

## مدلسازی الگوی زنجیره سفر شهری (نمونه موردی تورهای سه سفره شهروندان قزوینی)

امیررضا ممدوحی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
سیده معصومه روشنایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۷

### چکیده

تصمیم در مورد سیاست‌های مدیریتی مانند طرح ممنوعیت تردد خودروها به محدوده یا در روز خاص، اخذ هزینه پارکینگ و ایجاد امکان ساعات کاری متغیر، نیازمند مطالعات رفتاری و حساس به این نوع سیاست‌هاست که رویکرد فعالیت- مبنا با در نظر گرفتن زمان و مکان فعالیت‌های افراد و چگونگی برنامه‌ریزی آنف تلاش دارد ابزاری مناسب در این راستا ایجاد نماید. برنامه‌ریزی زنجیره سفر به گونه‌ای که افراد (به خصوص در کلانشهرها) سفرهای خود را به دنبال هم و بدون نیاز به بازگشت به خانه انجام دهند، تلاشی برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه است که این مقاله به مدل‌سازی ریاضی تصمیم مربوطه می‌پردازد. مدل‌سازی انتخاب الگوی زنجیره سفر و تفسیر متغیرهای مربوطه هدف اصلی مقاله جاری است که جهت پیاده‌سازی تجربی و کمی مدل مربوطه از داده‌های حاصل از پرسشگری نمونه‌ای از ساکنین شهر قزوین (شامل مشخصات فردی و خانوادگی)، ویژگی‌های شبکه حمل و نقل و ویژگی‌های محل‌های مستعد برای انجام فعالیت استفاده می‌شود. انتخاب الگوی زنجیره سفر افراد به تفکیک هدف سفر و با استفاده از مدل لوجیت چندگانه صورت می‌گیرد و عوامل مؤثر بر انتخاب انواع مختلف الگوی زنجیره سفر در تور سه سفره مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که متوسط زمان سفر، سن مسافر، جنسیت، در اختیار داشتن خودرو، پیاده رفتن، نرخ تجاری محل زندگی فرد، شغل و سرانه مالکیت خودرو در ناحیه مبدا از عوامل مؤثر بر انتخاب انواع مختلف الگوی زنجیره سفر است. چنین مدل و تحلیل‌هایی می‌تواند مدیران و سیاست‌گذاران حمل‌ونقل شهری را در تصمیم‌سازی سیاست‌های مدیریتی مختلف جهت بهبود وضعیت ترافیکی با فراهم‌سازی اطلاعات مفید و لازم یاری نماید.

واژه‌های کلیدی: الگوی زنجیره سفر، تور سفر، سیاست مدیریتی، رویکرد فعالیت- مبنا، مدل انتخاب گسسته.

## ۱. مقدمه

اولیه، تعداد و اهداف تورهای ثانویه مشخص می‌شود. در این مطالعه، مدل تور که بر اساس مدل انتخاب الگوی روزانه است، شامل انتخاب زمان روز، مقصد و وسیله است.

بومن در مطالعه فعالیت مبنای پرتلند در ارتباط با الگوی فعالیت‌های خانه و تور، زنجیره‌ی تورها و سفرها به نتایج مهم زیر دست یافت [Bowman, 1998].

۱- خروجی اصلی مطالعه، ارائه مدل الگوی فعالیت برای هر فرد بود. همچنین الگوی فعالیت هر فرد در قالب نرم افزار GIS نیز قابل مشاهده بود.

۲- پیش‌بینی الگوی فعالیت برای هر فرد، قابلیت هم‌فزون شدن نتایج را برای تحلیل سیاست‌های حمل‌ونقلی امکان‌پذیر می‌کرد. به عبارت دیگر، نتایج می‌توانستند بر اساس هر طبقه‌بندی مشخصات اقتصادی-اجتماعی هم‌فزون شوند.

۳- الگوی فعالیت افراد در سطح منطقه‌ای نیز قابلیت هم‌فزون شدن را دارد که نتیجه آن ارائه ماتریس مبدا-مقصد<sup>۱</sup> سفرها است. ماتریس سفر می‌توانند بر اساس وسیله، هدف، زمان روز و گروه‌های درآمدی ارائه شده و به شبکه تخصیص داده شوند.

همچنین از خروجی مدل زنجیره سفر روزانه افراد می‌توان برای تهیه دیگر مدل‌های انتخاب گسسته استفاده کرد چنان که یانگ و همکاران در پژوهش خود تلاش کرده‌اند تا مدل انتخاب هم‌زمان محل سکونت، شیوه سفر و زمان ترک را بیان کنند. آن‌ها در مدل خود از لوجیت آشیانه‌ای متقاطع استفاده کرده و نتایج را با مدل لوجیت آشیانه‌ای مقایسه نموده‌اند. مجموعه‌ای از متغیرها به عنوان متغیرهای برون‌زا<sup>۲</sup> همچون قیمت خانه، زمان سفر، متغیرهای اقتصادی-اجتماعی فرد تعریف و متغیرهای توصیفی نیز ترکیبی از مجموعه انتخاب محل سکونت، شیوه سفر و زمان ترک مطرح شدند. در این پژوهش از اطلاعات سال ۲۰۰۵ گردآوری شده برای پکن به منظور نمونه مورد استفاده کرده‌اند [Yang et al. 2013].

هو و مولی نیز در مطالعه خود به بررسی زنجیره سفرهای انجام شده با حمل و نقل همگانی و شخصی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که هرچه تعداد مقاصد در تورها بیشتر می‌شود، افراد به خودرو شخصی روی می‌آورند. از طرفی هرچه مقصد فرد

افراد به منظور برآورده کردن نیازهای خود از محلی به محل دیگر جابه‌جا می‌شوند [Clarke et al. 2008]، یعنی جابه‌جایی افراد به علت نیاز به انجام فعالیت‌هایی است که با آن مواجه هستند. رویکرد نوین به مسأله‌ی حمل و نقل، بررسی آن به واسطه‌ی بررسی فعالیت‌های انجام شده توسط مردم است [Shiftan et al. 2003]. مدل‌های فعالیت-مبنا برای تعیین ساختار فعالیت افراد و نحوه تصمیم‌گیری آن‌ها در تقاضای سفر طراحی شده است.

این ساختار باید به‌گونه‌ای باشد که امکان تحلیل سیاست‌های مدیریت تقاضای ترافیکی را نیز فراهم آورد. این موارد در قالب الگوی زنجیره سفر فعالیت‌های روزانه امکان‌پذیر است و ترکیب‌های امکان‌پذیر فعالیت‌های روزانه فرد را مشخص می‌کند. مشاهده الگوی زنجیره سفرها نشان می‌دهد که سفر نتیجه‌ی فرآیند پیچیده‌ی تصمیم‌گیری است و طی آن شخص تلاش دارد تا به اهداف از قبل برنامه‌ریزی شده خود با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مکانی محیطی دست یابد [Arentze and Timmermans, 2004].

تاکنون برای شهرهای مختلف دنیا از جمله بوستون، پرتلند، تکزاس، آتلانتا و غیره مدل‌های برنامه زمانی روزانه ساخته شده است. از آنجا که تعیین الگوی زنجیره سفر روزانه افراد به خصوصیات اقتصادی-اجتماعی آن‌ها بستگی دارد، در ساختار این مدل‌ها از پارامترهای اقتصادی-اجتماعی فرد مانند سن، جنسیت، تعداد فرزندان، درآمد و نیز هدف فعالیت اصلی، وجود زنجیره سفر ثانویه و وجود توقف در زنجیره سفر استفاده می‌شود [Rasafi and Latifi, 2011].

بن اکیوا و بومن تورهای افراد را مورد بررسی قرار داده و بر اساس الگوی فعالیت-سفر روزانه<sup>۱</sup> افراد، مدلی ارائه نمودند. در این مطالعه فرض شد که هر تور، بر اثر یک فعالیت اولیه صورت گرفته و یک مقصد اولیه دارد. به عبارت دیگر هر فعالیت اولیه یک محرک<sup>۲</sup> برای انجام تور است. در این مطالعه، هر تور به تورهای اولیه<sup>۳</sup> و ثانویه<sup>۴</sup> دیگری تقسیم می‌شود. به این ترتیب هر الگوی فعالیت-سفر روزانه، توسط فعالیت‌های اولیه، تورهای

## ۱-۲ چارچوب مفهومی

پیش‌تر نگاه محققان به سفر افراد به گونه‌ای بود که هر سفر را جدا و منفرد و بدون وابستگی به دیگر سفرهای روزانه فرد می‌دیدند. در حالی که امروزه دیدگاه وابسته دیدن سفرها به هم از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. با اینکه مفهوم سفر در هر دو حالت یکسان است، ولی سفرها دارای تفاوت‌های بنیادی زیر هستند. مدل‌های انتخاب الگوی زنجیره سفر جزو دسته مدل‌های پیش‌بینی هستند و برای پیش‌بینی تقاضای سفر بکار برده می‌شوند و در مقایسه با مدل‌های سفر- مبنا و تور مبنا، قادر به بررسی اثرات استراتژیک بر روی سفر افراد هستند. شکل ۱ سیستم پیش‌بینی پرتلند را نشان می‌دهد که نمونه‌ای از نحوه مدل‌سازی الگوی فعالیت روزانه است و با مدل لجوجیت چندگانه ساخته شده است.

## ۲-۲ مدل‌های لجوجیت

برای تشخیص عوامل مؤثر بر انتخاب یک الگوی سفر  $i$  توسط فرد  $n$ ، رویکرد مدل‌های لجوجیت انتخاب شده است (رابطه ۱). در این مدل لجوجیت چندگانه، تأثیر جداگانه هر متغیر در انتخاب مورد نظر افراد امکان‌پذیر می‌شود (رابطه ۲).

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C} e^{U_{jn}}} \quad (1)$$

$$U_{in} = \sum_k \alpha_{in}^k X_{in}^k \quad (2)$$

در این رابطه،  $U_{in}$  نشان‌دهنده مطلوبیت و  $P_n(i)$  بیانگر احتمال انتخاب الگوی  $i$  برای فرد  $n$  از مجموعه انتخاب  $C$  است و  $\alpha^k$  ضریب متغیر  $X^k$  را در الگوی سفر  $i$  توسط فرد  $n$  نشان می‌دهد [Train, 2009].

برای پرداخت مدل از روش پرداخت تمایل بیشینه (MLE) استفاده شده است که مفاهیم پایه و نحوه محاسبات آن در پیوست اشاره شده است.

## ۳. نمونه مورد مطالعه

قزوین یکی از شهرهای ایران و مرکز استان و شهرستان قزوین است. این شهر در بلندای ۱۲۷۸ متری از سطح دریا واقع شده و از

دارای هدف چندگانه (چندین فعالیت) باشد احتمال انتخاب خودرو شخصی کاهش پیدا می‌کند بنابراین در این مطالعه پیشنهاد کردند که در برنامه‌ریزی‌ها برای توسعه حمل‌ونقل همگانی بهتر است مقاصد به چندین هدف توسعه یابد [Ho and Mulley, 2013].

نورالا و کورتیس به بررسی و مدل‌سازی انتخاب محل زندگی و رفتار سفر و رابطه آن با دسترسی به حمل‌ونقل عمومی پرداخته‌اند. ایشان در مطالعات خود از مدل‌های لجوجیت چندگانه و آشیانه‌ای برای داده‌های شهر پرت واقع در استرالیا غربی استفاده کرده‌اند که به دلیل پژوهشی بودن این مقاله، نتایج نهایی آن ارائه نشده است [Nurlaela and Curtis, 2012].

با توجه به خلأ پژوهشی موجود در زمینه وابسته دیدن بین سفرهای روزانه و انتخاب سفرها بر اساس فعالیت‌ها، در پژوهش جاری تلاش می‌شود تا الگوی زنجیره سفر شهری تحت تأثیر ویژگی‌های فردی و اجتماعی و خصوصیات شبکه مدل‌سازی شود. این روش، پیش‌بینی تقاضای سفر را در مقایسه با مدل‌های سفر یا زنجیره سفر- مبنا در کاربرد روزانه بهبود می‌بخشد. به عنوان مثال برای گزینه‌هایی مانند توسعه بزرگراه، استراتژی ایجاد انگیزه‌های هم‌سواری<sup>۸</sup> افزایش قیمت سوخت می‌تواند تغییرات را در تقاضای مردم پیش‌بینی نماید.

در ادامه، در بخش دوم این مقاله به شرح روش مطالعه، در بخش سوم به بررسی نمونه موردی، در بخش چهارم به ارائه مدل‌های به‌دست آمده و تفسیر نتایج آنها و در آخر به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی پرداخته شده است.

## ۲. روش مطالعه

مدل‌های انتخاب گسسته به طور گسترده‌ای در مدل‌های پیچیده رفتاری استفاده می‌شوند. با اینکه این مدل‌ها در اصل در مدل‌های سفر- مبنا توسعه یافته و مورد استفاده واقع می‌شدند، ولی از سال ۱۹۸۰ به بعد در رویکرد فعالیت- مبنا نیز مورد توجه قرار گرفته و کاربردی شدند [Zhaoming et al., 2012 و Bhat, 1997].

جدول ۱. تفاوت مدل‌سازی در دو رویکرد سفرهای روزانه به صورت منفرد و زنجیره‌وار

ردیف	مرحله مدل‌سازی	منفرد دیدن سفرها	زنجیره‌وار دیدن سفرها
۱	نمایش جمعیت ساکن	هر ناحیه‌ی ترافیکی، از اجتماع خانوارها (به تفکیک نوع) تشکیل شده است.	افراد خانوار متعلق به خانه‌ای در ناحیه‌ی ترافیکی هستند و توسط آن خانه شناسایی می‌شوند.
۲	انتخاب‌های بلند مدت و جابه‌جایی	برای گروه‌های خانوارهای هم‌نوع در هر ناحیه‌ی ترافیکی، نرخ مالکیت خودرو و انتخاب‌های محل کار و تحصیل یکسانی در نظر گرفته می‌شود.	افراد معمولاً در این مدل‌ها، خود محل کار یا تحصیل‌شان را انتخاب می‌کنند و سطح مالکیت خودرو در خانوار را بر اساس انتخاب محل کار یا تحصیل‌شان برمی‌گزینند.
۳	نمایش واحد سفر	سفر پایه‌ترین واحد تحلیل در این رویکرد است. سفر معمولاً به صورت خانه-مبنا یا غیرخانه-مبنا و هدف از سفر تقسیم می‌شود.	سفر پایه‌ترین واحد تحلیل است ولی در انتهای یک سلسله مراتب مشخص قرار دارد.
۴	ایجاد تقاضا <sup>۹</sup>	نرخ تولید سفر برای هدف سفر خاص، به تمام خانوارهای هم‌نوع اعمال می‌شود. نرخ جذب سفر هدف خاص نیز به تمام شاغلین و تمام خانوارهای ناحیه اعمالی می‌شود.	بر اساس ویژگی‌های هر فرد، الگوی فعالیت روزانه آن فرد در خانوار شکل می‌گیرد. به این ترتیب تعداد تورهای اولیه، و زمان رسیدن احتمالی <sup>۱۰</sup> مشخص می‌گردد.
۵	سطح مطالعه	سفرها به صورت هم‌فزون و با در نظر گرفتن یک ناحیه ترافیکی به نمایندگی تمامی افراد آن ناحیه مدل‌سازی می‌شود.	سطح مطالعه غیرهم‌فزون است و هر فرد به تنهایی نماینده سفر خود می‌باشد و متغیرهای تأثیرگذار روی هر فرد در مدل دیده می‌شود.

است. اطلاعات کاربری زمین عمدتاً مساحت کاربری‌های مختلف را به تفکیک نواحی ارائه می‌کند. این کاربری‌ها شامل مساحت کاربری‌های اداری، تجاری، آموزشی، درمانی و سایر است. در این پژوهش به دلیل بررسی نحوه انتخاب الگوی سفر در افراد، تورهای ۳ سفره در نظر گرفته شده است. تورهای ۳ سفره دارای فراوانی ۷۰۸ نفر. تور در ۴ هدف سفر می‌باشند که به تفکیک اهداف سفر مطابق جدول ۳ می‌باشد.

#### ۴. مدل‌سازی و تفسیر نتایج

اطلاعات آمار توصیفی نمونه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. از آنجا که هدف این مقاله مدل‌سازی انتخاب الگوی سفر افراد در روز است و ۴ الگو برای انتخاب موجود است، بنابراین

لحاظ جمعیت بیست و یکمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید که در سال ۱۳۹۰ خورشیدی بالغ بر ۳۸۱/۵۹۸ نفر بوده است. در این پژوهش از اطلاعات ۹۹۳۸ خانوار و ۳۵۴۲۰ سفر ثبت شده در ۱۱۳ ناحیه ترافیکی ۱۱ شهر قزوین استفاده شده است. تحلیل پایگاه داده‌های مبدأ-مقصد نشانگر تورهای ۲ الی ۱۰ سفره است (جدول ۲). تورهای دو سفره با فراوانی ۹۴/۱۷ درصد سهم بالا و قابل توجهی از فراوانی تورها را به خود اختصاص داده‌اند. چون فراوانی سفرهای دو و سه سفره بیش از ۹۹ درصد سفرها می‌باشد، بنابراین از اهمیت بیشتری برخوردارند.

بانک داده علاوه بر تعداد تورهای دو تا پنج سفره، شامل اطلاعات اقتصادی- اجتماعی سفرها مانند جمعیت، بعد خانوار، تعداد شاغلین، نرخ مالکیت خودرو و در نهایت اطلاعات کاربری زمین

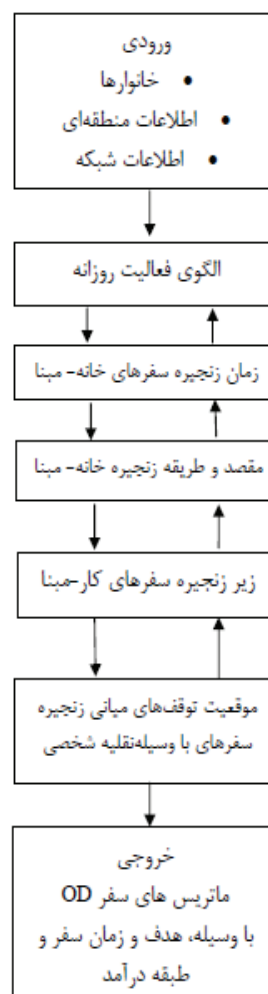
## مدلسازی الگوی زنجیره سفر شهری (نمونه موردی تورهای سه سفره شهروندان قزوینی)

شرح متغیرهای بکار رفته و تحلیل آماری در مدل‌های این مطالعه را ارائه می‌کند. این متغیرها به طور کلی به دو دسته متغیرهای مربوط به خصوصیات سفرهای روزانه و متغیرهای ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی فرد تقسیم می‌شوند. جدول ۶ جزئیات مدل نهایی انتخاب الگوی سفر افراد با ۴ گزینه بر اساس ۷۰۸ مشاهده را به همراه ارزیابی‌های لازم نشان می‌دهد. در این جدول شاخص خوبی برازش مدل حدود ۵۲ درصد است. هم‌چنین در هر مرحله ابتدا متغیرهای دارای همبستگی با متغیر وابسته انتخاب الگوی سفر از طریق آزمون‌های همبستگی *crosstab* و *kruskal-wallis test* در نرم‌افزار *spss* شناسایی شده و سپس با پیشینه‌سازی رابطه لگاریتم در نرم‌افزار *Nlogit* مقادیر ضرایب متغیرها برای مدل نهایی به دست آمده است.

نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که شیوه سفر در گروهی که سفرهای اجباری مثل کار و تحصیل دارند و نیاز به سیستم حمل‌ونقلی ثابت و منظمی دارند، از معناداری و اهمیت بسیاری برخوردار است و هر قدر که از هدف‌های سفر اجباری به سمت هدف‌های سفر اختیاری می‌رویم، از اهمیت این متغیرها کاسته می‌شود.

در بین این متغیرها، افرادی که از وسیله نقلیه شخصی استفاده می‌کنند و بیشتر شامل شاغلان می‌شود، تمایل به انتخاب الگوی سفر اول دارند. در حالی که وقتی پای سفرهای اختیاری مثل خرید و گردش در الگوی سفر باز می‌شود، معناداری متغیر شیوه سفر پیاده‌روی افزایش می‌یابد.

با توجه به هدف سفر افراد، مشاهده می‌گردد، گروه سنی زیر ۲۰ سال از الگوی ۱ که شامل زنجیره سفر خانه- کار و همراهی- کار و تحصیل و همراهی (سفرهای اجباری) است، پیروی نمی‌کنند و این الگو بیشتر شامل افراد بزرگسال است، زیرا اهداف سفر این



شکل ۱. سیستم مدل برنامه الگوی فعالیت روزانه پرتلند [Bowman, 1998].

هر فرد تنها یک مورد را به عنوان الگوی سفر خود انتخاب خواهد کرد. در نتیجه برای شناسایی الگوی انتخابی هر فرد از مدل لجیت چندگانه استفاده شده است. در این راستا ابتدا عوامل با سطح اهمیت ۱۰، ۵ و ۱٪ در آزمون همبستگی انتخاب شده، سپس در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۵

جدول ۲. نتایج تحلیل فراوانی اطلاعات تور شهروندان قزوینی

ردیف	فراوانی	نوع تور (چند سفره)								
		دو	سه	چهار	پنج	شش	هفت	هشت	نه	ده
۱	مطلق	۱۵۹۲۴	۷۶۰	۱۵۶	۲۷	۱۸	۱۱	۰	۲	۱
۲	نسبی (درصد)	۹۴/۱۷	۴/۴۹	۰/۹۲	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۰۶۵	۰	۰/۰۴	۰/۰۰۵
۳	نسبی تجمعی (درصد)	۹۴/۱۷	۹۹/۶۶	۹۹/۵۸	۹۹/۷۹	۹۹/۸۹	۹۹/۹۵۵	۹۹/۹۵۵	۹۹/۹۹۵	۱۰۰

جدول ۳. فراوانی تور ۳ سفره نمونه‌ای از ساکنین شهر قزوین به تفکیک هدف‌های سفر

هدف سفر اول تور	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی	نماد الگو	هدف سفر دوم تور	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی
کاری و همراهی	۴۴۹	۴۲,۶۳	A	کار و تحصیل و همراهی (سفرهای اجباری)	۱۱۴	۱۶/۱۰
تحصیل	۶۲	۸/۷۶	C	تمام هدف‌ها	۶۲	۸/۷۶
سایر	۱۹۷	۲۷/۸۲	D	تمام هدف‌ها	۱۹۷	۲۷/۸۲

جدول ۴. نتایج تحلیل فراوانی ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی نمونه مورد مطالعه

سطح	متغیر	تعریف	فراوانی مطلق	نسبی (درصد)
	under	سن > ۲۱	۷۲	۱۰
	between	۲۰ < سن < ۴۵	۵۱۴	۷۲
	upper	سن < ۴۶	۱۲۲	۱۸
	male	مرد بودن	۲۹۹	۴۳
فردی	female	زن بودن	۴۰۹	۵۷
	low	زیردیپلم	۱۷۰	۲۴
	average	دیپلم تا لیسانس	۵۱۸	۷۳
	high	لیسانس به بالا	۲۰	۳
	cert	گواهینامه داشتن	۵۰۶	۷۱
	fsize-S	خانوار ۲ نفره	۴۴	۶/۳
	fsize-M	خانوار ۳ و ۴ نفره	۵۴۰	۷۶/۲
	fsize-B	خانوار ۵+ نفره	۱۲۴	۱۷/۵
خانوار	bike	مالکیت دوچرخه	۴۵۶	۶۴/۴
	CO-S	مالکیت وسیله نقلیه کوچک	۵۵۶	۷۸/۵
	CO-B	مالکیت وسیله نقلیه بزرگ	۳۰	۴/۲

انتخاب می‌کنند که سفرهای کاری در آنها نقش اصلی و کلیدی با مدت زمان فعالیت بیشتری دارد. در حالی که افراد خانه‌دار بیشتر تمایل به انتخاب الگوهای سفر اختیاری شامل خرید و گردش و دیدار اقوام و... دارند و به همین ترتیب قشر دانشجو نیز الگویی را انتخاب می‌کنند که فعالیت اصلی آن تحصیل با مدت زمان بیشتری باشد. در انتخاب الگوی زنجیره سفر شهری، ویژگی‌هایی مثل مساحت

الگو بیشتر کاری و همراهی است و افراد زیر ۲۰ سال عموماً نه شاغلند و نه دیگر اعضای خانواده را به مقصدشان می‌رسانند، در نتیجه از این الگوی سفر استفاده نمی‌کنند. در حالی که هدف سفر تحصیلی با افراد زیر ۲۰ سال که بیشتر شامل دانش‌آموزان و دانشجویان است، رابطه مستقیم و معناداری دارد. همچنین مدل نشان می‌دهد که افراد شاغل و کارمند الگوهایی را

مدلسازی الگوی زنجیره سفر شهری (نمونه موردی تورهای سه سفره شهروندان قزوینی)

جدول ۵. تعریف متغیرهای بکار رفته در مدل‌ها

متغیر	نماد	واحد	کمینه	پیشینه	متوسط
سن افراد زیر ۲۰ سال	under	-	۰	۱	۰/۱۰۱
نرخ تجاری ناحیه مبدأ	shopping rate	-	۰	۰/۲۶۸	۰/۰۲۹۷
مدت زمان سفر اول تور	activity time1	ساعت	۰/۰۸۳	۱۳/۵	۴/۲۸۳
مدت زمان سفر دوم تور	activity time2	ساعت	۰/۰۸۳	۱۳/۵	۲/۱۹۷
مرد بودن	male	-	۰	۱	۰/۴۳
کارمند	employee	-	۰	۱	۰/۳۶
دانشجو	collegian	-	۰	۱	۰/۰۳۶
خانه دار	house keeper	-	۰	۱	۰/۱۱۱
سفر اول تور با مود پیاده	walk1	-	۰	۱	۰/۰۹۷
سفر اول تور با مود دوچرخ	bike1	-	۰	۱	۰/۰۶۱
سفر اول تور با مود وسایل حمل و نقل همگانی	transit1	-	۰	۱	۰/۰۵۰۷
سفر دوم تور با مود پیاده	walk2	-	۰	۱	۰/۱۱۰
سفر سوم تور با مود پیاده	walk3	-	۰	۱	۰/۰۸۳

الگوی زنجیره سفر فعالیت‌های روزانه امکان‌پذیر است که توسط آن، ترکیب‌های امکان‌پذیر فعالیت-هایی که فرد می‌تواند در طول روز انجام دهد، مشخص می‌شود. مدل‌های الگوی زنجیره سفر روزانه یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی روزانه فرد در قالب تصمیم‌گیری برای انتخاب است. مشاهده این الگوی زنجیره سفرهای انجام شده، نشان می‌دهد که سفر نتیجه فرآیند پیچیده تصمیم‌گیری است که طی آن شخص تلاش دارد تا به اهداف از قبل برنامه‌ریزی شده خود با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مکانی ایجاد شده توسط محیط دست یابد.

با توجه به خلأ پژوهشی موجود در زمینه وابسته دیدن بین سفرهای روزانه و انتخاب سفرها بر اساس فعالیت‌ها، در پژوهش جاری تلاش شد تا الگوی سفر شهری تحت تأثیر ویژگی‌های فردی و اجتماعی و خصوصیات شبکه مدلسازی شود. این روش، پیش‌بینی تقاضای سفر را در مقایسه با مدل‌های سفر یا زنجیره سفر- مبنا در کاربرد روزانه بهبود می‌بخشد و قادر به بررسی اثرات تغییر سیاست‌های استراتژیک بر روی سفر افراد است. به عنوان مثال برای گزینه‌هایی مانند توسعه بزرگراه، تغییر در زیرساخت‌ها، تغییر در شرایط فعالیت و سفر مانند نرخ

و جمعیت ناحیه مبدأ و نرخ آموزشی اداری منطقه تأثیر چندانی ندارد و در کل بیشتر به ویژگی‌های فردی و اقتصادی وابسته است تا منطقه‌ای. تنها ویژگی منطقه‌ای مؤثر در انتخاب الگوی زنجیره سفر شهری نرخ تجاری منطقه است که اهداف سفر اختیاری را تحت الشعاع قرار می‌دهد.

همچنین هدف سفر همراهی، فقط مختص افرادی است که سفر کاری دارند، یعنی قبل از رفتن به سرکار یک سفر کوتاه با هدف همراهی و رساندن دیگر اعضای خانواده انجام می‌دهند.

در آخر اینکه از نظر استفاده از وسیله نقلیه، افراد در طول روز تقریباً روند مشابهی دارند، یعنی اگر سفر اول خود را با خودروی شخصی آغاز کنند، تمام روز را با همان خودروی شخصی سپری می‌کنند یا رفتارشان در مورد دیگر وسایل نقلیه نیز همین‌طور است.

### ۵. جمع‌بندی و پیشنهادات

تعیین الگوی سفر، در فرآیند برنامه ریزی حمل‌ونقل اهمیت ویژه‌ای دارد و در مطالعات اخیر توجه بسیاری به آن شده است. این ساختار باید به گونه‌ای باشد که امکان تحلیل سیاست‌های مدیریت تقاضای ترافیکی را نیز فراهم آورد. این موارد در قالب

جدول ۶. نتایج مدل انتخاب الگوی زنجیره سفر تورهای سه سفره شهروندان قزوینی (لوجیت چندگانه)

گزینه	متغیر	ضریب	آماره t	سطح معناداری
	under	-۱/۹۷۹	-۱/۸۹۵	۰/۰۵۸۱
	activity time2	۰/۲۳۶	۵/۶۹۰	۰/۰۰۰۰
کاروهمراهی - سفرهای اجباری - منزل	walk1	-۱/۰۶۴	-۱/۹۱۸	۰/۰۵۵۰
	bike1	-۲/۵۸۰	-۲/۴۲۳	۰/۰۱۵۴
	transit1	-۱/۷۶۸	-۴/۸۱۰	۰/۰۰۰۰
	male	-۱/۴۸۹	-۶/۳۴۵	۰/۰۰۰۰
	employee	۱/۰۱۴	۳/۴۸۳	۰/۰۰۰۵
کاروهمراهی - سفرهای اختیاری - منزل	activity time1	۰/۴۴۵	۱۱/۲۶۶	۰/۰۰۰۰
	activity time2	-۰/۲۲۵	-۲/۹۲۰	۰/۰۰۳۵
	walk3	۰/۹۸۷	۲/۰۷۲	۰/۰۳۸۲
	constant	-۴/۹۷۵	-۷/۹۰۶	۰/۰۰۰۰
	under	۳/۹۰۷	۸/۱۸۰	۰/۰۰۰۰
تحصیل - تمام هدفها - منزل	collegian	۲/۶۵۷	۴/۵۰۶	۰/۰۰۰۰
	activity time1	۰/۵۱۶	۶/۹۷۱	۰/۰۰۰۰
	activity time2	۰/۳۵۷	۳/۸۵۵	۰/۰۰۰۱
	house keeper	۲/۴۰۶	۶/۸۰۵	۰/۰۰۰۰
سایر - تمام هدفها - منزل	shopping rate	۴/۷۶۲	۱/۹۴۵	۰/۰۵۱۸
	walk2	۱/۱۸۴	۲/۹۰۴	۰/۰۰۳۷
لگاریتم تابع تمایل در مدل سازی	LL( $\beta$ )		-۴۱۶/۰۶	
لگاریتم تابع تمایل در حالت احتمال انتخاب متفاوت الگوها	LL(C)		-۸۷۱/۷۰	
لگاریتم تابع تمایل در حالت احتمال انتخاب یکسان الگوها	LL(0)		-۹۸۱/۴۹	
ضریب همبستگی در حالت احتمال انتخاب متفاوت الگوها	$\rho^2_c$		۰/۵۲۰	
ضریب همبستگی در حالت احتمال انتخاب یکسان الگوها	$\rho^2_0$		۰/۵۷۴	
درصد صحت مدل	percent correct		۷۶	

می تواند مدیران و سیاست گذاران حمل و نقل شهری را در تصمیم سیاست های مدیریتی مختلف جهت بهبود وضعیت ترافیکی با فراهم سازی اطلاعات مفید و لازم یاری نماید. در این پژوهش با بررسی الگوی زنجیره سفر روزانه شهروندان

سوخت، قیمت و وسیله نقلیه، قوانین و قیمت پارکینگ، دورکاری، استراتژی ایجاد انگیزه های هم سواری، برنامه های مشوق استفاده از حمل و نقل همگانی، مدیریت ترافیک و ... می تواند تغییرات را در تقاضای مردم پیش بینی نماید. چنین مدل و تحلیل هایی



## ۷. منابع

- رصافی، امیر عباس و لطیفی، لیلا (۱۳۹۰) "تحلیل تقاضای سفر شهری به روش فعالیت-مبنا: نمونه موردی منطقه سه شهرداری تهران"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال سوم، شماره دوم. ص. ۱۱۵-۱۰۱.

- ناحیه‌بندی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک، "گزارش طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر قزوین"، شهرداری قزوین (۱۳۸۹).

- Arentze, T.A. and Timmermans, H. J. P. (2004) "A learning-based transportation oriented simulation system", *Transportation Research Part B*, 38, pp. 613- 633.

- Bhat, C. R. (1997) "Recent methodological advances relevant to activity and travel behavior analysis", IATBR Conference, Austin, Texas, USA.

- Bowman, J. L. (1995) "Activity based Travel Demand Model System with Daily Activity Schedules", M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.

- Bowman, J. L. (1998) "The day activity schedule approach to travel demand analysis", Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.

- Bowman, J. L. and Ben-Akiva, M. (1999) "The day activity schedule approach to travel demand analysis", 78th Annual Transportation Research Board Meeting, Washington D.C., USA.

- Bowman, J. L. and Bradley, M. A. (2008) "Activity-based models: approaches used to achieve integration among trips and tours throughout the day", European Transport Conference, Leeuwenhorst, The Netherlands.

- Clarke, P., Davidson, P. and Thomas, A. (2008) "Migrating four-step models to an activity based modeling framework in practice", European Transport Conference, Leiden.

- Hensher, D. A., Rose, J. M. and Greene, W. H.

قزوینی مدل انتخاب الگوی سفر مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز برای انجام پژوهش حاضر از طریق پرسشگری توسط شهرداری قزوین گردآوری شد. در این مطالعه از ۷۰۸ نفر- تور سه سفره برای ساخت مدل انتخاب الگوی زنجیره سفر شهری استفاده شد. پس از مدلسازی مشخص شد که مقدار  $p^{20}$  و  $p^{2c}$  برای مدل به ترتیب برابر با ۰/۵۷ و ۰/۵۲ است که نشانگر برازش خوب مدل با داده‌ها است.

این مطالعه بر اساس اطلاعات حاصل از ۷۰۰ تور. سفر از شهروندان قزوینی انجام گرفته است که سهم کمی از کل تورهای سفر شهری این شهر را دربردارد. هرچند هدف اصلی این مطالعه ارائه روشی برای شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب الگوی زنجیره سفر شهری است، اما به منظور افزایش اعتمادپذیری به نتایج این مطالعه، استفاده از نمونه‌گیری‌های وسیع‌تر قابل پیشنهاد است.

از نتایج مدل الگوی زنجیره سفر شهری می‌توان در ساخت مدل انتخاب شیوه سفر و مقصد سفر برای هر تور استفاده کرد و به ارتباط معنی دار بین هدف هر سفر در تور و مقصد یا شیوه سفر انتخابی رسید.

پژوهش جاری به بررسی آن دسته از شهروندانی پرداخته است که یک تور سه سفره در روز دارند و فقط نماینده افرادی هستند که در ۲۴ ساعت یک تور سه سفره انجام می‌دهند و ویژگی‌های آن‌ها مثل تحصیلات و شغل و ... را نمی‌توان به کل جامعه شهروندان قزوینی تعمیم داد، بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی تورهای بیشتری را دربرگیرد.

## ۶. پی‌نوشتها

- 1- Daily activity- travel pattern
- 2- Motivation
- 3- Primary tour
- 4- Secondary tour
- 5- Time of day
- 6- OD matrix
- 7- Exogenous
- 8- Carpooling
- 9- Generating Demand
- 10- Arrival time
- 11- Traffic analysis zone (TAZ)

### پیوست - روش پرداخت تمایل بیشینه (MLE)

روش تخمین تمایل بیشینه شامل دو گام مهم است:

۱. تعیین تابع چگالی احتمال توام برای نمونه مشاهده شده که تابع تمایل نامیده می‌شود.
  ۲. تعیین مقادیر ضرایب به گونه‌ای که تابع تمایل را بیشینه کنند.
- روش تمایل بیشینه، شامل یافتن ضرایب مدل به گونه‌ای است که احتمال رخ دادن مشاهدات صورت گرفته را بیشینه کند. بدین ترتیب ضرایب توابع مطلوبیت گزینه‌های مختلف به گونه‌ای تخمین زده می‌شود که بیشترین نزدیکی را به احتمال وقوع مشاهدات داشته باشد. بر این اساس، برای نمونه‌ای با T مشاهده که هر کدام امکان انتخاب از بین J گزینه را دارند، تابع تمایل به صورتی که در ادامه آورده می‌شود، تعریف می‌گردد:

$$L(\beta) = \prod_{t \in T} \prod_{j \in J} (P_{jt}(\beta))^{\delta_{jt}}$$

که در آن:

$\delta_{jt}$ : اگر گزینه j توسط فرد t انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت صفر است.

$P_{jt}$ : احتمال انتخاب گزینه j توسط فرد t.

یک فرض اساسی در تعریف تابع تمایل در این روش مستقل بودن تصمیم افراد از هم است و بنابراین احتمال توام آنها برابر حاصل ضرب احتمال‌ها می‌شود. با برابر صفر قراردادن مشتق اول تابع تمایل، مقادیر متغیرهایی که تابع تمایل را بیشینه می‌کنند به دست می‌آید. از آن جا که مقدار بیشینه لگاریتم یک تابع در جایی رخ می‌دهد که مقدار بیشینه خود تابع مذکور رخ می‌دهد و از طرفی مشتق‌گیری از تابع لگاریتم راحت‌تر است، تابع لگاریتم تمایل به جای تابع تمایل، بیشینه می‌گردد. تابع لگاریتم تمایل و مشتق اول آن در معادلات زیر آورده شده است:

$$LL(\beta) = \ln(L(\beta)) + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} (\delta_{jt} * \ln(P_{jt}(\beta)))$$

$$\frac{\partial(LL)}{\partial \beta_K} = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \delta_{jt} * \frac{1}{P_{jt}} * \frac{\partial P_{jt}(\beta)}{\partial \beta} \quad \forall K$$

که در آن K برابر با تعداد متغیرهایی که در مدل خواهد بود.

(2005) "Applied choice analysis: A primer", Cambridge University Press, New York.

- Ho, C. Q. and Mulley, C. (2013) "Multiple purposes at single destination: A key to a better understanding of the relationship between tour complexity and mode choice", *Transportation Research Part A*, 49, pp. 206- 219.

- Kim, H., Kim, C., Park, D. and Kim, Y. (2011) "A tour-based approach to destination choice modeling incorporating agglomeration and competition effects", *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, pp. 101- 112.

- Ortuzar, J. D. and Willumsen, L. G. (2011) "Modeling transport", Fourth edition, John Wiley & Sons, United Kingdom.

- Sener, I. N., Pendyala, R. M. and Bhat, C. R. (2011) "Accommodating spatial correlation across choice alternatives in discrete choice models: an application to modeling residential location choice behavior", *Journal of Transport Geography* 19, pp. 294- 303.

- Sivakumar, A. and Pinjari, A. (2012) "Recent advances in activity and travel pattern modelling, *Transportation*", 39, pp. 749- 754.

- Train, K.T. (2009) "Discrete choice methods with simulation", Second Edition, Cambridge University Press, New York.

- Waddell, P. (2002) "UrbanSim: Modeling urban development for land use", *Transportation and Environmental Planning, Journal of the American Planning Association*, 68, pp. 297- 314.

- Waddell, P., Borning, A., Noth, M., Freier, N., Becke, M. and Ulfarsson, G. (2003) "UrbanSim: A simulation system for land use and transportation", *Networks and Spatial Economics*, 3, pp. 43- 67.

- Zhaoming, C. H. U., Chen, H. and Cheng, L. (2012) "A review of activity based travel demand modeling", *ASCE*, pp. 48- 59.

نشان دادن مقدار لگاریتم تابع تمایل استفاده و بر این اساس، مقادیر لگاریتم تابع تمایل برای سه حالت عنوان شده به ترتیب با  $LL(0)$ ,  $LL(C)$ ,  $LL(\beta)$  نشان داده می‌شود. بین مقادیر لگاریتم تابع تمایل در سه حالت مذکور باید شرطی به صورت زیر برقرار باشد:

$$LL(0) \leq LL(C) \leq LL(\beta) \leq 0$$

با توجه به این رابطه، باید مقدار لگاریتم تابع تمایل در حالتی که تابع مطلوبیت تنها یک عدد ثابت است (حالت دوم) همواره بزرگتر یا مساوی حالتی باشد که احتمال انتخاب گزینه‌های مختلف، یکسان در نظر گرفته می‌شود (حالت اول) و همچنین، باید لگاریتم تابع تمایل در حالت سوم همواره بزرگتر یا مساوی حالت دوم باشد و هرچه از آن بیشتر فاصله داشته باشد، مطلوب‌تر است. علاوه بر این، نزدیک بودن مقدار لگاریتم تابع تمایل در مدل‌سازی (حالت سوم) به مقدار لگاریتم تابع تمایل در حالت دوم، بدین معناست که وضعیت موجود انتخاب گزینه که از مشاهدات به دست آمده، بهتر از هر مدل دیگری است و بهتر است به جای هر مدلی از آن استفاده شود [Train, 2009].

و با فرض تابع احتمال لوجیت:

$$P_{jt} = \frac{\exp(X'_{jt}\beta)}{\sum_{j'} \exp(X'_{j't}\beta)}$$

$$\frac{\partial P_{jt}}{\partial \beta_k} = P_{jt}(X'_{jkt} - \sum_{j'} P_{j't} \cdot X'_{j'kt}) \quad \forall k$$

که در آن برداری شامل متغیرهای موجود در تابع مطلوبیت فرد  $t$  در انتخاب گزینه  $j$  و  $X'$  نیز ترانهاده ماتریس است.

با جایگزین کردن معادلات بالا:

$$\frac{\partial(LL)}{\partial \beta_k} = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \delta_{jt} (X'_{jt} - \sum_{j'} P_{j't} \cdot X'_{j't})$$

$$= \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} (\delta_{jt} - P_{j't}) X'_{jt} \quad \forall k$$

جهت بیشینه‌سازی، مشتق اول برای هر  $\beta$  برابر با صفر قرار داده می‌شود. برای اطمینان از این که جواب بهینه، تابع را بیشینه می‌کند نه کمینه، لازم است مشتق دوم تابع تمایل محاسبه و مقدار آن یک عدد منفی غیربی‌نهایت شود. بر این اساس:

$$\frac{\partial^2 LL}{\partial \beta \partial \beta'} = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} -P_{j't} (X'_{jt} - \bar{X}_t) (X'_{jt} - \bar{X}_t)$$

که برای تمام مقادیر  $\beta$  منفی بوده و مطلوب است. برای حل این مسئله و به دست آوردن ضرایب در روش تمایل بیشینه از نرم‌افزار آماری بایوجم بهره گرفته می‌شود. از نشانه  $LL(\cdot)$  برای