



Evaluation the effect of using city train and bus on air quality (Case study: Mashhad)

Narvan Ghodrati¹, Taghi Ebrahimi Salary^{2*}, Mehdi 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 Associate 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 one hand and air pollution crisis on the other hand is one of the most important problems that is affecting the metropolises today. One of the ways to control energy consumption and control 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 effect of the use of city train and bus in Mashhad metropolis on air quality in 2010-2019 using the mixed data sampling (MIDAS) regression models. The results indicate that the use of the city train 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.

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

ارزیابی تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا (مطالعه موردی: مشهد)

نارون قدرتی¹، تقی ابراهیمی سالاری^{2*}، مهدی بهنام³، ابراهیم قاهد⁴

¹ کارشناسی ارشد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

² دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

³ دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

⁴ دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده: مسئله کمیابی و کاهش منابع انرژی در بخش حمل و نقل از یک سو و بحران آلودگی هوا از سوی دیگر 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 می باشد. 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 1389-1398 با استفاده از الگوی داده های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS) می باشد. نتایج حاکی از آن است که استفاده از قطار شهری باعث کاهش سطح آلاینده ها و بهبود شاخص کیفیت هوا می گردد. همچنین بین متغیر قیمت انرژی و شاخص کیفیت هوا ارتباط معکوس و معناداری وجود دارد و بر پر رنگ 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: ebrahimi@um.ac.ir

"این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با موضوع "بررسی تأثیر استفاده از حمل و نقل عمومی بر کاهش آلاینده های زیست محیطی (مطالعه موردی مقایسه قطار شهری و اتوبوس شهر مشهد)" با راهنمایی نویسنده دوم می باشد.

مقدمه

امروزه آلودگی هوا ناشی از زندگی مدرن و فعالیت‌های انسانی یکی از مشکلات اصلی کلان شهرها است که می‌تواند اثرات زیست محیطی قابل توجهی را به دنبال داشته باشد با توجه به اینکه نقش حمل و نقل عمومی در افزایش آلودگی هوا، قابل توجه می‌باشد، به کارگیری وسایل حمل و نقل عمومی به جای خودروهای شخصی و تک سرنشین، به عنوان یک گزینه برتر، برای کاهش و کنترل آلودگی هوا در کلان شهرها ضروری است (Chin et al, 2019:2). یکی از نتایج توسعه سیستم حمل و نقل اثرات نامطلوب زیست محیطی آن است. بروز مشکلات ترافیکی و افزایش استفاده از وسایل نقلیه شخصی، احتراق سوخت های فسیلی و در نتیجه انتشار بیشتر آلاینده های هوا که زندگی انسان را در سنین مختلف تحت تأثیر قرار می دهد (Angelevska et al, 2021: 255). طبق بررسی های آژانس بین المللی انرژی، حوزه حمل و نقل تا سال 2020، بیشترین مصرف انرژی را در میان سایر بخش ها خواهد داشت و عامل اصلی آلودگی هوا و آلودگی صوتی می باشد (داودی و ناجی میدانی، 1394: 119).

در ایران نیز میزان انتشار آلاینده های هوا، در شهرهای پرجمعیت به حد خطرناکی رسیده است به طوری که، شهر مشهد به عنوان دومین کلان شهر کشور با 3/3 میلیون نفر جمعیت بر اساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال 1398 و افزایش روز افزون سفرهای درون شهری مسافری به 6/657 میلیون سفر در سال و نیز به دلیل قرار گرفتن بین

رشته کوه های بینالود و هزار مسجد که منجر به محدودیت کریدور هوایی شده است، دارای حدود 300 روز وارونگی حرارتی در طول سال بوده و آلوده ترین شهر کشور در برخی از روزهای سال است (مرکز آمار ایران، 1398 و شانزدهمین آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد، 1399). همچنین مشهد در سال 1397 به عنوان آلوده ترین کلان شهر کشور شناخته شد تا حدی که میزان آلودگی هوای این کلان شهر از پایتخت نیز فراتر رفت. بیشترین منابع آلودگی هوای شهر مشهد ناشی از منابع ساکن و متحرک است که 64 درصد از بخش آلودگی هوای این شهر مربوط به منابع متحرک و 36 درصد مربوط به منابع ساکن است. خودروهای شخصی 33 درصد، کامیون ها و موتورهای دیزلی 13 درصد، موتورسیکلت ها 5 درصد، وانت بارها 6/6 درصد، کوره های آجر پزی و ریخته گری و سیمان 6 درصد، حمل و نقل ریلی و هوایی 3 درصد و نیروگاه ها نیز 19 درصد در آلودگی هوا نقش دارند (آمارنامه شهر مشهد، 1398). بنابراین هرگونه سیاستی برای کاهش آلودگی زیست محیطی در این شهر از جمله جایگزینی حمل و نقل عمومی به جای خودروهای شخصی می تواند به تحقق محیط زیست سالم، هوای پاک و دستیابی به توسعه پایدار کمک می کند (شهیدی و همکاران، 1397: 142). با توجه به اینکه حمل و نقل یکی از بخش های عمده مصرف کننده انرژی می باشد، که مصرف غیرمتعارفی دارد بگونه ای که شاخص مصرف آن با استانداردهای جهانی فاصله زیادی دارد (طبق پیش بینی ها،

دارد، با استفاده از الگوی داده های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS)¹، در طی سال های 1389-1398 تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا در شهر مشهد را مورد توجه و بررسی قرار دهد و در واقع به دنبال پاسخ به این سؤال است که «تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر میزان آلودگی هوای کلان شهر مشهد چگونه است؟» در این ارتباط، هدف از انجام مطالعه حاضر آزمون تجربی، بررسی کاهش آلودگی هوا از طریق استفاده از قطار شهری در مقایسه با اتوبوس است. در این راستا فرضیه های تحقیق حاضر عبارتند از: 1. استفاده از قطار شهری باعث کاهش آلاینده ها می شود. 2. قطار شهری بیشتر از اتوبوس بر بهبود شاخص کیفیت هوا تأثیر می گذارد. 3. افزایش قیمت انرژی میزان آلاینده ها را کاهش می دهد. پس مقایسه اینکه کدام یک از وسایل حمل و نقل عمومی (قطار شهری و اتوبوس)، اثر بیشتری بر بهبود کیفیت هوا در شهر مشهد دارد، به عنوان دغدغه اصلی این مطالعه مطرح شده است. سازماندهی مطالعه حاضر بدین شکل است که بخش بعدی به بررسی ادبیات موضوع و مطالعات تجربی انجام گرفته در این زمینه اختصاص داده شده است، در بخش سوم منابع و متغیرهای استفاده شده و روش شناسی تخمین، بخش چهارم یافته های تجربی و تفسیر نتایج و نهایتاً در بخش پنجم به بحث و نتیجه گیری اختصاص یافته است.

ادبیات موضوع

یکی از معیارهای اصلی سنجش توسعه جوامع امروزی جهان، داشتن شبکه حمل و نقل پویا، هماهنگ و سازمان یافته است. آدام اسمیت معتقد است که هر چه جابه جایی توسعه یابد، هزینه های حمل و نقل کمتر و تقسیم کار در گستره جغرافیایی بیشتر می شود. بهای تمام شده کالاها و خدمات زمانی کاهش می یابد که تقسیم جغرافیایی کار افزایش یابد و در این صورت کارایی فزاینده خواهد بود (ساسان، 1396: 28). اهمیت شبکه حمل و نقل در

63 درصد از افزایش تقاضای انرژی تا سال 2030 متعلق به بخش حمل و نقل خواهد بود (محمدی و همکاران، 1390: 89). از آنجا که بخش حمل و نقل به ویژه حمل و نقل زمینی، اهمیت ویژه ای 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 برنامه ریزی برای بهبود محیط زیست و هوای پاک دارد. پس ارزیابی کمی و کیفی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل و بررسی تغییرات آن، با توجه به کمبود روز افزون منابع انرژی حاصل از سوخت های فسیلی از یک سو و تشدید پیامدهای زیست محیطی ناشی از افزایش مصرف این بخش طی دهه های اخیر از سوی دیگر، گویای اهمیت و ضرورت تحقیق در این زمینه است. در مشهد مطالعاتی در زمینه رضایت شهروندان از حمل و نقل شهری و ریلی انجام شد که این مطالعات نشان داد که قطار شهری بالاترین نسبت را در رضایت شهروندان به خود اختصاص داده است. همچنین نسبت رضایت شهروندان از تاکسی، خودروی شخصی و اتوبوس تا حدودی یکسان می باشد (قربانی و همکاران، 1392 و مبهوت و فعال، 1392). در این راستا اقدامات زیادی برای رفع مشکلات ترافیکی مشهد انجام شده که از آن جمله می توان به احداث خط یک قطار شهری به طول 24 کیلومتر، بهره برداری از 14/5 کیلومتر از خط دو قطار شهری و 4/7 کیلومتر ادامه خط دو، پیشرفت حفاری بیش از 50 درصدی خط سه به طول 28/5 کیلومتر و آغاز تجهیز کارگاه خط چهار به طول 21/7 کیلومتر اشاره کرد (شانزدهمین آمارنامه حمل و نقل مشهد، 1399). علی رغم همه این توسعه ها اما هنوز خطوط قطار شهری در مشهد بسیار محدود است و همچنان ساینده های حمل و نقل درون شهری، اثرات فزاینده ای بر آلودگی محیط زیست دارد (نورالهی و برکپور، 1393).

بنابراین بر مبنای مزیت های ذکر شده این مطالعه در نظر

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 توسعه یافته، توسعه حمل و نقل به‌طور مستمر در سطح اقتصاد کلان منجر به افزایش رشد و توسعه اقتصادی می‌شود (Saidi et al, 2018: 84).

نظریه‌های مختلفی در مورد کیفیت محیط زیست و ارتباط آن با رشد اقتصادی وجود دارد (Hakimi and Özokcu and Özdemir, 2017: 49؛ Hamdi, 2016: 640؛ Khan et al, 2021: 838). این واقعیت که تخریب محیط زیست برای دستیابی به رشد اقتصادی بالا ضروری است، یکی از بحث برانگیزترین موضوعات اقتصادی است که در آن سه رویکرد کلی وجود دارد. رویکرد اول به رابطه معکوس بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست می‌پردازد. براساس این رویکرد، سطوح بالاتر فعالیت اقتصادی به انرژی بیشتر نیازمند است و در نتیجه ضایعات و آلاینده‌های بیشتری تولید می‌نماید. رویکرد دوم رابطه مذکور را مستقیم برآورد می‌نماید و رشد اقتصادی را عاملی در حفظ کیفیت محیط زیست می‌داند. همچنین بیان می‌دارد که کوتاهترین راه برای بهبود کیفیت محیط زیست، طی مسیر رشد اقتصادی است، زیرا افزایش درآمد باعث افزایش تقاضا برای کیفیت محیط زیست می‌شود (پژویان و مراد حاصل، 1386: 144). آخرین رویکرد که فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتسⁱⁱ نامیده می‌شود، رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطی را بر اساس مراحل توسعه بیان می‌کند و آن را به صورت U معکوس نشان می‌دهد. بر اساس 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 منجر به کاهش منابع طبیعی و تخریب محیط زیست شود (Birdsall and Wheeler, 1993: 140) و شهاب و نصرآبادی، (1393: 142).

از عوامل مهمی که می‌تواند محیط شهر و شاخص‌های کیفی آن را تغییر دهد، حمل و نقل شهری است. ارائه خدمات حمل و نقل ارزان و مقرون به صرفه و در عین حال سازگار با محیط زیست منجر به افزایش رضایت استفاده‌کنندگان از این خدمات می‌شود (Carrasco et al, 2021: 184). از آنجا که مصرف سوخت در حوزه حمل و نقل برای تداوم خدمات حمل و نقل ارزان قیمت ضروری است، یکی از راهکارهای اساسی کاهش مصرف انرژی، حرکت به سمت جایگزینی حمل و نقل اتوبوس شهری با حمل و نقل ریلی شهری می‌باشد (Ma et al, 2020: 2). توسعه سیستم‌های حمل و نقل 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 2012-1970 نشان می‌دهد که مصرف انرژی در حوزه حمل و نقل به‌طور عمده منجر به انتشار دی اکسید کربن 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 2012-1975 نشان داده شده است که بین مصرف انرژی و آلودگی هوا و افزایش آلاینده‌ها همبستگی مثبت معنادار و رابطه علی یک طرفه در کوتاه مدت و در بلند مدت وجود دارد (Khan et al, 2016: 77). علیرغم وجود رابطه دو سویه بین رشد اقتصادی و حمل و نقل، بین حمل و نقل و تخریب محیط زیست رابطه یک طرفه وجود دارد (Saidi and hamami, 2017: 418). بنابراین، به منظور بهبود کیفیت هوا، کنترل مصرف انرژی جهت حل مشکلات آلودگی محیط زیست مهم است (Wang, 2005: 7). علاوه بر این افزایش تقاضای انرژی منجر به استفاده از سهم بیشتری از منابع انرژی فسیلی در ترکیب انرژی و در نهایت افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود. این درحالی است که تأثیر

(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 صورت گرفته، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

احمدزاده و همکاران (1402) به بررسی تأثیرات استفاده بهینه از وسایط حمل و نقل عمومی در جهت تقلیل ترافیک و آلودگی هوا در شهر تبریز پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که اهمیت شاخص‌ها، به ترتیب درصد اهمیت شان عبارتند از: ایمنی 0/499، آلودگی زیست محیطی 0/313، ارزانی 0/120 و راحتی 0/068 و در نهایت ارجح‌ترین گزینه مناسب از بین دو مد حمل و نقل موتوری، مد حمل و نقل عمومی با 0/778 نسبت به مد حمل و نقل شخصی 0/222، شناخته شده است.

نصرالهی و پوش دوزباشی (1399) به برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری شهرستان یزد پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که وسایل نقلیه عمومی در شهرستان یزد باعث انتشار سالانه 306 تن ذرات معلق، 730 تن هیدروکربور، 1424 تن مونو اکسید کربن، 68934 تن دی اکسید کربن، 389 تن دی اکسید گوگرد، 4 تن تری اکسید گوگرد و 666 تن مونو اکسید نیتروژن می‌شود. هم‌چنین، گازوییل عمده‌ترین سوخت مصرفی وسایل حمل و نقل عمومی است که آلاینده‌گی قابل توجهی را به دنبال دارد.

حق شناس و همکاران (1398) به بررسی تأثیر حمل و نقل بر آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که سه بخش اصلی که شامل: صنعت و حمل و نقل عمومی و خصوصی، مصارف خانگی و ریزگردها از عوامل ایجاد معضلات آلودگی هوا است که برای حل مشکل آلودگی باید فرهنگ سازی بین مسئولان و فعالان صنعت تا شهروندان انجام شود.

قاسمی و همکاران (1396) به بررسی مطالعه تطبیقی

منابع انرژی تجدید پذیر بر کاهش میزان آلاینده‌ها قابل توجه 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 صورت گرفته به طور 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 دارای تأثیر ناچیزی است (Yuan et al, 2010: 198). نتیجه بررسی در ایالات متحده از سال 1995 تا 2013 نشان داد که افزایش مالیات بر سوخت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت و آلودگی هوا می‌شود. مالیات‌های بالاتر نیز قیمت سوخت را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، مالیات بر سوخت تأثیر مثبتی بر قیمت سوخت و تأثیر منفی بر آلودگی هوا و انتشار دی اکسید کربن داشته است (Fukui and Miyoshi, 2017: 237). در ایران افزایش یک درصدی قیمت واقعی بنزین منجر به کاهش 0/14 درصدی انتشار کربن در کشور خواهد شد (طاهری و همکاران، 1396: 134). نتایج بررسی تأثیر مالیات بر انرژی و محیط زیست در چین نشان می‌دهد که افزایش 30 درصدی مالیات بر انرژی، باعث بهبود معنادار شاخص AQI می‌شود (Wang et al, 2018: 87).ⁱⁱⁱ 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 می‌دهد که رابطه حمل و نقل با انتشار گازهای گلخانه‌ای در این گروه از کشورها مثبت می‌باشد

اینکه تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از الگوی داده‌های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS) به بررسی مقایسه تأثیر استفاده از قطار شهری و اتوبوس بر کیفیت هوا در شهر مشهد انجام نشده است، با توجه به این خلاء پژوهشی، انجام چنین مطالعه‌ای حائز اهمیت است.

روش شناسی

ابتدا توسط کلاین و سوجو¹ (1989) در تدوین الگوهای اقتصادسنجی کلان ساختاری پایه گذاری شد و بعدها توسط گای سلز، سانتاکلارا و والکانو (2004) و گای سلز، سینکو و والکانو (2006) بسط داده شده است. در راستای شناساندن این الگو، ابتدا روش نمادگذاری متغیرهایی از الگو که دارای تواتر متفاوتی می‌باشند، بیان می‌گردد. از مهمترین مزایای الگوی داده‌های ترکیبی با تواترهای متفاوت (MIDAS)، پیش‌بینی زمان حال متغیر وابسته توسط جمله‌ای حاوی داده‌های جدیدالنتشار می‌باشد. همچنین این مکان را می‌دهد که متغیرهای سری زمانی سالانه، فصلی و حتی روزانه در کنار هم در یک رگرسیون قرار گیرند. تصور کنید $\{v_t\}_t$ و $\{x_t\}_t$ سری-های زمانی پایا با تواترهای متفاوت باشند، به گونه‌ای که y_t متغیر وابسته و x_t متغیر توضیح τ دهنده است. t واحد زمان مورد استفاده برای متغیر با تواتر پایین است. جهت برقراری ارتباط بین دو متغیر با تواترهای t و τ از ضرب s استفاده می‌شود. ضرب s کسری از فاصله زمانی بین $t-1$ و t تعریف شده است به صورتی که $m = \frac{1}{s}$ مشخص می‌کند که متغیرهای سری زمانی پرتواتر x_τ چند مرتبه در بازه زمانی مورد مشاهده واقع شده است. بنابراین $t = \tau \cdot m$ بوده و نتیجتاً، x_τ به تعداد m بار بیشتر از داده‌های سری زمانی y_t ظاهر می‌شوند. نماد x_t^m به مفهوم $x_\tau^m = x_t^m$ است. مثلاً، برای داده‌های ماهانه و فصلی، $m = 3$ است و بدان معنا است که در هر فصل، یک مشاهده از داده‌های

ارزیابی اثرات حمل و نقل بر آلودگی شهر تهران مطالعه موردی منطقه 18 و 5 تهران پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در منطقه 18 متغیرهای مورد مطالعه، آلاینده CO ایستگاه شادآباد را به میزان 0/16 تبیین کردند. همچنین در منطقه 5 مقدار بیشینه غلظت آلاینده CO در طول روز در ساعت 8 صبح می‌باشد و پایین ترین مقدار ثبتي در ساعت 15 در طول دوره 9 ساله آماری می‌باشد. قراگوزلو و همکاران (1391) تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا به تفکیک مناطق شهرداری کلانشهر تهران (منوکسید کربن) با بهره‌گیری از GIS پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مناطق مختلف شهر تهران به لحاظ شاخص‌های حمل و نقلی مورد استفاده در این پژوهش دارای شرایط متفاوت و غیر همگنی بوده و بنابراین در چارچوب فرضیه تحقیق بالطبع مناطق مختلف شهر تهران دارای نقش‌های متفاوت در آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهری می‌باشند.

با بررسی مطالعات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که 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 و یا زیر بخش‌های مورد مطالعه داشته است. الگوهای موجود حمل و نقل منتج به تحمیل هزینه-های سنگین محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی شده همچنین عامل مشکلاتی همچون افزایش مصرف انرژی، ترافیک خودروها، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی می‌باشند. اما از آنجا که حمل و نقل یکی از مهمترین مؤلفه‌های اقتصاد ملی است و به دلیل نقش زیرساختی که دارد تأثیر زیادی بر روند رشد اقتصادی کشورهایی چون ایران می‌گذارد و از آن می‌توان به عنوان یک استراتژی کلیدی در صیانت از منابع انرژی و بهبود کیفیت هوا در شهرهای بزرگ مانند کلان شهر مشهد دانست و نظر به

¹. Klein and Marquez

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

در این رابطه از یک الگوریتم عددی جهت یافتن پارامتری مطلوب برای مقدار $\hat{\theta}$ استفاده می شود که عبارت داخل پرانتز را حداقل می نماید، الگوریتم بکار گرفته شده با اعمال یک چرخه تکراری، عبارت داخل پرانتز را به صورت رابطه 3 حداقل می نماید:

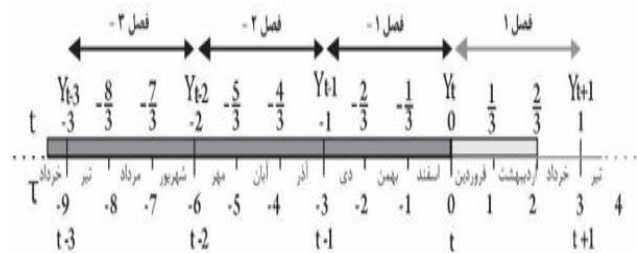
$$(y_t - \beta \sum_{j=0}^{j \max} w(j; \theta) \cdot L^j / m x_t) \quad \text{رابطه 3}$$

در این مطالعه، با تأکید بر معادله کیفیت هوا برای سیستم های حمل و نقل (قطار شهری و اتوبوس) ارائه شده توسط کای سلز و همکاران (2007: 121) و ما و همکاران² (2020: 5) مدل کلی زیر به صورت رابطه 4 طراحی و استفاده شده است:

$$AQI_t = \alpha_0 + \alpha_1 EC + \alpha_2 EP + \alpha_3 T + \alpha_4 N + \mu t \quad \text{رابطه 4}$$

متغیرهای به کار رفته در مدل عبارت انداز: AQI_t شاخص کیفیت هوا (برحسب گزارش روزانه کیفیت هوا) در دوره t ؛ به عنوان متغیر وابسته است در مشهد، این شاخص برای 6 آلاینده هوا: منوکسید کربن (CO)، ازن (O3)، دی اکسید نیتروژن (NO2)، دی اکسید گوگرد (SO2)، ذرات معلق زیر 2/5 میکرون (PM2.5) و ذرات معلق زیر 10 میکرون (PM10) اندازه گیری می شود. و منظور از t واحد مشاهده دوره زمانی است و بیانگر این است که شاخص کیفیت هوا بدون وقفه است. EC مصرف انرژی در بخش اتوبوس و قطار شهری به تفکیک (سرانه مصرف سوخت بخش اتوبوسرانی گازوییل (بر حسب واحد لیتر) و سوخت قطار شهری برق (بر حسب کیلووات/ساعت)) می باشد؛ 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

دوره فصلی و سه مشاهده از داده های دوره ماهانه خواهیم داشت. متغیری در مدل که داده های فصلی را در برمی گیرد، متغیر کم تواتر و متغیری که داده های ماهانه را شامل می شود، متغیر پر تواتر می باشد. نمودار 1 ارتباط بین تواترها نمونه گیری را نشان می دهد و شیوه نماد گذاری را بیان می کند. t زمان مربوط به متغیر با تواتر کم (مثلاً سالانه) و τ زمان مربوط به متغیر با تواتر بالا (مثلاً فصلی) است. قسمت کم رنگ نمودار، مربوط به داده های جدید در زمانی بعد از زمان t است و داده های بخش پر رنگ نمودار، داده های موجود تا زمان t را نشان می دهد.



نمودار 1- نمودار زمانی (نوفستی و همکاران، 1396)
کای سلز و همکاران¹ (2007) رگرسیون ساده میداس را معرفی نمودند. یک رگرسیون ساده میداس با توجه به متغیر توضیح دهنده با تواتر بالای x_τ و وقفه ها، به صورت رابطه 1 تصریح می گردد:

$$y_t = c_0 + \beta \sum_{j=0}^{j \max} w(j; \theta) \cdot L^j / m x_t^{(m)} + u_t \quad \text{رابطه 1}$$

در تفسیر پارامتری، الگوی میداس را می توان الگویی خطی تلقی کرد. اما با اعمال اوزان مربوط به وقفه های گسترده و تحمیل یک تابع قید پارامتری به الگو، از حالت خطی به حالتی غیر خطی تبدیل می شود. با توجه به مطالعه کای سلز و همکاران (2007) نیاز است تا از روش های غیر خطی NLS جهت برآورد ضرایب الگوی میداس بهره گرفت و به صورت رابطه 2، مجموع مربعات جمله اخلاص را حداقل نمود (بیات و نوفستی، 1394: 33).

². Ma et al

¹. Kaisels et al

4454، 6/218، و انحراف معیار 0/041، 70/41، و 0/43 است و N_1 و N_2 دارای میانگین به ترتیب 4/85 و 5/63 و انحراف معیار 3/37 و 4/12 می باشد.

هنگامی که داده های مطالعه دوره زمانی طولانی را شامل کردند، متغیرها را از لحاظ اینکه رگرسیون کاذب نداشته باشند با استفاده از آزمون های پایایی مورد بررسی قرار می دهند که از آزمون های پایایی دیکی فولر و آزمون KPSS استفاده می شود. اما در این مطالعه دوره زمانی بسیار کوتاه است و نیازی به بررسی پایایی متغیرها نیست چرا که دوره زمانی این تحقیق کمتر از حد معمول برای هر برآورد و حدود 10 سال است. برای بررسی مدل تحقیق دو حالت در نظر گرفته شده است. حالت اول اتوبوس و حالت دوم قطار شهری که در ادامه بیان گردیده است.

حالت اول: اتوبوس

با توجه به مبانی مطرح شده از ابتدای تحقیق تا این مرحله و نوع متغیرها با تواترهای متفاوت، در نتیجه الگوی مناسب برای این مطالعه الگوی میداس انتخاب گردیده است. نتایج حاصل از برآورد الگوی میداس با توجه به تابع معرفی شده و با استفاده از بسته نرم افزار midasr در محیط R که توسط کای سلز و همکاران (2007) تهیه شده، برآورده می شود و نتایج الگو در جدول 2 برای بخش اتوبوسرانی گزارش شده است.

جدول 2- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای اتوبوسرانی

p - مقدار	آماره آزمون	انحراف معیار	برآورد ضرایب	
0/004	-8/13	0/42	-3/43	Intercept
0/006	-6/9	0/09	-0/62	AQI ₁
0/044	-3/35	0/13	-0/44	Ep
0/034	3/69	2/03	7/48	Ec ₁
0/015	1/9	0/02	0/04	Ec ₂
0/099	-2/35	1/17	2/76	N ₁
1/000	0/008	1/08	8/73	N ₂
R ² = 0/927 Dwtest= 1/6979				
Sh.W.n.test W=0/90776 (P= 0/2659)				

استعلام از برق مشهد و شرکت توانیر مشهد می باشد؛ T تعداد وسیله نقلیه در بخش اتوبوس و قطار به تفکیک (تعداد اتوبوس ها و قطار هر سال متفاوت است)؛ N تعداد مسافر در بخش اتوبوس و قطار به تفکیک تعداد تراکنش های ثبت شده در هر دوره سازمان اتوبوسرانی و شرکت بهره برداری قطار مشهد و μt جزء اخلاص می باشد. 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 قطارشهری و اتوبوس - های 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 بهره برداری قطارشهری شهرداری مشهد می باشد. داده های شاخص کیفیت هوا از سال 1389 تا 1398 از سازمان محیط زیست مشهد تهیه شده است.

یافته های پژوهش

در این قسمت از پژوهش، به برآورد مدل پرداخته می شود، جدول 1، چکیده داده های آماری (Summary statistics) بکار رفته در این تحقیق را توصیف می کند.

جدول 1- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای اتوبوسرانی

متغیر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	بیشینه	کمینه
AQI ₁	6/14	0/10	0/30	6/52	5/20
Ep	1/015	0/0012	0/041	1/41	0/12
Ec ₁	4454	2260	70/41	41036	4116
Ec ₂	6/218	0/1258	0/43	6/28	3/32
N ₁	4/85	6/31	3/37	5/52	3/41
N ₂	5/63	3/80	4/12	5/60	5/36

بر اساس یافته های جدول (1) متغیرهای توضیح دهنده AQI₁ دارای میانگین 6/14 و انحراف معیار 0/30 است. Ec_1 ، Ec_2 و EP به ترتیب دارای میانگین 1/015،

نتایج الگوی میداس در جدول 2 نشان می‌دهد بجز متغیر N_2 که بی معنی می‌باشد، پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیح دهنده AQI_1 در سطح یک درصد، Ec_1 ، EP و Ec_2 در سطح پنج درصد و N_1 در سطح ده درصد معنادار هستند. در این مدل رگرسیون متغیر T (تعداد وسایط نقلیه ناوگان اتوبوسرانی به صورت سالانه) وارد شده است و پس از برآورد نتایج نشان داده شد که دچار اخلاص در مدل می‌شود و بر سطح معناداری سایر متغیرها اثر منفی می‌گذارد و از طرفی 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 گردیده 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 که از این وسایل نقلیه استفاده می‌کنند، می‌باشد. نتایج حاکی از این است که 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، لذا اعمال سیاست‌های سالیانه کاهش میزان آلاینده‌ها به دلیل انعطاف پذیر بودن سیستم حمل و نقل اتوبوسی و جایگزینی اتوبوس‌های گاز سوز به جای گازوئیل سوز و نوسازی و کاهش عمر ناوگان، در کاهش سطح آلاینده‌ها مؤثر می‌باشد. افزایش میزان مصرف انرژی که در اتوبوس

گازوئیل می‌باشد 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 رابطه‌ی 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 آلاینده‌ی دوره، آثار خود را به وضعیت کنونی شاخص AQI منتقل نموده 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 هوا نیز افزایش می‌یابد. در کلان شهر مشهد نیز که یکی از شهرهای بزرگ و صنعتی ایران محسوب می‌شود سهم مصرف انرژی نیز در آن بالا بوده که همین امر منجر به مطلوب نبودن شاخص کیفیت هوا شده است. نتایج نیز نشان می‌دهد سطح آلودگی هوا با مصرف بیشتر رابطه مستقیم داشته حتی مصرف دوره قبل نیز با پیامدهای زیست محیطی که به همراه داشته، کیفیت کنونی شاخص را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش قیمت سوخت گازوئیل، میزان استفاده از مصرف آن در بخش حمل و نقل 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 و از طرفی با کاهش سطح استفاده از سوخت-های فسیلی که منبع عظیم تولید آلاینده‌ی هستند، شاخص AQI نیز وضعیت بهتری را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر افزایش یک واحدی قیمت سوخت، منجر به کاهش

مشابه حالت اتوبوس، قطار شهری خط یک در مشهد به وسیله الگوی میداس در بسته نرم افزاری midasr در محیط R بررسی می شود و نتایج الگو در جدول 2 برای بخش قطار شهری گزارش شده است.

جدول 3- نتایج حاصل از برآورد ضرایب الگو برای قطار شهری

-p مقدار	آماره آزمون	انحراف معیار	برآورد ضرایب	
0/000	3/70e+11	-14 4/63e	0/0171	Intercept
0/000	3/17 e+12	-14 5/71e	0/181	AQI ₁
0/000	+14 -1/21e	-15 7/94e	0/958	EP
0/000	+13 -4/31e	-14 5/69e	-2/46	EC ₁
0/000	-1/30e+13	-14 3/81e	-0/004	EC ₂
0/000	-7/81e+11	-13 2/32e	-0/182	N ₁
0/000	-2/16e+11	-11 1/10e	-2/37	N ₂
0/98372= R ² Dwtest= 2/6721				
Sh-W.n.test W=0/9290 (P= 0/5074)				

نتایج الگوی میداس در جدول 3 نشان دهنده این است که تمامی پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیح دهنده در سطح یک درصد معنادار هستند. رابطه ضرایب متغیرها برای بخش قطار شهری با متغیر وابسته AQI، بیانگر این است که 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 مورد بررسی قرار گرفته و 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، 0/181 واحد افزایش می یابد. از آنجا که در قطار شهری امکان استفاده از سوخت جایگزین مانند اتوبوس وجود ندارد و نسبت به

شاخص AQI به میزان 0/44 واحد می گردد. همچنین می توان گفت با افزایش تعداد افرادی که از اتوبوس برای حمل و نقل شهری استفاده می کنند در میزان کیفیت هوا تأثیر مثبت گذاشته و حدود 2/76 درصد بهبود می یابد اما با افزایش تعداد وسایل نقلیه عمومی روزانه سرانه مصرف سوخت این ناوگان افزایش می یابد از جهتی سبب کاهش کیفیت هوا می گردد. اما نسبت به استفاده از خودرو های شخصی بهینه تر است. تعیین R² برای اندازه گیری آماری نزدیکی داده ها به خط رگرسیون برازش شده است. R² بالاتر نشان می دهد که در مدل رگرسیونی مقدار مشاهده شده به خط برازش شده نزدیک تر هستند. R²=0/927 در مدل برای بخش اتوبوس محاسبه گردیده است. همان طور که ملاحظه می گردد ضریب تعیین برآورد شده، حاکی از قدرت توضیح دهنده بالایی الگوی مدل برای بخش اتوبوس است. در مدل ذکر شده DW=1/6379 است که عدم وجود خودهمبستگی بین جملات خطا را نشان می دهد و مدل همبستگی پیاپی ندارند و دارای توزیع نرمال است و 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 می باشد و با توجه به اینکه این عدد نزدیک به 2 می باشد لذا می توان نتیجه گرفت که این مدل دارای عدم وجود خود همبستگی بین جملات خطا است.

آزمون بعدی مورد بررسی در مدل میداس، آزمون شاپیرو و ویلک است. فرض صفر این آزمون به صورتی است که نمایانگر توزیع نرمال برای داده ها است. فرض مقابل عدم نرمال بودن داده در نظر گرفته می شود. معمولاً به منظور تعیین وضعیت رد یا عدم رد فرض صفر به مقدار احتمال (P-value) اکتفا می شود. در مدل W=0.9077 (P= 0.2659) است بنابراین با توجه به مقدار احتمال آزمون چون کمتر از 0/05 نیست فرض صفر رد نمی شود و داده ها نرمال هستند.

حالت دوم: قطار شهری

متغیرهای مستقل به خوبی تبیین شده است. با توجه به آماره دوربین واتسون به مقدار $DW = 2/67$ ، جملات اخلال الگو همبستگی پیاپی ندارند و دارای توزیع نرمال هستند و مدل به خوبی تصریح شده است.

در ادامه مشابه حالت اتوبوس آزمون شاپیرو وویلک مطرح می شود که مقدار (P-Value) آن تعیین کننده تأیید فرض صفر یا عدم تأیید فرض صفر است. همان طور که مشاهده می شود ($P = 0.5074$) $W = 0.9290$ مقدار احتمال از $0/05$ کمتر نیست و فرض صفر رد نمی شود پس نتیجه نشان می دهد که داده های نمونه از یک جامعه نرمال استخراج شده است.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از برآورد به روش الگوی میداس برای دو بخش اتوبوس و قطار شهری طی سال های 1398-1389، رابطه معنادار بین الگوی میداس شاخص کیفیت هوا برای بخش اتوبوسرانی و بخش قطار شهری قابل توصیف است. مقایسه نتایج در بخش اتوبوسرانی و قطار شهری نشان می دهد 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 چالش می کشد. قطار شهری به عنوان یک مد حمل و نقل عمومی ایمن، اقتصادی و پاک نسبت به اتوبوس، نیاز اصلی کلان شهر مشهد است. از آنجا که اولاً در دوره زمانی مطالعه حاضر تنها یک خط قطار شهری به طور صد درصدی مورد بهره برداری قرار گرفته و سایر خطوط قطار شهری لحاظ نشده اند و ثانیاً اعمال تغییرات در بازه زمانی بلندمدت ملموس خواهد بود و برای دوره زمانی کوتاه، قابل لمس نیست، در نتیجه همان گونه که ملاحظه گردید تغییرات بخش اتوبوسرانی شاخص کیفیت هوا را بیشتر تحت تأثیر قرار داده اند. اهم دلایل آن عبارت اند از: 1. این بخش طی سالیان گذشته تاکنون توسعه یافته است و تقریباً

اتوبوس از انعطاف پذیری کمی در اعمال سیاست ها برخوردار است، میزان آلایندگی با یک وقفه و شاخص AQI رابطه مثبت و معنا داری دارند. قیمت اثر منفی بر متغیر وابسته دارد به عبارت دیگر با افزایش یک واحدی در قیمت سوخت، شاخص میزان آلایندگی هوا به اندازه $0/958$ واحد کاهش یافته و از حجم آلاینده ها کاسته می شود و متعاقباً بهبود کیفیت هوا را بدنبال دارد. میزان تأثیرگذاری مصرف برق قطار شهری در جهت عکس و نسبت به مصرف گازوئیل بخش اتوبوسرانی بر شاخص کیفیت هوا کمتر است. علت این امر می تواند میزان اثرگذاری بیشتر سوخت های فسیلی بر افزایش سطح آلاینده ها و در نتیجه آلودگی بیشتر هوا باشد. نتایج نشان می دهد که افزایش یک واحد در مصرف انرژی (برق) در قطار شهری در نتیجه ی افزایش تعداد سفرهای قطار و کاهش زمان انتظار مسافران شبکه حمل و نقل عمومی در حالت یک وقفه باعث $2/46$ واحد و افزایش یک واحد در مصرف انرژی برق در حالت دو وقفه باعث $0/004$ واحد کاهش در سطح آلاینده ها و شاخص میزان آلایندگی هوا و در نتیجه بهبود کیفیت هوا می شود. همچنین تعداد مسافران جابه جاشده با قطار شهری در حالت یک و دو وقفه با شاخص کیفیت هوا رابطه معکوس دارد و تأثیر منفی و معناداری بر متغیر وابسته می گذارند. به عبارت دیگر با افزایش یک واحد تعداد مسافران جابه جا شده با قطار شهری در حالت یک وقفه و دو وقفه، شاخص کیفیت هوا به ترتیب به اندازه $0/182$ و $2/37$ واحد کاهش می یابد. در واقع با تغییر گرایش مسافران حمل و نقل عمومی به استفاده از قطار شهری به جای اتوبوس، همانند آنچه با بهره برداری از خطوط قطار شهری مشهد مشاهده می گردد، بر تعداد مسافران قطار شهری به نسبت خطوط اتوبوسی افزوده شده است. ضریب تعیین الگو معادل $R^2 = 0/98$ برآورد شده است که نشان از قدرت توضیح دهنده گی بالای مدل دارد به این مفهوم که تغییرات متغیر وابسته به وسیله

تمامی ظرفیت های اتوبوسرانی در شهر مشهد به کار گرفته شده است. 2. علاوه بر مناطق اصلی و مرکزی شهری، مناطق حاشیه ای را تحت پوشش قرار داده است. 3. دسترسی به ایستگاه های اتوبوس نسبت به قطار شهری آسان تر می باشد. 4. امکان اتصال ایستگاه های اتوبوس به سایر مدهای حمل و نقل عمومی بیش از ایستگاه های قطار شهری می باشد. 5. هزینه سفر با اتوبوس ارزان تر از قطار شهری است. اما بخش قطار شهری به علت:

1. عدم دسترسی همگانی شهروندان در اقصی نقاط شهر مشهد به قطار شهری
2. اختصاص دادن زمانی بیشتری برای رسیدن به ایستگاه قطار شهری نسبت به رسیدن به ایستگاه اتوبوس
3. عدم تکمیل سایر خطوط قطار شهری سبب گردیده در دوره مطالعه میزان اثرگذاری خود را نسبت به اتوبوس کمتر نشان می دهد.

البته این امر یک مسئله کوتاه مدت است و با تقویت این بخش حمل و نقل عمومی پاک (قطار شهری) و گسترش و راه اندازی سایر خطوط، نقش قطار شهری در سال های آتی بسیار پررنگ و حائز اهمیت تر خواهد شد و تأثیر آن در کاهش میزان آلاینده های هوا ملموس تر خواهد بود. نتایج به دست آمده از پژوهش بر اساس فرضیات ارائه شده مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل شده حاکی از آن بود که فرضیه اول تحقیق مورد تأیید می باشد. بنا به مطالعات صورت گرفته شده در خصوص نقش قطار شهری بر کاهش سطح آلاینده های خصوصاً در کلان شهرها، نشان داده شده که به عنوان یکی از بهترین، اقتصادی ترین و پاک ترین انواع سیستم های 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 مزیت های قطار شهری نسبت به سایر وسایل حمل و نقل

اعم از خصوصی و عمومی است. که در این پژوهش نیز لزوم استفاده از قطار شهری به منظور کاهش سطح آلاینده های تأیید شده است. اما نتایج برای فرضیه دوم تحقیق نیز رد می گردد و این در حالی است که نقش اتوبوس در مقایسه با قطار شهری پررنگ تر است. در واقع استفاده از حمل و نقل عمومی اگرچه نسبت به حمل و نقل خصوصی آلاینده های کمتری را تولید می نماید اما به طور ویژه در ایجاد سطح آلاینده های محیط زیست نقش دارد که جایگزینی آن با سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری بسیار اثربخش می باشد که در واقع تجربه کشورها بیانگر این نکته است. در این پژوهش تأثیرگذاری سیستم قطار شهری نسبت به اتوبوس می تواند به این علت رد شده باشد که سایر خطوط قطار شهری مشهد در دوره مطالعه راه اندازی نشده اند و تنها یک خط ریلی مورد مطالعه قرار گرفته است. بر خلاف اینکه ناوگان اتوبوسرانی توسعه یافته و تمام سطح شهر مشهد را پوشش می دهد و تأثیر آن اثبات شده، دلیلی بر این نتیجه آماری است که قطار شهری اثرگذاری کمتری نسبت به اتوبوس بر شاخص کیفیت هوا دارد. از سوی دیگر توجه به این نکته ضروریست که تفاوت های محیطی، فرهنگی، تاریخی و سیاسی و اجتماعی شهرهای مختلف کشور، بر میزان استفاده شهروندان به استفاده از یک مد حمل و نقل تأثیر می گذارد. بنابراین بایستی به فرهنگ سازی در زمینه استفاده از قطار شهری در میان شهروندان شهر مشهد نیز اشاره نمود که دلیلی بر اثربخشی بیشتر اتوبوس نسبت به قطار شهری باشد که افراد تمایل بیشتری به استفاده از اتوبوس نسبت به قطار شهری دارند.

همچنین نتایج نشان داد که فرضیه سوم تحقیق هم مورد تأیید می باشد و بیان می گردد که قیمت انرژی بر شاخص کیفیت هوا تأثیرگذار است و با افزایش قیمت انرژی، میزان آلاینده ها کاهش می یابد زیرا بین متغیر قیمت انرژی و شاخص کیفیت هوا در هر دو تابع مورد بررسی،

رابطه معکوس و معناداری وجود دارد. از آنجا که مصرف حامل‌های انرژی تأثیر مستقیمی بر آلودگی هوا داشته بنابراین افزایش قیمت حامل‌های انرژی منجر به کاهش تقاضای آن‌ها و نهایتاً کاهش مصرف و تولید آلاینده‌گی 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 از سویی دسترسی به آمار و داده نیز مهیا گردد. در این صورت تأثیر آن بر میزان آلودگی هوا قابل توجه خواهد بود و در نتیجه منجر به بهبود شاخص کیفیت هوا می‌گردد. از سوی دیگر بایستی به درصد تمایل افراد به استفاده از قطار شهری نیز اشاره نمود که همزمان با تقاضای بیشتر افراد به استفاده از خطوط ریلی شهری، سطح استفاده از وسایل نقلیه خصوصی و عمومی نیز کاهش یافته 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 به عنوان راهکارهای سیاستی - پیشنهادی برای کنترل وضعیت آلودگی هوا در شهر 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 افزایش دسترسی آنها به نقاط مختلف کلان شهر مشهد، با هدف استفاده هر چه بیشتر شهروندان و زائرین را گسترش داد.

منابع

احمدزاده، حامد، کی منش، محمود رضا، مکانی بناب، سیاوش و غنی زاده، ایمان (1402). بررسی تأثیرات استفاده بهینه از وسایل حمل و نقل عمومی در جهت تقلیل ترافیک و آلودگی هوا در شهر تبریز، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره 23، شماره 68، 167-180.

آمارنامه شهر مشهد (1398). **کتاب آمارنامه و وبگاه آمار و داده‌های شهری مشهد (پروژه مشترک دفتر ارتباط با جامعه دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد و دفتر آمار، پژوهش و مطالعات راهبردی شهرداری مشهد)**. نشر نور، مشهد، ص 1-273.

بیات، محبوبه و نوفرستی، محمد (1394). **اقتصادسنجی کاربردی سری‌های زمانی: الگوهای داده‌های ترکیبی با توانر متفاوت**. نشر نور علم، تهران، ص 16-54.

پژویان، جمشید و مرادحاصل، نیلوفر (1386). «بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا». **فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)**، دوره 7، شماره 4، ص 141-160.

حق شناس، محمد علی، حاصلی، منا، اریک، حسنا و کشاورزآمامی، افسانه (1398). «تأثیر حمل و نقل بر آلودگی هوا در کلانشهر های ایران»، **دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت شهری**، تهران.

حداد حسن آبادی، منیره (1398). «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 (1394). «تحلیل تجزیه‌ای شاخص انتشار ترکیبات کربن (دی اکسید کربن و منوکسید کربن) در بخش‌های حمل و نقل و زیربخش‌های آن در ایران طی سال‌های 1390-1378». **فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی**، دوره 23، شماره 74، ص 117-150.

ساسان، عبدالحسین (1396). **اقتصاد جابه‌جایی و پژوهشی در راه‌های استان اصفهان**. جهاد دانشگاهی (دفتر مرکزی)، بخش فرهنگی، واحد فوق برنامه، تهران: ری، ص 1-358.

شانزدهمین آمار حمل و نقل شهر مشهد (2020). **معاونت نظارت و مهندسی شبکه حمل و نقل**. ص 1-40.

<https://www.traffic.mashhad.ir/>

شهاب، محمد رضا و ناصر صدرآبادی، سیده مروه (1393). «بررسی اثر سیاست‌های اقتصادی دولت بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب». **فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست**، دوره 16، شماره 2، ص 139-150.

شهرستان یزد»، **فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط**

زیست، دوره 22، شماره 2، ص 15-29.

نورالهی، حانیه و برکپور، ناصر (1393). «ارزیابی آثار احداث سیستم ریلی درون- شهری بر کیفیت محیط شهری مطالعه موردی

: خط یک قطارشهری مشهد». **فصلنامه مهندسی حمل**

ونقل، دوره 5، شماره 3، ص 393-412.

نوفروستی، محمد، وهرامی، ویدا و دشتیان فاروجی، سحر (1396).

«بررسی اثر تغییر ساختار سنی جمعیت بر مخارج مصرفی

دولت و پیشبینی تحولات آن به روش الگوی داده های

ترکیبی با تواتر متفاوت». **فصلنامه پژوهشهای**

اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، دوره 18، شماره 3،

ص 103-123.

Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., & Ozturk, I. (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., Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., & Cantos, J. M. (2017). Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels. *Energy policy*, 105, 386-397.

Angelevska, B., Atanasova, V., & Andreevski, I. (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., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F. (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., De Pretto, L., Thuppil, V., & Ashfold, M. J. (2019). Public awareness and support for environmental protection—A focus on air pollution in peninsular Malaysia. *PloS one*, 14(3), 1-21.

شهیدی، سید ابراهیم، اسماعیل پور قوچانی، محمد رضا و آجیلیان

ممتاز، شیوا (1397). «بررسی عوامل آلودگی هوای شهر

مشهد و راهکارهای مقابله با آن». **دومین کنفرانس بین**

المللی مهندسی آب و محیط زیست، تهران، ص

141-150.

طاهری، احسان، صادقی، حسین و عصارى آرانی، عباس (1396).

«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 17، شماره 3، ص 131-

157.

قربانی، محمد، حیدری کمال آبادی، رضا و کریمویی، حمید رضا

(1392). «ارزیابی رضایت شهروندان مشهد از خدمات

شبکه اتوبوس رانی شهری». **مشهد پژوهی**، دوره 2،

شماره 4، ص 25-47.

قاسمی، علی اصغر، اربابی سبزواری، آزاده و سهرابی، معصومه

(1396). «مطالعه تطبیقی ارزیابی اثرات حمل و نقل بر

آلودگی شهر تهران مطالعه موردی منطقه 18 و 5 تهران»،

فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، دوره 11،

شماره 39، ص 35-53.

قراگوزلو، علیرضا، آل شیخ، علی اصغر و سجادیان، مهیار (1391). «

تحلیلی تطبیقی بر نقش حمل و نقل شهری در آلودگی هوا

به تفکیک مناطق شهرداری کلانشهر تهران (منوکسید

کربن) با بهره گیری از GIS»، **فصل نامه جغرافیایی**

چشم انداز زاگرس، دوره 4، شماره 12، ص 21-40.

مبهوت، محمد رضا و فعال، فرنوش (1392). «ارزیابی عملکرد

سیستم اتوبوس های تندرو در کلانشهر مشهد با توجه به

رضایت شهروندان». **اولین کنفرانس معماری و**

فضاهای شهری پایدار، مشهد.

مرکز آمار ایران (1398). **نتایج سرشماری به تفکیک شهرستان**

ها در سال 1398. <https://www.amar.org.ir>

محمدی، فریبرز، مهرگان، نادر و قلی زاده، علی اکبر (1390).

«بررسی عوامل اقتصادی موثر بر تصادفات جاده ای در

ایران(1350-1388)». **پایان نامه کارشناسی ارشد**،

دانشگاه بوعلی سینا، ص 88-93.

نصرالهی، زهرا و پوش دوزباشی، هانیه (1399). «برآورد آلودگی

هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری

- Ma, F., Liang, Y., Yuen, K. F., Sun, Q., Zhu, Y., Wang, Y., & Shi, W. (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., Kellens, K., Tang, R., Chen, C., & Chen, G. (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., Shahbaz, M., & Akhtar, P. (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., Jiandong, W., Zaman, K., Elashkar, E. E., & Shoukry, A. M. (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., Liu, B., Niu, H., Liu, J., & Yao, S. (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., Liu, S., & Wu, J. (2010). The relationship among energy prices and energy consumption in China. *Energy Policy*, 38(1), 197-207.
- Eskeland, G. S., Jimenez, E., & Liu, L. (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., Sinko, A., & Valkanov, R. (2007). MIDAS regressions: Further results and new directions. *Econometric reviews*, 26(1), 53-90.
- Khan, M. M., Zaman, K., Irfan, D., Awan, U., Ali, G., Kyophilavong, P. ... & Naseem, I. (2016). Triangular relationship among energy consumption, air pollution and water resources in Pakistan. *Journal of cleaner production*, 112, 1375-1385.
- Khan, S. A. R., Godil, D. I., Qudus, M. U., Yu, Z., Akhtar, M. H., & Liang, Z. (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., Han, H. O., & Moon, Y. S. (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., Canadell, J. G., Xu, Z. Q., He, L., Yuan, Z., Zhang, D. ... & Liu, M. C. (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.

¹ Mixed Data Sampling (MIDAS) Regression Models

ⁱⁱ Environmental Kuznets Curve

ⁱⁱⁱ Air quality index (AQI)