ISLAMIC AZAD UNIVERSITY
MARVDASHT BRANCH

Journal of Research and Urban *Planning*

Summer2023. Vol 14. Issue 53
ISSN (Print): 2228-5229 ISSN (Online): 2476-3845
https://jupm.marvdasht.iau.ir/

Research Paper

Spatial Analysis of the Extent of the Rail Network on the Use of Public Transportation (Case Study of Tehran Metro)

Saeed Nayeb: Assistant Professor of Theoretical and Industrial Economy, Faculty of Economics and Accounting, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran
Mohammad Reza Eskandari Ata *: Graduated Ph.D. in Public Sector Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

ARTICL EINFO

Received:2020/11/09
Accepted:2021/09/26
PP: 137-150

Use your device to scan and read the article online

Keywords: Rail network, Tehran's Metro, Transportation, Spatial Model.

Abstract

Today, the development of metro lines as one of the urban transportation systems is one of the major issues in metropolitan areas. Wasting time and energy, increasing the cost of living, and increasing environmental pollution in urban life are some of the consequences of ignoring the role of rail transportation. The development of lines and the commissioning of new lines in the Tehran metro network are among the requirements of this metropolis. In the present study, using a spatial panel data model and a new model in the use of spatial weight matrix, during 1397:12 - 1393:1 factors affecting the increase in the number of passengers and the effects of overflow of intersection stations on Tehran metro lines with the aim of investigating the extent of Tehran metro network in the use of public transport are needed. After performing various tests, the spatial lag model with random effects was confirmed. The results of estimating the SAR model show that the correlation between the number of passengers through the interchange stations channel is about 19% and if the number of interchange stations per line increases, the number of passengers on other lines will increase significantly. The direct and indirect effect of the number of stations on each line shows that increasing the number of stations has a 2.6% effect on the number of passengers on the lines, and this effect is also significant if crossing the interchange stations channel. Due to the low price of energy in the country, the price of oil has not had a significant effect on reducing or increasing the number of passengers, but the direct and indirect effect of ticket prices, which is considered as a possible rate ceiling in each period, is negative and significant. The results of the present study show the need to pay attention to the effects of overflow of interchange stations and the number of stations in the development of Tehran metro lines.

Citation: Nayeb, S; Eskandari Ata, M.R. (2023). **Spatial Analysis of the Extent of the Rail Network on the Use of Public Transportation (Case Study of Tehran Metro**. Journal of Research and Urban Planning, Vol 14, No 53, PP:137-150**.**
DOI: 10.30495/JUPM.2021.26508.3686
DOR:

* **Corresponding author:** Mohammad Reza Eskandari Ata, **Email:** Eskandariata86@gmail.com,
Tel: +98 9129564413

Extended Abstrac

Introduction

Development based on public transportation is known as one of the most appropriate types of development that is formed around public transportation centers and stations such as buses and subway stations. Metro, as one of the main infrastructures of the city, is an effective tool in organizing urban development. The development of lines and the commissioning of new lines in the Tehran metro network are among the requirements of this metropolis. In today's world, the expansion of the rail network is of particular importance in order to increase the number of passengers and reduce the consequences of urban traffic. In the present study, we seek to find an answer to the main question of how the expansion of the Tehran metro network, especially through intersection stations, will affect the use of public transportation.

Methodology

The statistical population of the study is Tehran Metro Network and the tested samples are lines one, two, three and four. The dependent variable of the model is the number of passengers per line and the independent variables are selected according to the research literature and data access, ticket price, number of stations and gasoline price. The research period is the statistical information of the monthly panel data of the mentioned lines during the years 1393 to 1397. In the present study, using the spatial panel data model and using the intersection station channel in calculating the spatial weight matrix, the factors affecting the increase in the number of passengers and the effects of overflow stations on Tehran metro lines with the aim of investigating the extent of Tehran metro network. It has been evaluated in the use of public transportation. Based on the test results, different states of spatial patterns such as spatial Durbin and Lag models have been tested and estimated, but finally (SAR) models have been used in experimental estimation.

Results and discussion

After the results of estimating the SAR model show that the correlation between the numbers of passengers through the intersection station channel is about 19%. This means that for an increase of one intersection station on each line, the average number of passengers on other lines will increase by 19%. The explanatory power of the model is very high due to the coefficient of determination (R^2) and about 78% of the changes of the dependent variable are explained by independent variables. Among the control variables, the number of stations per line had the greatest impact on the number of line passengers. The sensitivity of the number of passengers to the number of stations in a line is 2.62%. The ticket price factor has had a negative and significant effect on the number of passengers, so that the sensitivity of the number of passengers to the rate is about 0.5%. This means that for a one percent increase in the ticket price, the number of passengers will decrease by 0.5 percent. According to the results of the direct effect, increasing the number of stations will increase the number of passengers, and according to the results of the indirect effect, increasing the number of passengers will increase the number of passengers on other lines if the number of intersection stations on each line increases.

Conclusion

In this research, using an innovative model, the channel of intersection stations has been used in calculating the weight matrix. According to the results of the research, the variables of number of stations and ticket prices have the greatest effect on attracting passengers of subway lines, and among them, the effect of intersection stations is significant. Therefore, in response to the main research question; Attention to intersection stations is very important in the development of metro lines and is one of the main factors in attracting passengers. The results also show that subsidies for energy carriers, which incur high government revenue costs, do not play a decisive role, at least in rail transport. One of the concerns of those in charge of developing metro lines is always how to be effective and the number of stations. The need to pay attention to intersection stations that have high potential in attracting passengers can be considered as one of the priorities of Tehran metro line development strategy

فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری

دوره ۱۴، شماره ۵۳، تابستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۵۲۲۹- ۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

https://jupm.marvdasht.iau.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی گستردگی شبکه ریلی بر استفاده از حمل و نقل عمومی (مطالعه موردی مترو شهر تهران)

سعید نایب: استادیار گروه اقتصاد نظری و صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

محمد رضا اسکندری عطا: دانش آموخته دکتری اقتصاد بخش عمومی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

شماره صفحات: ۱۵۰-۱۳۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

بازار، شهر ایرانی، هویت فضایی، دزفول، شوشتر.

چکیده

امروزه توسعه خطوط مترو به عنوان یکی از سیستم‌های حمل‌ونقل شهری از عمده‌ترین مسائل کلانشهرها محسوب می‌شود. اتلاف زمان و انرژی، افزایش هزینه‌های زندگی و افزایش آلودگی محیط‌زیست در زندگی شهری بخشی از پیامدهای نادیده گرفتن نقش حمل‌ونقل ریلی است. توسعه خطوط و راه‌اندازی خطوط جدید در شبکه مترو تهران از الزامات این کلانشهر محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از الگوی داده‌های ترکیبی فضایی و مدلی نوین در استفاده از ماتریس وزنی فضایی، طی بازه زمانی ۱۳۹۷:۱۲-۱۳۹۳:۱ عوامل مؤثر بر افزایش تعداد مسافران و اثرات سرریز ایستگاه‌های تقاطعی بر خطوط مترو تهران با هدف بررسی گستردگی شبکه مترو تهران در استفاده از حمل‌ونقل عمومی مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از انجام آزمون‌های مختلف، الگوی وقفه فضایی با اثرات تصادفی انتخاب شده است. نتایج حاصل از برآورد الگوی وقفه فضایی (SAR) نشان می‌دهد که همبستگی تعداد مسافران از کانال ایستگاه‌های تقاطعی حدود ۱۹ درصد است و در صورت افزایش تعداد ایستگاه‌های تقاطعی در هر خط، تعداد مسافران سایر خطوط افزایش خواهد یافت. تأثیر مستقیم و غیرمستقیم عامل تعداد ایستگاه‌ها در هر خط نشان می‌دهد که افزایش تعداد ایستگاه‌ها تأثیر ۲٫۶ درصدی بر جذب مسافران خطوط دارد و این اثر در صورت عبور از کانال ایستگاه تقاطعی نیز قابل توجه است. با توجه به پایین بودن قیمت انرژی در کشور، قیمت بنزین تأثیر معناداری بر کاهش یا افزایش تعداد مسافران نداشته است اما تأثیر مستقیم و غیرمستقیم نرخ بلیت که به صورت سقف نرخ ممکن در هر دوره در نظر گرفته شده است، منفی و معنادار برآورد شده است. نتایج پژوهش حاضر لزوم توجه به اثرات سرریز ایستگاه‌های تقاطعی و تعداد ایستگاه‌ها در توسعه خطوط مترو تهران را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

استناد: نایب، سعید؛ اسکندری عطا، محمدرضا. (۱۴۰۲). **تحلیل فضایی گستردگی شبکه ریلی بر استفاده از حمل و نقل عمومی (مطالعه موردی مترو شهر تهران).** فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۱۴، شماره ۵۳، مرودشت: صص ۱۳۷-۱۵۰.

DOI: 10.30495/JUPM.2021.26508.3686

DOR:

* **نویسنده مسئول:** محمد رضا اسکندری عطا، **پست الکترونیکی:** eskandariata86@gmail.com، **تلفن:** ۰۹۱۲۹۵۶۴۴۱۳

مقدمه

حمل‌ونقل و جابه‌جایی مسافر و کالا در جوامع پیشرفته امروزی از اهمیت زیادی برخوردار است. تأمین نیازهای اقتصادی و اجتماعی شهروندان، برطرف کردن مشکلات زیست‌محیطی به ویژه آلودگی هوا، حل مشکل ترافیک و جابه‌جایی و انتقال آسان و راحت مردم ازجمله اهداف و خواسته‌های اصلی مسئولین و مردم است که با توسعه فضای ناوگان حمل‌ونقل عمومی امکان‌پذیر است (کاظمیان و همکاران، ۱۳۹۴). به دلیل محدودیت منابع مالی ناشی از تحریم‌ها و سیاست‌های نادرست اقتصادی در کشور، بخش عمومی جزء اولین حوزه‌های اقتصادی است که به دلیل ویژگی‌های خاص اقتصادی–اجتماعی آسیب‌پذیری شدیدتری را در سال‌های پس از رکود اقتصادی تجربه خواهد نمود. ورود سیستم مترو به شبکه‌های حمل‌ونقل شهری، تغییرات عمده‌ای در جریان ترافیک شهرها ایجاد کرده و متعاقب آن تأثیرات گوناگونی بر جذب جمعیت و توسعه نواحی اطراف ایستگاه‌های خود گذاشته است. یکی از مهم‌ترین این تأثیرات، فراهم آمدن قابلیت دسترسی مناسب‌تر افراد به فعالیت‌های اشتغال، بازار، نواحی تجاری، امکانات آموزشی و همچنین سایر تسهیلات رفاهی است (Boucq & Francis, 2008). تجزیه‌وتحلیل اعداد و ارقام به‌دست‌آمده از مطالعات مربوط به سیستم‌های حمل‌ونقل شهری نشان داده است کارایی در شهرهایی که مجهز به سیستم ریلی شده‌اند، بیش از شهرهایی است که این سیستم را ندارند. در بسیاری از شهرهای مهم جهان مانند مسکو، پاریس، میلان، بیش از ۶۰ درصد کل حمل‌ونقل عمومی شهری از طریق ریل صورت می‌گیرد. در کشورهای ژاپن و هنگ‌کنگ درصد تأمین سیستم حمل‌ونقل برای سفرهای شهری بالاتر از ۴۰ درصد است. در توکیو به‌تنهایی ۱۴ میلیون سفر در سال با راه‌آهن‌های حومه‌ای صورت می‌گیرد (رمضان زاده و همکاران، ۱۳۹۴). در صورت برنامه‌ریزی مناسب و در نظر گرفتن تمهیدات مقتضی، ایستگاه‌های مترو می‌توانند سبب ایجاد ارزش‌افزوده در نواحی هم‌جوار خود شده و با تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت محیط، بازار زمین شهری، نوع استفاده از اراضی و همچنین چگونگی توسعه نواحی هم‌جوار، زمینه توسعه اقتصاد شهری را فراهم نمایند. این موضوع به‌خصوص در مناطقی که با موانع گوناگونی در جذب سرمایه و نوسازی روبه‌رو هستند، حائز اهمیت است. از طرفی عدم توجه به نقش ایستگاه‌های مترو در توسعه نواحی شهری، نه تنها سبب تقلیل اثرات مثبت شده، بلکه خود می‌تواند سبب بروز چالش‌ها و مشکلات عدیده شود (خیرالدین، ۱۳۹۲). به دلیل محدودیت‌های درآمدی و اعتباری در شبکه حمل‌ونقل عمومی، توسعه خطوط و راه‌اندازی خطوط جدید در شبکه مترو تهران با چالش‌های اساسی مواجه است. در دنیای کنونی گستردگی شبکه ریلی در راستای افزایش تعداد مسافران و کاهش پیامدهای ترافیک شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعه حاضر به دنبال یافتن پاسخ برای این سؤال اصلی هستیم که گستردگی شبکه مترو تهران، به خصوص از طریق ایستگاه‌های تقاطعی، چه تأثیری بر استفاده از حمل‌ونقل عمومی خواهد گذاشت.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

رشد انفجاری جمعیت شهری و استفاده از خودرو از مشخصه‌های اصلی پنجاه سال گذشته است. هم‌اکنون شهرنشینی به شدت متأثر از حرکت خودروهاست و حتی خانواده‌هایی به مناطق سرسبز حومه شهرها مهاجرت کرده و احتیاج به چندین خودرو برای رفع نیازهای حرکتی و جابجایی خود دارند. پیامدهای این روند توسعه شهری شامل وابستگی بیشتر به خودرو، سفرهای طولانی، افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل، مخاطره زیست‌محیطی، آلودگی هوا و بسیاری از موارد دیگر است (شاکری و همکاران، ۱۳۹۰). به استناد گزارش سال ۲۰۱۸ سازمان جهانی بهداشت (WHO) ۴۳ درصد از تمام مرگ‌ها به دلیل بیماری‌های انسداد ریوی ناشی از آلودگی هوا در شهر است. بیش از ۸۰ درصد از آلودگی هوای شهرها در ایران منتسب به وسایل حمل‌ونقل و منابع متحرک است (رضوی حاجی‌آقا و همکاران، ۱۳۹۹).

توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین انواع توسعه شناخته می‌شود که پیرامون مراکز و ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی مانند اتوبوسرانی و ایستگاه‌های مترو شکل می‌گیرد. مترو به عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی شهر، وسیله‌ی مؤثری در سامان‌دهی توسعه شهر است. ایستگاه مترو به‌عنوان عنصری جدید در عرصه فیزیکی شهر فضایی را در برمی‌گیرد که در ساده‌ترین حالت، می‌تواند به یک یا چند ورودی و خروجی محدود شود. اما ازآنجاکه هریک از این ایستگاه‌ها به‌تدریج بر محدوده‌های از محیط پیرامون خود از جهات مختلف تأثیر می‌گذارند؛ امروزه در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای ایستگاه‌ها، با توجه به ویژگی‌های عملکردی و مزیت‌هایشان، با محدوده‌ی پیرامون به صورت مجموع‌های واحد و هماهنگ و دارای روابط و تأثیرات متقابل در نظر گرفته می‌شوند. در واقع سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی در تحقّق راهبرد توسعه پایدار در شهرها، نقشی اساسی و محوری دارد (رفیعیان و همکاران، ۱۳۸۹).

برنامه‌ریزی مسیرهای مسافری یا برنامه‌ریزی خط یکی از برنامه‌ریزی‌های استراتژیک در الگوهای حمل‌ونقل مسافر در خطوط ریلی است. زمان سفر شامل مدت زمان انتظار مسافران و زمان جابجایی آن‌ها، معمولاً مبنایی برای رضایتمندی مسافران مترو در نظر گرفته می‌شود (Xu & et al, 2016). در شهرهای پرجمعیت همچون تهران، شبکه ریلی شهری و تعداد خطوط، تشکیل دهنده استخوان‌بندی اصلی سیستم

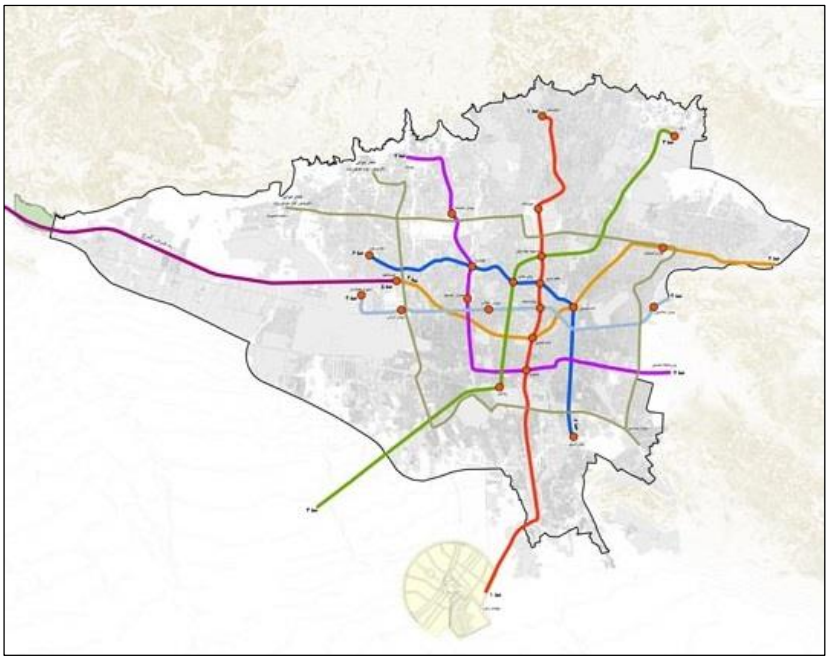
حمل‌ونقل عمومی آن شهر محسوب می‌شود. در این شهرها مردم برنامه‌ها و اقدامات روزانه خود را بر اساس این خطوط و تردد با آن‌ها تنظیم می‌کنند؛ ازاین‌رو برنامه‌ریزی و زمان‌بندی خطوط مترو شهری، نقش مهم، عمده و تأثیرگذاری در زندگی فردی و کاری افراد دارد (Kang & Meng, 2017)

مترو تهران: امروزه شکی نیست که بهبود در بخش حمل‌ونقل به‌عنوان یک سرمایه‌گذاری عمومی، رشد اقتصادی به‌عنوان یکی از ابعاد توسعه پایدار را با سرعت بالایی افزایش خواهد داد. مترو تهران با بیش از ۱۴۰ ایستگاه را باید از بزرگ‌ترین و مدرن‌ترین قطارهای زیرزمینی خاورمیانه دانست که ۲ رکورد دارد. یکی ایستگاه تجریش که عمیق‌ترین ایستگاه و خط ۶ که طولانی‌ترین خط در خاورمیانه است. مترو تهران اکنون ۷ خط اصلی دارد که بیش از ۱۵۰ ایستگاه در این هفت خط فعال است و خط هفت مترو تهران که فروردین ۹۸ افتتاح شده است، فعلاً ۳ ایستگاه شهدا، بعثت و دولت آباد را فعال دارد. جدیدترین نقشه خطوط مترو تهران با ایستگاه‌های فعال (شکل ۱) و بر روی کاربری اراضی شهری (شکل ۲) ارائه شده است.

در پژوهش حاضر از اطلاعات آماری خطوط، یک، دو، سه و چهار به منظور ارزیابی تأثیر افزایش گستردگی خطوط از کانال ایستگاه‌های تقاطعی بر تعداد مسافران و عوامل مؤثر بر آن استفاده شده است. خط یک از جمله پر مشتری‌ترین خطوط مترو تهران است که میدان تجریش در شمال شهر تهران را به کهریزک در جنوب تهران وصل می‌کند. این خط با حدود ۴۰ کیلومتر طول، با خط ۳ (ایستگاه شهید بهشتی)، خط ۴ (ایستگاه دروازه دولت)،خط ۲ (ایستگاه امام خمینی) و خط ۷ (ایستگاه میدان محمدیه) ایستگاه تقاطعی دارد. خط ۲ مترو تهران از میدان صادقیه در غرب تهران به ایستگاه فرهنگسرا در شرق تهران می‌رسد. این خط با خطوط؛ ۴ (ایستگاه دروازه شمیران و شادمان)، ۶ (ایستگاه امام حسین (ع))،۱ (ایستگاه امام خمینی) و ۷ (شهید نواب صفوی) تعویض خط دارد. خط ۳ متر تهران از شمال شرق تهران یعنی ایستگاه قائم و شهید محلاتی به سمت جنوب تهران یعنی ایستگاه آزادگان می‌رسد. خط ۳ با خط ۱ (ایستگاه شهید بهشتی)، خط ۴ (ایستگاه تئاتر شهر) و خط ۷ (ایستگاه مهدیه)، تقاطع دارد. خط ۴ مترو تهران، خط غرب به شرق است. خط ۴ با خط ۱ (ایستگاه دروازه دولت)، خط ۲ (ایستگاه دروازه شمیران و شادمان)، خط ۳ (ایستگاه تئاتر شهر) و خط ۶ (ایستگاه میدان شهدا) تقاطع دارد (شرکت بهره‌برداری مترو تهران، ۱۳۹۹).

شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های در حال بهره‌برداری خطوط راه‌آهن شهری تهران و حومه (فعال)

منبع: شرکت بهره‌برداری مترو تهران، ۱۳۹۹.



شکل ۲. نقشه خطوط ریلی موجود و آتی تهران بر روی کاربری اراضی شهری

منبع: نقشه GIS شیپ فایل تهران، شهرداری تهران، ۱۳۹۰.

ارزیابی تأثیر ایستگاه‌های تقاطعی بر استفاده مسافران از مترو تاکنون در پژوهشی مورد ارزیابی قرار نگرفته است به خصوص که در گسترش خطوط ریلی و نقشه شبکه مترو در طرح‌های در دست بررسی و آتی می‌توان این مهم را در نظر گرفت. چراکه در صورت افزایش ایستگاه‌های تقاطعی علاوه بر سهولت استفاده و جابجایی مسافران موجب تغییر حالت سفر مسافران در شبکه حمل‌ونقل عمومی خواهد شد. مجتمع‌های ایستگاهی که عمدتاً در ایستگاه‌های تقاطعی جذاب‌تر هستند یکی دیگر از مزیت‌های ایستگاه‌های تقاطعی است. در پژوهش حاضر با استفاده از مدلی نوین از الگوی اقتصادسنجی فضایی به منظور ارزیابی تأثیر ایستگاه‌های تقاطعی بر جذب مسافران و سایر عوامل مؤثر بر افزایش تعداد مسافران خطوط مترو تهران استفاده شده است.

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه‌ی آثار گستردگی شبکه ریلی بر بخش‌های مختلف اقتصاد شهری به‌خصوص در کشورهای شرق آسیا که باوجود جمعیت بالا مساحت جغرافیای شهری کمی دارند، صورت گرفته است. با مروری بر مطالعات خارجی می‌توان بر اهمیت حمل‌ونقل عمومی و به‌خصوص گسترش شبکه ریلی و آثار اقتصادی–اجتماعی آن پی برد. در پژوهش‌های داخلی مطالعات اندکی به این موضوع پرداخته‌اند و عمدتاً بر آثار زیست‌محیطی حمل‌ونقل ریلی تأکید داشته‌اند. در ادامه برخی از پژوهش‌های مرتبط مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

Yu & Xia (2018)، با استفاده از داده‌های کارت‌های هوشمند در سیستم خط ۴ مترو نانجینگ چین تأثیر افتتاح خط جدید (خط ۴) را بر تغییرات جریان مسافر و زمان سفر مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که خط افتتاح جدید بر جریان مسافر، زمان سفر و قابلیت اطمینان زمان سفر در شبکه مترو تأثیرگذار است و این اثر بر انواع مسافران تأثیرات متفاوتی دارد. Gan & et al (2019)، به ارزیابی ناهمگنی فضایی در تجزیه‌وتحلیل استفاده از مترو و محیط، ایستگاه‌ها و استفاده از حمل‌ونقل سریع شهری پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از الگوهای مختلف وقفه و خطای فضایی روابط بین انواع مختلف متغیرهای مستقل و وابسته ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که جمعیت، تعداد خطوط، تعداد اتوبوس‌ها، تعداد خروجی‌ها، تراکم جاده‌ها و منطقه مسکونی متناسب با آن‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر سواری در ایستگاه دارد.

Liu & Li (2020) ، در پژوهشی تأثیر گسترش خطوط مترو بر رفتار حمل‌ونقل مسافری شهری را در ۴۳ شهر چین طی بازه زمانی ۲۰۱۵–۱۹۹۴ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. شواهد تجربی این پژوهش نشان می‌دهد که متروها بر انتخاب حالت سفر توسط مردم بسیار مؤثر است. به‌طور مشخص با بهره‌برداری هر خط جدید مترو سالانه حدود ۴٫۱ درصد از مسافران اتوبوس به مترو منتقل می‌شود که به معنای صرفه‌جویی ۱۰ درصدی در استفاده از اتوبوس است. همچنین افتتاح خط مترو موجب کاهش تعداد تاکسی‌ها و اتومبیل‌ها می‌شود. Li & et al (2020)، با استفاده از داده‌های جریان مسافر از سپتامبر ۲۰۱۶ تا اکتبر ۲۰۱۸ در شنژن، تأثیر کوتاه‌مدت و بلندمدت باز شدن خطوط جدید بر جریان و

حجم مسافران را ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که خطوط جدید مترو نمی‌توانند مشکلات عدم تعادل و ازدحام در مترو شنژن را برطرف نمایند. اوج ترافیک در صبح و عصر است که خطوط جدید بر آن تأثیری ندارند اما در بازه‌های خارج از این ساعات ترافیک کاهش پیدا خواهد کرد. بهبهانی و همکاران (۱۳۸۷)، به تحلیل زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌های مترو تهران با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی از داده‌های میدانی در دوره زمانی ۶ الی ۱۰ صبح پرداخته‌اند. بر اساس نتایج حاصل از کالیبراسیون و انجام فرآیندهای الگوسازی شاخص‌ها، رابطه ریاضی بین زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌ها با سر فاصله زمانی اعزام بین قطارها در شرایط مختلف به تعداد خطوط مترو و به تفکیک مسیرهای رفت‌وبرگشت به دست آمده است. انطباق داده‌های میدانی و شاخص‌های شبیه‌سازی‌شده با دقت ۹۵ درصد بوده و نسبت زمان انتظار به سرفاصله زمانی قطارها به‌طور متوسط برای بازده زمانی لحاظ شده در کل شبکه مترو تهران ۰٫۶ تعیین‌شده است. یکی از کامل‌ترین مطالعات صورت گرفته در حوزه مترو که به مبحث قیمت‌گذاری نرخ بلیت در این بخش پرداخته است. توسط هادی زونوز (۱۳۸۸) انجام شده است؛ بر اساس نتایج این پژوهش در سال ۱۳۸۷ تنها ۲۳٫۸ درصد از هزینه تمام شده هر سفر از محل فروش بلیت پوشش داده شده است و ۶۰ درصد هزینه‌های شرکت بهره‌برداری مترو از محل یارانه، ۲۳٫۷ درصد از محل فروش بلیت و ۱۶٫۳ درصد از محل سایر درآمدهای شرکت تأمین‌شده است. با اعمال دو سناریوی مختلف برای افزایش قیمت حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۹، هزینه تمام شده هر سفر با مترو در تهران به ترتیب به ۶۱۲۹ و ۵۸۱۹ ریال افزایش خواهد یافت و درصورتی‌که یک سوم این هزینه توسط استفاده‌کنندگان پرداخت شود، قیمت بلیت مترو در این دو سناریو به ترتیب ۲۰۴۳ و ۱۹۴۰ ریال خواهد شد. کاظمیان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مزیت‌های حمل‌ونقل ریلی نسبت به جاده‌ای از دیدگاه توسعه پایدار در مورد خط ۴ مترو تهران پرداخته‌اند، با استفاده از پرسشنامه در بین مسافران مختلف متروی خط ۴ به‌صورت تصادفی، انتخاب جایگزین آن‌ها در صورت نبودن مترو را شناسایی کرده و به ارزیابی زیست‌محیطی بدیل‌های مختلف در مقایسه با حمل‌ونقل جاده‌ای در ابعاد مصرف سوخت، آلودگی‌های صوتی و هوایی و سایر هزینه‌های مرتبط پرداخته شد. و پیشنهادهایی راجع به تأثیرات شگرف زیست‌محیطی از حمل‌ونقل ریلی علیرغم محدودیت‌های خاص مربوطه و نقش انکارناپذیر مترو در کاهش خسارات و هزینه‌ها، برآورد و تخمین ارزش اقتصادی صرفه‌جویی شده توسعه این نوع از حمل‌ونقل نسبت به جاده‌ای و ارزیابی اقتصادی زیست‌محیطی آن، برای نشان دادن ارزش اجتماعی این زیرساخت ارائه‌شده است. جانجانی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه دیگری به تجزیه‌وتحلیل عوامل مؤثر بر انتخاب سفر اجباری و اختیاری با مترو را با استفاده از الگوهای لوجیت مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این پژوهش که بر اساس مطالعه میدانی و با استفاده از پرسشنامه صورت گرفته است، نتایج پرداخت مدل انتخاب از نوع لوجیت دوتایی نشان می‌دهد متغیرهای اشتغال به خانه‌داری، مردان با شغل آزاد و سن رابطه عکس با انتخاب سفرهای اجباری با مترو داشته و متغیرهای مردان اجاره نشین و سطح تحصیلات رابطه مستقیم با انتخاب سفرهای اجباری با مترو دارند. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی و تعیین نقش مجتمع ایستگاهی دروازه دولت با رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که احداث مجتمع ایستگاهی دروازه دولت گرچه سبب ارتقاء کیفیت عرصه‌های عمومی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود اما بیشترین نقش را در ارتقاء حمل‌ونقل عمومی ایفا می‌کند. رضوی حاجی‌آقا و همکاران (۱۳۹۹)، به بهینه‌سازی زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌های تقاطعی خط ۴ مترو تهران پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از الگوی بهینه‌سازی پیشنهادی زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌های تقاطعی خط ۴ مترو تهران به میزان ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش زمان انتظار به افزایش تمایل استفاده تعداد افراد بیشتر از مترو و در نتیجه رضایتمندی بیشتر شهروندان از استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی به خصوص مترو خواهد انجامید.

مواد و روش تحقیق

معرفی الگو و متغیرها: جامعه آماری پژوهش شبکه مترو تهران و نمونه‌های مورد آزمون خطوط یک، دو، سه و چهار هستند که بر اساس اطلاعات آماری در دسترس انتخاب شده‌اند. متغیر وابسته الگو تعداد مسافران هر خط می‌باشد و متغیرهای مستقل با توجه به ادبیات پژوهش و دسترسی به داده‌ها نرخ بلیت، تعداد ایستگاه‌ها و قیمت بنزین انتخاب شده‌اند. بازه زمانی پژوهش اطلاعات آماری داده‌های ترکیبی (Panel Data) ماهانه خطوط ذکر شده طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ می‌باشد. قابل توجه است که تعداد ایستگاه‌های تقاطعی بر اساس فعال بودن ایستگاه‌ها در بازه زمانی پژوهش در نظر گرفته شده‌اند. در جمع‌آوری داده‌ها از صورت‌های مالی شرکت مترو تهران، شرکت بهره‌برداری مترو تهران، برآوردهای مهندسین طرح‌ها و کنترل پروژه خطوط، و کارشناسان شرکت مترو تهران استفاده شده است. برآورد الگوها توسط نرم‌افزار R و Stata صورت گرفته است.

روش‌شناسی و داده‌ها:

به منظور ارزیابی تأثیر ایستگاه‌های تقاطعی بر جذب مسافران باید اثرات همجواری و سرریز خطوط مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس از الگوی اقتصادسنجی فضایی که در اقتصاد شهری و منطقه‌ای بسیار پرکاربرد است استفاده خواهد شد. مزیت این الگوها در آن است که اثرات سرریز و غیرمستقیم خطوط بر یکدیگر را نشان می‌دهد.

اقتصادسنجی فضایی شاخه‌ای از اقتصادسنجی است که اثرات فضایی (Spatial Effects) را به کارکرد الگوهای مقطعی یا ترکیبی (پانل دیتا) اضافه می‌کند. منظور از اثرات فضایی دو دسته از عوامل هستند که به مکان استقرار متغیرها مربوط می‌شوند و می‌توان آن‌ها را تحت عناوین وابستگی فضایی (Dependence Spatial) یا خودهمبستگی فضایی (Spatial Autocorrelation) و ناهمسانی فضایی (Spatial Heterogeneity) توضیح داد (Anselin, 2008). در کل، دو مدل به‌منظور برخورد با وابستگی فضایی وجود دارد. دریکی از آن‌ها بر اساس تئوری، ساختاری برای وابستگی فضایی فرض می‌شود. این ساختار در یک الگوی رسمی برای تحلیل آماری به‌کاربرده می‌شود. روش دوم مبتنی بر داده است و تفسیری از شکل مناسب وابستگی با استفاده از تعدادی شاخص نظیر آماره‌ی خودهمبستگی و وابستگی متقاطع ارائه می‌دهد. اصطلاح ناهمسانی فضایی به انحراف در روابط بین مشاهده‌ها در سطح مکان‌های جغرافیایی فضا اشاره دارد. چنانچه مکان استقرار متغیرها به‌عنوان مبنایی برای اثرات فضایی در نظر گرفته شود، روش‌های متفاوتی برای لحاظ کردن رابطه‌ی مکانی دو متغیر مفروض قابل‌اعمال است. مجاورت، فاصله‌ی مکانی، فاصله‌ی اقتصادی و استفاده از شبکه‌های اجتماعی ازجمله معیارهایی هستند که می‌توانند موردتوجه قرار گیرند. به‌هرحال آنچه مشخص است در مطالعات فضایی، ارتباط فضایی متغیرها به‌صورت دوبه‌دو و به‌صورت عددی بیان می‌شود (Elhorst, 2014). به منظور ارزیابی تاثیر تعداد مسافران در هر خط بر خط دیگر و اثرات سرریز از کانال ایستگاه‌های تقاطعی استفاده شده است. الگوی رگرسیون فضایی خطی برای داده‌های ترکیبی را می‌توان به‌صورت رابطه زیر نشان داد (Pace & LeSage, 2009).

$$y = \lambda(I_T \otimes W_N)y + X\beta + u$$ رابطه (۱)

$$u = (l_T \otimes I_N)\mu + \varepsilon$$
$$\varepsilon = \rho(I_T \otimes W_N)\varepsilon + e$$ رابطه (۲)

در رابطه (۱)، ε برداری n×1 با توزیع نرمال و واریانس ثابت است. y، بردار NT×1 از مشاهدات به‌عنوان متغیر وابسته و X، ماتریس NT×K از متغیرهای توضیحی الگو می‌باشد. W، ماتریس وزنی فضایی N×N است که معمولاً ماتریس مجاورت مرتبه اول است. برای تعیین ماتریس مجاورت، می‌توان از روش مجاورت و همبستگی استفاده کرد. در این روش، با تعیین اینکه کدام منطقه با هم همسایه یا مجاور هستند، ماتریس مجاورت تشکیل می‌شود و بنابراین، با در نظر گرفتن وابستگی فضایی، واحدهایی که دارای رابطه همسایگی یا مجاورت هستند، نسبت به محل‌های دورتر می‌باید درجه وابستگی بیشتری نشان دهند (Elhorst, 2014). همان‌گونه که مشاهده می‌شود در الگوهای اقتصادسنجی فضایی نحوه اندازه‌گیری ماتریس وزنی بسیار مهم است. در این پژوهش با یک الگوی خلاقانه از کانال ایستگاه‌های تقاطعی در محاسبه ماتریس وزنی استفاده شده است. به این صورت که تعداد ایستگاه‌های تقاطعی (ایستگاه‌های فعال) که هر خط در طول مسیر با آن مواجه است به عنوان درایه‌های ماتریس مربع ۴×۴ در نظر گرفته شده و سپس ماتریس مذکور به صورت سطری وزن دهی شده است. بدین ترتیب، می‌توان Wy را به‌عنوان یک متغیر با وقفه فضایی تعریف و وارد الگو کرد که ضریب λ شدت همبستگی فضایی میان خطوط را نشان می‌دهد.

الگوی تجربی:

پس از جمع‌آوری داده‌های و مرتب کردن آن‌ها بر اساس الگوی داده‌های ترکیبی، اطلاعات آمار توصیفی متغیرهای مورد استفاده در برآورد تجربی را که به صورت لگاریتمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول (۱) می‌توان مشاهده نمود. با توجه به مبانی نظری، شناسایی متغیرها در مطالعات انجام‌شده و همچنین، امکان‌سنجی آماری در خطوط مترو تهران، از الگوی ارایه شده در رابطه (۳) در ارزیابی تأثیر گستردگی شبکه مترو تهران از طریق اثرگذاری کانال ایستگاه‌های تقاطعی بر تعداد مسافران استفاده شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرها

متغیرها	تعریف	میانگین	انحراف معیار	مینیمم	ماکزیمم
LPA	تعداد مسافران	۱۵/۸۱	۰/۹۰۲۱	۷/۴۷۹۳	۱۶/۶۶
LTI	نرخ بلیت	۶/۵۵	۰/۲۳۸۰	۶/۲۱۴۶	۶/۹۰۷۸
LST	تعداد ایستگاه‌ها	۳/۰۴	۰/۳۲۱۸	۰/۶۹۳۱	۳/۳۶۷۳
LOIL	قیمت بنزین	۶/۸۴	۰/۱۴۳۰	۶/۵۵۱۰	۶/۹۰۷۷

منبع: یافته‌های پژوهش

$$LPA_{it} = \alpha + \lambda WLPA_{it} + \beta_1 LTI_{it} + \beta_2 LST_{it} + \beta_3 LOIL_{it} + \mu + \varepsilon_{it}$$ رابطه (۳)

در رابطه (۳) i نشان‌دهنده خط مترو و t بیانگر زمان است. LPA، لگاریتم تعداد مسافرانی که هر خط در هر ماه جابجا کرده است، می‌باشد. LTI، لگاریتم سقف نرخ بلیت در هر مقطع زمانی است. نرخ بلیت مترو تهران به صورت بلیت‌های اعتباری و مغناطیسی (تک سفره و ...) ارائه می‌شود. در صورت استفاده از بلیت اعتباری به اندازه مسافت طی شده بر حسب کیلومتر از اعتبار مسافران کاسته می‌شود و در صورت استفاده حداکثری از مسافت تعیین شده توسط شرکت مترو تهران، به اندازه سقف نرخ تعیین شده از اعتبار کاسته خواهد شد. اما در مورد بلیت‌های مغناطیسی افراد سقف نرخ بلیت را برای دریافت این بلیت‌ها پرداخت خواهند نمود. به دلیل در دسترس نبودن تفکیک مسافرانی که از بلیت‌های اعتباری استفاده می‌کنند و یا مغناطیسی و همچنین عدم دستیابی به درآمد شبکه متر به تفکیک هر خط در بازه زمانی پژوهش از سقف نرخ بلیت به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر استفاده مسافران از مترو استفاده شده است. قابل توجه است که تأثیر روانی تعیین سقف نرخ بلیت در هر سال برای استفاده‌کنندگان از مترو حائز اهمیت است. LST، بیانگر لگاریتم تعداد ایستگاه‌های فعال در هر خط است و LOIL، لگاریتم قیمت بنزین در بازه زمانی مدنظر می‌باشد که به عنوان شاخص تعیین‌کننده استفاده از خودرو شخصی و یا مترو در نظر گرفته شده است. عامل μ اثرات ثابت زمان یا مقاطع در الگوی ترکیبی است و W، ماتریس مجاورت وزنی با ابعاد ۴×۴، و λ، اثر همبستگی فضایی ناشی از ایستگاه‌های تقاطعی بر تعداد مسافران را اندازه‌گیری می‌کند.

بحث و ارائه یافته‌ها

کلی‌ترین الگویی که می‌توان در چارچوب مدل‌های موجود در اقتصادسنجی فضایی مورد برآورد قرارداد الگویی است که شامل خودهمبستگی فضایی متغیر وابسته و جملات اخلال، اثرات تصادفی و همچنین همبستگی سریالی جمله اخلال است که از این الگو تحت عنوان (SARAR) یاد می‌شود. در ادبیات اقتصادسنجی، این تصریح می‌تواند حاوی سرریزهای فضایی متغیر وابسته در مناطق همسایه (SAR)، انتشار فضایی مربوط به شوک‌ها (SEM)، ناهمسانی‌های فردی (RE) و ماندگاری شوک‌ها در طول زمان (SR)؛ باشد (Millo, 2014). قبل از تخمین مدل، ابتدا تشخیص‌های شرطی و نهایی همبستگی فضایی و اثرات تصادفی توسط آزمون LM به‌منظور انتخاب مدل با وقفه و یا جزء خطا صورت می‌گیرد (Baltagi & et al, 2013)، سپس با استفاده از آزمون هاسمن فضایی وجود اثرات ثابت و یا تصادفی فضایی ارزیابی می‌شود (Mutl & Pfaffermayr, 2011). نتایج آزمون همبستگی و هاسمن فضایی در جدول (۲) ارائه‌شده است.

نتایج جدول (۲) و مقدار احتمال آماره کای دو در آزمون هاسمن نشان می‌دهد که برآورد روش اثرات تصادفی در الگوی مورد مطالعه مناسب است. همچنین فرض صفر در آزمون LM-H، مبنی بر عدم وجود اثرات فضایی تصادفی و همبستگی فضایی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار احتمال آماره به‌دست‌آمده فرض صفر را رد می‌کند؛ بنابراین حداقل یکی از دو اثر فضایی تصادفی و یا همبستگی فضایی را نمی‌توان رد کرد. نتایج آزمون هاسمن نشان داد که اثرات تصادفی را نمی‌توان رد کرد. بر اساس نتایج آزمون همبستگی فضایی (CLM Lambda) اثر همبستگی فضایی را نیز نمی‌توان رد نمود. بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌ها، حالت‌های مختلف الگوهای فضایی مانند دوربین فضایی و الگوهای با وقفه مورد آزمون و برآورد قرارگرفته‌اند اما درنهایت الگوهای (SAR) در برآورد تجربی استفاده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی و هاسمن فضایی

آزمون هاسمن فضایی	
آماره کای دو	۰/۸۳
مقدار احتمال	۰/۹۹۹۹
اثرات فضایی تصادفی و همبستگی فضایی(LM-H)	
آماره LM	۲۷۸۲
مقدار احتمال	۰/۰۰۰۰
همبستگی فضایی(CLM Lambda)	
آماره LM	۳/۴۷۹۶
مقدار احتمال	۰/۰۰۰۵

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج الگوی برآوردی از داده‌های ترکیبی با وقفه فضایی (SAR)، نشان‌دهنده ضریب برآوردی تقریباً ۱۹ درصدی و مثبت برای λ است. به‌عبارت‌دیگر ضریب همبستگی فضایی تعداد مسافران در خطوط ۱، ۲، ۳ و ۴ مترو تهران ۱۹درصد است. این بدین معناست که به ازای افزایش یک ایستگاه تقاطعی در یک خط، به طور متوسط تعداد مسافران در خطوط دیگر ۱۹ درصد افزایش خواهد یافت و اثر سرریز یک خط بر خطوط دیگر از کانال ایستگاه تقاطعی را نشان می‌دهد. بنابراین به ازای افزایش هر ایستگاه تقاطعی در خط می‌توان تعداد مسافران آن خط را ۱۹ درصد افزایش داد. قدرت توضیح دهندگی الگو با توجه به ضریب تعیین (R^2) برآوردی بسیار بالا می‌باشد و حدود ۷۸ درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده شده است.

از بین متغیرهای کنترلی بیشترین تأثیر بر تعداد مسافران خطوط را تعداد ایستگاه‌ها در هر خط داشته است. به‌طوری‌که حساسیت تعداد مسافران به تعداد ایستگاه‌ها در یک خط ۲,۶۲ درصد است. به‌عبارت‌دیگر به ازای افزایش هر ایستگاه در خطوط مترو، می‌توان تعداد مسافران را بیش از ۲,۵ برابر کرد. این ضریب از لحاظ جذب مسافر بسیار بالاست. با توجه به اینکه عامل نرخ بلیت به‌صورت سقف لحاظ شده است (نرخ حداکثر) این متغیر تأثیر منفی و معنادار بر تعداد مسافران داشته است به صورتی که حساسیت تعداد مسافران به سقف نرخ لحاظ شده حدود ۰,۵ درصد است. یعنی به ازای افزایش یک درصد در نرخ بلیت تعداد مسافران ۰,۵ درصد کاهش خواهد یافت. قابل توجه است که چون سقف نرخ بلیت در نظر گرفته شده است ضریب برآورد شده بسیار کوچک است. متغیر دیگری که به عنوان عامل اثرگذار بر تعداد مسافران در الگوی فضایی لحاظ شده است قیمت بنزین به عنوان شاخص تأثیرگذار در جایگزینی انتخاب سفر با مترو و یا خودرو شخصی است. ازآنجاکه نرخ حامل‌های انرژی در کشور بسیار پایین می‌باشد تأثیر تغییر نرخ بنزین در انتخاب نوع سفر شهروندان معنادار برآورد نشده است.

وجود وابستگی فضایی در بین خطوط یک، دو، سه و چهار مترو تهران موجب می‌شود تا هر یک از متغیرها دارای اثرات غیرمستقیم بر تعداد مسافران باشد. اثرات غیرمستقیم، نتیجه تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از طریق کانال ایستگاه تقاطعی است. به‌عبارت‌دیگر با افزایش یا کاهش هر یک از متغیرها در خط j تعداد مسافران در آن خط تغییریافته و این تغییر از طریق پارامتر λ و ماتریس W بر تعداد مسافران خط i تأثیر خواهد گذاشت. البته علاوه بر خط j سایر خطوط نیز بر خط i تأثیر خواهند گذاشت. به‌گونه‌ای که ضرایب موردنظر مجموع اثرگذاری‌های غیرمستقیم بر خط i را به‌طور متوسط بیان می‌کنند.

جدول ۳. نتایج الگوی رگرسیون ترکیبی فضایی با استفاده از روش اثرات تصادفی

متغیرها / SAR	ضریب	آماره t	مقدار احتمال
LTI **نرخ بلیت**	-۰/۵۵۶۰*	-۵/۵۸	۰/۰۰۰۰
LST **تعداد ایستگاه‌ها**	۲/۶۲۴۲*	۳۵/۵۳	۰/۰۰۰۰

متغیرها / SAR	ضریب	آماره t	مقدار احتمال
LOIL **قیمت بنزین**	۰/۲۳۰۹	۱/۳۹	۱/۶۴
Constant **ضریب ثابت**	۶/۹۱۲۷*	۷/۳۹	۰/۰۰۰۰
λ	۰/۱۸۸۷*	۳/۱۸۷۱	۰/۰۰۰۰
σ^2	۰/۰۶۱۹*	۱۰/۸۲	۰/۰۰۰۰
R^2	۰/۷۸۴۹		
تعداد مشاهدات	۲۴۰		

* نشان‌دهنده معناداری ضرایب در سطح احتمال ۹۹٪ است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به برآورد اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای توضیحی الگوی تخمین زده‌شده بر تعداد مسافران در بین خطوط در جدول (۴) نمایش داده‌شده است. مشاهده می‌شود که اثرات غیرمستقیم متغیرهای نرخ بلیت و تعداد ایستگاه‌ها ازلحاظ آماری معنادار هستند اما اثرات غیرمستقیم قیمت بنزین همچون اثرات مستقیم معنادار برآورد نشده است. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که افزایش تعداد ایستگاه‌ها با توجه به نتایج اثر مستقیم موجب افزایش تعداد مسافران خواهد شد، و با توجه به نتایج اثر غیرمستقیم، افزایش تعداد مسافران در صورت افزایش تعداد ایستگاه‌های تقاطعی در هر خط موجب افزایش تعداد مسافران خطوط دیگر خواهد شد. در مورد تأثیر غیرمستقیم نرخ بلیت نیز می‌توان گفت که؛ کاهش نرخ بلیت با توجه به نتایج اثر مستقیم موجب افزایش تعداد مسافران خواهد شد، و با توجه به نتایج اثر غیرمستقیم، افزایش تعداد مسافران در صورت افزایش تعداد ایستگاه‌های تقاطعی در هر خط موجب افزایش تعداد مسافران خطوط دیگر خواهد شد.

جدول۴. نتایج اثرات مستقیم و غیرمستقیم رگرسیون ترکیبی فضایی با استفاده از روش اثرات تصادفی

	اثرات مستقیم		اثرات غیرمستقیم		کل اثرات	
	ضریب	مقدار احتمال	ضریب	مقدار احتمال	ضریب	مقدار احتمال
LTI **نرخ بلیت**	-۰/۵۶۱۵*	۰/۰۰۰۰	-۰/۱۲۰۲*	۰/۰۰۷	-۰٫۶۸۱۸**	۰/۰۰۰۰
LST **تعداد ایستگاه‌ها**	۲/۶۶۳۷*	۰/۰۰۰۰	۰/۵۶۹۲*	۰/۰۰۱	۳/۲۳۲۹**	۰/۰۰۰۰
LOIL **قیمت بنزین**	۰/۲۴۴۷	۰/۱۳۹	۰/۰۴۹۰	۰/۱۷۰	۰/۲۹۳۷	۰/۱۳۶

**و * نشان‌دهنده معناداری ضرایب به ترتیب در سطح احتمال ۹۵٪ و ۹۰٪ است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در دنیای کنونی توجه به حمل‌ونقل ریلی به خصوص مترو، یکی از الزامات رشد و توسعه اقتصادی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از الگوی اقتصادسنجی فضایی داده‌های ترکیبی، به ارزیابی همبستگی فضایی چهار خط از خطوط مترو تهران طی بازه زمانی ۱۳۹۷:۱۲-۱۳۹۳:۰۱ پرداخته شد. نمونه‌های مورد برآورد با توجه به دسترسی به اطلاعات آماری از خطوط یک، دو، سه و چهار استفاده شده است. در الگوهای اقتصادسنجی فضایی نحوه تعیین ماتریس وزنی بسیار مهم است. در این پژوهش با یک مدل خلاقانه از کانال ایستگاه‌های تقاطعی در محاسبه ماتریس وزنی استفاده شده است.

نتایج برآورد الگوی وقفه فضایی (SAR) نشان می‌دهد که همبستگی خطوط مترو تهران از طریق کانال ایستگاه‌های تقاطعی حدود ۱۹ درصد می‌باشد و به ازای افزایش هر ایستگاه تقاطعی در هر خط اثرات سرریز فضایی موجب افزایش ۱۹ درصدی در تعداد مسافران خطوط دیگر خواهد شد. بنابراین در پاسخ به سوال اصلی پژوهش؛ توجه به ایستگاه‌های تقاطعی در توسعه خطوط مترو بسیار حائز اهمیت است و

یکی از عوامل اصلی در جذب مسافر محسوب می‌شود. برآورد الگو در مورد عوامل تأثیرگذار بر تعداد مسافران مترو تهران بیانگر تأثیر بالای تعداد ایستگاه‌ها در هر خط است به گونه‌ای که افزایش یک درصدی در تعداد ایستگاه‌ها منجر با بالا رفتن تعداد مسافران به میزان ۲٫۶ درصد خواهد شد. اثر غیرمستقیم تعداد ایستگاه‌ها از کانال ایستگاه‌های تقاطعی نشان می‌دهد که افزایش تعداد ایستگاه در هر خط منجر به افزایش تعداد مسافران آن خط شده و این افزایش از کانال فضایی ناشی از ایستگاه تقاطعی بر خطوط دیگر نیز تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. نرخ بلیت یکی دیگر از عواملی است که در الگوی برآوردی داده‌های ترکیبی فضایی لحاظ شده است. تأثیر این متغیر بر تعداد مسافران منفی برآورد شده است. به‌عبارت‌دیگر افزایش نرخ بلیت تعداد مسافران را کاهش خواهد داد. لازم به ذکر است که نرخ لحاظ شده سقف نرخ بلیت قابل اعمال در خطوط مترو تهران می‌باشد. تأثیر غیرمستقیم این عامل با توجه به کانال ایستگاه‌های تقاطعی نیز منفی برآورد شده است. یکی دیگر از متغیرهایی که به عنوان شاخص جایگزینی استفاده از مترو به جای خودرو شخصی لحاظ شده است قیمت بنزین می‌باشد که معنادار برآورد نشده است و تغییر نرخ بنزین تأثیری بر کاهش یا افزایش تعداد مسافران نخواهد داشت. بنابراین نتایج پژوهش گویای این واقعیت است که یارانه حامل‌های انرژی که هزینه درآمدی بالایی را به دولت تقبل می‌نماید، حداقل در حمل‌ونقل ریلی نقش تعیین کننده‌ای ندارد.
بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر بیشترین تأثیر در جذب مسافران خطوط مترو را متغیرهای تعداد ایستگاه‌ها و نرخ بلیت داشته است و در این بین تأثیر ایستگاه‌های تقاطعی بسیار حائز اهمیت است. همواره یکی از دغدغه‌های متولیان امر در توسعه خطوط مترو نحوه اثرپذیری و جایگاه تعداد ایستگاه‌ها و برخورد خطوط با یکدیگر می‌باشد. در امکان‌سنجی پروژه‌های خطوط ریلی شهری مجتمع‌های ایستگاهی به عنوان یکی از شاخص‌های منابع درآمدی لحاظ می‌شود و عمدتاً این ایستگاه‌ها جزء ایستگاه‌های تقاطعی هستند چرا که ترافیک مسافران در این ایستگاه‌ها بسیار بیشتر است. لزوم توجه به ایستگاه‌های تقاطعی که پتانسیل بالایی در جذب مسافر دارند و عمدتاً مجتمع‌های ایستگاهی در این خطوط جذابیت بیشتری دارند، نتیجه‌ای است که می‌تواند در اولویت‌های استراتژی توسعه خطوط مترو تهران لحاظ شود.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی: هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است

References

1. Anselin, L., Le Gallo, J. & Jayet, H. (2008). Spatial Panel Econometrics The Econometrics of Panel Data. Springer.
2. Baltagi, B., Egger, P., & Pfaffermayr, M. (2013). A Generalized Spatial Panel data Model with Random Effects. Econometric Reviews, 32, pp: 650–685.
3. Behbahani, H., Afandi Zadeh, S., & Rahimof, K. (2008). Solving the Waiting Time of Passengers in Metro Stations Using Simulation Technique (Case Study of Tehran Metro). Journal of Transportation Research, 5(1), pp: 15-30. (In Persian).
4. Elhorst, J.P. (2014). Spatial Econometrics; From Cross- Sectional Data to Spatial Panels. Springer Briefs in Regional Sciences.
5. Gan, Z., Feng, T., Yang, M., & et al. (2019). Analysis of Metro Station Ridership Considering Spatial Heterogeneity. Chinese Geographical Science. 29, doi: 10.1007/s11769-019-1065-8.
6. Hadi Zonouz, B. (2009). Metro ticket pricing in Tehran. Urban Economics, 3, pp: 4-19. (In Persian).
7. Kang, L., & Meng, Q. (2017). Two-Phase Decomposition Method for the Last Train Departure time Choice in Subway Networks. Transportation Research Part B: Methodological, 104, pp: 568-582.
8. Kazemian, G.H., Rasouli, Afshin., & Rafie Pour, S. (2015). Advantages of Intercity Rail Transportation Over Roads, Based on the Sustainable Development Approach, a Case Study of Tehran Metro Line 4. Journal of Research and Urban Planning, 23(6), pp: 77-94. (In Persian).
9. Kheirodin, R., Farhood, A., & Eimani, J. (2013). Targeted Development of Metro Stations; From Spatial Polarization to Urban Integration in Tehran Examples: Dr. Shariati and Shohada Square Metro Station. Journal of Bagh-e Nazar, 27(10), PP: 15-26. (In Persian).
10. LeSage, J., & Pace, R.K. (2009). Introduction to Spatial Econometrics, Boca Raton:

11. Li, Z., Zhou, y., Li, Z., & ET AL. (2020). Impact Analysis of New Metro Line Opening on Passenger Flow: A Case Study of Shenzhen, MATEC Web Conf, 308, doi: 10.1051/matecconf/202030801004.
12. Liu, C., & Li, Lei. (2020). How do Subways Affect Urban Passenger Transport Modes? Evidence from China. Economics of Transportation, doi: 10.1016/j.ecotra.2020.100181.
13. Millo, G. (2014). Maximum likelihood Estimation of Spatially and Serially Correlated Panels with Random Effects. Computational Statistics and Data Analysis, 71, pp: 914-933.
14. Mult, J. & Pfaffermayr, M. (2011). The Hausman Test in a Cliff and Ord Panel Model. The Econometrics Journal, 14(1), pp: 48-76.
15. Rafieian, M., Asgari Tafreshi, H., & Sedighi, A. (2010). Application of Transportation-Based Development (TOD) Approach in Urban Land Use Planning Sample Study: Sadeghieh Metro Station. The Scientific Research Journals Spatial Planning, 14(3), PP: 295-312. (In Persian).
16. Ramezan Zadeh, H., Molaei, A., & Mohammad Molaei, A. (2015). Urban Transport, its Effects and Environmental Solutions. Journal of Applied Arts, 4(6), PP: 55-62. (In Persian).
17. Razavi Hajiagha, S.H., Mohamadi, Y., & Shideh, S.H. (2020). Optimizing the Waiting Time of Passengers in Tehran Metro Intersection Stations Case study: Line 4 of Tehran Metro. Production and Operations Management, 11(1), pp: 24-43. (In Persian).
18. Shakeri, A., Mar, F., & Modaberi, S. (2011). Environmental Impacts of Shiraz Large Industrial Town on Release of Heavy Metals into Qarabagh Drainage. The Second National Conference on Applied Research in Iranian Water Resources, https://civilica.com/doc/115965. (In Persian).
19. Xiao, F., & Yu, G. (2018). Impact of a New Metro Line: Analysis of Metro Passenger Flow and Travel Time Based on Smart Card data. Journal of Advanced Transportation, doi: 10.1155/2018/9247102.
20. Xu, X., Li, K., & Li, X. (2016). A Multi-Objective Subway Timetable Optimization Approach with Minimum Passenger Time and Energy Consumption. Journal of Advanced Transportation. 50(1), pp: 69-95.
21. Zabihi, H., Abdollah, B., & Abdollah, B. (2015). Evaluate and Determine the Role of the Government Gate Station Complex with a Development Approach Based on Public Transportation (TOD). Urban Management Studies. 8(26), PP: 19-30. (In Persian).