ارزیابی امکان‌سنجی توسعه و بهره‌برداری از دوچرخه‌های برقی (E-Bikes) با رویکرد توسعه پایدار (مطالعه موردی: شهرک غرب تهران)

مقاله علمی- پژوهشی

سید محمد مهدی دریاباری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

*عبدالرضا شیخ‌الاسلامی (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

شاهین حسنی، دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

هانیه ملوک زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Sheikh@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۰۵

صفحه ۲۲۶-۲۰۱

چکیده

رشد جمعیت کلان‌شهرها و وابستگی به خودروی شخصی، گذار به حمل‌ونقل پایدار را ضروری کرده است. دوچرخه‌های برقی در حمل‌ونقل خرد می‌توانند پویایی شهری را بهبود دهند، اما پذیرش آن‌ها به ارزش‌ها و رفتار سفر شهروندان وابسته است. این پژوهش امکان‌سنجی دوچرخه برقی را در منطقه خودرومحور شهرک غرب تهران بررسی می‌کند. داده‌ها از ۳۸۴ نفر با نمونه‌گیری تصادفی و پرسشنامه معتبر گردآوری شد. برای اولویت‌بندی ابعاد توسعه پایدار از AHP و برای پیش‌بینی پذیرش از درخت تصمیم استفاده شد. نتایج به‌طورکلی نشان داد بُعد اجتماعی با وزن ۰/۶۱۴ اولویت نخست است و «ایمنی و امنیت» با وزن ۰/۳۰۸ شرط اصلی پذیرش محسوب می‌شود. سپس «سلامت و فعالیت بدنی» (۰/۲۸۹) و «صرفه‌جویی زمان سفر» (۰/۱۶۴) قرار گرفتند. بُعد اقتصادی با وزن ۰/۲۸۷ در رتبه بعدی است و کاهش هزینه‌های جاری از هزینه اولیه مهم‌تر ارزیابی شد. در مقابل، بُعد زیست‌محیطی با وزن ۰/۰۹۹ کم‌اهمیت بود و کاهش تراکم ترافیک و بهبود کیفیت هوا بر دغدغه‌های ایمنی و زمان غلبه نکرد. مدل درخت تصمیم با دقت نزدیک ۹۰٪، مسافت سفر روزانه را قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده و نگرانی سرقت و مالکیت خودرو را عوامل کلیدی معرفی کرد. بازار بالقوه عمدتاً در سفرهای ۳ تا ۱۵ کیلومتر، میان جوانان و خانوارهای تک‌خودرو شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، درخت تصمیم، دوچرخه برقی، حمل‌ونقل، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

۱- مقدمه

رشد روزافزون جمعیت کلان‌شهرها در جهان، همراه با افزایش تمایل جامعه به استفاده از وسایل نقلیه موتوری، مشکلات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی متعددی را به همراه آورده است. بیش از ۹۰ درصد جمعیت شهری جهان در معرض غلظت‌های بالاتر از حد مجاز ذرات $PM_{2.5}$ (ذرات معلق ریز کمتر از ۲/۵ میکرون) قرار دارند این مسئله نه تنها سلامت عمومی را تهدید می‌کند، بلکه با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به تغییرات اقلیمی دامن می‌زند و اهداف توسعه پایدار

را چالش‌برانگیز می‌سازد (World Health Organization, 2024). تهران به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین کلان‌شهرهای جهان، طی دو دهه گذشته شاهد وخامت مداوم کیفیت هوا بوده است. داده‌های بلندمدت کیفیت هوای تهران نشان از تشدید قابل توجه بحران آلودگی هوا دارد. بر پایه داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، میانگین روزهای پاک از ۲۳ روز در دهه ۱۳۸۰ به ۱۶ روز در دهه ۱۳۹۰ و تنها ۵ روز در سال ۱۴۰۰ کاهش یافته است. به‌گونه‌ای که شهروندان تهرانی در این دو دهه به‌طور متوسط تنها ۱۷ روز در سال هوای پاک تنفس کرده‌اند. به موازات آن، دو دهه اخیر بیش از ۲۸ درصد روزهای سال در شرایط ناسالم سپری شده است. روند افزایشی تعداد روزهای ناسالم نیز بسیار نگران‌کننده است و از ۹ روز در دهه ۹۰ به ۱۷ روز در سه سال اخیر رسیده است، که نشان‌دهنده افزایش ۹۳ درصدی و شرایط بحرانی است (iranstatis,2024).

علی‌رغم اجرای سیاست‌های متعدد نظیر طرح ترافیک، توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی، ارتقای استانداردهای سوخت و اسقاط خودروهای فرسوده، رشد سریع جمعیت و افزایش چشمگیر ناوگان خودروهای شخصی، بهبود پایدار کیفیت هوا را دشوار ساخته است. این اقدامات عمدتاً بر کنترل وسایل نقلیه موتوری تمرکز داشته‌اند، اما تجربه نشان می‌دهد که برای دستیابی به نتایج بلندمدت، نیاز به راه‌حل‌های پایدارتر و متنوع احساس می‌شود (Seyedabrishami et al., 2017; Sun et al., 2020; Ayazi and Sheikholeslami, 2020; Zarrinmehr and Moloukzede, 2021; Ajdari et al., 2023; Zarrinmehr and Mohammad Hasany, 2023; Zarrinmehr and Moloukzade, 2023; Khazaeizadeh et al., 2024; MohamadiZadeh et al., 2024; Doraki et al., 2025; Moloukzade et al., 2025; Vanak, 2025).

یکی از مؤثرترین گزینه‌های حمل‌ونقل پاک شهری، استفاده از سیستم دوچرخه‌سواری است. این شیوه حمل‌ونقل با مزایایی نظیر هزینه پایین، عدم مصرف سوخت فسیلی، کاهش ترافیک شهری و نبود اثرات منفی زیست‌محیطی، می‌تواند نقش کلیدی در بهبود کیفیت هوا ایفا کند. با این حال، چالش‌هایی نظیر مسافت‌های طولانی، شیب‌های شهری و نیاز به توان فیزیکی بالا، استفاده گسترده از دوچرخه‌های سنتی را برای بسیاری از شهروندان چالش‌برانگیز کرد. در دهه‌های اخیر فناوری با معرفی دوچرخه‌های برقی (E-Bikes) به این چالش‌ها پاسخ داده است (Moradi and Rahimi 2025; Shirmohammadi, Rahimi, and Hadadi 2023; Faghihi and Rafieian 2024; Nazarpour and Saedi 2020).

دوچرخه‌های برقی شباهت زیادی به مدل‌های سنتی دارند، اما تجهیزات پیشرفته‌ای نظیر باتری، کنترل‌کننده و موتور، عملکرد آن‌ها را متمایز می‌سازد. انواع متنوعی از دوچرخه‌های برقی از مدل‌های شبیه به دوچرخه‌های معمولی تا نزدیک به اسکوتر با تفاوت‌هایی در سرعت، طراحی و نحوه کنترل (دسته گاز یا کمک‌پدال) وجود دارد. توان موتور معمولاً ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات، وزن آن‌ها ۲۰ تا ۴۵ کیلوگرم، برد تا ۱۵۰ کیلومتر و سرعت کمتر از ۴۵ کیلومتر بر ساعت است. برخی مدل‌ها حسگر گشتاور دارند که نیروی کمکی را بر اساس تلاش دوچرخه‌سوار تنظیم می‌کند، و سیستم احیای انرژی در ترمزگیری، بخشی از انرژی را به باتری بازمی‌گرداند. دوچرخه‌های برقی با ترکیب نیروی انسانی و موتور کمکی الکتریکی، تمام مزایای زیست‌محیطی و سلامتی دوچرخه‌سواری سنتی را حفظ می‌کنند، در حالی که موانع اصلی مانند مسافت طولانی، شیب تند و خستگی را برطرف می‌سازند. این ویژگی، دایره کاربران را به طور قابل توجهی گسترش می‌دهد(Rose, 2011).

دوچرخه‌های برقی پتانسیل تغییر حمل‌ونقل شخصی را دارند و از طریق کاهش ازدحام ترافیکی و ایجاد جوامع پیاده‌محور و دوست‌دار دوچرخه، به ایجاد جوامع سالم‌تر کمک می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد استفاده از دوچرخه‌های برقی توسط سالمندان به آن‌ها این امکان را می‌دهد که مسافت‌های طولانی یا مسیرهای دشوار را حتی در شرایط نامساعد طی کنند و همچنان با وجود افزایش سن و محدودیت‌های جسمی، از نظر اجتماعی فعال بمانند. برای افراد با محدودیت‌های جسمی یا ناتوانی، دوچرخه‌های برقی ویژه‌ای موجود است که به آن‌ها امکان می‌دهد به راحتی رکاب بزنند و تحرک مستقل در جامعه خود داشته باشند (Bieliński and Ważna, 2018; Ważna, 2017).

از منظر سلامتی، E-Bikes همچنان فعالیت بدنی متوسط ایجاد می‌کنند. شدت فعالیت در آن‌ها کمتر از دوچرخه سنتی اما بالاتر از رانندگی یا حمل‌ونقل عمومی است و می‌تواند به دستیابی به حداقل ۱۵۰ دقیقه فعالیت هوازی هفتگی کمک کند (Saunders et al., 2013; Sampieri and Paoli, 2025).

از دیدگاه زیست‌محیطی، دوچرخه‌های برقی در مقایسه با سایر وسایل نقلیه مانند خودروها، وسایل نقلیه الکتریکی و موتورسیکلت‌ها، به عنوان گزینه‌ای دوستدار محیط زیست به شمار می‌روند. مطالعات نشان می‌دهند:

-یک خودروی بنزینی سبک به‌طور متوسط ۴۰ برابر انرژی بیشتر و ۵۵ برابر CO_2 بیشتر نسبت به دوچرخه‌های برقی مصرف و منتشر می‌کند (Zhang and Tak 2021).

-دوچرخه‌های برقی حتی در مقایسه با خودروهای تمام‌الکتریکی کوچک، حدود ۸–۱۰ برابر انرژی کمتری در هر ۱۰۰ کیلومتر مصرف می‌کند (F. Zhang et al. 2024; Weiss et al. 2015).

-اتوبوس دیزلی به ازای هر مسافر-کیلومتر تا ٤٤ برابر انرژی بیشتری مصرف می‌کند (Baptista et al., 2015).

-جایگزینی موتورسیکلت‌های بنزینی با دوچرخه‌های برقی در هر سفر شهری به‌طور متوسط ۷۰ گرم CO_2 و ۳/۵ گرم NO_x صرفه‌جویی می‌کند و هیچ انتشار مستقیم اگزوز ندارد (Iodice et al., 2014).

-در مسیرهای شیب‌دار نیز دوچرخه‌های برقی همچنان ٤–۱۳ درصد CO_2 و ٤–۱۲ درصد NO_x کمتر از خودروهای الکتریکی کم‌مصرف منتشر می‌کند (Baptista et al., 2015).

باتوجه به مزایای سلامتی، کارایی سفر و زیست‌محیطی، دوچرخه‌های برقی در کشورهای توسعه‌یافته به عنوان جایگزین پایدار وسایل نقلیه بنزینی، به طور فزاینده‌ای محبوب شده‌اند به‌گونه‌ای که بازار جهانی دوچرخه‌های برقی در ۲۰۲۵ به ٥٤/۱ میلیارد دلار رسیده است (Bigazzi and Wong 2020; de Kruijf et al. 2018; Fan and Harper 2022; Kroesen 2017; Grand View Research 2025).

دوچرخه‌سواری پس از پیاده‌روی، رایج‌ترین شیوه حمل‌ونقل است و سهم آن در کشورهای پیشرو رو به افزایش است. جدول ۱، سهم سفرهای شهری با دوچرخه را در شهرهای منتخب نشان می‌دهد. این آمار پتانسیل رشد در اقتصادهای در حال توسعه مانند ایران را برجسته می‌کند، جایی که پذیرش دوچرخه هنوز محدود است (Tafazoli and Nabizadeh, 2011).

اگرچه عوامل ابزاری مانند زیرساخت‌های اختصاصی دوچرخه‌سواری و ایستگاه‌های شارژ، پیش‌نیاز رشد تحرک فعال هستند، اما ایجاد آن‌ها زمان‌بر و پرهزینه است. مطالعات نشان می‌دهند که در مراحل اولیه پذیرش ریزتحرک، انگیزه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تأثیر قوی‌تری دارند (Bretones and Marquet 2022).

با توجه به ظرفیت بالای دوچرخه‌های برقی در کاهش ترافیک، بهبود کیفیت هوا، ارتقای سلامت عمومی و حمایت از اهداف توسعه پایدار، پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی جامع بهره‌گیری از این وسیله در تهران انجام شده است. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی چندبعدی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پذیرش دوچرخه برقی با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل اهمیت-عملکرد (IPA) است.

جدول۱. مقایسه سهم روش حمل‌ونقل دوچرخه در سفرهای شهری در برخی از شهرهای جهان

شهر	جمعیت (میلیون)	سهم سفرهای دوچرخه (درصد)
مسکو	۸,۳	۲٤
توکیو	۸,۱	۲۵
ارلانگن (آلمان)	۰,۱	۲٦
گرونینگن (هلند)	۰,۱۷	۵۰
تیانجین (چین)	۳,۷	۷۷
تهران	۱٤	۱,۲

۲- پیشینه تحقیق

در دهه اخیر، ادبیات گسترده‌ای پیرامون استفاده از دوچرخه‌های برقی به عنوان راه‌حلی پایدار برای چالش‌های حمل‌ونقلی منتشر شده است. مطالعات اولیه بر پتانسیل دوچرخه‌های برقی در گسترش دسترسی به دوچرخه‌سواری تمرکز داشتند. ررات (۲۰۲۱)، با بررسی نظرسنجی از ۱٤ هزار دوچرخه‌سوار در سوئیس، نشان داد که دوچرخه‌های برقی موانعی مانند مسافت طولانی، شیب و تلاش فیزیکی را برطرف می‌کنند و گروه‌های بیشتری مانند زنان، زوج‌های دارای فرزند، افراد بالای ٤۰ سال، افراد با محدودیت جسمی و ساکنان حومه را به دوچرخه‌سواری توانمند می‌سازد (Rérat, 2021). به طور مشابه، جونز و همکاران (۲۰۱٦) در هلند و بریتانیا دریافتند که انگیزه اصلی خرید E-Bike، حفظ عادت دوچرخه‌سواری در برابر تغییرات سنی یا خانوادگی است و این وسیله فرصت‌های جدیدی برای افراد با محدودیت‌های جسمی ایجاد می‌کند (Jones et al., 2016).

دوچرخه‌های برقی تأثیر قابل توجهی بر رفتار سفر دارند و اغلب جایگزین شیوه‌های دیگر حمل‌ونقل می‌شوند. هوانگ و همکاران (۲۰۲٤) با بررسی تأثیردوچرخه برقی بر تحرک پایدار در هلند دریافتند سهم مسافت دوچرخه برقی در حال افزایش است و تفاوت‌های جنسیتی و نسلی (زنان بیشتر از مردان استفاده می‌کنند و شکاف در جوانان بیشتر از سالمندان است) مشهود است. مالکیت دوچرخه برقی استفاده از از خودرو و حمل‌ونقل عمومی کاهش می‌دهد (Huang et al., 2024). کراوزن (۲۰۱۷)، نیز تأیید کرد که مالکیت دوچرخه برقی استفاده از دوچرخه سنتی را کاهش می‌دهد و کاربران کمتر از خودرو و حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌کنند(Kroesen, 2017). اما در مطالعه‌ای دیگر توسط ملیا و بارتل (۲۰۲۱) ، با نظرسنجی از ۲۰۹۲ کاربر و بالقوه کاربر دوچرخه‌های برقی در بریتانیا دریافتند اکثر کاربران دوچرخه‌های برقی همچنان از دوچرخه سنتی نیز استفاده می‌کنند، محدودیت‌های فیزیکی (به ویژه برای مسیرهای شیب‌دار) دلیل اصلی تغییر به دوچرخه‌های برقی است (Melia & Bartle, 2021). ررات،مارینک و راولوت (۲۰۱۵) با نظرسنجی از ۱٤٦٦ نفر در لوزان سوئیس نشان دادند که دوچرخه‌های برقی به طور مکرر برای اهداف کاربردی جایگزین حمل‌ونقل عمومی، پیاده‌روی، خودرو و دوچرخه معمولی می‌شوند و می‌توانند کاربران را از خرید خودرو یا کارت اشتراکی بازدارند (Rérat et al., 2025).

عوامل پذیرش دوچرخه برقی نیز به طور گسترده بررسی شد. ژانگ و همکاران (۲۰۲٤) چین صرفه‌جویی هزینه را اصلی‌ترین انگیزه دانستند و عوامل اجتماعی-جمعیتی و زیرساخت‌ها را مؤثر یافتند (X. Zhang et al., 2024). زابیولا و همکاران (۲۰۲۳) در هند عامل کلیدی انگیزه‌های فایده کاربر، کیفیت سفر و موانع زیرساختی شناسایی کردند (Zabiulla et al., 2024). پلازییر و همکاران (۲۰۱۸) در مناطق روستایی هلند، به ویژه در گروه‌های اقتصادی-اجتماعی پایین جامعه، پتانسیل استفاده از دوچرخه‌های برقی برای کاهش وابستگی به خودرو را برجسته کردند (P. Plazier et al., 2018) .

دوچرخه‌های برقی پتانسیل بالایی برای تحرک مستقل سالمندان دارند. لجر و همکاران (۲۰۱۹) در کانادا بر اساس چارچوب مفهومی تحرک سالمندان و روش‌های کیفی با مصاحبه از ۱۷ ذی‌نفع جامعه و ۳۷ سالمند نشان دادند سابقه دوچرخه‌سواری، ارتباطات اجتماعی و محدودیت‌های فیزیکی بر پذیرش دوچرخه‌سواری دیرهنگام تأثیرگذار است؛ تسهیل‌کننده‌ها شامل راحتی بیشتر، تلاش فیزیکی کمتر، کاهش وابستگی به خودرو و لذت است، در حالی که موانع زیرساخت‌های دوچرخه، ایمنی جاده، مقررات و انگ اجتماعی بودند (Leger et al., 2019).

مطالعه دیگری بر روی ۳۵۷ کاربر سالمند در فلاندرز بلژیک با استفاده از پرسشنامه آنلاین و مصاحبه نیز به نتایج مشابه این یافته‌ها دست یافتند (Van Cauwenberg et al., 2019).

پلازییر، ویتکمپ و واندن (۲۰۱۷)، پتانسیل استفاده از دوچرخه برقی در میان دانشجویان جوان را با نظرسنجی از ۳۷ شرکت‌کننده پایلوت در شهر دانشگاهی هلند و مصاحبه با ۸ نفر بررسی کردند و دریافتند دانشجویان سرعت، راحتی استفاده و استقلال از برنامه‌های حمل‌ونقل عمومی را ارزشمند می‌دانند، اما هزینه بالای دوچرخه‌های برقی در رقابت با دوچرخه‌های ارزان و حمل عمومی رایگان، اصلی‌ترین مانع است.

دوچرخه‌های برقی پتانسیل بالایی برای جایگزینی حمل عمومی دارد (P. A. Plazier et al., 2017). جوکیچ و همکاران (۲۰۲۲) مشوق‌های مالی را قوی‌ترین عامل نیت استفاده در دانشجویان صربستان اعلام کردند (Djokic et al., 2023).

مطالعه‌ای در ویتنام نقش والدین در اجازه استفاده نوجوانان را بررسی کرد نتایج نشان داد که فایده ادراک‌شده (باور به مفید بودن e-bike برای کارایی بیشتر)، نگرش مثبت، فشارهای اجتماعی (هنجارهای ذهنی) و حس کنترل بر رفتار (کنترل رفتاری ادراک‌شده)، تأثیر مثبت و مستقیمی بر تمایل والدین به اعطای اجازه دارند؛ همچنین، سهولت استفاده ادراک‌شده (راحتی کار با e-bike) تأثیر غیرمستقیم مثبتی بر این تمایل ایفا می‌کند. در مقابل، ریسک ادراک‌شده (شامل خطر تصادف، مشکلات فنی و هزینه‌های مالی) تأثیر منفی معناداری دارد و این مانع برای والدین پسران شدیدتر است. علاوه بر این، جنسیت نوجوان، درآمد ماهانه خانوار و نوع محل سکونت (شهری یا روستایی) بر این عوامل تعدیل‌کننده عمل می‌کنند (Nguyen et al., 2023). همچنین در مطالعه دیگری دریافتند که باور والدین به مفید و ایمن بودن e-bike، توجه به ترجیحات فرزندان، نگرش مثبت و حمایت اجتماعی، استفاده نوجوانان و حمایت والدین را افزایش می‌دهد؛ آگاهی زیست‌محیطی فقط حمایت را پیش‌بینی می‌کند، سهولت استفاده با استفاده واقعی مرتبط است (Nguyen et al., 2024).

در نهایت، مسائل ایمنی نیز مورد توجه قرار گرفت. هاوستین و مولر (۲۰۱۶) با تحلیل داده‌های نظرسنجی آنلاین از ۶۸۵ کاربر دوچرخه برقی در دانمارک که حداقل یک ماه دسترسی به آن داشتند و به طور منظم استفاده می‌کردند، عوامل فردی مؤثر بر احساس ایمنی و درگیری در حوادث خطرناک را با استفاده از روش رگرسیون بررسی کردند. نتایج نشان داد که سبک رانندگی (سواری) و نگرش مثبت به دوچرخه برقی مانند هیجان از سرعت نقش اصلی در احساس ایمنی و وقوع حوادث دارند؛ افراد مسن‌تر و زنان احساس ایمنی کمتری گزارش کردند. همچنین، ۲۹ درصد کاربران حداقل یک حادثه بحرانی را تجربه کرده بودند که با دوچرخه معمولی رخ نمی‌داد؛ دلیل اصلی این حوادث، دست‌کم‌گرفتن سرعت دوچرخه برقی توسط دیگر کاربران جاده مانند رانندگان خودرو و مشکل دوچرخه سوار در کنترل سرعت بود. سالمندان بیشتر به مشکل تعادل به دلیل وزن سنگین دوچرخه برقی اشاره کردند. (Haustein & Møller, 2016). فیری و همکاران (۲۰۱۹)، با تحلیل داده‌های سه نظرسنجی از ۷۷۵۲ نفر در نروژ، ریسک تصادف دوچرخه‌های برقی را در مقایسه با دوچرخه‌های معمولی، با کنترل سن، جنسیت و میزان قرارگیری در معرض ریسک از طریق رگرسیون لجستیک بررسی کردند و دریافتند ریسک کلی تصادفات دوچرخه‌های برقی به نسبت دوچرخه های سنتی بالاتر است، اما این افزایش عمدتاً به زنان نسبت داده می‌شود (در مردان تفاوتی مشاهده نشد) و بخشی از آن به عدم آشنایی کاربران با دوچرخه‌های برقی باز می‌گردد (Fyhri et al., 2019).

با وجود ادبیات غنی در کشورهای توسعه‌یافته که مزایای گسترده استفاده از دوچرخه‌های برقی در کاهش آلودگی هوا، ازدحام ترافیکی و ارتقای سلامت عمومی را اثبات کرده است، نرخ پذیرش این وسیله در کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه مانند تهران همچنان بسیار پایین است. بر اساس داده‌های اخیر، سهم دوچرخه‌سواری (شامل دوچرخه‌های برقی) در سفرهای شهری تهران کمتر از ۲ درصد برآورد می‌شود (hamshahrionline,2021). این شکاف میان پتانسیل تئوریک و واقعیت عملی، عمدتاً ناشی از کمبود مطالعات بومی است که ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و رفتاری را به‌طور همزمان و در بستر محلی بررسی کنند. پژوهش حاضر با تمرکز بر مطالعه موردی شهرک غرب تهران به عنوان یک محدوده مرفه‌نشین با پتانسیل بالا، این خلأ را پر می‌کند و امکان‌سنجی جامعی با رویکرد توسعه پایدار ارائه می‌دهد. ضرورت انجام این مطالعه از سه منظر اصلی برجسته می‌شود:

–اهمیت نظری: این پژوهش با تلفیق روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و الگوریتم درخت تصمیم، چارچوبی نوآورانه برای تحلیل همزمان نظام ارزشی شهروندان (اولویت‌های ادراک‌شده) و الگوهای رفتاری (قصد واقعی استفاده) ارائه می‌دهد. این رویکرد دوگانه، درک عمیق‌تری از پدیده شناخته‌شده «شکاف نگرش–رفتار» در پذیرش فناوری‌های حمل‌ونقل پایدار فراهم می‌آورد و به غنای ادبیات نظری در حوزه رفتار حمل‌ونقلی و توسعه پایدار کمک شایانی می‌کند.

–اهمیت کاربردی: نتایج این مطالعه، نقشه راه عملیاتی و داده‌محوری برای سیاست‌گذاران شهری، شهرداری تهران و وزارت راه و شهرسازی فراهم می‌کند. به‌جای پیشنهادهای کلی، راهبردهای هدفمند و مبتنی بر شواهد در حوزه‌های زیرساختی، اقتصادی و ترویجی تدوین خواهد شد. این رویکرد از اتلاف منابع در اجرای طرح‌های ناکارآمد جلوگیری کرده و به تحقق سیاست‌های اخیر شهرداری تهران در برقی‌سازی ناوگان و توسعه ریزتحرک کمک می‌کند.

-اهمیت روش‌شناختی: کاربرد موفق روش ترکیبی AHP و درخت تصمیم در امکان‌سنجی حمل‌ونقل پایدار، الگویی قابل‌تعمیم برای سایر شهرهای ایران و کشورهای در حال توسعه با چالش‌های مشابه آلودگی هوا، زیرساخت‌های ناکافی و تفاوت‌های فرهنگی-اقتصادی ارائه می‌دهد.

در نهایت، این پژوهش با پاسخ به پرسش کلیدی «کدام عوامل و با چه اولویتی پذیرش دوچرخه‌های برقی را در یک محله خاص تهران تعیین می‌کنند؟» گامی مؤثر در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار شهری، کاهش آلودگی هوای تهران و حرکت به‌سوی حمل‌ونقل کم‌کربن برمی‌دارد.

۳- روش‌شناسی

پژوهش حاضر از رویکرد استقرایی پیروی می‌کند، و با شناسایی عوامل مؤثر آغاز می‌شود و به تدوین مدل پیش‌بینی رفتار و اولویت‌بندی عوامل منجر می‌شود. مدل تحقیق بر پایه داده‌های واقعی شهروندان ساخته شده و از طریق تحلیل‌های تجربی اعتبارسنجی می‌گردد. از نظر هدف، این پژوهش کاربردی است و به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای حل مشکل حمل‌ونقل پایدار در کلان‌شهرها است. از نظر شیوه اجرا، تحقیق توصیفی-تحلیلی است و بدون دخالت مستقیم در پدیده، بر واقعیت‌های موجود و نظرات شهروندان تمرکز دارد. این روش عوامل مؤثر بر امکان‌سنجی استفاده از دوچرخه‌های برقی را شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی می‌کند.

۳-۱- جامعه آماری، محدوده مورد مطالعه و دلایل انتخاب محدوده

جامعه آماری پژوهش شامل ساکنان و کاربران روزانه شهرک غرب تهران است که گروه‌های متنوعی از شاغلان، دانشجویان، دانش‌آموزان و شهروندان عادی را دربرمی‌گیرد.

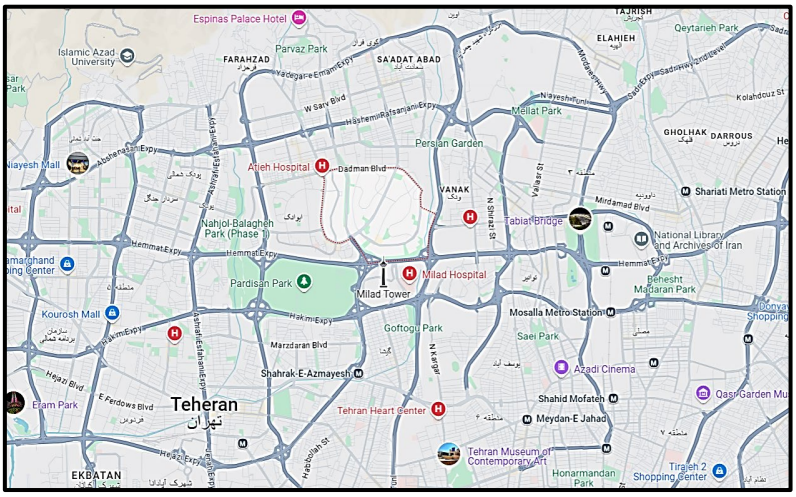
شهرک غرب (شهرک قدس) در منطقه ۲ شهرداری تهران واقع شده‌است و از شمال به بزرگراه نیایش و سعادت‌آباد، از جنوب به بزرگراه همت، از شرق به بزرگراه چمران و از غرب به بزرگراه یادگار امام محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت مکانی این محدوده را نمایش می‌دهد. شهرک غرب به‌دلیل هم‌زمانی چهار ویژگی کلیدی به‌عنوان محدوده مورد مطالعه برگزیده شد:

-ساختار کالبدی مدرن با شبکه معابر منظم، خیابان‌های عریض و سرانه بالای فضای سبز که پتانسیل بالایی برای ایجاد مسیرهای ایمن و اختصاصی دوچرخه‌سواری دارد؛

-جمعیت مرفه با سطح تحصیلات و درآمد بالا و آگاهی نسبی زیست‌محیطی؛

-کاربری ترکیبی اراضی (مسکونی، تجاری، اداری، درمانی و تفریحی) و تولید سفرهای درون‌منطقه‌ای کوتاه تا متوسط؛

-وابستگی شدید به خودروی شخصی علی‌رغم وجود پتانسیل بالای جایگزینی با حمل‌ونقل فعال



شکل ۱. موقعیت شهرک غرب

این شهرک در دهه ۱۳۴۰ بر اساس الگوهای شهرسازی آمریکایی طراحی شد. ویژگی‌هایی نظیر شیب ملایم (با برخی اختلاف ارتفاع‌ها) دوچرخه‌های برقی را به گزینه‌ای ایده‌آل تبدیل در آن می‌کند. پروفایل جمعیتی مرفه، تسهیل‌گر پذیرش نوآوری است اما فرهنگ خودرومحور، مانع اصلی محسوب می‌شود. مراکز خرید بزرگ (مانند میلاد نور و ایران‌زمین) و دسترسی به مترو (ایستگاه میدان صنعت) سفرهای کوتاه را افزایش داده و استفاده از دوچرخه برقی را بهینه می‌سازد.

۳-۲- روش نمونه‌گیری و حجم نمونه

یکی از مهم‌ترین مسائل در هر تحقیق و پژوهش، تعیین اندازه نمونه‌ایی است که بتواند نماینده‌ای از جامعه مورد مطالعه باشد. در این پژوهش حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران مطابق رابطه ۱ و با در نظر گرفتن جامعه محدود، سطح اطمینان ۹۵ درصد و حداکثر خطای ۵ درصد، ۳۸۳ نفر تعیین شد. با احتساب ۱۰ درصد ریزش، ۴۲۰ پرسشنامه توزیع و در نهایت ۴۰۲ پرسشنامه کامل (نرخ پاسخ‌دهی ۹۹/۳ درصد) وارد تحلیل شد.

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}\left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1\right)} \qquad (۱)$$

در این پژوهش نمونه‌ها به‌صورت تصادفی از میان ساکنان شهرک غرب انتخاب شدند تا نتایج قابل تعمیم به کل جامعه باشد. جهت افزایش جامعیت، نمونه‌ها از گروه‌های سنی، جنسیتی و شغلی متنوع انتخاب شدند. پرسشنامه‌ها به‌صورت حضوری توزیع شد و زمان پاسخگویی به گویه‌ها حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه بود. گردآوری داده‌ها طی ۷۰ روز در ماه‌های خرداد و تیر ۱۴۰۴ انجام گرفت. به‌منظور ارتقای کیفیت پاسخ‌ها، سه اقدام انجام شد:

-در گردآوری اطلاعات و تکمیل پرسشنامه‌های این پژوهش، ابتدا اهداف پژوهش توسط پرسشگرها به پاسخ‌دهندگان اطلاع داده شد. همچنین به آنان تضمین داده شد که پاسخ آن‌ها محرمانه خواهد ماند تا صداقت در تکمیل پرسشنامه افزایش یابد.

-پرسشگران آموزش‌دیده در تمام مدت حضور داشتند تا ابهامات را رفع کنند و با استفاده از یک ساختار بصری و مثال‌های ملموس، طیف ۹ درجه‌ای ساعتی را برای پاسخ‌دهنده تشریح نمایند. این تدبیر باعث شد تا ابهامات ذهنی برطرف شده و نرخ ناسازگاری پرسشنامه‌ها در محدوده استاندارد حفظ شود.

-با توجه به کاربری ترکیبی اراضی در شهرک غرب (تجاری، اداری، مسکونی)، نقاط توزیع پرسشنامه به‌گونه‌ای انتخاب شدند (مانند مراکز خرید گلستان و میلاد نور، و ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی) که پوشش‌دهنده تنوع اقشار مختلف جامعه از نظر سن، جنسیت و اهداف سفر باشند.

۳-۳- تدوین ساختار سلسله‌مراتبی پژوهش

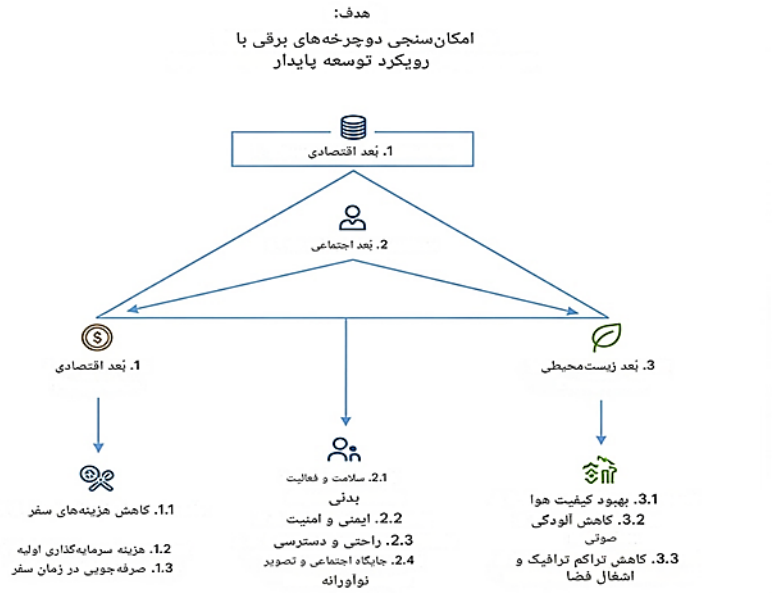
تحلیل امکان‌سنجی استفاده از دوچرخه برقی از منظر توسعه پایدار، مستلزم شکستن این مفهوم کلان به مولفه‌هایی ملموس و قابل اندازه‌گیری است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی ابزاری قدرتمند برای این منظور فراهم می‌آورد. این روش در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتب تصمیم، آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس مقایسه زوجی انجام می‌گیرد.

این مقایسه‌ها وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌کند. در نهایت منطق ساختار سلسله‌مراتبی به گونه‌ای ماتریس حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می‌کند تا تصمیم بهینه حاصل شود (Saaty, 1987). ساختار کامل سلسله‌مراتبی این پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است. مطابق شکل ۲ ساختار سلسله‌مراتبی پژوهش از سه سطح تشکیل شده است:

-سطح اول (هدف کلان): امکان‌سنجی پذیرش و استفاده از دوچرخه‌های برقی در شهرک غرب تهران با رویکرد توسعه پایدار.

-سطح دوم (معیارهای اصلی): در این سطح، هدف اصلی به سه بعد بنیادین توسعه پایدار، بعد اقتصادی، بعد اجتماعی و بعد زیست‌محیطی تفکیک می‌شود.

-سطح سوم (زیرمعیارها): انتخاب ۱۰ زیرمعیار کلیدی که بر اساس مرور نظام‌مند ادبیات جهانی و بومی و ویژگی‌های خاص شهرک غرب استخراج شدند که در جدول ۲، هر یک از ابعاد و مولفه‌های آن تشریح می‌گردد.



شکل ۲. ساختار سلسله‌مراتبی پژوهش برای امکان‌سنجی دوچرخه برقی

جدول ۲. زیرمعیارهای ابعاد توسعه پایدار در پذیرش دوچرخه برقی

بُعد	زیرمعیار	توضیحات
اقتصادی	کاهش هزینه‌های جاری سفر	صرفه‌جویی در سوخت، استهلاک و پارکینگ
	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	قیمت خرید دوچرخه و تجهیزات جانبی
	صرفه‌جویی در زمان سفر	اجتناب از ترافیک و جستجوی پارکینگ
اجتماعی	سلامت و فعالیت بدنی	فعالیت متوسط با کمک الکتریکی
	ایمنی و امنیت ترافیکی و مالکیتی	خطر تصادف و سرقت
	راحتی و دسترسی‌پذیری	حل مسئله First/Last Mile و شیب
	جایگاه اجتماعی و وجهه نوآورانه	تصویر مدرن و پیشرو بودن
زیست محیطی	بهبود کیفیت هوا	کاهش NO_x و $PM_{2.5}$ محلی
	کاهش آلودگی صوتی	حرکت تقریباً بی‌صدا
	کاهش تراکم ترافیک و اشغال فضا	آزادسازی فضای پارکینگ و معابر

۳-۳-۱- تشریح بعد اقتصادی

بعد اقتصادی به بررسی تاثیرات مستقیم مالی و زمانی استفاده از دوچرخه برقی بر کاربر می‌پردازد. این بعد شامل سه زیرمعیار است:

- کاهش هزینه‌های جاری سفر: این زیرمعیار به مقایسه هزینه‌های روزمره استفاده از دوچرخه برقی در برابر سایر شیوه‌های حمل‌ونقل رایج، به ویژه خودروی شخصی و تاکسی‌های اینترنتی، می‌پردازد.

-هزینه سرمایه‌گذاری اولیه: به بررسی عامل بازدارنده قیمت خرید دوچرخه برقی و تجهیزات جانبی آن (مانند کلاه ایمنی، قفل مناسب) در برابر گزینه‌هایی مانند استفاده موردی از تاکسی اینترنتی می‌پردازد.

-صرفه‌جویی در زمان سفر: ارزش زمانی بالای جامعه هدف باعث شده که امکان عبور از ترافیک محلی، حذف زمان جستجوی پارکینگ و سرعت بالاتر نسبت به پیاده‌روی، به مهم‌ترین مزیت اقتصادی دوچرخه برقی در شهرک غرب تبدیل شود.

۳-۳-۲- تشریح بعد اجتماعی

بعد اجتماعی به تأثیر استفاده از دوچرخه برقی بر سلامت جسمی و روانی، کیفیت زندگی، احساس امنیت و جایگاه فرد در جامعه می‌پردازد. این بعد اغلب شامل عوامل کیفی است که نقش بسیار پررنگی در تغییر عادات رفتاری دارند.

زیرمعیارهای این بعد عبارتند از:

-سلامت و فعالیت بدنی: با توجه به اهمیت روزافزون سبک زندگی سالم، دوچرخه برقی با نیروی کمکی الکتریکی، فعالیت بدنی ملایم و قابل تنظیم را فراهم می‌کند.

-ایمنی و امنیت: این زیرمعیار که یکی از مهم‌ترین موانع پذیرش دوچرخه‌سواری در تمام کلان‌شهرها است. این بعد شامل دو مؤلفه ایمنی ترافیکی (نگرانی از تصادف با وسایل نقلیه موتوری به دلیل نبود مسیرهای ایمن و جداگانه) و امنیت مالکیت (ترس از سرقت دوچرخه) است.

-راحتی و دسترسی‌پذیری: این زیرمعیار به سهولت استفاده از دوچرخه برقی در کل فرآیند سفر اشاره دارد پارک آسان و سریع در نزدیکی مقصد، توانایی غلبه بر شیب‌های محله بدون تعریق و خستگی زیاد، و قابلیت حل "مسئله مایل اول و آخر" برای دسترسی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی مانند ایستگاه مترو میدان صنعت، همگی زیرمجموعه این معیار هستند.

-جایگاه اجتماعی و وجهه نوآورانه: در یک بافت اجتماعی خاص، دوچرخه برقی می‌تواند به‌عنوان نماد مدرن‌بودن، آگاهی زیست‌محیطی و سبک زندگی سالم تصویر شود یا برعکس، به‌عنوان «تنزل از خودروی لوکس» تلقی گردد؛ وزن این زیرمعیار نشان‌دهنده جهت‌گیری فرهنگی جامعه هدف است.

۳-۳-۳- تشریح بعد زیست‌محیطی

این بعد به ارزیابی منافع حاصل از رواج دوچرخه‌های برقی برای محیط زیست محلی می‌پردازد. با توجه به فضای سبز گسترده و اهمیت کیفیت محیط زندگی در این محدوده، انتظار می‌رود این معیارها از وزن قابل توجهی در میان ساکنین برخوردار باشند.

زیرمعیارهای این بعد عبارتند از:

-بهبود کیفیت هوا: کاهش مستقیم انتشار NO_x، $PM_{2.5}$ و CO در مقیاس محلی از طریق جایگزینی سفرهای کوتاه خودرویی؛ اثری که به‌ویژه در فصل‌های سرد و پدیده وارونگی دما برای ساکنان ملموس است.

-کاهش آلودگی صوتی: دوچرخه‌های برقی تقریباً بی‌صدا هستند. در مقابل، تردد مداوم خودروها، به ویژه در معابر اصلی یک منبع دائمی آلودگی صوتی است.

- کاهش تراکم ترافیک و اشغال فضا: هر خودروی شخصی فضایی را هم در حال حرکت و هم در حال سکون به خود اختصاص می‌دهد.

۳-٤- متغیرهای مدل درخت تصمیم

پس از تعیین اولویت‌های ارزشی شهروندان با استفاده از AHP، در گام دوم پژوهش به مدل توصیفی و پیش‌بینی‌کننده می‌پردازد تا شکاف میان اولویت‌های ادراک‌شده و رفتار واقعی را پر کند. هدف این مدل، شناسایی الگوهای داده‌محور رفتار شهروندان است. برای این منظور، از الگوریتم درخت تصمیم استفاده شد تا روابط غیرخطی و پیچیده میان متغیرهای ورودی و خروجی را کشف نماید و آن را به قواعد شهودی تبدیل کند. کاربردهای اخیر این روش در حمل‌ونقل پایدار اعتبار آن را در زمینه‌های مشابه تأیید می‌کند. موفقیت مدل به انتخاب دقیق متغیرها بر اساس نظریه‌های رفتار سفر و پذیرش فناوری، با توجه به ویژگی‌های محلی شهرک غرب، وابسته است (Quinlan, 1996; De Ville, 2013; Song and Lu, 2015; Atalan and Atalan, 2024; Jin and Sui, 2024).

۳-٤-۱- متغیر هدف

متغیر هدف (وابسته)، قصد رفتاری افراد برای استفاده از دوچرخه‌های برقی است که بر اساس نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده، قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده رفتار واقعی محسوب می‌شود (Ajzen, 1991). این متغیر از طریق پرسش "با فرض فراهم بودن شبکه‌ای ایمن، در دسترس و مقرون‌به‌صرفه از دوچرخه‌های برقی در شهرک غرب، چقدر احتمال دارد از این وسیله برای حداقل سه سفر هفتگی (مانند سفر به کار، خرید یا تفریح) استفاده کنید؟" سنجیده شد. پاسخ‌ها روی مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت ("هرگز" تا "مطمئناً") جمع‌آوری شدند. برای افزایش تفسیرپذیری مدل درخت تصمیم، متغیر به‌صورت باینری کدگذاری شد.

- کد ۱: کاربران بالقوه "احتمالاً" یا "مطمئناً"، به عنوان بازار هدف اصلی.

– کد ۰: کاربران غیرمحتمل "هرگز"، "به ندرت" یا "مطمئن نیستم"، نمایانگر افراد با موانع جدی یا عدم قطعیت.
این تبدیل دوگانه، استخراج قواعد تصمیم‌گیری واضح و عملی را تسهیل می‌کند.

۳-٤-۲- متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (مستقل)، ویژگی‌های پاسخ‌دهندگان هستند که به عنوان ورودی مدل عمل می‌کنند. این متغیرها مطابق جدول ۳ و ٤، در چهار دسته اصلی طبقه‌بندی شدند. فرضیه‌های مرتبط بر اساس ادبیات استخراج شدند تا روابط احتمالی با متغیر هدف را بررسی نمایند.

۳-۵- طراحی پرسشنامه

پس از تدوین ساختار سلسله‌مراتبی AHP و متغیرهای مدل درخت تصمیم، پرسشنامه ساختاریافته به‌عنوان ابزار اصلی گردآوری داده‌ها طراحی شد. این پرسشنامه با رویکرد دوگانه، همزمان دو سطح تحلیل را پوشش می‌دهد:
–سطح ارزشی–قضاوتی: سنجش اولویت‌ها و ترجیحات ذهنی شهروندان از طریق مقایسه زوجی به‌منظور تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای پذیرش دوچرخه برقی در چارچوب AHP.
–سطح رفتاری–ادراکی: گردآوری متغیرهای جمعیت‌شناختی، متغیرهای رفتار سفر فعلی، متغیرهای نگرشی و روانشناختی به‌عنوان ورودی مدل درخت تصمیم.
این رویکرد دوگانه، کارایی گردآوری را افزایش می‌دهد و تحلیل همزمان نظام ارزشی و قصد رفتاری را ممکن می‌سازد. طراحی اولیه پرسشنامه بر اساس مرور جامع ادبیات و استخراج متغیرهای مستخرج از چارچوب‌های نظری (شامل نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده، مدل پذیرش فناوری و ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار) انجام شد. نسخه نهایی پرسشنامه شامل ۳۳ گویه در چهار بخش اصلی (مقدمه و ملاحظات اخلاقی، متغیرهای جمعیت‌شناختی و رفتار سفر، متغیرهای نگرشی و قصد رفتاری، و مقایسه‌های زوجی AHP) است.

جدول ۳. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مدل درخت تصمیم

دسته	متغیر	نوع	تعریف عملیاتی / مقیاس	فرضیه
متغیرهای جمعیت‌شناختی	سن	پیوسته	سال تولد	بر اساس ادبیات پژوهش، افراد جوان‌تر به دلیل نوآوری‌پذیری و سبک زندگی انعطاف‌پذیرتر، گرایش بیشتری به پذیرش فناوری‌های نوین حمل‌ونقل نشان می‌دهند. بااین‌حال، دوچرخه برقی می‌تواند برای سالمندان نیز ابزاری مؤثر برای حفظ تحرک و انجام سفرهای کوتاه باشد. بنابراین، رابطه سن با تمایل به استفاده از دوچرخه برقی غیرخطی است.
	جنسیت	اسمی	مرد / زن	جنسیت بر قصد استفاده از دوچرخه برقی تأثیر معنادار دارد. بر اساس ادبیات پژوهش، شکاف جنسیتی در دوچرخه‌سواری مشاهده می‌شود که عمدتاً ناشی از تفاوت‌های جنسیتی در ادراک ایمنی، سطح ریسک‌پذیری و نوع سفرها (به‌ویژه سفرهای زنجیره‌ای مرتبط با وظایف خانوار) است.
	وضعیت تاهل	اسمی	مجرد / متأهل	بر اساس ادبیات پژوهش، افراد متأهل به دلیل نیاز به سفرهای خانوادگی یا حمل بار، گرایش کمتری به استفاده از دوچرخه برقی به‌عنوان شیوه اصلی حمل‌ونقل نشان می‌دهند.
	تعداد فرزندان	گسسته	نفر	بر اساس ادبیات پژوهش، افراد دارای فرزند به دلیل نیاز به سفرهای خانوادگی، گرایش کمتری به استفاده از دوچرخه برقی به‌عنوان شیوه اصلی حمل‌ونقل نشان می‌دهند.

جدول ٤. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مدل درخت تصمیم (ادامه)

دسته	متغیر	نوع	تعریف عملیاتی / مقیاس	فرضیه
متغیرهای جمعیت‌شناختی	سطح تحصیلات	ترتیبی	٦ طبقه (زیر دیپلم تا دکتری)	سطح تحصیلات با قصد استفاده رابطه مستقیم دارد. تحصیلات بالاتر علاوه بر افزایش آگاهی زیست‌محیطی، با توانایی بالاتر در تحلیل مزایای بلندمدت یک فناوری در برابر هزینه‌های اولیه آن مرتبط است.
	درآمد ماهانه خانوار	ترتیبی	۵ طبقه (کمتر از ۲۰ میلیون تا بالای ۱۰۰ میلیون)	درآمد بالا توانایی خرید دوچرخه برقی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، در محدوده شهرک غرب، درآمد بالا با مالکیت چند خودرو و فرهنگ استفاده از آن گره خورده است. مدل درخت تصمیم می‌تواند مشخص کند که در کدام بخش از طیف درآمدی، پتانسیل پذیرش بیشتر است.
متغیرهای رفتار سفر فعلی	تعداد خودرو خانوار	گسسته	۰، ۱، ۲، ۳+	این متغیر قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده منفی برای قصد استفاده است. مالکیت خودرو نمادی از وابستگی ساختاری به این شیوه است و رقابت مستقیم با دوچرخه برقی دارد.
	مسافت معمول سفر روزانه	پیوسته	کیلومتر	این متغیر یک عامل کلیدی با یک رابطه غیرخطی است. دوچرخه برقی در یک «بازه بهینه» مسافتی، جذابیت دارد. برای مسافت‌های بسیار کوتاه (زیر ۱–۲ کیلومتر)، پیاده‌روی و برای مسافت‌های طولانی (بیش از ۱۵–۲۰ کیلومتر)، خودرو یا حمل‌ونقل عمومی رقیب اصلی است.
	شیوه غالب حمل‌ونقل	اسمی	خودرو شخصی/ تاکسی اینترنتی/ حمل‌ونقل همگانی/ موتوسیکلت/ فعال	این متغیر مشخص می‌کند که دوچرخه برقی از کدام «سهم بازار» می‌تواند کاربر جذب کند. از منظر سیاست‌گذاری، جذب کاربران خودروی شخصی بالاترین مطلوبیت را دارد.
متغیرهای نگرشی و روانشناختی	نگرش زیست‌محیطی	پیوسته	لیکرت ۵ درجه‌ای	نگرش مثبت و دغدغه‌مندی نسبت به محیط زیست، یک پیش‌زمینه مهم برای پذیرش حمل‌ونقل پایدار است و رابطه مستقیمی با قصد استفاده دارد.
	دیدگاه سلامت	پیوسته	لیکرت ۵ درجه‌ای	ارزش قائل شدن برای فعالیت بدنی و سبک زندگی سالم، دوچرخه برقی را به ابزاری برای سلامت تبدیل می‌کند و به‌عنوان یک محرک مثبت قوی عمل می‌کند.
	درک ایمنی ترافیکی	پیوسته	لیکرت ۵ درجه‌ای	درک بالای خطر تصادف با خودروها، کیفیت پایین زیرساخت‌ها و فقدان مسیرهای اختصاصی و جداگانه می‌تواند حتی در حضور سایر انگیزه‌ها، به‌تنهایی منجر به رد کامل دوچرخه برقی شود.
	هنجارهای اجتماعی	پیوسته	لیکرت ۵ درجه‌ای	اگر استفاده از دوچرخه برقی در میان گروه همسالان و جامعه محلی شهرک غرب به عنوان یک رفتار «نرمال»، «مدرن» و «مطلوب» تلقی شود، پذیرش فردی به شدت افزایش می‌یابد.
	درک شیب مسیرها	کیفی	عمدتاً صاف/ دارای شیب	افرادی که مسیرهای روزانه خود را شیب‌دار ارزیابی می‌کنند، ارزش بیشتری برای ویژگی «کمکی بودن» موتور الکتریکی قائل خواهند بود.
	محدودیت‌های سفر (بار/سفر گروهی)	کیفی	به ندرت یا هرگز/ گاهی اوقات/ اغلب اوقات.	نیاز مداوم به حمل بار (مانند خرید هفتگی) یا همراهی فرزندان، محدودیت عملکردی جدی برای دوچرخه است و اثر منفی بر قصد استفاده دارد.
	موانع زیرساختی (سرقت/ پارکینگ)	پیوسته	لیکرت ۵ درجه‌ای	نگرانی از سرقت و عدم دسترسی به فضای پارک امن در مبدأ و مقصد موانع ساختاری بسیار قدرتمندی هستند که می‌توانند تصمیم خرید را به‌طور کامل متوقف کنند.

۳-٦- روایی و پایایی ابزار

جهت اطمینان از کیفیت و اعتبار ابزار گردآوری داده‌ها (پرسشنامه)، مراحل روایی و پایایی به‌طور نظام‌مند اجرا شد. روایی محتوایی با پانل ۸ نفره متخصصان حمل‌ونقل پایدار و برنامه‌ریزی شهری سنجیده شد. شاخص نسبت روایی محتوایی (CVR) برای تمام گویه‌ها بالاتر از ۰/۷٦ بود که روایی مطلوب را نشان می‌دهد. جهت سنجش شفافیت، پیش‌آزمون روی ۲۵ ساکن شهرک غرب اجرا شد تا سوالات مبهم شناسایی شود. زمان پاسخگویی متوسط ۱۷ دقیقه تخمین زده شد، و جریان پرسشنامه بهینه شد. اصلاحات بر اساس بازخورد اعمال شد.

مطابق جدول ۵، پایایی با آلفای کرونباخ محاسبه شد.

مطابق این جدول، تمام مقادیر بالاتر از ۰/۷۰ نشان‌دهنده پایایی مطلوب است. میانگین نرخ ناسازگاری (CR) در پیش‌آزمون ۰/۰٦۷ و در نمونه اصلی ۰/۰٥٤ بود (کمتر از ۰/۱).

تنها ۲/۸ درصد از پرسشنامه‌ها (۸ مورد) با CR بالاتر از ۰/۱ از تحلیل وزن‌دهی حذف شدند.

جدول ۵. نتایج آزمون پایایی (آلفای کرونباخ) برای متغیرهای پرسشنامه

متغیرهای پنهان	تعداد گویه‌ها	ضریب آلفای کرونباخ	وضعیت پایایی
نگرش زیست محیطی	٤	۰/۸۱۲	مطلوب
نگرش و آگاهی سلامتی	٤	۰/۹۷٥	مطلوب
درک از ایمنی و موانع زیر ساختی	٥	۰/۸۳٤	مطلوب
هنجارهای اجتماعی	۳	۰/۷٦۸	مطلوب
کل پرسشنامه	۱٦	۰/۸۷۱	بسیار مطلوب

٤- یافته‌های پژوهش

پس از تشریح چارچوب‌های نظری و روش‌شناختی، این بخش به ارائه و تحلیل اولیه داده‌های گردآوری‌شده از ۳۸٤ پاسخ‌دهنده (پس از پاک‌سازی داده‌ها) اختصاص دارد. تحلیل توصیفی، تصویری کلی از ویژگی‌های جامعه و متغیرهای اصلی ارائه می‌دهد و پایه‌ای برای تحلیل‌های استنباطی AHP و درخت تصمیم است.

٤-۱- اطلاعات جمعیت شناختی

شناخت ویژگی‌های پایه‌ای پاسخ‌دهندگان، بستر اجتماعی-اقتصادی پذیرش نوآوری حمل‌ونقلی را مشخص می‌کند. جدول ٦و ۷ به ترتیب توزیع فراوانی متغیرهای کیفی جمعیت‌شناختی و آمار توصیفی متغیرهای کمی جمعیت‌شناختی را نمایش می‌دهد.

مطابق این جدول توزیع جنسیتی تقریباً متعادل است، اما اکثریت متأهل (۷۱/۱ درصد) ساختار خانوارمحور را برجسته می‌کند.

میانگین سنی ٤۲/۸ سال جامعه‌ای میان‌سال با الگوهای تثبیت‌شده است. این گروه سنی، اغلب تصمیم‌گیرندگان اصلی خانوار بوده و الگوهای رفتاری تثبیت‌شده‌ای دارند که تغییر آن‌ها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. سطح تحصیلات بالا (۸۹ درصد دانشگاهی، ۳٥/۲ درصد تحصیلات تکمیلی) پتانسیل درک مفاهیم پایداری را افزایش می‌دهد.

از نظر اقتصادی، ۸٤ درصد خانوارها درآمد بالای ٤۰ میلیون تومان دارند، که نشان‌دهنده توانایی مالی بالا برای سرمایه‌گذاری بر روی گزینه‌های حمل‌ونقلی جدید، اما در عین حال، عدم وجود فشار اقتصادی به عنوان یک محرک اصلی برای کنار گذاشتن خودروی شخصی است.

جدول ٦. توزیع فراوانی متغیرهای کیفی جمعیت‌شناختی (n=384)

متغیر	گروه‌ها	فراوانی (نفر)	درصد معتبر
جنسیت	زن	۱۷۷	٤٦/۱
	مرد	۲۰۷	۵۳/۹
وضعیت تأهل	مجرد	۱۱۱	۲۸/۹
	متأهل	۲۷۳	۷۱/۱
سطح تحصیلات	دیپلم و پایین‌تر	٤۲	۱۰/۹
	کاردانی و کارشناسی	۲۰۷	۵۳/۹
	کارشناسی ارشد و دکتری	۱۳۵	۳۵/۲
وضعیت اشتغال	شاغل (خصوصی/دولتی)	۲٦۱	٦۸/۰
	دانشجو	۳۸	۹/۹
	بازنشسته/خانه‌دار/سایر	۸۵	۲۲/۱
درآمد خانوار (ماهانه)	زیر ٤۰ میلیون تومان	٦۰	۱۵/٦
	٤۰ تا ۱۰۰ میلیون تومان	۱۸۸	٤۹/۰
	بیش از ۱۰۰ میلیون تومان	۱۳٦	۳۵/٤

جدول ۷. آمار توصیفی متغیرهای کمی جمعیت‌شناختی (n=384)

متغیر	میانگین	میانه	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
سن (سال)	٤۲٫۸	٤۲	۱۱٫۲	۱۸	۷٦
تعداد فرزندان	۱٫۵	۲	۰٫۹	۰	٤

٤-۲- یافته‌های رفتار سفر

این بخش به بررسی عادات حمل‌ونقلی فعلی ساکنین می‌کند تا شدت وابستگی به خودرو و پتانسیل بازار برای دوچرخه برقی مشخص گردد. جدول ۸ و ۹ به ترتیب توزیع فراوانی متغیرهای کلیدی رفتار سفر و آمار توصیفی مسافت سفر روزانه را نمایش می‌دهد. نتایج جدول به صراحت، فرهنگ عمیق خودرو–محوری در شهرک غرب را به تصویر می‌کشد. ۹۳ درصد از خانوار حداقل یک خودرو در اختیار دارند و نزدیک به نیمی از آن‌ها دارای دو خودرو یا بیشتر هستند. این آمار، بالاتر بودن سرانه مالکیت خودرو نسبت به میانگین شهر تهران را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که خودرو نه تنها یک ابزار حمل‌ونقل، بلکه بخشی از سبک زندگی و هویت اجتماعی ساکنین است.

این وابستگی در انتخاب شیوه سفر نیز منعکس شده است؛ ۷٦ درصد از پاسخ‌دهندگان، خودروی شخصی را به عنوان شیوه اصلی خود معرفی کرده‌اند. سهم ناچیز حمل‌ونقل عمومی، نشان‌دهنده عدم جذابیت این گزینه برای این قشر از جامعه است. نکته قابل تأمل، سهم ۱۵/۹ درصدی تاکسی‌های اینترنتی است که نشان‌دهنده وجود یک بازار برای سفرهای فردی و بدون نیاز به مالکیت خودرو است. میانگین مسافت سفر روزانه ۱۳/۱ کیلومتر است. با این حال، انحراف معیار بالا (۸/٦) نشان‌دهنده تنوع زیاد در الگوهای سفر است. تحلیل دقیق‌تر توزیع داده‌ها نشان می‌دهد که حدود ٤۸ درصد از سفرها در بازه ۳ تا ۱۵ کیلومتر انجام می‌شوند. این بازه، نقطه طلایی برای کارایی دوچرخه برقی است؛ مسافت‌هایی که برای پیاده‌روی طولانی و برای استفاده از خودرو (با توجه به ترافیک و مشکل پارکینگ) ناکارآمد هستند.

جدول ۸. توزیع فراوانی متغیرهای کلیدی رفتار سفر (n=384)

متغیر	گروه‌ها	فراوانی (نفر)	درصد
مالکیت خودرو در خانوار	بدون خودرو	۲۷	۷/۰
	یک خودرو	۱۶۹	٤٤/۰
	دو خودرو و بیشتر	۱۸۸	٤۹/۰
شیوه غالب حمل‌ونقل	خودروی شخصی	۲۹۲	۷٦/۰
	تاکسی اینترنتی	٦۱	۱۵/۹
	حمل‌ونقل عمومی	۹	۲/۳
	سایر (پیاده/دوچرخه/موتور)	۲۲	۵٫۷٪

جدول ۹. آمار توصیفی متغیرهای کمی جمعیت‌شناختی (n=384)

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
مسافت سفر (کیلومتر)	۱۳/۱	۸/٦	۱	۵۰

٤-۳- یافته‌های نگرشی و ادراکی

این بخش به تحلیل باورها، نگرش‌ها و ادراکات پاسخ‌دهندگان می‌پردازد که اغلب به‌عنوان محرک‌ها یا موانع پنهان در تصمیم‌گیری برای پذیرش دوچرخه‌های برقی عمل می‌کنند. جدول ۱۰، آمار توصیفی متغیرهای نگرشی و ادراکی کلیدی را نمایش می‌دهد. نتایج حاکی از یک دوگانگی معنادار در ذهنیت ساکنان شهرک غرب است. از یک سو، پاسخ‌دهندگان دارای نگرش بسیار قوی و مثبت نسبت به محیط زیست (میانگین ٤/۳۸) و به ویژه سلامتی (میانگین ٤/٤۵) هستند. این سطح بالای آگاهی، که با سطح تحصیلات بالای آن‌ها نیز همخوانی دارد، از سوی دیگر این دوگانگی، موانع ادراکی بسیار جدی قرار دارد. نگرانی از سرقت یک دوچرخه برقی با میانگین ٤/۵۱، بزرگترین مانع شناسایی‌شده در این پیمایش است. پس از آن، درک از ناامنی ترافیکی با میانگین٤/۱۲ قرار دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که هرچقدر انگیزه‌های سلامتی و زیست محیط زیستی قوی وجود داشته باشد، تا زمانی که به موانع عملی و ملموس امنیت و ایمنی پاسخ مناسب داده نشود، تغییر رفتار رخ نخواهد داد. میانگین پایین «هنجارهای اجتماعی نشان می‌دهد تصمیم‌گیری در این زمینه برای ساکنین شهرک غرب، بیش از آنکه تحت تأثیر فشار اجتماعی و رفتار دیگران باشد، یک فرآیند فردی و مبتنی بر تحلیل هزینه–فایده شخصی است.

٤-٤- تحلیل متغیر هدف

توزیع فراوانی متغیر هدف در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که ۳۹/۱ درصد از ساکنین شهرک غرب، خود را به عنوان «کاربران بالقوه» دوچرخه برقی معرفی کرند.

جدول ۱۰. آمار توصیفی متغیرهای نگرشی و ادراکی کلیدی (مقیاس ۱ تا ۵)

متغیر	میانگین	انحراف معیار
نگرش زیست‌محیطی (اهمیت حفاظت)	٤/۳۸	۰/۸۱
نگرش سلامتی (اهمیت فعالیت بدنی)	٤/٤۵	۰/۷۵
درک از ایمنی (نگرانی از تصادف)	٤/۱۲	۱/۰۸
موانع زیرساختی (نگرانی از سرقت)	٤/۵۱	۰/۹۰
هنجارهای اجتماعی (تأثیرپذیری)	۲/۰۵	۱/۰۱

جدول ۱۱. توزیع فراوانی متغیر هدف (قصد استفاده از دوچرخه‌های برقی)

گروه	تعریف	فراوانی (نفر)	درصد
کاربران غیرمحتمل (کد ۰)	"هرگز"، "به ندرت"، "مطمئن نیستم"	۲۳٤	٦۰/۹
کاربران بالقوه (کد ۱)	"احتمالاً" و "مطمئناً"	۱۵۰	۳۹/۱
جمع کل	**-**	**۳۸٤**	**۱۰۰**

تحلیل مدل ارزش‌گذاری

یک گام مهم در تحلیل AHP، کنترل کیفیت قضاوت‌ها از طریق محاسبه نرخ ناسازگاری است. این شاخص، میزان منطقی بودن و عدم تناقض در پاسخ‌های شرکت‌کنندگان را می‌سنجد (Saaty, 1987). داده‌ها از ۱۵ مقایسه زوجی ۳۸٤ پاسخ‌دهنده، با میانگین هندسی تجمیع شدند. مطابق جدول ۱۲، در این پژوهش، نرخ ناسازگاری (CR) همه ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ است، که اعتبار نتایج را تأیید می‌کند.

جدول ۱۲. جدول نرخ ناسازگاری (Consistency Ratio - CR)

سطح تحلیل	ماتریس مقایسه زوجی	نرخ ناسازگاری (CR)	وضعیت سازگاری
معیارهای اصلی (سه بعد)	اقتصادی – اجتماعی – زیست‌محیطی	۰/۰۵۲	مطلوب
زیرمعیارهای اقتصادی	سه زیرمعیار اقتصادی	۰/۰۲۱	مطلوب
زیرمعیارهای اجتماعی	چهار زیرمعیار اجتماعی	۰/۰٦۵	مطلوب
زیرمعیارهای زیست‌محیطی	سه زیرمعیار زیست‌محیطی	۰/۰۱۹	مطلوب

وزن معیارهای اصلی: تقدم اجتماعی بر اقتصادی و زیست‌محیطی

در بالاترین سطح تحلیل، وزن نسبی سه بعد اصلی توسعه پایدار (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) محاسبه شد تا مشخص شود کدام بعد، بیشترین تأثیر را بر تصمیم‌گیری ساکنین دارد. جدول ۱۳، ماتریس مقایسه زوجی و وزن معیارهای اصلی را نمایش می‌دهد. مطابق این جدول، بعد اجتماعی با کسب وزن غالب ۰/٦۱٤ به عنوان مهم‌ترین و تعیین‌کننده‌ترین اولویت ساکنین شهرک غرب شناسایی شد.

بعد اقتصادی با وزن ۰/۲۸۷ در رتبه دوم قرار گرفته است. این نتیجه نشان می‌دهد که ملاحظات مالی و زمانی بی‌اهمیت نیستند، اما نقش آن‌ها در این بافت اجتماعی، بیش از آنکه یک «نیاز» باشد، یک «ابزار بهینه‌سازی» است. به عبارت دیگر، ساکنین به دنبال کاهش هزینه یا صرفه‌جویی در زمان نه از سر ناچاری، بلکه برای افزایش بهره‌وری و رفاه بیشتر هستند.

مهم‌ترین یافته این بخش، وزن بسیار پایین بعد زیست‌محیطی ۰/۰۹۹ است. این نتیجه در نگاه اول با نگرش زیست‌محیطی بالای گزارش‌شده در بخش توصیفی (میانگین ٤/۳۸ از ۵) در تضاد است. این «پارادوکس نگرش–رفتار» یک پدیده شناخته‌شده در علوم اجتماعی است. نتایج AHP نشان می‌دهد که هرچند ساکنین در سطح «باور اعلامی» خود را دوستدار محیط زیست می‌دانند، اما زمانی که در یک فرآیند تصمیم‌گیری واقعی وادار به مصالحه میان ارزش‌های مختلف می‌شوند، اولویت «ترجیحات آشکارشده» آن‌ها به سمت منافع شخصی، ملموس و کوتاه‌مدت (مانند ایمنی و زمان) سوق پیدا می‌کند.

جدول ۱۳. ماتریس مقایسه زوجی و وزن معیارهای اصلی

معیارها	اقتصادی	اجتماعی	زیست‌محیطی	وزن نهایی	رتبه
اقتصادی	۱/۰۰	۰/٤٥	۲/۸۱	۰/۲۸۷	۲
اجتماعی	۲/۲۲	۱/۰۰	۵/٦۷	۰/٦۱٤	۱
زیست‌محیطی	۰/۳٦	۰/۱۸	۱/۰۰	۰/۰۹۹	۳

وزن زیرمعیارها

پس از تعیین اهمیت ابعاد اصلی، باید وزن زیرمعیارها درون هر بعد تحلیل شد تا عوامل دقیق‌تر تصمیم‌گیری شناسایی شوند. در ادامه به بررسی هر یک از این زیر معیارها پرداخته می‌شود.

وزن زیرمعیارهای اقتصادی

وزن محلی و رتبه زیرمعیارهای بعد اقتصادی در جدول ۱٤ نمایش داده شد. مطابق این جدول در میان عوامل اقتصادی «صرفه‌جویی در زمان سفر» با وزن ۰/۵۷۱ به عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناخته شد. این یافته با پروفایل جمعیت‌شناختی نمونه سازگار است.

در مقابل، «هزینه سرمایه‌گذاری اولیه» با کمترین وزن، نشان می‌دهد که قیمت خرید دوچرخه برقی، یک مانع جدی برای این گروه محسوب نمی‌شود، مشروط بر آنکه مزایای بلندمدت آن (به ویژه صرفه‌جویی در زمان) قابل توجیه باشد.

جدول ۱٤. وزن زیرمعیارهای اقتصادی

زیرمعیار	وزن محلی	رتبه
صرفه‌جویی در زمان سفر	۰/۵۷۱	۱
کاهش هزینه‌های جاری سفر	۰/۲۸۹	۲
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	۰/۱٤۰	۳

وزن زیرمعیارهای اجتماعی

در میان عوامل اجتماعی «ایمنی و امنیت» با کسب بیش از نیمی از وزن کل بعد اجتماعی، به عنوان یک «پیش‌شرط غیرقابل مذاکره» برای پذیرش دوچرخه برقی مطرح می‌شود. این وزن بالا، که نگرانی‌های گزارش‌شده در بخش توصیفی را تقویت می‌کند، نشان می‌دهد که تا زمانی که زیرساخت‌های فیزیکی (مسیرهای ایمن و جدا) و زیرساخت‌های امنیتی (پارکینگ امن و راهکارهای ضدسرقت) فراهم نشود، هیچ‌کدام از مزایای دیگر طرح قادر به جذب کاربران نخواهند بود. پس از ایمنی، «سلامت و فعالیت بدنی» به عنوان یک انگیزه قدرتمند شخصی و «راحتی و دسترسی‌پذیری» به عنوان یک مزیت کاربردی، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. وزن پایین «جایگاه اجتماعی» نیز تأیید می‌کند که ساکنین، در انتخاب این وسیله به دنبال یک تصمیم منطقی و کاربردی هستند، نه یک ابزار برای نمایش هویت اجتماعی. جدول ۱۵، وزن محلی و رتبه زیرمعیارهای بعد اجتماعی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۵. وزن زیرمعیارهای اجتماعی

زیرمعیار	وزن محلی	رتبه
ایمنی و امنیت	۰/۵۰۲	۱
سلامت و فعالیت بدنی	۰/۲٤۹	۲
راحتی و دسترسی‌پذیری	۰/۱۷۸	۳
جایگاه اجتماعی و وجهه	۰/۰۷۱	٤

وزن زیرمعیارهای زیست‌محیطی

در بعد زیست‌محیطی، مطابق جدول ۱۶، کاهش تراکم ترافیک و اشغال فضا با وزن محلی ۰٫۵۳۴ در صدر قرار دارد. این اولویت نشان می‌دهد شهروندان بیشتر به اثرات ملموس و روزمره (ترافیک و پارکینگ) توجه دارند. بهبود کیفیت هوا و کاهش آلودگی صوتی با اختلاف بسیار زیادی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۱۶. وزن زیرمعیارهای زیست‌محیطی

زیرمعیار	وزن محلی	رتبه
کاهش تراکم ترافیک و اشغال فضا	۰/۵۳۴	۱
بهبود کیفیت هوا	۰/۳۱۸	۲
کاهش آلودگی صوتی	۰/۱۴۸	۳

رتبه نهایی زیرمعیارها

با تلفیق وزن محلی و وزن‌های معیارهای اصلی، وزن نهایی (گلوبال) هر یک از ۱۰ زیرمعیار مطابق جدول ۱۶ محاسبه شد. این رتبه‌بندی، به طور دقیق مشخص می‌کند که کدام عامل بیشترین تأثیر را در ساختار کلی تصمیم‌گیری ساکنین دارد. تحلیل سلسله‌مراتبی به وضوح نشان می‌دهد که نظام ارزشی حاکم بر ساکنین در زمینه پذیرش دوچرخه برقی، یک نظام «منفعت‌محور شخصی» است. سه عامل برتر که مجموعاً بیش از ۶۰ درصد از وزن کل تصمیم را به خود اختصاص داده‌اند (ایمنی، سلامتی و زمان) همگی به صورت مستقیم بر کیفیت زندگی و رفاه فردی اثر می‌گذارند.

جدول ۱۷. وزن نهایی و رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها

رتبه	زیرمعیار	بعد	وزن	تفسیر کلیدی
۱	ایمنی و امنیت	اجتماعی	۰/۳۰۸	پیش‌شرط مطلق
۲	صرفه‌جویی در زمان سفر	اقتصادی	۰/۱۶۴	مهم‌ترین مزیت کاربردی
۳	سلامت و فعالیت بدنی	اجتماعی	۰/۱۵۳	قوی‌ترین انگیزه شخصی
۴	راحتی و دسترسی‌پذیری	اجتماعی	۰/۱۰۹	افزایش کیفیت تجربه سفر
۵	کاهش هزینه‌های جاری سفر	اقتصادی	۰/۰۸۳	مزیت اقتصادی ثانویه
۶	کاهش تراکم ترافیک	زیست‌محیطی	۰/۰۵۳	ملموس‌ترین مزیت زیست‌محیطی
۷	جایگاه اجتماعی	اجتماعی	۰/۰۴۴	عامل حاشیه‌ای
۸	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	اقتصادی	۰/۰۴۰	مانع ضعیف
۹	بهبود کیفیت هوا	زیست‌محیطی	۰/۰۳۱	مزیت انتزاعی
۱۰	کاهش آلودگی صوتی	زیست‌محیطی	۰/۰۱۵	کم‌اهمیت‌ترین عامل

تحلیل درخت تصمیم و شناسایی گروه کاربران بالقوه

پس از واکاوی اولویت‌های ارزشی در AHP، این بخش به بررسی رفتار واقعی افراد می‌پردازد. و به این سوال کلیدی "چه کسانی و تحت چه شرایطی ارزش‌های شناسایی‌شده را به قصد استفاده تبدیل می‌کنند؟" پاسخ می‌دهد. در این راستا، از الگوریتم درخت تصمیم "کارت" بهره گرفته شد. این الگوریتم روابط غیرخطی را به قواعد شهودی تبدیل می‌کند. این مدل، با استفاده از معیار ناخالصی جینی، به صورت بازگشتی داده‌ها را به دو شاخه تقسیم می‌کند. در هر مرحله، متغیری برای تقسیم انتخاب می‌شود که بیشترین «اطلاعات» را برای تفکیک دو گروه «کاربران بالقوه» و «کاربران غیرمحتمل» فراهم آورد و گره‌های فرزند را تا حد ممکن «خالص» سازد (Breiman et al., 1984). برای ساخت یک مدل پیش‌بینی‌کننده که همزمان از

دقت بالا و قابلیت تعمیم به جامعه بزرگتر برخوردار باشد، یک فرآیند دقیق چندمرحله‌ای طی شد:

-آماده‌سازی و تقسیم داده‌ها: مجموعه داده کامل (n=384) شامل متغیر هدف باینری (قصد استفاده: ۱=بله، ۰=خیر) و ۲۱ متغیر پیش‌بینی‌کننده (جمعیت‌شناختی، رفتاری، نگرشی و موقعیتی) به صورت تصادفی به دو زیرمجموعه تقسیم گردید:

-مجموعه آموزش (Training Set): شامل ۷۰ درصد از داده‌ها (۲۶۹ نمونه) که برای ساخت اولیه و یادگیری الگوها توسط الگوریتم استفاده شد.

-مجموعه آزمون (Testing Set): شامل ۳۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها (۱۱۵ نمونه) که مدل هرگز آن‌ها را ندیده بود و صرفاً برای ارزیابی عملکرد و سنجش دقت پیش‌بینی مدل نهایی بر روی داده‌های جدید به کار رفت.

-رشد و هرس کردن درخت: در ابتدا، به الگوریتم اجازه داده شد تا بر روی مجموعه آموزش، یک درخت کامل و پرشاخ‌وبرگ را رشد دهد. این درخت اولیه، اگرچه دقت بالایی بر روی داده‌های آموزشی داشت، اما به شدت در معرض خطر بیش‌برازش بود؛ یعنی به جای یادگیری الگوهای واقعی، نویز و ویژگی‌های تصادفی داده‌های آموزشی را نیز مدل کرده بود. برای مقابله با این پدیده و افزایش قابلیت تعمیم، فرآیند هرس کردن با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل (Cross-validation) اجرا شد. در این فرآیند، با تنظیم پارامترهای کنترلی نظیر «حداکثر عمق درخت» (Max Depth = 5) و «حداقل تعداد نمونه برای تقسیم گره» (Min Samples Split = 20)، شاخه‌های کم‌اهمیت حذف شدند تا مدل نهایی، تعادل بهینه‌ای میان سادگی، قابلیت تفسیر و قدرت پیش‌بینی برقرار کند.

پس از نهایی شدن ساختار درخت، عملکرد آن بر روی مجموعه آزمون (۱۱۵ نمونه) به دقت ارزیابی گردید. نتایج این ارزیابی در قالب ماتریس درهم‌ریختگی و شاخص‌های عملکردی استاندارد در جدول ۱۸ ارائه شد. مطابق این جدول، در ماتریس درهم‌ریختگی:

-صحیح منفی (TN=64): مدل به درستی ٦٤ نفر را که قصد استفاده نداشتند، به عنوان «غیرمحتمل» شناسایی کرد.

-صحیح مثبت (TP=37): مدل با موفقیت ۳۷ نفر از افرادی که واقعاً قصد استفاده داشتند را به عنوان «بالقوه» شناسایی کرد.

-خطای نوع اول (FP=6): مدل ٦ نفر را که قصد استفاده نداشتند، به اشتباه به عنوان «بالقوه» طبقه‌بندی کرد.

-خطای نوع دوم (FN=8): مدل ۸ نفر از کاربران بالقوه واقعی را شناسایی نکرد و به اشتباه در دسته «غیرمحتمل» قرار داد.

جدول ۱۸. وزن نهایی و رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها ماتریس درهم‌ریختگی (Confusion Matrix)

	پیش‌بینی مدل: غیرمحتمل (کد ۰)	پیش‌بینی مدل: بالقوه (کد ۱)	جمع واقعی
واقعیت: غیرمحتمل (کد ۰)	٦٤ (صحیح منفی – TN)	٦ (خطای نوع اول – FP)	۷۰
واقعیت: بالقوه (کد ۱)	۸ (خطای نوع دوم – FN)	۳۷ (صحیح مثبت – TP)	٤٥
جمع پیش‌بینی	۷۲	٤۳	۱۱٥

جدول ۱۹، شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی را نمایش می‌دهد. مطابق این جدول، مجموعه شاخص‌های فوق، به ویژه صحت ۸۷/۸ درصد و AUC برابر ۰/۸۹نشان‌دهنده یک مدل بسیار قوی، قابل اتکا و با قابلیت تعمیم بالا است. یکی از خروجی‌های ارزشمند الگوریتم CART، تعیین «اهمیت» هر متغیر در فرآیند ساخت درخت است. این اهمیت بر اساس مجموع کاهش ناخالصی جینی است که یک متغیر در تمام نقاطی که برای تقسیم استفاده شده، ایجاد کرده است.

جدول ۱۹. شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی

شاخص	رابطه ریاضی	مقدار (درصد)	تفسیر و اهمیت در این پژوهش
صحت کلی (Accuracy)	$\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$	۸۷/۸	نشان‌دهنده قدرت کلی مدل در تفکیک صحیح دو گروه است.
دقت (Precision)	$\frac{TP}{TP+FP}$	۸۶/۰	اگر بر اساس پیش‌بینی مدل، فردی به عنوان کاربر بالقوه هدف‌گذاری شود، به احتمال ۸۶ درصد این انتخاب صحیح است.
پوشش (Recall)	$\frac{TP}{TP+FN}$	۸۲/۲	مدل توانسته بیش از ۸۲ درصد از کل بازار هدف واقعی را شناسایی کند و بخش بزرگی از فرصت‌ها را پوشش داده است.
ویژگی (Specificity)	$\frac{TN}{TN+FP}$	۹۱/۴	نشان‌دهنده توانایی بسیار بالای مدل در شناسایی صحیح افرادی است که کاربر بالقوه نیستند.
امتیاز F1 (F1-Score)	$2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$	۸۴/۱	میانگین هماهنگ دقت و پوشش که توازن عالی مدل را در انجام هر دو وظیفه (جلوگیری از خطا و شناسایی فرصت‌ها) نشان می‌دهد.
سطح زیر منحنی ROC (AUC)	–	۸۹	یک شاخص جامع که توانایی کلی مدل را در تفکیک دو کلاس نشان می‌دهد. مقدار ۸۹ نشان‌دهنده یک مدل با قدرت تفکیک بسیار بالا است.

اهمیت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل درخت تصمیم

اهمیت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مطابق جدول ۲۰ بر اساس کاهش جینی محاسبه شد. مطابق این یافته‌ها عوامل عملکردی (مسافت) و موانع ملموس (سرقت، مالکیت خودرو) بسیار قدرتمندتر از عوامل نگرشی انتزاعی (مانند نگرش زیست‌محیطی) در پیش‌بینی رفتار واقعی هستند.

جدول ۲۰. رتبه‌بندی اهمیت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل

رتبه	متغیر	اهمیت نرمال‌شده (از ۱۰۰)	تفسیر اهمیت
۱	مسافت سفر روزانه	۱۰۰/۰	مهم‌ترین عامل، یک فیلتر عملکردی که به تنهایی بخش بزرگی از جامعه را تفکیک می‌کند.
۲	نگرانی از سرقت	۷۸/۵	مهم‌ترین مانع روانی–زیرساختی، یک عامل وتوکننده که حتی بر مزایای دیگر غلبه می‌کند.
۳	مالکیت خودرو	۵۵/۱	مهم‌ترین شاخص سبک زندگی، نشان‌دهنده شدت وابستگی و عادت به استفاده از خودرو.
۴	سن	۳۹/۸	یک عامل جمعیت‌شناختی کلیدی که بر نوآوری‌پذیری و ریسک‌پذیری تأثیر دارد.
۵	نگرش سلامتی	۲۷/۴	مهم‌ترین انگیزه نگرشی که نشان‌دهنده تمایل به سبک زندگی فعال است.
۶	سایر متغیرها	< ۲۰/۰	سایر متغیرها مانند درآمد، جنسیت و نگرش زیست‌محیطی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

قواعد کلیدی درخت تصمیم و شناسایی پروفایل‌های رفتاری کاربران

مهم‌ترین خروجی درخت تصمیم، قواعدی شهودی است که از مسیرهای درخت استخراج شده و پروفایل‌های متمایز کاربران را ترسیم می‌کنند. این قواعد امکان بخش‌بندی بازار را فراهم کرده و بیش از ۸۵٪ نمونه را پوشش می‌دهند (Popovich et al., 2014). جدول ۲۱، پنج قاعده کلیدی را با مشخصات آماری، تحلیل کلیدی (با تمرکز بر لینک به اولویت‌های AHP) و دلالت‌های سیاستی خلاصه می‌کند.

این مدل با دقت بالای ۸۷٫۸٪ نشان داد که ترکیبی از عوامل عملکردی (مسافت سفر)، موانع زیرساختی–ادراکی (نگرانی از سرقت) و شاخص‌های سبک زندگی (مالکیت خودرو و سن)، قدرتمندترین پیش‌بینی‌کننده‌های قصد استفاده از دوچرخه برقی هستند

جدول ۲۱. قواعد کلیدی استخراج‌شده از درخت تصمیم و پروفایل‌های کاربران

ردیف	قاعده	شرط قاعده	پوشش از کل نمونه (درصد)	دقت قاعده (درصد)	تحلیل کلیدی (لینک با AHP)
۱	بهینه‌سازان سلامتی‌محور (بازار هدف اصلی)	مسافت سفر ≥۱۵ کیلومتر نگرانی سرقت ≥۳ نگرش سلامتی >۴	۱۸	۹۱	این گروه، هسته طلایی بازار هدف محسوب می‌شوند. آن‌ها نیاز عملکردی به مسافت مناسب دارند، نگرانی از سرقت برایشان کم‌رنگ است و انگیزه درونی قدرتمندی مانند حفظ سلامتی، آن‌ها را به سمت دوچرخه برقی سوق می‌دهد. این پروفایل با یافته‌های تحلیل AHP هم‌خوانی کامل دارد، جایی که عوامل «سلامتی» و «زمان» (مرتبط با مسافت کوتاه) رتبه‌های بالایی کسب کرده‌اند. برای این افراد، دوچرخه برقی نه تنها یک وسیله حمل‌ونقل، بلکه ابزاری برای «کارآمدسازی سبک زندگی» است.
۲	جوانان تک‌خودرو و منعطف (بازار هدف ثانویه)	مسافت سفر ≥۱۵ کیلومتر نگرانی سرقت <۳ سن <۴۰ مالکیت خودرو=۱	۱۱	۶۵	این گروه نشان‌دهنده تعادلی میان مزایا و موانع است. با وجود نگرانی از امنیت، ویژگی‌هایی مانند جوانی و انعطاف‌پذیری (که با مالکیت تنها یک خودرو آشکار می‌شود) آن‌ها را به پذیرش ریسک ترغیب می‌کند. آن‌ها دوچرخه برقی را به عنوان جایگزینی هوشمند برای خودروی دوم یا راه‌حلی برای سفرهای خانوادگی که با خودروی اصلی ممکن نیست، می‌بینند.
۳	وابستگان به خودرو در مسافت‌های طولانی (خارج از بازار)	مسافت سفر <۱۵ کیلومتر	۲۷	۹۴	این بخش، گسترده‌ترین گروه غیرمشتریان را تشکیل می‌دهد. مدل تحلیلی نشان می‌دهد که عامل مسافت به تنهایی یک فیلتر قدرتمند است و بدون توجه به سایر ویژگی‌های فردی، نیاز عملکردی آن‌ها با قابلیت‌های دوچرخه برقی سازگار نیست.
۴	محافظه‌کاران نگران امنیت (بازار قفل‌شده)	نگرانی از سرقت=۵ (بسیار زیاد)	۲۲	۹۸	این قاعده، قدرت وتوکنندگی متغیر امنیت را نشان می‌دهد که دومین متغیر مهم مدل بود.
۵	خانوارهای جاافتاده و چندخودرویی (بازار با نفوذ دشوار)	مسافت سفر ≥۱۵ کیلومتر مالکیت خودرو ≥۲ سن <۴۵	۱۵	۸۸	این پروفایل، نماینده بخش مرفه و میان‌سال جامعه شهرک غرب است که الگوهای رفتاری‌شان بر پایه استفاده از چندین خودرو تثبیت شده. خودرو برای آن‌ها نماد نهایت راحتی است و با افزایش سن، تمایل به تغییر عادت و پذیرش ریسک‌های مرتبط با شیوه‌های جدید کاهش می‌یابد.

تلفیق نتایج

تحلیل سلسله‌مراتبی، با نگاهی از بالا به پایین، «نظام ارزشی» و ساختار اولویت‌های ذهنی ساکنین را رمزگشایی کرد و نشان داد که یک وسیله نقلیه ایده‌آل از دیدگاه آن‌ها باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد. در مقابل، تحلیل درخت تصمیم، با رویکردی از پایین به بالا و داده‌محور، «الگوهای رفتاری» و ویژگی‌های عملی را شناسایی کرد که در دنیای واقعی، قصد استفاده از این وسیله را پیش‌بینی می‌کنند. هر یک از این تحلیل‌ها به تنهایی ارزشمند هستند، اما قدرت واقعی این پژوهش در تلفیق استراتژیک این دو دیدگاه نهفته است. هدف این بخش، حرکت فراتر از ارائه نتایج مجزا و رسیدن به یک «بینش ترکیبی» است.

جدول ۲۲، یافته‌های دو مدل را در کنار هم قرار می‌دهد.

جدول ۲۲. بینش‌های ترکیبی از تلفیق AHP و درخت تصمیم

ردیف	بینش	یافته کلیدی AHP	یافته کلیدی درخت تصمیم	تلفیق و بینش استراتژیک
۱	پارادوکس ایمنی و امنیت (موانع عملی در برابر ارزش‌های اصلی)	«ایمنی و امنیت» با کسب وزن گلوبال ۰/۳۰۸، مهم‌ترین و تعیین‌کننده‌ترین اولویت برای ساکنین است	متغیر «نگرانی از سرقت» به عنوان دومین متغیر قدرتمند در مدل شناسایی شد. قاعده شماره ٤ نشان داد که نگرانی بسیار بالا از سرقت، با صرف نظر از سایر عوامل، با احتمال ۹۸ درصد فرد را در دسته «کاربران غیرمحتمل» قرار می‌دهد.	مهم‌ترین ارزشی که ساکنین به دنبال آن هستند (ایمنی و امنیت)، همان عاملی است که بزرگترین مانع ادراکی و عملی را در برابر پذیرش دوچرخه برقی ایجاد کرده است. لذا سرمایه‌گذاری بر روی سایر مزایای طرح (مانند ترویج فواید سلامتی یا زیست‌محیطی) تا زمانی که این نگرانی بنیادین برطرف نشود، تأثیرگذاری محدودی خواهد داشت.
۲	هم‌راستایی زمان و مسافت (ارزش انتزاعی با واقعیت عملکردی)	«صرفه‌جویی در زمان سفر» با کسب وزن گلوبال ۰,۱٦٤، دومین زیرمعیار مهم در کل ساختار تصمیم‌گیری و مهم‌ترین عامل در بعد اقتصادی است.	«مسافت سفر روزانه» را به عنوان قدرتمندترین و مهم‌ترین متغیر در مدل است. . قاعده شماره ۳ نشان داد اگر مسافت سفر فرد بیشتر از ۱۵ کیلومتر باشد، با احتمال ۹٤ درصد در گروه کاربران غیرمحتمل قرار می‌گیرد.	این یافته، یک هم‌راستایی میان یک «ارزش انتزاعی» (اهمیت زمان) و یک «واقعیت عملکردی» (مسافت سفر) را به تصویر می‌کشد. و بازار را به بازه ۳-۱۵ کیلومتر (پوشش ۲۷ درصد غیربالقوه خارج از آن) محدود می‌کند.
۳	ارزش سلامتی به پروفایل سبک زندگی (انگیزه‌های درونی در رفتار)	«سلامت و فعالیت بدنی» با وزن گلوبال ۰/۱۵۳، به عنوان سومین اولویت مهم در نظام ارزشی ساکنین شناسایی شد.	مدل پیش‌بینی رفتار، یک پروفایل کلیدی از کاربران بالقوه را تحت عنوان «بهینه‌سازان سلامتی‌محور» (قاعده ۱) شناسایی کرد. شرط اصلی برای قرار گرفتن در این گروه با احتمال پذیرش ۹۱ درصد، داشتن «نگرش سلامتی بالا» بود.	این یافته‌ها، یک هم‌راستایی میان یک «ارزش» و یک «ویژگی روانشناختی» قابل اندازه‌گیری را اثبات می‌کند. مدل AHP به ما می‌گوید که سلامتی مهم است و مدل درخت تصمیم، افرادی را که این ارزش را به یک ویژگی برجسته در سبک زندگی خود تبدیل کرده‌اند، به عنوان مستعدترین بخش بازار معرفی می‌کند.
٤	شکاف نگرش-رفتار زیست‌محیطی (تأیید دوگانه)	بعد «زیست‌محیطی» با کسب تنها ۹,۹٪ از وزن کل، کم‌اهمیت‌ترین بعد در تصمیم‌گیری واقعی ساکنین است.	متغیر «نگرش زیست‌محیطی»، با وجود میانگین بالای آن در بخش توصیفی، به عنوان یکی از متغیرهای کم‌اهمیت شناسایی شد و در قواعد نهایی و اصلی درخت، نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا نکرد.	هر دو مدل تأیید می‌کنند که هرچند ساکنین شهرک غرب خود را دوستدار محیط زیست می‌دانند، اما این نگرش به تنهایی یک محرک کافی برای تغییر رفتار نیست و در برابر دغدغه‌های ملموس‌تری مانند ایمنی، زمان و سلامتی، به حاشیه رانده می‌شود.

۵-نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی بهره از دوچرخه‌های برقی به عنوان یک شیوه حمل‌ونقل پایدار در شهرک غرب تهران، به عنوان یک محدوده مرفه‌نشین با پتانسیل بالا، با تمرکز بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه پایدار، انجام شد. این مطالعه بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۳۸٤ ساکن با روش نمونه‌گیری تصادفی و پرسشنامه‌های معتبر، با تلفیق روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای واکاوی نظام ارزشی شهروندان و الگوریتم درخت تصمیم برای پیش‌بینی الگوهای رفتاری، به بررسی جامع عوامل مؤثر بر پذیرش این فناوری نوین پرداخت. نتایج نشان‌دهنده پتانسیل قابل توجه اما مشروط این

وسیله در کاهش وابستگی به خودروهای شخصی، بهبود کیفیت هوا و ارتقای سلامت عمومی است.

یافته‌های کلیدی نشان داد که بعد اجتماعی با وزن ۰/٦١٤، اولویت اصلی ساکنین است.زیرمعیار ایمنی و امنیت (وزن ۰/۳۰۸) به عنوان پیش‌شرط مطلق پذیرش شناخته شد. . پس از آن، صرفه‌جویی در زمان سفر (وزن ۰/١٦٤) و سلامت و فعالیت بدنی (وزن ۰/۱۵۳) رتبه‌های بعدی را کسب کردند، که نشان‌دهنده تمرکز شهروندان بر منافع شخصی و کیفیت زندگی است. در بعد اقتصادی (وزن ۰/۲۸۷)، کاهش هزینه‌های جاری سفر و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نقش کمتری ایفا کردند. در مقابل، بعد زیست‌محیطی با وزن بسیار پایین (وزن ۰/۰۹۹) علی‌رغم نگرش مثبت اعلامی شهروندان، حاشیه‌ای ماند و زیرمعیارهایی مانند کاهش تراکم ترافیک و بهبود کیفیت هوا نتوانستند بر اولویت‌های شخصی غلبه کنند. این یافته‌ها پدیده شکاف نگرش–رفتار را تأیید می‌کند، جایی که ارزش‌های زیست‌محیطی در مصالحه با دغدغه‌های ملموس مانند زمان و ایمنی، عقب می‌نشینند.

تحلیل درخت تصمیم با دقت ۸۷/۸ درصد، مسافت سفر روزانه (به عنوان قدرتمندترین پیش‌بینی‌کننده)، نگرانی از سرقت و مالکیت خودرو را عوامل کلیدی شناسایی کرد و پروفایل‌هایی مانند «بهینه‌سازان سلامتی‌محور» با احتمال پذیرش۹۱ درصد و «محافظه‌کاران نگران امنیت» با احتمال رد ۹۸ درصد را ترسیم نمود. این نتایج، بازار بالقوه۳۹/۱ درصدی را در بازه مسافت ۳ الی ۱۵ کیلومتر و با تمرکز بر جوانان منعطف و خانوارهای تک‌خودرو برجسته ساخت.

با این حال، تمرکز بر شهرک غرب، تعمیم‌پذیری به مناطق کم‌درآمد یا روستایی را محدود می‌کند. همچنین عدم بررسی اثرات طولی، رفتار واقعی پس از پذیرش را نادیده می‌گیرد. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود مطالعات جامع در ایران با استفاده از مدل‌های طولی برای پیگیری رفتار کاربران، و ارزیابی تأثیر سیاست‌های تشویقی بر گروه‌های شناسایی‌شده انجام گیرد.

٦- مراجع

-ایران استاتیس. (١٤٠٤). تحلیل روند آلودگی هوای تهران در دو دهه اخیر.

-تفضلی، سروش، و نبی‌زاده، م. (۱۳۹۰). ارائه سیستم ترکیبی دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی و طراحی مسیر یکپارچه دوچرخه با دیگر مدهای حمل‌ونقل. *در اولین کنفرانس بین‌المللی دوچرخه شهری.*

-همشهری آنلاین. (١٤٠٠). سهم پایتخت از دوچرخه‌سواری | تهران به شهر دوچرخه‌سواران تبدیل می‌شود؟

-Ajdari, A., Mehrara, M., & Taiebnia, A. (2023). Investigating the stated preferences of Tehrani citizens regarding. *Majlis and Rahbord,* 30(114), 41–83.

-Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211.

-Atalan, Y. A., & Atalan, A. (2024). Estimating Riding Times of E-Bikes Based on Location and Driver Factors Using Adaboost and Tree Algorithms.

-Ayazi, E., & Sheikholeslami, A. (2020). A data mining approach on lorry drivers overloading in Tehran urban roads. *Journal of Advanced Transportation,* 2020(1), 6895407.

-Baptista, P., Pina, A., Duarte, G., Rolim, C., Pereira, G., Silva, C., & Farias, T. (2015). From on-road trial evaluation of electric and conventional bicycles to comparison with other urban transport modes: Case study in the city of Lisbon, Portugal. *Energy Conversion and Management,* 92, 10–18.

-Bieliński, T., & Ważna, A. (2018). New Generation of Bike-Sharing Systems in China: Lessons for European Cities. *Journal of Management and Financial Sciences,* 25–42. **doi.org/10.33119/JMFS.2018.33.2**

-Bigazzi, A., & Wong, K. (2020). Electric bicycle mode substitution for driving, public transit, conventional cycling, and walking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* 85, 102412. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102412**

on sustainable mobility: A national-level study in the Netherlands. *Journal of Cycling and Micromobility Research,* 2, 100027.

–Iodice, P., Abagnale, C., Cardone, M., Strano, S., Terzo, M., & Vorraro, G. (2014). Performance evaluation and environmental analysis of an electrically assisted bicycle under real driving conditions. *In ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis,* ESDA 2014 (Vol. 1).

–Jin, S. T., & Sui, D. Z. (2024). A comparative analysis of the spatial determinants of e-bike and e-scooter sharing link flows. Journal of Transport Geography, 119, 103959.

–Jones, T., Harms, L., & Heinen, E. (2016). Motives, perceptions and experiences of electric bicycle owners and implications for health, wellbeing and mobility. *Journal of Transport Geography,* 53, 41–49.

Khazaeizadeh, F., Sheikhazami, A., & Estelaji, A. (2024). Measuring and Evaluating Urban Livability with an Emphasis on Clean Transportation Indicators (Case study: District 8 of Tehran). *Journal of Geography & Regional Development,* 22 (3).

-Kroesen, M. (2017). To what extent do e-bikes substitute travel by other modes? Evidence from the Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* 53, 377–387.

-Leger, S. J., Dean, J. L., Edge, S., & Casello, J. M. (2019). "If I had a regular bicycle, I wouldn't be out riding anymore": Perspectives on the potential of e-bikes to support active living and independent mobility among older adults in Waterloo, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 123, 240–254.

-Melia, S., & Bartle, C. (2021). Who uses e-bikes in the UK and why? *International Journal of Sustainable Transportation,* 16, 1–13.

-MohamadiZadeh, M. J., Nabi Bidhandi, G., & Karbasi, A. (2024). Investigating the environmental status of air pollution in Tehran using AHP-DPSIR combined model. *Journal of Urban Environmental Management,* 1(4), 67–84.

-Moloukzade, H., Sheikholeslami, A., & Hassani, S. (2025). Framework for Designing Truck Stops Tailored to the Needs of Heavy Vehicle Drivers (A Review of Needs,

–Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). Classification and Regression Trees. *Taylor & Francis.*

–Bretones, A., & Marquet, O. (2022). Sociopsychological factors associated with the adoption and usage of electric micromobility. A literature review. *Transport Policy,* 127, 230–249.

–de Kruijf, J., Ettema, D., Kamphuis, C. B. M., & Dijst, M. (2018). Evaluation of an incentive program to stimulate the shift from car commuting to e-cycling in the Netherlands. *Journal of Transport & Health,* 10, 74–83.

–De Ville, B. (2013). Decision trees. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Computational Statistics,* 5(6), 448–455.

–Djokic, N., Milicevic, N., Kalas, B., Djokic, I., & Mirovic, V. (2023). E-Bicycle as a Green and Physically Active Mode of Transport from the Aspect of Students: TPB and Financial Incentives. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 20(3).
doi.org/10.3390/ijerph20032495

–Doraki, M. E., Avami, A., Barzegar, Z., & Malek Mohammadi, B. (2025). Investigation of behavioral policies to reduce the emissions of light vehicles: case study of district 13 of Tehran city. *Journal of Transportation Research,* 22(3), 461–476.

–Faghihi, E., & Rafieian, M. (2024). An Analysis of Influential Factors in the Use of Public Bicycles in Tehran. *System,* 56, 104.

–Fan, Z., & Harper, C. D. (2022). Congestion and environmental impacts of short car trip replacement with micromobility modes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* 103, 103173.

–Fyhri, A., Johansson, O., & Bjørnskau, T. (2019). Gender differences in accident risk with e-bikes—Survey data from Norway. *Accident Analysis & Prevention,* 132, 105248.

–Haustein, S., & Møller, M. (2016). E-bike safety: Individual-level factors and incident characteristics. *Journal of Transport & Health,* 3(3), 386–394.

–Huang, B. (Amelia), Wüst, H., & de Haas, M. (2024). Assessing the E-bike trends and impact

-Rérat, P., Marincek, D., & Ravalet, E. (2025). How do e-bikes compete with the other modes of transport? Investigating multiple dimensions of a modal shift. *Applied Mobilities,* 10(1), 85–98.

-Rose, G. (2011). E-bikes and urban transportation: Emerging issues and unresolved questions. *Transportation,* 39, 81–96.

-Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling,* 9(3), 161–176.

-Sampieri, A., & Paoli, A. (2025). Incorporating active commuting into daily life: a narrative review of e-bikes' impact on health and urban air quality. *Frontiers in Sports and Active Living,* 7, 1662076.

-Saunders, L. E., Green, J. M., Petticrew, M. P., Steinbach, R., & Roberts, H. (2013). What are the health benefits of active travel? A systematic review of trials and cohort studies. *PloS One,* 8(8), e69912. **doi.org/10.1371/journal.pone.0069912**

-Seyedabrishami, S., Rahimi, A., & Zarrinmehr, A. (2017). Planning the departure of vacant transit vehicles to the median stops in a single line. *Transportation Research Procedia,* 25, 1317–1326.

-Shirmohammadi, H., Rahimi, F., & Hadadi, F. (2023). Identifying and prioritization effective factors on the selection of bicycle route to improve urban traffic (Case study: district 10 of Tehran city). *Journal of Transportation Research,* 20(3), 359–378.

-Song, Y.-Y., & Lu, Y. (2015). Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai Archives of Psychiatry*.

-Sun, Q., Feng, T., Kemperman, A., & Spahn, A. (2020). Modal shift implications of e-bike use in the Netherlands: Moving towards sustainability? *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* 78, 102202. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102202**

-Van Cauwenberg, J., De Bourdeaudhuij, I., Clarys, P., de Geus, B., & Deforche, B. (2019). E-bikes among older adults: benefits, disadvantages, usage and crash characteristics. *Transportation,* 46(6), 2151–2172. **doi.org/10.1007/s11116-018-9919-y**

Standards, and Design in Iran and OECD Countries). *Road,* 33(125), 57–78.

-Moradi, S., & Rahimi, M. (2025). Identifying and ranking the options for the development of bicycle paths with the approach of reducing traffic in the historical contexts of Tehran using the Fuzzy TOPSIS method. *Geography (Regional Planning),* 15(60), 435–452.

-Nazarpour, M., & Saedi, M. (2020). Understanding lived experience of urban cycling in Tehran (a collaborative auto-ethnography). *Urban Design Discourse a Review of Contemporary Litreatures and Theories,* 1(2), e23164.

-Nguyen, M. H., Nguyen-Phuoc, D. Q., & Johnson, L. W. (2023). Why do parents intend to permit their children to ride e-bikes? Empirical evidence from Vietnam. *Travel Behaviour and Society,* 32, 100586. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100586**

-Nguyen, M. H., Pojani, D., Nguyen-Phuoc, D. Q., Nguyen, T. C., & Ha, T. T. (2024). Do parents support e-bike use among teenagers, and why? Evidence from Vietnam. *Journal of Transport & Health,* 38, 101861. **doi.org/10.1016/j.jth.2024.101861**

-Plazier, P. A., Weitkamp, G., & van den Berg, A. E. (2017). The potential for e-biking among the younger population: A study of Dutch students. *Travel Behaviour and Society,* 8, 37–45. **doi.org/10.1016/j.tbs.2017.04.007**

Plazier, P., Weitkamp, G., & van den berg, A. (2018). Exploring the Adoption of E-Bikes by Different User Groups. *Frontiers in Built Environment,* 4.

Popovich, N., Gordon, E., Shao, Z., Xing, Y., Wang, Y., & Handy, S. (2014). Experiences of electric bicycle users in the Sacramento, California area. *Travel Behaviour and Society,* 1(2), 37–44.

Quinlan, J. R. (1996). Learning decision tree classifiers. ACM Computing Surveys (CSUR), 28(1), 71–72.

-Rérat, P. (2021). The rise of the e-bike: Towards an extension of the practice of cycling? Mobilities, 16(3), 423–439. **doi.org/10.1080/17450101.2021.1897236**

-Zarrinmehr, A., & Moloukzade, H. (2023). Transit Routes Network Design by Greedy Prioritization of the Routes in Grid Networks. *Journal of Transportation Research,* 20(2), 147–160.

-Zarrinmehr, A., & Moloukzede, H. (2021). Application of a Hill-Climbing Algorithm to Public Transportation Routes Design in Grid Networks. International *Journal of Transportation Engineering,* 9(2), 597–612.

-Zhang, F., Shen, Y., Xu, B., Shen, J., Jin, L., Yao, L., Kuang, B., Xu, Z., Pei, X., Tang, Q., Tian, X., & Wang, Z. (2024). Characteristics, sources, and health risks of PM2.5-bound trace metals in northern Zhejiang Province: The effects of meteorological variables based on machine learning. *Journal of Cleaner Production,* 451, 142089.

-Zhang, S. P., & Tak, T. O. (2021). Efficiency evaluation of electric bicycle power transmission systems. *Sustainability* (Switzerland), 13(19).

-Zhang, X., Lim, E. S., & Chen, M. (2024). Promoting Sustainable Urban Mobility: Factors Influencing E-Bike Adoption in Henan Province, China. *Sustainability 2024,* Vol. 16, 10136, 16(22), 10136. **doi.org/10.3390/SU162210136**

-World Health Organization. (2024). Global health estimates.

-Vanak, E. (2025). Dynamic Design of Green Products in Tehran's Public Transportation System (Challenges and Opportunities). *Road,* 33(125), 331–338.

-Ważna, A. (2017). The Role Of Economic Value Of Time In Shaping Passenger Transport Behaviour. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. *Ekonomika Transportu i Logistyka,* 72, 35–43. **doi.org/10.5604/01.3001.0010.6874**

-Weiss, M., Dekker, P., Moro, A., Scholz, H., & Patel, M. (2015). On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. *Transportation Research Part D Transport and Environment,* 41.

Zabiulla, Mohammad, Sahu, Prasanta K, & Bandhu Majumdar, Bandhan. (2024). Exploring the Factors Influencing Electric Bicycle Adoption: A Survey Among Future Adopters in India. *Transportation Research Record,* 2678(8), 700–715. **doi.org/10.1177/03611981231220565**

-Zarrinmehr, A., & Mohammad Hasany, R. (2023). The Greedy Algorithm for Development of the Network Based on the Lowest Developing Cost: The Case Study of Iran. *Modares Civil Engineering Journal,* 23(3), 41–56.

Feasibility Assessment of Developing and Operating Electric Bicycles (E-Bikes) from a Sustainable Development Perspective (Case Study: Shahrak-e Gharb, Tehran)

Seyyed Mohammad Mahdi Daryabari, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

***Abdolreza Shekholeslami,** Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

Shahin Hassani, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Hanie Moloukzadeh, M.Sc., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: sheikh@iust.ac.ir

Received: May 2026- Accepted: November 2026

ABSTRACT

Rapid metropolitan population growth and increasing dependence on private cars have made the transition to sustainable transportation imperative. As a micro-mobility option, electric bicycles (e-bikes) can enhance urban mobility; however, their adoption depends on citizens' value systems and travel behavior. This study assesses the feasibility of e-bike use in the automobile-oriented Shahrak-e Gharb district of Tehran. Data were collected from 384 respondents through random sampling and a validated questionnaire. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to prioritize sustainable development dimensions, and a decision-tree model was used to predict adoption. Overall, the results indicate that the social dimension is the highest priority (weight = 0.614), with safety and security (weight = 0.308) identified as the primary prerequisite for acceptance. This is followed by health and physical activity (0.289) and travel time savings (0.164). The economic dimension ranks next (0.287), with reductions in operating costs considered more important than the initial investment cost. In contrast, the environmental dimension receives a low weight (0.099); perceived benefits such as reduced traffic congestion and improved air quality do not outweigh concerns related to safety and time. The decision-tree model achieves an accuracy of nearly 90%, identifying daily travel distance as the strongest predictor, while theft concerns and car ownership emerge as key determinants. The potential market is concentrated in 3–15 km trips, particularly among younger residents and single-car households.

Keywords: Sustainable Development, Decision Tree, Electric Bicycle, Transportation, Analytic Hierarchy Process (AHP)