Original article

Prediction of Traffic-induced Air Pollution in Suburban Roads using an Ozone Pollutant Modeling with a Regression Method

Gholamreza Darvishi[1]
Daryush Yousefi Kebria[2]
Majid Ehteshami[3]
Mahdi Asadi-Ghalhari[4]
Farshad Golbabaei Kootenaei[5*]

1- PhD Candidate, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
3- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
5- Postdoc Researcher, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, Campus of Engineering, University of Tehran

***Corresponding author:** Farshad Golbabaei Kootenaei, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, Campus of Engineering, University of Tehran Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: farshadgolbabaei@yahoo.com

Received: 05 November 2020
Accepted: 05 December 2020

ABSTRACT

Introduction and purpose: Nowadays, traffic-induced air pollution factors are classified as destructive to the environment. Regarding an increase in urbanization and the number of cars, transportation, and movement of passengers and citizens between cities, transportation systems should utilize mathematics scientifically and intelligent systems practically to move towards sustainable development and benefit from healthy air and transportation. This study aimed to investigate the effect of traffic parameters on air pollution of the suburban route of Sari-Qaemshahr road in Mazandaran province, Iran, regarding the atmospheric variables and ozone pollutants.

Methods: This study analyzed and modeled the ozone pollutant concentrations in the suburban route of Sari-Qaemshahr road. Moreover, the factors affecting the concentration of pollutants based on traffic and climate statistics were determined in this study. Additionally, it was attempted to investigate the relationship of air pollution with traffic variables, average speed, rainfall, temperature, humidity, and wind speed. Subsequently, SPSS software (version 16) and regression method were used to present a model that will be able to estimate the concentration of ozone pollutants on suburban roads with appropriate accuracy for the coming years.

Results: According to the proposed model for ozone pollutants, among the available variables, temperature, traffic volume, and wind speed had the greatest impact on ozone pollutants. Moreover, the results obtained from the validation showed the success rate of the proposed model in estimating pollution. In this study, the level of regression significance was above 95%. In addition, the 90% data contribution rate for ozone pollutants in the model has been satisfying.

Conclusion: According to the results, the modeling by a regression method and SPSS software is a suitable method for estimating ozone pollutants. The proposed model can control and manage pollution emissions in road design and construction.

Keywords: Air pollution, Ozone, Regression, Speed, Traffic

▶ **Citation:** Darvishi G, Yousefi Kebria D, Ehteshami M, Asadi-Ghalhari M, Golbabaei Kootenaei F. Prediction of Traffic-induced Air Pollution in Suburban Roads using an Ozone Pollutant Modeling with a Regression Method. Journal of Health Research in Community. Autumn 2020;6(3): 55-64.

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از ترافیک در راه‌های برون‌شهری با مدل‌سازی آلاینده ازن به روش رگرسیون

غلامرضا درویشی[1]
داریوش یوسفی کبریا[2]
مجید احتشامی[3]
مهدی اسدی قالهری[4]
فرشاد گلبابائی کوتنائی[5*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۵. پژوهشگر پسادکتری، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: فرشاد گلبابائی کوتنائی، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Email: farshadgolbabaei@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵

چکیده

مقدمه و هدف: امروزه عوامل آلودگی هوای ناشی از ترافیک به‌عنوان مخرب محیط‌زیست طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به افزایش شهرنشینی و رشد روزافزون خودروها و تردد و جابه‌جایی مسافران و شهروندان بین شهرها، باید با بررسی علمی و عملی، سیستم‌های حمل‌ونقل با دخالت علم ریاضی و سیستم‌های هوشمند به سمت توسعه پایدار و داشتن هوا و حمل‌ونقلی سالم حرکت کنند. هدف این مقاله بررسی اثر پارامترهای ترافیکی حمل‌ونقل بر آلودگی هوای راه‌های برون‌شهری در محور ساری-قائم‌شهر در استان مازندران با توجه به پارامترهای جوی و آلاینده ازن است.

روش کار: در این تحقیق به تحلیل و مدل‌سازی غلظت آلاینده ازن در محور برون‌شهری ساری-قائم‌شهر پرداخته شد. بدین ترتیب عوامل تأثیرگذار بر غلظت آلاینده‌ها بر پایه آمار ترافیکی و جوی مشخص و رابطه بین متغیرهای تردد، سرعت متوسط، میزان بارش، دما، رطوبت و سرعت باد و درنهایت رابطه آن‌ها با میزان آلودگی هوا بررسی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و روش رگرسیون، مدلی ارائه شد که قادر خواهد بود در خیابان‌های برون‌شهری، غلظت آلاینده ازن را با دقت مناسبی برای سال‌های آتی تخمین بزند.

یافته‌ها: با توجه به مدل ارائه‌شده برای آلاینده ازن، از میان متغیرهای موجود، میزان دما، میزان تردد و سرعت باد، بیشترین اثرگذاری را بر آلاینده ازن دارند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی، میزان موفقیت مدل در تخمین آلودگی را نشان داده است. در این تحقیق سطح معنی‌داری رگرسیون بیش از ۹۵ درصد بوده است. همچنین میزان مشارکت ۹۰ درصدی داده‌ها برای آلاینده ازن در ارائه مدل، حد بسیار مطلوبی بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، مدل‌سازی به روش رگرسیون و استفاده از نرم‌افزار SPSS برای تخمین آلاینده ازن روش مناسبی است. مدل ارائه‌شده می‌تواند در طراحی و احداث راه باعث کنترل و مدیریت انتشار آلودگی شود.

کلمات کلیدی: ازن، آلودگی هوا، ترافیک، رگرسیون، سرعت

◄ **استناد:** درویشی، غلامرضا؛ یوسفی کبریا، داریوش؛ احتشامی، مجید؛ اسدی قالهری، مهدی؛ گلبابائی کوتنائی، فرشاد. پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از ترافیک در راه‌های برون‌شهری با مدل‌سازی آلاینده ازن به روش رگرسیون. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۹؛۶(۳): ۶۴-۵۵.

مقدمه

امروزه در مناطق شهری، افزایش رشد شهرنشینی، گسترش استفاده از وسایل نقلیه و توسعه فعالیت‌های اقتصادی سبب شده

است آلودگی هوا به‌شدت افزایش یابد. رشد روزافزون ترافیک شهری و برون‌شهری و انتشار انواع آلودگی‌ها بشر را با خطرات جدی زیست‌محیطی مواجه کرده که اثرات آن در عرصه‌های سلامت جسمانی، روانی و ضررهای اقتصادی مشهود است [۱،۲]. برای ازبین‌بردن مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی هوای ترافیکی باید به روش‌هایی دست پیدا کرد تا بتوان با واردکردن علوم مختلف ازجمله ریاضی، کامپیوتر، مکانیک و غیره برای حل معضل آلودگی هوا به روش‌های کاربردی دست یافت؛ بنابراین، برای رسیدن به توسعه پایدار، داشتن محیط‌زیست و حمل‌ونقل سالم به ابزاری نیاز است که پروژه‌های مرتبط با حمل‌ونقل را با دقت مناسب و به‌صورت عددی ارزیابی کند [۵-۳]. در این خصوص مسئله اصلی این است که بتوان با واردکردن علم ریاضی در مسئله آلودگی هوا و ترافیک، میزان ظرفیت زیست‌محیطی راه‌های حمل‌ونقل را تعیین کرد؛ ظرفیتی که می‌تواند به‌عنوان فیلتر اصلی احداث راه باشد و موجب پیش‌بینی، کاهش و کنترل آلودگی هوا شود که بر اساس شرایط راه، ترافیک، محیط‌زیست و متغیرهای مؤثر بر آن به‌دست می‌آید [۶].

یکی از روش‌های علمی در بررسی این موضوع، مدل‌سازی است. با انجام مدل‌سازی و لحاظ‌کردن تمام شرایط مؤثر فوق می‌توان میزان ظرفیت زیست‌محیطی کمتر، برابر یا بیشتر از ظرفیت پایه حمل‌ونقلی را در مقایسه با حد استاندارد پیش‌بینی کرد. ظرفیت زیست‌محیطی ظرفیتی است که نه بر اساس حداکثر توان راه در عبوردادن ترافیک موتوری، بلکه با توجه به رعایت حداقل شرایط زیست‌محیطی در اطراف راه تعیین می‌شود و درواقع باید میزان آن کمتر از ظرفیت پایه حمل‌ونقل باشد [۷،۸]. تمام مسائل ذکرشده در راستای مطالعات در زمینه کاهش و کنترل آلودگی، مستلزم تحلیل کامل غلظت آلاینده‌هاست، به‌طوری‌که این موضوع در مکان‌هایی که ترافیک اصلی‌ترین منبع آلودگی هوا شناخته شده است به‌عنوان هدف اصلی انتخاب می‌شود [۹،۱۰]. مسئله ارزیابی کیفیت هوا در طرح‌های درون‌شهری و برون‌شهری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بسیار ضروری است و باید بیش‌ازپیش به آن پرداخته شود [۱۱].

ازن گازی است که مستقیماً منتشر نمی‌شود، بلکه به‌واسطه واکنش با محیط به وجود می‌آید و از نوع آلاینده‌های ثانویه است. ازن سومین گاز گلخانه‌ای قوی محسوب می‌شود. این آلاینده ثانویه بر اثر واکنش‌های فتوشیمیایی تشکیل می‌شود و غلظت آن در محیط، تابعی از شرایط جوی محیط است. ازن در کشاورزی سالانه موجب آسیب‌های کمّی و کیفی فراوانی بر محصولات زراعی می‌شود، به‌طوری‌که ۹۰ درصد از سمیت‌های گازی گیاهان ناشی از گاز ازن است. حیوانات و انسان‌ها نیز با قرارگیری در معرض مقادیر کمی از ازن دچار آسیب‌های تنفسی و نقص در سیستم بینایی می‌شوند [۱،۲،۵].

در تحقیقی که در زمینه انتشار و مدل‌سازی آلاینده SO_2 صورت گرفته، تمامی جوانب مرتبط به این آلاینده بررسی شده است. هدف کلی این تحقیق بررسی میزان انتشار آلاینده و طول عمر و ماندگاری آن در محیط است که با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به تحلیل آن و حد برگشت‌پذیری آن در شرایط جوی مختلف به محیط پرداخته شده است [۱۲]. Morena و همکاران در نپال تحقیقی با عنوان «مدل‌سازی انتشار آلودگی ناشی از حمل‌ونقل در عمق خیابان‌های باریک» انجام دادند. در این تحقیق از مدل CFD و مدل انتشار برای مونوکسیدکربن استفاده شد. بعد از مقایسه بین مدل‌ها، به این نتیجه رسیدند که نتایج CFD با نتایج OSPM مشابه است. در این تحقیق، به دلیل بسته‌بودن محیط و میزان زیاد آلودگی در خیابان‌های باریک، این نوع خیابان برای انجام مطالعات انتخاب شد. بعد از بررسی و مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها در محیط، نتایج و خروجی مدل در هر دو روش مقایسه شد و این خروجی به‌دست آمد که هر دو روش توانسته است به‌طور یکسان و مناسب، انتشار آلاینده‌ها را مدل کند [۱۳].

در سال ۲۰۰۵ در ترکیه، میزان ذرات معلق ۱۰ و ۲/۵ میکرون در کنار خیابان‌های برون‌شهری بررسی و توصیف آماری آن با

مدل‌سازی و تحلیل عددی انجام شد. در این تحقیق علاوه بر ارزیابی اثرات منفی ذرات معلق و تحلیل غلظت آن، پیشنهاد شد با جمع‌آوری و تمیز نگه‌داشتن شانه راه از گردوغبار می‌توان تا حد زیادی از انتشار آن در هوا جلوگیری کرد. در نتیجه‌گیری کلی تحقیق مدنظر، تصفیه و تمیزکردن اطراف راه در زمان بهره‌برداری و حتی بعد از بهره‌برداری در سال‌های بعد پیشنهاد شده است؛ زیرا با تردد و وزش باد در مسیر، گردوغبار اطراف راه در محیط پخش و سبب آلودگی محیط اطراف خواهد شد [۱۴].

در کنار تحقیقات انجام‌شده و استفاده از مدل‌هایی مانند RNG K-4، USM، CFD و روش‌های شبه‌ریاضی، تجربی و غیره، در این تحقیق از روش ریاضی رگرسیون استفاده و تحلیل مدنظر با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. تحلیل رگرسیونی تکنیکی آماری برای بررسی و تبدیل‌کردن به مدل ارتباط بین متغیرهاست [۴،۱۵،۱۶]. تحلیل رگرسیونی شامل قسمت‌هایی می‌شود که شکل‌دهنده آن است. برای تشکیل یک مدل رگرسیونی عواملی نظیر چندمتغیره بودن رگرسیون، مناسب‌بودن مدل و فرض‌های تأیید و سنجش مدل دخالت دارند [۱۷،۱۸]. برای سنجش مناسب‌بودن یک مدل رگرسیون چندمتغیره می‌توان از روش‌های متعددی استفاده کرد. تحقیق در اعتبار مدل، همبسته‌بودن خطاها، نرمال‌بودن خطا، ثابت‌بودن واریانس، تعیین ضریب همبستگی و اعتبارسنجی نهایی مدل بخش مهمی از فرایند تشکیل و تأیید مدل رگرسیون چندمتغیره است [۱۹،۲۰]. هدف این مقاله بررسی اثر پارامترهای ترافیکی حمل‌ونقل بر محیط‌زیست راه‌های برون‌شهری با توجه به پارامترهای زیست‌محیطی است.

روش کار

در این تحقیق، مدل‌سازی بر پایه متغیرهای ترافیکی (میزان تردد و سرعت متوسط)، متغیرهای جوی (میزان بارش، دما، میزان رطوبت و سرعت باد) و میزان آلاینده‌های موجود انجام و ارتباط بین متغیرهای جوی و ترافیکی با آلودگی هوا تعیین شد. در استان مازندران محور ساری-قائم‌شهر به‌عنوان مکان تحقیق تعیین شد. دلیل انتخاب این مکان این بوده است که در حال حاضر طبق اطلاعات سازمان حمل‌ونقل و راهداری و سازمان حفاظت محیط‌زیست استان مازندران، به‌عنوان یکی از سه نقطه مهم ترافیکی، پرتردد و آلوده محسوب می‌شود [۲۱،۲۲].

داده‌های مورد نیاز با استفاده از دستگاه‌های سنجش و بعضی منابع آماری جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به هواشناسی از سازمان هواشناسی مازندران به‌دست آمد که از ایستگاه سنجش ساری-قائم‌شهر برداشت شد. همچنین برای به‌دست‌آوردن داده‌های مربوط به میزان آلاینده ازن از دستگاه اندازه‌گیری BABUK- A استفاده شد که سطح حساسیت این دستگاه ۰/۰۱ است. دستگاه اندازه‌گیری در ساعات اوج ترافیک در سه نقطه از محور مدنظر قرار داده شد تا امکان اندازه‌گیری جامع و کامل میزان آلاینده ازن را فراهم کند.

به‌طورکلی، مراحل جمع‌آوری داده‌ها برای انجام این تحقیق، اندازه‌گیری و آماربرداری متغیرهای جوی، ترافیکی و سنجش آلاینده ازن کاملاً در زمان اوج ترافیک، طبق آمار سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای مازندران (ساعت پیک ترافیک برای محور مدنظر بین ساعات ۱۳:۳۰ تا ۱۵ بعدازظهر است) انجام شده است [۲۱،۲۲]. سنجش در هر ۴ فصل و برای هر فصل در ۲۰ روز عملیات اندازه‌گیری و سنجش انجام شد. در تمام دفعات، انجام ۳ تکرار رعایت شد. سپس با دردست‌داشتن داده‌ها و تمامی اطلاعات، مدل‌سازی روی آلاینده‌ها انجام شد.

مهم‌ترین بخش در مدل‌سازی، تعیین و مشخص‌کردن صحت مدل است. این کار با اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. در این تحقیق برای مدل‌های برون‌شهری ارائه‌شده، اعتبارسنجی به این شکل انجام شد که به‌طور تصادفی ۸ روز از سال ۱۳۹۷ (سال بعد از ارائه مدل) در ۴ فصل سال (در هر فصل دو روز)

انتخاب شد. در سال ۱۳۹۷ داده‌های مرتبط با اعتبارسنجی مدل تهیه شد و با قرارگیری در مدلی که با داده‌های سال ۱۳۹۶ ارائه شد، خروجی میزان آلاینده مطابق جدول ۶ و معادله ۱ برای آلاینده ازن سنجیده شد.

یافته‌ها

برای تعیین مدل بهینه آلاینده ازن، ابتدا ارتباط بین متغیرهای مختلف با میزان ازن تعیین شد. سپس بر اساس مطالعات آماری، مقادیر ضریب همبستگی مطابق جدول ۱ محاسبه شد. شکل ۱ پراکنش آلاینده ازن را نسبت به متغیرهای معنی‌دار نشان می‌دهد. بررسی و رسم پراکنش متغیرها نسبت به یکدیگر نشان‌دهنده این است که پارامترها و متغیرها به چه اندازه نسبت به هم مربوط هستند و با هم همبستگی دارند. همچنین با رسم پراکنش متغیرها نسبت به هم مشخص می‌شود که چه درجه‌ای از مدل را می‌توان برای آن برازش داد (مدل خطی، درجه ۲ و درجه ۳). برای اطمینان، در مرحله بعد از پراکنش، میزان همبستگی تعیین می‌شود و سپس برازش مدل انجام می‌گیرد [۲۳]. در مرحله بعد تحلیل واریانس و معنی‌داربودن رگرسیون مطابق جدول ۲ بررسی شد.

پس از تحلیل واریانس، برازش پارامترهای مدل مطابق جدول ۳ انجام شد. برآورد ضرایب با توجه به حذف متغیرها مطابق جدول ۴ نشان داده شده است.

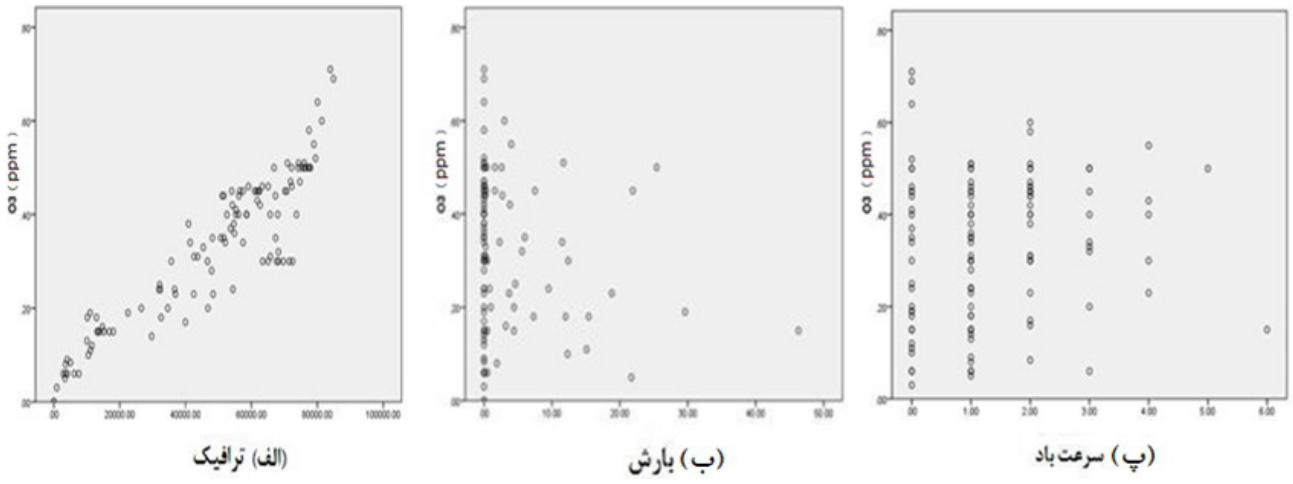
بنابراین، برای آلاینده ازن معادله ۱ حاصل شد:

$$O_3 = ۰/۰۴ + ۰/۰۰۴\,T - ۰/۰۰۷\,W + ۲/۱۵ \times ۱۰^{-۶}\,V + ۴/۴۹۳ \times ۱۰^{-۱۱}\,V^{۲} \quad (۱)$$

در این رابطه O_3، T، W و V به‌ترتیب بیان‌کننده پارامترهای ازن، دما، سرعت باد و ترافیک برحسب پی‌پی‌ام، درجه سانتی‌گراد،

جدول ۱: تعیین ضریب همبستگی برای آلاینده ازن

متغیرها	دما	رطوبت	بارش	سرعت باد	سرعت متوسط	ترافیک
همبستگی پیرسون	۰/۱۰۸	-۰/۱۴۲	-۰/۲۶۹	۰/۱۳۲	۰/۱۶۳	۰/۹۱۷
سطح معنی‌داری	۰/۲۴۸	۰/۱۲۸	۰/۰۴۸	۰/۰۱۵	۰/۱	۰/۰۰۰



شکل ۱: پراکنش آلاینده ازن نسبت به متغیرهای الف) ترافیک، ب) بارش و پ) سرعت باد

متر بر ثانیه و خودرو است.

پس از ارائه مدل، ضریب تعیین، همبسته‌بودن یا ناهمبسته بودن خطا توسط مقدار آماره دوربین–واتسون، نرمال‌بودن خطا مطابق جدول ۵ بررسی شد. برای رگرسیون سه فرض وجود دارد که عبارت‌اند از: نرمال‌بودن خطا، ناهمبسته بودن خطا توسط دوربین–واتسون و اینکه خطا واریانس ثابت دارد یا خیر. این سه فرض برای تأیید مدل هستند. همچنین آماره دوربین–واتسون باید بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد.

پس از تعیین آماره دوربین–واتسون و میزان ضریب تعیین R^2، بررسی نرمال‌بودن یا نرمال‌نبودن خطا مطابق شکل ۲ صورت گرفت. اعتبارسنجی مدل ازن با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده و معادله ۱ صورت گرفت که نتیجه آن در جدول ۶ آمده است. خروجی مدل، مناسب قلمداد می‌شود و می‌تواند آلودگی را تخمین بزند. در ادامه، میزان موفق‌بودن مدل، تحلیل و بررسی شد. تحلیل موفق‌بودن مدل بر اساس میزان MSE و R^2 است. اگر MSE به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی از MSE جدول تحلیل واریانس آلاینده مدنظر کوچک‌تر باشد یا اختلاف چندانی نداشته باشد، مدل برای پیش‌بینی موفق است. همچنین اگر R^2 به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی از R^2 موجود در جدول ضریب تعیین آلاینده مدنظر بزرگ‌تر باشد یا اختلاف چندانی نداشته باشد، مدل برای پیش‌بینی موفق عمل می‌کند.

جدول ۲: تحلیل واریانس مربوط به آلاینده ازن

خطاها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
خطای رگرسیون	۲/۴۲۱	۷	۰/۳۴۶	۱۱۷/۹۹۷	۰/۰۰۰
خطای باقی‌مانده	۰/۳۱۴	۱۰۷	۰/۰۰۳	–	–
خطای کل	۲/۷۳۵	۱۱۴	–	–	–

جدول ۳: تعیین ضرایب مربوط به آلاینده ازن

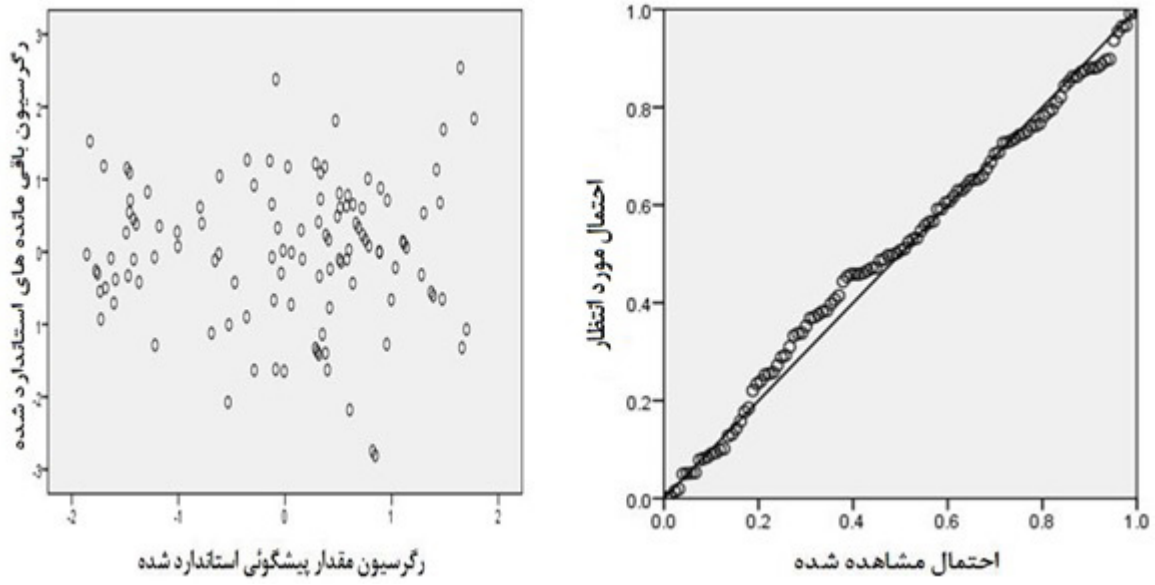
متغیرها	سطح معنی‌داری	آماره T	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد	
			ضریب β	خطای استاندارد	ضریب β
ضریب ثابت	۰/۵۸۸	-۰/۵۴۳	–	۰/۰۷۱	-۰/۰۳۹
دما	۰/۰۰۰	۶/۶۹۸	۰/۲۸۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
رطوبت	۰/۱۴۷	۱/۴۶۰	۰/۰۵۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
بارش	۰/۱۰۳	۱/۶۶۴	۰/۰۶۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
سرعت باد	۰/۰۲۹	-۲/۲۲۰	-۰/۰۷۸	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۰
سرعت باد	۰/۹۴۱	-۰/۰۷۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	$-۴/۳۸۷ \times ۱۰^{-۵}$
ترافیک	۰/۰۲۴	۲/۲۸۲	۰/۳۳۹	۰/۰۰۰	$۲/۱۶۱ \times ۱۰^{-۶}$
ترافیک	۰/۰۰۰	۴/۲۵۵	۰/۶۳۶	۰/۰۰۰	$۴/۷۰۷ \times ۱۰^{-۱۱}$

جدول ۴: ضرایب اصلاح‌شده مربوط به آلاینده ازن

متغیرها	سطح معنی‌داری	آماره T	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد	
			ضریب β	خطای استاندارد	ضریب β
ضریب ثابت	۰/۰۲۲	۲/۳۲۸	-	۰/۰۱۷	۰/۰۴۰
دما	۰/۰۰۰	۶/۳۱۱	۰/۲۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
سرعت باد	۰/۰۱۹	-۲/۵۷۳	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۷
ترافیک	۰/۰۲۶	۲/۲۵۹	۰/۳۳۹	۰/۰۰۰	۲/۱۵۷ × ۱۰$^{-۶}$
ترافیک	۰/۰۰۰	۴/۰۲۹	۰/۶۰۷	۰/۰۰۰	۴/۴۹۳ × ۱۰$^{-۱۱}$

جدول ۵: تعیین آماره دوربین-واتسون و ضریب تعیین مربوط به آلاینده ازن

آماره دوربین-واتسون	خطای استاندارد برآورد	ضریب تعیین تعدیل‌شده	ضریب تعیین R^2	میزان همبستگی
۱/۵۳۸	۰/۰۵۴۹۵	۰/۸۹۹	۰/۹۰	۰/۹۳۷



شکل ۲: تعیین احتمال نرمال و ارتباط مقدار پیشگویی با مقدار باقی‌مانده برای آلاینده ازن

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ضرایب همبستگی مطابق سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵، همبستگی بین میزان تردد، میزان بارندگی و سرعت باد، میزان انتشار آلاینده گازی ازن را نشان می‌دهد و میزان این

جدول ۶: اعتبارسنجی آلاینده ازن

فصل	تعداد روز	ازن اندازه‌گیری‌شده	ازن خروجی مدل
فصل بهار	۱	۰/۲۴	۰/۲۳
	۲	۰/۲۴	۰/۲۲
فصل تابستان	۱	۰/۱۸	۰/۱۵
	۲	۰/۳۵	۰/۳
فصل پاییز	۱	۰/۴	۰/۳۹
	۲	۰/۳۵	۰/۳۴
فصل زمستان	۱	۰/۵	۰/۵
	۲	۰/۴۵	۰/۴۲

همبستگی برای ترافیک بسیار زیاد است. سطح مناسب معنی‌داری برای انجام این نوع تحقیقات بیشتر از ۹۰ درصد تعیین شده است که در این تحقیق، این سطح برای بیشتر آلاینده‌ها به ۹۵ درصد رسیده است تا با این مقدار، معنی‌داربودن رگرسیون تعیین شود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل واریانس، معنی‌داربودن رگرسیون را روی متغیرها نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ و سطح معنی‌داری (Sig<۰/۰۵)، ضرایب مربوط به میزان تردد، سرعت باد و دما معنی‌دار است و بقیه متغیرها از سیکل برازش مدل حذف می‌شود. میزان ضریب تعیین R^2 نشان می‌دهد ۹۰ درصد از آلاینده ازن با متغیرهای مدل توضیح داده می‌شود. این مقدار برای تعیین میزان مشارکت داده‌ها در مدل است و آماره واتسون ناهمبسته‌بودن خطا را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که مشاهده شد، در قسمت سمت راست شکل ۲ مربوط به تعیین احتمال نرمال به دلیل نزدیکی نقاط نسبت به نیمساز، خطا نرمال است. همچنین در قسمت سمت چپ شکل ۲ مربوط به تعیین مقدار پیشگویی در مقابل خطا، مشخص است که هرچه در محور X نقاط به سمت جلو می‌روند، از پراکندگی نقاط کاسته می‌شود و شروع به نزدیک‌شدن نسبت به هم می‌کنند که این نشان‌دهنده ثابت‌بودن خطای واریانس است؛ بنابراین، پیش‌فرض‌های رگرسیون با توجه به آماره دوربین–واتسون، نرمال‌بودن خطا و ثابت‌بودن خطای واریانس برقرار است.

همان‌گونه که از جدول ۶ ملاحظه می‌شود، خروجی مدل مناسب قلمداد می‌شود و می‌تواند آلودگی را تخمین بزند.

بر اساس تحلیل، اگر MSE به‌دست‌آمده از MSE جدول تحلیل واریانس ازن کوچک‌تر باشد یا اختلاف چندانی نداشته باشد، مدل برای پیش‌بینی موفق است. MSE برابر ۰/۰۰۳ است، پس مدل فوق قابل اعتبار است. میزان R^2 واقعی برابر ۰/۸۷ است، ولی این مقدار برای محاسبات ۰/۷ است و مدل موفق است. سرانجام به علت برقراری این دو شاخص، مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی موفق خواهد بود.

در تحقیق حلیمی و همکاران از مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی آلودگی هوای مسیرهای شهری تهران استفاده شد که برای آلاینده ازن، مدل کرجینگ بهترین پاسخ را بیان می‌کرد [۲۴]. Rosenlund و همکاران در مطالعاتی روی آلاینده‌های هوای شهر رم به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون به‌خوبی می‌تواند این آلاینده‌ها را مدل کند و میزان آن‌ها را در آینده پیش‌بینی کند. در این مطالعات، همبستگی ۶۹ درصد به‌عنوان میزان همبستگی مناسب تحلیل شده است [۲۵]. نتایج مطالعات Wu و همکاران در شهر هاندان چین و تحقیقات Dun و همکاران در چیجیانگ چین در زمینه توانایی مدل رگرسیون بر پیش‌بینی آلودگی هوا تأییدکننده نتایج مقاله حاضر است [۲۶،۲۷].

با توجه به نتایج و مدل ارائه‌شده برای آلاینده ازن، مشخص شده است از میان متغیرهای موجود، میزان دما، میزان تردد و سرعت باد بیشترین اثرگذاری را بر آلاینده ازن دارند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی، میزان موفقیت مدل را در تخمین آلودگی نشان داده است. در تحلیل رگرسیونی، مبنا سطح معنی‌داری متغیرها نسبت به هم است که در این تحقیق، سطح

معنی‌داربودن رگرسیون، بیشتر از ۹۵ درصد بوده است. همچنین میزان مشارکت ۹۰ درصدی داده‌ها برای آلاینده ازن در ارائه مدل، حد بسیار مطلوبی است [۱۷].

به همراه نتایج مربوط به اعتبارسنجی، مدل ارائه‌شده با اثبات پیش‌فرض‌های رگرسیونی، میزان موفقیت خود را در این پژوهش بیان کرده است. همچنین مشخص شد مدل‌سازی به روش رگرسیون و استفاده از نرم‌افزار SPSS، برای تخمین آلاینده ازن روش مناسبی است. از مزایای مهم این روش این است که می‌تواند ارتباط بین متغیرها را نسبت به یکدیگر به‌خوبی و به‌طور مناسب تحلیل و بررسی کند. مدل ارائه‌شده می‌تواند کاربردهای متفاوتی داشته باشد؛ برای مثال، در طراحی و احداث راه استفاده از مدل‌های تخمینی می‌تواند باعث کنترل و مدیریت انتشار آلودگی شود. به این شکل که مدل می‌تواند با دردست‌داشتن شرایط جوی مکانی که قرار است راه در آن احداث شود و با داشتن میزان تردد طرح، در پروژه مدنظر میزان آلودگی‌ای را به‌دست آورد که خودروها با تردد در این راه تولید می‌کنند. درنهایت با ارائه مدل‌ها در این تحقیق، میزان اثرگذاری پارامترهای مختلف در راه و مکان مدنظر بر غلظت آلاینده ازن به‌دست آمد و این مدل‌ها می‌توانند آلودگی هوای ناشی از ترافیک را تخمین بزنند.

قدردانی

این تحقیقات در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل انجام گرفته است. بدین‌وسیله از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به‌خاطر حمایت‌های معنوی در طول تحقیقات تشکر و قدردانی می‌کنیم.

References

1. Nasrollahi Z, Poushdouzbashi H. Estimation of air pollution caused by public transport Yazd city. J Environ Sci Technol 2020; 22(2): 15-29 [In Persian].
2. Zhang K, Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. Sci Total Environ 2013; 450-451: 307-16.
3. Chaloulakou A, Grivas G, Spyrellis N. Neural network and multiple regression models for PM10 prediction in Athens. A comparative assessment. J Air Waste Manag Assoc 2003; 53(10): 1183-90.
4. Chaloulakou A, Saisana M, Spyrellis N. Comparative assessment of neural networks and re-gression models for forecasting summertime ozone in Athens. Sci Total Environ 2003; 313(1-3): 1-13.
5. Sadeghi D, Shiran G, Pormoalem N. Estimates of air pollution caused by traffic flow on urban streets. International Congress of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran; 2003 [In Persian].
6. Subramani T, Arutselvan S, Ganesan SK. Analysis of highway air pollution. Int J Eng Res Appl 2014; 4(6): 173-82.
7. Matz CJ, Egyed M, Hocking R, Seenundun S, Charman N, Edmonds N. Human health effects of traffic-related air pollution (TRAP): a scoping review protocol. Syst Rev 2019; 8(1): 223.
8. World Health Organization. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2007.
9. Sanchez A, García-Nieto P, Riesgo-Fernandez P, Delcoz-Díaz J, Iglesias-Rodríguez F. Appli-cation of an SVM-based regression model to the air quality study at local scale in the Aviles ur-ban area (Spain). Math Comput Model 2011; 54(5-6): 1453-66.
10. Comrie A. Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting. J Air Waste Manag Assoc 1997; 47(6): 653-63.
11. Parker M, Diamond G. Air quality assessment related to traffic congestion at Sarnia's Blue Water Bridge'. Government of Ontario, Ontario: Queen's Printer for Ontario; 2005.
12. Lee C, Martin RV, van Donkelaar A, Lee H, Dickerson RR, Hains JC, et al. SO2 emissions and lifetimes: Estimates from inverse modeling using in situ and global, space-based (SCIAMA-CHY and OMI) observations. J Geophysical Res Atmos 2011; 116(D6): 125-36.
13. Muren F, Favale G, Vardoulakis S, Solazzo E.

Modelling dispersion of traffic pollution in a deep street canyon: application of CFD and operational models. Atmos Environ 2009; 43(14): 2303-11.
14. Karaca F, Alagha O, Erturk F. Statistical characterization of atmospheric PM10 and PM2.5 concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey. Chemosphere 2005; 59(8): 1183-90.
15. Hubbard MC, Cobourn WG. Development of a regression model to forecast ground-level ozone concentrations, in Louisville, KY. Atmos Environ 1998; 32(14-15): 2637-47.
16. Miri M, Ghassoun Y, Dolatabadi A, Ebrahimnejad A, Lowner M. Estimate annual and sea-sonal PM1, PM2.5 and PM10 concentrations using land use regression model. Ecotoxicol Envi-ron Saf 2019; 174: 137-45.
17. Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to linear regression analysis. 5th ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2012.
18. Myers RH, Montgomery DC, Vining GG, Robinson TJ. Generalized linear models: with ap-plications in engineering and the sciences. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2012.
19. Arkes J. Regression analysis: a practical introduction. 1st ed. London: Routledge; 2019.
20. Agbo GA, Ibeh GF, Ekpe JE. Estimation of global solar radiation at onitsha with regression analysis and artificial neural network models. Res J Recent Sci 2012; 1(6): 1-8.
21. Annual report of transportation and highways. Mazandaran Road Maintenance & Transporta-tion Organization. Available at: URL: http://www.rmto.ir/Pages/news/Mazandaran.aspx; 2017 [In Persian].
22. Annual report of air quality. Mazandaran Department of Environment. Available at: URL: http://aqms.doe.ir/Home/AQI; 2017 [In Persian].
23. Gelman A, Nolan D. Teaching statistics: a bag of tricks. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2017.
24. Halimi M, Zarei Chaghabalaki Z, Sayad V, Jems H. Application of geostatistical methods for estimation of Tehran Air pollutants spatial distribution. J Environ Sci Technol 2017; 19(5): 39-52 [In Persian].
25. Rosenlund M, Forastiere F, Stafoggia M, Porta D, Perucci M, Ranzi A, et al. Comparison of regression models with land-use and emissions data to predict the spatial distribution of traffic-related air pollution in Rome. J Exp Sci Environ Epidemiol 2008; 18(2): 192-9.
26. Wu LF, Li N, Zhao T. Using the seasonal FGM (1,1) model to predict the air quality indica-tors in Xingtai and Handan. Environ Sci Pollut Res Int 2019; 26(14): 14683-8.
27. Dun M, Xu Z, Chen Y, Wu L. Short-term air quality prediction based on fractional grey line-ar regression and support vector machine. Math Prob Eng 2020; 2020: 8914501.