

نقش توأم فاصله و مالکیت خودرو در انتخاب شیوهی سفر دانش‌آموزان ابتدایی

امیررضا ممدوحی* (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

افشین شریعت مهمیمنی (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

میلاذ مهدی‌زاده (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مهندسی عمران شریف، تابستان ۱۳۹۷ (۳۳-۳۵)
دوری ۲ - ۳۴، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۳۳-۳۵

پژوهش حاضر سعی در شناسایی ناهمگونی و منبع محتمل آن (نقش توأم) در میان متغیرهای مهم انتخاب شیوهی سفر تحصیلی دانش‌آموزان با به‌کارگیری مدل لوجیت ترکیبی (ML) در مقایسه با مدل‌های ساده‌تر و با فرض‌های محدودکننده‌ی همچون لوجیت چندگانه (MNL) دارد. براساس داده‌های معتبر حاصل از پرسش‌گری میدانی (۷۳۵ مشاهده از ۱۰۷۸ پرسش‌نامه‌ی توزیع‌شده)، نتایج حاکی از برتری برازش آماری مدل ML نسبت به MNL در سطح اطمینان ۹۹٪ (بهبود خوبی برازش از سهم بازار از ۲۵٪ به ۲۹٪) است. در مدل ML اثر متغیر فاصله با ناهمگونی در رفتار با توزیع تصادفی نرمال (با میانگین ۲۴- و انحراف استاندارد ۸۰٪) به جای یک میانگین (۱۲-) در مدل MNL برای مشاهده‌هاست. یک درصد افزایش در فاصله موجب کاهش احتمال انتخاب پیاده‌روی به میزان ۷۸٪ در مدل MNL و ۸۶٪ در مدل ML می‌شود. همچنین، مدل ML نشان داد که در خانوارهای با ۲ یا بیش از ۲ خودروی تحت تملک با افزایش فاصله، احتمال انتخاب شیوهی پیاده‌روی نسبت به سایر شیوه‌ها بیشتر کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: لوجیت ترکیبی، تجزیه‌ی ضریب تصادفی، فاصله‌ی زمانی، مالکیت شخصی خودرو.

armamdoohi@modares.ac.ir
shariat@iust.ac.ir
milad_mehdizadeh@civileng.iust.ac.ir

۱. مقدمه

فاصله‌ی خانه تا مدرسه (زمانی یا مکانی) از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین متغیرها در انتخاب شیوهی سفر دانش‌آموزان در بیشتر مطالعات گذشته بوده است. [۱-۴]

در بیشتر پژوهش‌های معتبر گذشته در زمینه‌ی انتخاب شیوهی سفرهای تحصیلی، به منظور بررسی نحوه‌ی اثرگذاری متغیرهایی همچون فاصله‌ی خانه تا مدرسه، ایمنی مسیر منتهی به مدارس و متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و جمعیتی در انتخاب (تصمیم‌گیری)، از مدل‌سازی انتخاب گسسته‌ی لوجیت (با وجود فرض‌های محدودکننده) دو تایی، چندگانه، آشیانه‌ی و سایر تحلیل‌های آماری همچون رگرسیون لجستیک، تحلیل واریانس چندمتغیره، مدل معادلات ساختاری و سایر تحلیل‌های آماری توصیفی استفاده شده است. با توجه به ماهیت تصمیم‌گیری انتخاب شیوهی سفر، مدل‌های انتخاب گسسته غالباً استفاده شده‌اند. مدل‌های انتخاب گسسته، احتمال انتخاب یک فرد از میان مجموعه‌ی گزینه‌ها را برآورد می‌کند. این مدل‌ها در نظریه‌ی مطلوبیت مصرف‌کننده و با هدف پیشینه کردن

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۳/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۵/۷/۱۵، پذیرش ۱۳۹۵/۸/۲۲.

DOI:10.24200/J30.2018.1370

مطلوبیت افراد به دست می‌آید. [۵] همچنین این مدل‌ها می‌توانند در فرم‌های تابعی مختلفی برای ارتباط بین داده‌های مشاهده‌شده و احتمال انتخاب‌ها به‌کار گرفته شوند. از این رو، سیاست‌گذاری‌هایی (مثل احداث مدارس در تمام نواحی و محله‌های شهر به منظور رفع اثر منفی فاصله در احتمال انتخاب شیوه‌های غیرموتوری سفر) برگرفته از نتایج مدل‌های اشاره‌شده (براساس مقدار، علامت ضرایب، کشش‌پذیری متغیرها، و آثار حاشیه‌ی) براساس اثر یکسان ضرایب متغیرها برای همه‌ی افراد جامعه و عدم در نظرگیری اختلاف سلیقه‌ی تصادفی افراد یا ناهمگونی و حتی اثر توأم متغیرها بوده است. [۶] بنابراین، بسیاری از سیاست‌گذاری‌های مستخرج از مدل‌های گذشته، علیرغم هزینه‌های زیاد ممکن است تصمیم دقیقی به منظور کمک به مدیریت تقاضای شیوه‌های سفر به مدرسه (مانند تراکم ترافیک و بحث سلامت) از طریق خروجی‌های معمول و متداول تحلیل انتخاب شیوهی سفر دانش‌آموزان نباشد. بنابراین پرداخت مدل‌های نزدیک‌تر به مشاهده‌ها (آزاد کردن فرض‌های محدودکننده و سعی برای نمایش تغییرات واقعی تر رفتاری از طریق بررسی اثرات اندرکنشی) و در نتیجه کمک به اتخاذ سیاست‌های دقیق‌تر و کاراتر، از جمله: خلاءهای پژوهشی روز

دنیای در زمینه‌ی انتخاب شیوه‌ی سفرهای تحصیلی است. از این رو، پژوهش حاضر سعی در ساخت مدل پیچیده‌تر، اما با محدودیت‌های کمتر و نزدیک‌تر به مشاهدات (مدل لججیت ترکیبی) نسبت به مدل‌های ساده‌تر و با فرض محدودکننده‌ی همچون لججیت چندگانه (MNL) و سایر تحلیل‌های آماری در زمینه‌ی انتخاب والدین برای شیوه‌ی سفر تحصیلی دانش‌آموزان دبستانی دارد. از این رو، در بخش ۱.۱ به محدودیت‌ها و ضعف‌های روش‌های مدل‌سازی و تحلیل مطالعات گذشته و نیز معرفی برتری روش لججیت ترکیبی پرداخته شده است. همچنین، در بخش ۲.۱ مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار در مطالعات گذشته معرفی شده‌اند.

۱.۱. رویکردهای تحلیل و مدل‌سازی

در بسیاری از مطالعات پیشین، مدل‌های انتخاب گسسته (لججیت دوتایی (BL)،^۱ لججیت چندگانه (MNL)^۲ و به ندرت لججیت آشیانه‌ی (NL)^۳، مدل‌های معادلات ساختاری (SEM)^۴ و سایر تحلیل‌های آماری (مثل تحلیل واریانس چندمتغیره و رگرسیون لجستیک) از ابزارهای تحلیل متغیرهای اثرگذار در شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان به مدرسه بوده‌اند. در کلیه‌ی تحلیل‌ها به دلیل فرض‌های ساده و محدودکننده، اثر (مقدار ضرایب) متغیرها بین مشاهده‌ها با یک میانگین ثابت فرض و گزارش شده است. همچنین، رویکردهای بر پایه‌ی نظریه‌ی مطلوبیت، مانند: مدل‌های لججیت دوتایی و چندگانه (MNL)، بیشترین کاربرد در مدل‌سازی‌های انتخاب سفر تحصیلی را داشته‌اند. با این حال، مدل‌های لججیت استاندارد با دو فرض ساده‌کننده: توزیع مستقل و یکسان (IID)^۵ خطاها و استقلال از گزینه‌های غیرمرتبط (IIA) هستند.^۶ اگرچه فرض‌های مذکور، یک مسئله با فرم بسته و با پرداخت آسان را فراهم می‌کنند، اما آن‌ها تناقضات و خطاهای خاص خود را دارند. به منظور آزاد کردن بخشی از فرض‌های ذکرشده‌ی (IID و IIA) مدل‌های لججیت چندگانه، ساختار مدل‌ها به لججیت آشیانه‌ی (NL) توسعه داده شد.^۵ اگرچه، مدل NL فرض‌های مذکور را از طریق مؤلفه‌های واریانس مدل به همراه همبستگی زیرمجموعه‌های گزینه‌ها آزاد می‌کند، اما همچنان فرم ریاضی مسئله بسته است. با استفاده از مدل NL، امکان بررسی گزینه‌های وابسته به یکدیگر فراهم می‌شود. اما همچنان اثر ضرایب متغیرها در میان افراد نمونه به صورت یکسان در نظر گرفته می‌شود. مطالعات اندکی در زمینه‌ی سفرهای تحصیلی از مدل NL استفاده کرده‌اند. برای مثال، مطالعه‌ی در سال ۲۰۱۵، مدل NL را برای بررسی شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان (۱۲ تا ۱۷ ساله) انتخاب کرده است.^۱

با این حال، مدل‌های پیچیده‌تری، همچون مدل لججیت ترکیبی (ML) یا ضریب تصادفی و تجزیه‌ی آن، فرض IID را به طور کامل از طریق کواریانس آزاد می‌کنند. این نوع از مدل‌ها راه حلی با فرم باز دارند و نیاز به محاسبات پیچیده‌ی تحلیلی برای شناسایی تغییرات در احتمالات انتخاب گزینه‌های مختلف دارند.^۶ همچنین، از میان مدل‌های انتخاب گسسته، مدل‌های ML از لحاظ رفتاری به مشاهدات نزدیک‌تر هستند. مدل ML، ناهمگونی در اطراف میانگین پارامتر را با تخمین انحراف استاندارد مرتبط با هر یک از پارامترهای تصادفی شناسایی می‌کند. همچنین، یکی دیگر از ویژگی‌های جذاب مدل‌های ML، توانایی در تعیین منبع ممکن برای توضیح هر ناهمگونی یافت شده است. این موضوع از طریق اندرکنش هر متغیر تصادفی با سایر ویژگی‌ها و متغیرهایی که گمان می‌رود بتوانند بخشی از منبع ناهمگونی موجود باشند، انجام می‌شود.^{۵-۷}

در زمینه‌ی شیوه‌های سفرهای تحصیلی، کمتر مطالعه‌ی مدل ML را پرداخت کرده است. با این حال اخیراً در سال ۲۰۱۴، یک مطالعه‌ی سفرهای تحصیلی در

آمریکا فقط به ساخت مدل ضریب تصادفی بدون تجزیه‌ی آن در بین متغیرهای بافت شهری (برای مثال وضعیت تراکم، تقاطعات، فاصله‌ی مکانی) به انتخاب شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان پرداخته است.^۸ نتایج مدل ML آن‌ها نشان داد که در بین متغیرهای محیطی و بافت شهری ناهمگونی، رابطه‌ی معناداری بین مشاهده‌ها وجود دارد.

به طور کلی، در مطالعه‌ی تجربی (۲۰۰۳) با هدف مدل‌سازی لججیت ترکیبی با ضریب تصادفی نشان داده شده است که مدل لججیت ترکیبی (ML)، اطلاعات بیشتر و تغییرات صحیحی از رفتار تصمیم‌گیرندگان را نسبت به مدل MNL نشان می‌دهد.^۷ همچنین، در مدل لججیت ترکیبی، در متغیرهای تصادفی معنادار، اثر متغیر فقط با یک میانگین برای کل مشاهدات در نظر گرفته نشده است، بلکه اثر با یک میانگین و انحراف استاندارد بیان می‌شود. در روش مذکور، می‌توان توزیع‌های مختلف آماری (مثل نرمال، لگ نرمال، مثلثی، یکدکومت) را برای هر کدام از ضرایب تصادفی مورد آزمون قرار داد. در ادامه، در بخش ۲.۱ برخی از مهم‌ترین متغیرهای شناسایی‌شده‌ی برگرفته از تحلیل‌های آماری (رگرسیون لجستیک، تحلیل واریانس، مدل معادلات ساختاری) و مدل‌های لججیت دوتایی، چندگانه و آشیانه‌ی در مطالعات پیشین اشاره شده‌اند.

۲.۱. متغیرهای کلیدی اثرگذار

تاکنون پژوهشگران براساس تحلیل‌ها و مدل‌های اشاره‌شده، تعدادی عامل اثرگذار در رفتار سفر کودکان را شناسایی کرده‌اند. فاصله به عنوان یک عامل مهم در رفتار سفر به مدرسه است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش فاصله‌ی مدرسه تا خانه، شیوه‌های موتوری نسبت به شیوه‌های غیرموتوری بیشتر ترجیح داده می‌شوند.^{۹-۱۳} در برخی مطالعات گزارش شده است که دختران به احتمال کمتری نسبت به پسران دبستانی پیاده به مدرسه می‌روند،^{۱۴} در حالی که در پژوهشی در سال ۲۰۱۵، هیچ اختلاف جنسیتی در رفتار انتخاب شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان دبستانی گزارش نشده است.^{۱۳} همچنین، ویژگی‌های خانوار، همانند: مالکیت خودرو، گواهینامه‌ی رانندگی والدین و وضعیت شغلی آن‌ها می‌تواند در رفتار استفاده از شیوه‌های مختلف سفر به مدرسه مؤثر باشد.^{۱۱-۱۳، ۱۵-۱۹} برخی پژوهشگران نیز دریافته‌اند مادرانی که به صورت تمام‌وقت شاغل هستند، در مقایسه با مادرانی که پاره‌وقت کار می‌کنند، فرزندان خود را به احتمال بسیار کمتر پیاده به مدرسه همراهی می‌کنند.^{۱۲} نشان داده شده است که با افزایش سرانه‌ی مالکیت خودروی خانوار، احتمال انتخاب شیوه‌ی خودروی شخصی خانوار نسبت به شیوه‌هایی همچون پیاده‌روی دانش‌آموزان بیشتر می‌شود. از میان ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی خانوار، متغیرهای مالکیت خودرو، درآمد و تعداد افراد از متغیرهای مورد بررسی در مطالعات پیشین محسوب می‌شوند. به گونه‌ی که با افزایش تعداد خودروی خانوار تمایل به شیوه‌های حمل و نقل غیرموتوری کاهش و تمایل به خودروی شخصی افزایش می‌یابد.^{۹، ۱۱، ۱۹} همچنین دغدغه‌ها و نگرانی‌های والدین نسبت به خطرات ترافیکی و تصادف‌ها، موجب تغییر رفتار انتخاب شیوه‌ی سفر به مدرسه (به خصوص پیاده‌روی) شده است.^{۲۰، ۲۱}

۳.۱. هدف مطالعه‌ی حاضر

هدف مطالعه‌ی حاضر، تشخیص ناهمگونی، در نظر گرفتن تغییرات اثر متغیرهای مهم، همچون فاصله و یافتن منبع ناهمگونی با پرداخت مدلی پیچیده (با فرض‌های کمتر) و نزدیک‌تر به مشاهده‌ها (مدل ML با تجزیه‌ی ضریب تصادفی) و مقایسه‌ی

احتمال لوجیت ترکیبی می‌تواند از رفتار بیشینه‌سازی مطلوبیت در روش‌های مختلفی که به‌طور رسمی معادل هستند، اما تفسیرهای متفاوتی دارند، به‌دست آید. یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین نتایج براساس ضرایب تصادفی^{۱۵} است. در مدل لوجیت ترکیبی، تصمیم‌گیرنده با انتخاب بین J گزینه روبرو است و مطلوبیت انتخاب گزینه i توسط فرد m به‌صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$U_{ni} = \beta'_n x_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (4)$$

که در آن، x_{ni} ویژگی‌های متفاوت مربوط به تصمیم‌گیر و گزینه است؛ β'_n بردار ضرایب و ویژگی‌های مشاهده‌شده برای فرد m است که سلیقه‌ی افراد را نشان می‌دهد و ε_{ni} بخش تصادفی تابع مطلوبیت با مقدار حدی و توزیع مستقل و یکسان است. در مدل لوجیت ترکیبی برخلاف مدل لوجیت استاندارد، پارامتر β در بین تصمیم‌گیرندگان با تابع چگالی $f(\beta)$ تغییر می‌کند. $f(\beta)$ تابعی از پارامترهای θ است که برای مثال میانگین و هم پراکنش پارامتر β در جامعه را معرفی می‌کند. تصمیم‌گیر مقدار ضریب و ویژگی‌های مشاهده‌شده برای فرد m β'_n و بخش تصادفی تابع مطلوبیت (ε_{ni}) خود برای تمامی گزینه‌ها (J) را می‌داند و گزینه‌ی i را زمانی انتخاب می‌کند که رابطه‌ی ۵ برقرار باشد:

$$U_{ni} \geq U_{nj} \quad \forall i \neq j \quad (5)$$

ضمناً، تابع احتمال انتخاب غیرشرطی با همان مدل ضرایب تصادفی در رابطه‌ی ۶ ارائه شده است:

$$P_{ni} = \int \frac{e^{\beta'_n x_{ni}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta'_n x_{nj}}} f(\beta|\theta) d(\beta) \quad (6)$$

که در آن، θ به پارامتر توزیع (میانگین و انحراف معیار) اختصاص داده‌شده برای ضرایب اشاره دارد. در روش لوجیت ترکیبی، پژوهشگر با اختصاص توزیع خاص برای ضرایب، پارامترهای توزیع را تخمین می‌زند.

۲.۲. تجزیه‌ی ضرایب تصادفی

مدل لوجیت ترکیبی توانایی یافتن منبع ناهمگونی تمایل تصمیم‌گیر و در نتیجه ساخت مدلی با محدودیت کمتر را دارد.^{۱۵} بدین منظور با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت لوجیت چندگانه، ناهمگونی تمایل افراد با استفاده از β'_n وارد مدل می‌شود. بر این اساس β'_n که ضریب تصادفی از دیدگاه فرد m است، به‌صورت رابطه‌ی ۷ نشان داده می‌شود.

$$\beta_n = \beta + \Delta Z_n + \eta_n \quad (7)$$

که در آن، ناهمگونی سیستماتیک حول میانگین توزیع ضریب تصادفی با عبارت ΔZ_n بیان می‌شود. Δ برداری از پارامترها به همراه ویژگی‌های مشاهده‌شده‌ی Z_n است. ناهمگونی تصادفی نیز با استفاده از k مقدار تصادفی در بردار تصادفی η_n ، علاوه بر J عامل تصادفی در ε_{ni} بیان می‌شود. بنابراین احتمال انتخاب گزینه‌ی i به‌صورت رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود:

$$P_{ni} = \int \frac{e^{\beta'_n x_{ni}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta'_n x_{nj}}} f(\beta|\theta, Z_n) d(\beta) \quad (8)$$

که در آن، θ بیان‌گر پارامترهای ثابت توزیع است.

خروجی‌های آن با مدل ساده‌تر MNL در بحث انتخاب شیوه‌ی سفر تحصیلی دانش‌آموزان دبستانی است.

۲. روش مدل‌سازی پژوهش

در پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات متغیر فاصله، برخی دیگر از متغیرهای کلی دانش‌آموزان و خانوار در انتخاب شیوه‌های سفر به مدرسه از مدل انتخاب گسسته لوجیت استفاده شد. مدل‌های انتخاب گسسته معمولاً از فرض بیشینه‌سازی مطلوبیت^۶ توسط تصمیم‌گیری حاصل می‌شود. به مدل‌هایی که از بیشینه‌سازی مطلوبیت حاصل می‌شوند، مدل‌های با مطلوبیت تصادفی^۷ گفته می‌شود. هر کدام از گزینه‌های مجموعه‌ی انتخاب برای فرد سطح مطلوبیت مشخص دارد. مطلوبیتی که m امین تصمیم‌گیر از انتخاب گزینه‌ی i به‌دست می‌آورد، با U_{ni} نمایش داده می‌شود. تصمیم‌گیر از بین گزینه‌های مجموعه‌ی انتخاب، گزینه‌ی i که بیشترین مطلوبیت را نسبت به سایر گزینه‌ها دارد، انتخاب می‌کند.^{۱۵} با توجه به آنکه U_{ni} مطلوبیت شناخته‌شده توسط تصمیم‌گیر است و محقق آن را نمی‌بیند، تابع مطلوبیت برای انتخاب گزینه‌ی i از بین J گزینه‌ی در دسترس به‌صورت رابطه‌ی ۱ نمایش داده می‌شود:

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (1)$$

که در آن V_{ni} بخش معین (قابل مشاهده) و ε_{ni} بخش نامعین و تصادفی (غیرقابل مشاهده) مطلوبیت گزینه‌ی i برای فرد m است. در مدل لوجیت چندگانه (رابطه‌ی ۲ بدون فرمت انتگرالی و تابع چگالی) فرض می‌شود که بخش نامعین و تصادفی (ε) تابع مطلوبیت، از توزیع مقدار حدی با توزیع مشخص و مستقل گامبل تبعیت می‌کند.

۱.۲. مدل لوجیت ترکیبی

مدل لوجیت ترکیبی، مدلی با انعطاف‌پذیری بالاست که توانایی تقریب مدل‌های مختلف با مطلوبیت تصادفی را دارد. این مدل با در نظر گرفتن اختلاف سلیقه‌ی^۸ تصادفی، الگوی جانشینی نامحدود^۹ و وابستگی عوامل دیده‌نشده در زمان بر^۳ محدودیت مدل لوجیت استاندارد غلبه کرده است.^{۱۶،۱۵} همچنین مدل مذکور برخلاف مدل لوجیت استاندارد، به یک توزیع خاص محدود نیست و توانایی یافتن ناهمگونی در رفتار افراد و حتی منبع ناهمگونی را دارد.

در مدل لوجیت ترکیبی، بخش غیر قابل مشاهده‌ی تابع مطلوبیت ε_{ni} شامل دو بخش است: قسمت اول، از یک توزیع دلخواه و قسمت دوم، مانند مدل لوجیت استاندارد از توزیع مقدار حدی با توزیع مستقل و مشخص تشکیل می‌شود. فرم کلی مدل لوجیت ترکیبی به‌صورت رابطه‌ی ۲ نمایش داده می‌شود:

$$P_{ni} = \int \frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta)}} f(\beta) d(\beta) \quad (2)$$

که در آن، P_{ni} احتمال انتخاب گزینه‌ی i توسط فرد m ، $f(\beta)$ تابع چگالی و $V_{ni}(\beta)$ بخش قابل مشاهده‌ی تابع مطلوبیت است که به پارامترهای β بستگی دارد. مدل لوجیت که تابعی از مقدار پارامتر β است، در صورت خطی بودن بخش قابل مشاهده‌ی تابع مطلوبیت ($V_{ni}(\beta)$) به‌صورت رابطه‌ی ۳ نوشته می‌شود:

$$V_{ni}(\beta) = \beta'_n x_{ni} \quad (3)$$

که در آن، بردار پارامترهای β و x_{ni} ویژگی‌های مشاهده‌شده‌ی مربوط به انتخاب گزینه‌ی i توسط تصمیم‌گیر m است. همچنین، توزیع‌هایی که بیشتر برای تابع چگالی پارامتر β استفاده می‌شوند، شامل: نرمال، لوگ نرمال، یکتواخت و مثلی هستند.

در هفته در مقیاس، دسترسی خانوار به حمل و نقل عمومی (اتوبوس) در مسیر خانه تا مدرسه و زمان درک شده برای رسیدن به نزدیک‌ترین ایستگاه، مدت زمان پیاده‌روی دانش‌آموزان از خانه تا مدرسه به‌عنوان شاخصی از فاصله از خانه تا مدرسه و همچنین ایمنی درک‌شده‌ی تسهیلات پیاده‌روی (پیاده‌روها، گذرگاه‌ها از عرض راه) از والدین پرسیده شد. در بخش دوم پرسش‌نامه، از والدین دانش‌آموزان، میزان استفاده‌ی هر کدام از شیوه‌های سفر به مدرسه برای فرزندان خود، شامل: سرویس مدرسه، خودروی شخصی خانوار، موتورسیکلت پدر، پیاده‌روی به تنهایی دانش‌آموز به مدرسه، پیاده‌روی با همراهی والدین، پیاده‌روی با دوستان، اتوبوس خط واحد، تاکسی مسافربر و یا سایر شیوه‌های ذکر‌نشده در یک هفته‌ی گذشته (بیشینه‌ی ۵ مرتبه در هفته) برای رفتن به مدرسه پرسش شد. سپس برای هر مشاهده، شیوه‌ی غالب به‌عنوان شیوه‌ی سفر دانش‌آموز فرض شد.

۲.۳. تحلیل آماری داده

نتایج تحلیل آماری توصیفی از متغیرهای مشخصات کلی نشان می‌دهد که ۴۹٫۵٪ افراد نمونه، والدین دانش‌آموزان پسر و ۵۰٫۵٪ دیگر والدین دانش‌آموزان دختر هستند، ۷۸٫۸٪ دانش‌آموزان از مدارس دولتی و ۲۱٫۲٪ از مدارس غیردولتی هستند، ۴۰٫۵٪ از دانش‌آموزان انتخابی نمونه در پایه‌ی اول دبستان، ۲۹٫۱٪ پایه‌ی دوم و ۳۰٫۳٪ در پایه‌ی سوم دبستان بودند ۹۳٫۳٪ از پدران و نیز ۶۷٫۳٪ از مادران، گواهینامه‌ی رانندگی داشتند.

والدین از میان شیوه‌های مختلف سفر به مدرسه، سرویس مدرسه (با درصد فراوانی ۵۵٫۹٪) را بیشتر از سایر شیوه‌های سفر برای فرزندان خود انتخاب کرده‌اند. پس از سرویس مدرسه، خودروی شخصی خانوار (با فراوانی ۲۲٫۲٪) در اولویت دوم شیوه‌های سفر به مدرسه‌ی دانش‌آموزان دبستانی شهر رشت بود. شیوه‌های پیاده‌روی به تنهایی دانش‌آموز، پیاده‌روی با همراهی والدین، و پیاده‌روی دانش‌آموز با دوستان به مدرسه مجموعاً ۱۸٫۹٪ سهم داشتند. شیوه‌های موتورسیکلت، اتوبوس، تاکسی و سایر، مجموعاً ۳٫۱٪ سهم داشتند که در نهایت شیوه‌های پیاده‌روی روی هم ریخته شد و سه گزینه‌ی نهایی برای مدل‌سازی گزینه‌های پیاده‌روی، خودروی شخصی خانوار، و سرویس مدرسه (با ۷۱۲) مشاهده انتخاب شدند. همچنین میانگین زمان سفر درک‌شده‌ی والدین برای پیاده‌روی از خانه تا مدرسه (مسافت زمانی)، تقریباً ۲۵ دقیقه بود.

نتایج تحلیل آماری ساده‌ی توصیفی (شکل ۱) از ارتباط بین فواصل زمانی درک‌شده‌ی خانه تا مدرسه و انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی در مقابل سایر شیوه‌ها نشان می‌دهد والدینی که به فرزندان خود اجازه‌ی پیاده‌روی می‌دهند، میانه‌ی فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی کمتری (تقریباً ۱۰ دقیقه) نسبت به سایر والدینی که شیوه‌های غیرپیاده‌روی را برای فرزندان خود در سفر به مدرسه انتخاب می‌کنند (تقریباً ۲۰ دقیقه)، دارند. همچنین نتایج تحلیل آماری (شکل ۲) نشان می‌دهد خانوارهایی که ۲ یا بیشتر خودروی شخصی دارند، نسبت به خانوارهای بدون خودروی شخصی و ۱ خودروی شخصی، فاصله‌ی زمانی کمتری از خانه تا مدرسه فرزند خود (تقریباً ۵ دقیقه، چولگی به سمت ۱۰ دقیقه) درک می‌کنند.

۴. فرایند مدل‌سازی

به‌منظور مدل‌سازی انتخاب شیوه‌ی سفر به مدرسه با متغیرهای فاصله، مالکیت خودروی شخصی و سایر متغیرهای اقتصادی - اجتماعی از نرم‌افزار NLOGIT۴

برخلاف مدل لوجیت استاندارد، برای پرداخت مدل لوجیت ترکیبی از روش شبیه‌سازی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر از روش شبیه‌سازی درست‌نمایی بیشینه (MSLE)^{۱۱} استفاده شده است.^[۶] همچنین، به منظور مقایسه‌ی مدل‌های برآوردشده از آماره‌ی خوبی برازش استفاده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی بهبود یا عدم بهبود مدل‌های ساخته‌شده نسبت به یکدیگر است. از آماره‌ی ρ^2 برای مقایسه‌ی مدل با پارامترهای تخمینی و مدل با ضرایب صفر (معادل با حالتی که هیچ مدلی وجود نداشته باشد) استفاده می‌شود و به‌صورت رابطه‌ی ۹ نمایش داده می‌شود:

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (9)$$

ρ^2 نیز برای مقایسه‌ی مدل با پارامترهای تخمینی و مدل با ضرایب ثابت در نظر گرفته شده است و با رابطه‌ی ۱۰ نشان داده می‌شود:

$$\rho^2_c = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad (10)$$

که در آن، $LL(\beta)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال تخمین زده‌شده برای تمامی پارامترها، $LL(C)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال فقط برای جملات ثابت (سهم بازار) و $(LL)(0)$ مقدار تابع لگاریتم احتمال برای مدل با پارامترهای صفر (سهم مساوی) است. مقدار این آماره‌ها بین ۰ و ۱ قرار می‌گیرد. $\rho^2 = 0$ بیان می‌کند که مدل به‌دست آمده بهتر از مدل مرجع نیست و $\rho^2 = 1$ بیان‌گر آن است که مدل به‌دست آمده، مدل کامل و بی‌نقصی است.

۳. داده‌های پژوهش

به منظور بررسی آثار فاصله‌ی خانه تا مدرسه و متغیرهای دیگر مرتبط با خانوار در انتخاب شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان دبستانی به مدرسه در مطالعه‌ی بومی در کشور ایران (به‌خصوص شهرهای در حال توسعه‌ی کشور)، شهر رشت به‌عنوان نمونه‌ی آماری مطالعه شد. مطالعه‌ی حاضر از طریق طراحی پرسش‌نامه به‌گرددآوری داده‌ها پرداخته است. جامعه‌ی آماری مطالعه، والدین دانش‌آموزان اول تا سوم ابتدایی مدارس دولتی و غیردولتی (پسرانه و دخترانه) شهر رشت بوده است. بدین ترتیب با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ی دو مرحله‌ی، نخست تعداد مدارس و تعداد دانش‌آموزان دولتی و غیردولتی و پسرانه و دخترانه‌ی نمونه در نواحی ۱ و ۲ آموزش و پرورش مشخص شد و سپس در هر ناحیه‌ی آموزش و پرورش مدارس به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. تعداد ۱۰۷۸ عدد پرسش‌نامه در میان ۹ مدرسه‌ی دولتی، غیردولتی، دخترانه و پسرانه در هر دو ناحیه‌ی آموزش و پرورش شهر رشت توزیع شد. در نهایت تعداد ۸۵۸ پرسش‌نامه بازگردانیده شدند (نرخ بازگشت = ۸۰٪) همچنین با چندین بار بررسی تک تک پرسش‌نامه‌های بازگشت داده‌شده مشاهده شد که ۷۳۵ پرسش‌نامه، بدون داده‌ی ازدست رفته بودند.^[۱۶]

۱.۳. پرسش‌نامه

پرسش‌نامه‌ی طراحی‌شده‌ی مطالعه‌ی حاضر، بخش‌هایی شامل مشخصات کلی خانوار، متغیر فاصله‌ی زمانی خانه تا مدرسه، و شیوه‌های استفاده‌ی حمل و نقلی دارد. در ابتدای پرسش‌نامه، مشخصات کلی از جمله، پایه‌ی تحصیلی دانش‌آموزان، داشتن گواهینامه‌ی رانندگی والدین، وضعیت شغلی والدین، سطح تحصیلات به تفکیک والدین، جنسیت دانش‌آموزان و نوع مدرسه‌ی دانش‌آموزان (دولتی/غیردولتی)، تعداد خودروی تحت تملک، متوسط درآمد خانوار، متوسط ساعت‌های ورزش والدین

به صورت تکی یا چندتایی آزمایش شدند. در نهایت ضریب ۱ متغیر از ۹ ضریب، به صورت تصادفی معنادار و ۸ ضریب دیگر به صورت ثابت معنادار شدند. فرایند انتخاب توزیع به این صورت بود که ۴ توزیع اشاره شده برای تک تک ضرایب متغیرهای مدل لوجیت چندگانه‌ی برتر آزمایش شدند. در نهایت فقط ضریب فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی به عنوان ضریب تصادفی مدل معنادار شد. نتایج پرداخت مدل برای انتخاب نوع توزیع مناسب برای ضریب تصادفی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور، با مقایسه‌ی مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی مدل‌های پرداخت‌شده، بهترین توزیع برای ضریب تصادفی، فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی پیاده‌روی در مطلوبیت پیاده‌روی توزیع نرمال است.

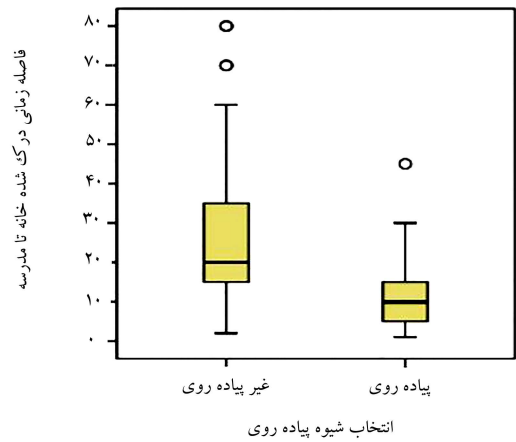
۱.۴. نتایج مدل‌ها

نتایج مدل‌های MNL و ML با تجزیه‌ی ضریب تصادفی در جدول ۳ ارائه شده است. برآزش کلی مدل‌ها حاکی از این است که برآزش مدل ML نسبت به مدل MNL با استفاده از آزمون نسبت درست‌نمایی (با استفاده از آزمون مربع کای)، حاکی از برتری مدل لوجیت ترکیبی نسبت به لوجیت چندگانه در سطح اطمینان ۹۹٪ است (بهبود خوبی برآزش در سهم بازار از ۲۵٪ به ۲۹٪). درصد تطابق پیش‌بینی با مشاهده‌ها (درصد برآورد درست) دو مدل حاکی از برتری مدل ML نسبت به مدل MNL است (۷۳٪ نسبت به ۶۸٪). نتایج دو مدل حاکی از یکسان بودن علامت متغیرها ولی تغییر در مقادیر ضرایب (اثر متغیرها) است. برای مثال، مالکیت خودروی شخصی در مدل MNL دارای ضریب ۱/۰۱ و در مدل ML دارای ضریب ۱/۵۵ است. بیشتر ضرایب در بازه‌ی اطمینان ۹۹٪ در دو مدل معنادار هستند.

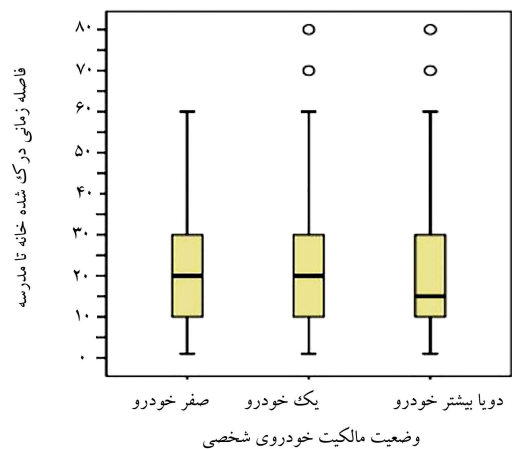
۵. بحث

پرداخت مدل ML در شیوه‌ی سفر تحصیلی دانش‌آموزان دبستانی نشان می‌دهد که ضریب تصادفی شامل ضریب فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی درک‌شده از خانه تا مدرسه در تابع مطلوبیت شیوه‌ی پیاده‌روی است. این موضوع بیانگر اختلاف سلیقه‌ی تصادفی بین والدین در رابطه با فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی است که مدل لوجیت چندگانه، توانایی بیان آن را ندارد. نتایج مدل ضریب تصادفی نشان می‌دهد که ضرایب ۸ متغیر که به صورت ثابت (با اثر یکسان برای همه افراد نمونه) معنادار شده‌اند، از نظر علامت همانند مدل لوجیت چندگانه است و فقط از نظر مقدار متفاوت است. بنابراین تفسیر کلی ضرایب ثابت برای دو مدل مشابه بوده و فقط میزان اثر متغیرها با یکدیگر متفاوت است.

با استفاده از تجزیه‌ی ضریب تصادفی نشان داده شده است که بخشی از اختلاف سلیقه مربوط به فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی براساس تعداد خودروی تحت تملک خانوار (خانوارهایی که ۲ یا بیشتر خودروی شخصی دارند = ۱، در غیر این صورت = صفر) قابل توضیح است. همچنین، علامت منفی ضریب جمله‌ی ترکیبی فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه و وجود دو یا بیشتر خودروی شخصی در خانوار (۰/۱۳۲-) در تابع مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی بیان‌گر این نکته است که حساسیت والدین به فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی برای انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی زمانی که تعداد خودروی خانوار دو یا بیش از دو باشد، نسبت به حالت ساده‌تر (در مدل MNL) بیشتر افزایش می‌یابد.



شکل ۱. ارتباط فواصل زمانی درک‌شده‌ی خانه تا مدرسه (به دقیقه) و انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی در مقابل سایر شیوه‌ها.



شکل ۲. ارتباط فواصل زمانی درک‌شده‌ی خانه تا مدرسه (به دقیقه) و وضعیت مالکیت خودروی شخصی خانوار.

استفاده شد. فرایند مدل‌سازی در ۳ مرحله صورت گرفت: در مرحله‌ی نخست، با پرداخت بیش از ۲۰۰ مدل لوجیت چندگانه، مدل برتر لوجیت چندگانه انتخاب شد. در مرحله‌ی دوم، با در نظر گرفتن ضرایب تصادفی برای مدل لوجیت برتر چندگانه (MNL) و پرداخت بیش از ۱۰۰ مدل، مدل لوجیت ترکیبی (ML) با ضریب تصادفی برتر برای نمایش ناهمگونی رفتار انتخاب شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان ارائه شد. در مرحله‌ی آخر، با تجزیه‌ی ضرایب تصادفی مدل برتر مرحله‌ی قبل و با پرداخت بیش از ۵۰ مدل، مدل برتر برای تعیین وجود یا عدم وجود ناهمگونی سیستماتیک حول میانگین ضرایب تصادفی ارائه شد. لازم به ذکر است، نتایج مدل NL حاکی از این بود که مدل MNL ساختار مناسبی دارد. در پرداخت مدل‌های MNL از روش درست‌نمایی بیشینه و در مدل‌های ML از روش شبیه‌سازی درست‌نمایی بیشینه با ۱۰۰۰ بار نمونه‌گیری به روش هالتون^{۱۲} که روشی هوشمند برای نمونه‌گیری در محاسبه‌ی انتگرال چندمتغیره در شبیه‌سازی شبه مونت کارلو (QMC)^{۱۳} است و توسط بهات^{۱۴} در تحقیقات حمل و نقل وارد شده است، استفاده شده است. جدول ۱، متغیرهای مورد بررسی در مدل‌ها را نشان می‌دهد.

در فرایند مدل‌سازی ضریب تصادفی، تمامی ضرایب مدل لوجیت چندگانه‌ی برتر با توزیع‌های نرمال، لگ نرمال، مثلثی و یکنواخت به عنوان ضریب تصادفی

جدول ۱. نتایج تحلیل آماری توصیفی متغیرهای موردبررسی تحقیق.

میانگین انحراف معیار کمینه بیشینه				توصیف	متغیر (نشانه در مدل)
۱۲۰	۱	۲۰,۷۲	۲۵,۰۸	زمان پیاده‌روی درک شده از خانه تا مدرسه به صورت متغیر پیوسته (دقیقه)	۱- فاصله زمانی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه (DISTANC)
۱	۰	۰,۵۰	۰,۵۰	°: دختر، ۱: پسر	۲- جنسیت (GEN)
۳	۱	۰,۸۳	۱,۸۹	۱: اول دبستان، ۲: دوم دبستان، ۳: سوم دبستان	۳- مقطع تحصیلی (GRADE)
۱	۰	۰,۲۴	۰,۹۳	۱: گواهینامه رانندگی دارد، ۰: گواهینامه رانندگی ندارد	۴- وضعیت گواهینامه رانندگی پدر (LIC - F)
۱	۰	۰,۴۶	۰,۶۷	۱: گواهینامه رانندگی دارد، ۰: گواهینامه رانندگی ندارد	۵- وضعیت گواهینامه رانندگی مادر (LIC - M)
۳	۰	۰,۵۸	۰,۸۹	°: خانوار خودرویی شخصی ندارد، ۱: خانوار یک خودرویی شخصی دارد ۲: خانوار دو خودرویی شخصی دارد، ۳: خانوار ۳ یا بیشتر خودرویی شخصی دارد	۶- تعداد خودرویی شخصی در تملک (N - CAR)
۵	۱	۱,۲۴	۱,۷۶	۱: تمام وقت، ۲: پاره وقت، ۳: بازنشسته، ۴: بیکار، ۵: سایر	۷- وضعیت شغلی پدر (JOB - F)
۵	۱	۱,۱۲	۳,۴۱	۱: تمام وقت، ۲: پاره وقت، ۳: بازنشسته، ۴: بیکار، ۵: سایر	۸- وضعیت شغلی مادر (JOB - M)
۴	۰	۰,۷۰	۲,۰۴	°: بی سواد، ۱: زیردیپلم، ۲: دیپلم یا فوق دیپلم، ۳: لیسانس، ۴: تحصیلات عالی	۹- میزان تحصیلات پدر (EDU - F)
۴	۰	۰,۶۴	۲,۰۹۸	°: بی سواد، ۱: زیردیپلم، ۲: دیپلم یا فوق دیپلم، ۳: لیسانس، ۴: تحصیلات عالی °: ورزش نکردن، ۱: کمتر از یک ساعت ورزش کردن، ۲: یک تا دو ساعت ورزش کردن، ۳: دو تا سه ساعت ورزش کردن، ۴: بیش از سه ساعت ورزش کردن	۱۰- میزان تحصیلات پدر (EDU - M) ۱۱- میزان ورزش کردن والدین در هفته (EXERC)
۱	۰	۰,۴۰	۰,۷۹	°: مدرسه غیردولتی، ۱: مدرسه دولتی	۱۲- نوع مدرسه (TYPE)
۱	۰	۰,۴۹	۰,۵۲	°: ندارد، ۱: دارد	۱۳- دسترسی به حمل و نقل عمومی در مسیر از خانه تا مدرسه (ACC)
۱	۰	۰,۲۹	۰,۹۰	°: ندارد، ۱: دارد	۱۴- وضعیت سرویس مدرسه (H - SER)
۵	۱	۰,۹۵	۲,۲۴	۱: خیلی کم، ۲: کم، ۳: متوسط، ۴: زیاد، ۵: خیلی زیاد	۱۵- ایمنی تسهیلات پیاده‌روی (SAFETY)
۰	۱	۰,۴۰	۰,۷۹۷	۱: اگر فعالیت ورزشی والدین در هفته کمتر از دو ساعت باشد، در غیر این صورت: ۰	۱۶- فعالیت کم ورزشی در هفته (LOW - EXE)
۰	۱	۰,۳۰	۰,۱۰۶	۱: اگر خانوار دو یا بیشتر مالکیت خودرو داشته باشد، در غیر این صورت: ۰	۱۷- وجود دو یا بیشتر خودرویی شخصی در خانوار (CAR2+)

جدول ۲. یافتن توزیع با برازش بهتر برای ضریب تصادفی فاصله‌ی زمانی.

نوع توزیع	فاصله‌ی زمانی درک شده پیاده‌روی از خانه تا مدرسه	
	ρ^2	$LL(\beta)$
نرمال	۰,۳۸۶۹	-۴۷۸,۸۸۷
مثلی	۰,۳۸۲۴	-۴۸۲,۴۲۵
یکنواخت	۰,۳۷۵۸	-۴۸۷,۵۷۷
لگاریتم نرمال	۰,۲۸۶۳	-۵۵۷,۵۰۵

در بسیاری از مطالعات پیشین، اثر متغیرها به صورت یکسان و مشابه برای همه‌ی افراد نمونه در نظر گرفته شده است. برای مثال، اگر ضریب متغیر فاصله در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی در مدل لوجیت چندگانه‌ی (MNL) پژوهشی، ۵۳-۴۷۰ [۲] به دست آمده است، چنین نتیجه می‌شود که برای همه‌ی افراد نمونه فارغ از سائروزیگی‌ها، مثل ناحیه‌ی محل سکونت فرد (ناحیه با وضعیت بهتر اقتصادی یا ناحیه با وضعیت بد اقتصادی) یا وضعیت مالکیت شخصی خودرو، با افزایش فاصله‌ی خانه تا مدرسه به صورت یک میانگین (۴۷۰-۵۳) برای همه‌ی افراد، احتمال انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی در مقایسه با سایر شیوه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، براساس خروجی‌های ذکر شده ممکن است از سوی مدل‌ساز سیاست‌گذاری با هزینه‌ی هنگفتی همچون ایجاد مدارس با کیفیت عالی آموزش در تمام نواحی یک شهر به منظور افزایش احتمال پیاده‌روی دانش‌آموزان در راستای حل اثر منفی فاصله‌ی زمانی خانه تا مدرسه پیشنهاد شود. در حالی که، در واقعیت ممکن است لزوماً احداث مدارس عالی در تمام نواحی شهر (به منظور حل مشکل فاصله‌ی محل سکونت تا مدرسه‌ی محل تحصیل فرزند خانوار)، برای خانوارهایی با مالکیت شخصی نامناسب (صفر یا یک

بدین معنی که اگر خانوار دو یا بیشتر خودرویی تحت تملک داشته باشد، اثر فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی بیش از پیش می‌شود. برای مثال در خانوارهای با دو و بیش از دو خودرویی تحت تملک با اندک افزایش فاصله‌ی زمانی درک شده از خانه تا مدرسه، احتمال انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی کاهش و احتمال رساندن دانش‌آموزان با خودرویی شخصی خانوار و سرویس به مدرسه افزایش می‌یابد.

جدول ۳. نتایج پرداخت مدل‌های MNL و ML با تجزیه‌ی ضرایب تصادفی انتخاب شیوه‌ی سفر دانش‌آموزان دبستانی شهر رشت براساس متغیر فاصله و اقتصادی - اجتماعی.

گزینه	متغیر	مدل MNL		مدل ML	
		ضریب	سطح معناداری	ضریب	سطح معناداری
	ثابت	-۱٫۸۷	۰٫۰۰۰	-۱٫۹۷	۰٫۰۰۰
خودروی	تعداد خودرو تحت تملک خانوار	۱٫۰۱	۰٫۰۰۰	۱٫۵۵	۰٫۰۰۰
شخصی	وضعیت گواهینامه‌ی رانندگی مادر	۰٫۷۰	۰٫۰۰۰	۰٫۸۳	۰٫۰۰۴
خانوار	فعالیت کم ورزشی در هفته	۰٫۴۲	۰٫۰۰۶	۰٫۴۵	۰٫۰۸۰
	ثابت	۷٫۷۰	۰٫۰۰۰	۴٫۵۴	۰٫۰۰۰
	دسترسی به حمل و نقل عمومی	-۰٫۹۵	۰٫۰۰۲	-۱٫۱۸	۰٫۰۰۰
	تحصیلات مادر	-۰٫۵۳	۰٫۰۰۰	-۰٫۹۱	۰٫۰۰۰
	وضعیت گواهینامه‌ی رانندگی پدر	-۱٫۶۴	۰٫۰۰۱	-۱٫۹۷	۰٫۰۰۳
پیاده‌روی	ایمنی درک شده نسبت به تسهیلات	۰٫۰۶	۰٫۰۳۴	۰٫۰۹	۰٫۰۹۸
	نقش مستقل، میانگین (انحراف استاندارد)	-۰٫۱۲	۰٫۰۰۰	-۰٫۲۴۰	۰٫۰۰۰
	فاصله زمانی خانه تا مدرسه			(۰٫۰۸۴)	(۰٫۰۰۰)
	نقش توأمان با مالکیت خودرو (تجزیه) *	-	-	-۰٫۱۳۲	۰٫۰۰۰
سرویس	سرویس داشتن مدرسه	۲٫۶۷	۰٫۰۰۰	۳٫۲۱	۰٫۰۰۰
مدرسه	فعالیت کم ورزشی در هفته	۰٫۳۱	۰٫۰۰۱	۰٫۳۹	۰٫۰۰۶
	ρ^1 (ضریب نکویی برازش (از سهم مساوی))		۰٫۳۴		۰٫۳۸
	ρ^2 (ضریب نکویی برازش (از سهم بازار))		۰٫۲۵		۰٫۲۹
	درصد برآورد درست		۰٫۶۸		۰٫۷۳

* این متغیر نشانگر پراکنش ضریب فاصله در مدل توجیت ترکیبی (ML) است که برای مدل چندجمله‌یی (MNL) مصداق ندارد.

جدول ۴. مقایسه‌ی تابع مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی و کشش متغیر فاصله در دو مدل MNL و ML.

ML	MNL	
$0.729 \times EDUM - 0.1208 \times ACC - 0.301$	$0.621 - 0.32 \times ACC - 0.876$	تابع مطلوبیت
$0.137 \times EDUM - 0.24 \times CAR2 + 0.111 \times LICF + 0.084 \times n^* \times DISTANC$	$0.137 \times EDUM - 0.24 \times CAR2 + 0.111 \times LICF + 0.084 \times n^* \times DISTANC$	پیاده‌روی
۰٫۸۶	-۰٫۷۸	کشش مستقیم متغیر فاصله

* مقدار تصادفی با توزیع نرمال استاندارد

افزایش ۱٪ متغیر مذکور موجب کاهش احتمال انتخاب گزینه‌ی پیاده‌روی به اندازه‌ی ۰٫۷۸٪ خواهد شد. اما، در مدل ML، مقدار حساسیت متغیر فاصله بیشتر شده است، و افزایش ۱٪ متغیر مذکور موجب کاهش ۰٫۸۶٪ احتمال انتخاب گزینه‌ی پیاده‌روی شده است. این بدان معناست که در مدل نزدیک‌تر به مشاهدات (ML)، اثر فاصله‌ی زمانی درک شده از خانه تا مدرسه (اثر ترکیبی با مالکیت خودروی شخصی)، در احتمال انتخاب شیوه پیاده‌روی نسبت به مدل MNL بیشتر شده است. همچنین، تعداد خودروی شخصی خانوار از عوامل تأثیرگذار و معنی‌دار در انتخاب شیوه‌ی خودروی شخصی نسبت به سرویس مدرسه و شیوه‌ی پیاده‌روی در رساندن دانش‌آموزان به مدرسه بوده است که مطابق با نتایج مطالعات پیشین^[۱۳] است. دانش‌آموزانی که مادران آن‌ها گواهینامه‌ی رانندگی دارند، با احتمال بیشتری بر خودروی شخصی خانوار نسبت به شیوه‌های سرویس مدرسه و پیاده‌روی به مدرسه رسانده می‌شوند. دانش‌آموزانی که پدرانشان گواهینامه‌ی رانندگی دارند، به احتمال کمتری

خودروی تحت تملک) موجب کاهش اثر منفی فاصله‌ی خانه تا مدرسه نمی‌شود و باید سیاست دقیق‌تری اتخاذ شود. به تعبیری دیگر، برای خانوار با وضعیت بد مالکیت شخصی خودرو، ممکن است لزوماً سیاست وجود مدرسه‌ی عالی در اطراف محل سکونت خانوار موجب افزایش احتمال پیاده‌روی دانش‌آموزان نشود. در حالی که برای خانوارهایی با وضعیت مالکیت خودروی شخصی بهتر (دو یا بیشتر) احداث مدارس عالی در حوالی محل سکونت این خانوارها موجب اثر بیشتری در افزایش احتمال انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی برای فرزندان باشد. تفاوت فرم تابع مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی و کشش‌پذیری متغیر فاصله در دو مدل MNL و ML در جدول ۴ ارائه شده است. کشش‌پذیری مستقیم درصد تغییر نسبی احتمال انتخاب گزینه‌ی موردنظر به ازاء ۱٪ تغییر در یک متغیر مستقل به شرط ثابت بودن سایر متغیرها (متغیر فاصله‌ی زمانی درک شده در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی در مدل MNL، حاکی از آن است که

دارد. در واقع پس از شناسایی ضریب تصادفی یک متغیر مشخص، با تجزیه‌ی این ضریب می‌توان اثر توأم متغیر دیگری به منظور توضیح بیشتر و بهتر آن متغیر مشخص اولیه یافت. از این رو، پژوهش حاضر به تحلیل آثار متغیرهایی همچون فاصله‌ی خانه تا مدرسه در کنار سایر متغیرهای اقتصادی - اجتماعی با به‌کارگیری مدل تجزیه‌ی ضریب تصادفی لوجیت (ML) در انتخاب شیوه‌های سفر به مدرسه‌ی دانش‌آموزان دبستانی (با طراحی پرسش‌نامه و پرسش‌گری میدانی در مطالعه‌ی موردی در شهر رشت) پرداخته است. در کل نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد، برازش کلی مدل ML از نظر آماری بهتر از MNL است.

رفتار والدین در ارتباط با درک فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی تا مدرسه در انتخاب گزینه‌ی پیاده‌روی برای فرزندان از توزیع نرمال با میانگین اثر (۰/۲۴۰) و انحراف معیار (۰/۸۰) تبعیت می‌کند که در کل با افزایش فاصله‌ی زمانی از خانه تا مدرسه، احتمال انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی برای دانش‌آموزان نسبت به سرویس مدرسه و خودروی شخصی خانوار کاهش می‌یابد. بخشی از ناهمگونی مربوط به فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در مطلوبیت گزینه‌ی پیاده‌روی براساس تعداد خودروی تحت تملک خانوار (خانوارهایی که دو یا بیش از دو خودرو در منزل دارند) قابل توضیح است. به طوری که حساسیت والدین به فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی برای انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی زمانی که تعداد خودروی خانوار دو یا بیش از دو باشد، نسبت به حالت ساده‌تر (در مدل MNL) بیشتر افزایش می‌یابد. بدین معنی که اگر خانوار دارای دو یا بیشتر خودروی تحت تملک باشد، اثر فاصله‌ی زمانی پیاده‌روی از خانه تا مدرسه در انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی بیش از پیش می‌شود. برای مثال ممکن است در خانوارهای با دو و بیش از دو خودروی تحت تملک با اندک افزایش فاصله‌ی زمانی، احتمال انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی کاهش یابد و احتمال رساندن دانش‌آموزان با خودروی شخصی خانوار و سرویس به مدرسه افزایش یابد.

با پرداخت مدلی نزدیک‌تر به مشاهده‌ها، میزان (اثرگذاری متغیر در تابع مطلوبیت) و نحوه‌ی اثرگذاری (ضریب با توزیع تصادفی به جای یک مقدار یکسان برای کل افراد نمونه) برخی از متغیرها تغییر دارند. در خانوارهایی با وضعیت مالکیت خودروی شخصی دو یا بیشتر، اثر افزایش فاصله‌ی زمانی درک‌شده‌ی خانه تا مدرسه در کاهش پیاده‌روی کودکان به مدرسه در مدل ML نسبت به پرداخت مدل MNL بیشتر می‌شود. بنابراین، در سیاست‌گذاری‌ها توجه بیشتر به اثر توأم متغیرها موجب کمک به سیاست‌گذاران و افزایش کارایی سیاست‌ها به منظور کاهش ترافیک و بهبود وضعیت سلامت دانش‌آموزان خواهد شد. به‌عنوان پیشنهاد ادامه‌ی پژوهش حاضر، می‌توان به مدل‌سازی لوجیت ترکیبی از متغیرهای روان‌شناختی مؤثر در تصمیم والدین، مدل‌سازی معادلات ساختاری، تحلیل حساسیت متغیرها و مقایسه‌ی آثار متغیرها نسبت به یکدیگر در انتخاب شیوه‌ی سفر تحصیلی در مطالعات آتی اشاره کرد.

از شیوه‌ی پیاده‌روی در مقایسه با شیوه‌های سرویس مدرسه و خودروی شخصی خانوار در سفر به مدرسه استفاده می‌کنند. مقدار (۰/۴۵) و (۰/۳۹) علامت مثبت متغیر فعالیت ورزشی کمتر از دو ساعت والدین در هفته در مطلوبیت گزینه‌های خودروی شخصی خانوار و سرویس مدرسه حاکی از آن است والدینی که در طول هفته نسبت به سایر والدین کمتر ورزش می‌کنند، فرزندان آن‌ها با احتمال بیشتری با خودروی شخصی خانوار و سرویس مدرسه نسبت به پیاده‌روی به مدرسه می‌روند. همچنین، با افزایش تحصیلات مادران، احتمال پیاده‌روی دانش‌آموزان دبستانی به مدرسه در مقایسه با شیوه‌های سرویس مدرسه و خودروی شخصی خانوار کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ی در سال ۲۰۰۳، نشان داده شده است که والدین دانش‌آموزانی که تحصیلات عالی (دانشگاهی) و بالاتری نسبت به سایر والدین دارند، به احتمال کمتری اجازه‌ی پیاده‌روی یا دوچرخه‌سواری به فرزندان خود در سفر به مدرسه می‌دهند.^[۴] که نتیجه‌ی پژوهش حاضر نیز در این راستاست. در مدرسی که سرویس حمل و نقل دانش‌آموزان وجود دارد، دانش‌آموزان با احتمال بیشتری با سرویس مدرسه در مقایسه با سایر شیوه‌ها به مدرسه می‌روند. همچنین متغیر ایمنی درک‌شده نسبت به تسهیلات پیاده‌روی (همچون پیاده‌راه‌ها، پل عابر، خط‌کشی‌ها و ...) در انتخاب شیوه‌ی پیاده‌روی معنادار یافت شد. همچنین در پژوهش حاضر مطابق با پژوهشی در سال (۲۰۱۵)،^[۱۴] تفاوت جنسیتی بین دانش‌آموزان دبستانی شهر رشت در انتخاب شیوه‌ی سفر به مدرسه مشاهده نشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تاکمون پژوهشگران در بررسی نقش متغیر فاصله و سایر متغیرهای اقتصادی - اجتماعی و محیطی بر تصمیم انتخاب شیوه سفرهای تحصیلی سعی کرده‌اند که از مدل‌های انتخاب گسسته‌ی لوجیت (دوتایی، چندگانه و آشیانه‌ی)، پروبیت و تحلیل‌های رگرسیون لجستیک و سایر تحلیل‌های ساده‌ی آماری استفاده کنند. در حالی که در مدل‌ها و تحلیل‌های یادشده، اثر ضرایب متغیرهای پرداخت‌شده به صورت یکسان (یک میانگین) برای همه‌ی افراد نمونه‌ی آماری در نظر گرفته شده است، همچنین در بسیاری از مدل‌های انتخاب گسسته، فرض‌های IID و IIA کاملاً آزاد نشده است.

از این رو، پرداخت مدل‌های لوجیت ترکیبی با تجزیه‌ی ضریب تصادفی (نزدیک‌تر به مشاهده‌ها) می‌تواند موجب نمایش صحیح‌تری از رفتار تصمیم‌گیرندگان باشد. همچنین با این رویکرد، مدل انتخاب گسسته با محدودیت‌های کمتری (با آزاد کردن کامل فرض IID) با توجه به فرضیات رفتاری آن حاصل می‌شود که توانایی شناسایی اختلاف سلیقه‌ی تصادفی افراد (ناهمگونی) و حتی منبع ناهمگونی (با در نظر گرفتن و آزمودن توزیع‌های آماری برای ضرایب متغیرها از طریق میانگین و واریانس) را

پانویس‌ها

1. binomial logit
2. multi nomial logit
3. nested logit
4. structural equation modeling
5. independent and identically distributed
6. utility maximization

7. random utility
8. taste variation
9. correlation in unobserved factors over time
10. random coefficients
11. maximum simulated likelihood estimation
12. Halton
13. Quasi-monte carlo
14. Bhat

(References) منابع

- Ermagun, A. and Samimi, A. "Promoting active transportation modes in school trips", *Transport policy*, **37**, pp. 203-211 (2015).
- Li, S. and Zhao, P. "The determinants of commuting mode choice among school children in Beijing", *Journal of Transport Geography*, **46**, pp. 112-121 (2015).
- Van Goeverden, C. and De Boer, E. "School travel behaviour in the Netherlands and flanders", *Transport Policy*, **26**, pp. 73-84 (2013).
- McMillan, T.E. "Walking and urban form: Modeling and testing parental decisions about children's travel", University of California Transportation Center (2003).
- Hensher, D.A., Rose, J.M. and Greene, W.H., *Applied Choice Analysis: A Primer*, Cambridge University Press (2005).
- Train, K.E., *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press (2009).
- Hensher, D.A. and Greene, W.H. "The mixed logit model: The state of practice", *Transportation*, **30**(2), pp. 133-176 (2003).
- Noland, R., Park, H., Von Hagen, L.A. and Chatman, D.G. "A mode choice analysis of school trips in New Jersey", *Journal of Transport and Land Use*, **7**(2), pp. 111-133 (2014).
- McMillan, T.E. "The relative influence of urban form on a child's travel mode to school", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **41**(1), pp. 69-79 (2007).
- Mamdoohi, A.R., Mehdizadeh, M. and Fallah Zavareh, M. "A mode choice model of elementary school trips based on parental decisions", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, **7**(1), pp. 167-178 (2015).
- Mehdizadeh, M.M. and Mamdoohi, A.R. "The role of parental risk perception & worry on independent trip of children to school", *Sharif Journal Civil Engineering*, **33-2**(3.2), pp.75-83, (accepted Feb., 2016).
- Yarlagadda, A.K. and Srinivasan, S. "Modeling children's school travel mode and parental escort decisions", *Transportation*, **35**(2), pp. 201-218 (2008).
- Mitra, R. and Buliung, R.N. "Exploring differences in school travel mode choice behaviour between children and youth", *Transport Policy*, **42**, pp. 4-11 (2015).
- Evenson, K.R. and et al. "Statewide prevalence and correlates of walking and bicycling to school", *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, **157**(9), pp. 887-892 (2003).
- Shokoohi, R., Hanif, N.R. and Dali, M. "Influence of the socio-economic factors on children's school travel", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **50**, pp. 135-147 (2012).
- Mehdizadeh, M.M. and Mamdoohi, A.R. "The Role of parental environmental norms on use of private car in elementary school trips", *Modares Civil Engineering Journal, Scientific Research Quarterly*, **17**(6), pp.221-232 (accepted Mar, 2016) (In press).
- Kamargianni, M., Dubey, S., Polydoropoulou, A. and Bhat, Ch. "Investigating the subjective and objective factors influencing teenagers' school travel mode choice-An integrated choice and latent variable model", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **78**, pp. 473-488 (2015).
- Elias, W. and Katoshevski-Cavari, R. "The role of socio-economic and environmental characteristics in school-commuting behavior: A comparative study of Jewish and Arab children in Israel", *Transport Policy*, **32**, pp. 79-87 (2014).
- Mamdoohi, A.R. and Mehdizadeh, M. "Analysis of parental attitudes towards safety in student's school trips with emphasis on walking", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, **7**(2), pp. 339-352 (2015).
- McMillan, T., Day, K., Boarnet, M. and Anderson, C. "Johnny walks to school-does Jane? Sex differences in children's active travel to school", *Children Youth and Environments*, **16**(1), pp. 75-89 (2006).
- Nevelsteen, K., Steenberghen, Th., Van Rompay, A. and Uyttersprot, L. "Controlling factors of the parental safety perception on children's travel mode choice", *Accident Analysis & Prevention*, **45**, pp. 39-49 (2012).
- Seraj, S., Sidharthan, R., Bhat, Ch., Pendylala, R. and Goulias, K. "Parental attitudes toward children walking and bicycling to school: Multivariate ordered response analysis", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2323**, pp. 46-55 (2012).