

تحلیل عوامل موثر بر انتخاب سفر (اجباری و اختیاری) با مترو

janjanyamir@gmail.com

امیر جانجانی

کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

armamdoohi@modares.ac.ir

امیررضا ممدوحی

استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

farjadi@imps.ac.ir

غلامعلی فرجادی

دانشیار موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴

دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۳۱

چکیده: سفرهای درون‌شهری ناشی از فعالیت‌های روزانه شهروندان بوده که با توجه به نوع (کار، آموزش، خرید، تفریح و غیره) در دو دسته سفرهای اجباری و اختیاری قرار می‌گیرند. با توجه به ضرورت حمل‌ونقل همگانی به خصوص مترو و تاثیر آن در کاهش مصرف بنزین و معضل ترافیک شهری، در این پژوهش عوامل اقتصادی و اجتماعی موثر بر گزینش سفرهای اجباری و اختیاری با مترو با استفاده از مدل لوجیت دوتایی مورد بررسی و مدل‌سازی قرار می‌گیرد. بر این اساس پرسش پژوهش عبارت است از: عوامل اقتصادی و اجتماعی تاثیرگذار بر انتخاب سفرهای اجباری و اختیاری با شیوه مترو کدامند؟ به این منظور پرسشنامه‌ای برای کاربران مترو طراحی و پس از دو مرحله پیش‌آزمون، در طی ۴ هفته و به تعداد نمونه ۴۰۰ مسافر در پایانه اتوبوسرانی مجاور به ایستگاه مترو صادقیه توزیع شد. نتایج پرداخت مدل انتخاب از نوع لوجیت دوتایی نشان می‌دهد متغیرهای اشتغال به خانه‌داری، مردان با شغل آزاد و سن رابطه عکس با انتخاب سفرهای اجباری با مترو داشته و متغیرهای مردان اجاره‌نشین و سطح تحصیلات رابطه مستقیم با انتخاب سفرهای اجباری با مترو دارند.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، تقاضای سفر، سفرهای اجباری و اختیاری، مترو،

مدل لوجیت دوتایی

طبقه‌بندی JEL: R4, R41, R42.

مقدمه

دستیابی به حمل‌ونقل پایدار و تداوم توسعه اقتصادی مستلزم کاهش وابستگی به خودرو شخصی و افزایش میزان استفاده از حمل‌ونقل همگانی بوده و تدوین راهبردهای افزایش استفاده از حمل‌ونقل همگانی مستلزم شناخت فاکتورهای کلیدی اثرگذار بر میزان استفاده از حمل‌ونقل همگانی است (Chiou *et al.*, 2015). فهم عوامل موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری مسافران حمل‌ونقل همگانی جهت پویایی شهر، تدارک خدمات، برنامه‌ریزی زیرساخت و سیاستگذاری بسیار حیاتی است و عنصر اساسی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل محسوب می‌گردد (Zheng *et al.*, 2016 & Raveau *et al.*, 2014). روند توسعه شهرنشینی باعث افزایش فاصله بین فعالیت‌ها و محل زندگی شده و متعاقب آن تقاضا برای استفاده از وسایل نقلیه افزایش پیدا کرده است. این فعالیت‌ها با هدف کار، خرید، آموزش، تفریح و غیره هستند که برای انجام این امور، مسافران از وسایل سفر مختلف و گاه از چند وسیله سفر در یک زنجیره سفر از مبداء تا مقصد استفاده می‌کنند. انتخاب شیوه سفر شهروندان بر اساس شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیطی بوده و این شیوه سفرهای مختلف، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مختلفی را بر جامعه تحمیل می‌کند (Grazi & Van den Bergh, 2008).

سهم بالای استفاده از وسیله نقلیه شخصی از کل تقاضای سفر در سطح شهر تهران (مطالعات جامع تهران، ۱۳۸۵)، باعث بروز اثرات نامطلوب اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و همچنین ترافیکی شده است. نمونه‌هایی از این اثرات عبارتند از: ۱. اثرات اقتصادی: افزایش مصرف بنزین، خسارت جانی و مالی ناشی از تصادفات؛ ۲. اثرات زیست‌محیطی: آلودگی شدید هوای تهران؛ ۳. اثرات اجتماعی: محیط شهری خودرو محور، کاهش تعامل اجتماعی مردم و شیوع بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا؛ ۴. اثرات ترافیکی: قفل شدن خیابان‌ها و طولانی شدن زمان سفرها (مطالعات جامع تهران، ۱۳۸۵).

در این شرایط افزایش سهم حمل‌ونقل همگانی به‌خصوص مترو از تقاضای سفر در شهر تهران به‌عنوان یک شیوه حمل‌ونقل پاک و با ظرفیت بالا بسیار حایز اهمیت است. با توجه به پژوهش‌های محدود در زمینه سازوکار رفتاری مسافران مترو، در این پژوهش تاثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی بر انتخاب سفرهای (اجباری و اختیاری) با مترو مدل‌سازی شده تا علاوه بر شناخت ماهیت سفر متقاضیان این شیوه سفر، جهت برنامه‌ریزی تسهیلات خارج از ایستگاه مترو، بینش لازم حاصل شود. بر این اساس پرسش پژوهش حاضر عبارتست از: عوامل اقتصادی و اجتماعی تاثیرگذار بر انتخاب سفرهای اجباری و اختیاری با شیوه مترو کدامند؟ متغیرهای اقتصادی و اجتماعی با تکیه

بر نظرهای کارشناسان حمل‌ونقل و پژوهش‌های پیشین شناسایی شده‌اند. در ادامه پیشینه پژوهش، در بخش‌های بعدی معرفی ایستگاه مترو صادقیه تهران و روش پژوهش، شیوه پرداخت و ضوابط ارزیابی مدل، نحوه جمع‌آوری داده پژوهش، فرآیند مدل‌سازی، بحث و تفسیر نتایج و در بخش پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادهای مطرح می‌گردد.

پیشینه پژوهش

در این بخش با توجه به پژوهش‌های محدود در زمینه سازوکار رفتاری مسافران در انتخاب سفرهای اجباری و اختیاری، برخی از پژوهش‌های مرتبط با موضوع رفتار سفر مسافران حمل‌ونقل همگانی به‌خصوص مترو مطرح شده است. استدل^۱ (۲۰۰۱) اثر مشخصات اقتصادی، اجتماعی و ویژگی‌های ساخت محیط^۲ را بر روی رفتار سفر بر اساس داده‌های محلی و ملی در بریتانیا بررسی کرده است. نتایج این پژوهش بر اساس مدل رگرسیون نشان داد که تغییرپذیری در الگوهای سفر اغلب مرهون مشخصات اقتصادی و اجتماعی (مالکیت خودروی شخصی و سطح اشتغال) است. ممدوحی (۱۳۸۳) جهت بررسی و شناسایی عوامل تاثیرگذار در میزان استفاده از قطار برقی تهران - کرج (قبتک) از سه نوع پرسشنامه برای گروه‌های مسافری (مسافرین قبتک، مسافرین وسایل نقلیه همگانی غیر از قبتک و رانندگان وسایل نقلیه شخصی) استفاده کرد. متغیر وابسته میزان استفاده از قطار برقی در سفرهای تهران - کرج بوده و به علت طبیعت و نوع داده‌های گردآوری شده، جهت جامعیت مدل‌سازی از مدل‌های رتبه‌ای انتخاب گسسته استفاده شده است. ریویو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) با هدف ارتقا بینش نسبت به رفتار کاربران حمل‌ونقل همگانی، به کمی‌سازی اثر متغیرهای توضیحی (اجزاء زمان سفر، گنجایش و راحتی، مشخصات تجربیات سفر و توپولوژی شبکه) بر رفتار انتخاب مسیر در شبکه مترو و مقایسه نتایج در دو شهر لندن و سانتیاگو پرداختند. داده پژوهش شامل داده سازمان حمل‌ونقل شهر لندن از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ و اطلاعات سفر ۱۷۰۷۳ مسافر و داده شهر سانتیاگو از بررسی میدانی مبداء - مقصد در ایستگاه‌های مترو و اطلاعات سفر ۲۸۹۶۱ مسافر در سال ۲۰۰۸ بوده است. نتایج نشان داد که از بین مدل‌های پرداخت شده مدل لجیت شرطی، بهترین برازش را برای شبکه مترو هر دو شهر دارد و کاربران ویژگی‌های متنوعی را برای انتخاب مسیر در شبکه مترو در نظر می‌گیرند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های گوناگونی در خصوص عوامل موثر بر شیوه انتخاب وسیله سفر

1. Stead
2. Built Environment
3. Raveau

صورت گرفته است. برخی از این پژوهش‌ها شامل موارد مقایسه عوامل موثر بر شیوه انتخاب وسیله در کشورهای آلمان و ایالات متحده آمریکا (Buehler, 2011)، تخمین شیوه انتخاب وسیله سفر توریست‌های شهر ترانگ کشور ویتنام با استفاده از مدل انتخاب گسسته پروبیت چندگانه (Van Can, 2013)، بررسی نقش متغیرهای سرمایه اجتماعی بر رفتار سفر حومه‌های شهر مادرید در کشور اسپانیا (Di Ciommo *et al.*, 2014)، اثر فاکتورهای روان‌شناختی بر رفتار شیوه انتخاب وسیله در شهر ادمونتون کانادا (Osman Idris *et al.*, 2015) و شیوه انتخاب وسیله در سفرهای زمینی با مسافت طولانی در کشور اسپانیا (Arbues *et al.*, 2016) هستند. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های ارایه شده (به طور عموم انتخاب گسسته) به بررسی عوامل موثر بر شیوه انتخاب وسیله سفرهای مختلف منحصر شده و در خصوص سازوکار انتخاب نوع سفر (اجباری یا اختیاری) پژوهش مشابه به چشم نمی‌خورد. با توجه به خلاء پژوهش در زمینه تاثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی مسافران بر انتخاب سفرهای اجباری و اختیاری با مترو، پژوهش حاضر به بررسی این موضوع پرداخته است.

معرفی و انتخاب ایستگاه مترو صادقیه

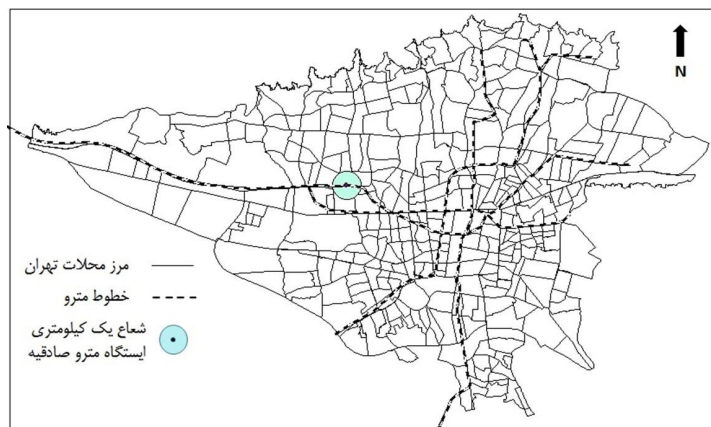
ایستگاه مترو صادقیه در خط دو مترو (فرهنگسرا - صادقیه) و در منطقه پنج شهر تهران قرار دارد. وجود پایانه اتوبوسرانی صادقیه در مجاورت این ایستگاه و همچنین اتصال این ایستگاه به خط پنج مترو (صادقیه - گلشهر) باعث افزایش حجم ورودی و خروجی مسافران و متعاقب آن شلوغی این ایستگاه شده است. تعداد مسافران روزانه مربوط به ایستگاه‌های مترو شهر تهران نشان می‌دهد که ایستگاه‌های در محل تقاطع خطوط مترو در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها تعداد مسافران روزانه بیشتری دارند (شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۴). همچنین مطابق با جدول (۱)، تعداد مسافران روزانه ایستگاه مترو صادقیه در مقایسه با سایر ایستگاه‌هایی که در محل تقاطع خطوط مترو قرار دارند مجاورت این ایستگاه با پایانه اتوبوسرانی و سهولت دسترسی به مسافران مترو منجر به انتخاب ایستگاه صادقیه جهت جمع‌آوری داده شده است.

جدول ۱: مقایسه تعداد مسافر روزانه ایستگاه مترو صادقیه با سایر ایستگاه‌های واقع در تقاطع خطوط مترو

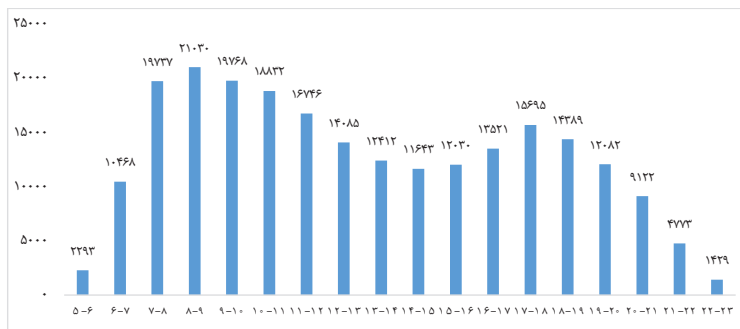
ردیف	نام ایستگاه	شماره خط	ساعت اوج	ساعت غیر اوج	متوسط تعداد مسافر در ساعت اوج	متوسط تعداد مسافر در ساعت غیر اوج	متوسط تعداد مسافر روزانه
۱	صادقیه	۲	۸	۲۲	۵۳۷۷	۳۳۸	۵۷۸۷۳
۲	امام خمینی	۱	۱۷	۶	۴۶۶۳	۸۰	۳۸۰۳۲
۳	شهید بهشتی	۱	۱۷	۶	۳۴۶۸	۳۰	۲۳۱۹۴
۴	تئاتر شهر	۳	۱۹	۶	۴۸۳۲	۵۴	۳۹۰۳۱

منبع: شرکت بهره‌برداری راه آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۴

در شکل (۱) موقعیت ایستگاه مترو صادقیه در شهر تهران مشخص شده است. توزیع ساعتی مسافر ایستگاه صادقیه در یک هفته از شهریور ماه ۱۳۹۴ مطابق با شکل (۲)، حاکی از آن است که بیشترین تعداد سفرها در فاصله ساعت‌های ۸ تا ۹ صبح قرار دارد، به طوری که سفرهای در این بازه زمانی به طور معمول با هدف کار و آموزش و به تبع اجباری است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه مترو صادقیه در سطح شهر تهران



شکل ۲: توزیع ساعته مسافر ایستگاه مترو صادقیه در یک هفته از شهریور ماه ۱۳۹۴

منبع: شرکت بهره‌برداری راه آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۴

روش پژوهش

با توجه به هدف این پژوهش مبنی بر شناسایی و تحلیل عوامل اقتصادی و اجتماعی موثر بر انتخاب سفرهای اجباری و اختیاری با مترو و ماهیت گسسته و دوتایی متغیر وابسته، از مدل انتخاب گسسته لوجیت دوتایی استفاده شد. عدم کارایی مدل‌های خطی برای بسیاری از کاربردهای اقتصادی و اجتماعی که دارای ماهیت انتخاب گسسته هستند، باعث گرایش پژوهشگران به استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته با قابلیت زیاد برای مدل‌سازی رفتار انسانی در گزینش و انتخاب شده است (De Dios Ortuzar & Willumsen, 2011).

یکی از روش‌های پیش‌بینی رخدادهای گسسته، مدل لوجیت دوتایی بوده که هدف آن شناسایی متغیرهای توضیحی و رابطه آنها با وقوع یک رخداد و در نهایت تخمینی از احتمال وقوع است. فرض می‌گردد که y_{jn} تابع خطی از ویژگی‌های فرد n است که مرتبط با احتمال وقوع رخداد j بوده و به صورت رابطه (۱) در نظر گرفته می‌شود:

$$y_{jn} = \beta_j x_{jn} + \varepsilon_{jn} \quad (1)$$

در این رابطه x_{jn} برداری از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری فرد n برای رخداد j بوده، β_j برداری از ضرایب و ε_{jn} نیز نشان‌دهنده قسمت‌های غیرقابل مشاهده از ویژگی‌هاست. اگر ε_{jn} از توزیع گامبل پیروی کند آنگاه احتمال وقوع رخداد j برای فرد n از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$p_{jn} = \frac{e^{y_{jn}}}{\sum_i e^{y_{in}}} \quad (2)$$

در حالت خاص که تنها دو انتخاب برای یک رخداد وجود داشته باشد، مدل لوجیت به صورت رابطه (۳) خواهد بود (Manski & Mcfadden, 1981).

$$p_{in} = \frac{1}{1 + e^{-y_{in}}} \quad (3)$$

هدف از پرداخت مدل، یافتن ضرایب متغیرهای توضیحی تابع مطلوبیت، یعنی تعیین میزان اهمیت هر یک از متغیرها است. با توجه به خطی بودن رابطه بین مطلوبیت و متغیرهای توضیحی، تفسیر ضرایب پرداخت شده مشابه مدل روندگرایی خطی است. از جمله روش‌های یافتن ضرایب متغیرهای توضیحی، برآورد درست‌نمایی بیشینه است که در آن تابع $L(\beta)$ حاصل ضرب احتمال انتخاب هر گزینه به صورت رابطه (۴) تعریف می‌گردد:

$$L(\beta) = \prod_{q=1}^Q \prod_{j=1}^N (P_{jq})^{y_{jq}} \quad (4)$$

که در این رابطه N تعداد مشاهده‌ها در نمونه مورد نظر، P_{jq} احتمال انتخاب گزینه j توسط فرد q است و متغیر y_{jq} به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$y_{jq} = \begin{cases} 1 & \text{اگر شخص } q \text{ گزینه } j \text{ را انتخاب کند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

ضرایب β در این روش به صورتی برآورد می‌گردد که احتمال وقوع همزمان مشاهده‌ها بیشینه شود. معمولاً جهت سادگی محاسبه‌های ریاضی در تحلیل‌ها، از لگاریتم $L(\beta)$ مطابق با رابطه (۵) استفاده می‌گردد.

$$LL(\beta) = \ln L(\beta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^N y_{jq} \ln(p_{jq})$$

حال برای بیشینه کردن مقدار تابع $LL(\beta)$ ، مشتقات جزئی آن نسبت به هر یک از ضرایب برابر صفر قرار داده می‌شود (Triani, 2009). از بین ضوابط ارزیابی مدل‌های انتخاب گسسته، شاخص‌های خوبی برآزش به صورت روابط (۶) و (۷) تعریف می‌شوند.

$$\rho_0^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)}$$

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(c)}$$

در این روابط $LL(0)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب صفر، $LL(\beta)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب برآورد شده و $LL(c)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء جملات ثابت است (Triani, 2009). یکی دیگر از شاخص‌های بررسی میزان خوبی برآزش در مدل‌های انتخاب گسسته، شاخص درصد برآورد صحیح^۱ است. جهت محاسبه این شاخص، پس از پرداخت مدل، احتمال انتخاب هر گزینه برای تمامی مشاهده‌ها محاسبه شده و گزینه با احتمال بیشینه به عنوان گزینه انتخابی مدل

بر مشاهده مذکور در نظر گرفته می‌شود. سپس درصد تطابق و پیش‌بینی صحیح مدل، در مقایسه با انتخاب واقعی افراد، به‌عنوان درصد برآورد صحیح مدل گزارش می‌گردد (Triani, 2009).

داده مدل

جهت پیاده‌سازی مدل برای نمونه‌ای از شهروندان، بر اساس پژوهش‌های پیشین (به‌عنوان مثال ممدوحی، ۱۳۸۳) مبانی نظری و مصاحبه با کارشناسان حمل‌ونقل، پرسشنامه‌ای طراحی شد. پرسشنامه شامل سه بخش ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی مسافران (به‌عنوان مثال میزان سن، جنسیت، وضعیت تاهل، وضعیت مسکن، خانوار و وضعیت درآمد)، ویژگی‌های سفر با مترو و شیوه دسترسی به مترو بود. پس از طراحی اولیه پرسشنامه، دو مرحله پیش‌آزمون در ایستگاه مترو صادقیه صورت گرفت. در هر کدام از مراحل تعداد ۲۰ پرسشنامه بین مسافران ایستگاه مترو صادقیه توزیع و مشاهده شد که مسافران در درک پرسش‌ها مشکلی ندارند. شیوه نظرسنجی به صورت مصاحبه حضوری و در پایانه اتوبوسرانی واقع در مجاورت مترو صادقیه تهران بوده است. دلایل انتخاب پایانه اتوبوسرانی صادقیه اعتبار بیشتر داده‌ها با توجه به تمرکز و تمایل مسافران اتوبوس‌ها در پاسخگویی به پرسشنامه نسبت به مسافران داخل ایستگاه مترو و امکان دسترسی هم‌زمان به مردان و زنان بوده است. تعداد نمونه مورد نیاز با توجه به مشخص نبودن واریانس جامعه با استفاده از جدول مورگان ۴۰۰ نفر در نظر گرفته شد و پرسشنامه‌ها در طی ۴ هفته در ساعات مختلف شبانه‌روز توزیع شدند. نتایج تحلیل آمار توصیفی متغیرهای اقتصادی و اجتماعی نمونه پژوهش در جدول (۲)، نشان می‌دهد که ۵۹ درصد افراد نمونه مرد، ۳۹ درصد متاهل، ۴۳ درصد اجاره‌نشین و ۴۰ درصد دارای درآمد مستقل بودند.

جدول ۲: نتایج تحلیل آمار توصیفی متغیرهای اقتصادی - اجتماعی نمونه پژوهش

متغیرها	توصیف گزینه‌ها: کد	میانگین	انحراف معیار
سن	۱۵ تا ۱۹ سال: ۱ / ۲۰ تا ۲۴ سال: ۲	۲/۸۶	۱/۳۳۸
	۲۵ تا ۳۰ سال: ۳ / ۳۱ تا ۴۰ سال: ۴		
	۴۱ تا ۵۰ سال: ۵ / بیش از ۵۰ سال: ۶		
جنسیت	زن: ۰ / مرد: ۱	۰/۵۹	۰/۴۹۲
وضعیت تاهل	مجرد: ۰ / متاهل: ۱	۰/۳۹	۰/۴۸۷
وضعیت مسکن خانوار	صاحب مسکن: ۰ / اجاره‌نشین: ۱	۰/۴۳	۰/۴۹۶
وضعیت درآمد	دارای درآمد مستقل: ۰ / فاقد درآمد مستقل: ۱	۰/۴۰	۰/۴۹۱

۱۵۱-۱۵۲: نتایج تحلیل آمار توصیفی متغیرهای اقتصادی - اجتماعی نمونه پژوهش

متغیرها	توصیف گزینه‌ها: کد	میانگین	انحراف معیار
مدت زمان کار روزانه	تمام وقت: ۰ / پاره‌وقت: ۱	۰/۵۲	۰/۵۰
نوع شغل (در صورت داشتن درآمد مستقل)	کارمند دولتی: ۱ / کارمند خصوصی: ۲ / شغل آزاد: ۳ / کارفرمای خصوصی: ۴	۲/۳۸	۱/۰۶۲
وضعیت (در صورت نداشتن درآمد مستقل)	خانه‌دار: ۱ / دانش‌آموز یا دانشجو: ۲ / بیکار: ۳ / سایر: ۴	۱/۹۱	۰/۵۸۴
مالکیت اتومبیل شخصی	فاقد اتومبیل: ۱ / یک اتومبیل: ۲ / دو اتومبیل: ۳ / سه یا بیشتر: ۴	۱/۵۳	۰/۶۳۶
تحصیلات	زیر دیپلم و دیپلم: ۱ / فوق دیپلم و لیسانس: ۲ / فوق لیسانس: ۳ / دکتری: ۴	۱/۹۷	۰/۸۲۳
تعداد اعضای خانوار	دو نفر: ۱ / سه نفر: ۲ / چهار نفر: ۳ / پنج نفر: ۴ / بیش از پنج نفر: ۵	۲/۸۰	۱/۱۸۲

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با جدول (۳)، برخی از نتایج تحلیل آمار توصیفی ویژگی‌های سفر نمونه پژوهش ۱. ۳۸/۵ درصد افراد نمونه بیش از چهار بار از مترو در طول هفته استفاده می‌کنند؛ ۲. هدف سفر ۴۵/۷ درصد از افراد نمونه، کاری (اجباری) است و ۳. شیوه دسترسی حدود نیمی از افراد نمونه (۴۷/۶ درصد) با اتوبوس بوده است. نتایج تحلیل فراوانی هم‌زمان تعداد سفر در اهداف مختلف سفر (جدول ۴) نشان می‌دهد افراد با هدف سفر کاری به‌طور معمول بیش از چهار بار و افراد با هدف سفر تفریح و خرید به‌طور معمول یک‌بار از مترو در طول هفته استفاده می‌کنند.

جدول ۳: نتایج تحلیل فراوانی ویژگی‌های سفرهای اجباری و اختیاری با مترو

متغیرها	کد	گزینه	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی
تعداد سفر با مترو در طول هفته	۱	یک بار	۸۸	۲۲
	۲	دو بار	۴۸	۱۲
	۳	سه بار	۶۲	۱۵/۵
	۴	چهار بار	۴۸	۱۲
	۵	بیش از چهار بار	۱۵۴	۳۸/۵
	جمع		۴۰۰	۱۰۰
هدف سفر با مترو	۱	کار	۱۸۰	۴۵/۷
	۲	آموزش	۱۲۵	۳۱/۷
	۳	خرید	۴۹	۱۲/۴
	۴	تفریح	۱۲	۳
	۵	سایر	۲۸	۷/۱
	جمع		۳۹۶	۱۰۰
زمان سفر با مترو	۱	۵:۴۵ تا ۸:۳۰	۱۱۱	۲۷/۷
	۲	۸:۳۰ تا ۱۲	۱۶۱	۴۰/۴
	۳	۱۲ تا ۱۶	۸۵	۲۱/۳
	۴	۱۶ تا ۱۹	۳۷	۹/۳
	۵	۱۹ تا ۲۳	۵	۱/۳
	جمع		۳۹۹	۱۰۰
شیوه دسترسی به ایستگاه مترو	۱	پیاده‌روی	۹۰	۲۲/۷
	۲	اتوبوس	۱۸۹	۴۷/۶
	۳	وسیله شخصی	۳۰	۷/۶
	۴	تاکسی/ون	۸۴	۲۱/۲
	۵	سایر	۴	۱
	جمع		۳۹۷	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

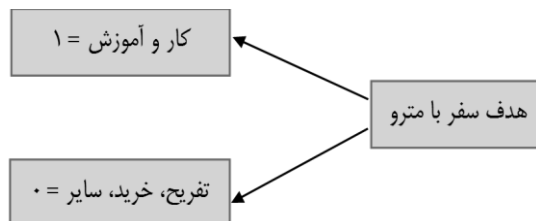
جدول ۴: نتایج تحلیل فراوانی همزمان تعداد سفر با مترو و هدف سفر

نوع	هدف سفر	تعداد سفر با مترو در طول هفته				
		یک بار	دو بار	سه بار	چهار بار	بیش از چهار بار
اجباری	کار	۱۵	۱۹	۲۲	۱۹	۱۰۵
	آموزش	۲۲	۱۷	۳۲	۲۳	۳۶
اختیاری	خرید	۳۰	۵	۶	۲	۶
	تفریح	۷	۲	۱	۲	۰
	سایر	۱۳	۵	۱	۲	۷
جمع	جمع	۸۷	۴۸	۶۲	۴۸	۱۵۴

منبع: یافته‌های پژوهش

مدل‌سازی پژوهش

سفرهای اجباری و اختیاری با مترو را می‌توان به صورت یک رخداد دوتایی تعریف کرد. متغیر وابسته مورد استفاده در مدل‌سازی، سفرهای اجباری و اختیاری است، به طوری که سفرهای با هدف کار و آموزش به عنوان سفرهای اجباری و سفرهای تفریحی، خرید و سایر به عنوان سفرهای اختیاری در نظر گرفته شده است. شکل (۳)، نحوه تفکیک و کدبندی اهداف سفر با مترو را نشان می‌دهد. پس از تعریف متغیرهای ترکیبی و مجازی و ساخت مدل‌های متعدد به کمک انتخاب پیش‌رو در نرم‌افزار nlogit5، مدل نهایی به دست آمد. بررسی ماتریس همبستگی متغیرهای توضیحی معنی‌دار در مدل نشان می‌دهد که حداکثر همبستگی مقدار ۰/۳۹ بین متغیر ترکیبی مردان اجاره‌نشین (GH) و متغیر ترکیبی مردان فاقد خودروی شخصی (MENCAR1) است. در جدول (۵)، نتایج پرداخت و در جدول (۶) نتایج محاسبه درصد برآورد صحیح مدل ارائه شده است.



شکل ۳: نحوه تفکیک و کدبندی اهداف سفر با مترو
 جدول ۵: نتایج پرداخت مدل لوجیت دوتایی، انتخاب فرد بر اساس سفرهای اجباری/اختیاری*

نماد	تعریف متغیر	ضریب	خطای استاندارد	$P(Z > z)$
Constant	عدد ثابت	۱/۱۴	۰/۴۵	۰/۰۱۲
CONDIT15	متغیر مجازی اشتغال به خانه‌داری	-۱/۶۸	۰/۵۱	۰/۰۰۱
MENCAR1	متغیر ترکیبی مرد فاقد خودرو شخصی	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۰۸۹
AGE	سن مسافر	-۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۱۲
GH	متغیر ترکیبی مرد اجاره‌نشین	۰/۷۷	۰/۳۴	۰/۰۲۵
MALESELF	متغیر ترکیبی مرد با شغل آزاد	-۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۰۴۲
LEVELE	سطح تحصیلات مسافر	۰/۴۱	۰/۱۸	۰/۰۲۲
	LL(0)		-۲۷۷/۲۶	
	LL(C)		-۲۱۲/۰۲	
	LL(β)		-۱۸۶/۵۶	
	ρ_0^2		۰/۳۲	
	ρ_c^2		۰/۱۲	

* متغیر وابسته (سفرهای اجباری کد ۱ و سفرهای اختیاری کد ۰)

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۶: تحلیل برآورد - مشاهده برای سفرهای اجباری و اختیاری با مترو *

مشاهده	برآورد	اجباری	اختیاری	جمع
اجباری	۳۰۵	۶	۳۱۱	
اختیاری	۷۱	۱۸	۸۹	
جمع	۳۷۹	۲۴	۴۰۰	

* درصد برآورد صحیح: ۸۰

منبع: یافته‌های پژوهش

بحث و تفسیر نتایج

جدول (۲)، نشان می‌دهد که مدل نهایی شامل متغیرهای اشتغال به خانه‌داری، مرد فاقد خودرو شخصی، سن مسافر، مرد اجاره‌نشین، مرد با شغل آزاد و سطح تحصیلات است. با توجه به مدل پرداخت شده نتایج بدین شرح است:

۱. ضریب متغیر اشتغال به خانه‌داری منفی است و بیانگر رابطه معکوس اشتغال به خانه‌داری و سفرهای اجباری با مترو است. با توجه به ماهیت فعالیت‌های روزانه افراد خانه‌دار این نتیجه دور از انتظار نیست؛

۲. ضریب متغیر ساختگی و ترکیبی مرد فاقد خودرو شخصی مثبت بوده و بیانگر رابطه مستقیم این گروه از مسافران با سفرهای اجباری با مترو است؛

۳. سفرهای مردان اجاره‌نشین رابطه مستقیم با سفرهای اجباری با مترو دارد؛

۴. سفرهای مردان با شغل آزاد با توجه به ضریب منفی این متغیر در مدل نهایی رابطه عکس با سفرهای اجباری با مترو دارد؛

۵. با افزایش سن، ماهیت سفرهای با مترو از اجباری به اختیاری تغییر می‌کند که این نتیجه از علامت ضریب متغیر سن به‌دست آمده است. بنابراین افزایش سن باعث کاهش میزان استفاده از مترو در طول هفته می‌شود؛

۶. بین افزایش سطح تحصیلات و سفرهای اجباری با مترو رابطه مستقیم وجود دارد؛

۷. سفرهای مردان بدون خودروی شخصی رابطه مستقیم با سفرهای اجباری با مترو دارد.

عدم معنی‌داری متغیر وضعیت درآمد مسافر را می‌توان به قیمت ارزان بلیط مترو در شهر تهران نسبت داد، به طوری که در فرآیند انتخاب نوع هدف سفر با مترو تأثیرگذار نبوده است. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که مدل در برآورد سفرهای اختیاری چندان مناسب نبوده که این مساله به پراکندگی زمانی و توزیع نامنظم این سفرها در طول هفته برمی‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اثرات نامطلوب اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و ترافیکی ناشی از سهم بالای استفاده از خودرو شخصی در سطح شهر تهران ضرورت مطالعه و برنامه‌ریزی افزایش سهم مترو به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل کارآمد را روشن می‌سازد. بر این اساس جهت افزایش سهم مترو و همچنین مدیریت زنجیره سفرهایی که یک بخش آن با شیوه مترو انجام می‌گردد، شناخت متقاضیان و ماهیت

سفر آنها لازم است. در این پژوهش عوامل اقتصادی و اجتماعی موثر بر سفرهای اجباری و اختیاری با مترو با استفاده از مدل لوجیت دوتایی مدل‌سازی شد. داده پژوهش از طریق طراحی و توزیع ۴۰۰ پرسشنامه به صورت حضوری در ایستگاه مترو و پایانه اتوبوسرانی صادقیه به دست آمد. نتایج مدل‌سازی نشان داد افراد خانه‌دار از مترو بیشتر جهت سفرهای اختیاری استفاده می‌کنند که با توجه به هدف سفرهای این گروه از مسافران (به طور عموم خرید و تفریح) منطقی به نظر می‌رسد. مدل پرداخت شده نشان داد که سفر گروه‌های مسافری مردان بدون خودرو شخصی، مردان اجاره‌نشین و افزایش سطح تحصیلات رابطه مستقیم با سفرهای اجباری با مترو دارند. با افزایش سن ماهیت سفر با مترو از اجباری به اختیاری تغییر می‌کند. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی نقش متغیرهایی همچون فاصله محل سکونت مسافران تا ایستگاه مترو، فاصله ایستگاه پایانی سفر با مترو تا مقصد مسافر و نقش زمان سفر در انتخاب مترو برای سفرهای اجباری تحلیل و بررسی شود.

منابع

الف) فارسی

مطالعات جامع تهران. (۱۳۸۵). *مطالعات جابه‌جایی و حمل‌ونقل و شبکه‌های ارتباطی طرح جامع تهران*. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، گزارش مدیریتی.

ممدوحی، امیررضا. (۱۳۸۳). *مدل‌سازی افزایش سهم قطار برقی در سفرهای تهران - کرج با استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ای*. اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

ب) انگلیسی

- Arbues, P., Banos, J. F., Mayor, M. & Suarez, P. (2016). Determinants of Ground Transport Modal Choice in Long-Distance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84, pp. 131-143.
- Buehler, R. (2011). Determinants of Transport Mode Choice: A Comparison of Germany and the USA. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 644-657.
- Chiou, Y. C., Jou, R. C. & Yang, C. H. (2015). Factors Affecting Public Transportation Usage Rate: Geographically Weighted Regression. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 161-177.
- De Dios Ortuzar, J. D. D., & Willumsen, L. G. (2011). Discrete Choice Models. *Modelling Transport, Fourth Edition*, pp. 227-268.
- Di Ciommo, F., Comendador, J., López-Lambas, M. E., Cherchi, E. & de Dios Ortúzar, J. (2014). Exploring the Role of Social Capital Influence Variables on Travel Behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 68, 46-55.
- Grazi, F. & Van den Bergh, J. C. (2008). Spatial Organization, Transport and Climate Change: Comparing Instruments of Spatial Planning and Policy. *Ecological Economics*,

- 67(4), 630-639.
- Manski, C. F. & McFadden, D. (1981). (Eds.). *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*. Cambridge, MA.: MIT Press. pp. 20-24.
- Osman Idris, A., Habib, K. M. N., Tudela, A. & Shalaby, A. (2015). Investigating the Effects of Psychological Factors on Commuting Mode Choice Behavior. *Transportation Planning and Technology*, 38(3), 265-276.
- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J. C. & Wilson, N. H. (2014). A Behavioral Comparison of Route Choice on Metro Networks: Time, Transfers, Crowding, Topology and Socio Demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 185-195.
- Stead, D. (2001). Relationships Between Land Use, Socioeconomic Factors, and Travel Patterns in Britain. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(4), 499-528.
- Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press. pp. 38-80.
- Van Can, V. (2013). Estimation of Travel Mode Choice for Domestic Tourists to Nha Trang Using the Multinomial Probit Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 149-159.
- Zheng, Z., Washington, S., Hyland, P., Sloan, K. & Liu, Y. (2016). Preference Heterogeneity in Mode Choice Based on a Nationwide Survey With a Focus on Urban Rail. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 178-194.