قابل‌قبول، می‌تواند با بهبود در انتخاب متغیرها یا تنظیم پارامترهای آموزشی دقت پیش‌بینی خود را افزایش دهد.



شکل ۳. ماتریس سردرگمی

۶-۱-۴- نتایج و خروجی مدل اول

مطابق با جدول شماره ۵، نتایج مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای مستقل از نظر آماری معنادار بوده و بر تمایل به استفاده از سیستم میکروموبیلیتی تأثیر قابل‌توجهی دارند ($p < 0.05$) متغیر سن ($\beta = 0.0556$) اثر منفی دارد؛ به این معنا که با افزایش سن، احتمال استفاده از سیستم کاهش می‌یابد. همچنین، درآمد ماهانه ($\beta = 0.08579$) و مالکیت خودرو ($\beta = -1.5695$) نیز اثر منفی نشان می‌دهند، به طوری که افراد با درآمد بالاتر و دارندگان خودرو، تمایل کمتری به استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی دارند. در مقابل، شیوه اصلی

توضیح‌دهندگی مناسب مدل است و آزمون نسبت درست‌نمایی $(p\text{-value}=1/201e-44)$ LLR نیز نشان‌دهنده برازش خوب مدل است. این نتایج بیانگر آن است که مدل توانسته است الگوهای رفتاری کاربران را با دقت بالا شناسایی و تحلیل کند.

حمل‌ونقل $(\beta=0/6435)$ و درک تأثیر آلودگی هوا $(\beta=0/7557)$ اثر مثبت و معناداری دارند؛ به این معنا که استفاده از حمل‌ونقل عمومی و نگرانی درباره آلودگی هوا، احتمال استفاده از سیستم میکروموبیلیتی را افزایش می‌دهد. مقدار $Pseudo R^2=50.19$ نشان‌دهنده قدرت

جدول ۵. نتایج مدل رگرسیون لجستیک تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی

متغیر وابسته	تمایل به استفاده از دوچرخه				تعداد مشاهدات	
مدل:	Logit				درجه آزادی باقیمانده‌ها	
روش:	بیشینه درست‌نمایی				درجه آزادی مدل	
همگرایی:	پایدار				ضریب تعیین	
					لگاریتم درست‌نمایی	
نوع کواریانس:	ناپایدار				LL-Null:	
					نسبت درست‌نمایی	
		ضریب	خطای استاندارد	Z	$P> Z $	
ثابت (عرض از مبدأ)		۲/۴۳۱۷	۰/۹۱۴	۲/۶۶۰	۰/۰۰۸	۰/۹۷۵
سن		-۰/۰۵۵۶	۰/۰۱۷	-۳/۳۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۶۴۰
درآمد ماهانه		-۰/۱۸۵۷۹	۰/۲۱۲	-۴/۰۵۵	۰/۰۰۰	۰/۲۲۳
مالکیت خودرو		-۱/۵۶۹۵	۰/۳۷۰	-۴/۲۴۰	۰/۰۰۰	-۰/۴۴۳
حالت حمل‌ونقل اصلی		۰/۶۴۳۵	۰/۱۰۹	۵/۹۰۵	۰/۰۰۰	-۲/۲۹۵
تأثیر آلودگی هوا		۰/۷۵۵۷	۰/۱۷۶	۴/۲۹۹	۰/۰۰۰	۰/۴۳۰
						۰/۴۱۱

۶-۱-۵- مدل دوم: تحلیل عوامل مؤثر بر تمایل به استفاده همزمان از میکروموبیلیتی اشتراکی و حمل‌ونقل عمومی
برای شناسایی عوامل مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده ترکیبی از دوچرخه اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است. مشابه مدل اول، در این مدل متغیر وابسته یک متغیر دوتایی (باینری) است و تنها دو حالت ممکن را شامل می‌شود: «تمایل به استفاده از سیستم» و «عدم تمایل به استفاده از سیستم». این روش امکان می‌دهد تا تأثیر متغیرهای مستقل بر احتمال استفاده ترکیبی از دو سیستم حمل‌ونقل به‌طور دقیق ارزیابی شود.

۶-۱-۶- تحلیل عملکرد مدل دوم در پیش‌بینی تمایل به استفاده ترکیبی

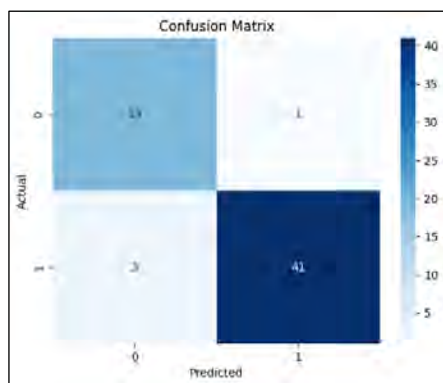
نتایج تحلیل مدل دوم نشان می‌دهد (جدول شماره ۶) که برای کلاس ۰ (عدم تمایل به استفاده ترکیبی)، مدل عملکرد بسیار خوبی دارد؛ به‌گونه‌ای که دقت برابر با ۰/۸۶، بازخوانی ۰/۹۵ و نمره F1 معادل ۰/۹۰ گزارش شده است. این مقادیر نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شناسایی نمونه‌های متعلق به هر کلاس هستند، به‌ویژه بازخوانی بالا که نمایانگر قابلیت مدل در شناسایی اکثر افراد بدون تمایل به استفاده ترکیبی است. نمره F1 نیز تأکید می‌کند که مدل بین دقت و بازخوانی توازن مناسبی برقرار کرده است.

ساختار مدل رگرسیون لجستیک:

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n = \left(\frac{P(y=1)}{P(y=1)-1} \right) \log$$

در مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی تمایل به استفاده ترکیبی از دوچرخه اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی:

$P(y=1)$ نشان‌دهنده احتمال رخداد رویداد موردنظر است، یعنی تمایل به استفاده از سیستم ترکیبی (متغیر وابسته).



شکل ۴. ماتریس سردرگمی

در کل، مدل با دقت کلی ۰/۹۴ توانسته است ۹۴ درصد پیش‌بینی‌ها را به‌درستی انجام دهد. شاخص‌های میانگین ماکرو (Macro Avg) که میانگین ساده دقت، بازخوانی و نمره F1 در همه کلاس‌ها است، مقادیر دقت ۰/۹۲، بازخوانی ۰/۹۴ و نمره F1 برابر با ۰/۹۳ را نشان می‌دهند، که عملکرد مطلوب و متوازن مدل را تأیید می‌کند. همچنین، میانگین وزنی (Weighted Avg) با دقت، بازخوانی و نمره F1 هر کدام برابر با ۰/۹۴، پایایی و اثرگذاری مدل در شناسایی هر دو کلاس را نشان می‌دهد.

جدول ۶. گزارش طبقه‌بندی مدل دوم

تعداد نمونه	امتیاز F1	بازخوانی	دقت	طبقه
۲۰	۰/۹	۰/۹۵	۰/۸۶	۰
۴۴	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۸	۱
۶۴	۰/۹۴	-	-	صحت کلی
۶۴	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۲	میانگین ماکرو
۶۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	میانگین وزنی

۶-۱-۷- نتایج و خروجی مدل دوم

مطابق جدول شماره ۷، تمامی متغیرهای مستقل مدل تأثیر معناداری بر تمایل به استفاده از سیستم حمل‌ونقل ترکیبی دارند. مقدار $Pseudo R^2 = ۰/۶۶۰۹$ نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بالای مدل است و $e = ۵۹ - ۴/۵۱۵ = LLR$ p-value نیز صحت برازش مدل را تأیید می‌کند. از نظر ضرایب، سن ($\beta = -۰/۰۸۷۴$) و درآمد ماهانه ($\beta = -۰/۶۴۳۱$) اثر منفی دارند؛ به این معنا که با افزایش این متغیرها، احتمال استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی کاهش می‌یابد. در مقابل، تمایل به استفاده از دوچرخه ($\beta = ۳/۷۱۴۳$) و شیوه اصلی حمل‌ونقل ($\beta = ۰/۴۴۵۸$) اثر مثبت نشان می‌دهند، به طوری که افرادی که علاقه بیشتری به دوچرخه‌سواری دارند یا شیوه خاصی از حمل‌ونقل را استفاده می‌کنند، احتمال بیشتری برای پذیرش سیستم ترکیبی دارند.

مدل پس از ۸ تکرار همگرا شده و مقدار نهایی تابع هدف برابر با ۰/۲۲۵۴۹۵ به دست آمده است، که نشان‌دهنده بهبود و پایداری مدل در فرآیند تخمین است.

تحلیل ماتریس سردرگمی نشان می‌دهد که مدل عملکرد بسیار خوبی دارد؛ به‌طوری که شاخص‌های دقت، بازخوانی و F1-score همگی بالای ۹۰٪ قرار دارند. تعداد اندک خطاهای مثبت و منفی کاذب نیز حاکی از توانایی بالای مدل در طبقه‌بندی صحیح داده‌ها و کم بودن احتمال اشتباه در پیش‌بینی است.

جدول ۷. تحلیل رگرسیونی عوامل مؤثر بر استفاده همزمان از دوچرخه اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی

متغیر وابسته	تمایل به حمل‌ونقل ترکیبی / هیبریدی				تعداد مشاهدات	۳۱۷
مدل:	Logit				درجه آزادی باقیمانده‌ها	۳۱۲
روش:	پیشینه درستی				درجه آزادی مدل	۴
پایدار:	همگرایی	ضریب	خطای استاندارد	z	P> z	۰/۶۶۰۹
						لگاریتم درستی
						-۷۱/۴۸۲
						لگاریتم درستی مدل صفر
ناپایدار:	نوع کوواریانس	ضریب	خطای استاندارد	z	P> z	-۲۱۰/۷۷
						نسبت درستی
ثابت (عرض از مبدأ)	سن	درآمد ماهانه	تمایل به استفاده از دوچرخه	حالت حمل‌ونقل اصلی	۰/۴۴۵۸	۴/۵۱۵e-۵۹
						[۰/۰۲۵ ۰/۹۷۵]
						۴/۹۳۵
						۰/۷۹۷
سن	درآمد ماهانه	تمایل به استفاده از دوچرخه	حالت حمل‌ونقل اصلی	۰/۴۴۵۸	۰/۱۴۰	-۰/۰۴۴
						-۰/۱۳۱
						-۰/۱۰۹
						-۱/۱۷۷
تمایل به استفاده از دوچرخه	حالت حمل‌ونقل اصلی	۰/۴۴۵۸	۰/۱۴۰	۳/۱۸۰	۰/۰۰۱	۲/۸۰۸
						۰/۰۰۰
						۰/۱۷۱
						۰/۷۲۰

۶-۱-۸- مدل سازی کاهش انتشار کربن در اثر استفاده از

دوچرخه و حمل و نقل عمومی

پس از مدل سازی روابط میان متغیرهای اجتماعی و اقتصادی و رفتار سفر افراد با تمایل به استفاده از گونه های مختلف سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی، و با توجه به معناداری متغیرهای مستقل، می توان نتیجه گرفت که شاخص های اجتماعی، اقتصادی و رفتار سفر افراد تأثیر مستقیمی بر میزان کاهش انتشار کربن دارند.

بر این اساس، ابتدا مقدار کاهش کربن برای هر فرد با استفاده از یک مدل ریاضی محاسبه شد که متغیرهایی مانند تعداد سفرها، مدت زمان سفر و نرخ جایگزینی در آن در نظر گرفته شده است. این محاسبه تمایل به استفاده از سیستم اشتراکی را به صورت مستقل در سفرهای کوتاه و به صورت ترکیبی با حمل و نقل عمومی در سفرهای طولانی ارزیابی می کند. سپس، با محاسبه میانگین کاهش کربن در گروه های مختلف با ویژگی های اجتماعی مشابه (بر اساس داده های موجود)، میزان کاهش کربن برای هر گروه مشخص شد و نتایج به عنوان ورودی برای مرحله پایانی پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

$$Y = \frac{K}{60} \quad M0 = X \times Y \times V$$

$$IF A = 1 \quad ; \quad M1 = M0 \times Z \times A$$

$$IF A = 0 \quad . \quad B = 1 \quad ; \quad M1 = M0 \times Z \times B$$

$$else, M1 = 0$$

$$C1 = \frac{C0 \times M1}{1000}$$

Mیانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب دقیقه) K=

Mیانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب ساعت) Y =

تعداد سفرهای فرد در طول هفته X =

سرعت متوسط وسیله موتوری: ۳۰ کیلومتر بر ساعت V =

مسافت سفرهای موتوری فرد در طول هفته M0 =

مسافت سفرهای تغییر یافته موتوری به دوچرخه فرد در طول هفته M1 =

نرخ جایگزینی سفر موتوری به دوچرخه اشتراکی Z =

Mیانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب ساعت) Z =

تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی (صفر: عدم تمایل و A=

یک: تمایل به استفاده)

تمایل به استفاده ترکیبی از سیستم دوچرخه اشتراکی و حمل و نقل B =

عمومی (صفر: عدم تمایل و یک: تمایل به استفاده)

متوسط کربن مصرفی هر خودرو در یک کیلومتر ۱۸۷ C0 =

مقدار کربن کاهش هر فرد در طول هفته C1=

در این مدل ریاضی، سرعت متوسط سفرها ۳۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است، زیرا در حالت فعلی این سفرها با وسایل موتوری انجام می شوند. همچنین، میزان متوسط انتشار کربن خودروهای ایرانی ۱۸۷ گرم در هر کیلومتر برآورد شده است. پس از محاسبه کاهش کربن برای هر فرد با توجه به متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک، میزان انتشار کربن بر حسب کیلوگرم تعیین شد. این محاسبات شامل متغیرهایی مانند تعداد سفرها، نرخ جایگزینی، تمایل به استفاده از سیستم اشتراکی به صورت مستقل در سفرهای کوتاه و ترکیبی با حمل و نقل عمومی در سفرهای طولانی بوده است. نتایج به صورت نمودار ارائه شده است تا وضعیت کاهش انتشار کربن برای گروه ها و افراد مختلف به شکل بصری و قابل تفسیر نمایش داده شود.

۶-۱-۹- برآورد خوشه های انتشار کربن براساس متغیر

اجتماعی- اقتصادی

میزان کاهش انتشار کربن در محدوده منطقه ۶ تهران برای شبیه سازی، بر اساس گروه های ترکیبی شامل سن، درآمد و مالکیت خودرو تعیین شده و نتایج آن در جدول شماره ۸ ارائه شده است.

جدول ۸. شناسایی دسته های انتشار کربن براساس ویژگی های

جمعیتی و اقتصادی

میانگین کاهش کربن (کیلومتر)	میزان درآمد ماهیانه				میانگین کلی
	<۵	۵-۱۵	۱۵-۳۰	>۳۰	
گروه سنی مالکیت خودرو					
۱۵-۲۵	۲۱/۰	۲۹/۷	۱۶/۸	۰/۰	۲۳/۰
بله	۱۴/۶	۱۹/۳	۰/۰	۰/۰	۱۳/۶
خیر	۲۳/۱	۲۶/۷	۳۳/۷	-	۲۷/۹
۲۵-۳۵	۲۵/۹	۴۵/۰	۲۹/۴	۲۳/۹	۳۲/۹
بله	۲۱/۱	۴۶/۵	۳۱/۷	۲۶/۷	۳۳/۳
خیر	۲۹/۸	۴۳/۹	۲۶/۸	۱۹/۳	۲۳/۴
۳۵-۴۵	۳۲/۱	۱۰/۲	۳۲/۳	۱۰/۵	۲۸/۳
بله	۲۶/۱	۳۶/۱	۳۴/۶	۱۰/۹	۲۴/۲
خیر	۴۴/۱	۴۳/۱	۲۹/۹	۷/۹	۳۴/۳
۴۵-۵۵	۲۳/۱	۳۹/۳	۲۳/۰	۱/۷	۲۲/۰
بله	۲۲/۲	۲۹/۳	۲۶/۳	۰/۰	۲۱/۶
خیر	۲۴/۱	۵۹/۳	۱۴/۲	۴/۲	۲۲/۷
۵۵-۶۵	۸/۸	۴۱/۳	۲۱/۹	۳۴/۶	۲۸/۹
بله	۸/۸	۴۳/۰	۲۲/۵	۳۴/۶	۲۹/۵
خیر		۲۶/۲	۱۰/۱		۱۸/۲
میانگین کل	۲۴/۱	۴۰/۰	۲۷/۱	۱۴/۵	۲۷/۵

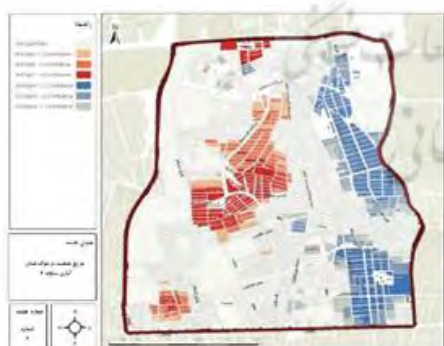
دقیق‌تر نمایانگر واقعی تقاضاهای مکانی آن کاربری‌ها محسوب شوند.



شکل ۵. توزیع فضایی جمعیت در بلوک‌های آماری منطقه ۶



شکل ۶. شناسایی کانون‌های پرتقاضا بر اساس تراکم جمعیت



شکل ۷. شناسایی نقاط تقاضا برای مکانیابی سیستم دوچرخه اشتراکی

۱۱-۱-۶- شناسایی کانون‌های تقاضا جهت پیاده‌سازی سیستم حمل‌ونقل اشتراکی

در این مرحله، ابتدا با استفاده از پرسش‌نامه، میزان اهمیت و امتیاز هر یک از مراکز تقاضا در سوالات ۷ تا ۱۴ مورد ارزیابی قرار گرفت و میانگین امتیاز هر مرکز محاسبه

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که مالکیت خودرو تأثیر قابل توجهی بر کاهش انتشار کربن دارد. در تمامی گروه‌های سنی، افرادی که خودرو ندارند، کاهش کربن بیشتری تجربه کرده‌اند، که این امر به دلیل تمایل بالاتر به استفاده از دوچرخه در میان این گروه‌ها است. در گروه‌های سنی میانسال (۳۵ تا ۴۵ سال و ۴۵ تا ۵۵ سال)، کاهش انتشار کربن همچنان قابل توجه است، اما در سنین بالاتر از ۵۵ سال، این کاهش کاهش می‌یابد؛ احتمالاً به دلیل کاهش توان جسمانی و تمایل کمتر به دوچرخه‌سواری در این گروه‌ها. به طور کلی، این الگوها نشان می‌دهند که کاهش وابستگی به خودروی شخصی، حمایت از گروه‌های شاغل با درآمد متوسط و توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل جایگزین می‌تواند به افزایش استفاده از دوچرخه و کاهش انتشار کربن کمک کند. همچنین، سبک زندگی و الگوی رفتاری افراد، نقش مهمی در انتخاب وسیله حمل‌ونقل اصلی آن‌ها ایفا می‌کند.

۱-۱-۶- تحلیل مکانی و بهینه‌سازی شبکه دوچرخه‌های اشتراکی شهری

در مرحله نخست، به منظور پیاده‌سازی سیستم دوچرخه اشتراکی در سطح منطقه، اطلاعات مکانی مربوط به کاربری‌های جاذب سفر شامل کاربری‌های مسکونی، مراکز اداری و تجاری، مؤسسات آموزشی و دانشگاهی، مراکز خرید و خدماتی، کاربری‌های مختلط تجاری-اداری و مسکونی با تراکم بالا، مراکز تفریحی و ورزشی و ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی، بر اساس داده‌های موجود در نرم‌افزار ArcGIS وارد سیستم شد.

در گام بعد، از تحلیل نقاط داغ برای شناسایی مناطق پرتقاضا استفاده گردید. بلوک‌های آماری با تراکم جمعیت کمتر از یک انحراف معیار پایین‌تر از میانگین بلوک‌ها حذف شدند و نقاط باقی‌مانده به عنوان نقاط پرتقاضا جمعیتی در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از ابزارهای ArcGIS، بلوک‌های پلیگون به نقاط تبدیل شدند تا امکان تحلیل مکانی دقیق فراهم گردد.

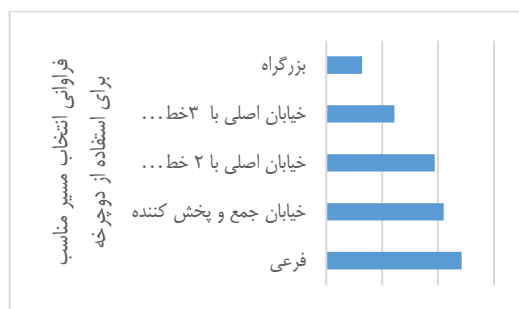
برای سایر مراکز فعالیتی و کاربری‌های هدف، لایه کاربری اراضی منطقه ۶ تهران مورد بررسی قرار گرفت و نقاط مرتبط با این کاربری‌ها شناسایی شده و مشابه بلوک‌های آماری به نقاط تبدیل شدند. برای کاربری‌های با مقیاس بزرگ، از جمله دانشگاه‌ها و پارک‌ها، نقاط با تراکم بالای ورودی‌ها و دسترسی‌های اصلی ایجاد شد تا به صورت

۶-۱-۱۲- ارزیابی شاخص‌های میکروموبیلیتی شهری در منطقه ۶

مطابق با داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه، سوالات مربوط به ایمنی مسیرهای مناسب برای استفاده از دوچرخه نشان داد که بیشترین ترجیح کاربران به خیابان‌هایی با تراکم ترافیک پایین و سرعت کمتر وسایل نقلیه معطوف است. نتایج نشان می‌دهد که خیابان‌های فرعی، خیابان‌های جمع‌کننده و پخش‌کننده و خیابان‌های اصلی با دو خط حرکتی به ترتیب بیشترین سطح اولویت را از سوی پاسخ‌دهندگان داشته‌اند که جزییات آن در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. بررسی ترجیح مسیرهای ایمن دوچرخه‌سواری از دید پاسخ‌دهندگان

مسیرهای مناسب برای استفاده از دوچرخه	فراوانی انتخاب
خیابان فرعی	۴۷
خیابان‌های اصلی با ۲ خط حرکت	۲۰
خیابان‌های اصلی با ۲ خط حرکت - خیابان فرعی	۹
خیابان‌های اصلی با ۲ خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش‌کننده - خیابان فرعی	۶۷
خیابان‌های اصلی با ۳ خط حرکت	۵۸
خیابان‌های اصلی با ۳ خط حرکت - خیابان فرعی	۱۱
خیابان‌های اصلی با ۳ خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش‌کننده	۵
خیابان‌های اصلی با ۳ خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش‌کننده - خیابان فرعی	۲
خیابان‌های جمع و پخش‌کننده	۵۸
خیابان‌های جمع و پخش‌کننده - خیابان فرعی	۳۳
غیر بزرگراه	۱۴
همه موارد	۶



شکل ۹. بررسی اولویت مسیرهای ایمن دوچرخه‌سواری با توجه به نتایج پرسش‌نامه

شد. نتایج (جدول شماره ۹) نشان می‌دهد که از دید پاسخ‌دهندگان، مراکز تحصیلی و ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی بیشترین امتیاز را کسب کرده و بنابراین در اولویت‌های مکانیابی سیستم دوچرخه اشتراکی قرار دارند. در مقابل، مراکز مسکونی و کاربری‌های مختلط تجاری-اداری از نظر پاسخ‌دهندگان کمترین اهمیت را دارند. با این حال، بررسی داده‌های مکانی و جغرافیایی موجود نشان می‌دهد که در منطقه ۶ تهران بیشترین مکان‌های تقاضا مربوط به کاربری‌های اداری و فعالیت‌های شغلی، مراکز مختلط تجاری-اداری و کاربری‌های مسکونی است. نتایج دقیق‌تر و امتیازات هر مرکز در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۹. تحلیل اولویت و اهمیت کاربری‌های جاذب سفر از منظر پاسخ‌دهندگان

مراکز تقاضا	میانگین امتیاز برای مکان‌یابی	تعداد
مراکز مختلط تجاری اداری	۲/۲۷	۱۴۱
مراکز جمعیتی و مسکونی	۲/۳۸	۴۲۳
مراکز تفریحی - ورزشی	۲/۷۶	۲۹۱
مراکز خرید و خدماتی	۲/۹۴	۸۱۸
مراکز حمل‌ونقل عمومی	۴/۰۸	۱۳۹
مراکز تحصیلی و دانشگاهی	۴/۱۲	۳۷
مراکز و فعالیت‌های کاری	۴/۴۶	۶۰۳

در مرحله بعد، امتیاز نهایی هر نوع مرکز تقاضا به داده‌های جغرافیایی افزوده شد و به‌عنوان وزن هر نقطه در نظر گرفته شد. سپس با بهره‌گیری از تحلیل چگالی هسته‌ای، پهنه‌های پرتقاضا برای مکانیابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی شناسایی و تحلیل گردید (شکل ۸).



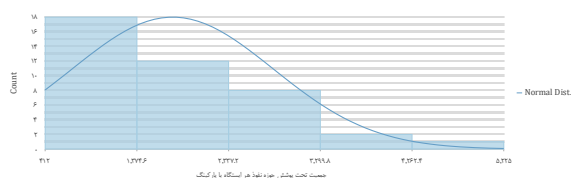
شکل ۸. تحلیل مکانی و شناسایی پهنه‌های پرتقاضای سیستم دوچرخه اشتراکی



شکل ۱۱. شبیه‌سازی و مکان‌یابی نقاط اولیه سیستم دوچرخه اشتراکی در سطح منطقه

۶-۱-۱۳- تحلیل و بهینه‌سازی نقاط پیشنهادی برای استقرار سیستم دوچرخه اشتراکی

در این مرحله، برای بهینه‌سازی مکان ایستگاه‌ها و پارکینگ‌های پیشنهادی دوچرخه اشتراکی، ابتدا تعداد نقاط مورد نیاز بر اساس جمعیت تحت پوشش منطقه محاسبه شد. مطابق تحلیل‌های قبلی، در پهنه‌های پرتقاضای جمعیت، ۱۹۴۳۷۱ نفر حضور داشتند که با توجه به استانداردهای حوزه نفوذ و خدمات هر ایستگاه (هر ۵۰۰ نفر یک ایستگاه)، ۴۱ ایستگاه یا پارکینگ نیاز بود. سپس با بهره‌گیری از تحلیل شبکه در نرم‌افزار ArcGIS و ابزار Location-Allocation، ایستگاه‌های پیشنهادی به عنوان نقاط اولیه و بلوک‌های آماری منطقه به عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شدند. با تعیین شعاع دسترسی ۴۰۰ متر برای هر ایستگاه و انتخاب ۴۱ ایستگاه بهینه، نقاط برتر به عنوان مکان‌های نهایی ایستگاه و پارکینگ شناسایی شدند.

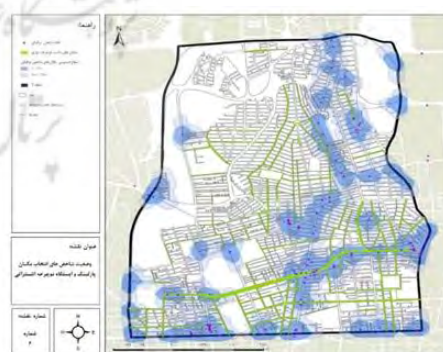


شکل ۱۲. خوشه‌بندی مکانی ایستگاه‌های دوچرخه با توجه به جمعیت منطقه

پس از تعیین مسیرهای مناسب و ایمن برای دوچرخه‌سواری، جانمایی دقیق ایستگاه‌ها یا پارکینگ‌های سیستم دوچرخه اشتراکی با استفاده از استانداردهای بین‌المللی مکان‌یابی پارکینگ‌های میکروموبیلیتی و نظرات کاربران در پرسش‌نامه انجام شد. بر اساس پاسخ‌ها، فاصله مناسب بین ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و ایستگاه دوچرخه در نظر گرفته شد: کمتر از ۱۰۰ متر برای نقاط ترافیکی مهم (اکثراً ایستگاه‌های تاکسی) و شعاع ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر برای ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی. این معیارها به همراه داده‌های مسیرهای ایمن و مناطق پرتقاضا برای طراحی و پیاده‌سازی اولیه سیستم ترکیب شد. با بهره‌گیری از ابزارهای ویرایشی نرم‌افزار ArcGIS و الگویی ترکیبی، ۶۳ مکان پیشنهادی برای استقرار ایستگاه‌ها یا پارکینگ‌های دوچرخه اشتراکی شناسایی و انتخاب گردید (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. بررسی توزیع فاصله دسترسی از ایستگاه حمل‌ونقل عمومی تا ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی

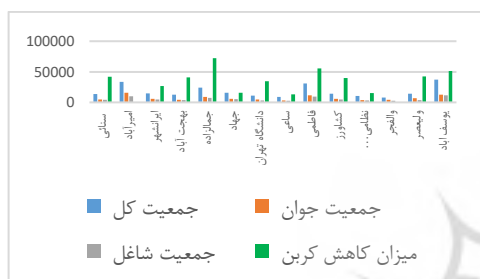
فرآوانی	به نظر شما فاصله مناسب بین ایستگاه دوچرخه و ایستگاه حمل‌ونقل عمومی چقدر است؟
۱۴۳	کمتر از ۱۰۰ متر
۱۵۶	۱۰۰-۳۰۰ متر
۱۸	۳۰۰ تا ۵۰۰ متر



شکل ۱۰. تحلیل شاخص‌های مکانی جهت جانمایی ایستگاه و پارکینگ دوچرخه اشتراکی

بخشی از سفرهای موتوری با آن، بیشترین کاهش انتشار کربن در محلات جمالزاده، یوسف‌آباد، فاطمی، سنائی، بهجت‌آباد و کشاورز مشاهده می‌شود. این امر عمدتاً به دلیل تقاضای بالای استفاده از سیستم دوچرخه و وجود ایستگاه‌ها و زیرساخت‌های مربوطه در این محدوده‌هاست.

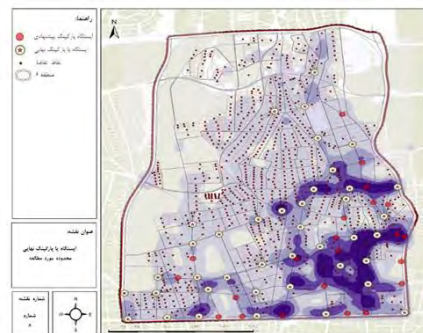
علاوه بر این، محاسبه نرخ کاهش کربن به ازای هر نفر، ارائه شده در جدول شماره ۱۲ نشان می‌دهد که متوسط کاهش کربن در محلات سنائی، دانشگاه تهران، ولیعصر و بهجت‌آباد بیش از ۳ کیلوگرم در هفته برای هر نفر است که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش آلودگی هوا ایفا کند.



شکل ۱۵. توزیع و مقدار کاهش کربن در محلات شهری منطقه ۶ تهران

جدول ۱۲. توزیع و مقدار کاهش کربن در محلات منطقه ۶ تهران

محل	جمعیت کل	میزان کاهش کربن	میزان کاهش کربن به‌ازای هر نفر
سنائی	۱۳۶۰۸	۴۱۷۰۱/۴۴۶۶۵	۳/۰۶۴۸۰۲۰۶
امیرآباد	۳۳۴۷۷	۴۸۱/۸۵۶۵۵۱	۰/۰۱۴۳۹۳۶۶
ایرانشهر	۱۴۶۷۷	۲۶۸۹۵/۰۱۲۸۳	۱/۸۳۲۴۵۹۸۲۳
بهجت‌آباد	۱۲۴۲۴	۴۰۶۴۶/۴۶۷۳۶	۳/۲۷۱۶۰۸۷۷
جمالزاده	۲۴۱۰۲	۷۳۰۱۲/۴۷۶۳۷	۳/۹۸۷۸۲۱۶۰۷
چهار	۱۵۶۷۹	۱۵۶۹۷/۱۴۵۲۱	۱/۰۰۱۱۵۷۲۹۴
دانشگاه تهران	۱۰۷۷۹	۳۴۷۴۵/۳۹۲۵۱	۳/۲۳۴۳۳۷۶۱
ساعی	۸۸۷۰	۱۳۲۹۹/۵۲۹۶۷	۱/۴۹۹۳۸۳۲۷۷
فاطمی	۳۰۹۳۳	۵۵۳۵۰/۴۹۴	۱/۷۸۹۳۶۷۱۴۸
کشاورز	۱۴۴۱۴	۳۹۶۱۹/۰۶۹۹۱	۲/۷۴۸۶۵۱۹۹۹
نظامی گنجوی	۱۰۳۰۷	۱۵۰۳۶/۸۰۰۹۹	۱/۴۵۸۸۹۳۱۱۲
والفجر	۸۰۸۶	.	.
ولیعصر	۱۴۰۷۵	۴۲۲۷۶/۹۵۲۲۴	۳/۰۰۳۶۹۱۱
یوسف‌آباد	۳۷۴۲۸	۵۱۲۴۸/۳۶۴۱۹	۱/۳۶۹۲۵۲۰۰۹



شکل ۱۳. ایستگاه‌ها و پارکینگ‌های بهینه‌شده سیستم دوچرخه اشتراکی در منطقه ۶

۶-۱-۱۴- مدل‌سازی کاهش انتشار کربن با استفاده از

میکروموبیلیتی در سطح منطقه ۶ تهران

پس از تکمیل مراحل اول و دوم تحلیل، در این بخش میزان کاهش کربن ناشی از استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی در سطح منطقه ۶ تهران شبیه‌سازی می‌شود. برای این منظور، ابتدا ناحیه خدمات سیستم دوچرخه اشتراکی در منطقه مشخص گردید. سپس بر اساس داده‌های خروجی مرحله اول پژوهش، میزان انتشار کربن افراد برحسب گروه سنی، مالکیت خودرو و سطح درآمد در بلوک‌های آماری مربوطه وارد شد. در نهایت، نتایج به صورت پهنه‌های مکانی اثرگذار بر کاهش کربن نمایش داده شد تا نقش میکروموبیلیتی در حرکت به سوی شهر کم‌کربن و تحقق اهداف محیط‌زیستی روشن شود.



شکل ۱۴. تحلیل مکانی قلمرو تحت پوشش سیستم دوچرخه اشتراکی

۶-۱-۱۵- مقدار و توزیع کاهش کربن در سطح محلات شهری

پس از انتقال داده‌های کاهش کربن با در نظر گرفتن ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی مانند سن، مالکیت خودرو و سطح درآمد، نتایج انتشار کربن در سطح محلات منطقه ۶ تهران به دست آمد. مطابق نمودار شماره ۵ و نقشه زیر، در صورت پیاده‌سازی سیستم دوچرخه اشتراکی و جایگزینی

در منطقه ۶، می‌تواند به تحقق اهداف زیست‌محیطی کمک شایانی کند، چرا که این منطقه از نظر تراکم جمعیت و میزان تردد از حساسیت بالایی برخوردار است.

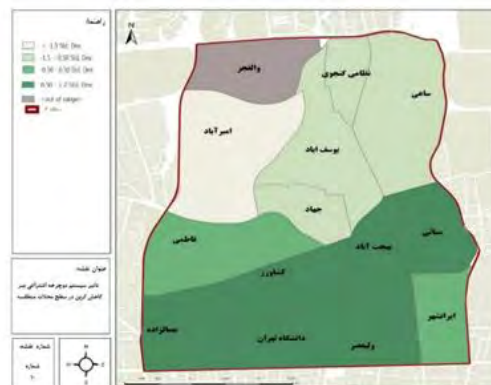
با این حال، اجرای گسترده این سیستم‌ها با چالش‌هایی نظیر کمبود زیرساخت‌های ایمن، پذیرش فرهنگی محدود، هزینه‌های اجرایی بالا و نیاز به سیاست‌های حمایتی مواجه است. از این رو، پیشنهاد می‌شود در آینده تمرکز بر بهبود زیرساخت‌ها، ارائه مشوق‌های اقتصادی، فرهنگ‌سازی عمومی و یکپارچه‌سازی بهتر با حمل‌ونقل عمومی قرار گیرد. پژوهش حاضر، با تمرکز بر منطقه ۶ تهران، می‌تواند به عنوان مرجع و مبنای مطالعات آینده در حوزه حمل‌ونقل پایدار و سیاست‌گذاری شهری برای کاهش انتشار کربن مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۲- بحث

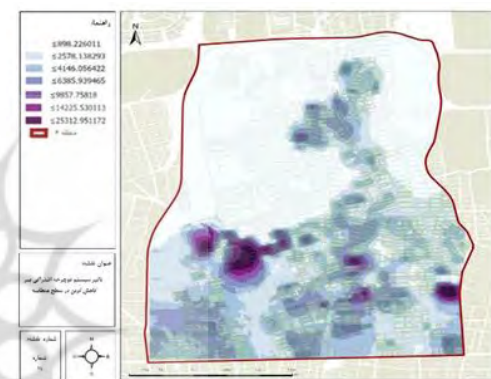
یافته‌های این پژوهش چارچوبی تحلیلی برای درک رفتار سفر شهروندان منطقه ۶ تهران و نقش میکروموبیلیتی در کاهش انتشار کربن فراهم می‌آورد.

تحلیل رگرسیون لجستیک نشان داد که متغیرهای سن، درآمد و مالکیت خودرو اثر منفی و متغیرهای آگاهی زیست‌محیطی و استفاده از حمل‌ونقل عمومی اثر مثبت بر تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی دارند. این نتایج با مطالعات پیشین همسو است؛ برای مثال، پژوهش‌های فی‌شمن و همکاران و ژانگ و می نیز نشان دادند که سنین پایین‌تر و افراد فاقد خودروی شخصی به‌طور معناداری تمایل بیشتری به استفاده از میکروموبیلیتی دارند و نگرش زیست‌محیطی نقش محرک کلیدی در انتخاب مدهای پاک ایفا می‌کند. پیش‌بینی دقت ۸۴ و ۹۴ درصدی در دو مدل رفتاری، بیانگر آن است که الگوی رفتاری شهروندان نسبتاً پایدار و قابل مدل‌سازی است. این موضوع اهمیت ترکیب تحلیل‌های رفتاری با ابزارهای مکانی را تقویت می‌کند؛

زیرا افزایش دقت مدل‌های رفتاری می‌تواند مکان‌یابی ایستگاه‌ها را هدفمندتر و اثربخش‌تر کند. از سوی دیگر، نتایج تحلیل مکانی نشان داد که کانون‌های تقاضا عمدتاً در پهنه‌هایی با تمرکز دانشگاهی، اداری و کاربری‌های ترکیبی قرار دارند. این امر با مبانی نظری عدالت حمل‌ونقل و پایداری شهری همخوان است و تأیید می‌کند که سامانه‌های میکروموبیلیتی باید در مناطقی مستقر شوند که هم «نیاز» و هم «تقاضا» در آن‌ها هم‌زمان وجود دارد (Fishman et al., 2013; Zhang & Mi, 2018).



شکل ۱۶. ارزیابی اثرات سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی بر کاهش انتشار کربن در محلات منطقه ۶ تهران



شکل ۱۷. ارزیابی اثرات سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی بر کاهش انتشار کربن در منطقه ۶ تهران

نتایج این پژوهش نشان داد که سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی می‌توانند نقش مؤثری در کاهش انتشار کربن و پیشبرد اهداف شهر صفر کربن ایفا کنند. یافته‌ها حاکی از آن است که استفاده از این سیستم‌ها، چه به‌عنوان جایگزین سفرهای کوتاه خودرویی و چه به‌عنوان مکمل حمل‌ونقل عمومی، تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و بهبود کیفیت هوا در شهر دارد. تحلیل‌های آماری و فضایی نشان دادند که ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و رفتار سفر افراد تأثیر مستقیم بر میزان استفاده از این سیستم‌ها دارد.

همچنین، مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های دوچرخه با بهره‌گیری از تحلیل‌های GIS و در نظر گرفتن معیارهای جمعیتی و ترافیکی، می‌تواند میزان دسترسی و پذیرش کاربران را افزایش دهد و در نتیجه کاهش قابل‌توجهی در انتشار کربن ایجاد کند. توسعه سیستم‌های میکروموبیلیتی، به ویژه دوچرخه‌های اشتراکی، در کلان‌شهر تهران و به‌ویژه

هزینه فایده اتخاذ می‌کنند. برای گروه‌های با درآمد بالاتر، هزینه‌های استفاده از خودرو (سوخت، پارکینگ، استهلاک) نسبت به مزایای آن کمتر ادراک می‌شود و بنابراین انگیزه‌ای برای تغییر مد سفر وجود ندارد. همچنین، مطابق نظریه وابستگی به خودرو، مالکیت خودرو نوعی قفل‌شدگی رفتاری ایجاد می‌کند که مانع از پذیرش گزینه‌های حمل‌ونقل پایدار می‌شود (Kenworthy, 2015 Newman &). نتایج این پژوهش این فرض نظری را در بافت شهری تهران تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که کاهش وابستگی به خودرو نیازمند سیاست‌های بازدارنده و مشوق‌های اقتصادی همزمان است.

۲-۳-۶ نقش حمل‌ونقل عمومی در افزایش تمایل به دوچرخه اشتراکی

نتایج نشان داد که استفاده از حمل‌ونقل عمومی اثر مثبت و معناداری بر تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی دارد. این یافته با نظریه حمل‌ونقل یکپارچه همسو است که تأکید می‌کند مدهای حمل‌ونقل پایدار نه به صورت رقابتی، بلکه به صورت مکمل عمل می‌کنند (Pucher & Buehler, 2012). دوچرخه اشتراکی می‌تواند نقش «اولین و آخرین کیلومتر» را ایفا کند و جذابیت شبکه حمل‌ونقل عمومی را افزایش دهد. بنابراین، توسعه هم‌زمان زیرساخت‌های دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی می‌تواند اثر هم‌افزای قابل توجهی در کاهش استفاده از خودروهای شخصی ایجاد کند.

۲-۴-۶ نگرش زیست‌محیطی و رفتار سفر پایدار

متغیر نگرش نسبت به آلودگی هوا اثر مثبت و معناداری بر تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی داشته است. این نتیجه به طور مستقیم نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده را تأیید می‌کند که در آن نگرش فرد نسبت به پیامدهای یک رفتار، نقش کلیدی در شکل‌گیری نیت رفتاری دارد.

مطالعات پیشین (Bamberg & Möser, 2007) نشان داده‌اند که آگاهی و نگرانی زیست‌محیطی، پیش‌بینی‌کننده مهمی برای انتخاب مدهای حمل‌ونقل پاک محسوب می‌شوند. یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که سیاست‌های فرهنگی و اطلاع‌رسانی می‌توانند نقش مکمل در کنار سیاست‌های زیرساختی برای ترویج میکروموبیلیتی ایفا کنند و از این طریق به افزایش پذیرش مدهای حمل‌ونقل پایدار در میان کاربران کمک نمایند.

۲-۵-۶ تحلیل مدل استفاده ترکیبی و تغییر مد سفر

در مدل دوم، تمایل به استفاده از دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی اثر مثبت و قوی‌تری نسبت به سایر متغیرها نشان

مدل‌سازی کاهش کربن نیز حاکی از آن است که جایگزینی بخشی از سفرهای موتوری توسط دوچرخه می‌تواند کاهش قابل توجهی در برخی موارد بیش از ۳ کیلوگرم در هفته به‌ازای هر نفر در انتشار آلاینده‌ها ایجاد کند. این مقدار در مقایسه با مطالعات (Bozzi & Aguilera, 2023; Belanger, 2022; Olabi, et al., 2023) و قابل قبول و حتی در برخی سناریوها بالاتر است که می‌تواند ناشی از تراکم بالای سفرهای کوتاه‌مدت در منطقه ۶ تهران محسوب شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که نقاط ضعف زیرساختی مانند عدم پیوستگی مسیرهای دوچرخه می‌تواند مانع استفاده گسترده از سیستم شود. این موضوع بخش مهمی از ناتوانی شهرهای ایران در توسعه میکروموبیلیتی را توضیح می‌دهد. علاوه بر آن، محدودیت تعمیم‌پذیری نتایج تنها به منطقه ۶ تأکید می‌کند که مدل رفتاری ممکن است در مناطق کم‌تراکم‌تر یا دارای ویژگی‌های فرهنگی متفاوت دچار تغییر شود؛ نتایج پژوهش را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود.

۲-۶-۱ نقش سن در تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی

نتایج مدل رگرسیون لجستیک نشان داد که متغیر سن اثر منفی و معناداری بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی دارد. این یافته با نظریه چرخه زندگی سفر همخوانی دارد که بیان می‌کند الگوهای جابه‌جایی افراد در طول زندگی دستخوش تغییر می‌شود و با افزایش سن، تمایل به فعالیت‌های فیزیکی و مدهای فعال کاهش می‌یابد.

همچنین در برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که سالمندان به دلیل نگرانی‌های ایمنی، محدودیت جسمانی و ریسک‌گریزی بیشتر، کمتر به استفاده از دوچرخه گرایش دارند. بنابراین، یافته حاضر تأیید می‌کند که سیاست‌های توسعه میکروموبیلیتی باید به تفاوت‌های سنی توجه کرده و برای گروه‌های سنی بالاتر، راهکارهایی نظیر دوچرخه‌های برقی یا زیرساخت‌های ایمن‌تر ارائه دهند (Heinen et al., 2011; Handy et al., 2014).

۲-۲-۶ تأثیر درآمد و مالکیت خودرو بر پذیرش میکروموبیلیتی

یافته‌ها نشان می‌دهد که درآمد و مالکیت خودرو هر دو اثر منفی و معناداری بر تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی دارند. این نتیجه با نظریه انتخاب عقلانی سازگار است؛ بر اساس این نظریه، افراد تصمیمات سفر خود را با مقایسه

نقش نگرش‌های محیط‌زیستی و ویژگی‌های جمعیتی در رفتارهای حمل‌ونقلی تأکید می‌کنند، همخوان است.

تحلیل مکانی نشان داد که استقرار ایستگاه‌ها در پیرامون مراکز دانشگاهی، اداری و محورهای دارای تقاضای سفر بالا، بیشترین کارایی را در جذب کاربران و کاهش سفرهای خودرویی خواهد داشت. و مدل مکان-تخصیص توانست شبکه‌ای بهینه با ۴۱ ایستگاه برای پوشش‌دهی جمعیت پرتردد ارائه کند. این یافته نیز با رویکردهای مطرح در ادبیات مکانیابی سامانه‌های میکروموبیلیتی همسو است و بر اهمیت یکپارچگی فضایی این سیستم‌ها با شبکه حمل‌ونقل عمومی تأکید می‌کند.

بر مبنای مدل محاسبه انتشار کربن، مشخص شد که جایگزینی بخشی از سفرهای موتوری با دوچرخه می‌تواند کاهش قابل توجهی در انتشار CO_2 ایجاد کند و در صورت پیاده‌سازی در مقیاس گسترده شهری، این اثر می‌تواند به یک سیاست مؤثر در مسیر تحقق شهر کم‌کربن تبدیل شود. نتایج در سطح محلات نشان داد که نواحی با تراکم فعالیت و جمعیت بالا، بیشترین پتانسیل کاهش کربن را دارند. این نتیجه با مطالعات جهانی پیوند می‌خورد که نشان داده‌اند پتانسیل کاهش کربن در مراکز پرتردد به‌طور چشمگیری بیشتر است.

با وجود این دستاوردها، پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز هست:

نخست، تمرکز تحلیل بر یک منطقه شهری، تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌کند. دوم، بخشی از داده‌ها بر اساس خوداظهاری پاسخ‌دهندگان گردآوری شده و ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های ادراکی قرار گیرد. سوم، بررسی عوامل فرهنگی و زیرساختی در سطح کمی در این پژوهش ممکن نبود و نیازمند تحقیقات تکمیلی است.

بر اساس یافته‌ها، چهار پیشنهاد کلیدی ارائه می‌شود:

- ۱- توسعه شبکه پیوسته و ایمن مسیرهای دوچرخه‌سواری به‌عنوان شرط اصلی افزایش استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی
- ۲- جانمایی ایستگاه‌ها در مراکز دانشگاهی، اداری و اطراف ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی برای تقویت سفرهای ترکیبی ارائه مشوق‌های مالی و سیاست‌های حمایتی برای گروه‌های کم‌درآمد و افراد فاقد خودروی شخصی
- ۳- استفاده از داده‌های مکان‌محور، تحلیل‌های رفتاری و مدل‌سازی پیشرفته در برنامه‌ریزی سامانه‌های آتی

داد. این نتیجه با نظریه پذیرش نوآوری و نظریه تغییر مد سفر همخوانی دارد، افرادی که پذیرش اولیه‌تری نسبت به نوآوری‌ها دارند، آمادگی بیشتری برای ترکیب مدهای جدید با الگوهای سفر موجود نشان می‌دهند.

تغییر پایدار مد سفر تنها زمانی تحقق می‌یابد که گزینه‌های جایگزین، کارآمد، در دسترس قرار گیرند و به‌صورت یکپارچه ارائه شوند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب دوچرخه اشتراکی با حمل‌ونقل عمومی می‌تواند یکی از مؤثرترین مسیرها برای کاهش انتشار کربن در شهرهای پرتراکم به شمار آید.

تغییر پایدار مد سفر تنها زمانی تحقق می‌یابد که گزینه‌های جایگزین، کارآمد، در دسترس قرار گیرند و به‌صورت یکپارچه ارائه شوند. ترکیب دوچرخه اشتراکی با حمل‌ونقل عمومی می‌تواند یکی از مؤثرترین مسیرها برای کاهش انتشار کربن در شهرهای پرتراکم به شمار آید (Banister, 2008).

۶-۲-۶- پیامدهای نظری و کاربردی یافته‌ها

در مجموع، نتایج این پژوهش نه تنها چارچوب‌های نظری موجود در حوزه رفتار سفر و حمل‌ونقل پایدار را تأیید می‌کند، بلکه نشان می‌دهد که این نظریه‌ها در بستر شهر تهران نیز قابلیت تبیین بالایی دارند. از منظر کاربردی، یافته‌ها بر ضرورت سیاست‌گذاری یکپارچه شامل توسعه زیرساخت، اصلاح الگوهای قیمتی، فرهنگ‌سازی زیست‌محیطی و کاهش وابستگی به خودرو تأکید دارند. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای حرکت به‌سوی شهر کم‌کربن و حمل‌ونقل پایدار مورد استفاده مدیران شهری قرار گیرد.

۷- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل اجتماعی، اقتصادی و رفتاری مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم دوچرخه‌اشتراکی، و ارزیابی نقش این سیستم در کاهش انتشار کربن در منطقه ۶ تهران انجام شد. یافته‌ها نشان داد که متغیرهایی همچون سن، سطح درآمد و مالکیت خودرو، اثر کاهنده معناداری بر احتمال استفاده از دوچرخه دارند؛ در حالی که نگرانی نسبت به آلودگی هوا و استفاده از حمل‌ونقل عمومی تمایل به بهره‌گیری از این سیستم را افزایش می‌دهد. این نتایج با بدنه نظری ادبیات جهانی، به‌ویژه پژوهش‌های فیشمن (2013) و ژانگ و می (2018) که بر

۱۲- اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

۱۳- قدردانی

ما از همه افراد برای مشاوره علمی در این مقاله سپاس‌گزاریم.

۱۴- پی‌نوشت‌ها

- 1- Fishman
- 2- Zhang
- 3- Mi
- 4- Bozzi
- 5- Aguilera-Belanger
- 6- Guan
- 7- Litman
- 8- Olabi
- 9- Shaheen

10- MicroMobility: حمل و نقل کوچک

11- Kernel Density: تحلیل چگالی کرنل؛ روشی در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای محاسبه و نمایش میزان تراکم یا تمرکز پدیده‌ها در فضا.

12- Location- Allocation: مکان- تخصیص؛ مدلی در تحلیل‌های مکانی (Spatial Analysis) برای تعیین بهترین محل استقرار تسهیلات یا خدمات (مانند ایستگاه دوچرخه، ایستگاه آتش‌نشانی، یا مراکز خدماتی) به گونه‌ای که دسترسی کاربران حداکثر و هزینه یا فاصله سفر حداقل شود.

References

- 1) Abduljabbar, R., Liyanage, S., & Dia, H. (2021). The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92, 102734. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102734>
- 2) Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>
- 3) Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>

۴- در نهایت، پژوهش‌های آینده می‌توانند با توسعه مدل‌های پیش‌بینی، انجام تحلیل حساسیت، بررسی عوامل فرهنگی و طراحی سناریوهای سیاستی شهری، تصویر جامع‌تری از نقش میکروموبیلیتی در تحقق شهرهای کم‌کربن ارائه دهند. این پژوهش با ترکیب تحلیل‌های رفتاری، مکانی و زیست‌محیطی، نشان می‌دهد که دوچرخه‌اشتراکی می‌تواند یکی از ابزارهای کلیدی در مسیر گذار تهران به سمت حمل‌ونقل پایدار و شهر کاهش‌دهنده کربن به شمار آید.

۸- حامیان مالی

هیچ حمایت مالی در این پژوهش صورت نگرفته است.

۹- مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (زهره جدی): گردآوری داده‌ها، تحلیل رسمی داده‌ها، تحقیق و بررسی، تهیه منابع، توسعه و به‌کارگیری نرم‌افزار، نگارش نسخه اولیه مقاله.

نویسنده دوم (علیرضا حسینی) (نویسنده مسئول): مفهوم‌سازی، گردآوری داده‌ها، تحلیل رسمی داده‌ها، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، تهیه منابع، نظارت و راهبری علمی، اعتبارسنجی، نگارش نسخه اولیه مقاله، بازنگری، ویرایش و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم (میثم علیپور): گردآوری داده‌ها، تحلیل رسمی داده‌ها، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، تهیه منابع، اعتبارسنجی، نگارش نسخه اولیه مقاله، بازنگری و ویرایش مقاله.

۱۰- بیانیه شفافیت کاربست هوش مصنوعی

«در فرایند آماده‌سازی این مقاله، از Chatgpt به‌منظور ویرایش ادبی در بخش پیشینه تحقیق بهره گرفته شده است. پس از استفاده از این ابزار، محتوای تولیدشده توسط نویسندگان بازبینی و ویرایش شده و مسئولیت کامل محتوای مقاله منتشرشده بر عهده ایشان است.»

۱۱- بیانیه دسترسی داده‌ها

نویسندگان اعلام می‌دارند که برای افزایش شفافیت، داده‌ها بنا به درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.»

- 4) Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (2018). *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. MIT Press.
- 5) Bozzi, A. D., & Aguilera-Belanger, A. (2022). Shared e-scooters: A review of uses, health and environmental impacts, and policy implications of a new micro-mobility service. *Sustainability*, 13(16), 8676. <https://doi.org/10.3390/su13168676>
- 6) Fishman, E., & Allan, V. (2019). Bike share. In *Advances in Transport Policy and Planning* (pp. 121–152). Institute for Sensible Transport. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2019.05.003>
- 7) Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2013). Bike share: A synthesis of the literature. *Transport Reviews*, 33(2), 148–165. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775612>
- 8) Guan, X., van Lierop, D., An, Z., Heinen, E., & Ettema, D. (2024). Shared micro-mobility and transport equity: A case study of three European countries. *Cities*, 153, 105298. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105298>
- 9) Handy, S., van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting cycling for transport: Research needs and challenges. *Transport Reviews*, 34(1), 4–24. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204>
- 10) Heinen, E., Maat, K., & van Wee, B. (2011). The role of attitudes toward characteristics of bicycle commuting on the choice to cycle to work over various distances. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(2), 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.08.010>
- 11) Kabir, R., Remias, S. M., Waddell, J., & Zhu, D. (2023). Time-series fuel consumption prediction assessing delay impacts on energy using vehicular trajectory. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 117, 103678. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103678>
- 12) Litman, T. (2023). *Evaluating transportation land use impacts: Considering the impacts, benefits and costs of different land use development patterns*. Victoria Transport Policy Institute. <http://www.vtpi.org>
- 13) Lotfi, S., Sholeh, M., Farmand, M., & Fattahi, K. (2016). Urban design criteria for zero-carbon neighborhoods. *Naqshejahan: Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 6(1), 80–92. [In Persian] <https://bsnt.modares.ac.ir/article-768-3a835d3215755c435ef4fe9965a3f2a0.pdf>
- 14) Mohammadi Dehcheshme, M., Ghaedi, S., & Payvand, N. (2020). The feasibility of the environmental strategy of zero carbon city in Shahrekord. *Geography and Environmental Planning*, 31(3), 41–60. [In Persian] <https://doi.org/10.22108/gep.2020.122584.1291>
- 15) Mohammadpour, S., Saraffi, M., & Tavakolinia, J. (2016). Study and propose a model for travel demand management in order to achieve urban sustainable transport (Case study: Tehran). *Regional Planning*, 6(21), 103–116. [In Persian] https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_1788.html
- 16) Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The end of automobile dependence: How cities are moving beyond car-based planning*. Island Press.
- 17) Olabi, A., Wilberforce, T., Obaideen, K., Sayed, E. T., Shehata, N., Alami, A. H., & Abdelkareem, M. A. (2023). Micromobility: Progress, benefits, challenges, policy and regulations, energy sources and storage, and its role in achieving sustainable development goals. *International Journal of Thermofluids*, 17, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100292>
- 18) Pucher, J., & Buehler, R. (2012). *City cycling*. MIT Press.
- 19) Schmöcker, J.-D., Quddus, M., Noland, R., & Bell, M. (2008). Mode choice of older and disabled people: A case study of shopping trips in London. *Journal of Transport Geography*, 16(4), 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.07.002>
- 20) Shaheen, S., Cohen, A., & Chung, M. (2008). *North American carsharing: A ten-year retrospective*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis. <http://escholarship.org/uc/item/8jg5>
- 21) Standard Chartered PLC. (2022). *Principles for responsible banking: Reporting and self-assessment* 2022. <https://www.sc.com/sustainabilityhub>
- 22) Train, K. (2009). *Discrete choice methods with simulation* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805271>
- 23) UN-Habitat. (2020). *Cities and climate change*. <https://unhabitat.org/cities-and-climate-change>
- 24) Wong, S. D., Broader, J. C., & Shaheen, S. A. (2020). *Can sharing economy platforms increase social equity for vulnerable populations in disaster response and relief? A case study of the 2017 and 2018 California wildfires*. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5, 100131. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100131>
- 25) Zhang, R., & Fujimori, S. (2020). The role of transport electrification in global climate change mitigation scenarios. *Environmental Research Letters*, 15(3), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6658>
- 26) Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based

- analysis. *Applied Energy*, 220, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101>
- 27) Zhao, C., Wang, L., Li, M., Chen, X., & Liu, N. (2024). Retracted article: Unlocking sustainable urban mobility: Understanding the impact of motivational factors on dockless bike-sharing adoption within the knowledge-based economy. *Journal of the Knowledge Economy*, 16, 6161–6199. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-01737-y>

