



Modeling of ride-sourcing demand for inner-city trips

The use of the discrete choice method for Tabriz City

Sajjad Abdollahzadeh¹, Hossein Panahi^{2*}, Elham Nobahar³

¹ PhD student, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Associate Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract: Nowadays, urban transportation is one of the most important issues and challenges in urban economics. The development of cities and the emergence of phenomena such as population density, traffic, air pollution, and so on, have made obvious the necessity of using new, inclusive, and cost-effective technologies in the field of urban transportation services. In this regard, this paper models the demand for ride-sourcing for inner-city trips in Tabriz City. Our model is based on the Lancaster demand theory using the hedonic price function and cost analysis method. We estimated the ride-sourcing choice probability for inner-city trips by applying the logit discrete choice method. The results obtained from the estimation of the ride-sourcing taxi demand model have shown the sensitivity of passengers to the time costs of traveling with this type of taxi. Also, the results of demand analysis show that the decrease in trip velocity due to city traffic causes to increase in demand for ride-sourcing.

Key Words: Ride-sourcing market, Lancaster demand function, Hedonic price function, Discrete choice model.

مدل سازی تقاضای تاکسی اینترنتی برای سفرهای درون شهری

کاربرد الگوی انتخاب گسسته برای شهر تبریز

سجاد عبدالله زاده^۱، حسین پناهی^{۲*}، الهام نوبهار^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشیار گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

چکیده

امروزه موضوع حمل و نقل شهری از مهم ترین مباحث و چالش های اقتصاد شهری است. توسعه شهرها و بروز پدیده هایی همچون تراکم جمعیتی، ترافیک، آلودگی هوا و نظایر آن، ضرورت به کارگیری فناوری های نوین، فراگیر و مقرون به صرفه در بخش خدمات حمل و نقل شهری را بیش از پیش آشکار کرده است. در این راستا، این مقاله تقاضای تاکسی اینترنتی برای سفرهای درون شهری در شهر تبریز را مدل سازی کرده است. مدل تقاضا مبتنی بر نظریه تقاضای لنکستر و کاربرد تابع قیمت هدانیک و مدل تحلیل هزینه بوده و به منظور برآورد احتمال انتخاب روزانه تاکسی اینترنتی برای سفرهای درون شهری از روش انتخاب گسسته لاجیت استفاده شده است. نتایج به دست آمده از برآورد مدل تقاضای تاکسی اینترنتی حساسیت مسافران به هزینه های زمانی سفر با این نوع تاکسی را نشان داده است. همچنین براساس نتایج به دست آمده، کاهش سرعت سفر در روزهای ترافیکی موجب افزایش احتمال انتخاب تاکسی اینترنتی برای سفرهای بعدی در همان روز شده است.

واژه های کلیدی: بازار تأمین سواری، تابع تقاضای لنکستر، تابع قیمت هدانیک، مدل انتخاب گسسته.

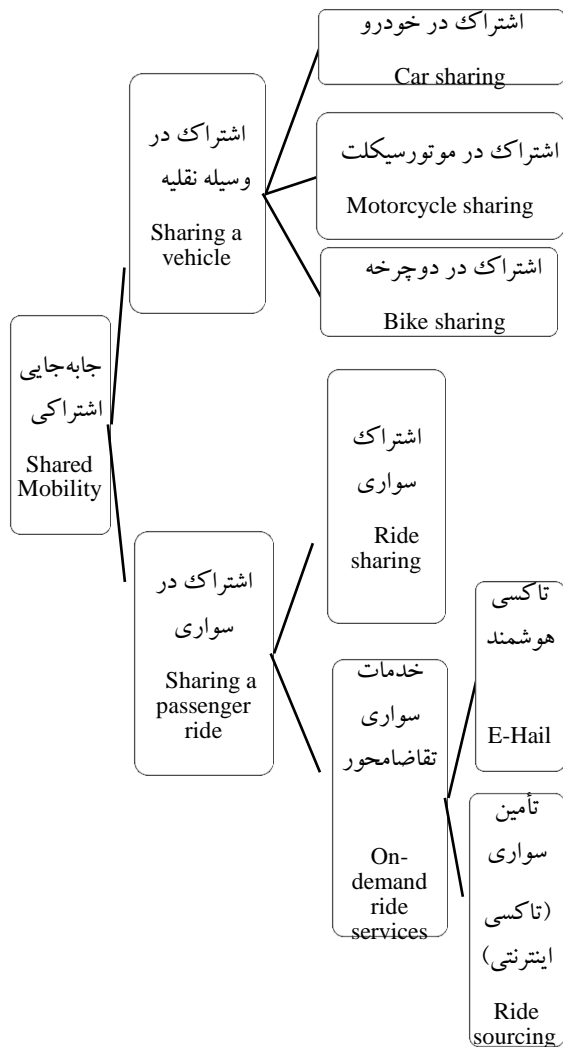
* Corresponding Author: Hossein Panahi

E-mail address: sajjad.abdollahzadeh@yahoo.com, dr.h.panahi@gmail.com, enobahar@gmail.com



2588-4867/ © 2024 University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



نمودار ۱- خدمات جابه‌جایی اشتراکی (برگرفته از مدل جین و همکاران (۲۰۱۸) با انجام اصلاحات)

توانایی تاکسی اینترنتی در تعیین کرایه سفر برای مسافر و همچنین کسر مبلغی از کرایه سفر بابت کمیسیون انجام فرایند تأمین سواری موجب می‌شود تاکسی اینترنتی بتواند با هدف حداکثرسازی سود در بازار خدمات حمل‌ونقل شهری به فعالیت بپردازد. امروزه این نوع از تاکسی‌ها به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای انجام سفرهای درون‌شهری تبدیل شده‌اند. نظر به اهمیت موضوع، این مقاله با هدف مدل‌سازی تقاضای تاکسی اینترنتی به منظور سفرهای درون‌شهری برای شهر تبریز ارائه شده است.

مبانی نظری

از اصول الگوهای عقلایی اقتصاد، توجه به اصل حداکثرسازی ترجیحات توسط مصرف‌کننده است؛ با این مفهوم که یک

مقدمه

از مهم‌ترین مباحث اقتصاد شهری، موضوع حمل‌ونقل شهری است. امروزه توسعه شهرها و بروز پدیده‌هایی همچون تراکم جمعیتی، ترافیک، آلودگی هوا و نظایر آن، ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های نوین، فراگیر و مقرون‌به‌صرفه در بخش خدمات حمل‌ونقل شهری را بیش‌ازپیش آشکار کرده است. همزمان با گسترش این چالش‌ها کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات کمک‌شایان توجهی در شناخت مشکلات، بهینه‌سازی و ارتقای سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به سطح سامانه‌های هوشمند داشته است (Shibayama & Emberger, 2020). نگاهی به گزارش‌های منتشرشده توسط نهادها و شرکت‌های فعال در صنعت حمل‌ونقل گویای آن است که سامانه‌های هوشمند، اجزای اصلی شبکه حمل‌ونقل شهری را در آینده تشکیل می‌دهند (Kamargianni et al., 2016; BMW 2018). در این بین، ترکیب فناوری‌های هوشمند با ایده اقتصاد اشتراکیⁱ زمینه ظهور کسب‌وکارهای نوین در بخش حمل‌ونقل شهری همچون تأمین‌کنندگان خدمات جابه‌جاییⁱⁱ را فراهم کرده است (Jin et al., 2018). همان‌گونه که در نمودار ۱ نمایش داده شده است، خدمات ارائه‌شده توسط تأمین‌کنندگان خدمات جابه‌جایی به دو نوع اشتراک در وسیله نقلیه و اشتراک در سواری تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته خاصی از خدمات جابه‌جایی از نوع اشتراک در سواری که با هدف کسب سود اقتصادی ارائه می‌شود، به خدمات سواری تقاضامحورⁱⁱⁱ معروف است. وجود انگیزه کسب سود در خدمات سواری تقاضامحور، بررسی اقتصادی آن به‌عنوان یک کسب‌وکار را امکان‌پذیر می‌کند. تأمین سواری^{iv} یکی از مهم‌ترین انواع خدمات سواری تقاضامحور است. تأمین سواری فرایندی است که در آن یک سامانه هوشمند حمل‌ونقل شهری با ارتباط‌دهی مسافران تقاضای دریافت سواری به رانندگان دارای سواری، تقاضای برخط تقاضایان دریافت سواری را تأمین می‌کند (Jin et al., 2018; Shibayama & Emberger, 2020). در این مدل ارتباط بین مسافران و رانندگان عضو سامانه هوشمند حمل‌ونقل شهری از طریق تلفن‌های هوشمند در شبکه اینترنت صورت می‌گیرد؛ به همین دلیل، این نوع سامانه هوشمند حمل‌ونقل شهری به تاکسی اینترنتی معروف شده است.

توجه می‌کنند؛ بنابراین، مطلوبیتی که افراد از مصرف یک کالا کسب می‌کنند را می‌توان به مطلوبیت حاصل از اجزای تشکیل‌دهنده آن کالا تقسیم کرد. این نظریه به‌ویژه درباره کالاهای مرکب، مانند اتومبیل و مشابه آن، به‌خوبی عمل می‌کند. در چارچوب نظریه تقاضای لنکستر نحوه ارتباطدهی خصوصیات کالا با قیمت کالا موضوع مهمی است؛ زیرا خصوصیات غیربازاری کالاها باید از طریق یک تابع به قیمت بازاری کالا ارتباط داده شود. ایده مناسب استفاده از تابع قیمت هدانیک برای کالاهای مرکب است. روش هدانیک نخستین‌بار برای تجزیه و تحلیل تقاضا در بازار مسکن و محیط زیست به کار گرفته شد و در ادامه با کارهای نظری روزن گسترش یافت. روزن ^{vi} (۱۹۷۴) مدلی از بازار شامل کالایی با n مشخصه ارائه می‌کند که در آن هر کالا قیمت مخصوص به خود را دارد؛ اما قیمتی برای تک‌تک مشخصه‌های آن کالا در بازار وجود ندارد. مدل هدانیکی قیمت برای این کالا به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$P(Z) = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \quad (2)$$

در رابطه ۲، $P(Z)$ قیمت بازاری کالا، Z_1, Z_2, \dots, Z_n خصوصیات کالای مدنظر و f تابع ارتباط‌دهنده هریک از خصوصیات موجود در کالا با قیمت بازاری کالا است. سفر را می‌توان یکی از انواع کالاهای مرکب دانست که شامل ابعاد پولی و زمانی است. ویژگی مرکب‌بودن به وسیله نقلیه سفر (تاکسی) نیز قابل سرایت است؛ بنابراین، تقاضا برای تاکسی اینترنتی را در چارچوب نظریه تقاضای لنکستر (۱۹۶۶) و تابع قیمت هدانیک روزن (۱۹۷۴) می‌توان مدل‌سازی کرد؛ در نتیجه، خواهیم داشت:

$$P_i = \sum_{i=1}^n \beta_i Z_i + u_i \quad (3)$$

در رابطه ۳، P_i قیمت بازاری کالای i ام، β_i ضرایب تخمین، Z_i خصوصیات کالای i ام و u_i جزء تصادفی را نشان می‌دهد. برای تجزیه قیمت در تابع قیمت هدانیک به اجزای تشکیل‌دهنده می‌توان از مدل تحلیل هزینه ارائه‌شده توسط دی برگر و پروست ^{vi} (۲۰۰۱) استفاده کرد. در این مدل، هزینه وسیله حمل‌ونقل از سه منبع ناشی می‌شود که عبارت‌اند از هزینه تولیدکننده خدمات TC_{prod} ، هزینه استفاده‌کننده خدمات TC_{user} و هزینه‌های بیرونی سیستم TC_{ext} ؛ بنابراین،

مصرف‌کننده عقلایی به دنبال حداکثرسازی ترجیحات فطری خود روی دامنه‌ای از بردارها شامل مقادیر و صفات کالاها است (McFadden, 2001). اگر دامنه انتخاب برای مصرف‌کننده نمونه، فضایی پیوسته داشته باشد، تابع تقاضا براساس رهیافت نئوکلاسیکی تئوری رفتار مصرف‌کننده و از طریق حل یک مسئله بهینه‌یابی ریاضی با کاربرد حساب دیفرانسیل به دست خواهد آمد؛ اما پیش‌فرض اصلی استخراج چنین تابع تقاضایی، وجود فضای پیوسته برای مجموعه گزینه‌ها برای انتخاب است. چنانچه مصرف‌کننده از یک یا چند کالا مقدار صفر را انتخاب کند، مسئله بهینه‌یابی فوق دارای جواب گوشه‌ای است و امکان به دست آوردن جواب بهینه از شرط مرتبه اول مسئله بهینه‌یابی ریاضی فراهم نخواهد بود. در چنین شرایطی راه‌حل استخراج تابع تقاضا استفاده از رهیافت تئوری انتخاب گسسته است. نقطه آغازین رهیافت تئوری انتخاب گسسته از نظریه درخت مطلوبیت استروتر و تفسیر لنکستر از این درخت ایجاد شد. استروتر با ارائه نظریه درخت مطلوبیت، تابع مطلوبیت کل را به‌صورت ترکیبی از مطلوبیت شاخه‌های جدا از هم تعریف می‌کند:

$$U = U[U^1(q_1^1, q_2^1, \dots, q_{m1}^1), U^2(q_1^2, q_2^2, \dots, q_{m2}^2), \dots, U^n(q_1^n, q_2^n, \dots, q_{mn}^n)] \quad (1)$$

در رابطه ۱، $U^n(q_1^n, q_2^n, \dots, q_{mn}^n)$ مطلوبیت ناشی از مصرف کالاها در شاخه n ام و U سطح جدایی‌پذیری بین شاخه‌های مختلف را نشان می‌دهد. در حالت وجود جدایی‌پذیری قوی، تابع مطلوبیت فوق به تابع مطلوبیت جمع‌پذیر تبدیل می‌شود؛ به‌طوری‌که هر شاخه دسته‌ای از کالاها را شامل می‌شود. در روش تجزیه تابع مطلوبیت کل به روش استروتر فرایند تخصیص بودجه مصرف‌کننده به کالاها طی دو مرحله انجام می‌گیرد. نخست، بودجه مصرف‌کننده بین شاخه‌های مختلف و با توجه به قیمت متوسط کالاهای موجود در هر شاخه تخصیص می‌یابد. سپس بودجه تخصیص‌یافته به هر شاخه بین کالاهای موجود در آن شاخه تخصیص داده می‌شود. با فرض اینکه بودجه اختصاص‌یافته به هر شاخه محدود باشد، می‌توان تابع تقاضا برای کالاهای هر شاخه را به‌طور مستقل از قیمت کالاها در سایر شاخه‌ها به دست آورد. لنکستر ^v (۱۹۶۶) در تفسیر درخت مطلوبیت استروتر، تابع مطلوبیت کل را مبتنی بر خصوصیات کالاهای مصرفی تعریف می‌کند. طبق این نظریه که به نظریه تقاضای لنکستر معروف است، افراد در تصمیم برای انتخاب کالاها به خصوصیات آنها

داریم:

$$TC = TC_{\text{prod}} + TC_{\text{user}} + TC_{\text{ext}} \quad (۴)$$

در رابطه $TC_{\text{prod}} = \sum P_i X_i$ ، هزینه کل تولیدکننده و $TC_{\text{user}} = Q \cdot h(x_i)$ هزینه کل غیرپولی مصرف‌کننده را نشان می‌دهد. همچنین، میزان تولید سفر با x_i عامل تولید به صورت $Q = f(x_i)$ تعریف می‌شود. با به‌کارگیری قاعده برابری درآمد نهایی با هزینه نهایی در بازار انحصار فروش (شرایطی که در آن یک بنگاه عرضه‌کننده خدمت در بازار حاضر است) از توابع هزینه کل و تولید کل دیفرانسیل می‌گیریم و با جایگذاری خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} dTC &= dTC_{\text{prod}} + dTC_{\text{user}} \\ &= \sum_i dx_i \left[P_i + Q \frac{dh}{dx_i} \right] + dQ \cdot h(x_i) \\ dQ &= \sum_i dx_i \frac{df}{dx_i} \\ MC &= \frac{dTC}{dQ} = \frac{P \sum_i dx_i \frac{df}{dx_i}}{\sum_i dx_i \frac{df}{dx_i}} + h(x_i) \\ &= P + h(x_i) \end{aligned} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، P قیمت تمام‌شده تولید خدمت برای عرضه‌کننده، برابر پرداختی به عامل تولید (راننده) است. با فرض وجود یک تاکسی اینترنتی و برقراری وضعیت انحصار در بازار، انحصارگر به منظور کسب سود، قیمت را بالاتر از هزینه نهایی تعیین می‌کند؛ بنابراین، می‌توان به جای P از F استفاده کرد که نشان‌دهنده کرایه (حاصل جمع پرداختی به راننده و کمیسیون سفر) است. مدت زمان سپری‌شده از زمان ثبت درخواست مسافر تا رسیدن راننده به محل استقرار مسافر در مبدأ سفر (مدت زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی اینترنتی) و همچنین مدت زمان سپری‌شده در طول سفر مسافر با تاکسی اینترنتی از مبدأ سفر تا مقصد سفر (مدت زمان سفر مسافر با تاکسی) هزینه‌های غیرپولی (زمانی) مسافر را تشکیل می‌دهند که جایگزین $h(x_i)$ در رابطه ۵ می‌شود و هزینه واقعی سفر به دست می‌آید. با جایگذاری در رابطه ۳، خواهیم داشت:

$$P_i = \sum_{i=1}^n \beta_{i1} F + \beta_{i2} W_p + \beta_{i3} L \quad (۶)$$

در رابطه ۶، P_i قیمت، β_i ضرایب تخمین، F کرایه، W_p زمان انتظار مسافر و L مدت زمان سفر را نشان می‌دهد. با

جایگذاری رابطه ۶ در تابع مستقیم تقاضا ($D = f(P_i)$) و تنظیم ضرایب به مدل تقاضای تاکسی اینترنتی ارائه‌شده توسط زو و همکاران (۲۰۲۱) خواهیم رسید که در رابطه ۷ نشان داده شده است:

$$D = f(F + \beta W_p + \tau L) \quad (۷)$$

در رابطه ۷، D تقاضای تاکسی اینترنتی، β ارزش هر واحد از زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی اینترنتی و τ ارزش هر واحد از زمان سفر مسافر با تاکسی اینترنتی را نشان می‌دهد.

مدل رگرسیون گسسته

در اقتصادسنجی، مدل رگرسیون گسسته به مدل‌هایی گفته می‌شود که در آن متغیر وابسته مقادیر گسسته را برمی‌گزیند. مدل دودویی یکی از انواع این مدل‌های رگرسیون گسسته است که در آن متغیر وابسته y_i مقادیر صفر و یک را برمی‌گزیند. رهیافت متعارف در این زمینه به‌کارگیری مدل انتخاب گسسته لاجیت است. در مدل لاجیت فرض می‌شود متغیر وابسته y_i^* وجود دارد که غیرقابل مشاهده است و با رابطه رگرسیونی زیر تعریف می‌شود:

$$y_i^* = \beta' x_i + u_i \quad (۸)$$

در رابطه ۸، x_i و β هریک بردارهایی $K \times 1$ هستند. در عمل y_i^* غیرقابل مشاهده بوده و آنچه قابل مشاهده است متغیر مجازی y_i است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_i = 1 \quad \text{اگر} \quad y_i^* > 0 \\ y_i = 0 \quad \text{اگر} \quad y_i^* \leq 0 \quad (۹)$$

با توجه به دو نقطه‌ای بودن قانون توزیع y_i امید ریاضی آن به صورت $E(y_i) = P_i$ خواهد بود و خواهیم داشت:

$$\Pr(y_i = 1 | x_i, \beta) = \Pr(u_i > -\beta' x_i) \\ = 1 - F(-\beta' x_i) \quad (۱۰)$$

در رابطه ۱۰، F قانون توزیع انباشته متغیر تصادفی u_i است. مقادیر مشاهده‌شده y_i فقط مقادیر تحقق‌یافته‌ای از فرایند دو نقطه‌ای با احتمال تعیین‌شده در رابطه ۱۰ هستند که از یک تجربه به تجربه دیگر با توجه به مقدار x_i تغییر می‌کنند؛ در نتیجه، تابع راستنمایی تعداد N متغیر تصادفی u_i عبارت است

از: رخداد $y_i = 1$ برای فرد i ام است (کشاورز حداد، ۱۳۹۶: ۹۳).

تنظیم مدل رگرسیون گسسته برای حالت تصادفی

ناهمگونی ترجیحات مصرف‌کنندگان در نمونه‌های واقعی مشاهده می‌شود طوری که افراد در شرایط یکسان گزینه‌های یکسان را انتخاب نمی‌کنند. همچنین، نیاز به توضیح علل غیرانتقالی بودن ترجیحات موجب توسعه مدل‌های انتخاب گسسته با هدف لحاظ ناسازگاری رفتاری مصرف‌کنندگان در این مدل‌ها شد که به معرفی مدل انتخاب تصادفی انجامید. در این مدل علت ناسازگاری در رفتار مصرف‌کنندگان ناشی از تغییرات غیرقابل مشاهده بین آنها و صفات غیرقابل مشاهده گزینه‌ها تعریف شده است و به صورت جزء خطا در مدل وارد می‌شود. با فرض اینکه مصرف‌کننده گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که دارای بالاترین سطح مطلوبیت برای او باشد (Akiva & Lerman, 1985)، احتمال انتخاب گزینه i ام برابر با این احتمال است که مطلوبیت گزینه i ام بزرگ‌تر یا برابر با گزینه‌های دیگر در مجموعه انتخاب باشد (Khan, 2007)؛ بنابراین، با تشکیل تابع مطلوبیت تصادفی به صورت حاصل جمع دو بخش غیرتصادفی و تصادفی، خواهیم داشت (Domencich & McFadden, 1975؛ Koppelman & Bhat, 2006):

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (17)$$

در رابطه ۱۷، احتمال انتخاب گزینه i ام توسط فرد n ام به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} p_n(i) &= \Pr[(V_{in} + \varepsilon_{in}) \\ &\geq (V_{jn} + \varepsilon_{jn})], \forall i \neq j \\ &= \Pr[(\varepsilon_{ni}) \leq (V_{nj} - V_{ni} \\ &+ \varepsilon_{nj})], \forall i \neq j \end{aligned} \quad (18)$$

در مدل لاجیت فرض بر این است که ε_{ni} دارای توزیع مستقل با تابع توزیع احتمال $F(\varepsilon_{ni}) = e^{-e^{-\varepsilon_{ni}}}$ و توزیع تجمعی $F(\varepsilon_{ni}) = e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}}$ است. از آنجا که ε_{ni} دارای توزیع مستقل است، این توزیع تجمعی روی مقادیر $i \neq j$ به صورت زیر خواهد بود:

$$p_{ni} | \varepsilon_{ni} = \pi_{i \neq j} e^{-e^{-(\varepsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj})}} \quad (19)$$

چون ε_{ni} دارای مقادیر معین نیست، احتمال انتخاب گزینه i ام برابر با انتگرال $p_{ni} | \varepsilon_{ni}$ در تابع چگالی روی همه مقادیر

$$L = \prod_{y_i=0} F(-\beta'x_i) \prod_{y_i=1} [1 - F(-\beta'x_i)] \quad (11)$$

شکل تابعی F در رابطه ۱۱، به فرض‌های پذیرفته شده راجع به u_i در رابطه ۸ بستگی دارد. اگر توزیع انباشته u_i از نوع لاجستیک و به صورت $F(u_i) = \frac{\exp(u_i)}{1 + \exp(u_i)}$ باشد، مدل احتمال در تابع راستنمایی رابطه ۱۱ نیز از نوع لاجیت خواهد بود:

$$\begin{aligned} F(-\beta'x_i) &= \frac{\exp(-\beta'x_i)}{1 + \exp(-\beta'x_i)} \\ &= \frac{1}{1 + \exp(\beta'x_i)} \end{aligned} \quad (12)$$

به همین صورت خواهیم داشت:

$$1 - F(-\beta'x_i) = \frac{\exp(\beta'x_i)}{1 + \exp(\beta'x_i)} \quad (13)$$

می‌دانیم $y_i \in \{0, 1\}$ ؛ بنابراین، متغیر تصادفی y_i دارای احتمال دو نقطه‌ای با تابع چگالی $F(y_i) = p^{y_i} q^{1-y_i}$ است که با فرض استقلال y_i ها در نمونه استخراج شده از جامعه تابع چگالی مشترک N مشاهده به صورت حاصل ضرب توابع چگالی آنها به دست می‌آید؛ در نتیجه، داریم:

$$L = \prod_{i=1}^N p_i^{y_i} (1 - p_i)^{1-y_i} \quad (14)$$

با داشتن $p_i = 1 - F(-\beta'x_i)$ ، آنگاه با استفاده از روابط ۱۱ تا ۱۴ برای فرم بسته لاجیت تابع راستنمایی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} L &= \prod_{i=1}^N \left(\frac{\exp(\beta'x_i)}{1 + \exp(\beta'x_i)} \right)^{y_i} \left(\frac{1}{1 + \exp(\beta'x_i)} \right)^{1-y_i} \\ &= \frac{\exp(\beta' \sum_{i=1}^N x_i y_i)}{\prod_{i=1}^N [1 + \exp(\beta'x_i)]} \end{aligned} \quad (15)$$

در نهایت، دستگاه K معادله در رابطه ۱۵ را برای K مجهول β می‌توان حل کرد و مقادیر احتمال رخداد $y_i = 1$ را برای مقادیر مختلف متغیرهای توضیحی به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\hat{p}_i = \frac{\exp(\hat{\beta}'x_i)}{1 + \exp(\hat{\beta}'x_i)} \quad (16)$$

در رابطه ۱۶، مقدار محاسبه شده برای احتمال وقوع

ε_{ni} است؛ به عبارت دیگر:

$$P_{ni} = \int e^{-e^{-(\varepsilon_{ni} + v_{ni} - v_{nj})}} \cdot e^{-\varepsilon_{ni}} \cdot e^{-\varepsilon_{ni}} \cdot d\varepsilon_{ni} \quad (20)$$

در نهایت، با انجام تغییرات جبری مقدار این انتگرال برابر مقدار به دست آمده در رابطه ۲۱ خواهد بود (Train, 2009).

$$P_{ni} = \frac{e^{v_{ni}}}{\sum_j e^{v_{nj}}} \quad (21)$$

مروری بر مطالعات پیشین

آسنسایو^۱ (۲۰۰۲) در مقاله‌ای با عنوان «انتخاب وسیله نقلیه برای سفرکنندگان به مرکز شهر در بارسلون اسپانیا»، عوامل مؤثر بر انتخاب وسیله سفر به مرکز شهر را با استفاده از یک مدل لاجیت چندگانه آشیانه‌ای برای دو نوع وسیله نقلیه عمومی و خودرو شخصی را مطرح کرده‌اند. در این مطالعه، عوامل مؤثر بر انتخاب خودروی شخصی عبارت بودند از زمان سفر، جنسیت، هزینه سفر، سرپرست خانوار بودن و چگالی جمعیت در منطقه سکونت و محل کار. عوامل مؤثر بر حمل و نقل عمومی نیز شامل زمان سفر با وسیله نقلیه عمومی، زمان انتظار، زمان پیاده‌روی تا مقصد، زمان پیاده‌روی تا مبدأ و زمان انتقال بین وسایل نقلیه عمومی، هزینه، جنسیت، مسافت سفر و تناوب وسیله نقلیه عمومی بودند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان دادند ضرایب مربوط به هریک از متغیرها، به جز تناوب وسیله نقلیه عمومی، دارای علامت مورد انتظار بوده و معنادار بوده‌اند. زا و همکاران^۲ (۲۰۱۶) با ارائه تحلیل اقتصادی برای بازار تاکسی اینترنتی نتیجه گرفته‌اند که در صورت عدم مداخله نظارتی در بازار، تاکسی اینترنتی انحصارگر سود مشترک خود با رانندگان عضو را حداکثر می‌کند. لی و سزتو^۳ (۲۰۲۱) به منظور ارائه مدلی برای کل بازار تاکسی، تقاضا برای تاکسی را تابعی کاهنده و مشتق‌پذیر از سطح کرایه، مدت زمان سفر و زمان انتظار مسافر در نظر گرفته‌اند. در این مدل تاکسی انحصارگر با هدف حداکثرسازی سود، خدمات رانندگان اجاره‌ای عضو ناوگان تاکسی را خریداری و به مصرف‌کنندگان نهایی عرضه می‌کند. دولت محلی نیز با اعمال سیاست‌های تنظیم بازار، سیاست حداکثرسازی رفاه اجتماعی را دنبال می‌کند. در مطالعه‌ای دیگر زو و همکاران (۲۰۲۱) بازار تاکسی اینترنتی را بررسی و مدل اقتصادی برای آن ارائه کرده‌اند. آنها به منظور مدل‌سازی تقاضای تاکسی اینترنتی، از روش تحلیل هزینه استفاده کرده‌اند و با کاربرد مدل انتخاب گسسته لاجیت،

تابع تقاضا را تابعی کاهنده از اجزای هزینه سفر شامل کرایه سفر، هزینه زمانی مدت زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی اینترنتی و هزینه زمانی مدت زمان سفر مسافر با تاکسی اینترنتی در نظر گرفته‌اند. در مطالعات داخلی نیز نصرالهی و اونق (۱۳۹۰) در پژوهشی، تابع تقاضای سفر به بندر ترکمن را برآورد کرده و نتیجه گرفته‌اند که فقط هزینه سفر، در تقاضای سفر مؤثر بوده است. زیاری و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای، الگوهای رفتاری سفرهای کاری و خدماتی ساکنان شهر تهران را مدل‌سازی کرده‌اند. آنها بعد از معرفی مدل لاجیت و ساخت و ارائه توابع مطلوبیت سفرهای کاری و خدماتی، ضرایب متغیرهای توابع مطلوبیت ارائه شده را با کاربرد مدل لاجیت چندگانه و روش حداکثر درستیابی برآورد و بررسی و تحلیل آماری کرده‌اند. نتایج به دست آمده نشان دادند مدل‌های ساخته شده از درجه برازندگی بالایی برخوردار بوده‌اند و قادرند الگوهای رفتاری پیچیده سفرهای کاری و خدماتی ساکنان شهر تهران را براساس مدل احتمالی لاجیت شبیه‌سازی کنند. در مطالعه‌ای دیگر، گوگردچیان و همکاران (۱۳۹۵) ابتدا مدل‌های انتخاب گسسته و چگونگی شکل‌گیری و مدل‌سازی تقاضا در آنها را معرفی کرده و سپس تقاضای سفر در شهر اصفهان را تخمین زده‌اند. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان دادند تقاضا برای خودروی شخصی فقط به آسایش خودروی شخصی وابسته بوده است؛ در حالی که تقاضا برای تاکسی به زمان، هزینه، درآمد و آسایش و همچنین تقاضا برای اتوبوس به زمان و هزینه وابسته بوده است. در پژوهشی دیگر خیری و ممدوحی (۱۴۰۱) عوامل مؤثر بر تغییر تمایل استفاده از تاکسی اینترنتی در شرایط کوید-۱۹ را مدل‌سازی کرده‌اند. آنها داده‌های مورد نیاز را از طریق پرسشگری آنلاین، جمع‌آوری و اقدام به ساخت مدل‌های لاجیت رتبه‌ای و دوگانه کرده‌اند. براساس نتایج به دست آمده، شیوع کرونا بر میزان استفاده از تاکسی اینترنتی، اثر منفی و افزایش قیمت بنزین و نبود پارکینگ در مقصد سفر بر میزان استفاده از تاکسی اینترنتی تأثیر مثبت داشته است. همچنین، افراد دارای خودروی شخصی نسبت به افراد فاقد خودروی شخصی، از تاکسی اینترنتی کمتر استفاده می‌کنند و پس از شیوع کرونا نیز میزان استفاده خود را بیشتر کاهش داده‌اند.

روش‌شناسی

در این مقاله با پیروی از زو و همکاران (۲۰۲۱)، تقاضای

در این پژوهش به منظور محاسبه اندازه مناسب نمونه از رابطه ۲۳ استفاده شده است:

$$n = \frac{z^2 pqN}{d^2(N-1) + z^2 pq} \quad (23)$$

در رابطه ۲۳، N اندازه جامعه و n اندازه نمونه است. z مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ است. p مقدار نسبت صفت موجود در جامعه است که اگر در اختیار نباشد می‌توان برابر ۰/۵ در نظر گرفت. q درصد افرادی را نشان می‌دهد که فاقد آن صفت در جامعه هستند. d مقدار اشتباه مجاز است که معمولاً ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود (Cochran, 1977).

اگر اندازه جامعه آماری مشخص نباشد، رابطه ۲۳ به حالت زیر تبدیل می‌شود:

$$n = \frac{z^2 pq}{d^2} \quad (24)$$

با کاربرد رابطه ۲۴، اندازه مناسب نمونه در این پژوهش برابر با ۳۸۴ به دست آمده است:

$$n = \frac{(1/96)^2 \times (0/5 \times 0/5)}{(0/05)^2} = 384.16 \cong 384 \quad (25)$$

به منظور ارتقای دقت آماری، داده‌های مربوط به ۳۸۹ سفر طی یک طرح نمونه‌گیری در سطح شهر تبریز جمع‌آوری و استفاده شده‌اند.

استخراج تقاضای تاکسی و تجزیه و تحلیل نتایج

تقاضای تاکسی مبتنی بر نظریه تقاضای لنگستر و کاربرد تابع قیمت هدانیک و مدل تحلیل هزینه مدل‌سازی شده است. در ادامه، به منظور برآورد احتمال انتخاب هر روز (روزانه) تاکسی برای سفرهای درون‌شهری، از روش انتخاب گسسته لاجیت استفاده شده است. نمودار ۳ فرایند استخراج تقاضای تاکسی را نشان می‌دهد.

تاکسی اینترنتی (از این به بعد تاکسی نامیده می‌شود) در فرم مدل انتخاب گسسته لاجیت مدل‌سازی شده است. در جدول ۱ متغیرهای مدل تقاضای تاکسی نشان داده شده و در رابطه ۲۲ معرفی شده‌اند.

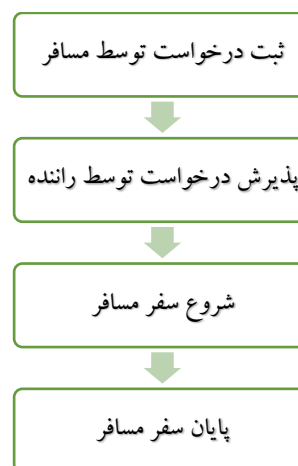
$$D = Qe^{-k(F+\beta W_p+\tau L)} \quad (22)$$

جدول ۱- متغیرهای مدل تقاضای تاکسی

متغیر	تعریف	متغیر	تعریف
D	تقاضای تاکسی	β	ارزش هر واحد از زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی
Q	تقاضای سفر	W_p	مدت زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی
k	پارامتر حساسیت تقاضای تاکسی	τ	ارزش هر واحد از زمان سفر مسافر با تاکسی
F	کرایه سفر	L	مدت زمان سفر مسافر با تاکسی

الگوی سفر درون‌شهری و نحوه جمع‌آوری داده‌ها

به منظور انجام سفرهای درون‌شهری با تاکسی، کاربران مسافر و کاربران راننده عضو تاکسی با اتصال به شبکه اینترنت و ورود به برنامه تاکسی، نصب‌شده روی گوشی‌های تلفن همراه هوشمند، اقدام به ثبت و پذیرش سفر می‌کنند. بعد از ثبت درخواست سفر و ورود مشخصات سفر شامل مبدأ و مقصد توسط مسافر، تاکسی نزدیک‌ترین راننده فعال مایل به پذیرش درخواست سفر ثبت‌شده را شناسایی می‌کند و به مسافر ارتباط می‌دهد؛ بدین ترتیب، سواری سفر تأمین می‌شود. این فرایند در قالب یک الگوی سفر در نمودار ۲ نمایش داده است:

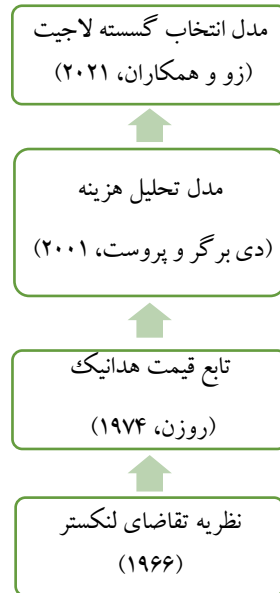


نمودار ۲- الگوی سفر درون‌شهری با تاکسی

تاکسی، برای استخراج تقاضای تاکسی از روش جمععی‌سازی احتمال انتخاب نمونه استفاده شده است. بدین منظور، با حاصل ضرب احتمال انتخاب روزانه تاکسی در کل سفرهای درون‌شهری صورت‌گرفته توسط نمونه بررسی شده^{xiii}، تقاضای تاکسی به دست آمده است. همچنین در ادامه این پژوهش، عوامل مؤثر بر احتمال انتخاب بیش از یک بار تاکسی در یک روز بررسی شده و ضرایب مدل تقاضای تاکسی به روش لاجیت دوگانه، برآورد و در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج برآورد ضرایب مدل تقاضای تاکسی به روش لاجیت دوگانه به‌منظور برآورد احتمال انتخاب روزانه تاکسی

مدل اول: با لحاظ مدت زمان انتظار مسافر برای یافتن تاکسی				
تاکسی	نماد	ضریب	آماره والد	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	C	۰/۲۷۴	۰/۹۱۰	---
کرایه سفر	F_1	۰/۳۵۲	۱/۴۶۷	---
مدت زمان انتظار مسافر	WP_1	-۰/۰۵۵	-۲/۱۱۹	٪۹۶
مدت زمان سفر	L	-۰/۰۰۹	-۰/۶۰۸	---
کرایه تاکسی معمولی درون‌شهری	F_2	۰/۰۴۲	۰/۱۵۵	---
مدل دوم: با لحاظ مدت زمان انتظار مسافر برای رسیدن تاکسی				
تاکسی	نماد	ضریب	آماره والد	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	C	۰/۳۹۹	۱/۲۵۷	---
کرایه سفر	F_1	۰/۳۱۶	۱/۳۲۴	---
مدت زمان انتظار مسافر	WP_2	-۰/۰۸۴	-۲/۰۹۵	٪۹۶
مدت زمان سفر	L	-۰/۰۰۶	-۰/۳۹۰	---
کرایه تاکسی معمولی درون‌شهری	F_2	۰/۰۷۴	۰/۲۶۷	---



نمودار ۳- فرایند استخراج تقاضای تاکسی

در جدول ۲، نتایج به‌دست‌آمده از برآورد^{xiii} ضرایب مدل تقاضای تاکسی به روش لاجیت دوگانه به‌منظور برآورد احتمال انتخاب روزانه تاکسی برای سفرهای درون‌شهری ارائه شده‌اند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر هزینه‌های زمانی سفر با تاکسی برای مسافر، مدت زمان انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی (WP) به دو جزء تشکیل‌دهنده آن یعنی مدت زمان انتظار مسافر برای یافتن تاکسی (WP_1)، بازه زمانی ثبت درخواست توسط مسافر تا پذیرش درخواست توسط راننده و مدت زمان انتظار مسافر برای رسیدن تاکسی (WP_2)، بازه زمانی پذیرش درخواست توسط راننده تا رسیدن تاکسی به محل استقرار مسافر تجزیه شده است. در جدول ۲ در مدل اول از WP_1 و در مدل دوم از WP_2 به‌عنوان متغیر هزینه زمانی انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون والد معنی‌داری آماری ضرایب برآوردی برای WP_1 در مدل اول و WP_2 در مدل دوم را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، اثر منفی هزینه‌های زمانی انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی بر سطح احتمال انتخاب روزانه تاکسی برای سفرهای درون‌شهری تأیید شده است. با هدف بررسی تأثیر قیمت کالای جانشین بر تقاضای تاکسی، از کرایه تاکسی معمولی درون‌شهری F_2 برای سفر مسافران استفاده شده است. علامت مثبت ضریب برآوردی برای F_2 در هر دو مدل نشان می‌دهد با افزایش کرایه تاکسی معمولی درون‌شهری، احتمال انتخاب تاکسی برای سفرهای روزانه افزایش یافته است. بعد از برآورد احتمال انتخاب روزانه

نتیجه‌گیری کلی و ارائه پیشنهاد

مدل ارائه‌شده برای تقاضای تاکسی در این پژوهش، حساسیت مسافران به هزینه‌های زمانی سفر با تاکسی را نشان داده است؛ به‌طوری‌که تجزیه و تحلیل تقاضای تاکسی نشان می‌دهد هزینه‌های زمانی سفر با تاکسی شامل هزینه زمانی انتظار مسافر برای دسترسی به تاکسی و هزینه زمانی سفر مسافر با تاکسی تأثیر معنی‌داری بر احتمال انتخاب تاکسی توسط مسافران برای انجام سفرهای درون‌شهری داشته است. به این ترتیب، چنانچه تاکسی از قدرت انحصاری در بازار برخوردار باشد، برای مسافرانی که به دلیل محدودیت زمان برای تأمین سواری سفر، به پرداخت کرایه بالاتر تمایل دارند، کرایه بالاتری وضع می‌کند و سود خود را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، توصیه می‌شود این نوع تاکسی‌ها با بهینه‌سازی شبکه توزیع و استقرار رانندگان در نواحی مختلف شهر و برنامه‌ریزی برای کاهش مدت زمان انتظار مسافران برای دسترسی به تاکسی، امکان کاهش هزینه زمانی سفر برای مسافران و به دنبال آن، افزایش مقدار تقاضای تاکسی را فراهم سازند. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از برآورد مدل تقاضای تاکسی نشان داد که کاهش سرعت سفر در روزهای ترافیکی موجب افزایش احتمال انتخاب مجدد تاکسی برای سفرهای بعدی در همان روز شده است.

منابع

- خیری، آصف و ممدوحی، امیررضا. (۱۴۰۱). «مدل‌سازی عوامل مؤثر در تغییر تمایل استفاده از تاکسی اینترنتی در شرایط کوید-۱۹»، *مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران شریف*، دوره ۲-۳۸، شماره ۲/۲، ص ۶۶-۵۵.
- DOI: 10.24200/J30.2022.59510.3057
- زیاری، کرامت‌الله و همکاران. (۱۳۹۲). «مدل‌سازی الگوهای رفتاری سفرهای کار و خدمات ساکنان شهر تهران»، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۴۵، شماره ۱، ص ۲۲-۱.
- DOI: 10.22059/JHGR.2013.30036
- کشاوری‌رحمداد، غلامرضا. (۱۳۹۶). *اقتصادسنجی داده‌های خرد و ارزیابی سیاست*. تهران: نشرنی.
- گوگردچیان، مرضیه و همکاران. (۱۳۹۵). «مدل‌های انتخاب گسسته: کاربردی از انتخاب وسیله نقلیه در شهر اصفهان»، *سیاست‌گذاری اقتصادی*، سال ۸، شماره ۱۵، ص ۲۴-۱.
- نصراللهی، خدیجه و عبدالحمید اونق. (۱۳۹۰). «تخمین تابع

جدول ۳- نتایج برآورد ضرایب مدل تقاضای تاکسی به روش لاجیت دوگانه به‌منظور برآورد احتمال انتخاب بیش از یک بار تاکسی در یک روز

مدل اول: با لحاظ مدت زمان انتظار مسافر برای یافتن تاکسی				
تاکسی	نماد	ضریب	آماره والد	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	C	۱/۶۱۲	۴/۰۶۶	٪۹۹
کرایه سفر	F_1	۰/۸۲۹	۳/۲۴۶	٪۹۹
مدت زمان انتظار مسافر	WP_1	-۰/۱۰۹	-۳/۶۳۱	٪۹۹
مدت زمان سفر	L	-۰/۰۷۹	-۴/۲۵۱	٪۹۹
سرعت	V	-۰/۰۲۸	-۳/۴۶۹	٪۹۹
مدل دوم: با لحاظ مدت زمان انتظار مسافر برای رسیدن تاکسی				
تاکسی	نماد	ضریب	آماره والد	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	C	۱/۵۳۴	۳/۷۷۳	٪۹۹
کرایه سفر	F_1	۰/۷۲۱	۲/۹۲۲	٪۹۹
مدت زمان انتظار مسافر	WP_2	-۰/۰۸۸	-۲/۰۸۴	٪۹۶
مدت زمان سفر	L	-۰/۰۷۲	-۳/۹۶۶	٪۹۹
سرعت	V	-۰/۰۲۶	-۳/۲۰۸	٪۹۹

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، ضرایب برآوردی برای WP_1 و L در مدل اول و ضریب برآوردشده برای WP_2 و L در مدل دوم معنی‌دار بوده‌اند. اثر منفی هزینه‌های زمانی سفر بر احتمال انتخاب تاکسی نشان می‌دهد طولانی‌شدن مدت زمان انتظار و مدت زمان سفر با تاکسی احتمال انتخاب مجدد تاکسی توسط مسافر برای سفرهای بعدی در همان روز را کاهش داده است. در ادامه، به‌منظور بررسی تأثیر ترافیک شهری بر احتمال انتخاب تاکسی از شاخص سرعت (V) استفاده شده که خود از تقسیم مسافت طی شده بر مدت زمان سفر به دست آمده است. نتایج به‌دست‌آمده از برآورد ضرایب مدل تقاضای تاکسی به روش لاجیت دوگانه به‌منظور برآورد احتمال انتخاب بیش از یک بار تاکسی در یک روز نشان‌دهنده تأثیر مستقیم (غیرمستقیم) سرعت (ترافیک شهری) بر احتمال انتخاب تاکسی برای سفرهای بعدی در طی همان روز بوده است؛ به‌طوری‌که کاهش (افزایش) سرعت سفر (ترافیک شهری) موجب افزایش احتمال انتخاب تاکسی شده است.

- Shibayama, T., & Emberger, G. (2020). New mobility services: Taxonomy, innovation and the role of ICTs. *Transport policy*, Vol. 98, pp. 79-90.
- Train, K. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press.
- Xue, Z., & et al. (2021). Economic modeling and analysis of the ride-sourcing market considering labor supply. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 38, 100530.
- Zha, L., & et al. (2016). Economic analysis of ride-sourcing markets. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 71, pp. 249-266.
- تقاضای سفر شهر بندر ترکمن»، *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، سال ۳، شماره ۹، ص ۱۴۰-۱۲۳.
- Akiva, B., & Lerman, S.R. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Asensio, J. (2002). Transport mode choice by commuters to Barcelona's CBD. *Urban Studies*, Vol. 39, No. 10, pp. 1881-1895.
- Bidasca, L. (2019). *Exploring the deployment of new mobility services*. Urban Agenda for the EU - Partnership for Urban Mobility.
- BMW Group, Car2go Group GmbH, ECF, Mobility Nation, Nextbike GmbH, Siemens, Transport and Environment, UBER, City of Vilnius & Zipcar. (2018). Integrating new mobility services in urban transport. *European Federation for Transport and Environment AISBL*.
- Cochran, W. (1977). *Sampling techniques*, 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.
- De Borger, B., & Proost, S. (2001). *Reforming transport pricing in the European union: a modelling approach*, USA: Edward Elgar Publisher.
- Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975). *Urban travel demand-a behavioral analysis*. North-Holland Publishing Company.
- Jin, S.T., & et al. (2018). Ride sourcing, the sharing economy, and the future of cities. *Cities*, Vol. 76, pp. 96-104.
- Kamargianni, M., & et al. (2016). A critical review of new mobility services for urban transport. *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, pp. 3294-3303.
- Khan, O. (2007). *Modelling passenger mode choice behaviour using computer aided stated preference data*. Queensland: Queensland University of Technology.
- Koppelman, F. S., & Bhat, C. (2006). A self instructing course in mode choice modeling: multinomial and nested logit models, *US Department of Transportation, Federal Transit Administration*.
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *The Journal of Political Economy*, Vol. 74, No. 2, pp. 132-157.
- Li, B., & Szeto, W.Y. (2021). Modeling and analyzing a taxi market with a monopsony taxi owner and multiple rentee-drivers. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 143, pp. 1-22.
- McFadden, D. (2001). Economic Choices. *The American Economic Review*, Vol. 91, No. 3, pp. 351-378.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of political Economy*, Vol. 82, No. 1, pp. 34-55.

¹ Sharing economy

² Mobility service providers (MSPs)

³ On-demand ride services

⁴ Ride-sourcing

^v Lancaster

^{vi} Rosen

^{vii} De Borger & Proost

^{viii} Xue, et al

^{ix} Asensio

^x Zha, et al

^{xi} Li & Szeto

^{xii} به‌منظور برآورد ضرایب از نرم‌افزار Eviews12 استفاده شده است.

^{xiii} طبق محاسبات انجام‌شده، تعداد کل سفرهای درون‌شهری

صورت گرفته با انواع وسایط نقلیه توسط نمونه آماری در طول دوره

بررسی‌شده در این پژوهش برابر با ۳۴۰۷۳ سفر بوده است.