

یک تحلیل ساختاری و تطبیقی از مدل‌های مختلف تولید سفر، نمونه موردی سفرهای تحصیلی شهروندان قزوین

فاطمه احمدی پور^۱، امیر رضا ممدوحی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران (برنامه‌ریزی حمل‌ونقل)، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

armamdoohi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۶/۰۸]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۲/۱۵]

چکیده

ایجاد سفر اولین مرحله از رویکرد چهار مرحله‌ای کلاسیک است که در آن تعداد سفرهای تولید/ جذب شده به هر ناحیه ترافیکی برآورد می‌شود. استفاده از مدل رگرسیون خطی در این مرحله بسیار رایج است، هرچند عدم ارائه نظریه رفتاری و ماهیت صحیح و غیرمنفی سفرها از محدودیت‌های این مدل به شمار می‌رود. برای رفع این محدودیت‌ها، مدل‌های سانسور شده مانند توبیت برای جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی، مدل‌های با داده‌های شمارشی مانند پواسون و دوجمله‌ای منفی برای جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت و پروبیت رتبه‌ای برای ارائه نظریه رفتاری مسافر و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده‌است. هدف از این مقاله یک تحلیل ساختاری از مدل‌های مختلف تولید سفر شامل رگرسیون خطی، توبیت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای و مقایسه‌ی عملکرد آن‌ها است. داده‌های حاصل از پرسشگری نمونه‌ای از ساکنین شهر قزوین، شامل ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی و سفر تحصیلی ۴۷۳۴ خانوار به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. برای پرداخت مدل‌ها از ۸۵ درصد داده‌ها و برای ارزیابی آن‌ها از مابقی داده‌ها استفاده می‌شود. به منظور مقایسه مدل‌ها از معیارهای کمی میانگین خطای مطلق، رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و نمودار مربوط به مقایسه سهم مشاهده و پیش‌بینی شده همفزون سفرها استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد از نظر معیار میانگین خطای مطلق، مدل‌های لوجیت رتبه‌ای و رگرسیون خطی؛ میزان برازش رگرسیون خطی برآورد- مشاهده، مدل توبیت؛ ضریب تعیین رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و مقایسه سهم پیش‌بینی و مشاهده شده همفزون سفرها، مدل لوجیت رتبه‌ای دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها است.

واژگان کلیدی: تولید سفر، رگرسیون خطی، توبیت، پواسون، لوجیت رتبه‌ای

۱- مقدمه

در این مرحله، معمولاً از مدل رگرسیون خطی استفاده می‌شود.

هر چند فاقد نظریه رفتاری بوده و قادر به در نظر گرفتن ماهیت صحیح و غیرمنفی سفرها نیست. در مدل رگرسیون خطی فرض می‌شود رابطه‌ی بین متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی (شامل ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی خانوار)

ایجاد سفر اولین مرحله از رویکرد چهار مرحله‌ای کلاسیک بوده و شامل دو مدل تولید و جذب سفر است. مدل‌های تولید سفر، تعداد سفرهای تولید شده توسط هر فرد، خانوار یا ناحیه ترافیکی را برآورد می‌کند [1, 2, 3].

متغیر مستقل و از تعداد سفرهای یک فرد به‌عنوان متغیر وابسته استفاده شد. این مدل‌ها برای نواحی شهری هیفا⁶ و تلاویو⁷ و براساس اطلاعات مربوط به ارزیابی عادات سفر شهروندان اسرائیل (NTHS) در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۶/۱۹۹۷ پرداخت شدند. نتایج نشان می‌دهد مدل توییت برازش بیش‌تری به مشاهدات دارد و با در نظر گرفتن و برآورد افراد غیر مسافر، تمایل به فراهم کردن سازوکار نزدیک‌تری به واقعیت از تولید سفر دارد؛ علاوه بر این، مدل توییت عملکرد خوبی در انتقال-پذیری مکانی دارد.

بارمبی و دورنیک، ما و گولیا، والس و جانگ به منظور در نظر گرفتن ماهیت صحیح و غیرمنفی سفرها از مدل‌های شمارشی استفاده کردند.

بارمبی و دورنیک (۱۹۸۹، Barmby & Doornik) مدل‌های رگرسیون خطی و دوجمله‌ای منفی را برای سفرهای خرید مقایسه کردند و نتیجه گرفتند مدل دوجمله‌ای منفی عملکرد بهتری دارد [6].

ما و گولیا (۱۹۹۹، Ma & Goulias) به منظور برآورد تعداد فعالیت‌های روزانه به تفکیک نوع فعالیت از مدل‌های شمارشی استفاده کردند. دقت مدل‌ها در پیش‌بینی، با استفاده از شاخص‌های مربوط به مقایسه‌ی مقادیر مشاهده و پیش-بینی‌شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد تعداد فعالیت‌ها نسبتاً دقیق پیش‌بینی شده است؛ همچنین برای متغیر وابسته-های مختلف باید توزیع‌های مختلف در نظر گرفته شود [7].

جانگ (۲۰۰۵، Jang) با توجه به محدودیت‌های مدل پواسون (اگر واریانس داده‌ها از میانگین آن‌ها بیشتر شود، مقادیر خطا را کمتر از حد برآورد می‌کند و در صورت وجود تعداد زیادی صفر در مشاهدات، ضرایب را به طور نادرستی برآورد می‌کند) فراوانی سفرهای غیرخانه مینا روزانه خانوار را با مدل‌های پواسون با انباشتگی صفر^۸، دوجمله‌ای منفی و دوجمله‌ای منفی با انباشتگی صفر مدل کرد. مدل دوجمله‌ای منفی با انباشتگی صفر با توجه به آزمون وانگ به عنوان مدل بهینه انتخاب شد علاوه‌براین

خطی است و متغیر وابسته، ماهیت پیوسته و تصادفی با توزیع نرمال دارد [1,2,3,4,5].

پژوهش‌های زیادی برای کاهش محدودیت‌های مدل رگرسیون خطی انجام شده است. برای رفع این محدودیت‌ها، مدل‌های سانسور شده^۱ مانند توییت^۲ برای جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی، مدل‌های با داده‌های شمارشی^۳ مانند پواسون و دوجمله‌ای منفی^۴ و برای جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت و پروبیت رتبه‌ای برای ارائه نظریه رفتاری و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده است [2,4,5,6,7,8,9].

با توجه به اهمیت مرحله تولید سفر و عدم توجه کافی و کمی به مدل‌های مختلف مربوطه، این مقاله به تحلیل ساختاری مدل‌های مختلف و مقایسه‌ی کمی عملکرد آن‌ها در قالب نمونه موردی سفرهای تحصیلی می‌پردازد. هم‌چنین برای مدل‌سازی از نرم‌افزار استاتا^{۱۴} استفاده می‌شود.

این پژوهش شامل شش بخش است، پس از بخش جاری به مرور ادبیات، بررسی روش‌های استفاده شده در پژوهش، تحلیل آماری داده‌های نمونه موردی، تحلیل نتایج مدل‌سازی و مقایسه عملکرد مدل‌ها و در بخش آخر به نتیجه‌گیری و پیشنهادات پرداخته می‌شود.

۲- مرور ادبیات

محدودیت‌های مدل رگرسیون خطی منجر به انجام پژوهش‌هایی برای یافتن ساختارهای جایگزین برای مدل-کردن تولید سفر شده است.

کتراس و همکاران در سال ۲۰۰۵ به منظور جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی در نرخ سفر از مدل توییت استفاده کردند و انتقال‌پذیری زمانی و مکانی مدل‌های تولید سفر رگرسیون خطی چند جمله‌ای و توییت را در سطح فردی مقایسه کردند [2]. در هر دو مدل، از ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی به‌عنوان

1 censored regression

2 Tobit

3 Count data model

4 Negative Binomial

5 Sata 14

6 Haifa

7 Tel- Avive

8 Zero Inflated Poisson

توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای مقایسه نشده‌است و علاوه بر این، به منظور مقایسه مدل‌ها از هر دو نوع معیار مربوط به پیش‌بینی همفزون (نمودار مربوط به مقایسه سهم مشاهده و پیش‌بینی شده همفزون سفرها) و ناهمفزون (میانگین خطای مطلق، رگرسیون خطی برآورد - مشاهده) استفاده نشده‌است.

۳- روش‌شناسی

این قسمت از دو بخش تشکیل شده‌است. در بخش اول، نظریه مدل‌های مختلف تولید سفر شامل رگرسیون خطی، توییت پواسون و لوجیت رتبه‌ای و در بخش دوم معیارهای مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها بیان می‌شود.

۳-۱- مدل‌های مختلف ایجاد سفر

مدل رگرسیون خطی: این مدل طبق رابطه‌ی (۱) تعداد سفرهای ایجاد شده به وسیله (مثلاً) یک خانوار را به تفکیک هدف، به مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی مرتبط می‌کند [10]:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا i شاخص خانوار، k شاخص متغیرهای توضیحی، Y_i تعداد سفرهای تولیدی خانوار i (به تفکیک هدف)، X_{ki} مقدار متغیر توضیحی k برای خانوار i و β_k ضرایب برآورد شده متناظر با متغیر X_{ki} است. در مدل رگرسیون خطی فرض می‌شود جمله خطا (ε_i) توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت σ^2 دارد. رابطه‌ی (۲)، مقدار متوسط (مورد انتظار) تعداد سفرهای تولیدی خانوار i را براساس ضرایب برآورد شده β پیش‌بینی می‌کند.

$$\hat{Y}_i = E(Y_i | X_i) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki} \quad (2)$$

مدل رگرسیون خطی با روش کمینه مربعات معمولی پرداخت می‌شود.

مدل توییت: یک مدل رایج با نمونه‌ی سانسور شده است و در صورت سانسور شدن نمونه از چپ یا راست بکار می‌رود.

نتایج حاصل از آزمون ضریب نابرابری تیل نشان می‌دهد این مدل نسبت به سایر مدل‌ها، داده‌های مشاهده شده را بهتر توضیح می‌دهد [8].

بادوا و دنیل (۲۰۰۷، Badoe & Daniel) عملکرد مدل‌های رگرسیون خطی، بریده^۱، پواسون، دو جمله‌ای منفی و لوجیت رتبه‌ای را در سطح فردی مقایسه کردند. مدل‌ها بر اساس قابلیت آن‌ها در بازسازی تعداد سفر تولید شده به وسیله هر فرد و ناحیه در مجموعه داده‌ها ارزیابی شدند. ارزیابی عملکرد مدل‌ها، براساس مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۶ در ناحیه شهری تورنتو انجام شد. نتایج نشان می‌دهد مدل رگرسیون خطی با وجود محدودیت‌هایی که دارد تعداد سفرها را در سال پایه و سال پیش‌بینی با خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند [5].

روردا و همکاران (۲۰۱۰، Roorda et al) از مدل‌های پروبیت رتبه‌ای در ایجاد سفر استفاده کردند [9]. لیم و سرینیواسان (۲۰۱۰، Lim & Srinivasan) مدل‌های رگرسیون خطی، رگرسیون لگاریتم خطی، دو جمله‌ای منفی و پروبیت رتبه‌ای را در سطح خانوار و به تفکیک سفرهای خانه-مبنای کاری، خانه-مبنای غیرکاری و غیرخانه-مبنا (با سه الگوی توزیع متفاوت) مقایسه کردند. بدین صورت که، هر یک از این مدل‌ها را با داده‌های سال ۲۰۰۱ پرداخت و با نمونه‌ای از داده‌های سال ۲۰۰۹ اعتبارسنجی کردند و پی بردند مدل پروبیت رتبه‌ای جایگزینی مناسب برای مدل رگرسیون خطی است [3].

چانگ و همکاران (۲۰۱۴، Chang et al) هر یک از مدل‌های رگرسیون خطی، توییت، پواسون، پروبیت رتبه‌ای، طبقه‌بندی عرضی و طبقه‌بندی عرضی چندگانه را با داده‌های سال ۲۰۰۱ پرداخت و با نمونه‌ای از داده‌های سال ۲۰۰۹ اعتبارسنجی کردند و دریافتند مدل رگرسیون خطی دارای عملکرد بهتری است [4].

در هیچ یک از پژوهش‌ها، چهار مدل رگرسیون خطی،

داشته باشد، پارامترهای برآورد شده آن، سازگار اما ناکارآ هستند. در این صورت معنی‌داری آماری ضرایب برآورد شده، بیش از حد نشان داده خواهند شد. با استفاده از روش پیشنهادی کامرون و تریودی فرض پراکندگی یکسان به شرح زیر آزمون می‌شود [10]:

۱. مدل پواسون پرداخت می‌شود و مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته (تعداد سفر کاری هر خانوار) تعیین می‌شود.
 ۲. مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته از مقدار مشاهده شده آن کم می‌شود و مقدار باقیمانده‌ی هر مشاهده $(e_i = Y_i - \hat{Y}_i)$ محاسبه می‌شود.
 ۳. باقیمانده‌ها به توان ۲ رسانده و مشاهده از آن‌ها کم می‌شود. $(e_i^2 - Y_i)$
 ۴. رگرسیون نتایج مرحله ۳ روی مربع مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته محاسبه می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن شیب این رگرسیون، فرض پراکندگی یکسان رد می‌شود.
- مدل لوجیت رتبه‌ای: در صورتی که متغیر وابسته به صورت ترتیبی باشد، از مدل‌های رتبه‌ای استفاده می‌شود. در این مدل‌ها فرض می‌شود متغیر وابسته پنهان (متغیر وابسته غیرقابل مشاهده) با تعدادی از متغیرهای توضیحی طبق رابطه‌ی ۶ در ارتباط است [11].

$$Y_i^* = \beta X_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

که در آن:

Y_i^* متغیر وابسته پنهان؛ X_i : بردار متغیرهای توضیحی برای مشاهده i ام؛ β بردار ضرایب متغیرهای توضیحی؛ ε_i جمله‌ی خطا است که فرض می‌شود توزیع گامبل با میانگین صفر و واریانس $\frac{\pi^2}{3}$ دارد.

ارتباط متغیر وابسته پنهان و متغیر وابسته (مشاهده شده) Y_i به صورت رابطه (۷) است:

$$\text{if } \mu_{m-1} \leq Y_i^* \leq \mu_m \quad Y_i = m \quad m = 1, 2, \dots, j \quad (7)$$

در رابطه‌ی بالا μ ها، مقادیر آستانه و از خروجی‌های روش پرداخت درست‌نمایی بیشینه هستند که مقادیر بهینه آنها توسط نرم‌افزار تعیین می‌گردد.

در صورت سانسور شدن نمونه از چپ، مدل توییت به صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود.

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{if } Y_i^* > \tau \\ \tau_y & \text{if } Y_i^* \leq \tau \end{cases}$$

که Y_i^* نشان‌دهنده‌ی متغیر وابسته پنهان و τ پارامتر آستانه است. فرض می‌شود جمله خطا، توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت σ^2 دارد. اطلاعات مربوط به متغیر وابسته برای مقادیر بزرگتر از پارامتر آستانه τ ، مشاهده و برای مقادیر کوچکتر یا مساوی پارامتر آستانه τ ، سانسور می‌شود. مدل توییت با روش درست‌نمایی بیشینه پرداخت می‌شود [11].

مدل پواسون: زمانی که متغیر وابسته مقادیر عددی معین/محدود غیرمنفی صحیح (شمارشی) است، مدل رگرسیون خطی (به دلیل فرض نرمال بودن توزیع متغیر وابسته) عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی متغیر وابسته ندارد. در این شرایط، مدل شمارشی پواسون استفاده می‌شود و فرض می‌شود تعداد سفرهای تولیدی (مثلاً) هر خانوار (به تفکیک هدف) توزیع پواسون دارد [10].

مقدار متوسط (مورد انتظار) تعداد سفرهای تولیدی خانوار (μ_i) i به صورت رابطه‌ی (۴) تعریف می‌شود:

$$\bar{Y}_i = \mu_i = E(Y_i | X_i) = \exp(\beta X_i) \quad (4)$$

احتمال اینکه خانوار i به مقدار Y_i سفر تولید کند به صورت رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌شود و مدل پواسون با روش درست‌نمایی بیشینه پرداخت می‌شود.

$$P(Y_i | X_i) = \frac{\exp(\mu_i) \mu_i^{Y_i}}{Y_i!} \quad (5)$$

ویژگی خاص مدل پواسون، برابری میانگین و واریانس یک متغیر دارای توزیع پواسون است. این خاصیت که پراکندگی یکسان نامیده می‌شود، ویژگی محدودکننده توزیع پواسون است؛ زیرا در عمل واریانس متغیرهای شمارشی بیشتر بزرگتر از میانگین آن‌ها است که این ویژگی پراکندگی بیش از حد نامیده می‌شود. اگر مدل پواسون پراکندگی بیش از حد

با استفاده از مجموعه داده‌های پرداخت، ساخته می‌شوند و تعداد سفر تولیدی هر خانوار برای مشاهدات مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی، با استفاده از ضرایب برآورد شده، پیش‌بینی می‌شود و در نهایت عملکرد هر چهار مدل در پیش‌بینی تعداد سفر تولیدی هر خانوار برای مشاهدات مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی مقایسه می‌شود. در این فرآیند از معیارهای کمی زیر استفاده می‌شود:

برای بررسی میزان خوبی بازسازی مشاهدات، از نمودار برآورد- مشاهده استفاده می‌شود. در این نمودار محور افقی و قائم، به ترتیب نمایانگر تعداد سفرهای تحصیلی مشاهده و برآورد شده است. در صورتی که، خط برازش داده شده در این نمودار، نیمساز ربع اول باشد، نشان‌دهنده‌ی برازش کامل نتایج مدل به واقعیت است. با محاسبه‌ی ضرایب رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و ضریب تعیین (آماره‌ی R^2) می‌توان دقت مدل را در بازسازی مشاهدات بررسی کرد. هرچه عرض از مبدأ رگرسیون خطی برآورد- مشاهده به صفر و شیب آن به یک میل کند، مدل به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر است و داده‌های پرداخت و ارزیابی را بهتر پیش‌بینی می‌کند [5].

معیار کمی میانگین خطای مطلق (MAE) شاخصی از اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی (مقدار متوسط مورد انتظار) و مشاهده‌شده تعداد سفرهای تولیدی خانوار i در هر مدل است. این معیار طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود و هرچه مقدار آن‌ها کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل در پیش‌بینی است.

$$MAE_i = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - \hat{Y}_i|}{N} \quad (10)$$

که در آن N تعداد کل مشاهدات، Y_i و \hat{Y}_i تعداد سفر مشاهده و پیش‌بینی‌شده خانوار i با استفاده از هر مدل است [5].

معیار بعدی مربوط به مقایسه سهم همفزون مشاهده و پیش‌بینی‌شده تعداد سفرها است که به شکل نمودار نشان داده می‌شود. اولین گام در محاسبه این معیار، محاسبه‌ی احتمال انتخاب هر سطح از نرخ سفر برای هر خانوار در هر یک از مدل‌ها است. این احتمال در مدل‌های لوجیت رتبه‌ای و پواسون به صورت مستقیم محاسبه می‌شود و میانگین مقدار احتمال هر

در مدل لوجیت رتبه‌ای شیب متغیرهای مستقل، در همه طبقات یکسان است و فقط عرض از مبدأ آن‌ها (آستانه‌ها) با هم متفاوت است. به عبارت دیگر، خطوط رگرسیون موازی با عرض از مبدأهای متفاوت وجود دارد. مقدار متوسط (مورد انتظار) تعداد سفرهای تولیدی خانوار i به صورت رابطه‌ی (۸) تعریف می‌شود:

$$E(Y) = \sum_{m=1}^J m \cdot P_m \quad (8)$$

که در آن m نشان‌دهنده‌ی تعداد گزینه‌ها است. P_m یعنی احتمال وقوع $Y_i = m$ ، به صورت رابطه‌ی (۹) تعریف می‌شود:

$$P_m = \Pr(Y_i = m) = F(\mu_m - \beta X_i) - F(\mu_{m-1} - \beta X_i) \quad (9)$$

مدل‌های لوجیت رتبه‌ای با روش درست‌نمایی بیشینه پرداخت می‌شوند.

۳-۲- معیارهای مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های مختلف

در اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی که با روش حداقل مربعات معمولی پرداخت می‌شود، برای بررسی معنی‌داری متغیرها از آماره t ، برای بررسی معنی‌داری کل مدل (مجموعه متغیرها) از آماره F و برای بررسی برازندگی کلی مدل از آماره R^2 استفاده می‌شود. در مدل‌های توبیت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای که با روش درست‌نمایی بیشینه پرداخت می‌شود برای بررسی معنی‌داری متغیرها و معنی‌داری کل مدل (مجموعه متغیرها) به ترتیب از آماره‌ی t و نسبت درست‌نمایی استفاده می‌شود.

از آنجا که در این مقاله برای مدل کردن ایجاد سفر از ساختارهای مختلف گسسته، پیوسته، سانسور شده و شمارشی استفاده شده‌است، معیاری ثابت و ساده برای مقایسه‌ی مستقیم مدل‌ها وجود ندارد و عملکرد مدل‌ها، براساس قابلیت آن‌ها در پیش‌بینی تعداد سفر مقایسه می‌شود. برای پرداخت مدل‌ها از ۸۵ درصد داده‌ها و برای ارزیابی آن‌ها از مابقی داده‌ها استفاده می‌شود. به منظور مقایسه‌ی کمی عملکرد مدل‌ها، هر یک از مدل‌ها

به طور تقریبی ۷۷ درصد خانوارها فاقد دانشجو و ۴۲ درصد آنها فاقد دانش آموز هستند.

۵- نتایج مدل‌سازی و مقایسه عملکرد مدل‌ها

نتایج کمی پژوهش جاری در دو قالب نتایج ساختارهای مختلف مدل‌سازی و مقایسه عملکرد آنها در پیش‌بینی ارائه می‌شود.

$$P(Y_i = 1) = P(0.5 \leq \hat{Y}_i \leq 1.5) \quad (11)$$

۵-۱- نتایج ساختارهای مدل‌سازی

با پرداخت بیش از ۲۰۰ مدل رگرسیون خطی، توبیت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای برای شهر قزوین، انواع متغیرهای مختلف موجود و ترکیب منطقی آنها بررسی و در نهایت مدل برتر براساس معیارهای منطقی بودن علامت و معنی‌دار بودن ضرایب متغیرها، ضریب تعیین و آماره F در مدل رگرسیون خطی، آماره خوبی برازش و آزمون نسبت درست‌نمایی در مدل‌های توبیت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای انتخاب شد که دارای سه تعداد دانش‌آموزان، دانشجویان و سواری شخصی تحت تملک خانوار بود. نتایج پرداخت مدل‌های مختلف تولید سفر تحصیلی شامل رگرسیون خطی، توبیت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای در سطح خانوار در جدول (۳) نشان داده شده‌است.

سطح از نرخ سفر روی مجموعه مشاهدات تعیین می‌شود؛ اما در مدل رگرسیون و توبیت این احتمال به صورت مستقیم محاسبه نمی‌شود و از روند دیگری استفاده می‌شود، برای نمونه احتمال اینکه خانوار i یک سفر کند با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه می‌شود و سهم هر سطح از نرخ سفر روی مجموعه مشاهدات تعیین می‌شود.

در نهایت، برای هر مدل سهم پیش‌بینی‌شده هر سطح از نرخ سفر با سهم مشاهده شده همفزون آن مقایسه می‌شود و بهترین مدل از لحاظ خوبی برازش تعیین می‌شود [3].

۴- نمونه موردی

در مقاله جاری از اطلاعات سفرهای تحصیلی خانوار در یک روز عادی هفته از آمارگیری مبدأ- مقصد ساکنان شهر قزوین شامل ۴۷۳۴ خانوار قزوینی استفاده می‌شود [12]. نتایج تحلیل فراوانی سفرهای تحصیلی خانوار به تفکیک مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی در جدول (۱) و تحلیل آماری برخی از متغیرها در نمونه‌ی مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده‌است.

۴۷۳۴ خانوار نمونه شامل ۱۷۶۲۰ فرد است که ۹۱۹۳ نفر از آنها مذکر و ۸۴۲۷ نفر از آنها مونث هستند. تقریباً ۳۶ درصد خانوارها در روز پرسشگری سفر تحصیلی نداشته‌اند. ۲۸ درصد آنها ۱ و ۲۶ درصد آنها، ۲ سفر تحصیلی داشته‌اند.

جدول ۱: نتایج تحلیل فراوانی سفرهای تحصیلی خانوار به تفکیک مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی

Absolute and relative frequency			The number of educational trips
Total datasets	validation datasets	estimation datasets	
1709 (36.1)	247 (34.8)	1462 (36.32)	0
1308 (27.63)	184 (26)	1124 (27.93)	1
1238 (26.15)	192 (27.1)	1046 (25.99)	2
394 (8.32)	72 (10.15)	322 (8)	3
70 (1.48)	11 (1.55)	59 (1.47)	4
15 (0.32)	3 (0.4)	12 (0.3)	5
4734 (100)	709 (100)	4025 (100)	Total

*The relative frequency of household trips is shown in brackets.

Table 1: Results of frequency analysis of household educational trips by estimation and validation datasets

جدول ۲: نتایج تحلیل آماری برخی از متغیرهای خانوار در نمونه پژوهش

Max	min	Standard deviation	Mean	Definition	Symbol
5	0	1.06	1.12	Number of daily educational trips	Edutrip
3	0	0.45	0.24	Number of children under 6 years	Child 0-6
3	0	0.44	0.22	Number of children 7 - 11 years old	Child 7-11
4	0	0.77	0.72	Number of children 12 - 18 years old	Child 12-18
11	1	1.12	3.72	Dimen of household	Dimen
4	0	0.59	0.69	Number of car ownership	auto
6	0	1.02	1.20	Number of students	Educate
7	0	0.99	0.89	Number of adults 19 - 30 years old	adult 19-30
3	0	0.85	1	Number of adults 31 - 45 years old	adult 31-45
3	0	0.72	0.49	Number of adults 46 - 60 years old	adult 46-60
3	0	0.5	0.17	Number of adults over 60 years old	adult 60
5	0	0.65	0.51	Numer of bicycle	Bicycle
4	0	0.91	0.92	Number of school students	Daneshamoz
5	0	0.56	0.28	Number of college students	Daneshjo

Table 2: Results of statistics analysis of household variables in the research sample

تحصیلی است. هم‌چنین با افزایش تعداد سواری شخصی در تملک خانوار، سفرهای تحصیلی افزایش می‌یابد. از آنجا که تعدادی از خانوارها با استفاده از سواری شخصی، سفر تحصیلی انجام می‌دهند و علاوه بر این، تعداد سواری شخصی هر خانوار نشان دهنده‌ی سطح درآمد آن‌هاست (سطح درآمد خانوار بر تعداد سفرهای تحصیلی تأثیر مستقیم دارد) این نتیجه قابل توجیه است.

متغیر تعداد دانش‌آموزان، بیش‌ترین مقدار آمار t را به ترتیب در مدل‌های رگرسیون خطی و توییت دارد. آماره‌ی t این متغیر در مدل‌های پواسون و لوجیت رتبه‌ای تقریباً برابر و کمتر از مدل‌های رگرسیون خطی و توییت است. مقدار آماره‌ی t متغیر تعداد دانشجویان، بیش‌ترین مقدار را به ترتیب در مدل‌های رگرسیون خطی، توییت، لوجیت رتبه‌ای و پواسون دارد. مقدار این آماره برای متغیر تعداد سواری شخصی تحت تملک خانوار در مدل‌های رگرسیون خطی، توییت و پواسون تقریباً برابر و بیش‌تر از مدل لوجیت رتبه‌ای است.

آزمون نسبت راست‌نمایی در مدل‌های توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای و آماره‌ی F در مدل رگرسیون خطی نشان می‌دهد فرضیه‌ی صفر مبنی بر صفر شدن همزمان همه متغیرها در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد رد می‌شود.

فرض پراکنندگی یکسان در مدل پواسون با روش پیشنهادی کامرون و تریودی بررسی شد. براساس جدول (۴) شیب رگرسیون خطی معنی‌دار شده‌است؛ بنابراین فرض پراکنندگی یکسان در مدل پواسون رد می‌شود.

آمار R^2 نشان می‌دهد ۷۰ درصد تغییرات در تعداد سفرهای تحصیلی خانوار به وسیله‌ی سه متغیر تعداد دانش‌آموزان، دانشجویان و سواری شخصی در تملک خانوار توضیح داده می‌شود.

علامت ضرایب متغیرها منطقی و در مدل‌های مختلف یکسان است. ضرایب متغیرهای تعداد دانش‌آموزان، دانشجویان و سواری شخصی در تملک خانوار علامت مثبت دارد. از آنجا که متغیر تعداد دانش‌آموزان هر خانوار، بیش‌ترین تأثیر را بر مقدار مربع کای می‌گذارد، موثرترین عامل در تولید سفرهای

جدول ۳: نتایج پرداخت مدل‌های مختلف تولید سفر تحصیلی شامل رگرسیون خطی، توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای

Ordered Logit	Poisson		Tobit		Regression		Variable
coefficient	t statistic	Coefficient	t statistic	coefficient	t statistic	coefficient	
3.59	49.29	0.78	76.18	1.25	91.98	0.92	Daneshamoz
2.43	23.26	0.49	37.62	0.89	38.07	0.63	Daneshjo
0.24	4.53	0.11	4.83	0.11	4.89	0.08	Auto
	-30.41	-1.11	-21.09	-0.64	2.31	0.04	Cons
2.21							Cut1
5.36							Cut2
8.75							Cut3
11.71							Cut4
14.34							Cut5
MLE		MLE		MLE		OLS	Estimator
0.45		0.24		0.38			ρ^2
						0.70	R^2
-3001.78		-4215.06		-3722.41			LL(β)
4908.77		2664.58		4634.46			LR chi2(3)
0.00		0.00		0.00			Prob> chi2
						3159.78	F statistic
		4025					N observation

Table 3: Estimation results of different trip production models including linear regression, Tobit, Poisson and ordered logit

جدول ۴: نتایج تحلیل رگرسیون خطی آزمون کامرون و تریویدی

R^2	t(b)	Width from origin (b)	t(a)	Slop fitted line (a)
0.51	-34.72	-1.12	64.92	0.27

Table 4: Results of linear regression analysis of Cameron and Trivedi tests

پیش‌بینی و بازسازی مشاهدات مجموعه داده‌های پرداخت و مجموعه داده‌های ارزیابی با استفاده از معیارهای متنوع (بخش سوم) صورت می‌گیرد.

۵-۲-۱- پیش‌بینی مجموعه داده‌های پرداخت

در جدول (۵) میانگین خطای مطلق (MAE)، رگرسیون خطی برآورد- مشاهده در پیش‌بینی مشاهدات مجموعه داده-های پرداخت و در شکل (۱) نمودار مربوط به مقایسه سهم پیش‌بینی و مشاهده شده هم‌فزون سفرها نشان داده شده است.

هم‌چنین، جمله ثابت در مدل رگرسیون خطی علامت مثبت و در مدل‌های توییت و پواسون علامت منفی دارد. به عبارت دیگر، عوامل تاثیرگذار مشاهده‌نشده‌ای در مدل نهایی وجود دارند که در مدل رگرسیون خطی باعث افزایش و در مدل‌های توییت و پواسون باعث کاهش تعداد سفرهای تحصیلی می‌شوند.

۵-۲- نتایج مقایسه عملکرد مدل‌ها

مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف در دو سطح مختلف

هم‌چنین شیب خط برازش مدل تویت بیشتر و مدل پواسون کمتر از سایر مدل‌ها است که از این لحاظ مدل تویت به حالت عمکرد مدل‌ها در این قسمت مشابه حالت قبل است. ایده‌آل نزدیک‌تر است. ضریب تعیین رگرسیون خطی برآورد- مشاهده در مدل‌های رگرسیون خطی و لوجیت رتبه‌ای بیش‌تر از سایر مدل‌ها و در مدل پواسون کمتر از سایر مدل‌ها است. معیار بعدی مربوط به مقایسه سهم مشاهده و پیش‌بینی شده هم‌فزون سفرها است. همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده‌است سهم پیش‌بینی شده هم‌فزون سفرها به ترتیب در مدل‌های لوجیت رتبه‌ای، تویت، رگرسیون خطی و پواسون بیش‌ترین برازش را به سهم مشاهده‌شده سفرها دارد.

۵-۲-۲- پیش‌بینی مشاهدات مجموعه داده‌های ارزیابی

در جدول (۶) میانگین خطای مطلق (MAE)، رگرسیون خطی برآورد- مشاهده برای مجموعه داده‌های ارزیابی و در شکل (۲) نمودار مربوط به مقایسه سهم پیش‌بینی و مشاهده- شده هم‌فزون سفرها ارائه شده‌است.

شکل ۱. سهم پیش‌بینی و مشاهده‌شده هم‌فزون سفرها برای مجموعه داده- های پرداخت

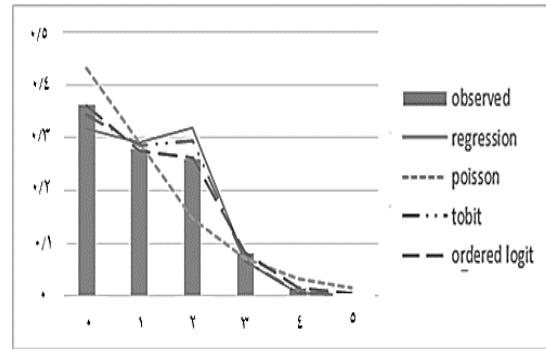


Fig 1. Predicted and observed aggregate trip shares for estimation dataset

همانگونه که در جدول (۵) دیده می‌شود مقدار میانگین خطای مطلق در مدل‌های رگرسیون خطی و لوجیت رتبه‌ای تقریباً برابر و کمتر از سایر مدل‌ها و در مدل پواسون بیش‌تر از سایر مدل‌ها است. هر چه عرض از مبدأ رگرسیون خطی برآورد- مشاهده به صفر و شیب آن به یک میل کند مدل، به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر است. نتایج نشان می‌دهد عرض از مبدأ مدل تویت، کمتر و مدل پواسون، بیش‌تر از سایر مدل‌ها است،

جدول ۵: نتایج تحلیل رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و میانگین خطای مطلق مدل‌های مختلف در پیش‌بینی مجموعه داده‌های پرداخت

R ²	t(b)	Width from origin (b)	t(a)	Slop fitted line (a)	mean absolute error	Model
0.70	29.99	0.33	97.39	0.70	0.33	Linear Regression
0.67	19.49	0.24	90.28	0.74	0.39	Tobit
0.51	21.82	0.35	64.34	0.68	0.53	Poisson
0.69	27.65	0.32	94.89	0.72	0.34	Ordered Logit

Table 5: Results of estimated-observed linear regression analysis and mean absolute error measures in prediction of estimation dataset

جدول ۶: نتایج تحلیل رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و میانگین خطای مطلق مدل‌های مختلف در پیش‌بینی مجموعه داده‌های ارزیابی

R ²	t(b)	Width from origin (b)	t(a)	Slop fitted line (a)	mean absolute error	Model
0.73	12.43	0.32	43.47	0.70	0.32	Linear Regression
0.70	8.05	0.24	40.60	0.74	0.38	Tobit
0.58	10.73	0.36	31.52	0.65	0.52	Poisson
0.72	11.55	0.31	42.69	0.72	0.34	Ordered Logit

Table 6: Results of estimated-observed linear regression analysis and mean absolute error measures in prediction of validation dataset

مطلق (MAE)، رگرسیون خطی برآورد- مشاهده و نمودار مربوط به مقایسه سهم مشاهده و پیش‌بینی شده هم‌مفزون سفرها مقایسه شد. بدین منظور هر یک از مدل‌ها (با مجموعه داده‌های پرداخت) پرداخت شده و قابلیت هر مدل در پیش‌بینی مشاهدات مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی مقایسه شد. در این راستا از اطلاعات سفرهای تحصیلی روزانه خانوار در یک روز کاری و عادی هفته از آمارگیری مبدأ- مقصد ساکنان شهرهای قزوین شامل ۴۷۳۴ خانوار قزوینی استفاده شد.

با پرداخت بیش از ۲۰۰ مدل رگرسیون خطی، توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای برای شهر قزوین، انواع متغیرهای مختلف موجود و ترکیب منطقی آن‌ها بررسی و در نهایت مدل برتر براساس معیارهای منطقی بودن علامت و معنی‌دار بودن ضرایب متغیرها، ضریب تعیین و آماره F در مدل رگرسیون خطی، آماره خوبی برازش و آزمون نسبت درست‌نمایی در مدل‌های توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای انتخاب شد که دارای سه متغیر تعداد دانش‌آموزان، دانشجویان و سواری شخصی تحت تملک خانوار بود.

عملکرد هر یک از مدل‌ها از نظر معیارهای مختلف تفاوت دارد. از نظر معیار میانگین خطای مطلق، مدل‌های لوجیت رتبه‌ای و رگرسیون خطی عملکرد بهتر و مدل پواسون عملکرد بدتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. از نظر میزان برازش رگرسیون خطی برآورد- مشاهده، مدل توییت دارای عملکرد بهتر و مدل پواسون دارای عملکرد بدتری نسبت به سایر مدل‌ها است. با توجه به نتایج حاصل از ضریب تعیین رگرسیون خطی برآورد- مشاهده به ترتیب مدل‌های لوجیت رتبه‌ای، رگرسیون خطی، توییت و پواسون دارای بهترین عملکرد هستند. بر اساس معیار مربوط به مقایسه سهم مشاهده و پیش‌بینی شده هم‌مفزون سفرها، مدل‌های لوجیت رتبه‌ای، توییت، رگرسیون خطی و پواسون به ترتیب بیش‌ترین برازش را به سهم مشاهده شده هم‌مفزون سفرها دارد. هم‌چنین عملکرد هر یک از مدل‌ها در پیش‌بینی مشاهدات مجموعه داده‌های پرداخت و ارزیابی کاملاً مشابه بود در این مقاله به منظور ارزیابی مدل‌ها به دلیل در اختیار

شکل ۲: سهم پیش‌بینی و مشاهده شده هم‌مفزون سفرها برای مشاهدات مجموعه داده‌های ارزیابی

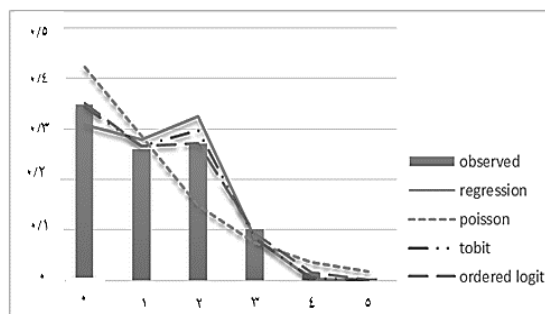


Figure 2: Predicted and observed aggregate trip shares for validation dataset

از نظر معیار میانگین خطای مطلق، مدل‌های لوجیت رتبه‌ای و رگرسیون خطی نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری دارند. مدل توییت دارای عرض از مبدأ کمتر و شیب خط برازش بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها است و ضریب تعیین مدل‌های لوجیت رتبه‌ای و رگرسیون خطی بیش‌تر از سایر مدل‌ها است. با توجه به شکل (۲) سهم پیش‌بینی شده هم‌مفزون سفرها در مدل لوجیت رتبه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها برازش بیش‌تری به سهم مشاهده شده سفرها دارد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ایجاد سفر اولین مرحله از رویکرد چهار مرحله‌ای کلاسیک بوده و شامل دو مدل تولید و جذب سفر است. این مرحله بیشتر با مدل رگرسیون خطی برآورد می‌شود هر چند این مدل فاقد نظریه رفتاری مسافر است و در آن ماهیت صحیح و غیرمنفی سفرها لحاظ نمی‌شود. مدل‌های سانسور شده مانند توییت برای جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی، مدل‌های با داده‌های شمارشی مانند پواسون و دو جمله‌ای منفی برای جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی و مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت و پروبیت رتبه‌ای برای ارائه نظریه رفتاری و جلوگیری از ایجاد مقادیر پیوسته و منفی پیشنهاد شده است. در این مقاله عملکرد مدل‌های مختلف تولید سفر از جمله رگرسیون خطی، توییت، پواسون و لوجیت رتبه‌ای با استفاده از معیارهای میانگین خطای

- [6] Barmby, T. and Doornik, J. (1989), "Modelling trip frequency as a Poisson variable", *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 309-315.
- [7] Ma, J. and Goulias, K. (1999), "Application of Poisson regression models to activity frequency analysis and prediction", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1676, pp. 86-94.
- [8] Jang, T.Y. (2005), "Count data models for trip generation", *Journal of Transportation Engineering*, No. 131(6), pp. 444-450. *Journal of Transportation Engineering*, No. 131(6), pp. 444-450.
- [9] Roorda, M. J. Paez, A. Morency, C. Mercado, R. and Farber, S. (2010), "Trip generation of vulnerable populations in three Canadian cities: a spatial ordered probit approach." *Springer*, No. 37(3), pp. 525-548.
- [10] Gujarati, D. (2014), "Econometrics by example", *Palgrave Macmillan*.
- [11] Long, J.S. (1997), "Regression models for categorical and limited dependent variables", *Sage Publications*, Thousand Oaks, CA.
- [12] The comprehensive plan of transport and the traffic of urban collection of Qazvin, 1391, "production and estimation of travel demand- third volume", *Atieh saz engineering company*. (In Persian)

نداشتن داده‌های شهر قزوین در چند سال آینده، مجبور به تقسیم کردن داده‌های سال ۱۳۹۲ شدیم، پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده به منظور ارزیابی مدل‌ها از داده‌های آن شهر در چند سال آینده استفاده شود. همچنین می‌توان عملکرد مدل‌های دوجمله‌ای منفی، دوجمله‌ای منفی با انباشتگی صفر و پواسون با انباشتگی صفر را نیز با مدل‌های موجود مقایسه کرد و از آماره‌های دیگر به منظور مقایسه‌ی مدل‌ها استفاده کرد.

References

۷- مراجع

- [1] Ortuzar, J.D. and Willumsen, L.G. (2004), "Modelling transport", 3rd Edition, USA: John Wiley and Sons.
- [2] Cotrus, A.V. Prashker, J.N. and Shifan, Y. (2005), "Spatial and temporal transferability of trip generation demand models in Israel", *Journal of Transportation and Statistics*, No. 8(1), pp. 37.
- [3] Lim, K. K. and Srinivasan, S. (2011), "Comparative analysis of alternate econometric structures for trip generation models", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2254, pp. 68-78.
- [4] Chang, J.S. Jung, D. Kim, J. and Kang, T. (2014), "Comparative analysis of trip generation models: results using home-based work trips in the Seoul metropolitan area", *Transportation Letters*, No. 6(2), pp. 78-88.
- [5] Badoe, D.A. (2007), "Forecasting travel demand with alternatively structured models of trip frequency", *Transportation Planning and Technology*, No. 30(5), pp. 455-475.

A structural and comparative analysis for various trip production models, case study of Qazvin educational trips

F. Ahmadipour¹, A. R. Mamdoohi^{2*}

1- M.Sc. of Transportation planning Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

2- Assistant Prof., Transportation planning Eng. Dept., Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

armamdoohi@modares.ac.ir

Abstract:

Trip generation is the first stage of the conventional four-step travel forecasting framework that estimates the number of trips to and from a traffic analysis zone. Using linear regression model is common in this step and generates an acceptable level of performance from the perspective of transport planning, however this model does not incorporate traveler behavior, integer and non-negative nature of trips. To overcome these limitation, several models have been suggested: censored model such as Tobit for deleting negative values; count data models such as negative binomial and Poisson for deleting continuous and negative values; and discrete choice models such as ordered logit and probit for incorporating traveler behavior and preventing continuous and negative values. Given the importance of trip generation stage and lack of sufficient and quantitative attention to various trip production models, this paper develops alternative trip production models. The purpose of this paper is a structural analysis for various trip production models and comparison of their performance in prediction. Four representative models (regression, Tobit, Poisson and ordered logit) are applied to the educational trips in Qazvin city. The modeling unit employed in this study is the household. Research sample includes socio-economic attributes of 4734 households. 85 percent of the data is used for estimation and the rest for validation. The models are assessed by how closely they are able to replicate trips made by each household in the estimation and validation dataset. In order to compare the performance of models in prediction, each of the models is developed on estimation dataset, and used to predict the trips made by each household. Measures assessing how well the predicted number of trips made daily by each household by each of the models compared to the observed number of trip made by the household are evaluated and compared. The four measures for assessing performance are the mean absolute error, regression of the predicted number of household trips against the observed number of household trips in terms of goodness of fit and coefficient of determination, and plot of observed and predicted aggregate trip shares. Results of model building in Stata show that in all four models, number of school students, number of university students, and household car ownership are statistically significant. The performance of each of the models are different in terms of various measures (mean absolute error, regression of the predicted number of household trips against the observed number of household trips in terms of goodness of fit and coefficient of determination, and compare plot of observed and predicted aggregate trip shares). From mean absolute error perspective, ordered Logit and linear regression models have the best performance, but from goodness of fit regression of the predicted number of household trips against the observed number of household trips, Tobit models have the best performance. Ordered Logit models have the best performance in terms of coefficient of determination of the predicted number of household trips against the observed number of household trips and comparison of predicted share of every trip rate level with observed share. The performance of each of the models are similar in prediction of validation and estimation dataset.

Keywords: trip production, linear regression, Tobit, Poisson, ordered Logit