



Estimation of work travel mode choice demand with mixed logit model (Random Parameter): case study Isfahan city

Marzieh Googerdchian¹, Rahman Khoshakhlagh^{2*}

¹ Ph.D. Graduate in Economic, Faculty of Economic, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Professor of Economic, Faculty of Economic, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract: discrete choice models, is one of main components of study of people's choice behavior and it used in various fields such as people's demand for goods and services. In such models, the logit model family is used as a key tool for modeling them. This family started with the binary and multiple logit model and then expanded to the nested logit. The limitations of these models led the researchers' attention to more advanced models and formation of a mixed logit model at the highest level of flexibility. The purpose of this study is to estimate the demand for bus, taxi and personal car in Isfahan city at morning peak hours by using mixed logit model. In this way, first express the issue of travel demand and formation of mode choice model then multiple logit model is introduced as basic model in discrete choice, until introduction and modeling mixed logit model to be provided. Finally, travel demand for these modes was assessed using the mixed logit. The data needed to estimate travel demand was gathered by collecting questionnaire from traveler during the morning peak hours of days at autumn and winter in Isfahan city.

The results of estimation of mode choice by mixed logit show that convenience and the head of household are factors influencing the choice of car, while the time and cost are the only factors influencing the choice of the bus for travel during the morning peak hours. Time, cost, convenient, income and head of household are factors that influencing taxi choice.

Key Words: Travel demand, Isfahan city Discrete choice, multinomial logit, mixed logit.

تخمین تقاضای انتخاب وسیله سفرهای کاری با استفاده از مدل لاجیت مخلوط (پارامتر تصادفی):

مطالعه موردی شهر اصفهان

مرزیه گوگردچیان^۱، رحمان خوش اخلاق^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

۲- استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

چکیده

مدل های انتخاب گسسته یکی از اجزای اصلی مطالعه رفتار انتخابی افراد بوده است و در زمینه هایی مانند تقاضای افراد برای کالاها و خدمات استفاده می شود. در اینگونه از مدل ها، خانواده مدل های لاجیت به عنوان یک ابزار کلیدی برای مدل سازی به کار می رود. این خانواده، از مدل لاجیت دوگانه و چندگانه آغاز شد و سپس به سمت لاجیت آشیانه ای توسعه یافت. محدودیت های موجود در این مدل ها سبب توجه پژوهشگران به مدل های پیشرفته تر یعنی شکل گیری مدل لاجیت مخلوط در بالاترین سطح انعطاف شد.

هدف این مطالعه تخمین تقاضای وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودروی شخصی در شهر اصفهان در ساعت اوج تردد صبح با استفاده از مدل لاجیت مخلوط است. در این راستا ابتدا مسئله تقاضای سفر و شکل گیری مدل های انتخاب وسیله، بیان و سپس مدل لاجیت چندگانه به عنوان مدل پایه در مدل انتخاب گسسته معرفی می شود تا امکان معرفی و مدل سازی مدل لاجیت مخلوط فراهم شود. در نهایت، تقاضای سفر این وسایل با استفاده از مدل لاجیت مخلوط ارزیابی شد. داده های مورد نیاز برای تخمین تقاضای وسایل نقلیه از طریق جمع آوری پرسش نامه از مسافران در روزهای کاری در ساعت اوج تردد صبح در فصل پاییز و زمستان در شهر اصفهان استخراج شد.

نتایج تخمین مدل تقاضای سفر برای وسایل نقلیه نشان می دهند راحتی و سرپرست خانوار بودن، مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب خودروی شخصی بوده است؛ در حالی که زمان و هزینه تنها عوامل تأثیرگذار بر انتخاب نکردن اتوبوس برای سفر در ساعت اوج تردد صبح هستند. عوامل تأثیرگذار بر انتخاب تاکسی نیز زمان، کرایه، راحتی، درآمد و تحصیلات اند.

واژه های کلیدی: تقاضای سفر، شهر اصفهان، انتخاب گسسته، لاجیت چندگانه، لاجیت مخلوط.

* Corresponding Author: Rahman Khoshakhlagh

E-mail address mgoogerdchian@yahoo.com, rahmankh44@yahoo.com

مقدمه

تقاضای وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی برای سفرهای کاری در ساعت اوج تردد صبح با استفاده از مدل لاجیت مخلوط ارائه شدند.

بیان مسئله

پیشبینی تقاضای سفر برای سال‌های بسیاری در قلمرو مدل‌های جمعی غیرساختاری مهندسان حمل‌ونقل قرار گرفته بود. اینگونه از مدل‌ها، مدل‌های تک منظوره‌ای بودند که برای تحلیل جریان و مسیرهای ترافیکی به منظور تعیین تعداد سفر یا میزان حجم سفر بین یک مجموعه از وسایل نقلیه در یک مقطع زمان در یک شهر یا منطقه براساس زمان سفر و هزینه سفر بین وسایل نقلیه مختلف ایجاد شدند و بدون هرگونه کمک و همکاری از ناحیه اقتصاددانان و روانشناسان بودند (Mcfadden, 1974: 303) و با وجود ساختار بسیار ساده به دلیل وجود داشتن پایه‌های رفتاری قوی و استفاده از شکل تابع خطی در تخمین تقاضای سفر، به آنها انتقاد شدید شده است (Winston, 1985: 58).

کمبودهای موجود در این نوع از مدل‌های جمعی غیرساختاری به توسعه مدل‌های فرم جمعی اقتصادی منجر شد. برای مدت زمان طولانی اقتصاددانان به این نتیجه رسیده بودند که سفر، پدیده اقتصادی است؛ بنابراین، امکان پیش‌بینی تقاضای آینده برای سفرهای شهری با مدل‌های اقتصادسنجی وجود مشابه و با اندکی پیچیدگی همراه است؛ بنابراین، در دسته مدل‌های رفتار مصرف‌کننده قرار گرفته و به دست آوردن هرگونه مدل برای پیش‌بینی آن نیازمند فروضی درباره رفتار انسان است. این نوع از مدل‌ها بیان می‌کنند مدل‌های نخستین که براساس ویژگی‌های فیزیکی یک ناحیه و مکانیسم برون‌یابی ایجاد می‌شوند، به دلیل در نظر نگرفتن عناصر انسانی قابلیت پیش‌بینی صحیح ندارند؛ زیرا سفر توسط افراد انجام شده است و بنابراین، پاسخ متفاوت انسان‌ها به وضعیت‌های مختلف به تغییر در تقاضای سفر منجر می‌شود و نه خود آن وضعیت‌ها. به عبارت دیگر وضعیت فیزیکی یک ناحیه ترافیکی تعیین‌کننده الگوی سفر در آن ناحیه نیست؛ بلکه واکنش افراد به آن شرایط، تعیین‌کننده است؛ بنابراین، یک مدل پیش‌بینی‌کننده به دلیل واکنش‌های فردی نسبت به ویژگی‌های فیزیکی باید توانایی توصیف تغییرات موجود و توصیف این مطلب را داشته باشد که دو نفر در یک محیط فیزیکی مشابه، چگونه متفاوت عمل

مطالعات بسیاری در حوزه اقتصاد خرد (مانند تأثیر ورود کالاهای جدید، اثر مالیات‌ها و سوبسیدها، بررسی عملکرد بنگاه با کالاهای رقیب و جانشین، تعیین اضافه رفاه ناشی از تغییر قیمت، کشش‌های قیمتی و ...) مربوط به شکل تابع تقاضای یک محصول هستند. مدل‌های تقاضا در اقتصاد شامل دو دسته مدل‌های انتخاب پیوسته و انتخاب گسسته‌اند.

در مدل‌های انتخاب پیوسته که براساس تئوری رفتار مصرف‌کننده نئوکلاسیک ایجاد می‌شوند، تابع تقاضا بیان‌کننده مقداری از کالاها و خدمات در واحد زمان است که با فرض مجموعه‌ای از قیمت‌ها و درآمد توسط فرد خریداری می‌شوند؛ در حالی که در بسیاری از تصمیم‌های اقتصادی مانند انتخاب شغل، اندازه خانواده، مشارکت در بازار، انتخاب وسیله نقلیه و انتخاب مقصد برای سفرهای تفریحی، مالکیت و برند کالاهای مصرفی با دوام شامل پاسخ‌های کیفی است که امکان استخراج تقاضا برای آن از طریق مدل‌های مرسوم اقتصاد نئوکلاسیکی وجود ندارد. این مسئله، اقتصاددانان را برای به‌کارگیری مدل‌ها و روش‌های به‌کاررفته در روانشناسی و آمار و گسترش نتایج به‌دست‌آمده در اقتصاد به تأمل واداشت (Mcfadden, 1976: 198) که نتیجه آن شکل‌گیری مدل‌های انتخاب گسسته بود. این مدل براساس نظریه درخت مطلوبیت استورزⁱ (۱۹۵۷) و تفسیر لانکسترⁱⁱ (۱۹۶۶) از آن و به‌منظور توصیف و مدل‌سازی انتخاب تصمیم‌گیرندگان بین گزینه‌های مختلف براساس فروض حداکثرکردن مطلوبیت توسط مارشکⁱⁱⁱ (۱۹۶۰) ایجاد شد؛ این تابع مطلوبیت، تابع مطلوبیت تصادفی نامیده شد^{iv}. در این مدل تصمیم‌گیرنده فرد یا هر واحد تصمیم‌گیرنده است و گزینه‌ها نشان‌دهنده محصولات رقیب یا هر چیز دیگری هستند که انتخاب براساس آن باید انجام شود (Han et al, 2019: 2).

تقاضای سفر (انتخاب وسیله) از جمله مواردی است که مدل‌سازی آن در چهارچوب مدل‌های انتخاب گسسته انجام می‌شود. در این راستا، مطالعه حاضر به منظور تخمین تقاضای سفر با مدل لاجیت مخلوط، ابتدا موضوع تقاضای سفر را مرور کرده است. سپس مدل لاجیت چندگانه به‌عنوان مدل پایه در تخمین مدل‌های انتخاب گسسته به‌منظور امکان معرفی و مدل‌سازی مدل لاجیت مخلوط به‌عنوان مدل استفاده‌شده در این مطالعه معرفی شده است. در نهایت، نتایج مدل تجربی برای

عرضه شود.

ج- محدودیت موجود در به‌کارگیری تئوری‌های اقتصاد خرد در شاخه حمل‌ونقل، تصریح مناسب تقاضای سفر و آزمون‌های لازم برای مناسب‌بودن هر نوع تصریح را ایجاد نمی‌کند.

در این نوع از مدل‌ها فرض اصلی برای استخراج تابع تقاضا این است که تقاضا برای سفر، به‌طور مستقیم به تقاضا برای فعالیت‌های شهری مانند خرید، کار، تجارت و تفریح وابسته است و از طریق آن به دست می‌آید. به عبارت دیگر فرض بر این است که خانواده یک مجموعه فعالیت‌های تقاضا دارد که مجموعه‌ای از فعالیت‌های شهری است که فرد یا خانواده انجام می‌دهد؛ بنابراین، به ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی فرد یا خانواده مانند درآمد، اندازه خانواده و تعداد افراد شاغل بستگی دارد. همچنین همه فعالیت‌هایی که در مجموعه تقاضای افراد قرار دارند توسط خانوارها ممکن نیست و به امکان‌پذیری آن فعالیت بستگی دارد که این امکان‌پذیری نه از طریق امکان دسترسی، بلکه از طریق مسافت و هزینه معرفی می‌شود؛ بنابراین، مجموعه عرضه فعالیت‌ها نیز از طریق الگوی کاربری اراضی شهری و از طریق ویژگی‌های سیستم حمل‌ونقل بر تقاضای هر سفر تأثیرگذار است و از این‌رو، در این نوع از مدل‌ها برای به دست آوردن تقاضای سفر، به در نظر گرفتن فروضی درباره ساختار تابع مطلوبیت و رابطه بین عناصر آن تابع و فعالیت‌های مربوط به سفر نیاز است؛ برای مثال، تعداد سفرهای انجام‌شده توسط هر فرد در طول یک دوره معین از زمان برای هدف p از مبدأ i به مقصد j با وسیله نقلیه m در مسیر r و زمان t که از طریق یک فرایند بهینه‌یابی به دست می‌آید، به‌صورت زیر است:

$$x_{ijmrt}^p = x(D^p, S_{ijmrt}) \quad \forall i, j, m, r, t \quad (1)$$

در این رابطه، D^p برداری از متغیرهای مربوط به سفر با هدف p و S_{ijmrt} برداری از متغیرهای عرضه است.

استفاده از مدل‌های فرم تابعی انعطاف‌پذیر در اینگونه از مدل‌ها، به برطرف شدن محدودیت موجود در مدل‌های جمعی غیرساختاری منجر شد؛ این در حالی است که واحد اصلی مشاهدات در اینگونه مدل‌ها هنوز سهم کلی وسایل حمل‌ونقل در یک منطقه یا یک ناحیه است و بنابراین، این نوع از تقاضای سفر به‌طور مستقیم در سطح کلی و بدون توجه به مصرف‌کنندگان فردی با فرض مشابه‌بودن افراد و براساس

می‌کنند. به عبارت دیگر تنها اقتصاددانان قادرند چنین تئوری‌های رفتاری را ایجاد کنند که امکان توصیف تفاوت در واکنش انسان‌ها را با مراجعه به مؤلفه‌های اقتصادی افراد مانند قیمت، درآمد و سلیقه اقتصادی علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی محیط مانند متغیرهای مربوط به کاربری اراضی فراهم کنند؛ به این ترتیب امکان توصیف این مطلب ایجاد می‌شود که دو ناحیه مشابه از نظر کاربری اراضی، چگونه الگوی تقاضای سفر متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Button, 1957: 58).

فاز اول توسعه مدل‌های تقاضای سفر در اقتصاد که توسط بکمن^۷ و همکاران در سال ۱۹۹۵ ایجاد شد، مدل‌هایی بود که در آن تصمیم‌های مربوط به سفر، از رفتار بهینه‌یابی افراد خارج بود. در اینگونه مدل‌ها فرض بر این بود که افراد حداکثرکننده مطلوبیت و کالاهای نهایی که مصرف آن از طریق حمل و نقل ایجاد می‌شود یک کالای نرمال است؛ بنابراین، حداقل کردن تقاضا برای سفر در ارتباط مستقیم با درآمد قابل تصرف و در ارتباط معکوس با قیمت سرویس‌های حمل‌ونقل است (Quandt, 1976: 411). به عبارت دیگر هرچند پایه‌های تقاضای سفر از طریق مکانیسم حداکثرسازی مطلوبیت مصرف‌کننده ایجاد می‌شود، تقاضای سفر از طریق کاربرد تئوری تقاضا در اقتصاد خرد ایجاد نمی‌شود؛ زیرا استخراج تقاضای سفر با استفاده از کاربرد تئوری‌های تقاضا در اقتصاد خرد با چندین مسئله روبه‌رو است.

مشکل تطبیق نداشتن تئوری تقاضای اقتصاد خرد با تقاضای سفر، ریشه در سه خصوصیت تقاضای سفر دارد (kanafani, 1985: 50). این سه خصوصیت به‌صورت زیر هستند:

الف- تقاضای سفر، یک تقاضای گرفته‌شده از دیگر فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی است و بنابراین، سفر یا حمل بار، ایجادکننده مطلوبیت نبوده، بلکه امکان فعالیت‌های اجتماعی تولیدکننده مطلوبیت را ایجاد کرده است و به‌عنوان یک ابزار برای غلبه بر جدایی فضایی سفر برای بین مبدأ و مقصد سفر به‌صورت هزینه فرصت در هزینه کل فعالیت‌های مصرفی یا فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، مدل‌های حداکثرکننده مطلوبیت در تقاضای سفر کاربرد ندارد.

ب- تقاضای سفر از ویژگی ذخیره‌سازی که برای تقاضای سایر کالاها وجود دارد برخوردار نیست؛ زیرا در تئوری‌های نئوکلاسیک فرض بر وجود قابلیت ذخیره‌سازی در کالاها برای اصلاح نوسانات است که وقتی کالا تقاضا می‌شود، این کالا

لاجیت چندگانه است که در آن، پارامترهای مربوط به هریک از متغیرها قابلیت تغییر به صورت تصادفی را داشته‌اند و به این صورت به پژوهشگر امکان در نظر گرفتن ناهمسانی‌های مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر افراد را می‌دهد (Hensher et al, 2005: 605). به عبارت دیگر انتخاب توزیع‌های مختلف برای هریک از متغیرها، انعطاف‌پذیری لازم را برای استفاده در مدل‌های کاربردی و برطرف شدن محدودیت‌های موجود در پیش‌بینی توسط مدل لاجیت چندگانه و آشیانه‌ای مانند استقلال گزینه‌های نامرتبط^{xi}، کاربرد نداشتن در داده‌های تابلویی^{xiii} و در نظر نگرفتن تغییر سلاقی در مدل‌های لاجیت چندگانه ایجاد می‌کند. در این راستا با توجه به نقاط قوت مدل لاجیت مخلوط و با توجه به اینکه هیچ مطالعه‌ای در زمینه تقاضای وسایل نقلیه با استفاده از مدل لاجیت مخلوط در شهر اصفهان انجام نشده است و دو مطالعه داخلی موجود برای شهر مشهد و تهران نیز توسط پژوهشگران حوزه حمل‌ونقل انجام شده است، هدف این مطالعه تخمین تقاضای وسایل نقلیه برای شهر اصفهان با استفاده از مدل لاجیت مخلوط است.

مدل لاجیت چندگانه

مدل‌های انتخاب گسسته یا مدل‌های انتخاب کیفی، انتخاب‌های بین دو یا چند گزینه مانند وارد شدن یا نشدن به بازار کار، انتخاب بین دو یا چند وسیله حمل‌ونقل و ... را توضیح، توصیف و پیش‌بینی می‌کنند. در این مدل‌ها در چهارچوب انتخاب عقلایی فرض می‌شود زمانی که افراد با یک مجموعه گسسته از انتخاب‌ها روبه‌رو باشند، گزینه‌هایی را انتخاب می‌کنند که منافع یا مطلوبیت این افراد را حداکثر کنند که تابعی از ویژگی‌های مجموعه انتخاب‌شده و ویژگی‌های فرد انتخاب‌کننده است. به عبارت دیگر این نوع از مدل‌ها ارتباط بین انتخاب‌های افراد در یک مجموعه، ویژگی‌های فرد و ویژگی‌های مربوط به گزینه‌های در دسترس از طریق محاسبه احتمال انتخاب یک گزینه توسط فرد را به‌طور آماری با استفاده از مدل‌های لاجستیک بررسی می‌کنند.

در مدل‌های انتخاب گسسته، توسعه تئوری تقاضا نیازمند توضیح غیرانتقالی بودن رجحان‌ها و ناسازگاری رفتار مصرف‌کننده در نمونه‌های عملی هستند؛ به این صورت که چرا افراد در شرایط انتخاب یکسان، گزینه‌های یکسانی را انتخاب نمی‌کنند و با تغییر مجموعه انتخاب، فرض انتقالی بودن رجحان‌ها برقرار نیست. همچنین در نمونه‌های تجربی مشاهده

اطلاعات به‌دست‌آمده از گروه بزرگی از سفرکنندگان یا حمل‌کنندگان بار در مقاطعی از شهرها به دست می‌آید.

مرحله بعد در تحلیل‌های تقاضای سفر مربوط به مدل‌های رفتاری غیرجمعی^{vi} بود. این نوع از مدل‌های تقاضای سفر، مدل‌هایی‌اند که براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از تصمیم‌گیرندگان فردی به دست می‌آید.

نقطه شروع این نوع از تقاضا توسط تئوری تقاضای مصرف‌کننده لنکستر ایجاد شد. در تئوری تقاضای مصرف‌کننده لنکستر، فرض بر این است که مطلوبیت مصرف‌کننده ناشی از ویژگی‌های آن کالا است و نه آن کالا به‌خودی‌خود. دستاورد این نوع تابع مطلوبیت، بیان تئوری مصرف براساس مرزهای کارایی است؛ همراه با اینکه مصرف واقعی هر فرد ناشی از یک تصمیم درونی برای مصرف در یک نقطه روی مرز (نقطه دارای رجحان) است.

این مدل‌ها براساس تئوری رفتار فردی ایجاد شده و ویژگی مهم تصمیم‌گیرنده اقتصادی را در نظر گرفته‌اند و در تخمین آن برخلاف مدل‌های فرم جمعی که سهم سفر با یک وسیله نقلیه در یک ناحیه یا در سطح ملی استفاده می‌شوند، ویژگی‌های واقعی وسایل نقلیه و ویژگی‌های فرد یا کالای حمل‌ونقل شده در نظر گرفته می‌شوند که نتیجه آن تخمین‌های دقیق از پارامترها و کشش تقاضا در مدل‌های فردی است. مدل‌سازی این نوع از تقاضای وسایل نقلیه توسط مدل‌های انتخاب گسسته انجام می‌شود.

مدل‌سازی خانواده مدل‌های انتخاب گسسته با مدل لاجیت دوگانه و چندگانه^{vii} آغاز شد و سپس به سمت لاجیت آشیانه‌ای^{viii} توسعه یافت که پرکاربردترین مدل لاجیت تعمیم‌یافته است (Zaho et al, 2019: 4). در این فرایند، مدل لاجیت تعمیم‌یافته (به‌عنوان بالاترین سطح مدل‌های انتخاب گسسته) با وجود امکان تخمین از نظر مفهومی و تحلیلی با محدودیت‌هایی در نمونه‌های تجربی مواجه شد. شناخت برخی از محدودیت‌های این نوع از مدل‌های فرم بسته^{ix}، سبب تمرکز پژوهشگران بر مدل‌های پیشرفته تری شد که در آنها امکان برطرف کردن محدودیت‌های موجود وجود داشته باشد. نتیجه این پژوهش‌ها شکل‌گیری مدل لاجیت مخلوط^x در بالاترین سطح انعطاف بود. این سطح از انعطاف در این مدل از طریق توزیع تصادفی برای ضریب‌ها در بین تصمیم‌گیرندگان ایجاد می‌شود. درحقیقت مدل لاجیت مخلوط که مدل پارامتر تصادفی^{xi} نیز نامیده می‌شود، یک فرم کاملاً انعطاف‌پذیر از مدل

متغیرهای تأثیرگذار مشاهده‌ناپذیر یا کاملاً تصادفی در بین تصمیم‌گیرندگان متفاوت است. با توجه به اینکه در مدل لاجیت تنها تغییر سلیقه‌ای در نظر گرفته می‌شود که با توجه به عناصر مشاهده‌پذیر ایجاد می‌شود، جزء خطا، توزیع مستقل و یکسان فرض شده ندارد. پس چنانچه سلاقی به‌طور سیستماتیک در جمعیت و در ارتباط با ویژگی‌های مشاهده‌پذیر تغییر کنند، مدل لاجیت مدل مناسبی است؛ اما در حالت کلی تضمینی وجود ندارد که این مدل بتواند متوسط سلاقی را نشان دهد و تصریح درست داشته باشد.

ویژگی‌های جانشینی یا ویژگی استقلال گزینه‌های نامرتب^{xi v} مربوط به زمانی است که با افزایش ویژگی‌های مربوط به یک گزینه احتمال انتخاب آن گزینه به دلیل افزایش افراد انتخاب‌کننده آن گزینه، افزایش و احتمال انتخاب سایر گزینه‌ها کاهش یابد.

انتخاب تکراری در طول زمان مربوط به موقعیت‌هایی است که بخش مشاهده‌ناپذیر در طول زمان دارای وابستگی است. در این حالت انتخاب تکراری، پویایی ناشی از انتخاب تکراری را نمی‌تواند به دست آورد. در بسیاری از مواقع پژوهشگر شاهد چند انتخاب توسط هر فرد تصمیم‌گیرنده است؛ برای مثال، پژوهشگری که برای به دست آوردن پویایی‌های ناشی از انتخاب خودرو شخصی اطلاعاتی درباره خرید خودرو توسط خانوارها در زمان حال و گذشته به دست می‌آورد یا از پاسخ‌دهنده سؤال‌هایی فرضی درباره انتخاب می‌پرسد (از پاسخ‌دهنده پرسیده می‌شود در هر کدام از شرایط کدام گزینه را انتخاب خواهد کرد) با یک دنباله از انتخاب توسط هر پاسخ‌دهنده روبه‌رو است. اگر عوامل مشاهده‌ناپذیر که بر تصمیم‌گیرنده تأثیرگذار هستند در انتخاب‌های تکراری مستقل باشند، در این صورت مدل لاجیت برای داده‌های تابلویی همانند داده‌های مقطعی به کار می‌رود و هرگونه پویایی مربوط به عوامل مشاهده‌پذیر مانند وابستگی‌های مربوط به وضعیت‌های مختلف که در فرایند تصمیم‌گیری فرد وارد می‌شود (مانند اینکه انتخاب فرد در گذشته بر انتخاب او در زمان حال تأثیر دارد) را در نظر بگیرد؛ اما به دلیل فرض وجودنداشتن وابستگی بین این عناصر در انتخاب‌ها نمی‌توانند پویایی‌های مربوط به عناصر مشاهده‌ناپذیر را در نظر بگیرند. درحقیقت با توجه به اینکه این مدل‌ها قادر به در نظر گرفتن ناهمسانی موجود در انتخاب‌های افراد نسبت به ویژگی‌های گزینه‌های مختلف نیستند، به دلیل در نظر نگرفتن ویژگی‌های شخصی

می‌شود افراد با مجموعه انتخاب یکسان و ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی یکسان، گزینه‌های متفاوتی را انتخاب می‌کنند. در این رهیافت، ناسازگاری در رفتار مصرف‌کننده به دلیل تغییرات مشاهده‌ناپذیر بین تصمیم‌گیرندگان و گزینه‌ها است؛ بنابراین، مدل‌سازی این نوع رفتار از طریق جزء خطا بررسی می‌شود. در این مدل فرض می‌شود فرد گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که برای او بالاترین سطح مطلوبیت را داشته باشد. این تابع مطلوبیت شامل ویژگی‌های مربوط به هر گزینه و ویژگی‌های مربوط به فرد تصمیم‌گیرنده است؛ بنابراین، با توجه به اینکه مطلوبیت به طور قطعی توسط مصرف‌کننده شناخته شده نیست، به صورت یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، احتمال انتخاب گزینه i برابر با احتمال این است که مطلوبیت گزینه i بزرگ‌تر یا برابر با گزینه‌های دیگر در مجموعه انتخاب باشد. به عبارت دیگر:

$$P(i|c_n) = \text{pr}[U_{in} > u_{jn}, \forall j \in C_n] \quad (2)$$

که در آن، U_{in} به صورت رابطه زیر است:

$$U_{in} = V(Z_{in}, S_n) + \varepsilon(Z_{in}, S_n) = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (3)$$

در این رابطه Z_{in} ویژگی‌های فرد انتخاب‌کننده و S_n ویژگی مربوط به گزینه انتخاب شده است. این احتمال از طریق در نظر گرفتن یک توزیع احتمال ترکیبی برای یک مجموعه مطلوبیت تصادفی U_{in} ، $i \in C_n$ محاسبه می‌شود. در حالت لاجیت چندگانه با در نظر گرفتن توزیع گامبل برای جزء خطا، احتمال انتخاب گزینه i توسط رابطه زیر

$$P_{ni} = \frac{e^{v_{ni}}}{\sum_j e^{v_{nj}}} \quad (4)$$

این مدل که محدودیت‌های اساسی دارد سبب تورش در نتایج می‌شود.

قدرت و محدودیت یک روش در تخمین مدل‌های انتخاب گسسته توسط سه عامل ارزیابی می‌شوند که عبارت‌اند از امکان در نظر گرفتن تغییرات سلاقی، ویژگی یا الگوی جانشینی و انتخاب‌های تکراری در طول زمان.

تغییرات سلاقی از این واقعیت ایجاد می‌شود که اهمیت یا ارزشی که هر تصمیم‌گیرنده به هر کدام از گزینه‌ها می‌دهد به دلیل تفاوت در ویژگی‌های مشاهده‌پذیر افراد یا به دلیل

برداری از ضریب‌های مشاهده‌ناپذیر برای هر فرد است که در جمعیت با چگالی $f(\beta_n | \theta^*)$ تغییر می‌کند. در این تابع چگالی θ^* پارامترهای مربوط به این توزیع و ε_{ni} جزء خطای مستقل از β_n و x_{ni} است. تابع $f(\beta)$ به صورت گسسته یا پیوسته در نظر گرفته می‌شود. در بیشتر مدل‌های کاربردی فرض بر این است که $f(\beta)$ با توزیع‌های نرمال، لگاریتمی، مثلثی، گاما و دیگر توزیع‌های ممکن تصریح پیوسته دارد؛ در این حالت اگر β_n مشخص باشد، احتمال شرطی انتخاب گزینه i توسط فرد n از طریق مدل لاجیت معمولی به صورت غیرشرطی، انتگرال احتمال شرطی روی همه مقادیر ممکن β_n است (Kim et al, 2010: 1752).

اگر تابع f پیوسته باشد، احتمال انتخاب غیرشرطی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ni}(\theta) = \int l_{ni}(B) f(\beta | \theta) d\beta \quad (6)$$

این رابطه نشان دهنده این است که مدل لاجیت مخلوط، ترکیبی از تابع لاجیت معمولی و در سطوح مختلف β است که با استفاده از تابع چگالی $f(\beta)$ به عنوان یک تابع توزیع ترکیبی x^v و انتگرال احتمال انتخاب لاجیت چندگانه روی توزیعی از پارامترهای مشاهده‌ناپذیر تصادفی محاسبه می‌شود. درحقیقت، در این مدل احتمال انتخاب از طریق میانگین وزنی مدل لاجیت در سطوح مختلف β با وزنی معادل با تابع چگالی $f(\beta)$ محاسبه می‌شود (Hensher & Green, 2001: 135) در این رابطه، پژوهشگر به تخمین دو مجموعه از پارامتر نیاز دارد؛ گروه نخست، پارامتر β_n مربوط به سلاقی فرد n است و در جامعه تغییر می‌کند و گروه دوم، پارامترهای θ هستند که تابع چگالی $f(\beta)$ را توصیف می‌کنند (Train, 2009: 137).

الگوریتم حداکثر درست‌نمایی

احتمال انتخاب گزینه i توسط فرد n توسط رابطه $\prod_i (p_{ni})^{d_{ni}}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه، چنانچه گزینه i توسط فرد n انتخاب شود، برابر با $d_{ni}=1$ و در غیر این صورت برابر با صفر است؛ بنابراین، اگر فرض شود مصرف‌کنندگان گزینه‌ها را به‌طور مستقل از یکدیگر انتخاب کنند، احتمال اینکه تصمیم‌گیرندگان گزینه i را انتخاب کنند از طریق رابطه زیر

مشاهده‌ناپذیر افراد، به تغییر سلاقی آنها نسبت به ویژگی‌های مربوط به گزینه‌ها حساسیتی ندارند.

مدل لاجیت مخلوط

انتخاب‌های گسسته نتیجه فرایند حداکثرسازی عوامل اقتصادی یا همان حداکثرسازی مطلوبیت مصرف‌کننده هستند؛ بنابراین، زمانی که ناهمسانی موجود بین مصرف‌کنندگان در نظر گرفته شود، به مجموعه‌ای از مدل‌ها با عنوان مدل‌های حداکثرکننده مطلوبیت تصادفی منجر می‌شود. در این نوع از مدل‌ها ویژگی‌هایی از گزینه‌ها که توسط پژوهشگر در نظر گرفته نمی‌شوند و ویژگی‌های شخصی که در مصرف‌کننده مشاهده نمی‌شوند، دو منبع ایجاد ناهمسانی مشاهده‌ناپذیر هستند (Train, 2000: 448 McFadden &).

مدل‌های مقادیر حدی تعمیم‌یافته تا اندازه‌ای محدودیت استقلال و شباهت جزء خطای موجود بین گزینه‌های انتخاب‌شده را از طریق امکان وجود وابستگی بین اجزای خطا رفع می‌کنند؛ اما به دلیل حساسیت‌نداشتن نسبت به تغییر سلاقی افراد نسبت به مشخصات گزینه‌ها قادر به در نظر گرفتن ناهمسانی موجود در انتخاب‌های افراد نیستند و تخمین‌های تورش دار و ناسازگار از احتمال انتخاب و پارامترهای مدل ارائه می‌دهند؛ برای مثال، مدل لاجیت آشیانه‌ای با دسته‌بندی گزینه‌ها در داخل آشیانه‌ها و قراردادن گزینه‌های مشابه در داخل یک آشیانه، امکان وابستگی گزینه‌ها را در یک آشیانه فراهم می‌کند؛ اما وابستگی بین آشیانه‌ها را در نظر نمی‌گیرد (Han et al, 2019: 2). این در حالی است که مدل لاجیت مخلوط با امکان ایجاد تغییرات تصادفی سلاقی در بین تصمیم‌گیرندگان قادر به برطرف کردن همزمان فرض توزیع مستقل و مشابه جزء خطا در ساختار مدل‌های لاجیت چندگانه و ناهمسانی موجود در سلاقی افراد مختلف و در نتیجه تقریب هرگونه مطلوبیت تصادفی است.

تصریح مدل لاجیت مخلوط

اگر فرد n م گزینه i را انتخاب کند، مطلوبیت به‌دست‌آمده از گزینه i به صورت زیر است:

$$U_{ni} = \beta_n \cdot x_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (5)$$

در این رابطه، x_{ni} برداری از متغیرهای مشاهده‌پذیر و β_n

$$SLL^R(\theta) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I d_{ni} \ln(\hat{p}_{ni}) \quad (10)$$

با استفاده از حداکثرسازی این رابطه، مقدار $\hat{\theta}$ استخراج می‌شود (Bai et al, 2017: 2654-2655).

پیشینه پژوهش

مدل لاجیت مخلوط در زمینه‌های متنوعی مانند تقاضا برای کالاها، بازار کار، بازارهای مالی، اقتصاد سیاسی، اقتصاد شهری، حمل‌ونقل و ... کاربرد دارد؛ برای مثال، جونز و هنشر^{xvi} (۲۰۰۴) و باروس و همکاران^{xvii} (۲۰۰۶) از این مدل در بازارهای مالی و ریگی و بورتون^{xviii} (۲۰۰۶) برای برآورد تقاضای محصولات تراریخته استفاده کردند. همچنین مطالعاتی مانند مطالعه هوشینو^{xix} (۲۰۱۱) و جو^{xx} (۲۰۱۴) در زمینه تخمین رفتار انتخاب مکان سکونت، مطالعه می‌بان^{xxi} و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص مدل‌های رأی‌گیری، مطالعه مرو^{xxii} (۲۰۱۶) درباره بازار کار و ... نمونه‌هایی از مطالعات انجام‌شده با استفاده از لاجیت مخلوط در زمینه‌های مختلف است.

در ارتباط با مطالعات مرتبط با انتخاب وسیله نقلیه با استفاده از مدل لاجیت مخلوط به مطالعات زیر اشاره می‌شود: هاوامین^{xxiii} و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با عنوان «تخمین پارامتر مدل لاجیت مخلوط و کاربرد آن»، ضمن معرفی مدل لاجیت مخلوط، یک مثال کاربردی از انتخاب وسیله نقلیه برای سفرهای روزانه در شهر پکن ارائه دادند. وسایل نقلیه در نظر گرفته‌شده در این مطالعه شامل پیاده روی، اتوبوس و دوچرخه است. متغیرهای در نظر گرفته‌شده در این مطالعه شامل هدف سفر، راحتی وسیله نقلیه، نوع شغل، جنسیت، مسافت سفر و هزینه سفر است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند بهترین نتیجه از طریق در نظر گرفتن توزیع ثابت برای هدف سفر و درجه راحتی وسیله، توزیع نرمال برای جنسیت، شغل و هزینه سفر و توزیع مثلثی برای مسافت سفر به دست می‌آید.

نولاند و همکاران^{xxiv} (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با عنوان «تحلیل انتخاب وسیله سفر مدارس در نیوجرسی» عوامل تأثیرگذار بر انتخاب پیاده روی برای سفر به مدرسه را براساس یک نمونه از ۱۹ مدرسه در نیوجرسی و با استفاده از مدل لاجیت مخلوط بررسی کردند. درحقیقت این مطالعه با استفاده از لاجیت مخلوط تلاش می‌کند ناهمسانی موجود بین

محاسبه می‌شود:

$$L(\theta) = \prod_{n=1}^N \prod_i (p_{ni})^{d_{ni}} \quad (7)$$

در این مدل برای تخمین پارامترها از روش حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌شود؛ بنابراین، تابع حداکثر درست‌نمایی آن به صورت زیر است:

$$LL(\theta) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I d_{ni} \ln(p_{ni}) \quad (8)$$

الگوریتم تخمین

رهیافت استاندارد استفاده‌شده در تخمین مقادیر θ ، حداکثر کردن رابطه درست‌نمایی نسبت به θ است؛ اما برای تخمین مقدار حداکثر درست‌نمایی θ^* شرایط لازم به صورت $\nabla_{\theta} LL(\theta^*) = 0$ است. زمانی که ماتریس هشین اکیداً منفی باشد، شرط کافی در مرتبه دوم نیز برقرار بوده است و این اطمینان ایجاد می‌شود که یک نقطه اکیداً بهینه موضعی وجود دارد. در حالتی که تابع درست‌نمایی مقعر باشد (مانند تابع مطلوبیت خطی در حالت لاجیت چندگانه) شرایط مرتبه نخست برای اینکه این نقطه، نقطه حداکثرکننده کلی باشد، کافی است؛ اما زمانی که تابع مطلوبیت خطی نباشد یا از مدل لاجیت ترکیبی استفاده شود، تابع درست‌نمایی مقعر نیست و به استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی نیاز است. درحقیقت، با توجه به اینکه احتمال انتخاب $P_{ni}(\theta) = \int p_{ni}(B, x_{ni}) f(\beta|\theta) d\beta$ در مدل‌های لاجیت ترکیبی چندگانه به شکل انتگرال چندگانه باز است، راه حل فرم بسته امکان‌پذیر نبوده و به تکنیک‌های عددی با استفاده از شبیه‌سازی نیاز است؛ در این مدل برای تخمین $P_{ni}(\theta)$ از میانگین احتمال انتخاب لاجیت به‌ازای مقادیر تصادفی انتخاب شده β_n استفاده می‌شود. به عبارت دیگر مقدار شبیه‌سازی شده \hat{p}_{ni} به صورت زیر به جای P_{ni} استفاده می‌شود:

$$\hat{p}_{ni} = \frac{\sum_{r=1}^R P_{ni}(\beta_n^r, x_{ni})}{R} \quad (9)$$

در این رابطه، مقدار β_n^r مقدار β به دست آمده از $f(\beta_n|\theta)$ به‌ازای یک مقدار معین θ در مرحله r ام است. با استفاده از این مقدار تابع درست‌نمایی شبیه‌سازی شده به صورت زیر است:

اتوبوس و قطار شهری عبارت‌اند از زمان پیاده‌روی تا ایستگاه، زمان انتظار در ایستگاه، زمان در وسیله نقلیه، کرایه وسیله نقلیه، زمان پیاده‌روی تا ایستگاه، ازدحام وسیله نقلیه و امکان دسترسی به اینترنت در ایستگاه قطار شهری و عوامل تأثیرگذار بر انتخاب خودرو شخصی عبارت‌اند از هزینه سوخت، پارکینگ و عوارض و زمان پیاده‌روی تا مقصد است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد کرایه و ازدحام وسایل نقلیه تأثیر منفی بر مطلوبیت وسایل نقلیه عمومی در پنج ایالت دارد؛ این در حالی است که هزینه سوخت، پارکینگ و عوارض، عوامل تأثیرگذار بر انتخاب خودرو شخصی هستند. همچنین نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد دسترسی به اینترنت و رایانه در ایستگاه تأثیری بر انتخاب قطار شهری ندارد.

یہ^{xxvi} و همکاران ۲۰۲۰ در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌های لاجیت مخلوط برای تغییر وسیله نقلیه مسافران با در نظر گرفتن دوچرخه‌های اشتراکی» میزان تأثیر ویژگی‌های فردی، ساختار محیطی و ویژگی‌های سفر بر استفاده از دوچرخه‌های مشترک و وسایل نقلیه مرتبط مانند اتوبوس و مترو را با استفاده از لاجیت مخلوط در شهر نانجینگ چین بررسی می‌کنند. در این مطالعه عوامل مؤثر در نظر گرفته شده بر انتخاب وسیله شامل مشخصات فرد سفرکننده، ویژگی‌های فامیلی فرد، تمایلات فرد و ویژگی‌های ترافیکی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند سن و درآمد، تأثیر منفی بر استفاده از دوچرخه مشترک دارند؛ این در حالی است که دانش‌آموز بودن، مسافت کمتر از یک کیلومتر و نداشتن خودرو تأثیر مثبتی بر استفاده از دوچرخه مشترک دارد؛ اما آب‌وهوا و مسافت سفر، تأثیر منفی بر جایگزینی آن با سایر وسایل نقلیه دارند.

مددوحی و محمدی ۱۳۹۶ در مقاله‌ای با عنوان «کاربرد مدل لاجیت ترکیبی در انتخاب وسیله: مطالعه موردی سفرهای شغلی شهر مشهد»، با استفاده از مدل لاجیت مخلوط و اطلاعات سفرهای شغلی به‌دست‌آمده از آمارگیری‌های مبدأ - مقصد ساکنین شهر مشهد در سال ۱۳۸۷ عوامل تأثیرگذار بر انتخاب وسیله سفرهای شغلی، وسایل نقلیه سواری شخصی، تاکسی و موتورسیکلت را تعیین کردند. متغیرهای در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل زمان سفر داخل اتوبوس از مبدأ تا مقصد، زمان سفر خارج اتوبوس از مبدأ تا مقصد، تعداد دفعات سوار شدن بر اتوبوس از مبدأ تا مقصد، زمان سفر سواری شخصی از مبدأ تا مقصد، زمان سفر آزاد در شبکه از مبدأ تا مقصد، فاصله بین زوج مبدأ - مقصد روی شبکه، تعداد

دانش‌آموزان را در نظر بگیرد. مجموعه انتخاب دانش‌آموزان شامل پیاده‌روی، اتوبوس مدرسه، خودرو شخصی و دوچرخه (وسایل نقلیه موتوری و غیرموتوری) است. متغیرهای در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارت‌اند از زمان سفر، مقطع تحصیلی، الگوی کاربری اراضی، شبکه ارتباطی، ساختار شهری و متغیرهای اقتصادی - اجتماعی مربوط به خانواده دانش‌آموزان. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند زمان سفر عامل تأثیرگذاری بر انتخاب پیاده‌روی تا مدرسه است. همچنین دانش‌آموزان در مقاطع بالاتر برای رسیدن به مدرسه در بیشتر موارد از پیاده‌روی استفاده می‌کنند. همچنین درآمد و نژاد عامل تأثیرگذاری در انتخاب وسیله برای رفتن به مدرسه هستند. همچنین شبکه ارتباطی متنوع و نوع طراحی شهری با اجازه دادن خانواده‌ها برای پیاده‌روی تا مدرسه ارتباط مستقیم دارد؛ به طوری که در مناطق دارای پیاده‌روهای عریض‌تر و با چگالی جمعیتی بالاتر امکان پیاده‌روی دانش‌آموزان تا مدرسه افزایش می‌یابد.

لی^{xxv} و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان «مطالعه‌ای بر روی رفتار انتخاب وسیله مسافران با استفاده از مدل لاجیت مخلوط: مطالعه موردی مسیر سئول - جیجو» تحلیل رفتار انتخاب وسیله مسافران برای انتخاب بین دو وسیله رقیب (هوایما و قطار سریع‌السیر) در مسیر سئول - جیجو را با استفاده از مدل لاجیت مخلوط بررسی کردند. آنها در این مطالعه با در نظر گرفتن متغیرهای زمان و هزینه با توزیع مثلثی و متغیرهای امنیت سفر و امکان خرید در مکان فرودگاه یا ایستگاه‌های قطار برای دو گروه مسافران کاری و تجاری به این نتیجه دست یافتند که مسافران تجاری بدون توجه به هزینه، وسیله‌ای را انتخاب می‌کنند که امنیت بیشتری دارد؛ در حالی که مسافران تفریحی به امکان خرید، بیشتر توجه می‌کنند.

زهنگ و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان «ناهمسانی ترجیحات مصرف‌کنندگان در مدل انتخاب وسیله براساس داده‌های ملی با تمرکز بر قطار شهری» بیان می‌کنند ایجاد سیاست‌های کارآمد در حمل‌ونقل عمومی به فهم عمیق از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب وسیله مسافران نیاز دارد؛ بنابراین، این مطالعه با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از پنج مرکز ایالت در استرالیا، عوامل تأثیرگذار بر انتخاب وسیله را ضمن تأکید بر قطار شهری با استفاده از مدل لاجیت مخلوط بررسی می‌کند. در این مطالعه وسایل نقلیه در نظر گرفته شده عبارت‌اند از اتوبوس، قطار شهری و تاکسی و عوامل تأثیرگذار بر انتخاب

جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه

جامعه آماری این مطالعه، سفر کنندگان با وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی در ساعت اوج تردد صبح روزهای کاری در سطح شهر اصفهان است. داده‌های مورد نیاز نیز از طریق پرسش‌نامه توزیع شده به صورت تصادفی بین ۶۰۹ فرد مسافر در مناطق ۱۵ گانه شهرداری اصفهان در ساعت ۷-۹ صبح استخراج شد.

برای استخراج تعداد نمونه از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد. برای تعیین حجم نمونه، ابتدا واریانس جامعه از طریق توزیع تصادفی ۵۰ پرسش‌نامه به صورت نمونه نخستین، استخراج و سپس حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران در سطح اطمینان ۹۵ درصد استخراج شد.

طراحی پرسش‌نامه

عوامل مؤثر بر تقاضای سفر (انتخاب وسیله) شامل دو دسته متغیرهای مربوط به شخص مسافر و متغیرهای مربوط به وسیله نقلیه است؛ بنابراین، برای طراحی پرسش‌نامه ابتدا با بررسی تعداد زیادی از مطالعات انجام شده در این زمینه در کشورهای مختلف مانند مطالعه هولگرن (۲۰۰۷)، هاومین و همکاران (۲۰۱۰) و ... و همچنین مصاحبه‌های انجام شده با تعدادی از استفاده‌کنندگان حمل و نقل عمومی و خودرو شخصی در ساعت اوج تردد صبح، متغیرهای مؤثر بر انتخاب وسیله استخراج شدند. این متغیرها عبارت‌اند از سن، جنسیت، تحصیلات، تعداد خودرو در خانواده، تعداد افراد دارای گواهینامه در خانواده، درآمد، سرپرست خانوار بودن، زمان سفر، مسافت سفر، آسایش وسیله نقلیه و هزینه سفر. هزینه برای وسیله نقلیه عمومی شامل کرایه و برای خودرو شخصی شامل مجموع هزینه تعمیر و نگهداری، استهلاک و هزینه بنزین است. همچنین زمان سفر با وسایل نقلیه عمومی تاکسی و اتوبوس شامل مجموع زمان پیاده روی تا ایستگاه، زمان انتظار در ایستگاه، زمان سفر با وسیله نقلیه و زمان پیاده روی تا مقصد و برای وسیله نقلیه شخصی شامل کل زمان سفر بین مبدأ و مقصد است. مسافت سفر نیز با استفاده از فاصله بین مبدأ و مقصد و با نرم‌افزار گوگل ارث^{xxvi} محاسبه شد.

تعیین توزیع مناسب متغیرها و تخمین ضریب‌ها با

استفاده از لاجیت مخلوط

در یک مدل لاجیت مخلوط، پژوهشگر به سه تصمیم مهم

ایستگاه‌های اتوبوس در هر ناحیه مبدأ، فاصله هوایی بین زوج مبدأ - مقصد، سرانه مالکیت موتورسیکلت مبدأ، سرانه مالکیت سواری شخصی مبدأ و قرارگرفتن مقصد سفر در مرکز شهر هستند.

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهند از بین متغیرهای در نظر گرفته شده وجود اختلاف سلیقه در استفاده کنندگان خودرو شخصی و موتورسیکلت درباره متغیر مالکیت خودروی شخصی و سرانه مالکیت موتورسیکلت باعث معنادار شدن توزیع تصادفی برای ضریب‌های این دو متغیر شد؛ اما سایر متغیرها ضریب ثابت دارند. همچنین نتایج به دست آمده در این مدل نشان‌دهنده بهبود نتایج مدل لاجیت مخلوط نسبت به مدل لاجیت چندگانه است.

امینی (۱۳۹۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان «ارائه یک مدل تقاضای سفر با دوچرخه: مطالعه موردی شهر تهران» یک مدل تقاضای سفر با دوچرخه را ارائه داده و نقش عوامل مختلف فردی، اقتصادی، محیطی و مشخصات سفر در دوچرخه‌سواری برای سفرهای کاری - تحصیلی در منطقه هشت شهر تهران را با استفاده از مدل لاجیت مخلوط بررسی کرده است. عوامل در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل سن، تحصیلات، جنسیت، نوع شغل، وجود خودرو شخصی و دوچرخه، میزان دسترسی به حمل و نقل عمومی، هدف سفر و اثرات متقابل شغل و هدف سفر بوده‌اند و متغیر وابسته به دو صورت میزان استفاده از دوچرخه (به صورت هیچ‌گاه، به ندرت و گاهی اوقات) و بیشترین زمان پذیرفتنی برای استفاده از دوچرخه (شامل تمایل نداشتن به دوچرخه‌سواری، ۳۰ دقیقه و ۵۰ دقیقه) است. در این مطالعه از بین متغیرهای در نظر گرفته شده متغیر دسترسی به حمل و نقل عمومی در گزینه حداکثر ۳۰ دقیقه دوچرخه‌سواری و متغیر وجود خودرو شخصی در خانواده در گزینه به ندرت دارای توزیع تصادفی بوده که نشان‌دهنده اختلاف سلیقه بین مسافران در ارتباط با این ویژگی‌ها است.

مدل تجربی

برای تخمین تقاضای سفر (انتخاب وسیله نقلیه) با استفاده از مدل لاجیت مخلوط ابتدا جامعه آماری، روش نمونه‌گیری، حجم نمونه و چگونگی طراحی پرسش‌نامه، معرفی و سپس چگونگی تخمین مدل بررسی شد.

متغیرها باعث هم‌گرا نشدن مدل به صورت کلی شد. همچنین انتخاب توزیع لوگ نرمال برای هریک از متغیرها نیز سبب افزایش بیش از حد میانگین متغیرها شد؛ برای مثال، انتخاب توزیع لوگ نرمال برای هزینه سفر با تاکسی سبب ایجاد میانگین $2/47589$ - شده است، مقدار حداکثر درست‌نمایی را به شدت کاهش می‌دهد و R^2 سدو^{xxx} را به کمتر از یک سوم تقلیل می‌دهد. مشابه این حالت در موارد بسیاری در مطالعات پیشین مشاهده شده است؛ برای مثال، نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه هس و همکاران (۲۰۰۵) برای انتخاب فرودگاه در مناطق چندفرودگاهی با استفاده از مدل لاجیت مخلوط نشان می‌دهند انتخاب توزیع لوگ نرمال برای یک متغیر سبب ایجاد میانگین ۵ برای آن متغیر می‌شود. همچنین هنشر و گرین (۲۰۰۳) بیان می‌کنند استفاده از توزیع لوگ نرمال برای متغیرها باعث کاهش سرعت هم‌گرایی می‌شود.

در بین توزیع‌های نرمال، مثلثی و ثابت برای هریک از متغیرها، با توجه به تابع چگالی کرنل، ترکیبی از توزیع‌ها انتخاب شد تا هم سبب کاهش مقدار حداکثر درست‌نمایی شود و هم از نظر علامت، سازگاری تئوریک داشته باشد.

نتایج حاصل از تخمین‌های متعدد به‌دست‌آمده از ترکیب توزیع‌های مختلف و در نظر گرفتن تابع چگالی کرنل نشان می‌دهند بهترین نتیجه ممکن از طریق انتخاب توزیع نرمال برای هزینه سفر با اتوبوس و آسایش سفر با تاکسی، توزیع مثلثی برای مدت زمان سفر با اتوبوس، هزینه سفر با تاکسی، راحتی سفر با خودرو شخصی و توزیع ثابت برای سایر متغیرها به دست می‌آید؛ برای مثال، انتخاب توزیع‌های مختلف برای متغیر زمان سفر با تاکسی با وجود معنی‌دار بودن مقدار واریانس ضریب این متغیر (تصادفی بودن) سبب بدتر شدن مقدار حداکثر درست‌نمایی مدل می‌شود. همچنین تغییرات چندانی در مقدار میانگین ضریب در حالت ثابت نسبت به حالت تصادفی مشاهده نشد. با توجه به موارد ذکر شده در بالا نتایج ناشی از تخمین ضریب‌های سه تابع مطلوبیت مربوط به وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی با استفاده از نرم افزار ان‌لاجیت^{xxx} به صورت زیر هستند

درباره متغیرهای استفاده شده در مدل، تعیین متغیرهای تصادفی و توزیع مدنظر هرکدام از متغیرهای تصادفی نیاز دارد (paz et al, 2019: 1).

متغیرهای مناسب استفاده شده در مطالعه‌ای شامل دو دسته متغیرهای اقتصادی - اجتماعی شخص تقاضاکننده و متغیرهای مربوط به نوع وسیله است. داده‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه از طریق رجحان‌های آشکار شده^{xxviii} مسافران به دست آمد؛ در نهایت، اطلاعات مورد نیاز از طریق پرسش‌نامه توزیع شده به صورت تصادفی بین استفاده‌کنندگان از هریک از وسایل نقلیه در ساعت اوج تردد صبح روزهای کاری در فصل پاییز و زمستان استخراج شد.

مهم‌ترین بخش در مدل‌های پارامترهای تصادفی، انتخاب توزیع مناسب هریک از متغیرها است. این توزیع‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که تخمینی از واقعیت باشند و در بیشتر موارد از بین توزیع‌های مشخصی انتخاب شوند. رایج‌ترین این توزیع‌ها شامل توزیع نرمال، مثلثی، یکنواخت و لوگ نرمال هستند که هرکدام با توجه به اندازه دنباله و علامت، نقاط ضعف و قوت ویژه خود را دارند (Hensher & Gerren, 2001: 144).

در این مطالعه انتخاب توزیع مناسب هریک از پارامترها از طریق نقاط قوت و ضعف توزیع‌ها، تابع چگالی کرنل^{xxix} (به عنوان روشی که تا اندازه‌ای به تعیین توزیع مناسب کمک می‌کند) و مقدار حداکثر درست‌نمایی تعیین می‌شود.

توزیع هریک از پارامترها در بیشتر موارد رفتار واقعی را به صورت قراردادی تقریب می‌زند؛ بنابراین، از بین توزیع‌های مختلف، توزیعی انتخاب می‌شود که واقعیت تجربی بر آن منطبق است. برای انتخاب توزیع مناسب، فرد می‌تواند توزیع‌های مختلف را برای هریک از ویژگی‌ها انتخاب کند تا بهترین توزیع ممکن انتخاب شود (Hensher et al, 2005: 612).

در این مطالعه برای تعیین بهترین توزیع، ابتدا با استفاده از تابع چگالی کرنل، فرم کلی برای توزیع متغیرها در نظر گرفته شد. سپس با توجه به نقاط قوت و ضعف هریک از توزیع‌ها، مطالعات پیشین انجام شده و ترکیب توزیع‌ها (با توجه به مقدار لگاریتم حداکثر درست‌نمایی کل مدل) توزیع‌های مختلف بررسی شدند و در نهایت، توزیع‌های مناسب متغیرها به دست آمدند.

در بین توزیع‌ها انتخاب توزیع لوگ نرمال برای هرکدام از

$$U_{ibus} = \alpha_0 + \alpha_1.fright + \alpha_2.time + \alpha_3.income + \alpha_4.gender + \alpha_5.nucar + \alpha_6.comfort + \alpha_7.education + \alpha_8.distance + \alpha_9.head\ of\ household + \alpha_{10}.numlicence$$

$$U_{icar} = \beta_0 + \beta_1.cost + \beta_2.time + \beta_3.income + \beta_4.gender + \beta_5.nucar + \beta_6.comfort + \beta_7.education + \beta_8.distance + \beta_9.head\ of\ household + \beta_{10}.numlicence$$

$$U_{itaxi} = \gamma_1.fright + \gamma_2.time + \gamma_3.income + \gamma_4.gender + \gamma_5.nucar + \gamma_6.comfort + \gamma_7.education + \gamma_8.distance + \gamma_9.head\ of\ household + \gamma_{10}.numlicence$$

جدول ۱- تخمین لاجیت مخلوط ضریب‌های تابع مطلوبیت اتوبوس

متغیر	زمان سفر	کرایه
نماد	<i>time</i>	Fright
ضریب	-۰/۰۲۳۹۷	-۰/۰۱۴۱۹
آماره t	-۳/۲۹	-۲/۸۳
احتمال معنی دار نبودن متغیر	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۴۶
سطح معنی داری متغیر	%۹۹	%۹۹
توزیع متغیر	مثالی	نرمال
واریانس ضریب متغیر	۰/۰۰۹۵۹	۰/۰۰۷۱۰
سطح معنی داری واریانس	%۹۹	%۹۹

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۲- تخمین لاجیت مخلوط ضریب‌های تابع مطلوبیت تاکسی

متغیر	زمان سفر	کرایه	درآمد	آسایش	سرپرست خانوار
نماد	Time	fright	income	comfort	Head ohosehold
ضریب	-۰/۰۲۰۳۲	-۰/۰۰۶۹۴	۰/۳۵۳۲۷	۰/۰۱۴۳۱	-۰/۸۱۹۸۷
آماره والد	-۲/۰۴	-۲/۳۲	۲/۶۴	۲/۷۶	-۲/۵۹
احتمال معنی دار نبودن متغیر	۰/۰۴۱۱	۰/۰۲۰۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۹۷
سطح معنی داری متغیر	%۹۵	%۹۹	%۹۹	%۹۹	%۹۹
توزیع متغیر	ثابت	مثالی	ثابت	نرمال	ثابت
واریانس ضریب متغیر	۰	۰/۰۰۳۸۲	۰	۰/۰۱۰۷۳	۰
سطح معنی داری واریانس	-	%۹۹	-	%۹۹	-

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

جدول ۳- تخمین لاجیت مخلوط ضریب‌های تابع مطلوبیت خودرو شخصی

متغیر	ضریب ثابت	آسایش	سرپرست خانوار
نماد	constant	Comfort	Head of hosehold
ضریب	-۴/۴۹۲۹۵	۰/۰۲۰۴۸	۱/۰۰۳۰۹
آماره والد	-۲/۲۷	۲/۰۸	۰/۳۴۸۳۸
احتمال معنی دار نبودن متغیر	۰/۰۲۳۰	۰/۰۰۲۴	۲/۸۸
سطح معنی داری متغیر	%۹۵	%۹۹	%۹۹
توزیع متغیر	ثابت	مثالی	ثابت
واریانس ضریب متغیر	۰	۰/۰۰۶۱۴	۰
سطح معنی داری واریانس	-	%۹۹	-

محاسبات پژوهشگر

تفسیر ضریب‌ها و ضریب معنی‌داری مدل

مدل لاجیت مخلوط این امکان را ایجاد می‌کند که ضریب‌های مربوط به هریک از ویژگی‌ها در تابع مطلوبیت، ثابت یا تصادفی باشند. در این مطالعه توزیع‌های متنوعی برای ضریب‌ها آزموده شد تا متغیرهای تأثیرگذار بر انتخاب سه وسیله نقلیه، اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی با استفاده از داده‌های مربوط به انتخاب وسیله در شهر اصفهان استخراج شود. این ضریب‌ها برای ارزیابی نتایج ناشی از سیاست‌های مختلف حمل و نقل مانند قیمت‌گذاری وسایل نقلیه مختلف، اضافه رفاه ناشی از سیاست‌ها، محاسبات مربوط به ارزش زمان سفر و ... استفاده می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده از تخمین تقاضای سفر برای سه وسیله نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی نشان می‌دهند:

زمان سفر و هزینه سفر در سطح اطمینان ۹۹ درصد تنها عوامل تأثیرگذار در انتخاب اتوبوس به‌عنوان وسیله سفر برای افراد بوده‌اند و تأثیر زمان تا حدودی بیشتر از تأثیر هزینه است. توزیع‌های مناسب برای این متغیرها، توزیع مثلثی برای زمان و توزیع نرمال برای هزینه سفر با اتوبوس هستند. ضریب‌های به‌دست‌آمده برای این متغیرها علامت منفی دارند که نشان‌دهنده سازگاری آنها با مباحث تئوریک است؛ این در حالی است که متغیرهای تأثیرگذار بر انتخاب وسیله نقلیه تاکسی شامل زمان، کرایه، آسایش، درآمد و سرپرست خانوار بودن هستند. در این وسیله نقلیه زمان، کرایه و سرپرست خانوار بودن با علامت منفی و آسایش و درآمد با علامت مثبت بر انتخاب این وسیله تأثیرگذار هستند. نتایج به‌دست‌آمده برای این وسیله نشان می‌دهند از بین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب تاکسی، درآمد، بیشترین تأثیر را داشته و به‌طور چشمگیری بر انتخاب تاکسی نسبت به سایر عوامل تأثیر می‌گذارد؛ این در حالی است که ضریب منفی سرپرست خانوار بودن در وسیله نقلیه تاکسی نشان می‌دهد سرپرست خانوار بودن احتمال انتخاب وسیله نقلیه تاکسی را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین تأثیر زمان به‌طور چشمگیری از تأثیر هزینه بیشتر است. در ضریب‌های به‌دست‌آمده برای این وسیله نقلیه به‌جز زمان سفر با سطح اطمینان ۹۵ درصد سایر متغیرها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. این نتایج از طریق انتخاب توزیع مثلثی برای آسایش، توزیع نرمال برای کرایه سفر و توزیع ثابت برای سایر متغیرها به دست می‌آیند.

از بین متغیرهای موجود در مدل، متغیرهای تأثیرگذار بر انتخاب خودرو شخصی عبارت‌اند از ضریب ثابت با علامت منفی، آسایش وسیله نقلیه و سرپرست خانوار بودن با علامت مثبت. بهترین نتیجه ممکن برای این وسیله از طریق توزیع مثلثی برای آسایش خودرو شخصی و توزیع ثابت برای سایر متغیرها به دست آمد. سطح اطمینان به‌دست‌آمده برای این متغیرها نشان می‌دهد سرپرست خانوار بودن با سطح اطمینان ۹۹ درصد و آسایش وسیله نقلیه با سطح اطمینان ۹۵ درصد در انتخاب خودرو شخصی تأثیرگذار است. به عبارت دیگر، خودرو شخصی توسط افراد سرپرست خانوار به دلیل راحتی استفاده می‌شود. نکته درخور توجه در نتایج به‌دست‌آمده برای این سه وسیله نقلیه نشان می‌دهند در این مدل‌ها واریانس متغیرهای در نظر گرفته شده به‌صورت تصادفی، در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

برای اندازه‌گیری قدرت برازش مدل در مدل‌های لاجیت از R^2 سِدو^{xxxi} استفاده می‌شود که محاسبه آن متفاوت از R^2 در مدل‌های خطی است. رابطه مقدار این آماره و R^2 در مدل‌های خطی به این صورت است که مقدار آماره به‌دست‌آمده در مدل‌های خطی تقریباً معادل با دو برابر R^2 در این نوع از مدل‌ها است (Hensher et al, 2005: 332).

در این مدل R^2 سِدو به‌دست‌آمده در پژوهش تقریباً برابر با ۳۶ درصد است. مقایسه مقدار R^2 به‌دست‌آمده در مدل انتخاب وسیله شهر اصفهان با مطالعات خارجی اشاره‌شده در بخش پیشینه پژوهش - مانند مطالعه هاومین و همکاران، نولاند و همکاران، زانگ و همکاران و لی و همکاران که در آن R^2 سِدو به‌ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۳۴، ۰/۴۸ و ۰/۳۶ است - مناسب بودن میزان R^2 را در اینجا نشان می‌دهد.

کشش نقطه‌ای

در مدل لاجیت چندگانه، کشش‌های مستقیم نقطه‌ای، تغییر در احتمال انتخاب یک گزینه (در مجموعه انتخاب) به‌ازای یک درصد تغییر در ویژگی‌های مربوط به گزینه‌ها را محاسبه می‌کنند (Hensher et al, 2005: 393). نتایج به‌دست‌آمده برای کشش‌های متقاطع و مستقیم نسبت به زمان، هزینه و درآمد به‌صورت زیر هستند:

جدول ۴- کثش نقطه‌ای تقاضا

خودرو شخصی	تاکسی	اتوبوس	کثش نقطه‌ای تقاضا نسبت به زمان
۰/۲۷۶۰	۰/۴۹۵۴	-۰/۳۸۵۵	اتوبوس
۰/۰۹۰۸	-۰/۴۲۹۲	۰/۱۱۵۴	تاکسی
-	-	-	خودرو شخصی
			کثش نقطه‌ای تقاضا نسبت به کرایه
۰/۱۱۴۴	۰/۳۳۳۶	-۰/۰۲۱۱۸	اتوبوس
۰/۱۳۸۶	-۰/۷۵۷۶	۰/۲۱۶۹	تاکسی
-	-	-	خودرو شخصی
-	۰/۷۰۳۰		کثش نقطه‌ای تقاضا نسبت به درآمد

مأخذ: محاسبات پژوهشگر

۰/۷۰۳۰ افزایش می‌یابد.

بی‌کثش بودن خودرو شخصی نسبت به قیمت، درآمد و زمان نیز نشان می‌دهد افراد در صورت دسترسی به خودرو شخصی صرفاً به دلیل راحتی و آسایش برای سفرهای کاری خود از این وسیله نقلیه استفاده می‌کنند؛ بنابراین، سیاست‌گذار امکان استفاده از ابزار قیمتی مانند دریافت عوارض، قیمت‌گذاری پارکینگ و ... را برای ترغیب افراد به استفاده نکردن از وسایل نقلیه شخصی و مدیریت تقاضای سفر در ساعت اوج تردد صبح ندارد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده برای انتخاب وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی به منظور سیاست‌گذاری برای کاهش استفاده از خودرو شخصی و استفاده بیشتر از وسایل نقلیه عمومی نشان می‌دهد سیاست‌گذاران و متولیان امور حمل‌ونقل شهری باید بر تسریع در حمل‌ونقل شهری و راحتی و آسایش حمل‌ونقل عمومی (در مقایسه با سیاست‌های قیمتی) از طریق تاکسی و اتوبوس تأکید کنند. این موضوع می‌تواند با برنامه‌ریزی به‌منظور ایجاد مسیرهای اختصاصی برای تاکسی یا مسیر مشترک برای اتوبوس و تاکسی کارسازی شود.

احتمال انتخاب وسیله

با توجه به ضریب‌های به‌دست‌آمده توسط مدل لاجیت مخلوط، مطلوبیت و احتمال انتخاب هر یک از وسایل نقلیه به‌صورت زیر است:

نتایج به‌دست‌آمده از کثش مستقیم وسیله نقلیه اتوبوس نسبت به زمان نشان می‌دهند افزایش زمان سفر با اتوبوس، احتمال انتخاب وسیله نقلیه اتوبوس را به میزان $0/3855$ کاهش می‌دهد؛ این در حالی است که کثش متقاطع زمان سفر با اتوبوس نسبت به دو وسیله نقلیه مثبت و میزان کثش نشان می‌دهد بیشتر بودن زمان سفر با اتوبوس احتمال انتخاب تاکسی را تقریباً دو برابر بیشتر از احتمال انتخاب خودرو شخصی افزایش می‌دهد. همچنین بیشتر بودن زمان سفر با تاکسی احتمال انتخاب تاکسی را به میزان $0/4292$ کاهش می‌دهد که در مقایسه با کثش مستقیم اتوبوس نسبت به زمان بزرگ‌تر است. همچنین کثش متقاطع زمانی تاکسی نسبت به اتوبوس و خودرو شخصی مثبت است؛ اما میزان این کثش برای اتوبوس به‌طور چشمگیری بیشتر از خودرو شخصی است.

کثش‌های مستقیم تقاضای اتوبوس نسبت به کرایه نشان می‌دهند با افزایش هزینه اتوبوس احتمال انتخاب این وسیله به میزان کم کاهش می‌یابد. همچنین کثش مثبت اتوبوس نسبت به تاکسی و خودرو شخصی نشان‌دهنده‌ی جانشینی این دو وسیله با اتوبوس هستند؛ اما میزان کثش جانشینی تاکسی تقریباً سه برابر خودرو شخصی است. همچنین اتوبوس و خودرو شخصی نیز جانشین تاکسی هستند؛ اما جانشینی اتوبوس تقریباً دو برابر خودرو شخصی است.

این نتایج ناشی از این است که بیشتر استفاده‌کنندگان از اتوبوس و تاکسی، دسترسی به خودرو شخصی ندارند؛ اما افراد با درآمد بیشتر، تاکسی را به دلیل زمان سفر کوتاه‌تر و اتوبوس را به دلیل هزینه سفر کمتر انتخاب می‌کنند.

نتایج به‌دست‌آمده برای کثش درآمدی تاکسی نیز نشان می‌دهند با افزایش درآمد، احتمال انتخاب تاکسی به میزان

$$U_{bus} = e^{-0.01419*fright_B - 0.02397*totaltime_B}$$

$$P_{bus} = \frac{e^{-0.01419*fright_B - 0.02397*totaltime_B}}{e^{-0.01419*fright_B - 0.02397*totaltime_B} + e^{-0.00694*fright_T - 0.02032*totaltime_T + 0.35327*INCOME_T + 0.01431*COMFORT_T - 0.81987 \text{ head of household}} + e^{-4.49295 + 0.02048*COMFORT_C + 1.00309*head \text{ of household}_c}}$$

$$U_{taxi} = e^{-0.00694*fright_T - 0.02032*totaltime_T + 0.35327*INCOME_T + 0.01431*COMFORT_T - 0.81987 \text{ head of household}} + 1.00309*count$$

$$P_{taxi} = \frac{e^{-0.00694*fright_T - 0.02032*totaltime_T + 0.35327*INCOME_T + 0.01431*COMFORT_T - 0.81987 \text{ head of household}} + 1.00309*count}{e^{-0.01419*fright_B - 0.02397*totaltime_B} + e^{-0.00694*fright_T - 0.02032*totaltime_T + 0.35327*INCOME_T + 0.01431*COMFORT_T - 0.81987 \text{ head of household}} + e^{-4.49295 + 0.02048*COMFORT_C + 1.00309*guardian_c}}$$

$$U_{car} = e^{-4.49295 + 0.02048*COMFORT_C + 1.00309*head \text{ of household}_c}$$

$$P_{car} = \frac{e^{-4.49295 + 0.02048*COMFORT_C + 1.00309*head \text{ of household}_c}}{e^{-0.01419*fright_B - 0.02397*totaltime_B} + e^{-0.00694*fright_T - 0.02032*totaltime_T + 0.35327*INCOME_T + 0.01431*COMFORT_T - 0.81987 \text{ head of household}} + e^{-4.49295 + 0.02048*COMFORT_C + 1.00309*head \text{ of household}_c}}$$

با تأثیر مثبت در انتخاب خودرو شخصی اند. به عبارت دیگر، سیاست های قیمتی قادر به تغییر رفتار افراد برای استفاده نکردن از خودرو شخصی نیستند و در صورت دسترسی افراد به خودرو شخصی افراد بدون توجه به هزینه و درآمد، از آن استفاده می کنند؛ این در حالی است که زمان و هزینه از مهم ترین عوامل تأثیرگذار و با تأثیر منفی در انتخاب اتوبوس به عنوان وسیله نقلیه در ساعت اوج تردد صبح است.

تخمین ضریب های به دست آمده برای تاکسی نشان می دهد آسایش و سرپرست خانوار بودن از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب تاکسی برای سفر در ساعت اوج تردد صبح است؛ اما برخلاف خودرو شخصی، سرپرست خانوار بودن تأثیر منفی در انتخاب تاکسی دارد. همچنین زمان و هزینه بر انتخاب تاکسی به عنوان وسیله نقلیه تأثیر منفی دارد.

منابع

امینی، وجیهه (۱۳۹۲). «ارائه یک مدل تقاضای سفر با دوچرخه: مطالعه موردی شهر تهران». *پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران*، گرایش برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه برنامه ریزی حمل و نقل.

ممدوحی، امیررضا و سید اصغر میرمحمدی (۱۳۹۶). «کاربرد مدل لوجیت ترکیبی در انتخاب وسیله مطالعه موردی

نتیجه گیری

هدف این مطالعه، تخمین تقاضای وسایل نقلیه اتوبوس، تاکسی و خودرو شخصی در ساعت اوج تردد صبح با استفاده از مدل لاجیت مخلوط است. مدل لاجیت مخلوط بهترین روش تخمینی است که در حال حاضر در اختیار مدل سازان مدل های انتخاب گسسته وجود دارد. این مدل با ایجاد امکان تغییر تصادفی ضریب ها برای افراد مختلف و با در نظر گرفتن توزیع های مختلف بین جمعیت قادر به برطرف کردن سه محدودیت استقلال گزینه های نامرتبط، تصادفی بودن سلاقی مصرف کننده و وابستگی بین اجزای خطا در طول زمان است. در این راستا، در مطالعه حاضر پس از مروری بر چگونگی شکل گیری تقاضای وسایل نقلیه و معرفی مدل انتخاب گسسته، مدل لاجیت چندگانه و محدودیت های موجود در این روش معرفی شدند و سپس مدل سازی و روش تخمین لاجیت مخلوط بررسی شد؛ در نهایت، تقاضای سفر با وسایل نقلیه تاکسی، اتوبوس و خودرو شخصی در ساعت اوج تردد صبح در شهر اصفهان با استفاده از مدل لاجیت مخلوط ارزیابی شد. نتایج تخمین تقاضای وسایل نقلیه مختلف با استفاده از لاجیت مخلوط نشان می دهد برخلاف تصویری که در عمومیت جامعه وجود دارد، عواملی همچون زمان، هزینه، مسافت، درآمد و ... عوامل تأثیرگذاری در انتخاب خودرو شخصی برای سفر در ساعت اوج تردد صبح نیستند؛ بلکه آسایش و راحتی، خودرو شخصی و سرپرست خانوار بودن از مهم ترین عوامل تأثیرگذار

- Firm Financial Distress: A Mixed Logit Model", **The Accounting Review**, 79 (4), 1011-1038.
- Lee, J. K., & et al. (2016). "A study on travelers' transport mode choice behavior using the mixed logit model: A case study of the Seoul-Jeju route". **Journal of Air Transport Management**, 56, 131-137.
- Quandt, R. E. (1976). "The Theory of Travel Demand", **Transport Research**, 10, 411-413.
- Marois, G., & et al. (2019). "A mixed logit model analysis of residential choices of the young-elderly in the Montreal metropolitan area", **Journal of Housing Economics**, 44, 141-149.
- Mebane, W. R., & et al (2014). "Preference Heterogenieties, in Models of Electoral Behavior", **Annual Meeting of the Midwest Political Science Association, Chicago**, 3-6.
- Merwe, D. V. M. (2016). "Factors Affecting an Individual's Future Labour Market Status", **Reserve Bank of Australia**, 11-22.
- McFadden, D., & Train, k. (2000). "Mixed MNL models for discrete response". **Journal Of Applied Econometrics**, 15 (5), 447-470.
- McFadden, D. (2001). "Economic Choices", **The American Economic Review**, 91 (3), 351-378.
- McFadden, D. (1976). "Quantal Choice Analysis a Survey", **Annals of Economic and Social Measurement**, 5 (7), 363-390.
- McFadden, D. (1974). The Measurement of Urban Travel Demand, **Journal of Public Economics**, (3), 303-328.
- Manski, C. (1973). **The Analysis of Quintal Choices**. PhD Dissertation, Department of Economics, MIT Cambridge Mass.
- Noland, R. B., & et al. (2014). "A mode choice analysis of school trips in New Jersey". **Journal of Transport and land use**, 7 (2), 11-13.
- Paz, a., & et al (2019). "Specification of Mixed Logit Models Assisted by an optimization Framework". **Journal of choice modeling**, 30 (3), 50-60.
- Rigby, D., & BURTON, M. (2006). "Modeling Disinterest and Dislike: A Bounded Bayesian Mixed Logit Model of the UK Market for GM Food", **Environmental & Resource Economics**, 33 (4), 485-509.
- Train, K. (1997). "Recreation Demand Models with Taste Differences Over People". **Forthcoming Land Economics**, 74 (2), 1-23.
- Train, K. (2009). **Discrete Choice Methods with Simulation**, Cambridge University press.
- Zhao, X., & et al. (2019). Modeling Stated Preference for Mobility-on-Demand Transit: A Comparison of Machine Learning and Logit Models. Arxiv.org.
- Zheng, Z., & et al. (2016). "Preference heterogeneity in mode choice based on a nationwide survey with a focus on urban rail". **Transportation Research Part A**, 91, 178-194.
- Ye, M., & et al. (2020). "Mixed Logit Models for سفرهای شغلی شهر مشهد"، **نشریه مهندسی عمران امیرکبیر**، دوره ۴۹، شماره ۳، ۵۹۲-۵۸۱.
- Bai, T., & et al. (2017). "Effects of cost adjustment on travel mode choice: analysis and comparison of different logit models. **Transportation Research Procedia**", 25, 2649-2659.
- Barros, c.p., & et al. (2007). "Analysing the determinants of performance of best and worst European banks: A mixed logit approach. **Journal of Banking & Finance**", 31 (7), 2189-2203.
- Ben-Akiva, M., & Lerman, R. S. (1985). **Discreet Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**, **The MIT press**.
- Han, B., & et al. (2019). **Mixed Logit Model Based on Improved Nonlinear Utility Functions: A Market Shares Solution Method of Different Railway Traffic Modes**.
- Haleem, G. A. (2013). "Effect of driver's age and side of impact on crash severity along urban freeways: A mixed logit approach", **Journal of Safety Research**, 46, 67-76.
- Hess, S., & et al. (2005). "Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models". **Transportation Research, Part A, Elsevier**, 39 (2-3), 221-236.
- Holmgren, J. (2007). "Meta-Analysis of Public Transport Demand", **Transportation Research, Part A, Elsevier**, 41 (10), 1021-1035.
- Hoshino, T. (2011). "Estimation and Analysis of Preference Heterogen-eity in Residential Choice Behavior", **Urban studies**, 48 (2), 363-382.
- Huamin,L., & et al. (2010). "Parameter Estimation of the Mixed Logit Model and Its Application", **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technolog**, 10 (5), 73-78.
- Henser, D. A., & Green, W. H. (2003). "The Mixed Logit Model: The State of Practice Transportation", 30, 133-176. Hensher, D. A. , Rose, j. M., & Greene, W. (2005). **Applied Choice analysis: A Primer**, Cambridge University Press united Kingdom.
- Fosgerau, M., & Bierlaire, M. (2007). "A practical test for the choice of mixing **distribution in discrete choice models**". **Transportation Reasearch part B: Methodological** 41 (7), 784-794.
- Kim, J. K., & et al. (2010). "A note on modeling pedestrian-injury severity in motorvehicle crashes with the mixed logit model". **Journal of accident Analysis and prevention**, 42 (6), 1751-1758.
- Kopelman, F.S., & WEN,C-H. (1998). "Alternative nested logit models: structure reports and estimation", **Transpiration research, part. B**, 32 (5), 289-298.
- Jones, S., & Hensher, D. A. (2004). "Predicting

Travelers' Mode Shifting Considering Bike-Sharing", *Publisher Of Open Acces Journal*, 12 (5), 2081.

-
- i Strotz
 - ii Lancaster
 - iii Marschak
 - iv Randum utility model
 - v Beckmann
 - vi disaggregate
 - vii multinomial logit model
 - viii Nested logit
 - ix closed form
 - x mixed logit model
 - xi random-parameters model
 - xii independence from irrelevant alternative
 - xiii Unobserved Factors Over Time.
 - xiv independence from irrelevant alternatives.
- xv. در ادبیات آماری میانگین وزنی چندین تابع را یک تابع ترکیبی و تابع چگالی که ایجادکننده این وزن‌هاست را توزیع ترکیبی می‌نامند.
- xvi
 - xvii Barros
 - xviii Rigby & Burton
 - xix Hoshino
 - xx Gue
 - xxi Mebane
 - xxii Merwe
 - xxiii Haumin
 - xxiv Noland
 - xxv Lee
 - xxvi Ye
 - xxvii
 - xxviii eveald prefrnce
 - xxix Kernel density function
 - xxx pseudo
 - xxxii NLOGIT
 - xxxiii pseudo