

## Original article

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

Gholamreza Darvishi<sup>1</sup>  
Daryush Yousefi Kebria<sup>2</sup>  
Majid Ehteshami<sup>3</sup>  
Mahdi Asadi-Ghalhari<sup>4</sup>  
Farshad Golbabaee Kootenaei<sup>5\*</sup>

- 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 Golbabaee Kootenaei, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, Campus of Engineering, University of Tehran Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: farshadgolbabaee@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, Golbabaee 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

## چکیده

غلامرضا درویشی<sup>۱</sup>  
 داریوش یوسفی کبریا<sup>۲</sup>  
 مجید احتشامی<sup>۳</sup>  
 مهدی اسدی قالهری<sup>۴</sup>  
 فرشاد گلبابائی کوتنائی<sup>۵\*</sup>

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: farshadgolbabaee@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵

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

یکی از روش‌های علمی در بررسی این موضوع، مدل‌سازی است. با انجام مدل‌سازی و لحاظ کردن تمام شرایط مؤثر فوق می‌توان میزان ظرفیت زیست محیطی کمتر، برابر یا بیشتر از ظرفیت پایه حمل و نقلی را در مقایسه با حد استاندارد پیش‌بینی کرد. ظرفیت زیست محیطی ظرفیتی است که نه بر اساس حداکثر توان راه در عبور دادن ترافیک موتوری، بلکه با توجه به رعایت حداقل شرایط زیست محیطی در اطراف راه تعیین می‌شود و در واقع باید میزان آن کمتر از ظرفیت پایه حمل و نقل باشد [۷،۸]. تمام مسائل ذکر شده در راستای مطالعات در زمینه کاهش و کنترل آلودگی، مستلزم تحلیل کامل غلظت آلاینده‌هاست، به طوری که این موضوع در مکان‌هایی که ترافیک اصلی‌ترین منبع آلودگی هوا شناخته شده است به عنوان هدف اصلی انتخاب می‌شود [۹،۱۰]. مسئله ارزیابی کیفیت هوا در طرح‌های درون شهری و برون شهری برنامه‌ریزی حمل و نقل بسیار

ضروری است و باید بیش از پیش به آن پرداخته شود [۱۱]. ازن گازی است که مستقیماً منتشر نمی‌شود، بلکه به واسطه 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 کمی و کیفی فراوانی بر محصولات زراعی می‌شود، به طوری که 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 حمل و نقل در عمق خیابان‌های باریک» انجام دادند. در این تحقیق از مدل CFD و مدل انتشار برای مونوکسید کربن استفاده شد. بعد از مقایسه بین مدل‌ها، به این نتیجه رسیدند که نتایج CFD با نتایج OSPM مشابه است. در این تحقیق، به دلیل بسته بودن 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 به دست آمد که هر دو روش توانسته است به طور یکسان و مناسب، انتشار آلاینده‌ها را مدل کند [۱۳].

در سال ۲۰۰۵ در ترکیه، میزان ذرات معلق  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  میکرون در کنار خیابان‌های برون شهری 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 تمیز کردن 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 CFD، USM، RNG K-4 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 تبدیل کردن 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، مناسب بودن مدل و فرض‌های تأیید و سنجش مدل دخالت دارند [۱۷،۱۸]. برای سنجش مناسب بودن یک مدل رگرسیون چندمتغیره می‌توان از روش‌های متعددی استفاده کرد. تحقیق در اعتبار مدل، همبسته بودن خطاها، نرمال بودن خطا، ثابت بودن 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 در دست داشتن داده‌ها و تمامی اطلاعات، مدل‌سازی روی آلاینده‌ها انجام شد.

مهم‌ترین بخش در مدل‌سازی، تعیین و مشخص کردن 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)

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 معنی‌دار بودن 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 آلایندة ازن معادله ۱ حاصل شد:

$$O_3 = 0.04 + 0.04T - 0.007W + 2/15 \times 10^{-6}V + 4/493 \times 10^{-11}V^2 \quad (1)$$

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

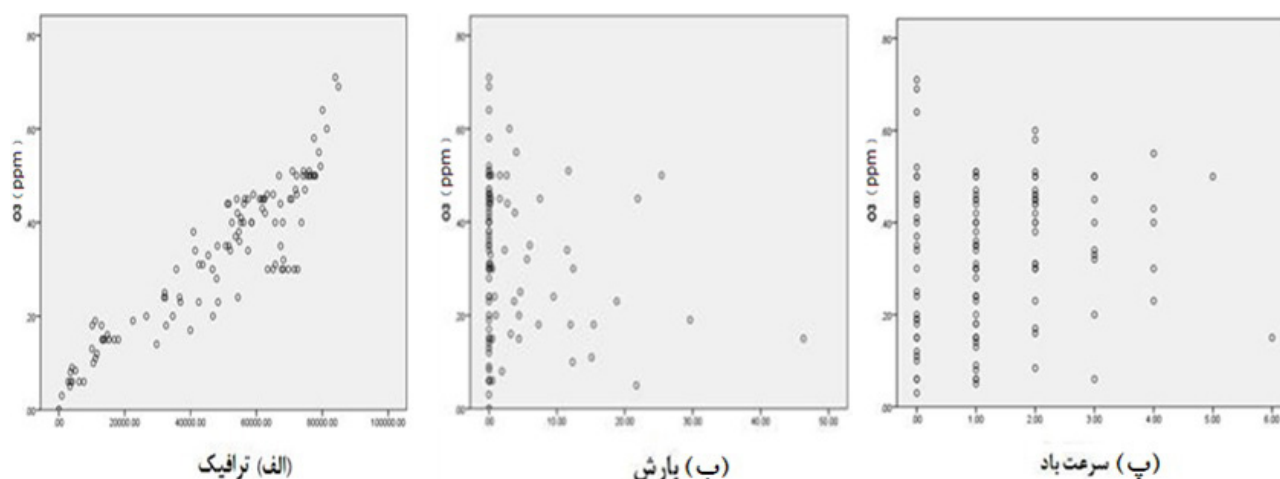
انتخاب شد. در سال ۱۳۹۷ داده‌های مرتبط با اعتبارسنجی مدل تهیه شد و با قرارگیری در مدلی که با داده‌های سال ۱۳۹۶ ارائه شد، خروجی میزان آلایندة مطابق جدول ۶ و معادله ۱ برای آلایندة ازن سنجیده شد.

## یافته‌ها

برای تعیین مدل بهینه آلایندة 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 آلایندة 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

جدول ۱: تعیین ضریب همبستگی برای آلایندة 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 آلایندة 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

اندازه‌گیری شده 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

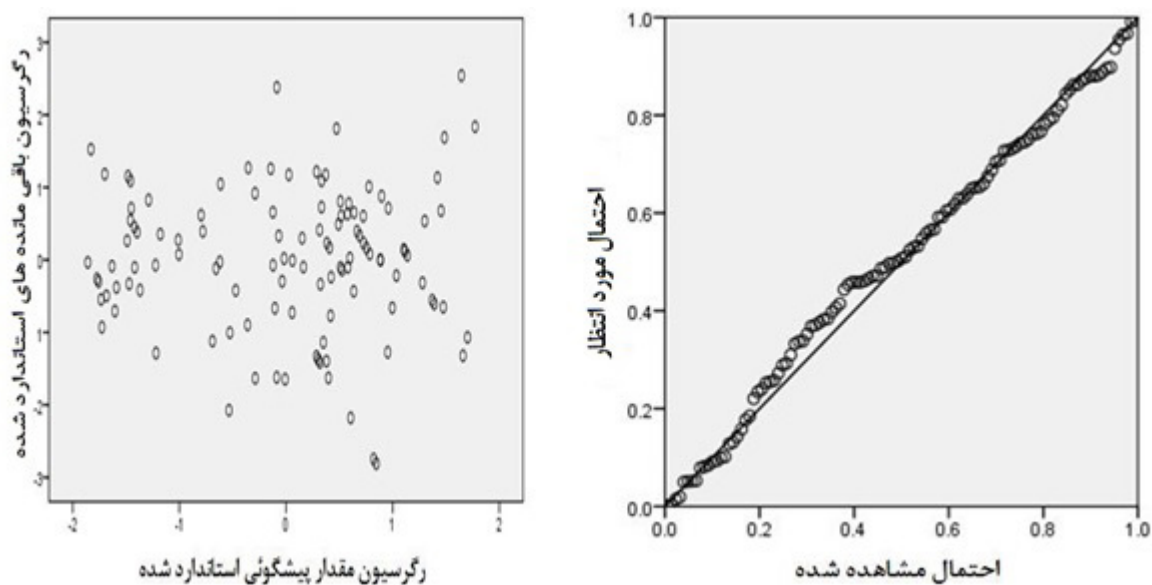
متغیرها	سطح معنی‌داری	ضرایب استاندارد		آماره T
		ضرایب غیراستاندارد	ضریب $\beta$	
ضریب ثابت	۰/۵۸۸	-۰/۵۴۳	-	-۰/۵۴۳
دما	۰/۰۰۰	۶/۶۹۸	-۰/۲۸۲	۶/۶۹۸
رطوبت	۰/۱۴۷	۱/۴۶۰	-۰/۰۵۸	۱/۴۶۰
بارش	۰/۱۰۳	۱/۶۶۴	-۰/۰۶۲	۱/۶۶۴
سرعت باد	۰/۰۲۹	-۲/۲۲۰	-۰/۰۷۸	-۲/۲۲۰
سرعت باد	۰/۹۴۱	-۰/۰۷۴	-۰/۰۰۲	-۰/۰۷۴
ترافیک	۰/۰۲۴	۲/۲۸۲	-۰/۳۳۹	۲/۲۸۲
ترافیک	۰/۰۰۰	۴/۲۵۵	-۰/۶۳۶	۴/۲۵۵

جدول ۴: ضرایب اصلاح شده مربوط به آلاینده ازن

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

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

آماره دوربین-واتسون	خطای استاندارد برآورد	ضریب تعیین تعدیل شده	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 باقی مانده برای آلاینده ازن

## بحث و نتیجه گیری

کمتر از ۰/۰۵، همبستگی بین میزان تردد، میزان بارندگی و سرعت باد، میزان انتشار آلاینده گازی ازن را نشان می دهد و میزان این

نتایج حاصل از ضرایب همبستگی مطابق سطح معنی داری

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

نقاط کاسته می‌شود و شروع به نزدیک شدن نسبت به هم می‌کنند که این نشان‌دهنده ثابت بودن خطای واریانس است؛ بنابراین، پیش‌فرض‌های رگرسیون با توجه به آماره دوربین-واتسون، نرمال بودن خطا و ثابت بودن 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 به دست آمده از MSE جدول تحلیل واریانس ازن کوچک‌تر باشد یا اختلاف چندانی نداشته باشد، مدل برای پیش‌بینی موفق است. MSE برابر ۰/۰۳ 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 ارائه شده 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 کرچینگ بهترین پاسخ را بیان می‌کرد [۲۴]. Rosenlund و همکاران در مطالعاتی روی آلاینده‌های هوای شهر رم به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون به خوبی می‌تواند این آلاینده‌ها را مدل کند و میزان آن‌ها را در آینده پیش‌بینی کند. در این مطالعات، همبستگی ۶۹ درصد به عنوان میزان همبستگی مناسب تحلیل شده است [۲۵]. نتایج مطالعات Wu و همکاران در شهر هاندان چین و تحقیقات Dun و همکاران در چیچیانگ چین در زمینه توانایی مدل رگرسیون بر پیش‌بینی آلودگی هوا تأییدکننده نتایج مقاله حاضر است [۲۶، ۲۷].

با توجه به نتایج و مدل ارائه شده 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 به دست آمده 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

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، معنی‌دار بودن رگرسیون تعیین شود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل واریانس، معنی‌دار بودن رگرسیون را روی متغیرها نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ و سطح معنی‌داری ( $\text{Sig} < 0/05$ )، 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 ناهمبسته بودن 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



که قرار است راه در آن احداث شود و با داشتن میزان تردد طرح، در پروژه مدنظر میزان آلودگی‌ای را به دست آورد که خودروها با تردد در این راه تولید می‌کنند. در نهایت با ارائه مدل‌ها در این تحقیق، میزان اثرگذاری پارامترهای مختلف در راه و مکان مدنظر بر غلظت آلاینده ازن به دست آمد و این مدل‌ها می‌توانند آلودگی هوای ناشی از ترافیک را تخمین بزنند.

### قدردانی

این تحقیقات در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل انجام گرفته است. بدین وسیله از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به خاطر حمایت‌های معنوی در طول تحقیقات تشکر و قدردانی می‌کنیم.

### References

- 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].
- Zhang K, Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci Total Environ* 2013; 450-451: 307-16.
- 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.
- 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.
- 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].
- Subramani T, Arutselvan S, Ganesan SK. Analysis of highway air pollution. *Int J Eng Res Appl* 2014; 4(6): 173-82.
- 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.
- World Health Organization. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2007.
- Sanchez A, García-Nieto P, Riesgo-Fernandez P, Delcoz-Díaz J, Iglesias-Rodríguez F. Application of an SVM-based regression model to the air quality study at local scale in the Aviles urban area (Spain). *Math Comput Model* 2011; 54(5-6): 1453-66.
- Comrie A. Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting. *J Air Waste Manag Assoc* 1997; 47(6): 653-63.
- 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.
- 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.
- 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. 2<sup>nd</sup> 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. 2<sup>nd</sup> 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.