



Evaluating the impact of using city trains and buses on air quality

(Case study: Mashhad)

Narvan Ghodrati¹, Taghi Ebrahimi Salary^{2*}, Mahdi Behname³, Ebrahim Ghaed⁴

¹ MSc Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Assistant Professor Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Ph.D. Student of Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract: The issue of scarcity and reduction of energy resources in the transportation sector on the one hand, and the air pollution crisis on the other hand, are the most important problems that have plagued the metropolises today. One of the ways to control energy consumption and air pollution in big cities like Mashhad is to develop public transportation, including buses, city trains, and taxis. This research is a descriptive-analytical study, the purpose of which is to compare the impact of the use of city trains and buses in the Mashhad metropolis on air quality in 2010-2019 using the mixed data sampling (MIDAS) regression models. The results indicate that using the city trains reduces the level of pollutants and improves the air quality index. Also, there is an inverse and significant relationship between the energy price variable and the air quality index, and it has been emphasized that the role of the bus is stronger than that of the city train on the air quality index.

Key Words: City Train, Bus, Air Quality, Mixed Data Sampling (MIDAS)

ارزیابی تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا

(مطالعه موردی: مشهد)

نارون قدرتی^۱، تقی ابراهیمی سالاری^{۲*}، مهدی بهنامه^۳، ابراهیم قاهد^۴

۱- کارشناسی ارشد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶

چکیده

مسئله کمیابی و کاهش منابع انرژی در بخش حمل و نقل و نیز بحران آلودگی هوا از مهم ترین معضلاتی است که امروزه گریبان گیر کلان شهرها شده است. یکی از روش های کنترل مصرف انرژی و کنترل آلودگی هوا در کلان شهرهایی همچون مشهد، روی آوردن به توسعه حمل و نقل عمومی مسافر اعم از اتوبوس، قطار شهری و تاکسی است. این پژوهش یک مطالعه توصیفی - تحلیلی است که هدف آن مقایسه تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس در کلان شهر مشهد بر کیفیت هوا در سال های ۱۳۹۸-۱۳۸۹ با استفاده از الگوی داده های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS) است. نتایج نشان می دهند استفاده از قطار شهری باعث کاهش سطح آلاینده ها و بهبود شاخص کیفیت هوا می شود. همچنین بین متغیر قیمت انرژی و شاخص کیفیت هوا ارتباط معکوس و معناداری وجود دارد و بر پرننگ تر بودن نقش اتوبوس نسبت به قطار شهری بر شاخص کیفیت هوا تأکید شده است.

واژه های کلیدی: قطار شهری، اتوبوس، کیفیت هوا، الگوی تواترهای متفاوت (MIDAS)

* Corresponding Author: Taghi Ebrahimi Salary

E-mail address: ghodratinarvan@gmail.com, ebrahimi@um.ac.ir, m.behname@um.ac.ir, ebrahimghaed@mail.um.ac.ir



2588-4867/ © 2022 University of Isfahan

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

مقدمه

امروزه آلودگی هوا ناشی از زندگی مدرن و فعالیت‌های انسانی یکی از مشکلات اصلی کلان‌شهرها است که می‌تواند اثرات زیست‌محیطی چشمگیری را به دنبال داشته باشد. با توجه به اینکه نقش حمل‌ونقل عمومی در افزایش آلودگی هوا چشمگیر است، به‌کارگیری وسایل حمل‌ونقل عمومی به‌جای خودروهای شخصی و تک‌سرنشین، به‌عنوان یک گزینه برتر، برای کاهش و کنترل آلودگی هوا در کلان‌شهرها ضروری است (Chin et al., 2019: 2). یکی از نتایج توسعه سیستم حمل‌ونقل، اثرات نامطلوب زیست‌محیطی آن است؛ از جمله بروز مشکلات ترافیکی و افزایش استفاده از وسایل نقلیه شخصی، احتراق سوخت‌های فسیلی و در نتیجه، انتشار بیشتر آلاینده‌های هوا که بر زندگی انسان در سنین مختلف تأثیر می‌گذارد (Angelevska et al., 2021: 255). طبق بررسی‌های آژانس بین‌المللی انرژی، حوزه حمل‌ونقل تا سال ۲۰۲۰، بیشترین مصرف انرژی را در میان سایر بخش‌ها خواهد داشت و عامل اصلی آلودگی هوا و آلودگی صوتی است (داودی و ناجی میدانی، ۱۳۹۴: ۱۱۹).

در ایران نیز میزان انتشار آلاینده‌های هوا، در شهرهای پرجمعیت به حد خطرناکی رسیده است؛ به‌طوری‌که شهر مشهد به‌عنوان دومین کلان‌شهر کشور با ۳/۳ میلیون نفر جمعیت براساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۸ و افزایش روزافزون سفرهای درون شهری مسافری به ۶/۶۵۷ میلیون سفر در سال و نیز به‌دلیل قرارگرفتن بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد که به محدودیت کربدور هوایی منجر شده است، حدود ۳۰۰ روز وارونگی حرارتی در طول سال داشته و آلوده‌ترین شهر کشور در برخی از روزهای سال است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۸ و شانزدهمین آمارنامه حمل‌ونقل شهر مشهد، ۱۳۹۹). همچنین مشهد در سال ۱۳۹۷ به‌عنوان آلوده‌ترین کلان‌شهر کشور شناخته شد؛ تا حدی که میزان آلودگی هوای این کلان‌شهر از پایتخت نیز فراتر رفت. بیشترین منابع آلودگی هوای شهر مشهد ناشی از منابع ساکن و متحرک است؛ به‌طوری‌که ۶۴ درصد از بخش آلودگی هوای این شهر مربوط به منابع متحرک و ۳۶ درصد مربوط به منابع ساکن است. خودروهای شخصی ۳۳ درصد، کامیون‌ها و موتورهای دیزلی ۱۳ درصد، موتورسیکلت‌ها ۵ درصد، وانت‌بارها ۶/۶ درصد، کوره‌های آجرپزی و ریخته‌گری و سیمان ۶ درصد، حمل‌ونقل ریلی و هوایی ۳ درصد و نیروگاه‌ها نیز ۱۹ درصد در آلودگی هوا نقش دارند (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۸)؛ بنابراین، هرگونه سیاستی برای کاهش آلودگی زیست‌محیطی در این شهر ازجمله جایگزینی حمل‌ونقل عمومی به‌جای خودروهای شخصی می‌تواند به تحقق

محیط زیست سالم، هوای پاک و دستیابی به توسعه پایدار کمک می‌کند (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۲). حمل‌ونقل یکی از بخش‌های عمده مصرف‌کننده انرژی است که مصرف غیرمتعارفی دارد؛ به‌گونه‌ای که شاخص مصرف آن با استانداردهای جهانی فاصله زیادی دارد (طبق پیش‌بینی‌ها، ۶۳ درصد از افزایش تقاضای انرژی تا سال ۲۰۳۰ متعلق به بخش حمل‌ونقل خواهد بود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۹)). از آنجا که بخش حمل‌ونقل به‌ویژه حمل‌ونقل زمینی، اهمیت ویژه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی کشورها دارد، بررسی علل و عوامل مؤثر بر عملکرد این بخش، نقش مهمی در کسب اطلاعات موثق برای تدوین راهبردهای اصلاحی و برنامه‌ریزی برای بهبود محیط زیست و هوای پاک دارد؛ بنابراین، ارزیابی کمی و کیفی مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل و بررسی تغییرات آن، با توجه به کمبود روزافزون منابع انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی و نیز تشدید پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از افزایش مصرف این بخش طی دهه‌های اخیر، گویای اهمیت و ضرورت تحقیق در این زمینه است.

در مشهد مطالعاتی در زمینه رضایت شهروندان از حمل‌ونقل شهری و ریلی انجام شد که این مطالعات نشان داد قطار شهری بالاترین نسبت را در رضایت شهروندان دارد. همچنین نسبت رضایت شهروندان از تاکسی، خودروی شخصی و اتوبوس تا حدودی یکسان است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مبهوت و فعال، ۱۳۹۲). در این راستا اقدامات زیادی برای رفع مشکلات ترافیکی مشهد انجام شده است که از آن جمله می‌توان به احداث خط یک قطار شهری به طول ۲۴ کیلومتر، بهره‌برداری از ۱۴/۵ کیلومتر از خط دو قطار شهری و ۴/۷ کیلومتر ادامه خط دو، پیشرفت حفاری بیش از ۵۰ درصدی خط سه به طول ۲۸/۵ کیلومتر و آغاز تجهیز کارگاه خط چهار به طول ۲۱/۷ کیلومتر اشاره کرد (شانزدهمین آمارنامه حمل‌ونقل مشهد، ۱۳۹۹). با وجود همه این توسعه‌ها هنوز خطوط قطار شهری در مشهد بسیار محدود است و همچنان سایر ناوگان‌های حمل‌ونقل درون شهری، اثرات فزاینده‌ای بر آلودگی محیط زیست دارند (نورالهی و برکپور، ۱۳۹۳).

بنابراین، بر مبنای مزیت‌های ذکرشده، این مطالعه در نظر دارد با استفاده از الگوی داده‌های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS) ^۱، در طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۸ تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا در شهر مشهد را بررسی کند و در واقع به دنبال پاسخ به این سؤال است که «تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر میزان آلودگی هوای کلان‌شهر مشهد چگونه است». در این ارتباط، هدف از انجام مطالعه حاضر آزمون تجربی، بررسی کاهش آلودگی هوا از طریق استفاده از قطار شهری در

محیط زیست، طی مسیر رشد اقتصادی است؛ زیرا افزایش درآمد باعث افزایش تقاضا برای کیفیت محیط زیست می‌شود (پژویان و مراد حاصل، ۱۳۸۶: ۱۴۴). آخرین رویکرد که فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس^{۱۱} نامیده می‌شود، رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطی را براساس مراحل توسعه بیان می‌کند و آن را به صورت U معکوس نشان می‌دهد. براساس این فرضیه، رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطی اعم از مثبت و منفی در طول مسیر توسعه یک کشور ثابت نیست؛ بنابراین، رشد اقتصادی ممکن است در نهایت به کاهش منابع طبیعی و تخریب محیط زیست منجر شود (Birdsall and Wheeler, 1993: 140؛ شهاب و نصرآبادی، ۱۳۹۳: ۱۴۲).

از عوامل مهمی که می‌تواند محیط شهر و شاخص‌های کیفی آن را تغییر دهد، حمل‌ونقل شهری است. ارائه خدمات حمل‌ونقل ارزان و مقرون‌به‌صرفه و در عین حال سازگار با محیط زیست به افزایش رضایت استفاده‌کنندگان از این خدمات منجر می‌شود (Cárcel-Carrasco et al., 2021: 184). با توجه به اینکه مصرف سوخت در حوزه حمل‌ونقل برای تداوم خدمات حمل‌ونقل ارزان قیمت ضروری است، یکی از راهکارهای اساسی کاهش مصرف انرژی، حرکت به سمت جایگزینی حمل‌ونقل اتوبوس شهری با حمل‌ونقل ریلی شهری است (Ma et al., 2020: 2). توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی مستلزم تعیین دقیق تأثیر آنها بر کاهش مصرف انرژی و تولید آلاینده‌های هوا است (Peng et al., 2018: 695). نتایج مطالعات در هند، اندونزی، برزیل و چین در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۷۰ نشان می‌دهند مصرف انرژی در حوزه حمل‌ونقل به‌طور عمده به انتشار دی‌اکسیدکربن منجر می‌شود (Alam et al., 2016: 468) و مصرف انرژی عامل اصلی انتشار آلاینده‌های هوا و کربن است (Lun et al., 2014: 795). همچنین باتوجه به همبستگی بین مصرف انرژی و آلودگی هوا در پاکستان بین سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۷۵ نشان داده شده است که بین مصرف انرژی و آلودگی هوا و افزایش آلاینده‌ها همبستگی مثبت معنادار و رابطه علی یک‌طرفه در کوتاه‌مدت و بلندمدت وجود دارد (Khan et al., 2016: 77). با وجود رابطه دو سویه بین رشد اقتصادی و حمل‌ونقل، بین حمل‌ونقل و تخریب محیط زیست رابطه یک‌طرفه وجود دارد (Saidi and hamami, 2017: 418)؛ بنابراین، به‌منظور بهبود کیفیت هوا، کنترل مصرف انرژی برای حل مشکلات آلودگی محیط زیست مهم است (Wang, 2005: 7). علاوه بر این، افزایش تقاضای انرژی به استفاده از سهم بیشتری از منابع انرژی فسیلی در ترکیب انرژی و در نهایت افزایش انتشار آلاینده‌ها منجر می‌شود. این درحالی است که تأثیر منابع انرژی

مقایسه با اتوبوس است. در این راستا فرضیه‌های تحقیق حاضر عبارت‌اند از ۱- استفاده از قطار شهری باعث کاهش آلاینده‌ها می‌شود. ۲- قطار شهری بیشتر از اتوبوس بر بهبود شاخص کیفیت هوا تأثیر می‌گذارد. ۳- افزایش قیمت انرژی میزان آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین، مقایسه اینکه کدام‌یک از وسایل حمل‌ونقل عمومی (قطار شهری و اتوبوس)، اثر بیشتری بر بهبود کیفیت هوا در شهر مشهد دارد، دغدغه اصلی این مطالعه مطرح شده است. سازماندهی مطالعه حاضر به این شکل است که بخش بعدی به بررسی ادبیات موضوع و مطالعات تجربی انجام‌شده در این زمینه اختصاص داده شده است. در بخش سوم، منابع و متغیرهای استفاده‌شده و روش‌شناسی تخمین، بخش چهارم یافته‌های تجربی و تفسیر نتایج و در نهایت در بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

ادبیات موضوع

یکی از معیارهای اصلی سنجش توسعه جوامع امروزی جهان، داشتن شبکه حمل‌ونقل پویا، هماهنگ و سازمان‌یافته است. آدم اسمیت معتقد است هرچه جابه‌جایی توسعه یابد، هزینه‌های حمل‌ونقل کمتر و تقسیم کار در گستره جغرافیایی بیشتر می‌شود. بهای تمام‌شده کالاها و خدمات زمانی کاهش می‌یابد که تقسیم جغرافیایی کار افزایش یابد و در این صورت کارایی فزاینده خواهد بود (ساسان، ۱۳۹۶: ۲۸). اهمیت شبکه حمل‌ونقل در ساختار اجتماعی، اقتصادی و حتی سیاسی و نظامی جوامع امروزی به حدی است که کارشناسان آن را زیربنای توسعه پایدار جوامع می‌دانند. در این راستا و براساس تجربه کشورهای توسعه‌یافته، توسعه حمل‌ونقل به‌طور مستمر در سطح اقتصاد کلان به افزایش رشد و توسعه اقتصادی منجر می‌شود (Saidi et al., 2018: 84).

نظریه‌های مختلفی درباره کیفیت محیط زیست و ارتباط آن با رشد اقتصادی وجود دارند (Hakimi and Hamdi, 2016: 49؛ Khan et al., 2021؛ Özokcu and Özdemir, 2017: 640). این واقعیت که تخریب محیط زیست برای دستیابی به رشد اقتصادی بالا ضروری است، یکی از بحث‌برانگیزترین موضوعات اقتصادی است که در آن سه رویکرد کلی وجود دارد. رویکرد اول، رابطه معکوس بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست را بررسی می‌کند. براساس این رویکرد، سطوح بالاتر فعالیت اقتصادی به انرژی بیشتر نیازمند است و در نتیجه ضایعات و آلاینده‌های بیشتری تولید می‌کند. رویکرد دوم، رابطه مذکور را مستقیم برآورد می‌کند و رشد اقتصادی را عاملی در حفظ کیفیت محیط زیست می‌داند. همچنین بیان می‌کند کوتاه‌ترین راه برای بهبود کیفیت

مد حمل و نقل عمومی با ۰/۷۷۸ نسبت به مد حمل و نقل شخصی ۰/۲۲۲ شناخته شده است.

نصرالهی و پوش دوزباشی (۱۳۹۹)، آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری شهرستان یزد را برآورد کردند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند وسایل نقلیه عمومی در شهرستان یزد باعث انتشار سالانه ۳۰۶ تن ذرات معلق، ۷۳۰ تن هیدروکربور، ۱۴۲۴ تن مونواکسیدکربن، ۶۸۹۳۴ تن دی‌اکسیدکربن، ۳۸۹ تن دی‌اکسیدگوگرد، ۴ تن تری‌اکسیدگوگرد و ۶۶۶ تن مونواکسیدنیترژن می‌شود. همچنین، گازوئیل عمده‌ترین سوخت مصرفی وسایل حمل و نقل عمومی است که آلاینده‌های چشمگیری را به دنبال دارد.

حق‌شناس و همکاران (۱۳۹۸)، تأثیر حمل و نقل بر آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند سه بخش اصلی شامل صنعت و حمل و نقل عمومی و خصوصی، مصارف خانگی و ریزگردها از عوامل ایجاد معضلات آلودگی هوا هستند که برای حل مشکل آلودگی باید فرهنگ‌سازی بین مسئولان و فعالان صنعت تا شهروندان انجام شود.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۶)، مطالعه تطبیقی ارزیابی اثرات حمل و نقل بر آلودگی شهر تهران، مطالعه موردی منطقه ۱۸ و ۵ تهران را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند در منطقه ۱۸ متغیرهای مطالعه‌شده، آلاینده CO ایستگاه شادآباد را به میزان ۰/۱۶ تبیین کردند. همچنین در منطقه ۵، مقدار بیشینه غلظت آلاینده CO در طول روز در ساعت ۸ صبح است و پایین‌ترین مقدار ثبتی در ساعت ۱۵ در طول دوره ۹ ساله آماری است.

قراگوزلو و همکاران (۱۳۹۱)، تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا به تفکیک مناطق شهرداری کلان‌شهر تهران (مونوکسیدکربن) با بهره‌گیری از GIS انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند مناطق مختلف شهر تهران از لحاظ شاخص‌های حمل و نقلی استفاده‌شده در این پژوهش دارای شرایط متفاوت و غیرهمگنی هستند و بنابراین، در چارچوب فرضیه تحقیق بالطبع مناطق مختلف شهر تهران نقش‌های متفاوت در آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهری دارند.

با بررسی مطالعات انجام‌شده، می‌توان نتیجه گرفت با وجود اهمیت سیستم حمل و نقل در زندگی روزمره شهروندان، کارایی سیستم‌های حمل و نقل در کشورهای گوناگون با توجه به موقعیت اقتصادی آن کشورها، اثرهای متفاوتی را بر کیفیت هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح کل اقتصاد یا زیربخش‌های مطالعه‌شده داشته است. الگوهای موجود در حمل و نقل، منتج به تحمیل هزینه‌های سنگین محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی شده‌اند و

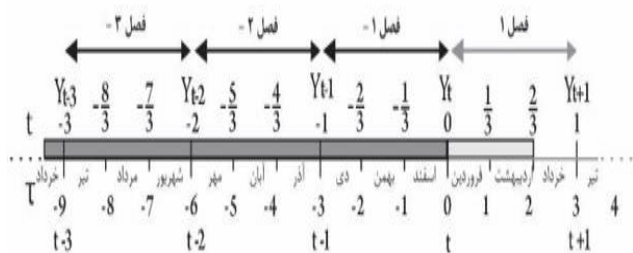
تجدیدپذیر بر کاهش میزان آلاینده‌ها چشمگیر است (Alvarez-Herranz et al., 2017: 388).

یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار بر میزان مصرف انرژی و در نتیجه انتشار آلاینده‌ها قیمت سوخت است. سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی از طریق مصرف منابع انرژی بر انتشار آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد. حساسیت انتشار آلاینده‌ها به قیمت انرژی، قیمت‌گذاری انرژی را به یکی از قدرتمندترین و غیرمستقیم‌ترین ابزارها برای کنترل آلودگی هوا تبدیل کرده است (Eskeland et al., 1994: 5). مطالعات انجام‌شده به‌طور عمده حاکی از آن است که رابطه معکوس بین مالیات بر سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل و نقل وجود دارد (Kim et al., 2011: 983)؛ اما گاهی رابطه بین قیمت سوخت و مصرف هم منفی است و هم تأثیر ناچیزی دارد (Yuan et al., 2010: 198). نتیجه بررسی در ایالات متحده از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳ نشان داد افزایش مالیات بر سوخت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت و آلودگی هوا می‌شود. مالیات‌های بالاتر نیز قیمت سوخت را افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر، مالیات بر سوخت تأثیر مثبت بر قیمت سوخت و تأثیر منفی بر آلودگی هوا و انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است (Fukui and Miyoshi, 2017: 237). در ایران افزایش یک درصدی قیمت واقعی بنزین به کاهش ۰/۱۴ درصدی انتشار کربن در کشور منجر خواهد شد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳۴). نتایج بررسی تأثیر مالیات بر انرژی و محیط زیست در چین نشان می‌دهد افزایش ۳۰ درصدی مالیات بر انرژی، باعث بهبود معنادار شاخص AQI می‌شود (Wang et al., 2018: 87). نتایج بررسی تأثیر حمل و نقل، تقاضای انرژی، جریان کمک‌های متقابل و تراکم جمعیت بر تخریب محیط زیست در یازده کشور در حال توسعه نشان می‌دهند رابطه حمل و نقل با انتشار گازهای گلخانه‌ای در این گروه از کشورها مثبت است (Saleem et al., 2018: 153).

در ایران مطالعات زیادی در خصوص استفاده از حمل و نقل و تأثیر آن بر آلودگی هوا انجام شده است که در این بخش، خلاصه‌ای از یافته‌های شاخص‌ترین مطالعات انجام‌شده بررسی می‌شود.

احمدزاده و همکاران (۱۴۰۲)، تأثیرات استفاده بهینه از وسایل حمل و نقل عمومی در جهت تقلیل ترافیک و آلودگی هوا در شهر تبریز را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند اهمیت شاخص‌ها به ترتیب درصد اهمیت‌شان عبارت‌اند از ایمنی ۰/۴۹۹، آلودگی زیست‌محیطی ۰/۳۱۳، ارزانی ۰/۱۲۰ و راحتی ۰/۰۶۸ و در نهایت ارجح‌ترین گزینه مناسب از بین دو مد حمل و نقل موتوری،

زمان مربوط به متغیر با تواتر کم (مثلاً سالانه) و τ زمان مربوط به متغیر با تواتر بالا (مثلاً فصلی) است. قسمت کم‌رنگ نمودار، مربوط به داده‌های جدید در زمانی بعد از زمان t است و داده‌های بخش پررنگ نمودار، داده‌های موجود تا زمان t را نشان می‌دهد.



نمودار ۱- نمودار زمانی (نوفروستی و همکاران، ۱۳۹۶)

کای سلز و همکاران^۷ (۲۰۰۷) رگرسیون ساده میداس را معرفی کردند. یک رگرسیون ساده میداس با توجه به متغیر توضیح‌دهنده با تواتر بالای x_t و وقفه‌ها به صورت رابطه ۱ تصریح می‌شود:

$$y_t = C_0 + \beta \sum_{j=0}^{j \max} w(j; \theta) \cdot L^j / m x_t^{(m)} + u_t \quad (1)$$

در تفسیر پارامتری، الگوی میداس را می‌توان الگویی خطی تلقی کرد؛ اما با اعمال اوزان مربوط به وقفه‌های گسترده و تحمیل یک تابع قید پارامتری به الگو، از حالت خطی به حالتی غیرخطی تبدیل می‌شود. با توجه به مطالعه کای سلز و همکاران (۲۰۰۷) نیاز است از روش‌های غیرخطی NLS برای برآورد ضرایب الگوی میداس بهره گرفت و به صورت رابطه ۲، مجموع مربعات جمله اخلاص را حداقل کرد (بیات و نوفروستی، ۱۳۹۴: ۳۳).

$$\hat{\theta} = \arg \min \theta \in R (y_t - \beta \sum_{j=0}^{j \max} w(j; \theta) \cdot L^j / m x_t)^2 \quad (2)$$

در این رابطه از یک الگوریتم عددی برای یافتن پارامتری مطلوب برای مقدار $\hat{\theta}$ استفاده می‌شود که عبارت داخل پراتنز را حداقل می‌کند. الگوریتم به کارگرفته شده با اعمال یک چرخه تکراری، عبارت داخل پراتنز را به صورت رابطه ۳ حداقل می‌کند:

$$(y_t - \beta \sum_{j=0}^{j \max} w(j; \theta) \cdot L^j / m x_t) \quad (3)$$

در این مطالعه، با تأکید بر معادله کیفیت هوا برای سیستم‌های حمل‌ونقل (قطار شهری و اتوبوس) ارائه شده توسط کای سلز و همکاران (۲۰۰۷) و ما و همکاران^۸ (۲۰۲۰)، مدل کلی زیر به صورت رابطه ۴ طراحی و استفاده شده است:

$$AQI_t = \alpha_0 + \alpha_1 EC + \alpha_2 EP + \alpha_3 T + \alpha_4 N + \mu t \quad (4)$$

همچنین عامل مشکلاتی همچون افزایش مصرف انرژی، ترافیک خودروها، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هستند. با توجه به اینکه حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقتصاد ملی است و به دلیل داشتن نقش زیرساختی، تأثیر زیادی بر روند رشد اقتصادی کشورهایی مانند ایران می‌گذارد و آن را می‌توان یک استراتژی کلیدی در صیانت از منابع انرژی و بهبود کیفیت هوا در شهرهای بزرگ مانند کلان‌شهر مشهد دانست و نظر به اینکه تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از الگوی داده‌های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS)، برای مقایسه تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا در شهر مشهد انجام نشده است، انجام چنین مطالعه‌ای حائز اهمیت است.

روش‌شناسی

الگوی میداس ابتدا توسط کلاین و سوجو^۹ (۱۹۸۹) در تدوین الگوهای اقتصادسنجی کلان ساختاری پایه‌گذاری شد و بعدها گای سلز، سانتاکلارا و والکانو (۲۰۰۴) و گای سلز، سینکو و والکانو (۲۰۰۶) آن را بسط دادند. در راستای شناساندن این الگو، ابتدا روش نمادگذاری متغیرهایی از الگو بیان می‌شود که دارای تواتر متفاوتی هستند. از مهم‌ترین مزایای الگوی داده‌های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS)، پیش‌بینی زمان حال متغیر وابسته توسط جمله‌ای حاوی داده‌های جدیدالانتشار است. همچنین این امکان را می‌دهد که متغیرهای سری زمانی سالانه، فصلی و حتی روزانه در کنار هم در یک رگرسیون قرار گیرند. تصور کنید $\{y_t\}_t$ و $\{x_t\}_t$ سری‌های زمانی پایا با تواترهای متفاوت باشند، به گونه‌ای که y_t متغیر وابسته و x_t متغیر مستقل توضیح‌دهنده τ است. t واحد زمان استفاده شده برای متغیر با تواتر پایین است. برای برقراری ارتباط بین دو متغیر با تواترهای t و τ از ضریب s استفاده می‌شود. ضریب s کسری از فاصله زمانی بین $t-1$ و t تعریف شده است؛ به صورتی که $m = \frac{1}{s}$ مشخص می‌کند متغیرهای سری زمانی پرتواتر x_t چند مرتبه در بازه زمانی مشاهده شده‌اند؛ بنابراین، $t = \tau \cdot m$ بوده است و در نتیجه، به تعداد m بار بیشتر از داده‌های سری زمانی y_t ظاهر می‌شود. نماد x_t^m به مفهوم فصلی، $m = 3$ است و بدان معنا است که در هر فصل، یک مشاهده از داده‌های دوره فصلی و سه مشاهده از داده‌های دوره ماهانه خواهیم داشت. متغیری در مدل که داده‌های فصلی را دربرمی‌گیرد، متغیر کم‌تواتر و متغیری که داده‌های ماهانه را شامل می‌شود، متغیر پرتواتر است. نمودار ۱ ارتباط بین تواترها نمونه‌گیری را نشان می‌دهد و شیوه نمادگذاری را بیان می‌کند. t

براساس یافته‌های جدول ۱، متغیرهای توضیح‌دهنده AQI_1 دارای میانگین ۶/۱۴ و انحراف معیار ۰/۳۰ است. EP ، EC_1 و EC_2 به ترتیب دارای میانگین ۱/۱۵، ۴/۵۴ و ۶/۲۱۸ و انحراف معیار ۰/۰۴۱، ۷۰/۴۱ و ۰/۴۳ هستند و N_1 و N_2 دارای میانگین به ترتیب ۴/۸۵ و ۵/۶۳ و انحراف معیار ۳/۳۷ و ۴/۱۲ هستند.

هنگامی که داده‌های مطالعه دوره زمانی طولانی را شامل شوند، متغیرها را از لحاظ نداشتن رگرسیون کاذب، با استفاده از آزمون‌های پایایی بررسی می‌کنند که از آزمون‌های پایایی دیکی فولر و آزمون KPSS استفاده می‌شود؛ اما در این مطالعه دوره زمانی بسیار کوتاه است و نیازی به بررسی پایایی متغیرها نیست؛ زیرا دوره زمانی این تحقیق کمتر از حد معمول برای هر برآورد و حدود ۱۰ سال است. برای بررسی مدل تحقیق دو حالت در نظر گرفته شده‌اند. حالت اول، اتوبوس و حالت دوم، قطار شهری است که در ادامه بیان شده‌اند.

حالت اول: اتوبوس

با توجه به مبانی مطرح شده از ابتدای تحقیق تا این مرحله و نوع متغیرها با تواترهای متفاوت، الگوی مناسب برای این مطالعه الگوی میداس انتخاب شده است. نتایج حاصل از برآورد الگوی میداس با توجه به تابع معرفی شده و با استفاده از بسته نرم‌افزار midasr در محیط R آزمون می‌شوند که توسط کای‌سلز و همکاران (۲۰۰۷) تهیه شده است. نتایج الگو در جدول ۲ برای بخش اتوبوسرانی گزارش شده‌اند.

جدول ۲- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای اتوبوسرانی

- مقدار p	آماره آزمون	انحراف معیار	برآورد ضرایب
۰/۰۰۴	-۸/۱۳	۰/۴۲	-۳/۴۳
۰/۰۰۶	-۶/۹	۰/۰۹	-۰/۶۲
۰/۰۴۴	-۳/۳۵	۰/۱۳	-۰/۴۴
۰/۰۳۴	۳/۶۹	۲/۰۳	۷/۴۸
۰/۰۱۵	۱/۹	۰/۰۲	۰/۰۴
۰/۰۹۹	-۲/۳۵	۱/۱۷	۲/۷۶
۱/۰۰۰	۰/۰۰۸	۱/۰۸	۸/۷۳
$R^2 = ۰/۹۲۷$ $Dwtest = ۱/۶۹۷۹$			
Sh.W.n.test $W = ۰/۹۰۷۷۶$ ($P = ۰/۲۶۵۹$)			

نتایج الگوی میداس در جدول ۲ نشان می‌دهند به جز متغیر N_2 که بی‌معنی است، پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیح‌دهنده AQI_1 در سطح یک درصد، EP ، EC_1 و EC_2 در سطح پنج درصد

متغیرهای به کاررفته در مدل عبارت‌اند از AQI_t شاخص کیفیت هوا (برحسب گزارش روزانه کیفیت هوا) در دوره t ؛ به‌عنوان متغیر وابسته است. در مشهد، این شاخص برای ۶ آلاینده هوا، مونواکسیدکربن (CO)، ازن (O3)، دی‌اکسیدنیتروژن (NO2)، دی‌اکسیدگوگرد (SO2)، ذرات معلق زیر ۲/۵ میکرون (PM2.5) و ذرات معلق زیر ۱۰ میکرون (PM10) اندازه‌گیری می‌شود. منظور از t واحد مشاهده دوره زمانی است و بیان می‌کند شاخص کیفیت هوا بدون وقفه است. EC مصرف انرژی در بخش اتوبوس و قطار شهری به تفکیک (سرانه مصرف سوخت بخش اتوبوسرانی و گازوئیل (برحسب واحد لیتر) و سوخت قطار شهری برق (برحسب کیلووات / ساعت)) است. EP قیمت انرژی در بخش اتوبوسرانی و قطار شهری به تفکیک (قیمت ریالی هر لیتر گازوئیل از ترازنامه انرژی و بهای برق مصرفی قطار شهری به ریال و با استعلام از برق مشهد و شرکت توانیر مشهد) است. T تعداد وسیله نقلیه در بخش اتوبوس و قطار شهری به تفکیک (تعداد اتوبوس‌ها و قطار هر سال متفاوت است) است. N تعداد مسافر در بخش اتوبوس و قطار به تفکیک تعداد تراکنش‌های ثبت‌شده در هر دوره سازمان اتوبوسرانی و شرکت بهره‌برداری قطار مشهد و mt جزء اخلاص است. همچنین a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 ضرایب متغیرهای مستقل نمونه هستند که لازم است تخمین زده شوند. منبع اطلاعات مربوط به بخش حمل و نقل عمومی اعم از قطار شهری و اتوبوس‌های شهری شامل مصرف انرژی، قیمت انرژی، تعداد مسافر و تعداد وسایل نقلیه در هر دو نوع ناوگان اتوبوس و قطار شهری، معاونت عمران، حمل و نقل و ترافیک، سازمان اتوبوسرانی و شرکت بهره‌برداری قطار شهری شهرداری مشهد است. داده‌های شاخص کیفیت هوا از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ از سازمان محیط زیست مشهد تهیه شده است.

یافته‌های پژوهش

در این قسمت از پژوهش، برآورد مدل بررسی می‌شود. جدول ۱، چکیده داده‌های آماری (Summary statistics) به کاررفته در این تحقیق را توصیف می‌کند.

جدول ۱- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای اتوبوسرانی

متغیر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	بیشینه	کمینه
AQI_1	۶/۱۴	۰/۳۰	۰/۱۰	۶/۵۲	۵/۲۰
EP	۱/۰۱۵	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱۲	۱/۴۱	۰/۱۲
EC_1	۴۴۵۴	۷۰/۴۱	۲۲۶۰	۴۱۰۳۶	۴۱۱۶
EC_2	۶/۲۱۸	۰/۴۳	۰/۱۲۵۸	۶/۲۸	۳/۳۲
N_1	۴/۸۵	۳/۳۷	۶/۳۱	۵/۵۲	۳/۴۱
N_2	۵/۶۳	۴/۱۲	۳/۸۰	۵/۶۰	۵/۳۶

هوا نیز افزایش می‌یابد. در کلان شهر مشهد، یکی از شهرهای بزرگ و صنعتی ایران، سهم مصرف انرژی بالا بوده است که همین امر منجر به مطلوب نبودن شاخص کیفیت هوا شده است. نتایج نیز نشان می‌دهند سطح آلودگی هوا با مصرف بیشتر رابطه مستقیم داشته است؛ حتی مصرف دوره قبل نیز با پیامدهای زیست‌محیطی که به همراه داشته است، بر کیفیت کنونی شاخص تأثیر می‌گذارد. با افزایش قیمت سوخت گازوئیل، میزان استفاده از مصرف آن در بخش حمل‌ونقل عمومی و خصوصی و سایر بخش‌های اقتصادی، به علت افزایش هزینه‌ها کاهش می‌یابد و تأثیر آن بر کاهش میزان آلاینده‌های موجود در هوا مشهود خواهد بود. همچنین با کاهش سطح استفاده از سوخت‌های فسیلی که منبع عظیم تولید آلاینده‌ها هستند، شاخص AQI وضعیت بهتری را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، افزایش یک واحدی قیمت سوخت، به کاهش شاخص AQI به میزان $0/44$ واحد منجر می‌شود. همچنین گفتنی است افزایش تعداد افرادی که از اتوبوس برای حمل‌ونقل شهری استفاده می‌کنند، بر میزان کیفیت هوا تأثیر مثبت می‌گذارد و حدود $2/76$ درصد بهبود می‌یابد؛ اما با افزایش تعداد وسایل نقلیه عمومی روزانه سرانه مصرف سوخت این ناوگان افزایش می‌یابد که سبب کاهش کیفیت هوا می‌شود؛ اما نسبت به استفاده از خودروهای شخصی بهینه‌تر است. تعیین R^2 برای اندازه‌گیری آماری نزدیکی داده‌ها به خط رگرسیون برازش شده است. R^2 بالاتر نشان می‌دهد در مدل رگرسیونی مقدار مشاهده‌شده به خط برازش شده نزدیک‌تر است. $R^2 = 0/927$ در مدل برای بخش اتوبوس محاسبه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضریب تعیین برآورد شده، حاکی از قدرت توضیح‌دهندگی بالای الگوی مدل برای بخش اتوبوس است. در مدل ذکرشده $1/6379 = DW$ است که عدم وجود خودهمبستگی بین جملات خطا را نشان می‌دهد و مدل همبستگی پیاپی ندارد و دارای توزیع نرمال است. با توجه به آماره DW در نتایج برآورد که برابر با $1/63$ است، این آماره از آماره DW که مقدار DL آن $0/56$ است بیشتر است و با توجه به اینکه این عدد نزدیک به 2 است می‌توان نتیجه گرفت در این مدل خودهمبستگی بین جملات خطا وجود ندارد.

آزمون بعدی بررسی‌شده در مدل میداس، آزمون شاپیرو و ویلک است. فرض صفر این آزمون به صورتی است که نمایان‌کننده توزیع نرمال برای داده‌ها است. فرض مقابل عدم نرمال بودن داده در نظر گرفته می‌شود. معمولاً به منظور تعیین وضعیت رد یا عدم رد فرض صفر به مقدار احتمال (P-value) اکتفا می‌شود. در مدل $W=0.9077$ ($P=0.2659$) است؛ بنابراین، چون مقدار احتمال آزمون کمتر از $0/05$ نیست، فرض صفر رد نمی‌شود و داده‌ها

و N_1 در سطح ده درصد معنادار هستند. در این مدل رگرسیون متغیر T (تعداد وسایل نقلیه ناوگان اتوبوسرانی به صورت سالانه) وارد شده است و پس از برآورد نتایج نشان داده شد دچار اخلاص در مدل می‌شود و بر سطح معناداری سایر متغیرها اثر منفی می‌گذارد. همچنین در مدل قطار شهری به علت اینکه تنها یک خط قطاری شهری وجود دارد و ورود t قطار شهری در مدل مفهوم خاصی را نمی‌رساند، از ابتدا وارد مدل نشده است؛ بنابراین، متغیر t به دلیل کم‌اهمیتی از مدل حذف شده است. عوامل مؤثر بر شاخص AQI (متغیر وابسته مدل) با توجه به برآورد مدل الگوی میداس شاخص کیفیت هوا با یک وقفه، وقفه اول و دوم مصرف انرژی و قیمت سوخت این ناوگان و وقفه اول و دوم تعداد افرادی هستند که از این وسایل نقلیه استفاده می‌کنند. نتایج نشان می‌دهند در بخش اتوبوس متغیر وابسته از متغیرهای مستقل مدل به جزء N_2 تأثیر می‌پذیرد. بین متغیر مستقل شاخص کیفیت هوا با یک وقفه و شاخص AQI رابطه معکوس و معناداری وجود دارد و با توجه به تأثیر استفاده از اتوبوس به عنوان وسیله نقلیه عمومی بر بهبود سطح آلودگی هوا، سطح آلودگی دوره قبل و دوره حال رابطه منفی دارد. به عبارت دیگر، اگر شاخص کیفیت هوا در دوره قبل یک واحد افزایش یابد، مقدار عددی AQI در دوره جاری به میزان $0/62$ واحد کاهش می‌یابد. از آنجا که دوره زمانی برای شاخص کیفیت هوا سالیانه در نظر گرفته شده است، اعمال سیاست‌های سالیانه کاهش میزان آلاینده‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری سیستم حمل‌ونقل اتوبوسی و جایگزینی اتوبوس‌های گازسوز به جای گازوئیل‌سوز و نوسازی و کاهش عمر ناوگان، در کاهش سطح آلاینده‌ها مؤثر است. افزایش میزان مصرف انرژی که در اتوبوس گازوئیل است، در حالت یک وقفه و دو وقفه، سبب کاهش کیفیت هوا و افزایش سطح آلاینده‌ها و میزان آلودگی هوا می‌شود و شاخص AQI به وضعیت ناسالم نزدیک می‌شود. در اینجا بین مصرف انرژی با یک وقفه و دو وقفه و متغیر شاخص کیفیت هوا رابطه مستقیمی وجود دارد. به عبارت دیگر، اگر میزان مصرف انرژی در حالت یک وقفه یک واحد افزایش یابد، شاخص کیفیت هوا $7/48$ واحد افزایش می‌یابد و در حالت دیگر، اگر مقدار مصرف انرژی در حالت دو وقفه یک واحد افزایش یابد، میزان متغیر شاخص کیفیت هوا $0/04$ واحد افزایش می‌یابد. با افزایش مصرف سوخت گازوئیل یا به عبارتی مصرف انرژی غالب در ناوگان اتوبوسی در دوره قبل و افزایش عدد سطح آلاینده‌ها، آثار خود را به وضعیت کنونی شاخص AQI منتقل می‌کند و آن را افزایش می‌دهد. در واقع در شهرهای صنعتی مصرف انرژی نیز بیشتر است و بنا به وجود یک رابطه علیت قوی میان مصرف انرژی و سطح تولید، سطح آلودگی

نرمال‌اند.

علت این امر می‌تواند میزان اثرگذاری بیشتر سوخت‌های فسیلی بر افزایش سطح آلاینده‌ها و در نتیجه آلودگی بیشتر هوا باشد. نتایج نشان می‌دهند افزایش یک واحد در مصرف انرژی (برق) در قطار شهری در نتیجه افزایش تعداد سفرهای قطار و کاهش زمان انتظار مسافران شبکه حمل‌ونقل عمومی در حالت یک وقفه و افزایش یک واحد در مصرف انرژی برق در حالت دو وقفه به ترتیب باعث ۲/۴۶ واحد و ۰/۰۰۴ واحد کاهش در سطح آلاینده‌ها و شاخص میزان آلودگی هوا و در نتیجه بهبود کیفیت هوا می‌شود. همچنین تعداد مسافران جابه‌جاشده با قطار شهری در حالت یک و دو وقفه با شاخص کیفیت هوا رابطه معکوس دارد و تأثیر منفی و معناداری بر متغیر وابسته می‌گذارد. به عبارت دیگر، با افزایش یک واحد تعداد مسافران جابه‌جاشده با قطار شهری در حالت یک وقفه و دو وقفه، شاخص کیفیت هوا به ترتیب به اندازه ۰/۱۸۲ و ۲/۳۷ واحد کاهش می‌یابد. در واقع با تغییر گرایش مسافران حمل‌ونقل عمومی به استفاده از قطار شهری به جای اتوبوس، همانند آنچه با بهره‌برداری از خطوط قطار شهری مشهود مشاهده می‌شود، بر تعداد مسافران قطار شهری به نسبت خطوط اتوبوسی افزوده شده است. ضریب تعیین الگو معادل $R^2 = 0.98$ برآورد شده است که نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بالای مدل است؛ به این مفهوم که تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل به خوبی تبیین شده‌اند. با توجه به آماره دوربین واتسون به مقدار $DW = 2.67$ ، جملات اخلاص الگو همبستگی پیاپی ندارند و دارای توزیع نرمال هستند و مدل به خوبی تصریح شده است.

در ادامه مشابه حالت اتوبوس آزمون شاپیرو ویلیک مطرح می‌شود که مقدار (P-Value) آن تعیین‌کننده تأیید فرض صفر یا عدم تأیید فرض صفر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود $W = 0.9290$ (P=0.5074) مقدار احتمال از ۰/۰۵ کمتر نیست و فرض صفر رد نمی‌شود؛ بنابراین، نتیجه نشان می‌دهد داده‌های نمونه از یک جامعه نرمال استخراج شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از برآورد به روش الگوی میداس برای دو بخش اتوبوس و قطار شهری طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۸، رابطه معنادار بین الگوی میداس شاخص کیفیت هوا برای بخش اتوبوسرانی و بخش قطار شهری توصیف می‌شود. مقایسه نتایج در بخش اتوبوسرانی و قطار شهری نشان می‌دهد اثرگذاری متغیرهای بخش اتوبوسرانی بر شاخص کیفیت هوا بیشتر از قطار شهری است. شاخص کیفیت هوا به بخش اتوبوسرانی حساسیت بیشتری دارد و تغییرات متغیرهای اتوبوسرانی، شاخص AQI را بیشتر به

حالت دوم: قطار شهری

مشابه حالت اتوبوس، قطار شهری خط یک در مشهد به وسیله الگوی میداس در بسته نرم‌افزاری midasr در محیط R بررسی می‌شود. نتایج الگو در جدول ۲ برای بخش قطار شهری گزارش شده‌اند.

جدول ۳- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای قطار شهری

p - مقدار	آماره آزمون	انحراف معیار	برآورد ضرایب
۰/۰۰۰	+۱۱۳۳/۷۰	-۱۴ ۴۴/۶۳	۰/۰۱۷۱
۰/۰۰۰	+۱۲ ۴۳/۱۷	-۱۴ ۴۵/۷۱	۰/۱۸۱
۰/۰۰۰	+۱۴ e-۱/۲۱	-۱۵ ۴۷/۹۴	۰/۹۵۸
۰/۰۰۰	+۱۳ e-۴/۳۱	-۱۴ ۴۵/۶۹	-۲/۴۶
۰/۰۰۰	+۱۳e-۱/۳۰	-۱۴ ۴۳/۸۱	-۰/۰۰۴
۰/۰۰۰	+۱۱e-۷/۸۱	-۱۳۴۲/۳۲	-۰/۱۸۲
۰/۰۰۰	+۱۱e-۲/۱۶	-۱۱۴۱/۱۰	-۲/۳۷
$R^2 = 0.98372$		Dwtest= ۲,۶۷۲۱	
Sh-W.n.test W=۰/۹۲۹۰ (P= ۰/۵۰۷۴)			

نتایج الگوی میداس در جدول ۳ نشان می‌دهند تمامی پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیح‌دهنده در سطح یک درصد معنادار هستند. رابطه ضرایب متغیرها برای بخش قطار شهری با متغیر وابسته AQI بیان می‌کند بین متغیر شاخص کیفیت هوا با یک وقفه با AQI رابطه مستقیم و معناداری وجود دارد و در قطار شهری به دلیل اینکه تنها آمار یک خط بررسی شده، نسبت به اتوبوس تأثیر کمتری بر بهبود آلودگی داشته است. به عبارت دیگر، اگر یک واحد از شاخص کیفیت هوا با یک وقفه افزایش یابد، متغیر وابسته AQI، ۰/۱۸۱ واحد افزایش می‌یابد. از آنجا که در قطار شهری امکان استفاده از سوخت جایگزین مانند اتوبوس وجود ندارد و نسبت به اتوبوس از انعطاف‌پذیری کمی در اعمال سیاست‌ها برخوردار است، میزان آلودگی با یک وقفه و شاخص AQI رابطه مثبت و معناداری دارد. قیمت اثر منفی بر متغیر وابسته دارد. به عبارت دیگر، با افزایش یک واحدی در قیمت سوخت، شاخص میزان آلودگی هوا به اندازه ۰/۹۵۸ واحد کاهش می‌یابد و از حجم آلاینده‌ها کاسته می‌شود و متعاقباً بهبود کیفیت هوا را به دنبال دارد. میزان تأثیرگذاری مصرف برق قطار شهری بر شاخص کیفیت هوا در جهت عکس است و اثر آن نسبت به مصرف گازوئیل در بخش اتوبوسرانی (بر شاخص کیفیت هوا) کمتر است.

پرنگ تر است. در واقع استفاده از حمل و نقل عمومی نسبت به حمل و نقل خصوصی آلاینده‌گی کمتری را تولید می‌کند؛ اما به‌طور ویژه در ایجاد سطح آلاینده‌گی محیط زیست نقش دارد که جایگزینی آن با سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری بسیار اثربخش است و تجربه کشورها نیز بیان‌کننده این نکته است. در این پژوهش تأثیرگذاری سیستم قطار شهری نسبت به اتوبوس می‌تواند به این علت رد شده باشد که سایر خطوط قطار شهری مشهد در دوره مطالعه راه‌اندازی نشده‌اند و فقط یک خط ریلی مطالعه شده است؛ در حالی که ناوگان اتوبوسرانی تمام سطح شهر مشهد را پوشش می‌دهد و همین عامل موجب می‌شود قطار شهری اثرگذاری کمتری نسبت به اتوبوس بر شاخص کیفیت هوا داشته باشد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که تفاوت‌های محیطی، فرهنگی، تاریخی، سیاسی و اجتماعی شهرهای مختلف کشور، بر میزان استفاده شهروندان به استفاده از یک مد حمل و نقل تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، باید به فرهنگ‌سازی در زمینه استفاده از قطار شهری در میان شهروندان شهر مشهد نیز اشاره کرد که دلیلی بر اثربخشی بیشتر اتوبوس نسبت به قطار شهری است و افراد تمایل بیشتری به استفاده از اتوبوس نسبت به قطار شهری دارند.

همچنین نتایج نشان دادند فرضیه سوم تحقیق تأیید می‌شود و بیان می‌کند قیمت انرژی بر شاخص کیفیت هوا تأثیرگذار است و با افزایش قیمت انرژی، میزان آلاینده‌ها کاهش می‌یابند؛ زیرا بین متغیر قیمت انرژی و شاخص کیفیت هوا در هر دو تابع بررسی شده، رابطه معکوس و معناداری وجود دارد. با توجه به اینکه مصرف حامل‌های انرژی تأثیر مستقیمی بر آلودگی هوا داشته‌اند، افزایش قیمت حامل‌های انرژی به کاهش تقاضای آنها و در نهایت کاهش مصرف و تولید آلاینده‌گی منجر خواهد شد. هدف تحقیق در صورتی محقق می‌شود که شبکه قطار شهری هم از لحاظ تعداد خطوط و هم از لحاظ تعداد واگن‌های هر خط توسعه یابد و دسترسی به آمار و داده نیز مهیا شود. در این صورت تأثیر آن بر میزان آلودگی هوا چشمگیر خواهد بود و در نتیجه به بهبود شاخص کیفیت هوا منجر می‌شود. همچنین باید به درصد تمایل افراد به استفاده از قطار شهری نیز اشاره کرد که همزمان با تقاضای بیشتر افراد به استفاده از خطوط ریلی شهری، سطح استفاده از وسایل نقلیه خصوصی و عمومی نیز کاهش می‌یابد که همین امر قدم بزرگی در راستای کاهش سطح آلودگی هوا در شهر مشهد خواهد بود.

بنابراین، برای بهره‌گیری از این دستاوردها و با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش، موارد زیر را می‌توان به‌عنوان راهکارهای سیاستی - پیشنهادی برای کنترل وضعیت آلودگی هوا در شهر

چالش می‌کنند. قطار شهری به‌عنوان یک مد حمل و نقل عمومی ایمن، اقتصادی و پاک نسبت به اتوبوس، نیاز اصلی کلان‌شهر مشهد است. با توجه به اینکه نخست، در دوره زمانی مطالعه حاضر فقط یک خط قطار شهری به‌طور صد درصدی بهره‌برداری شده است و سایر خطوط قطار شهری لحاظ نشده‌اند و دوم، اعمال تغییرات در بازه زمانی بلندمدت ملموس خواهد بود و برای دوره زمانی کوتاه‌مدت ملموس نیست، همان‌گونه که ملاحظه شد تغییرات بخش اتوبوسرانی بر شاخص کیفیت هوا بیشتر تأثیر گذاشته‌اند. مهم‌ترین دلایل آن عبارت‌اند از ۱- این بخش طی سالیان گذشته تاکنون توسعه یافته و تقریباً تمامی ظرفیت‌های اتوبوسرانی در شهر مشهد به کار گرفته شده است. ۲- علاوه بر مناطق اصلی و مرکزی شهری، مناطق حاشیه‌ای را زیر پوشش قرار داده است. ۳- دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس نسبت به قطار شهری آسان‌تر است. ۴- امکان اتصال ایستگاه‌های اتوبوس به سایر مدهای حمل و نقل عمومی بیش از ایستگاه‌های قطار شهری است. ۵- هزینه سفر با اتوبوس ارزان‌تر از قطار شهری است؛ در حالی که بخش قطار شهری به دلیل ۱- عدم دسترسی همگانی شهروندان در اقصی نقاط شهر مشهد به قطار شهری، ۲- اختصاص دادن زمانی بیشتری برای رسیدن به ایستگاه قطار شهری نسبت به رسیدن به ایستگاه اتوبوس و ۳- عدم تکمیل سایر خطوط قطار شهری، در دوره مطالعه میزان اثرگذاری خود را نسبت به اتوبوس کمتر نشان دادند.

البته این امر یک مسئله کوتاه‌مدت است و با تقویت این بخش حمل و نقل عمومی پاک (قطار شهری) و گسترش و راه‌اندازی سایر خطوط، نقش قطار شهری در سال‌های آتی بسیار پرنگ‌تر و حائز اهمیت‌تر و تأثیر آن در کاهش میزان آلاینده‌های هوا ملموس‌تر خواهد شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش براساس فرضیات ارائه شده بررسی شدند.

نتایج حاصل نشان دادند فرضیه اول تحقیق تأیید می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده در خصوص نقش قطار شهری بر کاهش سطح آلاینده‌گی به‌خصوص در کلان‌شهرها، قطار شهری به‌عنوان یکی از بهترین، اقتصادی‌ترین و پاک‌ترین انواع سیستم‌های حمل و نقل عمومی در جهان شناخته شده است. ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، کاهش مصرف انرژی و ایجاد آلودگی هوا و صوتی بسیار ناچیز، سرعت مناسب و قیمت پایین حمل مسافر از جمله مزیت‌های قطار شهری نسبت به سایر وسایل حمل و نقل خصوصی و عمومی است. در این پژوهش نیز لزوم استفاده از قطار شهری به‌منظور کاهش سطح آلاینده‌گی تأیید شده است؛ اما نتایج برای فرضیه دوم تحقیق رد می‌شوند و این در حالی است که نقش اتوبوس در مقایسه با قطار شهری

مشهد ارائه کرد:

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به منظور دستیابی به حمل و نقل پایدار با هدف کاهش اثرات زیست محیطی، افزایش بازدهی سیستم حمل و نقل و بهبود وضعیت زندگی اجتماعی در شهر مشهد، باید حمل و نقل عمومی به ویژه اتوبوس و قطار شهری و دسترسی آنها به نقاط مختلف کلان شهر مشهد را با هدف استفاده هرچه بیشتر شهروندان و زائران گسترش داد.

منابع

- احمدزاده، حامد و همکاران (۱۴۰۲). «بررسی تأثیرات استفاده بهینه از وسایط حمل و نقل عمومی در جهت تقلیل ترافیک و آلودگی هوا در شهر تبریز»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۲۳، شماره ۶۸، ۱۸۰-۱۶۷.
- آمارنامه شهر مشهد (۱۳۹۸). *کتاب آمارنامه و وبگاه آمار و داده های شهری مشهد (پروژه مشترک دفتر ارتباط با جامعه دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد و دفتر آمار، پژوهش و مطالعات راهبردی شهرداری مشهد)*، مشهد: نشر نور.
- بیات، محبوبه و نوفرستی، محمد (۱۳۹۴). *اقتصادسنجی کاربردی سری های زمانی: الگوهای داده های ترکیبی با تواتر متفاوت*، تهران: نشر نور علم.
- پژویان، جمشید و مرادحاصل، نیلوفر (۱۳۸۶). «بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا»، *فصلنامه پژوهش های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، دوره ۷، شماره ۴، ص ۱۴۱-۱۶۰.
- حق شناس، محمدعلی و همکاران (۱۳۹۸). «تأثیر حمل و نقل بر آلودگی هوا در کلان شهرهای ایران»، *دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت شهری*، تهران.
- حداد حسن آبادی، منیره (۱۳۹۸). «آمارنامه اقتصادی مشهد به تفکیک مناطق سیزده گانه شهرداری»، *شهرداری هوشمند مشهد*، بخش حمل و نقل و فضای سبز. <https://amar.mashhad.ir/>
- داودی، آزاده و ناجی میدانی، علی اکبر (۱۳۹۴). «تحلیل تجزیه ای شاخص انتشار ترکیبات کربن (دی اکسید کربن و مونوکسید کربن) در بخش های حمل و نقل و زیربخش های آن در ایران طی سال های ۱۳۹۰-۱۳۷۸»، *فصلنامه پژوهش ها و سیاست های اقتصادی*، دوره ۲۳، شماره ۷۴، ص ۱۱۷-۱۵۰.
- ساسان، عبدالحسین (۱۳۹۶). *اقتصاد جابه جاگری و پژوهشی در راه های استان اصفهان*، جهاد دانشگاهی (دفتر مرکزی)، بخش فرهنگی، واحد فوق برنامه، تهران: ری، ص ۱-۳۵۸.

- شانزدهمین آمار حمل و نقل شهر مشهد (۲۰۲۰). *معاونت نظارت و مهندسی شبکه حمل و نقل*، ص ۱-۴۰. <https://www.traffic.mashhad.ir/>
- شهاب، محمدرضا و ناصر صدرآبادی، سیده مروه (۱۳۹۳). «بررسی اثر سیاست های اقتصادی دولت بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب»، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره ۱۶، شماره ۲، ص ۱۳۹-۱۵۰.
- شهیدی، سید ابراهیم و همکاران (۱۳۹۷). «بررسی عوامل آلودگی هوای شهر مشهد و راهکارهای مقابله با آن»، *دومین کنفرانس بین المللی مهندسی آب و محیط زیست*، تهران، ص ۱۴۱-۱۵۰.
- طاهری، احسان و همکاران (۱۳۹۶). «تأثیر افزایش قیمت حامل های انرژی بر هزینه تخریب آلاینده های هوا در ایران (رویکرد تعادل عمومی محاسبه پذیر CGE)»، *فصلنامه پژوهش های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، دوره ۱۷، شماره ۳، ص ۱۳۱-۱۵۷.
- قربانی، محمد و همکاران (۱۳۹۲). «ارزیابی رضایت شهروندان مشهد از خدمات شبکه اتوبوس رانی شهری»، *مشهد پژوهی*، دوره ۲، شماره ۴، ص ۴۷-۲۵.
- قاسمی، علی اصغر و همکاران (۱۳۹۶). «مطالعه تطبیقی ارزیابی اثرات حمل و نقل بر آلودگی شهر تهران مطالعه موردی منطقه ۱۸ و ۵ تهران»، *فصلنامه زمین شناسی محیط زیست*، دوره ۱۱، شماره ۳۹، ص ۵۳-۳۵.
- قراگوزلو، علیرضا و همکاران (۱۳۹۱). «تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا به تفکیک مناطق شهرداری کلان شهر تهران (مونوکسید کربن) با بهره گیری از GIS»، *فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس*، دوره ۴، شماره ۱۲، ص ۴۰-۲۱.
- مبهوت، محمدرضا و فعال، فرنوش (۱۳۹۲). «ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس های تندرو در کلان شهر مشهد با توجه به رضایت شهروندان»، *اولین کنفرانس معماری و فضاهای شهری پایدار*، مشهد.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۸). *نتایج سرشماری به تفکیک شهرستان ها در سال ۱۳۹۸*. <https://www.amar.org.ir>
- محمدی، فریبرز و همکاران (۱۳۹۰). «بررسی عوامل اقتصادی مؤثر بر تصادفات جاده ای در ایران (۱۳۸۸-۱۳۵۰)»، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- نصرالهی، زهرا و پوش دوزباشی، هانیه (۱۳۹۹). «برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری

- among energy consumption, air pollution and water resources in Pakistan. *Journal of cleaner production*, 112, 1375-1385.
- Khan, S. A. R., & et al. (2021). Investigating the nexus between energy, economic growth, and environmental quality: A road map for the sustainable development. *Sustainable Development*, 29(5), 835-846.
- Kim, Y. D., & et al. (2011). The empirical effects of a gasoline tax on CO2 emissions reductions from transportation sector in Korea. *Energy Policy*, 39(2), 981-989.
- Klein, L. R., & Sojo, E. (1989). Combinations of high and low frequency data in macroeconomic models. *Economics in Theory and Practice: An Eclectic Approach: Essays in Honor of FG Adams*, 3-16.
- Lun, F., & et al. (2014). Residential energy consumption and associated carbon emission in forest rural area in China: A case study in Weichang County. *Journal of Mountain Science*, 11(3), 792-804.
- Ma, F., & et al. (2020). Assessing the vulnerability of urban rail transit network under heavy air pollution: A dynamic vehicle restriction perspective. *Sustainable Cities and Society*, 52, 1-13.
- Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 639-647.
- Peng, T., & et al. (2018). Sustainability of additive manufacturing: An overview on its energy demand and environmental impact. *Additive Manufacturing*, 21, 694-704.
- Saidi, S., & Hammami, S. (2017). Modeling the causal linkages between transport, economic growth and environmental degradation for 75 countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 415-427.
- Saidi, S., & et al. (2018). The long-run relationships between transport energy consumption, transport infrastructure, and economic growth in MENA countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111, 78-95.
- Saleem, H., & et al. (2018). The impact of air-railways transportation, energy demand, bilateral aid flows, and population density on environmental degradation: evidence from a panel of next-11 countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 152-168.
- Wang, B., & et al. (2018). Impact of energy taxation on economy, environmental and public health quality. *Journal of environmental management*, 206, 85-92.
- Wang, Q. Y. (2005). Energy and environment: Problems and solutions in China. *Energy Environ*, 4, 4-11.
- Yuan, C., & et al. (2010). The relationship among energy prices and energy consumption in China. *Energy Policy*, 38(1), 197-207.
- شهرستان یزد»، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره ۲۲، شماره ۲، ص ۱۵-۲۹.
- نورالهی، حانیه و برکپور، ناصر (۱۳۹۳). «ارزیابی آثار احداث سیستم ریلی درون شهری بر کیفیت محیط شهری مطالعه موردی: خط یک قطار شهری مشهد»، *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، دوره ۵، شماره ۳، ص ۳۹۳-۴۱۲.
- نوفرستی، محمد و همکاران (۱۳۹۶). «بررسی اثر تغییر ساختار سنی جمعیت بر مخارج مصرفی دولت و پیش‌بینی تحولات آن به روش الگوی داده‌های ترکیبی با تواتر متفاوت»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، دوره ۱۸، شماره ۳، ص ۱۰۳-۱۲۳.
- Alam, M. M., & et al. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479.
- Alvarez-Herranz, A., & et al. (2017). Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels. *Energy policy*, 105, 386-397.
- Angelevska, B., & et al. (2021). Urban air quality guidance based on measures categorization in road transport. *Civil Engineering Journal*, 7(2), 253-267.
- Birdsall, N., & Wheeler, D. (1993). Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution havens? *The Journal of Environment & Development*, 2(1), 137-149.
- Cárcel-Carrasco, J., & et al. (2021). Analysis on the Effect of the Mobility of Combustion Vehicles in the Environment of Cities and the Improvement in Air Pollution in Europe: A Vision for the Awareness of Citizens and Policy Makers. *Land*, 10(2), 184-199.
- Chin, Y. S. J., & et al. (2019). Public awareness and support for environmental protection—A focus on air pollution in peninsular Malaysia. *PloS one*, 14(3), 1-21.
- Eskeland, G. S., & et al. (1994). *Energy pricing and air pollution: Econometric evidence from manufacturing in Chile and Indonesia* (No. 1323). The World Bank. 1-35.
- Fukui, H., & Miyoshi, C. (2017). The impact of aviation fuel tax on fuel consumption and carbon emissions: The case of the US airline industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 234-253.
- Hakimi, A., & Hamdi, H. (2016). Trade liberalization, FDI inflows, environmental quality and economic growth: a comparative analysis between Tunisia and Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1445-1456.
- Kaisels, E., & et al. (2007). MIDAS regressions: Further results and new directions. *Econometric reviews*, 26(1), 53-90.
- Khan, M. M., & et al. (2016). Triangular relationship

-
- i Mixed Data Sampling (MIDAS) Regression Models
 - ii Environmental Kuznets Curve
 - iii Air quality index (AQI)
 - iv Klein and Marquez
 - v Kaisels et al
 - vi Ma et al