

پیش‌بینی تاثیر عرضه خودرو خودران اشتراکی برانتخاب وسیله نقلیه سفرهای روزانه برای گروه‌های توان یاب

مقاله علمی - پژوهشی

محمدامین ابراهیم زاده، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
شهریار افندی‌زاده*، استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
سیدابراهیم عبدالمنافی، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۳۹۷-۴۰۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر عرضه خودروهای خودران اشتراکی بر انتخاب وسیله نقلیه در سفرهای روزانه گروه‌های توان‌یاب شامل سالمندان، کودکان و افراد معلول انجام شد. داده‌ها از طریق پرسشنامه‌های میدانی جمع‌آوری و با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک تحلیل شدند. ارزیابی مدل با شاخص‌هایی نظیر ناحیه زیر منحنی ROC برابر با ۰.۹۷۵ و ضریب تعیین کاکس و اسنل ۰.۲۹۱ نشان‌دهنده دقت و قابلیت پیش‌بینی بالای مدل است. نتایج نشان داد که متغیرهای تحصیلات، میزان استفاده از خودرو خودران اشتراکی، پذیرش اجتماعی، احساس ایمنی و دسترس‌پذیری، تأثیر معناداری بر انتخاب وسیله نقلیه توسط گروه توان‌یاب دارند. یافته‌ها تأکید می‌کنند که عرضه خودروهای خودران اشتراکی می‌تواند بهبود قابل توجهی در عدالت و برابری دسترسی به حمل‌ونقل برای گروه‌های توان‌یاب ایجاد کند و فرصت‌های مشارکت آنان در سیستم حمل‌ونقل شهری را افزایش دهد. نوآوری اصلی مطالعه در تمرکز خاص بر گروه‌های توان‌یاب و به‌کارگیری داده‌های میدانی برای مدل‌سازی انتخاب وسیله نقلیه با رویکرد رگرسیون لاجستیک است که ابزاری کاربردی برای سیاست‌گذاران در طراحی برنامه‌های ارتقای کیفیت زندگی و دسترسی این گروه‌ها فراهم می‌کند. این پژوهش پایه‌ای قوی برای مطالعات آتی فراهم کرده و زمینه را برای توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر جهت بررسی عمیق‌تر اثرات فناوری‌های نوین حمل‌ونقل بر گروه‌های توان‌یاب فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: خودروهای خودران اشتراکی، گروه توان‌یاب، مدل رگرسیون لاجستیک، پیش‌بینی انتخاب وسیله نقلیه

۱-مقدمه

عمومی، نیاز به راهکارهای فناورانه و فراگیر بیش از گذشته احساس می‌شود. در این میان، گروه‌های توان‌یاب نظیر سالمندان، افراد دارای معلولیت و کودکان بیش از سایرین تحت‌تأثیر کمبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل ایمن و قابل اعتماد قرار دارند. محدودیت‌های جسمی، وابستگی به دیگران و موانع محیطی، سبب شده این افراد سهم کمتری در استفاده مستقل از سیستم حمل‌ونقل

در دهه‌های اخیر، رشد سریع فناوری‌های هوشمند در حوزه حمل‌ونقل منجر به شکل‌گیری مفاهیمی نوین مانند خودروهای خودران اشتراکی شده است؛ راهکاری که می‌تواند شیوه سفرهای شهری را دگرگون کرده و چالش‌های دیرینه شهرهای بزرگ را تا حد زیادی کاهش دهد. در کلان‌شهر تهران، با تراکم جمعیتی بالا، ترافیک سنگین، آلودگی هوا و نابرابری در دسترسی به حمل‌ونقل

از محورهای اصلی در سیاست‌گذاری اجتماعی و شهری تبدیل شده است (Litman, 2017). خودروهای خودران اشتراکی این ظرفیت را دارند که به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، نقشی کلیدی در افزایش دسترسی گروه‌های به‌حاشیه‌رانده شده به خدمات حمل‌ونقل ایفا کنند و بستر مناسبی برای تحقق عدالت حمل‌ونقلی فراهم سازند. به‌ویژه برای اقشاری مانند سالمندان، افراد دارای معلولیت و خانواده‌های کم‌درآمد، این فناوری می‌تواند موانع متداول مرتبط با تحرک، نظیر وابستگی به راننده، هزینه‌های بالای مالکیت خودرو یا محدودیت در استفاده از ناوگان سنتی حمل‌ونقل عمومی را برطرف نماید (Creger et al., 2019). معیارهای سنتی مدل‌سازی حمل‌ونقل مانند سطح خدمت و حجم ترافیک، تفاوت‌های جمعیتی را نادیده می‌گیرند و عدالت حمل‌ونقلی را به‌درستی ارزیابی نمی‌کنند. حتی مدل‌هایی که درآمد را لحاظ می‌کنند، معمولاً از بررسی عوامل مهمی مانند نژاد، ناتوانی و دسترسی به خودرو غافل‌اند. بنابراین، بازنگری در این معیارها برای تحقق حمل‌ونقل عادلانه ضروری است (Karner et al., 2016). بیشتر مدل‌های سنتی تقاضای سفر منطقه‌ای از شناسایی و تحلیل اثرات توزیعی حمل‌ونقل ناتوانان، زیرا تمرکز آن‌ها عمدتاً بر وسایل نقلیه شخصی به‌عنوان روش غالب جابه‌جایی است. این چارچوب‌ها اغلب گزینه‌های حمل‌ونقل غیربرخوردار مانند پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی را در سناریوهای برنامه‌ریزی نادیده می‌گیرند یا کم‌اهمیت تلقی می‌کنند. این مسئله منجر به تخصیص نابرابر منابع و تقویت نابرابری‌های ساختاری برای گروه‌های کم‌درآمد و فاقد خودروی شخصی می‌شود (Dargay, 2001) (Paulley et al., 2006). مارتنز و همکاران نشان دادند که مزایای حاصل از سرمایه‌گذاری‌های حمل‌ونقل عمدتاً به نفع کاربران خودروهای شخصی است؛ چرا که شاخص‌های ارزیابی عملکرد مانند تراکم، سطح خدمات، تأخیر وسایل نقلیه و کاهش زمان سفر، بیشتر بر بهبود شرایط برای رانندگان متمرکز هستند. این تمرکز موجب می‌شود که گروه‌های فاقد خودرو یا وابسته به حمل‌ونقل عمومی، کمتر از منافع چنین سرمایه‌گذاری‌هایی بهره‌مند شوند، و در نتیجه شکاف‌های نابرابری

داشته باشند. از این رو، خودروهای خودران اشتراکی می‌توانند بستری مناسب برای ارتقای کیفیت زندگی این گروه‌ها فراهم کنند. این پژوهش در این نکته نهفته است که علیرغم پتانسیل بالای فناوری خودران در ارتقای عدالت حمل‌ونقلی، تاکنون در مطالعات داخلی، بررسی نظام‌مند و میدانی در خصوص میزان تأثیر این فناوری بر تصمیمات سفر گروه‌های توان‌یاب صورت نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر خودروهای خودران اشتراکی بر الگوی سفر گروه‌های توان‌یاب در شهر تهران انجام شده است. در این راستا، با طراحی و تحلیل ۸۲۳ پرسشنامه از میان افراد دارای معلولیت، سالمندان و کودکان، میزان پذیرش این فناوری، عوامل مؤثر بر انتخاب آن، و پیامدهای احتمالی آن در افزایش برابری حمل‌ونقل شهری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای تدوین سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه فناوری‌های حمل‌ونقل در جهت ایجاد سیستم‌های دربرگیرنده‌تر، ایمن‌تر و کارآمدتر برای تمامی اقشار جامعه به‌ویژه گروه‌های ناتوان باشد.

با توسعه فناوری‌های هوشمند، به‌ویژه در حوزه سیستم‌های حمل‌ونقل خودران، نگرش نسبت به مفاهیم سنتی مانند مالکیت وسیله‌نقلیه، شیوه‌های جابجایی و عدالت حمل‌ونقل دستخوش تغییرات بنیادین شده است. در دهه‌های آینده، پیش‌بینی می‌شود وسایل نقلیه خودران نقش مهمی در افزایش دسترسی حمل‌ونقل و کاهش تبعیض فضایی ایفا کنند و مفاهیم عدالت حمل‌ونقل را به‌صورت اساسی بازتعریف نمایند (Meyer et al., 2020) (Milakis and Van, 2017). به‌عنوان نمونه، موج نخست عرضه خودروهای خودران عمدتاً به‌صورت خصوصی و با هزینه‌های بالا در بازارهای شهری ارائه می‌شود، که در درجه اول به نفع اقشار پردرآمد و ساکنان مناطق مرکزی شهر خواهد بود. این مسئله می‌تواند شکاف‌های اجتماعی و اقتصادی موجود در سیستم حمل‌ونقل را تشدید کند و موجب شود گروه‌های کم‌درآمدتر از دسترسی به این فناوری بازمانند (Bosch et al., 2018) (Benhart et al., 2018). با اینکه مفاهیمی مانند سلامت، آموزش و مسکن همواره به‌عنوان ارکان اساسی عدالت اجتماعی شناخته شده‌اند، اما در دهه‌های اخیر، دسترسی برابر به حمل‌ونقل نیز به‌تدریج به یکی

افزایش بهره‌وری ناوگان و بهبود کارایی سیستم، مزایای سیاسی قابل توجهی به همراه دارد (Krueger et al., 2019). تأکید شده است که سازگاری اتوماسیون حمل و نقل جاده‌ای با اهداف سیاست تحرک پایدار به میزان اشتراک‌گذاری همزمان وابسته است، چرا که این اشتراک‌گذاری می‌تواند از رشد ترافیک، ازدحام و حرکت خالی وسایل نقلیه (که در سیستم‌های انحصاری بسیار بیشتر است) جلوگیری کند. مدل‌سازی سناریو نشان می‌دهد که ناوگان خودروهای خودران اشتراکی و متصل به دلیل همکاری داخلی، نیاز به تعداد کمتری از وسایل نقلیه نسبت به ناوگان غیرهمزمان دارند که تقریباً ۸۰٪ از وسایل موجود را شامل می‌شود (Martinez, L. and Crist., 2015). ماهپور و همکاران در سال ۱۴۰۳ با استفاده از مدل‌سازی سیستم دینامیکی و تعریف سناریوهای عملیاتی، تأثیر سیستم اتومبیل‌های خودران بر زمان جستجوی پارک و سهم وسایل نقلیه شهری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که استراتژی‌های مختلف در عرضه اتومبیل‌های خودران و اولویت‌های سفر افراد می‌تواند الگوی سفر را تغییر داده است (ماهپور و همکاران ۱۴۰۳). بسیاری از مطالعات که به تأثیرات خودروهای خودران اشتراکی بر جنبه‌های فنی یا اقتصادی تمرکز دارند، من بر تأثیرات آن‌ها بر تقاضای سفر، به ویژه در میان گروه‌های توان یاب مانند افراد مسن، معلولین و کودکان، در شهر تهران تمرکز می‌کنم. این پژوهش به بررسی تغییرات الگوهای سفر و دسترسی به حمل‌ونقل در این گروه‌ها می‌پردازد، که در بسیاری از مطالعات پیشین نادیده گرفته شده است. این پژوهش به دو سوال اصلی در زمینه انتخاب وسیله نقلیه برای سفرهای روزانه را پاسخ می‌دهد.

۲- روش شناسی

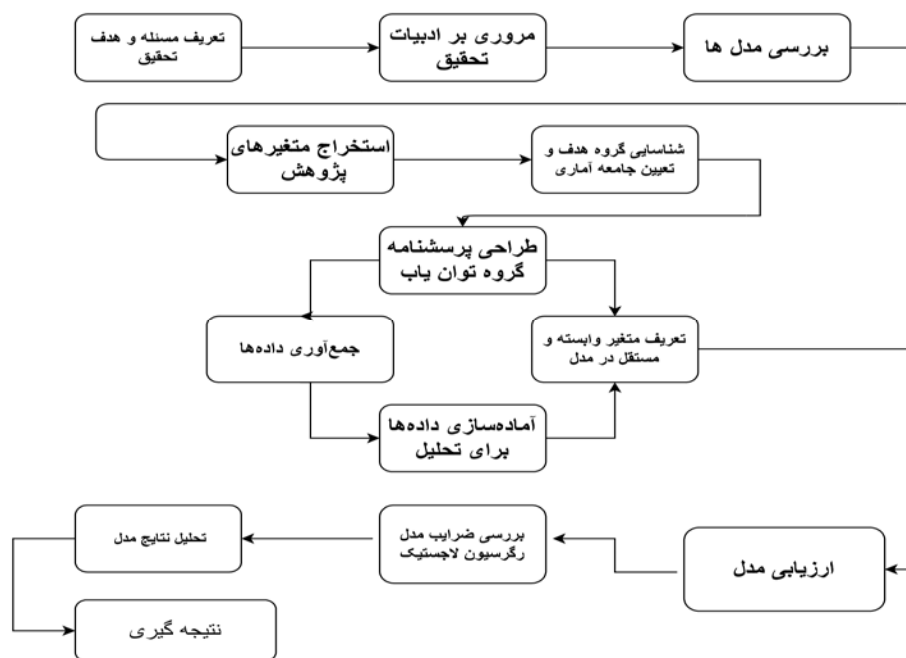
رگرسیون لجستیک یک مدل آماری است که برای پیش‌بینی احتمال وقوع یک رویداد بر اساس یک یا چند متغیر مستقل استفاده می‌شود. این مدل به‌ویژه در مسائلی کاربرد دارد که نیاز به طبقه‌بندی یا پیش‌بینی احتمال وقوع یک رویداد خاص وجود دارد، جایی که متغیر وابسته به صورت یک متغیر دودویی (مانند بله/خیر،

حمل‌ونقل تشدید گردد) (Martens and Hurvitz, 2011). بررسی فرصت‌های فراهم‌شده توسط سیستم‌های خودروهای خودران مشترک برای بهبود برابری فضایی دسترسی به حمل‌ونقل در شهرها می‌پردازد. مدل پیشنهادی، راه‌حل‌های عملی برای افزایش برابری دسترسی و همچنین نیاز به تنظیمات خاص برای حل مشکلات فضایی موجود را معرفی می‌کند. هدف این پژوهش تحلیل رابطه میان کاربری زمین و دسترسی به حمل‌ونقل (چه با خودرو شخصی و چه با حمل‌ونقل عمومی) و بررسی تأثیر آن‌ها بر رفاه اجتماعی-اقتصادی در سطح منطقه‌ای است. این تحلیل در چهار شهر اروپایی (پاریس، برلین، لندن و وین) انجام شده و شاخص‌هایی مانند درآمد سالانه، نرخ بیکاری و میزان تحصیلات به‌عنوان معیارهای رفاه اجتماعی-اقتصادی معرفی شده‌اند (Eppenberger and Richter, 2021). افزایش دسترسی و توزیع متوازن آن در میان فضاها و گروه‌های اجتماعی، از اهداف کلیدی برای تحقق حمل‌ونقلی پایدار و عدالت‌محور است. در دهه‌های آینده، وسایل نقلیه خودران پتانسیل تغییر بنیادین در سیستم حمل‌ونقل و ارتقای عدالت دسترسی را دارند؛ اما اثرات آن‌ها بسته به ویژگی‌های فضایی، اجتماعی و سیاست‌های تنظیمی متغیر خواهد بود. تحقیقات موجود در این حوزه محدود بوده و ارتباط دقیق بین فناوری خودروهای خودران و عدالت دسترسی همچنان نامشخص است. این مطالعه به بررسی چهار تأثیر کلیدی بر عدالت حمل‌ونقل پرداخته است که شامل دوگانگی در دسترسی، پراکندگی نامتوازن امکانات، تشدید نابرابری‌های اجتماعی و همچنین فرصت‌هایی برای کاهش این نابرابری‌ها می‌باشد (Dianin et al., 2021). وسایل نقلیه مشترک وسایل نقلیه‌ای هستند که می‌توانند به صورت ناهمزمان یا همزمان به اشتراک گذاشته شوند. در حالت ناهمزمان، وسیله نقلیه ابتدا به‌طور انحصاری توسط یک مسافر استفاده شده و سپس به‌طور انحصاری به مسافر دیگری اختصاص می‌یابد. در حالت همزمان، حداقل بخشی از سفر به‌طور مشترک توسط دو یا چند مسافر، که ممکن است یکدیگر را نشناسند، استفاده می‌شود (Parkhurst, G. and Seedhouse, 2019). به اشتراک‌گذاری همزمان، از طریق

که در آن، P احتمال وقوع رویداد مورد نظر است، β_0 ثابت مدل است و β_1, β_2, \dots و β_k ضرایب متغیرهای مستقل X_1, X_2, \dots و X_k هستند (Wright, 1995). این مدل احتمال وقوع رویداد (تاثیر عرضه خودرو خودران اشتراکی بر روی انتخاب مد سفر) را بر اساس ترکیبی از عوامل اجتماعی و اقتصادی پیش‌بینی می‌کند. به منظور تسهیل درک روند پژوهش، فلوچارت روش تحقیق در شکل (۱) ارائه شده است.

موفقیت/ شکست) تعریف شده است. رگرسیون لجستیک معمولاً در تحقیقات اجتماعی، اقتصادی و علوم انسانی کاربرد فراوانی دارد. این مدل، رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته دودویی را از طریق تابع لجستیک مدل‌سازی می‌کند. فرم کلی مدل در رابطه (۱) نشان داده شده است.

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

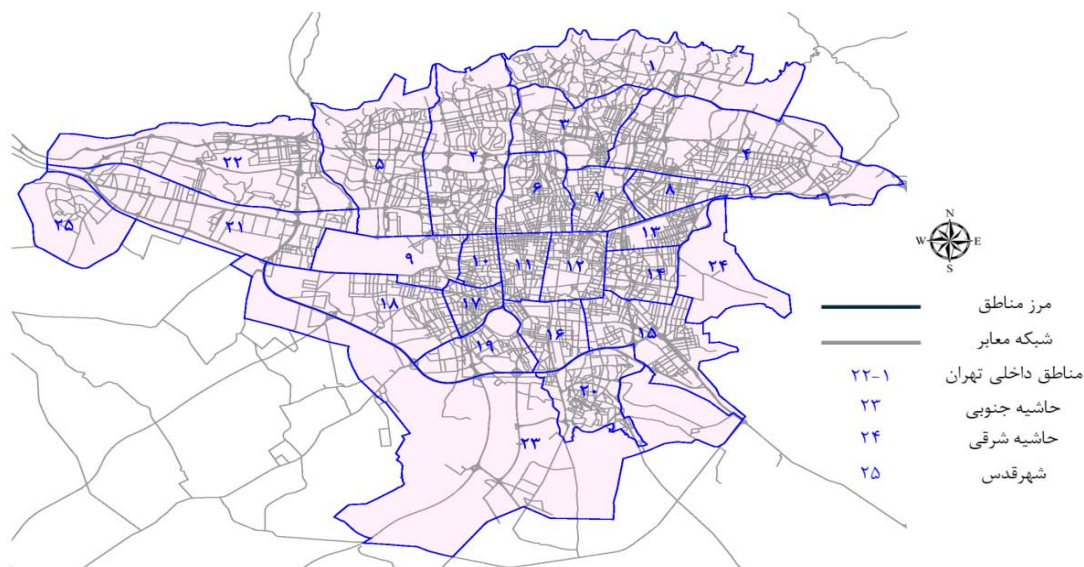


شکل ۱. فلوچارت مراحل روش تحقیق

۳- مطالعه موردی

۷۱ درصد و سایر وسایل ۴ درصد می‌باشد. درصد تأثیر وسایل نقلیه مختلف در ترافیک شبکه معابر (ساعات اوج صبح) عبارت است از موتورسیکلت ۲,۶ درصد، سواری و وانت ۷۰,۸ درصد، اتوبوس واحد ۲,۷ درصد، انواع تاکسی ۱۹,۷ درصد و سایر وسایل ۳,۴ درصد. سهم انواع وسایل حمل‌ونقل درون‌شهری تهران شامل سواری و وانت ۴۹ درصد، تاکسی اینترنتی ۲ درصد، موتورسیکلت ۷ درصد، اتوبوس و مترو ۱۹ درصد، مینی‌بوس ۲ درصد، تاکسی ۱۸ درصد و سایر وسایل ۳ درصد است. منطقه بندی شهر تهران به صورت شکل (۲) آمده است.

وضعیت کلی شهر تهران دارای جمعیت حدود ۹ میلیون و ۴۰۰ هزار نفر است و تراکم جمعیتی برابر با ۱۲۹ نفر در هر هکتار است. تهران شامل ۲۲ منطقه بوده و ۲۶,۷ درصد جمعیت آن شاغل و ۲۲,۶ درصد در حال تحصیل هستند. تعداد سفرهای روزانه در تهران حدود ۱۹,۸ میلیون نفر می‌باشد. سهم سفرهای آموزشی ۱۸ درصد، شغلی ۴۳ درصد، خرید ۱۳ درصد، تفریح ۱۹ درصد و سایر سفرها ۷ درصد است. سهم انواع وسیله نقلیه در ایجاد ترافیک ساعات اوج صبح به‌جز مترو شامل اتوبوس واحد ۳ درصد، انواع تاکسی ۲۰ درصد، موتورسیکلت ۲ درصد، سواری و وانت



در میان این افراد توزیع شد. این روش به‌ویژه برای گروه‌های توان یاب، امکان جمع‌آوری داده‌های معتبر و دقیق را فراهم کرد و به پژوهشگران این فرصت را داد تا تأثیر خودروهای خودران اشتراکی بر دسترسی به حمل‌ونقل و انتخاب وسیله نقلیه سفر را به‌طور مؤثر ارزیابی کنند و در جدول (۱) خلاصه پردازش داده‌های پژوهش آمده است.

در این پژوهش، ۲۲ منطقه داخلی شهر تهران به عنوان محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند و داده‌ها از شهروندان ساکن در این مناطق جمع‌آوری شده است.

۳-۱- روش گردآوری داده‌ها

در این پژوهش، داده‌ها از طریق روش میدانی جمع‌آوری شدند. به این صورت که اطلاعات مستقیماً از ارتباط با افراد و گروه‌های هدف به‌دست آمد و هیچ‌گونه اتکالی به داده‌های ثانویه یا موجود صورت نگرفت. ۸۲۳ پرسشنامه‌ها به‌طور حضوری در مکان‌های مشخص توزیع و تکمیل شدند تا اطمینان حاصل شود که نتایج دقیق و معتبر هستند. برای جمع‌آوری اطلاعات از افراد دارای معلولیت، پرسشنامه‌ها در مراکز توانبخشی و بهزیستی توزیع شد و توسط افراد معلول تکمیل گردید. همچنین برای گروه‌های سنی کودکان، پرسشنامه‌ها در مدارس توزیع و توسط دانش‌آموزان پر شد. برای سالمندان، اطلاعات اولیه از سازمان‌های تأمین اجتماعی جمع‌آوری شده و پس از هماهنگی‌های لازم، پرسشنامه‌ها

جدول ۱. خلاصه پردازش داده‌های پژوهش

| درصد | تعداد | تحلیل داده‌ها | |
|------|-------|----------------------------|-------------------|
| ۱۰۰ | ۸۲۳ | داده‌های موجود در تحلیل | نمونه‌های انتخابی |
| ۰ | ۰ | داده‌های در نظر گرفته نشده | |
| ۱۰۰ | ۸۲۳ | مجموع | |

ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی برای این سه گروه هدف بررسی شده است. نتایج تحلیل‌های فراوانی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی پرسشنامه‌های گردآوری‌شده در جداول (۲)، (۳) و (۴) ارائه شده است.

۳-۱-۱- تحلیل توصیفی داده‌ها

در این پژوهش، کاربران توان‌یاب شامل افراد دارای معلولین، کودکان و سالمندان به‌عنوان مشارکت‌کنندگان اصلی این پژوهش حضور داشتند و نقش مهمی در فرآیند جمع‌آوری داده‌های دسته دوم پژوهش ایفا کردند. در تحلیل توصیفی داده‌های پژوهش،

جدول ۲. تحلیل فراوانی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی کودکان

| ردیف | متغیر | بازه/دسته‌بندی | تعداد | سهم (درصد) |
|------|---------|-------------------|-------|------------|
| ۱ | سن | ۱۸-۷ | ۲۲۰ | ۱۰۰ |
| ۲ | جنسیت | مرد | ۱۱۲ | ۵۰٫۹۱ |
| | | زن | ۱۰۸ | ۴۹٫۰۹ |
| ۳ | تحصیلات | دیپلم و زیر دیپلم | ۲۲۰ | ۱۰۰ |

جدول ۳. تحلیل فراوانی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی معلولین

| ردیف | متغیر | بازه/دسته‌بندی | تعداد | سهم (درصد) |
|------|---------|-------------------|-------|------------|
| ۱ | سن | ۳۰-۱۹ | ۱۰۸ | ۳۷٫۸۹ |
| | | ۴۰-۳۰ | ۵۹ | ۲۰٫۰۷ |
| | | ۶۰-۴۰ | ۱۱۸ | ۴۱٫۰۴ |
| | | مجموع | ۲۸۵ | ۱۰۰ |
| ۲ | جنسیت | مرد | ۱۴۵ | ۵۰٫۸۸ |
| | | زن | ۱۴۰ | ۴۹٫۱۲ |
| | | مجموع | ۲۸۵ | ۱۰۰ |
| ۳ | تحصیلات | دیپلم و زیر دیپلم | ۸۰ | ۲۸٫۰۷ |
| | | کارشناسی | ۱۵۲ | ۵۳٫۳۳ |
| | | کارشناسی ارشد | ۴۹ | ۱۷٫۱۹ |
| | | دکتری | ۴ | ۱٫۴۰ |
| | | مجموع | ۲۸۵ | ۱۰۰ |

جدول ۴. تحلیل فراوانی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی سالمندان

| ردیف | متغیر | بازه/دسته‌بندی | تعداد | سهم (درصد) |
|------|---------|-------------------|-------|------------|
| ۱ | سن | ۶۰ و بیشتر | ۳۱۸ | ۱۰۰ |
| | | مجموع | ۳۱۸ | ۱۰۰ |
| ۲ | جنسیت | مرد | ۱۵۵ | ۴۸,۷۴ |
| | | زن | ۱۶۳ | ۵۱,۲۶ |
| | | مجموع | ۳۱۸ | ۱۰۰ |
| ۳ | تحصیلات | دیپلم و زیر دیپلم | ۱۷۰ | ۵۳,۴۵ |
| | | کارشناسی | ۱۲۰ | ۳۷,۶۷ |
| | | کارشناسی ارشد | ۱۸ | ۵,۶۷ |
| | | دکتری | ۱۰ | ۳,۱۴ |
| | | مجموع | ۳۱۸ | ۱۰۰ |

افراد دارای معلولیت و سالمندان، در قالب جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

در این پژوهش، به منظور تحلیل ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و اقتصادی-اجتماعی پاسخ‌دهندگان، متغیرهای مربوط به سن، جنسیت و تحصیلات به تفکیک سه گروه توان‌یاب شامل کودکان،

۳-۱-۲- جدول رمزگذاری متغیر وابسته

"وجود یا عدم وجود سفر با خودرو خودران اشتراکی" کدگذاری شده است.

در جدول (۵) نحوه رمزگذاری متغیر وابسته برای مدل رگرسیون لجستیک نشان داده شده است. فرض کنید که متغیر وابسته بصورت

جدول ۵. کدگذاری مدل در نرم‌افزار

| نام متغیر وابسته | کدگذاری | توضیحات |
|---------------------------------|---------|--|
| استفاده از خودرو خودران اشتراکی | ۰ | فرد خودرو خودران اشتراکی برای سفر انتخاب کرده است |
| | ۱ | فرد خودرو خودران اشتراکی برای سفر انتخاب نکرده است |

۴- ارزیابی مدل

برای اعتبارسنجی مدل از آزمون ضرایب همه‌جانبه و نمودار ROC استفاده شد. آزمون ضرایب همه‌جانبه معناداری کلی مدل را ارزیابی می‌کند و نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل توان پیش‌بینی متغیر وابسته را دارند یا خیر. نمودار ROC نیز دقت مدل را در تمایز بین گروه‌ها اندازه‌گیری می‌کند و با محاسبه مساحت زیر منحنی، کیفیت پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. این دو آزمون به همراه هم، اعتبار و کارایی مدل را تضمین می‌کنند.

۴-۱- آزمون همه جانبه مدل

آزمون خنثی‌دو یکی از آزمون‌های آماری است که معمولاً برای بررسی همبستگی بین متغیرهای اسمی یا بررسی برآزش مدل رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. در مدل رگرسیون لجستیک، آزمون خنثی‌دو برای ارزیابی میزان تناسب مدل با داده‌ها بکار می‌رود و بررسی می‌کند که آیا مدل رگرسیون لجستیک به طور معنی‌داری بهتر از یک مدل بدون متغیرهای مستقل (مدل پایه) عمل می‌کند یا خیر. آزمون خنثی‌دو، آزمونی است که فراوانی‌های مورد انتظار را با فراوانی‌های تحقیق مقایسه می‌کند تا مشخص شود آیا تفاوت معناداری بین این دو فراوانی وجود دارد یا خیر. با توجه به نتایج این آزمون اگر مقدار معناداری آزمون برای گروهی کمتر از ۰,۰۵ به دست آمده باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بین فراوانی‌های آن گروه تفاوت معناداری وجود دارد. که در اینجا از عرضه نتایج آزمون در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶. آزمون ضرایب همه جانب مدل عرضه خودرو

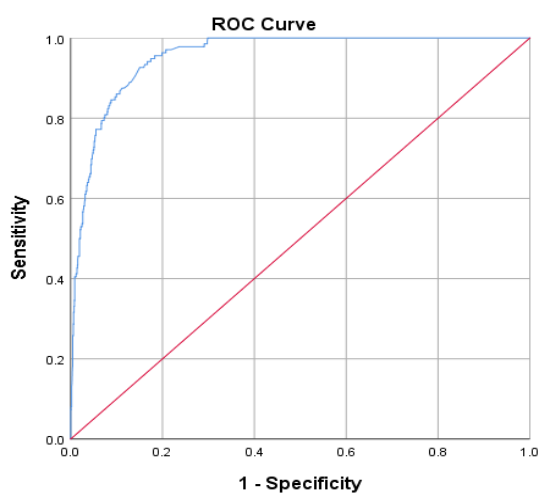
خودران اشتراکی

| سطح ۱ | خنثی دو | درجه آزادی | سطح معنی داری |
|-------|---------|------------|---------------|
| مرحله | ۴۲۰,۲۳۴ | ۵ | ۰ |
| بلوک | ۴۲۰,۲۳۴ | ۵ | ۰ |
| مدل | ۴۲۰,۲۳۴ | ۵ | ۰ |

جدول (۶) نشان‌دهنده نتایج آزمون خنثی دو برای ضرایب مدل رگرسیون لجستیک عرضه خودرو خودران اشتراکی است. مقدار خنثی دو برابر با ۴۲۰,۲۳۴ می‌باشد که با درجه آزادی ۵ محاسبه شده است. سطح معنی‌داری برای مرحله، بلوک و کل مدل هر سه برابر با صفر است، که نشان‌دهنده معناداری آماری بسیار قوی مدل می‌باشد. این نتیجه بیان می‌کند که متغیرهای وارد شده به مدل به طور معناداری توانسته‌اند توضیح قابل توجهی در پیش‌بینی انتخاب خودرو خودران اشتراکی ارائه دهند و مدل از نظر آماری معتبر است. بنابراین، می‌توان اطمینان داشت که مدل رگرسیون لجستیک عملکرد خوبی در پیش‌بینی انتخاب وسیله نقلیه توسط گروه توان‌یاب دارد و متغیرهای انتخاب شده اثرگذار هستند.

۴-۱-۱- آزمون نمودار ROC

نمودار ROC یکی از ابزارهای مهم برای ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی به ویژه مدل‌های رگرسیون لجستیک است. این نمودار کمک می‌کند تا قدرت تفکیک مدل ارزیابی شود و به طور خاص، توانایی مدل در تمییز بین کلاس‌های مثبت و منفی را بررسی گردد.



شکل ۲. مساحت زیرمنحنی

جدول ۷. متغیر(های) نتیجه آزمون: احتمال پیش‌بینی شده

| ناحیه | خطای استاندارد | معناداری مجانبی (Sig. b) | حد پایین | حد بالا |
|-------|----------------|--------------------------|----------|---------|
| ۰,۹۷۵ | ۰,۰۰۳ | ۰,۰۰۰ | ۰,۹۱۲ | ۰,۹۴۳ |

جدول (۷) نتایج آزمون احتمال پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد که بیانگر عملکرد مدل رگرسیون لاجستیک است. مقدار ناحیه زیر منحنی برابر با ۰,۹۷۵ است که نشان‌دهنده دقت بسیار بالای مدل در تمایز دادن بین دسته‌های مختلف انتخاب وسیله نقلیه است. خطای استاندارد بسیار کم (۰,۰۰۳) بیانگر پایداری و قابل اطمینان بودن این برآورد است. مقدار معناداری مجانبی برابر با ۰,۰۰۰ است که دلالت بر معناداری آماری بسیار قوی مدل دارد و احتمال اینکه نتایج به صورت تصادفی به دست آمده باشند را به شدت کاهش می‌دهد. حدود اطمینان ۹۵ درصد برای ناحیه زیر منحنی نیز بین ۰,۹۱۲ تا ۰,۹۴۳ قرار دارد که نشان‌دهنده قطعیت بالای مدل در پیش‌بینی درست است. بنابراین، این نتایج تایید می‌کنند که مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی انتخاب وسیله نقلیه توسط گروه توان‌یاب قابل اعتماد و معتبر است.

مدل‌سازی و بحث

تفسیر نتایج رگرسیون توسط جدولی که به نام خلاصه مدل معروف است، صورت می‌گیرد. این جدول، ویژگی و آماره‌ها مربوط به برازش مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد. ضریب لگاریتم لاکلیهود در آمار، تابع درست‌نمایی تابعی از پارامترهای مدل آماری

است که نقش کلیدی در آمار استنباطی ایفاء می‌کند. تابع درست‌نمایی برابر است با احتمال آنکه به ازای مقادیری معین برای تعدادی پارامترهای آماری، نتایج مشاهده شده حاصل شود. همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، این جدول شامل سه ستون می‌باشد که در ستون ۱ ضریب لاکلیهود و سایر ضریب‌ها دارای ضریب همبستگی ایده‌آل بوده است.

جدول ۸. خلاصه مدل بعد از عرضه خودرو خودران اشتراکی

| منهای دو لگاریتم لاکلیهود | کاکس و اسنل R ² | نگلکرک R ² |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| ۳۹۲,۳۲۳ | ۰,۲۹۱ | ۰,۷۸۲ |

خلاصه مدل پس از عرضه خودرو خودران اشتراکی نشان می‌دهد که مقدار منهای دو لگاریتم لاکلیهود برابر با ۳۹۲,۳۲۳ است که معیاری برای سنجش کیفیت برازش مدل می‌باشد؛ مقدار کمتر این شاخص معمولاً نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است. شاخص کاکس و اسنل R² برابر با ۰,۲۹۱ است که بیانگر این است که تقریباً ۲۹,۱ درصد از واریانس متغیر وابسته توسط مدل توضیح داده شده است. همچنین، مقدار نگلکرک R² برابر با ۰,۷۸۲ می‌باشد که دلالت بر برازش بسیار خوب مدل دارد و نشان می‌دهد مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی انتخاب وسیله نقلیه توسط گروه توان‌یاب پس از عرضه خودرو خودران اشتراکی دارد. به طور کلی، این مقادیر بیانگر عملکرد مطلوب و قابلیت پیش‌بینی قابل قبول مدل رگرسیون لاجستیک در این پژوهش است.

جدول ۹. ضرایب مدل تاثیرات عرضه خودرو خودران اشتراکی

| متغیرها | ضرایب | خطای استاندارد | آمار والد | درجه آزادی | معناداری | Exp(B) |
|---------------|-------|----------------|-----------|------------|----------|--------|
| ثابت | ۰,۴۲۳ | ۰,۲۰۶ | ۸/۷۶ | ۱ | ۰,۰۰۶ | ۰,۰۱۲ |
| شغل | ۰,۳۰۵ | ۰,۱۱۲ | ۷/۴۵ | ۱ | ۰,۱۱۰ | ۰,۰۲۶ |
| تحصیلات | ۰,۲۳۴ | ۰,۰۷۸ | ۵/۶۲ | ۱ | ۰,۰۳۳ | ۰,۰۳۸ |
| جنسیت | ۰,۱۶۳ | ۰,۱۱۵ | ۷/۵۶ | ۱ | ۰,۰۲۲ | ۰,۱۰۲ |
| پذیرش اجتماعی | ۰,۲۴۳ | ۰,۱۳۲ | ۹/۵۶ | ۱ | ۰,۰۲۲ | ۰,۲۱۲ |
| احساس ایمنی | ۰,۰۹۸ | ۰,۰۳۵ | ۵/۸۹ | ۱ | ۰,۰۲۳ | ۰,۰۲۷ |
| دسترس پذیری | ۰,۱۸۸ | ۰,۰۵۹ | ۵/۷۷ | ۱ | ۰,۰۰۲ | ۰,۰۲۸ |

۵- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف پیش‌بینی اثرات عرضه خودروهای خودران اشتراکی بر انتخاب وسیله نقلیه در سفرهای روزانه گروه توان‌یاب شامل سالمندان، کودکان و افراد معلول انجام شد. مدل رگرسیون لاجستیک که برای تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد، نشان داد که متغیرهای تحصیلات، میزان استفاده از خودرو خودران اشتراکی، پذیرش اجتماعی، احساس ایمنی و دسترس‌پذیری تأثیر معناداری بر تصمیم‌گیری گروه توان‌یاب در انتخاب وسیله نقلیه دارند. شاخص‌های آماری مدل مانند ناحیه زیر منحنی ۰,۹۷۵ و ضریب تعیین کاکس و اسنل ۰,۲۹۱ و نگلکرک ۰,۷۸۲ بیانگر دقت و اعتبار بالای مدل و توانایی آن در پیش‌بینی دقیق انتخاب وسیله نقلیه توسط این گروه است. یافته‌ها نشان می‌دهد که عرضه خودروهای خودران اشتراکی می‌تواند به‌طور قابل توجهی عدالت و برابری در دسترسی به حمل‌ونقل را برای گروه‌های توان‌یاب ارتقا دهد و فرصت‌های بیشتری برای مشارکت آنان در سیستم حمل‌ونقل شهری فراهم آورد. نوآوری اصلی این مطالعه در تمرکز خاص بر گروه توان‌یاب و تحلیل عوامل موثر بر انتخاب وسیله نقلیه با استفاده از داده‌های میدانی است که در پژوهش‌های پیشین کمتر به آن توجه شده است. همچنین به کارگیری مدل رگرسیون لاجستیک برای پیش‌بینی انتخاب خودروهای خودران اشتراکی، ابزار مفیدی برای سیاست‌گذاران حمل‌ونقل به منظور برنامه‌ریزی‌های بهبود دسترسی و ارتقای کیفیت زندگی این گروه‌ها فراهم می‌کند. علاوه بر این، نتایج پژوهش بیانگر اهمیت افزایش آگاهی و پذیرش اجتماعی نسبت به خودروهای خودران اشتراکی است که نقش کلیدی در تسهیل استفاده گروه توان‌یاب دارد. احساس ایمنی بالاتر نیز به طور مستقیم تمایل به انتخاب این فناوری را افزایش می‌دهد که اهمیت آموزش‌های مرتبط و ارتقای فرهنگ استفاده از خودروهای خودران را برجسته می‌کند. دسترس‌پذیری مناسب این وسایل نقلیه به عنوان عامل تعیین‌کننده‌ای در بهبود مشارکت توان‌یابان در حمل‌ونقل شهری مطرح است، بنابراین طراحی برنامه‌های سیاستی و زیرساختی ویژه برای بهبود دسترسی و ارتقای امنیت روانی کاربران ضروری است. این اقدامات می‌توانند به طور چشمگیری بهره‌وری سیستم حمل‌ونقل را افزایش داده و به تحقق اهداف توسعه پایدار در حوزه

جدول (۹) خروجی مدل رگرسیون لاجستیک را برای بررسی تأثیر عوامل مختلف بر احتمال انتخاب خودروهای خودران اشتراکی توسط گروه‌های توان‌یاب را نشان می‌دهد. در این مدل، متغیر «دسترس‌پذیری» با ضریب ۰,۱۸۸ و سطح معناداری ۰,۰۰۲ تأثیرگذارترین عامل است، که بیانگر آن است که هرچه امکان دسترسی به این نوع خودروها بیشتر باشد، احتمال استفاده توسط توان‌یابان نیز افزایش می‌یابد. متغیر «احساس ایمنی» نیز با ضریب ۰,۰۹۸ و سطح معناداری ۰,۰۲۳ نشان می‌دهد که امنیت ذهنی نسبت به این فناوری در تصمیم‌گیری افراد نقش مهمی دارد. «پذیرش اجتماعی» با ضریب ۰,۲۴۳ و سطح معناداری ۰,۰۲۲ حاکی از آن است که چگونگی نگاه جامعه به فناوری خودروهای خودران می‌تواند در انتخاب افراد تأثیرگذار باشد و اگر اطرافیان فرد نگرش مثبتی داشته باشند، احتمال پذیرش افزایش می‌یابد. همچنین، متغیر «تحصیلات» با ضریب ۰,۲۳۴ و سطح معناداری ۰,۰۳۳ تأیید می‌کند که افراد با تحصیلات بالاتر تمایل بیشتری به استفاده از فناوری‌های نوین مانند خودروهای خودران دارند. متغیر جنسیت با ضریب ۰,۱۶۳ و سطح معناداری ۰,۰۲۲ تنها متغیری است که تأثیر معنادار آماری بر انتخاب وسیله نقلیه خودرو خودران اشتراکی دارد؛ این نشان می‌دهد که جنسیت نقش قابل توجهی در تصمیم‌گیری گروه توان‌یاب ایفا می‌کند، اما متغیر «شغل» با اینکه دارای ضریب مثبت (۰,۳۰۵) است، سطح معناداری نسبتاً بالایی ۰,۱۱۰ دارد و نمی‌توان با اطمینان از تأثیر آماری آن سخن گفت. مقدار ثابت مدل نیز برابر ۰,۴۲۳ با سطح معناداری ۰,۰۰۶ است که نشان‌دهنده تمایل پایه برای انتخاب خودروهای خودران حتی بدون حضور متغیرهای دیگر است. در مجموع، مدل بیانگر آن است که عواملی چون دسترسی، ایمنی، پذیرش اجتماعی و ویژگی‌های فردی همچون تحصیلات در تصمیم‌گیری گروه‌های توان‌یاب برای استفاده از خودرو خودران اشتراکی نقش مؤثری دارند.

- Krueger, R., Rashidi, T. H., & Rose, J. M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69, 343-355.
- Karner, A., Rowangould, D., & London, J. (2016). We can get there from here: New perspectives on transportation equity.
- Litman, T., (2017). Evaluating transportation Equity. Victoria, BC, Canada: *Victoria Transport Policy Institute*.
- Martens, K., & Hurvitz, E. (2011). Distributive impacts of demand-based modelling. *Transportmetrica*, 7(3), 181-200.
- Martinez, L., & Crist, P. (2015). Urban Mobility System Upgrade—How shared self-driving cars could change city traffic. In *International Transport Forum, Paris*, Vol. 14.
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities? *Research in Transportation Economics*, 62, 80-91.
- Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., & White, P. (2006). The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, 13(4), 295-306.
- Milakis, D., & van Wee, B. (2020). Implications of vehicle automation for accessibility and social inclusion of people on low income, people with physical and sensory disabilities, and older people. Elsevier, *In Demand for Emerging Transportation Systems*, 61-73.
- Parkhurst, G., & Seedhouse, A. (2019). Will the 'smart mobility' revolution matter? In *Transport Matters, Policy Press*. 349-380.
- Ebrahimzadeh, M., Afandizadeh, S., & Abdolmanafi, S. E. (2025). Analysis and Evaluation of the Impact of Shared Autonomous Vehicles Deployment on Travel Demand of People with Disabilities. *Road*.
- Mahpour, A., & Ebrahimzadeh, A. (2021). Modeling the impact of the autonomous vehicles in residential land-use and population distribution. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 13(1), 1283-1297.
- Wright, R. E. (1995). Logistic regression.

حمل و نقل کمک کنند. در نهایت، این پژوهش پایه‌ای قوی برای مطالعات آتی فراهم کرده و زمینه را برای توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر جهت بررسی عمیق‌تر اثرات فناوری‌های نوین حمل و نقل بر گروه‌های توان یاب فراهم می‌سازد.

۶- مراجع

- گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل و ترافیک شهر تهران سال (۱۴۰۰).
- ماهپور، علیرضا، ابراهیم زاده، محمدمبین، اکبری، فاطمه و ابراهیمی، عبدالرضا (۱۴۰۲). بررسی تأثیر عرضه اتومبیل خودران بر جستجوی زمان پارک وسایل و اثر آن در سهم وسایل نقلیه با استفاده از مدل‌های سیستم پویا. *مهندسی ترافیک*, ۷۹-۹۳.
- Bernhart, W., Kaise, H., Ohashi, Y., Schönberg, T., & Schilles, L. (2018). Reconnecting the rural: autonomous driving as a solution for non-urban mobility. *Roland Berger GMBH, Opernturm, Frankfurt am Main, Germany*.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 64, 76-91.
- Creger, H., Espino, J., & Sanchez, A. S. (2019). Autonomous vehicle heaven or hell? Creating a transportation revolution that benefits all.
- Dargay, J. M. (2001). The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(9), 807-821.
- Dianin, A., Ravazzoli, E., & Hauger, G. (2021). Implications of autonomous vehicles for accessibility and transport equity: A framework based on literature. *Sustainability*, 13(8), 4448.
- Eppenberger, N., & Richter, M. A. (2021). The opportunity of shared autonomous vehicles to improve spatial equity in accessibility and socio-economic developments in European urban areas. *European Transport Research Review*, 13(1), 32.

Predicting the Impact of Shared Autonomous Vehicle Deployment on Daily Travel Mode Choice of Mobility-Impaired Groups

Mohammad Amin Ebrahimzadeh, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Seyed Ebrahim Abdolmanafi, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

This study investigates the impact of the deployment of shared autonomous vehicles on daily travel mode choice among mobility-impaired groups, including the elderly, children, and individuals with disabilities. Data were collected through field surveys and analyzed using logistic regression modeling. Model evaluation, based on indicators such as the area under the ROC curve (0.975) and the Cox & Snell R^2 (0.291), demonstrates high predictive accuracy and reliability. The findings reveal that variables such as education level, frequency of using shared autonomous vehicles, social acceptance, perceived safety, and accessibility significantly influence vehicle choice among mobility-impaired individuals. Results emphasize that the introduction of shared autonomous vehicles can substantially enhance equity and fairness in transportation access for vulnerable groups, increasing their participation in urban mobility systems. The main innovation of this study lies in its specific focus on mobility-impaired groups and the use of field data to model vehicle choice using logistic regression. This approach provides a practical tool for policymakers to design strategies aimed at improving quality of life and mobility access for these populations. Moreover, this research offers a solid foundation for future studies and paves the way for developing more advanced models to explore in greater depth the effects of emerging transportation technologies on mobility-impaired users.

Keywords: Shared Autonomous Vehicles, Mobility-Impaired Groups, Logistic Regression Model, Travel Mode Choice Prediction