

## یک اثرسنجی از قیمت‌گذاری دوره‌مبنا محدود طرح ترافیک تهران،

### مدل رفتار سفر کاربران

سپیده شامی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران  
امیررضا ممدوحی\*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵

صفحه ۱۶۴-۱۴۹

#### چکیده

یکی از راهکارهای مدیریت تردد خودروهای شخصی، قیمت‌گذاری نواحی پرتردد است که باعث کاهش مطلوبیت استفاده از خودرو شخصی می‌شود. این راهکار زمانی مؤثر است که موجب تغییر رفتار سفر کاربران خودروی شخصی در محدوده مورد نظر شود. بررسی رفتار سفر کاربران بعد از اعمال قیمت‌گذاری (رجحان آشکار شده)، در ارزیابی آثار این سیاست، نتایج معتبرتری را به ارمغان می‌آورد. در تهران از این سیاست برای کاهش تراکم در ناحیه مرکزی شهر استفاده می‌شود. سیاست قیمت‌گذاری محدوده مرکزی تهران (طرح ترافیک) در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ تغییر کرده و به صورت دوره مبنا شد. در قیمت‌گذاری به شیوه دوره مبنا اخذ عوارض از کاربران خودرو شخصی بر اساس ساعت ورود و خروج (اوج یا غیر اوج) صورت می‌گیرد. در این تحقیق برای اثرسنجی طرح ترافیک تغییر یافته، با استفاده از ۴۲۲ پرسشنامه گردآوری شده با روش رجحان آشکار شده در آبان ۱۳۹۷، به تحلیل تغییر رفتار سفر کاربران محدوده طرح ترافیک تهران پرداخته می‌شود. بدین منظور، از تحلیل‌های آماری و مدل انتخاب گسسته لوجیت چندگانه استفاده می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل فراوانی نمونه، ۵۲/۲۸ درصد از کاربران بعد از تغییر طرح ترافیک، نحوه سفر خود به محدوده را تغییر نداده‌اند. نتایج مدل لوجیت چندگانه نشان می‌دهد که کاربران خودرو شخصی تمایل بیشتری دارند که سفر خود را بدون تغییر انجام دهند. همچنین بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، با تغییر محل سکونت افراد از داخل محدوده طرح ترافیک به خارج از محدوده آلودگی هوا، سهم گزینه بدون تغییر انجام دادن سفر، ۳۸/۵۶ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: رفتار سفر، رجحان آشکار شده، طرح ترافیک تهران، لوجیت چندگانه

#### ۱- مقدمه

قیمت‌گذاری شده، تأثیر بر زمان سفر کاربران محدوده، تأثیر بر الگوی سفر کاربران محدوده، تأثیر بر درآمد خرده‌فروشان و کاسبان محدوده‌ی قیمت‌گذاری شده، تأثیر بر میزان آلودگی هوا و سود و زیان حاصل از اجرای طرح ترافیک بر دولت و یا سازمان‌های کنترل ترافیک مربوطه از جمله زمینه‌های مختلف در سنجش اثر یک سیاست قیمت‌گذاری هستند (Eliasson et al. 2009). نوع مطالعه در رابطه با یک طرح قیمت‌گذاری بعد از اجرای آن، به نوع هدف اجرای این سیاست (برای مثال کنترل ازدحام و یا تأمین بودجه برای ساخت و یا گسترش زیرساخت‌ها) بستگی دارد. یکی از اهداف قیمت‌گذاری ناحیه مرکزی در شهر تهران، کاهش مشکلات ناشی از استفاده از خودرو شخصی است. سنجش

یکی از مشکلات جوامع شهری، ازدحام ناشی از تردد وسایل نقلیه است که موجب آلودگی هوا و افزایش زمان سفر می‌شود. بروز چنین مشکلاتی منجر به چاره‌اندیشی در راستای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل شده است. در بسیاری از مطالعات بر کاهش استفاده از خودرو شخصی و روی آوردن به سیستم‌های جایگزین، به عنوان هدف اصلی سیاست‌های مدیریتی حمل و نقل تأکید شده است. قیمت‌گذاری محدوده‌های پرتردد، یکی از این سیاست‌ها به شمار می‌رود. از جمله مسائل مهم بعد از اعمال قیمت‌گذاری، بررسی اثربخشی آن در راستای کاهش ازدحام است. اثربخشی یک طرح قیمت‌گذاری بعد از اجرا را می‌توان در زمینه‌های مختلفی بررسی کرد. تأثیر بر حجم ترافیک محدوده

اتوبوس، کاربران جدیدی را برای استفاده از این شیوه جذب می‌کند، اما استفاده از خودروی شخصی را کاهش نمی‌دهد. گومز و همکاران در مطالعه‌ی خود نتیجه گرفتند که افزایش هزینه استفاده از خودروی شخصی در کاهش نرخ استفاده از آن مؤثر است (Gomez-Ibanez and Small, 1994). به طور کلی، قیمت‌گذاری تراکم به عنوان یک روش مؤثر و کارآمد برای مدیریت مشکلات ناشی از استفاده از خودروهای شخصی است (Transportation for London, 2004). سیاست‌های قیمت‌گذاری انواع مختلف تغییرات رفتاری کاربر را به وجود می‌آورد در جدول (۱) خلاصه‌ای از تغییرات احتمالی ارایه شده است.

جدول ۱. تغییرات احتمالی در زندگی و رفتار کاربران در مواجهه با قیمت‌گذاری

ردیف	نوع تغییر	جزئیات تغییر رفتار
۱	رفتار رانندگی	تغییر در شیوهی رانندگی (سرعت، استفاده از ترمز، عوض کردن دنده) در راستای کاهش مصرف سوخت
۲	رفتار سفر	ترکیب سفرها- انتخاب مسیر قیمت‌گذاری نشده- تغییر زمان سفر- تغییر زمان سفر- تغییر مقصد سفرهای غیراجباری- کاهش تعداد سفرها- تغییر شیوه سفر
۳	مالکیت خودرو	خرید خودرو، تعویض با خودروی کم‌مصرف یا فروش خودرو
۴	انتخاب مکان	تغییر محل سکونت تغییر محل کار

تغییرات در مالکیت خودرو و انتخاب محل (بخصوص انتخاب محل کار و محل اقامت) در طولانی‌مدت رخ می‌دهد. در واقع افراد یک ترتیب برای تطبیق رفتار سفر خود با سیاست قیمت‌گذاری در نظر می‌گیرند. ممکن است ابتدا تغییرات رفتاری که کمترین هزینه را دارد (از لحاظ پول، زمان، تلاش)، مانند زنجیره‌ای کردن سفرها (به عنوان مثال، ترکیب سفر تحصیلی و سفر خرید)، انتخاب مقصد نزدیک‌تر (به عنوان مثال، خرید از محل نزدیک به خانه) و انتخاب مسیرهای مختلف را اعمال کنند (Loukopoulos et al., 2004). هنگامی که این تغییرات برای کاربران امکان‌پذیر یا کافی نیست، تغییرات رفتاری مانند استفاده از سایر وسایل

میزان اثربخشی این سیاست را می‌توان با در نظر گرفتن رفتار سفر کاربران محدوده انجام داد. در این تحقیق اطلاعات نوع تغییر رفتار سفر کاربران، بعد از اجرای طرح قیمت‌گذاری تغییر یافته در سال ۱۳۹۷، با توجه به ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی آن‌ها، در راستای سنجش اثرگذاری طرح ترافیک تغییر یافته بر رفتار سفر افراد مختلف استفاده شده است. اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از پرسشنامه جمع‌آوری شده است. نتایج حاصل به دلیل استفاده از اطلاعات رجحان آشکار شده، نسبت به روش‌هایی چون رجحان بیان شده<sup>۱</sup> که برای پیش‌بینی رفتار سفر افراد استفاده می‌شود، قابل اطمینان‌تر است. چرا که اطلاعات حاصل از مشاهده است و در نتیجه اعتبار بیشتری نسبت به اطلاعات حاصل از برآورد دارد. همچنین اطلاعات حاصل از مشاهده بعد از اعمال یک سیاست قیمت‌گذاری، معمولاً کمتر قابل دستیابی است. تحلیل رفتار سفر کاربران یک محدوده قیمت‌گذاری شده برای شناسایی آن دسته از ویژگی‌های اساسی اجتماعی و اقتصادی کاربران محدوده در راستای میزان اثربخش بودن یک سیاست کنترل تقاضای حمل‌ونقل مفید خواهد بود. به علاوه شناخت رفتار مسافران و کاربران محدوده می‌تواند به تصمیم‌گیران برای اتخاذ تصمیمات بهتر و کارا تر در آینده کمک کند. در پژوهش حاضر همچنین سعی شده است با محاسبه اثرات حاشیه‌ای متغیرهای مجازی، یک تحلیل از میزان اثر هر متغیر بر انتخاب افراد ارائه داد. بخش دوم این مقاله به مروری بر مطالعات پیشین می‌پردازد. در بخش سوم روش پژوهش بیان می‌شود. بخش چهارم و پنجم به ترتیب به داده‌های پژوهش و نتایج تحلیل اختصاص دارد. در ادامه به نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی پرداخته خواهد شد.

## ۲- پیشینه تحقیق

تغییر رفتار کاربران خودروی شخصی برای کاهش مشکلات ازدحام ضروری است. برای مدیریت استفاده از خودروها، می‌توان چندین راهبرد سیاستی را اعمال کرد که یکی از آن‌ها سیاست قیمت‌گذاری حمل‌ونقل است. قیمت‌گذاری می‌تواند به صورت افزایش هزینه استفاده از خودرو (در زمان یا مکان‌های خاص) و یا کاهش هزینه‌ی استفاده از حمل‌ونقل عمومی باشد. مطالعات نشان داده است که سیاست دوم عموماً در درازمدت مؤثر نیست؛ زیرا کاهش هزینه‌های استفاده از

به سفرهای تفریحی یا خرید دارد. ۳. کیفیت و قیمت مسیرهای جایگزین، شیوه حمل و نقل و مقصدها: اگر راه‌های جایگزین و سایر شیوه‌های حمل و نقل کیفیت خوب و قیمت قابل قبولی داشته باشند، حساسیت کاربران به قیمت افزایش می‌یابد. برای مثال اگر یک مسیر قیمت‌گذاری نشده موازی و جایگزین مسیر قیمت‌گذاری شده وجود داشته باشد، کاربران بیشتر نسبت به قیمت حساس می‌شوند. ۴. مدت‌زمان: کاهش‌پذیری حمل و نقل در طول زمان افزایش می‌یابد، زیرا کاربران در تصمیم‌های طولانی‌مدت، فرصت بیشتری برای تطبیق خود با اثر قیمت‌گذاری دارند. (Dargay and Gately, 1997). محققان با توجه به تغییرات احتمالی در رفتار سفر و حساسیت کاربران در مواجهه با قیمت‌گذاری، مطالعاتی با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات رفتار آن‌ها پرداختند. دیسانایاک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل لوجیت آشیانه‌ای برای مطالعه رفتار سفر خانواده‌ها با توجه به مالکیت خودرو، انتخاب شیوه سفر<sup>۴</sup> و تصمیمات اشتراک‌گذاری سفر<sup>۵</sup>، استفاده کردند. در این مدل داده‌های رجحان آشکار شده و بیان‌شده به کار گرفته شده است.

دو مدل لوجیت آشیانه‌ای RP و لوجیت آشیانه‌ای ترکیبی RP/SP برای تحلیل رفتار سفر خانواده‌ها و نگرش به شیوه‌های حمل و نقل موجود و برای پیش‌بینی نگرش برای شیوه‌ی پیشنهادی سیستم حمل و نقل سریع استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که سفرهای با مسافت طولانی، درآمد خانوار، وضعیت شغل، سن مسافران و وجود فرزندی در خانواده که به مدرسه می‌رود، جنبه‌های کلیدی در تصمیمات سفر خانوار هستند (Dissanayake and Morikawa, 2010).

لی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، برای بررسی واکنش افراد به قیمت‌گذاری ازدحام، به پرسشگری از ۵۴۶۸ نفر از ساکنین شهر پکن پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل لوجیت چندگانه و تحلیل خوشه‌ای به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی افراد و رفتار سفرشان با نوع برخورد آن‌ها با قیمت‌گذاری ازدحام پرداختند.

نتیجه تحقیق آن‌ها بیانگر وجود ارتباط بین ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی و نوع برخورد با قیمت‌گذاری بود به طوری که بر اساس نتایج، زنان در مواجهه با قیمت‌گذاری خنثی بوده و افراد غیرشاغل تمایلی به تغییر رفتار خود نداشته و در مقابل قیمت‌گذاری مقاومت می‌کنند (Li et al., 2020).

حمل و نقل یا لغو سفرها را انتخاب می‌کنند. کاربران در بلندمدت، ممکن است به خرید و فروش خودرو و حتی جابه‌جایی خانه یا جستجوی شغل نزدیک به خانه بپردازند. البته، تفاوت‌های فردی در نحوه انطباق فرد با سیاست‌ها مؤثر است. به عنوان مثال، تغییر زمان سفر ممکن است برای برخی از شاغلین امکان‌پذیر باشد، اما برای گروهی دیگر نباشد. برای به دست آوردن یک دیدگاه کامل و جامع از اثربخشی قیمت‌گذاری حمل و نقل، بسیار مهم است که بین این نوع تغییرات رفتاری تمایز قائل شده و تأثیرات کوتاه‌مدت و همچنین بلندمدت قیمت‌گذاری حمل و نقل در نظر گرفته شود (Wootton, 1999). مطالعات رجحان بیان‌شده نشان می‌دهد که قیمت‌گذاری حمل و نقل در صورتی مؤثر خواهد بود که کاربران فکر کنند که می‌توانند استفاده از خودرو خود را بدون افزایش هزینه سفر (بیشتر برای سفرهای شخصی و انتخاب مسیر)، کاهش دهند. برای مثال می‌توان به طرح موفق قیمت‌گذاری در سنگاپور و لندن اشاره کرد. در سنگاپور، تغییر رفتار سفر کاربران بیشتر در انتخاب مسیر بود و البته کاربران به استفاده از شیوه‌های هم‌سفری و اتوبوس نیز روی آوردند، در حالی که در لندن تغییر در رفتار سفر در استفاده از اتوبوس (و تاکسی) بیشتر از انتخاب مسیر بود (Santos, 2004). نتایج مطالعات رجحان آشکار شده ممکن است به سادگی قابل تعمیم به سایر مناطق نباشد. برای مثال قیمت‌گذاری در سنگاپور و لندن مؤثر بود. در هر دو شهر، کیفیت حمل و نقل عمومی بهبود یافته بود و در نتیجه، برای کاربران گزینه‌های قابل دسترسی دیگری به جای خودرو شخصی وجود داشت. در واقع وجود حمل و نقل عمومی با کیفیت بالا، پیش‌شرط مهم برای قیمت‌گذاری مؤثر حمل و نقل است (Tretvik, 2003; Ramjerdi, Minken and Østmoe, 2004). قیمت‌گذاری حمل و نقل همچنین ممکن است در مردم این احساس را به وجود آورد که آن‌ها حق دارند از خودرو شخصی خود استفاده کنند، زیرا هزینه‌ی آن را پرداخت کرده‌اند (Fehr and Falk, 2002; Steg and Schuitema, 2007).

درواقع اثر واقعی تغییر قیمت یا قیمت‌گذاری یک محدوده به عوامل مختلفی بستگی دارد که باعث دشوار شدن پیش‌بینی اثر آن می‌شود.

عوامل مؤثر بر حساسیت کاربران به قیمت شامل موارد زیر است: ۱. نوع تغییر قیمت: انواع مختلف اقدامات قیمت‌گذاری می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر رفتار سفر داشته باشد. ۲. نوع سفر و مسافر: سفرهای روزانه کاهش کمتری به قیمت نسبت

می‌شود. تابع مذکور تابع درستنمایی<sup>۷</sup> نامیده می‌شود (رابطه‌ی ۴).

$$L = \prod_n \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}} \quad (4)$$

که در آن  $n$  نشان‌دهنده فرد،  $i$  گزینه،  $C_n$  مجموعه گزینه‌های موجود برای فرد  $n$ ،  $P_n(i)$  احتمال انتخاب گزینه  $i$  توسط فرد  $n$  و مقادیر  $y_{in}$  در صورتی که فرد  $n$  گزینه  $i$  را انتخاب کرده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰ است. با لگاریتم گرفتن از رابطه‌ی (۴) و جایگذاری مقدار  $P_n(i)$  برای تابع لوجیت مطابق رابطه‌ی (۵) حاصل می‌شود:

$$LL(\beta) = \sum_n \sum_i y_{in} (\beta' X_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' X_{jn}}) \quad (5)$$

مقادیر  $\beta$  با بیشینه کردن تابع فوق از طریق مشتق‌گیری و برابر صفر قرار دادن عبارت به دست می‌آید و به این ترتیب مدل لوجیت پرداخت می‌شود. ضوابط متفاوتی برای ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. مقدار لگاریتم تابع تمایل می‌تواند سه حالت باشد. حالت اول (رابطه‌ی ۶)،  $N$  تعداد مشاهدات (کل افراد نمونه) و  $J_n$  تعداد گزینه‌ها برای فرد  $n$  است. در این حالت تمام ضرایب در مدل صفر و احتمال انتخاب تمام گزینه‌ها باهم برابر است:

$$LL(0) = - \sum_{n=1}^N \ln J_n \quad (6)$$

حالت دوم (رابطه‌ی ۷)،  $i$  گزینه،  $n$  تعداد کل گزینه‌ها،  $X_i$  تعداد افرادی که گزینه  $i$  را انتخاب کرده‌اند و  $Y_i$  تعداد افرادی که به گزینه  $i$  دسترسی داشته‌اند. تابع مطلوبیت هر گزینه برابر سهم آن گزینه در وضعیت موجود است؛ یعنی تابع مطلوبیت هر گزینه با توجه به نرخ آن در وضعیت موجود، یک عدد ثابت است.

$$LL(c) = \sum_{i=1}^n X_i \ln \left( \frac{X_i}{Y_i} \right) \quad (7)$$

حالت سوم، ضرایب تابع مطلوبیت با روش بیشینه‌سازی تمایل تخمین زده می‌شوند (رابطه‌ی ۸):

$$LL(\beta) = \sum_n \sum_i y_{in} (\beta' X_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' X_{jn}}) \quad (8)$$

با توجه به موارد بالا می‌توان نتیجه گرفت رابطه (۹) همواره برقرار است.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

با توجه به هدف تحقیق جاری، برای اثربسنجی طرح قیمت‌گذاری تهران در سال ۱۳۹۷، از داده‌های حاصل از پرسشنامه طرح پژوهشی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی تهران استفاده شده است. این پرسشنامه در آبان ماه سال ۱۳۹۷ به تعداد ۴۵۶ عدد و به صورت مصاحبه‌ای و با روش رجحان آشکار شده گردآوری شد. با توجه به هدف تحقیق، محدوده و زمان پرسشگری، مکان‌های مختلف در محدوده‌ی طرح ترافیک در ساعات اوج صبح و عصر است. در ادامه به معرفی مدل انتخاب بکار گرفته شده و ضوابط ارزیابی آن پرداخته می‌شود. در انتهای این بخش روش تحلیل حساسیت متغیرهای تحقیق معرفی می‌شود.

#### ۳-۱- مدل انتخاب گسسته

بر اساس نظریه تقاضای مصرف‌کننده، هر گزینه با توجه به ویژگی‌های خود باعث ایجاد مطلوبیت برای کاربر می‌شود. مطلوبیت گزینه‌ی  $i$  برای فرد  $n$  ( $U_{in}$ ) شامل دو بخش قابل اندازه‌گیری ( $V_{in}$ ) و تصادفی ( $\varepsilon_{in}$ ) می‌شود (رابطه ۱).

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

فرد  $n$  گزینه‌ی  $i$  را در صورتی انتخاب می‌کند که مطلوبیت او را حداکثر کند. به عبارت دیگر، مطلوبیت این گزینه از سایر گزینه‌های موجود بیشتر باشد. اگر احتمال انتخاب گزینه‌ی  $i$  برای فرد  $n$   $P_n(i)$  و  $C_n$  مجموعه انتخاب‌های فرد باشد، مطابق رابطه‌ی (۲) این احتمال برابر است با:

$$P_n(i) = P[U_{in} \geq U_{jn}] \quad (2) \\ = P[\varepsilon_n \leq V_{in} - V_{jn}] \quad \forall i, j \\ \in C_n, i \neq j$$

به این ترتیب با دانستن توزیع عامل تصادفی، احتمال انتخاب هر گزینه تعیین می‌شود. انتخاب بین چند گزینه و فرض اینکه توزیع عامل‌های تصادفی مستقل و یکسان کامل باشد، به مدل لوجیت چندگانه منتهی می‌شود (رابطه‌ی ۳).

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta V_{jn}}} \quad (3)$$

برای برآورد ضرایب مدل لوجیت از روش برآورد درستنمایی بیشینه استفاده می‌شود. در این روش ابتدا باید تابع چگالی احتمال توأم برای نمونه‌ی مشاهده‌شده را محاسبه و سپس مقادیر متغیرها را به صورتی که مقدار تابع قبل را بیشینه کند، محاسبه کرد. با این روش درستنمایی مشاهدات بیشینه

$$LL(\beta) \geq LL(c) \geq LL(0) \quad (9)$$

رابطه ۹ بیان می‌کند که مقدار لگاریتم تابع تمایل، در حالتی که تابع مطلوبیت یک عدد ثابت است (حالت دوم)، باید بزرگ‌تر یا مساوی مقدار تابع در حالتی باشد که احتمال انتخاب گزینه‌های مختلف، یکسان است (حالت اول). به علاوه، لگاریتم تابع تمایل، در حالت سوم که ضرایب مدل برآورد شده‌اند، باید بزرگ‌تر یا مساوی حالت دوم باشد.

### ۳-۲- اثر حاشیه‌ای

اثر حاشیه‌ای بیانگر میزان تغییر یک متغیر نسبت به میزان تغییر متغیر دیگر است. اثر حاشیه‌ای بر اساس تغییر یک واحد متغیر بیان می‌شود. در واقع اثر حاشیه‌ای برای یک مدل انتخاب به صورت تغییر در احتمال انتخاب به ازای یک واحد تغییر در متغیر با شرط ثابت بودن بقیه عوامل، تفسیر می‌شود. به طور کلی اثر حاشیه‌ای برای مدل لوجیت چندگانه به صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$M_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = \frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ikq}} \quad (10)$$

اثر حاشیه‌ای برای متغیرهای رتبه‌ای و مجازی به شکل متفاوتی نسبت به متغیرهای پیوسته محاسبه می‌شود. در پژوهش حاضر از شبیه‌سازی برای تحلیل اثرات حاشیه‌ای متغیرهای مجازی استفاده شده است. بر این اساس، محاسبه می‌شود که با تغییر سطح متغیر مورد نظر، سهم انتخاب گزینه‌ها به چه میزان تغییر می‌کند. برای انجام شبیه‌سازی ابتدا باید یک مدل انتخاب برآورد شده وجود داشته باشد؛ سپس برای محاسبه اثر حاشیه‌ای یک متغیر باید تغییراتی در مدل ایجاد کرده و وارد فرآیند شبیه‌سازی شد. جزئیات نحوه عملکرد شبیه‌سازی برای محاسبه اثرات حاشیه‌ای متغیرهای مجازی در مدل لوجیت چندگانه در پیوست ارائه شده است (Hensher, Rose and Greene, 2015; Kanafani, 1983).

### ۴- داده‌های پژوهش

در این بخش ابتدا ابزار گردآوری داده‌های تحقیق و بخش‌های مختلف آن معرفی و در ادامه به تحلیل توصیفی برخی متغیرها پرداخته می‌شود.

### ۴-۱- پرسشنامه

به منظور جمع‌آوری اطلاعات برای این تحقیق، از پرسشنامه با روش رجحان آشکار شده استفاده شده است. در مجموع ۴۵۶ پرسشنامه جمع‌آوری شد که پس از پالایش آن، ۴۲۲ پرسشنامه مورد استفاده قرار گرفت. پرسشنامه تحقیق در ۷ بخش تهیه شد.

دو بخش مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است: بخش اول: در این بخش مشخصات سفرهای روزانه‌ی افراد به/از محدوده‌ی طرح ترافیک پرسش شده و شامل موارد زیر است:

-هدف اصلی افراد از سفر به محدوده‌ی طرح ترافیک (این اهداف در ۸ دسته‌ی شغلی، تحصیلی، خرید، درمانی، تفریح، دیدار آشنایان، امور شخصی و سایر موارد قرار دارند.)  
-نوع مجوز اخذ شده و هزینه پرداخت شده بابت آن توسط فرد پیش از اجرای طرح ترافیک جدید (۷ نوع مجوز سالانه، ۹۰ روزه، سالانه ۱۸۰ روزه، سالانه ۲۹۰ روزه، هفتگی، روزانه، کارت شناور و بدون مجوز)،

-تعداد ورود /خروج به/ از محدوده‌ی طرح ترافیک با خودروی شخصی قبل و بعد از طرح جدید،

-زمان ورود /خروج به/از محدوده‌ی طرح ترافیک با خودروی شخصی قبل و بعد از طرح جدید،

-تغییرات ایجاد شده در سفرهای اجباری و غیراجباری بعد از اجرای طرح جدید (که سفرها می‌توانند بدون تغییر، با تغییر وسیله، تغییر زمان ورود و خروج، لغو سفر، سفر جدید و بدون سفر باشند) و

-مبدأ و مقصد سفرهای روزانه به محدوده طرح ترافیک (در این سؤال خارج یا داخل بودن مبدأ و مقصد در محدوده‌ی کنترل آلودگی هوا پرسش شده است).

بخش دوم: در این بخش اطلاعات شخصی افراد مانند جنسیت، وضعیت تأهل، سن، تحصیلات، بخش شغلی، وسیله اصلی سفر، آدرس محل سکونت و ... پرسش شده است. در انتهای پرسشنامه، گروه مصاحبه‌شونده مشخص شده است. این گروه‌ها شامل شاغلین (کسبه و بازاریان)، شاغلین (کارمندان)، شاغلین (آژانس/وسایل باری)، شاغلین (سایر مشاغل)، مراجعین (به بانک‌ها، ادارات، سازمان‌ها، مراکز خرید و...) و ساکنین محدوده می‌شود.

#### ۴-۲- تحلیل توصیفی داده‌ها

در تحلیل میزان اثرگذاری یک سیاست قیمت‌گذاری، مشخصات سفر کاربران بسیار اهمیت دارد. هدف سفر شغلی با فراوانی نسبی ۵۴/۹۱ درصد، بیشترین فراوانی را در بین اهداف به خود اختصاص داده است. بعد از آن هدف سفر خرید، با ۱۸/۰۸ درصد بیشترین فراوانی را در بین سایر اهداف دارد. یکی دیگر از ویژگی‌های اصلی رفتار سفر کاربران محدوده، وسیله اصلی سفر آن‌ها به محدوده است. وسیله سفر پرسش شده از کاربران در ۸ رده قرار دارد. در این بین مترو با ۳۵/۸۱ درصد بیش‌ترین فراوانی را دارد. بعد از مترو بیشترین فراوانی مربوط به خودرو شخصی است و ۲۵/۶۸ درصد افراد با خودرو شخصی خود در محدوده تردد دارند (جدول (۲) و (۳)).

جدول ۲. توزیع فراوانی پاسخگویان از نظر هدف سفر به محدوده

#### طرح ترافیک

ردیف	هدف سفر به محدوده	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
۱	شغلی	۲۴۶	۵۴/۹۱
۲	تحصیلی	۲۰	۴/۴۶
۳	خرید	۸۱	۱۸/۰۸
۴	درمانی	۱۹	۴/۲۴
۵	تفریح	۹	۲/۰۱
۶	دیدار آشنایان	۱۲	۲/۶۸
۷	امور شخصی	۴۶	۱۰/۲۷
۸	سایر	۱۵	۳/۳۵
	مجموع	۴۴۸	۱۰۰/۰۰

از مهم‌ترین بخش‌های پرسشگری انجام شده بخش مربوط به رفتار سفر کاربران است. هدف اصلی مطرح کردن این پرسش، برآورد میزان اثرگذاری تغییر در نوع قیمت‌گذاری و سیاست طرح ترافیک بر رفتار سفر کاربران محدوده است. در این پرسش از افراد خواسته شد نوع تغییر در رفتار سفر خود را نسبت به رفتار سفر در طرح قبل بیان کنند. جدول (۴) نوع تغییر رفتار سفر کاربران در ۵ دسته انجام سفر بدون تغییر، انجام سفر با تغییر وسیله، تغییر زمان سفر، لغو سفر و انجام سفر جدید و بدون سفر را نشان می‌دهد. از بین ۴۳۸ پاسخگو، ۵۲/۲۸ درصد آن‌ها سفر خود را بدون ایجاد هیچ تغییری نسبت به طرح ترافیک قبل انجام می‌دهند.

جدول ۴. نوع تغییر رفتار سفر کاربران در روزهای شبیه تا

#### چهارشنبه

نوع تغییر رفتار سفر	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
بدون تغییر	۲۲۹	۵۲/۲۸
تغییر وسیله	۵۰	۱۱/۴۲
تغییر زمان سفر	۱۲	۲/۷۴
لغو سفر	۳	۰/۶۸
انجام سفر جدید	۱	۰/۲۳
بدون سفر	۱۴۳	۳۲/۶۵
مجموع	۴۳۸	۱۰۰/۰۰

جدول ۳. توزیع فراوانی پاسخگویان از نظر وسیله اصلی سفر به

#### محدوده طرح ترافیک

ردیف	هدف سفر به محدوده	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
۱	شخصی	۱۱۴	۲۵/۶۸
۲	ترکیب شخصی و سایر وسایل	۵۵	۱۲/۳۹
۳	مترو	۱۵۹	۳۵/۸۱
۴	اتوبوس	۲۶	۵/۸۵
۵	تاکسی	۲۳	۵/۱۸
۶	تاکسی اینترنتی	۱۵	۳/۳۸
۷	موتورسیکلت	۴۳	۹/۶۸
۸	سایر	۹	۲/۰۳
	مجموع	۴۴۴	۱۰۰/۰۰

#### ۵- نتایج تحلیل و مدل‌سازی

در این بخش به بررسی تغییرات در رفتار سفر کاربران محدوده طرح ترافیک تهران با توجه به ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی آنان پرداخته می‌شود. به منظور مدل‌سازی رفتار سفر از اطلاعات ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی ۴۲۲ نفر پاسخگو

در مواجهه با سه گزینه (جدول (۵))، استفاده شده است. اثرسنجی طرح ترافیک تغییر یافته، از نوع لوجیت چندگانه و با توجه به سه گزینه‌ای بودن مجموعه انتخاب کاربران، از مدل لوجیت چندگانه و نرم‌افزار Nlogit استفاده شده است. همچنین متغیرهای نهایی بکار گرفته شده در این فرآیند در جدول (۶) و جدول (۷) ارائه شده است. در ادامه مدل نهایی

جدول ۵. گزینه‌های تغییر در رفتار سفر کاربران محدوده طرح ترافیک

انتخاب	نام گزینه	توضیح
۱	انجام سفر بدون تغییر	شامل کاربران محدوده طرح ترافیک که بعد از اجرای طرح ترافیک تغییر یافته سفر خود را از لحاظ انتخاب وسیله و زمان سفر بدون تغییر انجام می‌دهند.
۲	انجام سفر با تغییر وسیله	شامل کاربران محدوده طرح ترافیک که بعد از اجرای طرح ترافیک تغییر یافته سفر خود با تغییر وسیله انجام می‌دهند.
۳	بدون سفر اجباری	شامل کاربران محدوده طرح ترافیک که بعد از اجرای طرح ترافیک تغییر یافته سفر اجباری به محدوده ندارند.

جدول ۶. متغیرهای بکار گرفته شده در مدل رفتار سفر

ردیف	متغیر اصلی	متغیر مجازی	توضیح
۱	گروه مصاحبه‌شونده	D_Group_4	اگر از گروه سایر مشاغل (راننده باری، راننده آژانس، بازاری و کارمند نباشد) باشد یک در غیر این صورت صفر
		D_Group_7	اگر از گروه مراجعین برای مراکز خدماتی باشد یک در غیر این صورت صفر
		D_Group_8	اگر از گروه مراجعین برای آموزش باشد یک در غیر این صورت صفر
۲	وضعیت سرپرستی	D_HH	اگر سرپرست خانوار باشد یک در غیر این صورت صفر
۳	محل سکونت	D_LOC_1	اگر محل سکونت داخل محدوده طرح ترافیک باشد یک در غیر این صورت صفر
		D_LOC_2	اگر محل سکونت خارج محدوده طرح ترافیک و داخل محدوده کنترل آلودگی هوا باشد یک در غیر این صورت صفر
۴	هدف سفر به محدوده	D_WORK	اگر با هدف سفر شغلی وارد محدوده شود یک در غیر این صورت صفر
		D_EDUC	اگر با هدف سفر تحصیلی وارد محدوده شود یک در غیر این صورت صفر

اگر مجوز طرح قبل سالانه ۲۹۰ روزه باشد یک در غیر این صورت صفر	D_AS		
اگر مجوز طرح قبل هفتگی باشد یک در غیر این صورت صفر	D_WEAK	نوع مجوز طرح	۵
اگر مجوز طرح قبل روزانه باشد یک در غیر این صورت صفر	D_DAY	قبل	
اگر در طرح قبل مجوز خریداری نکرده است یک در غیر این صورت صفر	D_NOLIC		
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده خودرو شخصی باشد یک در غیر این صورت صفر	D_CAR	وسیله اصلی سفر به محدوده	۶
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده مترو باشد یک در غیر این صورت صفر	D_METRO		
اگر مبدأ سفر خارج محدوده طرح ترافیک و کنترل آلودگی هوا باشد یک در غیر این صورت صفر	D_ORIG_3	موقعیت مبدأ سفر	۷
اگر مقصد سفر خارج محدوده طرح ترافیک و داخل محدوده کنترل آلودگی هوا باشد یک در غیر این صورت صفر	D_DST_2	موقعیت مقصد سفر	۸
اگر مقصد سفر داخل محدوده طرح ترافیک باشد یک در غیر این صورت صفر	D_DST_1		
(میانسال) اگر سن کمتر از ۵۱ و بیشتر از ۳۶ باشد یک در غیر این صورت صفر	D_AGE_M	رده سنی	۹
اگر خانه‌دار باشد یک در غیر این صورت صفر	D_J_KHNDR	شغل	۱۰
اگر میزان آشنایی با طرح کم باشد یک در غیر این صورت صفر	D_FAM_L	میزان آشنایی با طرح ترافیک	۱۱
اگر میزان آشنایی با طرح زیاد باشد یک در غیر این صورت صفر	D_FAM_H	جدید	
تعداد خودرو تحت تملک خانوار	VEHNUM	تعداد وسایل نقلیه	۱۳
اگر تعداد وسایل نقلیه تحت تملک یک باشد یک در غیر این صورت صفر	D_CAR_1	در خانوار	۱۴

جدول ۷. متغیرهای ترکیبی بکار گرفته شده در مدل رفتار سفر

توضیح	متغیر	ردیف
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده خودرو شخصی باشد و محل سکونت خارج محدوده طرح ترافیک و داخل محدوده کنترل آلودگی باشد یک در غیر این صورت صفر	D_C_L2	۱
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده خودرو شخصی باشد و میزان آشنایی با طرح ترافیک کم باشد یک در غیر این صورت صفر	D_C_FL	۲



اگر وسیله اصلی سفر به محدوده مترو باشد و خانه‌دار باشد یک در غیر این صورت صفر	D_M_JKH	۳
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده مترو باشد و بیشتر از ۱۸ سال و کمتر از ۳۶ سال سن داشته باشد یک در غیر این صورت صفر	D_M_AY	۴
اگر وسیله اصلی سفر به محدوده مترو باشد و میزان آشنایی با طرح ترافیک کم باشد یک در غیر این صورت صفر	D_M_FL	۵
اگر زن باشد و سرپرست خانوار یک در غیر این صورت صفر	D_WMN_H	۶
اگر هدف سفر شغلی باشد و بیش از یک خودرو در خانوار باشد یک در غیر این صورت صفر	D_PW_C2	۷
اگر مقصد داخل محدوده طرح ترافیک باشد و مبدأ سفر خارج از محدوده کنترل آلودگی هوا یک در غیر این صورت صفر	D_D1_OR3	۸

تغییر است. این افراد مسافت بیشتری را نسبت به سایر کاربران تا رسیدن به مقصد (داخل محدوده طرح ترافیک) خود طی می‌کنند و در طرح جدید نسبت به کاربران با مبادی داخل محدوده آلودگی هوا و ترافیک، تمایل کمتری به بدون تغییر انجام دادن سفر خود دارند. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، تغییر مبدأ از خارج از محدوده آلودگی هوا به محدوده آلودگی هوا، موجب افزایش سهم گزینه بدون تغییر به میزان ۲۴/۳۷ درصد و تغییر مبدأ به داخل محدوده طرح ترافیک موجب افزایش سهم گزینه بدون تغییر به میزان ۱۲/۱۹ درصد می‌شود. در نتیجه هرچه مبدأ سفر کاربران به مقصد آن‌ها (محدوده طرح ترافیک) نزدیک‌تر باشد، تمایل بیشتری به بدون تغییر انجام دادن سفر خود دارند.

نتایج حاکی از آن است که اگر مقصد سفر، محدوده طرح کنترل آلودگی هوا باشد، تمایل به بدون سفر بودن برای کاربران این محدوده نسبت به کاربرانی که مقصد سفرشان داخل و یا خارج هر دو محدوده است، کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، با تغییر مقصد سفر کاربران به داخل محدوده طرح ترافیک و خارج از محدوده آلودگی هوا، به ترتیب به میزان ۳۸/۸۳ درصد و ۷/۵۰ درصد افراد، تمایل به نداشتن سفر به محدوده مرکزی خواهند داشت؛ یعنی این امر که مقصد سفر افراد داخل محدوده طرح ترافیک باشد برای افراد نامطلوب است.

متغیر تعداد وسایل نقلیه تحت تملک خانوار در گزینه تغییر وسیله با علامت مثبت معنادار است. به این معنا که اگر تعداد

نتایج برازش مدل در جدول (۸) و اثرات حاشیه‌ای در جدول (۹) ارایه شده است. تفسیر نتایج مدل مذکور به شرح زیر است:

در تابع مطلوبیت گزینه تغییر وسیله، جمله ثابت معنادار شده است. معناداری این عبارت به معنای وجود متغیرهایی است که در مدل مشاهده نشده است. بر اساس نتایج مدل، کاربرانی که محل سکونتشان داخل محدوده طرح ترافیک است، گزینه بدون تغییر برای آن‌ها نسبت به کاربرانی که در سایر نقاط تهران سکونت دارند، مطلوبیت منفی دارد. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای با تغییر محل سکونت افراد از داخل محدوده طرح ترافیک به محدوده آلودگی هوا، سهم گزینه بدون تغییر ۱۰/۱۵ درصد افزایش و با تغییر محل سکونت افراد از داخل محدوده طرح ترافیک به خارج از محدوده آلودگی هوا، سهم گزینه بدون تغییر ۳۸/۵۶ درصد افزایش می‌یابد. یعنی افراد اگر در محدوده‌ای خارج از محدوده طرح ترافیک سکونت داشته باشند، تمایل بیشتری دارند که سفر خود را بدون تغییر انجام دهند. در نتیجه محل سکونت افراد ویژگی تعیین‌کننده‌ای در نوع تغییر رفتار سفر آن‌ها در مواجهه با سیاست‌های کنترل ترافیک است. تأثیر محل سکونت افراد بر رفتار سفر آن‌ها در مواجهه با سیاست‌های قیمت‌گذاری، با نتایج تحقیق لوکوپولو<sup>۸</sup> و همکاران و ووتن<sup>۹</sup> منطبق است.

بر اساس نتایج مدل، خارج از محدوده طرح کنترل آلودگی هوا بودن مبدأ سفر، موجب کاهش مطلوبیت انجام سفر بدون

بازاریان، کارمندان، رانندگان آژانس و وسایل باری نیستند، در گزینه بدون سفر با علامت منفی معنادار است؛ یعنی مطلوبیت گزینه بدون سفر برای این افراد نسبت به مشاغلی چون بازاری، کارمند و راننده وسایل باری بودن، کاهش یافته است. کاربرانی که با هدف رجوع به مراکز خدماتی وارد محدوده می‌شوند، گزینه بدون سفر نسبت به سایر گزینه‌ها برایشان نسبت به مراجعین به سایر مراکز (مراکز درمانی، مراکز خرید، ادارات، بانک‌ها و سازمان‌ها)، مطلوبیت بیشتری دارد. گروه مصاحبه‌شونده که با هدف رجوع به مراکز آموزشی وارد محدوده می‌شوند، مطلوبیت گزینه بدون سفر برایشان نسبت به سایر گزینه‌ها بیشتر است. برای کاربران جوانی که وسیله اصلی سفرشان به محدوده مترو است، گزینه تغییر وسیله با علامت منفی معنی‌دار است. این بدان معنا است که مطلوبیت تغییر وسیله دادن در طرح ترافیک جدید برای این افراد نسبت به افراد میان‌سال و مسن که از سایر شیوه‌ها استفاده می‌کنند، کمتر است. همچنین برای افراد خانه‌داری که وسیله اصلی سفرشان به محدوده در طرح ترافیک جدید مترو است، نسبت به کاربران با سایر مشاغل و سایر شیوه‌ها، طرح ترافیک جدید موجب افزایش مطلوبیت گزینه‌ی تغییر وسیله شده است. کاربرانی که وسیله اصلی سفرشان به محدوده مترو است و آشنایی کمی با طرح ترافیک جدید دارند، نسبت به کاربران با سایر شیوه‌ها و با آشنایی زیاد با طرح ترافیک، مطلوبیت گزینه بدون تغییر برایشان افزایش داشته است؛ یعنی این افراد تمایلی به تغییر وسیله خود از مترو به سایر شیوه‌ها در طرح ترافیک جدید ندارند. پس طرح ترافیک جدید موجب افزایش مطلوبیت خودرو شخصی برای کاربران مترو که آشنایی کمی با طرح دارند، نشده است. مطلوبیت تغییر وسیله دادن برای افرادی که محل سکونتشان داخل محدوده کنترل آلودگی هوا و خارج از طرح ترافیک است و وسیله اصلی سفرشان به محدوده خودرو شخصی است، افزایش یافته است؛ در نتیجه طرح ترافیک جدید برای ساکنین محدوده آلودگی هوا که از شیوه‌های متفاوتی به جز خودرو شخصی برای تردد در محدوده استفاده می‌کردند، نسبت به سایر مناطق تهران و سایر شیوه‌های حمل‌ونقل، تمایل بیشتری برای تغییر وسیله دادن ایجاد کرده است. کاربرانی که وسیله اصلی سفرشان به محدوده خودرو شخصی است و با طرح ترافیک آشنایی کمی دارند، تمایل بیشتری به تغییر وسیله داشته‌اند. در واقع این افراد نسبت به کسانی که آشنایی زیادی با طرح ترافیک دارند و از سایر شیوه‌های حمل‌ونقل استفاده می‌کنند، بیشتر به تغییر وسیله روی آوردند. با توجه به نوع و ماهیت گزینه‌ها و تفسیر نتایج مدل، می‌توان گفت متغیرهای معنادار از تفاسیر و علامت‌های منطقی در مدل برخوردار هستند. با کمک مقدار احتمال، سطح معناداری هر یک از متغیرهای مدل مشخص

وسایل نقلیه خانوار افزایش یابد، مطلوبیت گزینه تغییر وسیله نیز برایشان افزایش می‌یابد. این اتفاق می‌تواند در راستای روی آوردن به استفاده از خودرو شخصی از سایر شیوه‌ها باشد؛ بنابراین در طرح ترافیک جدید هرچه افراد تعداد خودروی بیشتری داشته باشند، بیشتر تمایل به تغییر دادن وسیله سفر خود دارند. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، اگر تعداد خودرو تحت تملک خانوار یک واحد افزایش یابد، سهم گزینه تغییر وسیله، ۴/۵۰ درصد و اگر دو واحد افزایش یابد، سهم این گزینه ۶۴/۷۶ درصد افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج مدل، در طرح ترافیک جدید برای افراد میان‌سال تمایل به نداشتن سفر اجباری به محدوده طرح ترافیک بیشتر از سایر گروه‌های سنی است. اثرگذاری سن کاربران بر رفتار سفر آن‌ها، منطبق بر نتایج حاصل از تحقیق دیسانایاک و همکاران (۲۰۱۰) است. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، تغییر گروه سنی کاربران به جوان و بالای ۵۱ سال موجب کاهش سهم گزینه بدون سفر به میزان ۱۰/۴۳ و ۷/۰۳ درصد خواهد شد؛ در واقع این دو گروه سنی تمایل بیشتری به بدون تغییر انجام دادن سفر خواهند داشت. کاربران خودرو شخصی نسبت به کاربران سایر شیوه‌ها تمایل بیشتری دارند که سفر خود را بدون تغییر انجام دهند. در واقع معناداری این متغیر بیان‌گر عدم تأثیر طرح ترافیک جدید بر کاهش مطلوبیت استفاده از خودرو شخصی برای کاربران آن است. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، با تغییر وسیله از خودرو شخصی به مترو سهم گزینه بدون تغییر ۳۰/۳۰ درصد افزایش می‌یابد. متغیر هدف سفر شغلی و هدف سفر تحصیلی در گزینه بدون سفر با علامت منفی معنادار است. سفر شغلی و تحصیلی سفر اجباری هستند؛ بنابراین، منطقی است که بدون سفر اجباری بودن برای سایر گروه‌ها (از لحاظ هدف سفر به محدوده)، مطلوبیت بیشتری داشته باشد. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، تغییر هدف سفر شغلی به خرید موجب افزایش سهم گزینه بدون سفر به میزان ۴۸/۶۶ درصد می‌شود. کاربرانی که در طرح قبل مجوز روزانه اخذ می‌کردند، نسبت به کاربرانی که مجوز سالانه و یا هفتگی را خریداری می‌کردند و یا کاربرانی که بدون مجوز در محدوده تردد داشتند، مطلوبیت گزینه‌ی بدون تغییر برای آن‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها کمتر است. از آنجایی که این افراد مجوز خریداری می‌کردند، پس جز کاربران خودرو شخصی هستند (کاربر دائمی یا غیردائمی)، بنابراین طرح ترافیک جدید موجب نشده است که این افراد تمایلی به بدون تغییر انجام دادن سفر خود به محدوده طرح ترافیک داشته باشند. بر اساس نتایج اثرات حاشیه‌ای، با تغییر نوع مجوز از روزانه به سالانه و هفتگی، سهم گزینه بدون تغییر به ترتیب ۹/۹۳ و ۶/۶۲ درصد افزایش می‌یابد. در گروه مصاحبه‌شونده‌ها، متغیر گروه شاغلین که در گروه کسبه و

صرفاً با وجود مقادیر ثابت و مدل با سهم مساوی برای گزینه‌ها، در سطح اطمینان ۹۹ درصد کارایی بهتری دارد. همچنین بر اساس ضابطه ارزیابی درصد برآورد درست، میزان درصد برآورد صحیح مدل برازش داده شده برابر ۷۳/۷ درصد است که بیانگر برازش خوب مدل است.

شده است. با توجه به مقدار آن در جدول ۷، متغیرهای مدل نهایی در سطوح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنادار هستند. با کمک آزمون نسبت درستی می‌توان دریافت که مدل کارآمد است. برای این کار میزان تفاوت  $LL(\beta)$  با  $LL(C)$  و  $LL(0)$  مقایسه شده و معناداری این میزان تفاوت در سطح ۱ درصد بررسی شد. بر اساس نتایج، مدل برازش داده شده نسبت به مدل

جدول ۸. متغیرهای ترکیبی بکار گرفته شده در مدل رفتار سفر

بدون سفر	تغییر وسیله	بدون تغییر	متغیر	ردیف
	-۳/۲۱۸۰۷***		CONSTANT	۱
		-۱/۳۱***	D_LOC_1	۲
		-۱/۱۶***	D_ORIG_3	۳
-۳/۲۲**			D_DST_2	۴
	۰/۷۴***		VEHNUM	۵
۱/۷۵***			D_AGE_M	۶
		۲/۱۰***	D_CAR	۷
-۶/۵۲***			D_WORK	۸
-۳/۱۱***			D_EDUC	۹
		-۰/۷۹***	D_DAY	۱۰
-۳/۸۸***			D_Group_4	۱۱
۲/۱۱***			D_Group_7	۱۲
۱/۳۴***			D_Group_8	۱۳
	-۱/۵۰***		D_M_AY	۱۴
	۱/۸۶**		D_M_JKH	۱۵
		۱/۲۸**	D_M_FL	۱۶
	۳/۱۹***		D_C_L2	۱۷
	۲/۴۳**		D_C_FL	۱۸
		مشاهدات	۴۲۲	
		LL( $\beta$ )	-۱۸۸/۸۲۳	
		LL(C)	-۴۰۱/۳۸	
		LL(0)	-۴۶۳/۶۱۴	
		$\rho_C^2$	۰/۵۲۹۶	
		$\rho_0^2$	۰/۵۹۲۷	
		$-2(LL(0) - LL(\beta))$	$\chi_{18,0.01}^2 = 34/81 < 549/58$	
		$-2(LL(C) - LL(\beta))$	$\chi_{17,0.01}^2 = 33/41 < 425/12$	

جدول ۹. اثرات حاشیه‌ای برای برخی متغیرهای معنادار در مدل رفتار سفر

متغیر	نوع تغییر سطح	بدون تغییر	تغییر وسیله	بدون سفر
محل سکونت	از داخل محدوده طرح ترافیک به محدوده آلودگی هوا	۱۰/۱۵	-۶/۸۷	-۳/۲۷
	از داخل محدوده طرح ترافیک به خارج از محدوده آلودگی هوا	۳۸/۵۶	-۱۶/۱۶	-۲۲/۴۵
وسیله اصلی سفر	از خودرو شخصی به مترو	۳۰/۳۰	-۵/۱۴	-۲۵/۱۵
نوع مجوز	از مجوز روزانه به سالانه ۲۹۰ روزه	۹/۹۳	-۱/۴۳	-۸/۵۰
	از مجوز روزانه به هفتگی	۶/۶۲	-۰/۹۹	-۵/۶۳
مبدأ سفر	از خارج از محدوده آلودگی محدوده آلودگی هوا	۲۴/۳۷	-۱۱/۸۲	-۱۲/۵۶
	از خارج از محدوده آلودگی هوا به داخل محدوده طرح ترافیک	۱۲/۱۹	-۷/۰۲	-۵/۱۸
تعداد خودرو	از مالکیت یک خودرو به دو خودرو	-۳/۸۰	۴/۵۰	-۰/۶۹
تحت تملک	از مالکیت یک خودرو به سه خودرو	-۴۵/۷۳	۶۴/۷۶	-۱۹/۰۳
هدف سفر	از هدف سفر شغلی به هدف سفر خرید	-۳۷/۸۱	-۱۰/۸۴	۴۸/۶۶
	از هدف سفر شغلی به هدف سفر تحصیلی	-۳۶/۹۲	-۱۰/۶۰	۴۷/۵۲
مقصد سفر	از محدوده آلودگی هوا به داخل محدوده طرح ترافیک	-۳۰/۸۷	-۷/۹۶	۳۸/۸۳
	از داخل محدوده آلودگی هوا به خارج از محدوده آلودگی هوا	-۳۸/۱۲	-۹/۳۸	۴۷/۵۰
سن	از میانسال به جوان	۷/۶۴	۲/۷۸	-۱۰/۴۳
	از میانسال به سن بالای ۵۱ سال	۵/۱۷	۱/۸۶	-۷/۰۳

## ۶- نتیجه گیری

در مدل رفتار سفر، مطلوبیت بدون تغییر انجام دادن سفر بعد از اجرای طرح ترافیک جدید برای کاربران خودرو شخصی همچنان بیشتر از سایر گزینه‌ها است. این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر کم طرح ترافیک جدید (در قیمت‌های جاری) بر کاربران خودرو شخصی، به خصوص در راستای تغییر وسیله باشد. علاوه بر کاربران خودرو شخصی، افرادی که از مترو استفاده می‌کنند و با طرح ترافیک جدید تهران آشنایی زیادی ندارند، نسبت به کاربران سایر شیوه‌ها که در سطوح متوسط و زیاد با طرح ترافیک آشنا هستند، تمایل بیشتری دارند که سفر خود را بدون تغییر در زمان، شیوه و مسیر انجام دهند.

بنابر نتایج تحلیل حساسیت مدل رفتار سفر، با افزایش تعداد خودروی تحت تملک خانوار از یک خودرو به دو خودرو و از یک خودرو به سه خودرو، تمایل افراد برای تغییر وسیله در طرح ترافیک جدید، به ترتیب،  $4/5$  و  $64/76$  درصد افزایش می‌یابد. تغییر محل سکونت افراد از داخل محدوده طرح ترافیک به محدوده کنترل آلودگی هوا و خارج از محدوده کنترل آلودگی هوا، باعث افزایش سهم بدون تغییر انجام دادن سفر، به ترتیب،  $10/15$  و  $38/56$  درصد می‌شود. با تغییر مبدأ سفر کاربران، از خارج از محدوده کنترل آلودگی هوا به داخل طرح ترافیک و محدوده کنترل آلودگی هوا، سهم بدون تغییر انجام دادن سفر، به ترتیب،  $12/19$  و  $24/37$  درصد افزایش می‌یابد. این دو تحلیل اهمیت محل سکونت و مبدأ سفر افراد را در رفتار سفر آن‌ها را نشان می‌دهد.

در این پژوهش بررسی رفتار سفر کاربران بعد از تغییر طرح ترافیک با توجه به داده‌های رجحان آشکار شده انجام شد. برای اثرسنجی قیمت‌گذاری، پیشنهاد می‌شود که قبل و بعد از اجرای یک طرح قیمت‌گذاری جدید از افراد مشخصی در رابطه با رفتار سفر آن‌ها پرسش شود تا تغییر یا عدم تغییر رفتار سفر به شکل دقیق‌تری مشخص شود. برای کسب نتایج دقیق‌تر در تحلیل رفتار سفر کاربران در مواجهه با یک طرح قیمت‌گذاری، پیشنهاد می‌شود که نظرسنجی از کاربران بعد از گذشت ۳ سال از اجرا یا تغییر آن طرح انجام شود تا افراد زمان کافی برای انطباق سبک زندگی خود با توجه به طرح جدید را داشته باشند.

افزایش تعداد وسایل نقلیه و استفاده از آن در سفرهای روزانه شهری، موجب بروز مشکلات متعددی از جمله آلودگی و ازدحام می‌شود. یکی از راهکارهای ارائه شده در جهان، قیمت‌گذاری محدوده‌های پرتردد است. در ناحیه مرکزی تهران نیز، این راهکار سال‌هاست که اجرا شده و به مرور دچار تغییراتی شده است. در اردیبهشت سال ۱۳۹۷ این طرح با تغییراتی در شیوه اجرا همراه بود و تردد در این ناحیه با خودروی شخصی مستلزم پرداخت عوارض متناسب با ساعت ورود و خروج و نوع معاینه فنی شد. میزان و نحوه اثرگذاری این راهکار یک موضوع چالش برانگیز است. یکی از معتبرترین راهکارها برای سنجش اثر یک راهکار، مشاهده نتایج آن بعد از اجرای آن است. در این تحقیق برای اثرسنجی طرح ترافیک جدید تهران، از ابزار پرسشنامه با روش رجحان آشکار شده و به تعداد ۴۲۲ پرسشنامه و از مدل لوجیت چندگانه در مواجهه با سه گزینه (انجام سفر بدون تغییر نسبت به طرح قبل، تغییر در وسیله سفر، سفر اجباری نداشتن در روزهای کاری هفته) استفاده شد. نتایج تحلیل فراوانی نشان داد که  $52/28$  درصد کاربران سفر خود را بدون ایجاد هیچ تغییری نسبت به طرح ترافیک قبل انجام می‌دهند. در فرآیند مدل‌سازی، در مجموع با بررسی ۷۷ متغیر به صورت مجازی و ۳۳ متغیر به صورت ترکیبی در مدل رفتار سفر، بیش از ۵۰۰۰ مدل برازش داده شد. بعد از انتخاب مدل برتر با استفاده از ضوابط ارزیابی شامل درصد برآورد درست و آزمون نسبت درستی، تحلیل پارامترهای معنادار در مدل با تحلیل اثرات حاشیه‌ای انجام شد. در مدل رفتار سفر، متغیرهای محل سکونت داخل محدوده طرح ترافیک، مبدأ سفر خارج از محدوده کنترل آلودگی هوا، مقصد سفر محدوده آلودگی هوا، تعداد وسایل نقلیه، میانسال بودن کاربران، استفاده از خودرو شخصی به عنوان وسیله اصلی سفر به محدوده، هدف سفر شغلی، هدف سفر تحصیلی، نوع مجوز اخذ شده در طرح ترافیک قبل و گروه مصاحبه‌شونده معنادار و در رفتار سفر کاربران مؤثر هستند. اثرگذاری متغیرهای ذکر شده در رفتار سفر کاربران، هم‌راستا با نتایج تحقیقات دیسانایاک و همکاران (۲۰۱۰)، ووتسن (۱۹۹۹) و لوکوپولوس (۲۰۱۴) است. از مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

## ۸- سیاست‌گذاری

-Gómez-Ibáñez, J.A., Gomez-Ibanez, J.A. and Small, K.A., (1994), "Road pricing for congestion management: A survey of international practice", Transportation Research Board, Vol. 210.

-Hensher, D. A., Rose, J. M., & Greene, W. H., (2015), "Applied choice analysis, Applied Choice Analysis".

-Kanafani, A., (1983), "Transportation demand analysis".

-Li, X., Yuan, Y., Wang, H., & Hu, J., (2020), "Understanding Public Acceptability of Congestion Charging in Beijing", Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(8), 04020080.

-Loukopoulos P, Jakobsson C, Gärling T, Schneider CM, Fujii S., (2004), "Car-user responses to travel demand management measures: goal setting and choice of adaptation alternatives", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Jul. 1 9(4):263-80.

-Ramjerdi, F., Minken, H. and Østmoe, K. (2004), "Norwegian urban tolls," Research in Transportation Economics, pp. 237-249.

-Santos, G., (2004), "Road pricing: theory and evidence", Elsevier JAI.

-Steg, L. and Schuitema, G., (2007), "Behavioural responses to transport pricing: a theoretical analysis," in threats from car traffic to the quality of urban life. Emerald Group Publishing Limited, pp. 347-366.

-Transportation for London, (2007), "central London congestion charging scheme: ex-post evaluation of the quantified impacts of the original scheme".

-Tretvik, T., (2003), "Urban road pricing in Norway: public acceptability and travel behaviour," in Acceptability of Transport Pricing Strategies. Emerald Group Publishing Limited, pp. 77-92.

-Wootton, J., (1999), "Replacing the private car," Transport Reviews, 19(2), pp. 157-175.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مستخرج از پرسشگری‌های انجام شده در قالب طرح پژوهشی "اثر سنجی محدوده طرح ترافیک شهر تهران و امکان توسعه آن به محدوده زوج یا فرد" به کارفرمایی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران و با بهره‌برداری سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران است که بدین وسیله از این سازمان‌ها، مسئولین و کارشناسان محترم مربوطه قدردانی می‌شود.

## ۹- پی‌نوشت‌ها

1. Revealed Preference (RP)
2. Stated Preference (SP)
3. Dissanayake
4. Mode Choice
5. Trip Sharing
6. Li
7. Likelihood
8. Loukopoulos
9. Wootton

## ۱۰- مراجع

-Dargay, J. and Gately, D., (1997), "The demand for transportation fuels: Imperfect price-reversibility", Transportation Research Part B: Methodological, 31(1), pp.71-82.

-Dissanayake, D. and Morikawa, T., (2010), "Investigating household vehicle ownership, mode choice and trip sharing decisions using a combined revealed preference/stated preference Nested Logit model: case study in Bangkok Metropolitan Region", Journal of Transport Geography, 18(3), pp.402-410.

-Eliasson, J., Hultkrantz, L., Nerhagen, L. and Rosqvist, L.S., (2009), "The Stockholm congestion-charging trial 2006: Overview of effects. Transportation Research Part A: Policy and Practice", 43(3), pp.240-250.

-Fehr, E. and Falk, A., (2002), "Psychological foundations of incentives," European Economic Review, 46(4-5), pp. 687-724.

## پیوست

اثر حاشیه‌ای متغیرهای رتبه‌ای و مجازی به شکل متفاوتی نسبت به متغیرهای پیوسته محاسبه می‌شود. در این پژوهش از شبیه‌سازی در نرم‌افزار *NLOGIT* استفاده شده است. برای محاسبه اثرات حاشیه‌ای متغیرهای مجازی پس از برآورد مدل نهایی، تغییرات زیر اعمال شد:

۱- با فرض وجود  $i$  مطلوبیت در مدل، به تعداد  $i-1$  مقدار ثابت به مدل اضافه شد. ۲- با فرض  $k$  سطحی بودن متغیر مورد نظر،  $k-1$  سطح آن کدگذاری و در مطلوبیتی که یکی از سطوح متغیر مربوطه معنادار شده است گرفت و ۳- بعد از انجام دو اقدام بالا و اجرای مدل، برای امکان معرفی سطح  $k$ ام متغیر مورد نظر به مدل، مقدار  $-1$  به همان  $k-1$  سطح کدگذاری شده اختصاص داده شد. دستورهای مربوط به شبیه‌سازی مطابق (۱) به مدل اضافه و مدل اجرا شد. (برای انتقال ساده‌تر مفهوم فرض شده است که  $X$  یک متغیر طبقه‌ای با ۳ سطح  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\lambda$  است و متغیر مجازی  $D_{XI}$  در مطلوبیت  $Z$ ام معنادار شده است.) در اینجا شبیه‌سازی برای بررسی میزان تغییر سهم مطلوبیت گزینه‌ها در صورت تغییر سطح متغیر  $X$  از سطح ۱ به سطح ۲ اجرا شد.

(۱)

```
CREATE
if(X= $\alpha$ )D_X1=1;
if(X= $\beta$ )D_X2=1;
if(X= $\lambda$ )D_X1=-1;
if(X= $\lambda$ )D_X2=-1$;
NLOGIT
;lhs = choice, cset, altij
;Choices = names of alternatives
;Model:
utility function 1 U(alternative 1 name) =
...
U(alternative i name) = utility function i
;Simulation = list of alternatives
(alternative j) = 1 / D_X2 ;Scenario: D_X1
(alternative j) = 0 &
D_X1 (alternative j) = 0 / D_X2
(alternative j) = 1 $
```

دستور (۱)، ابتدا برای تمامی داده‌ها مقدار متغیر  $X$  برابر  $\alpha$  و سپس  $\beta$  قرار می‌دهد. نتایج مدل بالا در سه جدول ارائه می‌شود. جدول اول شامل نتایج اجرای سناریو اول و جدول دوم نتایج اجرای سناریو دوم است که در این جداول سهم هر گزینه در صورت اجرای سناریوی مربوطه مشخص شده است. در جدول سوم نتایج مقایسه‌ی سناریو اول و دوم بیان می‌شود که با تفسیر آن می‌توان دریافت که با تغییر سطح متغیر مورد نظر از  $\alpha$  به  $\beta$ ، سهم انتخاب هر گزینه چه تغییری می‌کند. این تفسیر همان اثر حاشیه‌ای مد نظر برای متغیر مجازی است (Hensher, Rose and Greene, 2015; Kanafani, 1983).

# **An Effectiveness Analysis of Tehran Peak-Based Traffic Scheme, a Travel Behavior Model**

*Sepideh Shami, M.Sc., Grad., Institute for Management and Planning Studies,  
Tehran, Iran.*

*Amir Reza Mamdoohi, Associate Professor, Faculty of Civil & Environmental  
Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

*E-mail: [armamdoohi@modares.ac.ir](mailto:armamdoohi@modares.ac.ir)*

Received: October 2021- Accepted: May 2022

## **ABSTRACT**

One of the ways to manage private car traffic is congestion pricing, which reduces the utility private cars. This solution is effective when it can change the travel behavior of private car users. To determine the effectiveness of this strategy, examining users' travel behavior after pricing (revealed preference) will have more accurate results. This policy is also used to reduce congestion in the central part of Tehran. The policy of congestion pricing zone of Tehran, changed in May 1397. Based on these changes, personal car users should pay tolls for entering the pricing area based on the time of entry and exit (peak and non-peak hours). In this study, to evaluate the effectiveness of the new pricing strategy for congestion pricing zone of Tehran, we collected 422 questionnaires by the revealed preferred method in November 1397, and the changes in travel behavior of users in that area is analyzed. For this purpose, after implementing frequency analysis, the multiple logit discrete choice models have been used. Based on the results of the frequency analysis of the collected sample, 52.28% of users did not change the way they traveled to the area after changing the pricing strategy. The results of the multinomial logit model to examine changes in users' travel behavior show that personal car users are more inclined to travel without any change. Based on the results of marginal effects, by changing the living location of people from within the congestion pricing zone of Tehran to outside second ring of pricing, the share of the option “without changing the trip” increases by 38.56%.

**Keywords:** Travel Behavior, Revealed Preference, Congestion Pricing, Multinomial Logit