مهندسی عمران شریف، پاییز (۱۳۹۹)
دوره‌ی ۲ - ۳۶، شماره‌ی ۳/۲، ص. ۷۷-۸۶

Original Article

تحلیل ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها در انتخاب مقصد: نمونه‌ی موردی سفرهای خرید شهر قزوین

ایمان فرزین (دانشجوی دکتری)
امیررضا ممدوحی * (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مدل‌سازی انتخاب مقصد، نقش مهمی در تحلیل تقاضای سفر و ارزیابی تأثیر سیاست‌های حمل‌ونقل ایفا می‌کند. در مدل لوجیت ترکیبی برای برخی از ضرایب تابع مطلوبیت، توزیع تصادفی منظور و ناهمگونی افراد لحاظ می‌شود. در مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس، برای قسمت تصادفی توابع مطلوبیت توزیع مستقل و غیریکسان گامبل (ناهمگونی گزینه‌ها) منظور می‌شود. هدف نوشتار حاضر، بررسی ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها در انتخاب مقصد سفرهای خرید است. در پژوهش حاضر، انتخاب مقصد بر اساس فاصله تا خانه صورت گرفته است. نتایج مقایسه‌ی مدل‌های سفرهای خرید ساکنان قزوین برای ۱۵۷۰ نفر - سفر، حاکی از برتری مدل لوجیت ترکیبی در مقایسه با دو مدل دیگر است. ناهمگونی رفتار و داشتن دیدگاه‌های متفاوت در مواجهه با متغیرهای فاصله و زمان عزیمت قبل از ظهر نسبت به مقاصد دور از خانه مشاهده شده است. نتایج نوشتار حاضر، از محدودیت‌های مدل‌های مرسوم انتخاب مقصد می‌کاهد و باعث در نظرگرفتن ناهمگونی و در نتیجه نتایج نزدیک‌تر به واقعیت می‌شود.

واژگان کلیدی: انتخاب مقصد، ناهمگونی افراد، ناهمگونی میان گزینه‌ها، لوجیت ترکیبی، مقدار حدی با ناهمسانی واریانس.

iman.farzin@modares.ac.ir
armamdoohi@modares.ac.ir

۱. مقدمه

یکی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، برآورد تقاضای سفر است. بدین منظور مدل‌های تقاضای سفر ساخته و پرداخته می‌شود. مدل‌های تقاضای سفر به عنوان ابزاری کاربردی در تصمیم‌گیری‌های علمی برای نحوه‌ی توسعه‌ی سیستم‌های حمل‌ونقل و اطلاع از نتایج حاصل از پیاده‌سازی تصمیم‌های اشاره شده مطرح هستند. برآورد تقاضای سفر، چهار مرحله‌ی: ایجاد، توزیع، تفکیک و تخصیص سفر دارد. در سفرهای تولید شده از واحد تحلیل و جذب شده به آن، در مرحله ایجاد سفر بررسی می‌شوند. در مرحله‌ی توزیع، تفکیک و تخصیص سفر به ترتیب مقصد، شیوه و مسیر سفر تحلیل می‌شود. این رویکرد با عنوان مدل‌های کلاسیک چهار مرحله‌یی حمل‌ونقل[۱] شناخته می‌شود.[۱] در این میان، انتخاب مقصد سفر، اهمیت ویژه‌یی دارد. این بُعد از انتخاب، نقش مهمی در تحلیل تقاضای سفر ایفا می‌کند و شناسایی عوامل تأثیرگذار در انتخاب مذکور به منظور بررسی کارآیی بالقوه‌ی سیاست‌گذاری‌ها ضروری است.

سفرهای خرید، یکی از منعطف‌ترین فعالیت‌های اختیاری در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. مدل‌سازی ابعاد هدف سفر خرید، پیچیده‌تر از فعالیت‌های اجباری مانند کار و تحصیل است.[۲] مدل‌سازی انتخاب مقصد در سفرهای خرید، باعث افزایش بینش در مورد این بُعد از انتخاب و پیش‌نیازی برای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل و فرایند برنامه‌ریزی شهری است.[۳]

ناهمگونی در گزینه‌ها و ترجیحات در افراد از سه منظر ناهمگونی در مطلوبیت گزینه‌ها، اختلاف سلیقه میان تصمیم‌گیران، و تفاوت در مجموعه‌ی انتخاب‌های افراد قابل بررسی است. در نظرگرفتن ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها و اختلاف سلیقه میان افراد، اگرچه باعث پیچیدگی مدل می‌شود، ولی منجر به ارزیابی مطمئن‌تری از سیاست‌ها و نتایج نزدیک‌تر به واقعیت می‌شود.[۴] با توجه به پژوهش‌های اندک در بررسی ناهمگونی افراد و گزینه‌ها در انتخاب مقصد سفرهای خرید، نوشتار حاضر به بررسی و تحلیل این موضوع پرداخته است.

هدف از انجام این پژوهش واکاوی ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها در انتخاب مقصد سفرهای خرید ساکنین شهر قزوین و یافتن پاسخی به سوءالات زیر است: آیا سفرکنندگان در قزوین به منظور انتخاب مقصد سفر خرید خود به صورت ناهمگون رفتار می‌کنند؟ و آیا در این انتخاب ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها توسط افراد لحاظ می‌شود؟ از سویی دیگر آیا مدل لوجیت ترکیبی[۲] (لحاظ کردن اختلاف سلیقه میان افراد) و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس[۳] (منظور کردن

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۳/۵، اصلاحیه ۱۳۹۸/۶/۲۵، پذیرش ۱۳۹۸/۷/۲۰.
DOI:10.24200/J30.2019.52769.2506

ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌های مختلف با در نظرگرفتن واریانس‌های متفاوت برای عبارت خطای تابع مطلوبیت) باعث برازش بهتر مدل پرداخت شده به نتایج آمارگیری می‌شود؟

نوشتار حاضر در ۶ بخش تقسیم‌بندی و ارائه شده است. پس از بیان مقدمه در بخش کنونی، پیشینه‌ی پژوهش بررسی شده است. در بخش سوم، ساختار مدل‌های لوجیت چندجمله‌یی[۴] (در نظر نگرفتن ناهمگونی)، لوجیت ترکیبی (با قابلیت در نظرگرفتن اختلاف سلیقه میان افراد)، و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس (توانایی منظورکردن ناهمگونی غیرسیستماتیک درگزینه‌های انتخاب) ارائه شده است. بخش چهارم و پنجم به ترتیب به توصیف آماری اطلاعات استفاده شده و نتایج مدل‌سازی اختصاص داشته و در بخش نهایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها به منظور مطالعات آتی ارائه شده است.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در بخش حاضر، مطالعات پیشین مرتبط با موضوع پژوهش مرور شده است. در ابتدا، پیشینه‌ی مدل‌سازی انتخاب مقصد و پس از آن، پژوهش‌های انجام شده به منظور مطالعه‌ی ناهمگونی افراد و گزینه‌ها در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بررسی شده است.

اولین تلاش‌ها به منظور مدل‌سازی انتخاب مقصد، با استفاده از مدل جاذبه[۵] صورت پذیرفته است، که در آن، که نوعی از مدل‌های تعامل فضایی[۶] است، فرض می‌شود احتمال انتخاب مقصد با افزایش فاصله از مبدأ کاهش و با افزایش جذابیت مقصد افزایش می‌یابد. معروف‌ترین مدل جاذبه با نام هاف[۷] شناخته می‌شود. انواع دیگر مدل‌های جاذبه بر اساس مدل هاف توسعه داده شده‌اند و وجه تمایز میان آنها در چگونگی لحاظ کردن جذابیت و فاصله است.[۵]

عدم در نظرگرفتن رفتار انتخاب‌کنندگان در مدل جاذبه، باعث سوق پژوهشگران به سوی مدل‌های اقتصادسنجی به منظور بررسی انتخاب مقصد شده است. ساده‌ترین مدل انتخاب گسسته، لوجیت چندجمله‌یی است، که در مطالعات گوناگون به منظور توصیف و تخمین مقصد سفرهای اختیاری استفاده شده است.[۶]

در مطالعه‌یی به مدل‌سازی انتخاب مقصد سفر خرید با استفاده از مدل لوجیت چندجمله‌یی پرداخته شده و نتایج نشان داده است که سه دسته متغیر: مسافت سفر، ویژگی‌های مرکز خرید و وجود یا عدم وجود تسهیلات پارکینگ، به خوبی توانایی بررسی انتخاب مقصد سفرهای خرید را دارد.[۷] در پژوهش دینگ[۸] و همکاران (۲۰۱۴)، فرض شده است انتخاب مقصد سفرهای خرید از میان ۳ مجموعه‌ی انتخاب بر اساس فاصله‌ی مبدأ تا مقصد صورت پذیرفته است. بر این اساس و با استفاده از مدل لوجیت چندجمله‌یی، مقصد سفرهای خرید شهرهای بالتیمور و واشنگتن بررسی شده است. متغیرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، شامل: بُعد خانوار، سن، تراکم منطقه‌ی مسکونی در مبدأ، تراکم اشتغال خرد در مقصد، زمان و هزینه‌ی سفر، مالکیت خودرو، درآمد خانوار و جنسیت فرد است.[۸]

لامندیا[۹] و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل لوجیت چندجمله‌یی برای انتخاب مقصد سفرهای تفریحی درکشورهای عضو اتحادیه‌ی اروپا استفاده کرده‌اند. متغیرهای مورد استفاده در پژوهش اخیر در سه گروه: سفرکردن به صورت انفرادی یا گروهی، جذابیت مقاصد خرید و ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی فرد دسته‌بندی شده‌اند.[۹]

با وجود سادگی و محبوبیت مدل لوجیت چندجمله‌یی (به دلیل داشتن فرم بسته)، ساختار مذکور محدودیت‌های زیادی دارد. مدل اخیر با اتکا به فرض توزیع مستقل و یکسان گامبل، عبارت خطای تابع مطلوبیت توسعه داده شده است. همچنین ضرایب یکسانی برای متغیرها در جزء قطعی تابع مذکور لحاظ شده است. به دلیل این موارد، مدل لوجیت چندجمله‌یی قادر به در نظرگرفتن ناهمگونی در میان افراد و گزینه‌ها نیست. با آزادسازی فرض یکسان بودن توزیع گامبل، مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس ایجاد شده است. مدل ذکر شده قادر به لحاظ کردن ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌هاست. همچنین می‌توان با منظورکردن توزیع تصادفی روی ضرایب تابع مطلوبیت، ناهمگونی افراد در مواجهه با متغیرهای گوناگون را با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی مدنظر قرار داد.[۱۰] در ادامه‌ی مطالعات انجام شده به منظور تحلیل ناهمگونی در افراد و گزینه‌ها در ابعاد مختلف سفر بررسی شده است.

بوید و ملمن[۱۰] (۱۹۸۰) و کاردل و دانبر[۱۱] (۱۹۸۰)، اولین بار از مدل لوجیت ترکیبی در مدل‌های تقاضای اتومبیل استفاده کرده‌اند.[۱۱ و ۱۲] پس از آن، مدل اخیر در موارد زیادی توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است. باهات[۱۲] (۲۰۰۰)، با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی به بررسی اختلاف سلیقه در ترجیحات انتخاب وسیله و پاسخ به سطوح سرویس مختلف پرداخته و نتیجه گرفته است که استفاده از مدل لوجیت ترکیبی باعث حاصل شدن ارزش مالی بالاتر زمان نسبت به مدل لوجیت چندجمله‌یی می‌شود.[۱۳]

هنشر[۱۳] (۲۰۰۱)، با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی به ارزیابی ذخیره‌ی زمان سفر در سفرهای غیرکاری نیوزیلند پرداخته و زمان سفر را به سه مؤلفه‌ی: زمان سفر آزاد، کاهش سرعت و توقف تقسیم‌بندی و ضرایب متفاوتی برای هر یک ارائه کرده است. نتیجه‌ی مطالعه‌ی اخیر حاکی از وجود اختلاف سلیقه در قسمت‌های مختلف زمان سفر بوده است.[۱۴] در پژوهش دیگری، اختلاف سلیقه‌ی افراد در انتخاب شیوه‌ی فعال در سفرهای کاری نیویورک مطالعه شده است. از میان متغیرهای در نظرگرفته شده (ایمنی، تسهیلات پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری و ویژگی‌های کاربری زمین)، افراد در مواجهه با متغیرهای تسهیلات پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری (مانند عرض پیاده‌رو و طول خط دوچرخه) به صورت ناهمگون رفتار می‌کنند.[۱۵] گائو[۱۴] و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی، ناهمگونی در ارزیابی قابلیت اطمینان زمان سفر و شلوغی داخل وسیله را بررسی کرده‌اند. بدین منظور پرسش‌نامه‌یی با روش رجحان آشکار شده به منظور انتخاب وسیله‌ی افراد در شبکه‌های چندوسیله‌یی طراحی و انتخاب افراد تحت سناریوهای مختلف ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده بیانگر وجود ناهمگونی در تمایل به پرداخت برای بهبود قابلیت اطمینان زمان سفر و کاهش ازدحام در داخل وسیله است.[۱۶]

سه نوع مدل: نمایی منفی[۱۵]، گزینه‌ی متفاوت[۱۶] و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس، ناهمگونی غیرسیستماتیک درگزینه‌ها را در نظر می‌گیرند.[۱۷] در این میان، مدل سوم بیشتر از دو مدل دیگر استفاده می‌شود. علت این امر آن است که در مدل نمایی منفی، حد بالایی برای مطلوبیت وجود دارد. لذا، عملاً مدل نمایی منفی قابل استفاده نیست. از سویی دیگر، فرضیه‌ی مدل گزینه‌ی متفاوت، یکسان بودن واریانس مطلوبیت تمام گزینه‌ها با یکدیگر و متفاوت با یکی از گزینه‌هاست. این فرض نیز باعث عدم کارآیی مدل گزینه‌ی متفاوت شده است.[۱۸]

باهات[۱۷] (۱۹۹۵)، مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس را فرمول‌بندی کرد و در آن عبارت خطای مطلوبیت گزینه‌ها دارای توزیع مقدار حدی نوع یک و واریانس‌های متفاوت برای گزینه‌ها بوده است. در نتیجه جزء مدل‌های گزینه‌ی متفاوت دسته‌بندی می‌شود. ایشان در مطالعه‌ی انجام شده به بررسی انتخاب وسیله در سفرهای بین‌شهری پرداخته و اثر بهبود سرویس‌دهی در حمل‌ونقل ریلی را در انتخاب شیوه‌ی سفرهای کاری میان مونترال و تورنتو ارزیابی کرده است. نتیجه‌ی حاصل از مطالعه‌ی اخیر، برتری مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس نسبت به لوجیت چندجمله‌یی بود.[۱۹]

چن[18] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی انتخاب شیوه‌ی افراد به منظور سفر میان سیدنی و ملبورن در استرالیا با استفاده از مدل‌های: لوجیت چندجمله‌یی، لوجیت ترکیبی، مقدار حدی با ناهمسانی واریانس و لوجیت آشیانه‌یی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ی مذکور، لوجیت ترکیبی بهترین مدل برای توصیف انتخاب وسیله‌ی افراد بوده است.[20] همچنین در مطالعه‌ی دیگری چن (۲۰۱۶)، تأثیر هم‌زمان پیچیدگی وظیفه و فشار زمانی در انتخاب فعالیت سفر را مطالعه کرده و با استفاده از مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس، اثر بالقوه‌ی دو شاخص مذکور را در انتخاب فعالیت افراد از طریق اعمال مقیاس‌های متفاوت برای مطلوبیت گزینه‌های انتخاب منظور کرده است.[21]

یانگ[19] (۲۰۰۵)، به بررسی ناهمگونی میان افراد در سفرهای برون‌شهری تایوان پرداخته و از مدل‌های لوجیت چندجمله‌یی و ترکیبی استفاده کرده و نتیجه گرفته است که افراد در مواجهه با متغیرهای زمان و هزینه‌ی سفر به صورت ناهمگون رفتار می‌کنند.[22]

حبیبیان و رضائی (۲۰۱۷)، در پی کشف ناهمگونی افراد در انتقال شیوه‌ی سفر از خودروی شخصی به حمل‌ونقل همگانی تحت تأثیر سناریوهای مختلف از مدل لوجیت ترکیبی استفاده کرده و سناریوهای مختلفی را برای متغیرهای هزینه‌ی ساعتی پارکینگ، قیمت سوخت، زمان سفر و دسترسی به حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفته‌اند.[23]

در ایران نیز برخی از پژوهشگران به بررسی ناهمگونی میان افراد یا گزینه‌ها پرداخته‌اند. برای مثال، مهدی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی، ناهمگونی میان والدین را در انتخاب شیوه‌ی سفر به مدرسه‌ی کودکان دبستانی بررسی کرده‌اند.[24] در مطالعه‌ی دیگری، ماهپور و همکاران (۲۰۱۸)، به ناهمگونی میان افراد در انتخاب مقصد سفر خرید خود پرداخته‌اند.[25] فرزین و ممدوحی (۲۰۱۸)، نیز ناهمگونی میان گزینه‌ها را در انتخاب مقصد، شیوه و هم‌زمان مقصد - شیوه در سفرهای خرید مطالعه کرده‌اند.[26]

با توجه به مطالعات پیشین، بررسی ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها به صورت توأمان در انتخاب مقصد سفر مغفول مانده است. لذا در نوشتار حاضر، مدل‌سازی انتخاب مقصد سفرهای خرید ساکنان شهر قزوین با در نظر گرفتن ناهمگونی در افراد و گزینه‌ها دنبال شده است. بدین منظور، علاوه بر مدل مرسوم در مطالعات پیشین (لوجیت چندجمله‌یی)، به مدل‌های لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس پرداخته و قدرت توضیح‌دهندگی آنها در انتخاب مقصد سفرهای خرید با یکدیگر مقایسه شده است.

۳. مبانی نظری

انتخاب، یکی از مؤلفه‌های اصلی در فرایند تصمیم‌گیری سفر است. سفرکننده در انجام سفر خود با گزینه‌های گوناگونی مانند: انجام یا عدم انجام سفر، انتخاب مقصد، شیوه، زمان عزیمت و مسیر مواجه است. به منظور توصیف و تخمین انتخاب تصمیم‌گیرنده در مدل‌سازی تقاضای سفر، از مدل‌های انتخاب گسسته استفاده می‌شود. در حالت کلی، مدل‌های انتخاب گسسته بیان‌گر این مفهوم است:

"احتمال انتخاب یک گزینه، تابعی از ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی تصمیم‌گیرنده، جذابیت نسبی گزینه و تعامل میان این دو گروه عامل است."[1]

ترجیح فردی انتخاب‌کننده نسبت به هرگزینه با یک تابع مطلوبیت بیان می‌شود. فرض اساسی مدل‌های انتخاب گسسته، احتمال بیشتر انتخاب گزینه با مطلوبیت بالاتر توسط تصمیم‌گیرنده است. هرگزینه‌ی پیشروی فرد، مطلوبیتی به شکل U_{jq} (مطلوبیت گزینه‌ی j برای فرد q) دارد. مدل‌ساز که در واقع یک مشاهده‌گر سیستم است، اطلاعات کاملی نسبت به عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری افراد و مطلوبیت آنها ندارد. در نتیجه از نظر وی تابع مطلوبیت، دو قسمت مشخص و قابل محاسبه (V_{jq}) و احتمالی (ε_{jq}) دارد. (رابطه‌ی ۱)[27]

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \qquad (۱)$$

با در نظرگرفتن توزیع‌های مختلف برای عبارت خطای تابع مطلوبیت، می‌توان انواع گوناگونی از مدل‌های انتخاب گسسته را پرداخت کرد. مدل لوجیت چندجمله‌یی، ساده‌ترین و پرکاربردترین مدل انتخاب گسسته است، که در آن فرض شده است قسمت خطای تابع مطلوبیت، توزیع مستقل و یکسانِ مقدار محدود نوع یک[20] دارد. توزیع مذکور برای متغیر تصادفی ε_{jq} در رابطه‌ی ۲ بیان شده است:

$$f(\varepsilon_{jq}) = \lambda e^{-\lambda(\varepsilon_{jq}-\eta_{jq})} \exp(e^{-\lambda(\varepsilon_{jq}-\eta_{jq})}) \qquad (۲)$$

که در آن، η_{jq} و λ به ترتیب پارامتر مقیاس و مکان نامیده می‌شود. مقدار واریانس توزیع اشاره شده برابر $\frac{\pi^2}{6\lambda^2}$ است. با فرض $\eta_{jq} = 0$ و $\lambda = 1$، احتمال انتخاب گزینه‌ی j توسط فرد q در مدل لوجیت چندجمله‌یی به صورت رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$P_{jq} = \frac{e^{V_{jq}}}{\sum_{m \neq j, j \subset C_q} e^{V_{mq}}} \qquad (۳)$$

که در آن، C_q مجموعه‌ی انتخاب‌های پیشروی فرد است.[27]

محبوبیت مدل لوجیت چندجمله‌یی از داشتن فرم بسته‌ی آن نشأت می‌گیرد. فرض اساسی برای استخراج رابطه‌ی مدل لوجیت چندجمله‌یی، لحاظ کردن توزیع مستقل و یکسان گامبل برای عبارت خطای تابع مطلوبیت و ثابت فرض کردن ضرایب تابع مطلوبیت برای افراد است. ناشی از دو فرض اخیر، مدل لوجیت چندجمله‌یی قادر به در نظرگرفتن ناهمگونی در افراد و گزینه‌ها نیست. با آزادسازی هر یک از فرض‌های مذکور می‌توان بر این ضعف فائق آمد. در مدل لوجیت ترکیبی فرض می‌شود که ضرایب متغیرها در قسمت قطعی تابع مطلوبیت از توزیع تصادفی پیروی می‌کنند. در نتیجه، مدل لوجیت ترکیبی، ناهمگونی افراد در طی فرایند تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیرد. از سویی دیگر، مدل مقدار حدی با ناهمسانی واریانس به منظور در نظرگرفتن ناهمگونی میان گزینه‌ها، برای قسمت تصادفی، تابع مطلوبیت توزیع مستقل و غیریکسان لحاظ می‌کند (جدول ۱). در ادامه، مبانی نظری مدل لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس ارائه شده است.

مدل لوجیت ترکیبی، یکی از انعطاف‌پذیرترین مدل‌های انتخاب گسسته است، که امکان تغییرات در سلیقه‌های تصادفی[21]، استفاده از الگوهای جانشینی[22]، و نیز همبستگی در جزء مشاهده نشده در زمان[23] را برای مدل‌ساز فراهم می‌آورد. تابع احتمال مدل لوجیت ترکیبی، در حقیقت یک انتگرال از تابع احتمال انتخاب مدل لوجیت چندجمله‌یی روی یک تابع چگالی از پارامترهاست (رابطه‌ی ۴).

$$P_{jq} = \int L_{jq}(\beta) f(\beta) d\beta \qquad (۴)$$

که در آن، $L_{jq}(\beta)$ احتمال انتخاب گزینه‌ی j توسط فرد q و وابسته به پارامتر β در مدل لوجیت چندجمله‌یی و $f(\beta)$ تابع چگالی پارامتر β (بردار ضرایب متغیرها در قسمت مشخص تابع مطلوبیت) است. با تعریف ذکر شده، تابع احتمال انتخاب مدل

جدول ۱. نقاط ضعف مدل لوجیت چندجمله‌یی به منظور در نظرگرفتن ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها و مدل‌های پیشنهادی جایگزین.

نقاط ضعف مدل لوجیت چندجمله‌یی	راهکار	مدل پیشنهادی جایگزین
عدم توانایی در نظرگرفتن اختلاف سلیقه‌ی افراد (ناهمگونی افراد)	فرض توزیع تصادفی برای پارامترهای تابع مطلوبیت	لوجیت ترکیبی
عدم توانایی در نظرگرفتن تمایز میان گزینه‌ها (ناهمگونی میان گزینه‌ها)	فرض توزیع مستقل و غیر یکسان عبارت خطای تابع مطلوبیت	مقدار حدی با ناهمسانی واریانس

لوجیت ترکیبی، یک میانگین وزنی از تابع احتمال انتخاب مدل لوجیت چندجمله‌یی روی مقادیر مختلف β است، که در آن وزن همان تابع چگالی است. در مطالعات پژوهشگران طیف بسیار گسترده‌یی از توابع برای β در نظرگرفته شده است. برخی از رایج‌ترین توابع مذکور، عبارت از: نرمال، لگاریتم نرمال، یکنواخت، مثلثی، S_B جانسون و ویبال هستند.[۲۸]

با در نظرگرفتن توزیع مستقل و نابرابر برای قسمت احتمالی تابع مطلوبیت می‌توان فرض توزیع مستقل و یکسان لوجیت چندجمله‌یی را تا حدی برطرف کرد. این آزادسازی منجر به ایجاد تابع مقدار حدی با ناهمسانی واریانس می‌شود. با فرض پارامتر مقیاس θ_{jq} درگزینه‌ی j برای فرد q و تابع توزیع تجمعی و چگالی قسمت احتمالی مطلوبیت طبق روابط ۵ و ۶ می‌توان احتمال انتخاب را با استفاده از تابع مقدار حدی با ناهمسانی واریانس طبق رابطه‌ی ۷ به دست آورد.[۲۹]

$$f(\varepsilon_{jq}) = \frac{1}{\theta_{jq}} e^{-\frac{\varepsilon_{jq}}{\theta_{jq}}} e^{-e^{-\frac{\varepsilon_{jq}}{\theta_{jq}}}} \quad (۵)$$

$$F(Z) = \int_{-\infty}^{Z} f(\varepsilon_{jq}) d\varepsilon_{jq} = e^{-e^{\frac{-z}{\theta_{jq}}}} \quad (۶)$$

$$P_{jq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \prod_{j \neq m \subset C_q} F\left(\frac{V_{jq} - V_{mq}}{\theta_{mq}}\right) \frac{1}{\theta_{jq}} f\left(\frac{\varepsilon_{jq}}{\theta_{jq}}\right) d\varepsilon_{jq} \quad (۷)$$

به منظور مقایسه‌ی مدل‌های مختلف در پژوهش حاضر، از آزمون نسبت درست‌نمایی استفاده شده است، که به بررسی معناداری اختلاف میان لگاریتم احتمال در مدل‌های گوناگون با استفاده از توزیع مربع خی (χ^2) می‌پردازد (رابطه‌ی ۸).
که در آن، α نشان‌دهنده‌ی سطح معناداری و N بیان‌گر تعداد پارامترهایی است که با اعمال محدودیت در مدل برآورد شده است.[۲۳]

۴. داده‌های پژوهش

جهت بررسی ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها و مقایسه و ارزیابی مدل‌های لوجیت چندجمله‌یی، ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس درانتخاب مقصد، اطلاعات مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر قزوین با توجه به غنای اطلاعاتی آن به عنوان مطالعه‌ی موردی انتخاب شده است. در مطالعات ذکر شده، داده‌ها از دو نوع منبع مختلف حاصل می‌شود. بخشی از آنها شامل مشخصات اقتصادی - اجتماعی، مبدأ، مقصد و وسیله‌ی سفرهای افراد و ... (از طریق پرسش‌نامه به روش رجحان آشکار شده) و بخشی دیگر شامل اطلاعات شبکه (شامل: مسافت هوایی، زمان سفر و مسافت زمینی میان مبدأ و مقصد و ...) است. اطلاعات شبکه از طریق پرسش‌نامه به دست نمی‌آید و از روش‌های گوناگون شبیه‌سازی استخراج می‌شود. شهر قزوین با جمعیتی در حدود ۵۹۷ هزار نفر (بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵) در نیمه‌ی شمالی استان قزوین در ایران قرار گرفته است. بیش از ۴۶٪ جمعیت

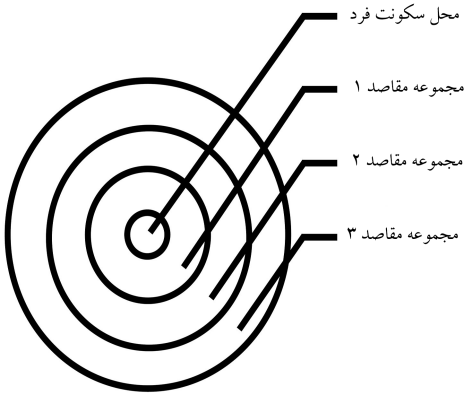
جدول ۲. تحلیل فراوانی سفرهای ساکنان شهر قزوین به تفکیک هدف سفر.

ردیف	هدف سفر	فراوانی	فراوانی نسبی (٪)
۱	کاری	۴۵۲۲	۱۵٫۱۵
۲	تحصیلی	۴۹۰۴	۱۶٫۴۳
۳	خرید	۲۲۹۷	۷٫۷۰
۴	مراجعه به ادارات	۵۷۴	۱٫۹۲
۵	دیدار نزدیکان	۱۲۵۲	۴٫۲۰
۶	تفریح یا زیارات	۹۱۴	۳٫۰۶
۷	رساندن	۵۱۳	۱٫۷۲
۸	بازگشت به منزل	۱۴۴۰۵	۴۸٫۲۷
۹	موارد پزشکی	۲۹۸	۱٫۰۰
۱۰	سایر	۱۶۱	۰٫۵۴
	مجموع	۲۹۸۴۰	۱۰۰

استان قزوین، در شهر قزوین ساکن هستند. لذا از ویژگی‌های بارز آن، سهم بالای جمعیت شهر قزوین نسبت به سایر شهرهای استان است.[۳۰]

اطلاعات مورد استفاده در پژوهش حاضر، حاصل از پرسش‌گری اطلاعات سفر ساکنان شهر قزوین است. پرسش‌نامه‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر به روش رجحان آشکار شده طراحی شده و به بررسی انتخاب واقعی مسافران در شرایط حقیقی پرداخته است. اطلاعات مورد استفاده شامل ۹۹۳۸ خانوار و ۲۹۸۴۰ فرد در ۱۱۳ ناحیه‌ی ترافیکی جمع‌آوری شده است. اطلاعات ذکر شده شامل ۱۰ هدف سفر است (جدول ۲). بر اساس تحلیل آماری صورت گرفته، سفر خرید بیشترین فراوانی (۲۲۹۷) را در میان سفرهای غیراجباری دارد.[۳۱]

به منظور ساخت مدل‌های گوناگون در نوشتار حاضر از سه دسته متغیر مشخصات فردی (شامل: سن، تحصیلات، شغل، وضعیت گواهینامه و جنسیت)، مشخصات خانوار (شامل: بُعد خانوار، تعداد مردان و زنان خانوار و تعداد اتومبیل تحت تملک خانواده) و اطلاعات سفر (شامل: زمان عزیمت، فاصله‌ی هوایی، فاصله‌ی زمینی، نسبت مساحت تجاری مجموعه مقاصد به مساحت کل، زمان سفر با اتومبیل شخصی، زمان پیاده‌روی از / به ایستگاه‌های اتوبوس، زمان داخل و خارج از اتوبوس، زمان انتظار اولیه و کل زمان انتظار برای استفاده از اتوبوس و تعداد ایستگاه‌های آن) استفاده شده است. در داده‌های مورد استفاده‌ی پژوهش حاضر، سن افراد به ۵ گروه تقسیم شده است. همچنین زمان عزیمت به سفر خرید در ۵ بازه‌ی زمانی صبح (۱۱:۵۹ـ۵:۰۰)، ظهر (۱۴:۵۹ـ۱۲:۰۰)، عصر (۱۷:۵۹ـ۱۵:۰۰)، غروب (۱۹:۵۹ـ۱۸:۰۰) و شب (۲۲:۰۰ـ۲۰:۰۰) دسته‌بندی شده است. در جدول ۳، نتایج تحلیل آماری متغیرهای اقتصادی - اجتماعی داده‌ها ارائه شده است، که مطابق آن در داده‌های مورداستفاده‌ی پژوهش حاضر، زنان (۶۵٪) بیشتر از مردان (۳۵٪) به سفر خرید می‌روند. همچنین افراد با سن بین ۲۶ تا ۵۵ سال (۷۴٪)، زنان خانه‌دار (۵۷٪)، افراد با سطح تحصیلات کم (۸۶٪) و فاقد گواهینامه (۵۵٪) بیشترین فراوانی را در بین خریدکنندگان دارند. نتایج تحلیل فراوانی نشان می‌دهد



شکل ۱. در نظرگرفتن مجموعه‌ی انتخاب‌های مقصد خرید با توجه به فاصله از محل سکونت.[۳۲]

افراد در شهر قزوین تمایل بیشتری به انجام خرید در ساعاتی بین ۵:۰۰ تا ۱۱:۵۹ ۵۰٪ دارند. در جدول ۴، نتایج تحلیل آماری متغیرهای غیرمجازی ارائه شده است.

در مطالعه‌ی حاضر، برخلاف مطالعات پیشین، که انتخاب مقصد از بین نواحی صورت می‌گرفته است، انتخاب مقصد براساس فاصله‌ی محل خرید تا محل سکونت فرد از بین این مجموعه انتخاب‌ها صورت گرفته است. این امر باعث جلوگیری از تعدد گزینه‌ها در مجموعه‌ی انتخاب فرد (مشکل اساسی در مدل‌های انتخاب مقصد) می‌شود:

- مجموعه مقاصد ۱: فاصله‌ی مقصد تا محل سکونت فرد کمتر از ۱٫۲ کیلومتر؛
- مجموعه مقاصد ۲: فاصله‌ی مقصد تا محل سکونت فرد بین ۱٫۲ الی ۳ کیلومتر؛
- مجموعه‌ی مقاصد ۳: فاصله‌ی مقصد تا محل سکونت فرد بیش از ۳ کیلومتر.

در شکل ۱، مجموعه‌ی انتخاب‌های مقصد مسافر براساس فاصله تا محل سکونت ارائه شده است.[۳۲]

۵. مدل‌سازی

همان طورکه پیش‌تر بیان شد، در مطالعه‌ی حاضر، انتخاب مقصد از میان ۳ گزینه‌ی مجموعه‌ی مقاصد در فاصله‌ی کمتر از ۱٫۲ کیلومتر، بین۱٫۲ الی ۳ کیلومتر و بیش از ۳ کیلومتری از محل سکونت صورت گرفته است. همچنین به منظور تحلیل ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها، علاوه بر مدل لوجیت چندجمله‌یی (به عنوان مدل مبنا و بدون در نظرگرفتن ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها، مدل‌های لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس نیز پرداخت شده است. جدول‌های ۵ و ۶، نتایج حاصل از مدل‌سازی انتخاب مقصد را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که طی فرایند مدل‌سازی، تمامی متغیرهای موجود در مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر قزوین (شامل داده‌های موجود در پرسش‌نامه و داده‌های منتج از نرم‌افزارهای گوناگون مانند GIS) آزمون شده‌اند و در صورت معناداری آماری و پیروزی در آزمون‌های مختلف آماری (نسبت درست‌نمایی، آماره‌ی F و ...) در مدل نهایی گزارش شده است. در جدول‌های ۵ و ۶، تمام پارامترهای متغیرهای مورد استفاده، علامت مورد انتظار را دارند.

با توجه به علامت پارامترها در مدل‌های مختلف انتخاب مقصد، این نتایج حاصل شده است:

۱) علامت مثبت عدد ثابت در گزینه‌ی دوم (مجموعه‌ی مقاصد ۲) مدل‌های پرداخت شده، حاکی از تأثیر افزایشی متغیرهای مشاهده نشده‌ی سیستماتیک در گزینه‌ی حاضر است.

۲) در تمامی گزینه‌ها، متغیرهای میانگین فاصله‌ی زمینی از مبدأ تا مجموعه‌ی مقاصد و نسبت مساحت تجاری مجموعه‌ی مقاصد به مساحت کل آنها استفاده شده است. ضریب دو متغیر اخیر به ترتیب منفی و مثبت حاصل شده است. این امر معقول است، زیرا با افزایش فاصله، مطلوبیت مقصد کاهش و با افزایش سرانه‌ی تجاری، مطلوبیت مقصد افزایش می‌یابد.

۳) ضریب متغیر مجازی محصل بودن فرد در گزینه‌ی اول مثبت حاصل شده است، که این امر نشان می‌دهد که محصلان تمایل بیشتری به انتخاب مجموعه‌ی مقاصد نزدیک به محل سکونت خود (گزینه‌ی ۱) دارند. این تمایل را می‌توان ناشی از شرایط خاص اقتصادی قشر محصلان و هزینه‌ی حمل‌ونقل پایین به منظور انجام سفر خرید در محلی نزدیک به محل سکونت خود دانست.

۴) علامت منفی متغیر مجازی گواهینامه داشتن فرد در گزینه‌ی اول نشان می‌دهد که این افراد کمتر مایل به انتخاب مجموعه مقادیر (با فاصله، ۱ با فاصله‌ی کمتر از ۱٫۲ کیلومتر از محل سکونت) نسبت به مجموعه مقاصد در فاصله‌یی بیش از ۱٫۲ کیلومتر از محل سکونت خود هستند. این امر ناشی از آن است که سفرهای خرید می‌توانند جنبه‌ی تفریحی داشته باشند. از این رو افراد دارای گواهینامه و با توجه به خودرو محور بودن شهرهای ایران، تمایل به انتخاب مکان‌های خرید دور از محل سکونت خود با وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی دارند.

۵) قصد افراد به منظور انجام سفر خرید در بازه‌ی زمانی ۱۲-۱۴:۵۹، احتمال انتخاب مجموعه‌ی مقاصد با فاصله‌ی بین ۱٫۲ تا ۳ کیلومتر از محل سکونت فرد را افزایش می‌دهد. همچنین چنان‌چه فرد مایل به انجام خرید در بازه‌ی زمانی قبل از ساعت ۱۲ باشد، گرایش کمتری به انجام سفر خرید در مجموعه‌ی مقاصد دور از محل سکونت خود (با فاصله‌ی بیش از ۳ کیلومتر از محل سکونت) دارد.

۶) افراد با سن ۲۶ الی ۵۵ سال ترجیح می‌دهند خرید خود را در فاصله‌یی کمتر از ۳ کیلومتری از محل سکونت خود انجام دهند. علت این امر می‌تواند ناشی از این امر باشد که این افراد به مانند افراد با سن بالاتر از ۵۵ سال که معمولاً بازنشسته می‌شوند یا افراد جوان با سن کمتر از ۲۶ سال، وقت آزاد ندارند؛ بنابراین ترجیح می‌دهند خرید خود را نزدیک به محل سکونت‌شان انجام دهند.

لازم به ذکر است که ترکیب‌های مختلف دو عدد ثابت در سه گزینه‌ی موجود در فرایند مدل‌سازی بررسی و با توجه به ضوابط ارزیابی مدل‌های انتخاب گسسته، بهترین حالت وجود عدد ثابت در گزینه‌های اول و دوم حاصل شد. در نتایج مدل‌سازی، عدد ثابت به علت معنادار نبودن حذف شده است.

از آزمون نسبت درست‌نمایی به منظور بررسی معناداری تفاوت میان $LL(\beta)$ در مدل‌های: لوجیت چندجمله‌یی، ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس با استفاده از توزیع مربع خی (χ^2) استفاده می‌شود. طبق جدول ۷، در تمامی مدل‌ها مقدار $-2(LL(Based\ Model) - LL(New\ Model))$ از مقدار بحرانی توزیع مربع خی بزرگ‌تر است؛ بنابراین مدل‌های لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس با مدل لوجیت چندجمله‌یی تفاوت معناداری دارند.

با توجه به هدف بررسی اختلاف و سلیقه افراد و ناهمگونی غیر سیستماتیک گزینه‌ها در کارایی مدل انتخاب مقصد، مدل‌های لوجیت چند جمله‌یی ، لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس در انتخاب مقصد مقایسه شده‌اند.

جدول ۳. نتایج تحلیل فراوانی متغیرهای مجازی (تعداد نمونه: ۱۵۷۰ نفر ـ سفر).

نوع	ویژگی	نشانه	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (٪)
سن	۱۶ـ۰ سال	Age ۱	۱۴۶	۹٫۳۰
	۲۵ـ۱۷ سال	Age ۲	۱۲۱	۷٫۷۱
	۵۵ـ۲۶ سال	Age ۳	۱۱۵۵	۷۳٫۵۵
	بیش از ۵۵ سال	Age ۴	۱۴۸	۹٫۴۳
تحصیلات	زیر دیپلم	Low	۱۳۴۹	۸۵٫۹۲
	دیپلم ـ کارشناسی	Uni	۲۰۵	۱۳٫۰۶
	کارشناسی ارشد و دکتری	Mass	۱۶	۱٫۰۲
شغل	محصل	Std	۱۹۰	۱۲٫۱۰
	کارمند	Emp	۱۳۱	۸٫۳۴
	خانه‌دار	House	۸۹۷	۵۷٫۱۳
	بازنشسته	Ret	۱۵۱	۹٫۶۲
	آزاد	Buss	۲۰۱	۱۲٫۸۰
جنسیت	مرد	Male	۵۵۳	۳۵٫۲۲
	زن	Female	۱۰۱۷	۶۴٫۷۸
وضعیت گواهینامه	دارای گواهینامه	Ycert	۷۰۶	۴۴٫۹۷
	فاقد گواهینامه	Ncert	۸۶۴	۵۵٫۰۳
زمان عزیمت	صبح (۵:۰۰ـ۱۱:۵۹)	Mor	۷۸۵	۵۰٫۰۰
	ظهر (۱۲:۰۰ـ۱۴:۵۹)	Noon	۱۰۵	۶٫۶۹
	عصر (۱۵:۰۰ـ۱۷:۵۹)	After	۴۱۳	۲۶٫۳۱
	غروب (۱۸:۰۰ـ۱۹:۵۹)	Eve	۲۱۱	۱۳٫۴۴
	شب (۲۰:۰۰ـ۲۲:۰۰)	Night	۵۶	۳٫۵۷

جدول ۴. تحلیل آماری متغیرهای غیرمجازی (تعداد نمونه: ۱۵۷۰ نفر ـ سفر).

متغیر	نشانه	بیشینه	کمینه	میانگین
فاصله‌ی هوایی بر حسب کیلومتر	Adis	۸٫۴۱	۰٫۲۱	۱٫۸۳
فاصله‌ی زمینی بر حسب کیلومتر	Ldis	۱۰٫۰۲	۰٫۲۸	۲٫۵۸
نسبت مساحت تجاری مقصد به مساحت کل	Stejm	۰٫۴	۰	۰٫۱۳
زمان سفر با اتومبیل شخصی	Tt	۲۱٫۲۹	۰٫۴۲	۶٫۱۷
زمان پیاده‌روی تا ایستگاه اتوبوس	Walkt	۲۱٫۱۸	۱٫۲۷	۹٫۰۲
زمان سفر خارج از اتوبوس	Outbus	۲۵٫۶۶	۱٫۳۷	۱۲٫۲۹
زمان انتظار اولیه برای سوار شدن به اتوبوس	Intialwb	۶٫۲۴	۰	۱٫۸۰
زمان سفر داخل اتوبوس	Inbus	۲۹٫۷۱	۰	۶٫۸۶
کل زمان انتظار برای سوار شدن به اتوبوس	Totalwb	۱۱٫۸۸	۰	۳٫۲۷
تعداد ایستگاه‌های اتوبوس	Nbus	۴٫۲۵	۰	۱٫۵۳
بعد خانوار	Hsize	۱۰	۱	۳٫۹۳
تعداد مردان خانوار	Nmen	۶	۰	۲٫۱۷
تعداد زنان خانوار	Nwome	۶	۰	۱٫۷۶
تعداد سواری در تملک خانوار	Co	۴	۱	۱٫۱۱

جدول ۵. نتایج پرداخت مدل‌های مختلف انتخاب مقصد.

گزینه	متغیر	*MNL	**MX	***HEV
		ضریب (سطح معناداری)	ضریب (سطح معناداری)	ضریب (سطح معناداری)
۱	Ldis	۰٫۸۹-(۰٫۰۰۰)	۰٫۹۴-(۰٫۰۰۰)	۰٫۲۹-(۰٫۰۰۰)
	Stjem	۱۲٫۳۲(۰٫۰۰۰)	۱۸٫۸۰(۰٫۰۰۰)	۱۰٫۳۳(۰٫۰۰۰)
	Std	۰٫۶۸(۰٫۰۰۰)	۰٫۹۴(۰٫۰۰۰)	۰٫۵۹(۰٫۰۰۰)
	Ycert	۰٫۴۸-(۰٫۰۰۰)	۰٫۸۲-(۰٫۰۰۰)	۰٫۴۹-(۰٫۰۰۰)
۲	Constant	۱٫۴۳(۰٫۰۰۰)	۵٫۱۶(۰٫۰۰۰)	۱٫۱۶(۰٫۰۰۰)
	Ldis	۱٫۲۷-(۰٫۰۰۰)	-	۱٫۳۳-(۰٫۰۰۰)
	Stjem	۱۶٫۰۴(۰٫۰۰۰)	۳۲٫۹۴(۰٫۰۰۰)	۱۵٫۴۹(۰٫۰۰۰)
	Noon	۰٫۵۷(۰٫۳۴)	۰٫۹۳(۰٫۸۳)	۰٫۴۷(۰٫۰۶۲)
۳	Ldis	۰٫۲۲-(۰٫۰۰۰)	-	۰٫۲۳-(۰٫۰۰۰)
	Stjem	۱۷٫۸۰(۰٫۰۰۰)	۲۶٫۶۶(۰٫۰۰۰)	۱۵٫۸۵(۰٫۰۰۰)
	Med	۰٫۳۵-(۰٫۴۳)	۰٫۴۶-(۰٫۶۹)	۰٫۴۳-(۰٫۰۰۰)
	Med	۰٫۷۳-(۰٫۰۰۰)	-	۰٫۶۷(۰٫۰۰۰)
ضوابط ارزیابی	$LL(\beta)$	-۱۱۳۱٫۰۷۹	-۱۱۱۲٫۵۴۰	۱۱۲۵٫۴۷۰
	ρ^2_c	۰٫۳۴۲۹	۰٫۳۵۳۶	۰٫۳۴۶۱
	$\rho^2_\circ$	۰٫۳۴۴۲	۰٫۳۵۵۰	۰٫۳۴۷۵
	ρ^2_{Adj}	۰٫۳۳۷۳	۰٫۳۵۱۹	۰٫۳۴۴۶

* لوجیت چندجمله‌یی

** لوجیت ترکیبی

*** مقدار حدی با ناهمسانی واریانس

جدول ۶. نتایج پرداخت مدل لوجیت ترکیبی برای توزیع پارامتر متغیرهای مختلف مدل انتخاب مقصد.

گزینه	پارامتر	توزیع	مقدار متوسط	انحراف معیار
			ضریب	ضریب
۲	Ldis	نرمال	-۳٫۸۲	۱٫۳۳
۳	Mor	یکنواخت	-۱٫۱۳	۱٫۲۶
۳	Ldis	نرمال	-۰٫۳۳	۰٫۴۱

ارزیابی مدل‌ها بر اساس ضوابط $LL(\beta)$، ρ^2_c، $\rho^2_\circ$ و ρ^2_{Adj} در جدول ۵ ارائه شده است، که بر اساس آن مدل لوجیت ترکیبی به نتایج بهتری منجر شده است. از این رو می‌توان بیان نمود لحاظ کردن ناهمگونی افراد در انتخاب مقصد سفر خرید نیز منجر به برازش بهتر مدل به داده‌ها شده است. از سویی دیگر، منظورکردن تفاوت در گزینه‌ها، باعث بهبود کمی در قدرت توضیح‌دهندگی مدل شده است. می‌توان نتیجه گرفت که افراد به منظور انجام خرید خود، فقط در قسمت قطعی مطلوبیت تمایز میان گزینه‌ها را در نظر می‌گیرند و عبارت خطای تابع مطلوبیت، توزیع مستقل و یکسان گامبل دارد. در مدل لوجیت ترکیبی توزیع‌های نرمال، لگاریتم نرمال، یکنواخت، مثلثی، S_B جانسون و ویبال روی پارامترهای گوناگون در نظرگرفته شده و در نهایت، مدل با بهترین شاخص‌های برازندگی به عنوان مدل نهایی گزارش شده است. با توجه به جدول ۶، می‌توان بیان کرد که گزینه‌های ۲ (مجموعه‌ی مقاصد در فاصله‌ی بین ۱٫۲ الی ۳ کیلومتر) و ۳ (مجموعه‌ی مقاصد در فاصله‌ی بیش از ۳ کیلومتر) در مواجهه با متغیر فاصله‌ی زمینی به منظور انجام سفر خرید، ناهمگون رفتار می‌کنند؛ بنابراین در نظرگرفتن پارامتری واحد برای تأثیر متغیر فاصله‌ی زمینی در کاهش مطلوبیت، ممکن است منجر به نتایج گمراه‌کننده شود. از سوی دیگر، بر اساس جدول۶، چنان‌چه افراد در بازه‌ی زمانی ۵:۰۰ ـ ۱۱:۵۹ تصمیم به انجام سفر خرید خود داشته باشند، در انتخاب گزینه‌ی ۳ (مجموعه‌ی مقاصد با فاصله‌ی بیش از ۳ کیلومتر از محل سکونت خود)، دیدگاه‌های متفاوت دارند. علت این امر را می‌توان ناشی از ساعت‌های کاری مختلف افراد وابسته به فعالیت آنها دانست. به عنوان مثال، برای برخی افراد، انجام سفر خرید در مکان‌های دور از محل سکونت خود در صبح به دلیل تمایل زیاد افراد دیگر به انجام سفر خرید در ساعات پایانی روز و شلوغی مراکز خرید در آن ساعت‌ها، کمتر از مطلوبیت مجموعه‌ی مقاصد ذکر شده می‌کاهد. همچنین برای افراد با ساعت‌های کاری مشخص، انجام سفر خرید در صبح باعث کاهش بیشتر مطلوبیت گزینه‌ی ۳ می‌شود. با توجه به نتایج مدل لوجیت ترکیبی، اثر (ضد) مطلوبیت حاشیه‌یی[۲۴] برای فاصله‌ی زمینی در مجموعه‌ی مقاصد ۲ و ۳ و انجام سفر در زمانی بین ۵:۰۰ الی ۱۱:۵۹ درگزینه‌ی ۳ انتخاب مقصد به صورت روابط ۸ الی ۱۰ بیان می‌شود:

$$Ldis = \beta_{mean-Ldis} + \sigma_{\text{standard deviation-Ldis}} N$$
$$= -۳/۸۲ + ۱/۳۳N \quad (۸)$$

$$Mor = \beta_{mean-Mor} + \sigma_{\text{standard deviation-Mor}} U$$
$$= -۱/۱۳ + ۱/۲۶U \quad (۹)$$

$$Ldis = \beta_{mean-Ldis} + \sigma_{\text{standard deviation-Ldis}} N$$
$$= -۰/۳۳ + ۰/۴۱N \quad (۱۰)$$

که در آنها، U بیانگر متغیر تصادفی توزیع یکنواخت، N متغیر تصادفی نرمال، $\beta_{mean-Ldis}$ و $\sigma_{standard\ deviation-Ldis}$ به ترتیب برابر مقدار متوسط و انحراف معیار توزیع در نظر گرفته شده برای متغیر $Ldis$، $\beta_{mean-Mor}$ و

جدول ۷. بررسی آزمون نسبت درست‌نمایی در مدل‌های ارائه شده در پژوهش حاضر.

مدل	*MNL	**MX	***HEV
$LL(\beta)$	-۱۱۳۱٫۰۷۹	-۱۱۱۲٫۵۴۰	-۱۱۲۵٫۴۷۰
درجه‌ی آزادی	۱۲	۱۵	۱۴
۲- برابر اختلاف لگاریتم احتمال	-	۳۷٫۰۷۸	۱۱٫۲۱۸
$X^2(N, ۰/۹۹۹)$	-	۰٫۰۲۴۳	۰٫۰۰۲

*لوجیت چندجمله‌یی ** لوجیت ترکیبی *** مقدار حدی با ناهمسانی واریانس

$\sigma_{standard\ deviation-Mor}$ برابر مقدار متوسط و انحراف معیار توزیع در نظر گرفته شده برای متغیر Mor هستند.

نتایج نوشتار حاضر می‌تواند در سیاست‌گذاری حمل‌ونقل استفاده شود. بر اساس پژوهش حاضر، لحاظ کردن ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها باعث بهبود چشمگیر در مدل نمی‌شود. از این رو پیشنهاد می‌شود چنان‌چه هدف، بررسی ناهمگونی درگزینه‌هاست، از مدل لوجیت چندجمله‌یی، که فرم بسته، تفسیر آسان، هزینه‌ی محاسباتی به مراتب کمتر و با توانایی بررسی ناهمگونی سیستماتیک گزینه دارد، استفاده و از ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها چشم‌پوشی شود. از سویی دیگر، لحاظ کردن اختلاف سلیقه‌ی افراد در فرایند مدل‌سازی، باعث اختصاص سیاست‌های مناسب و غیریکنواخت به گروه‌های هدف و بالطبع آن، افزایش کارآیی سیاست‌گذاری‌های حمل‌ونقل می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های ناهم‌فزون باعث در نظر گرفتن پاسخ رفتاری افراد در فرایند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌شود. همچنین مدل‌های ناهم‌فزون برای تحلیل سیاست‌گذاری تنظیمی و قیمت‌گذاری مناسب هستند. ناشی از این عوامل، مدل‌های ناهم‌فزون در پژوهش حاضر استفاده شده است. انتخاب مقصد سفر، یکی از مهم‌ترین مراحل در فرایند چهار مرحله‌ی کلاسیک سفر است. شناخت عوامل مؤثر بر بُعد انتخاب مقصد سفر به عنوان ابزاری کاربردی در تصمیم‌گیری‌های علمی برای نحوه‌ی توسعه‌ی سیستم‌های حمل‌ونقل و اطلاع از نتایج حاصل از پیاده‌سازی تصمیم‌های اخیر مطرح است. بیشتر پژوهشگران به منظور بررسی انتخاب مقصد سفر از مدل لوجیت چندجمله‌یی استفاده کرده‌اند. این مدل با وجود سادگی، قادر به در نظرگرفتن اختلاف سلیقه‌ی افراد در مواجهه با ویژگی‌های مجموعه‌ی انتخاب و ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها نیست. از این رو در نوشتار حاضر، به بررسی ناهمگونی میان افراد و گزینه‌ها در انتخاب مقصد سفرهای خرید پرداخته شده است. بدین منظور، در ابتدا به مدل مرسوم لوجیت چندجمله‌یی پرداخته شده و سپس مدل لوجیت ترکیبی (توانایی در نظرگرفتن اختلاف سلیقه‌ی میان افراد) و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس (در نظرگرفتن توزیع مستقل و غیریکسان گامبل به منظور در نظرگرفتن ناهمگونی غیرسیستماتیک گزینه‌ها) ساخته شده است. همچنین در پژوهش حاضر، برخلاف مطالعات پیشین، که انتخاب مقصد از میان نواحی صورت می‌گرفت، فرد در انتخاب مقصد خود با ۳ گزینه بر اساس فاصله تا محل سکونت خود مواجه است. بررسی نتایج مدل‌های لوجیت چندجمله‌یی، ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس بر اساس معیارهای $LL(\beta)$، ρ_c^2، ρ_0^2 و ρ_{Adj}^2 نشان می‌دهد که در انتخاب مقصد، لحاظ کردن ناهمگونی غیرسیستماتیک میان گزینه‌های مختلف باعث افزایش زیاد شاخص‌های برازندگی مدل‌های انتخاب گسسته نمی‌شود. از سویی دیگر، نتایج مدل لوجیت ترکیبی، نشان‌دهنده‌ی اختلاف سلیقه‌ی افراد در رویارویی با متغیر فاصله از مبدأ تا مجموعه‌ی مقاصد در گزینه‌های دوم و سوم انتخاب (با فاصله‌ی بیش از ۱٫۲ کیلومتر از محل سکونت) و انجام سفر در مجموعه‌ی مقاصد با فاصله‌ی بیش از ۳ کیلومتر از محل سکونت در بازه‌ی زمانی ۵:۰۰ ـ ۱۱:۵۹ است. از این رو پیشنهاد می‌شود که به منظور بررسی ناهمگونی، فقط این ویژگی در میان افراد مشاهده شود و برای تفاوت در میان گزینه‌ها، فقط به اختلاف سیستماتیک آنها بسنده شود.

به منظور انجام مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود که به بررسی ابعاد بیشتری از سفر به مانند انتخاب زمان عزیمت و شیوه‌ی استفاده از مدل لوجیت ترکیبی و مقدار حدی با ناهمسانی واریانس پرداخته شود و اثر لحاظ کردن ناهمگونی غیرسیستماتیک میان گزینه‌ها و اختلاف سلیقه‌ی افراد را در ابعاد ذکر شده، به صورت تکی و همچنین هم‌زمان بررسی شود. همچنین منبع ناهمگونی میان افراد کشف شود. در پژوهش حاضر، فقط فرض یکسان‌بودن توزیع گامبل عبارت خطا در مدل لوجیت چندجمله‌یی آزاد شده است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، به بررسی انتخاب مقصد با فرض توزیع وابسته و یکسان (لوجیت آشیانه‌یی) و توزیع وابسته و غیریکسان (پروبیت) مبادرت شود و کارآیی مدل‌های اشاره شده با مدل ساده‌ی لوجیت چندجمله‌یی مقایسه شود.

پانوشت‌ها

1. transportation four- step classic models
2. mixed logit
3. heteroscedastic extreme value
4. multinomial logit
5. gravity model
6. spatial interaction
7. Huff-model
8. Ding
9. LaMondia
10. Boyd and Mellman
11. Cardell and Dunbar

12. Bhat
13. Hensher
14. Gao
15. negative exponential model
16. oddball alternative
17. Bhat
18. Chen
19. Yang
20. type i extreme value distribution
21. random taste variation
22. unrestricted substitution patterns
23. correlation in unobserved factor over time
24. marginal (dis)utility effects

منابع (References)

1. De Dios OrtÃozar, J. and Willumsen, L. G. "Modelling transport", *John Wiley & Sons* (2011).
2. Suel, E. and Polak, J.W. "Development of joint models for channel, store, and travel mode choice: grocery shopping in London", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **99**, pp. 147-162 (2017).
3. Kristoffersson, I., Daly, A. and Algers, S. "Modelling the attraction of shopping centres", *CTS-Centre for Transport Studies Stockholm (KTH and VTI)* (2017).
4. Kunhikrishnan, P. and Srinivasan, K.K. "Choice set variability and contextual heterogeneity in work trip mode choice in Chennai city", *Transportation Letters*, **7867**, pp. 1-16 (2017).
5. Kristoffersson, I. Daly, A. and Algers, S. "Modelling the attraction of travel to shopping destinations in large-scale modelling", *Transport Policy*, **68**, pp. 52-62 (2018).
6. Molloy, J. "Development of a destination choice model for ontario", *Master's Thesis, Technical University of Munich, Munich, Germany* (2017).
7. Arentze, T.A. and Timmermans, H.J. "Deriving performance indicators from models of multipurpose shopping behavior", *Journal of Retailing and Consumer Services*, **8**(6), pp. 325-334 (2001).
8. Ding, Ch., Xie, B., Wang, Y. and et al. "Modeling the joint choice decisions on urban shopping destination and travel-to-shop mode: A comparative study of different structures", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, **10** p.1-10 (2014).
9. LaMondia, J., Snell, T. and Bhat, C.R. "Traveler behavior and values analysis in the context of vacation destination and travel mode choices: European Union case study", *Transportation Research Record*, **2156**(1), pp. 140-149 (2010).
10. Bansal, P., Daziano, R.A. and Achtnicht, M. "Comparison of parametric and semiparametric representations of unobserved preference heterogeneity in logit models", *Journal of choice modelling*, **27**, pp. 97-113 (2018).
11. Cardell, N.S. and Dunbar, F.C. "Measuring the societal impacts of automobile downsizing", *Transportation Research, Part A: General*, **14**(5-6), pp. 423-434 (1980).
12. Boyd, J.H. and Mellman, R.E. "The effect of fuel economy standards on the US automotive market: an hedonic demand analysis", *Transportation Research, Part A: General*, **14**(5-6), pp. 367-378 (1980).
13. Bhat, C.R. "Incorporating observed and unobserved heterogeneity in urban work travel mode choice modeling", *Transportation science*, **34**(2), pp. 228-238 (2000).
14. Hensher, D.A. "The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications", *Transportation*, **28**(2), pp. 101-118 (2001).
15. Aziz, H.A., Nagle, N.N., Morton, A.M. and et al. "Exploring the impact of walk–bike infrastructure, safety perception, and built-environment on active transportation mode choice: a random parameter model using New York City commuter data", *Transportation*, **45**, pp. 1-23 (2017).
16. Gao, K., et al. "Heterogeneity in valuation of travel time reliability and in-vehicle crowding for mode choices in multimodal networks", *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, **144**(10), pp. 04018061 (2018).
17. Del Castillo, J. "A class of RUM choice models that includes the model in which the utility has logistic distributed errors", *Transportation Research Part B: Methodological*, **91**, pp. 1-20 (2016).
18. Daganzo, C. "Multinomial probit: the theory and its application to demand forecasting", *Elsevier* (2014).
19. Bhat, C.R. "A heteroscedastic extreme value model of intercity travel mode choice", *Transportation Research, Part B: Methodological*, **29**(6), pp. 471-483 (1995).
20. Chen, X., Liu, X. and Li, F. "Comparative study on mode split discrete choice models", *Journal of Modern Transportation*, **21**(4), pp. 266-272 (2013).
21. Chen, C., Chorus, C., Molin, E. and et al. "Effects of task complexity and time pressure on activity-travel choices, heteroscedastic logit model and activity-travel simulator experiment", *Transportation*, **43**(3), pp. 455-472 (2016).
22. Yang, C. "Modeling multiple sources of heterogeneity in mode choice model", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **6**, pp. 2031-2045 (2005).
23. Habibian, M. and Rezaei, A. "Accounting for systematic heterogeneity across car commuters in response to multiple TDM policies: case study of Tehran", *Transportation*, **44**(4), pp. 681-700 (2017).
24. Mehdizadeh, M., Nordfjaern, T. and Mamdoohi, A. "The role of socio-economic, built environment and psychological factors in parental mode choice for their children in an Iranian setting", *Transportation*, **45**(2), pp. 523-543 (2018).
25. Mahpour, A., Mamdoohi, A., Hossein Rashidi, T. and et al. "Shopping destination choice in Tehran: an integrated choice and latent variable approach", *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, **58**, pp. 566-580 (2018).
26. Farzin, I. and Mamdoohi, A.R. "Alternative non- systematic heterogeneity in destination, mode and simultaneous destination- mode choice (case of Qazvin shopping trips)", *Journal of Transport Research*, **15**(4), pp. 29-43 (In Persian) (2018).
27. Train, K.E. "Discrete choice methods with simulation", *Cambridge university press* (2009).

28. Li, H., Li, X., Xu, X. and et al. "Modeling departure time choice of metro passengers with a smart corrected mixed logit model-A case study in Beijing", *Transport Policy*, **69**, pp. 106-121 (2018).

29. Hasnine, M.S., Lin, T.Y., Weiss, A. and et al. "Determinants of travel mode choices of post-secondary students in a large metropolitan area: The case of the city of Toronto", *Journal of Transport Geography*, **70**, pp. 161-171 (2018).

30. Statistical Center of Iran, [National Portal of Statistics], Available from: https://www.amar.org.ir, last visit: January 2019, (In Persian).

31. "Report on the construction and calibration of travel demand model, report No. 3-10-2", *Qazvin Urban Transport and Urban Transport Projec, Qazvin Municipality, Deputy Director of Transportation and Transportation*, Atiehsaz and Arman Taradod Pars Consulting Engineers (In Persian) (2012).

32. Farzin, I. "Comparison and evaluation of sequential and simultaneous destination and mode choice of trips (case study: shopping trips in Qazvin)", *Master's Thesis, Department of Transportation Planning Engineering, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University* (In Persian) (2016).