پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۴،(۱۸)۱۰، ۱-۱۱

پژوهش و فناوری محیط‌زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۲۶۷۶

ارزیابی کاربرد رگرسیون سری زمانی در مدل‌سازی ارتباط بین ترافیک و آلاینده‌های هوای مشهد

امیر حیدری[۱]، میترا محمدی[۲]✉، رضا اسماعیلی[۳]، زینب خرم دل[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آلودگی محیط‌زیست، گروه علوم محیط‌زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

۲- استادیار و رئیس گروه علوم محیط‌زیست، گروه علوم محیط‌زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

۳- معاونت خدمات شهری شهرداری مشهد، مرکز پایش آلاینده‌های زیست‌محیطی، مشهد، ایران

۴- کارشناسی مهندسی منابع‌طبیعی- آلودگی‌های محیطی، گروه علوم محیط‌زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۸/۱۹

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۴/۱۲/۰۲

کلید واژه‌ها:
آلودگی‌هوا،
آلاینده‌های هوا،
ترافیک،
مدل سری زمانی،
کلان‌شهر مشهد

چکیده

هدف از این مطالعه، ارزیابی کاربرد رگرسیون سری زمانی در مدل‌سازی ارتباط میان ترافیک در تقاطع‌های امامیه، کریمی، خاقانی، چمن و خیام با غلظت آلاینده های PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2, CO بود. بدین منظور، پس از اخذ داده‌های ترافیکی و غلظت آلاینده‌های هوا، ارتباط بین پارامترهای مذکور توسط مدل سری زمانی ARIMA (۰،۱،۱) مورد آنالیز قرار گرفت. بررسی کاربرد رگرسیون سری زمانی نشان‌دهنده برازش مناسب و کارایی بالای مدل در پیش‌بینی متغیر وابسته به‌دلیل بزرگ بودن ضریب همبستگی است. رابطه بین ترافیک و غلظت آلاینده‌های NO_2، SO_2 و PM_{10} در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح ۰/۰۵ معنی دار بوده و در مورد آلاینده CO و $PM_{2.5}$ به ترتیب فقط در ایستگاه های خیام و خاقانی معنی‌دار نبوده است. ایستگاه چمن و خاقانی معنی‌دار بود و با افزایش هر یک واحد به ترافیک، به میزان ۰/۳۷۵ واحد در ایستگاه چمن و میزان ۰/۳۸۵ واحد در ایستگاه خاقانی به غلظت آلاینده های مذکور در سال ۱۳۹۶ افزوده می شود. همچنین، مشخص شد که غلظت تمامی آلاینده‌ها با بالا رفتن میزان تردد خودرو، افزایش می‌یابد.

✉پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mitramohammadi@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 2676-3060

Evaluation of the application of time series regression in modeling the relationship between traffic and air pollutants in Mashhad

Amir Hidari[1], Mitra Mohammadi[2]✉, Reza Esmaili[3], Zeinab khoramdel[4]

1- M.Sc. student in Natural Resources Engineering - Environmental Pollution, Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, Kheradgarayn Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, Kheradgarayn Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran,
3- Deputy of Urban Services of Mashhad Municipality, Environmental Pollutants Monitoring Center, Mashhad, Iran
4- B.SC. in Natural Resources Engineering- Environmental Pollution, Deoartment of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, Kheradgarayan Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
2025/02/02
Accepted:
2025/11/10
Available online:
2026/02/21

Keywords:
Air Pollution,
Air Pollutants,
Traffic,
Mashhad Metropolis,
Time Series Model

Abstract

The aim of this study was to evaluate the application of time-series regression in modeling the relationship between traffic at the Emamieh, Karimi, Khaghani, Chaman, and Khayyam intersections and the concentrations of PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2, and CO pollutants. For this purpose, after collecting traffic data and air pollutant concentrations, the relationships between these parameters were analyzed using the ARIMA (0,1,1) time-series model. The assessment of the time-series regression indicated a good fit and high predictive performance of the model due to the large correlation coefficient. The relationship between traffic and the concentrations of NO_2, SO_2, and PM_{10} was significant at the 0.05 level at all monitoring stations, while for CO and $PM_{2.5}$ it was not significant only at Khayyam and Khaghani stations, respectively. For the Chaman and Khaghani stations, the relationship was significant, and with each one-unit increase in traffic, the concentrations of these pollutants increased by 0.375 units at Chaman station and 0.385 units at Khaghani station in 2017. Moreover, it was found that the concentration of all pollutants increases with rising vehicle traffic.

✉ Corresponding author E-mail address: mitramohammadi@gmail.com

مقدمه

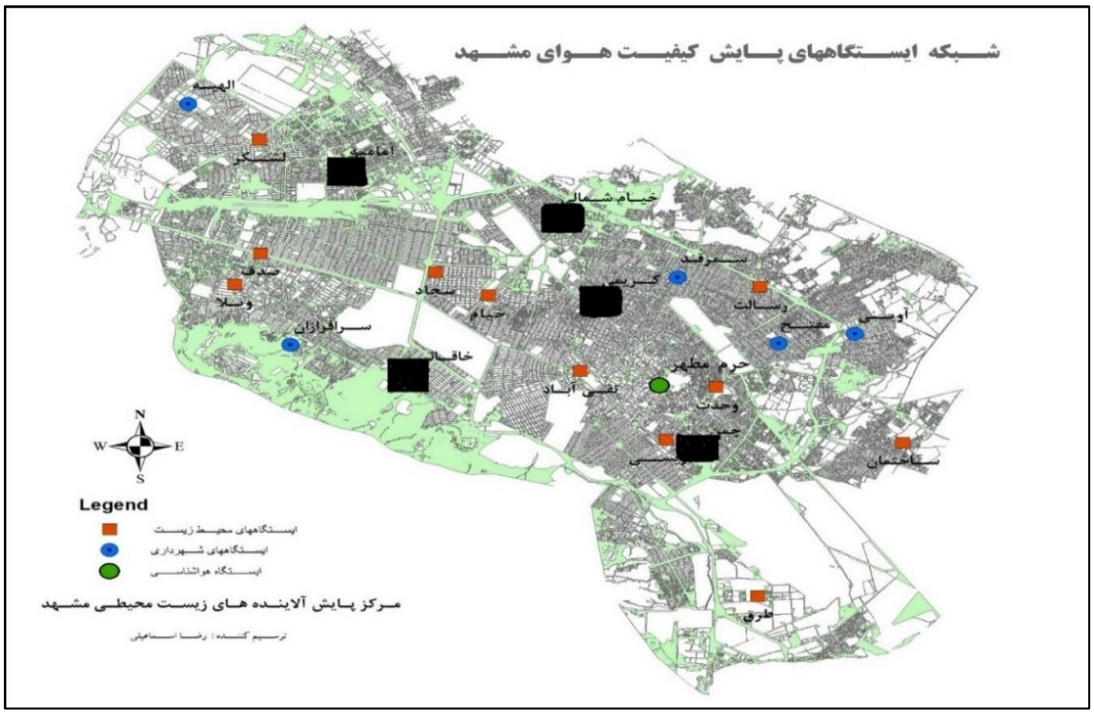
ورود آلاینده‌ها به یک محیط ممکن است موجب ناپایداری، اختلال، آسیب یا ناراحتی در آن محیط برای موجودات زنده شود که در این صورت آلودگی در آن محیط را به وجود می‌آورد (عقلمند، ۱۳۹۳، کرمانی و همکاران، ۱۳۹۵، طالبی و همکاران، ۱۴۰۲). با پیشرفت صنایع در کشورهای در حال توسعه، آلودگی‌هوا یک تهدید جدی برای سلامت و بهداشت عمومی است (واعظی و ذوالفقاری، ۱۴۰۳، چن و هوک، ۲۰۲۰ و هوانگ‌فو و اتکینسون، ۲۰۲۰). امروزه، آلودگی‌هوا به‌عنوان یکی از معضلات شهرنشینی و زندگی صنعتی مطرح بوده و طبعاً حیات موجودات کره زمین و زندگی تمام افراد جامعه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (اداوی، ۱۳۹۷). منابع‌طبیعی و انسانی زیادی موجبات این آلودگی را فراهم می‌کنند. گسترش شهرنشینی، افزایش بی رویه جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی رویه سوخت‌های فسیلی به‌شدت میزان آلودگی را افزایش داده است (غیاث‌الدین، ۱۳۹۶، رحمتی و همکاران، ۱۳۹۹). در کشور ایران، حمل و نقل و جریان‌های ترافیکی بیشترین علت آلودگی‌هوا را تشکیل می‌دهند (قنبری فرد و همکاران، ۱۳۹۶، فرولینگ و همکاران، ۲۰۲۱). قطار، کشتی، هواپیما و اتومبیل‌ها به‌عنوان منابع انسانی شهری همگی جزو آلوده کننده های هوا به‌شمار می‌آیند ولی در این میان اتومبیل‌ها بیشترین آلودگی را در سطح شهر ایجاد می‌کنند (والینگتون و همکاران، ۲۰۲۲). در دهه‌های اخیر با توجه به رشد سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت در شهرها، استفاده از وسایل‌نقلیه عمومی و خودروهای شخصی روز به‌روز در حال افزایش است که از پیامدهای آن می‌توان به وابستگی بیشتر به خودرو، سفرهای طولانی، افزایش هزینه‌های حمل ونقل و مهمتر از همه مخاطرات محیط زیستی و آلودگی هوا اشاره کرد (بی‌دوا و حسن‌زاده، ۱۳۹۷). کشورهای در حال توسعه به‌دلیل عدم کیفیت ماشین آلات و تکنولوژی مورد استفاده و کم توجهی به زیرساخت‌های حمل و نقل شهری به‌طور جدی تری در معرض آلودگی ناشی از ترافیک هستند (سماوی و همکاران، ۱۴۰۲). احتراق ناقص سوخت، فرسودگی خودروها، عدم معاینه فنی، سایش لاستیک‌ها و... از جمله عواملی هستند که به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم آلاینده‌هایی چون مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای گوگرد (SO_X)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، ازون (O_3)، ذرات معلق (PM)، CFC و غیره را وارد هوا می‌کنند (شکرزاده فرد، ۱۳۹۳، فایل و همکاران، ۲۰۲۲، دولت آبادی و همکاران، ۲۰۲۴). پایش مداوم کیفیت هوا به‌منظور تعیین آلاینده‌ها و شناسایی منابع انتشار آنها یکی از راهکارهای اساسی برای کنترل آلودگی‌هوا به‌شمار می‌رود و ترافیک و حمل و نقل بخش مهمی از طیف عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی خارج از بخش بهداشت و درمان است که بر سلامت اثرگذار است (صفرنژاد و همکاران، ۱۴۰۳). کلان‌شهر مشهد دومین شهر پرجمعیت ایران و اولین شهر مهم مذهبی کشور به‌شمار می‌آید و دارای جمعیتی بالغ بر ۳ میلیون نفر با وسعت ۱۷۳۵۸ کیلومتر مربع است. مشهد شهری زائرپذیر است که هر ساله میزبان حدود ۴ میلیون زائر است، لذا از این لحاظ نیز بار تردد بیشتری را نسبت به شهرهای دیگر ایران متحمل می‌شود، موقعیت جغرافیایی شهر مشهد و سوی وزش باد (از خاور به اختر) نیز بر آلودگی هوای آن افزوده است (رخساری طالمی و همکاران، ۱۳۹۶، بریدکاظمی و همکاران، ۱۳۹۸، غیبی و معزی، ۲۰۲۴). از این رو با توجه به فقدان مطالعات جامع و دقیق، همچنین، هزینه‌بر بودن و صرف زمان زیاد درباره چگونگی تأثیر تردد خودرو و ترافیک بر آلودگی هوای شهر و از طرف دیگر, چالش بزرگ مدیریت کلان‌شهرهای ایران برای کنترل آلودگی هوای ناشی از وسایل‌نقلیه موتوری، نیاز به استفاده و به‌کارگیری مدل‌های آماری است تا بتواند ارتباط بین ترافیک و آلودگی هوای شهر را به‌طور جامع و دقیق و در مدت زمان کوتاه و با هزینه کمتر نشان دهد (مددی و همکاران،۱۴۰۳). رگرسیون سری زمانی که حاصل مشاهده یک پدیده در طول زمان است و به بیان رابطه بین تغییرات جزئی‌تر سطح آلاینده‌ها در بازه‌های زمانی مشخص در یک جامعه می‌پردازد (رحیمی‌نژاد و همکاران،۱۴۰۲) می‌تواند گزینه مناسبی برای به‌کارگیری در پژوهش‌های مذکور باشد. از آنجایی که تاکنون از مدل رگرسیون سری زمانی در بررسی رابطه بین ترافیک و آلودگی‌هوا در شهر مشهد استفاده نشده است، لذا، هدف از انجام این پژوهش ارزیابی کاربرد رگرسیون سری زمانی در مدل‌سازی ارتباط بین ترافیک و آلاینده‌های هوای مشهد در سال ۱۳۹۶ است.

مواد و روش‌ها

تحقیق پیش رو بر آن است تا به ارتباط بین میزان تردد خودروهای عبوری در ۵ ایستگاه شهر مشهد از میان ۲۰ ایستگاه سنجش آلودگی‌هوا با میزان غلظت آلاینده‌های هوا (CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10}) بپردازد. جامعه آماری این تحقیق شامل تمامی ایستگاه‌های سنجش آلودگی‌هوا که شامل ۲۰ ایستگاه در سطح شهر مشهد است، بود.

الف) جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش، با توجه به موجودی داده‌ها در هر ایستگاه و نحوه پراکنش ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، تعداد ۵ ایستگاه به نام‌های کریمی، خیام، چمن، خاقانی و امامیه که دارای داده‌های کامل‌تر، نحوه پراکنش برتر و توپوگرافی‌های متفاوتی می‌باشند به‌عنوان نمونه آماری انتخاب و به‌کارگیری شده است. در (شکل ۱)، موقعیت ایستگاه‌های منتخب در نقشه شهر مشهد که به‌صورت مربع بزرگ نمایش داده شده است، قابل مشاهده است.



شکل (۱) موقعیت فضایی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای منتخب در شهر مشهد

داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای مد نظر، به‌صورت روزانه از مرکز پایش آلاینده‌های محیط‌زیست که زیر نظر معاونت خدمات و محیط‌زیست شهرداری مشهد است، اخذ شد. با توجه به اینکه داده‌های اخذ شده خام بوده و در بعضی از روزها به‌علت مشکلات در ایستگاه، فاقد داده یا دارای داده‌های ناقص بوده لذا نیاز به پردازش، ویرایش و دسته‌بندی داده‌ها است که پس از انجام، برای محاسبه و آنالیز آماده شد. در ادامه تقاطع‌های امامیه، خیام شمالی، خاقانی، کریمی و چمن برای سنجش میزان بار ترافیکی با توجه به میزان نزدیکی آن به ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای مورد مطالعه و نیز موقعیت استراتژیکی آن انتخاب شده و داده‌های خام مربوط به میزان تردد خودرو در تقاطع‌های مذکور در سال ۱۳۹۶ از مرکز کنترل ترافیک سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد جمع آوری شد. سپس داده‌های تقاطعات موردنظر به‌صورت روزانه به‌وسیله نرم‌افزار ScatsTR، پردازش شد. این داده‌ها تعداد تردد خودروهای گذری در طول یک شبانه‌روز را به ما خواهد داد که پس از پردازش و ویرایش برای آنالیز و محاسبه، آماده شد. جدول (۱) بیانگر موقعیت استراتژیکی هرکدام از معابر بر حسب نزدیکی فضای سبز، فضای تجاری-اداری، فضای آموزشی، اتوبان یا بزرگراه است.

جدول (۱) موقعیت راهبردی ایستگاه و تقاطع مورد نظر پژوهش

ردیف	نام ایستگاه: تقاطع	فضای سبز	فضای تجاری-اداری	فضای آموزشی	اتوبان یا بزرگراه
۱	امامیه: شاهد-امامیه	✔	✔	✔	✘
۲	خیام شمالی: خیام-هدایت	✔	✘	✔	✔
۳	خاقانی: خاقانی-پیروزی	✔	✔	✘	✔
۴	کریمی: حر عاملی-کریمی	✘	✔	✘	✘
۵	چمن: چمن-شیرودی	✔	✔	✘	✔

ب) تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، میزان تردد خودرو در تقاطع‌های مورد مطالعه به‌عنوان متغیر مستقل و غلظت گازها و ذرات معلق انتشار یافته از این خودروها شامل CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. به‌منظور بررسی میزان ارتباط بین متغیرها از مدل رگرسیون سری زمانی باکس جنکینز (مدل تلفیقی اتورگرسیون و میانگین متحرک معروف به ARIMA) در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده‌شده است. رگرسیون سری زمانی، به مدل آماری اطلاق می‌شود که مجموعه‌ای از مشاهدات درباره یک متغیر را که در نقاط گسسته‌ای از زمان اندازه‌گیری و بر حسب زمان مرتب‌شده‌اند، تحلیل می‌کند (خاورزاده و همکاران، ۱۳۹۶). تحلیل کمی داده‌ها در دو دسته اطلاعات توصیفی و استنباطی قابل‌تفسیر است. اطلاعات توصیفی شامل جداول فروانی، نمودارها و تمامی اشکالی که وضعیت میزان ترافیک عبوری و غلظت آلاینده‌ها را به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در این ایستگاه‌ها ترسیم می‌نمایند است. در اطلاعات استنباطی نیز از آزمون رگرسیون سری زمانی برای سنجش شدت و میزان ارتباط بین متغیرها استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

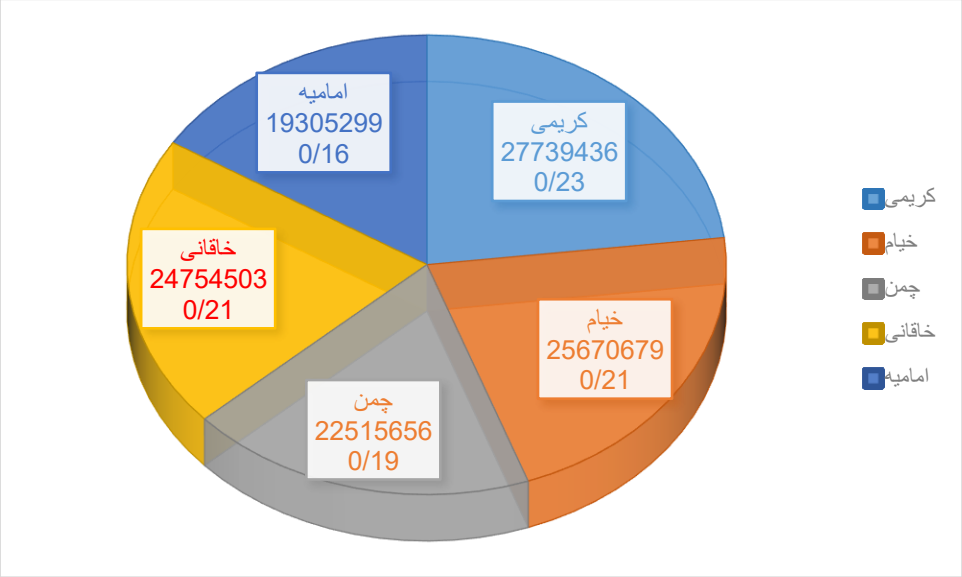
الف) ارزیابی توصیفی سالیانه میزان تردد خودرو و غلظت آلاینده‌های هوا در سال ۱۳۹۶

بر اساس مشاهدات جدول (۲)، که نشان دهنده میزان تردد خودروهای عبوری به‌صورت سالیانه در ۵ ایستگاه خاقانی، امامیه، کریمی، چمن و خیام است، می‌توان بیان کرد که بیشترین میزان میانگین تردد خودروها در سال ۱۳۹۶ مربوط به ایستگاه کریمی به میزان ۷۵۹۷۹ عدد است و کمترین میزان میانگین تردد مربوط به ایستگاه امامیه، به میزان ۵۲۹۱۲ عدد در سطح شهر مشهد است.

جدول (۲) میانگین تردد سالیانه خودروها از تقاطع

تقاطع	کریمی	خیام	چمن	خاقانی	امامیه
میانگین تردد سالیانه خودروها	۷۵۹۷۹	۷۰۳۳۱	۶۱۶۵۱	۶۷۸۳۶	۵۲۹۱۲

شکل (۱)، فروانی و درصد تردد خودروهای عبوری از هر یک از تقاطع‌های تحت نمونه در سال ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. همان گونه که از خلاصه نمودار دایره‌ای قابل بررسی است از مجموع تمام ترددهای انجام شده در ایستگاه‌ها در نهایت ۱۱۹۹۸۵۵۷۳ مورد ثبت شده است که آن رتبه اول مربوط به ایستگاه کریمی با ۲۳ درصد از کل ترددها، رتبه دوم ایستگاه خیام و خاقانی با ۲۱ درصد، رتبه سوم ایستگاه چمن با ۱۹ درصد و رتبه چهارم مربوط به ایستگاه امامیه با ۱۶ درصد از کل ترددها است.



شکل (۲) فروانی و درصد تردد خودروهای عبوری از تقاطع‌های تحت نمونه در شهر مشهد در سال ۱۳۹۶

نتایج شکل (۲) به‌خوبی نشان‌می‌دهد که ایستگاه کریمی شلوغ‌ترین ایستگاه و ایستگاه امامیه کمترین حجم تردد را در بین ایستگاه‌های انتخابی داشته است که می‌توان دلیل شلوغی ایستگاه کریمی را قرارگرفتن این ایستگاه در مرکز شهر و در مسیر منتهی به حرم مطهر دانست. جدول (۳)، میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های گازی CO، NO_2، SO_2 و ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در کل ۵ ایستگاه سنجش کیفیت هوای خاقانی، امامیه، کریمی، چمن و خیام را نشان‌می‌دهد که در آن میزان میانگین غلظت سالیانه آلاینده CO برابر ۱/۳۹۵ قسمت در میلیون و نیز غلظت سالیانه آلاینده NO_2 به میزان ۵۹/۸۸ قسمت در میلیارد بیشتر از میزان میانگین غلظت سالانه SO_2 با میزان ۹/۷۶۱ قسمت در میلیارد است. همچنین میزان میانگین غلظت سالانهPM_{10} به میزان ۴۹/۴۰۹ میکروگرم بر متر مکعب بیشتر از میزان میانگین غلظت سالانه $PM_{2.5}$ به میزان ۳۴/۵۹۷ میکروگرم بر متر مکعب است. ضمناً مشخص شد میزان میانگین غلظت کلیه آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} پایین‌تر از میزان استاندارد آستانه سلامتی مصوب سال ۱۳۹۰ است.

جدول (۳) میانگین غلظت سالیانه آلاینده‌های هوا در کیله ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در سال ۱۳۹۶

آلاینده هوا	میانگین غلظت سالیانه	واحد اندازه‌گیری
CO	۱/۳۹۵	قسمت در میلیون
NO_2	۵۹/۸۸۷	قسمت در میلیارد
SO_2	۹/۷۶۱	قسمت در میلیارد
$PM_{2.5}$	۳۴/۵۹۷	میکروگرم بر متر مکعب
PM_{10}	۴۹/۴۰۹	میکروگرم بر متر مکعب

ب) بررسی رابطه میان بار ترافیکی با غلظت گازهای آلاینده CO، SO_2 و NO_2 و ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در شهر مشهد توسط مدل سری زمانی

در این مطالعه، رابطه میان بار ترافیکی و غلظت گازهای آلاینده CO، SO_2 و NO_2 و ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ با استفاده از مدل تصادفی محض ARIMA (۰،۱،۱)، انجام گرفت. جدول (۴)، که آماره‌های آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} را نشان می‌دهد بیان می‌دارد که ضریب هم‌بستگی بین ترافیک و مقادیر برازش شده غلظت آلاینده‌های هوای شهری که در R-Squared دیده می‌شود، بزرگ بوده و خبر از برازش مناسب و کارایی بالای مدل در پیش‌بینی متغیر وابسته می‌دهد.

جدول (۴) پارامترهای تعیین رابطه میان تردد خودرو با غلظت آلاینده‌ها در سال ۱۳۹۶ توسط مدل سری زمانی

ایستگاه- آلاینده	تعداد پیش‌بینی ورودی	آماره تناسب مدل		Ljung-Box Q(180)			تعداد پیش‌بینی خروجی
		R- ثابت squared	R-squared	آماره	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	
کریمی -CO	۰	۰/۲۷۴	۰/۳۲	۳۴/۲۹۶	۱۷	۰/۰۰۸	۰
خیام -CO	۰	۰/۳۸۹	۰/۲۰۴	۱۶/۵۷	۱۷	۰/۴۸۴	۰
چمن -CO	۰	۰/۲۸۵	۰/۱۴۶	۴۹/۸۴۶	۱۷	۰	۰
خاقانی -CO	۰	۰/۱۸	۰/۲۸	۸۸/۱۸۸	۱۷	۰	۰
امامیه -CO	۰	۰/۴۶۹	۰/۳۳۵	۴۷/۸۳	۱۷	۰	۰
کریمی -NO_2	۰	۰/۰۴۱	۰/۱۳۲	۶۲/۶۲۱	۱۷	۰	۰
خیام -NO_2	۰	۰/۰۷۳	۰/۰۸۵	۷۵/۸۹۴	۱۷	۰	۰
چمن -NO_2	۰	۰/۰۳۷	۰/۵۳۸	۹۴/۰۸۲	۱۷	۰	۰
خاقانی -NO_2	۰	۰/۰۳۷	۰/۵۰۵	۵۹/۶۶۹	۱۷	۰	۰
امامیه -NO_2	۰	۰/۱۹۲	۰/۸۷۸	۷۳/۵۴	۱۷	۰	۰
کریمی -SO_2	۰	۰/۱۵۴	۰/۰۶۷	۳۴/۴۴۳	۱۷	۰	۰
خیام -SO_2	۰	۰/۴۱۴	۰/۳۷۹	۹۱/۲۳۴	۱۷	۰	۰
چمن -SO_2	۰	۰/۱۴۷	۰/۴۷	۸۶/۱۳۲	۱۷	۰	۰
خاقانی -SO_2	۰	۰/۱۷۴	۰/۳۴۵	۶۷/۰۱۴	۱۷	۰	۰
امامیه -SO_2	۰	۰/۳۱۱	۰/۴۷۸	۵۲/۸۰۳	۱۷	۰	۰
کریمی -$PM_{2.5}$	۰	۰/۲۴۲	۰/۲۶۵	۴۶/۲۳۵	۱۷	۰	۰
خیام -$PM_{2.5}$	۰	۰/۲۳	۰/۱۳۳	۳۹/۴۲۸	۱۷	۰/۰۰۲	۰
چمن -$PM_{2.5}$	۰	۰/۱۳۳	۰/۳۷۵	۵۱/۷۴۸	۱۷	۰	۰
خاقانی- $PM_{2.5}$	۰	۰/۱۱۷	۰/۳۸۴	۲۲/۶۲۶	۱۷	۰/۱۶۲	۰
امامیه -$PM_{2.5}$	۰	۰/۰۲۳	۰/۱۰۲	۳۳/۷۹۱	۱۷	۰/۰۰۹	۰
کریمی- PM_{10}	۰	۰/۲۵۵	۰/۲۱۵	۴۱/۰۲۳	۱۷	۰/۰۰۱	۰
خیام -PM_{10}	۰	۰/۲۱۶	۰/۲۰۲	۴۶/۴۱۸	۱۷	۰	۰
چمن-PM_{10}	۰	۰/۱۷	۰/۳۳۶	۴۳/۷۹۳	۱۷	۰	۰
خاقانی -PM_{10}	۰	۰/۱۲۲	۰/۳۸۵	۲۹/۳۸۳	۱۷	۰/۰۳۱	۰
امامیه -PM_{10}	۰	۰/۰۲۸	۰/۱۰۳	۳۲/۶۷۳	۱۷	۰/۰۱۲	۰

با توجه به نتایج تأیید شده مدل می‌توان ادعا نمود که رابطه بین میزان تردد خودرو و غلظت آلاینده CO در سطح معنی‌داری ۵ درصد، در ایستگاه‌های امامیه، کریمی، چمن و خاقانی معنی‌دار بوده و از آنجایی که اثر این رابطه در ایستگاه‌های مذکور مثبت است لذا می‌توان بیان کرد که با بالا رفتن میزان تردد خودرو، غلظت آلاینده CO نیز در این ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه امامیه با ضریب ۰/۳۳۵ و سپس ایستگاه کریمی با ضریب ۰/۳۲ و پس ازآن ایستگاه خاقانی با ۰/۲۸ و کمترین تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه چمن با ضریب ۰/۱۴ است.

در مورد آلاینده NO_2 می‌توان گفت غلظت این آلاینده در سطح معنی‌داری ۵ درصد، در ایستگاه‌های امامیه، کریمی، چمن، خاقانی و خیام معنی‌دار بوده و از آنجایی که اثر این رابطه در ایستگاه‌های مذکور مثبت است، لذا می‌توان گفت با بالا رفتن میزان تردد خودرو، غلظت آلاینده NO_2 نیز در تمامی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر آلایندگی NO_2 مربوط به ایستگاه امامیه با ضریب ۰/۸۷ و سپس ایستگاه چمن با ضریب ۰/۵۳ و پس از آن ایستگاه خاقانی و کریمی به‌ترتیب با ضریب ۰/۵۰ و ۰/۱۳ و کمترین میزان تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه خیام با ضریب ۰/۰۸ است.

غلظت آلاینده SO_2 نیز در سطح معنی‌داری ۵ درصد، در ایستگاه‌های امامیه، کریمی، چمن، خاقانی و خیام معنی‌دار بوده و از آنجایی که اثر این رابطه در ایستگاه‌های مذکور مثبت است لذا می‌توان گفت با بالا رفتن میزان تردد خودرو، غلظت آلاینده SO_2 نیز در تمامی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر آلایندگی SO_2 مربوط به ایستگاه امامیه با ضریب ۰/۴۷۸ و سپس ایستگاه چمن با ضریب ۰/۴۷ و پس ازآن ایستگاه خیام و خاقانی به‌ترتیب با ضرایب ۰/۳۷۹ و ۰/۳۴۵ و کمترین میزان تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه کریمی با ضریب ۰/۰۶۷ است.

اما در مورد آلاینده $PM_{2.5}$ بایستی بیان داشت غلظت این آلاینده در سطح معنی‌داری ۵ درصد، در ایستگاه‌های امامیه، کریمی، چمن و خیام معنی‌دار بوده و از آنجایی که اثر این رابطه در ایستگاه‌های مذکور مثبت است لذا می‌توان گفت با بالا رفتن میزان تردد خودرو، غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ نیز در تمامی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر آلایندگی $PM_{2.5}$ مربوط به ایستگاه چمن با ضریب ۰/۳۷۵ و سپس ایستگاه کریمی با ضریب ۰/۲۶۵ و پس ازآن ایستگاه خیام با ضریب ۰/۱۳۳ و کمترین میزان تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه امامیه با ضریب ۰/۱۰۲ است. همچنین، در مورد غلظت آلاینده PM_{10} می‌توان گفت در سطح معنی‌داری ۵ درصد، در ایستگاه‌های خاقانی، امامیه، کریمی، چمن و خیام معنی‌دار بوده و از آنجایی که اثر این رابطه در ایستگاه‌های مذکور مثبت است، لذا می‌توان گفت با بالا رفتن میزان تردد خودرو، غلظت آلاینده PM_{10} نیز در تمامی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر آلایندگی PM_{10} مربوط به ایستگاه خاقانی با ضریب ۰/۳۸۵ و سپس ایستگاه چمن با ضریب ۰/۳۳۶ و پس ازآن ایستگاه کریمی و خیام به‌ترتیب با ضرایب ۰/۲۱۵ و ۰/۲۰۲ و کمترین میزان تأثیر آلایندگی مربوط به ایستگاه امامیه با ضریب ۰/۱۰۳ است.

بحث و نتیجه‌گیری

اثرات ترافیک بر محیط‌زیست است و مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته تا بتواند میزان این اثرات، رابطه و عوامل دخیل در آن را مشخص کند. به‌منظور بررسی این رابطه پژوهشگران تاکنون، از روش‌های آماری مختلف، در فواصل زمانی متفاوت و در مناطق گوناگون به این مطالعه پرداخته‌اند. قنبری فرد و همکاران (۱۳۹۶)، مدل سازی تأثیرات جریان‌های ترافیکی بر آلودگی هوای شهر شیراز را مورد پژوهش قرار دادند و دریافتند مدل فیلتر کال من توسعه یافته غلظت آلاینده‌ها را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند (قنبری فرد و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی اثر ترافیک شهری بر کیفیت هوا به‌کمک مدل رگرسیون توسط محمودی و همکاران (۱۴۰۱) نیز نشان داد که مدل رگرسیون، نتایج قابل قبولی را در تمام موارد برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آلودگی هوا دارد (محمودی و همکاران، ۱۴۰۱). ارزیابی اثرات ترافیک شهری بر کیفیت هوای شهر تهران توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۷) انجام شد و نتیجه آن این بود که تعداد خودروها به‌تنهایی نمی‌تواند سبب شود تا معبری از جهت تولید آلایندگی در رتبه نخست قرار گیرد و مواردی چون شیب و سرعت نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). نصیری و همکاران (۱۴۰۳) نیز ارزیابی کیفیت هوای شهر تهران را بر اساس شاخص AQI در سال ۱۴۰۲ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که آلاینده $PM_{2.5}$ به‌عنوان آلاینده اصلی شهر تهران در سال مذکور بوده است (نصیری و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، یغمائیان و همکاران (۱۳۹۷) نیز ارزیابی کیفیت هوا را بر اساس شاخص AQI در شهر سمنان در سال ۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ذرات معلق مسئول اصلی آلودگی هوای شهر سمنان می‌باشند (یغمائیان و همکاران، ۱۳۹۷). در مورد آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} نیز پژوهش‌های زیادی توسط محققین ایرانی انجام شده که از آن جمله می‌توان به اتابکی و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد که بررسی تغییرات غلظت ذرات PM_{10} و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر ان در سال ۱۳۹۲ را در شهر زاهدان مورد بررسی قرار دادند و دریافتند شرایط هواشناسی نامطلوب ممکن است به افزایش غلظت PM_{10} منجر شود (اتابکی و همکاران، ۱۳۹۶). به‌علاوه، چرم زن و همکاران (۱۴۰۰) نیز ارائه بهترین الگوی درون یابی در توزیع مکانی ذرات معلق $PM_{2.5}$ را در شهر مشهد مورد پژوهش قرار دادند و توانستند نقشه‌هایی از وضعیت این آلاینده را در سطح شهر مشهد به‌دست بیاورند (چرمزن و همکاران، ۱۴۰۰).

در این مطالعه نیز که از روش آماری سری زمانی استفاده‌شده، تلاش بر این بوده تا رابطه بین تردد خودرو و غلظت آلاینده‌های هوا (CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10}) را در ۵ ایستگاه، امامیه، خاقانی، چمن، کریمی و خیام در شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ مورد بررسی و مطالعه قرار دهد. نتایج برازش مدل تصادفی محض (۰،۱،۱) ARIMA بیان کننده ارتباط معنی‌دار بین تردد و غلظت هر کدام از آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} بوده است. براساس این مدل، رابطه بین ترافیک و غلظت آلاینده NO_2، SO_2، PM_{10} در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده (P>۰/۰۵) و در مورد آلاینده CO و $PM_{2.5}$ به‌ترتیب فقط در ایستگاه‌های خیام و خاقانی معنی‌دار نبوده است. در واقع این مدل نشان‌می‌دهد که آلودگی هوای شهری متأثر از تردد خودرو است. در ادامه مشخص شد که این رابطه مثبت و به‌طور مستقیم است به‌گونه‌ای که با افزایش تردد خودرو و بار ترافیکی، غلظت آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} در سطح شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد در مورد سه آلاینده CO، NO_2، SO_2 بیشترین ضریب آلایندگی و یا تأثیرپذیری مربوط به ایستگاه امامیه است و با افزایش هر یک واحد به ترافیک در این ایستگاه، به‌ترتیب به میزان ۰/۳۳۵ و ۰/۸۷۸ و ۰/۴۸۷ واحد به غلظت آلاینده در سال ۱۳۹۶ افزوده می‌شود. در مورد آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} نیز به‌ترتیب بیشترین تأثیرپذیری مربوط به ایستگاه چمن و ایستگاه خاقانی است و می‌توان گفت با افزایش هر یک واحد به ترافیک، به میزان ۰/۳۷۵ در ایستگاه چمن به غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و به میزان ۰/۳۸۵ واحد به غلظت آلاینده PM_{10} آن در ایستگاه خاقانی در سال ۱۳۹۶ افزوده می‌شود. در ضمن این نتیجه نشان داد تمامی غلظت آلاینده‌های هوای مورد بررسی در این پژوهش (به‌غیر از آلاینده CO که به‌دلیل کوتاه بودن زمان ماندگاری فاقد استاندارد سالیانه است) در سال ۱۳۹۶ بالاتر از میزان حد استاندارد هوای پاک در ایران، است. همچنین، مشخص شد که غلظت آلاینده‌های هوای شهری علاوه بر بار ترافیکی به عوامل متعدد دیگری همچون شکل هندسی و شیب تقاطعات، سرعت خودرو، میزان زمان انتظار چراغ‌راهنما، تردد در تقاطعات مجاور، شرایط آب و هوایی، توپوگرافی، توسعه شهرنشینی و وجود عواملی چون اتوبان، فضای سبز و ساختمان‌های تجاری-اداری وابسته‌است. به‌گونه‌ای که در این مطالعه مشخص شد که ایستگاه کریمی علاوه بر داشتن بیشترین میزان تردد در رتبه دوم ضریب آلایندگی غلظت آلاینده CO قرار گرفته است و متضاد آن ایستگاه امامیه با کمترین تردد بیشترین تأثیرپذیری یا ضریب آلایندگی را از خود نشان می‌دهد. در صورتی که در مورد ذرات معلق می‌توان بیان داشت که نتایج داده‌های توصیفی با مدل سری زمانی هم‌خوانی داشته، به‌طوری که در مورد آلاینده PM_{10} بیشترین غلظت آلاینده در ایستگاه خاقانی بوده و بیشترین ضریب آلایندگی یا تأثیرپذیری نیز در ایستگاه خاقانی بوده است. بنابراین در مورد آلاینده‌های گازی، ایستگاه دارای بیشترین غلظت آلاینده نمی‌تواند بیشترین تأثیرپذیری را از میزان ترافیک داشته باشد ولی در مورد آلاینده‌های جامد (ذرات معلق)، ایستگاهی که بالاترین غلظت را داراست می‌تواند بیشترین تأثیرپذیری را نیز از میزان تردد خودرو، از خود نشان دهد. لذا می‌توان استنباط کرد که منابع مولد و عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش آلاینده‌های گازی هوا با آلاینده‌های جامد یا ذرات معلق متفاوت است.

سپاسگزاری

این مقاله منتج از پایان نامه کارشناسی‌ارشد، با عنوان ارزیابی کاربرد رگرسیون سری زمانی در مدل‌سازی ارتباط بین ترافیک و آلاینده‌های هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ بود. بدین وسیله از مسئولین محترم مرکز پایش آلاینده‌های محیط زیستی مشهد در خصوص همکاری در دریافت اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر مشهد کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

اتابکی، محمد رضا؛ سخایی، محمد؛ هویدی، حسن؛ پوته ریگی، محمد؛ کریمی منش، احسان (۱۳۹۶). بررسی تغییرات غلظت ذرات PM10 و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آن در سال ۱۳۹۲ (مطالعه موردی: زاهدان). مجله تحقیقات بهداشت محیط . ۳ (۳)، ۱۹۸- ۲۰۷.

اداوی، پگاه، (۱۳۹۷). آلودگی هوا در محیط و راهکارهای کاهش آن. کنگره بین‌المللی علوم مهندسی و توسعه شهری پایدار، دانمارک: دانشگاه پلی تکنیک دانمارک.https://civilica.com/doc/810427

بریدکاظمی، سیما؛ معینیان، خلیل الله؛ تقی پور، علی؛ ناصحی‌نیا، حمیدرضا (۱۳۹۸). بررسی ارتباط پارامترهای هواشناسی با روند تغییرات PM2.5 بر اساس شاخص AQI در مشهد طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۵. مجله دانشگاه علوم پزشکی ترتب حیدریه، ۷ (۲).

بیدوا، سید سجاد؛ حسن زاده، مرضیه (۱۳۹۷). بررسی زیست محیطی صنعت خودروسازی و راههای کاهش آلودگی های آن. مجله پژوهش و فناوری محیط زیست.۳(۴)، ۱-۷.

چرمزن، مریم؛ اسماعیلی، رضا؛ محمدی، میترا؛ مراد نژاد حصاری، وحید (۱۴۰۰). ارائه بهترین مدل درونیابی برای توزیع فضایی ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون شهر مشهد. پژوهش و فناوری محیط زیست، ۷(۳)، ۲۰۱-۲۱۵.

خاور زاده، رامین؛ کلانتری، نوید؛ کریمی، علی (۱۳۹۶). ارزیابی تأثیر حجم ترافیک در آلودگی هوای شهر مشهد به کمک سری های زمانی فصلی; ششمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران: ایران.

رحمتی، محمد حسین؛ مغانی، وحید؛ وصال، محمد (۱۳۹۹). بررسی اثر کوتاه مدت آلودگی هوا بر مرگ ومیر در شش کلان شهر در ایران۱۳۹۹. فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۲۰ (۲)، ۷۶-۵۳.

رحیمی نژاد، فاطمه؛ موسوی نیا، مهدی؛ کریمی پور، زهرا (۱۴۰۲). تحلیل داده های سری زمانی آلودگی هوا با استفاده از مدل های رگرسیونی: مطالعه موردی شهر تهران. نشریه پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۷(۲)،۹۵-۱۱۲.

رخساری طالمی، سمیه؛ ویسه، مهدیه؛ صیامی، قدیر (۱۳۹۶). مکان یابی بهینه ایستگاه‌های سنجنده آلودگی هوا با روش‌های همپوشانی و چند شاخصه AHPو TOPSIS (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری مشهد. پژوهشنامه خراسان بزرگ، ۸ (۲۶)، ۲۵-۳۸.

سماوی، محمدرضا؛ پناهی، مصطفی؛ عابدی، زهرا؛ احمدیان، مجید (۱۴۰۲). بررسی تأثیر به کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل و نقل (ITS) بر انتشار دی اکسیدکربن در محور کرج-چالوس. نشریه پژوهش و فناوری محیط زیست، ۲۵(۵)، ۱۱۱-۱۲۴.

شکرزاده فرد، الهام (۱۳۹۳). کاربرد روش ELECTRE در سطح بندی پتانسیل تراکم الاینده‌های هوا در سطح شهر تبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیای طبیعی گرایش آب و هوا، گروه آموزشی جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

صفر نژاد ثمرین، مهسا؛ شاهچراغی، آزاده؛ ذبیحی، حسین (۱۴۰۳). بررسی کیفیت هوا و ترکیب منابع آلاینده در استان مازندران: تحلیل منابع ثابت و متحرک. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۶(۶)، ۱۵-۳۱.

طالبی، حدیثه؛ امین‌زاده، فاطمه؛ دانشی، فاطمه؛ غلامی، مریم؛ نصیری، طناز (۱۴۰۲). آلاینده‌های نوظهور در محیط زیست: چالشها و راهکارها. هشتمین همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران: موسسه آموزش عالی مهر اروند, انجمن افق نوین علم و فناوری

عقلمند، فریبا (۱۳۹۳). بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر پتانسیل آلودگی هوای شهر تبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز.

غیاث الدین، منصور (۱۳۹۶). آلودگی هوا، منابع، اثرات و کنترل. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.

قنبری فرد، رضیه؛ صفوی، علی اکبر؛ ستوده، پیمان (۱۳۹۶). مدل‌سازی اثرات جریان‌های ترافیکی بر آلودگی هوای شهر شیراز. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۱)، ۱۵۷-۱۷۴.

کرمانی، مجید؛ آقایی، مینا؛ بهرامی‌اصل، فرشاد؛ غلامی، میترا؛ فلاح جوکندان، سودا؛ دولتی، محسن؛ کریم‌زاده، سیما (۱۳۹۵). برآورد تعداد موارد مرگ قلبی-عروقی سکته قلبی و بیماری مزمن انسداد ریوی ناشی از تماس با آلاینده دی‌اکسید گوگرد در هوای شش شهر صنعتی ایران، مجله علوم پزشکی رازی، ۱۴۵(۲۳)، ۱۳-۲۱.

محمدی، حسین؛ شمسی پور، علی اکبر؛ یاسیان، اکبر؛ مرادیان، مهرداد محمد (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات ترافیک شهری بر کیفیت هوای شهر تهران. مطالعات علوم محیطی . ۳(۳)، ۷۵۶-۷۶۸.

محمودی شراره، زهرا؛ شریفی، امیر؛ رمضانی، سعید (۱۴۰۱). بررسی تأثیر ترافیک بر انتشار PM2.5 با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) (مطالعه موردی شهر اصفهان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۴ (۴)، ۳۱-۴۵.

مددی، حسین؛ سفیانیان، علیرضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۴۰۳). شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا ناشی از ترافیک جاده‌ای برون شهری با استفاده از مدل CALPUFF (مطالعه موردی: استان لرستان). نشریه پژوهش‌های محیط زیست، ۱۵(۲)، ۲۰-۳.

نصیری، زهرا؛ ندافی، کاظم؛ احمدی ارکمی، علی؛ حسنوند، محمد صادق؛ فریدی، ساسان (۱۴۰۳). تغییرات مکانی و ارزیابی اثرات بهداشتی PM2.5 هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲. فصلنامه سلامت و محیط زیست، ۱۷(۴)، ۸۲۷-۸۴۴.

واعظی، ایمان؛ ذوالفقاری، قاسم (۱۴۰۳). مدلسازی و ارزیابی پراکنش ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NOX) خروجی از دودکش‌های کارخانه سیمان جوین با مدل AERMOD، گامی در راستای توسعه پایدار.مجله پژوهش و فناوری محیط زیست.۹(۱۵)، ۱-۱۴.

یغمائیان، کامیار؛ قباباخلو، صفیه؛ مزلومی، سجاد (۱۳۹۷). برآورد اثرات بهداشتی ناشی از آلاینده PM2.5 در هوای شهر سمنان در سال ۱۳۹. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، ۴(۳)، ۲۰-۳۳.

Chen, J., & Hoek, G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. Environment International, 143, 105974. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2020.105974.

Dowlatabadi, Y., Abadi, Sh., Sarkhosh, M., Mohammadi, M., & Moezzi, S. M. M. (2024). Assessing the impact of meteorological factors and air pollution on respiratory disease mortality rates: a random forest model analysis (2017–2021). Scientific Reports, 14: 24535.

Froeling, F., Gignac, F., Hoek, G., Vermeulen, R., Nieuwenhuijsen, M., Ficorilli, A., De Marchi, B., Biggeri, A., Kocman, D., Robinson, J. A., Grazuleviciene, R., Andrusaityte, S., Righi, V., & Basagaña, X. (2021). Narrative review of citizen science in environmental epidemiology: Setting the stage for co-created research projects in environmental epidemiology. Environment International, 152, 106470. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2021.106470.

Fussell, J. C., Franklin, M., Green, D., Gustafsson, M., Harrison, R., Hicks, W., Kelly, F., Kishta, F., Miller, M., Mudway, I., Oroumiyeh, F., Selley, L., Wang, M., & Zhu, Y. Y. (2022). A Review of Road Traffic-Derived Non- Exhaust Particles: Emissions, Physicolochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures. Environmental Science & Technology, 56(10), 6813-6835.

Gheibi, M., & Moezzi, R. (2024). Statistical Evalution of NO2 Emissions in Mashhad City Using Cisco Network Model. Gases, 4 (3), 273-294.

Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. Environment International, 144, 105998. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2020.105998.

Wallington, T. J., Anderson, J. E., & Dolan, R. H. (2022). Vehicular traffic in urban areas:Health burden and influence of sustainable urban planning and mobility. Atmosphere, 13 (4), 598.