

مقایسه عملکرد مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری مکانی (مطالعه موردی: سفرهای کاری خانوار)

فاطمه احمدی پور - کارشناس ارشد مهندسی عمران (برنامه‌ریزی حمل‌ونقل) دانشگاه تربیت مدرس
امیررضا ممدوحی* - دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۳/۱۳

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳

چکیده

هزینه جمع‌آوری داده در مدل‌سازی تقاضای سفر، بسیار زیاد است و گاهی در نواحی شهری کوچک و متوسط از بودجه سالانه سازمان‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بیشتر می‌شود. یکی از راه‌های غلبه بر هزینه زیاد و فرایند طولانی جمع‌آوری داده، انتقال مدل‌های ساخته‌شده در شهرهای دیگر به شهر مورد نظر است. هدف پژوهش حاضر مقایسه عملکرد مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری است. برای این منظور، اطلاعات سفرهای کاری ۴۴۷۹ خانوار قزوینی و ۳۱۸۳ خانوار اسلامشهری در یک روز عادی هفته مدنظر قرار گرفت. همچنین به‌منظور ارزیابی انتقال‌پذیری از آماره‌های آزمون انتقال، خوبی برازش انتقالی، شاخص انتقال و معیارهای قابلیت پیش‌بینی استفاده شد. براساس نتایج این مطالعه، مدل نهایی شامل سه متغیر توضیحی تعداد شاغلان، سواری شخصی در تملک خانوار و حاصل‌ضرب این دو متغیر است. مقایسه میزان برازش هر یک از مدل‌ها با مشاهدات نشان می‌دهد عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای در برآورد سهم سفرها بهتر از مدل پواسون است. مدل پواسون نوعی مدل شمارشی و مدل لوجیت چندجمله‌ای نوعی مدل انتخاب گسسته است. در مدل لوجیت برخلاف مدل پواسون، نظریه رفتاری مسافر مدنظر است و در آن چند تابع مطلوبیت تعریف می‌شود؛ از این‌رو انتظار می‌رود برآورد این مدل بهتر باشد. براساس آماره آزمون انتقال، فرضیه برابری پارامترها در شهر مبدأ و مقصد در هر دو مدل رد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال‌یافته از نظر معیارهای مطلق پیش‌بینی (خوبی برازش انتقالی و مجذور میانگین مربعات خطا) از مدل پواسون بهتر است. در مقابل، از نظر معیارهای نسبی پیش‌بینی (شاخص انتقال و خطای نسبی انتقال هم‌فزون) که عملکرد مدل انتقال‌یافته را با مدل پرداخت‌شده در شهر مقصد در پیش‌بینی می‌سنجد، عملکرد بدتری در انتقال‌پذیری دارد.

واژه‌های کلیدی: انتقال‌پذیری مکانی، پواسون، تولید سفر، لوجیت چندجمله‌ای.

مقدمه

ایجاد سفر اولین مرحله از روش چهار مرحله‌ای کلاسیک است؛ بنابراین، هرگونه خطا در آن به سایر مراحل منتقل می‌شود (Cotrus et al., 2005: 3). به‌منظور مدل‌کردن این مرحله، از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است که در آن چندین فرض محدودکننده وجود دارد؛ نخست اینکه متغیر وابسته ماهیت پیوسته و توزیعی نرمال دارد. درحالی‌که تعداد سفر با توزیعی گسسته همراه است. دوم اینکه به‌دلیل نرمال‌بودن توزیع متغیر وابسته، مقادیر این متغیر می‌تواند منفی شود. فرض سوم این است که با توجه به وجود رابطه خطی ساده میان متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی، نظریه رفتاری مسافر در این مدل ارائه نمی‌شود.

براساس مطالعات، مدل‌های شمارشی مانند پواسون به‌منظور جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده‌اند و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت چندجمله‌ای، به‌منظور ارائه نظریه رفتاری مسافر و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی مدنظر قرار گرفته‌اند (Chang et al., 2014: 79; Badoe, 2007: 456 Lim and Srinivasan, 2011: 3).

یکی از ویژگی‌های مهم مدل‌های تقاضای سفر، انتقال‌پذیری آن‌هاست که به دو نوع زمانی و مکانی تقسیم می‌شود. در انتقال‌پذیری زمانی، مدل پرداخت‌شده برای یک ناحیه در پیش‌بینی سفرهای آینده در همان ناحیه استفاده می‌شود. انتقال‌پذیری مکانی نیز به استفاده از مدل‌های ساخته‌شده براساس داده‌های ناحیه جغرافیایی برای پیش‌بینی رفتار سفر در نواحی دیگر گفته می‌شود (Agyemang Duah and Hall, 1997: 389).

ارزیابی انتقال‌پذیری مکانی مدل‌های تقاضای سفر از دو دیدگاه نظری و عملی قابل توجه است. از دیدگاه نظری، بینشی درباره قابلیت مدل در ارائه پیش‌بینی‌های معتبر تحت سناریوهای مختلف فراهم می‌شود. از دیدگاه عملی نیز انتقال‌پذیری مدل از یک ناحیه به ناحیه دیگر، به صرفه‌جویی در هزینه و زمان جمع‌آوری داده می‌انجامد (همان).

بن‌اکبوا و هانسن انتقال‌پذیری را به چهار سطح نظریه کلی رفتار سفر، نوع مدل ریاضی، فرم تابعی مدل و مقادیر پارامترها تقسیم کردند. در سطح اول، انتقال‌پذیری نظریه کلی توصیف رفتار سفر مانند حداکثرسازی مطلوبیت، در سطوح دوم و سوم انتقال‌پذیری ساختار مدل (لوجیت در مقابل پروبیت)، شکل تابع (مانند خطی در برابر غیرخطی)، متغیرهای توضیحی و روش در نظر گرفتن آن‌ها در مدل، و در سطح چهارم انتقال‌پذیری ضرایب متغیرهای توضیحی بررسی شده است (Sikder, 2013: 22).

هدف پژوهش حاضر مقایسه عملکرد مدل‌های پواسون با لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری مکانی است. بدین‌منظور از اطلاعات 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 استفاده شد.

مبانی نظری

به‌طور معمول برای مدل‌کردن مرحله ایجاد سفر، از مدل‌های رگرسیون خطی و طبقه‌بندی عرضی استفاده می‌شود. باید توجه داشت که تعداد کمی از مطالعات به بررسی مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در این مرحله پرداخته‌اند؛ برای نمونه جانگ (۲۰۰۵) فراوانی سفرهای غیرخانه-مبنای روزانه را با مدل‌های پواسون، با انباشتگی صفر^۱ دوجمله‌ای منفی و دوجمله‌ای منفی با انباشتگی صفر^۲ مدل کرد (Jang, 2005: 444). بادوا (۲۰۰۷) به‌منظور مدل‌کردن تولید سفر به بررسی مدل‌های رگرسیون خطی، بریده^۳ پواسون، دوجمله‌ای منفی و لوجیت رتبه‌ای در سطح فردی پرداخت و آن‌ها را

1. Zero Inflated Poisson

2. Zero Inflated Negative Binomial

3. Truncated

با هم مقایسه کرد (Badoe, 2007: 455). چانگ و همکاران (۲۰۱۴) هریک از مدل‌های رگرسیون خطی، توبیت، پواسون، پروبیت رتبه‌ای، طبقه‌بندی عرضی و طبقه‌بندی عرضی چندگانه را مقایسه کردند و دریافتند مدل رگرسیون خطی عملکرد بهتری دارد (Chang et al., 2014: 87).

تاکنون پژوهشگران متعددی به بررسی انتقال‌پذیری مدل‌های ایجاد سفر پرداخته‌اند. در بیشتر مطالعات، انتقال‌پذیری مدل‌های ایجاد سفر رگرسیون خطی و طبقه‌بندی عرضی تحلیل شده است. در این میان، مطالعات کمی به ارزیابی عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری پرداخته‌اند، اما انتقال‌پذیری مدل پواسون تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ برای مثال کنل و هیسینگتن (۱۹۷۳)، دابلدی (۱۹۷۶)، بادوا و استوارت (۱۹۹۷)، واکالن جی و همکاران (۲۰۱۲) انتقال‌پذیری زمانی مدل رگرسیون خطی را بررسی کردند. کادول و دمسکی (۱۹۸۰)، ویلموت (۱۹۹۵)، مشاق‌زاده‌فرد (۱۳۷۹) و کاواماتو (۲۰۰۵) به مطالعه انتقال‌پذیری مکانی این مدل پرداختند. علاوه‌براین مهمسانی و همکاران (۱۹۷۹)، کادول و دمسکی (۱۹۸۰) و اورت (۲۰۰۹) انتقال‌پذیری مکانی مدل طبقه‌بندی عرضی را ارزیابی کردند. مطالعات دابلدی، کاواماتو و اورت در سطح فردی، مطالعات کاپلمن و هیسینگتن، بادوا و استوارت و ویلموت در سطح خانوار، مطالعات مشاق‌زاده‌فرد و کادول و دمسکی در سطح خانوار و ناحیه و مطالعه مهمسانی و همکاران در سطح خانوار، ناحیه و منطقه انجام شده است. پژوهشگرانی مانند هال و کواکو (۱۹۹۷) انتقال‌پذیری مکانی مدل لوجیت رتبه‌ای را در سطح خانوار بررسی کردند. شمس، جین و آرگوت (۲۰۱۴) نیز به تحلیل انتقال‌پذیری زمانی مدل لوجیت چندجمله‌ای در سطح فردی پرداختند.

کتراس و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی انتقال‌پذیری زمانی و مکانی مدل‌های تولید سفر رگرسیون خطی چندجمله‌ای و توبیت در سطح فردی پرداختند. آن‌ها این مدل‌ها را برای نواحی شهری هیفا و تالویو و براساس اطلاعات مربوط به ارزیابی عادات سفر شهروندان اسرائیل (NTHSS) در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۶/۱۹۹۷ پرداخت کردند. براساس نتایج، مدل‌های توبیت و رگرسیون خطی چندجمله‌ای براساس آماره آزمون انتقال، در زمان و مکان انتقال‌پذیر نیستند. ناپایداری زمانی مدل‌های پرداخت‌شده، به تغییرات دینامیک در ساختار، توسعه ناحیه شهری تالویو و هیفا، تغییر در شیوه زندگی، بی‌توجهی به تمام متغیرهای اقتصادی و اجتماعی در مدل و ناسازگاری در ارزیابی عادات سفر (NTHS) نسبت داده می‌شود. علاوه‌براین، مدل‌های انتقال‌یافته در پیش‌بینی نرخ سفر مشاهده‌شده در ناحیه مقصد عملکرد خوبی دارند (Cotrus et al., 2005: 2).

با توجه به مطالعات، یکی از عوامل مؤثر بر انتقال‌پذیری مدل‌ها سطح هم‌فزونی مدل‌های پرداخت‌شده است؛ برای نمونه مهمسانی و همکاران نتیجه گرفتند عملکرد مدل‌های پرداخت‌شده در انتقال‌پذیری در سطح خانوار، از سطح ناحیه و منطقه بهتر است (Mahmassani et al., 1979: 29)، اما از دیدگاه کادول و دمسکی، قابلیت مدل‌های پرداخت‌شده در انتقال‌پذیری در سطح ناحیه، از سطح خانوار بیشتر است (Caldwell and Demetsky, 1980: 56؛ مشاق‌زاده‌فرد، ۱۳۷۹: ۱).

مشاق‌زاده‌فرد (۱۳۷۹) به بررسی انتقال‌پذیری مکانی مدل‌های ایجاد سفر رگرسیون خطی در سطح ناهم‌فزون خانوار و هم‌فزون شهر پرداخت و از داده‌های مربوط به سفرهای کاری، تحصیلی و خرید سه شهر شیراز، تهران و مشهد استفاده کرد. نتیجه اینکه بیشترین بازه تغییرات متغیر وابسته در تحلیل ناهم‌فزون صفر تا ۹ است، اما با وجود بازه کم تغییرات از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است. براساس این پژوهش، انتقال‌پذیری مدل‌های پرداخت‌شده در سطح شهر، به دلیل برآزش بیشتر به مشاهدات از سطح خانوار بیشتر است. نکته دیگر اینکه دسته‌بندی مناسب شهرها تأثیر فراوانی بر انتقال‌پذیری دارد.

هانت‌سینگر و همکاران (۲۰۱۳) انتقال‌پذیری زمانی مدل تولید سفر لوجیت رتبه‌ای را در سطح فردی بررسی کردند.

نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده مناسب بودن مدل لوجیت رتبه‌ای برای تخمین تعداد سفر، همچنین بهبود میزان برازش و انتقال‌پذیری مدل با استفاده از متغیرهای مربوط به دسترسی، دوره زندگی و نوع ناحیه محل سکونت است.

شمس، جین و آرگوت به ارزیابی انتقال‌پذیری زمانی مدل تولید سفر لوجیت چندجمله‌ای پرداختند و برای این منظور از داده‌های سفرهای خرید و هرروزه خانوار استفاده کردند. براساس نتایج پژوهش آن‌ها یکی از عوامل تأثیرگذار بر انتقال‌پذیری، هدف سفر از نظر اجباری بودن یا اختیاری بودن است.

باغستانی (۱۳۹۲) به ارزیابی انتقال‌پذیری مکانی مدل انتخاب وسیله لوجیت چندجمله‌ای در چهار سطح انتقال‌پذیری نظریه کلی رفتار سفر، نوع مدل ریاضی، فرم تابعی مدل و مقادیر پارامتر پرداخت. براین اساس مدل مذکور در سطوح اول، دوم و سوم انتقال‌پذیر و در سطح چهارم انتقال‌ناپذیر است. آخرین پژوهش درباره انتقال‌پذیری را یاسمین و همکاران (۲۰۱۵) انجام دادند و به ارزیابی انتقال‌پذیری مکانی مدل فعالیت-منا (زمان‌بندی فعالیت سفر برای اعضای خانوار) پرداختند.

در پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت مرحله تولید سفر، بازه کم تغییرات متغیر وابسته، استفاده کم از مدل‌های لوجیت چندجمله‌ای و پواسون در این مرحله و انجام‌ندادن پژوهشی تطبیقی از این مدل‌ها، مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در سطح خانوار پرداخت شدند و عملکرد آن‌ها در انتقال‌پذیری (براساس معیارهای آماری برابری پارامترها و قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها) مقایسه شد.

روش پژوهش

در بسیاری از پدیده‌ها مانند تعداد تصادفات در تقاطع، یا تعداد اختراعات ثبت‌شده در طول یک سال در بنگاه، متغیر وابسته از نوع شمارشی است. هنگامی که این متغیر مقادیر غیرمنفی صحیحی (شمارشی) را داشته باشد، مدل رگرسیون خطی عملکرد قابل‌قبولی در پیش‌بینی متغیر وابسته ندارد. مهم‌ترین دلیل این امر وجود فرض توزیع نرمال برای متغیر وابسته است. در این شرایط از مدل شمارشی پواسون استفاده می‌شود که مهم‌ترین ویژگی آن تساوی میانگین و واریانس مشاهدات است. اگر متغیر تصادفی گسسته Y از توزیع پواسون تبعیت کند، تابع چگالی احتمال آن به صورت رابطه ۱ است (Gujarati, 2003: 620):

$$f(Y|y_i) = \Pr(Y = y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (1)$$

که در آن $f(Y|y_i)$ نشان‌دهنده احتمال برابری متغیر تصادفی گسسته Y با مقدار y_i است.

مدل پواسون به صورت رابطه ۲ نوشته می‌شود:

$$y_i = E(y_i) + u_i \quad (2)$$

در مشاهدات، متغیرهای وابسته مستقل از هم هستند و توزیع پواسون با میانگین λ_i دارند. این مدل با روش درست‌نمایی بیشینه پرداخت می‌شود. میانگین متغیر وابسته براساس رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$\lambda_i = E(y_i|x_i) = \exp(\beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}) = \exp(\beta x) \quad (3)$$

مدل لوجیت چندجمله‌ای نوعی مدل انتخاب گسسته است که برای محاسبه میزان احتمال انتخاب میان چند گزینه استفاده می‌شود. فرض مدل مذکور این است که بخش نامعین و تصادفی (ε) تابع مطلوبیت، از توزیع مقدار حدی با توزیع مستقل و یکسان تبعیت می‌کند که این امر مانع اختلاف‌سلیقه در میان تصمیم‌گیرها، همچنین وابستگی میان گزینه‌ها می‌شود. تابع احتمال انتخاب گزینه i توسط فرد n (P_{ni})، با در نظر گرفتن توزیع گامبل و فرض iid برای جمله خطا در رابطه ۴ آمده است (Gujarati, 2003: 595):

$$P_{ni} = \frac{\exp(v_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(v_{nj})} \quad (۴)$$

در مطالعه حاضر، به منظور ارزیابی انتقال‌پذیری از معیارهای برابری آماری پارامترهای مدل و معیارهای قابلیت پیش‌بینی استفاده شد. آزمون رایج برابری آماری پارامترهای مدل، آماره آزمون انتقال است که به منظور آزمون برابری پارامترهای مدل انتقال‌یافته و پرداخت‌شده در ناحیه مقصد کاربرد دارد و به صورت رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Sikder, 2013):

$$TTS = -2[L_i(\beta_j) - L_i(\beta_i)] \quad (۵)$$

این آماره دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی برابر با تعداد پارامترهای مدل است. در صورتی که مقدار آن از مقدار بحرانی χ^2 بیشتر شود، فرضیه برابری پارامترهای مدل در ناحیه مبدأ و مقصد رد خواهد شد. در این مدل، i نشان‌دهنده ناحیه مقصد، j بیان‌کننده ناحیه مبدأ، $L_i(\beta_i)$ مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی همگرایی در ناحیه مقصد و $L_i(\beta_j)$ مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی در ناحیه مقصد براساس مدل ناحیه مبدأ است.

اگرچه یک مدل از نظر آزمون‌های آماری برابری پارامترهای مدل انتقال‌پذیر نیست، می‌تواند رفتار سفر در ناحیه مقصد را برای تمام اهداف عملی به خوبی تقریب بزند. برای این ارزیابی‌های عملی از معیارهای قابلیت پیش‌بینی استفاده می‌شود. این معیارها در سطح ناهم‌فزون شامل آماره‌های خوبی برازش انتقالی (ρ_T^2) و شاخص انتقال (TI)، و در سطح هم‌فزون شامل آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای نسبی انتقال هم‌فزون (RATE) هستند. آماره خوبی برازش انتقالی (رابطه ۶) بر مبنای لگاریتم درست‌نمایی است و میزان برازش مدل انتقال‌یافته به مشاهدات ناحیه مقصد را به مدل مرجع (مدل صرفاً با مقدار) نشان می‌دهد.

$$\rho_T^2 = 1 - \frac{L_i(\beta_j)}{L_i(C_i)} \quad (۶)$$

در این رابطه، $L_i(C_i)$ نشان‌دهنده مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی سهم بازار در شهر مقصد است. مقادیر منفی این آماره نشان می‌دهد مدل انتقال‌یافته از بی‌مدلی بدتر است و در صورتی که مقدار آن مثبت شود، انتقال‌پذیری روا محسوب می‌شود. شاخص انتقال (رابطه ۷) به طور گسترده‌ای در ارزیابی انتقال‌پذیری استفاده می‌شود؛ زیرا شاخصی ساده است و حتی اگر یک مدل با استفاده از آزمون‌های آماری دقیق، انتقال‌ناپذیر فرض شود، این شاخص اطلاعات ارزشمندی در مورد میزان انتقال‌پذیری به دست می‌دهد. شاخص انتقال برابر با نسبت آماره خوبی برازش انتقالی به آماره خوبی برازش مدل پرداخت‌شده در ناحیه مقصد است (خوبی برازش مدل انتقال‌یافته را با مدل پرداخت‌شده در ناحیه مقصد اندازه می‌گیرد). در صورت نزدیک‌تر شدن مقدار آن به ۱، مدل انتقال‌پذیرتر است و مقادیر منفی آن نتایج گمراه‌کننده‌ای دارد.

$$TI = \frac{L_i(\beta_j) - L_i(C_i)}{L_i(\beta_i) - L_i(C_i)} \quad (۷)$$

آماره مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) معیاری از خطا در پیش‌بینی هم‌فزون مدل انتقال‌یافته است و به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_k PS_k \times \left(\frac{PS_k - OS_k}{OS_k}\right)^2}{\sum_k PS_k}} \quad (۸)$$

که در آن PS_k و OS_k به ترتیب سهم پیش‌بینی و مشاهده‌شده گزینه k هستند.

برای مقایسه عملکرد مدل انتقال‌یافته با مدل پرداخت‌شده در ناحیه مقصد (در پیش‌بینی هم‌فزون مشاهدات شهر مقصد) از آماره خطای نسبی انتقال هم‌فزون استفاده می‌شود و محاسبه آن به کمک رابطه ۹ صورت می‌گیرد (Sikder, 2013):

$$RATE = \frac{RMSE_i(\beta_j)}{RMSE_i(\beta_i)} \quad (۹)$$

محدوده مورد مطالعه

اطلاعات مورد نیاز پژوهش حاضر از آمارگیری مبدأ-مقصد ۴۴۷۹ خانوار قزوینی و ۳۱۸۳ خانوار اسلامشهری در یک روز کاری هفته، در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ گردآوری شد. نتایج تحلیل فراوانی سفرهای کاری خانوار در این دو شهر در جدول ۱ آمده است (طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک مجموعه شهری قزوین، ۱۳۹۱؛ طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک مجموعه شهری اسلامشهر، ۱۳۹۳). براین اساس به‌طور تقریبی ۱۸ درصد خانوارهای شهر قزوین و ۲۴ درصد خانوارهای اسلامشهر سفر کاری ندارند.

در این پرسشگری اطلاعاتی مانند تعداد اعضای خانوار به تفکیک جنسیت و گروه سنی، شاغلان، افراد دارای گواهینامه، سواری شخصی در تملک هر خانوار و ویژگی‌های ناحیه سکونت هر خانوار از جمله مساحت مسکونی، تجاری، تحصیلی، جمعیت آن ناحیه و... گردآوری شد که خلاصه‌ای از تحلیل آماری آن‌ها در جدول ۲ آمده است. براین اساس میانگین تعداد شاغلان، سواری شخصی در تملک، افراد دارای گواهینامه، بعد خانوار، مردان و افراد ۳۱ تا ۴۵ سال در قزوین بیشتر از اسلامشهر است. میانگین تعداد زنان و افراد بالای ۴۶ سال در اسلامشهر نیز بیشتر از قزوین است. این امر نشان می‌دهد میانگین تعداد سفرهای کاری روزانه خانوار در شهر قزوین از اسلامشهر بالاتر است و تأثیر فراوانی بر نتایج انتقال‌پذیری دارد.

بحث و یافته‌ها

هدف پژوهش جاری مقایسه عملکرد مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری است. متغیر وابسته در فرایند مدل‌سازی، تعداد سفرهای کاری روزانه خانوار است. در این فرایند پس از پرداخت بیش از ۱۰۰ مدل پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در شهرهای قزوین و اسلامشهر، خوبی برازش و آماره نسبت درست‌نمایی مدل برتر انتخاب شد که شامل سه متغیر مستقل تعداد شاغلان، سواری شخصی در تملک خانوار و ترکیب حاصل ضربی این دو متغیر است. در این پرداخت به معیارهای منطقی بودن علامت و معنادار بودن ضرایب متغیرها توجه شد.

برای تحلیل اثر تعاملی (اندركنشی) دو متغیر تعداد شاغلان و سواری شخصی در تملک خانوار، همچنین ارتقای برازش مدل از حاصل ضرب آن‌ها استفاده شد. این متغیر اثر تغییر هم‌زمان دو جزء آن (تعداد شاغلان و سواری شخصی) را نشان می‌دهد و به سطح یکی در صورت تغییر دیگری حساس است. در مدل بدون متغیر تعاملی، مقدار ضریب هر دو متغیر کوچک‌تر از مقادیر متناظر در مدل نهایی است. در مدل نهایی با توجه به ضریب منفی این متغیر، افزایش ضریب در این مدل قابل توجیه و منطقی است. مقدار آماره نسبت درست‌نمایی در مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای (جدول ۳ و ۴) شهرهای قزوین و اسلامشهر، فرضیه صفر مبنی بر صفر شدن هم‌زمان تمام متغیرها را در سطح اطمینان ۹۹ درصد رد می‌کند.

جدول ۱. نتایج تحلیل فراوانی سفرهای کاری خانوار در شهرهای قزوین و اسلامشهر

مشاهدات اسلامشهر	مشاهدات قزوین	تعداد سفر کاری خانوار
۸۴۳ (۲۶/۴۸)	۸۵۳ (۱۹/۰۴)	۰
۱۷۴۷ (۵۴/۸۸)	۲۰۸۴ (۴۶/۵۳)	۱
۴۴۶ (۱۴/۰۱)	۱۰۹۴ (۲۴/۴۲)	۲
۱۴۷ (۴/۶۲)	۴۴۸ (۱۰/۰۰)	+۳
۳۱۸۳ (۱۰۰)	۴۴۷۹ (۱۰۰)	جمع

* فراوانی نسبی تعداد سفر کاری خانوار در پراوتز نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج تحلیل آماری مهم‌ترین متغیرهای پژوهش

اسلامشهر				قزوین				تعریف	نماد
بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین		
۵	۰	۰/۸۳	۰/۹۸	۵	۰	۰/۹۷	۱/۲۹	تعداد سفرهای کاری روزانه	Wtrip
۵	۰	۰/۶۶	۱/۱۴	۵	۰	۰/۷۲	۱/۲۳	تعداد شاغلان	Employ
۴	۰	۰/۶۵	۰/۴۵	۴	۰	۰/۹۲	۱/۱۷	تعداد فرزندان کمتر از ۱۸ سال	NChild
۴	۰	۰/۹۱	۱/۱۰	۷	۰	۰/۹۸	۰/۹۰	تعداد بزرگسالان ۱۹ تا ۳۰ سال	Adult 19-30
۶	۰	۰/۹۰	۰/۸۵	۳	۰	۰/۸۵	۱/۰۰	تعداد بزرگسالان ۳۱ تا ۴۵ سال	Adult 31-45
۵	۰	۰/۸۳	۱/۱۷	۳	۰	۰/۷۲	۰/۴۸	تعداد بزرگسالان ۴۶ تا ۶۰ سال	Adult 46-60
۴	۰	۰/۶۷	۰/۳۹	۳	۰	۰/۵۱	۰/۱۷	تعداد بزرگسالان بالای ۶۰ سال در هر خانوار	Adult +60
۶	۰	۰/۸۴	۱/۸۰	۷	۰	۰/۹۷	۱/۹۳	تعداد مردان	Man
۶	۰	۰/۸۶	۱/۸۲	۶	۰	۰/۸۷	۱/۷۹	تعداد زنان	Woman
۱۰	۱	۱/۱۰	۳/۶۲	۱۱	۱	۱/۱۲	۳/۷۲	بعد خانوار	HHS
۳	۰	۰/۵۹	۰/۶۳	۴	۰	۰/۵۸	۰/۶۸	تعداد سواری شخصی در تملک	Auto
۷	۰	۰/۸۹	۱/۳۲	۹	۰	۰/۹۲	۱/۴۹	تعداد افراد دارای گواهینامه	Cert

افزون‌براین اثر فراوان هریک از متغیرها به‌وسیله آماره t تعیین می‌شود. در مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای هر دو شهر، متغیرهای مستقل تعداد شاغلان و سواری شخصی در تملک خانوار معنادار است و با علامت مثبت مشخص شده است. ترکیب حاصل‌ضربی این دو متغیر نیز معنادار و علامت آن منفی است. جمله ثابت در مدل‌های هر دو شهر نیز علامت منفی دارد. با افزایش سواری شخصی در تملک خانوار، تعداد سفرهای کاری خانوار افزایش می‌یابد؛ زیرا برخی افراد سفر کاری خود را با استفاده از سواری شخصی انجام می‌دهند. متغیر تعداد شاغلان مؤثرترین عامل در تولید سفرهای کاری خانوار در هر دو شهر است؛ زیرا بیشترین تأثیر را بر مقدار آماره نسبت درست‌نمایی دارد.

جدول ۳. نتایج پرداخت مدل‌های تولید سفر پواسون برای سفرهای کاری نمونه‌ای از شهروندان قزوین و اسلامشهر

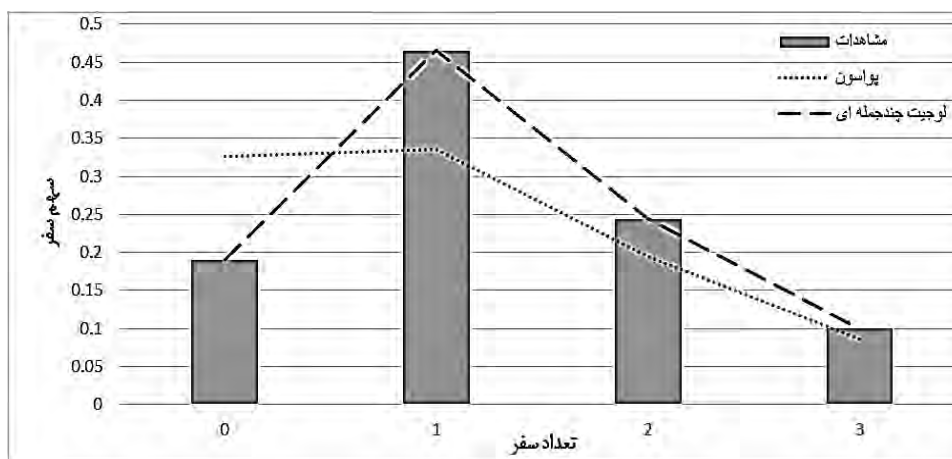
اسلامشهر		قزوین		متغیر
آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	
۱۹/۷۳	۰/۶۰	۲۶/۲۳	۰/۵۹	Employ
۵/۶۶	۰/۳۳	۵/۶۰	۰/۲۶	Auto
-۴/۲۳	-۰/۱۳	-۳/۳۸	-۰/۰۸	EmployAuto
-۱۷/۳۹	-۰/۹۰	-۱۶/۹۸	-۰/۷۰	Cons
MLE				Estimator
۰/۰۷		۰/۱۰		ρ^2
-۳۴۸۲/۴۰		-۵۳۱۴/۹۵		LL(β)
-۳۷۴۴/۵۲		-۵۹۰۵/۵۰		LL(C)
۵۴۲/۸۹		۱۱۸۳/۲۲		LR chi2 (3)
۳۱۸۳		۴۴۷۹		N (observation)

جدول ۴. نتایج پرداخت مدل‌های تولید سفر لوجیت چندجمله‌ای برای سفرهای کاری نمونه‌ای از شهروندان قزوین و اسلامشهر

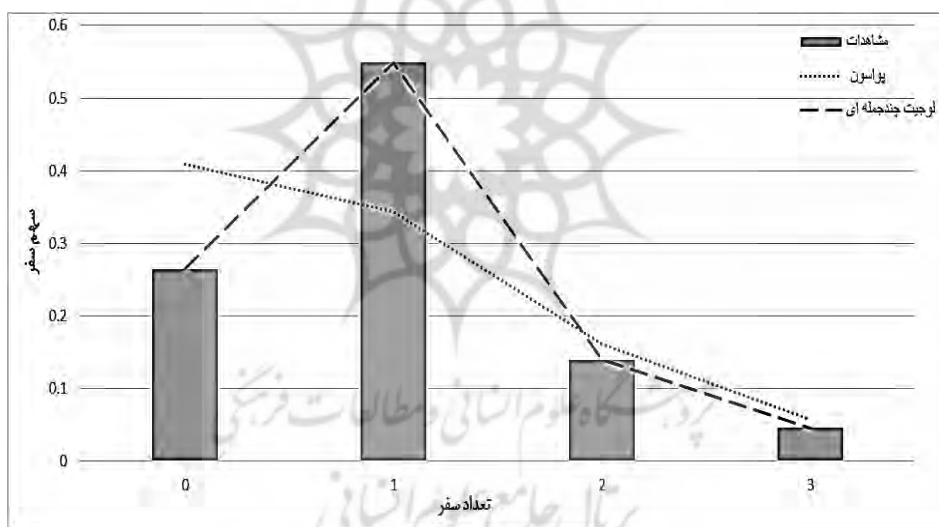
اسلامشهر		قزوین		متغیر
آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	
۱۴/۵۱	۲/۴۵	۱۵/۷۸	۴/۲۳	Employ
۶/۴۵	۱/۱۸	۴/۵۷	۱/۲۴	Auto
-۶/۰۵	-۰/۹۹	-۳/۹۹	-۱/۱۲	EmployAuto
-۹/۹۷	-۱/۶۶	-۱۱/۳۰	-۲/۹۳	Cons
۱۹/۶۳	۴/۳۷	۲۱/۸۰	۶/۳۱	Employ
۸/۱۶	۲/۳۲	۴/۹۴	۱/۶۳	Auto
-۶/۹۹	-۱/۳۹	-۳/۶۵	-۱/۱۴	EmployAuto
-۲۰/۷۶	-۶/۰۷	-۲۰/۴۸	-۶/۵۴	Cons
۱۹/۱۳	۴/۹۴	۲۳/۴۱	۷/۷۹	Employ
۴/۱۲	۱/۷۹	۴/۴۸	۱/۹۹	Auto
-۵/۱۸	-۱/۲۲	-۳/۶۴	-۱/۲۴	EmployAuto
-۱۸/۸۰	-۸/۱۳	-۲۳/۵۵	-۱۰/۴۳	Cons
MLE				Estimator
۰/۱۷		۰/۲۸		ρ^2
-۲۸۸۸/۲۴		-۴۰۲۵/۲۶		LL(β)
-۳۴۷۹/۸۱		-۵۵۹۰/۶۴		LL(C)
۱۲۱۶/۸۰		۳۱۱۴/۷۱		LR chi2 (3)
۳۱۸۳		۴۴۷۹		N (observation)

آماره نسبت درست‌نمایی و خوبی برازش مدل پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در شهر قزوین از مقدار معادل خود در اسلامشهر بیشتر است؛ یعنی مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در شهر قزوین از مدل معادل خود در اسلامشهر برازش بیشتری به مشاهدات دارند. به منظور مقایسه میزان برازش این دو مدل با مشاهدات، سهم مشاهده و برآوردشده تعداد سفرهای شهر قزوین و اسلامشهر (مطابق شکل‌های ۱ و ۲) در هریک از مدل‌ها مقایسه می‌شود. براساس نتایج،

برآورد سفرها در مدل لوجیت چندجمله‌ای در هر دو شهر، از مدل پواسون بهتر است. مدل پواسون نوعی مدل شمارشی و مدل لوجیت چندجمله‌ای نوعی مدل انتخاب گسسته است و در آن برخلاف مدل پواسون، نظریه رفتاری مسافر در نظر گرفته، و چند تابع مطلوبیت تعریف می‌شود؛ از این رو انتظار می‌رود عملکرد این مدل در برآورد بهتر باشد.



شکل ۱. سهم مشاهده و برآوردشده سفرهای شهر قزوین براساس مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای



شکل ۲. سهم مشاهده و برآوردشده سفرهای اسلامشهر براساس مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای

در ادامه، انتقال‌پذیری مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در سطح چهارم بررسی می‌شود و مدل تهیه‌شده در هر شهر با حفظ تمام ضرایب و متغیرها به شهر دیگر انتقال می‌یابد. برای ارزیابی انتقال‌پذیری، از دو دسته معیار آزمون‌های آماری برای برابری پارامترهای مدل و قابلیت پیش‌بینی (در سطح ناهم‌فزون و هم‌فزون) استفاده شده است. همگرایی، مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی شهر مقصد برای سهم بازار و مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی شهر مقصد براساس مدل شهر مبدأ در انتقال مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای میان شهرهای قزوین و اسلامشهر در جدول ۵ آمده است. همچنین میزان انتقال‌پذیری مدل پواسون و لوجیت چندجمله‌ای از نظر معیارهای آماره آزمون انتقال، خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال در جدول ۶ قابل مشاهده است.

براساس آماره آزمون انتقال، فرضیه برابری پارامترهای مدل در شهر مبدأ و مقصد در دو مدل فوق رد می‌شود. مقدار آماره خوبی برازش انتقالی، در مدل پواسون انتقال‌یافته در هر دو جهت (قزوین به اسلامشهر و اسلامشهر به قزوین)

به صورت مطلق کم است، اما اختلاف چندانی با آماره خوبی برازش مدل پرداخت شده در شهر مقصد ندارد. مقدار آماره خوبی برازش انتقالی مدل لوجیت انتقال یافته به اسلامشهر به صورت مطلق کم است (۰/۰۸) و نصف مقدار آماره خوبی برازش مدل پرداخت شده در اسلامشهر (۰/۱۷) به شمار می‌آید. همچنین آماره خوبی برازش انتقالی مدل انتقال یافته به قزوین ۰/۲۱ است که با مقدار معادل آن در شهر قزوین (۰/۲۸) اختلاف زیادی ندارد. مقادیر مثبت آماره خوبی برازش انتقالی نشان می‌دهد در هر دو جهت، عملکرد مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته از مدل سهم بازار در شهر مقصد بهتری است و انتقال پذیری در هر دو مدل روا محسوب می‌شود. همچنین عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای از نظر آماره خوبی برازش انتقالی از مدل پواسون بهتر، و از نظر شاخص انتقال بدتر است.

جدول ۵. مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی شهر مقصد برای حالات مختلف در انتقال مدل پواسون میان شهرهای قزوین و

مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی شهر مقصد برای:			مقصد	مبدأ	مدل
بر اساس مدل شهر مبدأ	همگرایی	سهم بازار			
-۳۵۴۴/۵۰	-۳۴۸۲/۴۰	-۳۷۵۳/۸۰	اسلامشهر	قزوین	پواسون
-۵۴۱۶/۱۵	-۵۳۱۴/۹۵	-۵۹۰۶/۸۱	قزوین	اسلامشهر	پواسون
-۳۲۰۴/۰۲	-۲۸۸۸/۲۴	-۳۴۹۶/۶۶	اسلامشهر	قزوین	لوجیت چندجمله‌ای
-۴۴۵۵/۷۶	-۴۰۲۵/۲۶	-۵۵۸۲/۸۹	قزوین	اسلامشهر	لوجیت چندجمله‌ای

جدول ۶. انتقال پذیری مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای میان شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر معیارهای آماره آزمون شاخص انتقال، خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال

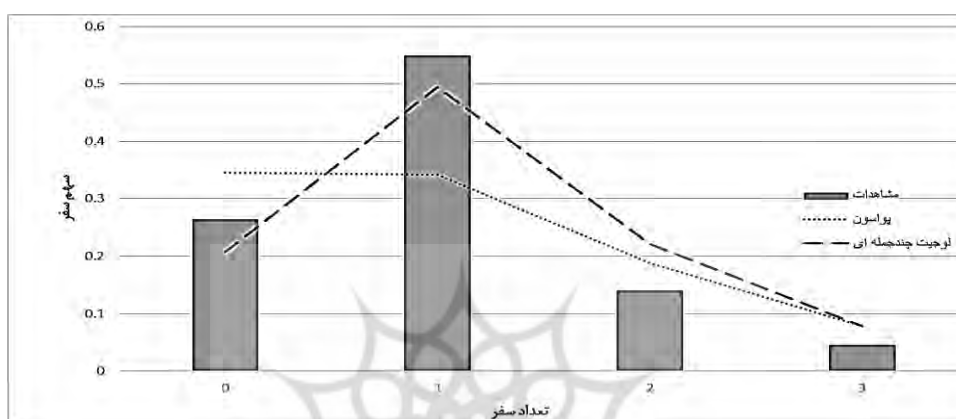
مدل	مبدأ	مقصد	خوبی برازش انتقالی	خوبی برازش شهر مقصد	شاخص انتقال	آماره آزمون انتقال	$\frac{2}{CF}$ 0.95
پواسون	قزوین	اسلامشهر	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۷۷	۱۲۴/۲۰	۷/۸۱
پواسون	اسلامشهر	قزوین	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۸۳	۲۰۲/۴۰	۷/۸۱
لوجیت	قزوین	اسلامشهر	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۴۸	۶۳۰/۲۶	۷/۸۱
چندجمله‌ای	اسلامشهر	قزوین	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۷۲	۸۶۱/۰۰	۷/۸۱

مقدار آماره مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) در مدل پواسون انتقال یافته به شهر قزوین، ۵۳ درصد از مدل پرداخت شده در این شهر بیشتر و مقدار آن در مدل انتقال یافته به اسلامشهر، ۱۲ درصد از مدل پرداخت شده در این شهر کمتر است. در واقع عملکرد مدل پواسون انتقال یافته به اسلامشهر، از نظر آماره مجذور میانگین مربعات خطا از مدل پرداخت شده این شهر بهتر است (جدول ۷). مقدار آماره مجذور میانگین مربعات خطا در مدل‌های لوجیت چندجمله‌ای پرداخت شده در شهرهای قزوین و اسلامشهر بسیار کم است. همچنین مقدار آن در مدل انتقال یافته به شهر قزوین ۲۴ درصد از مدل پرداخت شده در این شهر و در مدل انتقال یافته به اسلامشهر ۳۵ درصد از مدل پرداخت شده در این شهر بیشتر است. این مسئله خطای نسبی انتقال هم‌فزون مدل انتقال یافته را در هر دو جهت افزایش می‌دهد. برای تعیین میزان برازش مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته به شهر مقصد با مشاهدات این شهر، در هریک از مدل‌ها سهم مشاهده شده و برآورده شده تعداد سفرها (مطابق شکل‌های ۳ و ۴) در شهر مقصد مقایسه می‌شود.

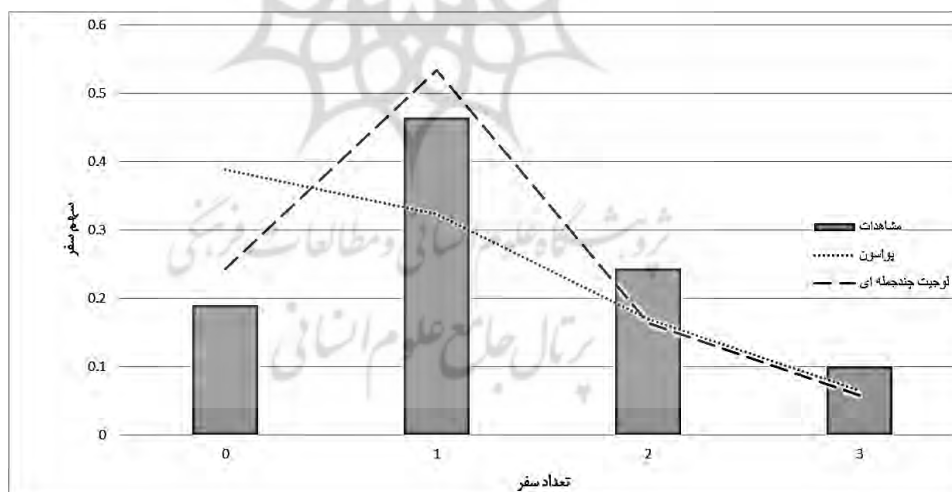
جدول ۷. انتقال پذیری مدل پواسون میان شهرهای قزوین و اسلامشهر از نظر آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و خطای نسبی انتقال هم‌فزون

مدل	مقصد	
	مبدأ	مقصد
پواسون	قزوین	۰/۴۵ (۱/۰۰)
	اسلامشهر	۰/۴۲ (۱/۰۰)
لوجیت چندجمله‌ای	قزوین	۰/۳۵
	اسلامشهر	۰/۲۴

* اعداد داخل پرانتز، خطای نسبی انتقال هم‌فزون هستند.



شکل ۳. سهم مشاهده و برآوردشده سفرهای اسلامشهر براساس مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته به اسلامشهر



شکل ۴. سهم مشاهده و برآوردشده سفرهای شهر قزوین براساس مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته به قزوین

شکل‌های ۳ و ۴ و آماره مجذور میانگین مربعات خطا نشان می‌دهد عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته به شهرهای قزوین و اسلامشهر در پیش‌بینی مشاهدات شهر مقصد از مدل پواسون بهتر است و مشاهدات شهر مقصد را با خطای کمتری پیش‌بینی می‌کند. در واقع عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال یافته از نظر معیارهای مطلق پیش‌بینی (خوبی برازش انتقالی و مجذور میانگین مربعات خطا) از مدل پواسون بهتر است، اما از نظر معیارهای نسبی پیش‌بینی (شاخص انتقال و خطای نسبی انتقال هم‌فزون) که عملکرد این مدل را با مدل پرداخت شده در شهر مقصد در پیش‌بینی می‌سنجد، بدتر است.

نتیجه‌گیری

هزینه جمع‌آوری داده در مدل‌سازی تقاضای سفر بسیار زیاد است و هرساله افزایش می‌یابد. حتی گاهی این هزینه از بودجه سالانه سازمان‌های متولی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در نواحی شهری کوچک و متوسط بیشتر می‌شود. یکی از بهترین راه‌های غلبه بر هزینه زیاد و زمان‌بر بودن فرایند جمع‌آوری داده، انتقال مدل‌های ساخته‌شده در شهرهای دیگر به شهر مورد نظر است. از سوی دیگر، مرحله ایجاد سفر در روش چهار مرحله‌ای کلاسیک اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا هرگونه خطا در آن به سایر مراحل منتقل می‌شود.

هدف پژوهش حاضر مقایسه عملکرد مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای در انتقال‌پذیری مکانی بود. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز به کمک آمارگیری مبدأ-مقصد ۴۴۷۹ خانوار قزوینی و ۳۱۸۳ خانوار اسلامشهری در یک روز کاری هفته، در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ گردآوری شد. نتایج پرداخت بیش از ۱۰۰ مدل پواسون و لوجیت چندجمله‌ای نشان می‌دهد مدل نهایی شامل سه متغیر مستقل تعداد شاغلان، سواری شخصی در تملک خانوار و حاصل ضرب این دو متغیر است. براساس مقایسه میزان برازش این دو مدل، برآورد سهم سفرها در لوجیت چندجمله‌ای از مدل پواسون بهتر است. باید توجه داشت که مدل پواسون نوعی مدل شمارشی، و مدل لوجیت چندجمله‌ای نوعی مدل انتخاب گسسته است. در مدل لوجیت چندجمله‌ای، برخلاف مدل پواسون نظریه رفتاری مسافر مدنظر قرار می‌گیرد و چند تابع مطلوبیت تعریف می‌شود؛ از این رو انتظار می‌رود عملکرد این مدل در برآورد بهتر باشد.

براساس آماره آزمون انتقال، فرضیه برابری پارامترها در شهر مبدأ و مقصد در هر دو مدل رد می‌شود. انتقال‌پذیری مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال‌یافته از نظر آماره خوبی برازش انتقالی و مجذور میانگین مربعات خطا، از مدل پواسون بهتر است. علاوه بر این، برآورد مشاهدات شهر مقصد در مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال‌یافته به شهرهای قزوین و اسلامشهر از مدل پواسون بهتر است و مشاهدات شهر مقصد را با خطای کمتری برآورد می‌کند. در واقع عملکرد مدل لوجیت چندجمله‌ای انتقال‌یافته از نظر معیارهای مطلق پیش‌بینی (خوبی برازش انتقالی و مجذور میانگین مربعات خطا) از مدل پواسون بهتر است، اما از نظر معیارهای نسبی پیش‌بینی (شاخص انتقال و خطای نسبی انتقال هم‌فزون) که عملکرد مدل انتقال‌یافته را با مدل پرداخت‌شده در شهر مقصد در پیش‌بینی می‌سنجد، بدتر است.

پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد استفاده از متغیرهای مربوط به ناحیه سکونت خانوار، سبب بهبود دوره زندگی، دسترسی میزان برازش و انتقال‌پذیری مدل می‌شود، اما در مطالعه حاضر به دلیل محدودیت داده تنها از متغیرهای اقتصادی-اجتماعی استفاده شده است که پیشنهاد می‌شود در پرداخت مدل در مطالعات آتی مدنظر قرار بگیرد. در این پژوهش به منظور قیاس میزان برازش مدل‌های پواسون و لوجیت چندجمله‌ای تنها از نمودار مشاهده و برآورده سهم سفرها استفاده شد. همچنین به منظور قیاس عملکرد این دو مدل در انتقال‌پذیری، از آماره آزمون انتقال برای بررسی برابری آماری پارامترهای مدل، خوبی برازش انتقالی و شاخص انتقال به منظور بررسی قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح ناهم‌فزون، مجذور میانگین مربعات خطا، خطای نسبی انتقال هم‌فزون و نمودار مشاهده استفاده شد. از برآورد سهم سفرها نیز برای بررسی قابلیت پیش‌بینی مدل در سطح هم‌فزون استفاده شده است. در ادامه این پژوهش پیشنهاد می‌شود از معیارهای دیگری برای قیاس میزان برازش مدل‌ها و عملکرد آن‌ها در انتقال‌پذیری استفاده شود تا جنبه‌های دیگری مدنظر قرار بگیرد.

سپاسگزاری

پژوهشگران از شهرداری محترم اسلامشهر و قزوین به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مبدأ-مقصد این دو شهر، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

۱. مشاق‌زاده‌فرد، سامان، ۱۳۷۹، **انتقال‌پذیری مدل‌های تولید سفر**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۲. طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک مجموعه شهری قزوین، ۱۳۹۱، **ساخت و پرداخت مدل‌های تقاضای سفر**، جلد سوم، شرکت مهندسان مشاور آتیه‌ساز.
۳. طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک مجموعه شهری اسلامشهر، ۱۳۹۳، **جمع‌آوری اطلاعات و شناخت وضع موجود**، جلد اول، شرکت مهندسان مشاور آتیه‌ساز.
4. Cotrus, A.V., Prashker, J. N., and Shifftan, Y., 2003, **Spatial and Temporal Transferability of Trip Generation Demand Models in Israel**, Journal of Transportation and Statistics, Vol. 8, No. 1, PP. 1-25.
5. Lim, K. K., and Srinivasan, S., 2011, **Comparative Analysis of Alternate Econometric Structures for Trip Generation Models**, Transportation Research Record, No. 2254, PP. 68-78.
6. Chang, J. S. et al., 2014, **Comparative Analysis of Trip Generation Models: Results Using Home-Based Work Trips in the Seoul Metropolitan Area**, Transportation Letters, Vol. 6, No. 2, PP. 78-88.
7. Badoe, D. A., 2007, **Forecasting Travel Demand with Alternately Structured Models of Trip Frequency**, Transportation planning and Technology, Vol. 30, No. 5, PP. 455-475.
8. Agyemang Duah, K., and Hall, F. L., 1997, **Spatial Transferability of an Ordered Response Model of Trip Generation**, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 31, No. 5, PP. 389-402.
9. Sikder, S., 2013, **Spatial Transferability of Activity-Based Travel Forecasting Model**, Ph.D. Thesis, University of South Florida.
10. Jang, T. Y., 2005, **Count Data Models for Trip Generation**, Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 6, PP. 444-450.
11. Kannel, E. J., and Heathington, K. W., 1973, **Temporal Stability of Trip Generation Relations**, in Highway Research Record, No. 472, PP.17-27.
12. Doubleday, C., 1977, **Some Studies of the Temporal Stability of Person Trip Generation Models**, Transportation Research, Vol. 11, No. 4, PP. 255-264.
13. Badoe, D. A., and Steuart, G. N., 1997, **Urban and Travel Changes in the Greater Toronto Area and the Transferability of Trip-Generation Models**, Transportation Planning and Technology, Vol. 20, No. 4, PP. 267-290.
14. Mwakalonge, J. L., Waller, J. C., and Perkins, J. A., 2012, **Temporal Stability and Transferability of Non-Motorized and Total Trip Generation Models**, Journal of Transportation Technologies, Vol. 2, No. 04, PP. 285-296.
15. Caldwell, L. C., and Demetsky, M. J., 1980, **Transferability of Trip Generation Models**, Transportation Research Record, No. 751, PP. 56-62.
16. Mahmassani, H. S., Bevilacqua, O. M., and Sinha, K. C., 1979, **Framework for Transferring Travel Characteristics of Small Urban Areas**, Transportation Research Record, No. 730, PP. 29-34.
17. Wilmot, C. G., 1995, **Evidence on Transferability of Trip-Generation Models**, Journal of Transportation Engineering, Vol. 121, No. 5, PP. 405-410.
18. Kawamoto, E., 2003, **Transferability of Standardized Regres Person-Based Approach Sion Model Applied to Person-Based Trip Generation**, Transportation Planning and Technology, Vol. 26, No. 4, PP. 331-359.
19. Everett, J. D., 2009, **An Investigation of the Transferability of Trip Generation Models and the Utilization of Aspatial Context Variable**, Ph.D. Thesis, University of Tennessee.
20. Shams, K., Jin, X., and Argote, J., 2014, **Examining Temporal Transferability of Trip Frequency Choice Models**, In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting.

21. Huntsinger, L. F., Roupail, N. M., and Bloomfield, P., 2013, **Trip Generation Models Using Cumulative Logistic Regression**, Journal of Urban Planning and Development, Vol. 139, No. 3, PP. 176-184.
22. Yasmin, F., Morency, C., and Roorda, M. J., 2015, **Assessment of Spatial Transferability of an Activity-Based Model, TASHA**, Transportation Research Part A: Policy and Practice, No. 78, PP. 200-213.
23. Gujarati, D., 2003, **Econometrics by Example**, Palgrave Macmillan.

