فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱٤، شماره ۱، پاییز ۱٤۰۱، ص. ۲۲٤۷-۲۲۳۳

مقاله علمی-پژوهشی

قیمت‌گذاری ساعت‌مبنا و دوره‌مبنای محدوده طرح ترافیک، مورد انتخاب وسیله شهر تهران

امیررضا ممدوحی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

حمید رضایی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

الناز ایران‌نژاد، دکترای تخصصی، دانشگاه UNSW، استرالیا

آرمان صفار زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدحسین عباسی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۱٤۰۰/۰۲/۱۸ پذیرش: ۱٤۰۰/۰٦/۲٤

چکیده

با رشد شهرها و افزایش تعداد خودروها، تنها افزایش ظرفیت و تأمین عرضه مناسب و بیشتر نمی‌تواند بهترین گزینه تلقی شود. تهران شهری است که با معضل تراکم ترافیک و آلودگی هوای ناشی از خودروها روبرو است. با توجه به قیمت گزاف ارتقا وضعیت عرضه در هسته مرکزی شهر در کنار ارزش تاریخی معابر و ساختمان‌های موجود در این منطقه عملاً امکان تعریض معابر یا استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر وجود ندارد. ازاین‌رو، دو طرح مدیریتی طرح ترافیک و طرح تردد نوبتی (زوج یا فرد) در هسته مرکزی شهر اجرا می‌شود. در پژوهش حاضر، انتخاب وسیله افراد در محدوده طرح ترافیک شهر تهران، با عوارض متغیر نسبت ساعت روز بررسی‌شده است. برای این منظور از داده‌های رجحان بیان‌شده استفاده‌شده است. جهت بررسی تأثیر متغیر بودن عوارض نسبت به ساعت روز بر انتخاب وسیله کاربران، از دو رویکرد ساعت مبنا و دوره مبنا در این پژوهش استفاده‌شده است. در نظر داشتن ناهمگنی در خصوصیات شهروندان، باعث دقت بیشتر مدل‌ها می‌شود. ازاین‌رو از مدل لوجیت ترکیبی به‌عنوان مدل انعطاف‌پذیر برای یافتن ناهمگونی در رفتار افراد و منبع ایجاد این ناهمگونی استفاده‌شده است. با توجه به نتایج پرداخت مدل لوجیت ترکیبی می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف‌سلیقه بین کاربران نسبت به ۹ متغیر وجود دارد. بررسی اثر حاشیه‌ای متغیر قیمت طرح ترافیک، نشان داد درصورتی‌که عوارض طرح ترافیک ۱۰۰۰ تومان زیاد شود، احتمال انتخاب گزینه خودرو شخصی در رویکرد ساعت مبنا ۰/۱۲۷۷ درصد و در رویکرد دوره مبنا ۰/۱٤۷۵ درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: طرح ترافیک، انتخاب وسیله، مدل لوجیت ترکیبی، ناهمگونی

۱. مقدمه

با رشد شهرها و افزایش تعداد خودروها، معضل ترافیک و آلودگی هوای ناشی از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران شهری در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه تبدیل‌شده است. در این صورت تنها افزایش ظرفیت و تأمین عرضه مناسب و بیشتر نمی‌تواند بهترین گزینه تلقی شود. در مواردی افزایش عرضه منجر به افزایش تقاضا می‌شود. یافتن پاسخ مناسب برای این سؤال «که چگونه می‌توان بدون صرف هزینه‌های گزاف مالی و زمانی، وضعیت ترافیک شهری را بهبود بخشید؟» برای برنامه ریزان حمل‌ونقل حائز اهمیت است. این امر تنها با استفاده از ابزارهای مدیریتی ممکن است. یکی از این سیاست‌های مدیریتی، مدیریت تقاضای حمل‌ونقل است. مدیریت تقاضای حمل‌ونقل شامل تمام سیاست‌ها و اقداماتی می‌شود که با ایجاد تغییرات در تقاضای حمل‌ونقل منجر به استفاده کاراتر از امکانات و تسهیلات موجود می‌شود و درنتیجه تراکم ترافیکی و پیامدهای آن کاهش می‌یابد [Clegg and Clune, 1999].

اعمال محدودیت‌های خاص برای تردد برخی وسایل نقلیه در بعضی معابر درون‌شهری، قیمت‌گذاری تراکم، بهبود سیستم حمل‌ونقل همگانی، استفاده از عوارض متغیر نسبت به‌وقت روز ازجمله سیاست‌های مدیریتی هستند. از اهداف این سیاست‌های مدیریتی، مدیریت تقاضای سفر، کنترل تولید و انتشار آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت در خودروها، بهبود تردد در مراکز مهم هسته مرکزی شهر و افزایش رفاه عمومی است. در مدیریت تقاضای سفرهای شهری، نحوه اختصاص دادن راه‌ها به مسافران یک مسئله کلیدی است. ازآنجایی‌که فضای راه‌ها یک منبع محدود است، نبود قوانین و مقررات می‌تواند منجر به استفاده بیش‌ازاندازه و نابهینه از این منبع و به وجود آمدن شلوغی شود. پیاده‌سازی طرح قیمت‌گذاری تراکم، به معنی اعمال کردن تعرفه برای استفاده از منابع با ظرفیت محدود، در ساعات اوج تقاضا است. مطالعات زیادی در زمینه قیمت‌گذاری تراکم انجام‌شده است که معمولاً بر اساس یک محدوده مشخص‌شده یا کل شبکه است. نرخ‌های در نظر گرفته‌شده در این مطالعات شامل نرخ ثابت (نرخ یکسان برای همه شرایط)، نرخ بر اساس ساعات روز (نرخ‌های مختلف برای دوره‌های مختلف زمانی اوج و غیر اوج)، نرخ بر اساس کیلومتر طی شده و نرخ بر اساس نوع خودرو (نرخ‌های مختلف برای کلاس‌های مختلف وسایل نقلیه) است. یک اشکال عمده نرخ ثابت این است که فقدان کارایی مناسب است زیرا تمام سفرها باوجود متفاوت بودن زمان خروج از طرح یا طول سفر متفاوت، میزان ترافیک متفاوتی را تولید می‌کنند. ازاین‌رو، برخی از انعطاف‌پذیری‌ها باید در تعیین عوارض در نظر گرفته شود. ازآنجایی‌که اثرات ناشی از سیاست‌های مدیریت حمل‌ونقل تأثیر مستقیم در رفتار شهروندان دارد، مدل‌سازی دقیق رفتار شهروندان امری اجتناب‌ناپذیر است تا بتوان رفتار مسافران را در مواجهه باسیاست‌های مختلف مدیریت تقاضا پیش‌بینی کرد. در برخی مطالعات نگرش یکسان به رفتار شهروندان با فرض یکسان بودن رفتار آن‌ها در مواجه باسیاست‌های حمل‌ونقلی در نظر گرفته می‌شود. منظور از همگن بودن رفتار مسافران، فرض یکسان بودن رفتار آن‌ها در مواجه باسیاست‌های حمل‌ونقلی است. درواقع تأثیر عوامل مختلف بر مطلوبیت یک گزینه، در کلیه افراد یکسان فرض می‌شود. یکی از فرضیاتی که باعث بهبود مدل‌ها می‌شود، وجود ناهمگنی در رفتار شهروندان است. اولویت‌دهی ذاتی فرد در پاسخ‌گویی به اثر متغیرهای مختلف مانند سطح خدمت و یا خصوصیات سفر، انتخاب وسیله او را تحت تأثیر قرار می‌دهد [Bhat, 2000]. این امر ناهمگنی در انتخاب شیوه حمل‌ونقل را می‌رساند.

تهران شهری است که با معضل تراکم ترافیک و آلودگی هوای ناشی از خودروها روبرو است. با توجه به قیمت گزاف ارتقا وضعیت عرضه در هسته مرکزی شهر در کنار ارزش تاریخی معابر و ساختمان‌های موجود در این منطقه عملاً امکان تعریض

معابر وجود ندارد. همچنین با توجه به قرار داشتن مراکز آموزشی، تجاری، اداری، تفریحی و درمانی بیشترین تقاضای سفر روزانه در رابطه با منطقه مرکزی شهر تهران وجود دارد. ازاین‌رو، دو طرح مدیریتی طرح ترافیک و طرح تردد نوبتی (زوج یا فرد) در هسته مرکزی شهر اجرا می‌شود.

یک شیوه اخذ عوارض، قیمت‌گذاری بر اساس کیلومتر طی شده در مسیر است. با توجه به عدم وجود زیرساخت مناسب (سیستم کنترل و نظارت)، در نظر گرفتن نرخ بر اساس کیلومتر طی شده در مسیر، در شهر تهران میسر نیست. در پژوهش حاضر، انتخاب وسیله افراد در محدوده طرح ترافیک، با هر دو رویکرد ساعت مبنا و دوره مبنا و با استفاده از داده‌های رجحان بیان‌شده[1] (در برابر رجحان آشکار[2]) بررسی می‌شوند. در رویکرد ساعت مبنا، عوارض ورود به محدوده قیمت‌گذاری شده موردنظر، با توجه به مدت‌زمان سپری‌شده توسط خودروی شخصی در محدوده محاسبه می‌شود. در رویکرد دوره مبنا، اخذ عوارض از افرادی که در محدوده قیمت‌گذاری تردد می‌کنند، صرفاً بر اساس زمان ورود و خروج از محدوده صورت می‌گیرد. همچنین به‌منظور بررسی ناهمگنی در رفتار مسافران و بهبود برازش مدل، مدل لوجیت ترکیبی[3] به کار گرفته می‌شود.

۲. مطالعات پیشین

سال‌ها است که کشورهایی در جهان نسبت به اجرای محدوده طرح ترافیک در محدوده مرکزی شهرهای خود اقدام نموده‌اند. این طرح برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ در شهر سنگاپور به کار گرفته‌شده است. به دنبال آن شهرهایی نظیر لندن، رم و استکهلم در راستای مدیریت تقاضای سفر در مراکز تجاری شهر، اقدام به قیمت‌گذاری کردند [Eliasson et al., 2009]. طرح‌های قیمت‌گذاری تراکم در حالت کلی و عوارض گذاری راه‌ها در حالت خاص می‌توانند به‌صورت یکنواخت، متغیر (وابسته به‌وقت روز)، یا پویا باشند. عوارض یکنواخت در طول زمان تغییر نمی‌کند. ازنظر تاریخی، به دلیل محدودیت‌های فنی و اجرایی، عوارضی که بر روی اغلب زیرساخت‌ها وضع شدند از نوع یکنواخت بوده است. عوارض متغیر (وابسته به‌وقت روز)، با توجه به ساعات روز، روزهای مختلف هفته و همین‌طور در فصل‌های مختلف، بر اساس یک برنامه از پیش تنظیم‌شده تغییر می‌کند [De Palma and Lindsey, 2011].

دی پالما و لیندسی (۲۰۱۱) با مرور مقالات مختلف در بحث قیمت‌گذاری، طرح‌های قیمت‌گذاری را به چهار دسته تقسیم‌بندی کردند؛ طرح‌های زیرساخت–مبنا، طرح‌های کمربندی، طرح‌های ناحیه–مبنا و طرح‌های مسافت–مبنا [De Palma and Lindsey, 2011]. طرح ترافیک شهر تهران، به‌صورت ناحیه–مبنا و یکنواخت تا سال ۱۳۹۶ اجراشده است. در طرح‌های ناحیه–مبنا خودروها برای ورود یا خروج از ناحیه یا برای سفر درون ناحیه (بدون عبور از مرزهای ناحیه) باید هزینه‌ای را پرداخت کنند. کارنوآله (۲۰۱۵) تأثیر قیمت‌گذاری را بر روی رفتار رانندگان و آلودگی هوا در شهر میلان ارزیابی کردند. نتایج نشان داد قیمت‌گذاری باعث کاهش آلودگی در شهر میلان شده است. همچنین برخی دیگر از نتایج نشان داد، مسافرین به زمان‌ها و مسیرهای که قیمت‌گذاری نشده‌اند، تغییر مسیر یا تغییر زمان سفر می‌دهند [Gibson and Carnovale, 2015].

چن و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر طرح ترافیک را بر انتشار گازهای آلاینده و تغییر زمان حمل بار بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد، قیمت‌گذاری در کاهش انتشار آلاینده‌ها، افزایش زمان سفر و همچنین کاهش حجم ترافیک مؤثر است [Chen et al., 2018]. کوستر و همکاران (۲۰۱۸) قیمت‌گذاری به روش اولین–بهترین و دومین–بهترین را با توجه به ناهمگنی بررسی کردند. آن‌ها همچنین توانستند ناهمگنی را در زمان سفر پیدا کنند [Koster et al., 2018]. بروآ و گلاچنت (۲۰۰۸) تأثیر قیمت‌گذاری را بر تقاضای ورود افراد به محدوده شهر پاریس ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که وقتی عوارض در حدود ۰/۷

تا ۱ یورو به ازای هر مسافر است، قیمت‌گذاری می‌تواند تا ۲۰ درصد موجب کاهش ورود به محدوده شود [Bureau and Glachant, 2008]. بات و کاستلر (۲۰۰۲) از رجحان بیان‌شده و رجحان آشکار در محدوده قیمت‌گذاری شهر سن- فرانسیسکو استفاده کردند. در این پژوهش از یک مدل یکپارچه لوجیت ترکیبی به‌منظور بررسی ناهمگنی استفاده‌شده است [Bhat and Castelar, 2002]. یاماموتا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از رجحان بیان‌شده، رفتار رانندگان را در جاده‌هایی از ژاپن که قیمت‌گذاری در آن انجام می‌شود بررسی کردند. هدف از این پژوهش بررسی زمان حرکت و انتخاب مسیر بوده است. در این پژوهش از مدل لوجیت چندگانه استفاده‌شده است. نتایج نشان داد که تابع مطلوبیت برای شاغلین و غیر شاغلین متفاوت هستند [Yamamoto et al., 2000]. افالن و همکاران (۲۰۰٤) با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌وسیله رجحان بیان‌شده که پاسخ‌دهندگان را رانندگان خودرو شخصی در نیوزلند تشکیل می‌دادند، میزان تغییر وسیله تحت سیاست‌های گوناگون مانند قیمت‌گذاری تراکم و بهبود سیستم همگانی را با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی و مدل لوجیت چندگانه بررسی کردند [O'Fallon et al., 2004]. دی جانگ و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از رجحان بیان‌شده و یک مدل لوجیت ترکیبی انتخاب زمان روز و انتخاب وسیله را در محدوده قیمت‌گذاری در کشور هلند بررسی کردند. جامعه آماری این پژوهش شامل کاربران خودرو شخصی و قطار بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد، انتخاب زمان روز به زمان سفر اوج و هزینه سفر حساس است [De Jong et al., 2003]. دی سی اومو و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور بررسی میزان مقبولیت قیمت‌گذاری جاده در بین ذینفعان، از رجحان بیان‌شده استفاده کرد. جامعه هدف را اپراتورهای حمل‌ونقل جاده‌ای و مسافران، صاحبان امتیاز بزرگراه‌ها، اتحادیه‌های صاحبان خودرو شخصی تشکیل می‌دادند. نتایج نشان داد، هیبرید مدل برای نشان دادن میزان مقبولیت مدل مناسبی است [Di Ciommo and Monzón, 2013]. رنتزیو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از رجحان بیان‌شده در شهر آتن مقبولیت اجرای طرح ترافیک بررسی کردند. همچنین در این مطالعه نگرش‌ها نسبت به طرح ترافیک، انتخاب وسیله و همچنین تخصیص درآمد بررسی‌شده است. برای بررسی عوامل مؤثر بر ادراک عمومی در مورد اثربخشی شش اقدام مدیریتی ترافیک از مدل پروبیت چندگانه استفاده کردند [Rentziou et al., 2010]. آبلز و وورهوف (۲۰۰۸) با استفاده از نظرات بیان‌شده و مدل توبیت، تأثیر قیمت‌گذاری تراکم بر انتخاب وسیله و انصراف سفر و عوامل مؤثر سیستماتیک در میزان سفر را در کشور هلند بررسی کردند [Ubbels, 2006].

مدل لوجیت ترکیبی یکی از انعطاف‌پذیرترین مدل‌های انتخاب گسسته است که به کمک آن می‌توان تقریباً هر ساختاری را در مدل‌های مطلوبیت تصادفی تخمین زد. توصیف بسیار خوبی از این مدل در سال ۲۰۰۰ میلادی توسط مک فادن و ترین ارائه‌شده است [McFadden and Train, 2000]. این مدل امکان تغییرات در سلیقه‌های تصادفی، استفاده از الگوهای جانشینی و نیز همبستگی در جز مشاهده نشده در زمان را برای مدل‌ساز فراهم می‌کند [Train, 2009]. این مدل برای سال‌های طولانی است که شناخته‌شده است. بااین‌وجود استفاده از آن زمان شناخت و توسعه تکنیک‌های شبیه‌سازی گسترش پیداکرده است. یکی از اولین مطالعات انجام‌شده ازاین‌دست را می‌توان مطالعه بوید و ملمن (۱۹۸۰) دانست که در آن تأثیر استانداردهای اقتصادی سوخت را در بازار خودرو ایالت متحده با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی بررسی کردند [Boyd and Mellman, 1980]. انتخاب نوع توزیع برای متغیر تصادفی نقش مهمی در ویژگی‌های مدل لوجیت دارد. لی و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی سفرهای روزانه شهر پکن از مدل لوجیت ترکیبی با توزیع‌های نرمال، لگاریتم نرمال و SB جانسون استفاده کردند [Huamin et al., 2010]. شن (۲۰۰۹) از توزیع نرمال برای متغیرهای تصادفی استفاده کرد. لازم به ذکر

است توزیع مثلثی نیز برای متغیرها امتحان شد اما تفاوت چندانی در مدل ایجاد نشد [Shen, 2009]. هس (۲۰۰۵) انتخاب فرودگاه بر اساس حرکت مسافران از سن فرانسیسکو را با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی بررسی کرد. در این پژوهش از توزیع نرمال برای پارامتر ثابت و توزیع لگاریتم نرمال برای سایر متغیرهای تصادفی استفاده‌شده است [Hess and Polak, 2005]. با توجه به ادبیات می‌توان گفت مدل لوجیت ترکیبی به‌عنوان مدلی انعطاف‌پذیر برای تبیین ناهمگونی در رفتار افراد و منبع ایجاد این ناهمگونی در زمینه‌های مختلفی ازجمله نگرش افراد و انتخاب وسیله بکار گرفته شده و با توجه به کاربرد کمتر آن در موضوع تحقیق جاری، مدل مناسبی برای تحقیق حاضر با توجه به هدف آن است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

ازآنجاکه یکی از ویژگی‌های پژوهش جاری تحلیل ناهمگونی است که در اینجا از طریق پرداخت مدل لوجیت ترکیبی، علی‌رغم پیچیدگی‌های مربوطه، حاصل می‌شود، ضروری است که ابعادی در این زمینه بیشتر موردتوجه قرار گیرد. در پرداخت مدل لوجیت ترکیبی علاوه بر پارامترهای معمول مدل لوجیت چندگانه که برای همه تصمیم‌گیران ثابت و یکسان است، گروه دیگری از پارامترها با بعد تصادفی نیز پرداخت می‌شود. در این بخش به معرفی مدل لوجیت ترکیبی برای بررسی انتخاب وسیله با در نظر داشتن ناهمگنی در خصوصیات افراد پرداخته می‌شود. تابع احتمال مدل لوجیت ترکیبی در حقیقت یک انتگرال از تابع احتمال مدل لوجیت چندجمله‌ای روی یک تابع چگالی از پارامترها است. در حالت کلی این تابع احتمالی به‌صورت زیر است:

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta)\, f(\beta)\, d(\beta) \qquad (۱)$$

P_{ni}: احتمال انتخاب گزینه j توسط فرد n

$L_{ni}(\beta)$: احتمال انتخاب گزینه j توسط فرد n در مدل لوجیت که تابعی از پارامتر β است و به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$L_{ni}(\beta) = \frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j\epsilon C_n} e^{V_{nj}(\beta)}} \qquad (۲)$$

که در آن، V_{ni} جز مشاهده‌شده تابع مطلوبیت گزینه i توسط فرد n است که به پارامتر β بستگی دارد.

درنهایت تابع احتمال انتخاب مدل لوجیت ترکیبی به‌صورت رابطه زیر است:

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j\epsilon C_n} e^{V_{nj}(\beta)}}\right) f(\beta)\, d(\beta) \qquad (۳)$$

مطابق رابطه فوق، تابع احتمال انتخاب مدل لوجیت ترکیبی یک میانگین وزنی از تابع احتمال انتخاب مدل لوجیت چندجمله‌ای روی مقادیر مختلف β است. در مطالعات اخیر، توزیع‌های مختلفی مانند نرمال، لگاریتم نرمال، یکنواخت و مثلثی برای β در نظر گرفته‌شده است. توزیع نرمال به‌عنوان پرکاربردترین توزیع مورداستفاده در مدل لوجیت ترکیبی شناخته می‌شود[Forbes et al., 2011].

در تحقیق حاضر متغیر وابسته میزان (سهم) استفاده از وسیله‌های خودرو شخصی، حمل‌ونقل همگانی، تاکسی، اسنپ و موتورسیکلت تحت اثر قیمت‌گذاری محدوده طرح ترافیک شهر تهران است. فرض می‌شود که تعداد سفرهای با وسیله i از مبدأ o به مقصد d در دوره زمانی t به‌صورت سهمی از کل سفرهای از مبدأ o به مقصد d در دوره زمانی t به‌صورت رابطه ٤ باشد:

$$T_{od}^{ti} = T_{od}^{t} \cdot P_{od}^{ti} \qquad (٤)$$

که در آن P_{od}^{ti} تابع احتمال انتخاب وسیله i برای سفر از مبدأ o به مقصد d در دوره زمانی t است. این تابع احتمال با فرض مدل لوجیت ترکیبی به‌صورت رابطه ۳ است.

شایان‌ذکر است که از نرم‌افزار Nlogit5.0 جهت پرداخت مدل‌ها و در پرداخت مدل‌های لوجیت ترکیبی از روش شبیه‌سازی درستنمایی بیشینه به روش هالتون (روشی هوشمند

برای نمونه‌گیری در محاسبه انتگرال چند متغیره در شبیه‌سازی شبه مونت‌کارلو) استفاده‌شده است.

٤. نمونه آماری

بررسی دیدگاه کاربران شبکه به‌عنوان افرادی که بیشترین تأثیر را از طرح قیمت‌گذاری محدوده طرح ترافیک می‌گیرند، دارای اهمیت فراوانی است. آزمایش رجحان بیان‌شده، به‌عنوان رویکرد علمی برای شناخت اثرات احتمالی یک سیاست جدید مورداستفاده قرار می‌گیرد [Hensher et al., 2005]. در پژوهش حاضر جهت بررسی انتخاب وسیله کاربران محدوده طرح ترافیک شهر تهران در مواجه با قیمت‌گذاری دوره مبنا و ساعت مبنا از رویکرد رجحان بیان‌شده، استفاده‌شده است. پرسشنامه مربوطه شامل ۳ بخش است: ۱. مشخصات سفر، ۲. سناریوها، ۳. مشخصات فردی، اجتماعی و اقتصادی کاربران محدوده طرح ترافیک. در ادامه دو رویکرد دوره مبنا و ساعت مبنا شرح داده می‌شود.

در سناریو دوره مبنا، یک ضریب زمانی بر اساس زمان ورود به محدوده طرح و زمان خروج از آن، در یک قیمت پایه معادل ۲۰ هزار تومان در نظر گرفته شد. در ابتدا فرض شد درصورتی‌که هر دو زمان ورود و خروج در زمان غیر اوج اتفاق بیفتد، این ضریب برابر ۰/۷، یکی از ورود یا خروج در زمان اوج ترافیک رخ دهد برابر ۱ و درصورتی‌که هر دو زمان ورود و خروج در زمان اوج ترافیک ثبت شود این ضریب برابر ۱/۵ باشد. برای طراحی آزمایش‌های متنوع به‌منظور سنجش رفتار افراد و محاسبات مربوط به آن، باید سطوح مختلفی از تغییرات برای سه مورد بالا در نظر گرفت. سپس دو سطح دیگر، یکی ۰/۱۵ پایین‌تر و دیگری ۰/۱۵ بالاتر از این سطح در نظر گرفته شد. درنهایت با استفاده از یک طرح متعامد و انجام یک پرسشگری آزمایشی، تعداد سطوح به دو سطح و با اختلاف بیشتر تغییر یافت. با در نظر گرفتن سه نوع زمان تردد و دو سطح از تغییرات قیمت برای هرکدام، تعداد کل سناریوها برابر ۸ خواهد بود.

در طراحی سناریوی ساعت مبنا، علاوه بر بازه زمانی ورود و خروج (اوج و غیر اوج)، مدت‌زمان حضور در محدوده طرح ترافیک نیز در نظر گرفته‌شده است. به‌این‌ترتیب، یک هزینه ثابت برای ورود وسیله به محدوده طرح در نظر گرفته می‌شود و سپس هزینه‌ای متغیر بر اساس ساعات حضور در محدوده، اعمال می‌شود. برای هزینه هر ساعت حضور در محدوده طرح ترافیک سه سطح از تغییرات به‌صورت: ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ٤۰۰۰ تومان انتخاب شد. در این حالت اوج صبح و عصر به ترتیب ٦ تا ۱۰ و ۱٦ تا ۱۹ و ساعات غیر اوج ۱۰ تا ۱٦ در نظر گرفته شد. درنهایت، انتخاب افراد در قبال هر یک از قیمت‌های پیشنهادی، پرسیده شد. قیمت محاسبه‌شده برای تصمیم‌گیری درباره این سناریوها نیز بر اساس آخرین سفر صورت گرفته به محدوده طرح ترافیک است. انتخاب‌های پیشنهادشده به پاسخ‌دهندگان عبارت بودند از سفر با: ۱. خودرو شخصی ۲. حمل‌ونقل همگانی شامل اتوبوس و مترو ۳. تاکسی ٤. اسنپ (تاکسی اینترنتی) ۵. موتورسیکلت. به دلیل پاسخ دادن هر شخص به سه سناریوی قیمتی در سناریو ساعت مبنا، ٤۱٦٤ مشاهده و در سناریو دوره مبنا ۲۷۷٦ مشاهده برای تحلیل موضوع موردنظر فراهم شد. آماربرداری اصلی در بهمن‌ماه ۹٦ در روزهای کاری و طی ساعات ٦ صبح الی ۲۱ شب در سطح مناطق ٦، ۷، ۱۱ و ۱۲ به‌صورت مصاحبه حضوری و در محدوده طرح ترافیک انجام شد. در جدول ۱ ویژگی‌های نمونه آماری ارائه‌شده است.

۵. نتایج پرداخت مدل ناهمفزون لوجیت ترکیبی

پس از پرداخت بیش از ۵۰۰ مدل ناهمفزون لوجیت ترکیبی با ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای توضیحی (جدول ۲)، مدل منتخب (جدول ۳) برای نمایش ناهمگونی تمایل‌ها در میان مسافران ارائه شد. شایان‌ذکر است که با توجه به حجم زیاد

داده‌ها، برای پرداخت هر مدل لوجیت ترکیبی در حدود ۱ الی ۵ ساعت زمان لازم بوده است.

در مدل لوجیت ترکیبی برای یافتن اختلاف‌سلیقه تصادفی از توزیع نرمال استفاده‌شده است لازم به ذکر است توزیع‌های مختلفی مانند توزیع لگاریتم نرمال، مثلثی، یکنواخت و SB جانسون مورد آزمون قرار گرفتند اما اختلاف زیادی در پرداخت مدل‌ها مشاهده نشد.

جدول ۱. توزیع فراوانی ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی نمونه آماری

ویژگی	مقدار	فراوانی نسبی (درصد)
جنسیت	مرد	۸۳/۰٤
	زن	۱٦/۹٦
وضعیت تأهل	مجرد	۳۲/۰۷
	متأهل	٦۷/۹۳
سن	بین ۱۸ تا ۵۵	۹۰/۸۸
	بیشتر از ۵۵	۹/۱۲
تحصیلات	کمتر از دیپلم	۸/۷٦
	دیپلم	۳٦/۲٤
	لیسانس	٤۲/٤۳
	فوق‌لیسانس	۱۱/٤۱
	دکتری	۱/۱٦
نوع اشتغال	شغل آزاد	۵۸/۲۹
	کارمند	۱۳/٦۷
	مهندس	۳/۷۲
	دانشجو	۹/۸۰
	سایر	۱٤/۵۲
بعد خانوار	۱ و ۲ نفر	۱۵/۱٦
	۳	۲۸/۰٦
	٤	۳٦/۹۸
	۵≤	۱۹/۸۰
افراد دارای گواهینامه	۱	۱٦/۰۱
	۲	٤٤/۳۸
	۳ و بیشتر	۳۹/٦۱
سرپرست خانوار	بله	٦۱/۸٦
	خیر	۳۸/۱٤
وسایل تحت تملک خانوار	۱	۸۰/٤۹
	۲	۱٦/۸٤
	۳ و بیشتر	۲/٦۷

جدول ۲. متغیرهای مورداستفاده در مدل‌های ناهمفزون انتخاب وسیله محدوده طرح ترافیک

نوع متغیر	دسته کلی	متغیر	نماد	حداقل	حداکثر	میانگین
مستقل	خصوصیات عملکردی سیستم‌های حمل‌ونقل	هزینه تردد به محدوده طرح ترافیک برای خودرو شخصی	price	۰	٦٧٠٠٠	٣٥٢٦٧/٩
		زمان سفر خودرو شخصی (دقیقه)	t-car	۱	۸۸/۸	۳۷/۷
		زمان سفر حمل‌ونقل همگانی (دقیقه)	t-pub	۱	۸/٥٤	۳/۰۱
		زمان سفر تاکسی (دقیقه)	t-taxi	٤/٢٥	۱۰٥/٢٤	٤٦/٩
		زمان سفر موتورسیکلت (دقیقه)	t-motor	۱/۰۸	۸۳/۸٤	۱۹/٥۱
	خصوصیات مربوط به سفر	شروع سفر در ساعت غیر اوج =۱ در غیر این صورت صفر	dbeghr	۰	۱	۳۳/۸٦٪
		پایان سفر در ساعت غیر اوج =۱ در غیر این صورت صفر	dendhr	۰	۱	۳۲/٦٤٪
		هدف سفر؛ خرید =۱ در غیر این صورت صفر	dpur-b	۰	۱	۱۰/۳۷٪
		هدف سفر؛ تحصیلی =۱ در غیر این صورت صفر	dpur-e	۰	۱	۸/۸٦٪
		هدف سفر؛ درمانی =۱ در غیر این صورت صفر	dpur-m	۰	۱	۳/۰۳٪
		مجوز هفتگی =۱ در غیر این صورت صفر	dlice-w	۰	۱	۳/۳۹٪
		تعداد دفعات ورود به محدوده طرح ترافیک در روز گذشته	enter	۰	٥۰	۱/۲۳
	خصوصیات مربوط به شبکه	عدم دسترسی به حمل‌ونقل همگانی	nopub	۰	۱	۱۰/۸۸٪
	ویژگی‌های اقتصادی اجتماعی	شغل؛ شغل آزاد =۱ در غیر این صورت صفر	djob7	۰	۱	٥۸/۲۹٪
		شغل؛ کارمند =۱ در غیر این صورت صفر	djob6	۰	۱	۱۳/٦۷٪
		دلیل عدم درخواست مجوز سالیانه؛ عدم نیاز مستمر =۱ در غیر این صورت صفر	dnoapp1	۰	۱	٤۰/۷۱٪
		دلیل عدم درخواست مجوز سالیانه؛ گران بودن طرح =۱ در غیر این صورت صفر	dnoapp2	۰	۱	۲۱/٦۹٪
		سن؛ بین ۱۸ تا ٥٥=۱ در غیر این صورت صفر	dage1	۰	۱	۹۰/۸۸٪
		سن؛ بالای ٥٥ سال =۱ در غیر این صورت صفر	dage2	۰	۱	۹/۱۲٪
		میزان تحصیلات؛ لیسانس =۱ در غیر این صورت صفر	dedu3	۰	۱	٤۲/٤۳٪
		میزان تحصیلات: فوق‌لیسانس =۱ در غیر این صورت صفر	dedu4	۰	۱	۱۱/٤۱٪
		جنسیت؛ مرد =۱ در غیر این صورت صفر	dgen1	۰	۱	۸۳/۰٤٪
		وضعیت تاهل؛ مجرد =۱ در غیر این صورت صفر	dmarr1	۰	۱	۳۲/۰۷٪
وابسته	میزان استفاده از وسیله نقلیه	خودرو شخصی	Car	۰	۱	–
		حمل‌ونقل همگانی	Pub	۰	۱	–
		تاکسی	Taxi	۰	۱	–
		اسنپ	Snap	۰	۱	–
		موتورسیکلت	Motor	۰	۱	–

جدول ۳. نتایج مدل لوجیت ترکیبی ناهمفزون انتخاب‌وسیله محدوده طرح ترافیک در دو حالت دوره مبنا و ساعت مبنا

گزینه		حالت ساعت مبنا		حالت دوره مبنا	
	متغیر	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
Car	price	-۰/۷۲٤	-۱۰/٦۲	-۰/٦۰٥	-٦/۸۳
	t-car	-۰/٤۰٤	-۷/۸٥	-۰/۱۲٦	-٤/۳۰
	dlice-w (mean)	-۸/۹۱۱	-٥/۰۰	-۱۸/۲۷۳	-٦/۲۰
	dlice-w (Std.Devs)	۳٤/۷۸۱	۱۰/۰۳	٤۲/۳٥٥	٦/۷۳
	dnoapp2	-٥/۳۹٤	-٤/۱۲	-۲/۸۲۸	-۳/٤٤
	dnoapp1	-۱۳/۹۹	-٤/۹٦	-٥/۰۰	-۳/٦۸
	enter	-٦/۲۱۸	-٤/۸۳	-	-
	dgen1(mean)	۷/٦٤۸	۳/۱۹	۳/۰۰	۲/۹٤
	dgen1(Std.Devs)	٤۱/۹٥۸	۱۰/۲۲	۸/٤٥۳	٦/٤۲
	dedu3	۸/٦٦۷	٦/۰٤	-	-
	djob7(mean)	-۱۱/۱۳۱	-٤/۷۷	-	-
	djob7(Std.Devs)	٦/۳۳	٥/٤۷۹	-	-
Public	C2	-۱٤/۹۳۷	-٤/۸۰	-۱۳/۳۲۲	-٥/٦۲
	t-pub(mean)	-۱۰/٥۸۳	-۸/۹٦	-۲/۲٥٤	-٤/۳۸
	t-pub(Std.Devs)	۳۱/۱۸۲	۱۰/۱۹	۱۱/٤۹۱	٦/٦۷
	enter	-٦/۲۱۸	-٤/۸۳	-۱/۹۰۹	-۳/٤۸
	nopub(mean)	-٤۳/۲۳٦	-۷/٥۷	-۸۹/۸٥۱	-٦/٤٤
	nopub(Std.Devs)	۳۱/۲٤۸	٦/٥٤	۷۳/۳۱٦	٦/٥۰
	dage2	۳٦/۲۷۲	۷/۱٥	٤/۱۹۰	۱/۸۹
	dedu4	-۲٥/٦٥۸	-٦/۲۹	-	-
Taxi	C3(mean)	-۳۸/۲٥۰	-۸/۱٥	-۲۸/٦۹٦	-٦/۳٦
	C3(Std.Devs)	٤٥/۲٥٤	۱۰/٤۹	۲۹/۹۱۸	٦/۸۷
	t-taxi(mean)	-۰/٤۲۷	-٦/٦٦	-۰/٥۹۰	-٦/٤٥
	t-taxi(Std.Devs)	۰/۷۱۳	۹/۹٥	۰/۷۸۸	٦/٦۹
	dbeghr	-٦/٥۳۰	-۳/۹٤	-۲۰/۸٤٥	-٦/٤٦
	dpur-b	۱۱/۰۸۸	٤/٥٤	۲۰/۲٤۹	٥/٥۳
	djob6	۱٤/۳٥۲	٦/۱۲	۱۲/۷٤۹	٤/۷۲
Snap	C4(mean)	-۳۲/۰٤٤	-۷/٤۳	-۳۸/۷٥۷	-٦/۹۰
	C4(Std.Devs)	۱۱/٥٦۰	٦/٥۸	۱۷/۹۷٥	٦/۷۳
	dpur-m	۲۹/۱۹۹	٤/۲٥	۹/۷٤۲	۳/۲۳

گزینه		حالت ساعت مبنا		حالت دوره مبنا	
	متغیر	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
	enter(mean)	−۱۰/۳۳۱	−۵/۰۱	−۳/۰۹۰	−۳/۵۳
	enter(Std.Devs)	۹/۲۰۵	٦/۸۱	۲/٦۱۷	۳/۹٤
	dage2	۹/۷۳٤	۳/٦۳	−۰/۳٦۲	−۲/٦٤
Motor	C5(mean)	−٤٤/۱۵۵	−۱۱/۰۹	−۳۵/۵٤۳	−٦/۱۲
	C5(Std.Devs)	۳۳/۰۳۵	۱۰/۵۱	۳۱/۵٦۹	٦/۹۳
	t-motor	−۰/۲۱۵	−۱/۸۷	−۰/۳٦۲	−۲/٦٤
	dendhr(mean)	−۱٦/۰۹۹	−۳/۰۱	−٤٦/۵۲۰	−۵/۹۹
	dendhr(Std.Devs)	۳۰/۹۸۰	۵/۳۳	٦٤/۱۳۱	٦/۵٦
	dpur-e	−٤۲/۸۷۷	−۲/۳٤	−۵٦/۱۱۹	−۵/٤٤
	dmarr1	۱۳/۹۵۲	٤/۵۱	٦/۱۸۰	۲/۲۱
K		۳۹		۳٤	
LL(0)		−٦۰٦۹/۱۹۰		−٤۰٤٦/۱۲۷	
LL(C)		−۵۵۱۹/۲۱٤		−۳٦۲۳/۱۳۷	
LL(β)		−۲۱۳۸/۷۰٦		−۲۰۱۳/٤۸۲	
ρ^2		۰/٦٤۸		۰/۵۰۲	
ρ_c^2		۰/٦٤۷		۰/۵۰۰	

تمام ضرایب از مقدارهای نسبی و علامت قابل‌انتظار برخوردار هستند (جدول ۳). از آماره t به‌منظور تعیین معناداری هر یک از متغیرهای توضیحی مدل با سطح اطمینان مشخص استفاده می‌شود. در مدل ساعت مبنا، تمامی متغیرهای توضیحی مدل لوجیت ترکیبی در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد و در مدل دوره مبنا، در سطح اطمینان بیش از ۹۰ درصد، معنی‌دار هستند. متغیرهایی که در جدول ۳ همراه با انحراف معیار ظاهرشده‌اند، دارای توزیع تصادفی هستند. متغیر هزینه ورود به محدوده، در مطلوبیت خودرو شخصی با اثر منفی ظاهرشده است که نشان می‌دهد با افزایش هزینه تردد به محدوده مطلوبیت انتخاب خودرو شخصی کاهش می‌یابد. بررسی متغیر زمان سفر در گزینه‌های خودرو شخصی، حمل‌ونقل همگانی، تاکسی و موتورسیکلت نشان می‌دهد که با افزایش زمان سفر مطلوبیت استفاده از آن وسیله کاهش می‌یابد. علامت منفی متغیر دلیل عدم درخواست طرح سالیانه؛ گران بودن طرح، حاکی از آن است که گران بودن طرح از دید کاربران یکی از عوامل در کاهش استفاده از خودرو شخصی است. بررسی متغیر دلیل عدم درخواست طرح سالیانه؛ عدم نیاز مستمر نشان می‌دهد افرادی که تردد کمتری به محدوده دارند، تمایل کمتری نیز به استفاده از خودرو شخصی برای ورود به محدوده دارند. با افزایش تعداد دفعات ورود به محدوده، مطلوبیت خودرو شخصی کاهش می‌یابد. متغیر تحصیلات؛ لیسانس تنها در مدل ساعت مبنا در مطلوبیت خودرو شخصی با علامت مثبت نشان‌گر آن است که تحصیلات در مقطع لیسانس مطلوبیت خودرو شخصی را افزایش می‌دهد. یافته‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف‌سلیقه تصادفی در بین مسافران در متغیر نوع مجوز؛ هفتگی است. به عبارتی اهمیت این متغیر در مطلوبیت خودرو شخصی برای همه کاربران به‌صورت یکسان نیست و مدل

لوجیت ترکیبی این ناهمگونی در رفتار سفر را با میانگین ۸/۹۱۱- و انحراف معیار ۳٤/۷۸۱ به دست داده است. با توجه به این مطلب که در سناریوها طرح‌های سالیانه، هفتگی و شناور حذف شده است و فروش طرح تنها به‌صورت روزانه خواهد بود، علامت منفی این متغیر توجیه‌پذیر است چراکه افراد با داشتن مجوز هفتگی هزینه کمتری نسبت به مجوزهای روزانه برای تردد به محدوده پرداخت می‌کردند. بررسی متغیر جنسیت نشان می‌دهد مطلوبیت خودرو شخصی برای مردان نسبت به زنان بیشتر است. متغیر شغل؛ شغل آزاد در مطلوبیت خودرو شخصی با اثر منفی ظاهرشده است که حاکی از این مطلب است که مطلوبیت خودرو شخصی برای افرادی که شغل آزاد دارند نسبت به سایر افراد کمتر است. وجود عدد ثابت در مطلوبیت گزینه‌های حمل‌ونقل همگانی، تاکسی، اسنپ و موتور نشان‌دهنده عوامل مؤثر و دیده نشده در مدل است. با افزایش تعداد دفعات ورود به محدوده مطلوبیت شیوه همگانی کاهش پیدا می‌کند. عدم دسترسی به حمل‌ونقل همگانی موجب کاهش مطلوبیت شیوه همگانی است. بررسی متغیر سن در مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نشان می‌دهد افراد مسن تمایل بیشتری به استفاده از حمل‌ونقل همگانی دارند. متغیر تحصیلات؛ فوق‌لیسانس دارای اثر منفی در مطلوبیت همگانی تنها در مدل ساعت مبنا است. خطا در مطلوبیت تاکسی، اسنپ و موتورسیکلت دارای توزیع تصادفی است. به عبارتی تأثیر پارامترهای دیده نشده برای همه افراد یکسان نیست و این ضریب دارای میانگین و انحراف معیار است. متغیر زمان شروع سفر؛ غیر اوج دارای اثر منفی در مطلوبیت تاکسی است. با توجه به کاهش هزینه‌های تردد به محدوده در ساعت غیر اوج با خودرو شخصی این مطلب توجیه‌پذیر است. متغیر هدف سفر؛ خرید در مطلوبیت تاکسی دارای اثر مثبت است که نشان می‌دهد افرادی که برای خرید وارد محدوده طرح ترافیک می‌شوند تمایل بیشتری به استفاده از تاکسی‌دارند. همچنین متغیر شغل؛ کارمند دارای اثر مثبت در مطلوبیت تاکسی است که حاکی از آن است که کارمندان تمایل بیشتری به استفاده از تاکسی‌دارند. متغیر هدف سفر؛ درمانی دارای اثر مثبت در مطلوبیت شیوه اسنپ است. علامت منفی متغیر تعداد دفعات ورود به محدوده در مطلوبیت گزینه اسنپ حاکی از آن است که با افزایش تعداد دفعات ورود به محدوده مطلوبیت شیوه اسنپ کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سن، مطلوبیت شیوه اسنپ افزایش می‌یابد. متغیر پایان سفر در ساعت غیر اوج در مطلوبیت موتورسیکلت با اثر منفی ظاهرشده است که اثر منفی آن می‌تواند ناشی از کاهش هزینه‌های تردد به محدوده در ساعات غیر اوج با خودرو شخصی باشد. متغیر هدف سفر؛ تحصیلی در مطلوبیت موتورسیکلت با اثر منفی ظاهرشده است که نشان می‌دهد در صورت تحصیلی بودن هدف سفر مطلوبیت گزینه موتورسیکلت کاهش می‌یابد. همچنین در صورت مجرد بودن مطلوبیت گزینه موتورسیکلت افزایش می‌یابد.

جهت اعتبارسنجی مدل مشاهده می‌شود که مقادیر شاخص ρ^2 برای مدل ساعت‌مبنا ۰/٦٤۸ و برای مدل دوره مبنا ۰/۵۰۲ است که بیانگر قابل‌قبول بودن نتایج مدل‌ها ازنظر آماری است (بخش انتهایی جدول ۳). با توجه به اینکه اندازه ضرایب تابع مطلوبیت مدل‌های انتخاب گسسته (ازجمله لوجیت ترکیبی) قابلیت مقایسه کمی نداشته به این معنا که نمی‌توان ادعا کرد که متغیر با ضریب بزرگ‌تر دارای اثر بیشتر در مطلوبیت و احتمال انتخاب است (به علت تفاوت در ماهیت و واحد متغیرها)، نیاز به تحلیل حساسیت وجود دارد. در بین متغیرهای معنادار در مدل با توجه به اهمیت متغیر قیمت، به محاسبه اثر حاشیه‌ای آن پرداخته می‌شود. نتایج محاسبه اثر حاشیه‌ای مدل لوجیت ترکیبی نشان می‌دهد، درصورتی‌که هزینه طرح ترافیک ۱۰۰۰ تومان زیاد شود، احتمال انتخاب گزینه خودرو شخصی در سناریو ساعت مبنا ۰/۱۲۸ درصد و در سناریو دوره مبنا ۰/۱٤۸ درصد کاهش می‌یابد. بر این اساس می‌توان گفت در قیمت‌گذاری با رویکرد دوره مبنا احتمال انتخاب خودرو

شخصی کمتر از رویکرد ساعت مبنا است. همچنین بررسی اثر حاشیه‌ای این دو رویکرد در خصوص گزینه حمل‌ونقل همگانی نیز نشان می‌دهد در رویکرد دوره مبنا احتمال انتخاب همگانی بیشتر از ساعت مبنا است. بر اساس جدول ٤، احتمال انتخاب گزینه اسنپ در هر دو رویکرد یکسان است ولی احتمال انتخاب گزینه‌های تاکسی و موتورسیکلت در رویکرد ساعت مبنا بیشتر است.

جدول ٤. اثر حاشیه‌ای متغیر هزینه طرح ترافیک

		خودرو شخصی	همگانی	تاکسی	اسنپ	موتور
اثر حاشیه‌ای	ساعت مبنا	-۰/۱۲۷۷	۰/۰۳۲۷	۰/۰۲۹۸	۰/۰۳۱۲	۰/۰۳٤۱
	دوره مبنا	-۰/۱٤۷۵	۰/۰٦٦۵	۰/۰۲۲٤	۰/۰۳۱۲	۰/۰۲۷٤

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به کمبود پژوهش‌ها در زمینه اثر سنجی و بررسی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، در پژوهش حاضر سیاست قیمت‌گذاری ساعت‌مبنا و دوره‌مبنای محدوده طرح ترافیک با عوارض متغیر در شهر تهران مطالعه شده است. بر اساس مصاحبه با ۱۳۸۸ نفر از کاربران محدوده طرح ترافیک در قالب پرسش‌نامه رجحان‌بیان‌شده، مدل لوجیت ترکیبی انتخاب وسیله سفر ساخته شد. نتایج حاکی از آن است که متغیر هزینه ورود به محدوده، در مطلوبیت خودرو شخصی با اثر منفی ظاهرشده است که نشان می‌دهد با افزایش هزینه تردد به محدوده، مطلوبیت انتخاب خودرو شخصی کاهش می‌یابد. با محاسبه اثر حاشیه‌ای سیاست قیمت‌گذاری پیشنهادی، این سیاست در تغییر سهم گزینه‌های سفر ارزیابی شد. بر این اساس درصورتی‌که هزینه طرح ترافیک ۱۰۰۰ تومان زیاد شود، احتمال انتخاب خودرو شخصی در رویکرد ساعت مبنا ۰/۱۲۷۷ درصد و در رویکرد دوره مبنا ۰/۱٤۷۵ درصد کاهش می‌یابد. درنتیجه فارغ از در نظر گرفتن اثرات اجتماعی و اقتصادی قیمت‌گذاری تراکم، این امر نشان‌دهنده کارآمد بودن این سیاست در کاهش تردد به محدوده با خودرو شخصی است. همچنین می‌توان گفت رویکرد دوره مبنا در کاهش احتمال انتخاب خودرو شخصی مؤثرتر از رویکرد ساعت مبنا است. بررسی تابع مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی نشان می‌دهد عدم دسترسی به حمل‌ونقل همگانی و همچنین افزایش تعداد دفعات ورود به محدوده، منجر به کاهش احتمال انتخاب این گزینه می‌شود. در پژوهش حاضر مشاهده شد که قرار دادن تخفیف برای عوارض در ساعات غیر اوج، منجر به کاهش احتمال انتخاب گزینه تاکسی و موتورسیکلت در ساعات غیر اوج می‌شود. با توجه به نتایج پرداخت مدل لوجیت ترکیبی، اختلاف‌سلیقه بین مسافران نسبت به ۹ متغیر وجود دارد. این متغیرها شامل داشتن نوع مجوز برای ورود به محدوده (مجوز هفتگی)، جنسیت (مرد)، شغل (آزاد) در مطلوبیت خودرو شخصی، زمان سفر همگانی، عدم دسترسی به حمل‌ونقل همگانی در مطلوبیت همگانی، زمان سفر تاکسی در مطلوبیت تاکسی، تعداد دفعات ورود به محدوده طرح ترافیک در مطلوبیت اسنپ و پایان سفر در ساعت غیر اوج ترافیک در مطلوبیت موتورسیکلت است. بررسی متغیر زمان سفر در گزینه‌های خودرو شخصی، حمل‌ونقل همگانی، تاکسی و موتورسیکلت نشان می‌دهد که با افزایش زمان سفر مطلوبیت استفاده از آن وسیله کاهش می‌یابد. بررسی متغیر هدف سفر نشان می‌دهد که شاغلین محدوده که دارای شغل آزاد هستند، تمایل کمتری به استفاده از خودرو شخصی دارند. همچنین درصورتی‌که هدف سفر خرید باشد، مطلوبیت گزینه تاکسی و درصورتی‌که هدف سفر درمانی باشد، مطلوبیت اسنپ افزایش می‌یابد و درصورتی‌که هدف سفر تحصیلی باشد، مطلوبیت موتورسیکلت کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد دفعات ورود به

محدوده مطلوبیت خودرو شخصی و اسنپ کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل افزایش هزینه‌های سفر باشد.

با توجه به این‌که در این پژوهش از داده‌های رجحان بیان‌شده استفاده‌شده است، یکی از توسعه‌هایی که برای این پژوهش می‌توان در نظر گرفت استفاده از مدل یکپارچه لوجیت ترکیبی جهت در نظر گرفتن ناهمگنی در مقیاس[4] است. از دیگر توسعه‌هایی که می‌توان برای این پژوهش در نظر گرفت، بررسی متغیرهای پنهان و کلاس‌بندی جامعه با استفاده از مدل کلاس پنهان[5] است. در این صورت حساسیت گروه‌های مختلف نسبت به قیمت با توجه به متغیرهای اجتماعی- اقتصادی متفاوت خواهد بود.

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Stated preference
2. Revealed preference
3. Mixed logit Model
4. Scale heterogeneity
5. Latent Class Model

۸. منابع

- Bhat, C. R., & Castelar, S. (2002). "A unified mixed logit framework for modeling revealed and stated preferences: formulation and application to congestion pricing analysis in the San Francisco Bay area", Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 36. No. 7. pp. 593-616.

- Bhat, C. R. (2000). Incorporating observed and unobserved heterogeneity in urban work travel mode choice modeling. Transportation science. Vol. 34. No. 2. pp. 228238.

- Boyd, J. H., & Mellman, R. E. (1980). "The effect of fuel economy standards on the US automotive market: an hedonic demand analysis", Transportation Research Part A: General. Vol. 14. No. 56. pp. 367378.

- Bureau, B., & Glachant, M. (2008). "Distributional effects of road pricing: Assessment of nine scenarios for Paris", Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 42. No. 7. pp. 9941007.

- Chen, D., Ignatius, J., Sun, D., Goh, M., & Zhan, S. (2018). "Impact of congestion pricing schemes on emissions and temporal shift of freight transport", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Vol. 118. pp. 77105.

- Clegg, R. G., & Clune, A. J. (1999). "MUSIC project: Urban traffic control for traffic demand management", Transportation research record. Vol. 1682. No. 1. pp. 5561.

- De Jong, G., Daly, A., Pieters, M., Vellay, C., Bradley, M., & Hofman, F. (2003). "A model for time of day and mode choice using error components logit", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Vol. 39. No. 3. pp. 245268.

- De Palma, A., & Lindsey, R. (2011). "Traffic congestion pricing methodologies and technologies", Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 19. No. 6. pp. 13771399.

- Di Ciommo, F., Monzón, A., & FernandezHeredia, A. (2013). "Improving the analysis of road pricing acceptability surveys by using hybrid models", Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 49. pp. 302316.

- Eliasson, J., Hultkrantz, L., Nerhagen, L., & Rosqvist, L. S. (2009). "The Stockholm congestion–charging trial 2006: Overview of effects", Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 43. No. 3. pp. 240250.

- Evans, M., Hastings, N., Peacock, B., & Forbes, C. (2011). “Statistical distributions”, *John Wiley & Sons*.

- Gibson, M., & Carnovale, M. (2015). “The effects of road pricing on driver behavior and air pollution”, Journal of Urban Economics. Vol. 89. pp. 6273.

- Hensher, D. A., Rose, J. M., Rose, J. M., & Greene, W. H. (2005). “Applied choice analysis: a primer”, *Cambridge university press*.

- Hess, S., & Polak, J. W. (2005). “Mixed logit modelling of airport choice in multiairport regions”, Journal of Air Transport Management. Vol. 11. No. 2. pp. 5968.

- Huamin, L. I., Huang, H., & Jianfeng, L. I. U. (2010). “Parameter estimation of the mixed Logit model and its application”, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology. Vol. 10 .No. 5. pp. 7378.

- Koster, P., Verhoef, E., Shepherd, S., & Watling, D. (2018). “Preference heterogeneity and congestion pricing: The two route case revisited”, Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 117. pp. 137157.

- McFadden, D., & Train, K. (2000). “Mixed MNL models for discrete response”, Journal of applied Econometrics. Vol. 15 .No. 5. pp. 447470.

- O'Fallon, C., Sullivan, C., & Hensher, D. A. (2004). “Constraints affecting mode choices by morning car commuters”, Transport Policy. Vol. 11. No. 1. pp. 1729.

- Rentziou, A., Milioti, C., Gkritza, K., & Karlaftis, M. G. (2011). ”Urban road pricing: Modeling public acceptance”, Journal of urban planning and development. Vol. 137. No. 1. pp. 5664.

- Shen, J. (2009). “Latent class model or mixed logit model? A comparison by transport mode choice data”, Applied Economics. Vol. 41. No. 22. pp. 29152924.

- Train, K. E. (2009). “Discrete choice methods with simulation”, *Cambridge university press.*

- Ubbels, B., & Verhoef, E. (2006). “Behavioral responses to road pricing: Empirical Results from a survey of Dutch car owners”, Transportation research record. Vol. 1960. No. 1. pp. 159166.

امیررضا ممدوحی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی مکانیک را در سال ۱۳٦۸ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۵ از موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی اخذ نمود. در سال ۱۳۸٤ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بوده و در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه تربیت مدرس است.

حمید رضایی، درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را از دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۳۹۸ اخذ نمود.

الناز ایران نژاد، در سال ۲۰۱۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران از دانشگاه کوییزلند استرالیا شد. پیش از آن، ایشان به مدت ۹ سال در ایران در صنعت حمل‌ونقل به عنوان مهندس ترافیک مشغول کار بود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان، لجستیک، زنجیره تامین و حمل بار، مدل‌سازی عامل بنیان و اتومبیل‌های خودران است.

آرمان صفارزاده، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران–عمران را در سال ۱٤۰۰ از دانشگاه– شهید بهشتی تهران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی جاده‌ای و رفتار راننده است.

محمدحسین عباسی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه ایلام و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در حال حاضر دانشجوی دکتری در رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه‌سازی ترافیک و مدل‌های رفتاری در حمل‌ونقل است.