دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی، دوره ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۰، ۱۳۹-۱۰۷، مقاله پژوهشی
Shahid Beheshti University, Quarterly Journal of Economics and Modelling Vol. 12, No. 3, Autumn 2021, 107-139, Research Article

بررسی اثرات سرریز تقاضای وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران: الگوی خودرگرسیون برداری جامع[1]

محبوبه شجاعیان*، مسعود خداپناه، منصور زراءنژاد*****

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

چکیده:

واکنش تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری به انواع تکانه‌های داخلی و خارجی از مهم‌ترین مسائل در سیاست‌گذاری حمل و نقل عمومی درون‌شهری است. هدف این پژوهش بررسی اثرات سرریز تقاضای وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران با استفاده از الگوی خودرگرسیون برداری جامع طی دوره زمانی ماهانه ۱۳۹۸-۱۳۸۷ است. نتایج توابع ضربه-واکنش نشان می‌دهد که وقوع تکانه مثبت در تقاضای مترو، تقاضای اتوبوس تندرو را افزایش و تقاضای اتوبوس عادی را کاهش، تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس عادی، تقاضای مترو و اتوبوس تندرو را کاهش و وقوع تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس تندرو، به افزایش تقاضای مترو و کاهش تقاضای اتوبوس عادی می‌انجامد. همچنین وقوع تکانه مثبت در کرایه مترو، تقاضای اتوبوس عادی و تندرو را کاهش داده و وقوع تکانه مثبت در کرایه اتوبوس عادی، افزایش تقاضای مترو و اتوبوس تندرو را به‌دنبال دارد. با وقوع تکانه مثبت در کرایه اتوبوس تندرو، تقاضای مترو افزایش و تقاضای اتوبوس عادی و تندرو با شیب کم افزایش می‌یابد. در نهایت با وقوع تکانه مثبت در قیمت بنزین، تقاضای مترو، اتوبوس عادی و تندرو افزایش خواهد یافت.

کلیدواژه‌ها: *اثرات سرریز، تقاضای حمل و نقل عمومی، الگوی خودرگرسیون برداری جامع، کلان‌شهر تهران.*

طبقه‌بندی JEL : *R48 ،R42 ،R41 ،R40*

---

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری محبوبه شجاعیان و با حمایت‌های مادی و معنوی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران انجام شده است.

* دانشجوی دکتری اقتصاد شهری و منطقه‌ای دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، m-shojaeian@stu.scu.ac.ir

** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، (نویسنده مسئول)، Khodapanah@scu.ac.ir

*** استاد گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، m.zarran@scu.ac.ir

۱. مقدمه

سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری[1] به‌عنوان «شریان حیاتی شهرها» یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار شهری[2] است (کوگورولو و همکاران[3]، ۲۰۲۰). سیستم‌های حمل و نقل عمومی درون‌شهری سازمان‌یافته، کارآمد و پایدار، مزایای زیادی مانند کارآیی بیشتر در استفاده از فضای عمومی و زیرساخت‌های شهری، کاهش آلودگی، مصرف انرژی، اتلاف وقت و ازدحام ترافیک و ... را به‌دنبال دارند و می‌توانند اثرات مثبتی بر رشد اقتصاد شهری داشته باشند (تورو گونزالس[4]، ۲۰۲۰). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، تقریبا ۶۸ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری سکونت می‌کنند. این مسأله می‌تواند تقاضا برای حمل و نقل عمومی درون‌شهری را به‌شکل چشمگیری افزایش دهد (دی اونا[5]، ۲۰۲۱).

شهر تهران به‌عنوان پرجمعیت‌ترین کلان‌شهر ایران و بیست و چهارمین کلان‌شهر پر جمعیت جهان با تقاضای عظیم حمل و نقل عمومی درون‌شهری مواجه است. مقایسه آمارهای سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران به روشنی نشان‌دهنده عدم تناسب بین جمعیت و زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی درون‌شهری است (پوراحمد ۱۳۹۳). هم‌اکنون، جمعیت کلان‌شهر تهران ۹/۳ میلیون نفر است و در طول روز به ۱۵ میلیون می‌رسد (آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۸). تقاضا برای وسایل حمل و نقل عمومی در کلان‌شهر تهران سهم چشمگیری در سبد مصرفی خانوارهای طبقه متوسط و ضعیف تهرانی دارد. ظرفیت محدود سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری، فرسودگی بیش از حد آن و محدودیت‌های بودجه‌ای شهرداری تهران برای نوسازی، مانعی بزرگ برای پاسخ‌گویی تقاضای روز افزون حمل و نقل عمومی درون‌شهری در

1. Urban Public Transportation System
2. Urban Sustainable Development
3. Cugurullo
4. Toro-González
5. de O˜na

کلان‌شهر تهران است (معاونت حمل و نقل شهرداری تهران، ۱۳۹۹). بر همین اساس، سیاست‌گذاری و مدیریت تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری بر اساس ظرفیت موجود سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران ضرورت و اهمیت بسیار زیادی برای مدیریت پایدار شهری در سال‌های آینده خواهد داشت.

در یک محیط چندگانه[1]حمل و نقل عمومی درون‌شهری، شامل مترو، اتوبوس عادی، اتوبوس تندرو و ....، انواع مختلف وسایل حمل و نقل عمومی با ویژگی‌های متفاوتی وجود دارد که بسته به شرایط مختلف و در زمان وقوع تکانه‌ها در داخل و خارج از سیستم یا در متغیرهای تعیین‌کننده تقاضا برای حمل و نقل عمومی درون‌شهری، این وسایل حمل و نقل عمومی با درجات متفاوتی از سوی تقاضاکنندگان جایگزین یکدیگر می‌شوند و تقاضا بین وسایل حمل و نقل انتقال می‌یابد. این پدیده در ادبیات اقتصادی با عنوان اثرات سرریز تقاضا[2] برای حمل و نقل عمومی درون‌شهری شناخته می‌شود (لی و همکاران[3]، ۲۰۲۰). در این زمینه، اثر تغییر ناگهانی در تقاضای یک نوع وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری به‌دلیل وقوع یک تکانه، بر تقاضای سایر وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری موضوع بسیار مهمی است. تغییر ناگهانی به تکانه‌های غیر منتظره و پیش‌بینی نشده‌ای اشاره دارد که عملکرد طبیعی سیستمی شامل انواع مختلف وسایل حمل و نقل عمومی را در شهرها مختل می‌کنند. اثرات سرریز تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری در انواع مختلف، روشن‌کننده این مسأله است که تقاضای هر کدام از انواع وسایل حمل و نقل عمومی نسبت به یک تکانه خاص چگونه تغییر می‌کند و بین انواع وسایل حمل و نقل، انتقال می‌یابد (مایکلیدز و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به محدود بودن ظرفیت عرضه وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران، یکی از مهم‌ترین و اثرگذارترین عوامل در مدیریت تقاضا برای حمل و

1. Multimodal
2. Demand Spillover Effect
3. Li

نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران، توانایی پیش‌بینی و سرشکن کردن موج تقاضای ناشی از اثرات سرریز تقاضا بین انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری در اثر وقوع تکانه‌ها یا اجرای سیاست‌گذاری‌های دولتی و غیردولتی در داخل و خارج از سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری با توجه به اثر این تکانه‌ها است. هر چند تا کنون مطالعاتی در زمینه حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران انجام شده است؛ اما هنوز مطالعه‌ای به بررسی اثرات سرریز تقاضا برای حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران نپرداخته است. مطالعه این اثرات نقش ویژه‌ای در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران هم در دوره کوتاه‌مدت و هم در دوره بلندمدت دارد. از این رو، هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثرات سرریز تقاضای وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهانه به‌دست آمده از سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۸۷ با استفاده از الگوی خودرگرسیون برداری جامع (GVAR)[1] است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. مبانی نظری

هورچر و تیراچینی[2] (۲۰۲۱) حمل و نقل عمومی را به‌صورت وسایل حمل و نقل با ظرفیت زیاد تعریف می‌کنند که به‌صورت اشتراکی و با برنامه‌ای ثابت استفاده می‌شوند. اصلی‌ترین ویژگی‌هایی که حمل و نقل عمومی را از سایر انواع سفر متمایز می‌کند، تامین وسایل حمل و نقل، تامین زیرساخت‌های آن و ارائه خدماتی مانند جدول زمانی و

1. Global Vector Autoregression

به دلیل این که این مطالعه در سطح سیستم حمل و نقل انجام شده و شامل روابط بین انواع وسایل حمل و نقل عمومی شهری است، در ترجمه واژه Global، واژه «جامع» به‌عنوان جایگزین مناسب‌تری برای واژه جهانی که در مطالعات بین‌الملل به‌کار می‌رود در نظر گرفته شده است.

2. H¨orcher and Tirachini

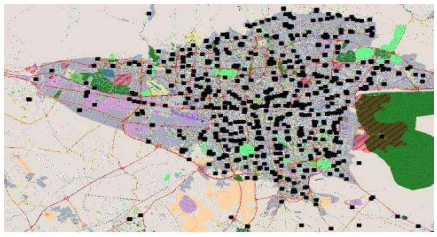
قیمت بلیط است که اپراتورهای حمل و نقل عمومی باید آن را منتشر کنند (جانسون و همکاران[1]، ۲۰۱۶). انواع چندگانه[2] حمل و نقل به‌عنوان کاربری دو یا بیش از دو نوع وسیله حمل و نقل عمومی طی یک دوره زمانی خاص تعریف می‌شود (بلاک-اسکچتر[3]، ۲۰۰۹). در مقابل حمل و نقل تک‌گانه[4] به‌صورت استفاده از یک نوع وسیله حمل و نقل به‌تنهایی در یک دوره زمانی خاص تعریف می‌شود. بهره‌گیری از انواع چندگانه حمل و نقل در حال تبدیل شدن به یکی از مهم‌ترین سازوکارها برای کاهش وابستگی به خودرو و افزایش پایداری در سیستم‌های حمل و نقل است که می‌تواند بخشی از سفرهای درون‌شهری انجام شده را به سایر وسایل حمل و نقل عمومی انتقال دهد (کلوند[5]، ۲۰۱۲). انواع چندگانه حمل و نقل به‌عنوان بخش مهمی از مقاومت‌پذیری سیستم حمل و نقل درون‌شهری در برابر تکانه‌های داخلی و خارجی پدید آمده سیستم حمل و نقل عمومی شناخته می‌شود (ریتولد و همکاران[6]، ۲۰۰۱).

شهر تهران بزرگ‌ترین کلان‌شهر در کشور ایران و خاورمیانه به شمار می‌رود. مساحت کلان‌شهر تهران ۷۵۱ کیلومتر مربع و دارای ۲۲ منطقه و تراکم جمعیت ۱۲۳/۸ نفر در هکتاراست. سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران از سه نوع وسیله حمل و نقل شامل مترو، اتوبوس عادی و اتوبوس تندرو تشکیل شده است که بخش عمده‌ای از جابه‌جایی‌های روزانه را در کلان‌شهر تهران انجام می‌دهند. شبکه مترو در کلان‌شهر تهران شامل ۷ خط مترو به طول ۲۲۸ کیلومتر با ۱۵۰۷ واگن و ۱۳۷ ایستگاه هر روزه با بیش از ۱۴ میلیون تقاضا برای سفر مواجه است. شبکه اتوبوس عادی کلان‌شهر تهران در حال حاضر شامل ۲۲۰ خط اتوبوس به طول ۲۵۲۸ کیلومتر و ۳۴۵۱ ایستگاه است که همه مناطق کلان‌شهر تهران را با تقریباً ۵۸۱۷

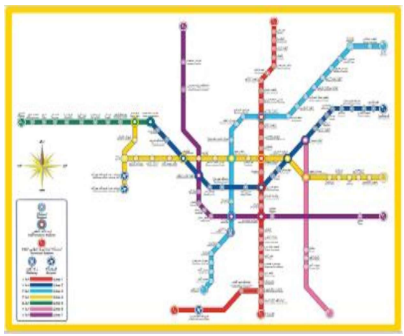
1. Jansson
2. Multimodality
3. Block-Schachter
4. Monomodality
5. Chlond
6. Rietveld

دستگاه اتوبوس پوشش می‌دهد. شبکه اتوبوس تندرو شامل ۱۰ خط با ۱۲۰۵ دستگاه است و در طول خطوطی به اندازه ۱۶۵ کیلومتر و ۳۴۱ ایستگاه را پوشش می‌دهد (آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۸).

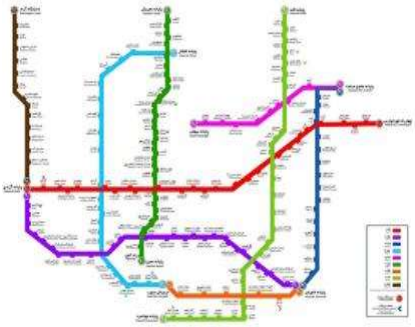
شکل (۱). مناطق ۲۲ گانه کلان‌شهر تهران



شکل (۲). شبکه اتوبوس عادی کلان‌شهر تهران



شکل (۳). شبکه خطوط مترو کلان‌شهر تهران



شکل(۴). شبکه خطوط اتوبوس تندرو کلان‌شهر تهران

منبع: معاونت حمل و نقل و ترافیک شهر تهران (۱۳۹۸)

۱-۱-۲. تابع تقاضای حمل‌ونقل عمومی

می‌توان تابع تقاضا برای حمل و نقل مسافران را از نگاه نظری با بهره‌گیری از تابع مطلوبیت مسافران و قید بودجه آن‌ها به‌دست آورد. برای این منظور، فرض کنید که تقاضاکنندگان سیستم حمل و نقل، در فضایی شامل دو کالا حضور دارند، یکی کالای

حمل و نقل (q_t^T) و دیگری سایر کالاها (q_t^O) (که نشان‌دهنده سایر کالاها و خدمات موجود است). این مصرف‌کنندگان در بازار به‌دنبال حداکثر کردن تابع مطلوبیت خود بر اساس قید بودجه تعریف شده به‌صورت رابطه (۱) هستند.

$$Max: U = U(q_t^T, q_t^O) \quad (۱)$$

$$\text{S.t: } y_t = p_t^T.q_t^T + p_t^O.q_t^O$$

به منظور حداکثرسازی تابع مطلوبیت در رابطه (۱) با توجه به قید بودجه مصرف‌کنندگان می‌توان از تابع لاگرانژ استفاده کرد:

$$L = U(q_t^T, q_t^O) + \lambda(y_t - p_t^T.q_t^T + p_t^O.q_t^O) \quad (۲)$$

در این حالت می‌توان با مشتق‌گیری جزئی از متغیرهای تصمیم در معادله (۲) می‌توان به معادلات بیان شده در رابطه (۳) دست یافت:

$$\begin{cases} \partial/\partial q_t^T = u_1 - \lambda p_t^T = 0 \rightarrow u_1 = \lambda p_t^T \\ \partial/\partial q_t^O = u_1 - \lambda p_t^O = 0 \rightarrow u_1 = \lambda p_t^O \\ \partial/\partial q_t^T = y_t - p_t^T.q_t^T - p_t^O.q_t^O \end{cases} \quad (۳)$$

مطابق رابطه (۳)، تابع تقاضا برای حمل و نقل از حل معادلات بیان شده بر حسب q_t^T به‌صورت رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$q_t^T = f(y_t, p_t^T, p_t^O) \quad (۴)$$

رابطه (۴) شکل عمومی تابع تقاضای حمل و نقل عمومی را نشان می‌دهد که در آن q_t^T نشان‌دهنده تعداد مسافران جابه‌جا شده در سیستم ناوگان حمل و نقل عمومی، p_t^T متوسط کرایه پرداختی مسافران تقاضا کننده سیستم حمل و نقل عمومی، p_t^O قیمت سایر کالاها خواهد بود. y_t نیز نشان‌دهنده درآمد متقاضیان خدمات حمل و نقل است. البته باید توجه داشت که در برآورد الگوهای تجربی مجموعه‌ای از عوامل اقتصادی- اجتماعی، جمعیتی و ... نیز می‌توانند بر تقاضای حمل و نقل عمومی اثرگذار باشند (ویکی، ۲۰۱۰). در این شرایط، معمولاً شکل مقدماتی تابع تقاضای حمل و نقل به‌صورت تابعی با فرم کاب- داگلاس مشابه با رابطه (۵) در نظر گرفته می‌شود:

$$Q_t^T = \beta_0(y_t)^{\beta_1}(p_t^T)^{\beta_2}(p_t^O)^{\beta_3} \quad (۴)$$

در این حالت با گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه (۵) می‌توان به شکل خطی برای تابع تقاضا برای حمل و نقل دست یافت. در نهایت، می‌توان حالت کشش‌گونه تابع تقاضای حمل و نقل عمومی را به‌صورت رابطه (۶) بازنویسی کرد (پلاکاندراس و همکاران[1]، ۲۰۱۹؛ دژپسند و خزائی، ۱۳۹۷):

$$Lnq_t^T = Ln\beta_0 + \beta_1 Lny_t + \beta_2 Lnp_t^T + \beta_3 Lnp_t^O + u_t \qquad (۵)$$

۲-۱-۲. متغیرهای موثر بر تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری

متغیرهای مختلفی بر تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری اثرگذار هستند. مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده تقاضای حمل و نقل عمومی در ادبیات پژوهش شامل قیمت کرایه، قیمت سوخت، بیکاری و سطح درآمد تقاضاکنندگان سیستم حمل و نقل عمومی در نظر گرفته می‌شوند (پائولی و همکاران[2]، ۲۰۰۶؛ لیتمن[3]، ۲۰۰۴؛ مایکلیدز و همکاران، ۲۰۱۵؛ کانسنی و بریدزیکووا[4]، ۲۰۲۰). کرایه‌ها برای تأمین خدمات حمل و نقل عمومی ضروری هستند؛ زیرا منبع اصلی درآمد را برای اپراتورها ایجاد می‌کنند. به‌طور کلی، اگر کرایه‌ها افزایش یابد، تقاضا برای حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابد (برسون و همکاران[5]، ۲۰۰۴). افزایش قیمت بنزین می‌تواند بر روی هزینه کاربری وسایل حمل و نقل عمومی و خصوصی اثرگذار باشد. از یک سو، افزایش قیمت بنزین می‌تواند باعث افزایش کرایه وسایل حمل و نقل عمومی شود. از سوی دیگر هزینه کاربری خصوصی وسایل نقلیه را افزایش می‌دهد. چگونگی اثر افزایش قیمت بنزین بر حمل و نقل عمومی به میزان قوی‌تر بودن هر یک از این دو اثر بستگی دارد (چائو و همکاران[6]، ۲۰۱۵). غالباً افزایش قیمت بنزین انگیزه استفاده از سیستم حمل و نقل

1. Plakandaras
2. Paulley
3. Litman
4. Konečný and Brídziková
5. Bresson
6. Chao

عمومی را افزایش می‌دهد (فوجی‌ساکی[1]، ۲۰۱۴).

درآمد نیز یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که بر رفتار سفر و تقاضای سفر در یک جمعیت اثرگذار است. به‌طور مشخص، رشد اقتصادی و سطح بالاتر درآمد خانوار به نرخ‌های بالاتر مالکیت خودرو می‌انجامد (کروت[2]، ۲۰۰۹؛ اورتورزار و همکاران[3]، ۲۰۰۶). در رابطه بین کل ذخیره وسایل حمل و نقل و توسعه اقتصادی در کشورهای مختلف، هر چه سطح رشد اقتصادی یک کشور سریع‌تر و بیشتر باشد، نرخ‌های مالکیت خودرو در آن کشورها با افزایش درآمد سرانه افزایش می‌یابد (دارگای و گاتلی[4]، ۱۹۹۹). یکی دیگر از عوامل اقتصادی اجتماعی موثر بر تقاضای حمل و نقل عمومی بیکاری[5] است (تانگ و تاخوریا[6]، ۲۰۱۲؛ ماتسون[7]، ۲۰۰۸). از آن‌جا که افراد بیکار هیچ‌گونه درآمد منظمی ندارد؛ تقاضای سفر آن‌ها و تعداد سفرهای روزانه آن‌ها نیز کاهش می‌یابد (گوگولا و همکاران[8]، ۲۰۱۸). افزون بر این، نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که افزایش نرخ بیکاری می‌تواند استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی مانند مترو و اتوبوس را افزایش دهد (مایکلیدز و همکاران، ۲۰۱۵، کوردرا و همکاران[9]، ۲۰۱۵).

۲-۲. پیشینه پژوهش

در این بخش پیشینه پژوهش شامل مطالعات خارجی و مطالعات داخلی بررسی می‌شود.

تورو گونزالس و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی عوامل موثر بر تقاضای حمل و نقل عمومی کلمبیا با روش متغیرهای ابزاری[10] پرداختند. نتایج نشان داد که تقاضا برای

1. Fujisaki
2. Crotte
3. Orturzar
4. Dargay and Gately
5. Unemployment
6. Tang and Thakuriah
7. Mattson
8. Gogola
9. Cordera
10. Instrumental Variables

حمل و نقل عمومی به قیمت حساس است، با درآمد رابطه منفی و با سرعت رابطه مثبت دارد. جین و همکاران[1] (۲۰۱۹) به بررسی تعامل بین تقاضای حمل و نقل عمومی، کیفیت خدمات و کرایه برای بهینه‌سازی رفاه اجتماعی پرداختند. نتایج بیان کرد که از نظر حداکثر رفاه اجتماعی، نرخ‌های پایین‌تر ترجیح داده می‌شوند. همچنین در صورت وجود حالت جایگزین مناسب، تقاضا و کیفیت خدمات حمل و نقل عمومی ناگهان کاهش می‌یابد.

افتیمیو و آنتونیو[2] (۲۰۱۷) به بررسی درک تأثیرات بحران اقتصادی بر رضایت و تقاضای کاربران حمل و نقل عمومی پرداختند. افزایش قیمت بلیط و همچنین افزایش تمایل به استفاده از سایر وسایل، افراد را به استفاده کمتر از حمل و نقل عمومی سوق داده است. مایکلیدز و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی الگوسازی اثرات سرریز وسایل حمل و نقل عمومی در آتن با استفاده از الگوی خودرگرسیون برداری جامع به منظور تجزیه و تحلیل جنبه‌های تقاضا پرداختند. نتایج نشان داد که همه متغیرها در یک دوره معمولاً کمتر از دوازده ماه به موقعیت تعادل جدیدی دست می‌یابند. همچنین سیستم همه وسایل حمل و نقل عمومی در منطقه آتن، نسبت به شوک‌های غیر منتظره اقتصادی انعطاف‌پذیر است.

حاتمی (۱۳۹۹) به بررسی اولویت‌بندی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل و نقل[3] در کلان‌شهر تهران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی[4] پرداخته است. نتایج نشان داد که ابزارهای اقتصادی با پرهزینه کردن استفاده از اتومبیل شخصی تمایل شهروندان را به سوی حمل ونقل عمومی جذب می‌کنند. فیروزفر و کیمنش (۱۳۹۸) به بررسی ارائه الگوریتم بهینه تقاضای سفر در حمل و نقل عمومی با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. نتایج نشان داد که اکثریت افراد استفاده کننده از خط ۱ متروی تهران از این

1. Jin
2. Efthymiou and Antoniou
3. TDM
4. AHP

خط به عنوان پل ارتباطی با خطوط دیگر استفاده می‌نمایند. بنابراین خط ۱ متروی تهران، میزان دسترسی سفرهای درون‌شهری را افزایش می‌دهد.

نوروزیان ملکی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی پیش‌بینی تقاضای حمل و نقل پایدار شهری و تجزیه و تحلیل سیاست‌های حاکم بر آن از طریق پویایی شناسی سیستم‌ها بر اساس شبیه‌سازی الگو پرداختند. با توجه به نتایج از جمله سیاست‌های پیشنهادی می‌توان به کنترل کرایه‌ها، توسعه کمی و کیفی حمل و نقل عمومی و ریلی، کاهش استفاده از اتومبیل‌های شخصی و کنترل قیمت سوخت اشاره کرد. با توجه به این مطالعه، کنترل قیمت کرایه و کنترل قیمت سوخت، سیاست‌های مؤثرتری در راستای مدیریت تقاضای سفر هستند. انصاری و آشنایی (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی اثرات اقتصادی و اجتماعی بر تقاضای حمل ونقل عمومی با استفاده از الگوسازی سیستم‌های پویا پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش شاخص هزینه‌های حمل و نقل عمومی که شامل پارامترهای زمان سفر، دسترسی به سیستم حمل و نقل عمومی و هزینه سفر است، تقاضا برای حمل و نقل عمومی کاهش یافته و مصرف کننده به منظور افزایش مطلوبیت خود از خودرو شخصی استفاده خواهد کرد. دژپسند و خزائی (۱۳۹۷) به برآورد کشش‌های قیمتی و درآمدی موثر بر تقاضای بنزین در بخش حمل و نقل کشور طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۵ با استفاده از روش گشتاروهای تعمیم‌یافته[1] پرداختند. مطابق نتایج، ناوگان اتوبوس‌رانی شهری تاثیر چندانی بر سرانه مصرف سوخت نداشته است و مقادیر کشش قیمت بنزین، نفت گاز به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۳ و کشش درآمدی برای بنزین و نفت گاز برابر با ۰/۳ بوده است.

می‌توان دید که هنوز مطالعه‌ای در ایران و به‌ویژه کلان‌شهر تهران انجام نشده است که به بررسی اثرات سرریز تقاضا برای حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری در نتیجه وقوع تکانه‌های داخلی و خارجی در سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

1. Generalized Method of Moments

پرداخته باشد. این مطالعه را می‌توان گامی نو در راستای ادبیات پژوهش به شمار آورد.

۳. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

۳-۱. روش پژوهش

الگوی خودتوضیح برداری جامع (GVAR) یکی از رویکردهای نوین برای ارزیابی روابط بین واحدهای اقتصادی است. مزیت‌های اصلی رویکرد الگوسازی GVAR در مقایسه با رویکرد VAR شامل این موارد است: الف) رویکرد GVAR امکان ارزیابی تجربی وابستگی متقابل[1] بین متغیرها را در سطوح مختلف (ملّی، بین‌المللی، بخشی یا چندگانه) به‌صورتی شفاف و روشن پدید می‌آورد. (ب) در رویکرد GVAR، امکان بررسی و تحلیل روابط منطبق با نظریه و روابط کوتاه‌مدت سازگار با نوع داده‌های پژوهش وجود دارد. (ج) این رویکرد می‌تواند راه‌حل‌های منسجم و منطبق با نظریه برای شناسایی ابعاد در الگوسازی‌های جامع ارائه دهد (پسران و همکاران[2]، ۲۰۰۴). پسران و همکاران (۲۰۰۴) چهارچوب اولیه الگوی GVAR را معرفی کردند و بعدها ابعاد دیگری از این الگو در مطالعات نظری مانند پسران و اسمیت[3] (۲۰۰۶) و چودیک و پسران[4] (۲۰۱۱) و همچنین مطالعات تجربی مانند پسران و همکاران (۲۰۰۷) و کنستانتاکیس و مایکلیدز[5] (۲۰۱۴) توسعه یافت.

این روش یک چارچوب اقتصادسنجی فشرده را شامل می‌شود که به طور ویژه‌ای برای الگوسازی صریح وابستگی متقابل بین متغیرهای مقاطع مختلف طراحی شده است. ساختار الگوی GVAR، الگوهای تصحیح خطای فردی را به گونه‌ای ترکیب می‌کند که در آن امکان ارتباط دادن متغیرهای داخلی مربوط به یک واحد اقتصادی i در الگو به

1. Interdependence
2. Pesaran
3. Pesaran and Smith
4. Chudik and Pesaran
5. Konstantakis and Michaelides

متغیرهای بیرونی متناظر در واحد اقتصادی دیگر j $(i \neq j)$ وجود دارد. در این حالت، می‌توان به شکل بسیار دقیق‌تری الگوی مطلوب واحدهای اقتصادی را بررسی و تعیین کرد. در این وضعیت، الگوهای فردی با استفاده از یک ماتریس وزن به یکدیگر پیوند می‌خورند؛ به‌گونه‌ای که در نهایت بتوان الگوی GVAR را برای کل واحدها به‌صورت یک‌جا حل کرد. به بیان دیگر، رویکرد GVAR در واقع روشی است که از آن برای بررسی میزان وابستگی متقابل بین الگوها از طریق تحلیل تابع ضربه واکنش استفاده می‌شود (سانگورتکین هالام[1]، ۲۰۲۰).

۲-۳ الگوی پژوهش

در این مطالعه از الگوی پیشنهادی مایکلیدز و همکاران (۲۰۱۵) برای بررسی اثرات سرریز وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری بهره گرفته شده است. بر همین اساس، الگوی ریاضی قابل بیان برای هر وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری به‌صورت رابطه (۱) است:

$$\Phi_i(L,p_i)x_{it} = a_{i0} + \Lambda_i(L,q_i)\, x_{it}^{*} + a_{i1}G_t + u_{it} \qquad (۱)$$

مطابق رابطه (۱)، مقادیر $i = 1,2,3$ نشان‌دهنده هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری شامل مترو، اتوبوس عادی و اتوبوس تندرو است که در آن $t = 1, \dots, T$ خواهد بود. به‌دلیل تنوع متغیرها در الگوی GVAR، متغیرهای محلی در بر دارنده متغیرهای داخلی[2]، متغیرهای خارجی[3] و متغیرهای جامع است. متغیرهای داخلی در واقع متغیرهای اثرگذار بر تقاضای هر یک از انواع مختلف وسایل حمل و نقل عمومی است که به‌صورت درون‌زا تعیین می‌شوند. این متغیر را می‌توان به‌صورت ترکیبی از یک مقدار وقفه، متغیرهای خارجی و متغیرهای جامع نوشت. مطابق معادله

1. Sungurtekin Hallam
2. Internal Variables
3. Foreign Variables

(۱)، x_{it} نشان‌دهنده مجموعه متغیرهای داخلی است. از سوی دیگر، $\Phi_i(L,p_i)$، ماتریس چند جمله‌ای وقفه‌های L به‌طول p_i، برای ضریب مربوط به آن نوع وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری است. a_{i0} برداری از مقادیر ثابت عرض از مبدا است. G_t مجموعه‌ای از متغیرهای جامع[1] است و a_{i1} بردار ضرایب متناظر با این متغیرها است. $x_{it}^* = Wx_{it}$ مجموعه متغیرهای بیرونی وزن‌دهی شده و $\Lambda_i(L,q_i)$ ماتریس چند جمله‌ای وقفه L با طول q_i برای هر یک از ضرایب مربوطه است. در این مطالعه، ماتریس W_i یک ماتریس وزنی با ابعاد ۳ × ۳ است که میانگین مقطعی خاص متغیرهای خارجی را برای $k_i = 3$ وسیله حمل و نقل عمومی تعریف می‌کند. سرانجام، u_{it} نیز برداری از تکانه‌های خاص متناوب به‌صورت سریالی ناهمبسته برای هر وسیله حمل و نقل عمومی با میانگین صفر با ماتریس واریانس-کوواریانس $\sum i, u_{it} \sim i.i.d(0,\sigma^2)$ خواهد بود.

در این مطالعه، الگوی GVAR از سه نوع وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری اصلی در کلان‌شهر تهران یعنی مترو، اتوبوس عادی و اتوبوس تندرو تشکیل می‌شود. هر نوع حمل و نقل عمومی درون‌شهری $i = 1,2,3$ به‌نوبه خود از یک الگوی خود توضیح برداری (VARX) پیروی می‌کند که به یک بردار ۴×۱ از متغیرهای جامع به‌صورت $G^T = (P, GDP, UN, PETROL)$ تعمیم می‌یابد. بردار متغیرهای جامع شامل (P) بردار نرخ‌های کرایه انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان شهر تهران، متغیر (GDP) تولید ناخالص داخلی سرانه استان تهران به‌عنوان جایگزینی برای درآمد سرانه، (UN) نرخ بیکاری استان تهران و (PETROL) بردار قیمت بنزین است و متغیر T حمل و نقل عمومی درون‌شهری را نشان می‌دهد.

متغیر درون‌زای x_{it} برای هر نوع حمل و نقل عمومی درون‌شهری i نشان‌دهنده تقاضای (تعداد مسافران) هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی (D) است.

1. Global Variables

متغیرهای بیرونی[1] x_{it}^{*} نشان‌دهنده میانگین وزنی سایر مقادیر متغیرهای حمل و نقل عمومی درون‌شهری است. فرض می‌شود که این متغیرها در الگوی تعیین شده برای هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری به‌صورت برون‌زای ضعیف[2] هستند که مقدار وزن هر یک از این متغیرها نیز در ابتدا تعیین خواهد شد. وزن‌های تعیین شده که در طول زمان تغییر می‌کنند، بیانگر سهم[3] هر یک از وسایل حمل و نقل عمومی خواهند بود که به‌صورت نسبت افراد تغییر دهنده وسیله حمل و نقل عمومی از یک وسیله حمل و نقل عمومی خاص به سایر وسایل حمل و نقل عمومی تقسیم بر کل مسافران بالقوه سیستم حمل و نقل عمومی کلان‌شهر تهران محاسبه می‌شود.

پیاده‌سازی رویکرد GVAR شامل دو مرحله اصلی است. در مرحله اول، الگوی خودتوضیح برداری با متغیرهای برون‌زا (VARX) ساخته می‌شود که در آن متغیرهای جامع به‌صورت متغیرهای برون‌زا در نظر گرفته می‌شوند. پس از ساخت هر الگوی خود توضیح برداری (VARX)، برآوردهای مربوط به هر یک از این الگوها با ایجاد پیوند بین این الگوها و به‌دست آوردن الگوی (GVAR) محاسبه می‌شود. الگوی پیشنهادی برای هر نوع وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری به‌صورت رابطه (۲) است:

$$x_{it} = a_{i0} + \Phi_{ip}\, x_{it-} \; + \Lambda_{i0}\, x_{it}^{*} + \Lambda_{iq}\, x_{it-q}^{*} + \; a_{i1} G_t + \; u_{it} \qquad (۲)$$

مطابق رابطه (۲)، تقاضای هر نوع حمل و نقل به وضعیت تقاضا در سایر وسایل در مقایسه با نوع وسیله مورد بررسی بستگی دارد که توسط ماتریس وزنی[4] محاسبه می‌شود.

سپس، با بلوک‌بندی تمام متغیرهای خارجی و داخلی خواهیم داشت:

$$z_{it} = \begin{pmatrix} x_{it} \\ x_{it}^{*} \end{pmatrix} \qquad (۳)$$

بنابراین، برای هر نوع وسیله حمل و نقل عمومی شهری i الگوی متناظر با آن وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری به‌صورت رابطه (۴) خواهد بود:

1. Foreign Variable
2. Weakly Exogenous
3. Share
4. Weight Matrix

$$A_i\, z_{it} = a_{i0} + B_{i.max\{p,q\}}\, z_{it} + a_{i1} G_t + u_{it} \quad (۴)$$

where $A_i = (I, \Lambda_{i0})$ and $B_{i.max\{p,q\}} = \left(\Phi_{ip}, \Lambda_{iq}\right)$

با جمع‌آوری تمام متغیرهای برون‌زای داخلی، بردار جامع به‌صورت معادله (۵) تعریف می‌شود:

$$x_t = \begin{pmatrix} x_{1t} \\ . \\ . \\ . \\ x_{14t} \end{pmatrix} \quad (۵)$$

در نهایت می‌توان به معادله (۶) دست یافت:

$$z_{it} = W x_{it},\ \forall_i = 1, \dots, 4 \quad (۶)$$

مطابق رابطه (۶)، ماتریس W نشان‌دهنده ماتریس وزنی خواهد بود. از ترکیب معادله (۶) با معادله (۲) الگوی با میانگین مشخص به‌صورت معادله (۷) به‌دست می‌آید:

$$A_i W x_{it} = a_{i0} + B_{i.max\{p,q\}} W x_{it-max\{q,p\}} + a_{i1} G_t + u_{it} \quad (۷)$$

با ترکیب معادله مربوط به هر وسیله حمل و نقل با معادله (۴) می‌توان به معادله نهایی برای الگوی $GVAR$ به‌صورت معادله (۸) دست یافت:

$$M x_{it} = a_{i0} + B_{i.max\{p,q\}} W x_{t-max\{t,p\}} + a_{i1} G_t + u_{it} \quad (۸)$$

where $M = (A_i W_i)$ and $H_i = (B_{i.max\{p,q\}} W_i)$

اگر ماتریس M غیرمنفرد باشد، فرم خلاصه شده الگوی GVAR به‌صورت معادله (۹) خواهد بود:

$$x_t = b_0 + F_{max\{p,q\}} x_{t-max\{p,q\}} + b_i G_t + v_{it} \quad (۹)$$

مطابق رابطه (۹)، $b_i = M^{-1} a_i$، $F_i = M^{-1} H_i$ و $v_t = M^{-1} u_t$ است. باید توجه داشت که ضرایب الگوی GVAR که در معادله (۹) آورده شده است، همان مفهوم ضرایب موجود در یک الگوی VAR استاندارد را خواهند داشت، با این تفاوت که الگوهای GVAR از تغییر ترتیب متغیرها تاثیر نمی‌پذیرند (پسران و همکاران، ۲۰۰۴).

برای ارزیابی یافته‌های الگوی GVAR یعنی ویژگی‌های دینامیکی آن، پیرو کار کوپ

و همکاران[1] (۱۹۹۶) و پسران و شین[2] (۱۹۹۸) از توابع ضربه واکنش تعمیم‌یافته[3] (GIRF) استفاده می‌شود. از نظر تحلیلی، اثر یک تکانه واحد با خطای استاندارد واحد بر روی هر متغیری در الگوی جامع بررسی می‌شود که هدف آن تعیین نحوه واکنش هر وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری در پاسخ به آن تکانه است. در این وضعیت عملکرد تابع ضربه واکنش تعمیم‌یافته به‌صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$I_{j(n)} = \sigma_{jj}^{-\frac{1}{2}} + B_n \sum e_j \, \forall_n = 1\ 2\ \ldots \qquad (۱۰)$$

در این رابطه $I_{j(n)}$ تابع ضربه واکنش (لحظه‌ای) برای n دوره بعد از وارد شدن یک تکانه واحد با خطای استاندارد مثبت به سیستم است. مطابق رابطه (۱۰)، σ_{jj} نشان‌دهنده سطر j ام ستون j ام از ماتریس واریانس-کوواریانس مربوط به ماتریس تجزیه کولکسی[4] برای عبارات خطا است. فرض می‌شود که عبارات خطا به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند. حرف B نشان‌دهنده ماتریس ضرایب است که معکوس آن نشان‌دهنده الگوی VAR به عنوان هم‌ارزی برای یک فرآیند MA است. در این رابطه e_j بردار ستونی برای یک ماتریس واحد را نشان می‌دهد (کوپ و همکاران ۱۹۹۶؛ پسران و شین، ۱۹۹۸).

در نهایت، می‌توان به معادله (۱۱) برای بررسی تکانه‌های ایجاد شده در تقاضای هر یک از وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران دست یافت:

$$(\Delta D_{i.t}) = a_{i,0} + \Phi_{ip}(\Delta D_{i.t-q}) + \Lambda_{i0}\,(\Delta D^*_{i.t}) + \Lambda_{iq}\,(\Delta D^*_{i.t-q}) \qquad (۱۱)$$
$$+A_i \begin{pmatrix} \Delta GDP_t \\ \Delta UN_t \\ \Delta FUEL_t \\ \Delta p_{i,t} \end{pmatrix} + ECM + u_i$$

مطابق رابطه (۱۱)، Δ عملگر تفاضل مرتبه اول، $i = \{$ مترو، اتوبوس عادی و اتوبوس

1. Koop
2. Pesaran andShin
3. Generalized Impulse Response Functions
4. Cholesky

تندرو}، a_{i0} برداری از مقادیر ثابت عرض از مبدا، Φ_{ip} ماتریس چندجمله‌ای وقفه مربوط به ضرایب متغیرهای درون‌زا با مقدار $q = 2$ است. Λ_{i0} نشان‌دهنده برداری از ضرایب متغیرهای خارجی، Λ_{iq} ماتریس ضرایب چند جمله‌ای وقفه برای متغیرهای خارجی، A_i برداری از ضرایب متغیرهای خارجی خواهد بود. همچنین ECM عبارت مربوط به مکانیسم تصحیح خطای برآورد شده را نشان می‌دهد که در آن u_i بیانگر تکانه‌های منحصربه‌فردی با میانگین خاص و ناهمبسته به‌صورت سریالی است که فرض می‌شود تکانه‌هایی با میانگین صفر و ماتریس واریانس – کواریانس $\sum i$ خواهد بود که در آن $u_{it} \sim i.i.d(0, \sigma^2)$ است و می‌توان نوشت:

$$x_{i,t} = (\Delta D_{i,t})$$
$$x^*_{i,t} = (\Delta D^*_{i,t-q})$$
$$G^T_t = (\Delta GDP_t, \Delta UN_t, \Delta FUEL_t, \Delta p_{i,t}) \quad (۱۲)$$

۳-۳. داده‌های پژوهش

داده‌های این پژوهش از نوع داده‌های ثانویه (پس از وقوع) بوده که از منابع اطلاعاتی و آماری مانند آمارنامه شهر تهران، سازمان معاونت حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی جمع‌آوری و تحلیل شده است. لازم به ذکر است که برآورد روش GVAR و تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شده است.

۴. نتایج و بحث

برای بررسی مانایی، نوعی آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته با وزن متقارن[1](WS) به‌کار گرفته شده است (پارک و فولر[2]، ۱۹۹۵). هر چند محدودیتی برای به‌کارگیری متغیرهای سری زمانی(I(0 و (I(1 در چارچوب الگوی GVAR وجود ندارد؛ اما با بررسی

1. Weighted Symmetric estimation of ADF (WS)
2. Park and Fuller

رفتار متغیرها در طول زمان و استفاده از آزمون‌های مانایی، اگر متغیرها I(1) باشند، می‌توان روابط بلندمدت را از کوتاه‌مدت متمایز کرد. در این صورت با استفاده از آزمون‌های هم‌جمعی، روابط هم‌جمعی به عنوان روابط بلندمدت در نظر گرفته می‌شوند. مطابق نتایج آزمون‌های ریشه واحد جدول (۲) و جدول (۳)، همه متغیرهای داخلی و خارجی در سطح نامانا هستند و تفاضل مرتبه اول این متغیرها مانا شده است؛ بنابراین همه متغیرهای الگو شامل تولید ناخالص داخلی سرانه، نرخ بیکاری، قیمت بنزین، کرایه مترو، کرایه اتوبوس عادی و کرایه اتوبوس تندرو، هم‌انباشته از نوع I(1) هستند.

جدول (۲). آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته با وزن متقارن برای متغیرهای داخلی

	مقدار بحرانی	مترو	اتوبوس عادی	اتوبوس تندرو
در سطح	-۲/۵۵	-۰/۴۰۸	۰/۷۷۷	-۰/۴۵۱
تفاضل مرتبه اول	-۲/۵۵	-۳/۱۹۷	-۵/۴۰۸	-۵/۲۰۴

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۳). آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته با وزن متقارن برای متغیرهای جامع

	مقدار بحرانی	تولید ناخالص داخلی سرانه (درآمد)	نرخ بیکاری	قیمت بنزین	نرخ کرایه مترو	نرخ کرایه اتوبوس عادی	نرخ کرایه اتوبوس تندرو
در سطح	-۲/۵۵	۰/۳۹۱	-۲/۱۷۹	-۰/۲۲۶	۱/۱۵۹	۰/۵۷۵۶	۱/۱۲۷
تفاضل مرتبه اول	-۲/۵۵	-۴/۹۲	-۸/۴۵۸	-۸/۶۶۰	-۹/۵۵۳	-۹/۰۶۵	-۹/۵۳۴

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق نتایج به‌دست آمده از آزمون ریشه واحد و مانا شدن متغیرها، می‌توان روابط هم‌جمعی استاندارد بین متغیرها را برآورد کرد. برای برآورد بردارهای همجمعی ابتدا لازم

است تعداد وقفه یا مرتبه[1] الگوهای VARX*(p_i,q_i) برای هر نوع وسیله حمل و نقل عمومی تعیین شود. در این مطالعه تعداد وقفه‌های متغیرهای داخلی (p_i) و خارجی (q_i) در هر یک از الگوهای VARX* بر اساس معیار شوارتز بیزین[2] تعیین می‌شود. برای بررسی روابط بلندمدت باید وجود بردارهای هم‌جمعی و تعداد آن‌ها در الگو تعیین شود. برای تعیین تعداد بردارهای هم‌جمعی در الگوهای VARX* از آزمون یوهانسن استفاده شده است. بر اساس نتایج آماره آزمون اثر یا تریس[3] و آماره آزمون حداکثر درستنمایی تعداد بردارهای هم‌جمعی مشخص می‌شود. تعداد بردارها در جدول (۴) آورده شده است. مطابق جدول (۴)، ستون p تعداد وقفه بهینه متغیرهای داخلی، ستون q تعداد وقفه بهینه متغیرهای خارجی و ستون r تعداد بردارهای هم‌جمعی هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی است.

جدول (۴). تعداد وقفه بهینه و بردار هم‌جمعی

VARX	P	Q	r
مترو	۲	۱	۱
اتوبوس عادی	۲	۱	۱
اتوبوس تندرو	۲	۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

یکی از فروض مهم در برآورد الگوی GVAR، برون‌زایی ضعیف متغیرهای خارجی و جامع نسبت به پارامترهای الگوی هر نوع وسیله حمل و نقل عمومی در بلندمدت است که توسط یوهانسن[4] (۱۹۹۲) و هاربو و همکاران[5] (۱۹۹۸) مطرح شده است. در این آزمون با برآورد الگوی تصحیح خطا برای هر وسیله، تغییرات متغیر خارجی بر عبارت تصحیح خطا و تغییرات با وقفه متغیر برآورد می‌شود. رابطه (۱۳) رابطه برآورد شده و

1. Order of VARX Model
2. Schwarz-Bayes Criterion
3. Trace
4. Johansen
5. Harbo

آزمون را نشان می‌دهد:

$$\Delta x_{it}^{*} = \mu_{it} + \sum_{j=1}^{n} \gamma_{ij,t} ECM_{i,t-1}^{j} + \sum_{k=1}^{p_i} \varphi_{ik,t} \Delta x_{i,t-k} + \sum_{m=1}^{q_i} \vartheta_{im,t} \Delta \tilde{x}_{i,t-m}^{*} + \varepsilon_{it} \quad (۱۳)$$

مطابق رابطه (۱۱)، $j = 1, 2, \ldots, r_i$ بوده و $\Delta \tilde{x}_{it}^{*} = (\Delta \acute{x}_{it}^{*}, \Delta d_t)$. برای آزمون برون‌زایی ضعیف متغیر x_{it}^{*}، فرض $\gamma_{ij,t} = 0$ با استفاده از آماره F بررسی می‌شود. در صورت معنادار نبودن ضریب عبارت تصحیح خطا متغیر خارجی $\gamma_{ij,t}$ متغیر x_{it}^{*} برون‌زای ضعیف فرض می‌شود. نتایج آزمون برون‌زای ضعیف در جدول (۵) نشان داده شده است. مطابق نتایج جدول (۵)، فرضیه برون‌زای ضعیف برای تمامی متغیرهای الگوی VARX برای تمام انواع وسایل حمل و نقل عمومی فرضیه صفر را رد نکرده و به عنوان متغیر برون‌زای ضعیف در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۵). آزمون برون‌زایی ضعیف متغیرهای خارجی در سطح معناداری ۵ درصد

وسایل حمل و نقل عمومی	مقدار بحرانی	تقاضای سایر وسایل حمل و نقل	تولید ناخالص داخلی سرانه (درآمد)	نرخ بیکاری	قیمت بنزین	نرخ کرایه مترو	نرخ کرایه اتوبوس عادی	نرخ کرایه اتوبوس تندرو
مترو	۳/۹۱۳	۰/۲۷۳	۲/۴۴۰	۳/۶۶۵	۰/۰۲۸	۰/۰۸۷	۰/۱۹۰	۰/۰۲۵
اتوبوس عادی	۳/۹۱۳	۰/۰۵۵	۱/۶۹۵	۰/۵۴۸	۱/۰۱۳	۰/۳۱۰	۱/۶۷۶	۰/۰۱۵
اتوبوس تندرو	۳/۹۱۳	۰/۶۷۸	۳/۲۹۵	۱/۶۶۸	۲/۶۳۰	۰/۰۲۸	۱/۱۹۱	۰/۳۶۰

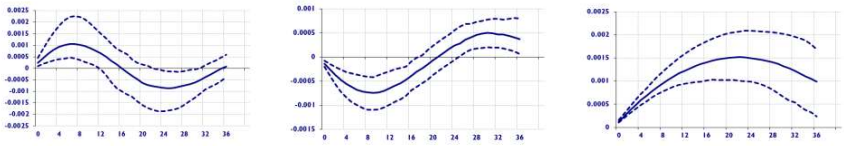
منبع: یافته‌های تحقیق

بعد از برآورد الگوی GVAR، می‌توان با استفاده از توابع ضربه - واکنش رفتار هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی را طی یک دوره ۳۶ ماهه بر اثر تکانه‌های مثبت

وارد شده در متغیرهای خارجی را بررسی کرد. در نمودارهای ضربه – واکنش، خط تیره بیانگر میانگین تغییرات متغیر در برابر تکانه و خطوط نقطه‌چین تغییرات در بازه اطمینان ۹۰ درصد را نشان می‌دهد.

الف) تأثیر تکانه مثبت افزایش تقاضای مترو در تقاضای سایر وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۱)، وقتی یک تکانه مثبت در تقاضای مترو وارد شود و تعداد مسافران مترو افزایش یابد، منجر به افزایش تقاضای مسافران اتوبوس تندرو و کاهش تقاضای مسافران اتوبوس عادی تا ماه شانزدهم خواهد شد که نشان می‌دهد با توجه به نقشه‌های مربوط به شبکه خطوط مترو و اتوبوس تندرو و پوشانندگی و دسترسی آن‌ها نسبت به هم، بخشی از مازاد تقاضای مترو به سمت اتوبوس تندرو سرریز و انتقال می‌یابد و افراد اتوبوس تندرو را جایگزین خواهند کرد. از ماه شانزدهم که تقاضای مترو روند کاهشی می‌یابد، تقاضا برای اتوبوس تندرو نیز روند کاهشی و تقاضا برای اتوبوس عادی افزایشی خواهد داشت.



تقاضای مترو　　تقاضای اتوبوس عادی　　تقاضای اتوبوس تندرو

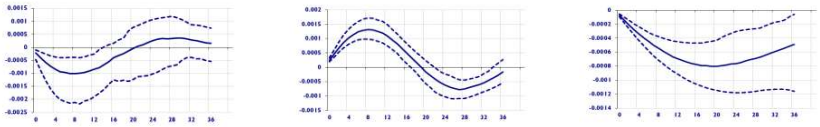
نمودار (۱). نتایج وقوع تکانه مثبت در تقاضای مترو

منبع: یافته‌های پژوهش

ب) تأثیر تکانه مثبت افزایش تقاضای اتوبوس عادی در تقاضای سایر وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۲)، وقتی یک تکانه مثبت در تقاضای مسافران اتوبوس عادی وارد شود و تعداد مسافران اتوبوس عادی افزایش یابد منجر به کاهش تقاضای مسافران

مترو و اتوبوس تندرو خواهد شد. در این حالت می‌توان گفت که اتوبوس عادی جایگزین مترو و اتوبوس تندرو می‌شود. همچنین زمانی که روند نمودار تقاضای مسافران اتوبوس عادی کاهشی می‌شود، روند تقاضای مسافران مترو و اتوبوس تندرو افزایشی شده و تقاضای اتوبوس عادی به سمت تقاضای مترو و اتوبوس تندرو سرریز و انتقال پیدا خواهد کرد.



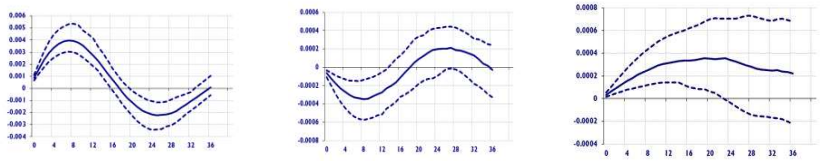
تقاضای مترو **تقاضای اتوبوس عادی** **تقاضای اتوبوس تندرو**

نمودار (۲). نتایج وقوع تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس عادی

منبع: یافته‌های پژوهش

ج) تأثیر تکانه مثبت افزایش تقاضای اتوبوس تندرو در تقاضای سایر وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۳)، وقتی یک تکانه مثبت در تقاضای مسافران اتوبوس تندرو پدید می‌آید، این افزایش منجر به افزایش تقاضای مسافران مترو شده و بخشی از تقاضای اتوبوس تندرو به سمت مترو سرریز و انتقال خواهد یافت و تقاضای اتوبوس عادی نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه‌های مربوط به شبکه خطوط مترو و اتوبوس تندرو و پوشانندگی و دسترسی آن‌ها نسبت به هم، بخشی از مازاد تقاضای اتوبوس تندرو به سمت مترو انتقال یافته و افراد مترو را جایگزین اتوبوس تندرو می‌کنند.



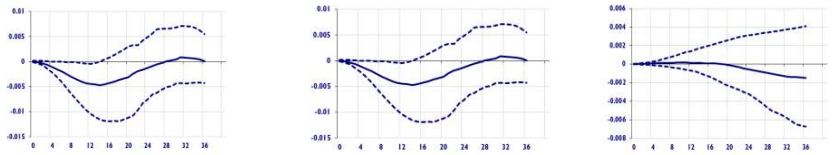
تقاضای مترو تقاضای اتوبوس عادی تقاضای اتوبوس تندرو

نمودار (۳). نتایج وقوع تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس تندرو

منبع: یافته‌های پژوهش

د) تأثیر تکانه مثبت افزایش نرخ کرایه مترو در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۴)، وقتی یک تکانه مثبت در نرخ کرایه مترو پدید می‌آید، تا ماه بیستم تقاضای مسافران مترو ثابت خواهد بود و نشان می‌دهد که بخشی از تقاضای مسافران برای مترو مستقل از نرخ کرایه مترو است و تقاضای اتوبوس عادی و تندرو روند کاهشی خواهد داشت. از ماه بیستم به بعد تقاضای مترو کاهش یافته و اتوبوس عادی و تندرو جایگزین مترو خواهد شد.



تقاضای مترو تقاضای اتوبوس عادی تقاضای اتوبوس تندرو

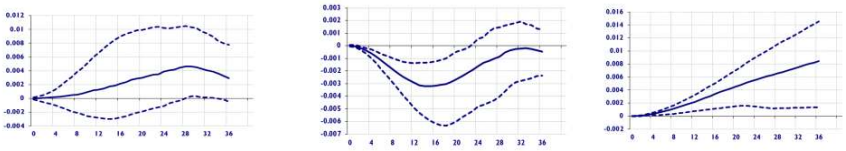
نمودار (۴). نتایج وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه مترو

منبع: یافته‌های پژوهش

ه) تأثیر تکانه مثبت افزایش نرخ کرایه اتوبوس عادی در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۵)، با وقوع یک تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس عادی،

تقاضای مسافران اتوبوس عادی کاهش یافته و این تقاضا به سمت مترو و اتوبوس تندرو انتقال پیدا خواهند کرد و سرریز می‌شود که منجر به افزایش تقاضای مسافران این دو نوع وسیله حمل و نقل عمومی خواهد شد. به بیان دیگر، با افزایش نرخ کرایه اتوبوس عادی، مسافران، مترو و اتوبوس تندرو را جایگزین اتوبوس عادی می‌کنند.



تقاضای مترو　　تقاضای اتوبوس عادی　　تقاضای اتوبوس تندرو

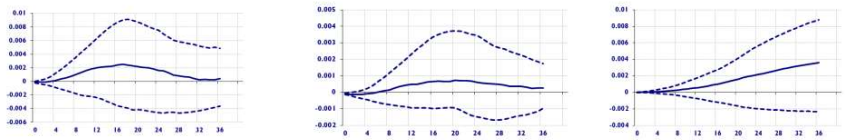
نمودار (۵). نتایج وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس عادی

منبع: یافته‌های پژوهش

و) تأثیر تکانه مثبت افزایش نرخ کرایه اتوبوس تندرو در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۶)، وقتی یک تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس تندرو پدید آید، از ماه هشتم به بعد تقاضای مترو روند افزایشی پیدا خواهد کرد و تقاضای اتوبوس عادی نیز کمی افزایش می‌یابد و بیان می‌کند که بخشی از تقاضای اتوبوس تندرو به سمت مترو و اتوبوس عادی سرریز و انتقال پیدا می‌کند و مترو و اتوبوس عادی جایگزین اتوبوس تندرو خواهند شد. اما بخشی از مسافران اتوبوس تندرو نیز با افزایش کرایه انتخاب خود را تغییر نخواهند داد و تقاضا از ماه چهارم روند افزایشی دارد. این امکان وجود دارد که مشتریان وفادار به یک سیستم حمل و نقل مجموعه‌ای از انگیزه‌های کاملا مجزا و متفاوت برای انتخاب یک نوع حمل و نقل داشته باشند (لی و همکاران، ۲۰۲۰).

تقاضای مترو تقاضای اتوبوس عادی تقاضای اتوبوس تندرو

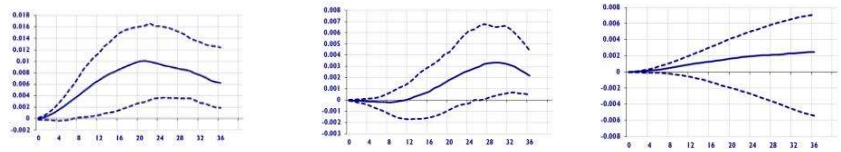


نمودار (۶). نتایج وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس تندرو

منبع: یافته‌های پژوهش

ز) تأثیر تکانه مثبت افزایش قیمت بنزین در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۷)، وقتی یک تکانه مثبت در قیمت بنزین وارد شود، منجر به افزایش تقاضای مسافران برای هر سه نوع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری خواهد شد. یکی از گزینه‌های پیش روی افراد برای کاهش مصرف بنزین، استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی است. به همین دلیل، تکانه مثبت قیمت بنزین می‌تواند تقاضا برای حمل و نقل عمومی را افزایش دهد (چائو و همکاران، ۲۰۱۵).



تقاضای مترو تقاضای اتوبوس عادی تقاضای اتوبوس تندرو

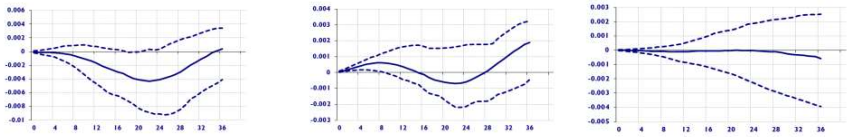
نمودار (۷). نتایج وقوع تکانه مثبت در قیمت بنزین

منبع: یافته‌های پژوهش

ح) تأثیر تکانه مثبت افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۸)، با وقوع یک تکانه مثبت در تولید ناخالص داخلی سرانه و

افزایش سطح درآمد، تقاضا برای مترو ثابت است و نشان می‌دهد که مترو یک کالای مستقل از درآمد برای مصرف‌کنندگان خواهد بود. افزایش تقاضای اتوبوس عادی در هشت ماه اول می‌تواند ناشی از انتقال تقاضای مترو و اتوبوس تندرو باشد که برای مسیرهای کوتاه خود دسترسی راحت‌تری به اتوبوس عادی خواهند داشت و به مرور با افزایش سطح درآمد تقاضای مسافران اتوبوس عادی نیز کاهش خواهد یافت. تقاضای اتوبوس تندرو نیز با افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه کاهش پیدا کرده و به سمت سایر وسایل حمل و نقل مانند خودروهای شخصی و ... سرریز می‌کند.



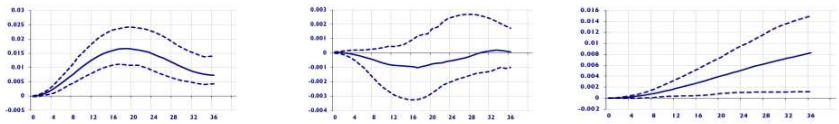
تقاضای مترو　　تقاضای اتوبوس عادی　　تقاضای اتوبوس تندرو

نمودار (۸). نتایج وقوع تکانه مثبت در تولید ناخالص داخلی سرانه (درآمد)

منبع: یافته‌های پژوهش

ط) تأثیر تکانه مثبت افزایش نرخ بیکاری در تقاضای انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران

مطابق نتایج نمودار (۹)، با وقوع یک تکانه مثبت در نرخ بیکاری، تقاضای مسافران برای مترو و اتوبوس تندرو افزایش و تقاضا برای اتوبوس عادی کاهش می‌یابد که می‌توان بیان کرد با توجه به مزیت‌های مترو و اتوبوس تندرو نسبت به اتوبوس عادی، تقاضای مسافران به سمت مترو و اتوبوس تندرو بیشتر انتقال خواهد یافت که مترو و اتوبوس تندرو جایگزین اتوبوس عادی خواهد شد. بسیاری از مطالعات بیان می‌کنند که نرخ بیکاری رابطه قوی با حمل و نقل عمومی دارد و افزایش نرخ بیکاری می‌تواند استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی را افزایش دهد (مایکلیدز و همکاران، ۲۰۱۵).



تقاضای مترو | تقاضای اتوبوس عادی | تقاضای اتوبوس تندرو

نمودار (۹). نتایج وقوع تکانه مثبت در نرخ بیکاری

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این مطالعه بررسی اثرات سرریز تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری در کلان‌شهر تهران طی دوره زمانی ماهانه ۱۳۹۸-۱۳۸۷ بوده است. تحلیل نتایج این مطالعه بعد از برآورد الگوی GVAR، با استفاده از توابع ضربه - واکنش رفتار هر یک از انواع وسایل حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران را طی یک دوره ۳۶ ماهه بر اثر تکانه‌های مثبت وارد شده در متغیرهای خارجی نشان داد که وقوع تکانه مثبت در تقاضای مترو، تقاضای اتوبوس تندرو را افزایش و تقاضای اتوبوس عادی را کاهش می‌دهد. همچنین وقوع تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس عادی، تقاضای مترو و اتوبوس تندرو را کاهش خواهد داد. از سوی دیگر، وقوع تکانه مثبت در تقاضای اتوبوس تندرو، به افزایش تقاضای مترو و کاهش تقاضای اتوبوس عادی می‌انجامد. وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه مترو، تقاضای اتوبوس عادی و تندرو را کاهش داده و وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس عادی، افزایش تقاضای مترو و اتوبوس تندرو را به‌دنبال دارد. با وقوع تکانه مثبت در نرخ کرایه اتوبوس تندرو تقاضای مترو افزایش و تقاضای اتوبوس عادی با شیب کم افزایش می‌یابد. با وقوع تکانه مثبت در قیمت بنزین، تقاضای هر سه نوع وسیله حمل و نقل عمومی درون‌شهری افزایش خواهد یافت. با وقوع تکانه مثبت در تولید ناخالص داخلی سرانه (درآمد)، تقاضای مترو ثابت، تقاضای اتوبوس عادی افزایش و تقاضای اتوبوس تندرو کاهش خواهد یافت. افزون بر این، با وقوع تکانه مثبت در نرخ

بیکاری، تقاضای مترو و اتوبوس تندرو افزایش و تقاضای اتوبوس عادی کاهش خواهد یافت.

نتایج این مطالعه می‌تواند پیامدهای مهمی برای سیاست‌گذاری در زمان وقوع تکانه‌ها در تقاضای حمل و نقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران داشته باشد. بر همین اساس، به سیاست‌گذاران پیشنهاد می‌شود تا با توجه به نتایج این پژوهش برای پیش‌بینی نحوه واکنش تقاضای حمل و نقل عمومی شهری نسبت به تکانه‌های داخلی و خارجی سیستم حمل و نقل، پیش‌بینی‌های لازم را برای ایجاد ظرفیت پاسخ‌گویی به تقاضای وسایل حمل و نقل عمومی برای مدیریت موج تقاضای انتقال‌یافته در سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری انجام دهند. افزون بر این، در زمان تعیین نرخ کرایه برای هر وسیله حمل و نقل عمومی، مقامات مربوطه باید وابستگی متقابل بین تقاضا و نرخ کرایه سایر وسایل حمل و نقل عمومی را در نظر بگیرند. همچنین، با توجه به تاثیرپذیری سیستم حمل و نقل عمومی درون‌شهری که می‌تواند به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از وضعیت بیکاری یا درآمد سرانه تقاضاکنندگان اثرپذیر باشد، تمهیدات و ظرفیت لازم برای پاسخ‌گویی به موج تقاضای ایجاد شده در هر یک از انواع حمل و نقل عمومی درون‌شهری از سوی برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران انجام شود.

تقدیر و تشکر:

این رساله با حمایت‌های مادی و معنوی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران انجام شده است. نویسندگان این مقاله نهایت سپاس و قدردانی خود را از آن مرکز به‌خاطر حمایت‌های بی‌دریغ و همکاری در انجام این پژوهش، ابراز می‌دارند.

منابع:

- Fujisaki, K. (2014). An empirical analysis of effects of gasoline price change on transportation behavior in Japan, with consideration of regional differences. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(3), 220-233.

- Ansari, A. & Ashnaei, H. (2016). Investigating of the economic and social impacts on public transport demand using dynamic systems modeling, second basic rail urban planning conference, Tehran (In Persian).
- Block-Schachter D. (2009). The myth of the single mode man: how the mobility pass better meets actual travel demand. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Bresson, G., Dargay, J., Madre, J.-L., Pirotte, A., (2004). Economic and structural determinants of the demand for public transport: an analysis on a panel of French urban areas using shrinkage estimators. *Transportation Research Part*, A 38, 269–285.
- Chao, M. C., Huang, W. H., & Jou, R. C. (2015). The asymmetric effects of gasoline prices on public transportation use in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *41*, 75-87.
- Chlond, B. (2012). Making people independent from the car-multimodality as a strategic concept to reduce CO2- emissions. In: Zachariadis, T. (ed.) *Cars and Carbon: Automobiles and European Climate Policy in a Global Context*, 269–293. Springer, New York.
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2011). Infinite-dimensional VARs and factor models. *Journal of Econometrics*, 163(1), 4-22.
- Cordera, R., Canales, C., dell'Olio, L., & Ibeas, A. (2015). Public transport demand elasticities during the recessionary phases of economic cycles. *Transport Policy*, *42*, 173-179.
- Crotte, A., Graham, D. J. & Anderson, R. J. (2009). A dynamic panel analysis of urban metro demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *45*(5), 787-794.
- Cugurullo, F., Acheampong, R. A., Gueriau, M., & Dusparic, I. (2020). The transition to autonomous cars, the redesign of cities and the future of urban sustainability. *Urban Geography*, 42, 1-27.
- Dargay, J. M., & Hanly, M. (2002). The demand for local bus services in England. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, *36*(1), 73-91.
- De Oña, J. (2021). Understanding the mediator role of satisfaction in public transport: A cross-country analysis. *Transport Policy*, 100, 129-149.
- Deputy of Transportation of Tehran Municipality (2020). Tehran public transport fleet on the verge of collapse, news date 16 December 2020, Iranian Students News Agency (ISNA), news code: 99092620133 (In Persian).
- Dezhpasand, F. & Khazaei, A. (2018). Estimation of income and price elasticities affecting the demand for gasoline in transportation sector. *Journal of Economics and Modelling*, 9(1), 117-142.
- Efthymiou, D., & Antoniou, C. (2017). Understanding the effects of economic crisis on public transport users' satisfaction and demand. *Transport Policy*, 53, 89-97.
- Firoozfar, K. & Keimanesh, M. (2020). Investigation of providing optimal

travel demand algorithm in public transport using neural network. Master Thesis. Civil Engineering - Road and Transportation. Payame Noor University of Hormozgan Province, Payame Noor International Kish Center (In Persian).
- Gogola, D.I.M., Sitanyiová,D.M.D., Černický, Ľ., & Veterník, M. (2018). New Demand Patterns for Public Transport due to demographic Change. 1(2), 248-267.
- Harbo, I., Johansen, S., Nielsen, B., & Rahbek, A. (1998). Asymptotic inference on cointegrating rank in partial systems. *Journal of business & economic statistics*, *16*(4), 388-399.
- Hatami, A. (2020). Prioritize transportation demand management (TDM) policies in Tehran metropolis using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Road Scientific Quarterly*, 28(104), 35-50 (In Persian).
- Hörcher, D., & Tirachini, A. (2021). A review of public transport economics. *Economics of Transportation*, 25, 100196.
- Iran Energy Balance (2015). Deputy Minister of Electricity and Energy, Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy (In Persian).
- Jansson, K., Andreasson, I., & Kottenhoff, K. (2016). Public Transport in the era of ITS: Forms of Public Transport. In *Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems* (pp. 29-83). Springer, Cham.
- Jin, Z., Schmöcker, J. D., & Maadi, S. (2019). On the interaction between public transport demand, service quality and fare for social welfare optimisation. *Research in Transportation Economics*, 76, 100732.
- Johansen, S. (1992). Testing weak exogeneity and the order of cointegration in UK money demand data. *Journal of Policy modeling*, *14*(3), 313-334.
- Konečný, V., & Brídziková, M. (2020). The Impact of the State of Emergency on the Supply of Services and Passenger Demand for Public Transport. *LOGI–Scientific Journal on Transport and Logistics*, 11(2), 56-67.
- Konstantakis, K. N., & Michaelides, P. G. (2014). Transmission of the debt crisis: From EU15 to USA or vice versa? A GVAR approach. *Journal of Economics and Business*, 76, 115-132.
- Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of econometrics*, 74(1), 119-147.
- Li, H., Ma, X., Zhang, X., Li, X., & Xu, W. (2020). Measuring the Spatial Spillover Effects of Multimodel Transit System in Beijing: A Structural Spatial Vector Autoregressive Approach. *Journal of Advanced Transportation*, 1, 1-10.
- Litman, T. (2004). Transit price elasticities and cross-elasticities. *Journal of Public Transportation*, *7*(2), 3.
- Mattson, J.W. (2008). *Effects of rising gas prices on bus ridership for small*

urban and rural transit systems. Fargo: Upper Great Plains Transportation Institute, North Dakota State University.
- Michaelides, P. G., Konstantakis, K. N., Milioti, C., & Karlaftis, M. G. (2015). Modelling spillover effects of public transportation means: An intra-modal GVAR approach for Athens. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 82, 1-18.
- Noroozian Maleki, P., Izad Bakhsh, H., Ghanir Tehrani, N. & Ardestani, Z. (2018). Predicting the demand for sustainable urban transportation and analyzing the policies governing it through the dynamics of systems based on model simulation: A case study of Tehran. Master Thesis, Department of Industrial Engineering, Kharazmi University, Faculty of Engineering (In Persian).
- Orturzar, J., de, D., Willumsen, L.G. (2006). In: Modelling Transport 3th edition John Wiley and Sons 497p.
- Park, H.J., & Fuller, W.A. (1995). Alternative estimators and unit root tests for the autoregressive process. *Journal of Time Series Analysis*, 16(4), 415–429.
- Paulley, N., Balcombe, R.,Mackett, R.,Titheridge, H.,Preston, J.,Wardman, M.,Shires, J. & White, P. (2006). The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, 13(4), 295-306.
- Performance report of Tehran Transport and Traffic Deputy (2020) (In Persian).
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics letters*, 58(1), 17-29.
- Pesaran, M. H., & Smith, R. (2006). Macroeconometric modelling with a global perspective. *The Manchester School*, 74, 24-49.
- Pesaran, M.H., Schuermann, T., & Weiner, S.M. (2004). Modelling regional interdependencies using a global error-correcting macro econometric model. *Journal of Business & Economic Statatistics*. Stat. 22, 129–162.
- Plakandaras, V., Papadimitriou, T., & Gogas, P. (2019). Forecasting transportation demand for the US market. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126, 195-214.
- Poorahmad, A. Omranzadeh, B. & Mahdi, A. (2016). Evaluation and Prioritization of Various High-Speed Public Transportation Systems in the Metropolis of Tehran Using Efficient Models. *Journal of Geography and Regional Development*, 12(23), 86-65 (In Persian).
- Rietveld, P., Bruinsma, F., & van Vuuren, D.J. (2001). Coping with unreliability in public transport chains: a case study for Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35, 539–559.
- Statistics Center of Iran (2018). Statistical data and information, statistical yearbook system, labor force (In Persian).

- Statistics of Tehran Megacity (2019). Statistical yearbook of Tehran municipality, Compiled by Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization (In Persian).
- Sungurtekin H.B. (2020). An Analysis of International Shock Transmission: A Multi-Level Factor Augmented Time-Varying GVAR Approach. Available at SSRN 3398285.
- Tang, L., & Thakuriah, P. V. (2012). Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *22*, 146-161.
- Toro-González, D., Cantillo, V., & Cantillo-García, V. (2020). Factors influencing demand for public transport in Colombia. *Research in Transportation Business & Management*, 100514.
- www.cbi.ir

Spillover Effects of Urban Public Transport Vehicles in Tehran Megacity: Global Vector Autoregressive Approach

Mahboubeh Shojaeian*
Masoud Khodapanah (Ph.D)**
Mansour Zarra-Nezhad (Ph.D)***

Received: 25/12/2021 Accepted: 02/03/2022

Abstract:
Urban public transport demand response to various internal and external shocks is one of the most important issues in urban public transport policymaking. The purpose of this study is to investigate the spillover effects of demand for urban public transportation in Tehran megacity using global vector autoregressive approach during 2008-2019. The results of the impulse response function indicates that the occurrence of a positive shock in metro demand increases the demand for BRT and decreases the demand for bus, and a positive shock in bus demand declines the demand for metro as well as BRT, and a positive shock in BRT demand leads to the increase of metro demand and reduction of demand for common bus. Besides, a positive shock in metro fares decreases the demand for both BRT and common bus while a positive shock in bus fares increases the demand for metro and BRT. When a positive shock occurs in BRT fares the demand for metro increases while the demand for bus and BRT increases gradually. Also, a positive shock in gasoline price leads to the increase of demand for all three types of public transport modes.

Keywords: S*pillover Effects, Public Transportation Demand, Tehran Megacity, Global Vector Autoregressive Approach.*
JEL Classification: *R4, R410, R42.*

* Ph.D Candidate in Urban and Regional Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran,
Email: m-shojaeian@stu.scu.ac.ir
** Associate Professor of Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding Author),
Email: Khodapanah@scu.ac.ir
*** Professor of Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: m.zarran@scu.ac.ir