ساخت و پرداخت مدل‌های لوجیت دوگانه تغییر مسیر رانندگان در سفرهای دانشگاهی، به تفکیک هدف سفر: مطالعهٔ موردی شهر تهران

محمود صفارزاده (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران و
رییس پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران
سینا فامیلی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علی برزگر ملایوسفی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده:

یکی از مهم ترین مباحث در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، بررسی رفتار سفر در سطح غیر همفزون است. بررسی رفتار انتخاب-تغییر مسیر رانندگان یکی از مباحث تحلیل رفتار سفر است که کاربردهای مهمی در تخصیص ترافیک، سیستم‌های هدایت مسیر، طراحی سیستم‌های اطلاع‌رسانی مسافر و شبکه دارد. در این مقاله، عوامل اصلی موثر بر تغییر مسیر رانندگان در سفرهای دانشگاهی در شهر تهران به تفکیک هدف سفر (کاری، تحصیلی) بررسی شده اند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، ۵۲۸ پرسشنامهٔ جمع‌آوری شده از اعضای هیئت‌علمی، کارمندان و دانشجویان ۹ دانشگاه-دانشکده در تهران است که از خودروی شخصی به منظور سفر به دانشگاه استفاده می‌کنند. به این منظور مدل‌های لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر رانندگان با هدف سفر تحصیلی (دانشجویان) و هدف سفر کاری (اعضای هیئت‌علمی و کارمندان) پرداخت شدند. نتایج مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که در مدل با هدف سفر تحصیلی، میزان تمایل به تغییر مسیر با افزایش سن افزایش یافته و سه متغیر NAR (تعداد مسیر جایگزین مسیر همیشگی)، NDH (تعداد ساعت رانندگی در روز) و NSI (تعداد تقاطعها چراغدار در مسیر)، نسبت به سایر متغیرهای بکاررفته در مدل، از نظر اهمیت آماری، معناداری بیشتری دارند. در مدل با هدف سفر کاری، مردان تمایل بیشتری به تغییر مسیر نسبت به بانوان دارند و در ضمن متغیر RS (ایمنی مسیر) با علامت منفی معنادار شده است و بیانگر این مطلب است که با افزایش ایمنی یعنی با کاهش امکان برخوردها و تصادفات، تمایل به تغییر مسیر کمتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر مسیر، انتخاب مسیر، سفرهای دانشگاهی، مدل لوجیت

۱. مقدمه

مسئلهٔ انتخاب مسیر به مفهوم انتخاب یک مسیر به منظور سفر از مبدأ به مقصد مشخص، با استفاده از یک وسیلهٔ حمل‌ونقلی معلوم در یک شبکهٔ حمل‌ونقل است. تغییر مسیر، یک مسئلهٔ بسیار مهم در رفتار انتخاب مسیر است. برای دهه‌های متوالی مهندسین حمل‌ونقل تلاش کرده‌اند تا با بررسی سفرهای افراد، رفتار انتخاب مسیرآنها را دریابند. هر یک از تصمیمات رانندگان، در نهایت بر سیستم ترافیک اثر می‌گذارد. در نتیجه، رفتارهای ترافیکی رانندگان مختلف، در مرکز پیش‌بینی‌های توصیفی ترافیک قرار می‌گیرند. از آن جا که یک مدل جهانی واحد و پذیرفته‌شده که قادر به پیش‌بینی رفتار تصادفیِ انتخاب و یا تغییر مسیرِ سفرکننده باشد وجود ندارد، پژوهشگران مختلف در سراسر جهان سعی کرده‌اند فاصله تا با ساختن مدل‌های احتمالی یا نامعین، به تحلیل این نوع از رفتار انسان بپردازند.

تحلیل رفتار انسان به عنوان کاربر سیستم حمل‌ونقل در انتخاب و یا تغییر مسیر از چند جهت ضروری است. اولاً، این تحلیل به عنوان ابزاری مفید برای ساختن مدل‌های تخصیص ترافیک کمک می‌کند که با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود، ترافیک شبکهٔ شهری را با کارآمدترین روش موجود هدایت کرد. ثانیاً این تحلیل در ارزیابی نحوهٔ بهره‌برداری از زیرساخت‌های موجود و برآورد مقدار نیاز به زیرساخت‌های حمل‌ونقلی بیشتر مفید است. همچنین تحلیل انتخاب مسیر به عنوان بعد مهمی از سفر، کاربردهای مهمی در طراحی بهینهٔ شبکه و سیستم‌های اطلاع‌رسانی مسافر دارد [Zhang, 2011].

نیاز به مدلهای انتخاب مسیر به منظور تعیین مسیر افراد بین مناطق مختلف، به دههٔ ۱۹۵۰ و اوایل دههٔ ۱۹۶۰ پس از ساخت بزرگراههای اصلی شهرهای آمریکا بر می‌گردد. پژوهشگران انتخاب مسیر در آن زمان روی این بحث ساده متمرکز بودند که چه تعداد از رانندگان از مسیرهای موجود به مسیرهای تازه ساخته‌شده منتقل می‌شوند. مدلهای تغییر مسیر از اولین این مدلها بودند که درصد انحراف حجم وسایل نقلیه از مسیرهای موجود به مسیرهای جدید را با توجه به نسبت کاهش زمان سفر بین دو مسیر مشخص می‌کردند [Behbahani & Haghighi, 2010].

به طور کلی رانندگان در زمان انتخاب و یا تغییر مسیر از معیارهای متعددی استفاده می‌کنند. بر اساس [Chen et al. 2001] این معیارها شامل هزینهٔ سفر، زمان سفر و قابلیت اطمینان آن، ایمنی ترافیک، راحتی ترافیک، ویژگی‌های راه، عرضهٔ اطلاعات، عادات و تجربهٔ رانندگان، محدودیت‌های ادراکی، ویژگیهای اجتماعی–اقتصادی رانندگان و سایر ملاحظات رفتاری است. اما به هر حال، در نظر گرفتن همهٔ این معیارها برای راننده در زمان انتخاب و یا تغییر مسیر، امری ناممکن است. از نظر [Pal, 2004] عوامل موثر بر انتخاب مسیر به سه دستهٔ کلی زیر تقسیم می‌شوند:

۱– ویژگیهای راننده

۲– ویژگیهای مسیر

۳– ویژگیهای سفر

البته هر یک از این عوامل شامل چندین متغیر است که در مطالعهٔ [Pal, 2004] آمده است.

بر اساس [Khattak et al. 1993]، رفتار تغییر مسیر رانندگان با توجه به ویژگیهای رانندگان و ویژگیهای سفرِ در زمان انتخاب مسیر، تغییر میکند. همچنین، نتایج تحقیقات [Khattak et al. 1995] و [Jou et al. 2005] نشان می‌دهد که مردان و رانندگان ثروتمندتر، در زمان متراکم‌بودن شبکه، تمایل بیشتری برای تغییر از مسیر همیشگی‌خود نسبت به سایر انواع رانندگان دارند، در حالی که رانندگان مسن‌تر به علت اثرات عادت و گریز از ریسک، کمترین تمایل را برای تغییر مسیر نشان می‌دهند. به هر حال در مطالعهٔ [Mahmassani et al. 2000] نشان داده شد که متغیرهایی مانند جنسیت، سن (بالاتر از ۴۰ سال)، میزان تحصیلات (حداقل مدرک پیشدانشگاهی)، و درآمد بالا (بیشتر از

۵۰۰۰۰ دلار) در توضیح تغییر مسیر دارای اهمیت آماری نیستند. از نظر [Papinski et al. 2009] مهم ترین هدف در تغییر مسیر رانندگان در سفرهای کاری، حداقل کردن زمان سفر است. همچنین، حداقل‌کردن مسافت سفر، تراکم، تعداد علائم توقف، تعداد چراغهای راهنمایی رانندگی و حداکثر کردن طول مستقیم مسیر (یا همان حداقل‌کردن میزان پیچ و خم مسیر)، به ترتیب در اولویتهای بعدی رانندگان هستند. در پژوهش انجام شده توسط [Spissu et al. 2011] به بررسی اثر هدف سفر بر رفتار تغییر مسیر رانندگان پرداخته شد. با توجه به نتایج این مطالعه، تغییر مسیر یک فرد مشخص در بین یک مبدأ- مقصد یکسان، بیشتر در سفرهای اختیاری (خرید، تفریح، امور شخصی) وجود دارند تا در سفرهای اجباری (کاری، تحصیلی). حال آنکه در سفرهای اجباری در بین یک مبدأ–مقصد یکسان، افراد مختلف از مسیرهای متفاوت استفاده می‌کنند.

بعضی از پژوهشگران به بررسی رفتار انتخاب–تغییر مسیر رانندگان نسبت به اطلاعات داده شده توسط سیستم‌های اطلاع‌رسانی پرداختند. مثلاً بر اساس نتایج مدل پروبیت ساخته شده توسط [Jou, 2001] که به بررسی اثر اطلاعات قبل از سفر بر زمان خروج و انتخاب مسیر رانندگان با هدف سفر کاری و تحصیلی پرداخت:

* مردان و رانندگان جوان‌تر، تمایل بیشتری نسبت به سایر انواع رانندگان برای تغییر مسیر و زمان خروج دارند.

* در صورتی که زمان واقعی ورود افراد به محل کار، به مقدار قابل توجهی زودتر و یا دیرتر از زمان شروع کار آنها باشد، احتمال تغییر مسیر و زمان خروج از منزل آنها بیشتر می‌شود.

* میزان تغییر مسیر و زمان خروج در بین راننده‌هایی که به اطلاعات قبل از سفر دسترسی دارند، بیشتر از همین میزان در بین آنهایی است که به اطلاعات قبل از سفر دسترسی ندارند.

* در هر دو حالت دسترسی و عدم دسترسی به اطلاعات قبل از سفر، راندهای که تغییر مسیر میدهد، به احتمال زیاد، تغییر زمان خروج هم میدهد اما عکس آن درست ناست.

با توجه به نتایج مدل رگرسیون لوجیت ساخته شده توسط [Chatterjee et al., 2002] محل وقوع حادثه (تصادف یا تعمیرات جاده‌ای) و محتوای پیام تابلوهای پیام متغیر[1] مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تغییر مسیر رانندگان است. نتایج مدل لوجیت [Cho & Kim, 2007]، که به بررسی رفتار تغییر مسیر رانندگان نسبت به ترکیب سیستم‌های اطلاع‌رسانی در ترافیک و سیستم‌های پرداخت هزینه پرداختند، نشان می‌دهد که تغییر مسیر رانندگان عمدتاً متأثر از طول تأخیر طبیعی، تأخیر اضافی نشان داده شده توسط تابلوهای پیام متغیر و هزینه‌های پرداختی کاربر است.

در مطالعهٔ [Xue et al., 2010] با پرسشگری از نوع رجحان نشان داده شده[2] از ۲۴۷ راننده در سه پمپ بنزین در شهر نانجینگ در چین، به مطالعهٔ اثر اطلاعات سفر بر رفتار انتخاب مسیر رانندگان در زمان خروج‌های مختلف (۷:۰۰–۶:۴۵ و ۷:۱۵–۷:۰۰) پرداخته شد. با داشتن اطلاعات جمعیت‌شناختی همچون جنسیت، سن، سابقهٔ رانندگی و مدت زمان کار در این شهر، به ساخت مدل لوجیت چندگانه پرداختند و به نتایج زیر رسیدند:

* رانندگان جوانتر نسبت به رانندگان مسنتر، به علت صبر و تحمل کمتر، اطلاعات سفر را سریعاً پذیرفته و تغییر مسیر می‌دهند.

* با افزایش میزان سابقهٔ رانندگی، به علت آشنایی بیشتر رانندگان با شبکهٔ راهها، احتمال تغییر مسیر آنها در پاسخ به اطلاعات سفر، افزایش می‌یابد.

* مردان نسبت به زنان، تمایل بیشتری به تغییر مسیر نسبت به اطلاعات سفر دارند.

در مطالعهٔ [Schalich, 2010]، با بررسی رفتار انتخاب و تغییر مسیر رانندگان برون‌شهری در پاسخ به اطلاعات VMSو با کمک سیستم مکانیابی جهانی[3] در بین شهرهای اشتوتگارت،

کارلسروهه، هیلبرون و والدروف آلمان با رویکرد رجحان نشان داده شده، مشاهده شد که رانندگان سواری و کامیون رفتار تقریباً مشابهی در انتخاب و تغییر مسیر دارند. به هر حال رانندگان کامیون بدون توجه به اطلاعات VMS مسیرهای کوتاه تر را انتخاب کرده، حال آنکه رانندگان سواری در پاسخ به اطلاعات در حال تغییر تابلوهای پیام متغیر، واکنش نشان می‌دهند.

[Gan, 2011] با جمع‌آوری ۲۲۸ پرسشنامهٔ از نوع رجحان بیان شده[4] از رانندگان اتومبیل شخصی در پارکینگ یکی از مراکز بزرگ خرید در شانگهای چین به بررسی رفتار انتخاب مسیر رانندگان نسبت به تابلوهای پیام متغیری که در سطح خیابان نصب‌شده[5] و زمان سفر آزادراه‌های شهری و خیابان‌های محلی را نشان می‌دهند، می‌پردازد.

دو مسیر موجود، آزادراه و خیابان اصلی بوده که در ۸ سناریوی فرضی موجود در پرسشنامه، زمان سفر، تعداد چراغ و علت تأخیر در هر کدام از این دو، در برابر رانندگان قرار داده شد. سپس با کمک مدلسازی از نوع لوجیت دوتایی، نتایج مهم زیر در پاسخ به اطلاعات S-VMS به دست آمد:

* با افزایش تأخیر در آزادراه، احتمال انتخاب خیابان محلی بیشتر میشود.
* احتمال انتخاب خیابان اصلی توسط رانندگان زن و جوان، بسیار کم است.
* افزایش تعداد چراغهای خیابان اصلی، باعث کاهش احتمال انتخاب آن میشود.
* احتمال انتخاب خیابان اصلی نسبت به آزادراه توسط رانندگان با سابقهٔ رانندگی بیشتر، زیادتر است.

بعضی دیگر از پژوهشگران، نقش آشنایی، تجربه و عادت در رفتار انتخاب–کیفیت مسیر را مورد بررسی قرار داده‌اند. مثلاً [Khattak et al. 1996; Kim & Vandebona, 2002] نشان دادند که رانندگانی که با مسیرهای جایگزین آشنا نیستند، تمایلی به تغییر مسیر ندارند. در مطالعه‌ای دیگر، [Van Berkum & Van Der Mede, 1993] با شامل کردن مولفهٔ عادت در مدل انتخاب مسیر، نشان دادند که انتخاب مسیر عموماً بر اساس پارامتر آشنایی با مسیر بوده، اگرچه اطلاعات ترافیکی می‌تواند نقش مهمی در شکستن این الگو داشته باشد.

[Ben-Elia & Shiftan, 2010] به منظور بررسی رفتار انتخاب مسیر تحت اطلاعات، یک مدل بر پایهٔ یادگیری ارایه کردند. در یک محیط آزمایشگاهی کنترل‌شده، از شرکت‌کنندگان خواسته شد که با تکیه بر اطلاعات زمان واقعی و یادگیری از تجربیات شخصی خود، مجموعه‌ای از انتخاب مسیرهای دوتایی را انجام دهند.

بر اساس داده‌های به دست‌آمده، یک مدل لوجیت ترکیبی ساخته شد. بر اساس نتایج مدل:

* اطلاعات و تجربه، اثر توأمان بر رفتار انتخاب مسیر دارند.
* شرکت‌کنندگانی که دارای اطلاعات هستند، نرخ یادگیری سریع‌تری داشته و تمایل به تصمیم‌گیری بر اساس به‌خاطر سپردن نتایج گذشته دارند. در مقابل، شرکت‌کنندگانی که دسترسی به اطلاعات ندارند، در یادگیری کندتر بوده و به شناسایی بیشتری در مسیرها نیاز داشته و اغلب بر نتایج تجربیات اخیر خود در زمینهٔ انتخاب مسیر، متکی هستند.
* رانندگان مطلع نسبت به رانندگان غیر حساس‌تر مطلع ریسک‌پذیرتر بوده و در برابر تغییرات زمان سفر، حساستر هستند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۲ مدل لوجیت دوگانه

پیش‌بینی وقوع تغییر مسیر را می‌توان به صورت یک رخداد دوتایی تعریف کرد. مدل‌های لوجیت یکی از روش‌های پیش‌بینی رخدادهای گسسته (در اینجا وقوع یا عدم وقوع تغییر مسیر) است و هدف از آن شناسایی متغیرهای توصیفی و رابطه آنها با وقوع

رخداد و درنهایت تخمینی از احتمال وقوع یک رخداد برای فرد خاص است.

فرض می‌شود که T_{in} تابعی خطی از ویژگی‌های متغیرهای فرد n است که مرتبط با احتمال وقوع رخداد i است. در این‌صورت بر اساس رابطهٔ (۱):

$$T_{in} = \beta_i X_{in} + \varepsilon_{in} \quad (۱)$$

که در آن X_{in} برداری از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری فرد n (اعم از ویژگی‌های فردی و رفتار تغییر مسیر)، β_i نیز برداری از ضرایب اندازه‌گیری شده است که با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی[۶] محاسبه می‌شود. ε_{in} نیز نشان‌دهندهٔ قسمت‌های غیرقابل مشاهده از ویژگی‌ها است. مک‌فادن نشان داد که اگر ε_{in} از توزیع گامبل پیروی کند، آنگاه می‌توان احتمال وقوع رخداد i برای فرد n یعنی $P_{(i,n)}$ را با استفاده از مدل لوجیت به صورت فرم بسته رابطهٔ (۲) نمایش داد [McFadden, 1981].

$$P_{(i,n)} = \frac{e^{Tin}}{\Sigma_j e^{Tjn}} \quad (۲)$$

در حالت خاص که تنها دو حالت محتمل برای یک رخداد وجود داشته باشد (فرد تغییر مسیر بدهد یا ندهد)، می‌توان مدل لوجیت را به صورت رابطهٔ (۳) نمایش داد.

$$P_{(i,n)} = \frac{1}{1+e^{-Tin}} \quad (۳)$$

از معیارهای سنجش مدل، ضریب خوبی برازش مطابق رابطهٔ (۴) است که نشان‌دهندهٔ بهبود مدل پرداخت‌شده نسبت به مدل اولیه (با تنها مقدار ثابت) است. این ضریب مقداری بین صفر و یک دارد که هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، مدل، برازش بهتری دارد.

$$\rho^2 = \frac{1-\ln \hat{L}(M_{Full})}{1-\ln \hat{L}(M_{Intercept})} \quad (۴)$$

که در این رابطه $L(M_{Intercept})$ مقدار درست‌نمایی تابع مطلوبیت تنها با ضریب ثابت است و $L(M_{Full})$ مقدار درست‌نمایی تابع مطلوبیتِ پرداخت شده است.

۳. فرآیند پرسشگری

به منظور شناسایی و تحلیل عوامل موثر بر رفتار تغییر مسیر رانندگان در سفر به دانشگاه، به داده‌های آن نیاز بود. از آنجا که بر اساس دانسته‌های نویسندگان، مطالعهٔ مشابهی در کشور و بخصوص در تهران انجام نشده، پرسشنامهٔ رفتار تغییر مسیر با توجه به مطالعات گذشتگان در این زمینه و شرایط بومی تهران طراحی شد. ساختار کلی پرسشنامه در شکل ۱ آمده است.

پس از طراحی پرسشنامه، برای تعیین نظر جامعه دانشگاهی در خصوص میزان تمایل به تغییر مسیر در شرایط خاص، بحث تعداد نمونه آماری مورد نیاز مطرح است. در علم آمار تعداد نمونه لازم برای جمعیت محدود از رابطه ۵ به دست می‌آید .[Cochran, 1977]

$$n = \frac{Z^2 pqN}{d^2(N-1) + Z^2 pq} \quad (۵)$$

که در آن، N حجم جامعهٔ آماری، n، حجم نمونه، Z مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ است، p مقدار نسبت صفت موجود در جامعه است که اگر در اختیار نباشد، میتوان بر اساس [Cochran, 1977] مقدار ۰/۵ را برای آن در نظر گرفت. در این حالت، مقدار واریانس به حداکثر میزان خود می‌رسد، q درصد افرادی که فاقد آن صفت در جامعه هستند (q=1-p) و d مقدار اشتباه مجاز که معمولاً ۰/۰۵ گرفته میشود. در حالتی که حجم جامعهٔ آماری مشخص نباشد، رابطهٔ (۵) به رابطهٔ (۶) تبدیل می‌شود:

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2} \quad (۶)$$

در این مطالعه از آنجایی که حجم جامعهٔ آماری (N) مشخص نیست، از رابطهٔ (۷) استفاده می‌شود. پس تعداد نمونه لازم برای انجام پرسشگری در سطح اطمینان ۹۵ درصد به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$n = \frac{۱/۹۶^۲ \times (۰/۵ \times ۰/۵)}{(۰/۰۵)^۲} = ۳۸۴/۱۶ \simeq ۳۸۴ \quad (۷)$$

بخش الف-

اطلاعات فردی راننده مانند:

- **سن**
- **جنسیت**
- **تحصیلات**

بخش ب-

ویژگی‌های سفرهای روزانه مانند:

- **زمان سفر**
- **تعداد ساعت رانندگی در روز**
- **تعداد مسیرهای جایگزین مسیر همیشگی**

بخش ج-

پرسش در مورد میزان اهمیت هر یک از متغیرهای موثر بر انتخاب مسیر در سفر از منزل به دانشگاه

بخش د-

سوال تغییر مسیر (متغیر وابسته)

- **آیا طی ۳ ماه گذشته، در قبل از سفر و یا در حین سفر از منزل به دانشگاه، تغییر مسیر داده اید؟**

شکل ۱. ساختار کلی پرسشنامهٔ رفتار تغییر مسیر

اما به جهت افزایش دقت مدلسازی و از آنجا که احتمال می‌رفت تعدادی از پرسشنامه‌ها توسط پاسخگویان به صورت کامل تکمیل نشود، تعداد بیشتری پرسشنامه (۶۵۴) عدد تهیه و توزیع شد. جهت آمارگیری دقیق‌تر و صرفه‌جویی در وقت، از روش خودتکمیلی برای تکمیل پرسشنامه‌ها استفاده شد. آمارگیری در ۱۵ روز و در هفته‌های سوم و چهارم خرداد و هفتهٔ اول تیر ۱۳۹۱ از اعضای هیئت‌علمی، کارمندان و دانشجویان دانشگاه‌ها و یا دانشکده‌های زیر صورت گرفت:

- دانشگاه تربیت مدرس
- دانشگاه تهران
- دانشکده مدیریت دانشگاه تهران
- دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه تهران
- دانشکده زبانهای خارجه دانشگاه تهران
- پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
- دانشگاه آزاد واحد دندانپزشکی
- دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات
- دانشگاه آزاد واحد تهران، مرکز مجتمع نیایش

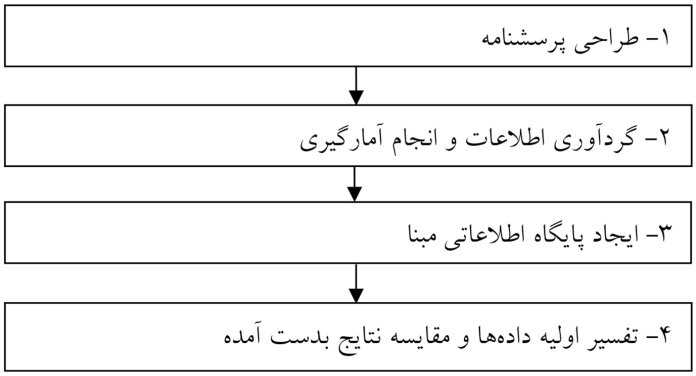
نمونه‌گیری انجام گرفته در این مطالعه از نوع نمونه‌گیری تصادفی ساده بدون جای‌گذاری است، اگر نمونه‌ای بعد از انتخاب به جامعه باز گردانده نشود و این رویه تا انتخاب n امین عضو نمونه ادامه داشته باشد، به نمونه‌گیری تصادفی ساده بدون جای‌گذاری معروف است، در این روش هر یک از اعضای جامعه شانس مساوی برای انتخاب شدن دارند.

از بین ۵۶۰ پرسشنامه پرشده بعد از خروج پرسشنامه‌های معیوب، تعداد ۵۲۸ پرسشنامه کامل و معتبر شناسایی شد و به عنوان پایگاه داده مورد استفاده قرار گرفت.

۴. تحلیل اولیه داده‌ها

در شروع کار لازم بود که یک تحلیل اولیه از داده‌های به دست آمده از پرسشگری به عمل آید، جدول ۱ نتایج کلی تحلیل آمار توصیفی برخی از داده‌های پرسشنامه را نشان می‌دهد.

جنسیت (زن: ۰، مرد: ۱)، تحصیلات (فوق دیپلم و پایین‌تر: ۰، کارشناسی: ۱، کارشناسی ارشد: ۲ و دکترا و بالاتر: ۳)، تعداد ساعت رانندگی در روز (کمتر از یک ساعت: 0، یک تا دو



شکل ۲ روند کلی فرآیند آمارگیری در این مطالعه

ساعت: ۱، دو تا چهار ساعت: ۲، بیشتر از چهار ساعت: ۳)، آشنایی با مسیرهای جایگزین مسیر همیشگی (خیلی کم: ۰، کم: ۱، متوسط: ۲، زیاد: ۳ و خیلی زیاد: ۴) و بالاخره متغیر تعداد روز سفر به دانشگاه که متغیر کمی با مقیاس نسبتی است. جدول ۲ فراونی سفرهای دانشگاهی در نمونهٔ مورد مطالعه را به تفکیک هدف سفر نشان می‌دهد.

۵. مدل‌سازی

۵-۱ مدل لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر در سفرهای دانشگاهی با هدف سفر تحصیلی (دانشجویان)

پس از تهیه پایگاه اطلاعاتی مبنا و تحلیل اولیهٔ داده‌ها نوبت به ساخت مدل لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر رانندگان در سفرهای دانشگاهی می‌رسد تا به این وسیله مهم ترین عوامل موثر بر تغییر مسیر آنها شناسایی شود. مدل لوجیت دوگانه مذکور بر مبنای دو هدف سفر تحصیلی و کاری پرداخت می‌شود.

متغیر وابستهٔ مورد استفاده در مدل‌سازی، وقوع یا عدم وقوع تغییر مسیر است، به این صورت که از پاسخ‌دهندگان پرسیده شد که آیا در طی ۳ ماه گذشته (۳ ماههٔ منتهی به تیر ۹۱) قبل از شروع سفر و یا در حین سفر به دانشگاه، تغییر مسیر داشته اند یا خیر. پس از ساخت مدل‌های متعدد به کمک روش انتخاب پیش‌رو[۷] در نهایت، مدل نهایی و بهینه در جدول ۳ ارایه شده است.

$Pseudo\ R^2$ = شبه ضریب تعیین = ۰/۲۰۲

$LL(C)$ لگاریتم درست‌نمایی مدل با ضریب ثابت = −۲۲۲/۶۸

$LL(\beta)$ لگاریتم درست‌نمایی مدل پرداخت شده = −۱۷۷/۶۵

در سفرهای دانشگاهی میزان تغییر مسیر با افزایش سن، بیشتر می‌شود که حاصل‌شدن ضریب با مقدار مثبت در مدل تغییر

جدول ۱. تحلیل آمار توصیفی داده‌های پرسشنامه رفتار تغییر مسیر

متغیر	فراوانی مطلق	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
جنسیت	۵۲۸	۰	۱	۰/۶۱	۰/۴۹
تحصیلات	۵۲۸	۰	۳	۱/۱۳	۱/۰۵
تعداد ساعت رانندگی در روز	۵۲۴	۰	۳	۱/۱۵	۰/۸۲
آشنایی با مسیرهای جایگزین مسیر همیشگی	۵۲۸	۰	۴	۲/۷۲	۰/۹۸
تعداد روز سفر به دانشگاه در هفته	۵۲۷	۱	۷	۴/۱۷	۱/۴۵

جدول ۲ توزیع فراوانی هدف سفر در نمونه مورد مطالعه

هدف سفر	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (درصد)
کاری	۱۸۲	۳۴/۵
تحصیلی	۳۴۶	۶۵/۵
مجموع	۵۲۸	۱۰۰

جدول ۳. نتایج مدل لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر به‌تفکیک سفرهای دانشگاهی با هدف سفر تحصیلی

نام ضرایب	توضیح متغیر	مقدار ضریب	خطای استاندارد	P[|Z| > z]
Constant	عبارت ثابت	-۴/۳۱۰	۰/۶۹۷	۰/۰۰۰۰
AGE	سن	۰/۱۸۳	۰/۱۰۱	۰/۰۱۰۷۴
NDH	تعداد ساعات رانندگی در روز	۰/۶۲۹	۰/۱۵۸	۰/۰۰۰۱
NAR	تعداد مسیرهای مورد استفاده‌ی جایگزین مسیر همیشگی	۱/۰۸۵	۰/۱۶۰	۰/۰۰۰۰
NSI	تعداد تقاطعها چراغدار در مسیر	۰/۵۸۴	۰/۱۲۴	۰/۰۰۰۰

جدول ۴. نتایج مدل لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر به‌تفکیک سفرهای دانشگاهی با هدف کاری

نام ضرایب	توضیح متغیر	مقدار ضریب	خطای استاندارد	P[|Z| > z]
Constant	عبارت ثابت	-۰/۶۳۵	۰/۲۹۱	۰/۰۲۰۷
GENDER	جنسیت	۰/۸۳۱	۰/۳۶۵	۰/۰۲۲۷
NAR	تعداد مسیر مورد استفاده‌ی جایگزین مسیر همیشگی	۰/۹۹۷	۰/۲۱۰	۰/۰۰۰۰
RS	ایمنی مسیر	-۰/۲۷۴	۰/۱۵۴	۰/۰۷۵۴

مسیر در ۳ ماه مؤید این مطلب است. بر اساس مدل، سه متغیر NAR (تعداد مسیر جایگزین مسیر همیشگی)، NDH (تعداد ساعت رانندگی در روز) و NSI (تعداد تقاطعهای چراغدار در مسیر)، از نظر اهمیت آماری، نسبت به سایر متغیرهای بکاررفته در مدل، بیشترین تأثیر را در تغییر مسیر رانندگان در سفر از منزل به دانشگاه در درازمدت دارا هستند که پایین‌تر بودن p-value آنها نسبت به سایر متغیرهای موثر در مدل و نیز مثبت بودن ضرایب آنها هم این مطلب را نشان می‌دهد. مثلاً با افزایش تعداد مسیرهای جایگزین، احتمال تغییر مسیر بیشتر می‌شود که منطقی به نظر میرسد و یا مثبت بودن ضریب NSI در مدل مذکور نشان می‌دهد که با افزایش تعداد تقاطع‌ها چراغدار در مسیر، احتمال تغییر از آن مسیر به مسیر دیگر زیاد می‌شود.

مثبت بودن ضریب متغیر NDH (تعداد ساعت رانندگی در روز) نشان می‌دهد که جامعهٔ دانشگاهی که در روز کاری به هر دلیل (مسافت زیاد منزل تا دانشگاه، تراکم زیاد معابر شهری، مشغلهٔ کاری و ...)، وقت بیشتری را صرف رانندگی می‌کنند، در سفرهای صبحگاهی خود از منزل به دانشگاه، به احتمال زیاد تغییر مسیر می‌دهند. در مقابل آن افراد دانشگاهی اعم از عضو هیئت علمی، کارمند یا دانشجو که میزان ساعات رانندگی آنها در روز کمتر است، معمولاً ترجیح می‌دهند که برای رفتن به دانشگاه از یک مسیر ثابت که بر اساس ویژگی‌های خود (تجربه، عادت، آشنایی و ...) و معیارهای آن مسیر (مانند زمان سفر) انتخاب کرده‌اند، استفاده کنند.

۵-۲ مدل لوجیت دوگانهٔ تغییر مسیر در سفرهای دانشگاهی با هدف سفر کاری (اعضای هیئت علمی و کارمندان)

با بررسی آماری پرسشنامه‌های تکمیل شده این مطلب استنباط شد که اساتید و کارمندان دانشگاه رفتار سفر نسبتا مشابهی با توجه به متغیرهای گنجانده شده در پرسشنامه در نحوه تغییر

مسیر دارند؛ به علت عدم در دسترس بودن حداقل تعداد نمونه برای پرداخت مدل‌های مجزا، تصمیم نگارندگان بر آن شد که با همفزون سازی، این دو گروه در یک دسته قرار گیرند و پرداخت مدل لوجیت دوگانه با هدف سفر کاری با استفاده از داده‌های مربوط به تجمیع کارمندان و اعضای هیئت علمی دانشگاه انجام شود. پس از ساخت مدل‌های متعدد به کمک روش انتخاب پیش‌رو در نهایت، مدل نهایی و بهینه در جدول۴ ارایه شده است.

Pseudo R^2 شبه ضریب تعیین = ۰/۱۶٤

$LL(C)$ لگاریتم درست‌نمایی مدل با ضریب ثابت = −۱۱۸/٦۱۹

$LL(\beta)$ لگاریتم درست‌نمایی مدل پرداخت شده = −۱۰۰/۲۳۷

پرداخت مدل لوجیت دوگانه نشان داد که در سفرهای دانشگاهی با هدف سفر کاری مردان تمایل بیشتری به تغییر مسیر نسبت به بانوان دارند و این یک امر منطقی است. ضریب مثبت متغیر NAR تعداد مسیر جایگزین مسیرهای همیشگی(نشان می‌دهد هر چه تعداد مسیر جایگزین بیشتر باشد، تمایل به تغییر مسیر نیز افزایش می یابد و این امر به علت تنوع و آزادی عمل بیشتر در انتخاب مسیرهای جایگزین است. متغیر RS (ایمنی مسیر) با علامت منفی معنادار شده است و بیانگر این مطلب است که با افزایش ایمنی یعنی با کاهش امکان برخوردها و تصادفات تمایل به تغییر مسیر کمتر می‌شود.

مقایسه دو مدل پرداخت شده به تفکیک هدف سفر نشان می‌دهد که تنها متغیر NAR (تعداد مسیرهای جایگزین مسیر همیشگی) در دو مدل معنادار بوده و افراد با هدف‌های سفر متفاوت کاری و تحصیلی عوامل مختلفی را برای تغییر مسیر در نظر می‌گیرند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحلیل رفتار انسان، به عنوان کاربر سیستم حمل‌ونقل، در انتخاب مسیر برای ساختن مدل‌های تخصیص ترافیک ضروری است. این تحلیل در ارزیابی نحوهٔ بهره‌برداری از زیرساخت‌های موجود و همچنین تحلیل انتخاب مسیر جهت طراحی بهینهٔ شبکه نیز نقش بسزایی دارد. این پژوهش به بررسی عوامل مختلف موثر بر میزان تمایل کاربران به تغییر مسیر در سفرهای دانشگاهی در محدوده شهر تهران با استفاده از پرسشگری و در قالب یک مدل لوجیت دوگانه و به تفکیک اهداف سفر تحصیلی و کاری پرداخته است. نتایج مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که در مدل با هدف سفر تحصیلی میزان تمایل به تغییر مسیر با افزایش سن افزایش یافته و سه متغیر NAR (تعداد مسیر جایگزین مسیر همیشگی)، NDH (تعداد ساعت رانندگی در روز) و NSI (تعداد تقاطعها چراغدار در مسیر)، نسبت به سایر متغیرهای بکاررفته در مدل از نظر اهمیت آماری معناداری بیشتری دارند. در مدل با هدف سفر کاری، مردان تمایل بیشتری به تغییر مسیر نسبت به بانوان دارند و در ضمن متغیر RS (ایمنی مسیر) با علامت منفی معنادار شده است و بیانگر این مطلب است که با افزایش ایمنی یعنی با کاهش امکان برخوردها و تصادفات، تمایل به تغییر مسیر کمتر می‌شود.

در تحقیقات آینده، می‌توان به جای استفاده از مدل لوجیت دوگانه، از مدل‌های پیشرفته‌تری که قابلیت توضیح‌دهندگی بیشتری داشته باشند، همانند مدل لوجیت آشیانه‌ای[۸] و لوجیت ترکیبی[۹] استفاده کرد. همچنین، بررسی مجزای رفتار تغییر مسیر کارمندان و اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها در قالب مدل‌های مجزا، می‌تواند موضوع مناسبی برای پژوهش‌های آینده باشد.

۷. سپاسگزاری

از آقایان دکتر امیررضا ممدوحی و دکتر سید احسان سید ابریشمی به خاطر رهنمودهای ارزشمندشان قدردانی می شود. همچنین از تمامی دانشگاهیان اعم از اعضای هیئت‌علمی، کارمندان و دانشجویان که با در اختیار گذاشتن وقت گرانبهای خود پرسشنامهٔ این پژوهش را تکمیل کردند، صمیمانه سپاسگذاری می‌شود.

۸. پی نوشتها

1- Variable Message Sign (VMS)
2- Revealed Preference (RP)
3- Global Positioning System (GPS)
4- Stated Preference (SP)
5- Surface Street Variable Message Sign (S-VMS)
6- Maximum Likelihood
7- Forward Selection
8- Nested Logit
9- Mixed Logit

۹. مراجع

- بهبهانی، حمید و حقیقی، فرشیدرضا (۱۳۸۹) "متدولوژی و ارزیابی کاربرد مدل‌های لاجیت در انتخاب مسیر رانندگان"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال اول، شمارهٔ ۳، بهار ۱۳۸۹، ص. ۴۱-۵۴

- Ben-Elia, E.and Shiftan, Y. (2010) "Which road do I take? A learning-based model of route choice behavior with real-time information", Transportation Research Part A, Vol. 44, pp. 249-264.

- Chatterjee, K., Hounsell, N. B., Firmin, P. E. and Bonsall, P. W. (2002) "Driver response to variable message sign information in London", Transportation Research Part C, Vol. 10, pp. 149-169.

- Chen, T. Y., Chang, H. L. and Tzeng, G. H. (2001) "Using a weight-assessing model to identify route choice criteria and information effects", Transportation Research Part A, Vol. 35, pp. 197-224.

- Cho, H. J. and Kim, K. (2007) "Applying stated preference methods to investigate effects of traffic information on route choice", In 1st International Conference on Advances in Hybrid Information Technology, Jeju Island, South Korea, November 9-11.

- Cochran, W. (1977) "Sampling techniques", 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

- Gan, H. C. (2011) "Drivers' route choice response to surface street variable message sign displaying travel time of both urban freeway and local street", In 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 23-27.

- Jou, R. C. (2001) "Modeling the impact of pretrip information on commuter departure time and route choice", Transportation Research Part B, Vol. 35, pp. 887-902.

- Jou, R. C., Lam, S.H, Liu, Y.H. and Chen, K. H. (2005) "Route switching behavior on freeways with the provision of different types of real-time traffic information", Transportation Research Part A, Vol. 39, pp. 445-461.

- Khattak, A., Schofer, J. and Koppelman, F. (1993) "Commuters' en-route diversion and return decisions: Analysis and implications for advanced traveler information systems", Transportation Research Part A, Vol. 24, pp. 101-111.

- Khattak, A., Schofer, J. and Koppelman, F. (1995) "Effect of traffic information on commuters' propensity to change route and departure time", Journal of Advanced Transportation, Vol. 29, No. 2, pp. 193-212.

- Khattak, A., Polydoropoulou, A. and Ben-Akiva, M. (1996) "Modeling revealed and stated pretrip travel

response to advanced traveler information systems", Transportation Research Record 1537, Transportation Research Board, Washington D.C. pp. 46-54.

- Kim, K. and Vandebona, U. (2002) "Understanding route change behavior: A commuter survey in South Korea", In 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 13-17.

- Mahmassani, H. S., Huynh, N. and Srinivasan, K. (2000) "Trip-maker choice behavior for shopping trips under real-time information: Model formulation and results of stated-preferences internet-based interactive experiments", In 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 9-13.

- McFadden, D. (1981) "Econometric models of probabilistic choice, Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications." MIT Press, Cambridge, MA.

- Pal, A. (2004) "Modeling of commuters' route choice behavior", Master's thesis, University of Toledo, Ohio, USA.

- Papinski, D., Scott, D. M. and Doherty, S. T. (2009) "Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS", Transportation Research Part F, Vol. 12, pp. 347-358.

- Schlaich, J. (2010) "Analyses of route choice behavior using mobile phone trajectories", In 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 10-14.

- Spissu, E., Meloni, I. and Sanjust, B. (2011) "A behavioral analysis of daily route choice using GPS-based data", In 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 23-27.

- Van Berkum, E. C. and Van Der Mede, P. H. J. (1993) "The impact of traffic information", Ph.D. thesis, Universiteitsdrukkerij, Delft, The Netherlands.

- Xu, C., Wang, W., Li, Z. and Yang, C. (2010) "Comparative study on drivers' route choice response to travel information at different departure times", In 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Wuhan, China, March 6-7.

- Zhang, L. (2011) "The behavioral foundation of route choice and traffic assignment", In 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board: Compendium of Papers CD-Rom, Washington DC, January 23-27.