Archive of SID

محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
صفحات: ۹۴۷-۹۳۵

مدل‌سازی فضایی انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک در کلان‌شهر کرج

مظاهر معین الدینی[1]*، محمدصالح علی طالشی[2]، رخساره عظیمی یانچشمه[2]

۱. دکتری محیط زیست، استادیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشجوی دکتری مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، آلودگی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۵؛ تاریخ تصویب: ۹۶/۰۷/۲۹)

چکیده

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات در کلانشهرها است. جهت تهیهٔ برنامه جامع کاهش آلودگی هوا و در حقیقت پیشگیری از انتشار آلاینده‌ها بایستی در ابتدا مقدار و اهمیت انتشار آلاینده‌های مهم از منابع مختلف تعیین شود. لذا هدف از این مطالعه، بررسی میزان انتشار آلاینده‌های مهم هوا از منابع متحرک و مدل‌سازی و تعیین توزیع فضایی هر یک از آن‌ها در شهر کرج بود. برای این منظور با استفاده از مدل بین‌المللی انتشار از وسایل نقلیهٔ (IVE) به تفکیک نوع وسایل نقلیه، ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا تعیین شد. در نهایت میزان و توزیع انتشار سالانهٔ آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه در شهر کرج محاسبه و با توجه به شبکهٔ معابر شهر در GIS توزیع فضایی انتشار آلاینده‌ها نقشه سازی شد. نتایج مطالعه نشان داد که میزان حداکثر انتشار سالانهٔ آلاینده‌ها شامل مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار، ذرات معلق و دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۱۶۸۸/۸۴، ۱۸۵/۶۱، ۶/۲۶، ۳۱/۱۶، ۱۲۰/۵۴ و ۳۳۷۳۷/۰۴ تن در سال است. نتایج نشان داد که انتشار ذرات معلق و اکسیدهای نیتروژن مرتبط با وسایل نقلیهٔ سنگین و در معابر بزرگراهی و انتشار مونوکسیدکربن و آلاینده‌های آلی فرار مرتبط با وسایل نقلیهٔ سبک و در معابر شریانی هستند. به‌علاوه ضریب انتشار اکسیدهای گوگرد برای وسائل نقلیهٔ سنگین بیشتر بوده ولی درکل، میزان منتشر شده از وسائل نقلیهٔ سبک‌تر به دلیل تعداد بیشتر آن‌ها نسبت به وسائل نقلیهٔ سنگین بیشتر بود. همچنین بالاترین مقدار انتشار آلاینده‌ها در مناطق ۳، ۴ و ۶ و پایین‌ترین مقدار در مناطق ۱، ۸ و ۹ مشاهده شد.

کلید واژگان: منابع متحرک، سیاههٔ انتشار، مدل IVE، کرج

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۴+۹۸۲۶۳۲۲۲۳۰
ایمیل: Moeinaddini@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

آلودگی هوای ناشی از رشد سریع ترافیک، صنعتی شدن و شهرنشینی منجر به نگرانی عمومی زیادی شده است (Tang *et al.*, 2012). منابع متحرک به عنوان منابع اصلی آلایندهٔ هوا در مناطق شهری هستند (Pattinson *et al.*, 2014) و استراتژی‌های بسیاری در مناطق شهری در سراسر جهان برای کاستن از انتشار وسایل نقلیه اجرا شده است (Rakowska *et al.*, 2014). شواهد اپیدمیولوژیکی گسترده‌ای، وجود رابطهٔ بین تماس انسان با آلاینده‌های اتمسفری و آثار بهداشتی مضر مختلف و مرگ‌ومیر کلی را تأیید کرده‌اند (Wang *et al.*, 2010). در مناطق شهری، انتشار ناشی از حمل‌ونقل جاده‌ای منبع اصلی آلایندهٔ هوا به‌ویژه ذرات معلق[1] (PM) است. به‌طوری‌که نتایج مطالعهٔ توسعهٔ سیاههٔ انتشار در شهر تهران نیز نشان داد که منابع متحرک حدود ۸۵ درصد از کل آلاینده‌های تجمعی را تولید می‌نمایند (Shahbazi *et al.*, 2016). علی‌رغم استفادهٔ گسترده از فناوری‌های کنترل انتشار در وسایل نقلیهٔ موتوری هنوز آن‌ها به عنوان مهم‌ترین منبع آلایندهٔ شهری به‌حساب می‌آیند (Pant *et al.*, 2013). اخیراً، سازمان بهداشت جهانی[2] (WHO) خروجی‌های دیزلی را در گروه ۱ از ترکیبات سرطان‌زا طبقه‌بندی کرده است (WHO, 2012). به‌عنوان مثال، مخاطرات سرطان ریه (Beelen *et al.*, 2008) و زوال سیستم تنفسی در کودکان (Rosenlund *et al.*, 2009) از اثرات مضر این ترکیبات سرطان‌زا است. همچنین مطالعات مختلفی ارتباط بین بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی را با افزایش میزان آلودگی هوا تأیید کرده‌اند (Mabahwi *et al.*, 2014; Wai *et al.*, 2015). نظر به اینکه ترکیب شیمیایی هوای شهری ناهمگن بوده و غلظت آلاینده‌های هوا در مناطق شهری در طی مکان و زمان متغیر است (Pinto *et al.*, 2004)، نیاز زیادی به توسعهٔ روش‌های کاربردی جهت جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفیت هوای شهری در بعد زمان و فضا از منابع مختلف انتشار دارد (O'Learye & Lemke, 2014).

سیاهه‌نویسی انتشار، ابزاری کاربردی و لازم جهت بررسی دقیق توزیع فضایی و زمانی انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف و ارزیابی اثرات استراتژی‌های کاهنده است (Rakowska *et al.*, 2014). یک سیاههٔ انتشار آلایندهٔ هوا اطلاعات اساسی را برای مدل‌سازی کیفیت هوا و توسعهٔ استراتژی کنترل آلودگی فراهم می‌نماید (Che *et al.*, 2011). علاوه بر این سیاهه‌ها برای آگاهی از چگونگی تشکیل و انتقال آلاینده‌ها ضروری‌اند (Fu *et al.*, 2013). تاکنون سیاهه‌های انتشار چند مقیاسی در بعد شهری، منطقه‌ای، ملی یا حتی در بعد قاره‌ای ایجاد شده‌اند (Streets *et al.*, 2003). برخی، همچنین بر آلاینده‌های منفرد یا یک بخش خاص تمرکز دارند (Su *et al.*, 2011). مطالعات مختلفی در سراسر جهان کاربرد سیاههٔ انتشار را در مدیریت آلودگی هوا مورد بررسی قرار داده‌اند. طرح‌ریزی سیاهه‌های انتشار وسایل نقلیه بر اساس فاکتورهای انتشار دینامیک به صورت موردی توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۸) در یکی از شهرهای چین بررسی شد. این مطالعه با توجه ویژه بر قوانین انتشار آلاینده‌ها، سوخت و استهلاک خودرو صورت گرفت. نتایج سیاههٔ انتشار نشان داد که قوانین مربوط به محدودیت‌های انتشار وسایل نقلیه برای کاهش آلاینده‌ها مؤثر نیستند. سیاههٔ انتشار وسایل نقلیه در سطح جاده‌ای در مقیاس مزو در شهر داکا بنگلادش بر پایهٔ تحلیل علت- اثر سیستم حمل‌ونقل توسط Iqbal و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از رویکرد پایین- بالا[3] که انتشارات جاده‌ای را در فواصل ویژه با در نظر گرفتن حجم ترافیک روزانه و پروفایل‌های سرعت جاده‌ای مدنظر قرار می‌دهد به منظور تهیهٔ سیاهه استفاده شد. نتایج نشان داد که روند افزایش سالانهٔ وسایل نقلیه شخصی و افزایش ترافیک منجر به افزایش تهدید ناشی از انتشارات وسایل نقلیه می‌گردد. خصوصیات انتشار

[1] Particulate Matter (PM)
[2] World Health Organization (WHO)
[3] Bottom-Up method

www.SID.ir

Archive of SID

سطح جاده‌ای وسایل نقلیهٔ سنگین در شانگهای توسط Chen و همکاران (۲۰۰۷) مطالعه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که نرخ انتشار وسایل نقلیه به طور قابل توجهی با فاکتورهایی همچون سرعت و شتاب تغییر می‌نماید. با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در ایران و مسئلهٔ آلودگی هوا در کلان‌شهرها به‌ویژه کرج، در مطالعهٔ حاضر به توسعهٔ سیاههٔ انتشار آلاینده‌های هوای منابع متحرک در سطح شهر کرج پرداخته شد. هدف از توسعهٔ سیاههٔ انتشار در این پژوهش، کمی‌سازی مقادیر انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک، شناسایی و اهمیت‌سنجی و مقایسهٔ منابع متحرک مختلف برای آلاینده‌های گوناگون در انواع معابر شهر کرج بود، به عبارتی به طور فضایی، انتشار آلاینده‌های مهم هوا از منابع متحرک در کلان‌شهر کرج در سطح معابر و مناطق تعیین شد. همچنین، تولید اطلاعات موردنیاز ورودی برای مدل‌های پراکنش آلودگی هوا، می‌تواند راهکارهایی را در راستای کاهش آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک ارائه دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

کرج یکی از کلان‌شهرهای ایران و همچنین مرکز استان البرز است. جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰ برابر ۲۰۲۴۷۶۵ نفر و مساحت آن ۱۶۲ کیلومترمربع است. شهرستان کرج با رشد جمعیت سالانه ۳/۱۷ بالاترین میزان رشد جمعیت را در سطح استان البرز و حتی کشور دارا است که از این جهت، به عنوان پنجمین شهر پر جمعیت ایران به شمار می‌رود (Deputy of strategic planning and control, 2011).

۲،۲. روش تحقیق

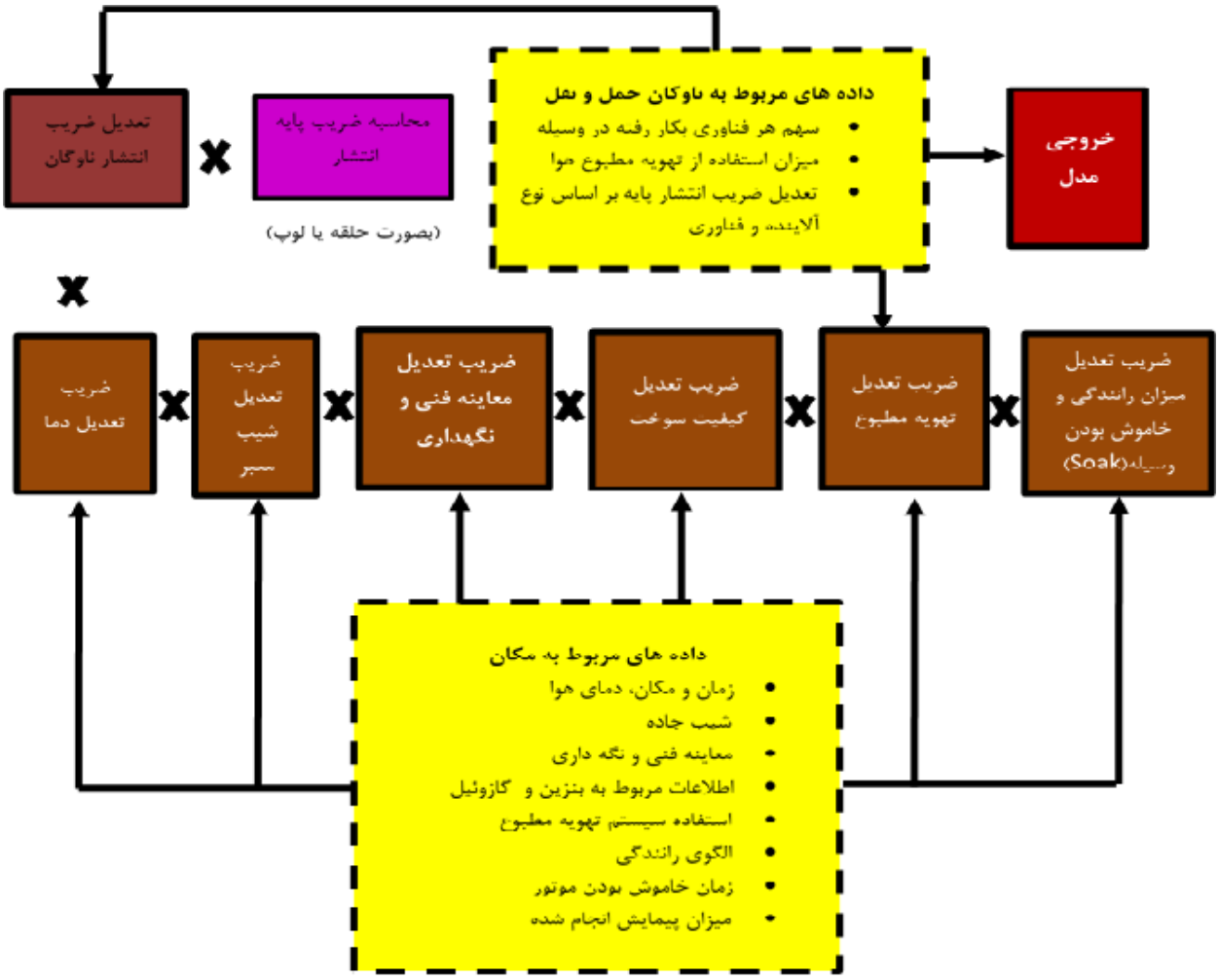
مهم‌ترین اطلاعات در این پژوهش، منابع متحرک بود. این اطلاعات از مراکز شماره‌گذاری استان البرز تهیه شدند. در این پژوهش، میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه در معابر شهر کرج تعیین شد. به این منظور ابتدا ناوگان وسایل نقلیه بر اساس اطلاعات مراکز شماره‌گذاری استان البرز بررسی و اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه‌های طراحی‌شده کسب شد. در ادامه هر کدام از دسته‌بندی‌های وسایل نقلیه (خودروهای سواری، تاکسی، وانت، مینی‌بوس، اتوبوس واحد، کامیون و اتوبوس سرویس) به صورت جداگانه بر اساس پارامترهایی از جمله نوع سیستم، سال تولید، استاندارد آلایندگی، نوع سوخت مصرفی و کلاس خودرو (حجم موتور) مشابه با مطالعهٔ سیاههٔ انتشار منابع متحرک شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت (Shabazi *et al.*, 2013). همچنین اطلاعات مربوط به میزان فعالیت وسایل نقلیه در معابر منتخب شهر کرج از طرح مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر کرج (Municipality of Karaj, 2014) و مرکز کنترل ترافیک استان البرز استخراج و بر اساس این اطلاعات توزیع پیمایش هر کدام از دسته‌بندی‌های وسایل نقلیه در شهر کرج به دست آمد. مدل‌های ترافیکی معمولاً بر مبنای ویژگی‌های منطقهٔ موردنظر و همچنین شرایط استفاده از خودروها توسعه داده شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌منظور انجام یک برآورد خام از میزان انتشار آلایندگی وسایل نقلیه در یک منطقهٔ شهری، بایستی اطلاعات ورودی پایه‌ای از ترکیب ناوگان و اطلاعات ترافیکی آماده شود. پس‌ازآن به‌منظور بهبود نتایج و انجام یک محاسبهٔ دقیق‌تر از میزان انتشار آلایندگی، می‌توان ضرایب انتشار پایهٔ استفاده‌شده در مدل را بر اساس آزمون‌ها و اعمال روی ناوگان وسایل نقلیه در منطقهٔ موردنظر اصلاح کرد. ضرایب انتشار آلایندگی با استفاده از مدل بین‌المللی انتشار وسایل نقلیهٔ متحرک (IVE)[1] به تفکیک دسته‌بندی‌های وسایل نقلیه به ازای دسته‌بندی معابر و همچنین شیب‌های صفر و ۲± درصد حاصل شد. به منظور محاسبهٔ مقدار انتشار آلایندگی ناشی از وسایل نقلیه با استفاده از مدل IVE از چهار دسته از اطلاعات شامل نرخ انتشار خودروها در

[1] International Vehicle Emissions (IVE)

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط پایه، الگوی رانندگی وسایل نقلیه (سرعت در واحد زمان)، ترکیب ناوگان وسایل نقلیه در دسته‌بندی‌های مختلف و شرایط آب و هوایی و جغرافیایی منطقه و همچنین مشخصات سوخت (شامل دما، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا و نوع سوخت مصرفی) استفاده شد و در توسعهٔ سیاههٔ انتشار منابع متحرک شهر کرج مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار پردازش اطلاعات در مدل انتشاری IVE

مهمترین ورودی در نرم‌افزار IVE، ضریب مربوط به نوع رانندگی است. این نرم‌افزار برای به دست آوردن این ضریب از قدرت مشخصهٔ خودرو [1] و تنش موتور [2] استفاده می‌کند. در نهایت میزان و توزیع انتشار سالانهٔ آلاینده‌های مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار، ذرات معلق و دی‌اکسیدکربن ناشی از تردد وسایل نقلیه در شهر کرج محاسبه و با استفاده از اطلاعات ترافیک در معابر شهری توزیع فضایی انتشار از منابع متحرک در GIS مدل‌سازی شد.

[1] Vehicle Specific Power (VSP)
[2] Engine Stress

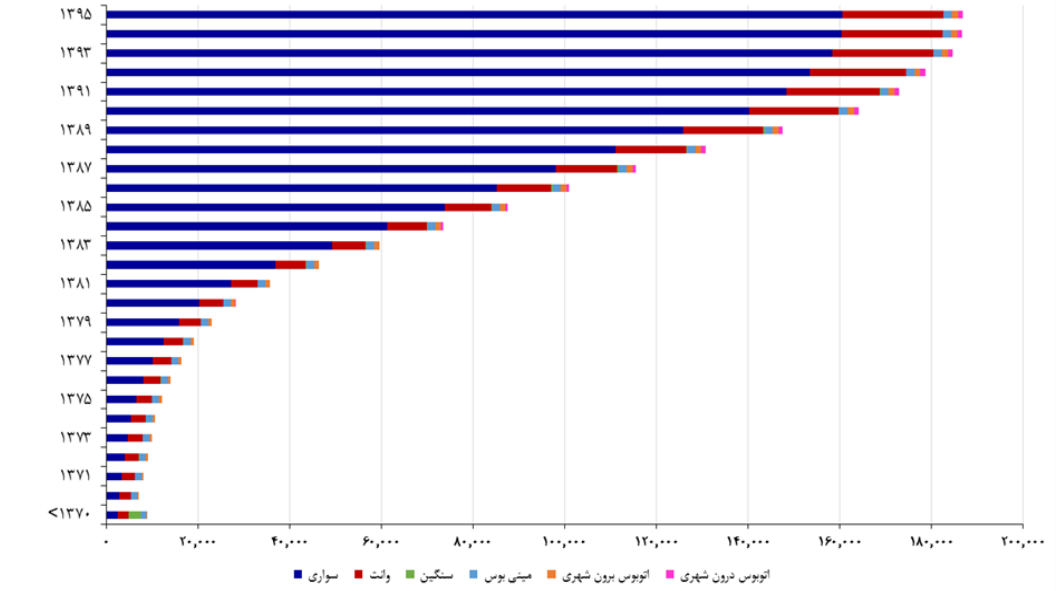
www.SID.ir

Archive of SID

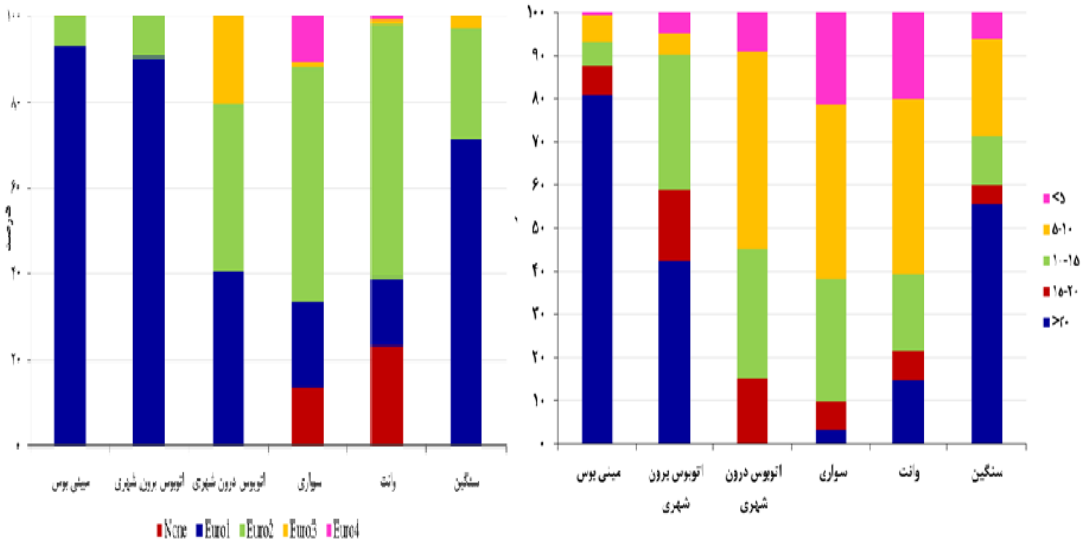
۳. نتایج

۱،۳. بررسی ترکیب ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در استان البرز

وضعیت ناوگان وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج بر اساس اطلاعات شماره‌گذاری به‌دست آمد (**Error! Reference source not found.**). همچنین خلاصهٔ وضعیت کلی ناوگان وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج بر اساس سال تولید که از اطلاعات مراکز شماره‌گذاری استان البرز استخراج‌شده و در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است.



شکل ۲. تعداد کل خودروهای شهر کرج بر اساس اطلاعات شماره‌گذاری



شکل ۳. ناوگان وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج بر اساس سال تولید (راست)

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس شکل ۲، تعداد کل خودروهای شهر کرج بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ بیش از ۹ برابر شده است. این میزان رشد، قابل توجه است. همچنین بررسی ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در استان البرز و شهر کرج در شکل ۳ نیز نشان داده شده است که سن بیش از ۸۰ درصد از مینی‌بوس‌ها، بیش از ۴۰ درصد از اتوبوس‌های برون‌شهری و بیش از ۵۰ درصد از وسایل سنگین بیش از ۲۰ سال است. همچنین دسته‌بندی وسایل نقلیهٔ شهر کرج بر اساس فرضیات استاندارد آلایندگی نیز نشان داد که بیش از ۸۰ درصد از مینی‌بوس‌ها و اتوبوس‌های برون‌شهری در شهر کرج و بیش از ۶۰ درصد از وسایل سنگین به طور کلی در طبقهٔ یورو ۱ قرار دارند و بیش از ۲۰ درصد از وانت‌های شهری نیز احتمالاً فاقد استاندارد یورو هستند. بررسی ناوگان خودروها نشان داد که تعداد کل خودروهای سواری شخصی شماره‌گذاری شده در شهر کرج، برابر با ۱۶۰۵۸۹ دستگاه است. از این بین، بیشترین درصد این خودروها معادل ۳۸ درصد در طبقهٔ هشت تا دوازده سال قرار گرفتند. بیش از ۵۴ درصد از خودروهای سواری شخصی احتمالاً دارای استاندارد یورو ۲ بوده و پس از آن استاندارد یورو ۱، ۲۰ درصد از خودروها را در برمی‌گرفت. بررسی ناوگان تاکسی شهر کرج نشان داد که تعداد کل خودروهای ناوگان تاکسی ۱۱۱۸۳ دستگاه است. ۷۲ درصد از تاکسی‌های شهر کرج دارای سن هفت تا ده ساله بوده و به همین میزان درصد دارای استاندارد یورو ۲ بودند. ۶۸ درصد از این خودروها سوخت بنزین- CNG را مصرف می‌کردند و ۹۲ درصد از آن‌ها در کلاس سبک قرار داشتند. تعداد کل وانت‌های شماره‌گذاری شده در مراکز شماره‌گذاری برای شهر کرج ۲۲۰۹۲ دستگاه بود که بر اساس استاندارد آلایندگی، ۶۵ درصد از وانت‌ها دارای استاندارد یورو ۲ بودند. مشاهدهٔ اطلاعات مربوط به مراکز شماره‌گذاری استان البرز نشان داد که تعداد کل مینی‌بوس‌های شماره‌گذاری شده، ۱۸۳۶ دستگاه است. سن بیش از ۸۰ درصد از آن‌ها بیش از ۲۰ سال بوده و بیش از ۶۵ درصد از آن‌ها فاقد استاندارد آلایندگی یورو بودند و تنها ۲۴ درصد احتمالاً دارای استاندارد یورو ۱ بودند. بر اساس اطلاعات اتوبوس‌رانی شهرداری کرج، تعداد کل اتوبوس‌های واحد ۱۰۳۴ دستگاه است. بیشترین درصد از اتوبوس‌های واحد بر اساس سن در طبقهٔ پنج تا هفت سال قرار گرفتند. ۳۹ درصد از این اتوبوس‌ها دارای استاندارد آلایندگی یورو ۲ بوده و سوخت مصرفی ۸۰ درصد از آن‌ها دیزل بود. بر اساس اطلاعات مراکز شماره‌گذاری، تعداد کل اتوبوس‌های سرویس غیر واحد استان البرز ۱۳۰۶ دستگاه است. از این تعداد ۴۲ درصد سنی بیش از ۲۰ سال داشته، به‌طوری‌که ۹۰ درصد آن‌ها دارای استاندارد یورو ۱ بودند. بر اساس اطلاعات مرکز شماره‌گذاری استان البرز، تعداد کل کامیون‌های شماره‌گذاری شده برابر ۵۲۹۰ دستگاه است. از این تعداد حدود ۵۰ درصد از آن‌ها سنی بیش از ۲۵ سال داشتند. ۷۱ درصد دارای استاندارد آلایندگی یورو ۱ بودند. همچنین بر اساس اطلاعات دریافتی استان البرز، تعداد کل موتورسیکلت‌های شماره‌گذاری شده تا سال ۱۳۹۵، در شهر کرج ۲۰۷۵۶۷ دستگاه بود.

۲،۳. بررسی داده‌های ترافیکی

خروجی مدل‌های ارزیابی داده‌های ترافیکی نشان داد که ۵۳ درصد از معابر شهر کرج، شریانی (درجهٔ ۱ و ۲)، ۳۸ درصد مسکونی (جمع‌کننده، دسترسی و تبادل) و تنها ۹ درصد، بزرگراهی بودند. اطلاعات ترافیکی مورد محاسبه نشان داد که کل پیمایش وسایل نقلیه در ساعات اوج ترافیک صبح در شهر کرج در حدود ۱۸۸۰۷۷۶ کیلومتر است که در این میان خودروهای شخصی سواری بیشترین سهم را داشته و ۳۷ درصد کل پیمایش در شهر را شامل می‌شوند. تاکسی و مسافربر شخصی و اتوبوس واحد نیز به ترتیب سهم ۳۱ و ۹ درصدی از کل پیمایش در شهر کرج را در ساعات اوج ترافیک صبح دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

۳،۳. مدل‌سازی ضرایب انتشار

محاسبهٔ ضرایب انتشار با استفاده از مدل IVE نشان داد که اتوبوس سرویس، اتوبوس واحد و کامیون بیشترین مقدار ضریب انتشار آلاینده‌های مهم هوایی ذرات معلق، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن را به ازای کیلومتر پیمایش شده، به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، خودروهای شخصی سواری، وانت و تاکسی‌ها دارای بیشترین میزان ضریب انتشار ترکیبات آلی فرار و خودروهای شخصی سواری و وانت دارای بیشترین میزان ضریب انتشار مونوکسیدکربن به ازای کیلومتر پیمایش شده، می‌باشند.

با توجه به تخمین‌های انجام شده، می‌توان بیان نمود که بیشترین سهم و مشارکت سالانه در انتشار ذرات معلق در شهر کرج مربوط به ناوگان‌های اتوبوس سرویس (۴۴ درصد)، اتوبوس‌های واحد (۳۸ درصد) و مینی‌بوس (۱۲درصد) است. همچنین ناوگان‌های خودروهای سواری شخصی، اتوبوس واحد و تاکسی‌ها به ترتیب ۳۰، ۲۳ و ۲۲٪ در انتشار اکسیدهای گوگرد نقش دارند. به علاوه، نتایج نشان دادند که بیشترین مقدار انتشار اکسیدهای نیتروژن از منابع متحرک از ناوگان‌های اتوبوس واحد (۴۰ درصد)، اتوبوس سرویس (۲۴ درصد) و تاکسی‌ها (۱۸ درصد) است. ناوگان تاکسی و خودروهای سواری شخصی بیشترین نقش را در انتشار آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار (تاکسی ۴۰ درصد و سواری ۳۷ درصد) و مونوکسیدکربن (تاکسی ۵۰ درصد و سواری ۳۹ درصد) در شهر کرج دارند.

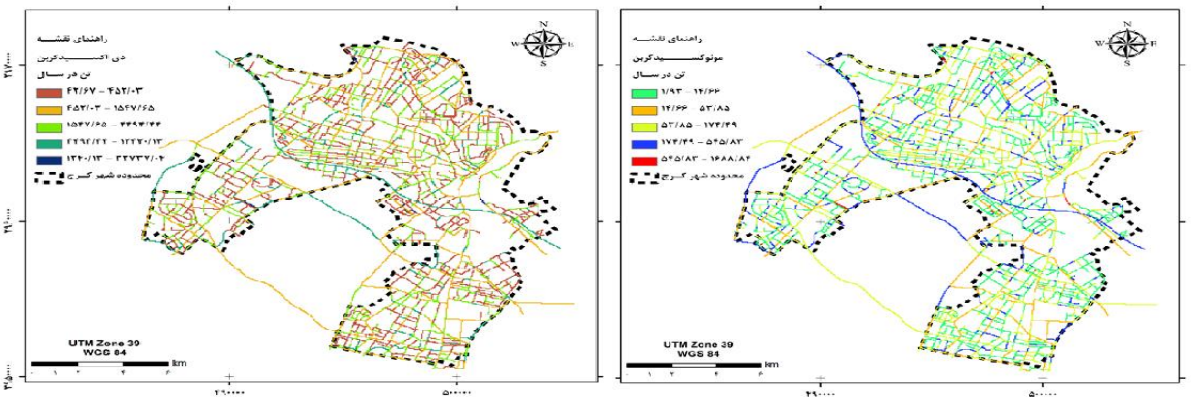
۴،۳. مدل‌سازی فضایی سیاههٔ انتشار آلایندگی ناشی از منابع متحرک در شهر کرج

در شکل‌های ۴ تا ۶، به ترتیب توزیع فضایی انتشار سالانهٔ آلاینده‌های مونوکسیدکربن، دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیه در حال تردد در معابر شهر کرج در شبکه‌های ۵۰ × ۵۰ متر ارائه شده است.

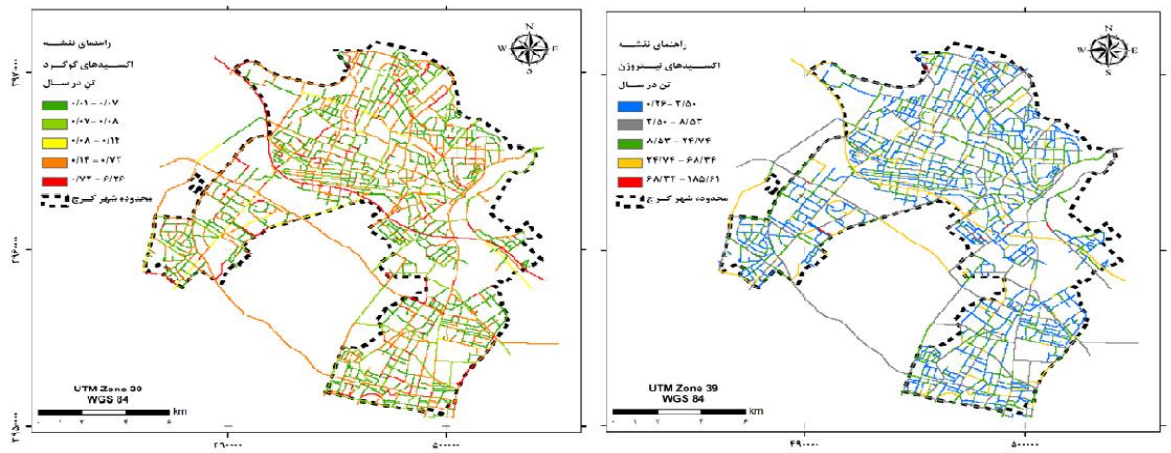
با توجه به اشکال ۴ تا ۶، توزیع انتشار سالانهٔ آلاینده‌ها از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج در مورد مونوکسید کربن از حداقل تا حداکثر ۱/۹۳ - ۱۶۸۸/۸۴، دی‌اکسیدکربن از ۴۲/۶۷ – ۳۳۷۳۷/۰۴، اکسیدهای نیتروژن از ۰/۲۶- ۱۸۵/۶۱، ترکیبات آلی فرار از ۰/۲۷- ۳۱/۱۶، اکسیدهای گوگرد از ۰/۰۱- ۶/۲۶ و ذرات معلق از ۰/۱۹-۱۲۰/۵۴ تن در سال در تغییر است. از نظر کمی، بیشترین میزان انتشار مربوط به گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و پس از آن مونوکسید کربن است. این مطالعه نشان داد که تاکسی‌ها و سواری‌های شخصی بالاترین میزان انتشار سالانهٔ مونوکسید کربن را داشتند، می‌توان بیان کرد که توزیع انتشار این آلاینده در سطح شهر کرج در مناطق مرکزی و پرترافیک شهر بیشترین مقدار را دارا است. توزیع انتشار آلایندگی ترکیبات آلی فرار نیز در سطح شهر کرج الگویی مشابه داشت، با این تفاوت که بیشینهٔ انتشار آلایندگی در مناطق مرکزی شهر بیشتر است. اما برای اکسیدهای نیتروژن علاوه بر تاکسی‌ها، خودروهای سنگین نیز در انتشار اکسیدهای نیتروژن نقش داشتند، لذا توزیع انتشار این آلاینده گسترده‌تر بوده و راه‌های برون‌شهری نیز سهم قابل توجهی در انتشار اکسیدهای نیتروژن در مقایسه با مناطق مرکزی شهر دارند. خودروهای سواری شخصی و وسایل نقلیهٔ سنگین همچون اتوبوس واحد بیشترین سهم را در انتشار اکسیدهای گوگرد در شهر کرج داشته و همان‌طور که در توزیع انتشار این آلاینده در شهر کرج مشاهده شد، معابر بزرگراهی شهری و راه‌های برون‌شهری بیشترین سهم را در انتشار این آلاینده در شهر کرج دارا هستند. برای آلایندهٔ ذرات معلق با توجه به سهم قابل توجه وسایل نقلیهٔ سنگین و احتمالاً موتورسیکلت‌ها در انتشار این آلاینده، مناطق مرکزی و معابر برون‌شهری بیشترین سهم را در انتشار ذرات معلق در سطح شهر کرج دارا هستند. در شکل‌های ۷ تا ۹، به ترتیب درصد انتشار سالانهٔ آلاینده‌های مونوکسیدکربن، دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در معابر شهر کرج در مناطق ۱۲ گانه ارائه شده است.

www.SID.ir

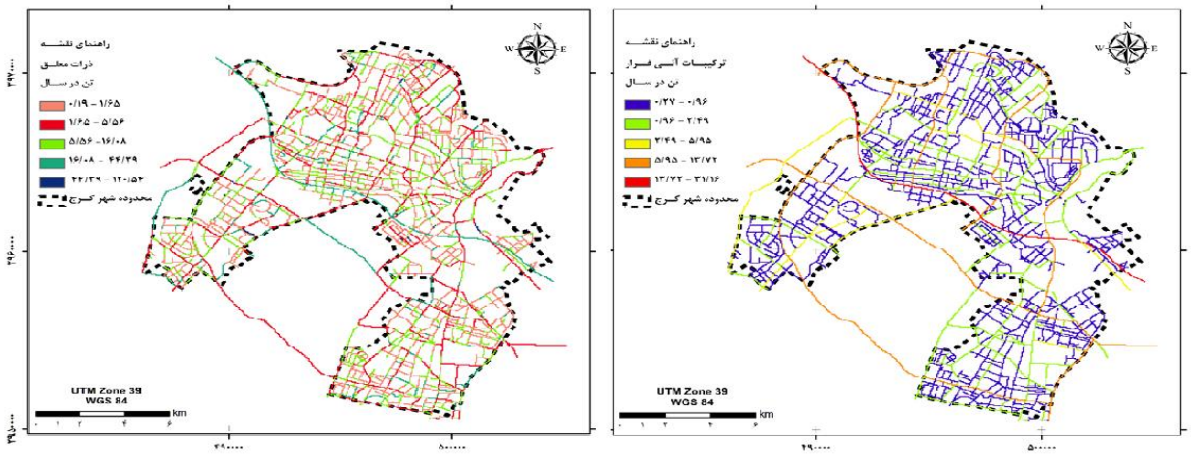
Archive of SID



شکل ۴. توزیع انتشار سالانهٔ مونوکسید کربن و دی‌اکسیدکربن ناشی از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج در شبکه‌های ۵۰ متر در ۵۰ متر



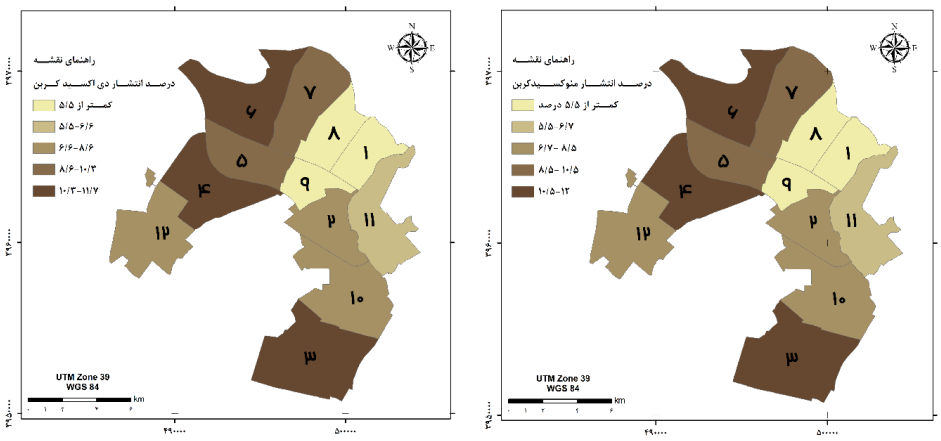
شکل ۵. توزیع انتشار سالانهٔ اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد ناشی از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج در شبکه‌های ۵۰ متر در ۵۰ متر



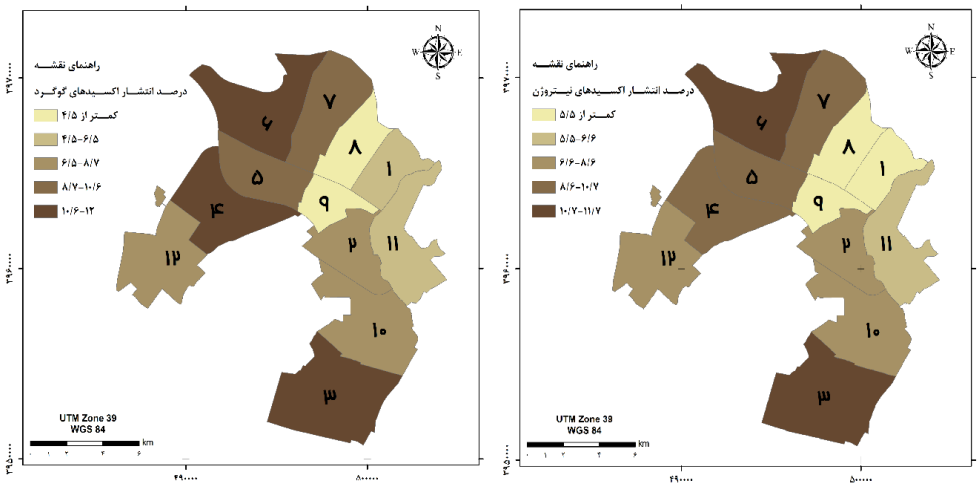
شکل ۶. توزیع انتشار سالانهٔ ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج در شبکه‌های ۵۰ متر در ۵۰ متر

www.SID.ir

Archive of SID



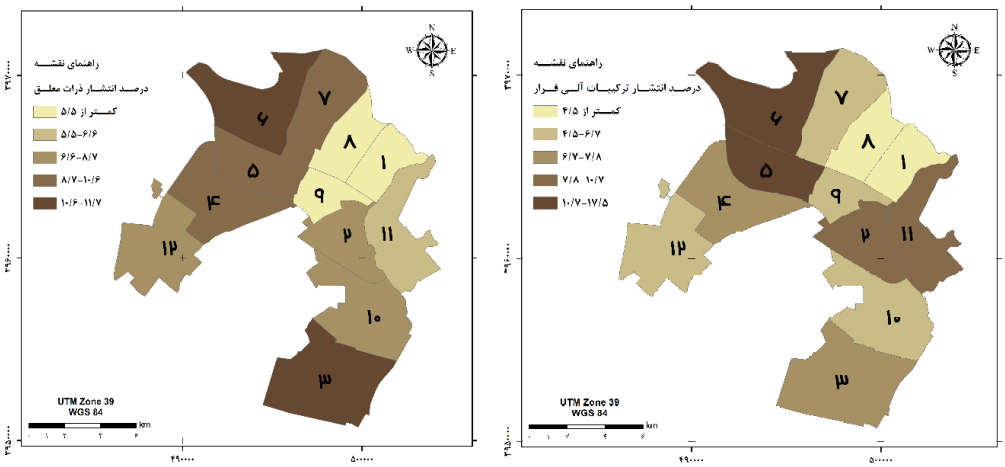
شکل ۷. درصد انتشار مونوکسیدکربن و دی‌اکسید کربن در مناطق ۱۲ گانهٔ شهر کرج



شکل ۸. درصد انتشار اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد در مناطق ۱۲ گانهٔ شهر کرج

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. درصد انتشار ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق در مناطق ۱۲ گانهٔ شهر کرج

با توجه به شکل ۷ و با در نظرگرفتن ۱۰۰ درصد انتشار برای ۱۲ منطقهٔ شهری کرج، مناطق ۱، ۸ و ۹ پایین‌ترین درصد انتشار مونوکسیدکربن و دی‌اکسید کربن به میزان کمتر از ۵/۵ درصد را دارا بودند و مناطق ۳، ۴ و ۶ بالاترین درصد انتشار را به میزان بالاتر از ۱۰ درصد دارا بودند. با توجه به شکل ۸، مناطق ۱، ۸ و ۹ کمتر از ۵/۵ درصد از انتشار اکسیدهای نیتروژن و مناطق ۳ و ۶ بالاتر از ۱۰ درصد از انتشار اکسیدهای نیتروژن را شامل گردیدند که در مورد انتشار ذرات معلق نیز این‌گونه ارزیابی شد. همچنین کمتر از ۴/۵ درصد از انتشار اکسیدهای گوگرد در مناطق ۸ و ۹ و بالاتر از ۱۰ درصد از انتشار آن به مناطق ۳، ۴ و ۶ مربوط بود. با توجه به شکل ۹، مناطق ۱ و ۸ پایین‌ترین درصد انتشارات آلی فرار و مناطق ۵ و ۶ بالاترین درصد انتشار آن را دارا بودند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعهٔ حاضر نشان داد که تعداد کل خودروهای شهر کرج بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ بیش از ۹ برابر شده است. ورود این تعداد خودرو به ناوگان شهری بدون شک منجر به آسیب به محیط‌زیست منطقهٔ مورد مطالعه می‌گردد. همچنان که در مطالعات مختلفی بر نقش جامعه و فعالیت منابع متحرک در انتشار آلاینده‌ها در حوزهٔ هوایی تأکید گردیده است (Wang *et al.*, 2008). از سال تولید بیش از ۵۰ درصد از وسایل سنگین عبوری در معابر شهر کرج به طور کلی بیش از ۲۰ سال گذشته است. در حالی که حداقل سن وسایل سنگین کمتر از سه سال است. بدون شک نرخ زوال و استهلاک خودرو با گذر زمان می‌تواند افزایش یابد که منجر به سوختن ناقص یا نامناسب سوخت در وسیلهٔ نقلیه می‌گردد. این روند، منجر به افزایش آلودگی ناشی از عبور وسایل سنگین در معابر شهری می‌گردد. به عبارت دیگر می‌توان بیان کرد که در طرح‌ریزی سیاههٔ انتشار وسایل نقلیه باید فاکتورهای انتشار دینامیک گنجانده شود، همچنان که در مطالعه Zhang و همکاران (۲۰۰۸) فاکتورهای زوال خودرو و کیفیت سوخت علاوه بر محدودیت‌های انتشار قانونی و اقتصادی سوخت در تهیهٔ سیاههٔ انتشار در شهر Hangzhou مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد قوانین مربوط به محدودیت‌های انتشار وسایل نقلیه برای کاهش فاکتورهای انتشار مؤثر نیستند که نتایج مطالعهٔ حاضر نیز همسو با این مطالعه است. نتایج مطالعهٔ حاضر همچنین نشان داد که بیش از ۶۰ درصد از وسایل سنگین به طور کلی در طبقهٔ یورو ۱ قرار دارند و بیش از ۲۰ درصد از وانت‌های شهری نیز فاقد استاندارد یورو هستند. بدون

www.SID.ir

Archive of SID

شک کیفیت سوخت یکی از نکات قابل تأمل در برنامه‌های مدیریت کیفیت هوای کلان‌شهرها است. تعداد بالای خودروهایی با استاندارد پایین آلایندگی می‌تواند هرگونه فعالیتی را در راستای بهبود کیفیت هوا خنثی سازد. به عبارتی اگرچه نوسازی ناوگان وسایل نقلیه شهری اقدامی شایان توجه است اما این روند باید همسو با بهبود گام‌به‌گام کیفیت سوخت گردد. Cai و Xie (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای در چین به بررسی تنوع زمانی و مکانی سیاهه‌های انتشار وسایل نقلیه پرداختند. محققین در این مطالعه بر روی ارائهٔ اثرات پیشرفت سریع در فناوری‌های انتشار همچون بهبود کیفیت سوخت تمرکز کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که نرخ انتشار مونوکسید کربن و آلاینده‌های آلی فرار در دورهٔ زمانی سه ساله کاهش یافت اما نرخ انتشار اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق در حال افزایش است. محققین پیشنهاد کردند که باید کنترل سخت‌تری بر خودروهای مسافربری و موتورسیکلت‌ها برای کاهش انتشار مونوکسیدکربن و آلاینده‌های آلی فرار گردد، در حالی که کاهش مؤثر انتشار اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق می‌تواند با استفاده از کنترل وسایل نقلیهٔ سنگین همچون اتوبوس‌ها صورت گیرد. این نتایج کاملاً منطبق با نتایج مطالعهٔ حاضر است. لازم به ذکر است که تهیهٔ سیاههٔ انتشار آلاینده‌های وسایل نقلیه در دهلی‌نو نشان داد که مونوکسیدکربن اساساً به سوخت بنزین مربوط بوده، درحالی‌که اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق با سوخت گازوئیل مرتبط هستند (Goyal *et al.*,2013). همچنین بررسی سیاههٔ انتشار وسایل نقلیهٔ جاده‌ای و آنالیز عدم قطعیت آن برای شهر شانگهای، چین به‌وسیلهٔ Wang و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که وسایل نقلیهٔ سنگین همچون کامیون‌ها و اتوبوس‌ها تقریباً در انتشار بیش از نیمی از اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق سهیم هستند. همچنین این مطالعه نشان داد که وسایل نقلیهٔ سبک منبع عمدهٔ انتشار مونوکسیدکربن هستند. این نتایج با یافته‌های نقشه‌های توزیع انتشار سالانهٔ آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیهٔ در حال تردد در شهر کرج مشابه است. لازم به ذکر است که فعالیت‌های صنعتی نیز می‌توانند به طور عمده بر میزان ذرات معلق و آلاینده‌های آلی فرار بیفزایند (Qie *et al.*, 2014)، لذا بررسی صنایع یا منابع ثابت استان در راستای کمی‌سازی انتشار آلاینده‌ها از این منابع ضروری است. به عبارتی می‌توان با این بررسی، به مقایسهٔ سهم منابع ثابت و متحرک در ایجاد آلودگی‌های محیط پرداخت. یافته‌های این مطالعه نشان داد که سن بیش از ۸۰ درصد از اتوبوس‌های عبوری از معابر شهر کرج بیش از ۲۰ سال بوده و بیش از ۶۵ درصد از آن‌ها فاقد استاندارد آلایندگی یورو بودند. همچنین از تعداد کل اتوبوس‌های سرویس غیر واحد ۴۲ درصد سنی بیش از ۲۰ سال داشته، به‌طوری‌که ۹۰ درصد آن‌ها دارای استاندارد یورو ۱ بودند. ۵۰ درصد کامیون‌ها نیز سنی بیش از ۲۵ سال داشتند. سن بالای خودروها همراه با سوختی غیر پاک می‌تواند منجر به تغییر در سرعت و شتاب حرکت این وسایل گردد. به‌طوری‌که مطالعهٔ Chen و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که سرعت اندک با توالی شتاب بالا و شتاب پایین در این‌گونه وسایل به‌ویژه در شرایط تراکم ترافیک منجر به افزایش انتشار مونوکسیدکربن و هیدروکربن‌های کل می‌شود. بنابراین باید به این موضوع نیز در مطالعهٔ سیاههٔ انتشار دقت نمود. اطلاعات ترافیکی شهر کرج نشان داد که خودروهای سواری شخصی بیشترین سهم را در پیمایش در انواع معابر شهر کرج دارند، به‌طوری‌که ۳۷ درصد کل پیمایش در شهر را شامل می‌شوند. این موضوع همسو با افزایش ۹ برابری کلی وسایل نقلیه است و با توجه به اینکه بسیاری از خودروهای سواری تک‌سرنشین بوده، مدیریت کیفیت این‌گونه خودروها ضروری است. تغییرات ساعتی حجم ترافیک شهر کرج در شبانه‌روز نیز در این مطالعه نشان داد که بیشترین حجم ترافیک عمدتاً در ساعات اداری ورودی صبح و خروجی عصر است که این یافته نیز همسو با نتیجهٔ مطالعهٔ Goyal و همکاران (۲۰۱۳) در دهلی‌نو است. توزیع انتشار آلاینده‌ها با

www.SID.ir

Archive of SID

نقشه‌های شبکه‌ای ۵۰ ×۵۰ متر نشان داد که سواری و تاکسی و خودروهای سواری شخصی مهمترین منبع متحرک آلایندهٔ مونوکسیدکربن و آلاینده‌های آلی فرار هستند که عمدتاً در معابر شریانی و مسکونی و پرترافیک شهر کرج حضور دارند. با این حال انتشار اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق به وسایل نقلیهٔ سنگین نسبت داده شد که عمدتاً در معابر بزرگراهی مشاهده می‌شوند. این نتایج کاملاً با یافته‌های مطالعات مختلف مشابه است (Wang *et al.*, 2008؛ Goyal *et al.*, 2013). به‌طورکلی، سیاههٔ تهیه‌شده به مدیریت جامع ترافیک شهری جهت مناسبی داده، همچنین، آگاهی از اینکه چطور سیاست‌های مختلف می‌توانند منجر به انتشارات مختلف گردند، دانش فنی مفیدی برای سایر شهرها ارائه می‌دهد. این سیاهه برای سیاستمداران و محققین برای فهم بهتر موقعیت جاری آلودگی هوا در شهر کرج مفید بود و ورودی ضروری مهمی را برای مدل‌سازی کیفیت هوای منطقه‌ای و تصمیم‌سازی فراهم می‌کند. پیشنهاد محققین در این مطالعه اجرای طرح‌های سیاههٔ انتشار در سایر کلان شهرهای ایران است تا روند تصمیم‌سازی و مدیریت آلودگی هوا به عنوان یک معضل زیست‌محیطی تسریع یابد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) طرح تحقیقاتی با عنوان "بروز رسانی و تکمیل فهرست انتشار منابع متحرک آلایندهٔ هوا در حوزهٔ استان البرز" مصوب سازمان محیط‌زیست در سال ۱۳۹۴ با کد ۹۴۲/۵/۲۶۹۰ است که با حمایت ادارهٔ کل محیط‌زیست استان البرز انجام شده است.

References

Beelen, R., Hoek, G., Van Den Brandt, P.A., Goldbohm, R.A., Fischer, P., Schouten, L.J., Armstrong B, Brunekreef B., 2008. Long-term exposure to traffic-related air pollution and lung cancer risk. Epidemiology19: 702-710.

Cai, H., Xie, S., 1995. Temporal and spatial variation in recent vehicular emission inventories in China based on dynamic emission factors. Journal of the Air & Waste Management Association 63:310-326.

Chen, C., Huang, C., Jing, Q., Wang, H., Pan, H., Li, L., 2007. On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai. Atmospheric Environment 41: 5334-5344.

Che, W.W., Zheng, J.Y., Wang, S.S., Zhong, L.J., Lau, A.I., 2011. Assessment of motor vehicle emission control policies using Model-3/CMAQ model for the Pearl river delta region, China. Atmospheric Environment 45: 1740-1751.

Deputy of strategic planning and control. Outpot of census of population and housing, Statistical center of Iran; 2011 (in Persian).

Fu, X., Wang, S., Zhao, B., Xing, J., Cheng, Z., Liu, H., Hao, J., 2013. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze river delta region, China. Atmospheric Environment 70: 39-50 .

Goyal, P., Mishra, D., Kumar, A., 2013. Vehicular emission inventory of criteria pollutants in Delhi. Springer Plus 2 (216):1-11.

Iqbal, A., Allan, A., Zito, R., 2016. Meso-scale on-road vehicle emission inventory approach: a study on Dhaka City of Bangladesh supporting the 'cause-effect' analysis of the transport system. Environmental Monitoring and Assessment 188(3), 1-21.

Mabahwi, N.A.B., Leh, O.L.H., Omar, D., 2014. Human health and wellbeing: human health effect of air pollution. Procedia Soc. Behav. Sci 153: 221–229.

Municipality of Karaj. Outpot of comprehensive studies plan of transportation and traffic of Karaj city; 2014 (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

O'Leary, B.F., Lemke, L.D., 2014. Modeling spatiotemporal variability of intra-urban air pollutants in Detroit: a pragmatic approach. Atmospheric Environment 94:417-427.

Pant, P., Harrison, R.M., 2013. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: a review. Atmospheric Environment 77, 78-97.

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.

Pinto, J.P., Lefohn, A.S., Shadwick, D.S., 2004. Spatial variability of PM2.5 in urban areas in the United States. Journal of the Air & Waste Management Association 54: 440-449.

Qie, P., Tian, H., Zhu, C., Liu, K., Gao, J., Zhou, J., 2014. An elaborate high resolution emission inventory of primary air pollutants for the Central Plain Urban Agglomeration of China. Atmospheric Environment 86:93-101.

Rakowska, A., Chun Wong, K., Townsend, T., Chan, K.L., Westerdahl, D., Ng, S., Močnikd, G., Drinovec, L., 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.

Rosenlund, M., Forastiere, F., Porta, D., De Sario, M., Badaloni, C., Perucci, C.A., 2009. Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren. Thorax 64: 573-580.

Shabazi, H, Babaei, M, Afshin, H, Hosseini, V. Emission inventory of Tehran pollutants for 2013. 2nd ed; mobile sources, Report produced by air quality control Co. of Tehran municipality, Report No. QM/94/04/03/(U)//02- 2015.

Shahbazi, H, Taghvaee, S, Hosseini, V, Afshin H., 2016. A GIS based emission inventory development for Tehran. Urban Climate, 17:216-229.

Streets, D.G., Bond, T.C., Carmichael, G.R., Fernandes, S.D., Fu, Q., He, D., Klimont, Z., Nelson, S.M., Tsai, N.Y., Wang, M.Q. and Woo, J.H., 2003. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D21).

Su, S.S., Li, B.G., Cui, S.Y., Tao, S., 2011. Sulfur dioxide emissions from combustion in China: from 1990 to 2007. Environmental Science & Technology 45: 8403-8410.

Tang, X., Zhang, Y., Yi, H., Ma, J., Pu, L., 2012. Development a detailed inventory framework for estimating major pollutants emissions inventory for Yunnan Province, China. Atmospheric Environment 57, 116-125.

Wai, W., Tam, S., Wong, T.W., Wong, A.H.S., 2015. Association between air pollution and daily mortality and hospital admission due to Ischaemic heart diseases in Hong Kong. Atmos. Environ 120:360-368.

Wang, H., Chen, C., Huang, C., Fu, L., 2008. On road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, Chine. Science of the Total Environment 398: 60-67.

Wang, H., Fu, L., 2010. Developing a High-Resolution Vehicular Emission Inventory by Integrating an Emission Model and a Traffic Model: Part 2—A Case Study in Beijing. The Journal of the Air & Waste Management Association 60:1471-1475.

WHO, 2012. IARC: Diesel Engines Exhaust Carcinogenic. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization press release. Report number: 213.

Zhang, Q., Xu, J., Wang, G., Tian, W., Jiang, H., 2008. Vehicle emission inventories projection based on dynamic emission factors: a case study of Hangzhou, China. Atmospheric Environment 42: 4989-5002.

www.SID.ir