مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره چهار، تیر ماه ۱۴۰۲(۹۰-۷۹)

ارزیابی اثربخشی سناریوهای جایگزینی ناوگان اتوبوس، در کاهش آلودگی هوای شهر کرج

نیکی آقاپور[۱]

مظاهر معین‌الدینی[۲*]

Moeinaddini@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به ناوگان حمل‌ونقل عمومی فرسوده در شهر کرج، نیاز به جایگزینی ناوگان با استانداردهای به‌روز دارد. با توجه به ابعاد اقتصادی و محیط‌زیستی بایستی اثربخشی اقدامات انجام شده مورد سنجش قرار گیرد. بنابراین دستیابی به هدف ارزیابی تغییر در انتشار آلاینده‌ها براساس هر سناریوی جایگزینی، می‌تواند به مسئولان در جهت اتخاذ استراتژی‌های کاهش آلودگی هوا کمک نماید. هدف طراحی سناریوها، در این پژوهش، برآورد میزان موثر بودن سناریوها در حوزه جایگزینی ناوگان اتوبوس‌های واحد فرسوده، در کاهش انتشار آلاینده‌های، هوا است.

روش برر سی: ابتدا دسته‌بندی اتوبوس‌واحد براساس پارامترهایی از جمله سیستم‌های مختلف، سال تولید، استاندارد آلایندگی، نوع سوخت مصرفی و کلاس خودرو در سال 1398 مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه به طراحی سناریوهای کاهش آلاینده‌های معیار در دو طرح، جایگزینی ناوگان فرسوده به ناوگان هیبریدی، دوگانه سوز و با سوخت مصرفی، دارای استاندارد آلایندگی یورو ۴، پرداخته شد و در نهایت سناریوها، با سناریو پایه مقایسه شد. ضرایب انتشار آلایندگی و طراحی سناریوها با استفاده از مدل بین المللی انتشار وسایل‌نقلیه متحرک (IVE)، به ازای معابر، شریانی درجه ۱، بزرگراهی و آزادراهی، با شیب‌های صفر و ۲ ± درصد محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج مقایسه سناریوها نشان داد، با جایگزینی کل ناوگان فرسوده از نظر سن (به ناوگان جدید، سناریوی چهارم)، بیشترین کاهش انتشار آلاینده‌های معیار، ۴۰ ٪ (CO)، ۶۰٪ (VOC)، ۴۲٪ (NO_X)، ۸۶٪ (PM)، را نشان داد. همچنین نتایج توزیع انتشار آلاینده‌ها در شهر کرج، با نرم‌افزار Arc Map نشان داد که بیشترین انتشار آلاینده‌ها، مربوط به منطقه ۱۰، و کمترین انتشار، منطقه ۱، شهر کرج است.

۱- کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط زیست- آلودگی‌ها، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲- دکتری محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. * (مسوول مکاتبات)

بحث و نتیجه‌گیری: بر اساس یافته‌ها میزان اثربخشی سناریوهای جایگزینی ناوگان فرسوده (استفاده از خودروهای هیبریدی، دوگانه‌سوز و با سوخت یورو ۴)، در کاهش انتشار آلاینده‌های هوا، ۴۰ تا ۸۰ درصد بوده‌است. سناریوهای کاهش انتشار آلاینده‌ها و راه‌کارهای افزایش کیفیت هوا برای سیاست‌مداران و محققان برای فهم بهتر شرایط جاری آلودگی هوا در منطقه مفید و تا حد زیاد عملیاتی است، که نیاز به تأمین به‌موقع بودجه و برنامه‌ریزی مدون و دقیق برای اجرا دارند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، جایگزینی ناوگان فرسوده، کرج، مدل IVE

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 4, July, 2023

Effectiveness Evaluation of Bus Fleet Replacement Scenarios to Reduce Karaj Air Pollution

Niki aghapour[1]
Mazaher Moeinaddini [2*]
Moeinaddini@ut.ac.ir

Admission Date: May 23, 2023 Date Received: May 22, 2022

Abstract

Background and Objective: Considering the worn-out public transport fleet in Karaj city, it needs to replace the fleet with up-to-date standards. Considering the economic and environmental dimensions, the effectiveness of the measures taken should be evaluated. Therefore, achieving the goal of evaluating the change in the emission of pollutants based on each alternative scenario can help the authorities to adopt air pollution reduction strategies. The purpose of designing scenarios in this research is to estimate the effectiveness of scenarios in the field of replacing the fleet of worn-out single buses in reducing the emission of air pollutants.

Material and Methodology: First, the classification of buses and units based on parameters such as different systems, year of production, pollution standard, type of fuel consumed and vehicle class have been studied at 1398. Then, scenarios of reducing standard pollutants were designed in two plans, replacing the worn-out fleet with a hybrid fleet, dual-fuel and with fuel consumption, with Euro 4 pollution standard, and finally the scenarios were compared with the basic scenario. Pollution emission coefficients and scenario design were calculated using the International Model of Mobile Vehicle Emission (IVE) model for passages, 1st degree arteries, highways and freeways, with slopes of zero and 22%.

Findings: The results of comparing the scenarios showed that by replacing the entire worn-out fleet in terms of age (to the new fleet, scenario four), the maximum reduction in emissions of standard pollutants was 40% (CO, 60% (VOC), 42% (NOX), 86% (Also, the results of the distribution of pollutants in the city of Karaj, with Arc Map software showed that the highest emission of pollutants is related to region 10, and the lowest emission is in region 1, Karaj city.

Discussion and Conclusion: According to the findings, the effectiveness of replacement scenarios of the worn-out fleet (use of hybrid, dual-fuel vehicles with Euro 4 fuel) in reducing the emission of air pollutants has been 40 to 80%. Pollutant reduction scenarios and strategies to increase air quality are useful for policymakers and researchers to better understand the current state of air pollution in the region and are largely operational, requiring timely funding and well-planned planning.

Key words: Air Pollution, Replacement of worn-out fleet, Karaj, IVE Model.

1- Master of Environmental Science and Engineering - Pollution, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
2- PhD in Environment, Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. *(*Corresponding Author*)

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین معضلات کلان‌شهر کرج در سال‌های اخیر بوده است که علاوه بر اثرات بر سلامت شهروندان، تاثیرات اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر شهر تحمیل می‌کند. بخش حمل‌ونقل بزرگترین و منبع اصلی عامل انتشار آلاینده‌های هوا است (۱). حمل‌ونقل همانند دیگر نیازهای بشر در زندگی امروزی ضروری است که باعث مصرف انواع سوخت‌های فسیلی شده و انتشار از وسایل نقلیه یکی از مهم‌ترین منابع آلاینده های هوا، مانند مونوکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق، در مناطق شهری است (2). منابع متحرک به عنوان منابع اصلی آلاینده‌های هوا در مناطق شهری هستند (3). استراتژی‌های بسیاری در مناطق شهری در سراسر جهان برای کاهش انتشار وسایل‌نقلیه اجرا شده است (4). یکی از روش‌های بررسی میزان تولید آلاینده‌های هوا، استفاده از ضرایب انتشار و محاسبه مقدار آلاینده تولیدی از منابع مختلف است. ضریب انتشار، میزان انتشار آلاینده در واحد فعالیت منبع است. با ضرب کردن ضریب انتشار در کل فعالیت، میزان کل انتشار به‌دست می‌آید. این ضرایب در گزارش‌های سیاهه انتشار در کشورهای مختلف به‌عنوان ضرایب انتشار برای محاسبه میزان انتشار از منابع مختلف آلاینده به‌کار می‌روند. چنانچه ضرایب انتشار بر اساس اطلاعات آماری در یک منطقه موجود باشد، این روش نسبت به سایر روش‌ها مقرون‌به‌صرفه‌تر است (5). سیاهه نویسی انتشار، ابزار کاربردی و لازم جهت بررسی دقیق توزیع مکانی و زمانی انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف و ارزیابی اثرات استراتژی‌های کاهنده است (4). سیاههٔ انتشار آلایندهٔ هوا اطلاعات ضروری را برای مدل سازی کیفیت هوا و توسعهٔ استراتژی کنترل آلودگی فراهم می‌نماید (6).

مطالعات مختلفی در سراسر جهان کاربرد سیاههٔ انتشار را با طراحی سناریوها در مدیریت آلودگی هوا مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی سیاهه انتشار وسایل نقلیه جاده‌ای و آنالیز عدم قطعیت آن برای شهر شانگهای، چین توسط Wang و همکاران (۲۰۰۸)، نشان داد که وسایل نقلیه سنگین (کامیون‌ها و اتوبوس‌ها)، باعث انتشار بیش از نیمی از اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق هستند(7). در مطالعه‌ای Zhang و همکاران (۲۰۱۴)، سناریوهایی را برای کاهش میزان انتشار آلاینده‌های هوا در شهر هانگژو چین موردبررسی قراردادند (8). آن‌ها میزان انتشار CO، VOCs، PM و NO_X را تحت چهار سناریو تا سال ۲۰۱۵ در این شهر شبیه سازی و تخمین زدند. بر اساس تجزیه‌وتحلیل سناریو، مشخص شد که حذف وسایل نقلیه غیر استاندارد و ارتقاء استانداردهای خودرو می‌تواند به طور مؤثری میزان انتشار CO و VOC را کاهش دهد. توزیع فضایی سیاهه‌های انتشار وسایل نقلیه در بخش فدرال برزیل نیز در مطالعه‌ای توسط Joao و همکاران (۲۰۱۵)، انجام شد (9). نتایج نشان داد که وسایل نقلیه سبک منبع انتشار CO، CH_4 و CO_2 هستند در حالی که وسایل نقلیه سنگین منبع اصلی انتشار HMHC، NO_x و PM هستند. همچنین در مطالعه‌ی Ghadiri و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل IVE[1] اثربخشی استفاده از بنزین یورو ۴ در سیستم حمل‌ونقل شهر تهران را در کیفیت هوا بررسی کردند (10). نتایج آن‌ها کاهش ۸۷ در صدی از انتشار CO در هوای شهر تهران با استفاده از سوخت یورو ۴ را نشان داد.

با توجه به این مسئله که اجرای طرح‌ها و برنامه‌های مرتبط با کنترل منابع انتشار آلاینده‌ها هزینه‌های زیادی دارد، لزوم تحقیق در این زمینه و کمک به یافتن بهترین و عملی‌ترین راه‌ها، ضروری است. با در نظر گرفتن مباحث اقتصادی و اجرائی، بهتر است با بررسی و تحلیل سناریوهای مرتبط با کاهش انتشار و ارزیابی اثربخشی آن‌ها، با کارایی بیشتری بودجه و امکانات موجود را به‌کار گرفت. به همین منظور، در ابتدا هدف از توسعهٔ سیاههٔ انتشار در این مطالعه، کمی‌سازی مقادیر انتشار آلاینده‌ها از منابع حمل‌ونقل عمومی (ناوگان اتوبوس‌واحد) در انواع معابر شهر کرج و در ادامه، با طراحی سناریوهای مختلف، برآورد میزان موثر بودن سناریوها در حوزه جایگزینی ناوگان

1- International Vehicle Emissions (IVE)

اتوبوس‌واحد فرسوده، به ناوگانی با سوخت دوگانه، استاندارد یورو ۴ و هیبریدی، در کاهش انتشار آلاینده‌های CO، NO_x، SO_x، VOC_S و به ویژه ذرات معلق (PM)، با استفاده از مدل IVE است. همچنین نشان دادن توزیع بیشترین و کمترین انتشار آلاینده‌ها از ناوگان اتوبوس‌واحد شهر کرج، با استفاده از نرم‌افزار Arc Map، مربوط به کدام مناطق ۱۰ گانه شهر کرج است، انجام یافت.

- **منطقه مورد مطالعه**

محدوده مکانی مطالعه، شهر کرج یکی از کلان شهرهای ایران و مرکز استان البرز است، جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، تعداد، ۱,۷۵۹,۳۹۴ نفر است. مجموع ناوگان ملکی فعال در خطوط اتوبوس‌رانی کرج ۹۳ دستگاه و مجموع ناوگان بخش خصوصی فعال ۱۷۶ دستگاه است. (11).

- **روش بررسی**

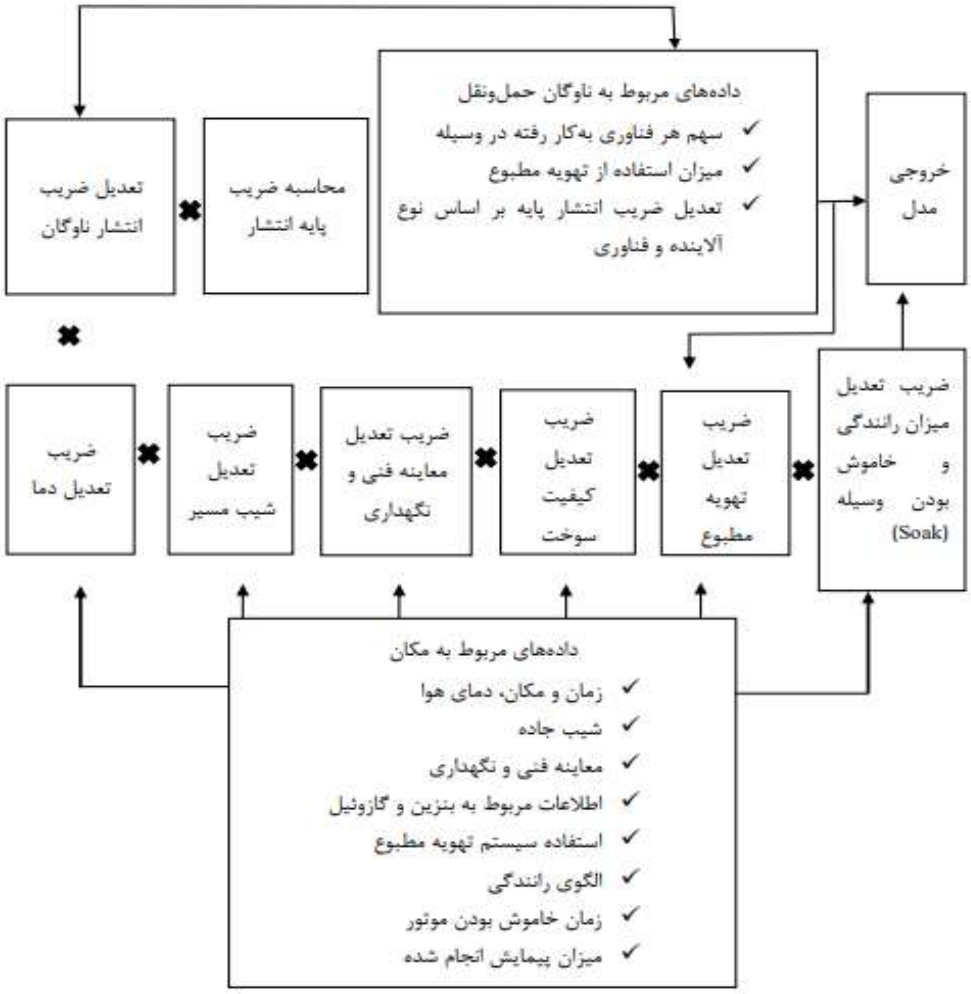
اطلاعات ناوگان اتوبوس‌واحد با استفاده از مطالعه دوربین‌های نظارتی سطح شهر کرج برای تعیین تعداد، اندازه و نوع وسیله‌نقلیه با همکاری معاونت حمل‌ونقل بار و مسافر شهرداری کرج، اطلاعاتی از برگه‌های معاینه فنی، مصاحبه با رانندگان در ایستگاه‌های اتوبوس سطح شهر کرج و همچنین اطلاعاتی از پلیس راهور در سال ۱۳۹۸ اخذ شد. در این مطالعه میزان انتشار آلایندگی‌ها ناشی از تردد اتوبوس‌واحد در سطح شهر کرج تعیین شد. در ادامه ناوگان بر اساس پارامترهایی از جمله سیستم‌های مختلف، سال تولید، نوع سوخت مصرفی و کلاس خودرو با مصاحبه میدانی با رانندگان و صاحبان خودروها در سطح شهر کرج به‌دست آمد. همچنین اطلاعات مربوط به میزان فعالیت اتوبوس‌واحد در معابر منتخب شهر کرج به‌دست آمد و در صورت موجود بودن اطلاعات مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر کرج استخراج و بر اساس این اطلاعات توزیع پیمایش هر کدام از دسته‌بندی‌های وسایل نقلیه در شهر کرج به‌دست آمد (5). ضرایب انتشار آلایندگی با استفاده از مدل IVEبه تفکیک دسته‌بندی‌های وسایل‌نقلیه به ازای سه نوع معبر شریانی درجه ۱، بزرگراهی و آزادراهی، با شیب‌های صفر و ۲± درصد اقتباس و سطح انتشار آلاینده‌های CO، VOC ، NO_x، SO_x و ذرات معلق مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین هدف طراحی سناریوها در ناوگان اتوبوس‌واحد، کاهش انتشار ذرات معلق (PM) است، زیرا بیشترین انتشار این آلاینده از ناوگان اتوبوس‌ها است.

به‌منظور محاسبه مقدار انتشار آلایندگی با استفاده از مدل انتشاری IVE چهار دسته از اطلاعات، نرخ انتشار خودروها در شرایط پایه، الگوی رانندگی وسایل‌نقلیه (سرعت در واحد زمان)، ترکیب ناوگان و سایل‌نقلیه در دسته‌بندی‌های مختلف و شرایط آب‌وهوایی و جغرافیایی منطقه و همچنین مشخصات سوخت (شامل دما، رطوبت، ارتفاع نسبت به سطح دریا و نوع سوخت مصرفی) استفاده شد (شکل ۱).

ضروری‌ترین ورودی نرم‌افزار IVE ضریب مربوط به الگوی رانندگی، (سرعت متوسط و شتاب خودرو)، است. برای به‌دست آوردن این ضریب از قدرت مشخصه خودرو[1] و تنش موتور[2] استفاده می‌شود. در ادامه سناریوهای کاهش انتشار آلاینده‌ها در چند محور نوسازی و جایگزینی ناوگان (بر اساس سن ناوگان)، استفاده از وسایل‌نقلیه هیبریدی و دوگانه‌سوز (CNG)، و بهبود کیفیت سوخت با استاندارد یورو ۴ طراحی شد و در نهایت میزان اثربخشی سناریوها در کاهش انتشار آلاینده‌ها بررسی شد (جدول ۱). تهیه نقشه‌های میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 10.6.1 و داده‌های خروجی از مدل IVE انجام گرفت (شکل ۲ و ۳).

1- Vehicle Specific Power (VSP)

2- Engine Stress



شکل ۱- ساختار پردازش اطلاعات در مدل انتشاری IVE

Figure 1. Information processing structure in the IVE diffusion model

جدول ۱- سناریوهای طراحی شده

Table 1. Designed scenarios

سناریوها	بر اساس سن ناوگان (بالای ۱۵ سال) و استاندارد آلایندگی (کمتر از یورو ۴)	درصد فرسودگی	جایگزینی ناوگان جدید (هیبریدی، دوگانه‌سوز و سوخت یورو ۴)
سناریو ۱	سن ناوگان	۲۵ درصد	جایگزینی ۵۰ درصد
سناریو ۲	سن ناوگان	۲۵ درصد	جایگزینی ۱۰۰ درصد
سناریو ۳	استاندارد آلایندگی	۱۰۰ درصد	جایگزینی ۵۰ درصد
سناریو ۴	استاندارد آلایندگی	۱۰۰ درصد	جایگزینی ۱۰۰ درصد

یافته‌ها

- **درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوهای جایگزینی ناوگان اتوبوس فرسوده در مقایسه با سناریو پایه به تفکیک معابر**

انتشار کل آلاینده‌ها (بر حسب گرم بر کیلومتر)، سناریو پایه ناوگان اتوبوس، در جدول ۲، نشان داده شده است. نتایج محاسبات مربوط به کاهش انتشار آلاینده‌ها در چهار سناریو جایگزینی ناوگان حمل‌ونقل فرسوده با خودروهای هیبریدی،

دوگانه‌سوز (CNG) و با سوخت دارای استاندارد یورو ۴ در جداول ۳ تا ۸ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد، سناریو ۴، سناریوی برتر است، زیرا در این سناریو کاهش ۸۰ درصدی انتشار مهم‌ترین آلاینده از ناوگان اتوبوس‌ها که ذرات معلق (PM) می‌باشد، نشان داده شد.

جدول ۲- انتشار کل آلاینده‌ها (بر حسب گرم بر کیلومتر)، در سال۱۳۹۸، سناریو پایه ناوگان اتوبوس‌واحد شهر کرج

Table 2. Emission of total pollutants (in grams per kilometer), in 1398, the basic scenario of the bus fleet in Karaj

CO	VOC	VOC evap	NOx	SOx	PM
۷۳۳۶۵	۱۳۵	۴۰/۱۵	۴۹۰۹	۳/۶۵	۱۵۳۳

جدول ۳- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر شریانی درجه ۱، با شیب جاده صفر و +۲

Table 3. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, compared to the baseline scenario in Grade 1 arterial passage, with road slope of zero and +2

سناریوها	شیب معبر ٪۲+ و ۰	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	شریانی۱	۸	۰	۱	۳۶	۱۰	۳۳
سناریو۲	شریانی۱	۴۳	۰	۱۳	۲۷	۱۹	۲۰
سناریو۳	شریانی۱	۵۴	۰	۱۸	۷۲	۴۰	۵۳
سناریو۴	شریانی۱	۸۶	۰	۴۲	۶۳	۵۹	۳۹

جدول ۴-درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر بزرگراهی، با شیب جاده صفر و +۲

Table 4. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, compared to the basic scenario in the highway crossing, with road slope of zero and +2

سناریوها	شیب معبر ٪۲+ و ۰	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	بزرگراهی	۷/۵	۰	۱	۳۳	۱۴	۳۳
سناریو۲	بزرگراهی	۴۳	۰	۱۴	۳۳	۲۴	۲۰
سناریو۳	بزرگراهی	۵۴	۰	۱۹	۶۷	۴۳	۵۴
سناریو۴	بزرگراهی	۸۶	۰	۴۲	۶۷	۵۷	۳۹

جدول ۵- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر آزادراهی، با شیب جاده صفر و +۲

Table 5. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, compared to the basic scenario in the freeway, with zero and +2 road slope

سناریوها	شیب معبر ٪۲+ و ۰	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	آزادراهی	۸	۰	۱	۴۰	۱۲	۳۳
سناریو۲	آزادراهی	۴۳	۰	۱۴	۲۰	۱۸	۲۰
سناریو۳	آزادراهی	۵۴	۰	۱۹	۸۰	۴۱	۵۴
سناریو۴	آزادراهی	۸۷	۰	۴۲	۶۰	۵۹	۳۹

جدول ۶- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر شریانی درجه ۱، با شیب جاده ۲-

Table 6. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, compared to the baseline scenario in grade 1 arterial passage, with road slope of -2

سناریوها	شیب معبر ۲- ٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	شریانی۱	۸	۰	۱	۳۶	۳/۵	۳۰
سناریو۲	شریانی۱	۴۳	۰	۱۴	۲۷	۱۸	۱۹/۵
سناریو۳	شریانی۱	۵۴	۰	۱۹	۷۳	۳۲	۵۱
سناریو۴	شریانی۱	۸۶	۰	۴۲	۶۴	۶۴	۴۰/۵

جدول ۷-درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر بزرگراهی، با شیب جاده ۲-

Table 7. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, in comparison with the basic scenario in the -highway crossing, with road slope -2

سناریوها	شیب معبر ۲- ٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	بزرگراهی	۸	۰	۱	۳۳	۶	۳۲
سناریو۲	بزرگراهی	۴۳	۰	۱۴	۳۳	۱۹	۲۰
سناریو۳	بزرگراهی	۵۴	۰	۱۹	۶۷	۳۷	۵۳
سناریو۴	بزرگراهی	۸۶	۰	۴۲	۶۷	۶۳	۴۰

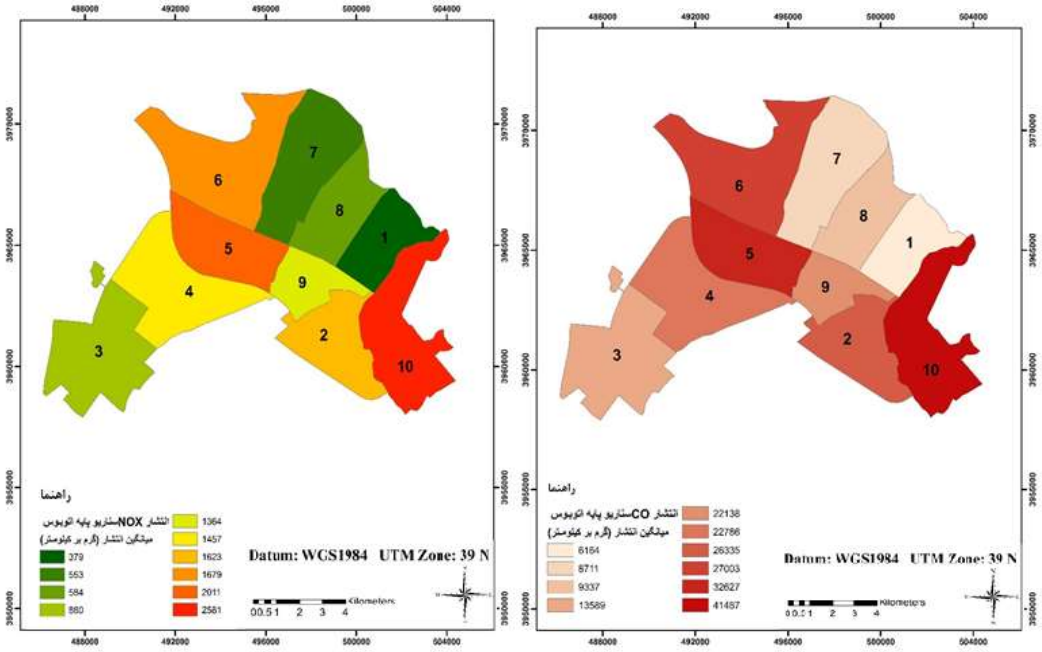
جدول ۸- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر آزادراهی، با شیب جاده ۲-

Table 8. Percentage reduction of standard pollutants in scenarios, compared to the basic scenario in the freeway, with slope of the road -2

سناریوها	شیب معبر ۲- ٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو۱	آزادراهی	۸	۰	۱/۵	۴۰	۸	۳۲
سناریو۲	آزادراهی	۴۳	۰	۱۴	۲۰	۲۳	۲۰
سناریو۳	آزادراهی	۵۴	۰	۱۹	۸۰	۳۸	۵۳
سناریو۴	آزادراهی	۸۶	۰	۴۲	۶۰	۶۱	۴۰

- **نقشه‌های میانگین توزیع انتشار آلاینده‌های معیار سناریو پایه ناوگان اتوبوس‌واحد شهر کرج**

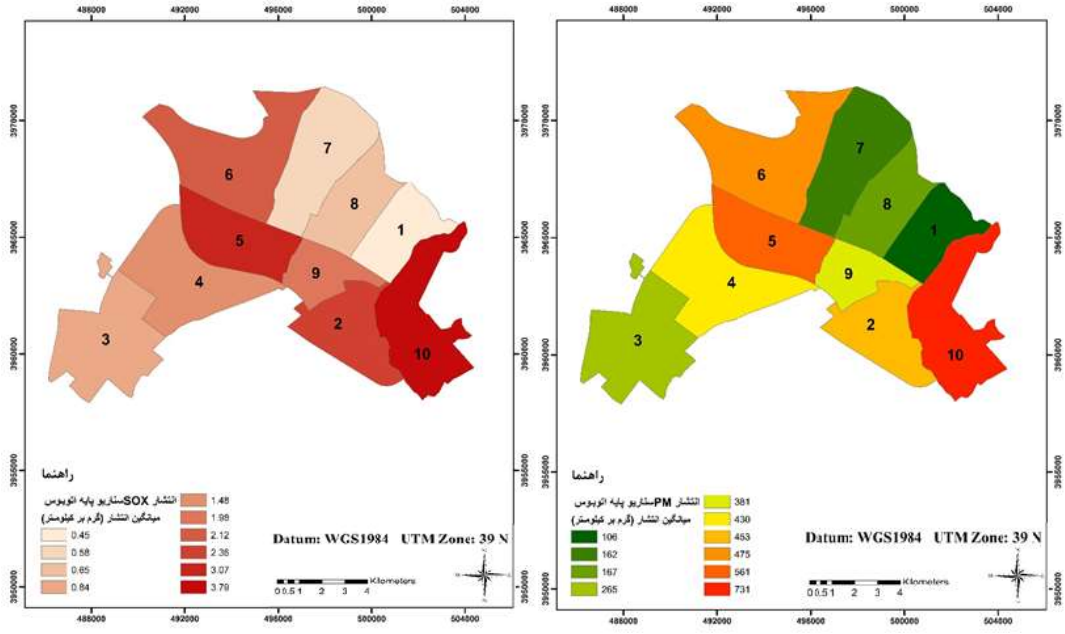
تهیه نقشه‌های میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 10.6.1 و داده های خروجی از مدل IVE انجام گرفت. در شکل‌های ۲ و ۳، میانگین توزیع انتشار آلاینده‌های هوا (مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق) از ناوگان اتوبوس‌واحد در حال تردد در معابر شهر کرج در سناریو پایه، نشان داده شده است.



ب الف

شکل ۲- میانگین انتشار آلاینده (CO) (الف) و (NOX) (ب)، سناریو پایه اتوبوس‌واحد در مناطق ۱۰ گانه شهر کرج

Figure 2 . Average emissions (CO) (a) and (NOX) (b) , the basic scenario of bus-unit in 10 areas of Karaj



ب الف

شکل ۳- میانگین انتشار آلاینده (SOX) (الف) و (PM) (ب)، سناریو پایه اتوبوس‌واحد در مناطق ۱۰ گانه شهر کرج

Figure 3. Average emissions (SOX) (a) and (PM) (b) , the basic scenario of bus-unit in 10 areas of Karaj

با توجه به شکل ۲ و ۳، میانگین انتشار مونوکسیدکربن (۲ الف)، و اکسیدهای نیتروژن (۲ ب)، اکسیدهای گوگرد (۳ الف) و انتشار ذرات معلق (۳ ب)، در مناطق ۱۰ و ۵ دارای بیشترین انتشار و منطقه ۱ دارای کمترین انتشار است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین انتشار مربوط به ذرات معلق، ناشی از اتوبوس‌ها است. انتشار وسایل نقلیه موتوری در چین در سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ توسط Tang و همکاران (۲۰۱۴) (12). در مطالعه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که انتشار CO، NH_3 و VOCs از موتورسیکلت‌ها و وسایل نقلیه سبک بنزینی است درحالی که انتشار NO_x، $PM_{2,5}$ و BC از وسایل نقلیه سنگین، کامیون‌ها و اتوبوس‌های دیزلی است که این نتایج همسو با نتایج این مطالعه است. Hosseini Far و همکاران در سال (۲۰۱۹) (13). آنالیز حساسیت نرخ انتشار آلاینده‌ها از خودروهای سواری نسبت به پارامترهای جغرافیایی و محیطی با استفاده از مدل IVE، در شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند. عوامل مختلفی همچون ارتفاع از سطح دریا، شیب جاده، دما، رطوبت، ترکیبات موجود در بنزین، مقدار استفاده از تهویه مطبوع، سرعت متوسط، مسافت و سن ناوگان، در میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای نقش دارند. بنابراین برای تعیین میزان اثرگذاری هر یک از عوامل یادشده بر مقدار انتشار از خودروها، با استفاده از مدل IVE و با ایجاد تغییر در ورودی های مدل در محدوده دامنه تغییرات مربوط، نتایج متفاوتی به ازای هر ورودی ثبت گردیده است. نتایج این پژوهش نشان داد که سن ناوگان (به عنوان تابعی از مسافت پیموده شده و نرخ استهلاک)، بیشترین میزان اثرگذاری را بر افزایش انتشار آلاینده‌های مونواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق و گازهای گلخانه‌ای اکسید نیتروس و متان، دارد. همچنین شیب جاده بیشترین میزان تأثیر را بر افزایش انتشار اکسیدهای گوگرد و دی‌اکسیدکربن با درصد تأثیر ۵۰/۶۳ و ۵۱/۵۷ می‌گذارد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز نشان داد که بیشترین تاثیر و اثربخشی بر میزان تولید آلاینده‌های معیار را سن ناوگان، کیلومتر پیمایش شده، استاندارد نوع سوخت مصرفی، سرعت متوسط، شیب مثبت معبر و الگوی رانندگی دارد، و کمترین تاثیر را عوامل مختلفی همچون ارتفاع از سطح دریا، دما، رطوبت، مقدار استفاده از تهویه مطبوع، دارد. مطالعه Wangو همکاران (۲۰۱۰) (14). همچنین نشان داد که وسایل نقلیه سنگین، (کامیون‌ها و اتوبوس‌ها) نزدیک به ۷۰ و ۸۰ درصد از انتشار NO_x و PM_{10} را تولید می‌نمایند. یافته‌های این محققین نیز همسو با نتایج مطالعه حاضر است. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که سوخت مصرفی کل ناوگان اتوبوس‌واحد شهر کرج، دارای استاندارد یورو ۴، نیستند. بدون شک میزان مصرف سوخت و کیفیت سوخت از نکات قابل تأمل در برنامه‌ریزی مدیریت کیفیت هوای کلان‌شهرها است. تعداد بالای خودروهای با استاندارد پایین آلایندگی و مصرف بالای سوخت هر گونه فعالیتی را در راستای بهبود کیفیت هوا می‌تواند خنثی سازد. برای طراحی سناریوهای کاهشی آلودگی هوا در این پژوهش اثربخشی استفاده از سوخت دارای استاندارد یورو ۴ و جایگزینی ناوگان فرسوده با ناوگان هیبریدی و دوگانه‌سوز با کیلومتر پیمایشی کمتر، مورد بررسی قرار گرفت، و نتایج نشان داد برترین سناریوها در ناوگان اتوبوس‌واحد، سناریوی ۴ است، در این سناریو، با جایگزینی کل ناوگان فرسوده از نظر سن، به ناوگان جدید، بیشترین تأثیر کاهش انتشار آلاینده‌های معیار، ۴۰ ٪ (CO)، ۶۰٪ (VOC)، ۴۲٪ (NO_X)، ۸۶٪ (PM)، را نشان داد. همچنین Marino و همکاران (۲۰۲۰) (15). میزان تولید گازهای گلخانه‌ای از وسایل نقلیه شهر رجیو کالابریا (ایتالیا) ارزیابی شده است. برای کاهش تأثیر وسایل‌نقلیه آلاینده در انتشار محلی و جهانی، چهار سناریو برای سال ۲۰۲۵ فرض شده است. از تجزیه‌وتحلیل سناریوها، موثرترین سناریو چهارمین مورد بود که باعث کاهش ۴۵٪ NMVOC و ۴۴٪ CO شد. نشان داد که حضور وسایل‌نقلیه هیبریدی و الکتریکی می‌تواند به میزان قابل‌توجهی در کاهش آلودگی هوا کمک کند. Gabriel و همکاران (۲۰۲۱) (16). در ارزیابی مقایسه‌ای چرخه عمر اتوبوس های برقی، گاز طبیعی فشرده و دیزل در تایلند، مشخص شد که تغییر اتوبوس‌های دیزلی به برقی یا گاز طبیعی فشرده، باعث کاهش ۵۴ تا ۵۵ درصدی انتشار ذرات معلق، (PM) شده‌است.

نتایج مطالعه حاضر کاملاً همسو با نتایج مطالعات سایر محققین است. این یافته‌ها لزوم نو سازی ناوگان و سایل‌نقلیه به‌خصوص وسایل‌نقلیه سنگین، مؤثر در آلودگی ناشی از ذرات معلق را یادآوری نموده که از عوامل اصلی و مهم‌ترین بحران حال حاضر آلودگی هوای کلان شهرها به‌خصوص شهر کرج است. بنابراین

برای بهبود کیفیت هوای کلان‌شـــهر کرج، با توجه به یافته‌های مطالعه حا ضر پی شنهاد می شود، ضمن بهبود تدریجی کیفیت ســـوخت مصـــرفی که رویکردی ملی اســـت، جایگزینی ناوگان فر سوده اتوبوس‌واحد با ناوگان هیبریدی، دوگانه سوز و سوخت مصرفی دارای استاندارد آلایندگی یورو۴، و سیاست‌های کنترل انتشـــار از وســـایل‌نقلیه در مقیاس محلی اعمال گردد که به‌تبع این ســـیاســـت‌ها، بدون ایجاد فرهنگ‌ســـازی مناســـب الگوی رانندگی، برای عموم جامعه به‌عنوان یک عن صر ا صلی در میزان انتشار آلاینده‌ها، بی نتیجه خواهد بود.

قدردانی و تشکر

این مقاله حاصـــل (بخشـــی از) پایان‌نامه با عنوان "ارزیابی ســـناریوهای کاهش آلودگی هوا از منابع انتشـــار متحرک شـــهر کرج" است که در مقطع کارشناسی ارشد، سال ۱۴۰۰، در گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و با حمایت شهرداری کرج انجام شده است.

References

1. Tong, F. and Azevedo, I.M. (2020). *What are the best combinations of fuel-vehicle technologies to mitigate climate change and air pollution effects across the United States. Environmental Research Letters, 15(7), p.074046.*
2. Molina, M. J., & Molina, L. T. (2004). *Megacities and atmospheric pollution. Journal of the Air & Waste Management Association, 54(6), 644-680.*
3. Pattinson, W., Longley, I, Kingham, S., 2014. *Using mobile monitoring to visualise diurnal variation of traffic pollutants across two near-highway neighbourhoods. Atmospheric Environment. 94, 782-792.*
4. Rakowska, A., Wong, K. C., Townsend, T., Chan, K. L., Westerdahl, D., Ng, S., & Ning, Z. (2014*). Impact of traffic volume and composition on the air quality and pedestrian exposure in urban street canyon. Atmospheric Environment, 98, 260-270.*
5. Shahbazi, H., Taghvaee, S., Hosseini, V., & Afshin, H. (2016). *A GIS based emission inventory development for Tehran. Urban Climate, 17, 216-229. Persian*
6. Che, W., Zheng, J., Wang, S., Zhong, L., & Lau, A. (2011*). Assessment of motor vehicle emission control policies using Model-3/CMAQ model for the Pearl River Delta region, China. Atmospheric Environment, 45(9), 1740-1751.*
7. Wang, H., Chen, C., Huang, C., & Fu, L. (2008). *On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China. Science of the Total Environment, 398(1-3), 60-67.*
8. Zhang, S., Wu, Y., Wu, X., Li, M., Ge, Y., Liang, B., & Hao, J. (2014). *Historic and future trends of vehicle emissions in Beijing, 1998–2020: A policy assessment for the most stringent vehicle emission control program in China. Atmospheric Environment, 89, 216-229.*
9. Joao, r., W. J., Koutrakis, P., & Roig, H. L. (2015). *Spatial distribution of vehicle emission inventories in the Federal District, Brazil. Atmospheric Environment, 112, 32-39.*
10. Ghadiri, Z., Rashidi, Y., Boroumandi, p. (2018). *Evaluation of the effectiveness of Euro 4 fuel transportation systems on air quality in Tehran, application of the .IVE pollution model, 3 (4), 639-653.* (In Persian)
11. Alborz Province Management and Planning Organization. 2016. *Alborz from the point of view of general population and housing census. Alborz*

Province Management and Planning Organization, Deputy of Statistics and Information, 102. (In Persian)

12. Tang, G., Chao, N., Wang, Y., Wang, H., Huang, J., & Chen, J. (2014). *Vehicular emissions in China in 2006 and 2010. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 14(4), 4905-4956.*
13. Hosseini Far, S., A., Shafi'pour Motlagh, M., Ashrafi, Kh. 2019. *Sensitivity analysis of pollutant emission rates from passenger cars to geographical and environmental parameters using IVE model. 8th National Conference on Air and Noise Management Tehran - University of Tehran, p.7.*
14. Wang, H., Fu, L., Zhou, Y., Du, X., & Ge, W. (2010). *Trends in vehicular emissions in China's mega cities from 1995 to 2005. Environmental Pollution, 158(2), 394-400.*
15. Marino, C., Monterosso, C., Nucara, A., Panzera, M. F., & Pietrafesa, M. (2020*). Analysis of the Reduction of Pollutant Emissions by the Vehicle Fleet of the City of Reggio Calabria Due to the Introduction of Ecological Vehicles. Sustainability, 12(7), 2877.*
16. Gabriel, N.R., Martin, K.K., Haslam, S.J., Faile, J.C., Kamens, R.M. and Gheewala, S.H., 2021. *A comparative life cycle assessment of electric, compressed natural gas, and diesel buses in Thailand. Journal of Cleaner Production, 314, p.128013.*