

Evaluation of Micromobility Capacity in Achieving Zero-Carbon City Goals with an Emphasis on Urban User Behavior

(Case Study: District 6 of Tehran)

Zahra jeddi¹, Alireza Hasani^{*2} and Meysam Alipour³

Received 03/September/2025

Revised: 15/Nov/2025

Accepted: 17/Jan/2026

(PP.: 197-222)

Abstract

Introduction: Rising air pollution and the consequences of climate change have pushed cities toward adopting strategies to reduce greenhouse gas emissions. In this context, micromobility—particularly shared bicycle systems—has emerged as an innovative solution to promote sustainable transportation and decrease reliance on private cars. This study focuses on District 6 of Tehran and aims to evaluate the role of micromobility systems in achieving zero-carbon city goals, with the main objective of assessing their impact on reducing environmental pollutants and improving urban travel patterns.

Research Method: This research adopts a descriptive-analytical and quantitative approach. Data were collected through a questionnaire distributed among residents aged 15 to 65 in District 6 of Tehran. For analysis, a combination of statistical methods, spatial analysis using ArcGIS, and logistic regression modeling was employed to identify factors influencing the use of shared systems and to model the potential carbon reduction capacity.

Results and Discussion: The results indicate that young individuals without private vehicles and with medium income levels show the highest propensity to use micromobility. Furthermore, spatial analysis reveals that station placement near major trip attractors and effective integration with public transportation networks significantly enhances system efficiency and user adoption. These findings suggest that intelligent location-based design, combined with attention to users' demographic characteristics, can substantially improve the environmental performance of these systems.

Conclusion: Based on the results, the development of micromobility systems in District 6 of Tehran, if implemented properly and grounded in spatial and behavioral insights, holds considerable potential for reducing carbon emissions and contributing to zero-carbon city objectives. This study provides practical evidence for policymakers and urban planners in developing sustainable transport infrastructure and mitigating pollutants.

Keywords: Micromobility, Zero-carbon city, Carbon emission reduction, Sustainable transport, Spatial analysis

¹Urban Planning, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, Uni. of Bojnord, Bojnord, Iran

²Assistant Prof., Department of Urban Planning, Faculty of Arts, Uni. of Bojnord, Bojnord, Iran. (Corresponding author)
al_hasani@ub.ac.ir

³Assistant Prof., Department of Urban Planning, Faculty of Arts, Uni. of Bojnord, Bojnord, Iran.

ارزیابی ظرفیت میکروموبیلیتی در تحقق اهداف شهر صفر کربن با تأکید بر رفتار کاربران شهری

(مورد پژوهی: منطقه 6 تهران)

زهرا جدی¹، علیرضا حسنی^{2*} و میثم علیپور³

تاریخ پذیرش: 1404/دی/27	تاریخ بازنگری: 1404/آبان/24	تاریخ دریافت: 1404/شهریور/12
(صفحات: 197-222)		

چکیده

مقدمه: افزایش آلودگی هوا و پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی، مدیران شهری را به سمت اتخاذ راهکارهایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سوق داده است. در این میان، میکروموبیلیتی و به‌ویژه سامانه‌های دوچرخه اشتراکی، به‌عنوان یکی از گزینه‌های نوین برای ارتقای حمل‌ونقل پایدار و کاهش وابستگی به خودروی شخصی مطرح شده‌اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش این سامانه‌ها در تحقق اهداف شهر صفر کربن، بر منطقه 6 تهران متمرکز شده و سنجش میزان تأثیر میکروموبیلیتی بر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و اصلاح الگوهای سفر شهری را دنبال می‌کند.

روش تحقیق: این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کمی انجام شده است. داده‌های مورد نیاز از طریق توزیع پرسشنامه میان شهروندان 15 تا 65 ساله ساکن منطقه 6 گردآوری شد. برای تحلیل داده‌ها، از ترکیب روش‌های آماری، تحلیل‌های مکانی در نرم‌افزار ArcGIS و مدل‌سازی رگرسیون لجستیک استفاده شد تا ضمن شناسایی عوامل مؤثر بر استفاده از سیستم‌های اشتراکی، ظرفیت بالقوه کاهش کربن نیز مدل‌سازی شود.

نتایج و بحث: یافته‌ها نشان می‌دهد که جوانان فاقد خودروی شخصی با سطح درآمد متوسط، بیشترین تمایل را به استفاده از میکروموبیلیتی دارند. همچنین، نتایج تحلیل مکانی حاکی از آن است که جانمایی ایستگاه‌ها در مجاورت مراکز جذب سفر و اتصال کارآمد به شبکه حمل‌ونقل عمومی، تأثیر معناداری در افزایش بهره‌وری سیستم و استقبال کاربران دارد. این یافته‌ها بیانگر آن است که طراحی مبتنی بر مکان‌یابی هوشمند و توجه به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی کاربران، می‌تواند کارایی زیست‌محیطی این سامانه‌ها را به طور چشمگیری افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج، توسعه سامانه‌های میکروموبیلیتی در منطقه 6 تهران، در صورت اجرای صحیح و مبتنی بر یافته‌های مکانی و رفتاری، پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار کربن و کمک به تحقق اهداف شهر صفر کربن دارد. پژوهش حاضر می‌تواند مبنایی عملی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری در جهت توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل پایدار و کاهش آلاینده‌ها فراهم آورد.

واژگان کلیدی: میکروموبیلیتی، شهر صفر کربن، کاهش انتشار کربن، حمل‌ونقل پایدار، تحلیل مکانی.

¹ کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری، گروه شهرسازی دانشکده هنر دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

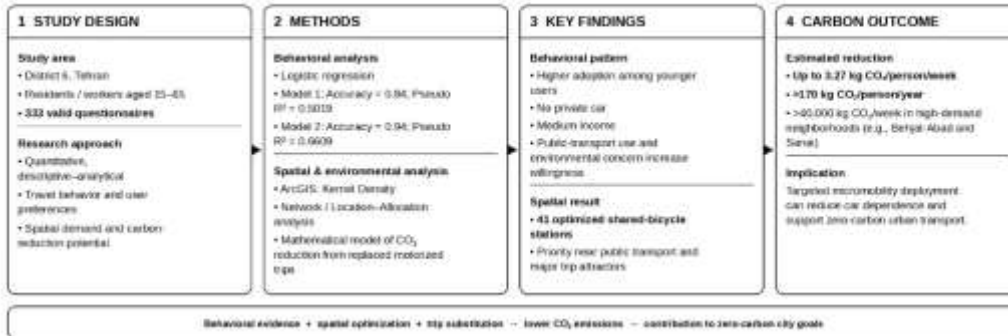
² استادیار، گروه شهرسازی دانشکده هنر دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. (نویسنده مسئول) al_hasani@ub.ac.ir.

³ استادیار، گروه شهرسازی دانشکده هنر دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

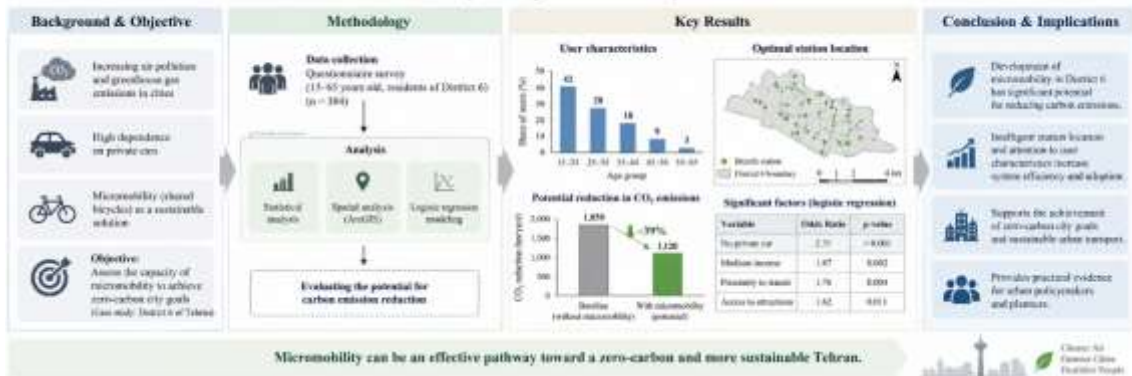


MICROMOBILITY AND ZERO-CARBON CITY GOALS

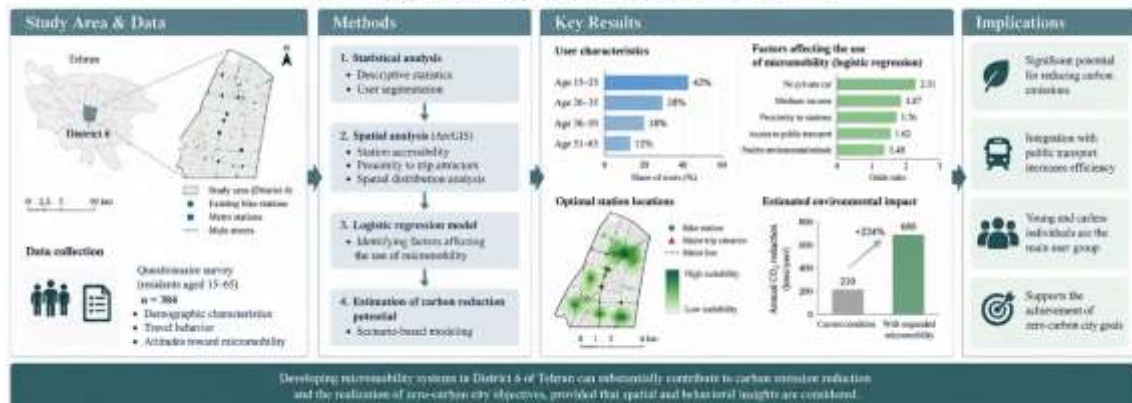
District 6 of Tehran | Quantitative behavioral-spatial assessment



Evaluation of Micromobility Capacity in Achieving Zero-Carbon City Goals with an Emphasis on Urban User Behavior (Case Study: District 6 of Tehran)



Evaluation of Micromobility Capacity in Achieving Zero-Carbon City Goals with an Emphasis on Urban User Behavior (Case Study: District 6 of Tehran)



1- مقدمه

تغییرات اقلیمی، گرمایش زمین و آلودگی هوا در شهرها از جمله چالش‌هایی هستند که جوامع را به سمت جستجوی راه‌حل‌های جایگزین سوق داده‌اند. در ایران نیز طی سال‌های اخیر اقدامات متعددی برای ارتقای حمل‌ونقل عمومی سبز صورت گرفته، هرچند بخش عمده این تلاش‌ها بر وسایل حمل‌ونقل شهری مانند اتوبوس‌ها، مترو و وسایل نقلیه برقی متمرکز بوده است. این سیاست‌ها عمدتاً با هدف کاهش آلودگی هوا اجرا می‌شوند. کشورهای اروپای شرقی مانند لهستان، رومانی و بلغارستان از جمله کشورهایی هستند که پایین‌ترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را دارند، در حالی که شانگهای در چین یکی از آلوده‌ترین شهرها از نظر تولید کربن است و در مقابل، واتیکان کمترین میزان تولید کربن را دارد (Charlton, 2023) براساس آمارهای منتشر شده توسط سازمان جهانی هواشناسی، کشور چین بین 26 تا 29 درصد از گازهای گلخانه‌ای دنیا را تولید می‌کند و به عنوان بزرگترین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در جهان به شمار می‌آید. در ایران نیز، تهران به عنوان آلوده‌ترین شهر از نظر تولید کربن و اراک به عنوان پاک‌ترین شهر در سال 2024 معرفی شده‌اند (NNDP, 2025).

صنعت حمل‌ونقل نقش عمده‌ای در تولید آلاینده‌های هوا دارد در این خصوص می‌توان با راهکارهایی نظیر ترویج استفاده از میکروموبیلیتی‌ها، گام مؤثری در جهت بهبود شرایط برداشت. با توجه به تمرکز روزافزون جمعیت در شهرها و سهم بالای خودروهای شخصی در آلودگی هوا، ضرورت اتخاذ راه‌حل‌های هوشمند و نوآورانه بیش از پیش احساس می‌شود. منطقه 6 تهران که یکی از مناطق مرکزی و پرتردد پایتخت است که با مشکلات عدیده‌ای مانند ترافیک سنگین، کمبود فضای سبز، کمبود پارکینگ و بافت فرسوده شهری مواجه است. طی سال‌های اخیر اقدامات خوبی در راستای توسعه حمل‌ونقل عمومی در ایران صورت گرفته، اما همچنان وابستگی بالا به خودروهای شخصی مشهود است. این در حالی است که منطقه 6 پتانسیل مناسبی برای

پایاده‌سازی حمل‌ونقل عمومی سبز و بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر دارد. هدف این پژوهش سنجش میزان تأثیر میکروموبیلیتی و بررسی راهکارهای کاهش آلودگی هوا و ارتقای کیفیت زندگی در منطقه 6 تهران گرچه میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه شهری هنوز بالاست، اما با افزایش آگاهی عمومی نسبت به اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی آن، گرایش به حمل‌ونقل عمومی نوین و پاک مانند میکروموبیلیتی رو به رشد است.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهش

رویکرد های حمل و نقل شهری و شهر و انرژی از جمله رویکرد های مرتبط با موضوع مقاله است. در جدول 1 موخرترین پژوهش های مرتبط با رویکرد ها ارائه شده است.

1-2- چارچوب نظری

در دهه‌های اخیر توسعه شهرها در سطح جهانی رشد نموده، به‌طوری‌که شهرنشینی و سفرهای درون‌شهری به‌خصوص با خودروهای شخصی افزایش یافته است. با وجود افزایش سفرهای خودرویی به دنبال خود افزایش ترافیک و افزایش گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد.

1-2-1- مفاهیم پایه

شهر صفر کربن¹: به‌طور خاص، به شهری اطلاق می‌شود که هیچ گاز گلخانه‌ای تولید نمی‌کند و به طور کامل از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین نیازهای خود استفاده می‌کند (Tan, et al., 2017). این مفهوم فراتر از شهر کم‌کربن² است که صرفاً کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای را هدف قرار می‌دهد.

شهر کم‌کربن: به شهری گفته می‌شود که توسعه کم‌کربن را در برنامه‌ریزی توسعه شهری خود پذیرفته و هدف آن تثبیت غلظت جهانی CO₂ و سایر گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش قابل توجه انتشار آن‌ها است، بدون آسیب به محیط زیست (Tan, et al., 2017).



جدول 1- پیشینه پژوهش

Tab. 1 - Review of related research

رویکرد پژوهش	نویسنده	عنوان	هدف پژوهش	نتیجه
حمل و نقل نوین شهری	Ferenchak (2024)	مطالعه ای ایمنی ترافیک برای همه کاربران جاده	بررسی تأثیر خودروها بر ترافیک شهری	خردروها مانند اسکوتر و دوچرخه موجب کاهش ترافیک در سفرهای کوتاه می‌شوند
	Roig-Costa et al. (2024)	دوچرخه‌های اشتراکی در برابر اسکوترهای خصوصی	درک سیاست‌گذاری محلی و رفتار کاربران خردرو	سیاست‌های محلی و زمینه‌ای در پذیرش و اثربخشی خردروها نقش دارند.
	Oeschger et al. (2023)	نقش خردروها در اتصال اول و آخر مایل	بررسی تفاوت‌های جنسیتی و سنی در استفاده از خردروها	نیاز به سیاست‌گذاری حساس به سن و جنس برای دسترسی برابر و توسعه پایدار وجود دارد
	Mohammadi-Dehcheshmeh et al. (2020)	امکان‌سنجی راهبرد زیست‌محیطی شهرکرد	ارزیابی استراتژی‌های زیست‌محیطی در شهر کرین صفر	استفاده از فضای سبز و انرژی تجدیدپذیر در کاهش کرین مؤثر است.
شهر و انرژی	Mousavi Sarvineh Baghi & Ranjbar (2020)	طراحی شهری کم‌کربن	بررسی نقش طراحی و انرژی پاک در کاهش کرین	فناوری نوین، طراحی مناسب و درخت‌کاری در کاهش انتشار کرین مؤثرند.
	Shamsoddini & Ahmadi (2020)	تخمین آلاینده‌های کرین و NO ₂ تهران	مدل‌سازی مکانی-زمانی با هوش مصنوعی	مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی آلودگی دقیق و مؤثر هستند.
	Younes et al. (2024)	اثرات فضایی و زیست‌محیطی ریز حرکت	ادغام زیرساخت‌های خردرو در شهر	زیرساخت مناسب، خطوط دوچرخه و فناوری هوشمند، حمل‌ونقل را پایدارتر می‌کند.

حوزه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در بر می‌گیرد؛ از جمله کاهش ترافیک و نرخ تصادف، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و سروصدا، ارتقای پایداری شهری، بهبود سلامت جسمی و روانی شهروندان، قابلیت دسترسی بالا و هزینه‌های اجرایی پایین، هرچند چالش‌هایی نظیر کمبود زیرساخت، مسائل امنیتی، پیچیدگی‌های لجستیک و ضرورت بازنگری در چارچوب‌های قانونی همچنان از موانع اساسی توسعه این سیستم به شمار می‌روند (Olabi, et al., 2023) (Dimitrios, Laura, Daniel, & Barbara, 2020). در این میان، ادغام میکروموبیلیتی خصوصی و اشتراکی با خدمات حمل‌ونقل عمومی موجود به‌طور فزاینده‌ای به‌مثابه راهبردی ارزشمند برای ارتقای کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری مطرح بوده و شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که سن و جنسیت از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب شیوه سفر محسوب می‌شوند و علاقه‌مندی فزاینده‌ای به این فناوری در میان نسل‌های جوان‌تر مشاهده می‌شود (Oeschger, Caulfield, & Carroll, 2023). افزون بر این، یافته‌های پژوهشی حاکی

شهر کرین خنثی: به شهری اطلاق می‌شود که انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌گونه‌ای جبران کند که میزان خالص انتشار آن به صفر برسد (Tan, et al., 2017). میکروموبیلیتی³: به وسایل نقلیه سبک با حداکثر سرعت 45 کیلومتر در ساعت و حداکثر جرم 350 کیلوگرم اطلاق می‌شود که می‌توانند الکتریکی، الکتریکی-کمکی یا انسانی باشند. رایج‌ترین انواع آن شامل دوچرخه‌ها، دوچرخه‌های برقی و اسکوترهای برقی است (Oeschger, Caulfield, & Carroll, 2023). حمل‌ونقل اشتراکی⁴: در این مدل، وسایل نقلیه به صورت خصوصی مالکیت نمی‌شوند، بلکه توسط چندین نفر به اشتراک گذاشته می‌شوند. پتانسیل کاهش CO₂ در حمل‌ونقل اشتراکی الکتریکی دو برابر خودروهای شخصی برآورد شده است (Brecht, Gent, & Renes, 2022).

2-2-1- تأثیر میکروموبیلیتی اشتراکی بر سیستم حمل‌ونقل شهری

میکروموبیلیتی به عنوان رویکردی نوین در حمل‌ونقل شهری، طیف گسترده‌ای از منافع چندوجهی را در

از آن است که استفاده از اسکوتر برقی می‌تواند به بهبود تحرک افراد کم‌درآمد به‌میزانی برابر یا بیش از همتایان پردرآمد منجر شود و از این رو نقش مؤثری در تحقق عدالت حمل‌ونقل ایفا نماید، هرچند این پیامد در مورد دوچرخه و دوچرخه برقی مصداق ندارد (Guan, van Lierop, An, Heinen, & Ettema, 2024). در تحلیل نهایی، انتقال از خودروهای شخصی آلاینده به حمل‌ونقل اشتراکی الکتریکی پیش از آنکه مسأله‌ای فنی یا زیرساختی باشد، ماهیتی رفتاری دارد و مستلزم تغییر در نگرش و الگوهای رفتاری شهروندان است (Brecht, Gent, & Renes, 2022).

3-2-1- عوامل مؤثر بر استفاده میکروموبیلیتی اشتراکی
عوامل مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی در چهار دسته قابل طبقه‌بندی است:

الف) عوامل اجتماعی-جمعیتی: سن (کاهش تمایل با افزایش سن)، جنسیت (تفاوت در الگوی استفاده)، سبک زندگی (افراد با سبک زندگی فعال و محیط‌زیست‌دوست تمایل بیشتری دارند) (Bielinski, Kwapisz, & Wazna, 2021).

ب) عوامل اقتصادی: میزان درآمد (افراد با درآمد پایین‌تر تمایل بیشتری به استفاده از میکروموبیلیتی دارند)، مالکیت خودرو (عدم مالکیت خودرو پیش‌بین اصلی استفاده است)، وضعیت اشتغال (Guan, van Lierop, An, Heinen, & Ettema, 2024).

ج) عوامل زیرساختی: وجود مسیرهای اختصاصی دوچرخه، ایستگاه‌های پارکینگ امن، دسترسی آسان به نقاط پرتردد شهری، توپوگرافی مناسب (D. Wong, C. Broader, & A. Shaheen, 2020).

د) عوامل رفتاری-ادراکی: آگاهی از مزایای زیست‌محیطی، نگرش نسبت به تغییرات اقلیمی، تمایل به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان سفر (Nikitas, Thomopoulos, & Milakis, 2021).

بر اساس مرور نظام‌مند پیشینه، متغیرهای الگوی رفتاری مؤثر بر پذیرش میکروموبیلیتی شامل موارد زیر است: اماکن جاذب سفر که بر تصمیم افراد برای استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی تأثیر می‌گذارند؛ مدهای سفر که

انتخاب شیوه سفر را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ ترجیحات فردی کاربران که به دلایل زیست‌محیطی، اقتصادی یا راحتی شخصی صورت می‌پذیرد؛ سن (جوان‌ترها به دلیل آشنایی بیشتر با فناوری تمایل بیشتری دارند)؛ جنسیت (تفاوت در احساس امنیت)؛ سبک زندگی فعال و محیط‌زیست‌دوست؛ وضعیت اقتصادی و اشتغال؛ میزان درآمد؛ مالکیت خودرو؛ مدل‌های قیمت‌گذاری؛ و عوامل زیرساختی مانند مسیرهای ایمن و پارکینگ‌های اختصاصی (Fishman, Washington, & Haworth, 2016) (Litman, 2016) (A. Shaheen, Cohen, & Chung, 2008).

3-1- تجارب، نظریات و نظریه پردازها

3-1-1- تجارب عام

نمونه‌هایی از سیاست‌های اجراشده در کشورهایی مانند هلند، آلمان، و ایالات متحده برای بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل اشتراکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

3-2-1- تجارب خاص

در بخش تجارب خاص، پژوهش به‌طور ویژه به بررسی نمونه‌های منتخب و مشخص پرداخته است که شباهت‌های بیشتری با موضوع پژوهش دارند. این تجارب شامل تحلیل پروژه‌های اجراشده در برخی شهرهای بزرگ، ارزیابی تأثیر دوچرخه‌های اشتراکی در کاهش انتشار کربن، بررسی عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر پذیرش این سیستم‌ها، و بررسی چالش‌های اجرایی آن‌هاست.

بررسی شهرهای پیشرو در زمینه میکروموبیلیتی نشان می‌دهد:

- آمستردام و کپنهاگ: با توسعه زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری و ادغام با حمل‌ونقل عمومی، سهم دوچرخه در سفرهای روزانه به بیش از 40٪ رسیده است.
- لندن و پاریس: با اجرای طرح‌های اشتراک دوچرخه (مانند Santander Cycles و Vélip) موفق به کاهش ترافیک مرکزی شده‌اند.

- نیویورک و شیکاگو: با هدف کاهش 25 تا 30 درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال 2025، برنامه‌های اقدام اقلیمی را با محوریت حمل‌ونقل پاک اجرا کرده‌اند.

جدول 2- نمونه تجارب عام
Tab. 2 - General experiences

شهر/کشور	اهداف	اقدامات
نیویورک	برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 30٪ تا سال 2030 نسبت به سطح سال 1990	افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها از طریق استانداردهای عملکرد بالا برای ساخت‌وسازهای جدید
شیکاگو	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 25٪ تا سال 2020 و 80٪ تا سال 2050 نسبت به سطح سال 1990	راه‌اندازی برنامه اقدام اقلیمی شیکاگو (CCAP) در سپتامبر 2008 با 5 استراتژی و 35 اقدام برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
کپنهاگ	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 20٪ تا سال 2015 نسبت به سطح سال 2005	ادغام سازگاری با تغییرات اقلیمی در تمامی جنبه‌های برنامه‌ریزی، از برنامه‌ریزی کلان‌شهری تا برنامه‌های محلی و بخشی
لندن	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 60٪ تا سال 2025 نسبت به سطح سال 1990	اجرای مجموعه‌ای از برنامه‌ها و سرمایه‌گذاری مقادیر بی‌سابقه‌ای در برنامه‌های تغییرات اقلیمی در لندن
روتردام	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 50٪ تا سال 2025	راه‌اندازی ابتکار عمل اقلیمی روتردام (RCI) برای ارائه یک بستر به دولت‌ها، سازمان‌ها، شرکت‌ها و شهروندان جهت همکاری در دستیابی به اهداف
ستول	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 40٪ تا سال 2030 نسبت به سطح سال 1990	پرداختن به مسائل تغییرات اقلیمی از طریق پروژه‌هایی نظیر: تأسیس سیستم نظارت بر اقلیم توسعه نقشه اقلیم و انرژی ستول توسعه موجودی گازهای گلخانه‌ای راه‌اندازی سیستم تجارت انتشار ستول
توکیو	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 25٪ تا سال 2020 نسبت به سطح سال 2000	جهت‌گیری‌های سیاستی مشخص در استراتژی تغییرات اقلیمی توکیو و برنامه جامع محیط‌زیست کلان‌شهر توکیو ترسیم شده است که تغییرات چشمگیری از گذشته را نشان داده و به پیشرفت در دستیابی به هدف اعلام‌شده کمک کرده است.
مالزی	کاهش سطح گازهای گلخانه‌ای به میزان 50٪ تا سال 2025	این هدف نه تنها به نیازهای اجتماعی و اقتصادی جمعیت‌های در حال رشد می‌پردازد، بلکه چالش‌های زیست‌محیطی که آنها با آن مواجه هستند را نیز مورد توجه قرار می‌دهد
ژوهانسبورگ آفریقا	-	برنامه‌های تغییرات اقلیمی هر سه ماه یکبار در چارچوب کارت امتیازی تعادل بخش محیط‌زیست مرور می‌شوند و در کمیته زیر شهری تغییرات اقلیمی مورد بحث قرار می‌گیرند.
سیدنی جنوب شرقی آسیا و اقیانوسیه	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 20٪ تا سال 2012 و 70٪ تا سال 2030 نسبت به سطح سال 2006	راه‌اندازی برنامه «سیدنی پایدار 2030»، که چشم‌انداز استراتژیک بلندمدتی از سیدنی به عنوان شهری سبز و به‌طور جهانی متصل را ارائه می‌دهد.
سائوپائولو آمریکای لاتین	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان 30٪ تا سال 2012 نسبت به سطح سال 2005	راه‌اندازی اولین لایحه جامع اقلیمی در برزیل که در حال حاضر در مرحله نهایی بررسی برای ایجاد راهنماهای مربوط به برنامه اقدام تغییرات اقلیمی است.

جدول 3- نمونه تجارب خاص
Tab. 3 - Specific experiences

شهر/کشور	اهداف	اقدامات	عنوان پروژه/طرح
انگلستان	توانایی کاهش کربن دوچرخه‌های برقی در انگلستان 24.4 میلیون تن CO2 در سال حداکثر توانایی برای کاهش CO2 حمل‌ونقل با استفاده از دوچرخه‌های برقی برای هر محله	با در نظر گرفتن انتشارهای چرخه عمر خودروها و دوچرخه‌های برقی - برآوردهای حداکثر ظرفیت کاهش کربن در بحث‌های مربوط به بودجه‌های کربن حمل‌ونقل مفید است. - برآوردهای به‌ازای هر نفر برای مناطق کوچک به سیاست‌گذاران کمک می‌کند که ممکن است بخواهند دوچرخه‌های برقی را در اماکن خاص با هدف خاص کاهش کربن ترویج دهند. - نتایج در زمینه شاخص‌های اجتماعی به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا	بررسی ظرفیت دوچرخه‌های الکتریکی (e-bikes) برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن (CO2) از خودروهای شخصی در انگلستان می‌پردازد و نتایج مرتبط با این تحقیق را بیان می‌کند.

شهر/کشور	اهداف	اقدامات	عنوان پروژه/طرح
هلند	سال 2030 مجموع انتشارات CO2 خود را 55٪ کاهش دهد.	عدالت و تأثیرات اجتماعی و توزیع تغییرات زیست‌محیطی را در نظر بگیرند. (Philips, Anable, & Chatterton, 2022)	عنوان پروژه عملی که در مقاله به آن اشاره شده است، "Smart Shared Green Mobility Hubs" است. این پروژه در چارچوب برنامه NWE INTERREG انجام شده است.
آمستردام	بررسی انتخاب‌های حمل‌ونقل مردم در زمانی است که خدمات حمل‌ونقل الکتریکی مشترک و همچنین، جمعیت هدف این تحقیق شامل بزرگسالانی است که دارای گواهینامه رانندگی و ساکن آمستردام هستند.	طراحی یک نظرسنجی آنلاین برای جمع‌آوری داده‌های ترجیحات بیان شده و بررسی انتخاب‌های حالت حمل‌ونقل مردم است. این نظرسنجی شامل چهار بخش است: پروفایل حمل‌ونقل فعلی پاسخ‌دهندگان، اطلاعات مربوط به سفرهای معمول، آزمایش‌های انتخاب بیان شده برای انتخاب حالت حمل‌ونقل و اطلاعات جمعیت‌شناختی (Liao, et al., 2024)	عنوان پروژه عملی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته، "Electric mobility hubs" یا "eHUBS" است. این eHUBS شامل اماکنی است که در آن‌ها چندین وسیله حمل‌ونقل الکتریکی مشترک از جمله ماشین‌های الکتریکی و دوچرخه‌های الکتریکی در دسترس قرار می‌گیرند.
بریتانیا	که حمل‌ونقل تا سال 2050 به کربن‌زدایی کامل دست یابد و 20٪ از مسافت‌های خودروبی خود را با استفاده از دوچرخه برقی جایگزین کردند.	بیشتر تلاش‌ها برای دستیابی به این هدف به طور عمده بر الکترونیکی کردن خودروهای سواری و وسایل نقلیه سبک متمرکز است. (Philips, Anable, & Chatterton, 2022)	Reduction Carbon Bicycle Project (BCRP) این طرح به بررسی تأثیر دوچرخه‌های الکتریکی در کاهش انتشار کربن دی‌اکسید از طریق کاهش استفاده از خودروهای شخصی می‌پردازد.
دابلین، ایرلند	ترویج معرفی وسایل نقلیه سبک الکتریکی جدید مانند اسکوتر و دوچرخه‌های برقی	معرفی میکروحرکت بر خدمات حمل‌ونقل موجود و تغییرات ناشی از آن - تمایل به استفاده از روش‌های میکروموبیلیتی در ترکیب با حمل‌ونقل عمومی - کسب بینش در مورد رقابت بین گزینه‌های مختلف میکروحرکت و روش‌های فعال در یک زمینه خاص (Oeschger, Caulfield, & Carroll, 2023)	عنوان پروژه عملی، "مدل‌سازی تقاضای سفر در شهر" است که به بررسی نقش میکروحرکت در اتصال به حمل‌ونقل عمومی پرداخته است.

با استفاده از روش Q-method به تحلیل دیدگاه‌ها و نیازهای ذی‌نفعان درباره راهکارهای تکنولوژیک میکروموبیلیتی پرداخته و نشان داده‌اند که این راهکارها می‌توانند به بهبود حمل‌ونقل عمومی کمک کنند.

4-1- چارچوب مفهومی تأثیر میکروموبیلیتی بر تحقق شهر صفر کربن

اهمیت برنامه‌ریزی شهری در جهت توسعه شهرهای کم‌کربن تأکید کرده و نشان داده است که موفقیت چنین راهکارهایی نیازمند هماهنگی میان نهادهای شهری، سیاست‌گذاری‌های حمایتی و تغییر در الگوهای رفتاری شهروندان است. بررسی تجارب موفق جهانی نشان می‌دهد که ترکیب راهبردهای مبتنی بر میکروموبیلیتی، حمل‌ونقل عمومی و توسعه زیرساخت‌های مناسب، تأثیر بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت زندگی شهری دارد. نمودار مفهومی زیر به بررسی

- سؤال و توکیو: با ایجاد سیستم‌های نظارت بر اقلیم و تجارت انتشار کربن، سیاست‌های تشویقی برای استفاده از میکروموبیلیتی وضع کرده‌اند. در ایران، با وجود پتانسیل مناسب مناطق مرکزی مانند منطقه 6 تهران، هنوز زیرساخت منسجمی برای دوچرخه‌های اشتراکی ایجاد نشده است و وابستگی به خودروی شخصی همچنان بالاست.

3-3-1- نظریات و نظریه‌پردازان

در حوزه نظری، اوشگر و همکاران (Oeschger, Caulfield, & Carroll, 2023) نظریه نقش میکروحرکت در اتصال‌های ابتدایی و انتهایی به حمل‌ونقل عمومی را ارائه کرده‌اند که بر نقش وسایل نقلیه کوچک در بهبود دسترسی به حمل‌ونقل عمومی تأکید دارد. همچنین نیکیفوریادیس و همکاران (Nikiforiadis, Martín, Salanova Grau, Ayfantopoulou, & Basbas, 2023)



وضعیت کالبدی، اجتماعی و اقتصادی، وضعیت الگوی رفتاری سفر شهروندان منطقه 6 تهران و همچنین میزان کاهش کربن برای هر فرد با ویژگی‌های رفتاری سفر مختلف است. ماهیت تحلیلی آن به دلیل استفاده از مدل‌های تحلیلی آماری و فضایی (مانند رگرسیون لجستیک، تحلیل تراکم کرنل و تحلیل شبکه حمل‌ونقل) است که روابط پیچیده میان الگوهای اجتماعی و اقتصادی و رفتار سفر و ویژگی‌های کالبدی بررسی می‌شود.

1-2- جامعه آماری و نمونه

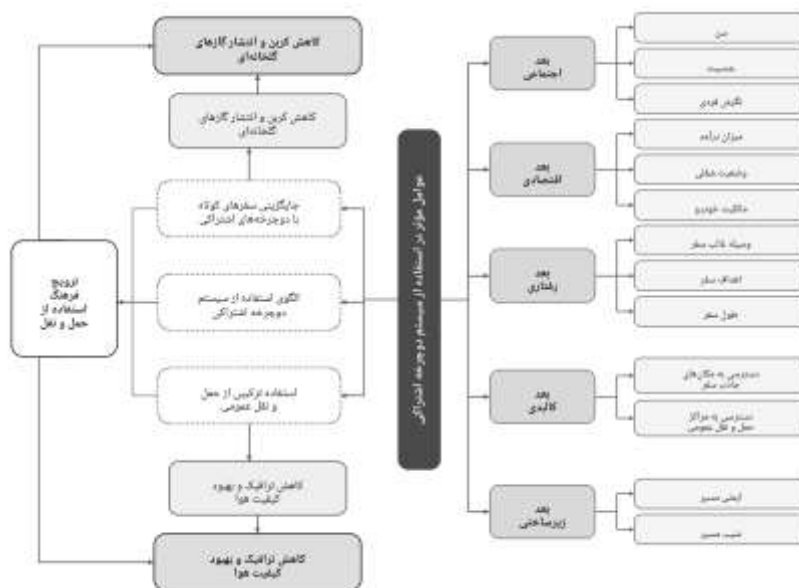
جامعه هدف این پژوهش شامل کلیه شهروندان 15 تا 65 ساله ساکن یا شاغل در منطقه 6 تهران است که از نظر توان جسمی و ایمنی امکان استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی را دارند. بر اساس آخرین آمار بلوک‌های آماری مرکز آمار ایران (1395)، جمعیت محدوده مورد مطالعه برابر 213800 نفر برآورد می‌شود. با توجه به اینکه هدف پژوهش سنجش رفتار سفر است، جمعیت هدف صرفاً افراد 15 تا 65 سال در نظر گرفته شد که بر اساس نسبت‌های سنی استاندارد، تقریباً 70٪ جمعیت (حدود 150000 نفر) را شامل می‌شوند. برای تعیین حجم نمونه، از فرمول کوکران برای جامعه نامحدود با مفروضات زیر استفاده شد:

عوامل انسانی مؤثر در گسترش فرهنگ استفاده از شیوه‌های پایدار جابه‌جایی و کاهش انتشار کربن می‌پردازد. بخشی از تمرکز آن بر به‌کارگیری سیستم‌های میکروموبیلیتی و پیوند آن‌ها با سیستم حمل‌ونقل عمومی است، که می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تردد خودروها، روان‌سازی رفت‌وآمد و بهبود کیفیت هوا ایفا کند. در این میان، جنبه‌های اجتماعی و رفتاری مانند جنسیت، سطح درآمد، و موقعیت شغلی افراد، در ترجیحات حمل‌ونقلی‌شان نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. از سوی دیگر، احساس ایمنی در مسیر و ویژگی‌های فیزیکی مانند شیب خیابان، در تصمیم افراد برای استفاده از دوچرخه تأثیرگذار است. این تحلیل نشان می‌دهد که برای نهادینه‌سازی فرهنگ جابه‌جایی پایدار، توجه به نیازها، نگرانی‌ها و شرایط زندگی انسان‌ها ضروری است.

بر اساس مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش، مدل مفهومی زیر برای سنجش تأثیر میکروموبیلیتی بر تحقق شهر صفر کربن تدوین شده است:

2- روش تحقیق

رویکرد کلی پژوهش کمی و از نوع توصیفی-تحلیلی است. ماهیت توصیفی آن به دلیل توصیف و تشریح



شکل 1- مدل مفهومی پژوهش
Fig. 1 - Conceptual model of the research

جدول 4- روش تحقیق پژوهش

Tab. 4 - Research methodology

روش تحقیق پژوه	مدل تحلیل	گام‌های پژوهش
دستاوردهای پژوهش		
- تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر استفاده از سیستم میکروموبیلیتی - شناخت تفاوت الگوی استفاده در گروه‌های مختلف سنی و جنسی	- تحلیل رگرسیون لجستیک برای شناسایی عوامل مؤثر بر تمایل به استفاده از سیستم میکروموبیلیتی - تحلیل توصیفی برای شناخت الگوهای رفتاری	تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی داده‌ها
- شناسایی نقاط پرتردد برای جانمایی ایستگاه‌ها - بهینه‌سازی مسیرهای دوچرخه‌سواری	- استفاده از تراکم کرنل (Kernel Density) برای شناسایی مناطق پرتقاضا.	تراکم مکانی کاربران و سفرها
- استخراج رابطه بین متغیرها (مثلاً سن و تمایل) - سنجش اعتبار مدل استفاده از دوچرخه - تعیین ظرفیت بالقوه کاهش آلودگی - پیشنهاد مکان‌یابی ایستگاه‌ها براساس تقاضای واقعی	- رگرسیون لجستیک - تحلیل همبستگی - تحلیل فضایی با ArcGIS - مدل‌سازی کاهش کربن (براساس مسافت جایگزین)	داده‌های پرسش‌نامه‌ای (کمی و کیفی) داده‌های مکانی (GIS و سفرهای جایگزین‌شده)

در نهایت 333 پرسشنامه معتبر وارد تحلیل شد که معادل 87٪ از حجم نمونه مطلوب (383 نفر) است. اگرچه حجم نمونه نهایی کمتر از مقدار بهینه است، اما برای تحلیل‌های رگرسیون لجستیک با 5 متغیر مستقل، حداقل حجم نمونه مورد نیاز (با قاعده 10 رویداد به ازای هر متغیر) حدود 100 تا 150 نفر است؛ بنابراین حجم نمونه 333 نفر از آستانه حداقلی فراتر بوده و نتایج از اعتبار قابل قبولی برخوردار است. نمونه‌گیری به صورت تصادفی ساده در نقاط پرتردد منطقه انجام گرفته است.

جدول 6- مشخصات آماری نمونه نهایی پژوهش

Tab. 6 - Statistical characteristics of the final research sample

مقدار	شاخص
383 نفر	حجم نمونه مطلوب (برآورد کوکران)
333 نفر	حجم نمونه نهایی (معتبر)
87٪	درصد تحقق حجم نمونه
94.5٪	سطح اطمینان واقعی (با حجم 333)
5.3٪	خطای واقعی (با حجم 333)
45 پرسشنامه	تعداد پرسشنامه‌های حذف‌شده
21 مورد	-دلیل حذف: زمان پاسخگویی کم
24 مورد	-دلیل حذف: ناقص بودن

جدول 7- شرایط زمانی و مکانی جمع‌آوری داده‌های پرسشنامه

Tab. 7 - Temporal and spatial conditions of questionnaire data collection

توضیحات	شاخص
15 تا 30 اردیبهشت 1404 (14 روز متوالی)	بازه زمانی جمع‌آوری
روزهای جمع‌آوری حضوری	روزهای جمع‌آوری حضوری

جدول 5- پارامترهای نمونه

Tab. 5 - Sample-size parameters

توضیح	مقدار	پارامتر
معادل 95٪ اطمینان	1.96	سطح اطمینان (Z)
خطای 5 درصدی	0.05	خطای مجاز (d)
حداکثر تنوع پاسخ‌ها	0.5	نسبت برآوردی (p)

محاسبه حجم نمونه اولیه:

$$n_0 = \frac{Z^2 \times p(1-p)}{d^2} = \frac{(1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.05)^2} = 384.16 \approx 384$$

با توجه به اینکه جامعه پژوهش محدود است (حدود 150000 نفر)، حجم نمونه نهایی با اعمال ضریب تصحیح جامعه محدود محاسبه شد:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} = \frac{384}{1 + \frac{384 - 1}{150000}} \approx 383.02 \approx 383$$

بنابراین حجم نمونه مطلوب پژوهش 383 نفر برآورد شد. این حجم نمونه برای سطح اطمینان 95٪ و خطای 8٪ مناسب بوده و در مطالعات مشابه حمل‌ونقل پایدار قابل قبول است.

پس از توزیع پرسشنامه‌ها به صورت حضوری و مجازی، در مجموع 378 پرسشنامه جمع‌آوری شد. پس از پالایش داده‌ها:

- 21 پرسشنامه به دلیل زمان پاسخگویی کمتر از 4 دقیقه (پاسخ‌های سطحی و نامعتبر) حذف شد.
- 24 پرسشنامه به دلیل عدم تکمیل کامل (بیش از 20٪ سؤالات بی‌پاسخ) حذف شد.



پاسخگویی کمتر از 4 دقیقه (که نشانه پاسخگویی سطحی و غیردقیق تلقی می‌شود) از تحلیل حذف شدند. با این حال، پذیرفته می‌شود که عدم ثبت دقیق لحظه ترافیکی (پیک یا غیر پیک) برای هر پاسخ‌دهنده به صورت فردی، یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

2-2- روش و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش بر اساس هدف از نوع تحقیق کاربردی می‌باشد و به لحاظ ماهیت از تحقیقات توصیفی و تحلیلی به شمار می‌آید.

2-3- روایی و پایایی پرسشنامه

برای بررسی پایایی این پژوهش، از آلفای کرونباخ استفاده شد که طی آن 325 نمونه (97.6٪) معتبر و 8 نمونه (2.4٪) حذف شده‌اند؛ بنابراین، با توجه به مقدار آلفای استاندارد شده، پرسشنامه از پایایی مناسبی برخوردار است و می‌توان از داده‌های آن برای تحلیل‌های آماری استفاده کرد.

شاخص	توضیحات
ساعات جمع‌آوری حضوری	9:00 تا 12:00 (قبل از ظهر) و 16:00 تا 19:00 (بعد از ظهر)
ساعات جمع‌آوری مجازی	ارسال لینک در ساعات 10:00 تا 14:00 و 17:00 تا 21:00
وضعیت ترافیکی در زمان جمع‌آوری حضوری	ساعات غیر پیک (پیک صبح 7:30-9:30 و پیک عصر 17:00-19:00 حذف شدند)
میانگین زمان پاسخگویی به پرسشنامه	8 تا 12 دقیقه (میانگین 5.9 دقیقه)
تعداد پرسشنامه‌های حذف‌شده به دلیل زمان کم	21 پرسشنامه (زمان پاسخگویی کمتر از 4 دقیقه)
روش نمونه‌گیری	تصادفی ساده در میداين و خیابان‌های اصلی منطقه 6

به منظور رفع ابهام از شرایط زمانی پژوهش، لازم به توضیح است که جمع‌آوری داده‌های حضوری به طور کامل در ساعات غیر پیک ترافیک (9 تا 12 قبل از ظهر و 16 تا 19 بعد از ظهر) انجام شده است تا تأثیر خستگی ترافیکی، عجله صبحگاهی و تنش‌های ناشی از ترافیک سنگین بر پاسخ‌ها به حداقل ممکن برسد. پرسشنامه‌های مجازی نیز بدون محدودیت زمانی ارسال شده‌اند، اما سامانه پرسشنامه، زمان شروع و پایان پاسخگویی را ثبت نموده است. بر این اساس، 21 پرسشنامه با زمان

جدول 8- روش و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

Tab. 8 - Data analysis methods and tools

روش و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها	
رویکرد پژوهش	- پژوهش براساس هدف یک تحقیق کمی (توصیفی-تحلیلی) است
اهداف اصلی	سنجش میزان تأثیر میکروموبیلیتی بر کاهش انتشار کربن و تحقق شهر صفر کربن در منطقه 6 تهران.
اهداف فرعی	شناسایی و اولویت‌بندی عوامل اجتماعی-اقتصادی و زیرساختی مؤثر بر تمایل شهروندان به استفاده از میکروموبیلیتی اشتراکی.
سؤال اصلی	تعیین اماکن بهینه برای استقرار ایستگاه‌های میکروموبیلیتی با هدف حداکثرسازی کاهش انتشار کربن.
سوالات فرعی	1- میکروموبیلیتی چگونه و تا چه اندازه بر تحقق شهر صفر کربن در منطقه 6 تهران تأثیر می‌گذارد؟ 1- چه عوامل اجتماعی-اقتصادی و زیرساختی بر تمایل شهروندان به استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی تأثیر دارند؟ 2- مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های میکروموبیلیتی چه تأثیری بر میزان کاهش انتشار کربن دارد؟
جامعه آماری	شهروندان 15 تا 65 ساله منطقه 6 تهران
حجم نمونه	333 پرسشنامه معتبر (از 384 برآورد اولیه)
شرایط زمانی جمع‌آوری	ساعات غیر پیک، روزهای کاری، بازه 14 روزه (مطابق جدول جداگانه)
ابزار گردآوری	پرسشنامه استاندارد شده با 36 سؤال (روایی محتوایی تأیید شده توسط متخصصان و پایایی آلفای کرونباخ 0.774)
نرم‌افزارهای تحلیل	Excel, ArcGIS, SPSS
روش‌های تحلیل	رگرسیون لجستیک، تحلیل تراکم کرنل، مدل‌سازی ریاضی کاهش کربن

پژوهش جمع‌آوری نشده است. بنابراین رویکرد پژوهش صرفاً کمی است.

6-2- محدودیت‌های پژوهش

پژوهش حاضر با وجود یافته‌های ارزشمند، با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است:

1. محدودیت زمانی و ترافیکی: زمان دقیق پاسخ‌دهی به پرسشنامه‌ها بر حسب ساعت پیک یا غیر پیک ترافیک برای هر پاسخ‌دهنده به صورت فردی ثبت نشده است. اگرچه جمع‌آوری داده‌ها در ساعات غیر پیک انجام شد، اما امکان تفکیک دقیق رفتار کاربران در شرایط پیک ترافیکی وجود ندارد.

2. محدودیت حجم نمونه: حجم نمونه نهایی (333 نفر) کمتر از برآورد اولیه کوکران (384 نفر) بوده است که می‌تواند بر تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد.

3. محدودیت روش‌شناختی: با وجود اشاره به رویکرد ترکیبی در چکیده، داده‌های کیفی واقعی (مانند مصاحبه یا گروه‌های کانونی) گردآوری نشده است و پژوهش عمدتاً مبتنی بر داده‌های کمی است.

3- نتایج و بحث

در این بخش، با استفاده از داده‌های تحلیل‌شده، امکان پیشنهادی برای میکروموبیلیتی‌های اشتراکی در سطح منطقه 6 تهران تعیین می‌شوند. در این فرآیند، فاکتورهایی همچون گره‌های ترافیکی، الگوهای تقاضای حمل‌ونقل، و قابلیت دسترسی به ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت، با استفاده از معیارهای جمعیت‌پذیری و شعاع خدمات ایستگاه‌ها، امکان پیشنهادی برای ایستگاه‌های دوچرخه بهینه‌سازی می‌شوند.

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

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

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

$$else, M1 = 0$$

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

تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی (صفر: عدم تمایل و یک: تمایل به استفاده)
A = تمایل به استفاده ترکیبی از سیستم دوچرخه اشتراکی و حمل‌ونقل عمومی (صفر: عدم تمایل و یک: تمایل به استفاده)
B = میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب دقیقه)
K = میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب ساعت)
Y = تعداد سفرهای فرد در طول هفته
X = سرعت متوسط وسیله موتوری: 30 کیلومتر بر ساعت
V

مقدار کربن کاهش هر فرد در طول هفته
C1 = متوسط کربن مصرفی هر خودرو در یک کیلومتر 187
C0 = مسافت سفرهای موتوری فرد در طول هفته
M0 = مسافت سفرهای تغییر یافته موتوری به دوچرخه فرد در طول هفته
M1 = میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (بر حسب ساعت)
Z = نرخ جایگزینی سفر موتوری به دوچرخه اشتراکی
Z

جدول 9- پردازش آزمون آلفای کرونباخ

Tab. 9 - Cronbach's alpha case processing summary

		N	%
Cases	Valid	325	97.6
	Excluded ^a	8	2.4
	Total	333	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

جدول 10- نتایج آزمون آلفای کرونباخ برای پرسشنامه تحقیق

Tab. 10 - Cronbach's alpha results for the research questionnaire

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.592	.774	7

4-2- مدل‌سازی ریاضی

برای این پژوهش برای دستیابی به میزان کاهش کربن برای هر فرد در صورت تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی با استفاده از مرور اطلاعات مربوط به مدل‌سازی میزان انتشار کربن با استفاده از تعداد سفرهای افراد، مدت‌زمان سفر و تمایل به استفاده از سیستم دوچرخه اشتراکی از رابطه زیر برای محاسبه کاهش انتشار کربن استفاده شده است:

5-2- روش‌شناسی تحقیق

اگرچه در برخی از بخش‌های مقاله از واژه «کیفی» استفاده شده است، اما منظور از «متغیرهای کیفی» در این پژوهش، متغیرهای اسمی و ترتیبی (مانند جنسیت، وضعیت اشتغال، نوع وسیله نقلیه) است که در پرسشنامه به صورت طیف‌های گسسته اندازه‌گیری شده‌اند. هیچ داده کیفی واقعی (مانند مصاحبه عمیق، گروه کانونی، تحلیل محتوای متون یا مشاهده مشارکتی) در این



2-3- تحلیل اثرات الگوی اجتماعی، اقتصادی و رفتاری سفر بر کاهش کربن

به منظور تحلیل اثرات اجتماعی، اقتصادی و رفتاری بر تمایل به استفاده از سیستم‌های میکروموبیلیتی اشتراکی و بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش یا عدم‌پذیرش این سیستم، از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است.

1-2-3- داده و اطلاعات ورودی مدل

داده‌های گردآوری شده پاسخ‌دهندگان پرسش‌نامه را در طبقات مختلف کدگذاری شدند که کدگذاری اولیه متغیرها به شرح زیر است:

2-2-3- شناسایی عوامل مؤثر در تمایل به استفاده از

سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی

شناسایی عوامل مؤثر در تمایل به استفاده از سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی از مدل رگرسیون لجستیک زیر انجام می‌شود

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

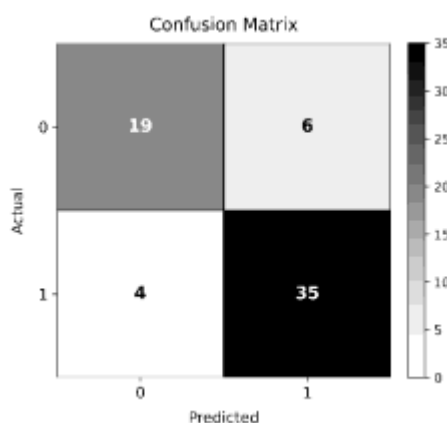
$P(y=1)$: تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی (متغیر وابسته).

X_1, X_2, X_n : متغیرهای مستقل هستند (مانند سن، درآمد ماهانه،

مالکیت خودرو، وسیله غالب سفر و نگرش زیست‌محیطی).

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: ضرایب مدل هستند که نشان‌دهنده اثر هر متغیر

مستقل بر احتمال وقوع رویداد هستند.



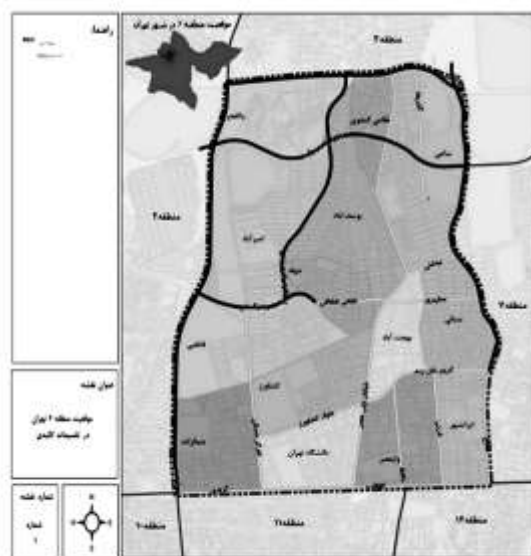
شکل 3- ماتریس سردرگمی

Fig. 3 - Confusion matrix for Model 1

نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل‌ها به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری در مرحله بعد از شناسایی اماکن تقاضا برای سیستم دوچرخه اشتراکی است، به کار می‌روند.

1-3- معرفی کلی محدوده

منطقه 6 شهرداری تهران با مساحتی حدود 2138 هکتار، در مرکز جغرافیایی شهر تهران واقع شده و حدود 3.2 درصد از مساحت کل شهر را تشکیل می‌دهد. این منطقه به دلیل موقعیت مرکزی و نقش کانونی در ارتباط میان شرق و غرب و همچنین شمال و جنوب شهر و جایگاه ویژه در محورهای اصلی توزیع خدمات شهری، اداری و آموزشی در ساختار شهری تهران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود خیابان‌های مهمی مانند ولیعصر، انقلاب، کریم‌خان زند و مطهری، این منطقه را به یکی از پرتعدادترین نواحی شهر تبدیل کرده است. همچنین، حضور مراکز فرهنگی، دانشگاه‌ها و سازمان‌های دولتی، به اهمیت این منطقه افزوده است. باتوجه به تراکم بالای جمعیتی و حجم بالای تردد در این منطقه، پیاده‌سازی سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش ترافیک و آلودگی هوا داشته باشد.



شکل 2- موقعیت نسبی منطقه 6 تهران

Fig. 2 - Relative location of Tehran District 6

جدول 11- جمع‌بندی روش شناسی

Tab. 11 - Methodological summary

مؤلفه موضوعی	متغیر	نوع متغیر	روش / گردآوری	مدل / روش / تحلیل
اجتماعی	جنسیت	اسمی (کیفی)	پرسش‌نامه	رگرسیون لجستیک و مدل‌سازی ریاضی با استفاده یادگیری ماشین
	سن	فاصله ای (کمی)		
اقتصادی	وضعیت اشتغال	اسمی (کیفی)		
	میزان درآمد	ترتیبی (کمی)		
	مالکیت خودرو	اسمی (کیفی)		
	وسیله غالب سفر	اسمی (کیفی)		
الگوی رفتار سفر	تعداد سفر هفتگی (برحسب هدف سفر)	کمی		
	میانگین زمان سفر (برحسب هدف سفر)	کمی		
	نرخ تغییر مد یا جایگزینی سفر	کمی		
	تمایل به استفاده از ترکیبی حمل‌ونقل عمومی و دوچرخه اشتراکی	اسمی (کیفی)		
شناسایی اماکن تقاضا	اماکن جاذب سفر	کمی	مطالعات اسنادی و پرسش‌نامه	تحلیل تراکم کرنل، تحلیل شبکه حمل‌ونقل در ArcGIS و تحلیل دیتا در اکسل
بهینه‌سازی سیستم	زیرساخت حمل‌ونقل	کمی		
	جمعیت	کمی		
	توپوگرافی	کمی		

جدول 12- کدگذاری داده‌های ورودی مدل

Tab. 12 - Coding of model input data

تعریف کد						متغیر
5	4	3	2	1	0	
		-		مرد	زن	جنسیت
بازنشسته	کارمند	شغل آزاد	خانه‌دار	دانشجو	دانش‌آموز	وضعیت شغلی
		-		مالکیت	عدم مالکیت	مالکیت خودرو
	-	بیشتر از 30	30-15	15-5	کمتر از 5	میزان درآمد ماهانه (میلیون تومان)
-	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بی‌اهمیت	تأثیر آلودگی هوا در استفاده از دوچرخه
دوچرخه	اتوبوس-مترو	خودرو-مترو	تاکسی		خودرو	وسیله غالب سفر
		-		بله	خیر	تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی
		-		بله	خیر	تمایل به استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی با دوچرخه اشتراکی

به استفاده از سیستم میکروموبیلیتی دارند. متغیر سن (β) -0.0556 (=) اثر منفی دارد، به این معنا که با افزایش سن، احتمال استفاده از سیستم میکروموبیلیتی کاهش می‌یابد. درآمد ماهانه ($\beta = -0.8579$) و مالکیت خودرو ($\beta = -1.5695$) نیز اثر منفی دارند، به‌طوری‌که افراد با درآمد بالاتر و دارندگان خودرو تمایل کمتری به دوچرخه‌سواری دارند. در مقابل، شیوه اصلی 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 میکروموبیلیتی را افزایش می‌دهد.

جدول 13- گزارش طبقه بندی مدل اول

Tab. 13 - Classification report for Model 1

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
0	0.83%	0.76%	0.79%	25
1	0.85%	0.90%	0.88%	39
Accuracy			0.84%	64
Macro Avg	0.84%	0.83%	0.83%	64
Weighted Avg	0.84%	0.84%	0.84%	64

مطابق با جدول 14 نتایج مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای مستقل از لحاظ آماری معنادار هستند ($p < 0.05$) و تأثیر قابل‌توجهی بر تمایل



جدول 14- نتایج مدل رگرسیون لجستیک تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی
Tab. 14 - Logistic regression results for willingness to use shared bicycles

Optimization terminated successfully.

Current function value: 0.337699

Iterations 7

Logit Regression Results

Dep. Variable:	Bike_Usage_Willingness			No. Observations:	317	
Model:	Logit			Df Residuals:	311	
Method:	MLE			Df Model:	5	
				Pseudo R-squ.:	0.5019	
				Log-Likelihood:	-107.05	
converged:	True			LL-Null:	-214.93	
Covariance Type:	nonrobust			LLR p-value:	1.201e-44	
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
const	2.4317	0.914	2.660	0.008	0.640	4.223
Age	-0.0556	0.017	-3.321	0.001	-0.088	-0.023
Monthly_Income	-0.8579	0.212	-4.055	0.000	-1.273	-0.443
Car_Ownership	-1.5695	0.370	-4.240	0.000	-2.295	-0.844
Main_Transport_Mode	0.6435	0.109	5.905	0.000	0.430	0.857
Air_Pollution_Impact	0.7557	0.176	4.299	0.000	0.411	1.100

3-2-3- پیش‌بینی تمایل به استفاده ترکیبی از میکروموبیلیتی اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی در این روش برای شناسایی عوامل موثر در تمایل به استفاده ترکیبی از میکروموبیلیتی اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است.

مقدار $Pseudo R^2$ برابر با 0.5019 نشان می‌دهد که مدل قدرت توضیح‌دهندگی مناسبی دارد و آزمون نسبت درست‌نمایی ($LLR p\text{-value} = 1.201e-44$) حاکی از برازش خوب مدل است.

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

$P(y=1)$: تمایل به استفاده از ترکیبی از دوچرخه اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی (متغیر وابسته).
 X_1, X_2, X_n : متغیرهای مستقل هستند (مانند سن، درآمد ماهانه، مالکیت خودرو، وسیله غالب سفر، نگرش زیست‌محیطی و تمایل به استفاده از دوچرخه اشتراکی).
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: ضرایب مدل هستند که نشان‌دهنده اثر هر متغیر مستقل بر احتمال وقوع رویداد هستند.

نشان می‌دهد افراد دارای تمایل بیشتر به دوچرخه‌سواری و نوع خاصی از شیوه حمل‌ونقل اصلی، احتمال بیشتری برای پذیرش حمل‌ونقل ترکیبی دارند. مدل پس از 8 تکرار همگرا شده است و مقدار نهایی تابع هدف برابر 0.225495 است، که نشان‌دهنده بهبود مدل در فرآیند تخمین است.

3-3- پیش‌بینی مقدار کاهش کربن

پس از مدل‌سازی روابط بین متغیرهای اجتماعی و اقتصادی و رفتار سفر افراد با تمایل به استفاده گونه‌های مختلف استفاده از سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی و معناداری متغیرهای مستقل می‌توان به این نتیجه رسید که شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و رفتار سفر افراد می‌تواند در میزان کاهش کربن تأثیرات مستقیمی داشته باشد؛ بنابراین ابتدا مقدار کاهش کربن برای هر فرد را با استفاده از مدل ریاضی که در ادامه به توضیح داده می‌شود با در نظر گرفتن متغیرهای تعداد سفر، مدت‌زمان سفر و نرخ جایگزینی، تمایل به استفاده از سیستم اشتراکی به صورت مستقل در سفرهای کوتاه و ترکیبی با حمل‌ونقل عمومی در سفرهای طولانی را محاسبه کرده و سپس با استفاده میانگین مقدار کاهش کربن در گروه‌های مختلف با ویژگی‌های اجتماعی (برحسب داده‌های موجود) میزان کاهش کربن برای هر گروه محاسبه و نتایج در برای مرحله پایانی پژوهش بکار گرفته می‌شود. بدین منظور مقدار کاهش کربن به ازای هدف و با در نظر گرفتن متغیرهای تعداد سفر، نرخ جایگزینی، تمایل به استفاده از سیستم اشتراکی به صورت مستقل در سفرهای کوتاه و ترکیبی با حمل و نقل عمومی در سفرهای طولانی محاسبه شده است.

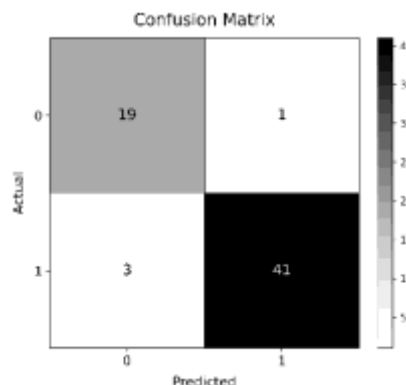
$$Y = \frac{K}{60} \quad M0 = X \times Y \times V$$

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

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

$$else, M1 = 0$$

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



شکل 4- ماتریس سردرگمی مدل دوم

Fig. 4 - Confusion matrix for Model 2

جدول 15- گزارش طبقه بندی مدل دوم

Tab. 15 - Classification report for Model 2

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
0	0.86	0.95	0.9	20
1	0.98	0.93	0.95	44
Accuracy			0.94	64
Macro Avg	0.92	0.94	0.93	64
Weighted Avg	0.94	0.94	0.94	64

مطابق با جدول 16 که نتایج مدل را نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای مستقل تأثیر معناداری بر تمایل به استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی دارند. مقدار Pseudo R² برابر با 0.6609 نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بالای مدل است و مقدار LLR p-value = 4.515e-59 نیز برازش مناسب مدل را تأیید می‌کند. متغیر سن با ضریب 0.0874- و درآمد ماهانه با ضریب 0.6431- تأثیر منفی دارند، به این معنا که با افزایش این متغیرها، تمایل به استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی کاهش می‌یابد. در مقابل، تمایل به استفاده از دوچرخه با ضریب 3.7143 و شیوه اصلی حمل‌ونقل با ضریب 0.4458 اثر مثبت دارند، که

K= میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (برحسب دقیقه)

Y= میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (برحسب ساعت)

X= تعداد سفرهای فرد در طول هفته

V= سرعت متوسط وسیله موتوری: 30 کیلومتر بر ساعت

M0= مسافت سفرهای موتوری فرد در طول هفته

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

Z= نرخ جایگزینی سفر موتوری به دوچرخه اشتراکی

Z= میانگین زمان سفرهای فرد در هفته (برحسب ساعت)

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

B= تمایل به استفاده ترکیبی از سیستم دوچرخه اشتراکی و حمل‌ونقل عمومی (صفر: عدم

تمایل و یک: تمایل به استفاده)

C0= متوسط کربن مصرفی هر خودرو در یک کیلومتر 187

C1= مقدار کربن کاهش هر فرد در طول هفته



جدول 16- نتایج مدل رگرسیون لجستیک نمایل به استفاده ترکیبی از دوچرخه اشتراکی و حمل و نقل عمومی

Tab. 16 - Logistic regression results for willingness to combine shared bicycles and public transport

Optimization terminated successfully.						
Current function value: 0.225495						
Iterations 8						
Logit Regression Results						
Dep. Variable:	Willingness_Hybrid_Transport			No. Observations:	317	
Model:	Logit			Df Residuals:	312	
Method:	MLE			Df Model:	4	
				Pseudo R-squ.:	0.6609	
				Log-Likelihood:	-71.482	
converged:	True			LL-Null:	-210.77	
Covariance Type:	nonrobust			LLR p-value:	4.515e-59	
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
const	2.8657	1.056	2.715	0.007	0.797	4.935
Age	-0.0874	0.022	-3.941	0	-0.131	-0.044
Monthly_Income	-0.6431	0.272	-2.362	0.018	-1.177	-0.109
Bike_Usage_Willingness	3.7143	0.463	8.028	0.000	2.808	4.621
Main_Transport_Mode	0.4458	0.140	3.180	0.001	0.171	0.720

به دلیل قرارگرفتن در سنین فعالیت اقتصادی و اجتماعی، تمایل بیشتری به استفاده از حمل و نقل جایگزین از جمله دوچرخه اشتراکی و میکروموبیلیتی دارند افرادی که درآمد کمتر از ۵ میلیون دارند، در برخی موارد کاهش کربن بالایی داشته‌اند که ممکن است ناشی از وابستگی کمتر آن‌ها به خودروی شخصی به دلیل هزینه‌های بالا باشد.

در مقابل، کمترین میزان کاهش کربن در میان افراد با درآمد بالای 30 میلیون و به‌ویژه در گروه سنی 15 تا 25 سال دیده می‌شود. این افراد به دلیل توانایی مالی بیشتر، تمایل بیشتری به استفاده از خودروی شخصی دارند و کمتر از حمل و نقل عمومی یا دوچرخه و میکروموبیلیتی بهره می‌برند. علاوه بر این، در میان جوانانی که دارای خودروی شخصی هستند، میزان کاهش کربن تقریباً صفر است که نشان می‌دهد این گروه نه‌تنها انگیزه‌ای برای استفاده از دوچرخه و میکروموبیلیتی ندارند، بلکه سبک زندگی و الگوی رفتاری آن‌ها به‌گونه‌ای است که خودرو را به‌عنوان وسیله اصلی جابه‌جایی انتخاب می‌کنند.

در این مدل مقدار سرعت متوسط 30 کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده چون در حالت فعلی این سفرها با وسیله موتوری انجام می‌شود. از طرفی مقدار متوسط کربن منتشر شده برای خودروهای ایرانی به طور متوسط 187 گرم در هر کیلومتر برآورد شده است. پس از محاسبه کربن کاهش پیدا کرده برای هر فرد برحسب متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک میزان انتشار کربن برحسب کیلوگرم محاسبه شده است که در ادامه به ترتیب با استفاده از نمودار وضعیت کاهش کربن رو توصیف می‌شود.

3-4- برآورد خوشه‌های انشار کربن براساس متغیر اجتماعی- اقتصادی

میزان کاهش کربن برای شبیه‌سازی در محدوده منطقه 6 تهران به صورت گروه‌های ترکیبی از سن، میزان درآمد و مالکیت خودرو به شرح جدول 17 است.

بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین کاهش کربن مربوط به افراد 25 تا 35 ساله‌ای است که خودرو ندارند و درآمدی در محدوده 15 تا 30 میلیون دارند. این گروه

جدول 17- خوشه‌های انتشار کربن براساس متغیرهای اجتماعی و اقتصادی
Tab. 17 - Carbon-emission reduction clusters by socioeconomic variables

میانگین کالی	میزان درآمد ماهیانه				میانگین کاهش کربن (کیلوگرم)
	<5	15-5	15-30	> 30	
گروه سنی * مالکیت خودرو					
15-25	21.0	29.7	16.8	0.0	23.0
بله	14.6	19.3	0.0	0.0	13.6
خیر	23.1	36.7	33.7		27.9
25-35	25.9	45.0	29.4	23.9	32.9
بله	21.1	46.5	31.7	26.7	33.3
خیر	29.8	43.9	26.8	19.3	32.4
35-45	32.1	40.2	32.3	10.5	28.3
بله	26.1	36.1	34.6	10.9	24.2
خیر	44.1	43.1	29.9	7.9	34.3
45-55	23.1	39.3	23.0	1.7	22.0
بله	22.2	29.3	26.3	0.0	21.6
خیر	24.1	59.3	14.2	4.2	22.7
55-65	8.8	41.3	21.9	34.6	28.9
بله	8.8	43.0	22.5	34.6	29.5
خیر		26.2	10.1		18.2
میانگین کل	24.1	40.0	27.1	14.5	27.5

1-5-3- معیارهای مکان‌یابی و بهینه‌سازی سیستم‌های میکروموبیلیتی

در ابتدا برای اینکه سیستم دوچرخه اشتراکی در سطح منطقه پیاده شود اطلاعات مکانی کاربری‌های جاذب سفر از جمله کاربری‌های مسکونی، مراکز اداری و کسب‌وکار، مراکز تحصیلی و دانشگاهی، مراکز خرید و خدماتی، مراکز مختلط تجاری - اداری و مسکونی با تراکم بالا، مراکز تفریحی و ورزشی و ایستگاه حمل‌ونقل عمومی را برحسب داده‌های موجود در نرم‌افزار ArcGIS وارد کرده و در اولین مرحله از تحلیل نقاط داغ استفاده شده برای تحلیل نقاط جمعیت پرتقاضا و براین اساس بلوک‌های آماری که تراکم جمعیت کمتر از منهای یک انحراف معیار میانگین جمعیت بلوک‌های آماری را داشته حذف شدند و نقاط باقی‌مانده را عنوان نقاط پرتقاضا جمعیتی در نظر گرفته شد و با استفاده از ابزارهای ArcGIS بلوک‌هایی که به‌صورت پلیگون‌اند را تبدیل به نقطه شده است.

برای سایر مراکز فعالیت‌ها از لایه کاربری اراضی منطقه 6 تهران فعالیت‌ها و کاربری‌های هدف مشخص و انتخاب شده‌اند و شبیه به بلوک‌های آماری تبدیل به نقطه شدند نکته ای وجود داشت این بود که برای

مالکیت خودرو نیز به‌طور کلی تأثیر مهمی بر کاهش انتشار کربن دارد. در تمام گروه‌های سنی، افرادی که خودرو ندارند، کاهش کربن بیشتری داشته‌اند، زیرا احتمال استفاده از دوچرخه و میکروموبیلیتی در میان آن‌ها بیشتر است. در گروه‌های سنی بالاتر (35 تا 45 سال و 45 تا 55 سال)، همچنان کاهش کربن قابل توجهی مشاهده می‌شود، اما در سنین 55 سال به بالا این مقدار کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل کاهش توان جسمی و تمایل کمتر این افراد به دوچرخه‌سواری و میکروموبیلیتی باشد. در مجموع، این الگوها نشان می‌دهند که کاهش وابستگی به خودروی شخصی، حمایت از گروه‌های شاغل با درآمد متوسط و بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل جایگزین می‌تواند به افزایش میزان استفاده از دوچرخه و میکروموبیلیتی و کاهش انتشار کربن کمک کند.

5-3- مکان‌یابی و بهینه‌سازی سیستم‌های میکروموبیلیتی

در این بخش به شناسایی اماکن مناسب و بهینه برای توزیع ایستگاه و پارکینگ سیستم دوچرخه اشتراکی بر اساس متغیرهای هدف پرداخته می‌شود:



2-5-3- شناسایی اماکن پرتقاضا برای پیاده‌سازی سیستم در این مرحله ابتدا پرسش‌نامه ابتدا میزان اهمیت و امتیاز هر کدام از مراکز تقاضا در سوالات 7 تا 14 بررسی و میانگین امتیاز هر کدام از مراکز تقاضا محاسبه شد که نتایج نشان می‌دهد در بین این مراکز و فعالیت‌های کاری، مراکز تحصیلی و ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی با بیشترین امتیاز کسب شده توسط پاسخ‌دهندگان در اولویت مکان‌یابی سیستم دوچرخه اشتراکی قرار دارند. و از سوی دیگر مراکز سکونت و مختلط تجاری اداری از نظر پاسخ‌دهندگان کمترین اهمیت را دارند و همچنین اطلاعات و داده موجود از این مراکز و فعالیت‌های در سطوح مکانی و جغرافیایی نشان می‌دهد که در منطقه 6 تهران بیشترین مکان تقاضا به کاربری‌های اداری و فعالیت شغلی، مراکز مختلط تجاری و اداری و مراکز مسکونی اختصاص دارد. در جدول زیر همه این موارد عنوان شده است.

جدول 18- رتبه بندی کاربری و فعالیت های جاذب سفر توسط پاسخ دهندگان

Tab. 18 - Ranking of trip-attracting land uses and activities by respondents

تعداد	میانگین امتیاز برای مکان‌یابی	مراکز تقاضا
141	2.27	مراکز مختلط تجاری اداری
423	2.38	مراکز جمعیتی و مسکونی
291	2.76	مراکز تفریحی - ورزشی
818	2.94	مراکز خرید و خدماتی
139	1.08	مراکز حمل‌ونقل عمومی
37	4.12	مراکز تحصیلی و دانشگاهی
603	4.46	مراکز و فعالیت‌های کاری

در مرحله بعد امتیاز نهایی کسب شده هر نوع مرکز تقاضا به داده‌های جغرافیایی وارد شده و به‌عنوان امتیاز یا وزن هر نقطه در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از آنالیز Kernel Density پهنه‌های پرتقاضا برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها تحلیل و شناسایی شده‌اند.

کاربری های بزرگ مقیاس این نقاط در بر زمین با تراکم بالا در ورودی های آن کاربری های ایجاد شدند(برای مثال دانشگاه ها و پارک ها)



شکل 5- توزیع جمعیت در بلوک های آماری منطقه 6
Fig. 5-Population distribution in census blocks of District 6

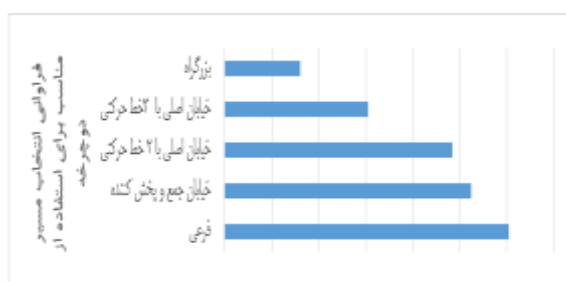


شکل 6- شناسایی نقاط پرتقاضا جمعیتی
Fig.6-Identification of high-demand population points



شکل 7- نقاط تقاضا مکانیابی سیستم دوچرخه اشتراکی
Fig.7-Demand points for bike-sharing system siting

فرآوانی انتخاب	مسیرهای مناسب برای استفاده از دوچرخه
58	خیابان‌های اصلی با 3 خط حرکت
11	خیابان‌های اصلی با 3 خط حرکت - خیابان فرعی
5	خیابان‌های اصلی با 3 خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش کننده
2	خیابان‌های اصلی با 3 خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش کننده - خیابان فرعی
58	خیابان‌های جمع و پخش کننده
33	خیابان‌های جمع و پخش کننده - خیابان فرعی
14	غیر بزرگراه
6	همه موارد



شکل 9- وضعیت انتخاب مسیر مناسب برای استفاده از دوچرخه با توجه به نتایج پرسشنامه

Fig. 9 - Preferred routes for bicycle use based on questionnaire results

پس از مشخص شدن مسیرهای مناسب و ایمن برای استفاده از دوچرخه برای جانمایی دقیق پارکینگ یا ایستگاه دوچرخه اشتراکی از استانداردهای بین‌المللی مکان‌یابی پارکینگ‌های سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی و همچنین نظر مردم در پاسخ به سؤال میزان فاصله بین ایستگاه حمل‌ونقل عمومی و پارکینگ یا ایستگاه دوچرخه اشتراکی معیارهای دسترسی کمتر از 100 متر به نقاط مهم ترافیکی که اکثراً ایستگاه‌های تاکسی هستند و شعاع 100 تا 300 متر ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی را به معیارهای مسیرهای ایمن و اماکن تقاضا برای جانمایی و پیاده‌سازی اولیه سیستم اضافه کرده و از الگوی ترکیبی با استفاده ابزار ویرایشی نرم‌افزار ArcGIS تعداد 63 مکان پیشنهادی برای ایستگاه یا پارکینگ‌های دوچرخه اشتراکی شناسایی و انتخاب شد.



شکل 8- شناسایی پهنه‌های پر تقاضا سیستم دوچرخه اشتراکی

Fig. 8 - Identification of high-demand zones for the bike-sharing system

3-5-3- سنجش معیارهای میکروموبیلیتی در منطقه 6 تهران

مطابق با داده‌های پرسشنامه از سوالات ایمنی مسیرهای مناسب برای استفاده افراد از دوچرخه که در جدول و نمودار زیر نمایان است نشان می‌دهد که بیشتر انتخاب‌ها به خیابان‌های که از سطح تراکم ترافیک کمتر و همچنین سرعت وسایل نقلیه در آن کمتر است بیشتر است مطابق با نتایج پرسش‌نامه بیشترین سطح انتخاب به خیابان‌های فرعی با 121 بار، خیابان‌های جمع و پخش کننده با 105 بار انتخاب و خیابان‌های اصلی با دو خط حرکتی 97 بار انتخاب توسط پاسخ‌دهندگان تعلق دارد و بنابراین این مسیرها در کنار مسیرهای ویژه دوچرخه که در سطح منطقه 6 وجود دارند به‌عنوان مسیرهای مناسب و ایمن برای استفاده از دوچرخه انتخاب شده‌اند که در نقشه صفحه بعد مشاهده می‌شود.

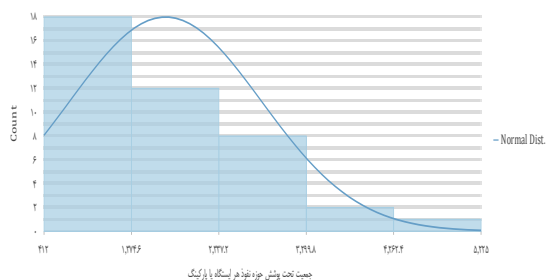
جدول 19- وضعیت انتخاب مسیر مناسب برای استفاده از دوچرخه در پرسشنامه

Tab. 19 - Selection of suitable routes for bicycle use in the questionnaire

فرآوانی انتخاب	مسیرهای مناسب برای استفاده از دوچرخه
47	خیابان فرعی
20	خیابان‌های اصلی با 2 خط حرکت
9	خیابان‌های اصلی با 2 خط حرکت - خیابان فرعی
67	خیابان‌های اصلی با 2 خط حرکت - خیابان‌های جمع و پخش کننده - خیابان فرعی



400 متر شعاع دسترسی هر ایستگاه و انتخاب 41 ایستگاه برتر و بهینه نقاط برتر به عنوان ایستگاه و پارکینگ نهایی شناسایی شدند.



شکل 12- خوشه بندی ایستگاه بر حسب جمعیت تحت پوشش

Fig. 12 - Station clustering by population coverage



شکل 13- ایستگاه و پارکینگ های نهایی محدوده

Fig. 13 - Final station and parking locations

3-6- شبیه سازی میزان کاهش کربن بر اثر استفاده از میکروموبیلیتی در منطقه 6 تهران
پس از بخش اول و دوم تحلیل این پژوهش حال با ترکیب نتایج مراحل قبل میزان کاهش کربن در سطح منطقه 6 تهران شبیه سازی می شود. برای این منظور ابتدا ناحیه خدمات سیستم دوچرخه اشتراکی پیاده سازی شده در سطح منطقه 6 تهران را مشخص کرده و سپس در محدوده مورد نظر براساس داده های خروجی میزان انتشار کربن برحسب گروه سنی، مالکیت خودرو و میزان درآمد افراد در بخش اول تحلیل این پژوهش را در این بلوک های آماری مشخص شده وارد کرده و در



شکل 10- جانمایی نقاط اولیه ایستگاه و پارکینگ دورچرخه اشتراکی در سطح منطقه

Fig. 10 - Initial locations of shared-bicycle stations and parking facilities in District 6



شکل 11- شاخص های انتخاب مکان برای ایستگاه و پارکینگ سیستم دوچرخه اشتراکی

Fig. 11 - Location-selection criteria for shared-bicycle stations and parking facilities

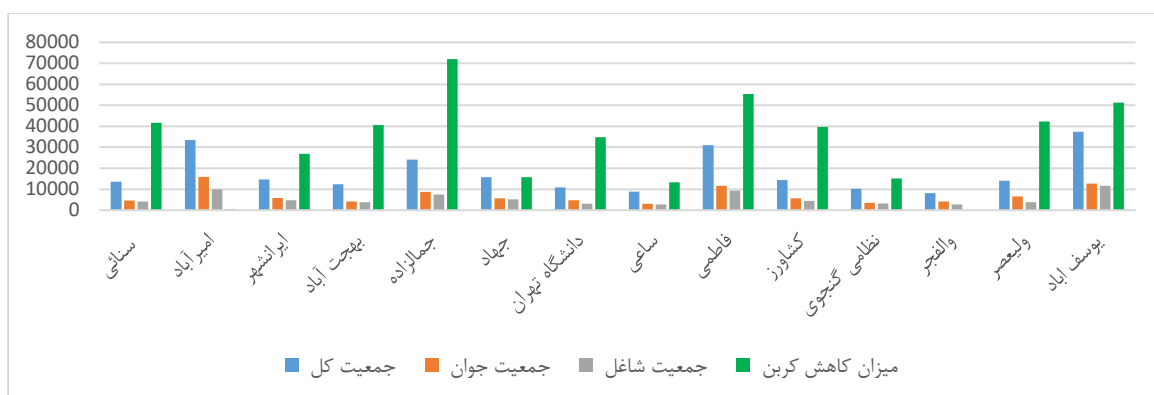
4-5-3- بهینه سازی اماکن پیشنهادی

در این مرحله برای بهینه سازی ایستگاه یا پارکینگ های پیشنهادی ابتدا تعداد نقاط مطلوب برای ایستگاه یا پارکینگ های دوچرخه اشتراکی باتوجه به جمعیت تحت پوشش منطقه را محاسبه می شود. مطابق مراحل قبل در این پهنه های پرتقاضا جمعیت 194371 حضور داشته که باتوجه به استاندارد های موجود برای حوزه نفوذ و خدمات هر ایستگاه (هر 5000 نفر یک ایستگاه یا پارکینگ) در این محدوده نیاز به احداث 41 ایستگاه یا پارکینگ وجود دارد؛ بنابراین با استفاده از تحلیل های شبکه در ArcGIS با استفاده ابزار تخصیص مکان بهینه (Location-Allocation) با در نظر گرفتن ایستگاه پیشنهادی به عنوان نقاط پیشنهادی و نقاط جمعیتی بلوک های آماری منطقه به عنوان نقاط تقاضا با معیار

نهایت به صورت پهنه های موثر در کاهش کربن و تحقق شهر کربن صفر به نمایش گذارده می شود.



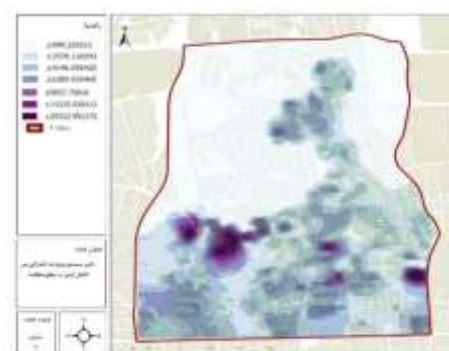
شکل 14- محدوده خدمات سیستم دوچرخه اشتراکی
Fig. 14 - Service area of the shared-bicycle system



شکل 15- میزان کاهش کربن در سطح محلات منطقه 6 تهران
Fig. 15 - Carbon reduction by neighborhood in District 6



شکل 17- تأثیر سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی در کاهش کربن محلات منطقه 6 تهران
Fig. 17 - Effect of shared micromobility on carbon reduction across District 6 neighborhoods



شکل 16- تأثیر سیستم میکروموبیلیتی اشتراکی در کاهش کربن در سطح منطقه 6 تهران
Fig. 16 - Effect of shared micromobility on carbon reduction in District 6



جدول 20- میزان کاهش کربن در سطح محلات منطقه 6 تهران

Tab. 20 - Carbon reduction across District 6 neighborhoods

محل	جمعیت کل	میزان کاهش کربن	میزان کاهش کربن به ازای هر نفر
سنائی	13608	41701.44665	3.064480206
امیرآباد	33477	481.856551	0.01439366
ایران شهر	14677	26895.01283	1.832459823
بهجت آباد	12424	40646.46736	3.27160877
جمالزاده	24102	72012.47637	2.987821607
جهاد	15679	15697.14521	1.001157294
دانشگاه تهران	10779	34745.39251	3.223433761
ساعی	8870	13299.52967	1.499383277
فاطمی	30933	55350.494	1.789367148
کشاوری	14414	39619.06991	2.748651999
نظامی گنجوی	10307	15036.80099	1.458892112
والفجر	8086	0	0
ولیعصر	14075	42276.95224	3.0036911
یوسف آباد	37428	51248.36419	1.369252009

4- نتیجه گیری

4-1- جمع بندی یافته های اصلی

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ظرفیت میکروموبیلیتی در تحقق اهداف شهر صفر کربن در منطقه 6 تهران انجام شد. یافته های اصلی به شرح زیر خلاصه می شود: تأثیر مثبت میکروموبیلیتی بر کاهش کربن: نتایج مدل سازی ریاضی نشان داد که استفاده از دوچرخه های اشتراکی به عنوان جایگزین سفرهای کوتاه مدت خودروپی، می تواند انتشار کربن را تا حداکثر 3.27 کیلوگرم به ازای هر نفر در هفته (معادل حدود 170 کیلوگرم در سال) کاهش دهد. این میزان در محلات پرتقاضا مانند بهجت آباد و سنایی به بیش از 40000 کیلوگرم در هفته می رسد.

عوامل مؤثر بر پذیرش سیستم: بر اساس نتایج رگرسیون لجستیک ($Pseudo R^2 = 0.05$)، جوانان بدون خودروی شخصی با درآمد متوسط (15 تا 30 میلیون تومان) بیشترین تمایل را به استفاده از میکروموبیلیتی دارند. سن (ضریب منفی 0.0056)، مالکیت خودرو (ضریب منفی 1.57) و درآمد بالای 30 میلیون (ضریب منفی 0.086) اثر کاهشی بر تمایل دارند.

مکان یابی بهینه ایستگاه ها: تحلیل فضایی با ArcGIS نشان داد که جانمایی ایستگاه ها در شعاع 300 متری ایستگاه های حمل و نقل عمومی و در مجاورت مراکز

جذب سفر (فعالیت های کاری با امتیاز 4.47 و مراکز تحصیلی با امتیاز 4.12) تأثیر زیادی در افزایش بهره وری سیستم دارد. بر این اساس، 41 ایستگاه بهینه در سطح منطقه پیشنهاد شد. خوشه های کاهش کربن: بیشترین پتانسیل کاهش کربن در گروه سنی 25 تا 35 سال بدون خودروی شخصی با درآمد 15 تا 30 میلیون تومان مشاهده شد (کاهش 29.8 تا 43.9 کیلوگرم در هفته). در مقابل، افراد با درآمد بالای 30 میلیون و به ویژه در گروه سنی 15 تا 25 سال، کمترین تمایل و تقریباً صفر کاهش کربن را نشان دادند.

4-2- مقایسه با پیشینه پژوهش و نوآوری تحقیق

یافته های این پژوهش با نتایج مطالعات بین المللی همسویی قابل توجهی دارد: همسویی با (Oeschger, Caulfield, & Carroll, 2023): تأیید شد که سن، جنسیت و سبک زندگی از عوامل کلیدی در پذیرش میکروموبیلیتی هستند و نسل های جوان تمایل بیشتری به این روش حمل و نقل دارند.

همسویی با (Brecht, Gent, & Renes, 2022): تأیید شد که انتقال از خودروهای شخصی به حمل و نقل اشتراکی عمدتاً یک مسئله رفتاری است و عوامل

اقتصادی (مانند درآمد و مالکیت خودرو) نقش تعیین کننده‌ای دارند.

- تأیید مطالعه (Guan, van Lierop, An, Heinen, & Ettema, 2024): نتایج نشان داد که میکروموبیلیتی می‌تواند به برابری حمل‌ونقل کمک کند، زیرا افراد کم‌درآمد تمایل بیشتری به استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی نشان دادند (بر خلاف اسکوترهای برقی که در مطالعات قبلی برای گروه‌های کم‌درآمد جذابیت کمتری داشتند).

نوآوری پژوهش حاضر نسبت به پیشینه:

1. ارائه مدل ترکیبی مکانی-رفتاری برای مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی در منطقه 6 تهران که تاکنون مشابه آن برای این محدوده انجام نشده است.
2. کمی‌سازی دقیق کاهش کربن به ازای هر گروه اجتماعی-اقتصادی بر اساس داده‌های بومی (میزان انتشار 187 گرم بر کیلومتر برای خودروهای ایرانی).
3. شناسایی خوشه‌های کاهش کربن در سطح محلات منطقه 6 که می‌تواند مبنای توزیع عادلانه زیرساخت‌ها قرار گیرد.

3-4- پیشنهادهای کاربردی برای سیاست‌گذاران و شهرداری تهران

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای عملیاتی زیر برای توسعه سیستم‌های میکروموبیلیتی در منطقه 6 تهران ارائه می‌شود:

اولویت‌بندی گروه‌های هدف: با توجه به بالاترین پتانسیل کاهش کربن در گروه سنی 25-35 سال بدون خودروی شخصی و با درآمد متوسط، پیشنهاد می‌شود کمپین‌های ترویجی و مشوق‌های اقتصادی (مانند نیمه‌بهای ماهانه) ابتدا روی این گروه متمرکز شود. جانمایی ایستگاه‌ها بر اساس تحلیل مکانی: 41 ایستگاه پیشنهادی در این پژوهش (مستخرج از تحلیل Kernel Density) در اولویت احداث قرار گیرند. اولویت اول: محلات بهجت‌آباد، سنایی و امیرآباد با بیشترین کاهش کربن (بیش از 40000 کیلوگرم در هفته).

فاصله استاندارد از حمل‌ونقل عمومی: ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی در شعاع 100 تا 300 متری

ایستگاه‌های مترو و بی‌آرتی احداث شوند (مطابق با خواست 156 نفر از پاسخ‌دهندگان).

مسیرهای ایمن: اولویت احداث مسیرهای دوچرخه‌سواری با خیابان‌های جمع‌وپخش‌کننده (121 بار انتخاب توسط پاسخ‌دهندگان) و خیابان‌های فرعی (105 بار انتخاب) شروع شود.

مشوق‌های اقتصادی هدفمند: ارائه یارانه یا تخفیف اشتراک ماهانه برای افراد با درآمد کمتر از 5 میلیون تومان (که کاهش کربن بالایی داشته‌اند اما احتمالاً توان مالی کمی دارند).

4-4- پیشنهادهای پژوهشی برای مطالعات آینده

پژوهش ترکیبی با داده‌های کیفی: انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با شهروندانی که تمایل به استفاده از میکروموبیلیتی ندارند تا دلایل عمیق‌تر عدم پذیرش (مانند نگرانی‌های ایمنی، هنجارهای اجتماعی، ضعف فرهنگ‌سازی) شناسایی شود.

مدل‌سازی پویا با داده‌های لحظه‌ای: استفاده از داده‌های ردیابی GPS یا اپلیکیشن‌های موبایل برای ثبت دقیق سفرهای واقعی و تأثیر ساعات پیک ترافیک بر انتخاب مد سفر.

ارزیابی پس از اجرا: پس از احداث ایستگاه‌های پیشنهادی در منطقه 6، مطالعه مجدد با همان روش‌ها برای سنجش میزان تحقق کاهش کربن پیش‌بینی‌شده. مقایسه بین منطقه‌ای: تکرار این پژوهش در مناطق دیگر تهران (مثلاً منطقه 1 با ویژگی‌های توپوگرافی متفاوت و منطقه 22 با بافت جدید) برای شناسایی تأثیر عوامل کالبدی و اجتماعی بر کارایی میکروموبیلیتی.

تحلیل هزینه-فایده: انجام مطالعه اقتصادی برای محاسبه نرخ بازگشت سرمایه احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی در تهران با در نظر گرفتن ارزش ریالی کاهش آلودگی هوا.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی پاسخ‌دهندگانی که با تکمیل پرسشنامه در انجام این پژوهش مشارکت کردند، سپاسگزاری می‌کنند.



Mode substitution induced by electric mobility hubs: Results from Amsterdam. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104118>

Litman, T. (2016). Evaluating transportation land use impacts. Victoria Transport Policy Institute. <http://www.vtpi.org/landuse.pdf>

Lotfi, S., Sholeh, M., Farmand, M., & Fattahi, K. (2016). Developing urban design criteria for zero-carbon neighborhoods. *Naqsh-e Jahan - Theoretical Studies and New Technologies of Architecture and Urban Planning*, 6(1), 80-92. [in Persian] https://bsnt.modares.ac.ir/article_768.html

Mousavi Sarvinch Baghi, E. S., & Ranjbar, E. (2020). Toward low-carbon urban design based on integrated analysis of carbon-generation sources (Case study: Semnan). *Journal of Environmental Research*, 11(21), 143-156. [in Persian] https://www.iranciap.ir/article_125477.html

Nikiforiadis, A., Martín, I. C., Salanova Grau, J. M., Ayfantopoulou, G., & Basbas, S. (2023). Geofencing and city dashboards for micromobility: Identifying the needs of cities, operators and technology providers. *Transportation Research Procedia*, 69(10), 663-670. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.221>

Nikitas, A., Thomopoulos, N., & Milakis, D. (2021). The environmental and resource dimensions of automated transport: A nexus for enabling vehicle automation to support sustainable urban mobility. *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 167-192. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-024657>

NNDP. (2025). [undp.org. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-05/undp_iran_aq_factsheet-may_2025_final.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-05/undp_iran_aq_factsheet-may_2025_final.pdf)

Oeschger, G., Caulfield, B., & Carroll, P. (2023). Investigating the role of micromobility for first- and last-mile connections to public transport. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2023.100001>

Olabi, A. G., Awotwe, T. W., Obaideen, K., Sayed, E. T., Shehata, N., Alami, A., & Abdelkareem, M. A. (2023). Micromobility:

¹Zero Carbon City

²Low Carbon City

³Micromobility

⁴Shared Mobility

References

Bieliński, T., Kwapisz, A., & Ważna, A. (2021). Electric bike-sharing services mode substitution for driving, public transit, and cycling. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 96(23). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102883>

Brecht, J., Gent, M., & Renes, R. (2022). CO2 reduction through shared mobility: A review of psychological factors for the switch from private car to shared transport. *Research Group Psychology for Sustainable Cities*. https://vb.nweurope.eu/media/18193/2022_vbrec ht-van-gent-renes_co2-reduction-through-shared-mobility_a-literature-review.pdf

Charlton, E. (2023). These 10 cities are leading the way with plans to cut carbon emissions. <https://www.weforum.org/stories/2023/10/europe-cities-cut-carbon-emissions-greenhouse/>

Dimitrios, M., Laura, G., Daniel, E., & Barbara, L. (2020). Is micro-mobility sustainable? An overview of implications for accessibility, air pollution, safety, physical activity and subjective wellbeing. In C. Carey, *Handbook of Sustainable Transport*. <https://elib.dlr.de/134566/>

Ferenchak, N. N. (2024). Traffic safety for all road users: A paired comparison study of small & mid-sized U.S. cities with high/low bicycling rates. *Journal of Cycling and Micromobility Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2024.100010>

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>

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(22), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105298>

Liao, F., Vleugel, J., Bösehans, G., Dissanayake, D., Thorpe, N., Bell, M., ... Almedia, C. (2024).



62_North_American_Carsharing_A_Ten-Year_Retrospective

Shamsoddini, A., & Ahmadi, W. (2020). Spatio-temporal estimation of carbon monoxide and nitrogen dioxide based on remote sensing data and ancillary data in Tehran. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(3), 107-124. <https://doi.org/10.22126/ges.2020.4227.2057>

Tan, S., Yang, J., Yan, J., Lee, C., Hashim, H., & Chen, B. (2017). A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development. *Applied Energy*, 185, 1919-1930. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.041>

Wong, S. D., Broader, 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. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100131>

Younes, H., Andrews, C., Noland, R. B., Xia, J., Wen, S., Zhang, W., ... Gong, J. (2024). The traffic calming effect of delineated bicycle lanes. *Journal of Urban Mobility*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2024.100071>

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>

Philips, I., Anable, J., & Chatterton, T. (2022). E-bikes and their capability to reduce car CO2 emissions. *Transport Policy*, 116, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.11.019>

Pourmohammadi, M., & Asadi, A. (2014). An introduction to sustainable urban development with emphasis on its concept, characteristics, and indicators. *National Conference on Sustainable Architecture and Urban Landscape*. [in Persian] <https://civilica.com/doc/290270/>

Roig-Costa, O., Miralles-Guasch, C., & Marquet, O. (2024). Shared bikes vs. private e-scooters: Understanding patterns of use and demand in a policy-constrained micromobility environment. *Transport Policy*, 146, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.11.010>

Shaheen, S. A., Cohen, A., & Chung, M. (2008). North American carsharing: A ten-year retrospective. *Institute of Transportation Studies*. <https://www.researchgate.net/publication/464399>