



اصلاح مدل حمل‌ونقل کلان‌نگر شهر تهران ساخت مدل تفکیک سفر با قابلیت برآورد تقاضای شیوهی پیاده‌روی

حمیدرضا فوری^۱، عزالدین قنبری^۲، کتایون محبی^۳، پریسا سادات میرجعفری^۴

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران

چکیده

استفاده از شیوه‌های سفر غیرموتوری (عابر پیاده و دوچرخه) از یک سو موجب کاهش استفاده از خودروی شخصی و از سوی دیگر موجب افزایش تحرک و سلامت شهروندان می‌شود. با این وجود، در مدل‌های انتخاب شیوه سفری که تاکنون برای شهر تهران پرداخت شده‌اند، از برآورد تقاضای شیوهی سفر پیاده‌روی صرف نظر شده است. در پژوهش حاضر، با استفاده از ۱۹۰ داده مبدأ-مقصد مربوط به سفرهای شغلی اوج صبح (ساعات ۷ تا ۹) ساکنین شهر تهران، مدل‌های تفکیک سفر این شهر به گونه‌ای بازسازی می‌شوند که امکان برآورد تقاضای سفر پیاده را نیز داشته باشند. مدل‌های جدید از نوع لوجیت چندگانه شامل گزینه عابر پیاده است که در آن، مطلوبیت گزینه عابر پیاده به جذر فاصله پیاده‌روی بین مبدأ-مقصد مورد نظر بستگی دارد. جهت تعیین زمان سفرهای شیوه‌های مختلف سفر، از خروجی‌های نرم‌افزار EMME2 استفاده می‌شود. این نرم‌افزار، تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی را با استفاده از الگوریتم استراتژی بهینه انجام می‌دهد. مسیریابی که این الگوریتم برای تخصیص سفر حمل‌ونقل همگانی بدست می‌دهد ممکن است به گونه‌ای باشد که در آن‌ها زمان سفر داخل وسایل همگانی صفر باشد؛ به بیان دیگر، تمام سفر صرفاً با استفاده از شیوه‌های دسترسی به حمل‌ونقل همگانی (شیوه‌های پیاده و تاکسی‌گردشی) انجام شود. در چنین شرایطی، از طریق مجموعه گزینه‌های متغیر، گزینه‌های همگانی از مجموعه انتخاب حذف می‌شود. ضمناً، با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخاب‌مبنا، سهم هر یک از شیوه‌های سفر با توجه به سهم‌های برآورد شده برای مدل شهر تهران در سال ۹۳، اصلاح می‌شود.

کلید واژه‌ها: تفکیک شیوه سفر، برآورد تقاضای عابر پیاده، مدل انتخاب گسسته، شیوه‌های دسترسی به حمل‌ونقل همگانی



۱- مقدمه

سفرهایی که با شیوه‌های حمل‌ونقل غیرموتوری (شامل سفرهای عابر پیاده و دوچرخه) انجام می‌شوند، از یک سو موجب کاهش استفاده از خودروی شخصی و در پی آن کاهش شلوغی‌های ترافیکی می‌شوند و از سوی دیگر موجب تحرک بیشتر شهروندان و افزایش سلامت آن‌ها می‌شوند. در سال‌های اخیر، در مطالعات گسترده‌ای به بررسی اضافه وزن و چاقی در کشورهای مختلف جهان پرداخته شده است [۱، ۲، ۳]. همچنین، مطالعات نشان می‌دهد احتمال بروز بیماری‌هایی نظیر دیابت نوع دوم، افزایش فشارخون، افزایش چربی خون، گرفتگی شریان و آسم در دانش آموزانی که دچار اضافه وزن هستند بیشتر است [۴]. از این رو، در سال‌های اخیر توجه برنامه‌ریزان شهری به برآورد تقاضای شیوه‌های سفر غیر موتوری و ارزیابی سیاست‌هایی که می‌تواند موجب افزایش استفاده شهروندان از این شیوه‌های حمل‌ونقلی شود، جلب شده است.

در رویکرد چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، مرحله‌ای که بیشترین قابلیت را برای بررسی سیاست‌های حمل‌ونقلی دارد، مرحله "انتخاب شیوه سفر" است [۵]. در مدل‌های انتخاب شیوه سفری که تا پیش از این برای شهر تهران پرداخت شده‌اند، از برآورد تقاضای شیوه‌ی سفر پیاده‌روی صرف نظر شده است. یکی از علت‌های این تصمیم، ناچیز شمرده شدن تاثیر سفرهای با شیوه پیاده و دوچرخه بر شیوه‌های موتوری است. علاوه بر این، در آخرین آمارگیری‌های مبدأ-مقصد جمع‌آوری شده در کشور (مثلاً آماربرداری مبدأ-مقصد خانوارهای تهران در سال ۱۳۸۳)، از جمع‌آوری اطلاعات سفرهای پیاده صرف نظر شده بود. اما با توجه به ضرورت یافتن پیاده‌سازی طرح‌هایی که موجب افزایش استفاده شهروندان از شیوه‌های غیرموتوری و کاهش استفاده آن‌ها از شیوه‌های موتوری می‌شود، ضرورت لحاظ کردن تاثیر این طرح‌ها بر میزان سهم‌بری هر یک از شیوه‌های حمل‌ونقل از سفرهای روزانه شهروندان، در ارزیابی‌های حمل‌ونقلی اهمیت یافته است.

اهداف اصلی این تحقیق عبارت است از ارائه روشی برای اضافه کردن شیوه سفر عابر پیاده به مدل تفکیک سفر شهر تهران به گونه‌ای که این مدل با مدل تخصیص سفر هماهنگ باشد. منظور از سفرهای با شیوه پیاده، سفرهایی است که یا تماماً بصورت پیاده انجام می‌شوند یا اینکه پیاده‌روی به عنوان بخشی از سفر و به منظور ایجاد دسترسی به وسایل عمومی (مانند اتوبوس، مترو و تاکسی) استفاده می‌شود؛ سفرهایی که مربوط به تردد عابران پیاده در بازارها می‌شوند (سفرهای پیاده گردشگری) در محدوده این تحقیق قرار نمی‌گیرد.

با توجه به اهمیت برآورد تقاضای سفرهای پیاده، در پژوهش جاری، با استفاده از ۱۹۰ داده مبدأ-مقصد مربوط به سفرهای شغلی اوج صبح ساکنین شهر تهران، مدل‌های تفکیک سفر این شهر به گونه‌ای بازسازی می‌شوند که امکان برآورد تقاضای سفر پیاده را نیز داشته باشند. این مدل‌ها با هدف استفاده در مدل چهار مرحله‌ای شهر تهران و به صورت هماهنگ با مدل تخصیص سفر ساخته شده‌اند. بطور شفاف‌تر، از آنجایی که در مدل چهار مرحله‌ای شهر تهران، خروجی‌های مدل تفکیک (یعنی تقاضای برآورد شده برای هر شیوه سفر)، ورودی‌های مدل تخصیص را شکل می‌دهند و خروجی‌های مدل تخصیص (یعنی زمان سفرهای مربوط به هر شیوه سفر) نیز ورودی‌های مدل



تفکیک را بدست می‌دهند، لازم است در هنگام ساخت مدل‌های تفکیک ارتباط متقابل آن با مدل تخصیص در نظر گرفته شود. در مدل کلان‌نگر شهر تهران، جهت تعیین زمان سفرهای شیوه‌های مختلف سفر، از خروجی‌های نرم‌افزار EMME2 استفاده می‌شود. اهمیت پرداختن به این موضوع از آن جهت است که این نرم‌افزار، تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی را با استفاده از الگوریتم استراتژی بهینه انجام می‌دهد. مسیریابی که این الگوریتم برای تخصیص سفر حمل‌ونقل همگانی بدست می‌دهد ممکن است به گونه‌ای باشد که در آن‌ها زمان سفر داخل وسایل همگانی صفر باشد؛ به بیان دیگر، تمام سفر صرفاً با استفاده از شیوه‌های دسترسی به حمل‌ونقل همگانی (شیوه‌های پیاده و تاکسی‌گردشی) انجام شود. در صورت بروز چنین حالتی، سهم‌هایی که مدل تفکیک برای گزینه حمل‌ونقل همگانی برآورد می‌کند، در واقع، گزینه‌های پیاده یا تاکسی‌گردشی هستند. بنابراین لازم است راهکاری برای جلوگیری از بروز چنین حالتی در نظر گرفته شود. علاوه بر این، با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش افزودن گزینه پیاده‌روی به مدل تفکیک سفر شهر تهران است، انتظار می‌رود سهم‌های برآورد شده توسط مدل تفکیک سفر جدید برای شیوه‌های سفر موتوری، با سهم‌های برآورد شده در مدل کلان‌نگر موجود شهر تهران برابر باشد. در بخش بعد، بطور خلاصه، پیشینه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در زمینه برآورد تقاضای سفر عابر پیاده بیان می‌شود. در بخش سوم، ابتدا توضیح کوتاهی پیرامون برخی از ویژگی‌های تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی (شامل گزینه‌های اتوبوس-مترو و تاکسی‌خطی) و محدودیت‌های مرتبط با آن ارائه می‌گردد و پس از آن، روش ساخت مدل‌های تفکیک سفر جدید شرح داده می‌شود. شیوه جمع‌آوری داده و توصیف داده‌ها در بخش چهارم ارائه می‌شود. در بخش پنجم، مدل ساخته شده در این مطالعه معرفی می‌گردد. بخش ششم نیز شامل نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای مطالعات بعدی است.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

در این بخش به بررسی دو طرح انجام شده در خصوص نحوه برآورد تقاضای عابر پیاده در شهر تهران، و همین‌طور سه نمونه از شهرهای دنیا که از نظر شرایط ترافیکی و توپوگرافیکی به تهران نزدیک هستند، پرداخته می‌شود و به صورت خلاصه، تفاوت‌های موجود در روش‌های هر یک از این مطالعات بررسی می‌گردد.

مطالعه "طرح جامع عابر و دوچرخه شهر تهران" [۶]، شامل دو قسمت عابر پیاده و دوچرخه، می‌باشد. در قسمت عابر پیاده صرفاً به تسهیلات پیاده‌روی و مسایل و مشکلات بر سرراه این شیوه حمل‌ونقلی پرداخته شد. آنچه که به عنوان نقاط ضعف این مطالعه محسوب می‌گردد، عدم برآورد تقاضای سفر عابر پیاده و عدم توجه به تقاضای بالفعل سفر عابر پیاده می‌باشد. در مطالعه دیگر با عنوان "پروژه بازنگری طرح جامع عابر پیاده شهر تهران" [۷]، به مدل‌سازی مستقیم برآورد حجم تردد عابر پیاده با توجه به متغیرهای مساحت کاربری اداری، عرض پیاده‌رو، حجم ترافیک سواره مجاور پیاده‌رو، تعداد مسافران سوار و پیاده شده از نزدیک‌ترین ایستگاه مترو، فاصله مرکز خیابان تا نزدیک‌ترین ایستگاه مترو، جذب سفرهای روزانه ناحیه ترافیکی و رده عملکردی معبر پرداخته شده است. نقاط



ضعف این مطالعه شامل عدم برآورد ماتریس تقاضای سفرهای عابر پیاده و همچنین، در نظر نگرفتن اطلاعات کاربری‌ها در ساخت مدل می‌باشد. علاوه بر این، در هیچ یک از دو مطالعه اخیر امکان بررسی تأثیر متقابل تقاضای شیوه‌های موتور و عابر پیاده بر یکدیگر وجود ندارد.

در شهر کالیفرنیا [۸]، تقاضای عابر پیاده از طریق یک مدل انتخاب گسسته انتخاب شیوه سفر بدست می‌آید. در مرحله اول از این مدل، شیوه‌های مختلف سفر به سه گروه سواری، همگانی و غیرموتوری (عابر پیاده و دوچرخه) تفکیک می‌شوند. شیوه سفر غیرموتوری، هم به عنوان شیوه غالب سفر و هم به عنوان شیوه کمکی (دسترسی به) وسایل حمل‌ونقل همگانی تعریف شده است. برای برآورد مطلوبیت این شیوه نسبت به دیگر شیوه‌های جابجایی، تنها شرط طول سفر (طول سفرهای کمتر از ۳ مایل (حدود ۵ کیلومتر) برای عابر پیاده و کمتر از ۱۲ مایل (حدود ۱۹ کیلومتر) برای دوچرخه) لحاظ شده است. با توجه به این شرط سفرهایی با طول بیشتر که به صورت پیاده و یا با دوچرخه انجام می‌شوند، نادیده گرفته شده‌اند. استفاده از این روش مستلزم تعریف شبکه معابر متناسب با سفرهای عابر و دوچرخه در مقیاس کل شهر می‌باشد. یکی از مزایای استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته این است که این مدل‌ها ضمن اینکه ابزار قدرتمندی برای تعیین تأثیرات عوامل مختلف (ویژگی‌های افراد و ویژگی‌های محیطی) بر روی رفتار سفر افراد مختلف هستند، با استفاده از آن‌ها می‌توان تأثیر سیاست‌های مدیریتی را بر انحراف تقاضای سفر از یک شیوه به شیوه دیگر بررسی نمود.

مطالعه دیگری [۹] به ارزیابی مدل رگرسیونی جهت برآورد حجم عابر پیاده در معابر مختلف مرکز شهر لندن پرداخته است. پرداخت این مدل نیاز به اطلاعات کافی از کاربری‌های موجود در محدوده مورد مطالعه دارد تا دقت لازم برای برآورد سفرها را فراهم سازد. در هر حال توانایی این مدل‌ها در برآورد حجم تردد عابر پیاده در معابر شبکه با توجه به خصوصیات آنها مانند عرض، حجم تردد وسایل نقلیه، کاربری‌های حاشیه‌ای و غیره می‌باشد. همچنین، در این مدل متغیرهای دیگری از قبیل ویژگی‌های مسافران (مانند مالکیت وسیله، هدف سفر، و طول سفر) که جهت برآورد دقیق‌تر تقاضای سفر عابران پیاده لازم است، وارد نشده‌اند. در نهایت نیز، این مدل نمی‌تواند تقاضای سفر عابران پیاده را به صورت زوج‌های مبدا و مقصد در محدوده مورد مطالعه ارزیابی دهد. این روش‌ها عمدتاً از شمارش عابران پیاده و تحلیل‌های رگرسیونی جهت برآورد حجم عابران به عنوان تابعی از کاربری زمین‌های مجاور و یا شاخص‌های حمل‌ونقلی (از قبیل ظرفیت پارکینگ، حجم ترافیک، حجم ترانزیت و غیره) استفاده می‌کنند. بنابراین، جهت ساخت این مدل‌ها نیاز به آشنایی با اطلاعات کاربری زمین، داده‌های حمل‌ونقلی، روش‌های شمارش حجم ترافیک و روش‌های رگرسیونی می‌باشد. خروجی این مدل‌ها، حجم عابران پیاده در معابر مختلف در وضع موجود و یا حجم آنها در آینده به صورت تابعی از کاربری زمین خواهد بود. برآورد این مدل‌ها در صورتی که اطلاعات گردآوری شده کافی و مناسب باشند، از دقت مناسبی برخوردار خواهد بود. سادگی استفاده از این روش، از دیگر مزایای آن است.



در مطالعه دیگری نیز [۱۰] تخمین تقاضای عابر پیاده و دوچرخه با توجه به نرخ تولید آنها از کاربری‌های مختلف صورت پذیرفته است. سهولت استفاده از این مدل‌ها در برآورد تقاضای عابر پیاده و دوچرخه از کاربری‌های مختلف را می‌توان به عنوان نقاط قوت آنها شناسایی نمود. در عین حال نیاز به اطلاعات کاملی از کاربری‌های مختلف جهت تعیین تعداد سفرها در اقصی نقاط یک شهر را می‌توان به عنوان ضعف اساسی این مدل‌ها برشمرد. در نهایت این مدل‌ها، قابلیت برآورد تقاضای سفرهای عابر پیاده و دوچرخه به صورت مبدا- مقصد را دارا نمی‌باشد. روش به کار رفته در این مطالعه در موارد زیادی برای تخمین حجم عابر پیاده در شرایط موجود و آینده در نواحی فعالیت عابر پیاده استفاده شده است. این روش‌ها عمدتاً از شمارش عابران پیاده و تحلیل آن‌ها در وضع موجود جهت تخمین حجم عابر پیاده به عنوان تابعی از کاربری زمین‌های مجاور استفاده می‌کنند. در این روش از محاسبات ساده‌ای استفاده شده و نیاز به مهارت محاسباتی خاص نمی‌باشد. از آنجا که ساخت این مدل‌ها براساس اطلاعات موجود و یا اطلاعاتی است که گردآوری آنها ساده است، استفاده از این روش عمدتاً در مواردی است که زمان و یا هزینه کافی جهت ساخت مدل‌های برآورد تقاضای عابر پیاده و دوچرخه وجود ندارد.

با توجه به مزایای نسبی یاد شده در استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته برای برآورد تقاضای سفر پیاده، می‌توان گفت نیاز به پژوهشی که در آن ضمن ارائه مدل‌های انتخاب گسسته با قابلیت برآورد تقاضای سفر پیاده، به چالش‌های موجود در بکارگیری این مدل‌ها در طرح‌های جامع حمل‌ونقل شهرهای کشور نیز پرداخته شود، احساس می‌شود.

۳- روش‌شناسی ساخت مدل تفکیک سفر شامل گزینه پیاده‌روی؛ چالش‌ها و راهکارها

در مدل حمل‌ونقلی کلان‌نگر شهر تهران، مانند بسیاری از مدل‌های چهار مرحله‌ای پیاده شده در شهرهای دنیا، مراحل تفکیک و تخصیص سفر با یکدیگر اندرکنش دارند و از یکدیگر بازخورد می‌گیرند. بنابراین، هنگام ساخت مدل‌های تفکیک و تخصیص، لازم است به هماهنگ عمل کردن این مدل‌ها دقت شود. در این بخش، ابتدا برخی از چالش‌های موجود در ساخت مدل‌های تفکیک سفر تشریح شده و سپس راهکارهای استفاده شده برای حل این چالش‌ها و روش‌شناسی پژوهش در قالب یک الگوریتم بیان می‌شود. در این راستا، ابتدا توضیحاتی پیرامون برخی از ویژگی‌های مدل به روز شده تخصیص سفر شهر تهران ارائه می‌شود و سپس تأثیری که این ویژگی‌ها بر ساخت مدل تفکیک سفر می‌گذارند بیان می‌گردد.

۳-۱- چالش‌های موجود در ساخت مدل تفکیک سفر شامل گزینه پیاده‌روی

مدل حمل‌ونقل کلان‌نگر شهر تهران، ویژگی‌هایی دارد که موجب پیچیده شدن ساخت مدل انتخاب شیوه سفر با قابلیت برآورد تقاضای شیوه پیاده‌روی می‌شود. در این قسمت، به دو نمونه از این چالش‌ها اشاره می‌شود.



۳-۱-۱ مدل تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی شهر تهران؛ چالش موجود و راه حل به کار گرفته شده

یکی از ویژگی‌های مدل تخصیص سفر شهر تهران که در محیط نرم‌افزار EMME 2 اجرا می‌شود، بهره‌گیری این مدل از الگوریتم استراتژی بهینه^۱ برای تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی است. در مدل تخصیص به روز شده جهت برآورد تقاضای عابر پیاده، گزینه اتوبوس-مترو و گزینه تاکسی خطی به عنوان وسایل حمل‌ونقل همگانی^۲ معرفی شده‌اند که دسترسی به آنها از طریق شیوه‌های کمکی^۳ پیاده و تاکسی گردشی امکان‌پذیر است. با تخصیص تقاضای مورد نظر به شبکه، اطلاعات زمان سفرهای داخل وسایل، زمان انتظار، زمان سوار شدن، و زمان دسترسی پیاده بدست می‌آید.

در الگوریتم تعیین استراتژی بهینه، با توجه به کوتاه‌ترین مسیر موجود بین هر مبدا-مقصد، یکی از شیوه‌های سفر زیر به عنوان استراتژی بهینه انتخاب می‌شود:

- ۱- گزینه اتوبوس-مترو با دسترسی پیاده و تاکسی گردشی
- ۲- گزینه اتوبوس-مترو با دسترسی پیاده (در این شیوه، زمان سفر با تاکسی گردشی صفر است)
- ۳- گزینه تاکسی خطی با دسترسی پیاده و تاکسی گردشی
- ۴- گزینه تاکسی خطی با دسترسی پیاده (در این شیوه، زمان سفر با تاکسی گردشی صفر است)
- ۵- کل سفر با شیوه‌های کمکی پیاده و تاکسی گردشی (در این شیوه، زمان سفر با وسایل حمل‌ونقل همگانی اتوبوس-مترو و تاکسی خطی صفر است)
- ۶- کل سفر با شیوه کمکی پیاده (در این شیوه، زمان سفر با وسایل حمل‌ونقل همگانی اتوبوس-مترو و تاکسی خطی و همینطور شیوه کمکی تاکسی گردشی صفر است).

شیوه‌های شماره ۱ و ۲ معادل سفر با گزینه اتوبوس-مترو و شیوه‌های شماره ۳ و ۴ معادل سفر با گزینه تاکسی است. در بین ویژگی‌های مدل تخصیص حمل‌ونقل همگانی، آنچه در این بخش حائز اهمیت است، امکان وقوع شیوه‌های سفر شماره ۵ و ۶ می‌باشد. در این بین، شیوه شماره ۵ را می‌توان معادل با گزینه تاکسی و شیوه شماره ۶ را معادل با شیوه سفر پیاده‌روی دانست.

امکان انتخاب شیوه‌های شماره ۵ و ۶ از بین شیوه‌های امکان‌پذیر برای تخصیص تقاضای برآورد شده برای حمل‌ونقل همگانی می‌تواند موجب بروز خطا در برآورد تقاضای شیوه‌های حمل‌ونقل همگانی و گزینه پیاده‌روی شود. این ویژگی سبب می‌شود هنگام پرداخت مدل تفکیک سفر، زمان سفرهایی که برای گزینه‌های اتوبوس-مترو و تاکسی مورد استفاده قرار می‌گیرند با خطا همراه باشند (مثلاً، در مشاهده‌ای که گزینه اتوبوس-مترو انتخاب شده است، زمان سفر داخل اتوبوس-مترو صفر شود). ضمناً، این امکان وجود دارد که مدل تخصیص سفر، بخشی از تقاضای حمل‌ونقل همگانی را که توسط مدل تفکیک سفر برآورد شده است، بصورت پیاده به شبکه تخصیص دهد و

¹ Optimal strategy

² Transit

³ Auxiliary



در نتیجه، سهم برآورد شده برای سفرهای پیاده عملاً بیشتر از سهمی شود که در نمونه آماری مورد نظر مشاهده شده است.

هنگامی که برای یک جفت مبدأ-مقصد حالت شماره ۵ پیش می‌آید، یعنی بین آن مبدأ-مقصد عملاً هیچ سفری با شیوه اتوبوس - مترو انجام نمی‌شود. بنابراین، باید گزینه اتوبوس - مترو از مجموعه انتخاب^۱ حذف شود؛ همچنین، مبدأ-مقصدهایی که برای آن‌ها حالت شماره ۶ رخ می‌دهد، هم گزینه اتوبوس - مترو و هم گزینه تاکسی خطی از مجموعه انتخاب حذف گردد (استفاده از مجموعه انتخاب‌های متغیر). با حذف گزینه(های) حمل‌ونقل همگانی در حالت‌های ۵ و ۶ از مجموعه انتخاب، در واقع، از سهم گرفتن این گزینه(ها) در شرایطی که قرار است بصورت پیاده به شبکه تخصیص داده شوند، جلوگیری می‌شود. به بیان ساده می‌توان گفت وقتی قرار نیست در فرآیند تخصیص تقاضای بین یک مبدأ-مقصد مشخص، به گزینه(های) حمل‌ونقل همگانی سهمی اختصاص یابد، بهتر آن است که در مرحله تفکیک نیز آن گزینه(ها) از مجموعه انتخاب حذف شوند تا سهمی به آن‌ها تعلق نگیرد. در صورت حذف نکردن گزینه حمل‌ونقل همگانی از مجموعه انتخاب، سهمی که در مرحله تفکیک برای وسایل حمل‌ونقل همگانی برآورد شده است، در مرحله تخصیص به صورت پیاده یا تاکسی گردشی به شبکه تخصیص داده می‌شود و این موجب بروز خطا در ماتریس‌های نهایی برای تقاضای سفرهای با مد غالب پیاده، دسترسی پیاده به وسایل همگانی، اتوبوس - مترو و تاکسی می‌شود. بطور خلاصه، در این پژوهش فرض می‌شود در آن دسته از مبدأ-مقصدهایی که در گزینه سفر با وسایل حمل‌ونقل همگانی آن‌ها، زمان سفر داخل وسایل همگانی صفر بدست می‌آید، دسترسی به شیوه حمل‌ونقل همگانی وجود ندارد؛ بنابراین، لازم است گزینه حمل‌ونقل همگانی از مجموعه انتخاب شیوه‌های سفر بین چنین مبدأ-مقصدهایی حذف شود.

۳-۱-۲- برآورد سهم شیوه‌های سفر غیر پیاده؛ چالش موجود و راه حل به کار گرفته شده

یکی دیگر از ملاحظات که در ساخت مدل تفکیک سفر به کار گرفته شده است، مربوط به سهم شیوه‌های سفر غیر پیاده (شیوه‌های غیر موتوری و دوچرخ) است. با استفاده از مدل‌های طرح جامع موجود، می‌توان سهم هر یک از شیوه‌های سفر غیر پیاده را برای سال ۹۳ محاسبه نمود. اینکه مدل تفکیک سفر جدید بتواند سهم شیوه‌های موتوری و دوچرخ را مانند مدل تفکیک سفر فعلی برآورد کنند از دو نظر دارای اهمیت است. اول اینکه، نمونه آماری مربوط به اطلاعات مبدأ-مقصد خانوارها در سال ۸۳ که مدل کلان‌نگر فعلی بر اساس آن ساخته شده است، بسیار بزرگتر و جامع‌تر از نمونه آماری برداشت شده در این پژوهش است (حدود ۱۰۰ برابر)، و بنابراین سهم‌های برآورد شده توسط آن برای شیوه‌های سفر موتوری، قابل اطمینان‌تر از سهم‌های نمونه آماری جدید است. دوم اینکه، با توجه به فرض استقلال^۲ از گزینه‌های نامرتبط^۳ در مدل‌های لجیت، انتظار می‌رود با اضافه شدن شیوه سفر پیاده‌روی، نسبت سهم سایر شیوه‌های سفر (یا همان جانشینی متناسب بین گزینه‌ها^۴) تغییری نکند [۱۱].

¹ Choice set

² Independence from irrelevant alternatives, or IIA

³ Proportional substitution across alternatives

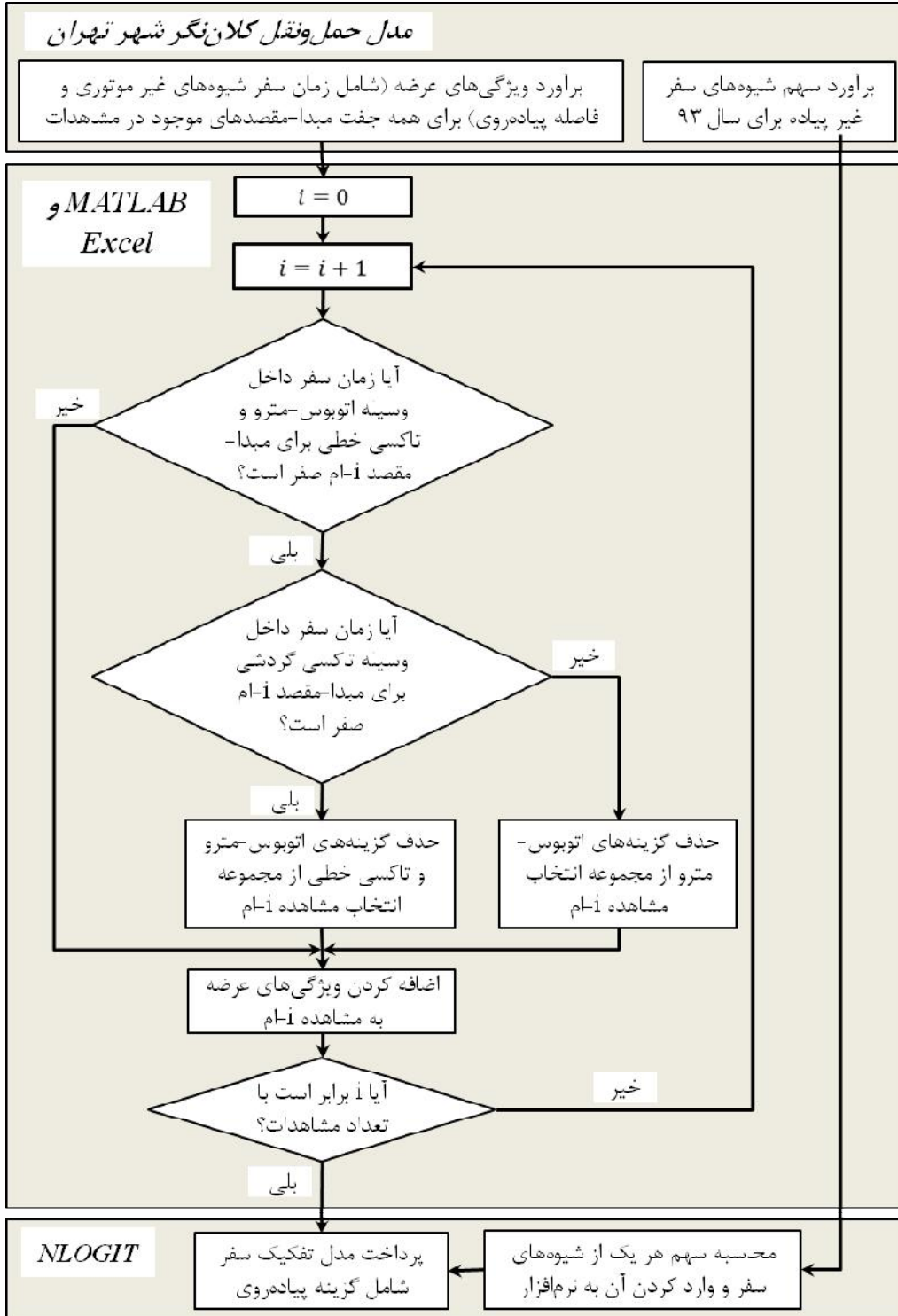


به منظور دستیابی به این هدف، پرداخت مدل تفکیک سفر شامل گزینه پیاده‌روی، با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخاب‌مبنا (یا نمونه‌برداری تصادفی)^۱ انجام شد. در پرداخت مدل‌های انتخاب گسسته با روش نمونه‌برداری انتخاب‌مبنا، سهم هر یک از گزینه‌ها در بازار به صورت دستی به نرم‌افزار داده می‌شود. در حقیقت در این روش، نرم‌افزار هنگام پرداخت مدل، بجای استفاده از سهم هر گزینه در نمونه آماری موجود، از سهم‌هایی استفاده می‌کند که کاربر به صورت دستی در نرم‌افزار وارد کرده است (علاقه‌مندان می‌توانند به منبع مراجعه نمایند. در این پژوهش سهم‌هایی که برای شیوه‌های موتوری و دوچرخ به نرم‌افزار استفاده شده است، سهم‌هایی است که سهم‌هایی است که توسط مدل طرح جامع برای سال ۹۳ برآورد شده است.

۲-۳- روش‌شناسی ساخت مدل انتخاب شیوه سفر شامل گزینه پیاده‌روی

با در نظر گرفتن چالش‌ها و راهکارهای یاد شده در بند ۳-۱، روش استفاده شده برای ساخت مدل تفکیک سفر با قابلیت برآورد تقاضای شیوه پیاده‌روی در شکل ۱ نشان داده شده است. این الگوریتم از سه بخش تشکیل شده است. بخش اول شامل اطلاعاتی است که با استفاده از برآوردهای مدل حمل‌ونقل کلان‌نگر شهر تهران برای سفرهای سال ۹۳ بدست می‌آید. این اطلاعات شامل برآورد سهم شیوه‌های غیر پیاده و برآورد ویژگی‌های عرضه (مانند زمان سفر داخل و خارج وسایل نقلیه موتوری، فاصله پیاده‌روی، و سرانه مالکیت خودرو در ناحیه مبدأ) برای جفت مبدأ-مقصد‌های موجود در نمونه آماری می‌شود. بخش دوم این الگوریتم مربوط به آماده‌سازی داده است که با استفاده از نرم‌افزارهای Microsoft Excel و MATLAB انجام شده است. انجام اصلاحات در مجموعه انتخاب مربوط به هر مشاهده و همچنین اضافه کردن متغیرهای مربوط به ویژگی‌های عرضه به مشاهدات، در این بخش انجام می‌شود. در بخش سوم نیز پس از محاسبه سهم هر یک از شیوه‌های سفر با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخاب‌مبنا، پرداخت مدل لجیت تفکیک سفر با نرم‌افزار NLOGIT صورت می‌گیرد.

¹ Choice-based sampling (or random sampling)



شکل ۱: الگوریتم ساخت مدل تفکیک سفر شامل گزینه پیاده‌روی



۴- داده‌ها

۴-۱- توصیف داده‌ها

شهر تهران با مساحت تقریبی ۷۰۰ کیلومتر مربع دارای ۲۲ منطقه شهرداری و ۵۶۰ ناحیه‌ی ترافیکی است. در این شهر روزانه ۱۳ میلیون سفر انجام می‌شود که سفرهای کاری ۶۶ درصد از این سفرها را تشکیل می‌دهد [۱۳]. در این قسمت به بررسی ویژگی‌های کمی نمونه‌ی آماری (شامل ۱۹۰ مشاهده) پرداخته می‌شود. در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان ذکر شده است.

جدول ۱: فرآوانی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شامل جنسیت، سن، ساختار خانوار، تحصیلات، اشتغال، نوع خودرو

ویژگی	فرآوانی نسبی (درصد)
جنسیت	مرد ۶۳/۵
	زن ۳۶/۵
سن	۲۹-۱۸ ۲۱/۶
	۳۹-۳۰ ۳۷/۵
	۴۹-۴۰ ۲۵/۵
	۵۹-۵۰ ۱۲/۵
	بیشتر از ۶۰ ۲/۹
تحصیلات	زیر دیپلم ۷/۷
	دیپلم ۳۷/۱
	فوق دیپلم ۶/۸
	کارشناسی ۳۳/۷
نوع اشتغال	کارشناسی ارشد و دکتری ۱۴/۷
	آزاد ۶۷
	کارمند بخش دولتی ۱۶/۵
تعداد خودرو در خانوار	کارمند بخش خصوصی ۱۶/۵
	بدون خودرو ۲۹/۳
	دارای یک خودرو ۵۱
	دارای دو یا بیشتر ۱۹/۷



۴-۲- جمع‌آوری داده

روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری ویژگی‌ها و اطلاعات سفرهای افراد خانوار وجود دارد. ولی روشی که نسبت به روش‌های دیگر قابل اعتماد است، استفاده از پرسشگری وضعیت سفرهای خانوار است. طبقه پرسشگری سفرهای مبدا- مقصد ساکنین تهران در این مطالعه به صورت مکاتبه‌ای بوده است. برای این منظور، در بهار سال ۹۳، فرم‌های اطلاعات خانوار و سفرهای مربوط به افراد توسط آمارگیران بین خانوارهای مناطق مختلف تهران توزیع گردید و از آن‌ها درخواست شد فرم‌ها را طبق آموزش‌های داده شده در دستورالعمل تکمیل پرسشنامه تکمیل نمایند. در روز بعد آمارگیران با مراجعه مجدد به آن خانوارها فرم‌های تکمیل شده را دریافت کردند. در فرم اطلاعات خانواده، مشخصات افراد خانوار نظیر سن، جنسیت، شغل، سطح تحصیلات هر فرد، وضعیت گواهینامه رانندگی، وسایل نقلیه در مالکیت خانواده و آدرس دقیق محل سکونت پرسیده شده است. در فرم اطلاعات سفرهای افراد خانوار نیز، برای هر فرد زمان شروع سفر، نوع وسیله نقلیه مورد استفاده، آدرس محل شروع سفر، آدرس محل پایان سفر و هدف از سفر سوال شده است.

۵- ارائه مدل و بحث

به منظور ساخت مدل‌های تفکیک سفر، از مدل لوجیت استفاده شده است. مدل‌های لوجیت به دلیل شکل بسته احتمال انتخاب گزینه‌ها، محاسبات نسبتاً ساده‌تری دارند [۱۴]. در این مطالعه، شکل‌های تابعی مختلفی از مدل‌های لوجیت و لوجیت آشیانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در نهایت مدل لوجیت چندگانه، به عنوان مدل نهایی انتخاب گردید. این در حالی است که مدل تفکیک سفر فعلی شهر تهران برای سفرهای شغلی، از نوع لوجیت آشیانه‌ای است. از آنجایی که در مدل شهر تهران اطلاعات سفر در سطح نواحی ترافیکی همفزون می‌شوند، جهت ساخت مدل تفکیک سفر، از سفرهای درون ناحیه‌ای صرف نظر می‌شود؛ ضمناً، تنها از سفرهای انجام شده بین ساعات ۷ تا ۹ صبح در ساخت مدل انتخاب شیوه سفر استفاده شده است. گزینه‌های موجود در این مدل عبارتند از: (۱) اتوبوس-مترو (شامل گزینه‌های اتوبوس و مترو با دسترسی‌های پیاده و تاکسی‌گردشی)؛ (۲) تاکسی خطی (با دسترسی پیاده و تاکسی‌گردشی)؛ (۳) سواری شخصی؛ (۴) موتورسیکلت؛ و (۵) عابر پیاده.

متغیرهای بکار گرفته شده در مدل، در جدول ۲ و مدل نهایی در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مطلوبیت نسبی گزینه عابر پیاده بستگی به جذر فاصله پیاده‌روی بین مبدأ-مقصد مورد نظر دارد. متغیرهای بکار گرفته شده همگی از نوع متغیرهای متعارفی هستند که قابلیت استفاده در مدل‌های همفزون شده در سطح ناحیه را دارا هستند. یکی از تفاوت‌های این مدل با مدل تفکیک سفر فعلی شهر تهران، نحوه لحاظ کردن متغیر مربوط به سفر به منطقه طرح ترافیک است. در مدل جدید (مدل این مطالعه)، زمان سفر خودروی شخصی بصورت حاصلضربی در دو حالت وارد مدل می‌شود: حالتی که هر دو سر سفر (مبدأ و مقصد سفر) خارج از محدوده



طرح ترافیک باشد و حالتی که حداقل یکی از دو سر سفر داخل محدوده طرح ترافیک باشد. برای هر یک از این دو حالت، زمان سفرهای متفاوتی برای خودروی شخصی در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های خوبی برازش بکار گرفته شده در ساخت مدل، عبارت‌اند از p^2 و p_c^2 که به ترتیب مقادیر بدست آمده برای آن‌ها $0/49$ و $0/27$ است.

جدول ۲: تعریف متغیرهای بکار رفته در مدل‌ها

علامت اختصاری	متغیر
BusMet_in	زمان سفر داخل اتوبوس و مترو (دقیقه)
BusMet_acc	زمان دسترسی به اتوبوس و مترو؛ شامل زمان پیاده‌روی و زمان داخل تاکسی گردشی (دقیقه)
Taxi_in	زمان سفر داخل تاکسی خطی (دقیقه)
Taxi_tx	زمان سفر دسترسی به تاکسی خطی با تاکسی گردشی (دقیقه)
Taxi_out	زمان سفر خارج از تاکسی؛ شامل زمان دسترسی پیاده، انتظار و سوار شدن (دقیقه)
Car_in_incord	زمان سفر داخل خودروی شخصی برای سفرهایی که از محدوده طرح ترافیک عبور می‌کنند (دقیقه)
Car_in_outcord	زمان سفر داخل خودروی شخصی برای سفرهایی که از محدوده طرح ترافیک عبور نمی‌کنند (دقیقه)
In_cord	مبدا یا مقصد سفر داخل محدوده طرح ترافیک باشد؛ ۱: بلی ۰: خیر
Out_cord	مبدا یا مقصد سفر خارج از محدوده طرح ترافیک باشد؛ ۱: بلی ۰: خیر
Car_own	میزان سرانه مالکیت سواری شخصی در ناحیه مبدا سفر (وسیله بر نفر)
Ped_dist	فاصله پیاده‌روی بین مبدا و مقصد سفر با شیوه پیاده (کیلومتر)
Mot_own	میزان سرانه مالکیت موتورسیکلت در ناحیه مبدا سفر (وسیله بر نفر)
Car_dist	متوسط فاصله برای سفر با خودروی شخصی از مبدا به مقصد، از کوتاهترین مسیرها براساس زمان سفر جریان تعادل (کیلومتر)



جدول ۳: مدل‌های انتخاب شیوه سفر

متغیر	شیوه سفر	اتوبوس و مترو	تاکسی خطی	سواری شخصی	موتور	پیاده
Constant		-۲/۷۴۲۸۴	-۳/۲۴۵۸۱*	-۳/۸۸۲۸۶**	-۴/۱۶۵۶۹**	
(BusMet_in) ^{0/5}		-۰/۴۶۹۱۸*				
(BusMet_acc) ^{1/5}		-۰/۰۱۵۴۱**				
Taxi_in			-۰/۰۳۶۹۴**			
Taxi_tx			-۰/۱۰۹۴۹*			
Taxi_out			-۰/۰۹۰۳۸**			
(Car_in_incord*In_cord) ^{0/5}				-۰/۰۶۶۸۹۸**		
Car_in_outcord*Out_cord) ^{0/5}				-۰/۰۶۱۶۰*		
Car_own				۱/۱۱۵۷۹**		
(Car_dist) ^{0/5}					-۱/۷۲۳۷**	
Mot_own					۳/۴۳۸۴۹**	
(Ped_dist) ^{0/5}						-۳/۹۹۱۱۶**

توجه: علائم ** و * به ترتیب بیانگر سطح معنی داری ۱۰٪ و ۵٪ است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

آنچه در این تحقیق آمد، ارائه یک روش برای ساخت مدل‌های تفکیک سفر شامل شیوه پیاده‌روی بوده است به گونه‌ای که قابلیت استفاده در مدل‌های کلان‌نگر شهرها را داشته باشد. آنچه ساخت این مدل را از مدل‌های تفکیک سفر موجود متمایز می‌کند، ملاحظاتی است که پس از اضافه کردن شیوه عابر پیاده به گزینه‌های در دسترس افراد، لازم است مورد توجه قرار گیرد. اولین ملاحظه‌ای که باید به آن توجه شود، الگوریتم تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی است. به عنوان مثال، در مدل کلان‌نگر شهر تهران که مرحله تخصیص سفر آن در محیط نرم‌افزار EMME 2 انجام می‌شود، تخصیص وسایل حمل‌ونقل همگانی از طریق الگوریتم استراتژی بهینه صورت می‌گیرد؛ مسیرهایی که این الگوریتم برای تخصیص سفر حمل‌ونقل همگانی بدست می‌دهد ممکن است به گونه‌ای باشد که در آن‌ها زمان سفر داخل وسایل همگانی صفر باشد. در این وضعیت، سهم‌هایی که مدل تفکیک برای گزینه حمل‌ونقل همگانی برآورد می‌کند، گزینه‌های پیاده یا تاکسی گردشی هستند. جهت رفع این مشکل، در این پژوهش گزینه(های) حمل‌ونقل همگانی از مجموعه گزینه‌های سفرهایی که در استراتژی بهینه آن‌ها عملاً از وسایل همگانی



و تاکسی خطی استفاده نمی‌شود (یعنی، تمام سفر صرفاً با استفاده از شیوه‌های کمکی حمل‌ونقل همگانی یعنی پیاده و تاکسی گردشی انجام می‌شود)، حذف شده است (استفاده از مجموعه گزینه‌های متفاوت برای تقاضای بین مبدأ-مقصد های متفاوت). یکی از خطاهایی که احتمال بروز آن در راهکار فوق وجود دارد این است که پیشنهاد مسیرهایی با زمان سفر داخل وسیله صفر توسط الگوریتم استراتژی بهینه، لزوماً به این معنی نیست که بین آن مبدأ-مقصد امکان سفر با وسایل حمل‌ونقل همگانی وجود ندارد؛ در حقیقت، ممکن است بتوان با کمی اضافه کردن زمان سفر، مسیرهایی را بدست آورد که زمان سفر داخل وسایل همگانی آن‌ها مخالف صفر باشد. به منظور جلوگیری از بروز این خطا و به عنوان پیشنهادی برای پژوهش‌های آتی، می‌توان الگوریتم استراتژی بهینه را به گونه‌ای اصلاح نمود که این الگوریتم برای هر مبدأ-مقصد مشخص، تنها مسیرهایی را به عنوان استراتژی بهینه پیشنهاد دهند که در آن‌ها زمان سفر داخل وسایل همگانی مخالف صفر باشد. در واقع، لازم است شرط مخالف صفر بودن زمان سفر داخل وسایل همگانی برای مسیرهایی پیشنهاد شده به پاسخ‌های این الگوریتم اضافه گردد. بررسی سیاست‌هایی همچون احداث پیاده‌راه‌ها و پل‌های عابر پیاده نیز از دیگر کاربردهای این مدل است که برای ادامه مطالعات پیشنهاد می‌شود. لازم به ذکر است جهت بررسی چنین سیاست‌هایی لازم است تغییرات مورد نظر در مدل شبکه حمل‌ونقل شهر تهران در نرم‌افزار EMME 2 اعمال شود و معیارهایی مانند تغییرات سهم شیوه‌های سفر و زمان سفر کل شبکه از نرم‌افزار استخراج و مورد ارزیابی قرار گیرند.

علاوه بر این، از آنجایی که انتظار می‌رود سهم‌های برآورد شده برای شیوه‌های سفر موتورسیکلت تفکیک سفر جدید، با سهم‌های برآورد شده در مدل کلان‌نگر موجود شهر تهران برابر باشد، با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخاب‌مبنا، مدل تفکیک سفر جدید به گونه‌ای پرداخت شد که سهم‌های برآورد شده برای شیوه‌های غیر موتورسیکلت، مشابه سهم‌های برآورد شده توسط مدل طرح جامع شود.

۷- سپاسگزاری

از مسئولین و کارشناسان سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران به دلیل پشتیبانی‌های علمی و مالی از این مطالعه قدردانی می‌گردد. همچنین از مشاوره‌ها و راهنمایی‌های آقایان مهندس مرادپور، دکتر ممدوحی و دکتر صمیمی تشکر می‌شود.

۸-مراجع

- 1- Samimi, A., Mohammadian, A., and Madanizadeh, S., 2009, Effects of transportation and built environment on general health and obesity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14 (1): 67-71.
- 2- Samimi, A., Mohammadian, A., 2010, Health Impacts of Urban Development and Transportation Systems. *Urban Planning and Development*, 136 (3): 208-213.
- 3- Wedderkopp, N., Froberg, K., Hansen, H. S., Andersen, L. B., 2004, Secular trends in physical fitness and obesity in Danish 9-year-old girls and boys: Odense school child study and Danish sub- study of the European Youth Heart Study. *Scand J Med Science Sports*, 14:150-5.
- 4- Ebbeling, C. B., Pawlak, D. B., Ludwig, D. S., 2002, Childhood obesity. Public-health crisis, common sense cure. *Lancet* . 360: 473-482.
- 5- Ortúzar, J. D., and Willumsen, L. G., 2011, "Modelling Transport," UK: John Wiley & Sons.
- ۶- شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، "طرح جامع پیاده و عابر، دوچرخه"، ۱۳۸۷.
- ۷- شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، "بازنگری طرح جامع عابر پیاده"، ۱۳۹۰.
- 8- Association of Governmentn Southern California, "SCAG 2008 Reginal Model "
- 9- Desyllas, J., Duxbury, E., Ward, J., Smith, A., 2003, "Pedestrian Demand Modelling of Large Cities, An Applied example from London", Centre for Advanced Spatial Analysis.
- 10- Turner, S. Shunk, G. Hottenstein, A., 1998, "Development of a methodology to estimate bicycle and pedestrian travel demand", Texas Department of Transportation.
- 11- Train, K. E., 2011, "Discrete choice methods with simulation", Cambridge University Press, New York.
- 12- Hensher, D. A., Rose, J. M., Greene, W. H., 2005, "Applied choice analysis", Cambridge University Press, New York.
- 13- Municipality of Tehran, <http://atlas.tehran.ir/Default.aspx?tabid=272> Tehran Census, 2006. Accessed on 5 January 2014.
- 14- Louviere, J. J., Hensher, D. A., and Swait, J. D., 2000, "Stated Choice Methods: Analysis and Application," UK: Cambridge University Press.



Reconstruction of Tehran's comprehensive transportation model: Developing a mode choice model containing pedestrian alternative

Hamid Reza Fowri¹, Ezzodin Qanbari², Katayoon Mohebbi³, Parisa Sadat Mirjafari⁴

1- PhD candidate in Transportation Planning, Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Co.

2- Msc in Transportation Planning, Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Co.

3- Msc in Transportation Planning, Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Co.

4- Msc in Transportation Planning, Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Co.

Abstract

Using non-motorized transportation mode (pedestrian and bicycle) could better off not only the traffic congestion but also the public health. So, recently, transport planners pay more attention to policies which could increase the demand of non-motorized mode. In this study, we use 190 morning peak (7 to 9 a.m.) O-D observations to add a pedestrian mode to work trips' modal split model of Tehran metropolitan. The new model is a multinomial logit model, in which the pedestrian mode utility depends on square root of pedestrian distance of origin to destination. To find travel times of any modes in the choice set, we use outputs of EMME 2 software. EMME 2 use "optimal strategy" algorithm to assign public transport vehicles. The paths determined by this algorithm, may have zero in-vehicle travel time; In other words, there may be some cases in which all the public transport demand use only auxiliary transit modes (i.e. pedestrian and taxi). At these situation, we suggest to use variable choice set and omit public transport mode from the choice set of corresponding O-D. Also, by means of choice-based sample, we correct market shares.

Keywords: *Modal split, Pedestrian demand estimation, Discrete choice model, Auxiliary transit*

¹ H.Fowri@modares.ac.ir, 02122259058