

# ارزیابی اثربخشی سناریوهای جایگزینی ناوگان تاکسی، در کاهش آلودگی هوا، مطالعه موردی: شهر کرج

نیکی آقاپور، مظاهر معین‌الدینی\*، رضا رفیعی

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

## چکیده

با توجه به اهمیت منابع متحرک در انتشار آلاینده‌های هوا در شهر، لزوم توسعه و استفاده از حمل و نقل عمومی دارای اهمیت زیادی است، بدین منظور رویکردهای متفاوتی وجود دارد. شهر کرج با توجه به ناوگان حمل و نقل عمومی فرسوده، نیاز به جایگزینی ناوگان با استانداردهای نشر به روز دارد. با توجه به ابعاد اقتصادی و محیط‌زیستی بایستی اثربخشی اقدامات انجام شده مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین 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 مؤثر بودن سناریوها در حوزه جایگزینی ناوگان تاکسی‌های فرسوده، در کاهش انتشار آلاینده‌های هوا است. ابتدا دسته‌بندی تاکسی‌ها براساس پارامترهایی از جمله سیستم‌های مختلف، سال تولید، استاندارد آلودگی، نوع سوخت مصرفی و کلاس خودرو مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، به طراحی سناریوهای کاهش آلاینده‌های معیار در دو طرح، جایگزینی ناوگان فرسوده به ناوگان هیبریدی، دوگانه‌سوز و با سوخت مصرفی، دارای استاندارد آلودگی یورو ۴، پرداخته شد و در نهایت سناریوها، با سناریو پایه مقایسه شد. ضرایب انتشار آلودگی و طراحی سناریوها با استفاده از مدل بین‌المللی انتشار وسایل نقلیه متحرک (IVE)، به ازای معابر، شریانی درجه ۱، بزرگراهی و آزادراهی، با شیب‌های صفر و  $\pm 2\%$  درصد محاسبه شدند. نتایج مقایسه سناریوها نشان داد، با جایگزینی کل ناوگان فرسوده از نظر سن (به ناوگان جدید، سناریوی دوم)، بیشترین کاهش انتشار آلاینده‌های معیار،  $68\%$  (CO)،  $85\%$  (VOC)،  $53\%$  (NO<sub>x</sub>)،  $100\%$  (SO<sub>x</sub>) و  $67\%$  (PM) است. همچنین نتایج توزیع انتشار آلاینده‌ها در شهر کرج، با استفاده از نرم‌افزار Arc Map، نشان داد که بیشترین و کمترین انتشار آلاینده‌ها، به ترتیب مربوط به منطقه ۱۰ و منطقه ۱ است. 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 اصولی و دقیق برای اجرا دارند.

کلید واژگان: آلودگی هوا، جایگزینی ناوگان فرسوده، مدل IVE، کرج

مقدمه

سطح بالای آلودگی اتمسفری یک مشکل جهانی به شمار می‌رود که در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای به خود گرفته است و در آینده نزدیک، به رشد خود ادامه می‌دهد. آلودگی هوا به‌طور مستقیم بر سلامت، موجودات زنده، پوشش گیاهی، آب، خاک و ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، به‌راحتی و حتی در مسافت‌های طولانی منتقل می‌شود. برخی آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای بر آب و هوا نیز تأثیر می‌گذارند، و اثرات منفی بر سلامتی انسان و لایه ازن استراتوسفری و دمای اتمسفر دارند. بنابراین حفظ کیفیت هوا با انجام اقداماتی بسیار مهم است (Kuklinska et al., 2015). یکی از اصلی‌ترین مشکلات محیط‌زیستی کرج، مسأله آلودگی هوا است. میلیون‌ها انسان در طول روز از هوای بسیار آلوده کرج تنفس می‌کنند و در صورت ادامه وضعیت رشد منابع تولید آلودگی، دور نیست که به یک فاجعه بشری تبدیل شود. حمل و نقل همانند دیگر نیازهای بشر جزء جدایی‌ناپذیر زندگی است که باعث مصرف انواع سوخت‌های فسیلی شده و دارای پیامدهایی چون تغییر در کاهش منابع سوخت و تولید انواع پسماندها می‌شود. انتشار از وسایل نقلیه یکی از بزرگترین منابع آلاینده‌های هوا مانند مونوکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق است (Molina and Molina, 2004). منابع متحرک به‌عنوان منابع اصلی آلاینده‌های هوا در مناطق شهری هستند (Pattinson et al., 2014) که در راستای کاستن انتشار، استراتژی‌های بسیاری در مناطق شهری جهان اجرا شده است (Rakowska et al., 2014). 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. این واحد فعالیت می‌تواند واحد زمان، مصرف سوخت، مقدار انرژی ورودی و یا مسافت پیموده شده باشد. با ضرب کردن ضریب انتشار در کل فعالیت، میزان کل

انتشار به‌دست می‌آید (Shahbazi et al., 2016).

سیاهه انتشار، اهداف کیفی را به اهداف کمی تبدیل کرده و بررسی اثربخشی برنامه‌های کاهش آلودگی هوا را فراهم می‌سازد. یکی از مدل‌هایی که قابلیت برآورد انتشار آلاینده‌های هوا را دارد، IVE<sup>۱</sup> است که برای تخمین میزان انتشار خودروها در تمامی کشورها استفاده می‌شود. این مدل با استفاده از سطح تکنولوژی خودروهای محلی و توزیع آن‌ها، فاکتورهای رانندگی بر اساس توان خودروها، زمان شروع، سرد و پارامترهای هواشناسی به تخمین مشخصی از انتشار می‌پردازد. این مدل بر اساس سناریوهای متفاوت، انواع تکنولوژی، نوع سوخت، تعمیر و نگهداری، الگوهای رانندگی و اثر روش‌های متفاوت کنترل آلودگی طراحی شده است (Shafie-Pour et al., 2013).

مطالعات مختلفی در رابطه با کاربرد سیاهه انتشار با طراحی سناریوها در مدیریت آلودگی هوا صورت گرفته است. در مطالعه‌ای Zhang و همکاران (۲۰۱۴)، سناریوهایی را برای کاهش میزان انتشار آلاینده‌های هوا در شهر هانگژو چین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها میزان انتشار CO، VOCs، PM و NO<sub>x</sub> را تحت چهار سناریو تا سال ۲۰۱۵ شبیه‌سازی و تخمین زدند. بر اساس تجزیه و تحلیل سناریو، مشخص شد که حذف وسایل نقلیه غیر استاندارد و ارتقاء استانداردهای خودرو می‌تواند به‌طور مؤثری میزان انتشار CO و VOC را کاهش دهد. همچنین در تحقیقی، سناریوهای کاهش در انتشار آلاینده‌های هوا (CO، NO، PM<sub>10</sub>، HC) در بخش حمل و نقل در سه شهر بزرگ چین، پکن، تیانجین و هبی (BTH) توسط Guo و همکاران (۲۰۱۶)، در یک بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها یک سناریو پایه و ۵ سناریو دیگر را طراحی و آنالیز کردند.

Mirshi و همکاران (۲۰۱۳)، در خصوص بررسی تعیین ضریب انتشار آلاینده NO<sub>x</sub> خودروهای سواری بنزینی داخل کشور نشان دادند، که میزان نرخ انتشار آلاینده NO<sub>x</sub> با

<sup>۱</sup>International Vehicle Emissions (IVE)

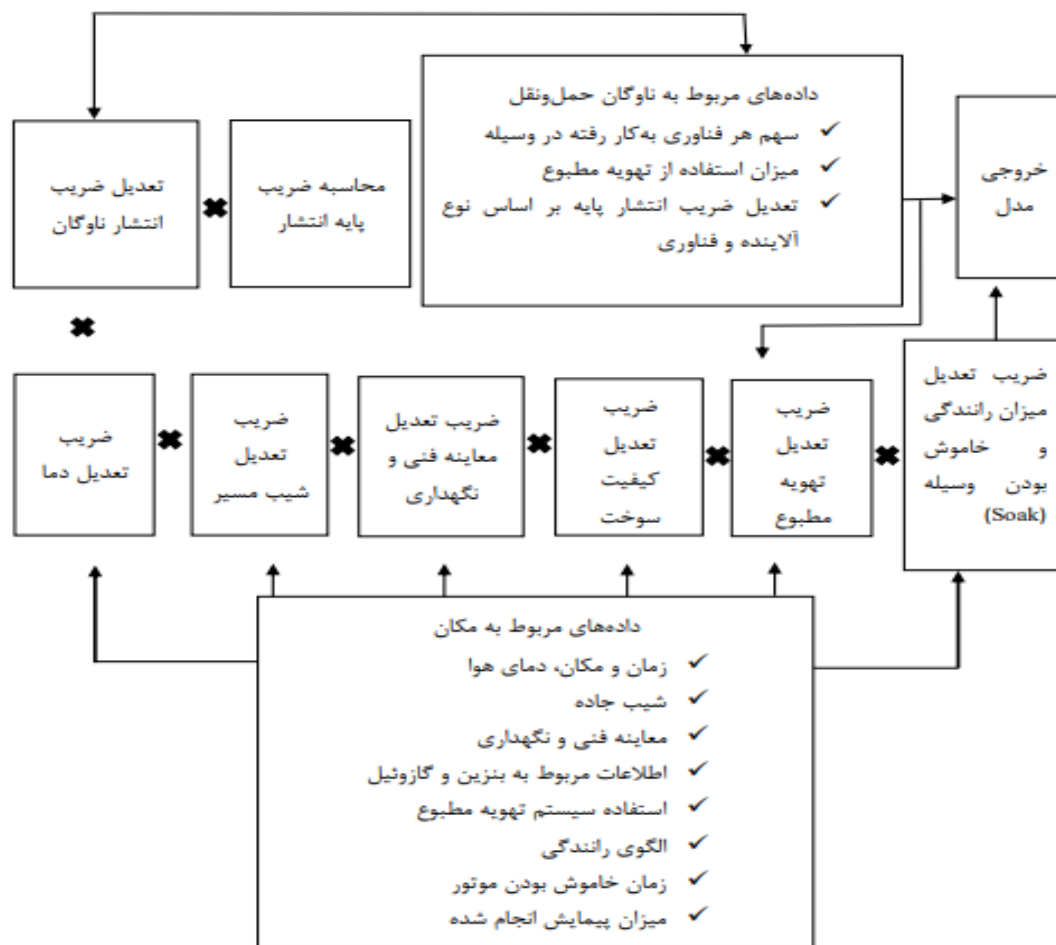
## مواد و روش ها

**منطقه مورد مطالعه:** محدوده مکانی مطالعه، شهر کرج یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان البرز است، جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱,۷۵۹,۳۹۴ نفر است. تعداد خطوط تاکسیرانی کرج ۱۱۵ خط است، ۱۲۵۰۰ دستگاه تاکسی در شهر کرج وجود دارد که ۷۷۰۰ تاکسی ایستگاهی و ۴۸۰۰ دستگاه تاکسی به صورت گردش فعالیت می‌کنند (Alborz Province Management and Planning Organization, 2016).

**روش تحقیق:** اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش، منابع متحرک (ناوگان تاکسی) بود. این اطلاعات با استفاده از مطالعه دوربین‌های نظارتی سطح شهر کرج برای تعیین تعداد، اندازه و نوع وسیله نقلیه با همکاری معاونت حمل و نقل بار و مسافر شهرداری کرج، اطلاعاتی از برگه‌های معاینه فنی، مصاحبه با رانندگان در ایستگاه‌های تاکسی سطح شهر کرج و همچنین اطلاعاتی از پلیس راهور دریافت شد. در این مطالعه میزان انتشار آلاینده‌ها ناشی از تردد تاکسی در سطح شهر کرج تعیین شد. در ادامه، ناوگان تاکسی 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 به دست آمد. همچنین اطلاعات مربوط به میزان فعالیت تاکسی‌ها در معابر منتخب شهر کرج حاصل شد و در صورت وجود 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 به دست آمد (Shahbazi et al., 2016). ضرایب انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل IVE به ازای سه نوع معبر شریانی درجه ۱، بزرگراهی و آزادراهی، با شیب‌های صفر و  $\pm 2$  درصد و سطح انتشار آلاینده‌های CO، VOC، NO<sub>x</sub>، SO<sub>x</sub> و ذرات معلق مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه مقدار انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل انتشاری IVE، به چهار دسته از اطلاعات،

روشن بودن سیستم تهویه و یا حرکت در جاده‌هایی با شیب مثبت، بالا خواهد بود. همچنین سرعت متوسط و نوع سیکل رانندگی افزایش تعداد توقفات و کاهش سرعت متوسط، باعث افزایش میزان انتشار این آلاینده می‌گردد. Delkash و Mir (۲۰۱۶)، پتانسیل تعدادی از سناریوها را در کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها بر اساس مدل IVE از بخش حمل و نقل در شهر تهران مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد جایگزینی خودروهای فرسوده با خودروهای جدید می‌تواند باعث بهبود کیفیت هوا و کاهش میزان انتشار تا ۵۳ درصد در مونوکسیدکربن، ۵۲ درصد VOCs و ۵۸ درصد در انتشار متان از وسایل نقلیه سواری سبک شود. همچنین در مطالعه Ghadiri و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل IVE اثربخشی استفاده از بنزین یورو ۴ در سیستم حمل و نقل شهر تهران را در کیفیت هوا مورد بررسی قرار دادند. نتایج کاهش ۸۷ درصدی از انتشار CO در هوای شهر تهران با استفاده از سوخت یورو ۴ را نشان داد.

با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در ایران و مسئله آلودگی هوا در کلان‌شهرها به‌ویژه کرج، در پژوهش حاضر به توسعه سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک در سطح شهر پرداخته شد. اجرای طرح‌ها و برنامه‌های مرتبط با کنترل منابع انتشار آلاینده‌ها هزینه‌های زیادی دارد که می‌توان با بررسی و تحلیل سناریوهای مرتبط با کاهش انتشار و ارزیابی اثربخشی آن‌ها، با کارایی بیشتری بودجه و امکانات موجود را بکار گرفت. هدف از توسعه سیاهه انتشار در این پژوهش، کمی‌سازی مقادیر انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک (ناوگان تاکسی) برای آلاینده‌های گوناگون در انواع معابر شهر کرج و برآورد میزان موثر بودن سناریوها در حوزه جایگزینی ناوگان تاکسی موجود به ناوگانی با سوخت دوگانه و هیبریدی در کاهش انتشار آلاینده‌های CO، NO<sub>x</sub>، SO<sub>x</sub>، PM و VOCs با استفاده از مدل IVE است. همچنین تهیه نقشه توزیع انتشار آلاینده‌ها از ناوگان تاکسی شهر کرج، با استفاده از نرم‌افزار Arc Map، انجام شد.



شکل ۱- ساختار پردازش اطلاعات در مدل انتشاری IVE.

جدول ۱- سناریوهای طراحی شده.

سناریوها	بر اساس سن ناوگان (بالای ۱۰ سال) و استاندارد آلاینده‌ی (کمتر از یورو ۴)	درصد فرسودگی	جایگزینی ناوگان جدید (هیبریدی، دوگانه‌سوز و سوخت یورو ۴)
سناریو ۱	سن ناوگان	۷۳ درصد	جایگزینی ۵۰ درصد
سناریو ۲	سن ناوگان	۷۳ درصد	جایگزینی ۱۰۰ درصد
سناریو ۳	استاندارد آلاینده‌ی	۵۸ درصد	جایگزینی ۵۰ درصد
سناریو ۴	استاندارد آلاینده‌ی	۵۸ درصد	جایگزینی ۱۰۰ درصد

دما، رطوبت، ارتفاع نسبت به سطح دریا و نوع سوخت مصرفی) نیاز بود که در این پژوهش استفاده شد (شکل ۱). برای به‌دست آوردن مهم‌ترین ورودی نرم‌افزار IVE، (ضریب الگوی رانندگی)، از قدرت مشخصه خودرو<sup>۲</sup> و تنش موتور<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. در ادامه، سناریوهای کاهش انتشار

از جمله، نرخ انتشار خودروها در شرایط پایه، الگوی رانندگی وسایل نقلیه (سرعت در واحد زمان)، ترکیب ناوگان وسایل نقلیه در دسته‌بندی‌های مختلف و شرایط آب‌وهوایی و جغرافیایی منطقه و همچنین مشخصات سوخت (شامل

<sup>3</sup>Engine Stress

<sup>2</sup>Vehicle Specific Power (VSP)

جدول ۲- انتشار کل آلاینده‌ها (بر حسب گرم بر کیلومتر)، در سال ۱۳۹۸، سناریو پایه ناوگان تاکسی شهر کرج.

CO	VOC	VOC evap	NOx	SOx	PM
۲۴۹/۰۷	۲۵۹/۱۵	۸۷/۶	۱۷۷۷	۳/۶۵	۱۰/۹۵

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

CO	VOC	VOC evap	NOx	SOx	PM	شیب معبر ۲٪+ و	سناریوها
۳۱	۴۶	۲۹	۲۳	۱۰۰	۳۳	شریانی ۱	سناریو ۱
۶۷	۸۴	۷۰	۵۲	۱۰۰	۶۶	شریانی ۱	سناریو ۲
۴۷	۲۹	۲۰	۳۸	۰	۰	شریانی ۱	سناریو ۳
۷۱	۵۹	۶۲	۶۰	۰	۳۳	شریانی ۱	سناریو ۴

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

CO	VOC	VOC evap	NOx	SOx	PM	شیب معبر ۲٪+ و	سناریوها
۳۱	۴۶	۳۷	۲۳	۰	۵۰	بزرگراهی	سناریو ۱
۶۷	۸۳	۷۵	۵۲	۰	۵۰	بزرگراهی	سناریو ۲
۴۷	۳۰	۳۱	۳۸	۰	۰	بزرگراهی	سناریو ۳
۷۱	۵۹	۶۸	۶۰	۰	۵۰	بزرگراهی	سناریو ۴

کیلومتر)، سناریو پایه ناوگان تاکسی، در جدول ۲، نشان داده شده است. محاسبات مربوط به کاهش انتشار آلاینده‌ها در چهار سناریو جایگزینی ناوگان حمل و نقل فرسوده با خودروهای هیبریدی، دوگانه‌سوز (CNG) و با سوخت بنزینی دارای استاندارد یورو ۴ در جدول‌های ۳ تا ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد، سناریو ۲، سناریوی برتر است، زیرا در این سناریو کاهش ۸۰ درصدی انتشار مهم‌ترین آلاینده از ناوگان تاکسی‌ها که ترکیبات آلی فرار (VOC) می‌باشد، نشان داده شد.

**نقشه‌های میانگین توزیع انتشار آلاینده‌های معیار سناریو پایه ناوگان تاکسی شهر کرج:** تهیه نقشه‌های میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 10.6.1 و داده‌های خروجی از مدل IVE انجام گرفت.

آلاینده‌ها در چند محور نوسازی و جایگزینی ناوگان (بر اساس سن ناوگان)، استفاده از وسایل نقلیه هیبریدی و دوگانه سوز (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 صورت گرفت (شکل‌های ۲ و ۳).

## نتایج

درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوهای جایگزینی ناوگان تاکسی فرسوده در مقایسه با سناریو پایه به تفکیک معابر: انتشار کل آلاینده‌ها (بر حسب گرم بر

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

۰.۲+

سناریوها	شیب معبر ۲٪ و ۰	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو ۱	آزادراهی	۰	۰	۲۳	۳۸	۴۶	۳۱
سناریو ۲	آزادراهی	۰	۰	۵۲	۷۶	۸۵	۶۷
سناریو ۳	آزادراهی	۰	۰	۳۸	۳۰	۲۹	۴۷
سناریو ۴	آزادراهی	۰	۰	۶۰	۶۹	۵۸	۷۱

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

۰.۲-

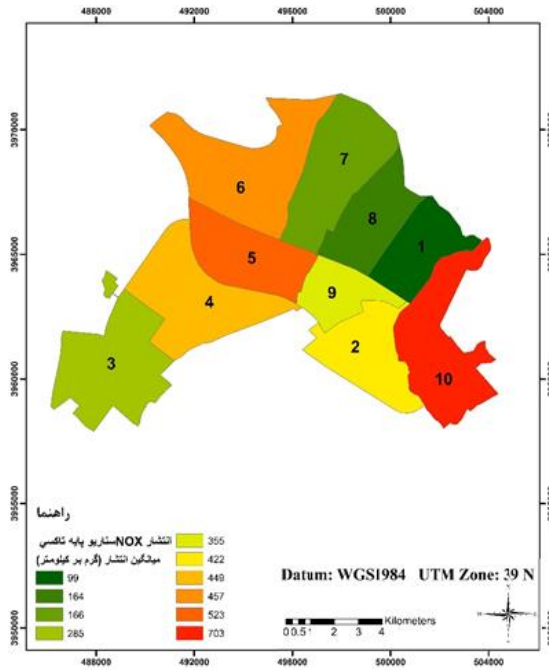
سناریوها	شیب معبر ۲-٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو ۱	شریانی ۱	۱۰۰	۰	۲۳	۳۹	۴۶	۳۱
سناریو ۲	شریانی ۱	۱۰۰	۰	۵۲	۷۵	۸۶	۶۷
سناریو ۳	شریانی ۱	۰	۰	۳۸	۳۲	۳۳	۴۷
سناریو ۴	شریانی ۱	۰	۰	۶۰	۶۷	۶۰	۷۱

جدول ۷- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر بزرگراهی، با شیب جاده ۰.۲-

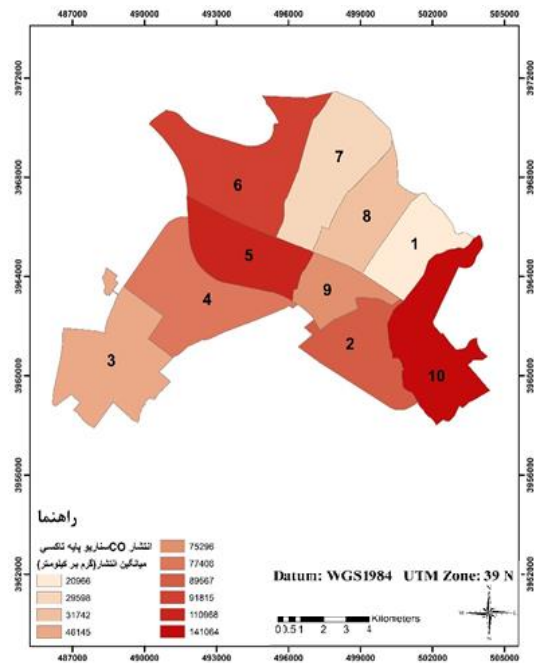
سناریوها	شیب معبر ۲-٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو ۱	بزرگراهی	۰	۰	۲۳	۳۷	۴۴	۳۱
سناریو ۲	بزرگراهی	۱۰۰	۰	۵۲	۷۵	۸۳	۶۷
سناریو ۳	بزرگراهی	۰	۰	۳۸	۳۱	۳۳	۴۷
سناریو ۴	بزرگراهی	۰	۰	۶۰	۶۸	۶۱	۷۱

جدول ۸- درصد کاهش آلاینده‌های معیار سناریوها، در مقایسه با سناریو پایه در معبر آزادراهی، با شیب جاده ۰.۲-

سناریوها	شیب معبر ۲-٪	PM	SOx	NOx	VOC evap	VOC	CO
سناریو ۱	آزادراهی	۱۰۰	۰	۲۳	۳۸	۵۰	۳۱
سناریو ۲	آزادراهی	۱۰۰	۰	۵۲	۷۶	۸۵	۶۷
سناریو ۳	آزادراهی	۰	۰	۳۸	۳۰	۲۸	۴۷
سناریو ۴	آزادراهی	۱۰۰	۰	۶۰	۶۹	۵۷	۷۱

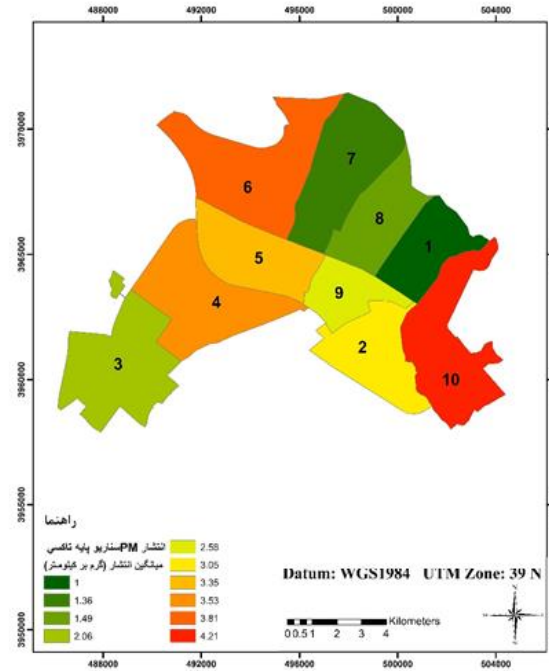


ب

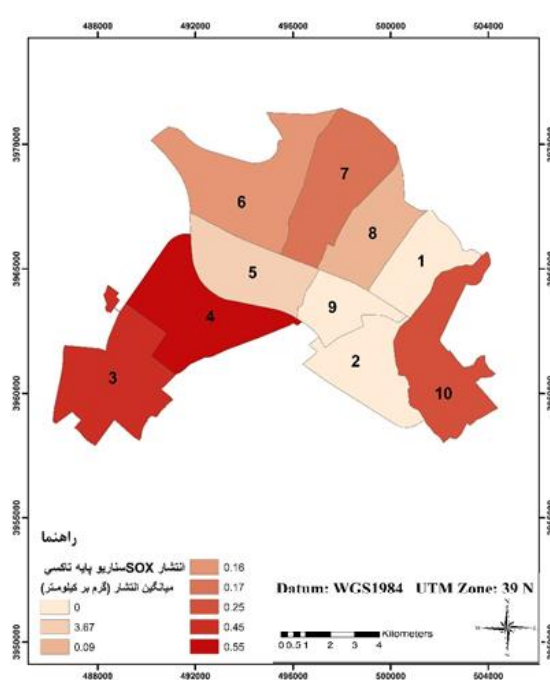


الف

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



ب



الف

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

کرج در سناریو پایه، نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، میانگین انتشار مونوکسیدکربن (الف)، و اکسیدهای نیتروژن (ب)، در منطقه ۱۰ دارای بیشترین و منطقه ۱ دارای کمترین انتشار است. با توجه به شکل ۳، میانگین انتشار

در شکل‌های ۲ و ۳، میانگین توزیع انتشار آلاینده‌های هوا (مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق) از ناوگان تاکسی در حال تردد در معابر شهر

اکسیدهای گوگرد (الف)، در منطقه ۴ و انتشار ذرات معلق (ب)، در منطقه ۱۰ دارای بیشترین و منطقه ۱ دارای کمترین انتشار است.

### بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر (جدولهای ۳ تا ۸)، نشان داد که بیشترین انتشار مربوط به مونوکسیدکربن و ترکیبات آلی فرار ناشی از تاکسی‌ها است. Zhou و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ی ویژگی‌های انتشار و توزیع مکانی و زمانی آلاینده‌ها از وسایل نقلیه موتوری در چنگدو، چین با استفاده از مدل IVE، در روش پایین به بالا بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در مورد شبکه جاده، جریان ترافیک، الگوی رانندگی وسیله نقلیه، جمعیت وسیله نقلیه، و غیره، نتایج نشان داد خودروهای سبک و وسایل نقلیه متوسط سهم عمده‌ای در انتشار CO داشتند و انتشار CO آنها به ترتیب ۴۴٪، ۱۴٪ و ۱۱٪ از کل انتشار CO را تشکیل می‌دهد. همچنین نشان داد VOCها عمدتاً از وسایل نقلیه سبک و موتورسیکلت منتشر می‌شود، که انتشار VOCs از آنها به ترتیب ۴۹، ۱۹ و ۱۰ درصد از کل انتشار VOCs را تشکیل می‌دهند، همچنین بررسی روند گذشته و آینده آلاینده‌ی خودرو در تیانجین چین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ توسط Sun و همکاران (۲۰۱۹)، برای محاسبه انتشارات از حمل و نقل جاده‌ای از مدل (COPERT) و شبیه‌سازی عوامل انتشار خودرو استفاده شد، نتایج نشان داد، که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، خودروهای سواری و وسایل نقلیه سبک عوامل اصلی انتشار CO و VOC بودند، که این نتایج هم‌راستا با نتایج این مطالعه است.

طبق یافته‌های مطالعه حاضر، الگوی رانندگی بر میزان تولید آلاینده‌ها در کلان‌شهرها تأثیرگذار است، نتایج نشان داد، با تغییر الگوی رانندگی (سرعت متوسط و شتاب خودرو)، میزان آلاینده‌ی تولیدی از ناوگان تاکسی شهر کرج در سناریوهای مختلف می‌تواند به‌طور میانگین از ۳۰ تا ۵۰ درصد مونوکسیدکربن را کاهش دهد. Mirshi و همکاران (۲۰۱۲)،

تأثیر الگوی رانندگی بر میزان آلاینده‌ی تولیدی توسط خودروها در شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند و برای تعیین انتشار آلاینده‌ها از مدل IVE استفاده کردند، نتایج تحقیق نشان داد، که الگوی رانندگی اثر قابل ملاحظه‌ای بر میزان تولید آلاینده‌ی داشته و عملاً نسبت به یک چرخه مینا می‌تواند میزان آلاینده‌ی CO تولیدی را تا بیش از ۴۰٪ افزایش دهد. این میزان برای آلاینده NO<sub>x</sub> کمتر از ۱۰٪ و برای آلاینده‌های VOC حدود ۲۰٪ افزایش نشان می‌دهد. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تقریباً نیمی از تعداد تاکسی‌های شهر کرج دارای استاندارد یورو ۴ هستند. 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 آلاینده‌ی و مصرف بالای سوخت هر گونه فعالیتی را در راستای بهبود کیفیت هوا می‌تواند خنثی سازد. برای طراحی سناریوهای کاهش آلودگی هوا در این پژوهش اثربخشی استفاده از سوخت بنزینی 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 تاکسی، سناریوی ۲ است، در این سناریو، با جایگزینی کل ناوگان فرسوده از نظر سن، به ناوگان هیبریدی، دوگانه‌سوز و سوخت مصرفی دارای استاندارد یورو ۴، بیشترین تأثیر کاهش انتشار آلاینده‌های معیار، ۶۸٪ (CO)، ۸۵٪ (VOC)، ۵۳٪ (NO<sub>x</sub>)، ۱۰۰٪ (SO<sub>x</sub>) و ۶۷٪ (PM)، را نشان داد. در مطالعه‌ی Zhang و همکاران (۲۰۱۴)، سناریوهایی را برای کاهش میزان انتشار آلاینده‌ی های هوا در شهر هانگژو چین مورد بررسی قرار دادند. آنها میزان انتشار CO، VOCs، PM و NO<sub>x</sub> را تحت چهار سناریو تا سال ۲۰۱۵ در این شهر شبیه‌سازی و تخمین زدند. نتایج آن‌ها میزان انتشار CO، VOCs، NO<sub>x</sub> و PM از وسایل نقلیه را به ترتیب ۴۴۰/۵۵۱، ۲۳/۰۷۹، ۴۴/۲۵۵ و ۶/۵۳۲ کیلوگرم/تن در سال ۲۰۱۰ نشان داد. بر اساس تجزیه و تحلیل سناریو، مشخص شد که حذف وسایل نقلیه



انتشار آلاینده‌های هوا به‌جز SO<sub>x</sub> داشتند. Zhao و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه انتشارات غیرقابل تنظیم از تاکسی با گاز طبیعی بر اساس مدل IVE، نتایج نشان داد که تاکسی با گاز طبیعی می‌تواند تا حد زیادی انتشار آلاینده‌ها به‌خصوص CO را کاهش دهد. نتایج مطالعه حاضر کاملاً هم‌راستا با نتایج مطالعات انجام شده محققین است.

این یافته‌ها لزوم نوسازی ناوگان وسایل نقلیه به خصوص ناوگان عمومی تاکسی، مؤثر در آلودگی ناشی از ترکیبات آلی فرار را یادآوری می‌نماید. بنابراین برای بهبود کیفیت هوای کلان‌شهر کرج، با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود، ضمن بهبود تدریجی کیفیت سوخت مصرفی که رویکردی ملی است، جایگزینی ناوگان فرسوده تاکسی با ناوگان هیبریدی، دوگانه‌سوز و سوخت مصرفی دارای استاندارد آلاینده‌ی یورو ۴، و سیاست‌های کنترل انتشار از وسایل نقلیه در مقیاس محلی اعمال گردد که به‌دنبال این سیاست‌ها، بدون ایجاد فرهنگ‌سازی مناسب الگوی رانندگی، برای عموم جامعه به‌عنوان یک عنصر اصلی در میزان انتشار آلاینده‌ها، بی‌نتیجه خواهد بود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان "ارزیابی سناریوهای کاهش آلودگی هوا از منابع انتشار متحرک شهر 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.

غیراستاندارد و ارتقاء استانداردهای خودرو می‌تواند به‌طور مؤثری میزان انتشار CO و VOC را کاهش دهد. همچنین Marino و همکاران (۲۰۲۰)، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای از وسایل نقلیه شهر رجیو کالابریا (ایتالیا) مورد ارزیابی قرار دادند. برای کاهش تأثیر وسایل نقلیه آلاینده در انتشار محلی و جهانی، چهار سناریو برای سال ۲۰۲۵ فرض شده است. از تجزیه و تحلیل سناریوها، مؤثرترین سناریو چهارمین مورد بود که باعث کاهش ۴۵٪ NMVOC و ۴۴٪ CO شد. نتایج نشان داد که حضور وسایل نقلیه هیبریدی و الکتریکی می‌تواند به‌میزان قابل‌توجهی در کاهش آلودگی هوا کمک کند. Mohammadiha و همکاران (۲۰۱۸)، سناریوهای کاهش در انتشار آلاینده‌های هوا در بخش حمل و نقل در شهر تهران را با استفاده از مدل IVE در یک بازه زمانی ۲۰۲۸-۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند. در بازه زمانی کوتاه‌مدت سناریوهای حذف وسایل نقلیه کاربراتوری، جایگزینی کاتالیست‌های فرسوده و افزایش بهبود کیفیت سوخت عملکرد بالایی در کنترل انتشار CO، VOCs و NO<sub>x</sub> داشت. در بازه زمانی میان‌مدت جایگزینی کاتالیست‌های فرسوده، حذف وسایل نقلیه کاربراتوری و افزایش کیفیت سوخت دارای بیشترین اثرگذاری در کاهش انتشار آلاینده‌های CO، VOCs و NO<sub>x</sub> بود و در نهایت در یک بازه زمانی درازمدت سناریوهای جایگزینی کاتالیست‌های فرسوده، حذف وسایل نقلیه کاربراتوری و افزایش کیفیت سوخت، جایگزینی موتورسیکلت‌ها با سوخت‌های جدید دارای بیشترین اثرگذاری بودند. نتایج نشان داد که سناریو (جایگزینی کاتالیست‌های فرسوده) VCR و (حذف وسایل نقلیه کاربراتوری) ECV بیشترین میزان کنترل را در کاهش

### References

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 p.

Delkash, M., Mir, H.M., 2016. Examining some potential actions in mitigating gaseous emissions from vehicles, case study: Tehran. Air Quality, Atmosphere & Health 9(8), 909-921.

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 Model. *Pollution* 3(4), 639-653
- Guo, H., So, K.L., Simpson, I.J., Barletta, B., Meinardi, S., Blake, D.R. 2016. C1-C8 volatile organic compounds in the atmosphere of Hong Kong: overview of atmospheric processing and source apportionment. *Atmospheric Environment* 41(7), 1456-1472.
- Kuklinska, K., Wolska, L., Namiesnik, J., 2015. Air quality policy in the US and the EU—a review. *Atmospheric Pollution Research* 6(1), 129-137.
- 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.
- Mirshi, S., Bani Talebi, A., Hosseini, V., 2013. Comparison of NOx pollutant emission of a sample of comparison cars from gasoline passenger cars produced in Iran, obtained by direct measurement method, with emission coefficients available in the world. The second national conference on air and noise pollution management, Tehran, Sharif University. pp: 7.
- Mirshi, S., Enayati Ahangar, F., Hosseini, V. 2012. Investigating the effect of driving pattern on the amount of pollution produced by cars in Tehran. The 12<sup>th</sup> International Conference on Transportation and Traffic Engineering. pp: 11.
- Mohammadiha, A., Malakooti, H., Esfahanian, V., 2018. Development of reduction scenarios for criteria air pollutants emission in Tehran Traffic Sector, Iran. *Science of the Total Environment* 622, 17-28.
- Molina, M.J., Molina, L.T., 2004. Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air & Waste Management Association* 54(6), 644-680.
- 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.
- 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.
- Shafi'pour, M., Tavakoli, A., 2013. Prediction of road vehicle pollution using IVE simulation model. *International Journal of Environmental Research* 7(2), 367-376.
- Shahbazi, H., Taghvaei, S., Hosseini, V., Afshin, H., 2016. A GIS based emission inventory development for Tehran. *Urban Climate* 17, 216-229.
- Sun, S., Zhao, G., Wang, T., Jin, J., Wang, P., Lin, Y., Li, H., Ying, Q. and Mao, H., 2019. Past and future trends of vehicle emissions in Tianjin, China, from 2000 to 2030. *Atmospheric environment*, 209, pp.182-191.
- 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.
- Zhao, H., Mu, L., Li, Y., Qiu, J., Sun, C., Liu, X., 2021. Unregulated Emissions from Natural Gas Taxi Based on IVE Model. *Atmosphere* 12(4), 478
- Zhou, Z., Tan, Q., Liu, H., Deng, Y., Wu, K., Lu, C. and Zhou, X., 2019. Emission characteristics and high-resolution spatial and temporal distribution of pollutants from motor vehicles in Chengdu, China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(3), pp.749-758.