

# تحلیلی کمی و چندجانبه از انتقال پذیری مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌ی (مطالعه‌ی موردی: شهرهای قزوین و اسلامشهر)

فاطمه احمدی پور (کارشناس ارشد)

امیررضا مهدوحی\* (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

با توجه به اینکه هزینه‌ی جمع‌آوری داده برای مدل‌سازی تقاضای سفر بسیار بالاست، انتقال مدل‌ها به علت صرفه‌جویی در منابع، جذابیت و اهمیت زیادی دارد. هدف نوشتار حاضر، بررسی انتقال‌پذیری مکانی مدل تولید سفر از نوع لوجیت رتبه‌ی بین دو نمونه با مقیاس واقعی و تعیین جهت برتر انتقال است. در این راستا، از داده‌های اقتصادی - اجتماعی و سفرهای کاری روزانه‌ی خانوار از آمارگیری مبدأ - مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های انتقال یافته به اسلامشهر و قزوین از نظر معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون (خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال)، عملکرد خوبی دارند و از نظر معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل (آماره‌ی آزمون انتقال) و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون (مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون)، فاقد عملکرد خوبی در انتقال‌پذیری هستند که نشان می‌دهد مسئله‌ی انتقال‌پذیری یک مسئله‌ی یک بعدی، با پاسخ بلی یا خیر نیست بلکه مسئله‌ی پیچیده و چندجانبه است و به همین دلیل، معیارهای متفاوتی به منظور ارزیابی آن پیشنهاد شده است.

fatemeh.ahmadipour@modares.ac.ir  
aramandoohi@modares.ac.ir

واژگان کلیدی: انتقال‌پذیری مکانی، تولید سفر، لوجیت رتبه‌ی.

## ۱. مقدمه

قبلی استفاده می‌شود. همچنین فرض می‌شود روابط بنیادی بین سفر متغیرهای اقتصادی - اجتماعی و کاربری زمین در طول زمان ثابت باقی می‌ماند یا از یک الگوی مشخص تبعیت می‌کند.<sup>[۱]</sup>

از دیدگاهی دیگر، انتقال‌پذیری مدل‌های تقاضای سفر در ۴ سطح ارزیابی می‌شود: در سطح اول، انتقال‌پذیری نظریه‌ی کلی رفتار سفر<sup>۱</sup>؛ در سطح دوم، انتقال‌پذیری نوع مدل ریاضی<sup>۲</sup>؛ در سطح سوم، انتقال‌پذیری فرم تابعی مدل<sup>۳</sup> و در سطح چهارم، انتقال‌پذیری مقادیر پارامترها<sup>۴</sup>، بررسی می‌شود.<sup>[۲]</sup>

علی‌رغم اهمیت انتقال‌پذیری مکانی مدل‌های ایجاد سفر در کاهش هزینه و زمان جمع‌آوری داده و یافتن مدلی با عملکرد بهتر در انتقال‌پذیری، توجه بسیار کمی به انتقال‌پذیری مکانی مدل‌های ایجاد سفر لوجیت رتبه‌ی شده است. تا آنجایی که پژوهشگران بررسی کرده‌اند، فقط دو پژوهش در این مورد (در خارج از کشور ایران) انجام شده است، که هیچ‌کدام از آن‌ها انتقال‌پذیری را از دیدگاه هر ۳ نوع معیار برابری آماری پارامترهای مدل، قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون و ناهمفزون بررسی نکرده‌اند. علاوه بر این، در هیچ پژوهشی مشاهده نشده است که به رابطه‌ی دوطرفه‌ی انتقال‌پذیری پرداخته شود. هدف از نوشتار حاضر، ارزیابی انتقال‌پذیری مکانی مدل تولید سفر کاری از نوع لوجیت رتبه‌ی<sup>۵</sup> در سطح ناهمفزون خانوار و

داده‌های موردنیاز برای توسعه و بهنگام‌سازی مدل‌های تقاضای سفر معمولاً در چند مرحله جمع‌آوری می‌شوند. با توجه به اینکه هزینه‌ی جمع‌آوری داده برای مدل‌سازی تقاضای سفر بسیار بالاست، انتقال مدل‌ها به علت صرفه‌جویی در منابع، جذابیت و اهمیت زیادی دارد.<sup>[۱]</sup>

برخی پژوهشگران (۱۹۸۲)،<sup>[۱]</sup> انتقال‌پذیری را به این صورت تعریف کرده‌اند: «کارایی مدل، اطلاعات یا نظریه‌ی انتقال یافته در مکان یا زمان جدید». به عبارت دیگر، در صورتی که یک مدل انتقال یافته بتواند برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی استفاده شود، برای اهداف عملی نیز انتقال‌پذیر در نظر گرفته می‌شود.

انتقال‌پذیری مدل‌های تقاضای سفر به دو نوع زمانی و مکانی تقسیم می‌شود. انتقال‌پذیری مکانی به معنی استفاده از مدل‌های ساخته شده براساس داده‌های یک ناحیه‌ی جغرافیایی برای پیش‌بینی رفتار سفر در نواحی دیگر است. در انتقال‌پذیری زمانی، مدل تهیه شده در یک دوره‌ی زمانی به دوره‌ی زمانی دیگر انتقال می‌یابد، در نتیجه برای پیش‌بینی رفتار سفر در دوره‌ی زمانی جدید از همان مدل دوره‌ی

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۵/۶/۱۳۹۵، اصلاحیه ۲۸/۳/۱۳۹۶، پذیرش ۳/۴/۱۳۹۶.

DOI:10.24200/J30.2018.1570.1908

تقلیه و درآمد انجام گیرد یا به تفکیک هدف سفر، معیارهای جداگانه‌ی تعریف شود.<sup>[۷]</sup>

همچنین در تحلیل انتقال پذیری مکانی مدل ایجاد سفر طبقه‌بندی عرضی در سطح ناهمفزون فردی (۲۰۰۹) نتیجه‌گیری شد که استفاده از متغیرهای مربوط به ناحیه‌ی سکونت، انتقال پذیری را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد.<sup>[۸]</sup> برخی پژوهشگران نیز در سال ۱۳۲۰، انتقال پذیری زمانی مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌ی را در سطح ناهمفزون فردی بررسی کردند. ایشان از انجام پژوهش مذکور، دو هدف را دنبال می‌کردند: ۱. آیا استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ی برای تخمین تعداد سفر مناسب است؟ ۲. آیا متغیرهای مربوط به دوره‌ی زندگی، نوع ناحیه و دسترسی میزان برآزش و عملکرد مدل را در انتقال پذیری بهبود می‌بخشد؟ آن‌ها به منظور ارزیابی انتقال پذیری، از معیارهای مربوط به قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون (REM<sub>K</sub>، WRMSE و RSRS) و آماره‌ی  $t$  استفاده کردند و پی بردند مدل لوجیت رتبه‌ی برای تخمین تعداد سفر مدل مناسبی است، همچنین استفاده از متغیرهای ذکر شده، میزان برآزش و انتقال پذیری مدل را بهبود می‌بخشد.<sup>[۹]</sup>

در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۱۴، ضمن بررسی انتقال پذیری زمانی مدل ایجاد سفر لوجیت چندجمله‌ی<sup>۹</sup> در سطح ناهمفزون خانوار برای سفرهای خرید و هرروزه<sup>۱۰</sup>، برای ارزیابی انتقال پذیری از معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون (APS و RSRS) و آماره‌ی آزمون انتقال استفاده شد و براساس نتایج پژوهش، سفرهای هرروزه در مقایسه با سفرهای خرید، انتقال پذیری بیشتری داشتند؛ به عبارت دیگر، یکی از عوامل مؤثر در انتقال پذیری، ویژگی سفر از نظر اختیاری یا اجباری بودن است.<sup>[۱۰]</sup>

در سال ۲۰۱۳ نیز انتقال پذیری مکانی مدل انتخاب وسیله‌ی لوجیت چندجمله‌ی در ۴ سطح انتقال پذیری نظریه‌ی کلی رفتار سفر، نوع مدل ریاضی، فرم تابعی مدل، و مقادیر پارامتر با استفاده از داده‌های مربوط به سفرهای خرید روزانه‌ی شهرهای قزوین و تهران بررسی شد و به منظور ارزیابی انتقال پذیری، از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال و خطای نسبی گزینشی  $k$  استفاده شد. نتایج پژوهش اخیر نشان داد که مدل انتخاب وسیله، در سطوح اول، دوم و سوم انتقال پذیر و در سطح چهارم انتقال ناپذیر است.<sup>[۱۱]</sup>

بخش دیگری از مطالعات که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، به بررسی انتقال پذیری مدل‌های فعالیت - مینا<sup>۱۱</sup> پرداخته است. برای نمونه، در پژوهشی در سال ۲۰۱۵، انتقال پذیری مکانی یک مدل فعالیت - مینا (زمان‌بندی فعالیت سفر برای اعضاء خانوار) بررسی و به منظور ارزیابی انتقال پذیری، ویژگی‌های فعالیت مدل شده (شامل تعداد سفر، زمان شروع، مدت زمان و فاصله) با ویژگی‌های فعالیت مشاهده شده برای داده‌های مربوط به ارزیابی عادت‌های سفر (برای سفرهای کاری، خرید، تحصیل، سایر و بازگشت به خانه) مقایسه شدند. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که مدل‌ها در پیش‌بینی هر ۴ ویژگی (شامل تعداد سفر، زمان شروع سفر، مدت زمان و فاصله) برای سفرهای با هدف کاری، تحصیل و بازگشت به خانه، عملکرد خوبی دارند.<sup>[۱۲]</sup>

بنابراین در نوشتار حاضر، با توجه به اهمیت انتقال پذیری مدل‌های تولید سفر، کاهش استفاده از مدل‌های لوجیت رتبه‌ی در مرحله‌ی مذکور و همچنین عدم ارزیابی انتقال پذیری مدل لوجیت رتبه‌ی براساس همه‌ی معیارهای آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال، خوبی برآزش انتقالی، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون، انتقال پذیری مکانی مدل لوجیت رتبه‌ی براساس معیارهای ذکر شده بررسی شده است.

تعیین جهت برتر انتقال به تفکیک معیارهای انتقال پذیری است. لازم به ذکر است مدل‌ها در سطح چهارم (مقادیر پارامترها) انتقال می‌یابند و به منظور مدل‌سازی از نرم‌افزار استاتا ۱۴<sup>۶</sup> استفاده می‌شود.

در این راستا، از داده‌های اقتصادی - اجتماعی و سفرهای کاری روزانه‌ی خانوار در یک روز عادی هفته از آمارگیری مبدأ - مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر شامل ۴۷۳۴ خانوار قزوینی و ۳۴۳۹ خانوار اسلامشهری و به منظور ارزیابی انتقال پذیری از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال، خوبی برآزش انتقالی، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون استفاده شده است. نوشتار حاضر، شامل ۶ بخش است. پس از بخش کنونی، به مرور ادبیات، بررسی روش‌های استفاده شده در پژوهش، تحلیل آماره‌ی داده‌های نمونه‌ی موردی، تحلیل نتایج مدل‌سازی، ارزیابی انتقال پذیری و در بخش آخر به نتیجه‌گیری و پیشنهادها پرداخته شده است.

## ۲. مرور ادبیات

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌ی انتقال پذیری انجام شده و بخشی از آن‌ها به بررسی انتقال پذیری مدل‌های چهار مرحله‌ی کلاسیک و عوامل مؤثر در آن پرداخته‌اند. برای نمونه، در پژوهشی در سال ۱۹۸۰، انتقال پذیری مکانی مدل‌های تولید سفر رگرسیون خطی<sup>۷</sup> و طبقه‌بندی عرضی<sup>۸</sup> در سطوح خانوار و ناحیه بررسی شده است. همچنین به منظور ارزیابی انتقال پذیری، نتایج پیش‌بینی مدل‌های انتقال یافته و پرداخت شده در شهر مقصد مقایسه و نتیجه‌گیری شده است که مدل‌های پرداخت شده در سطح ناحیه نسبت به خانوار، انتقال پذیری بیشتری دارند و یکی از عوامل مؤثر در انتقال پذیری، شباهت شهرهای مبدأ و مقصد از نظر بعد خانوار، مالکیت وسیله‌ی نقلیه و سرانه‌ی درآمد است.<sup>[۱]</sup>

بررسی در مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۹۹۷، انتقال پذیری مکانی مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌ی شده است. هدف از پژوهش مذکور، ارزیابی عملکرد مدل لوجیت رتبه‌ی در انتقال پذیری به روش‌های مستقیم و بهنگام‌سازی پارامترها بوده و به منظور ارزیابی انتقال پذیری، از آماره‌های مربوط به قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون (WRMSE و APS)، خوبی برآزش انتقالی، و آماره‌ی  $t$  استفاده شده است. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که از مزایای انتقال پذیری به روش مستقیم، کاهش هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری داده‌های خانوار در ناحیه‌ی مقصد و از مزایای انتقال پذیری به روش بهنگام‌سازی پارامترها، بهبود قابلیت پیش‌بینی است و میان کاهش هزینه و انتقال پذیری، تهاوتی وجود دارد.<sup>[۵]</sup>

همچنین در بررسی انتقال پذیری مکانی مدل تولید سفر رگرسیون خطی در سطح خانوار براساس آماره‌ی آزمون انتقال، ضریب تعیین انتقال پذیری، و شاخص انتقال (۱۹۹۵)، نتیجه گرفته شده است که از عوامل مؤثر در انتقال پذیری مدل‌ها، کیفیت مدل‌های انتقال یافته (ضریب تعیین بالاتر) و دسته‌بندی شهرها براساس درآمد است.<sup>[۶]</sup> در سال ۱۳۷۹ نیز انتقال پذیری مکانی مدل‌های تولید سفر رگرسیون خطی در سطوح همفزون و ناهمفزون بررسی شده است. در این راستا، از داده‌های مربوط به سفرهای کاری، تحصیلی و خرید سه شهر شیراز، تهران و مشهد و به منظور ارزیابی انتقال پذیری، از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال و ضریب تعیین انتقال پذیری استفاده و نتیجه گرفته شده است که کیفیت مدل انتقال یافته و دسته‌بندی مناسب شهرها، تأثیر قابل ملاحظه‌ی در انتقال پذیری دارد و این دسته‌بندی می‌تواند براساس معیارهای متفاوتی از قبیل سرانه‌ی وسیله‌ی

### ۳. روش شناسی

در بخش حاضر، ابتدا به میانی نظری مدل لوجیت رتبه‌ی و روش پرداخت آن و در ادامه، به تعریف معیارهای سنجش انتقال‌پذیری پرداخته شده است.

#### ۱.۳. نظریه‌ی مدل لوجیت رتبه‌ی

با توجه به محدودیت‌های روش رگرسیون خطی (عدم ارائه‌ی نظریه‌ی رفتاری مسافر و ماهیت صحیح و غیرمنفی سفرها) در مدل کردن تولید سفر، مطالعات زیادی برای کاهش محدودیت‌های مدل رگرسیون خطی انجام شده است. جهت رفع محدودیت‌های ذکرشده، مدل‌های سانسور شده مانند توییت برای جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی، مدل‌های با داده‌های شمارشی مانند دوجمله‌ی منفی و پواسون برای جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت و پروبیت رتبه‌ی جهت ارائه‌ی نظریه‌ی رفتاری و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده است. در مطالعات اخیر به صورت گسترده‌ی، از مدل لوجیت رتبه‌ی به منظور مدل کردن تولید سفر استفاده شده است.<sup>[۱۳]</sup>

متغیر وابسته در مدل لوجیت رتبه‌ی، ماهیت ترتیبی دارد. به عنوان یکی از کاربردهای ملموس مدل لوجیت رتبه‌ی، می‌توان به مدل‌سازی نظرات افراد در مورد اجرای یک سیاست اشاره کرد، که متغیر وابسته در طبقات: خیلی موافقم، موافقم، مخالفم، و خیلی مخالفم قرار می‌گیرد و اختلاف بین طبقات خیلی موافقم و موافقم با اختلاف بین طبقات موافقم و مخالفم یکسان نیست. در مدل لوجیت رتبه‌ی فرض شده است که متغیر پنهان با تعدادی از متغیرهای مستقل به صورت رابطه‌ی ۱ در ارتباط است:<sup>[۱۴]</sup>

$$y_i^* = \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن:  $y_i^*$  متغیر وابسته‌ی پنهان؛  $x_i$  بردار متغیرهای مستقل برای مشاهده‌ی  $i$ ام؛  $\beta$  بردار ضرایب و  $\varepsilon_i$  جمله‌ی خطاست.

رابطه‌ی ۲، ارتباط متغیر پنهان با متغیر وابسته‌ی (مشاهده شده)  $y_i$  را نشان می‌دهد:<sup>[۱۴]</sup>

$$y_i = m \text{ if } \tau_{m-1} \leq y_i^* \leq \tau_m \quad m = 1, 2, \dots, j \quad (2)$$

که در آن،  $\tau$ ها، پارامترهای آستانه هستند و حدود طبقات گوناگون را تعیین می‌کنند. در نوشتار حاضر، متغیر وابسته‌ی مشاهده شده، تعداد سفرهای کاری خانوار است و در ۶ طبقه (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶) تقسیم‌بندی می‌شوند که  $y_i$  برابر ۱ به این معنی است که خانوار سفر کاری ندارد و  $y_i$  برابر ۶ به این معنی است که خانوار ۵ سفر کاری دارد. با توجه به بازه‌ی تغییرات پارامترهای آستانه، تعیین می‌شود که متغیر وابسته در کدام طبقه قرار دارد و خانوار چند سفر کاری انجام می‌دهد. در مدل لوجیت رتبه‌ی، ضرایب متغیرهای مستقل، در همه‌ی طبقات یکسان است و فقط عرض از مبدأ آن‌ها (آستانه‌ها) متفاوت است؛ همچنین فرض می‌شود که جمله‌ی خطا توزیع حدی با میانگین صفر و واریانس  $\frac{\pi^2}{3}$  دارد. در مدل مذکور، احتمال برابری متغیر وابسته با  $m$  به صورت رابطه‌ی ۳ نشان داده می‌شود:<sup>[۱۴]</sup>

$$\begin{aligned} Pr(y_i = m | x_i) &= Pr(\tau_{m-1} < \beta x_i + \varepsilon_i \leq \tau_m) \\ &= F(\tau_m - \beta x_i) - F(\tau_{m-1} - \beta x_i) \\ &= \frac{1}{1 + \exp(-\tau_m + \beta x_i)} - \frac{1}{1 + \exp(-\tau_{m-1} + \beta x_i)} \end{aligned} \quad (3)$$

به منظور پرداخت مدل لوجیت رتبه‌ی از روش بیشینه‌ی درست‌نمایی<sup>۱۲</sup> استفاده می‌شود. لگاریتم تابع درست‌نمایی به صورت رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود که با روش‌های عددی، بیشینه و مقادیر  $\beta$  و  $\tau$ ها برآورد می‌شود:<sup>[۱۳]</sup>

$$LL(\beta, \tau | y, x) = \sum_{i=1}^J \sum_{Y_i=j} \ln [F(\tau_j - \beta x_i) - F(\tau_{j-1} - \beta x_i)] \quad (4)$$

به منظور تفسیر ضرایب مدل لوجیت رتبه‌ی می‌توان از رابطه‌ی ۵ استفاده کرد:

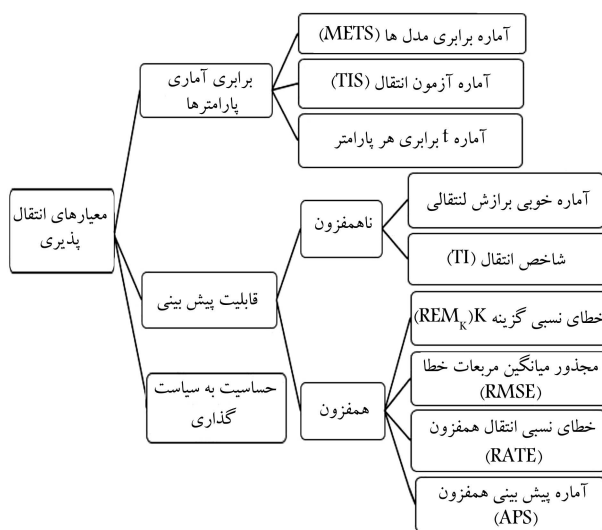
$$\frac{Pr(y_i > m)}{Pr(y_i \leq m)} = \exp(\beta x_i) \quad (5)$$

که تفسیر ضرایب به این شرح است: با ثابت فرض کردن سایر متغیرها، با افزایش متغیر  $x_1$  به اندازه‌ی ۱ واحد، احتمال اینکه خانوار بیش از  $m$  واحد نسبت به اینکه کمتر از  $m$  واحد سفر کند، به اندازه‌ی  $\beta$  واحد افزایش می‌یابد.

#### ۲.۳. معیارهای ارزیابی انتقال‌پذیری

معیارهای ارزیابی انتقال‌پذیری (شکل ۱) شامل ۳ دسته آزمون‌های آماری برابری پارامترهای مدل، معیارهای مربوط به قابلیت پیش‌بینی و مقایسه‌ی میزان حساسیت به سیاست‌گذاری هستند.<sup>[۱۵]</sup> آزمون‌های آماری برابری پارامترهای مدل، شامل آماره‌های برابری مدل (METS)<sup>۱۳</sup>، آزمون انتقال (TTS)<sup>۱۴</sup> و آماره‌ی  $t$  هستند که آماره‌های برابری مدل و آزمون انتقال به منظور آزمون برابری آماری پارامترهای مدل در ناحیه‌ی مبدأ و مقصد و آماره‌ی  $t$  به منظور مقایسه‌ی ضرایب یک متغیر مستقل مشخص بین دو ناحیه استفاده می‌شوند.<sup>[۱]</sup>

گرچه یک مدل از نظر آزمون‌های آماری برابری پارامترهای مدل، انتقال‌پذیر نیست؛ اما می‌تواند رفتار سفر در ناحیه‌ی مقصد را برای همه‌ی اهداف عملی به خوبی تقریب بزند. معیارهای قابلیت پیش‌بینی، برای ایجاد چنین ارزیابی‌های عملی استفاده می‌شوند. این معیارها، دقت پیش‌بینی مدل‌های انتقال یافته را در ناحیه‌ی مقصد اندازه می‌گیرند و بر میانی پیش‌بینی هم‌فزون یا ناهم‌فزون هستند. معیارهای مربوط به قابلیت پیش‌بینی به دو دسته‌ی قابلیت پیش‌بینی در سطح هم‌فزون و ناهم‌فزون تقسیم می‌شوند. معیارهای دسته‌ی اول، شامل آماره‌های خوبی برازش انتقالی<sup>۱۵</sup> و شاخص انتقال (TI)<sup>۱۶</sup>، و برخی از معیارهای دسته‌ی دوم شامل آماره‌های خطای نسبی گزینه‌ی  $k$  (REM<sub>k</sub>)<sup>۱۷</sup>، مجذور میانگین مربعات



شکل ۱. دسته‌بندی معیارهای سنجش انتقال‌پذیری.

۵.۲.۳. مجذور میانگین مربعات خط (RMSE)

آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خط، معیاری از خطا در پیش‌بینی هم‌فزون مدل انتقال یافته است و به صورت رابطه‌ی ۱۰ تعریف می‌شود: [۱۵]

$$\left( \frac{\sum_k PS_k \times REM_k^2}{\sum_k PS_k} \right)^{1/2} \quad (10)$$

۶.۲.۳. خطای نسبی انتقال هم‌فزون (RATE)

آماره‌ی خطای نسبی انتقال هم‌فزون (رابطه‌ی ۱۱)، معادل نرخ مجذور میانگین مربعات خطای مدل انتقال یافته نسبت به مدل پرداخت شده در ناحیه‌ی مقصد است و به منظور ارزیابی عملکرد مدل انتقال یافته نسبت به مدل پرداخت شده در ناحیه‌ی مقصد (در پیش‌بینی هم‌فزون مشاهدات شهر مقصد) استفاده می‌شود: [۱۵]

$$RATE = \frac{RMSE_i(\beta_j)}{RMSE_i(\beta_i)} \quad (11)$$

به منظور بررسی انتقال پذیری براساس معیارهای خطای نسبی گزینه‌ی  $k$ ، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال هم‌فزون، نیاز به ایجاد فرض‌هایی در مورد سطح قابل قبول خطا در دقت پیش‌بینی است. [۱۵]

۴. نمونه‌ی موردی

داده‌های اقتصادی - اجتماعی و سفرهای کاری خانوار در یک روز عادی هفته از آمارگیری مبدأ - مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر شامل ۴۴۷۹ خانوار قزوینی و ۳۱۸۳ خانوار اسلامشهری، شامل: اطلاعات سفر، ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی (تعداد اعضاء خانوار به تفکیک جنسیت و گروه سنی، شاغلین، محصلین و سواری شخصی در تملک هر خانوار)، و ویژگی‌های ناحیه‌ی سکونت هر خانوار (مساحت مسکونی، تجاری، تحصیلی، و جمعیت ناحیه) به ترتیب، در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ مبنای مدل‌سازی پژوهش حاضر بوده است. [۱۷، ۱۶] نمونه‌ی شهرهای قزوین و اسلامشهر، شامل اطلاعات به ترتیب ۱۶۶۶۵ و ۱۱۵۳۵ نفر است که به طور متوسط ۵۰٪ هر یک از دو نمونه شامل افراد مذکر بوده است. ۳۴٪ نمونه‌ی شهر قزوین و ۴۱٪ نمونه‌ی اسلامشهر را افراد شاغل تشکیل می‌دادند؛ همچنین ۳۱٫۵٪ افراد در نمونه‌ی شهر قزوین و ۳۰٫۶٪ افراد در نمونه‌ی اسلامشهر کمتر از ۱۹ سال سن داشتند و انجام سفرهای کاری از آن‌ها انتظار نمی‌رفت. نتایج تحلیل فراوانی (جدول ۱) حاکی از آن است که سفرهای کاری خانوار در شهر قزوین،

جدول ۱. نتایج تحلیل فراوانی سفرهای کاری خانوار در شهرهای قزوین و اسلامشهر. [۱۷، ۱۶]

تعداد سفر کاری خانوار	مشاهده‌های	
	قزوین	اسلامشهر
۰	۸۵۳ (۱۹٫۰۴)	۸۴۳ (۲۶٫۴۸)
۱	۲۰۸۴ (۴۶٫۵۳)	۱۷۴۷ (۵۴٫۸۸)
۲	۱۰۹۴ (۲۴٫۴۲)	۴۴۶ (۱۴٫۰۱)
۳	۳۱۲ (۶٫۹۷)	۱۰۲ (۲٫۰۳)
۴	۱۰۷ (۲٫۳۹)	۳۳ (۱٫۰۴)
۵	۲۹ (۰٫۶۵)	۱۲ (۰٫۳۸)
کل	۴۴۷۹ (۱۰۰)	۳۱۸۳ (۱۰۰)

\* فراوانی نسبی تعداد سفر کاری خانوار، در پرانتز نشان داده شده است.

خطا (RMSE) [۱۸]، خطای نسبی انتقال هم‌فزون (RATE) [۱۹] و آماره‌ی پیش‌بینی هم‌فزون (APS) [۲۰] هستند. [۱]

در نوشتار حاضر، به منظور بررسی برابری آماره‌ی پارامترهای مدل از آماره‌ی آزمون انتقال، برای قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح ناهم‌فزون از آماره‌های خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال و نیز برای قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح هم‌فزون از آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای نسبی انتقال هم‌فزون (RATE) استفاده شده است. تعریف معیارهای ارزیابی انتقال پذیری استفاده شده در نوشتار حاضر، به این شرح است:

۱.۲.۳. آماره‌ی آزمون انتقال

آماره‌ی آزمون انتقال (رابطه‌ی ۶) بر مبنای لگاریتم درست‌نمایی است و به منظور آزمون برابری مجموعه پارامترهای مدل در ناحیه‌ی مبدأ و مقصد استفاده می‌شود. [۱۰]

$$TTS = -2[LL_i(\beta_j) - LL_i(\beta_i)] \quad (6)$$

که در آن،  $L_i(\beta_j)$  لگاریتم درست‌نمایی در ناحیه‌ی مقصد براساس مدل ناحیه‌ی مبدأ و  $L_i(\beta_i)$  لگاریتم درست‌نمایی هم‌گرایی در ناحیه‌ی مقصد است. آماره‌ی آزمون انتقال، توزیع  $\chi^2$  با درجه آزادی مساوی با تعداد ضرایب مدل دارد و در صورتی که مقدار آن، از مقدار بحرانی  $\chi^2$  بیشتر شود، فرضیه‌ی برابری پارامترهای مدل در ناحیه‌ی مبدأ و مقصد رد خواهد شد. [۱۰]

۲.۲.۳. خوبی برازش انتقالی

آماره‌ی خوبی برازش انتقالی، میزان برازش مدل انتقال یافته به مشاهده‌های ناحیه‌ی مقصد را نسبت به یک مدل مرجع (مدل فقط با مقدار) نشان می‌دهد و به صورت رابطه‌ی ۷ تعریف می‌شود: [۱۵]

$$\rho_T^2 = 1 - \frac{LL_i(\beta_j)}{LL_i(C_i)} \quad (7)$$

که در آن،  $L_i(C_i)$  لگاریتم درست‌نمایی در ناحیه‌ی مقصد براساس مدل سهم بازار است. در نوشتار حاضر فرض شده است که مثبت بودن آماره‌ی خوبی برازش انتقالی، نشان‌دهنده‌ی روایی انتقال پذیری است. [۱۵]

۳.۲.۳. شاخص انتقال

شاخص انتقال (رابطه‌ی ۸)، یک معیار مشتق شده از آماره‌ی خوبی برازش انتقالی است و برابر با نسبت آماره‌ی خوبی برازش مدل انتقال یافته به مدل پرداخت شده در ناحیه‌ی مقصد است: [۱۵]

$$TI = \frac{LL_i(\beta_j) - LL_i(C_i)}{LL_i(\beta_i) - LL_i(C_i)} \quad (8)$$

شاخص انتقال، حد بالای ۱ دارد و فاقد حد پایین است؛ علاوه بر این مقادیر منفی آن نشان می‌دهد که مدل انتقال یافته نسبت به مدل سهم بازار در ناحیه‌ی مقصد، عملکرد ضعیف‌تری دارد. [۱۵]

۴.۲.۳. خطای نسبی گزینه‌ی  $k$

آماره‌ی خطای نسبی گزینه‌ی  $k$ ، میزان خطا در پیش‌بینی هم‌فزون هر یک از گزینه‌های انتخاب را نشان می‌دهد و طبق رابطه‌ی ۹ به دست می‌آید: [۱۵]

$$REM_k = \frac{PS_k - OS_k}{OS_k} \quad (9)$$

که در آن،  $PS_k$  و  $OS_k$ ، سهم پیش‌بینی و مشاهده شده‌ی گزینه‌ی  $k$  است. [۱۵]

جدول ۲. نتایج تحلیل آماری اهم متغیرهای پژوهش در سطح خانوار. [۱۶ و ۱۵]

نماد	تعریف	میانگین		انحراف معیار		کمینه		بیشینه	
		قزوین	اسلامشهر	قزوین	اسلامشهر	قزوین	اسلامشهر	قزوین	اسلامشهر
Wtrip	تعداد سفرهای کاری روزانه	۱٫۲۹	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۸۳	۰	۰	۵	۵
Employ	تعداد شاغلین	۱٫۲۳	۱٫۱۴	۰٫۷۲	۰٫۶۶	۰	۰	۵	۵
Nchild	تعداد فرزندان کمتر از ۱۸ سال	۱٫۱۷	۰٫۴۵	۰٫۹۲	۰٫۶۵	۰	۰	۴	۴
Adult ۱۹-۳۰	تعداد بزرگسالان ۱۹ تا ۳۰ سال	۰٫۹۰	۱٫۱۰	۰٫۹۸	۰٫۹۱	۰	۰	۷	۴
Adult ۳۱-۴۵	تعداد بزرگسالان ۳۱ تا ۴۵ سال	۱٫۰۰	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۹۰	۰	۰	۳	۶
Adult ۴۶-۶۰	تعداد بزرگسالان ۴۶ تا ۶۰ سال	۰٫۴۸	۱٫۱۷	۰٫۷۲	۰٫۸۳	۰	۰	۳	۵
Adult +۶۰	تعداد بزرگسالان بالای ۶۰ سال	۰٫۱۷	۰٫۳۹	۰٫۵۱	۰٫۶۷	۰	۰	۳	۴
Man	تعداد مردان	۱٫۹۳	۱٫۸۰	۰٫۹۷	۰٫۸۴	۰	۰	۷	۶
Woman	تعداد زنان	۱٫۷۹	۱٫۸۲	۰٫۸۷	۰٫۸۶	۰	۰	۶	۶
HHS	بعد خانوار	۳٫۷۲	۳٫۶۲	۱٫۱۲	۱٫۱۰	۱	۱	۱۱	۱۰
Auto	تعداد سواری شخصی در تملک	۰٫۶۸	۰٫۶۳	۰٫۵۸	۰٫۵۹	۰	۰	۴	۳
Cert	تعداد افراد دارای گواهینامه	۱٫۴۹	۱٫۳۲	۰٫۹۲	۰٫۸۹	۰	۰	۹	۷

جدول ۳. نتایج پرداخت مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌ی برای سفرهای کاری نمونه‌ی از شهروندان قزوین و اسلامشهر.

متغیر	قزوین		اسلامشهر	
	ضریب	آماره‌ی t	ضریب	آماره‌ی t
Employ	۲٫۷۱	۴۶٫۸۳	۲٫۱۳	۳۰٫۸۳
Auto	۰٫۴۰	۷٫۳۸	۰٫۳۸	۵٫۹۷
$\tau_1$	۱٫۴۳	۱۷٫۷۸	۱٫۲۹	۱۶٫۱۲
$\tau_2$	۴٫۴۹	۴۹٫۸۹	۴٫۵۴	۳۹٫۴۸
$\tau_3$	۷٫۱۹	۵۱٫۳۶	۶٫۷۳	۳۹٫۵۹
$\tau_4$	۹٫۲۶	۵۱٫۴۴	۸٫۳۳	۳۶٫۲۲
$\tau_5$	۱۱٫۳۸	۴۲٫۱۵	۹٫۸۳	۲۸٫۰۸
$\rho_c^2$	۰٫۲۷		۰٫۱۸	
LL( $\beta$ )	-۴۳۴۹٫۵۷		-۲۹۷۲٫۴۷	
LL(C)	-۵۹۵۸٫۱۷		-۳۶۱۳٫۲۸	
LR $\chi^2$ (۳)	۳۱۵۷٫۰۶		۱۲۸۱٫۶۳	
Prob > $\chi^2$	۰٫۰۰۰		۰٫۰۰۰	
N(observations)	۴۴۷۹		۳۱۸۳	

فلووانی بیشتری دارند؛ یعنی ساختار و رفتار سفر کاری این دو شهر دقیقاً یکسان نیست، که قاعدتاً اثر منفی در انتقال‌پذیری دارد؛ اما نمونه‌ی خوبی برای بررسی چالش‌های انتقال‌پذیری است. به طور متوسط ۱۹٪ خانوارهای نمونه‌ی شهر قزوین و ۲۶٪ خانوارهای نمونه‌ی اسلامشهر سفر کاری نداشتند. ۴۷٪ خانوارهای قزوین و ۵۵٪ خانوارهای اسلامشهر ۱ سفر کاری، همچنین ۳۴٪ خانوارهای قزوین و ۱۹٪ خانوارهای اسلامشهر بیش از ۱ سفر کاری داشتند. [۱۷ و ۱۶]

نتایج تحلیل آماری اهم متغیرهای پژوهش (جدول ۲) نشان می‌دهد که میانگین تعداد افراد، سفرهای کاری، سواری شخصی در تملک، شاغلین، افراد مذکر، افراد در رده‌های سنی ۱۸-۷، ۳۱-۴۵ در شهر قزوین بیشتر از اسلامشهر بوده است؛ اما به طور کلی با توجه به متفاوت بودن تعداد مشاهده‌ها در نمونه‌ها، همه‌ی متغیرها، یک ثبات نسبی در میانگین و دامنه‌ی تغییرات داشتند. [۱۷ و ۱۶]

## ۵. تحلیل نتایج

با توجه به اینکه در مدل لوجیت رتبه‌ی برای خانوارهای با ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ سفر، سهم در نظر گرفته شده است، متغیر وابسته در مدل هر دو شهر ۶ طبقه دارد. واضح است که افزایش تعداد طبقات، باعث افت میزان برآزش و انتقال‌پذیری مدل می‌شود. با پرداخت بیش از ۲۰۰ مدل لوجیت رتبه‌ی در شهر قزوین، انواع متغیرهای مختلف موجود و ترکیب منطقی آن‌ها بررسی و در نهایت مدل برتر براساس آماره‌های خوبی برآزش، نسبت درست‌نمایی و با توجه به منطقی بودن علامت و معنی دار بودن ضرایب متغیرها انتخاب شده است، که شامل دو متغیر تعداد شاغلین و سواری شخصی در تملک خانوار است. [۱۸]

در اسلامشهر نیز این فرایند تکرار شد، با پرداخت بیش از ۱۰۰ مدل لوجیت رتبه‌ی، براساس معیارهای ذکر شده‌ی اخیر، مدل برتر انتخاب شده است، که مشابه مدل برتر شهر قزوین است. با توجه به تجربه و دیدی که از مدل‌سازی شهر اول (قزوین) به دست آمد، مدل‌سازی شهر دوم (اسلامشهر) متمرکز بود و طبیعتاً تعداد مدل‌ها کاهش محسوسی داشت. با توجه به دلایل ذکر شده، دو متغیره بودن مدل‌های شهر قزوین و اسلامشهر قابل توجیه است:

۱. سایر متغیرهای موجود آزمون شدند؛ اما بهترین مدل دو شهر، شامل دو متغیر تعداد شاغلین و سواری شخصی در تملک خانوار بود.
۲. لازم است متغیرهایی در مدل شهر مبدأ به‌کار روند که در شهر مقصد نیز قابل محاسبه باشند.
۳. محدودیت داده وجود دارد.

براساس نتایج پرداخت مدل لوجیت رتبه‌ی (جدول ۳)، علامت ضرایب متغیرها در هر دو شهر، منطقی و مشابه است. علامت مثبت ضریب متغیرها حاکی از آن است که افزایش تعداد شاغلین و سواری شخصی در تملک خانوار باعث افزایش تعداد سفرهای کاری خانوار می‌شود. از آنجا که متغیر تعداد شاغلین بیشترین تأثیر را در مقدار آماره‌ی نسبت درست‌نمایی داشت، مؤثرترین عامل در تولید سفرهای کاری خانوار محسوب می‌شود.

جدول ۴. انتقال پذیری مدل لوجیت رتبه‌ی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌های آزمون انتقال، خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال.

$\chi^2_{crit}$	آماره‌ی آزمون انتقال	شاخص انتقال	خوبی برازش انتقالی		مقصد	مبدا
			مقصد	مقصد		
۵٫۹۹	۴۰۹٫۰۰	۰٫۶۷	۰٫۱۸	۰٫۱۲	اسلامشهر	قزوین
۵٫۹۹	۶۳۸٫۲۶	۰٫۸۱	۰٫۲۷	۰٫۲۲	قزوین	اسلامشهر

مقدار آماره‌ی خوبی برازش انتقالی (جدول ۴) مدل انتقال یافته به اسلامشهر (۰٫۱۲) به صورت مطلق مقدار کمی داشته و مقدار آماره‌ی خوبی برازش مدل پرداخت شده در اسلامشهر مقدار (۰٫۱۸) بوده است؛ همچنین آماره‌ی خوبی برازش انتقالی مدل انتقال یافته به قزوین (۰٫۲۲) با آماره خوبی برازش مدل پرداخت شده در شهر قزوین (۰٫۲۷) تفاوت زیادی ندارد. مثبت بودن آماره‌ی خوبی برازش انتقالی در هر دو جهت (قزوین به اسلامشهر و اسلامشهر به قزوین)، روایی انتقال پذیری را نشان می‌دهد.

مقدار شاخص انتقال، معیاری نسبی است و نسبت خوبی برازش مدل انتقال یافته به مدل پرداخت شده در شهر مقصد را نشان می‌دهد و هر چه مقدار آن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل انتقال یافته است و در صورتی که مقدار آن منفی شود، نشان می‌دهد که مدل انتقال یافته از بی‌مدلی نیز بدتر است. مقدار این شاخص (جدول ۴) در مدل انتقال یافته به اسلامشهر (۰٫۶۷) نشان می‌دهد که گرچه مدل انتقال یافته به خوبی مدل پرداخت شده در اسلامشهر عمل نمی‌کند، اما عملکرد خوبی در پیش‌بینی ناهمفزون مشاهده‌های اسلامشهر است و مقدار این شاخص در مدل انتقال یافته به شهر قزوین (۰٫۸۱) نشان می‌دهد که مدل انتقال یافته به میزان خوبی رفتار سفر مشاهده‌های شهر قزوین را در سطح ناهمفزون توصیف می‌کند.

معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون، شامل مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون نشان می‌دهند که به چه میزان یک مدل پرداخت شده در شهر مبدأ، سهم سفرهای مشاهده‌شده در شهر مقصد را (به تفکیک طبقه‌بندی: خانوارهای با ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ سفر) پیش‌بینی می‌کند، که آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا، معیاری مطلق و خطای نسبی انتقال همفزون، معیاری نسبی هستند و قابلیت مدل انتقال یافته را نسبت به مدل پرداخت شده در شهر مقصد در پیش‌بینی نشان می‌دهند.

مقدار آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا (جدول ۵) در مدل‌های پرداخت شده‌ی شهرهای قزوین (۲٪) و اسلامشهر (۳٪) بسیار کم است؛ یعنی مدل لوجیت رتبه‌ی پرداخت شده در هر شهر، سهم سفرهای همان شهر را بسیار خوب پیش‌بینی می‌کند و برازش زیادی به مشاهده‌ها دارد؛ همچنین مقدار معیار مذکور در مدل انتقال یافته به شهر قزوین ۲۳٪ است، هر چند مقدار این خطا زیاد نیست، اما ۱۱٫۵ برابر مقدار معادل آن در مدل پرداخت شده‌ی شهر قزوین است و مقدار معیار مجذور میانگین مربعات خطا در مدل انتقال یافته به اسلامشهر ۵۲٪ است که ۱۷ برابر مقدار معادل آن در مدل پرداخت شده‌ی اسلامشهر است. در واقع مدل‌های انتقال یافته بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌ی خطای نسبی انتقال همفزون، عملکرد ضعیفی در انتقال پذیری دارند.

مقادیر آماره‌های آزمون انتقال، خوبی برازش انتقالی، شاخص انتقال، مجذور میانگین مربعات خطا، و خطای نسبی انتقال همفزون نشان می‌دهند که مدل از نظر معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون عملکرد خوبی در انتقال پذیری دارد، اما از نظر معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون، عملکرد خوبی در انتقال پذیری ندارد که این نتیجه نشان‌دهنده‌ی

جدول ۵. انتقال پذیری مدل لوجیت رتبه‌ی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون.\*

مبدا	مقصد	
	قزوین	اسلامشهر
قزوین	۰٫۲۰ (۱٫۰۰)	۰٫۵۲ (۱۷٫۳۳)
اسلامشهر	۰٫۲۳ (۱۱٫۵۰)	۰٫۰۳ (۱٫۰۰)

\* اعداد داخل پرانتز، خطای انتقال همفزون نسبی هستند.

در مدل حاضر از جمله‌ی ثابت استفاده نشده است؛ زیرا در نمونه‌ی مورد نظر، متغیر وابسته، ۶ طبقه دارد و در صورتی که ۵ پارامتر آستانه برآورد شود، از جمله‌ی ثابت در مدل استفاده نمی‌شود (در صورتی که ۴ پارامتر آستانه برآورد شود، از جمله‌ی ثابت نیز در مدل استفاده می‌شود). در شهر قزوین، با افزایش تعداد شاغلین به اندازه‌ی ۱ نفر (با فرض ثابت بودن سایر متغیرها)، احتمال بزرگ‌تر بودن تعداد سفر هر خانوار از هر آستانه نسبت به کوچک‌تر و یا مساوی بودن آن از مقدار آستانه،  $15,03 (e^{2,71})$  برابر بیشتر می‌شود. علاوه بر این، با افزایش تعداد سواری شخصی در تملک خانوار به اندازه‌ی ۱ واحد، احتمال بزرگ‌تر بودن تعداد سفر هر خانوار از هر آستانه نسبت به کوچک‌تر یا مساوی بودن آن از مقدار آستانه،  $1,49 (e^{0,40})$  برابر بزرگ‌تر می‌شود. در اسلامشهر نیز تفسیر ضرایب به صورت مشابه انجام شده است.

آماره‌ی نسبت درست‌نمایی و خوبی برازش در شهر قزوین بیشتر از اسلامشهر بوده است؛ یعنی مدل دو متغیره‌ی پرداخت شده در شهر قزوین نسبت به اسلامشهر برازش بیشتری به مشاهده‌ها دارد. ضریب متغیر تعداد شاغلین در شهر قزوین بیشتر از اسلامشهر و ضریب متغیر تعداد سواری شخصی در تملک خانوار، در دو شهر مشابه بوده است، که نشان می‌دهد اضافه شدن یک نفر به تعداد شاغلین بر تعداد سفرهای کاری هر خانوار در شهر قزوین نسبت به اسلامشهر تأثیر بیشتری می‌گذارد، در حالی که اضافه شدن یک واحد بر تعداد سواری شخصی، تأثیر مشابهی دارد. انتقال پذیری مدل لوجیت رتبه‌ی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر معیار برابری آماری پارامترهای مدل، شامل آماره‌ی آزمون انتقال و معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون و ناهمفزون شامل خوبی برازش انتقالی، شاخص انتقال، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون بررسی و مقادیر آماره‌های مذکور در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴، در انتقال مدل لوجیت رتبه‌ی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر، آماره‌ی آزمون انتقال از مقدار بحرانی  $\chi^2$  بیشتر شده است و فرضیه‌ی برابری پارامترهای مدل‌های دو شهر رد می‌شود. معیارهای قابلیت پیش‌بینی، دقت پیش‌بینی مدل‌های انتقال یافته را در ناحیه‌ی مقصد اندازه می‌گیرند و بر مبنای پیش‌بینی همفزون یا ناهمفزون هستند. در واقع معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون، شامل خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال، نشان می‌دهند که به چه میزان یک مدل پرداخت شده در شهر مبدأ، تعداد سفرهای مشاهده‌شده در شهر مقصد را پیش‌بینی می‌کند.

اقتصادی - اجتماعی سفرهای کاری روزانه‌ی خانوار در یک روز عادی هفته از آمارگیری مبدأ-مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر شامل ۴۴۷۹ خانوار قزوینی و ۳۱۸۳ خانوار اسلامشهری استفاده شد. به منظور ارزیابی انتقال پذیری از معیارهای مربوط به برابری آماری پارامترهای مدل (آماره‌ی آزمون انتقال)، قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح ناهمفزون (آماره‌های خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال) و قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح همفزون (آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون) استفاده شد.

براساس نتایج پژوهش، فرضیه‌ی برابری پارامترهای مدل‌های دو شهر (براساس آماره‌ی آزمون انتقال) رد شد. مدل‌های انتقال یافته به اسلامشهر و قزوین با آماره‌ی خوبی برازش انتقالی، به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۲۲، شاخص انتقال ۰/۶۷ و ۰/۸۱، آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا ۰/۵۲ و ۰/۲۳ و آماره‌ی خطای نسبی انتقال همفزون ۱۷/۳۳ و ۱۱/۵۰ بودند. دو آماره‌ی اول، نشان‌دهنده‌ی قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح ناهمفزون، به ترتیب به صورت مطلق و نسبی؛ و دو آماره‌ی دوم، نشان‌دهنده‌ی قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح همفزون به ترتیب به صورت مطلق و نسبی هستند، که به علت عدم مطالعه‌ی مشابه قابل قیاس نیستند. مقادیر آماره‌های مذکور نشان می‌دهد که مدل از نظر معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون عملکرد خوبی در انتقال پذیری دارد، اما از نظر معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون عملکرد خوبی در انتقال پذیری ندارد. که نشان‌دهنده‌ی چند بُعدی بودن انتقال پذیری است. یعنی انتقال پذیری از دیدگاه‌های مختلف، نتایج مختلف دارد و به راحتی نمی‌توان آن را پیش‌بینی کرد؛ به عبارت دیگر، انتقال پذیری از نظر معیارهای عملکردی، پدیده‌ی پیچیده است. علاوه بر این، بیشتر معیارها، جهت برتر انتقال را به سمت شهر با مدل با برازش بالاتری (اسلامشهر به قزوین) تعیین کرده‌اند.

به علت محدودیت داده، پژوهش حاضر فقط محدود به دو متغیر توضیحی در فرایند مدل‌سازی بود. طبیعتاً در این شرایط نمی‌توان انتظار انتقال پذیری خیلی زیادی را داشت، علی‌رغم اینکه متغیرهای مورد استفاده، قدرت توضیح‌دهندگی بالایی داشتند. در ادامه، می‌توان از متغیرهای توضیحی بیشتر به خصوص متغیرهای مربوط به ناحیه‌ی سکونت خانوار، دوره‌ی زندگی، و دسترسی برای بررسی میزان برازش و انتقال پذیری استفاده کرد.

چند بُعدی بودن انتقال پذیری است. یعنی انتقال پذیری از دیدگاه‌های مختلف، نتایج مختلف دارد و به راحتی نمی‌توان آن را پیش‌بینی کرد؛ به عبارت دیگر، انتقال پذیری از نظر معیارهای عملکردی، پدیده‌ی پیچیده است.

علاوه بر این مدل لوجیت رتبه‌ی انتقال یافته به شهر قزوین نسبت به مدل انتقال یافته به اسلامشهر از نظر آماره‌های خوبی برازش انتقالی، شاخص انتقال، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون عملکرد بهتری در انتقال پذیری دارد و به عنوان جهت برتر انتقال تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، همه‌ی معیارها، جهت برتر انتقال را به سمت شهر با آماره‌ی خوبی برازش بالاتر نشان می‌دهند و این مشاهده در سایر مطالعات مشابه نیز صدق داشته است.

با توجه به اینکه هدف از انجام نوشتار حاضر، یک تحلیل چندجانبه و جزئی با جزئیات دقیق از انتقال پذیری مدل لوجیت رتبه‌ی است، نوشتار حاضر به دنبال یافتن یک جواب بلی و خیر نیست؛ زیرا اصولاً ماهیت مسئله‌ی انتقال پذیری این نیست. مسئله‌ی انتقال پذیری، مسئله‌ی پیچیده و چندجانبه است و به همین علت از معیارهای مختلفی به منظور ارزیابی انتقال پذیری استفاده می‌شود، که از جنبه‌های مختلف آن را بررسی می‌کنند. جمع‌بندی نوشتار حاضر به شکل کلی حاکی از آن است که مدل لوجیت رتبه‌ی از نظر معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون، عملکرد خوبی در انتقال پذیری دارد؛ اما از نظر معیار برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون، عملکرد خوبی در انتقال پذیری ندارد. همچنین مدل انتقال یافته به شهر قزوین نسبت به مدل انتقال یافته به اسلامشهر، عملکرد بهتری در انتقال پذیری دارد.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه هزینه‌ی جمع‌آوری داده برای مدل‌سازی تقاضای سفر بسیار بالاست، انتقال مدل‌ها به علت صرفه‌جویی در منابع، اهمیت و جذابیت زیادی دارد. در نوشتار حاضر، انتقال پذیری مکانی مدل تولید سفر از نوع لوجیت رتبه‌ی بین دو نمونه با مقیاس واقعی بررسی و جهت برتر انتقال (قزوین به اسلامشهر یا اسلامشهر به قزوین) به تفکیک معیارهای انتقال پذیری تعیین شد. در این راستا، از داده‌های

## پانویس‌ها

1. underlying theory of travel behavior
2. mathematical model class
3. specific model form
4. parameter values
5. ordered logit
6. Stata ۱۴
7. linear regression
8. cross classification
9. multinomial logit
10. commute trip
11. activity-based model
12. maximum likelihood estimation
13. model equality test statistic

14. transferability test statistic
15. transfer rho-square
16. transfer Index
17. relative error measure
18. root-mean-square error
19. relative aggregate transfer error
20. aggregate prediction statistic

## منابع (References)

1. Sikder, S. "Spatial transferability of activity-based travel forecasting model", Ph.D. Thesis, University of South Florida (2013).

2. Koppelman, F.S. and Wilmot, C.G. "Transferability analysis of disaggregate choice models", Transportation Research Board, 895 (1982).
3. Han, Y. "Temporal transferability assessments of vehicle ownership models and trip generation models for Boston Metropolitan area", Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology (2015).
4. Caldwell, L.C. and Demetsky, M.J. "Transferability of trip generation models", Transportation Research Record, 751 (1980).
5. Agyemang-Duah, K. and Hall, F.L. "Spatial transferability of an ordered response model of trip generation", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **31**(5), pp. 389-402 (1997).
6. Wilmot, C.G. "Evidence on transferability of trip-generation models", *Journal of Transportation Engineering*, **121**(5), pp. 405-410 (1995).
7. Mashaghzadehfard, S. "Transferability of trip production models", MSc thesis, sharif University of Technology (1990).
8. Everett, J.D. "An investigation of the transferability of trip generation models and the utilization of aSpatial context variable", Ph.D. Thesis, University of Tennessee-Knoxville (2009).
9. Huntsinger, L.F., Roupail, N.M. and Bloomfield, P. "Trip generation models using cumulative logistic regression", *Journal of Urban Planning and Development*, **139**(3), pp. 176-184 (2013).
10. Shams, K., Jin, X. and Argote, J. "Examining temporal transferability of trip frequency choice models", In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (2014).
11. Baghestani, A.H. "Spatial ransferability of mode choice models for urban trips", MSc Thesis, Tarbiat Modares University (2013).
12. Yasmin, F., Morency, C. and Roorda, M.J. "Assessment of spatial transferability of an activity-based model, TASHA", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **78**, pp. 200-213 (2015).
13. Chang, J.S., Jung, D., Kim, J. and et al. "Comparative analysis of trip generation models: Results using home-based work trips in the Seoul metropolitan area", *Transportation Letters*, **6**(2), pp. 78-88 (2014).
14. Long, J.S. "Regression models for categorical and limited dependent variables", Sage Publications, Thousand Oaks, CA. (1997).
15. Koppelman, F.S. and Rose, G. "Geographic transfer of travel choice models: Evaluation and procedures, in optimization and discrete choice in urban systems", Springer, pp. 272-309 (1985).
16. Master Plan of Qazvin Transportation and Traffic, "trip demand model collaboration", chapter 3, Atiehsaz (2012).
17. Master Plan of Qazvin Transportation and Traffic, "data gathering and base year analysis", chapter 1, Atiehsaz (2014).
18. Ahmadipour, F. "transferability analysis discrete choice models of trip generation", Tarbiat Modares University (2016).