



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات مکانی و زمانی انتشار آلاینده‌های CO و NO_x ناشی از وسایل نقلیه موتوری با استفاده از نرم افزار MOVES: مطالعه موردی بلوار بهشتی و مدرس شهر رشت

علی احمدی ارکمی^{۱*}، آمنه کامکار^۲، زینب آقاجانی^۱

۱- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: از آنجایی که منابع متحرک به‌عنوان مهمترین منبع آلودگی هوا در کلانشهر رشت به حساب می‌آید و با توجه به اهمیت آلودگی هوا در شرایط آب و هوایی مرطوب شهر رشت، این پژوهش در یک محدوده خاص انجام گرفت تا با استفاده از نتایج آن، الگوی حاکم بر تغییرات ماهانه انتشار آلاینده‌ها در مقیاس خرد تعیین شود.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۵
تاریخ ویرایش: ۹۸/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۲۲
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۶/۱۳

روش بررسی: در این پژوهش با پایش مستمر ترافیک در طول سال (چهار روز در هر ماه و شش ساعت در هر روز) و بهره‌گیری از نرم افزار MOVES میزان انتشار آلاینده‌ها در مقیاس خرد تخمین زده شد.

یافته‌ها: بیشترین نرخ انتشار متوسط سالانه CO و NO_x در محدوده مورد بررسی به‌ترتیب برابر با ۱۵/۷۶ (مقطع بین فلکه گاز و رازی) و ۲ g/(m.h) (مقطع بین میدان امام حسین و نیروی دریایی) تخمین زده شده است. همچنین نتایج نشان داد که متوسط انتشار ماهانه NO_x در تمام طول سال در هر یک از مقاطع مورد بررسی، ثابت است و مقدار متوسط انتشار ماهانه CO در نیمه اول سال و نیمه دوم سال ثابت است و مقدار آن در نیمه اول بیشتر از مقدار آن در نیمه دوم است.

واژگان کلیدی: مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، آلودگی هوا، شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌ها، حمل و نقل و ترافیک

نتیجه‌گیری: توزیع ساعتی انتشار CO در ماه‌های مختلف متأثر از مناسبت‌ها و به‌طور کلی الگوی زندگی افراد است اما توزیع ساعتی برای آلاینده NO_x روال تقریباً ثابتی در طول سال دارد. همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان با یکبار سنجش (برای CO) و دو بار سنجش (برای NO_x) ترافیک به‌جای سنجش ماهانه، میزان انتشار آلاینده‌ها در نقاط دیگر شهر را با دقت قابل قبولی تخمین زد، زیرا تخمین انتشار برای کل شهر با روش مورد استفاده در این پژوهش معقول و به‌صرفه نیست.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Orkomi@guilan.ac.ir

مقدمه

شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس، افزایش سطح آلاینده‌ها و ذرات معلق و همچنین ایجاد خطر بالا برای سالمندان و کودکان، واژه‌های آشنایی شده‌اند که هر روز و هر هفته تکرار می‌شوند. واژه‌هایی که نشان‌دهنده وضعیت نابسامان محیط زیست شهرهای بزرگ ایران بوده و غالباً به ترافیک ناشی از حمل و نقل شهری برمی‌گردد. موتور خودروها و به‌طور کلی وسایل نقلیه موتوری به صورت مستقیم و غیرمستقیم آلاینده‌های متنوعی را وارد جو زمین می‌کنند. آلاینده‌هایی همچون مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و ذرات معلق (PM) به صورت مستقیم و آلاینده‌های ثانویه ازن، آلدهید و یا پرکسی استیل نیترات (PAN) در نتیجه برهم‌کنش آلاینده‌های منتشره از خودروها در هوا در شرایط خاصی تولید می‌شوند. از آنجایی که محل انتشار این آلاینده‌ها در سطح زمین است، آلاینده‌های مذکور در سطح پایین و نزدیک به سطح آسفالت رها شده و در فضای داخل خیابان‌ها و بین ساختمان‌های بلند ماندگاری قابل توجهی دارند. همچنین با توجه به اینکه افراد حاضر در ترافیک (مسافران خودروها و افراد پیاده) در نزدیکی محل انتشار آلاینده‌ها هستند، تاثیر آلاینده‌ها بر روی این افراد به مراتب بیشتر از افرادی است که در معرض آلاینده‌های تولیدی از دودکش واحدهای صنعتی - در پایین دست - قرار دارند. لذا تعیین غلظت آلاینده‌های تولیدی از منابع متحرک در محیط‌های شهری و با دقت قابل قبول، امری ضروری بوده و می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای جهت انجام مطالعات اپیدمیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد.

در زمینه ارتباط بین حجم ترافیک و غلظت محیطی آلاینده‌هایی همچون CO و NO_x ، تحقیقات زیادی در دهه اول قرن حاضر توسط محققانی همچون Wheeler و همکاران (۱)، Kashima و همکاران (۲)، Ross و همکاران (۳) انجام گرفته است. میزان آلاینده‌های منتشره از آگزوز خودروها به عوامل مختلفی از جمله نوع سوخت، کیفیت سوخت، استاندارد موتور، نوع خودرو (سبک، نیمه سنگین و سنگین)، عمر خودرو

و مراحل رانندگی (کارکرد درجا، حالت شتاب مثبت، حالت شتاب منفی و حالت سرعت ثابت) بستگی دارد. مطالعات آژانس حفاظت محیط زیست اروپا نشان می‌دهد که ترافیک جاده‌ای سهم ۶۰ درصدی از کل انتشار گاز NO_x و ۲۶ درصدی از کل CO را در اروپا به خود اختصاص می‌دهد (۴). در نقاط مختلف جهان و به‌خصوص در شهرهایی که مشکل گره ترافیکی دارند، تخمین انتشار آلاینده‌های معیار از منابع متحرک امری مهم و حیاتی است. به‌طور نمونه Salles و همکاران (۵) با استفاده از اطلاعات ترافیکی مانند حجم ترافیک و سرعت متوسط خودروها و بهره‌گیری از ضرایب انتشار آلاینده‌ها، مدل جدیدی جهت تخمین میزان انتشار آلاینده از منابع متحرک در شهر پاریس ارائه کردند.

Wu و همکاران (۶) با بهره‌گیری از مدل شبیه‌ساز انتشار وسایل نقلیه موتوری (MOVES) در شهر ماکائو در چین، میزان انتشار سالانه آلاینده‌های CO، NO_x ، هیدروکربن و ذرات معلق را تخمین زدند. نتایج آنها نشان داد که سهم عمده انتشار آلاینده‌های مونوکسید کربن و هیدروکربن‌ها متعلق به وسایل نقلیه بنزین سوز بوده و سهم عمده در انتشار اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق را اتوبوس‌ها و دیگر خودروهای گازوئیلی به عهده دارند. میزان انتشار سالانه مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن در ماکائو به ترتیب ۱۵۸۰۰ و ۲۴۰۰ ton تخمین زده شد. Zhang و همکاران (۷) با بکارگیری نرم افزارهای ترافیکی، توزیع ساعتی وسایل نقلیه موتوری در شهر ماکائو در چین را شبیه‌سازی کردند و با بکارگیری ضرایب انتشار آلاینده‌ها، انتشار ساعتی $\text{PM}_{2.5}$ و CO را تخمین زدند و در نهایت نحوه پراکنش آلاینده‌ها در ماکائو را مدل کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در روزهای کاری در شریان‌های مختلف ماکائو، یک پیک صبحگاهی در حجم ترافیک دیده می‌شود و این پیک تقریباً تا ساعات اولیه شب ادامه دارد. Zhang و همکاران (۸) با استفاده از داده‌های مرکز کنترل ترافیک در منطقه بندری شهر هوستون آمریکا و با بهره‌گیری از مدل MOVES میزان انتشار آلاینده‌های NO_x و $\text{PM}_{2.5}$ را تخمین زدند و پراکنش این آلاینده‌ها را با استفاده

Zarabi و همکاران (۱۲) با بهره‌گیری از ضرایب نشر وسایل نقلیه متحرک و همچنین نتایج تخمین انتشار از منابع ساکن، به بررسی میزان انتشار آلاینده‌ها در شهر اصفهان پرداختند و نشان دادند که از مجموع کل آلاینده‌های منتشره در شهر اصفهان، ۷۶ درصد سهم منابع متحرک است. Khazaei و همکاران (۱۳) به بررسی ارتباط غلظت CO در جو و حجم ترافیک در شهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روزانه حدود ۱۸۴۰ ton آلاینده CO توسط ترافیک به هوای شهر تهران وارد می‌شود. با توجه به اهمیت امر، در پژوهش حاضر از نرم افزار MOVES جهت تخمین انتشار آلاینده‌های مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن در شهر رشت با قابلیت تعیین توزیع مکانی و زمانی استفاده شد. با توجه به پایین بودن سرعت متوسط خودروها در ترافیک شهر رشت، انتظار می‌رود که مهمترین و بیشترین آلاینده منتشره از وسایل نقلیه، گاز مونوکسید کربن باشد. همچنین اکسیدهای نیتروژن با توجه به اهمیت آنها در باران‌های اسیدی در هوای مرطوب شهر رشت و همچنین نقش پر رنگ آنها در تولید آلاینده ثانویه ازن در ماه‌های گرم سال، انتخاب شده است. لازم به ذکر است که آلاینده $PM_{2.5}$ نیز یکی از مواردی است که انتشار آن از وسایل نقلیه قابل توجه است. اما از آنجا که در نرم افزار مورد استفاده امکان مدلسازی انتشار $PM_{2.5}$ به‌طور ساعتی وجود ندارد، این آلاینده مورد بررسی قرار نگرفت.

مواد و روش‌ها

در این بخش به بررسی منطقه مورد مطالعه، نرم افزار شبیه‌سازی و نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز پرداخته شده است.

- منطقه مورد مطالعه

حداصل بین پل شهدای گمنام (فلکه یخ‌سازی) تا پل جانبازان جزء منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. (شکل ۱). این محدوده شامل بلوار بهشتی و بلوار مدرس است. بلوار بهشتی از فلکه یخ‌سازی تا میدان مصلی (توشیبا) امتداد دارد. در ادامه آن بلوار مدرس از میدان مصلی (توشیبا) تا پل

از مدل پراکنش Rline تعیین کردند. نتایج آنها نشان داد که بخش عمده $PM_{2.5}$ از وسایل نقلیه دیزلی منتشر می‌شود، اما نقش وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی در انتشار NOx تقریباً یکسان است. Liu و همکاران (۹) با استفاده از داده‌های ساعتی حجم ترافیک و با بهره‌گیری از ضرایب انتشار آلاینده‌ها، میزان انتشار ساعتی آلاینده‌های هوا را در شهر فوشان چین تخمین زدند. نتایج آنها نشان داد که خودروهای دیزلی عامل اصلی انتشار NOx هستند. حدود ۸۰ درصد انتشار آلاینده‌ها در روز صورت می‌گیرد و ۴۰ درصد انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه در فوشان نیز در ساعات اوج ترافیک رخ می‌دهد. با توجه به نتایج آنها، در روزهای کاری و تعطیل انتشار آلاینده‌های CO و ترکیبات آلی فرار دارای یک پیک صبحگاهی و یک پیک عصرگاهی است اما تغییرات روزانه انتشار آلاینده‌های NOx و $PM_{2.5}$ به گونه‌ای است که بیشترین انتشار در حوالی ظهر و بعد از ظهر مشاهده می‌شود. Goyal و همکاران (۱۰) با استفاده از مدل تخمینی (International Vehicle Emissions) و جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی در بازه‌های مختلف روز و ماه‌های مختلف سال در بخش مرکزی شهر دهلی هندوستان، میزان انتشار آلاینده‌های CO و اکسیدهای نیتروژن را تخمین زدند. نتایج آنها نشان داد که میزان انتشار روزانه آلاینده‌های CO و اکسیدهای نیتروژن در مرکز شهر دهلی به ترتیب برابر با ۱۵ و ۶ ton است و این میزان برای کل شهر دهلی به ترتیب برابر با ۵۰۹ و ۱۹۴ ton در روز است. در ایران نیز Matkan و همکاران (۱۱) با استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های مونوکسید کربن و ذرات معلق در شهر تهران پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که غلظت بیشینه CO در ماه‌های آذر و اردیبهشت و غلظت بیشینه ذرات معلق کوچکتر از $10 \mu m$ در ماه‌های فروردین و تیر رخ می‌دهد. همچنین با بهره‌گیری از روش رگرسیون کاربری اراضی (Land Use Regression (LUR)) نشان دادند که مهمترین عامل تولید کننده آلاینده‌های مونوکسید کربن و ذرات معلق به ترتیب حمل و نقل و وجود اماکن صنعتی است.

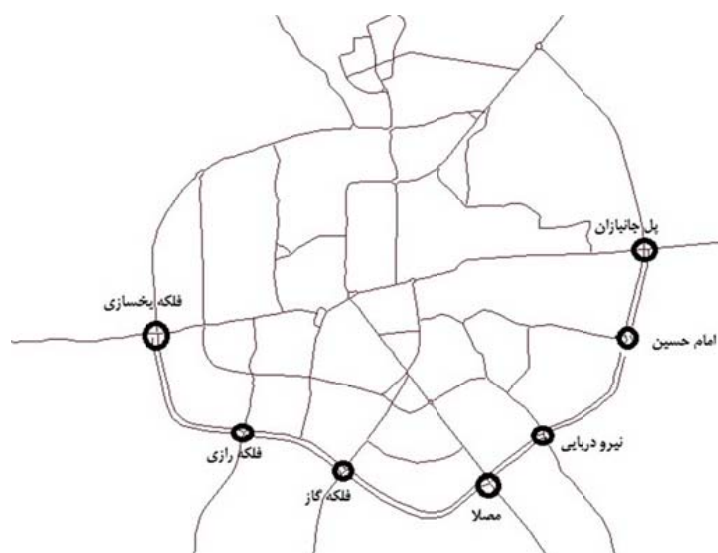
- نرم افزار MOVES

نسخه اول نرم افزار MOVES در سال ۲۰۰۹ میلادی توسط انجمن حفاظت محیط زیست آمریکا منتشر شد (۱۴). در این پژوهش از نسخه اخیر آن (نسخه ۲۰۱۴) استفاده شده است. نرم افزار MOVES2014a با دریافت اطلاعات مربوط به تعداد، تنوع و توزیع سنی وسایل نقلیه موتوری، داده‌های هواشناسی و شرایط رانندگی، میزان انتشار آلاینده‌ها را محاسبه می‌کند. این نرم افزار قابلیت تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها را در سه مقیاس کشوری (National scale)، شهری و یا ایالتی (County scale) و مقیاس پروژه‌ای (Project scale) دارد. در مقیاس پروژه‌ای که در حد شبیه‌سازی مجزای خیابان‌های یک شهر است، بیشترین جزئیات ترافیکی و آماری مورد نیاز است. در این پژوهش میزان انتشار جاده‌ای مدنظر است و مقیاس شبیه‌سازی در حد مقیاس پروژه‌ای است.

روند شبیه‌سازی در نرم افزار این‌گونه است که ابتدا در بخش Runspec اطلاعات بازه زمانی مورد نظر (در مقیاس پروژه‌ای مقیاس زمانی شبیه‌سازی برابر با یک ساعت است)، نوع خودروها، سوخت‌های مصرفی، آلاینده‌های مورد نظر و فرایندهایی که در آنها این آلاینده‌ها منتشر می‌شوند، تعیین می‌شود. سپس در بخش بانک داده، بایستی اطلاعات و داده‌های

جانبازان ادامه دارد. دلایل انتخاب این محدوده به‌عنوان منطقه مورد مطالعه این است که اولاً حجم ترافیک در این محدوده قابل توجه است و همچنین مناطق مسکونی در اطراف این دو بلوار نیز به صورت تقریباً یکنواختی قرار دارند. ثانیاً در این محدوده می‌توان ترکیبی از ترافیک درون شهری و برون شهری را مشاهده کرد که تلفیق این دو نوع ترافیک، منابع متحرک آلودگی هوای شهر رشت هستند. بلوار مدرس نسبت به بلوار بهشتی وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین بیشتری را در خود جای می‌دهد و به عبارتی می‌توان این بلوار را به‌عنوان یک کمربندی در شهر رشت در نظر گرفت. از سوی دیگر در بلوار بهشتی، تنوع وسایل نقلیه غالباً از نوع ترافیک درون شهری است و نتایج این تحقیق نیز این موضوع را تصدیق می‌کند.

شکل ۱ محدوده جغرافیایی مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از شش مقطع مختلف (به ترتیب: فلکه یخ‌سازی تا فلکه رازی، فلکه رازی تا فلکه گاز، فلکه گاز تا مصلا (توشیبا)، مصلا تا میدان نیرو دریایی، میدان نیرو دریایی تا میدان امام حسین و میدان امام حسین تا پل جانبازان) تشکیل شده است. از آنجایی که هر کدام از شش مقطع ترافیکی فوق دارای یک مسیر رفت و یک مسیر برگشت هستند، جمعاً ۱۲ مسیر مجزا در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در شهر رشت جهت تخمین میزان انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از وسایل نقلیه موتوری

و گازوئیل استفاده شد. اطلاعات مربوط به دما و رطوبت ساعتی هم برای دوره یک ساله مورد نظر که از اسفند ۹۶ تا بهمن ۹۷ بود، برای ایستگاه هواشناسی فرودگاه سردار جنگل رشت از سایت اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (۱۵) گرفته شد. اطلاعات مربوط به عمر متوسط وسایل نقلیه رشت نیز از اداره پلیس راهنمایی و رانندگی استان گیلان دریافت شد.

یافته‌ها

با جمع‌آوری کلیه داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی و تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها، شبیه‌سازی‌ها برای هر ماه در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۲ ماه) انجام گرفت. تحلیل آماری نتایج در نرم افزار Excel به انجام رسید. با توجه به نتایج به‌دست آمده، روند تغییرات انتشار آلاینده‌ها در ساعات مختلف شبانه روز متأثر از الگوی زندگی روزانه افراد در شهر رشت است. در نمودار ۱ میزان کل انتشار ساعتی آلاینده CO در روزهای وسط هفته در نیمه اول و دوم فروردین ماه نشان داده شده است.

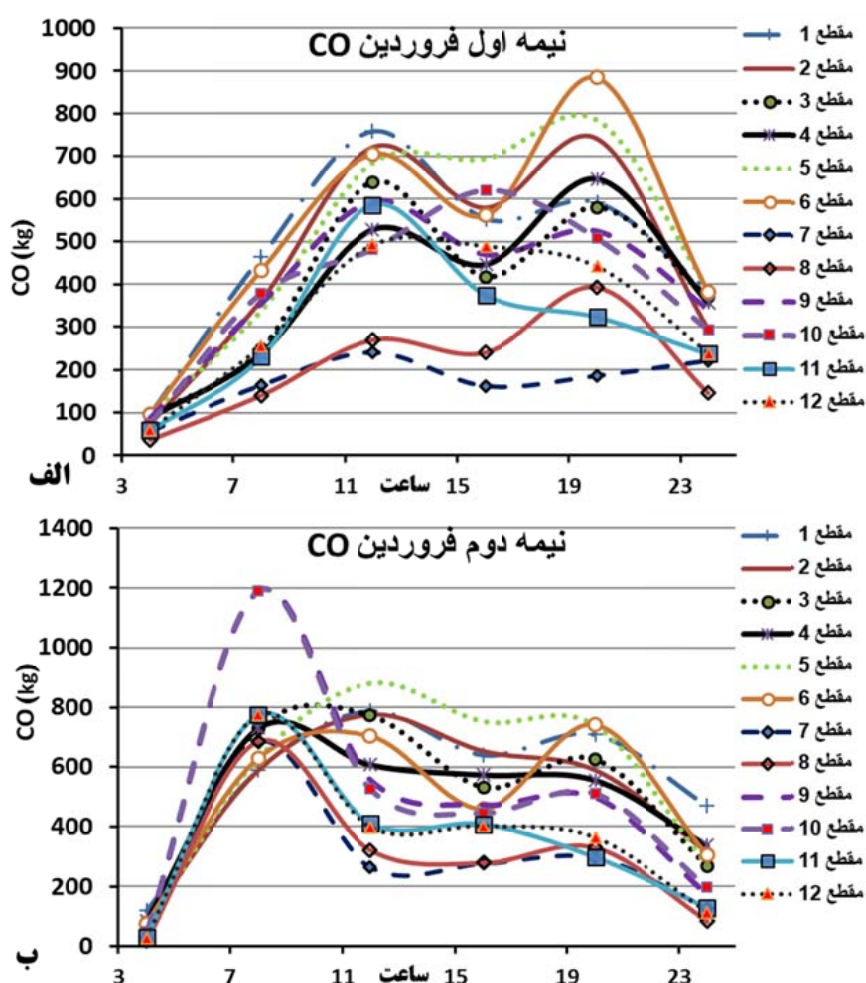
براساس نمودار ۱ همانگونه که انتظار می‌رود، روند انتشار ساعتی آلاینده‌های هوا همانند الگوی روزانه در تمامی شهرهای دنیا است یعنی وجود دو قله به دلیل دو ترافیک سنگین صبحگاهی و شامگاهی. در نمودار ۱-الف دیده می‌شود که سهم ترافیک شامگاهی غالباً بیشتر از ترافیک صبحگاهی بوده و به همین دلیل میزان انتشار آلاینده در ساعات اولیه شب بیشتر از مقدار آن در ساعات صبحگاهی است. یکی از دلایل اصلی این مورد این است که در نیمه اول فروردین، به دلیل تعطیل بودن روزهای هفته، افراد در ساعات عصر بیشتر از اوقات صبحگاهی در شهر تردد می‌کنند. اما در نمودار ۱-ب دیده می‌شود که نقش ترافیک صبحگاهی غالباً بیشتر از ترافیک شامگاهی بوده و به همین دلیل میزان انتشار آلاینده در ساعات اوج صبحگاهی بیشتر از مقدار آن در ساعات‌های شامگاهی است. این مشاهده کاملاً بر عکس موردی بود که در نیمه اول فروردین وجود داشت. دلیل اصلی این امر این است که برخلاف نیمه اول فروردین، روزهای وسط هفته برای هیچ گروهی تعطیل نیست

ورودی در قالب فایل اکسل آماده و در نرم افزار بارگذاری شود. در این بخش، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات آنالیز سوخت‌های مصرفی، تعداد وسایل نقلیه عبوری در هر لینک (خیابان)، تنوع خودروها در هر لینک، طول مسیر، سرعت متوسط خودروها در هر لینک و توزیع سنی خودروها وارد می‌شوند. پس از انجام شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل نتایج انتشار آلاینده‌ها در لینک‌های تعریف شده در برنامه SQL انجام می‌گیرد. این روند برای ساعت‌های مختلف روز و روزهای مختلف سال به‌طور جداگانه انجام می‌شود.

- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

ابتدا بایستی اطلاعات آماری ترافیک در ساعات مختلف شبانه روز در ۱۲ لینک مورد نظر (شکل ۱) جمع‌آوری شود. از آنجایی که ثبت همه اطلاعات ترافیکی و تحلیل آنها امری زمان‌بر و شاید در برخی موارد بیهوده باشد؛ لذا به منظور کاهش حجم داده‌ها و همچنین صرفه‌جویی در وقت و هزینه، ترافیک ۲۴ ساعته به شش بازه زمانی چهار ساعته (۰۶-۰۲، ۱۰-۰۶، ۱۴-۱۰، ۱۸-۱۴، ۲۲-۱۸، ۰۲-۲۲ و ۰۶-۰۲) تقسیم شد. فرض بر این است که در این بازه‌های زمانی چهار ساعته نرخ ترافیک و به‌طور کلی اطلاعات ترافیکی ثابت است. این تقسیم‌بندی با توجه به مشاهدات میدانی و نظمی که غالباً بر ترافیک شهر رشت حاکم است انجام گرفته است.

همچنین داده‌های ترافیکی روزهای کاری (۵ روز) و روزهای آخر هفته (۲ روز) به صورت جداگانه ثبت شد. ضمناً به‌جای سنجش ترافیک در تمام روزهای کاری ماه (۲۲ و یا ۲۳ روز) و آخر هفته‌ها (۸ روز)، داده‌ها در دو روز کاری و دو روز آخر هفته در هر ماه جمع‌آوری و متوسط‌گیری شد. به عبارت دیگر در هر ماه مجموعاً چهار روز و شش ساعت در هر روز نمونه برداری از ترافیک انجام گرفت. برای تعیین سرعت متوسط خودروها در هر بار پایش ترافیک، یک فرد سوار بر ماشین در مقاطع مختلف (۱۲ مقطع) حرکت می‌کند و با داشتن طول مقطع و زمان سفر، سرعت متوسط خودروها محاسبه می‌شود. با توجه به عدم همکاری دستگاه‌های مربوطه جهت ارائه آنالیز جرمی سوخت‌های رایج کشور، از آنالیز موجود در نرم افزار برای بنزین



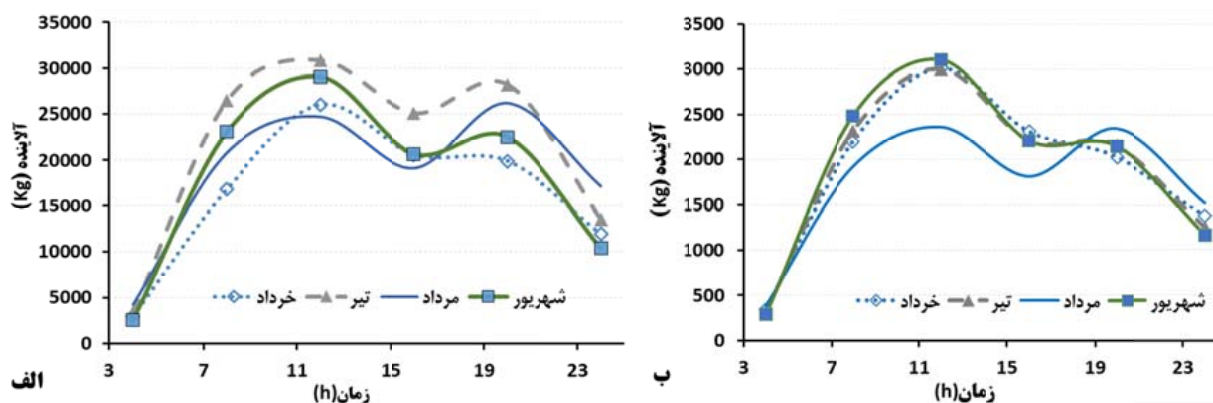
نمودار ۱- تغییرات زمانی کل انتشار CO در روزهای وسط هفته (الف) نیمه اول و (ب) نیمه دوم فروردین ماه

مقارن بودن خرداد با ماه رمضان نسبت داد که به دلیل افطار، ترافیک شامگاهی کم شده و میزان انتشار در شامگاه نسبت به صبحگاه کمتر است. لازم به ذکر است که دلیل تغییر ساعت پیک صبحگاهی در خرداد نسبت به نیمه دوم فروردین (نمودار ۱-ب) را می‌توان به تعطیل شدن کلاس‌های درس و شروع فصل امتحانات مدارس و دانشگاه ارتباط داد. همچنین برخلاف نمودار ۱-ب، در نمودار ۲ تاثیر روزهای تعطیل و آخر هفته با هم در نظر گرفته شده است که باعث تغییر ساعت پیک ترافیک صبحگاهی به سمت ظهر می‌شود. در ادامه و در تیر ماه به تدریج با شروع تعطیلات، نسبت سهم ترافیک شامگاهی به صبحگاهی بیشتر شده و به طوری که در مرداد ماه سهم ترافیک شامگاهی

و ترافیک صبحگاهی سنگین است. همچنین دلیل کم بودن ترافیک شامگاهی را می‌توان به کاهش دید و بازدید، خرید و غیره ارتباط داد که در نیمه اول فروردین غالباً به‌طور مفصل به این موارد پرداخته می‌شود.

علاوه بر الگوهای زمانی مشاهده شده در طول روز، برای ماه‌های مختلف سال نیز الگوهای متنوعی در انتشار آلاینده‌های CO و NO_x مشاهده شد که در نمودار ۲ الگوی انتشار در چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور نشان داده شده است.

با توجه به نمودار ۲-الف، میزان کل انتشار CO در ماه خرداد در ساعات اوج ترافیک صبحگاهی بیشتر از مقدار آنها در ساعات اوج شامگاهی است. دلیل این امر را می‌توان به



نمودار ۲- تغییرات زمانی کل انتشار الف (CO و ب) NO_x در ماه‌های خرداد تا شهریور

جدول ۱- میزان انتشار آلاینده‌های هوا در ۱۲ ماه سال بر حسب ton

آلاینده	ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
CO		۷۸/۶۴	۹۸/۵۲	۹۸/۱۳	۱۲۷/۶۲	۱۱۲/۱۴	۱۰۸/۳۰	۷۱/۹۲	۷۰/۹۶	۶۸/۶۶	۷۴/۸۷	۶۹/۶۸	۶۷/۶۰
NO_x		۱۰/۴۵	۱۱/۸۳	۱۱/۲۶	۱۱/۲۵	۱۰/۳۴	۱۱/۳۷	۹/۲۲	۱۰/۰۳	۱۰/۱۰	۱۱/۲۷	۱۰/۷۰	۱۱/۲۰

نقلیه دیزلی هستند که نظم فعالیت‌های شغلی صاحبان آنها در طول سال تقریباً ثابت و اکثر فعالیت‌های آنها در ساعات روز انجام می‌گیرد.

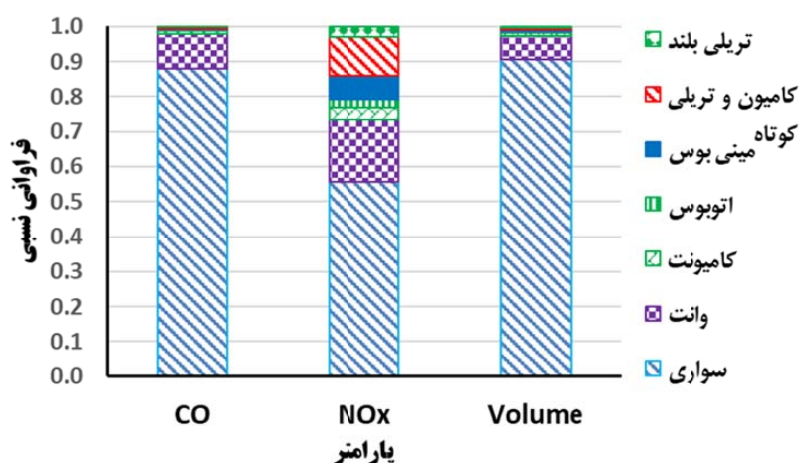
در مجموع و در طول یک سال سنجش ترافیک دو بلوار شهید بهشتی و مدرس در شهر رشت، میزان کل انتشار سالانه آلاینده‌های CO و NO_x (مجموع NO و NO_2) به ترتیب برابر با ۱۰۵۰ و ۱۲۷ ton برآورد شده است که مقادیر انتشار این آلاینده‌ها در ماه‌های مختلف سال در محدوده مورد مطالعه، در جدول ۱ گزارش شده است.

در ادامه نیز سهم سالانه هر یک از انواع خودروهای عبوری در انتشار آلاینده‌ها در قالب جدول ۲ و نمودار ۳ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، خودروهای سواری بیشترین

بیشتر از ترافیک صبحگاهی است. دلیل این امر مطلوب بودن هوا در ساعات اولیه شب نسبت به روز و همچنین تعطیلات تابستانی مرداد است که باعث ترافیک بیشتر شامگاهی نسبت به صبحگاهی می‌شود. در ماه شهریور برخلاف مرداد ماه، میزان انتشار CO در ساعات اوج ترافیک صبحگاهی بیشتر از مقدار آنها در ساعات اوج شامگاهی است. دلیل این امر کمتر شدن مسافران تابستانی در شهریور نسبت به مرداد و همچنین شروع به کار تدریجی مراکز آموزشی و تغییر روال زندگی از حالت تعطیلات به روال اداری است. اما با توجه به نمودار ۲-ب، الگوی انتشار ساعتی NO_x در ماه‌های مختلف تقریباً یکسان است و کمترین تاثیر را از مناسبت‌ها و تعطیلات سالانه دارد. دلیل این امر این است که فاکتور تعیین کننده در انتشار NO_x وسایل

جدول ۲- سهم انواع وسایل نقلیه در انتشار آلاینده‌های هوا در طول یک سال

منبع آلاینده	درصد		NO _x (ton)	CO (ton)	آلاینده
	تعداد	NO _x			
سواری	۹۰/۵۳	۵۵/۴۹	۷۰/۳۶	۹۲۹/۸۱	سواری
وانت	۶/۹۷	۱۸/۰۲	۲۲/۸۴	۱۰۳/۸۴	وانت
کامیونت	۰/۸۰	۳/۴۹	۴/۴۳	۹/۷۴	کامیونت
اتوبوس	۰/۱۰	۲/۳۷	۳/۰۰	۲/۰۹	اتوبوس
مینی بوس	۰/۶۳	۶/۵۵	۸/۳۱	۳/۳۷	مینی بوس
کامیون و تریلی کوتاه	۰/۷۵	۱۱/۰۸	۱۴/۰۴	۵/۸۰	کامیون و تریلی کوتاه
تریلی بلند	۰/۲۲	۳/۰۱	۳/۸۱	۱/۶۴	تریلی بلند



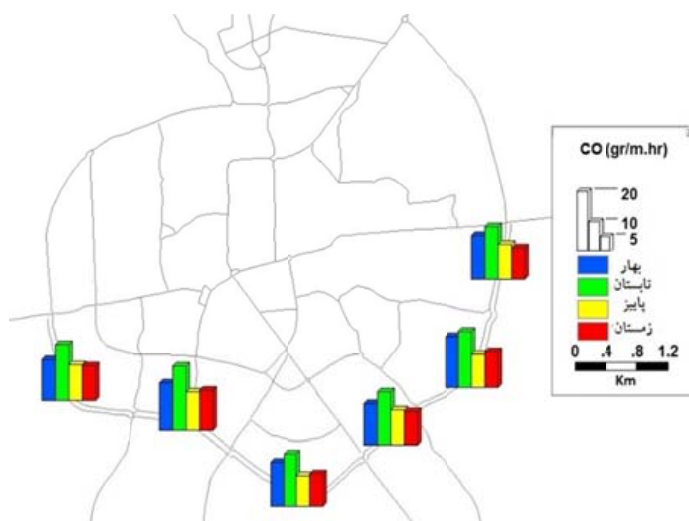
نمودار ۳- تعداد نسبی وسایل نقلیه عبوری در محدوده مورد مطالعه و سهم انتشار وسایل نقلیه در انتشار سالانه CO و NO_x در محدوده مذکور

وانت، پیکان وانت، وانت مزدا، وانت نیسان و خودروهای دو کابین) است. در این تحقیق با توجه به پرسش‌های میدانی، ۵۰ درصد وانت نیسان‌ها دیزلی در نظر گرفته شده‌اند و سایر وانت‌ها همگی بنزین سوز در نظر گرفته شده‌اند.

میزان انتشار آلاینده‌ها در هر یک از ۱۲ مسیر (۶ مقطع) متاثر از طول آن مسیر است. اما در ادامه و در نمودارهای ۴ و ۵ نرخ انتشار آلاینده‌های CO و NO_x در هر ساعت و به ازای هر متر از مسیر بر حسب $g/(m.h)$ در شش مقطع مورد بررسی رسم شده است.

تاثیر طول مسیر در نمودارهای ۴ و ۵ حذف شده است و فقط

سهم در تولید سالانه آلاینده CO را دارند و همچنین سهم خودروهای دیزلی در تولید NO_x بیشتر از سهم آنها در تولید CO است. اگرچه نسبت تعداد خودروهای دیزلی به خودروهای سواری حدود ۱۰ به ۹۰ است اما سهم آنها در تولید NO_x تقریباً برابر با خودروهای سواری است. این امر موید این مطلب است که خودروهای دیزلی تعیین کننده اصلی در میزان انتشار آلاینده NO_x هستند و در صورت نیاز به کاهش انتشار آلاینده (با توجه به حدود مجاز غلظت در محیط‌های شهری)، بایستی کنترل تردد خودروهای دیزلی بیش از خودروهای سواری در اولویت قرار بگیرد. لازم به ذکر است که منظور از وانت، همه وانت بارهای موجود در ترافیک شهری (اعم از پراید



نمودار ۴- نرخ انتشار میانگین فصلی CO در مقاطع شش گانه بر حسب $g/(m.h)$



نمودار ۵- نرخ انتشار میانگین فصلی NO_x در مقاطع شش گانه بر حسب $g/(m.h)$

نیروی دریایی و میدان امام حسین دارای بیشترین نرخ انتشار میانگین سالانه NO_x ($2 g/(m.h)$) است که این مورد را می توان به تردد بالای خودروهای سنگین و نیمه سنگین در این مقطع مرتبط کرد. زیرا خودروهایی که مبدا و یا مقصد آنها شهرهای شرق و مرکزی گیلان است، همگی در این مقطع تردد دارند. همچنین با توجه به نتایج سنجش ترافیک، فراوانی نسبی خودروهای سنگین در این مقطع بیشتر از سایر مقاطع مورد مطالعه است.

تاثیر حجم ترافیکی را می توان در هر فصل در مقاطع مختلف مشاهده کرد. با توجه به نمودار ۴ در فصل تابستان بیشترین نرخ انتشار CO در همه مقاطع دیده می شود. اما نرخ انتشار متوسط فصلی NO_x در هر مقطع تقریباً در فصول مختلف ثابت است. محاسبه متوسط سالانه نرخ انتشار در مقاطع مختلف (۶) نشان داد که مسیرهای رفت و برگشت بین فلکه رازی و گاز دارای بیشترین نرخ انتشار CO در یک سال ($g/(m.h)$) است که این امر به دلیل تردد بالای خودروهای سبک و ترافیک سنگین در این محدوده است. همچنین مقطع بین

بحث

هر چند تحقیق حاضر با هدف تعیین الگوی حاکم بر تغییرات فصلی انتشار آلاینده‌های CO و NOx منتشره از وسایل نقلیه در بخشی از معابر شهر رشت انجام گرفت تا میزان انتشار آلاینده‌ها در سایر معابر شهر را با صرف وقت و هزینه کمتر بتوان تخمین زد، اما تغییرات ساعتی و ماهانه انتشار آلاینده‌ها با هدف بررسی ساعت‌های پیک انتشار این آلاینده‌ها و عوامل موثر بر آنها نیز بررسی شد. در باب مقایسه توزیع ساعتی انتشار آلاینده‌ها با سایر مراجع، مشاهده می‌شود که توزیع ساعتی انتشار CO در شهر رشت (نمودار ۱-ب)، با نتایج Liu و همکاران در شهر فوشان چین و Zhang و همکاران (۴) در بخش بندری هوستون آمریکا همخوانی دارد. اما با نتایج Zhang و همکاران (۴) در ماکائو مطابقت ندارد. به طور کلی یکی از عوامل تاثیرگذاری که باعث عدم مشاهده یک روند ساعتی منظم و قابل انتظار می‌شود، مناسب نبودن خطوط حمل و نقل موجود برای حجم وسایل نقلیه فعال در شهر است. با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان گفت که سهم اصلی انتشار CO در ترافیک رشت را خودروهای سواری به عهده دارند (این مشاهدات با نتایج Wu و همکاران (۳) مطابقت دارد) و سهم وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی در انتشار NOx تقریباً یکسان است که به دلیل حجم بالای وسایل نقلیه بنزین سوز در ترافیک شهری است (این مشاهدات با نتایج Zhang و همکاران (۷) در شهر هوستون آمریکا مطابقت دارد). به علاوه به دلیل اینکه به طور میانگین ۹۰ درصد از خودروهای عبوری در محدوده مورد مطالعه، خودروهای سواری بودند، حدود ۵۵ درصد از NOx تولیدی نیز سهم خودروهای سواری است. از آنجایی که معابر مورد بررسی جزء شریان‌های درجه یک به حساب می‌آیند، در شریان‌های داخلی شهر و شریان‌های درجه دو و سه، انتظار می‌رود که سهم نسبی خودروهای سواری نسبت به دیزلی در انتشار هر دو آلاینده مورد بررسی بیشتر از شریان‌های درجه یک باشد. در میان مقاطع مورد بررسی، هم ماهیت یک شریان اصلی درون شهری و هم ماهیت یک کمربندی شهری نیز وجود داشت. از آنجایی که این پژوهش

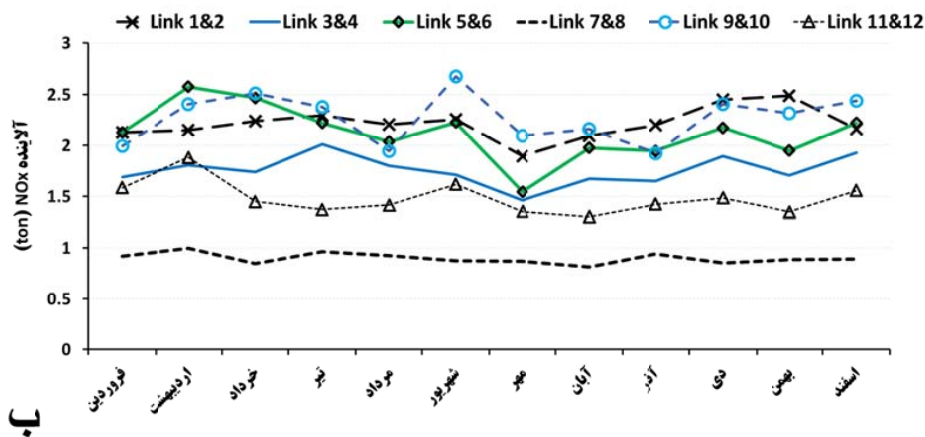
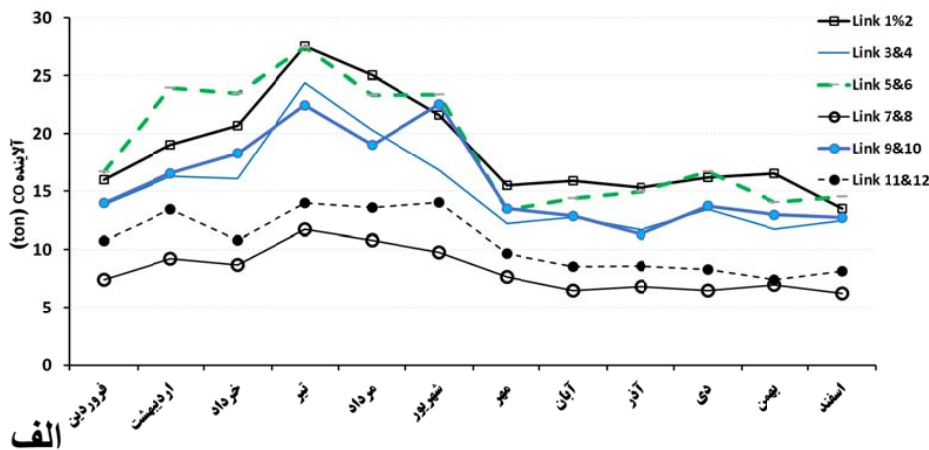
در ریزترین مقیاس ممکن در مطالعات تخمین انتشار از منابع متحرک صورت گرفت، می‌توان از تعمیم نتایج آن در جهت تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها در کل معابر شهر رشت استفاده نمود. در نمودار ۶، نمودار مربوط به انتشار ماهانه آلاینده‌های CO و NOx در شش مقطع مورد بررسی آورده شده است. با توجه به نمودار ۶-الف می‌توان دریافت که کل میزان انتشار ماهانه آلاینده CO در هر مقطع در طول سال روند ثابتی ندارد. اما با توجه به نمودار ۶-ب می‌توان نتیجه گرفت که میزان انتشار ماهانه NOx در هر مقطع در طول سال روند تقریباً ثابتی دارد. به منظور مشاهده بهتر روند انتشار آلاینده CO در نیمه اول و دوم سال، انتشار ماهانه این آلاینده در هر مقطع برای نیمه اول و دوم سال به‌طور جداگانه در نمودارهای ۶-ج و ۶-د آورده شده است که نشان دهنده این مطلب است که هر چند انتشار CO در کل سال روند ثابتی ندارد (نمودار ۶-الف) اما میزان انتشار ماهانه این آلاینده در شش ماهه اول و دوم به طور مجزا مقدار تقریباً ثابتی است. لازم به ذکر است که در نمودارهای ۴ و ۵ نرخ انتشار آلاینده‌ها بر حسب $g/(m.h)$ گزارش شده است اما در نمودار ۶ میزان انتشار ماهانه آلاینده‌ها بر حسب ton گزارش شده است و ممکن است با توجه به نمودارهای ۴ و ۵ یک مقطع دارای نرخ انتشار بیشتری نسبت به مقاطع دیگر باشد اما به دلیل طول مسیر کوتاه‌تر، مقدار انتشار ماهانه آلاینده (نمودار ۶) در آن مقطع مورد نظر کمتر از مقاطع دیگر باشد. همچنین با توجه به نمودار ۶، میزان انتشار آلاینده‌ها در یک زمان مشخص در مقاطع مختلف متفاوت است، که این امر به دلیل تفاوت در حجم ترافیک در مقاطع مختلف، طول مسیر در هر مقطع و تنوع وسایل نقلیه در مقاطع مختلف است. به علاوه از آنجایی که در این مطالعه آلاینده‌های احتراقی CO و NOx مورد مطالعه قرار گرفته است، مهمترین عوامل انتشار آلاینده در هر وسیله نقلیه، سرعت متوسط، شرایط احتراق و کیفیت سوخت آن است و پارامترهای هواشناسی تاثیر قابل توجهی بر انتشار این آلاینده‌ها ندارند. لذا مهمترین عامل موثر بر تغییرات زمانی انتشار این آلاینده‌ها در هر مقطع در نمودار ۶، تعداد و تنوع خودروها و سرعت متوسط خودروها

دیگر توزیع ساعتی انتشار NO_x در ماه‌های مختلف سال روال ثابتی دارد. زیرا عامل تعیین کننده در انتشار NO_x خودروهای دیزلی هستند که نظم و روال کار آنها در ماه‌های مختلف تقریباً ثابت است و لذا تغییرات ساعتی انتشار این آلاینده در ماه‌های مختلف تقریباً یکسان است. یکی دیگر از نتایج مهم در این تحقیق این است که با توجه به نمودار ۶ برای تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه موتوری در سایر نقاط شهر، می‌توان با بهره‌گیری از نتایج این پژوهش، بجای پایش ماهانه ترافیک در مقاطع مختلف، پایش‌ها را یکبار در سال برای تخمین آلاینده NO_x و دو بار در سال (یکبار در نیمه اول سال و یکبار در نیمه دوم سال) جهت تخمین انتشار آلاینده CO

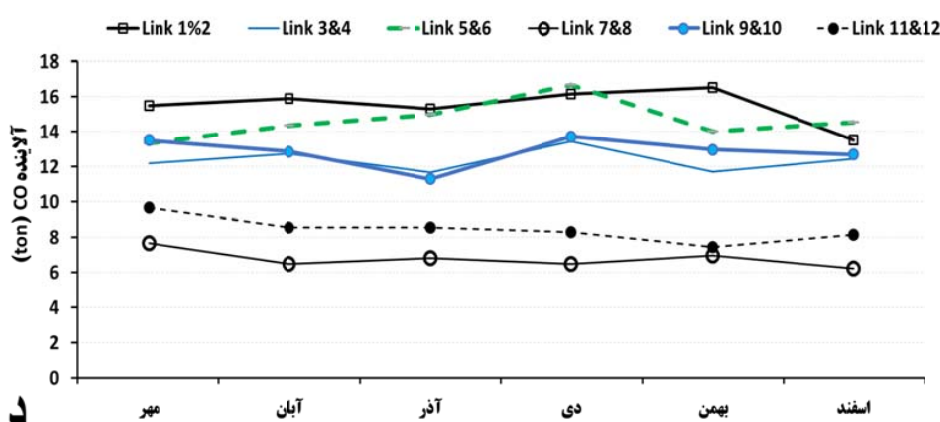
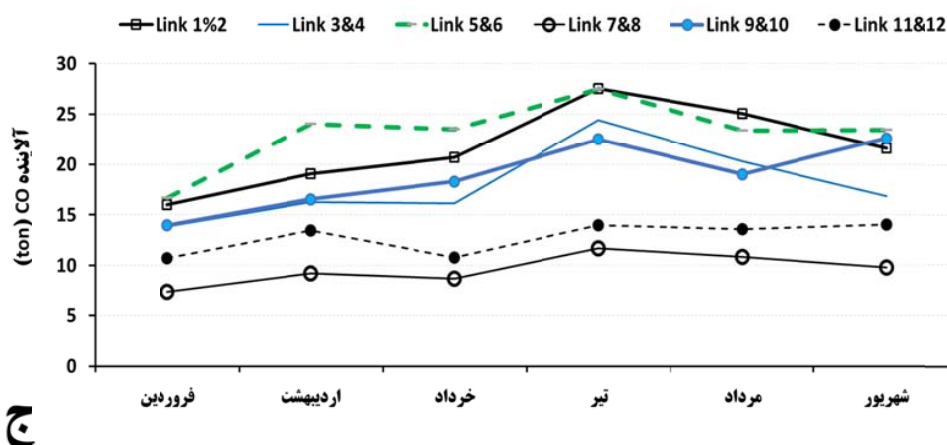
است. با توجه به نمودار ۶-الف، می‌توان علت تفاوت در انتشار آلاینده CO در نیمه اول و دوم سال را به بلندتر شدن روز، افزایش سفرهای درون شهری و ورود گردشگر (به ویژه در فصل تابستان) نسبت داد که باعث افزایش انتشار این آلاینده در نیمه اول سال می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای مربوط به توزیع ساعتی انتشار آلاینده‌ها در ماه‌های مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که روند انتشار ساعتی آلاینده CO در ماه‌های مختلف، متأثر از تعطیلات، مناسبت‌ها و روال طبیعی زندگی در شهر است. اما از سوی



نمودار ۶- تغییرات زمانی انتشار آلاینده الف) CO در طول سال، ب) NO_x در طول سال، ج) CO در نیمه اول سال، د) CO در نیمه دوم سال



ادامه نمودار ۶- تغییرات زمانی انتشار آلاینده

الف) CO در طول سال، ب) NOx در طول سال، ج) CO در نیمه اول سال، د) CO در نیمه دوم سال

این تحقیق، فرض ثابت بودن نرخ ترافیک، تنوع خودروها، سرعت متوسط و شرایط جوی در بازه‌های چهار ساعته است. بنابراین اگر بخواهیم عوامل موثر بر تغییرات ساعتی آلاینده‌ها در هر روز و یا تغییرات آنها در ماه‌های مختلف را به طور بسیار دقیقی مطالعه کنیم، نیاز به اطلاعات ترافیکی در تمام ساعات شبانه روز است که این مورد خارج از اهداف این پژوهش است. به کار بردن آنالیز سوخت پیش فرض موجود در نرم افزار به جای آنالیز سوخت مصرفی در شهر رشت و در نظر نگرفتن سوخت گاز طبیعی برای خودروهای دوگانه سوز به دلیل عدم وجود اطلاعات موثق نیز از محدودیت‌های دیگر این پژوهش به حساب می‌آید.

انجام داد که این امر باعث صرفه جویی بسیار زیاد در وقت و هزینه می‌شود و در عین حال با توجه به نتایج این طرح، خطای قابل قبولی خواهد داشت. هدف اصلی این پژوهش تعیین الگو و یا نظم حاکم بر تغییرات مکانی و زمانی انتشار آلاینده‌های منتشره از ترافیک در شهر رشت است، تا با استفاده از آن بتوان با صرف هزینه و زمان معقولی انتشار آلاینده‌ها در نقاط دیگر شهر را برآورد کرد. زیرا با توجه به عدم ثبت داده‌های ترافیکی توسط سازمان حمل و نقل و ترافیک، ثبت داده‌های ترافیکی و آنالیز آن (حتی با سنجش دو روز کاری و دو روز تعطیل در ماه که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت) در تمام نقاط شهر، بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. لذا یکی از محدودیت‌های

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، علمی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "تخمین میزان انتشار آلاینده‌های هوا از وسایل نقلیه موتوری در بلوار شهید بهشتی رشت"، مصوب دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۶ است که با حمایت دانشگاه گیلان اجرا شده است.

References

1. Wheeler AJ, Smith-Doiron M, Xu X, Gilbert NL, Brook JR. Intra-urban variability of air pollution in Windsor, Ontario-measurement and modeling for human exposure assessment. *Environmental Research*. 2008;106(1):7-16.
2. Kashima S, Yorifuji T, Tsuda T, Doi H. Application of land use regression to regulatory air quality data in Japan. *Science of the Total Environment*. 2009;407(8):3055-62.
3. Ross Z, Jerrett M, Ito K, Tempalski B, Thurston GD. A land use regression for predicting fine particulate matter concentrations in the New York City region. *Atmospheric Environment*. 2007;41(11):2255-69.
4. European Environment Agency. Emissions of air pollutants from transport. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency; 1998.
5. Salles J, Janischewski J, Jaecker-Voirol A, Martin B. Mobile source emission inventory model. Application to Paris area. *Atmospheric Environment*. 1996;30(12):1965-75.
6. Wu X, Zhang S, Wu Y, Li Z, Fu L, Hao J. Real-World Emissions and Fuel Consumption of Diesel Buses and Trucks in Macao: From On-road Measurement to Policy Implications. *Atmospheric Environment*. 2015;120:393-403.
7. Zhang S, Wu Y, Huang R, Wang J, Yan H, Zheng Y, Hao J. High-resolution simulation of link-level vehicle emissions and concentrations for air pollutants in a traffic-populated eastern Asian city. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016;16(15):9965-81.
8. Zhang X, Craft E, Zhang K. Characterizing spatial variability of air pollution from vehicle traffic around the Houston Ship Channel area. *Atmospheric Environment*. 2017;161:167-75.
9. Liu YH, Ma JL, Li L, Lin XF, Xu WJ, Ding H. A high temporal-spatial vehicle emission inventory based on detailed hourly traffic data in a medium-sized city of China. *Environmental Pollution*. 2018; 236: 324-33.
10. Goyal P, Mishra D, Kumar A. Vehicular emission inventory of criteria pollutants in Delhi. *Springer-Plus*. 2013;2(1):216.
11. Matkan AA, Shakiba AR, PourAli SH, Baharloo I. Determination of spatial variation of CO and PM10 air pollutants using GIS techniques (case study: Tehran, Iran). *Remote Sensing & GIS*. 2010;1:57-72 (in Persian).
12. Zarabi A, Mohammadi J, Abdollahi AA. Evaluating stationary and mobile sources in air pollution of Isfahan. *Journal of Geography*. 2012; 26:151-164 (in Persian).
13. Khazaei E, Alesheikh EE, Karimi M, Vahidnia MH. Prediction and modeling of carbon monoxide concentration with the combination of an adaptive neuro-fuzzy network and GIS. *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*. 2012; 3(3):21-35 (in Persian).
14. Environmental Protection Agency. MOVES user manual. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2014.
15. National Climate Data Center. Asheville: National Oceanic and Atmospheric Administration; 2019 [cited 2019 Jul 9]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/>.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Spatial and temporal variations of air pollutants from motor vehicles using MOVES software: case study of Beheshti and Modarres boulevards in Rasht

A Ahmadi Orkomi^{1,*}, A Kamkar², Z Aghajani¹

1- Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 March 2019
Revised: 10 June 2019
Accepted: 12 June 2019
Published: 4 September 2019

Keywords: CO, NO_x, Air pollution, Pollutants' emission simulation, Transportation and traffic

*Corresponding Author:

Orkomi@guilan.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Since mobile resources are the most important sources of air pollution in the metropolis of Rasht and due to the importance of air pollution in wet weather condition in Rasht, this research was carried out in a specific area to determine the pattern governing the change in the monthly emissions of pollutants on a small scale, using the results obtained from that area.

Materials and Methods: In this study, the amount of air pollutants was estimated on a small scale by continuous monitoring of traffic throughout the year (four days per month and six hours per day) and using MOVES software.

Results: The maximum annual average emissions of CO and NO_x in the study area were 15.76 (between Gas and Razi squares) and 2 (between Imam Hossein Square and Nirou Daryae square) g/(m.hr), respectively. In addition, the results showed that the average monthly emission of NO_x throughout the year in each of the sections was constant and the average monthly emission of CO in the first half and the second half of the year was constant, and its value in the first half was higher than that in the second half.

Conclusion: Hourly distribution of CO emission in different months was affected by events and, in general, the pattern of people's life styles. But the hourly distribution for NO_x was roughly constant throughout the year. Also, according to the results, with a single measurement (for CO) and twice measurement (for NO_x) of traffic instead of monthly measurements, the pollutant emission estimation in other parts of the city was possible with an acceptable accuracy. Because the generalization of the method used in this study to estimate the emission of pollutants in all roads of the city is not reasonable and cost-effective.