

آثار مستقل و ترکیبی سیاست‌های قیمت‌گذاری تراکم و بهبود سیستم اتوبوس‌رانی در استفاده از خودروی شخصی در سفرهای شغلی به محدوده‌ی زوج - فرد تهران

سید احسان سید ابریشمی* (استادیار)

امیررضا مهدوحی (دانشیار)

حمیدرضا فوری (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۶ (۲ - ۳، شماره ۴/۲، ص. ۲۳-۱۳)

در پژوهش حاضر، سیاست قیمت‌گذاری تراکم با عوارض متغیر نسبت به وقت از روز، به‌عنوان سیاست مدیریتی دفعی و بهبود سیستم اتوبوس‌رانی از طریق اعمال دو سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس و کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار، به‌عنوان سیاست‌های تشویقی بررسی شده‌اند. با استفاده از رجحان بیان شده، ۲۳۱ نفر از شاغلان محدوده‌ی زوج - فرد شهر تهران نسبت به سیاست‌های موردنظر، مدل لوجیت آشیانه‌یی انتخاب وسیله‌ی سفر ساخته و اثرات مستقل و ترکیبی سیاست‌ها برآورد شده است. نتایج نشان داده‌اند که سیاست قیمت‌گذاری تراکم در ساعات ۶:۳۰ تا ۹ صبح، اگر به‌صورت ترکیبی با سیاست کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار اعمال شود، می‌تواند تا ۴۹٪ سهم گزینه‌ی خودروی شخصی در ساعات مذکور را کاهش دهد. همچنین می‌توان به سیاست‌های پیشنهادی پژوهش حاضر به‌عنوان جایگزینی برای طرح زوج - فرد شهر تهران توجه کرد.

واژگان کلیدی: قیمت‌گذاری تراکم، بهبود سیستم اتوبوس‌رانی، انتخاب وسیله‌ی سفر، آزمایش رجحان بیان شده.

۱. مقدمه

توسعه‌ی زیرساخت‌ها به بهبود وضعیت موجود ترافیک شهری پرداخت و عوارض ناشی از کمبودهای موجود در این بخش را کاهش داد^۱، اهمیت ویژه‌ی نزد برنامه‌ریزان حمل و نقل دارد. این مسئله موجب روی آوردن برنامه‌ریزان حمل و نقل به سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل و نقل^۲ شده است. مدیریت تقاضای حمل و نقل شامل تمام سیاست‌ها و اقداماتی می‌شود که با ایجاد تغییر در تقاضای حمل و نقل، موجب استفاده‌ی کارا تر از امکانات و تسهیلات موجود می‌شود و در نتیجه، تراکم ترافیکی و پیامدهای آن کاهش می‌یابد.^۳

یکی از راهکارهای پیشنهادی در زمینه‌ی مدیریت تقاضا، قیمت‌گذاری تراکم^۴ است که امروزه کارایی آن به‌عنوان یک سیاست افزایش دهنده‌ی رفاه اجتماعی، در سطح نظری به اثبات رسیده است.^۵ راهکار دیگری که برای مدیریت تقاضای سفر می‌توان به‌کار گرفت، گسترش ساعات اوج تقاضاست. در صورتی که سیاست قیمت‌گذاری تراکم با عوارض متغیر نسبت به وقت از روز به گونه‌ی طراحی شود که مقدار عوارض در ساعات غیر اوج، کمتر از عوارض ساعات اوج باشد، می‌تواند رانندگان را تشویق به تغییر ساعت سفر خود به ساعات‌های غیر اوج کند.

در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا، تراکم ترافیک^۱ به یک معضل رایج تبدیل شده است و جوامع شهری هزینه‌های مالی (مانند: هدر رفت سوخت و اتلاف وقت) و غیرمالی (مانند: معضلات اجتماعی، فرهنگ‌ی و مشکلات عصبی) بسیار زیادی را بابت آن پرداخت می‌کنند. در ایالات متحده، مؤسسه‌ی حمل و نقل شهر تگزاس (TTI)^۲ در سال ۲۰۰۳، میزان تأخیر^۳ سالانه برای هر سفر در ساعات اوج شلوغی در مناطق بزرگ شهری با جمعیت بیشتر از ۳ میلیون نفر را ۶۱ ساعت برآورد کرده است که بسیار بزرگ‌تر از مقدار ۱۳ ساعت برای مناطق با جمعیت کمتر از ۵۰۰ هزار نفر است. تأخیر متوسط سالانه برای همه‌ی شهرها از ۱۶ ساعت در سال ۱۹۸۲ به ۴۷ ساعت رسیده است. با توجه به آمار ذکر شده، اگر فقط هزینه‌ی زمان و سوخت هدر رفته در نظر گرفته شود، هزینه‌ی تراکم ترافیکی برای مردم آمریکا در یک سال برابر با ۶۳/۱ میلیارد دلار خواهد بود.^۴

از این رو، یافتن پاسخ مناسب برای این سؤال که «چگونه می‌توان بدون نیاز به

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۴/۱۰، اصلاحیه ۱۳۹۵/۳/۳۰، پذیرش ۱۳۹۵/۳/۳۰

پژوهش حاضر فرض می‌شود پس از اعمال سیاست‌های پیشنهادی، ظرفیت ناگان حمل و نقل همگانی به گونه‌ی افزایش داده می‌شود که میزان ازدحام مسافران در وسایط همگانی مشابه وضع فعلی باقی بماند. همچنین از تأثیر اعمال سیاست‌های مذکور در کاهش زمان سفر با خودروی شخصی نیز صرف‌نظر شده است.

در بخش بعد، مطالعات مشابه پیشین معرفی شده است. در بخش سوم، ضمن بیان مشخصات آزمایش رجحان بیان شده‌ی پژوهش حاضر، شیوه‌ی جمع‌آوری داده و توصیف داده‌ها ارائه شده است. در بخش چهارم مدل‌سازی و در بخش پنجم نتایج کاربرد مدل لوجیت آشیانه‌ی برای مسئله و تحلیل اثرات حاشیه‌ی تشریح شده است. بخش ششم نیز شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده است.

۲. مروری بر مطالعات پیشین

طرح‌های قیمت‌گذاری تراکم را می‌توان به دو دسته‌ی قیمت‌گذاری پویا^۹ و قیمت‌گذاری ایستا^{۱۰} تقسیم کرد. به طرح‌هایی که در آن نرخ عوارض با توجه به میزان تراکم ترافیکی تغییر می‌کند، قیمت‌گذاری پویا و به طرح‌هایی که نرخ عوارض براساس یک برنامه‌ی زمانی مشخص تعیین می‌شود، قیمت‌گذاری ایستا گفته می‌شود. پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی قیمت‌گذاری پویا صورت گرفته است که عموماً در آنها با استفاده از شبیه‌سازی یا مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به یافتن نرخ عوارض بهینه پرداخته شده است. از جمله تابع هدف‌هایی که در برخی از مطالعات اخیر مدنظر قرار گرفته‌اند، می‌توان از توابع: کمینه‌سازی تراکم ترافیکی،^[۵] بیشینه‌سازی توان عملیاتی خطوط عوارض‌گذاری شده به ازاء یک سطح خدمت مطلوب،^[۶] بیشینه‌سازی درآمد در کنار کمینه‌سازی تأخیر^[۷] و کمینه‌سازی تراکم ترافیکی در کنار کمینه‌سازی انتشار آلودگی نام برد.^[۸-۱۰]

در بین مطالعاتی که به قیمت‌گذاری ایستا توجه کرده‌اند، پژوهش‌های متعددی وجود دارد که در آنها با استفاده از مدل‌های رگرسیون و انتخاب گسسته به تحلیل تأثیر قیمت‌گذاری پرداخته شده است. برخی پژوهشگران (۱۹۹۷)،^[۱۱] مقبولیت قیمت‌گذاری تراکم را بررسی کردند و نظر تعدادی از رانندگان را در مورد قیمت‌گذاری تراکم جمع‌آوری کردند (مثلاً ایده‌ی خوبی است، ایده‌ی بدی است، نظری ندارم)؛ اما توضیحی راجع به نوع طرح قیمت‌گذاری به پاسخ‌دهندگان ندادند. ادبیات مربوط حاکی از آن است که نوشتارهایی که در آنها هم نوع طرح قیمت‌گذاری تراکم و هم مقدار عوارض مشخص شده است، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در بخش کنونی، ۱۱ پژوهش منتشر شده در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ با داده‌های جمع‌آوری شده در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ بررسی شده است. جامعه‌ی آماری پژوهش‌های مذکور از کشورهای ایران، هلند، نیوزلند، آمریکا و انگلستان و تعداد افراد پرسش‌شونده بین ۳۶۶ تا ۱۵۴۵ نفر بوده است. از مدل‌های گوناگونی در این پژوهش‌ها استفاده شده است که عبارت‌اند از: پروبیت، تویت، رگرسیون، لوجیت چندگانه و لوجیت چندگانه‌ی ترکیبی^[۱]. تمرکز پژوهش‌های انجام شده عمدتاً روی اثرات کوتاه‌مدت قیمت‌گذاری، مانند: میزان استفاده از خودروی شخصی،^[۱۲-۱۷] و اثرات بلندمدت مانند تغییر در مالکیت خودرو و محل خانه یا کار^[۱۸] و همین‌طور روی میزان مقبولیت قیمت‌گذاری تراکم، بوده است.^[۱۹]

برخی از پژوهش‌ها به بررسی عوامل تأثیرگذار در مقبولیت و در میزان کارایی قیمت‌گذاری تراکم پرداخته‌اند.^[۱۸] اما برخی دیگر ارزش کاهش زمان سفر (ارزش زمان)^[۲] و تغییرپذیری زمان سفر^[۳] را هم به‌دست آوردند.^[۲۰-۲۱] در مطالعه‌ی در سال ۲۰۰۵، ارزش زمان سفر برای استفاده‌کنندگان خودرو، ۷/۹۵ یورو بر نفر ساعت؛

بهبود سیستم‌های حمل و نقل همگانی نیز یکی دیگر از سیاست‌هایی است که در راستای مدیریت تقاضای سفر استفاده می‌شود. استفاده از سیاست‌های تشویقی مانند بهبود حمل و نقل همگانی در کنار سیاست‌های دفعی مانند قیمت‌گذاری تراکم، دست‌کم از دو نظر قابل دفاع است: اول، اینکه پیاده‌سازی سیاست‌های دفعی باعث کاهش تمایل برخی از استفاده‌کنندگان شبکه در استفاده از خودروی شخصی می‌شود؛ در نتیجه ممکن است تمایل این افراد برای استفاده از سایر شیوه‌های حمل و نقلی را افزایش دهد. بنابراین، لازم است سیاست‌هایی در جهت افزایش ظرفیت و مطلوبیت شیوه‌های جایگزینی که کارایی بیشتری دارند، اتخاذ شود. دوم، اینکه به دلیل محدودیت‌هایی که سیاست‌های دفعی به استفاده‌کنندگان تحمیل می‌کنند، عموماً اعمال این سیاست‌ها نارضایتی استفاده‌کنندگان را با خود به همراه دارد. پذیرش یک سیاست توسط عموم استفاده‌کنندگان، یکی از عوامل مهم در موفقیت‌آمیز بودن اجرای آن سیاست است.^[۱] بنابراین، لازم است در کنار سیاست‌های دفعی، سیاست‌های تشویقی نیز اجرا شوند تا بخشی از نارضایتی عمومی را تعدیل کنند.

تهران یکی از شهرهایی است که به شکل گسترده‌ی معضل تراکم ترافیکی روبرو است. برای مدیریت این معضل در تهران، دو طرح مدیریتی با نام‌های طرح ترافیک و طرح زوج - فرد استفاده می‌شود. طرح زوج - فرد (طرح ایجاد ممنوعیت برای تردد خودروها براساس زوج یا فرد بودن رقم آخر شماره‌ی پلاک) در سطح نظری می‌تواند با اشکالاتی همراه باشد. در درازمدت این طرح ممکن است باعث افزایش نرخ مالکیت خودرو و در نتیجه پایین آمدن کارایی طرح شود. علاوه بر این، به دلیل امتیاز ویژه‌ی که طرح زوج - فرد برای قشر مرفه دارد (یعنی، استفاده از شبکه در تمام روزهای هفته از طریق خرید دو خودرو با دو پلاک زوج و فرد)، ممکن است باعث بروز مشکلات اجتماعی مانند کاهش اعتماد استفاده‌کنندگان نسبت به گردانندگان سیستم شود. یکی از ضعف‌های مهم طرح زوج - فرد، درآمدزا نبودن آن برای گردانندگان و در نتیجه عدم ایجاد منابع مالی برای توسعه‌ی سیستم حمل و نقل همگانی در محدوده‌ی طرح مذکور است. زیرا در ازاء امتیازی که به قشر مرفه داده می‌شود، منفعت متقابلی برای قشر کم درآمد (مثلاً از طریق توسعه‌ی سیستم حمل و نقل همگانی ارزان) ایجاد نمی‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده، ضرورت بازنگری در طرح مدیریتی اتخاذ شده برای محدوده‌ی زوج - فرد شهر تهران و استفاده از طرح‌هایی با رویکرد افزایش رفاه و عدالت اجتماعی احساس می‌شود. کمبود پژوهش‌هایی که تأثیر اعمال بسته‌های سیاستی مدیریت تقاضا را در محدوده‌ی زوج - فرد بررسی کرده باشند و نبود مطالعاتی که تأثیر تغییرکردن عوارض تردد نیز در آن‌ها مشاهده شده باشد، انگیزه‌ی برای انجام پژوهش حاضر است.

در پژوهش حاضر، سیاست دفعی قیمت‌گذاری تراکم با عوارض متغیر نسبت به وقت از روز و سیاست تشویقی بهبود سیستم اتوبوس‌رانی (به‌عنوان گزینه‌ی برای مصرف درآمد‌های به‌دست آمده از طرح قیمت‌گذاری) مطالعه می‌شوند. سیاست‌های دفعی و تشویقی پیشنهاد شده، به‌عنوان جایگزینی برای طرح زوج - فرد شهر تهران مطرح و تأثیر آن‌ها در سفرهای شغلی در ساعات صبح بررسی می‌شود. برای این منظور، ابتدا با استفاده از داده‌های رجحان آشکار شده^۶ و رجحان بیان شده^۷، یک مدل لوجیت آشیانه‌ی^۸ انتخاب وسیله ساخته می‌شود (کلیدی سیاست‌ها به‌صورت سه سطحی در نظر گرفته شدند تا امکان بررسی اثرات غیرخطی آن‌ها در تابع مطلوبیت گزینه‌ها نیز فراهم باشد). اثرات مستقل و ترکیبی اعمال ابزار (های) سیاستی در کاهش سهم خودروی شخصی، با محاسبه‌ی اثرات حاشیه‌ی مربوط به هر یک از ابزار (های) سیاستی موردنظر از طریق شبیه‌سازی سناریوی مربوط تعیین می‌شود. در

ارزش زمان زود رسیدن، ۱۲/۳۵ یورو بر نفر ساعت؛ و ارزش زمان دیر رسیدن، ۱۶/۴۴ یورو بر نفر ساعت برآورد شده است.^[۲۱]

در اغلب پژوهش‌ها، اهداف سفر شغلی بررسی شده، اما در برخی از آنها،^[۲۱، ۱۷، ۱۲] علاوه بر سفرهای شغلی، اهداف سفر دیگر و در پژوهش دیگری در همان سال، فقط هدف سفر خرید بررسی شده است. در دو پژوهش، به تأثیر متغیر بودن عوارض نسبت به وقت از روز توجه شده است.^[۱۷، ۱۲] در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۶ نیز مشاهده شد که در قیمت‌گذاری مسافت - مینا با عوارض یکنواخت، مقدار عوارض است که تأثیر قابل ملاحظه‌ی در میزان کارایی دارد، در حالی که در قیمت‌گذاری مسافت - مینا با عوارض متغیر نسبت به وقت از روز، اختلاف بین میزان عوارض در اوقات مختلف روز (مانند: زمان اوج و غیر اوج) است که در کارایی طرح تأثیر قابل ملاحظه‌ی می‌گذارد.^[۱۲] همچنین برخی پژوهشگران (۱۳۹۰) علاوه بر اثرات مستقل، اثرات ترکیبی سیاست‌های مدیریتی را بررسی کردند و سیاست‌ها را به صورت متغیرهایی پیوسته در یک مدل لوجیت چندگانه در نظر گرفتند و جهت برآورد تأثیر سیاست‌ها، اثرات حاشیه‌ی متغیرهای مذکور را محاسبه کردند و نشان دادند که هر ۱ تومان افزایش در هزینه‌ی روزانه‌ی ورود به محدوده‌ی مرکزی شهر، منجر به کاهش احتمال استفاده از خودروی شخصی به میزان ۰/۰۰۹ درصد می‌شود؛ همچنین، هر ۱ دقیقه بهبود دسترسی به وسایط حمل و نقل همگانی، منجر به افزایش احتمال استفاده از شیوه‌ی مذکور به میزان ۰/۹۱٪ می‌شود.^[۱۶] در پژوهش حاضر، ضمن بررسی اثرات ترکیبی اعمال سیاست‌ها، تأثیر تغییر کردن عوارض با توجه به وقت از روز نیز بررسی شده و همچنین برای لحاظ کردن تأثیر سیاست‌ها در مدل، علاوه بر متغیرهای پیوسته، از متغیرهای دوگانه هم استفاده شده است. از این رو، برآورد تأثیر ابزار(های) سیاستی نیز با استفاده از روش محاسبه‌ی اثرات حاشیه‌ی برای داده‌های طبقه‌ی،^[۱۴] (از طریق شبیه‌سازی سناریوهای موردنظر) انجام شده است.^[۲۲]

۳. انتخاب سیاست‌ها و طراحی پرسش‌نامه

از آنجا که داده‌های رجحان آشکار شده براساس وضعیت موجود است، در برخی مواقع نمی‌توانند نیازهای مطالعات را برآورده کنند. به عنوان مثال، در مواقعی که نیاز به بررسی تقاضا برای یک محصول جدید باشد یا هنگامی که در وضعیت واقعی، متغیرهای موردنظر دامنه‌ی تغییرات بسیار کمی دارند، عملاً تأثیر تغییرات مذکور بر تصمیم افراد قابل ملاحظه نیست.^[۲۳] در این شرایط می‌توان از آزمایش رجحان بیان شده، به عنوان جدیدترین رویکرد عملی برای شناخت اثرات احتمالی یک سیاست جدید مانند قیمت‌گذاری تراکم، استفاده کرد.^[۲۴] در پژوهش حاضر، نیز با توجه به جدید بودن سیاست‌های موردنظر، جهت بررسی آنها از رویکرد رجحان بیان شده استفاده شده است.

ابزارهای پیشنهادی برای کاهش تراکم ترافیکی، در قالب ۴ سیاست مطرح شدند (جدول ۱). به منظور بررسی اثرات غیرخطی سیاست‌ها در مطلوبیت گزینه‌ها، ۴ سیاست مذکور به صورت ۳ سطحی فرض شدند. جهت انتخاب سطح بالای هر سیاست، پس از انتخاب محدوده‌ی که از نظر منطقی امکان اجرای آن وجود داشته است، از طریق ۲ بار آماربرداری آزمایشی، مقادیر مختلفی بررسی شدند. در نهایت، مقادیری به عنوان سطح بالای هر سیاست انتخاب شدند که نه آنقدر کم بودند که تأثیری در انتخاب پاسخ‌دهندگان نداشته باشند و نه آنقدر زیاد بودند که انتخاب فعلی همه‌ی پاسخ‌دهندگان را تغییر دهند.

جدول ۱. مشخصات سیاست‌های مدیریتی موردنظر.

سیاست	تعداد سطوح	مقادیر سطوح
دریافت عوارض برای تردد در محدوده‌ی زوج - فرد بعد از ساعت ۳:۰۰ صبح (هزار تومان)	۳	۴، ۸، ۱۲
قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح (درصد)	۳	۰، ۲۵، ۵۰
کاهش زمان سفر اتوبوس (درصد)	۳	۰، ۱۵، ۳۰
کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار (دقیقه)	۳	۱۵، ۸، ۳

۳.۱. طراحی آزمایش رجحان بیان شده

جهت طراحی آزمایش در صورت استفاده از طرح عاملی کامل، این آزمایش شامل (۸۱ = ۳^۴) سناریو می‌شد. به منظور اینکه تا حد امکان از تغییرپذیری آماری موجود در طرح‌های عاملی کامل جلوگیری شود و با توجه به اهمیت این موضوع که پاسخ‌دهندگان بتوانند عملاً سناریوهای آزمایش را از یکدیگر تشخیص دهند، عموماً جهت طراحی آزمایش رجحان بیان شده از طرح عاملی کسری استفاده می‌شود.^[۲۳] در پژوهش حاضر، نیز با توجه به زیاد بودن نسبی تعداد سیاست‌ها و تعداد سطوح آنها ترجیح داده شد از طرح عاملی کسری استفاده شود. در این راستا، در نهایت طرحی متعادل با کارایی ۱۰۰٪ انتخاب شد که علاوه بر قابلیت بررسی اثرات مستقل سیاست‌ها، قابلیت بررسی اثرات ترکیبی (اندرکنشی) دوطرفه بین ۳ مورد از سیاست‌ها را نیز داشت.^[۲۴] با توجه به فرضیات پژوهش، از اثراندرکنشی دوطرفه بین سیاست مربوط به عوارض بعد از ساعت ۹ و سایر سیاست‌ها، صرف‌نظر شد و قابلیت بررسی اثرات اندرکنشی دوطرفه بین سایر سیاست‌ها در طراحی آزمایش لحاظ شد. طرح آزمایش نهایی ۲۷ سناریو دارد که به دلیل تعداد نسبتاً زیاد سناریوها، با استفاده از بلوک‌بندی، این سناریوها به ۵ بلوک (گروه) تقسیم شدند؛ به گونه‌ی که بلوک‌های کد ۱ و ۲، هر کدام شامل ۶ سناریو و بلوک‌های کد ۳، ۴ و ۵، هر کدام شامل ۵ سناریو شدند.^[۲۵]

در بخش رجحان بیان شده‌ی پرسش‌نامه، ضمن ارائه‌ی سناریوها به پاسخ‌دهندگان، از آنها سؤال می‌شد: «در صورتی که محدودیت زوج یا فرد بودن پلاک برداشته شود و امکان تردد شما به این محدوده از طریق پرداخت عوارض امکان‌پذیر باشد و در کنار این تغییر، خطوط اتوبوس‌رانی تندرو (BRT) نیز در این محدوده بهبود داده شود، برای رفتن به محل کارتان در ساعات صبح، از کدام یک از شیوه‌های پیشنهاد شده استفاده می‌کنید؟» شیوه‌های سفر پیشنهاد شده به پاسخ‌دهندگان عبارت بودند از: ۱. خودروی شخصی قبل از ساعت ۳:۰۰ صبح؛ ۲. خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۹ صبح؛ ۳. خودروی شخصی بعد از ساعت ۹ صبح؛ ۴. خودروی شخصی تا نزدیکی محدوده‌ی طرح، پارک خودرو و استفاده از اتوبوس (پارک - سوار)؛ ۵. اتوبوس (با دسترسی پیاده یا تاکسی)؛ ۶. تاکسی (شامل خطی،

دریست، و تلفنی؛ ۷. عدم انجام سفر (دورکاری یا تغییر محل کار)؛ و ۸. سایر (شامل مترو، موتور، دوچرخه، پیاده‌روی و تغییر محل سکونت).

۲.۳. جمع‌آوری داده

شهر تهران با مساحت تقریبی ۷۰۰ کیلومتر مربع، ۲۲ منطقه‌ی شهرداری و ۶۵۰ ناحیه‌ی ترافیکی دارد و روزانه حدود ۱۳ میلیون سفر انجام می‌شود که سفرهای شعاعی ۶۶٪ از این سفرها را تشکیل می‌دهد.^[۲۶] با توجه به اینکه محدوده‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، محدوده‌ی طرح زوج - فرد بوده است (محدوده‌ی بین مرزهای طرح زوج - فرد و مرزهای طرح ترافیک)، جهت جمع‌آوری داده از تمامی مناطقی که با محدوده‌ی زوج - فرد هم‌پوشانی دارند آمار برداری انجام شده است (۱۰ منطقه شامل مناطق ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). اولین آمار برداری آزمایشی در اسفند سال ۹۱ به منظور ارزیابی پرسش‌نامه و بررسی مقادیر سطح در نظر گرفته شده برای سیاست‌ها انجام شد. پس از انجام اصلاحات، آمار برداری آزمایشی دیگری در اواخر فروردین ماه سال ۹۲ صورت گرفت. آمار برداری اصلی نیز از ابتدای اردیبهشت ماه تا نهم خرداد ماه همان سال به صورت مصاحبه‌ی حضوری و با نرخ پاسخ حدود ۹۳٪ انجام شد. همچنین تکمیل هر پرسش‌نامه، بین ۵ تا ۱۰ دقیقه زمان نیاز داشت.

۳.۳. توصیف داده‌ها

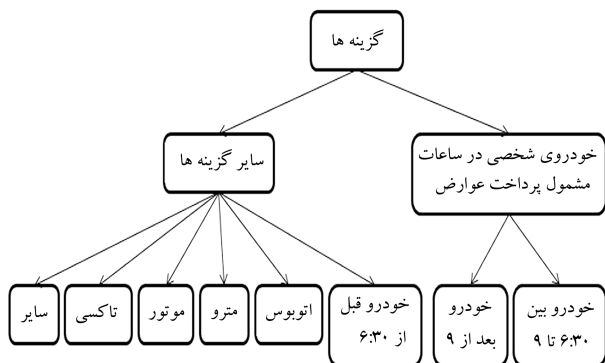
در بخش کنونی به بررسی ویژگی‌های کمی نمونه‌ی آماری (شامل ۲۳۱ پاسخ دهنده) پرداخته شده است. به دلیل پاسخ دادن هر شخص به چند سناریو، در پرسش‌نامه‌ها مجموعاً ۱۲۵۱ مشاهده برای تحلیل موضوع مورد نظر فراهم شد. مشاغلی که در پژوهش حاضر بررسی شدند، شامل: شغل آزاد، شاغلان سازمان‌ها و اداره‌های دولتی (مانند بانک‌ها و اداره‌های وابسته به شهرداری)، و شرکت‌های خصوصی بوده است. نسبت مردان شاغل به زنان شاغل ۹۱٫۸٪ در مقابل ۸٫۲٪ بوده است (جدول ۲)؛ این عدد در نمونه‌ی آماری مربوط به آمار برداری مبدأ - مقصد خانوارهای شهر تهران در سال ۸۳، به ترتیب ۸۶٪ در مقابل ۱۴٪ بوده است. همچنین درصد افراد زیر دیپلم، دیپلم، فوق دیپلم یا کارشناسی و کارشناسی ارشد یا دکتری در آمار برداری سال ۸۳ به ترتیب ۲۵، ۴۱، ۲۹ و ۵ درصد بوده است؛^[۲۷] اختلاف این ارقام با داده‌های نمونه‌ی آماری پژوهش حاضر، با در نظر گرفتن رشد سطح مدرک تحصیلی در سال‌های اخیر قابل توجیه است.

۴. مدل انتخاب وسیله

در فرایند مدل‌سازی، مدل‌های لوجیت چندگانه و آشیانه‌ی (شامل ۸ گزینه) بررسی شدند. مدل برتر لوجیت چندگانه (از بین بیش از ۵۰ مدل ساخته شده)، شاخص خوبی برآزش $\rho^2 = 0,24$ داشته و مدل برتر آشیانه‌ی (از بین بیش از ۱۰۰ مدل پرداخت شده) یک مدل لوجیت دو سطحی با $\rho^2 = 0,28$ بوده است که با روش پیشینه‌ی درست‌نمایی با اطلاعات کامل (FIML)^{۱۵} بررسی و به‌عنوان مدل نهایی انتخاب شده است. در مدل مذکور، گزینه‌های خودروی شخصی در ساعات مشمول پرداخت عوارض (یعنی ۲ گزینه‌ی «خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح» و «خودروی شخصی بعد از ساعت ۹ صبح») در یک آشیانه و سایر گزینه‌ها در آشیانه دیگر قرار داده شده‌اند (شکل ۱). در نظریه‌ی مدل‌های انتخاب مانند لوجیت، یکی از گزینه‌ها را می‌توان به‌عنوان گزینه‌ی مبنا انتخاب کرد و مطلوبیت

جدول ۲. فراوانی ویژگی‌های جمعیتی نمونه‌ی آماری.

ویژگی	مقدار	فراوانی نسبی (درصد)
جنسیت	مرد	۹۱٫۸
	زن	۸٫۲
تحصیلات	زیر دیپلم	۱۱٫۲
	دیپلم	۴۲
	فوق دیپلم و کارشناسی	۳۵٫۸
	کارشناسی ارشد و دکتری	۱۱
نوع اشتغال	آزاد	۶۷
	کارمند	۳۳
	سایر	۰
سن	۱۸-۲۹	۲۲٫۵
	۳۰-۳۹	۳۸٫۵
	۴۰-۴۹	۱۵٫۶
	۵۰-۵۹	۱۶
	بیشتر از ۶۰	۷٫۴
ساختار خانواده	مجرد، یک نفره	۱٫۷
	مجرد به همراه خانواده	۱۹٫۵
	متاهل بدون فرزند	۱۹٫۵
	متاهل دارای فرزند	۵۹٫۳
تعداد خودرو در خانوار	۱	۶۱٫۵
	۲	۳۱٫۱
	بیشتر از ۲	۷٫۴
نوع خودرو در خانوار	دارای حداقل یک خودروی خارجی (وارداتی)	۱۲
	بدون خودروی خارجی	۸۸



شکل ۱. ساختار مدل لوجیت آشیانه‌ی انتخاب وسیله‌ی نقلیه.

سایر گزینه‌ها را نسبت به این گزینه سنجید. در مدل پژوهش حاضر، گزینه‌ی «سایر» به‌عنوان گزینه‌ی مبنا انتخاب شده است. در جدول ۳، متغیرهای استفاده شده در مدل و در جدول ۴، مدل نهایی ارائه شده است.

جهت ساخت مدل لوجیت انتخاب وسیله، با استفاده از روش پیش‌رو متغیرهای مربوط به سیاست‌های مورد مطالعه در توابع مطلوبیت گزینه‌های مختلف قرار داده شدند. سایر متغیرهای مرتبط با مشخصات سفر و مشخصات فردی که منطقی به نظر می‌رسیدند و در بهبود شاخص‌های خوبی برآزش نیز تأثیرگذار بودند، به‌صورت ساده یا به‌صورت حاصل‌ضربی به مدل اضافه شدند. سیاست مربوط به کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار، به‌صورت حاصل‌ضربی با متغیرهای «کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار»، در تابع مطلوبیت اتوبوس در نظر گرفته شد، زیرا میزان تأثیرگذاری این سیاست در مطلوبیت اتوبوس با توجه به زمان‌های دسترسی فعلی افراد به ایستگاه، تغییر می‌کند. مقایسه‌ی ضرایب متغیرهای حاصل‌ضربی $Acc_time_3 * Curr_AccT_2$ و $Acc_time_3 * Curr_AccT_1$ (به ترتیب 0.38714 و 1.21513) نیز نشان می‌دهد با افزایش فاصله‌ی فعلی از ایستگاه اتوبوس تا محل کار، تأثیر مثبت اعمال سیاست Acc_time_3 در مطلوبیت اتوبوس افزایش می‌یابد؛ مشابه این رفتار برای سیاست Acc_time_8 نیز مشاهده شده است. سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس نیز به‌صورت حاصل‌ضربی با متغیر «امکان‌پذیر بودن استفاده از اتوبوس» در تابع مطلوبیت اتوبوس به کار گرفته شد؛ زیرا افرادی که اعتقاد داشتند امکان استفاده از اتوبوس برای آنها فراهم نیست، حساسیت چندانی نسبت به اعمال این سیاست نشان ندادند. در بین متغیرهای مربوط به ابزارهای سیاستی، بیشترین میزان معنی‌داری ($t = 5.04$) مربوط به متغیر «امکان‌پذیر بودن استفاده از اتوبوس» است. سیاست دریافت عوارض برای تردد در محدوده‌ی زوج - فرد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح نیز در تابع مطلوبیت گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح معنا دار شد؛ برای عوارض ۸ هزار تومان نیز یک متغیر دوگانه به مطلوبیت این گزینه اضافه شد که نشان دهنده‌ی تأثیر غیرخطی سیاست مذکور در مطلوبیت این شیوه‌ی سفر است. برای دیدن اثر سیاست قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح در مدل، از متغیر عوارض تردد بعد از ساعت ۹ استفاده شد که در مطلوبیت گزینه‌ی خودروی شخصی بعد از ساعت ۹ صبح معنا دار شده است.

از آنجایی که در پژوهش حاضر، اندرکنش‌های دوطرفه‌ی سیاست‌ها در فرایند طراحی آزمایش لحاظ شده است، امکان وارد کردن متغیرهای ترکیبی (حاصل‌ضربی) مربوط به سیاست‌های مذکور در مدل وجود دارد. در تابع مطلوبیت اتوبوس، متغیر ترکیبی مربوط به اندرکنش دو سیاست بهبود سیستم اتوبوس‌رانی معنا دار شده است. در مطلوبیت گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح نیز متغیر ترکیبی مربوط به اندرکنش سیاست عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح (در سطح ۱۲ هزار تومان) و سیاست کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار (در سطح ۳ دقیقه) معنا دار شده است ($t = 2.26$). متغیرهای اندرکنشی مربوط به سیاست‌های عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح و کاهش زمان سفر اتوبوس نیز به‌ازاء سطوح مختلف دو سیاست مذکور، در مدل معنی‌داری شدند.

۵. بررسی نتایج و بحث

جهت برآورد و ارزیابی اثرات مستقل و ترکیبی سیاست‌های موردنظر، از مفهوم اثر حاشیه‌ی استفاده می‌شود. اثر حاشیه‌ی هر یک از سیاست‌ها، تأثیر آن سیاست را

در احتمال انتخاب گزینه‌های مختلف مشخص می‌کند و در نتیجه بیانگر پیامدهای اجرای سیاست موردنظر است. بنابراین، بررسی اثرات حاشیه‌ی در مقایسه با بررسی ضرایب سیاست‌ها (که فقط میزان تأثیر سیاست در مطلوبیت گزینه‌ها را مشخص می‌کند)، نتایج کاربردی‌تری را به‌دست می‌دهد. اثر حاشیه‌ی ابزار(های) سیاستی را می‌توان به این صورت تعریف کرد: متوسط تغییر سهم گزینه‌ی «خودروی شخصی» بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح در اثر اجرای ابزار(های) سیاستی موردنظر، در مقایسه با حالتی که هیچ‌کدام از ابزارهای سیاستی اجرا نشده باشند.^[۱۴] بر این اساس در جدول‌های ۵ و ۶، مقدار مطلق و مقدار نسبی اثر حاشیه‌ی سیاست‌های موردنظر محاسبه شده است. مقدار مطلق کاهش سهم گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح از رابطه‌ی $(P_0 - P_1)$ و مقدار نسبی آن از رابطه‌ی $(100 \times (P_0 - P_1) / P_0)$ محاسبه شده است که در آنها، P_1 برابر با متوسط سهم برآورد شده برای گزینه‌ی خودروی شخصی بعد از اعمال سیاست(های) موردنظر و P_0 متوسط سهم گزینه‌ی خودروی شخصی در حالتی است که هیچ سیاستی اعمال نشده باشد ($P_0 = 0.35$). با توجه به جدول‌های ۵ و ۶، نتایج حاصل از پژوهش حاضر به اختصار عبارت‌اند از:

۱. در صورتی که سیاست‌های پیشنهادی به‌صورت مستقل اعمال شوند (جدول ۵)، می‌توان گفت سیاست دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح در سطح ۱۲ هزار تومان، با کاهش سهم خودروی شخصی در بازه زمانی مرتبط به میزان ۰/۴۰۸، تأثیرگذارترین سیاست است. این میزان کاهش سهم معادل با کاهش ۷۵/۶ درصدی در احتمال انتخاب گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح است. دومین سیاست اثرگذار، کاهش زمان سفر اتوبوس است که می‌تواند تا ۰/۰۳۹ (معادل با ۷/۳٪) سهم گزینه‌ی مذکور را کاهش دهد. سومین سیاست اثرگذار، کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار است، که تأثیر آن حدود ۱/۳٪ سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس است (بیشینه‌ی ۰/۵٪).

۲. در صورتی که دو سیاست به‌صورت ترکیبی (بسته‌ی سیاستی) اعمال شوند (جدول ۶)، اثرگذارترین سیاست‌ها در کاهش استفاده از خودروی شخصی در بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح، دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح و کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار است؛ به‌گونه‌ی که اعمال این بسته‌ی سیاستی در سطوح ۱۲ هزار تومان و ۳ دقیقه، می‌تواند احتمال انتخاب خودروی شخصی را تا ۰/۴۸۹٪ کاهش دهد. با در نظر گرفتن مقدار نسبی تغییر سهم، اعمال دو سیاست مذکور به‌صورت ترکیبی می‌تواند احتمال انتخاب گزینه‌ی خودروی شخصی را حدود ۹٪ کاهش دهد. این مقدار اگرچه قابل توجه است، اما باید توجه شود که این کاهش سهم فقط در سفرهایی صورت می‌گیرد که مقصدشان در محدوده‌ی طرح زوج - فرد قرار دارد. با مقایسه‌ی جدول‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، تأثیر اعمال این بسته‌ی سیاستی بیشتر از جمع تأثیر اعمال هر سیاست به‌صورت مستقل است؛ به بیان دقیق‌تر، اعمال هم‌زمان دو سیاست مذکور، $10\% = (100 \times (0.05 + 0.075 - 0.09))$ هم‌افزایی ایجاد می‌کند.

۳. دومین بسته‌ی سیاستی اثرگذار در کاهش استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح، دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح و کاهش زمان سفر اتوبوس است. اعمال این بسته‌ی سیاستی می‌تواند حدود ۰/۴۲۴٪ (به ترتیب در سطوح ۱۲ هزار تومان و ۳٪) احتمال استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح را کاهش دهد (معادل با ۷۸/۵٪) مقایسه‌ی جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد سیاست‌های این بسته با یکدیگر هم‌کاهندگی دارند؛ به‌عنوان

جدول ۳. معرفی متغیرهای استفاده شده در مدل.

علامت اختصاری	متغیر	نوع متغیر
Acc_time_۳	کاهش فاصله ایستگاه اتوبوس تا محل کار به ۳ دقیقه (بلی = ۱)	
Acc_time_۸	کاهش فاصله ایستگاه اتوبوس با محل کار به ۸ دقیقه (بلی = ۱)	
Bus_TT_۱۵	کاهش ۱۵ درصدی زمان سفر اتوبوس (بلی = ۱)	
Bus_TT_۳۰	کاهش ۳۰ درصدی زمان سفر اتوبوس (بلی = ۱)	سیاست‌های
Toll_A۶	مقدار عوارض تردد بعد از ساعت ۶:۳۰ صبح (هزار تومان)	مدیریتی
Toll_A۹	مقدار عوارض تردد بعد از ساعت ۹ صبح (هزار تومان)	حمل و نقل
Toll_A۶_۱۲	دریافت ۱۲ هزار تومان عوارض تردد بعد از ساعت ۶:۳۰ صبح (بلی = ۱)	
Toll_A۶_۸	دریافت ۸ هزار تومان عوارض تردد بعد از ساعت ۶:۳۰ صبح (بلی = ۱)	
Bus_Poss	امکان پذیر بودن استفاده از اتوبوس (بلی = ۱)	
Car_TT	زمان سفر فعلی با خودروی شخصی (دقیقه)	
Child_to_Sch	رساندن فرزند به مدرسه پیش از رفتن به محل کار (بلی = ۱)	
Curr_AccT_۱	فاصله فعلی از ایستگاه اتوبوس تا محل کار بین ۴ تا ۱۰ دقیقه (بلی = ۱)	
Curr_AccT_۲	فاصله فعلی از ایستگاه اتوبوس تا محل کار بین ۱۱ تا ۲۰ دقیقه (بلی = ۱)	
Curr_AccT_۳	فاصله فعلی از ایستگاه اتوبوس تا محل کار بیش از ۲۰ دقیقه (بلی = ۱)	
Curr_AccT_۴	فاصله فعلی از ایستگاه اتوبوس تا محل کار برای افرادی که در محل سکونت خود به اتوبوس دسترسی دارند بین ۱۱ تا ۲۰ دقیقه (بلی = ۱)	ویژگی‌های سفر روزانه
Ent_B۹	زمان ورود فعلی به محدوده زوج - فرد بین ساعات ۶:۳۰ تا ۹ صبح (بلی = ۱)	
For_Work	نیاز به استفاده از خودروی شخصی برای امور شغلی در طول روز (بلی = ۱)	
NoOther_Trp	عدم انجام سفرهای دیگر قبل از آمدن به محل کار یا هنگام بازگشت به خانه (بلی = ۱)	
Other_Trp	انجام سایر سفرها قبل از آمدن به محل کار یا هنگام بازگشت به خانه * (بلی = ۱)	
Park_Cost	هزینه روزانه پارکینگ (هزار تومان)	
Adres_۱	محل کار در یکی از مناطق جنوبی شهر و محل سکونت در یکی از مناطق شمالی ** (بلی = ۱)	
Adres_۲	محل کار و سکونت یا در یک منطقه شهرداری باشند یا در دو منطقه مجاور (بلی = ۱)	
Age >= ۳۵	سن بزرگتر یا مساوی ۳۵ سال (بلی = ۱)	
Edu < BS	دارای تحصیلات پایین‌تر از کارشناسی (بلی = ۱)	
Edu > BS	دارای تحصیلات بالاتر از کارشناسی (بلی = ۱)	
Ent_A۹	زمان ورود فعلی به محدوده زوج - فرد بعد از ساعت ۹ (بلی = ۱)	ویژگی‌های اقتصادی -
Expens_Car	مالک حداقل یک خودروی خارجی (وارداتی) (بلی = ۱)	اجتماعی
HH_Car	تعداد خودروی شخصی در خانوار	
Job_Empl	شغل کارمند (بلی = ۱)	
Job_Free	دارای شغل آزاد (بلی = ۱)	
Job_Govrn	دارای شغل دولتی (بلی = ۱)	
Male	جنسیت مرد (بلی = ۱)	
Resid_EO	ساکن در محدوده‌ی زوج - فرد (بلی = ۱)	

* سفرهایی غیر از انجام امور شغلی، رساندن فرزند به مدرسه، خرید و دیدار آشنایان مانند رساندن همکار به محل کار.
** محل سکونت در یکی از مناطق شهرداری ۱، ۲، ۳ یا ۴ باشد و محل کار در یکی از مناطق شهرداری ۱۳، ۱۴، ۱۵ یا ۱۶ باشد.

جدول ۴. نتایج پرداخت مدل لوجیت آشیانه‌بی انتخاب وسیله سفر.

P-value (t-value)	ضریب	متغیر	گزینه
۰/۱۲۸۳ (۱/۵۲)	۱/۹۵۲۷۰	Constant	
۰/۰۰۰۰ (-۴/۱۹)	-۰/۳۵۸۸۰	Toll_A۶	
۰/۰۱۲۳ (-۲/۵۰)	-۰/۷۴۱۲۱	Toll_A۶-۸	
۰/۰۲۳۸ (-۲/۲۶)	-۱/۵۸۰۲۸	Toll_A۶_۱۲* Acc_time_۳	خودروی شخصی
۰/۰۰۰۰ (۴/۹۲)	۱/۸۸۲۹۶	Ent_B۹	بین ساعات ۶:۳۰ تا ۹ صبح
۰/۰۰۶۲ (۲/۷۴)	۱/۳۷۳۷۷	For_Work	
۰/۰۰۷۶ (۲/۶۷)	۱/۲۸۰۷۷	Expens_Car	
۰/۰۰۰۳ (۳/۶۰)	۵/۶۲۰۴۸	Child_to_Sch* Job_Empl	
۰/۰۰۰۶ (۳/۴۱)	۰/۰۲۶۹۲	Car_TT	
۰/۳۳۳۱ (۰/۹۷)	۱/۲۱۵۸۴	Constant	
۰/۰۰۵۱ (-۲/۸۰)	-۰/۲۳۱۴۲	Toll_A۹	
۰/۰۰۰۰ (۴/۲۷)	۱/۵۶۷۷۷	Ent_A۹	خودروی شخصی
۰/۰۰۰۶ (۳/۴۲)	۱/۷۸۳۰۷	For_Work	بعد از ساعت ۹ صبح
۰/۰۰۲۶ (۳/۰۲)	۱/۶۳۹۷۲	Expens_Car* Job_Free	
۰/۰۰۰۱ (۳/۸۶)	۱/۶۴۰۶۱	Adres_۱	
۰/۰۲۰۷ (-۲/۳۱)	-۱/۸۶۶۶۲	Job_Govrn	
۰/۲۴۹۳ (-۱/۱۵)	-۱/۱۷۹۰۸	Constant	
۰/۰۰۶۸ (-۲/۷۰)	-۰/۶۰۵۲۷	Job_Free	خودروی شخصی
۰/۰۲۶۳ (۲/۲۲)	۲/۲۸۵۹۳	Male	قبل از ساعت ۶:۳۰ صبح
۰/۰۱۹۳ (-۲/۳۴)	-۰/۶۲۳۰۶	Resid_EO	
۰/۰۰۰۰ (۸/۰۴)	۱/۸۹۷۶۹	Constant	
۰/۰۶۴۱ (۱/۸۵)	۰/۳۸۷۱۴	Acc_Time_۳* Curr_AccT_۱	
۰/۰۰۰۰ (۴/۳۹)	۱/۲۱۵۱۳	Acc_Time_۳* Curr_AccT_۲	
۰/۰۱۵۶ (-۲/۴۲)	-۰/۶۹۶۴۴	Curr_AccT_۳	
۰/۰۰۲۷ (۳/۰۰)	۰/۷۷۶۷۱	Acc_Time_۸* Curr_AccT_۲	
۰/۰۵۴۴ (۱/۹۲)	۱/۹۷۴۴۲	Acc_Time_۸* Curr_AccT_۴	
۰/۰۰۰۰ (۵/۰۴)	۰/۸۹۴۱۴	Buss_TT_۱۵* Bus_Poss	اتوبوس
۰/۰۰۰۰ (۵/۰۱)	۱/۱۳۵۶۱	Buss_TT_۳* Buss_Poss	(با دسترسی پیاده تا تاکسی)
۰/۰۰۴۶ (۲/۸۳)	۰/۷۸۸۲۲	Acc_Time_۳* Bus_TT_۳	
۰/۰۱۹۱ (۲/۳۴)	۰/۶۸۵۱۴	Acc_Time_۸* Bus_TT_۳	
۰/۰۰۴۱ (-۲/۸۷)	-۰/۹۶۴۶۹	Expens_Car	
۰/۰۱۷۶ (-۲/۳۷)	-۰/۲۹۳۲۰	HH_Car	
۰/۰۰۰۲ (-۳/۷۶)	-۱/۰۷۶۲۷	Other_Trp	
۰/۰۰۱۶ (-۳/۱۵)	-۰/۵۱۶۸۹	Resid_EO	
۰/۰۴۴۰ (-۲/۰۱)	-۰/۶۷۰۹۶	Constant	
۰/۰۰۰۳ (۳/۶۰)	۱/۰۰۹۶۲	Bus_Poss	مترو
۰/۰۰۰۰ (۴/۷۰)	۰/۴۴۸۳۲	Park_Cost	
۰/۰۰۵۱ (-۲/۸۰)	-۰/۷۳۴۶۶	NoOther_Trp	
۰/۰۱۸۵ (۲/۳۶)	۰/۶۶۰۸۸	Job_Empl	

ادامه جدول ۴.

گزینه	متغیر	ضریب	P-value (t-value)
موتور	Constant	-۱,۰۲۳۶۸	۰,۰۳۶۴ (-۲,۰۰۹)
	Adres_2	۰,۴۴۵۰۴	۰,۰۹۱۷ (۱,۶۹)
	Age >= ۳۵	-۱,۵۸۹۴۶	۰,۰۰۰۰ (-۵,۵۷)
	NoOther_Trp	۰,۵۴۹۳۰	۰,۰۸۱۹ (۱,۷۴)
	Job_Empl	-۱,۳۶۹۱۸	۰,۰۰۸۱ (-۲,۶۵)
	Resid_Eo	۱,۲۶۹۹۹	۰,۰۰۰۰ (۴,۶۲)
تاکسی	Edu < BS	۱,۰۷۶۰۷	۰,۰۰۴۷ (۲,۸۳)
	Constant	۱,۴۸۵۶۸	۰,۰۰۰۰ (۵,۰۲)
	Edu > BS	۱,۳۳۰۵۲	۰,۰۰۰۰ (۶,۱۰)
	Park_Cost	۰,۲۰۴۵۵	۰,۰۰۰۴ (۲,۸۸)
	Bus_Poss	۰,۴۹۳۹۲	۰,۰۰۰۴ (۲,۸۷)
	Male	-۰,۹۸۳۲۸	۰,۰۰۰۱ (-۳,۸۴)
Inclusive Value Parameter	خودروی شخصی در ساعات مشمول عوارض (خودروی شخصی بین ۶:۳۰ تا ۹ صبح و بعد از ساعت ۹ صبح) سایر گزینه‌ها (۶ گزینه)	۰,۵۳۰۹۳	۰,۰۰۰۰ (۴,۶۵)
		۰,۸۴۱۹۹	۰,۰۰۰۰ (۴,۲۲)
شاخص‌های برازش مدل	Log-Likelihood at Convergence	-۱۹۸۲,۱۷	
	Log-Likelihood at Zero	-۲۷۴۳,۸۹	
	McFadden Pseudo R-squared	۰,۲۸	

جدول ۵. اثر حاشیه‌یی اعمال سیاست‌های پیشنهادی به صورت مستقل، در انتخاب «گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۶:۳۰ تا ۹ صبح».

متغیر	کاهش سهم خودروی شخصی		
	سطح متغیر	بین ساعات ۳:۰ تا ۶:۰ صبح	
	مطلق	نسبی (%)	
دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰ تا ۶:۰ صبح	۴ هزار تومان	۰,۱۶۲	۳۰,۰
	۸ هزار تومان	۰,۳۷۱	۶۸,۶
	۱۲ هزار تومان	۰,۴۰۸	۷۵,۶
فاصله ایستگاه اتوبوس تا محل کار	۸ دقیقه	۰,۰۱۲	۲,۱
	۳ دقیقه	۰,۰۲۷	۵,۰
کاهش زمان سفر اتوبوس	٪۱۵	۰,۰۲۹	۵,۳
	٪۳۰	۰,۰۳۹	۷,۳

ساعات ۳:۰ تا ۶:۰ صبح فقط ۰,۰۰۴ (۰/۰۰۴ = ۰/۴۲ - ۰/۴۲۴) کاهش می‌یابد که نشان دهنده‌ی کارایی پایین ترکیب دو سیاست ذکر شده است.

۴. سومین بسته‌ی سیاستی اثرگذار در کاهش استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰ تا ۶:۰ صبح، دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰ تا ۶:۰ صبح و قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح است. با مقایسه‌ی میزان تأثیرگذاری سیاست دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰ تا ۶:۰ صبح به صورت مستقل (جدول ۵) و میزان تأثیرگذاری این سیاست هنگامی که سیاست قرار دادن تخفیف

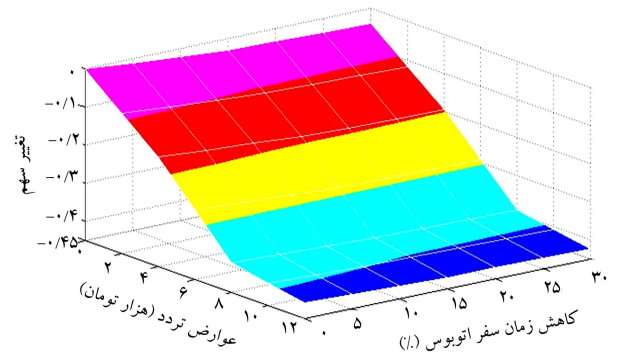
نمونه، در صورتی که سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس تا محل کار در سطح ۳۰٪ و سیاست دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰ تا ۶:۰ صبح در سطح ۱۲ هزار تومان باشد، اعمال این سیاست‌ها با ۴/۴٪ هم‌کاهندگی همراه است. در شکل ۲، با در نظر گرفتن شیب رویه در سطوح مشخصی از قیمت عوارض، مشاهده می‌شود که میزان تأثیرگذاری سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس، با افزایش میزان عوارض تردد کاهش می‌یابد؛ با توجه به جدول ۶ نیز ملاحظه می‌شود در صورتی که عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰ تا ۶:۰ صبح برابر با ۱۲ هزار تومان باشد، با تغییر در سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس از ۱۵٪ به ۳۰٪، سهم گزینه‌ی خودروی شخصی بین

جدول ۶. اثر حاشیه‌ی اعمال سیاست‌های پیشنهادی به‌صورت ترکیبی، در انتخاب «گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح».

متغیر	سطوح متغیر	کاهش سهم خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح	
		مطلق	نسبی (%)
%۱۵ کاهش زمان سفر اتوبوس و عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۸۸	۳۴/۹
	۸ هزار تومان	۰/۳۸۵	۷۱/۴
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۲۰	۷۷/۸
%۳۰ کاهش زمان سفر اتوبوس و عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۹۷	۳۶/۶
	۸ هزار تومان	۰/۳۹۰	۷۲/۲
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۲۴	۷۸/۵
فاصله‌ی ایستگاه تا محل کار ۸ دقیقه و عوارض بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۷۳	۳۹/۹
	۸ هزار تومان	۰/۳۷۷	۶۹/۷
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۱۳	۷۶/۴
فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار ۳ دقیقه و عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۸۷	۳۴/۵
	۸ هزار تومان	۰/۳۸۴	۷۱/۲
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۸۹	۹۰/۶
%۲۵ تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح و عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۶۸	۳۱/۰
	۸ هزار تومان	۰/۳۷۹	۷۰/۳
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۱۷	۷۷/۹
%۵۰ تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح و عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح	۴ هزار تومان	۰/۱۷۴	۳۲/۳
	۸ هزار تومان	۰/۳۹۰	۷۲/۳
	۱۲ هزار تومان	۰/۴۲۹	۷۹/۵
%۱۵ کاهش زمان سفر اتوبوس و فاصله‌ی ایستگاه تا محل کار	۸ دقیقه	۰/۰۴۴	۸/۱
	۳ دقیقه	۰/۰۶۳	۱۱/۶
%۳۰ کاهش زمان سفر اتوبوس و فاصله‌ی ایستگاه تا محل کار	۸ دقیقه	۰/۱۱۳	۲۱/۰
	۳ دقیقه	۰/۱۴۸	۲۷/۴

برای تردد بعد از ساعت ۹ نیز در کنار آن اعمال شود (جدول ۶)، مشاهده می‌شود اعمال سیاست قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹، در بیشترین حالت می‌تواند احتمال استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح را $(\frac{79}{5} - \frac{75}{6} = \frac{3}{9})$ کاهش دهد که مربوط به سطوح ۱۲ هزار تومان و 5% است. اندک بودن تأثیر سیاست قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹، می‌تواند ناشی از الزام‌آور بودن نسبی زمان رسیدن به مقصد در سفرهای شغلی باشد.

۵. آخرین بسته‌ی سیاستی اثرگذار در کاهش استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح، اعمال هم‌زمان سیاست‌های تشویقی بهبود سیستم اتوبوس‌رانی است. اعمال این بسته‌ی سیاستی در بالاترین سطوح آن (کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار به ۳ دقیقه و 30% کاهش در زمان سفر اتوبوس‌ها)، می‌تواند سهم گزینه‌ی خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح را $27/4\%$ کاهش دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر بسته‌ی



شکل ۲. تأثیر ترکیبی سیاست‌های دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳:۰۶ صبح و کاهش زمان سفر اتوبوس، در کاهش سهم خودروی شخصی بین ساعات ۳:۰۶ تا ۹ صبح.

ایستگاه اتوبوس تا محل کار بوده است. بررسی اثرات ترکیبی سیاست‌ها نیز نشان داد که اثرگذارترین بسته‌ی سیاستی در کاهش استفاده از خودروی شخصی بین ساعات ۳۰: ۶ تا ۹ صبح، دریافت عوارض تردد با نرخ ۱۲ هزار تومان بعد از ساعت ۳۰: ۶ صبح و کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار به ۳ دقیقه است که موجب می‌شود احتمال انتخاب گزینه‌ی خودروی شخصی در ساعات ۳۰: ۶ تا ۹ صبح، حدود ۰/۴۹ کاهش پیدا کند و در سطوح ذکر شده، اعمال هم‌زمان دو سیاست مذکور حدود ۱۰٪ هم‌افزایی ایجاد می‌کند. همچنین، مشاهده شد که استفاده از سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس در کنار سیاست دریافت عوارض تردد بعد از ساعت ۳۰: ۶ صبح، کارایی کمی دارد.

انتخاب بیان شده‌ی رانندگان خودروی شخصی مبنی بر تغییر وسیله‌ی سفر، با فرض عدم تغییر سایر عوامل مؤثر در مطلوبیت گزینه‌ها بوده است. بنابراین، با افزودن تأثیر ازدحام داخل وسایل حمل و نقل همگانی و همچنین تغییرات زمان سفر خودروی شخصی در تابع مطلوبیت گزینه‌های مرتبط، علاوه بر امکان پیش‌بینی دقیق‌تر اثرات احتمالی هر یک از سیاست‌ها، می‌توان ارزش زمان سفر با خودروی شخصی را نیز برآورد کرد. یکی از دلایل عمده‌ی که در پژوهش حاضر، گزینه‌ی پارک - سوار مورد استقبال پاسخ‌دهندگان واقع نشد (با سهمی کمتر از ۱/۵٪ در انتخاب‌های افراد)، نبود مکان‌های امن و ارزان برای پارک خودرو در خارج از محدوده‌ی زوج - فرد بوده است. اضافه کردن سیاست ایجاد پارک - سوار در خارج از محدوده‌ی زوج - فرد، یکی دیگر از توسعه‌هایی است که می‌توان برای پژوهش حاضر در نظر گرفت. همچنین در پژوهش حاضر مشاهده شد که قراردادن تخفیف برای عوارض بعد از ساعت ۹، تأثیر قابل ملاحظه‌ی در کاهش احتمال انتخاب خودروی شخصی بین ساعات ۳۰: ۶ تا ۹ صبح ندارد؛ که احتمالاً ناشی از الزام‌آور بودن نسبی زمان رسیدن به مقصد در سفرهای شغلی است. از این رو، بررسی تأثیر سیاست‌های استفاده شده در مطالعه‌ی حاضر برای سفرهای غیراجباری (مانند سفرهای خرید یا تفریح) می‌تواند توسعه‌ی دیگری برای پژوهش حاضر باشد.

سیاستی ذکر شده بسیار کمتر از بسته‌های سیاستی قبلی است که این امر ناشی از نبود سیاست دریافت عوارض تردد در بسته‌ی مذکور است. ضمناً، با مقایسه‌ی جدول‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که سیاست‌های این بسته با یکدیگر هم‌افزایی دارند (۱۵/۱٪ هم‌افزایی در سطوح ۳٪ و ۳ دقیقه).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به کمبود پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی اثرسنجی بسته‌های سیاستی مدیریت تقاضای حمل و نقل در شهر تهران، در پژوهش حاضر سیاست قیمت‌گذاری تراکم با عوارض متغیر نسبت به وقت از روز، به‌عنوان سیاست مدیریتی دفعی در کنار سیاست‌های تشویقی بهبود سیستم اتوبوس‌رانی (از طریق اعمال دو سیاست کاهش زمان سفر با اتوبوس و کاهش فاصله‌ی ایستگاه اتوبوس تا محل کار)، مطالعه شده است. جهت بررسی تأثیر متغیر بودن عوارض نسبت به وقت از روز در تحلیل‌ها، از سیاست «قرار دادن تخفیف برای تردد بعد از ساعت ۹ صبح» استفاده و سیاست‌های یاد شده به‌عنوان جایگزین برای طرح زوج - فرد شهر تهران در نظر گرفته شد.

براساس پرسش‌نامه‌ی تهیه شده با استفاده از روش رجحان بیان شده و مصاحبه با ۲۳۱ نفر از شاغلان محدوده‌ی زوج - فرد، مدل لوجیت آشیانه‌ی انتخاب شیوه‌ی سفر ساخته شد. با محاسبه‌ی اثرات حاشیه‌ی سیاست‌های پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی سناریوهای مرتبط، اثرات مستقل و ترکیبی سیاست‌های مورد نظر در تغییر سهم گزینه‌ی خودروی شخصی در ساعات اوج صبح (در پژوهش حاضر، ساعت ۳۰: ۶ تا ۹ صبح) ارزیابی شد. بررسی اثرات مستقل سیاست‌ها نشان داد که سیاست قیمت‌گذاری تراکم بعد از ساعت ۳۰: ۶ صبح، تأثیرگذارترین سیاست در کاهش سهم گزینه‌ی خودروی شخصی در بازه‌ی زمانی ۳۰: ۶ تا ۹ صبح است. همچنین، تأثیر سیاست کاهش زمان سفر اتوبوس، تقریباً ۲٪ سیاست کاهش فاصله‌ی

پانویس‌ها

1. traffic congestion
2. Texas transportation institute
۳. میزان تأخیر از مقایسه‌ی زمان سفر با زمان سفر در حالت جریان آزاد به‌دست آمده است.
4. transportation demand management
5. congestion pricing
6. revealed preference
7. stated preference
8. nested logit model
9. dynamic pricing
10. static pricing
11. probit, tobit, regression, multinomial logit (MNL), mixed multinomial logit (MMNL)
12. value of travel time saving (VTTs), often abbreviated as value of time (VOT)
13. travel time variability
14. categorical data

15. full information maximum likelihood (FIML)

منابع (References)

1. Larson, R.C. and Sasanuma, K. "Urban vehicle congestion pricing: A review", *J. Ind. Syst. Eng.*, **3**(4), pp. 227-242 (2010).
2. Clegg, R.G. and Clune, A.J. "MUSIC project: Urban traffic control for traffic demand management", *Transp. Res. Rec.*, **1682**, pp. 55-61 (1999).
3. Rotaris, L., Danielis, R., Marcucci, E. and Massiani, J. "The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy: description, impacts and preliminary cost-benefit analysis assessment", *Transp. Res. Part Policy Pract.*, **44**(5), pp. 359-375 (2010).
4. Li, Z. and Hensher, D.A. "Congestion charging and car use: A review of stated preference and opinion stud-

- ies and market monitoring evidence”, *Transp. Policy*, **20**(C), pp. 47-61 (2012).
5. Dong, J., Mahmassani, H. S., Erdogan, S. and Lu, C.-C. “State-dependent pricing for real-time freeway management: Anticipatory versus reactive strategies”, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, **19**(4), pp. 64-657 (2011).
 6. Fu, L. and Kulkarni, R. “Model-based dynamic pricing algorithm for managed lanes”, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, **2333**, pp. 74-79 (2013).
 7. Jang, K., Chung, K. and Yeo, H. “A dynamic pricing strategy for high occupancy toll lanes”, *Transp. Res. Part Policy Pract.*, **67**(1), pp. 69-80, (2014).
 8. Friesz, T.L., Han, K. Liu, H. and Yao, T. “Dynamic congestion and tolls with mobile source emission”, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, **80**, pp. 818-836, (2013).
 9. Ma, R., Ban, X. (Jeff) and Szeto, W.Y. “Emission modeling and pricing in dynamic traffic networks”, *Transp. Res. Procedia*, **9**, pp. 106-129 (2015).
 10. Poorzahedy, H., AghaBabazadeh, B. and Babazadeh, A. “Dynamic network pricing to contain urban air pollution in stochastic environment”, *Sci. Iran., Transaction A, Civil Engineering* **23**(5), pp. 2005-2022 (2016).
 11. Verhoef, E., Nijkamp, P. and Rietveld, P. “The social feasibility of road pricing: a case study for the Randstad area”, *J. Transp. Econ. Policy*, **31**, pp. 255-276 (1997).
 12. Ubbels B. and Verhoef, E. “Behavioral responses to road pricing: Empirical results from a survey of Dutch car owners”, *Transp. Res. Rec.*, **1960**(1), pp. 159-166 (2006).
 13. Hu, S. and Saleh, W. “Impacts of congestion charging on shopping trips in edinburgh”, *Transp. Policy*, **12**(5), pp. 443-450 (2005).
 14. O’Fallon, C., Sullivan, C. and Hensher, D.A. “Constraints affecting mode choices by morning car commuters”, *Transp. Policy*, **11**(1), pp. 17-29 (2004).
 15. Salek-Moghaddam, S. “Applying stated preference data in calibrating of a mode choice model for Tehran pricing zone”, Master Thesis in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, at Sharif University of Technology, Tehran, Iran (2003).
 16. Habibian, M. and Kermanshah, M. “Exploring the role of transportation demand management policies’ interactions”, *Scientia Iranica*, **18**(5), pp. 1037-1044 (2011).
 17. n-Veras, J. and Allen, B. “Time of day pricing and its multi-dimensional impacts: A stated preference analysis”, *Transp. Res. Part Policy Pract.*, **55**, pp. 12-26 (2013).
 18. Tillema, T., van Wee, B. and Ettema, D. “Road pricing and relocation decisions of Dutch households”, *Urban Stud.*, **47**(14), pp. 3013-3033 (2010).
 19. Agrawal, A.W. and Nixon, H.K. “What do Americans state university think about federal transportation tax options? Results from year 2 of a national survey”, Mineta Transp. Inst., College of Business, San Jos (2011).
 20. Tseng, Y.-Y. and Verhoef, E.T. “Value of time by time of day: A stated-preference study”, *Transp. Res. Part B Methodol.*, **42**(7-8), pp. 607-618 (2008).
 21. Tseng, Y.-Y., Ubbels, B. and Verhoef, E.T. “Value of time, schedule delay and reliability - estimates based on choice behaviour of Dutch commuters facing congestion”, Presented at the 45th ERSA Congress, VU University, Amsterdam (2005).
 22. Hensher, D.A., Rose, J.M. and Greene, W.H. “Applied choice analysis: A primer”, Cambridge University Press (2005).
 23. Louviere, J.J., Hensher, D.A. and Swait, J.D. “Stated choice methods: Analysis and application”, Cambridge University Press, UK (2000).
 24. Kuhfeld, W.F., *Marketing Research Methods in SAS: Experimental Design, Choice, Conjoint, and Graphical Techniques*, SAS-9.2 Edition. NC, USA: SAS Institute Inc., Cary (2009).
 25. Fowri, H.R. “Investigating the role of congestion pricing and transit development, in users’ mode choice behavior”, Master Thesis in Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, at Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (2013).
 26. Municipality of Tehran, [http:// atlas. tehran. ir/ Default. asp x? tabid=272](http://atlas.tehran.ir/Default.aspx?tabid=272) Tehran Census (2006). Accessed on (5 January 2014).
 27. TCTTS, “Tehran household origin-destination survey”, Report 907, Tehran (2008).