مهندسی عمران شریف (بهار ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۲ - ۳۵، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۱-۱۸

Original Article

تحلیلی کمّی و چندجانبه از انتقال‌پذیری مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌یی (مطالعه‌ی موردی: شهرهای قزوین و اسلامشهر)

فاطمه احمدی‌پور (کارشناس ارشد)
امیررضا ممدوحی * (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 رتبه‌یی بین دو نمونه با مقیاس واقعی و تعیین جهت برتر انتقال است. در این راستا، از داده‌های اقتصادی ـ اجتماعی و سفرهای کاری روزانه‌ی خانوار از آمارگیری مبدأ ـ مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های انتقال‌یافته 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 مسئله‌یی پیچیده و چندجانبه است و به همین دلیل، معیارهای متفاوتی به منظور ارزیابی آن پیشنهاد شده است.

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

fatemeh.ahmadipour@modares.ac.ir
armamdoohi@modares.ac.ir

۱. مقدمه

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.[۱]

برخی پژوهشگران (۱۹۸۲)،[۲] انتقال‌پذیری را به این صورت تعریف کرده‌اند: «کارآیی 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 قبلی استفاده می‌شود. همچنین فرض می‌شود روابط بنیادی بین سفر متغیرهای اقتصادی ـ اجتماعی و کاربری زمین در طول زمان ثابت باقی می‌ماند یا از یک الگوی مشخص تبعیت می‌کند.[۳]

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

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 رتبه‌یی 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 رتبه‌یی[۵] در سطح ناهمفزون خانوار و

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۶/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۶/۳/۲۸، پذیرش ۱۳۹۶/۴/۳.
DOI:10.24200/J30.2018.1570.1908

تعیین جهت برتر انتقال به تفکیک معیارهای انتقال‌پذیری است. لازم به ذکر است مدل‌ها در سطح چهارم (مقادیر پارامترها) انتقال می‌یابند و به منظور مدل‌سازی از نرم‌افزار استاتا ۱۴[۶] استفاده می‌شود.

در این راستا، از داده‌های اقتصادی ـ اجتماعی و سفرهای کاری روزانه‌ی خانوار در یک روز عادی هفته از آمارگیری مبدأ ـ مقصد ساکنان شهرهای قزوین و اسلامشهر شامل ۴۷۳۴ خانوار قزوینی و ۳۴۳۹ خانوار اسلامشهری و به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال، خوبی برازش 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 آماری داده‌های نمونه‌ی موردی، تحلیل نتایج مدل‌سازی، ارزیابی انتقال‌پذیری و در بخش آخر به نتیجه‌گیری و پیشنهادها پرداخته شده است.

۲. مرور ادبیات

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌ی انتقال‌پذیری انجام شده و بخشی از آن‌ها به بررسی انتقال‌پذیری مدل‌های چهارمرحله‌یی کلاسیک و عوامل مؤثر در آن پرداخته‌اند. برای نمونه، در پژوهشی در سال ۱۹۸۰، انتقال‌پذیری مکانی مدل‌های تولید سفر رگرسیون خطی[۷] و طبقه‌بندی عرضی[۸] در سطوح خانوار و ناحیه بررسی شده است. همچنین به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری، نتایج پیش‌بینی مدل‌های انتقال‌یافته و پرداخت شده در شهر مقصد مقایسه و نتیجه‌گیری شده است که مدل‌های پرداخت شده در سطح ناحیه نسبت به خانوار، انتقال‌پذیری بیشتری دارند و یکی از عوامل مؤثر در انتقال‌پذیری، شباهت شهرهای مبدأ و مقصد از نظر بعد خانوار، مالکیت وسیله‌ی نقلیه و سرانه‌ی درآمد است.[۴]

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

همچنین در بررسی انتقال‌پذیری مکانی مدل تولید سفر رگرسیون خطی در سطح خانوار براساس آماره‌ی آزمون انتقال، ضریب تعیین انتقال‌پذیری، و شاخص انتقال (۱۹۹۵)، نتیجه گرفته شده است که از عوامل مؤثر در انتقال‌پذیری مدل‌ها، کیفیت مدل‌های انتقال یافته (ضریب تعیین بالاتر) و دسته‌بندی شهرها براساس درآمد است.[۶] در سال ۱۳۷۹ نیز انتقال‌پذیری 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 انتقال‌پذیری، از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال و ضریب تعیین انتقال‌پذیری استفاده و نتیجه گرفته شده است که کیفیت مدل انتقال‌یافته و دسته‌بندی مناسب شهرها، تأثیر قابل ملاحظه‌یی در انتقال‌پذیری دارد و این دسته‌بندی می‌تواند براساس معیارهای متفاوتی از قبیل سرانه‌ی وسیله‌ی نقلیه و درآمد انجام گیرد یا به تفکیک هدف سفر، معیارهای جداگانه‌یی تعریف شود.[۷]

همچنین در تحلیل انتقال‌پذیری مکانی مدل ایجاد سفر طبقه‌بندی عرضی در سطح ناهمفزون فردی (۲۰۰۹) نتیجه‌گیری شد که استفاده از متغیرهای مربوط به ناحیه‌ی سکونت، انتقال‌پذیری را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد.[۸] برخی پژوهشگران نیز در سال ۲۰۱۳، انتقال‌پذیری زمانی مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌یی را در سطح ناهمفزون فردی بررسی کردند. ایشان از انجام پژوهش مذکور، دو هدف را دنبال می‌کردند: ۱. آیا استفاده از مدل لوجیت رتبه‌یی برای تخمین تعداد سفر مناسب است؟ ۲. آیا متغیرهای مربوط به دوره‌ی زندگی، نوع ناحیه و دسترسی میزان برازش و عملکرد مدل را در انتقال‌پذیری بهبود می‌بخشند؟ آن‌ها به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری، از معیارهای مربوط به قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون (REM_K ، WRMSE و RSRS) و آماره‌ی t استفاده کردند و پی بردند مدل لوجیت رتبه‌یی برای تخمین تعداد سفر مدل مناسبی است، همچنین استفاده از متغیرهای ذکر شده، میزان برازش و انتقال‌پذیری مدل را بهبود می‌بخشد.[۹]

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

در سال ۲۰۱۳ نیز انتقال‌پذیری مکانی مدل انتخاب وسیله‌ی لوجیت چندجمله‌یی در ۴ سطح انتقال‌پذیری 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 انتقال‌پذیری، از آماره‌ی آزمون انتقال، شاخص انتقال و خطای نسبی گزینه‌ی k استفاده شد. نتایج پژوهش اخیر نشان داد که مدل انتخاب وسیله، در سطوح اول، دوم و سوم انتقال‌پذیر و در سطح چهارم انتقال‌ناپذیر است.[۱۱]

بخش دیگری از مطالعات که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، به بررسی انتقال‌پذیری مدل‌های فعالیت ـ مبنا[۱۱] پرداخته است. برای نمونه، در پژوهشی در سال ۲۰۱۵، انتقال‌پذیری مکانی یک مدل فعالیت ـ مبنا (زمان‌بندی فعالیت سفر برای اعضاء خانوار) بررسی و به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری، ویژگی‌های فعالیت مدل‌شده (شامل تعدادسفر، زمان شروع، مدت زمان و فاصله) با ویژگی‌های فعالیت مشاهده‌شده برای داده‌های مربوط به ارزیابی عادت‌های سفر (برای سفرهای کاری، خرید، تحصیل، سایر و بازگشت به خانه) مقایسه شدند. با توجه به نتایج به‌دست 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.[۱۲]

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

۳. روش‌شناسی

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

۱.۳. نظریه‌ی مدل لوجیت رتبه‌یی

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 سانسورشده مانند توبیت برای جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی، مدل‌های با داده‌های شمارشی مانند دوجمله‌یی منفی و پواسون برای جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت و پروبیت رتبه‌یی جهت ارائه‌ی نظریه‌ی رفتاری و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده ست. در مطالعات اخیر به‌صورت گسترده‌یی، از مدل لوجیت رتبه‌یی به منظور مدل کردن تولید سفر استفاده شده است.[۱۳]

متغیر وابسته در مدل لوجیت رتبه‌یی، ماهیت ترتیبی دارد. به‌عنوان یکی از کاربردهای ملموس مدل لوجیت رتبه‌یی، 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 رتبه‌یی فرض شده است که متغیر پنهان با تعدادی از متغیرهای مستقل به‌صورت رابطه‌ی ۱ در ارتباط است:[۱۴]

$$y_i^* = \beta x_i + \varepsilon_i \qquad (۱)$$

که در آن: y_i^* متغیر وابسته‌ی پنهان؛ x_i بردار متغیرهای مستقل برای مشاهده‌ی iاُم؛ β بردارضرایب و و ε_i جمله‌ی خطاست.

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

$$y_i = m \ if \ \tau_{m-1} \le y_i^* \le \tau_m \quad m = 1, 2, ..., j \qquad (۲)$$

که در آن، τها، 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 و ۶) تقسیم‌بندی می‌شوند که y_i برابر ۱ به این معنی است که خانوار سفرکاری ندارد و y_i برابر ۶ به این معنی است که خانوار ۵ سفرکاری دارد. با توجه به بازه‌ی تغییرات پارامترهای آستانه، تعیین می‌شود که متغیر وابسته در کدام طبقه قرار دارد و خانوار چند سفرکاری انجام می‌دهد. در مدل لوجیت رتبه‌یی، 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 به‌صورت رابطه‌ی ۳ نشان داده می‌شود:[۱۴]

$$\begin{aligned} Pr(y_i = m|x_i) &= Pr(\tau_{m-1} \prec \beta x_i + \varepsilon_i \le \tau_m) \\ &= F(\tau_m - \beta x_i) - F(\tau_{m-1} - \beta x_i) \\ &= \frac{1}{1+\exp(-\tau_m + \beta x_i)} \frac{1}{1+\exp(-\tau_{m-1} + \beta x_i)} \end{aligned} \qquad (۳)$$

به منظور پرداخت مدل لوجیت رتبه‌یی از روش بیشینه‌ی درست‌نمایی[۱۲] استفاده می‌شود. لگاریتم تابع درست‌نمایی به‌صورت رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود که با روش‌های عددی، بیشینه و مقادیر β و τها برآورد می‌شود:[۱۳]

$$LL(\beta, \tau|y, x) = \sum_{i=1}^{J} \sum_{Y_i=j} \ln [F(\tau_j - \beta x_i) - F(\tau_{j-1} - \beta x_i) \qquad (۴)$$

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

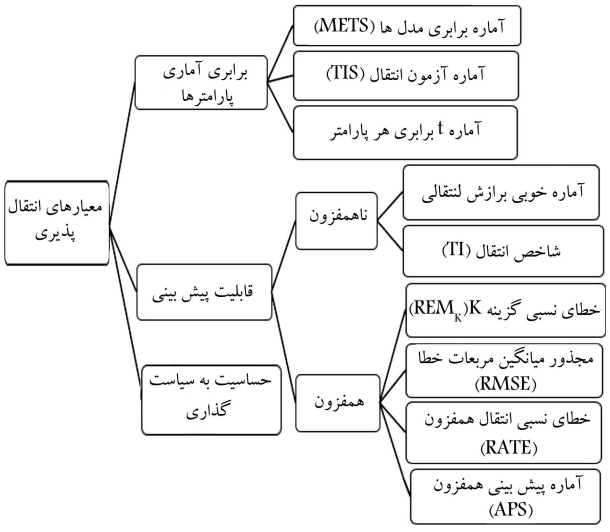
$$\frac{pr(y_i > m)}{pr(y_i \le m)} = \exp(\beta x_i) \qquad (۵)$$

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 سفرکند، به اندازه‌ی β 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.[۱] آزمون‌های آماری برابری پارامترهای مدل، شامل آماره‌های برابری مدل (METS)[۱۳]، آزمون انتقال (TTS)[۱۴] و آماره‌ی t هستند که آماره‌های برابری مدل و آزمون انتقال به منظور آزمودن 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.[۱]

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 مبنای 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[۱۵] و شاخص انتقال (TI)[۱۶]، و برخی از معیارهای دسته‌ی دوم شامل آماره‌های خطای نسبی گزینه‌ی k (REMk)[۱۷]، مجذور میانگین مربعات



شکل ۱. دسته‌بندی معیارهای سنجش انتقال‌پذیری.

خطا (RMSE)[18]، خطای نسبی انتقال همفزون (RATE)[19] و آماره‌ی پیش‌بینی همفزون (APS)[20] هستند.[1]

در نوشتار حاضر، به منظور بررسی برابری آماری 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 انتقال‌پذیری استفاده‌شده 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 آزمودن برابری مجموعه پارامترهای مدل در ناحیه‌ی مبدأ و مقصد استفاده می‌شود.[10]

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

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 χ^2 با درجه آزادی مساوی با تعداد ضرایب مدل دارد و در صورتی که مقدار آن، از مقدار بحرانی χ^2 بیشتر شود، فرضیه‌ی برابری پارامترهای مدل در ناحیه‌ی مبدأ و مقصد رد خواهد شد.[10]

۲.۲.۳. خوبی برازش انتقالی

آماره‌ی خوبی برازش انتقالی، میزان برازش مدل انتقال‌یافته به مشاهده‌های ناحیه‌ی مقصد را نسبت به یک مدل مرجع (مدل فقط با مقدار) نشان می‌دهد و به‌صورت رابطه‌ی ۷ تعریف می‌شود:[15]

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

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 انتقال‌پذیری است.[15]

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:[15]

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

شاخص انتقال، حد بالای ۱ دارد و فاقد حد پایین است؛ علاوه بر این مقادیر منفی آن نشان می‌دهد که مدل انتقال‌یافته نسبت به مدل سهم بازار در ناحیه‌ی مقصد، عملکرد ضعیف‌تری دارد.[15]

۴.۲.۳. خطای نسبی گزینه‌ی k

آماره‌ی خطای نسبی گزینه‌ی k، میزان خطا در پیش‌بینی همفزون هر یک ازگزینه‌های انتخاب را نشان می‌دهد و طبق رابطه‌ی ۹ به‌دست می‌آید:[15]

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

که در آن، PS_k و OS_k، سهم پیش‌بینی و مشاهده شده‌ی گزینه k است.[15]

۵.۲.۳. مجذور میانگین مربعات خط (RMSE)

آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا، معیاری از خطا در پیش‌بینی همفزون مدل انتقال یافته است و به‌صورت رابطه‌ی ۱۰ تعریف می‌شود:[15]

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

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 انتقال‌یافته نسبت به مدل پرداخت شده در ناحیه‌ی مقصد (در پیش‌بینی همفزون مشاهدات شهر مقصد) استفاده می‌شود:[15]

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

به منظور بررسی انتقال‌پذیری 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.[15]

۴. نمونه‌ی موردی

داده‌های اقتصادی ـ 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 ـ 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.[16و17] 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 فروانی (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.[16و17]

تعداد سفرکاری 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 (۲۰٫۳)
۴	۱۰۷ (۲٫۳۹)	۳۳ (۱٫۰۴)
۵	۲۹ (۰٫۶۵)	۱۲ (۰٫۳۸)
کل	۴۴۷۹ (۱۰۰)	۳۱۸۳ (۱۰۰)

* فراوانی نسبی تعداد سفرکاری خانوار، در پرانتز نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج تحلیل آماری اهم متغیرهای پژوهش در سطح خانوار.[۱۵و۱۶]

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
Adult۱۹-۳۰	تعداد بزرگسالان ۱۹ تا ۳۰ سال	۰٫۹۰	۱٫۱۰	۰٫۹۸	۰٫۹۱	۰	۰	۴	۷
Adult۳۱-۴۵	تعداد بزرگسالان ۳۱ تا ۴۵ سال	۱٫۰۰	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۹۰	۰	۰	۶	۳
Adult۴۶-۶۰	تعداد بزرگسالان ۴۶ تا ۶۰ سال	۰٫۴۸	۱٫۱۷	۰٫۷۲	۰٫۸۳	۰	۰	۵	۳
Adult+۶۰	تعداد بزرگسالان بالای ۶۰ سال	۰٫۱۷	۰٫۳۹	۰٫۵۱	۰٫۶۷	۰	۰	۴	۳
Man	تعداد مردان	۱٫۹۳	۱٫۸۰	۰٫۹۷	۰٫۸۴	۰	۰	۶	۷
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

فراوانی 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 سفرکاری نداشتند. ۴۷٪ خانوارهای قزوین و ۵۵٪ خانوارهای اسلامشهر ۱ سفرکاری، همچنین ۳۴٪ خانوارهای قزوین و ۱۹٪ خانوارهای اسلامشهر بیش از ۱ سفرکاری داشتند.[۱۶و۱۷]

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، ۴۵-۳۱ 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.[۱۶و۱۷]

۵. تحلیل نتایج

با توجه به اینکه در مدل لوجیت رتبه‌یی برای خانوارهای با ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، و ۵ 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 برازش و انتقال‌پذیری مدل می‌شود. با پرداخت بیش از ۲۰۰ مدل لوجیت رتبه‌یی در شهر قزوین، انواع متغیرهای مختلف موجود و ترکیب منطقی آن‌ها بررسی و درنهایت مدل برتر براساس آماره‌های خوبی برازش، نسبت درست‌نمایی و با توجه به منطقی بودن علامت و معنی‌دار 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 رتبه‌یی، 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:

جدول ۳. نتایج پرداخت مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌یی برای سفرهای کاری نمونه‌یی 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
τ_1	۱٫۴۳	۱۷٫۷۸	۱٫۲۹	۱۶٫۱۲
τ_2	۴٫۴۹	۴۹٫۸۹	۴٫۵۴	۳۹٫۴۸
τ_3	۷٫۱۹	۵۱٫۳۶	۶٫۷۳	۳۹٫۵۹
τ_4	۹٫۲۶	۵۱٫۴۴	۸٫۳۳	۳۶٫۲۲
τ_5	۱۱٫۳۸	۴۲٫۱۵	۹٫۸۳	۲۸٫۰۸
ρ_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	

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 رتبه‌یی (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. انتقال‌پذیری مدل لوجیت رتبه‌یی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌های آزمون انتقال، خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال.

مبدا	مقصد	خوبی برازش		شاخص انتقال	آماره‌ی آزمون انتقال	χ^2_{cr}
		انتقالی	مقصد			
قزوین	اسلامشهر	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۶۷	۴۰۹/۰۰	۵/۹۹
اسلامشهر	قزوین	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۸۱	۶۳۸/۲۶	۵/۹۹

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

مبدا	مقصد	
	قزوین	اسلامشهر
قزوین	۰/۰۲ (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 موردنظر، 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، $e^{۲/۷۱} (=$ ۱۵/۰۳ 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، $e^{۰/۴۰} (=$ ۱/۴۹ برابر بزرگ‌تر می‌شود. در اسلامشهر نیز تفسیر ضرایب به‌صورت 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 اضافه‌شدن 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.

انتقال‌پذیری مدل لوجیت رتبه‌یی 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 رتبه‌یی بین شهرهای قزوین و اسلامشهر، آماره‌ی آزمون انتقال از مقدار بحرانی χ^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 پرداخت‌شده در شهر مبدأ، تعداد سفرهای مشاهده‌شده در شهر مقصد را پیش‌بینی می‌کند.

مقدار آماره‌ی خوبی برازش انتقالی (جدول ۴) مدل انتقال یافته به اسلامشهر (۰/۱۲) به‌صورت 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 انتقال‌یافته به قزوین (۰/۲۲) با آماره خوبی برازش مدل پرداخت‌شده در شهر قزوین (۰/۲۷) تفاوت زیادی ندارد. مثبت‌بودن آماره‌ی خوبی برازش انتقالی در هر دو جهت (قزوین به اسلامشهر و اسلامشهر به قزوین)، روایی انتقال‌پذیری را نشان می‌دهد.

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

مقدار آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا (جدول ۵) در مدل‌های پرداخت‌شده‌ی شهرهای قزوین (۲٪) و اسلامشهر (۳٪) بسیار کم است؛ یعنی مدل لوجیت رتبه‌یی پرداخت‌شده در هر شهر، سهم سفرهای همان شهر را بسیار خوب پیش‌بینی می‌کند و برازش زیادی به مشاهده‌ها دارد؛ همچنین مقدار معیار مذکور در مدل انتقال‌یافته به شهر قزوین ۲۳٪ است، هر چند مقدار این خطا زیاد نیست، اما ۱۱/۵ برابر مقدار معادل آن در مدل پرداخت‌شده‌ی شهر قزوین است و مقدار معیار مجذور میانگین مربعات خطا در مدل انتقال‌یافته به اسلامشهر ۵۲٪ است که ۱۷ برابر مقدار معادل آن در مدل پرداخت‌شده اسلامشهر است. در واقع مدل‌های انتقال‌یافته بین شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌ی خطای نسبی انتقال همفزون، عملکرد ضعیفی در انتقال‌پذیری 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 انتقال‌پذیری دارد، اما از نظر معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون، عملکرد خوبی در انتقال‌پذیری ندارد که این نتیجه نشان‌دهنده‌ی

چند بُعدی‌بودن انتقال‌پذیری است. یعنی انتقال‌پذیری از دیدگاه‌های مختلف، نتایج مختلف دارد و به راحتی نمی‌توان آن را پیش‌بینی کرد؛ به عبارت دیگر، انتقال‌پذیری از نظر معیارهای عملکردی، پدیده‌یی پیچیده است.

علاوه بر این مدل لوجیت رتبه‌یی انتقال‌یافته به شهر قزوین نسبت به مدل انتقال‌یافته به اسلامشهر از نظر آماره‌های خوبی برازش انتقالی، شاخص انتقال، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال همفزون عملکرد بهتری در انتقال‌پذیری دارد و به‌عنوان 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 انتقال‌پذیری مدل لوجیت رتبه‌یی است، نوشتار حاضر به دنبال یافتن یک جواب بلی و خیر نیست؛ زیرا اصولاً ماهیت مسئله‌ی انتقال‌پذیری این نیست. مسئله‌ی انتقال‌پذیری، مسئله‌یی پیچیده و چندجانبه است و به همین علت از معیارهای مختلفی به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری استفاده می‌شود، که از جنبه‌های مختلف آن را بررسی می‌کنند. جمع‌بندی نوشتار حاضر به شکل کلی حاکی از آن است که مدل لوجیت رتبه‌یی از نظر معیارهای قابلیت پیش‌بینی در سطح ناهمفزون، عملکرد خوبی در انتقال‌پذیری دارد؛ اما از نظر معیار برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون، عملکرد خوبی در انتقال‌پذیری ندارد. همچنین مدل انتقال‌یافته به شهر قزوین نسبت به مدل انتقال‌یافته به اسلامشهر، عملکرد بهتری در انتقال‌پذیری 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، انتقال‌پذیری مکانی مدل تولید سفر از نوع لوجیت رتبه‌یی بین دو نمونه با مقیاس واقعی بررسی و جهت برتر انتقال (قزوین به اسلامشهر یا اسلامشهر به قزوین) به تفکیک معیارهای انتقال‌پذیری تعیین شد. در این راستا، از داده‌های اقتصادی ـ 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 انتقال‌پذیری 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 به‌صورت مطلق و نسبی؛ و دو آماره‌ی دوم، نشان‌دهنده‌ی قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح همفزون به ترتیب به‌صورت 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 انتقال‌پذیری دارد، اما از نظر معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی در سطح همفزون عملکرد خوبی در انتقال‌پذیری ندارد. که نشان‌دهنده‌ی چند بُعدی‌بودن انتقال‌پذیری است. یعنی انتقال‌پذیری از دیدگاه‌های مختلف، نتایج مختلف دارد و به راحتی نمی‌توان آن را پیش‌بینی کرد؛ به عبارت دیگر، انتقال‌پذیری از نظر معیارهای عملکردی، پدیده‌یی پیچیده است. علاوه‌بر 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 انتقال‌پذیری خیلی زیادی را داشت، علی‌رغم اینکه متغیرهای مورد استفاده، قدرت توضیح‌دهندگی بالایی داشتند. در ادامه، می‌توان از متغیرهای توضیحی بیشتر به‌خصوص متغیرهای مربوط به ناحیه‌ی سکونت خانوار، دوره‌ی زندگی، و دسترسی برای بررسی میزان برازش و انتقال‌پذیری استفاده کرد.

پانوشت‌ها

1. underlying theory of travel behavior
2. mathematical model class
3. specific model form
4. parameter values
5. ordered logit
6. Stata۱۴
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., Rouphail, 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).