

کارآیی مدل‌های دو مرحله‌ای تولید سفر در برآورد سفرهای کم تواتر روزانه

غلامرضا اصغری
کارشناس ارشد

محمد کرمانشاه
دانشیار

دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در این مقاله فرض پیوستگی توزیع خطا در مدل‌های روندگرایی خطی هنگامی که در برآورد سفرهای کم تواتر با مقادیر گسسته و غیرمنفی مورد استفاده قرار می‌گیرند مطالعه شده است. در این نوع سفرها که تعداد زیادی مشاهدات صفر وجود دارد از مدل تولید سفر دو مرحله‌ای استفاده شده است. در مرحله نخست احتمال انجام سفر توسط مدل انتخاب پروبیت دوگانه برآورد می‌شود، و در مرحله دوم مدل روندگرایی خطی به منظور برآورد تعداد سفرهای انجام شده تهیه می‌گردد. نتایج این حالت با نتایج حاصل از برآورد مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای تولید سفر مقایسه می‌شود. بررسی‌های به عمل آمده حاکی از آن است که مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای دارای مجموعه متغیرهای توصیفی مشابه مدل دو مرحله‌ای بوده و نتایج حاصل، از توجیه چندانی برای بکارگیری ساختار پیچیده مدل دو مرحله‌ای برخوردار نیستند.

کلمات کلیدی

مدل روندگرایی خطی، مدل دو مرحله‌ای تولید سفر، سفرهای کم تواتر، پروبیت دوگانه

Performance of Two-stage Trip Generation Models in Estimating Daily Infrequent Trips

M. Kermanshah
Associate professor

G. Asghari
MSc.

Sharif University of Technology

Abstract

This study investigates validity of continuity assumption of error terms underlying multiple linear regression approach of trip generation models for infrequent trips. Since not many household members make daily trips for purposes like shopping or personal business, estimation of such trips with their discrete and non-negative nature and still close to zero averages, using conventional multiple linear regression, needs to be investigated. This study employs a two-stage trip generation model; the probability of making/not making trip is modeled first by binary probit, then, number of trips for those who have already made trips are estimated by the weighted least square method. The results are then compared with the results of single-stage regression model. The study findings show similarities in both sets of descriptive variables of the regression models. So, no justification was found for employing a very complex two-stage generation model.

Keywords

multiple linear regression, two-stage trip generation model, infrequent trips, binary Probit

مطالعات گسترده برنامه‌ریزی حمل و نقل در سالهای میانی قرن بیستم در شهرهای دیترویت و شیکاگو در آمریکا سرآغاز نگرشی همه جانبه در جهت حل مسایل حمل و نقل شهری محسوب می‌شود. در تداوم به این برنامه‌ریزی‌ها، فرآیند — ۴- مرحله‌ای تحلیل تقاضای حمل و نقل شامل تولید سفر^۱، توزیع سفر^۲، تعیین سهم وسیله^۳، و تخصیص مسیر^۴ به صورتی استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است.

در تحلیل تقاضا تولید سفر به عنوان نخستین مرحله در جستجوی رابطه‌ای منطقی بین تعداد سفرهای ایجاد شده از یکسو و عوامل ایجادکننده از سوی دیگر است. اهمیت این مرحله، از آن جهت که دقت نتایج نهایی برآورد تقاضا به آن وابسته است، مورد تاکید بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است [۱، ۲].

مدلهای تولید سفر در دو سطح همفزون^۵ و ناهمفزون^۶ تهیه می‌شوند. در مدل‌های همفزون برآورد سفرها براساس یک واحد جغرافیایی (ناحیه‌های ترافیکی) انجام می‌گیرد. تقریباً در تمام مطالعات پیش از اواسط دهه ۷۰ میلادی، روشهای مورد استفاده از نوع همفزون است. با وجود این، مدل‌ها دارای مشکلاتی بوده‌اند از جمله [۳، ۴]:

۱- نادیده گرفتن تغییرات درون ناحیه‌ای،

۲- انعطاف‌پذیری پایین (مدلهای همفزون برای واحد جغرافیایی ویژه‌ای ساخته شده‌اند و با تغییر واحد جغرافیایی استفاده مجدد از آنها نیازمند پرداخت دوباره آنها است)،

۳- عدم برخورداری از مبانی رفتاری.

برای بهبود مبانی نظری مدل‌های تقاضا، تلاشهای زیادی در دو دهه اخیر صورت گرفته است. حاصل این پژوهشها مدل‌های سفر ناهمفزون تقاضاست که بر مبنای اصول کلی نظریه‌های رفتاری استوار است. در این روشها از مفهوم "انتخاب" استفاده شده [۵، ۶] و کاربرد آن در مراحل انتخاب مقصد (توزیع سفر)، انتخاب وسیله (سهم وسیله)، و انتخاب مسیر (تخصیص مسیر) به وفور مشاهده می‌شود. ولی کاربرد آن در مرحله تولید سفر به ندرت صورت گرفته است.

از آنجا که در سالهای اخیر نشانه‌هایی از توانمندی مدل‌های تولید سفر ناهمفزون از نظر مبانی رفتاری [۷]، سیاست‌پذیری [۸]، و انتقال‌پذیری [۹] گزارش شده است، انگیزه و تمایل به پژوهش در این مرحله نسبت به سایر مراحل تحلیل تقاضا افزایش یافته است. به طور کلی این تمایل به صورت تنوع روشهای مختلف در هر دو نوع مدل همفزون و ناهمفزون ظاهر شده است.

از جمله روشهای پیشنهادی برآورد و تولید سفر از نوع همفزون می‌توان از روش توصیفی دسته‌بندی جدولی^۷ با وجود اشکالات عملی و ضعف مبانی نظری [۲]، استفاده از شاخص دسترسی در مدل‌های سنتی به منظور بهبود مدلها [۱۰]، و کاربرد روش روندگرایی خطی چندگانه به منظور رفع اشکال محدودیت تعداد متغیرها در روش دسته‌بندی جدولی نام برد.

در بخش ناهمفزون تولید سفر در مواردی برآورد سفرهای تولید شده با استفاده از توزیع پواسون و از طریق روش بیشینه تمایل^۸ انجام شده است [۱۱]. همچنین، برخی از پژوهشگران روش کمینه مربعات دو مرحله‌ای را در برآورد تولید سفر پیشنهاد کرده‌اند [۸]. به علاوه، مدل‌های احتمالی لججیت، پروبیت، و توبیت نیز در برآورد تولید سفر به کار رفته است [به عنوان نمونه، ۱].

از جمله مواردی که در تهیه مدل‌های ناهمفزون مورد توجه فراوان پژوهشگران بوده انتخاب واحد مناسب در فرآیند تحلیل تقاضاست. برخی از پژوهشگران خانواده را به عنوان مبانی مشاهدات مورد استفاده قرار داده و استدلال می‌کنند که خانواده از تعدادی افراد نزدیک به یکدیگر تشکیل شده ضمن آنکه واحد مستقلی است. بخش عمده‌ای از سفرها از خانه (محل سکونت این واحد مستقل) شروع و به آن ختم می‌شود و بسیاری از سفرها به نیازها و خواسته‌های خانواده ارتباط دارد [۱۲].

عده‌ای از محققین از رویکردهای سنتی هر خانواده به عنوان واحد تجزیه و تحلیل انتقاد کرده، اعتقاد دارند که فرد تصمیم‌گیر واقعی است و فرد را به جای خانواده برگزیده‌اند [۱]. گرچه عده‌ای دیگر را عقیده بر آن است که نه خانواده و نه فرد تصمیم‌گیر واقعی نیستند، بلکه تصمیم را افراد در چهارچوب خانواده می‌گیرند [۱۳].

یکی دیگر از ویژگیهای روشهای ناهمفزون برآورد تولید سفر افزایش توان توصیفی آنها است. گرچه در این مدلها عمدتاً به متغیرهایی مانند اندازه خانواده، درآمد و مالکیت اتومبیل بسنده شده است [۲]، ولی، ضروری است متغیرها براساس مبانی

علمی برگزیده شوند. فهرست عوامل اثرگذار در تولید سفر در بسیاری از منابع آمده است (برای مثال، ۳، ۶). در انتخاب این عوامل باید به این ویژگی که متغیرهای انتخاب شده نرخ سفر را به درستی پیش‌بینی کنند توجه شود. برای مثال، چرخه زندگی^۹ که معمولاً برحسب سن سرپرست خانواده و تعداد و سن فرزندان در خانواده تعریف می‌شود می‌تواند بیانگر ویژگیهای دینامیکی تغییرات رفتار سفر خانواده در طول زمان باشد [۱۴]، و یا سبک زندگی^{۱۰} در مدل‌های ناهمفزون می‌تواند جایگزین یا تکمیل‌کننده متغیر اندازه خانواده که معمولاً در مدل‌های تولید سفر به کار می‌رود، شود [۱۵].

ساختار اخیر بر این باور استوار است که ویژگیهای اجتماعی حاکم بر زندگی افراد تاثیر عمیقی بر فرصتها و محدودیتهایی که آنها در هنگام شرکت در فعالیتهای با آن روبرو هستند، می‌گذارد. برقراری نوعی هماهنگی در نحوه شرکت در فعالیتهای و به تبع آن سفرهای ضروری افراد و میزان هزینه‌های مربوط به آنها به نحوه زندگی فرد که مجرد است یا با دیگران زندگی می‌کند، بستگی مستقیم دارد. یک زوج جوان با فرزند یا فرزندان در سن پیش دبستانی خود را از زوج مشابهی که فرزند ندارند یا دارای فرزندان در سنین بالاترند و نیاز کمتری به وسیله شخصی احساس می‌کنند، کم تحرک‌تر می‌بینند. افراد سالخورده و بازنشسته که با جوانترها زندگی می‌کنند از فعالیتهای خارج خانه به نحو مطلوبتری بهره‌مند می‌شوند تا افراد مشابهی که با همسالان خود زندگی مشترکی دارند و یا تنها بسر می‌برند. تعداد فرزندان و تعداد افراد بالغ که در یک خانواده زندگی می‌کنند بر شکل کلی سفر و نحوه استفاده از زمان تاثیر می‌گذارند. به عبارت دیگر، رفتار افراد به مقدار زیادی تحت تاثیر محدودیتهایی است که به تعداد و سن فرزندان بستگی دارد [۱۵]. مفاهیم چرخه زندگی و سبک زندگی این تاثیر را در مدل‌های تولید سفر منعکس می‌سازند.

برخی پژوهشگران سبک زندگی را به صورت چگونگی اختصاص زمان برای فعالیتهای متفاوت مانند کار، تفریح، فعالیت در خانه و ... تعریف کرده‌اند [۱۴]. گروهی دیگر، آن را در قالب شکل‌گیری رفتار همیشگی در پاسخ به شرایط اجتماعی - اقتصادی بیان نموده‌اند [۱۶]، یا آن را با مفاهیم چرخه زندگی، در آمد، و محل سکونت در هم آمیخته برحسب تعداد افراد خانوار، سن، نقش اجتماعی خانواده، چگالی و تغییرات فعالیتهای آنها تعریف نموده‌اند [۱۷]، و یا همراه با نقش فرد به عنوان دو عامل اجتماعی موثر بر انواع مختلف فعالیتهای روزانه و در نتیجه رفتار سفر می‌بینند [۱۸].

ویژگیهای سبک زندگی که در هزینه‌های مصرف و الگوهای سفر^{۱۱} آشکار می‌شود تحت تاثیر چرخه زندگی است. عامل چرخه زندگی در مطالعات حمل و نقل دیترویت به عنوان یک متغیر در مدل‌های تولید سفر وارد شده است [۱۹]، و تاثیرات گسترده آن در رفتار سفر مورد توجه و بررسی دقیق قرار گرفته است [۱۴]. در تعیین چرخه زندگی، تعداد فرزندان و سن آنها به عنوان عامل اصلی مطرح شده است که تصور تاثیر فرزندان بر فعالیت و رفتار سفر افراد بالغ خانواده چندان مشکل نیست [۱۵].

در تعریف چرخه زندگی خانواده‌ها به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند که از نظر تولید سفر دارای تفاوت‌های اساسی‌اند. یک نمونه گروه‌بندی ۴- گانه از چرخه زندگی شامل خانواده‌های: یک نفره، زوجهای جوان بدون فرزند، خانواده‌های دارای فرزند، و والدین تنها، با رفتار سفر کاملاً متفاوت در بین آنها، در مدل‌های تولید سفر وارد شده است. در تقسیم‌بندی‌های گسترده‌تر حداکثر سن فرزند بزرگتر یا حداقل سن فرزند کوچکتر، و یا سن سرپرست خانواده به عنوان عوامل اثرگذار بر گروه‌بندی و در نتیجه موثر در تولید سفر دیده می‌شود [۱۳، ۲۰].

۱- اهداف پژوهش

تهیه مدل تولید سفر ناهمفزون با تاکید بر کاربرد مجموعه گسترده‌تری از متغیرهای توصیفی از جمله هدفهای این مطالعه است. در این پژوهش سفرهای فردی روزانه برای نمونه آماری ساکنان شهر مشهد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نمونه آماری انتخابی با وجود نارساییهای اطلاعاتی می‌تواند در شناسایی ویژگیهای رفتار سفر مورد نظر این پژوهش گره گشا باشد. هدف دیگر، دستیابی به روش مناسب برآورد سفرهای تولید شده فردی با توجه به سازگاری آن با فرآیند تصمیم‌گیری سفر است. همانطور که اشاره شد ویژگی‌های روش برآورد سفر از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از متداولترین روشها که در بسیاری از بسته‌های نرم‌افزار موجود یافت می‌شود استفاده از تخمین حداقل مربعات خطا در مدل‌های روندگرایی خطی است. این

روش از فرضیات و نیز محدودیتهایی برخوردار است که در پاره‌ای مواقع در برآورد تولید سفر قبول چنین فرضیاتی ممکن است قابل توجیه نباشد.

کاربرد روش روندگرایی خطی با توجه به این فرض است که متغیر وابسته (تعداد سفر) نوعی متغیر پیوسته ناقص^{۱۲} است [۲۱]. به علاوه، فرض می‌شود تمام گستره رفتار تولید سفر توسط مدلی تک ساختاری توصیف می‌شود، در حالیکه فرآیند تولید سفر در بسیاری موارد با چنین فرضیاتی سازگار نیست. اساساً متغیر وابسته در ساختارهای ناهمفزون تولید سفر از نوع گسسته و غیر منفی است و نه پیوسته ناقص. به علاوه مکانیسم تولید سفر را می‌توان به صورت فرآیند تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای در نظر گرفت، که ابتدا تصمیم به سفر کردن گرفته می‌شود، سپس با فرض انجام شدن سفر، تعداد سفرها برآورد می‌شود. سفرهای روزانه با هدف خرید یا تفریح، یا سفرهای با یک نوع وسیله نقلیه، مثلاً اتوبوس، که می‌توان آنها را از موارد کم تواتر شمرد، از جمله این نوع رفتار است.

پژوهشهای انجام شده در زمینه استفاده از مدل‌های روندگرایی خطی با وجود مدل‌های دیگری نظیر پواسون یا دوگانه منفی^{۱۳} که متغیر وابسته غیر منفی و گسسته است، حاکی از کارآمدی مدل‌های خطی و نتایج قابل قبول آنها است [۲۲]. از سوی دیگر فرآیند دو مرحله‌ای تصمیم‌گیری سفر وقتی که سفرهای روزانه دارای مشاهده صفر (عدم انجام سفر) بسیار است بیشتر موضوعیت پیدا می‌کند. در این صورت متغیر وابسته پیرامون فراوانی صفر تمرکز پیدا کرده و احتمال بیش از یک مرحله‌ای بودن فرآیند تصمیم‌گیری و عدم کفایت یک مدل واحد را در توصیف آن افزایش می‌دهد. این پژوهش به بررسی کفایت یک مدل واحد در توصیف رفتار تولید سفرهایی که ممکن است ناشی از فرآیند چند مرحله‌ای باشد، می‌پردازد.

۲- رویکرد پژوهش

انتظار می‌رود ساختارهای گسسته و غیر منفی نظیر توزیع پواسون^{۱۴} و دوگانه منفی هماهنگی بیشتری با ویژگیهای رفتار سفر فردی داشته باشند، اگر چه نتایج کاربرد روش روندگرایی خطی از اعتبار قابل قبولی برخوردار است [۱۱، ۲۲]. ولی در مواقعی که حجم سفرهای مورد بررسی بنا به دلایلی کم است (مثلاً سفرهای روزانه فرد، یا سفرهایی با هدف سفر مشخص، و یا با وسیله نقلیه مشخص) احتمال سفر نکردن افزایش می‌یابد (تصمیم "عدم سفر کردن" در اینگونه سفرها به وفور دیده می‌شود). در این صورت بنظر می‌رسد گزینه دیگری جهت برآورد تولید سفر لازم باشد. این گزینه فرآیندی دو مرحله‌ای است که در آن نخست احتمال انجام سفر تعیین می‌گردد، سپس برآورد سفرهای تولید شده مشروط به آنکه سفر انجام شده باشد، صورت می‌گیرد. مبانی نظری روش برآورد تولید سفر دو مرحله‌ای که تحت عنوان مدل "توبیت"^{۱۵} نیز از آن یاد شده، در ادامه ارائه می‌گردد.

از جمله محدودیتهای کاربرد روش روندگرایی خطی در مدل‌های تولید سفر فرض عدد صحیح غیر منفی متغیر وابسته تعداد سفرها است. در شرایط ایده‌آل باید از مدل‌های گسسته نظیر پواسون یا دوگانه منفی استفاده شود. از سوی دیگر زمانی که تعداد سفرهای قابل انتظار نزدیک به صفر است مسئله دیگری بروز می‌کند. برای مثال فرض کنید میانگین سفر قابل انتظار حدود $0/1$ باشد، در این صورت برای تعداد سفرهای مشاهده شده، $0, 1, 2, 3, \dots$ مقادیر ممکن خطا $(\hat{y}_i = y_i - \varepsilon_i)$ ، به ترتیب، برابر با $0/1, 0/9, 1/9, 2/9, \dots$ خواهد بود. در این صورت توزیع خطای قطع شده در $0/1 -$ دارای احتمالی معادل احتمال "عدم انجام سفر" است. اگر تعداد سفرها دارای توزیع پواسون با میانگین $0/1$ باشد، احتمال "عدم انجام سفر" برابر $0/905 (= e^{-0/1}) = \frac{e^{-\mu} \mu^0}{0!} = p_i(y_i = 0)$ بوده که "کج شدگی"^{۱۶} شدیدی را نشان می‌دهد. در این صورت اعتبار و کارایی فرضیات مدل روندگرایی خطی، زمانی که تعداد زیادی مشاهدات صفر (عدم انجام سفر) وجود دارد، در حاله‌ای از ابهام قرار می‌گیرد. بررسی سفرهای مورد مطالعه، مثلاً فرد یا خانواده یا شکل خاصی از سفرها (سفرهای تفریحی یا سفر با نقلیه همگانی و ...) که بنا به دلایلی کم تواترند، در این گروه جای دارند. در این گونه مثالها، احتمال انجام نشدن سفر از نوع مورد نظر بسیار زیاد است. اثر قطع کردن توزیع خطا بسیار مهم می‌شود و کیفیت ضریبهای برآورد شده مدل و آزمونهای آماری به شدت کاهش می‌یابد. به این وضعیت باید برآوردهای منفی از تعداد سفرها را توسط مدل نیز افزود.

به عنوان مثالی دیگر، کارایی یک مدل خطی واحد در بازسازی تمام گستره رفتار تولید سفر قابل تامل است. از اینرو شاید

بتوان فرآیند تولید سفر را نتیجه فرآیند تصمیم دو مرحله‌ای دانست، که در مرحله نخست تصمیم به انجام سفر گرفته می‌شود، و سپس با فرض انجام شدن سفر، تعداد آن برآورد می‌شود. در این حالت، امکان دارد مرحله برآورد سفر (مرحله دوم) و عوامل موثر در آن دارای مکانیسم و ماهیتی متفاوت از مرحله تصمیم‌گیری برای سفر (مرحله اول) باشد. به عنوان مثال، عوامل اصلی کاملاً متفاوتی در تصمیم‌گیری مرحله نخست انجام سفرهای با وسیله نقلیه همگانی یک خانواده در مقایسه با عوامل مرحله دوم گزارش شده است [۲۲]. از جمله عوامل مهم در مرحله اول تعداد اتومبیل و افراد غیر راننده هستند، در حالیکه تعداد افراد خانواده یا تعداد شاغلان در مرحله دوم مطرح می‌باشند.

با توجه به موارد بالا، این مطالعه مکانیسم تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای را شامل دو مجموعه مدل به صورت مدل پروبیت دوگانه^{۱۷} نشان‌دهنده انجام یا عدم انجام شدن سفر؛ و مدل روندگرایی خطی برای برآورد تعداد سفرها مشروط به انجام شدن سفر را بررسی می‌کند. این روش به عنوان گزینه روش روندگرایی خطی یک مرحله‌ای ارزیابی و با آن مقایسه می‌شود. در این روش در مرحله اول از یک مدل پروبیت دوگانه برای نشان دادن تصمیم سفر کردن یا نکردن استفاده می‌شود. سپس، در مرحله دوم از یک مدل روندگرایی خطی تعداد سفر کسانی که تصمیم به سفر گرفته‌اند برآورد می‌شود. ساختار ریاضی روش دو مرحله‌ای به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\begin{aligned} (A_i = a'x_i - u_i) \\ y_i = 0 \quad \text{اگر } A_i \leq 0 \\ y_i = \beta'z_i + v_i \quad \text{اگر } A_i > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

که A_i متغیر پیوسته نهانی برای نشان دادن آستانه تصمیم به سفر کردن است. سایر متغیرها به قرار زیر است:

$Y_i =$ تعداد سفرهای انجام شده،

α' و β' = ضرایب

x_i و z_i = متغیرهای مستقل

u_i و v_i = خطاهای اتفاقی دارای توزیع‌های نرمال با میانگین صفر و پراکنش واحد برای u_i .

متغیرهای مستقل x_i و z_i ممکن است شامل متغیرهای مشابه باشند.

احتمال انتخاب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Pr[y_i > 0] = 1 - \Pr[y_i = 0] = 1 - \Pr[A_i \leq 0] = 1 - \Pr[a'x_i + u_i \leq 0] = 1 - \Pr[u_i \leq -a'x_i] = 1 - \Phi(-a'x_i) = \Phi(a'x_i) \quad (2)$$

که سمت چپ معادله احتمال انجام سفر و قسمت راست، تابع نرمال استاندارد تجمعی است. تعداد سفرها برای $A_i \leq 0$ ، برابر صفر و در صورتی که $A_i > 0$ باشد برابر با $\beta'z_i$ است. تعداد سفرهای مورد انتظار را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$E[y_i] = E[y_i | y_i = 0] \Pr[y_i = 0] + E[y_i | y_i > 0] \Pr[y_i > 0] = E[y_i | y_i > 0] \Pr[y_i > 0] = \beta'z_i \Phi(\alpha'x_i) \quad (3)$$

مجموعه مدل‌های بالا را می‌توان به صورت همزمان و با استفاده از روش بیشینه تمایل به کمک بسته‌های نرم‌افزاری موجود برآورد کرد. روش دیگر دو مرحله‌ای و منطبق بر فرآیند مورد اشاره در بالاست. در این روش اریب^{۱۸} ناشی از همبستگی بین خطاهای مدل پروبیت (u_i) و مدل روندگرایی خطی (v_i)، به سبب انتخاب قسمتی از اطلاعات مورد استفاده در پرداخت مدل پروبیت در تهیه مدل روندگرایی خطی، تصحیح می‌شود. این اریب از نتایج مدل پروبیت برآورد می‌شود و به صورت یک متغیر توصیفی در مدل روندگرایی خطی وارد می‌گردد^{۱۹} [۲۳]. به علاوه، چون فرض "هم پراکنشی"^{۲۰} خطاها نیز در مدل روندگرایی خطی مورد استفاده در این پژوهش وجود ندارد، از روش حداقل مربعات وزنی^{۲۱} استفاده می‌شود [۲۴]. ساختار دو مرحله‌ای تولید سفر شامل مکانیسم انتخاب و مدل روندگرایی است. انتخاب از طریق استفاده از مدل پروبیت صورت

می‌گیرد. مساله به این صورت حل می‌شود که متغیر پیوسته نهانی به صورت تابعی از ویژگیهای y_i تعریف می‌شود.

$$A_i = \alpha'x_i + u_i \quad (4)$$

A_i قابل مشاهده نیست، بلکه آنچه که مشاهده می‌شود متغیر ساختگی y_i است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_i = 1 \quad \text{اگر } A_i > 0 \quad (5)$$

در غیر اینصورت $y_i = 0$

با استفاده از روابط (4) و (5) می‌توان نوشت:

$$\Pr(y_i = 1) = \Pr(\alpha'x_i + u_i > 0) = \Pr(u_i > -\alpha'x_i) = 1 - \Pr(u_i < -\alpha'x_i) = 1 - F(-\alpha'x_i) \quad (6)$$

که F تابع توزیع تجمعی برای u است. چنانچه $u_i \sim N(0, \sigma^2)$ باشد، در رابطه بالا تابع Φ تابع تجمعی استاندارد نرمال است، یعنی

$$\Pr(y_i = 1) = 1 - \Phi(-\alpha'x_i) = \Phi(\alpha'x_i) \quad (7)$$

پرداخت مدل برای تعیین ضرایب α با استفاده از روش بیشینه تمایل به صورت زیر تعریف می‌شود.^{۲۳}

$$L' = \prod_{y_i=0} F(-\alpha'x_i) \prod_{y_i=1} [1 - F(-\alpha'x_i)] \quad (8)$$

$$L = \ln L' = \sum_{y_i=0} \ln(1 - \Phi_i) + \sum_{y_i=1} \ln \Phi_i$$

برازندگی مدل پروبیت با استفاده از نسبت تمایل^{۲۴} صورت می‌گیرد. اگر فرضیه صفر را صفر بودن ضرایب α در نظر گرفته و تابع تمایل در شرایط فرضیه صفر و بیشینه تمایل، به ترتیب، با $L(0)$ و $L(\alpha)$ نشان داده شود، نرخ نسبت بیشینه، γ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma = \frac{L(0)}{L(\alpha)} \quad (9)$$

می‌توان نشان داد که $-2 \ln \gamma$ دارای توزیع مربعی χ^2 با درجه آزادی برابر تعداد ضرایب α است. روش آزمون مشابه سایر آزمون فرضیه‌هاست.

$$-2 \ln \gamma = -2[L(0) - L(\alpha)] \sim \chi^2 \quad (10)$$

یک آزمون دیگر آن است که فرضیه صفر برای حالتی که معادله فقط شامل عدد ثابت است در نظر گرفته شود، یعنی:

$$\gamma = \frac{L(C)}{L(\alpha)} \quad (11)$$

که $-2 \ln \gamma$ دارای توزیع مربعی χ^2 با درجه آزادی تعداد ضرایب منهای یک است. به طور کلی یک شاخص برازندگی مدل

(ρ^2) است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\alpha)}{L(0)} \quad (12)$$

۴- نمونه آماری

در این پژوهش از اطلاعات مبدا - مقصد سفرهای شهر مشهد استفاده شده است. این اطلاعات از نتایج آمارگیری مبدا - مقصد در آبان ماه سال ۱۳۷۳ در چهار چوب مطالعات جامع حمل و نقل مشهد به دست آمده و به صورت نمونه استخراج شده است [۲۵]. آمارگیری در محدوده‌ای شامل شهر مشهد و قسمتی از دهستان طوس که در سال ۱۳۷۳ حدود ۲ میلیون نفر جمعیت داشته، صورت گرفته است. جامعه آماری مطالعات مبدا - مقصد حدود ۱۷۰۰۰ خانوار را در برمی‌گیرد که حدود ۴ درصد از کل شهر است. در این پژوهش یک نمونه اتفاقی انتخاب شده است که شامل اطلاعات ۵۴۷۹ خانوار و ۳۹۰۴۶ نفر می‌شود که در گستره محدوده مورد مطالعه پراکنده‌اند. مجموع سفرهای انجام شده این افراد برابر ۵۳۲۵۷ سفر است که توسط وسایل نقلیه موتوری انجام شده و شامل سفرهای با اهداف مختلف می‌باشد. در این پژوهش از افراد دارای حداس ۱۸ سال سن (بالغ) به عنوان واحد تصمیم‌گیر سفر استفاده شده است و سفرهای مورد بررسی شامل کل سفرها بجز سفر بازگشت به خانه می‌شود.

در تعریف متغیرهای توصیفی مدل‌های تولید سفر گستره‌ای از متغیرها شامل متغیرهای جنس و سن فرد، تعداد اَسبیل، ساختار خانواده، چرخه زندگی و محل سکونت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فهرست کاملی از متغیرهای توصیفی در جدول (۱) ارائه گردیده است. به دلیل در دست نداشتن اطلاعات مربوط به درآمد خانوار این متغیر در مدل وجود ندارد. متغیرهای نوع محل سکونت نیز توسط سه متغیر در مدل وارد گردیده‌اند.

۴- فرآیند برآورد سفرهای تولید شده

۴-۱- فرآیند دو مرحله‌ای تولید سفر

در فرآیند دو مرحله‌ای توصیف سفر تصمیم‌گیری برای انجام یا عدم انجام سفر در مرحله اول مورد بررسی قرار خواهد گرفت، سپس تعداد سفرها، به شرط آنکه سفر انجام شده باشد، در مرحله دوم برآورد می‌شود. مدل مرحله نخست از نوع پروبیت است. متغیر وابسته در این قسمت یک متغیر دوگانه ۰-۱ است که ۱، به معنای سفر کردن و صفر به معنای سفر نکردن است. گستره‌ای از متغیرهای مستقل به عنوان متغیرهای توصیف کننده، برای ساخت مدل استفاده شده است. در مرحله دوم برآورد سفر به کمک مدل روندگرایی خطی چندگانه^{۲۵} صورت می‌گیرد. در پرداخت این مدل از افرادی که سفر کرده‌اند، به عنوان نمونه استفاده می‌شود. متغیرهای مورد استفاده در این قسمت می‌تواند مشابه متغیرهای به کار رفته در قسمت اول باشد. به علاوه یک متغیر که از مرحله نخست نتیجه شده، و آریب ناشی از وجود افراد بدون سفر را منظور می‌کند، به عنوان متغیر مستقل وارد مدل روندگرا می‌شود^{۲۶}. پس از انجام دو مرحله فوق، دقت و اعتبار مدلها در برآورد تعداد سفر ارزیابی شده و مقایسه آن با مشاهده سفرها صورت می‌گیرد. از سوی دیگر، برآورد سفرها توسط مدل روندگرایی خطی چندگانه و به صورت یک مرحله‌ای انجام شده و مشابه روش قبل ارزیابی به عمل می‌آید. در نهایت، مقایسه بین دو روش از نظر بازسازی مشاهدات و توان مدلها، روش برتر را تعیین می‌کند.

پرداخت مدل‌های پروبیت با استفاده از روش برآورد بیشینه تمایل انجام گرفت. بهترین مدل از دو روش "انتخاب پیش - رو"^{۲۷} و "حذف پس - رو"^{۲۸} نتیجه شده است. در "انتخاب پیش - رو" متغیر یا مجموعه متغیرهایی که بیشترین تاثیر را روی متغیر وابسته دارند وارد مدل می‌شوند، مدل به عنوان مبنای تغییرات بعدی قرار می‌گیرد. ارزیابی تاثیر یک متغیر در مدل به کمک آزمون t و برای یک مجموعه متغیر با استفاده از آزمون مربع خی صورت می‌گیرد [۶].

در روش "حذف پس - رو"، ابتدا مدلی با تمام متغیرها تهیه شده و سپس با توجه به نتایج آزمون t، متغیرهای بی‌اهمیت از مدل حذف می‌شوند. دو مدل متوالی به کمک آزمون مربع خی، با یکدیگر مقایسه شده و مدل بهتر انتخاب می‌گردد و این

روش تا دستیابی به نتیجه نهایی ادامه می‌یابد. این احتمال وجود دارد که نتایج حاصل از فرآیند پرداخت دو روش یکسان نباشد.

همانگونه که اشاره شد در مرحله دوم از مدل دو مرحله‌ای تولید سفر (فراوانی سفر) مدل روندگرایی خطی چندگانه به کار رفته است. چون وجود همبستگی بین خطاهای مدل پروبیت دوگانه در مرحله نخست و مدل روندگرایی خطی در مرحله دوم منجر به اریب در برآورد ضرایب مرحله دوم می‌شود برای رفع آن از یک ضریب تصحیح استفاده شده است. پس از آنکه با استفاده از کل اطلاعات مدل دوگانه پروبیت برای مرحله تصمیم‌گیری سفر کردن یا نکردن در مرحله نخست ساخته شد، مقدار اریب از رابطه $\lambda_i = \frac{\phi_i}{\Phi_i}$ محاسبه می‌شود. مقدارهای ϕ_i و Φ_i ، به ترتیب، تابع چگالی و توزیع تجمعی نرمال استاندارد می‌باشند که به صورت زیر تعریف می‌شوند^{۲۹}:

$$\phi_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(y_i)^2} \quad (13)$$

$$\Phi_i = \int_{-\infty}^{y_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(t_i)^2} dt \quad (14)$$

مقدار λ_i به صورت یک متغیر مستقل (COR) وارد مدل روندگرایی خطی در مرحله دوم می‌شود. مساله دیگری که در پرداخت مدل روندگرایی خطی وجود دارد، عدم برقراری فرض "هم پراکنشی" است. بررسی آزمون وایت^{۳۰} حاکی از این واقعیت است که شرط "هم پراکنشی" در مدل وجود نداشته و لازم است از روش حداقل مربعات وزنی استفاده شود. پیشنهادهای مختلفی برای میزان وزنه W_i برای هر مشاهده ارائه شده است [۲۴] که این مطالعه از وزنه‌های متناسب با عکس مربع تعداد سفر برآورد شده y_i^2 استفاده کرده است. روش انجام کار به این نحو صورت می‌گیرد که ابتدا بهترین مدل روندگرایی خطی ساده بدست آمده، مقادیر \hat{y}_i^2 محاسبه می‌شود. حال عکس مربع این متغیر به عنوان متغیر وزنی به برنامه معرفی گردیده، سپس مدل روندگرایی وزنی ساخته می‌شود. این مدل دارای ویژگی "هم پراکنشی" خواهد بود.

برای یافتن بهترین مدل در این قسمت نیز از دو روش "انتخاب پیش - رو" و "حذف پس - رو" استفاده شده است. برای تعیین برازندگی مدل از ضریب تشخیص R^2 استفاده می‌شود. مقدار این ضریب برابر است با،

$$R^2 = \text{RSS} / \text{TSS} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (15)$$

که در آن RSS و TSS، به ترتیب، مجموع مربعات روندگرا و کل مربعات است. آزمون F که در آن مقدار F محاسبه شده با مقدار بحرانی مقایسه می‌شود اهمیت برازندگی مدل را نشان می‌دهد. اگر F محاسباتی از F بحرانی بیشتر باشد، مدل ساخته شده دارای اهمیت است، در غیر این صورت برازندگی مدل مناسب نخواهد بود.

۵-۲- فرآیند یک مرحله‌ای تولید سفر

روش متداول در برآورد تولید سفر، مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای است. از اینرو پرداخت مدل این بخش کاملاً شبیه بخش دوم مرحله نخست است، با این تفاوت که از تمام نمونه آماری استفاده می‌شود (شامل تمام کسانی که سفر کرده‌اند و یا نکرده‌اند). بنابراین متغیر وابسته در این قسمت تعداد سفر روزانه هر شخص است و در صورتی که سفری انجام نشده باشد، این تعداد صفر خواهد بود.

۵- مقایسه نتایج مدل‌های تولید سفر فرآیند یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای

جدول (۲) نتایج نهایی مدل‌های ساخته شده در فرآیند یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای تولید سفر را نشان می‌دهد. این جدول شامل ضرایب متغیرهای توصیفی مدل‌ها و مقادیر t آنها می‌شود. ستون اول فهرست متغیرها و ستون‌های دوم تا هفتم، به ترتیب، ضرایب و مقادیر t در مدل دو مرحله‌ای (پروبیست / روندگرایی خطی) و ستون‌های هشتم تا دهم نیز، به ترتیب، ضرایب، مقادیر t ، و سطح اهمیت آنها را در مدل یک مرحله‌ای (روندگرایی خطی) نشان می‌دهد.

بررسی نتایج پرداخت مدل‌ها، حاکی از توافق کلی بین دو فرآیند از نظر متغیرهای توصیفی است. در مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای، تولید سفر با بالا رفتن سن کاهش می‌یابد^{۳۱}. نظیر چنین نتایجی توسط مونزون و همکاران [۲۲] نیز گزارش شده است (این تمایل پس از سن ۳۰ سالگی مشاهده می‌شود). نقش متغیر مالکیت اتومبیل در تولید سفر فردی در نتایج مدل به روشنی دیده می‌شود. با افزایش اتومبیل (که می‌توان از آن به نوعی افزایش درآمد نیز نتیجه گرفت) تعداد سفرهای افراد افزایش می‌یابد. این افزایش برای افرادی که متعلق به خانواده‌های بدون اتومبیل و یا یک اتومبیل، می‌باشند وقتی که مالک نخستین اتومبیل یا اتومبیل دوم می‌شوند بسیار محسوس بوده ولی در خانواده‌های دارای دو اتومبیل چندان محسوس نمی‌باشد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که اگر تعداد اتومبیل‌های یک خانواده از ۲ بیشتر شود، تغییر چندانی در تعداد سفر افراد آن خانوار ایجاد نمی‌شود، ولی در هر حال مالکیت اتومبیل همواره از عوامل مهم افزایش تحرک‌پذیری افراد بوده است [۲۶]. سکونت در منطقه داخلی شهر مشهد (مرکز شهر) نسبت به سایر نقاط (متغیر CEN نشانگر این وضعیت است) موجب افزایش سفر افراد می‌شود. از سوی دیگر شغل سفر کننده تاثیر عمده‌ای بر تعداد سفرهای تولید شده فرد دارد. بدون استثناء کلیه شغلها در مقایسه با خانه‌دار بودن بر تولید سفر افراد می‌افزاید.

بیشترین میزان تولید سفر مربوط به کارفرمایان است و کمترین تولیدکنندگان سفر بعد از خانه‌داران، بیکاران هستند. این نتایج با توجه به اینکه سفرهای کاری بخشی از سفرهای روزانه فردی است، و خانه‌داران و بیکاران فاقد سفرهای کاری‌اند، خلاف انتظار نیست. از نکات جالب توجه تاثیر نسبتاً زیاد شغل بازنشستگی بر تعداد سفر روزانه است، این موضوع نشان می‌دهد که بازنشسته‌ها همچنان به فعالیتهای خود ادامه می‌دهند. ضریب مثبت جنس مذکر در مدل بیانگر آن است که مردان، تعداد سفر بیشتری نسبت به زنان انجام می‌دهند. این نتیجه را شاید بتوان ناشی از تحرک‌پذیری مردان و اصولاً دسترسی بیشتر آنها به وسیله نقلیه خانوار از یک سو، و تعداد زیاد زنان خانه‌دار (بدون سفر کاری) از سوی دیگر، دانست. احتمالاً چنین مشاهده‌ای، در نقاطی که فرهنگ کار در بین زنان، متداول‌تر است، کمتر رخ می‌دهد.

تعداد افراد بالغ خانوار (NADULT)، تعداد افراد مونث در خانواده (NFEMALE) و تعداد افراد مذکر در خانواده (NMALE) همگی دارای ضرایبی با علامت منفی بوده، به معنای آن است که در اثر افزایش تعداد افراد بالغ، مردان و زنان در خانواده، کاهش تعداد سفرهای فردی خانوار نتیجه می‌شود. این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش میزان دسترسی افراد به اتومبیل در خانواده باشد. به عبارت دیگر، هر چه تعداد افراد مورد اشاره در خانوار بیشتر شود، سرانه مالکیت اتومبیل در خانواده کاهش یافته و در نتیجه تعداد سفرهای فردی کاهش می‌یابد.

از دیگر متغیرهای اثر گذار بر تولید سفر، تعداد فرزندان در سنین مختلف است. نتایج مدل روندگرایی حاکی از آن است که افزایش سن فرزندان، بر میزان تولید سفر افراد بالغ تاثیر منفی می‌گذارد. مونزون و همکاران نیز چنین نتایجی را گزارش کرده‌اند [۲۲]. فرزندان در سنین مدرسه و قبل از آن، سفر والدین را افزایش می‌دهند. وجود سرپرست خیلی جوان در خانواده‌های بدون فرزند دارای نقش مثبت در تولید سفر نسبت به خانواده‌های مشابه، با سرپرست مسن‌تر است، ضمن آنکه متغیر چرخه زندگی، به طور کلی، عاملی بازدارنده در تولید سفر محسوب می‌شود.

از سوی دیگر، مدل دو مرحله‌ای پروبیست - روندگرا، به طور کلی دارای متغیرهای مشابه مدل روندگرایی یک مرحله‌ای بوده، ضمن آنکه در پاره‌ای موارد تفاوت‌های جزئی مشاهده می‌شود. تعداد فرزندان بین ۵ تا ۱۵ سال، در تصمیم‌گیری برای انجام سفر افراد بالغ خانواده موثر است. این تاثیر را می‌توان برای دانش‌آموزان نیز مشاهده نمود.

در مدل روندگرایی فرآیند دو مرحله‌ای تولید سفر، همان متغیرهای مدل پروبیست بدست آمده است، با این تفاوت که متغیر مالکیت بیش از ۲ اتومبیل، تعداد بچه‌های ۵ تا ۱۵ سال، و حضور فرزند بیش از ۶ سال، که در مدل پروبیست دارای اهمیت بوده،

در مدل روندگرا بی‌اهمیت شده و از مدل حذف شده‌اند. به علاوه، محل سکونت که عامل چندان مهمی در تصمیم‌گیری برای انجام سفر نیست، در تعداد سفرهای افراد بالغ نقش مهمی بازی می‌کند. ضریب تصحیح در مدل روندگرای خطی شرطی (مرحله دوم)، اریب ناشی از سفرهای انجام نشده را به نحوی جبران می‌کند.

آنچه که به طور کلی در مورد این دو فرآیند می‌توان گفت، آن است که فرآیند تصمیم‌گیری درباره انجام سفر و برآورد تعداد سفر تحت تاثیر مجموعه متغیرهای مشترکی قرار دارند، که تنها در برخی متغیرها متفاوتند. فرآیند دو مرحله‌ای افق‌های رفتاری مهمی را در مدل سازی تولید سفر می‌گشاید، ضمن آنکه تفاوتها به گونه‌ای نیست که بتوان مدل یک مرحله‌ای روندگرای خطی را نامطلوب خواند. بلکه، ضرایب مدلهای دو فرآیند نزدیکی بسیار زیاد آنها را به یکدیگر نشان می‌دهد که از این نظر بسیار حائز اهمیت است.

برای مقایسه بین نتایج دو فرآیند از برازندگی مقدار پیش‌بینی شده مدلهای برحسب مقدار مشاهده شده، استفاده شده است. روش کار بدین صورت است که یک مدل روندگرا بین مقادیر پیش‌بینی شده (به عنوان متغیر وابسته) و مقادیر مشاهده شده (به عنوان متغیر مستقل) ساخته می‌شود. شاخص برازندگی برای مدلهای دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای روندگرای خطی، به ترتیب، $0/172$ و $0/180$ نتیجه شده است. این نتیجه برتری نسبی مدل یک مرحله‌ای را نشان می‌دهد. مدل یک مرحله‌ای روندگرای خطی قادر است همان تغییرات را که مدل نسبتاً پیچیده دو مرحله‌ای بازگو می‌کند، توصیف نماید.

در جدول (۳) مقادیر آماری تعداد سفر پیش‌بینی شده توسط دو مدل روندگرا آمده است. همانطور که دیده می‌شود در مدل روندگرای خطی یک مرحله‌ای تعداد سفر برآورد شده در برخی موارد منفی است (حداقل تعداد سفر برآورد شده برابر $0/0898$ - می‌باشد)، در صورتی که در مدل روندگرای دو مرحله‌ای این مشکل وجود ندارد (حداقل آن برابر صفر می‌باشد).

جدول (۳) ویژگیهای آماری تعداد سفر برآورد شده از مدلهای روندگرای یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای.

ویژگی	مدل دو مرحله‌ای	مدل یک مرحله‌ای
میانگین	۱/۸۱۴	۱/۱۸۵
کمینه	۱/۱۴۶	-۰/۰۹۰
بیشینه	۲/۶۲۶	۲/۴۳۱
انحراف معیار	۰/۲۴۶	۰/۴۸۷
پراکنش	۰/۰۶۱	۰/۲۳۷
تعداد نمونه	۱۳۵۹۸	۱۹۸۴۳

۶- نتایج و پیشنهادات

این پژوهش با دو هدف عمده انجام گرفته است: ۱- مطالعه و بررسی سازگاری فرض پیوستگی توزیع بخش خطا در مدل‌های روندگرای خطی در هنگام برآورد تعداد سفرهای تولید شده کم توأثر توسط خانوار یا فرد، که شکلی گسسته و غیرمنفی دارند و ۲- بررسی امکان استفاده از مدلهای دو مرحله‌ای در برآورد این گونه سفرها و مقایسه برآورد سفر حاصل از مدلهای سنتی روندگرای خطی با نتایج مدلهای دو مرحله‌ای. در مدل دو مرحله‌ای، در مرحله نخست تصمیم برای انجام سفر، مدل سازی می‌شود. سپس، مشروط به انجام شدن سفر، در مرحله دوم مدل برآورد تعداد سفر ساخته می‌شود. در این پژوهش مرحله اول از مدل پروبیت دوگانه برای تصمیم‌گیری در مورد انجام سفر استفاده شده و در مرحله دوم با استفاده از مدل روندگرای خطی چندگانه وزنی تعداد سفر افراد برآورد شده است. نتایج برآورد در این فرآیند با نتایج برآورد حاصل از مدل روندگرای یک مرحله‌ای مقایسه شده است.

نتایج نشان می‌دهند که مرحله انتخاب (مدل پروبیت) و مرحله محاسبه تعداد سفر (مدل روندگرای خطی چندگانه) از متغیرهای تقریباً ثابتی تاثیر می‌پذیرند. از سوی دیگر، مدل روندگرای خطی یک مرحله‌ای از مجموعه متغیر مشابه فرآیند دو مرحله‌ای استفاده می‌کند. به عبارت دیگر، مدل روندگرای خطی یک مرحله‌ای همان ویژگیهای رفتار تولید سفر مدل دو مرحله‌ای را توصیف می‌کند و قدرت توصیفی مدل روندگرا تفاوت چندانی با مدل روندگرای دو مرحله‌ای ندارد، اگر چه، برتری حاشیه‌ای مدل اخیر با توجه به ساختار پیچیده آن، نمی‌تواند توجیهی برای جایگزین شدن آن باشد. یادآوری این نکته لازم

است که مدل دو مرحله‌ای با وجود در برداشتن میانی رفتاری مناسب، فاقد برتری لازم بوده، ضمن آنکه از مجموعه متغیرهای بیشتری در فرآیند پرداخت استفاده می‌کند که بهبود چندانی در مقدار شاخص برازندگی (R^2) ایجاد نمی‌کند. نتایج پرداخت مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای حاکی از آن است که ضرایب مدل به اندازه مدل نسبتاً پیچیده دو مرحله‌ای از دقت کافی در برآورد برخوردار است. از اینرو، روش روندگرایی خطی چندگانه یک مرحله‌ای برای برآورد سفرهای کم تواتر که احتمالاً فرضیات روش روندگرا برقرار نیست، مناسب بوده، بهبود روشهای تولید سفر را نمی‌توان با پیچیدگیهای ساختار، تضمین نمود.

با توجه به ساختار مناسب مدل روندگرایی خطی در برآورد سفرهای کم تواتر بهتر است در رابطه با کیفیت متغیرهای توصیفی آن توجه لازم صورت گیرد. متغیرهایی نظیر درآمد، ساختار و چرخه زندگی خانواده از جمله عواملی هستند که ضروری است در پرداخت مدل مورد استفاده قرار گیرند. همچنین دارا بودن گواهینامه رانندگی که میزان دسترسی به اتومبیل و نه تعداد اتومبیل، را نشان می‌دهد، عامل اثرگذار دیگری است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بخشی از متغیرهای مورد اشاره در بالا در نمونه آماری این پژوهش در دسترس نبود. برای ادامه این تحقیق می‌توان از نمونه‌های دیگر، از حالتی که سفرها کم تواتر هستند، مانند سفرهایی با هدف مشخص (هدف تفریح)، سفر با وسیله نقلیه همگانی، و سفرهای خرید و نظایر آن، به جای تعداد کل سفرهای روزانه افراد استفاده کرد. در حالتی که بالا سفرهای انجام نشده (تعداد سفرها) افزایش قابل توجهی می‌یابد و بنابراین می‌توان بررسی نمود که آیا از مدل روندگرایی خطی حتی در این گونه مواقع می‌توان استفاده نمود. نتایج چنین بررسیهایی زمینه‌های دآوری کلی درباره کفایت مدل روندگرایی خطی یک مرحله‌ای را در شرایط عدم برقراری برخی از فرضیات مدل فراهم می‌سازد.

جدول (۱) متغیرهای توصیفی مدلهای تولید سفر.

تعریف	علامت اختصاری	گروه متغیر
۱، اگر سن بین ۱۸ تا ۳۰ سال باشد، در غیر اینصورت	AGE ۱۸-۳۰	۱- سن
۱، اگر سن بین ۳۱ تا ۵۰ سال باشد، در غیر اینصورت	AGE ۳۱-۵۰	
۱، اگر سن بین ۵۱ تا ۶۵ سال باشد، در غیر اینصورت	AGE ۵۱-۶۵	
۱، اگر سن بیش از ۶۵ سال باشد، در غیر اینصورت	AGE > ۶۵	
۱، اگر مرد باشد، در غیر اینصورت	MALE	۲- جنسیت
۱، اگر زن باشد، در غیر اینصورت	FEMALE	
۱، اگر شغل شخص کارمند باشد، در غیر اینصورت	EMPLOYEE	۳- شغل
۱، اگر شغل شخص فرهنگی باشد، در غیر اینصورت	TEACHER	
۱، اگر شغل شخص نظامی باشد، در غیر اینصورت	MILITARY	
۱، اگر شغل شخص کارگر باشد، در غیر اینصورت	WORKER	
۱، اگر شغل شخص کشاورز باشد، در غیر اینصورت	FARMER	
۱، اگر شغل شخص استادکار باشد، در غیر اینصورت	CRAFTSMAN	
۱، اگر شغل شخص کارفرما باشد، در غیر اینصورت	EMPLOYER	
۱، اگر شغل شخص راننده باشد، در غیر اینصورت	DRIVER	
۱، اگر شغل شخص خانه‌دار باشد، در غیر اینصورت	HOUSEWIFE	
۱، اگر شغل شخص فروشنده باشد، در غیر اینصورت	SALES	
۱، اگر شغل شخص بازنشسته باشد، در غیر اینصورت	RETIRED	
۱، اگر شغل شخص بیکار باشد، در غیر اینصورت	UNEEMPLOYED	
۱، اگر شغل شخص دانش‌آموز باشد، در غیر اینصورت	STUDENT	
۱، اگر شغل شخص دانشجوی باشد، در غیر اینصورت	UNIVSTUDENT	
۱، اگر شغل شخص طلبه باشد، در غیر اینصورت	SCHOLAR	
۱، اگر شغل شخص سایر موارد باشد، در غیر اینصورت	OTHER	

<p>۱، اگر خانواده دارای اتومبیل نباشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر خانواده دارای یک اتومبیل باشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر خانواده دارای دو اتومبیل باشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر خانواده دارای سه اتومبیل یا بیشتر باشد، در غیر اینصورت *</p>	<p>CAR *</p> <p>CAR ۱</p> <p>CAR ۲</p> <p>CAR ۳</p>	<p>۴- مالکیت اتومبیل</p>
<p>تعداد افراد بالغ (۱۸ سال و بیشتر) در خانواده</p> <p>تعداد فرزندان کوچکتر از ۵ سال در خانواده</p> <p>تعداد فرزندان بین ۵ تا ۱۵ سال در خانواده</p> <p>تعداد فرزندان بین ۱۶ تا ۱۸ سال در خانواده</p> <p>تعداد افراد مذکر در خانواده</p> <p>تعداد افراد مؤنث در خانواده</p>	<p>NADULT</p> <p>NCHLD < ۵</p> <p>NCHLD ۵-۱۵</p> <p>NCHLD ۱۶-۱۸</p> <p>NMALE</p> <p>NFEMALE</p>	<p>۵- ساختار خانواده</p>
<p>۱، اگر سرپرست خانواده دارای سن کمتر از ۳۵ سال باشد و هیچ بچه‌ای نداشته باشند، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر سرپرست خانواده دارای سن بین ۳۵ تا ۶۵ سال باشد و هیچ بچه‌ای نداشته باشند، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر سرپرست خانواده دارای سن بیشتر از ۶۵ سال داشته و هیچ فرزندی نداشته باشند، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر کوچکترین فرزند خانواده دارای سن کمتر از ۶ سال باشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر کوچکترین فرزند خانواده بیشتر از ۶ سال باشد، در غیر اینصورت *</p>	<p>HEAD < ۳۵</p> <p>HEAD < ۳۵-۶۵</p> <p>HEAD > ۶۵</p> <p>CHLDAGE < ۶</p> <p>CHLDAGE > ۶</p>	<p>۶- چرخه زندگی خانواده</p>
<p>۱، اگر فرد ساکن منطقه مرکزی شهر (نواحی ۱ تا ۲۷) باشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر فرد ساکن منطقه میانی شهر (نواحی ۲۸ تا ۱۰۱) باشد، در غیر اینصورت *</p> <p>۱، اگر فرد ساکن منطقه حاشیه شهر (نواحی ۱۰۲ تا ۱۴۸) باشد، در غیر اینصورت *</p>	<p>CEN</p> <p>MID</p> <p>MAR</p>	<p>۷- محل سکونت</p>

جدول (۲) نتایج پرداخت مدل‌های نهایی دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای تولید سفر.

علامت اختصاری متغیر	مدل دو مرحله‌ای			مدل یک مرحله‌ای		
	پروبیت	t	روندگرایی خطی	t	روندگرایی خطی	t
AGE ۳۱-۵۰	۰/۲۳۹	۹/۷۹۰	۰/۰۹۶	۴/۹۰۲	۰/۱۵۱	۸/۴۳۲
AGE ۵۱-۶۵	۰/۲۵۵	۶/۷۱۰	۰/۰۴۶	۱/۶۰۳	۰/۱۰۸	۳/۹۸۴
CAR ۱	۰/۱۰۱	۴/۳۸۰	۰/۰۸۴	۴/۵۲۰	۰/۰۹۵	۵/۷۵۶
CAR ۲	۰/۲۲۷	۴/۸۰۷	۰/۱۲۰	۳/۲۴۰	۰/۱۵۸	۴/۷۱۷
CAR ۳	۰/۳۰۰	۲/۳۱۸	—	—	۰/۱۷۴	۱/۹۲۱
CEN	—	—	۰/۱۱۳	۳/۳۳۲	۰/۰۹۲	۳/۰۸۸
EMPLOYEE	۱/۲۵۴	۲۳/۴۵۴	۰/۳۷۱	۵/۹۷۴	۰/۶۲۸	۱۸/۰۳۴
SALES	۰/۹۷۷	۱۷/۵۸۹	۰/۵۷۰	۹/۷۲۲	۰/۷۷۸	۲۰/۰۰۲
RETIRED	۰/۴۴۷	۶/۱۴۰	۰/۳۵۳	۵/۴۶۶	۰/۴۲۶	۷/۶۸۶
UNEEMPLOYED	—	—	۰/۰۹۸	۲/۰۷۹	۰/۰۶۰	۱/۵۱۰
STUDENT	۰/۵۲۹	۱۰/۳۳۷	—	—	۰/۲۱۵	۵/۱۹۱
UNIVSTUDENT	۰/۷۰۶	۱۳/۸۰۸	۰/۲۴۲	۴/۸۷۹	۰/۴۱۲	۱۰/۱۶۶
SCHOLAR	۰/۸۱۲	۵/۴۴۱	۰/۲۸۹	۲/۶۷۱	۰/۵۰۹	۵/۱۴۸
TEACHER	۱/۱۵۴	۱۹/۰۵۸	۰/۳۸۲	۵/۷۴۱	۰/۶۲۸	۱۶/۳۸۷

MILITARY	-/۱۸۱	۲/۷۱۱	-/۱۳۵	۲/۳۰۴	-/۱۶۶	۳/۱۵۴
WORKER	-/۹۱۳	۱۸/۴۴۳	-/۲۲۵	۴/۲۵۵	-/۴۶۰	۱۲/۵۱۵
FARMER	-/۷۱۲	۵/۰۱۷	-/۲۳۷	۲/۲۷۶	-/۴۳۲	۴/۴۳۲
CRAFTSMAN	-/۹۲۵	۱۴/۳۸۷	-/۵۲۹	۸/۴۸۹	-/۷۱۹	۱۶/۴۳۳
EMPLOYER	۱/۲۰۱	۷/۶۹۷	-/۸۱۰	۶/۹۵۸	۱/۰۵۲	۱۲/۴۴۳
DRIVER	-/۲۷۶	۴/۲۸۹	-/۲۰۵	۳/۷۱۱	-/۲۵۳	۵/۰۴۹
OTHER	-/۸۹۵	۱۱/۹۰۸	-/۴۳۸	۶/۴۸۲	-/۶۳۹	۱۲/۵۱۳
MALE	-/۳۷۸	۱۰/۷۲۱	-/۳۴۶	۹/۶۰۱	-/۳۵۲	۱۲/۹۴۰
NADULT	-/۰۴۸	-۳/۳۱۷	-/۰۳۵	-۴/۲۶۳	-/۰۴۳	-۶/۱۶۷
NCHLD < ۵	-/۰۶۰	۲/۴۱۶	-/۰۵۵	۳/۳۵۷	-/۰۶۵	۴/۳۴۲
NCHLD ۵-۱۵	-/۰۳۵	۱/۹۵۲	—	—	—	—
NCHLD ۱۶-۱۸	-/۰۶۵	-۳/۰۳۶	-/۰۲۴	-۱/۶۶۷	-/۰۴۸	-۳/۵۷۹
NFEMALE	-/۰۴۹	-۴/۰۶۸	-/۰۲۶	-۳/۶۴۱	-/۰۲۶	-۳/۸۷۹
NMALE	-/۰۷۲	-۲/۷۴۸	-/۰۵۴	-۷/۳۱۰	-/۰۵۵	-۸/۱۵۲
HEAD ۳۵-۶۵	-/۰۱۵۳	-۲/۰۷۴	-/۰۱۹۶	-۳/۶۷۹	-/۰۱۹۲	-۳/۶۳۷
HEAD > ۶۵	-/۰۱۶۹	-۲/۰۰۶	-/۰۱۵۰	-۲/۱۳۸	-/۰۱۷۲	-۲/۶۶۸
CHLDAGE < ۶	-/۰۵۳	-۲/۱۹۷	—	—	—	—
CONSTANT	-/۰۱۵۱	۴/۱۴۷	۱/۱۷۵	۱۳/۹۰۳	-/۰۸۵۵	۳۲/۴۲۲
COR	—	—	-/۰۴۸۹	۴/۳۴۴	—	—
R^2			-/۰۶۳		-/۰۱۸۰	
F (درجه آزادی)			۳۲/۸۰ (۲۸, ۱۳۵۶۹)		۱۴۵/۴۰ (۳۰, ۱۹۸۱۳)	
$-2[L(\alpha) - L(C)]$ (درجه آزادی)		۴۱۳۵/۰۴(۲۹)				
اندازه نمونه	۱۹۸۴۳		۱۳۵۹۸		۱۹۸۴۳	

زیر نویس ها

- 1-Trip Generation
- 2- Trip Distribution
- 3-Modal Split
- 4- Route Assignment
- 5-Aggregate
- 6- Disaggregate
- 7-Cross Classification
- 8- Maximum Likelihood Estimation
- 9-Lifecycle
- 10- Life Style
- 11-Travel Patterns
- 12- Continuous Truncated Variable
- 13-Negative Binomial
- 14- Poisson
- 15-Tobit
- 16- Skewness
- 17-Binary Probit
- 18- Bias

۱۹- مقدار این متغیر از رابطه
می شود، که در آن Φ و ϕ به ترتیب، تابع چگالی و تابع توزیع
تجمعی استاندارد نرمال است.

- 20-Homoscedasticity
- 21- Weighted Least Square
- 22- Dummy Variable
- ۲۳- در پرداخت مدل از نرم افزار Limdep استفاده می شود.
- 24- Likelihood Ratio
- 25- Multiple Linear Regression
- ۲۶- برای ساخت مدل روند گرای خطی از بسته نرم افزاری آماده
SPSS استفاده شده است.
- 27- Forward Selection
- 28- Backward Elimination
- ۲۹- مقدار تابع چگالی ϕ_i توسط بسته نرم افزاری Limdep و مقدار
 Φ_i نیز توسط بسته نرم افزاری Excell محاسبه شده است.
- 30- White
- ۳۱- چنانچه گستره یک متغیر توسط n متغیر ساختگی $n-1$ تعریف
شود، در پرداخت مدل نمی توان بیش از $n-1$ متغیر ساختگی از نوع
موردنظر را در ساختار مدل وارد نمود. متغیر ساختگی n م به عنوان
متغیر مبنای متغیرهای ساختگی نوع موردنظر است.

مراجع

[1] Supernak, j., Talvitie A. and Dejohn, A. "Person Category Trip Generation Model", Trans. Res. Rec., No. 1-944, pp. 74-83, 1983.

- [2] Stopher, P.R. and McDonald, K.G., "Trip Generation by Cross-Classification", *Trans. Res. Rec.*, 944, pp. 84-91, 1983.
- [3] Ben-Akiva, M.E., "Structure of Passenger Demand Model", *Trans. Res. Rec.*, No. 526, pp. 26-42, 1974.
- [4] Ortuzar, J. and Willumsen, L.G., "Modelling Transport", John Wiley and Sons, 1994.
- [5] McFadden, D., "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior", P. Zarembka (ed), Academic Press, New York, 1974.
- [6] Clarke, M.I., Pix, M.C. and Heggie, I.G., "Some Recent Developments in Activity-Travel Analysis and Modeling", *Trans. Res. Rec.*, No. 794, pp. 1-8, 1981.
- [7] Domencich, T.A. and McFadden, M., "Urban Travel Demand", North Holland Publishing Co., Amsterdam, 1975.
- [8] Ben-Akiva, M.E., Lerman, S.R. and Manheim, M.L., "Disaggregate Models: An Overview of Some Recent Results and Practical Application", In Proceedings of the PTRC Summer Meeting, London, PTRC, 1976.
- [9] Wilmot, C. G., "Evidence on Transferability of Trip Generation Models," *Journal of Transportation Engineering*, sept/oct. pp. 405-410, 1995.
- [10] Nakkash, T.Z. and Greece, W.L., "Activity - Accessibility Models of Trip Generation", *High. Res. Rec.*, No. 392, pp. 98-110, 1973.
- [11] Lerman, S.R. and Gonzales, S.L., "Poisson Regression Analysis Under Alternate Sampling Strategies", *Trans. Science*, Vol. 14, pp. 346-364, 1980.
- [12] Adler, T. and Ben-Akiva, M.E., "Joint Choice Model for Frequency, Destination, and Travel Mode for Shopping Trips", *Trans. Res. Rec.*, No. 569, 1976.
- [13] Clarke, M.I. and Dix, M., "Stages in Lifecycle-A Classificatory Variable with Dynamic Properties", In Carpenter, S. and Jones, P.M., *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, Aldershot, England, 1983.
- [14] Allaman, P.M., Tardiff, T. J. and Dunder, F.C., "NCHRP report ۲۰۰[14] New Approach to Understanding Travel Behavior", TRB, National Research Council, 1988.
- [15] Kitamura, R., "Lifestyle and Travel Demand; A Look Ahead: Year 2020", Special Report 220, TRB, National Research Council, 1988.
- [16] Stopher, P.R. and McDonald, K.G., "Some Contrary Indications for the Use of Household Structure in Trip-Generation Analysis", *Trans. Res. Rec.*, 944, pp. 92-100, 1983.
- [17] Sharp, D.P., "Projections of Automobile Ownership and Use Based on Household Life Style Factors", Report OR NL/SUB-۳۳۰۷۱; Oak Ridge National Laboratory, 1979.
- [18] Havens, J.J., "New Approaches to Understanding Travel Behavior", Lexington Books, 1981.
- [19] Kermanshah, M., "Lifecycle Concept: Application to Trip Generation Procedures", *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol. 21, No. 1, pp. 47-67, 1997.
- [20] Kermanshah, M. and Kitamura, R., "Effects of Land Use and Socio-Demographic Characteristics on Household Travel Pattern Indicators", *Scientia Iranica*, Vol. 2, No. 3, 1995.
- [21] Johnson, N. and Kotz, S., "Distributions in Statistics: Continuous Multivariate Distributions", Wiley, 1972.
- [22] Monzon, J., Goulias, K. and Kitamura, R., "Trip Generation Models for Infrequent Trips", *Trans. Res. Rec.*, Vol. 1220, pp. 40-46, 1989.
- [23] Heckman, J.J., "The Common Structure of Statistical Models of Truncation; Sample Selection and Limited Dependent Variables and a Sample Estimator for such Models", *Annals of Economic and Social Measurement*, pp. 475-492, 1976.
- [24] Kmenta, J., *Elements of Econometrics*, MacMillan Publishing Co. New York, 1971.
- [۲۵] نتایج آمارگیری مبدا - مقصد ساکنین، مطالعات جامع حمل و نقل جامع مشهد، شماره ۰۸-۷۴، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف، زمستان ۱۳۷۴.
- [26] Bhat, C.R. and Koppelman, F.S., "An Endogenous Switching Simulation Equation System of Employment, Income and Car Ownership", *Trans. Res.*, Vol. 27A, No. 6, pp. 447-457, 1993.