تحلیل تغییرات قائم آلودگی هوا در مسیر آزادی- تهران‌پارس با شبیه‌سازی خردمقیاس اقلیمی

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۰۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۰۹/۲۸

علی‌اکبر شمسی‌پور*- قاسم عزیزی- ژوان امینی*****

چکیده

خیابان‌های آزادی، انقلاب و دماوند با گذر از مناطق با هسته‌های جمعیتی و فعالیتی و گره‌های ترافیکی زیاد از شرایط آلودگی هوای شدیدی برخوردارند. در پژوهش حاضر اثر عناصر اقلیمی و کالبدی شهر بر الگوی تغییرات قائم آلودگی هوا واکاوی شد. بنابراین جهت‌گیری و عرض معابر، تراکم ساختمانی و نوع کاربری و همچنین شدت و جهت باد، دما و رطوبت هوا مورد پژوهش قرار گرفت. روش گردآوری داده‌ها و اطلاعات بر پایه ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و پیمایشی و تحلیل داده‌ها با روش‌های آماری و مدل‌سازی عددی انجام شد. با بهره‌گیری از فیلم‌های مرکز کنترل ترافیک شهری در تقاطع‌های مسیر و برآورد تعداد خودروها، میزان مصرف بنزین در واحد زمان و میزان خروجی گاز آلاینده CO معادل آن‌ها محاسبه شد. از مدل عددی خرداقلیم ENVI-met برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوا استفاده شد. در این مقاله سه مقطع میدان آزادی، چهارراه ولیعصر و سه‌راه تهران‌پارس انتخاب و نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی تحلیل شد. میزان آلاینده منواکسید کربن در دو نمونه روز سرد و گرم سال نشان‌دهنده تمرکز بیشینه این آلاینده در محدوده‌های به هم فشرده و متراکم چهارراه ولیعصر و ضلع شرقی میدان آزادی به‌ویژه در ساعت‌های ابتدایی روز و همچنین فصول سرد سال است. در بعد ارتفاعی در هر سه مقطع مورد مطالعه با افزایش ارتفاع، غلظت آلاینده کاهش دارد. در نمونه پاییزه و تابستانه بیشینه ارتفاع گسترش آلودگی به ترتیب کمتر از ۱۰ متر و بیش از ۱۵ متر به‌دست آمد. سرما و افزایش چگالی هوا در نزدیکی سطح زمین و نبود ساز و کارهای صعود همرفتی در هوا عامل کاهش پراکنش قائم هوا در پاییز است.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، منواکسید کربن، مدل‌سازی اقلیمی، مدل ENVI-met، محور آزادی- تهران‌پارس.

* دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
Email: shamsipr@ut.ac.ir
** دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*** کارشناسی‌ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقدمه

آلودگی هوا از زمانی آغاز شد که انسان‌ها آغاز به سوزاندن سوخت‌های مختلف کردند که سبب تغییر در ترکیب شیمیایی نرمال هوا شد (Daly & Zannetti, 2007). انتشارات ناشی از وضعیت ترافیکی به‌عنوان یکی از منابع اصلی آلودگی در محیط‌های شهری و به‌ویژه در خیابان‌های بزرگ و مرکزی شناخته می‌شوند. میزان بالای آلودگی هوا در خیابان‌هایی دیده می‌شود که سازه‌های بلند و متراکم مانع تهویه هوا شوند. سیستم تهویه یک خیابان به شرایط هواشناسی مانند جهت و سرعت وزش باد، هندسه خیابان، پیکربندی آن و میزان انتشارات به سطوح ترافیک، عمر و نوع خودروها بستگی دارد (Karra et al., 2011). آلودگی ناشی از ترابری مسأله پیچیده‌ای است. جنبه بسیار حاد آن را می‌توان آلاینده‌هایی دانست که هنگام تردد خودروها در هوا منتشر می‌شود. برخی متغیرهای جوی مانند باد در کاهش و یا افزایش میزان آلودگی ناشی از تردد خودروها در سطح یک خیابان بسیار مؤثر است. با توجه به این‌که اغلب ترافیک سواره در مناطقی است که از تراکم جمعیتی بالایی برخوردارند، مسأله آلودگی بسیار حساس‌تر و بحرانی‌تر می‌شود. در مطالعات خرد مقیاس مربوط به شهرها، ویژگی‌های سازه‌ای، ارتفاع و استقرار ساختمان‌ها در میزان آلودگی هوا حائز اهمیت است. در یک خیابان پرتردد شهری که دو طرف آن به‌وسیله ساختمان‌های متراکم احاطه شده، انتشارات ناشی از خودروها حالت حبس‌شدگی پیدا می‌کنند. همچنین خیابان‌ها به‌عنوان منبع خطی انتشار آلاینده‌ها از آلوده‌ترین محیط‌های شهری به حساب می‌آید. شهر تهران یکی از آلوده‌ترین کلان‌شهرهای جهان و شبکه خیابان‌های آن در مقیاس خرد، محل تجمع و انباشت آلاینده‌های هوای ناشی از تردد خودروهاست.

تهران با جمعیتی بیش از ۸/۲ میلیون نفر (مرکز آمار، ۱۳۹۰) که بزرگ‌ترین شهر در غرب آسیا است. از طرفی با توجه به تأثیر توپوگرافی شهری و منطقه‌بندی شهرها از نظر تراکم جمعیت و ترافیک، پراکنش آلاینده‌ها و تراکم آن‌ها در مناطق مختلف شهر دارای تفاوت‌هایی است. شهر تهران در جهت شمال به جنوب دارای ۷۵۰ متر اختلاف ارتفاع است. تهران در نوار شمال‌غرب- شمال‌شرق به رشته کوه البرز محدود است و از شرق تا جنوب به کوه‌های بی‌بی شهربانو محدود می‌شود. اختلاف ارتفاع و تفاوت‌های ساختاری در محیط شهر موجب اختلاف در پراکنش آلاینده‌های هوا نیز می‌شود (Amini & Tayebi, 2010).

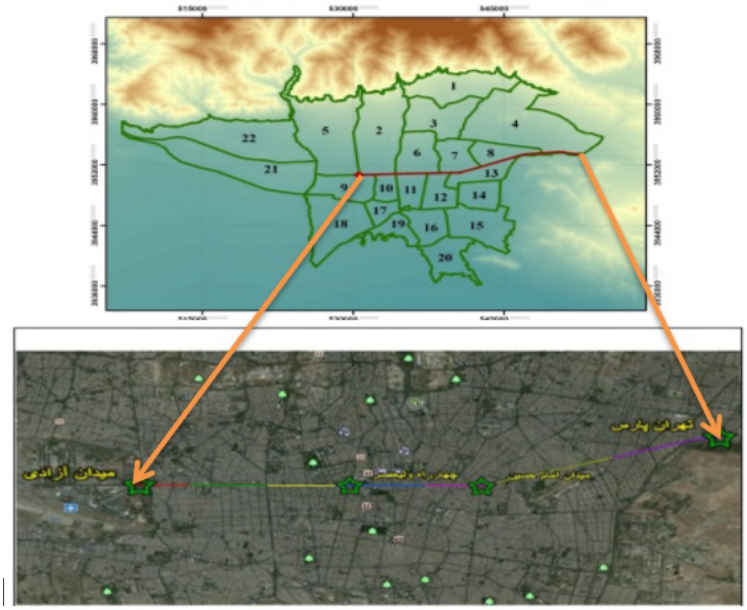
از مطالعات انجام شده در سطح جهانی در مورد آلودگی هوا با مقیاس خرد و با روش مدل‌سازی عددی، پژوهش‌های متعددی انجام شده است؛ برای مثال: شبیه‌سازی عددی انتشارات خارج شده از اگزوز هواپیماها در کشور لهستان (Brzozzowski, 2005)، ارزیابی انتشار سالانه ذرات معلق با به‌کارگیری مدل میان مقیاس آلودگی هوا TAPM[1] برای شهر کرایس‌چرچ نیوزیلند (Zawarreza et al., 2005, 2010)، مطالعه انتشارات PM_{10} در شهر لانستون استرالیا با مدل TAPM، برای فصل زمستان (Ashok et al., 2006)، شرح چگونگی اجرای مدل پراکنش گازها یا ذرات و رسوب یا ته‌نشینی آن‌ها با PDDM در نرم‌افزار ENVI-met (Bruse, 2007) و همچنین او در مطالعه دیگری (۲۰۰۷) ظرفیت فیلترینگ ذرات معلق PM_{10} را از راه پوشش گیاهی شهری، با استفاده از مدل ENVI-met انجام داد (Bruse, 2007). تحلیل پراکنش آلاینده‌های مرتبط با ترافیک در سراسر یک خیابان غیرهمگن در نیکوزیای قبرس انجام شد. نتایج آن‌ها گویای این بود که سطوح آلودگی در سطح زمین تا حد زیادی بسته به هندسه خیابان، شرایط محلی و وضعیت خطوط ترافیکی بوده است (Karra et al. 2010). برای واکاوی یک مدل برای شبیه‌سازی پراکنش NOx در مرکز شهر کوریتینیای برزیل، از مدل خرد مقیاس هواشناسی ENVI-met استفاده شد (Bemquerer & Rasia, 2010). با مدل TAPM ارتباط تراکم ذرات معلق با الگوهای جوی حاکم در شهر تهران ارزیابی شد (Zawarreza et al., 2010). پراکنش ذرات ریز ناشی از ترافیک در خیابانی از شهر آنتورپ بلژیک، با مدل ENVI-met شبیه‌سازی شد (Nikolova et al., 2011). تأثیر پوشش گیاهی در پراکنش آلاینده‌های ناشی از ترافیک با مدل‌سازی خرد مقیاس در خیابان‌های مختلف انجام شد (Wania et al., 2011). در مطالعه‌ای با مدل‌سازی انتشارات ذرات معلق هوا توسط مدل ADMS-urban به این نتیجه رسیدند که نتایج مدل با داده‌های واقعی هم‌خوانی خوبی دارد (Etabi et al., 2007). مددی و سایرین (۱۳۸۸) مدل‌سازی انتشار گازهای CO و NOx ناشی از سوخت گاز طبیعی در نیروگاه سیکل ترکیبی سمنان، از طریق Diper را انجام دادند. شریفی (۱۳۸۸) با انتخاب موضوع "آلودگی هوای ناشی از پایانه مسافربری آزادی" برای پایان‌نامه خود، از مدل Aermet استفاده کرد.

پژوهش حاضر با توجه به موارد پیرو مورد توجه قرار گرفت: ۱) شرایط حاد آلودگی ناشی از خودروها و نبود مطالعه و تحقیقی که به‌طور مشخصی به وضعیت آلودگی هوا در فضاهای اطراف خیابان پرداخته باشد، ۲) نبود مطالعه‌ای در رابطه با شکل اثر عناصر ساختمانی و کاربری‌ها در الگوی پراکنش آلاینده‌های اطراف شبکه‌های دسترسی، و ۳) نامشخص بودن الگوی پراکنش آلاینده‌های هوا در بعد ارتفاعی که میزان آلودگی را در طبقات مختلف ساختمانی اطراف خیابان مشخص می‌کند.

۱. منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر به بررسی وضعیت آلودگی بخش مرکزی شهر تهران حد فاصل محور غربی- شرقیِ خیابان آزادی- تهران‌پارس به طول ۱۸/۷ کیلومتر با استفاده از مدل‌سازی عددی، پرداخته می‌شود. بخش مرکزی شهر تهران اغلب در طول روز به‌دلیل جمعیت بالا، تراکم بالای ساختمان‌های مرتفع، کمبود یا فقدان سبزینه و پوشش گیاهی، ترافیک شدید، نامناسب بودن وضعیت تهویه شهری و از همه مهم‌تر حاد بودن معضل آلودگی هوا، با مشکلات جدی و قابل تأمل آسایش و سلامت روبه‌رو است. روزانه در این منطقه افراد زیادی زمان خود را سپری کرده و حجم بالایی از هوای آلوده را تنفس می‌کنند، ضمن این‌که مراکز علمی مهم، سازمان‌ها و نهادهای اداری- دولتی، مراکز خرید، خیابان‌های اصلی شهر تهران و غیره نیز در این محدوده واقع شده‌اند. بنابراین اندازه‌گیری و بررسی میزان آلاینده‌های این منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است.

شکل ۱: محدوده مورد مطالعه



در ابتدا و انتهای این منطقه دو پایانه (غرب و شرق) از سه پایانه بزرگ مسافربری تهران واقع شده‌اند. همچنین خطوط سامانه اتوبوس‌رانی تندرو (BRT) در این کمربند سبب تردد روزانه بیش از ۳۰۰ دستگاه اتوبوس است. ابتدای این مسیر به نحوی ورودی اصلی شهر تهران به حساب می‌آید که روزانه هزاران خودرو در این منطقه تردد دارند. افزون بر این‌ها در کل مسیر صنایع و کارگاه‌هایی هست، به‌طورکلی می‌توان گفت که کل این موارد در تولید آلودگی این منطقه نقش به سزایی ایفا می‌کنند. در نتیجه از آن‌جایی که پیرامون این محدوده را کاربری‌های عمدتاً جاذب سفر تشکیل می‌دهد، جمعیت انسانی به شدت تحت تأثیر آلودگی ناشی از عوامل یادشده قرار دارند. لذا بررسی آلودگی ناشی از این منطقه مورد توجه این پژوهش قرار گرفته است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

روش گردآوری داده‌ها بر پایه ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و برداشت میدانی، روش تحلیل داده‌ها آماری و مدل‌سازی عددی است. نخست با به‌کارگیری نرم‌افزار Google Earth سه برش از مسیر شاملِ میدان آزادی، چهارراه ولیعصر، و سه‌راه تهران‌پارس، به‌عنوان نماینده برای طراحی و مدل‌سازی در مدل ENVI-met انتخَاب شد.

شکل ۲: تصاویر سه معبر انتخاب شده از کل مسیر آزادی- تهران‌پارس و موقعیت گیرنده‌های مجازی تصاویر از چپ به راست به ترتیب: میدان آزادی، چهارراه ولیعصر، و سه‌راه تهران‌پارس

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده پژوهش شامل عناصر جوی جهت و شدت باد، رطوبت ویژه، رطوبت نسبی و دمای هوا در دو تاریخ ۲۶ ژوئیه ۲۰۱۱ و ۳۰ نوامبر ۲۰۱۰ است که از ایستگاه‌های همدید مهرآباد و دوشان‌تپه به‌دست آمد.

جدول ۱: داده‌های جوی ایستگاه مهرآباد مورد استفاده برای ورودی مدل

ایستگاه	مهرآباد				دوشان تپه			
مؤلفه‌های جوی	نمونه مربوط به فصل تابستان (۱۳۹۰/۰۵/۰۴)		نمونه مربوط به فصل پاییز (۱۳۸۹/۰۹/۰۹)		نمونه مربوط به فصل تابستان (۱۳۹۰/۰۵/۰۴)		نمونه مربوط به فصل پاییز (۱۳۸۹/۰۹/۰۹)	
	ساعت پر ترافیک صبح	ساعت کم ترافیک میانی روز	ساعت‌های پر ترافیک صبح	ساعت‌های کم ترافیک میانی روز	ساعت پر ترافیک- صبح	ساعت کم-ترافیک میانی-روز	ساعت پر ترافیک صبح	ساعت کم ترافیک میانی-روز
دما (درجه سلسیوس)	۲۸/۶	۳۷/۴	۸	۱۶/۶	۳۱/۸	۳۶/۴	۱۴/۴	۱۷/۷
رطوبت نسبی (درصد)	۳۰	۱۱	۴۲	۱۶	۲۳	۱۲	۲۷	۱۹
شدت باد (متر بر ثانیه)	۲	۳	-	-	-	۵	-	۴
جهت باد (درجه)	شمالی	جنوبی	هوای آرام	هوای آرام	هوای آرام	جنوب‌غربی	هوای آرام	جنوب‌غربی

سازمان هواشناسی کشور

داده‌های انتشارات آلودگی، مربوط به آلاینده گازی منواکسید کربن (CO) تاریخ‌های مورد بررسی از روش آماری ترافیک عبوری گذرگاه در برش‌ها و میدان‌های مسیر با استفاده از فیلم‌های مرکز کنترل ترافیک شهر تهران و محاسبات و تبدیل‌ها بر مبنای استانداردها برای برآورد حجم آلاینده تولید شده انجام شد. تمام مراحل محاسبه در داخل جداول ۲، ۳ و ۴ بیان شده‌اند.

جدول ۲: اطلاعات برداشت میدانی وضعیت ترافیک مربوط به ساعات صبحگاهی

نام گذرگاه	طول مسیر (متر)	تعداد خودروهای عبوری از گذرگاه در مدت یک ساعت به تفکیک نوع					تعداد کل خودروها برمبنای واحد سواری در زمان یک ساعت
		سواری و وانت	اتوبوس و مینی‌بوس	موتورسیکلت	معادل واحد سواری تعداد اتوبوس‌ها	معادل واحد سواری تعداد موتورسیکلت‌ها	
میدان آزادی	۱۱۰۰	۴۸۰۰۰	۳۶۰۰	۱۰۸۰۰	۹۰۰۰	۳۲۴۰	۶۰۲۴۰
چهارراه ولیعصر	۵۰۰	۳۶۰۰	۶۶۰	۱۲۰۰	۱۶۵۰	۳۶۰	۵۶۱۰
سه‌راه تهران‌پارس	۵۰۰	۲۸۸۰	۶۶۰	۸۴۰	۱۶۵۰	۲۵۴	۴۷۸۲

(Tehran Traffic control compony)

جدول ۳: اطلاعات برداشت میدانی وضعیت ترافیک مربوط به ساعات نیم‌روزی معابر

نام گذرگاه	طول مسیر (متر)	تعداد خودروهای عبوری از گذرگاه در مدت یک ساعت به تفکیک نوع					تعداد کل خودروها بر مبنای واحد سواری در زمان یک ساعت
		سواری و وانت	اتوبوس و مینی‌بوس	موتورسیکلت	معادل واحد سواری تعداد اتوبوس‌ها	معادل واحد سواری تعداد موتورسیکلت‌ها	
میدان آزادی	۱۱۰۰	۳۸۴۳۶	۲۱۶۰	۸۵۲۰	۵۴۰۰	۲۵۵۶	۴۶۳۹۲
چهارراه ولیعصر	۵۰۰	۳۲۴۰	۵۴۰	۲۶۴۰	۱۳۵۰	۷۹۲	۵۳۸۲
سه‌راه تهران‌پارس	۵۰۰	۲۲۸۰	۴۳۲	۶۰۰	۱۰۸۰	۱۸۰	۳۵۴۰

دسته دیگر از داده‌ها دربردارنده اطلاعات کالبدی شهری، پوشش سطحی خیابان و میدان‌ها شامل نوع و میزان پوشش‌گیاهی، تیپ خاک و پوشش سطحی، ارتفاع و تراکم ساختمانی و شاخص‌های ناهمواری محدوده بود که در مدل ENVI-met طراحی شد.

داده‌ها و اطلاعات ترافیکی با بهره‌گیری از معادلات آماری۲ مورد پردازش و ارزیابی قرار گرفت و میزان انتشارات محاسبه شد که این مقادیر به همراه داده‌های جوی به‌عنوان اطلاعات ورودی مدل در نظر گرفته شد. در بخش مدل‌سازی عددی، تمام ویژگی‌های فیزیکی- گرمایی و داده‌های جوی و آلودگی مسیر با مدل خرد مقیاس ENVI-met برای شناسایی شرایط هوای خردمقیاس محدوده و یا تأثیر این عوامل در آن مورد واکاوی قرار گرفت.

جدول ۴: محاسبه میزان انتشار گاز آلاینده CO مطابق ترافیک عبوری از مقاطع مورد مطالعه

نام گذرگاه	مصرف سوخت کل خودروها (H)		سهم روزانه انتشار CO از هر خودرو مطابق معیار ۱۳۸۴ سازمان ترابری کشور (X)	میزان انتشارات آلاینده CO در هر یک از معابر در طول ۱۰ ساعت (P=H*X)		میزان نهایی انتشار آلایندهٔ CO در واحد زمان (g/s)	
	صبح	بعدازظهر	CO	صبح	بعدازظهر	صبح	
میدان آزادی	۵۷۶۴۹/۶۸	۴۴۳۹۷/۱۴	۲۱۲/۲۴	۱۲۲۳۵۵۶۸/۰۸	۹۴۳۲۸۴۹/۸	۳۳۹/۸۸	۲۶۱/۷۵
چهارراه ولیعصر	۲۴۴۰/۳۶	۲۳۴۱/۱۷	۲۱۲/۲۴	۵۱۷۹۳۹/۸۸	۴۹۶۸۸۹/۹۲	۱۴/۳۹	۱۳/۸
سه‌راه تهران‌پارس	۲۰۸۰/۱۷	۱۵۳۹/۹	۲۱۲/۲۴	۴۴۱۴۹۵/۲۸	۳۲۶۸۲۸/۳۸	۱۲/۲۶	۹/۱

ویژگی‌های کالبدی سه مقطع مورد بررسی شامل؛ میدان آزادی، چهار راه ولیعصر و سه‌راه تهران‌پارس در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

به‌طور خلاصه می‌توان اشاره کرد که میدان آزادی واقع در ورودی غربی تهران با پایانه‌های برون و درون شهری بزرگی همچون پایانه غرب، پایانه اتوبوس‌های تندرو و تاکسی‌رانی برون و درون‌شهری شناخته می‌شود. از غرب به جاده مخصوص کرج، از شرق خیابان آزادی، از شمال به جناح و پایانه‌های مسافربری، از جنوب به بزرگراه فتح محدود می‌شود. در ایستگاه

میدان آزادی سه گیرنده مجازی در سه نقطه مشخص آن مکان‌یابی شده است. گیرنده مجازی ۱) در ورودی جاده مخصوص کرج، ۲) در خروجی پایانه اتوبوس‌رانی درون شهری ضلع شمالی میدان، و ۳) در ضلع شرقی میدان در ورودی خیابان آزادی قرار دارد. ویژگی‌های کالبدی و ترافیکی محدوده سه گیرنده متفاوت با همدیگر است.
چهارراه ولیعصر؛ اغلب جداره‌های چهارراه را به‌طور غالب ساختمان‌های ۳ تا ۴ طبقه تشکیل می‌دهند. درختان لبه و کناره خیابان‌ها به‌ویژه در خیابان ولیعصر با ارتفاع بیش از ۲۰ متر از مشخصه بارز این ایستگاه مطالعاتی است که در الگوی پراکنش آلاینده‌های هوای محدوده مؤثر هستند. سه گیرنده مجازی مکان‌یابی شده که با شماره‌های ۱ تا ۳ در شکل ۱ ارائه شده است. ویژگی‌های شهری این محیط شامل استقرار سازه‌های حجیم و مرتفع در سه طرف آن، وجود پارک دانشجو در قسمت جنوب شرقی تقاطع، عبور رفت و برگشتی دو خط اصلی سامانهٔ تندرو، نقش مرکزیت و وجود مراکز خرید و برخی دانشگاه‌ها و ادارات مهم در اطراف آن است. این عوامل همگی موجب تردد روزانه حجم وسیعی از انواع خودروها و عابران پیاده به این محدوده می‌شود. ویژگی چهارراهی محدوده با ترافیک شدید سواره و پیاده، وجود چراغ قرمز در چهار سمت آن با توقف و تراکم تعداد زیادی از خودروها موجب افزایش تولید انواع انتشارات آلاینده‌های هوا می‌شوند.
تهران‌پارس؛ به‌عنوان سایت انتهای مسیر محدوده‌ای به طول ۵۰۰ متر و عرض حدود ۳۵۰ متر تشکیل می‌دهد. خیابان دماوند با کشیدگی شرقی- غربی به‌عنوان کریدور مرکزی سایت عمل می‌کند. پهنه شمالی توسط ساختمان‌های مسکونی بلند و کوتاه با سطوح مختلف شکل گرفته که با مصالح متنوعی از آسفالت در پشت‌بام تا سیمان و سنگ در دیوارها شناخته می‌شود. در حالی‌که ضلع جنوبی آن به‌جز چند ساختمان منفرد داخل پایانه‌ها با مصالح سیمانی تقریباً یک فضای باز و آزاد است. استقرار پایانه مسافربری بین شهری شرق و پایانه اتوبوس‌های سامانه تندرو شرکت واحد از ویژگی‌های شاخص کاربری شهری این محدوده است. گیرنده‌های مجازی برای اخذ اطلاعات جوی حاصل از مدل‌سازی اقلیمی در مرکز و اطراف خیابان به عنوان منبع انتشارات مکان‌یابی شده‌اند که با شماره‌های ۱ تا ۳ در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

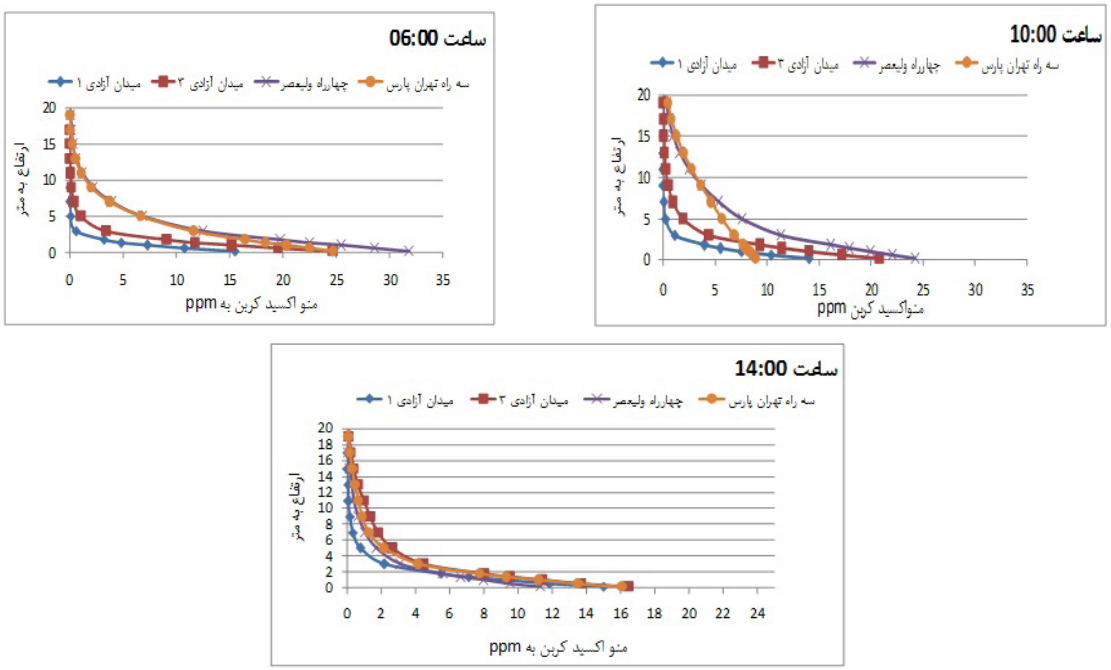
۳. یافته‌های پژوهش

میزان غلظت آلاینده CO در سه مقطع مسیر میدان آزادی- تهران‌پارس برای شرایط تابستانی و پاییزی به‌صورت جداگانه مدل‌سازی شد و اطلاعات به دست آمده از خروجی جوی مدل با نقشه‌ها و نمودارها نمایش داده می‌شود. ساعت ۶ برای واکاوی شرایط اول صبح، ساعت ۱۰ برای واکاوی میزان آلودگی در ساعت پرترافیک روز و ساعت ۱۴ برای شرایط آرام و کم‌ترافیک نیم‌روزی، انتخاب شده‌اند.

نیم‌رخ‌های قائم گاز منواکسید کربن در سه مقطع نماینده مسیر آزادی- تهران‌پارس

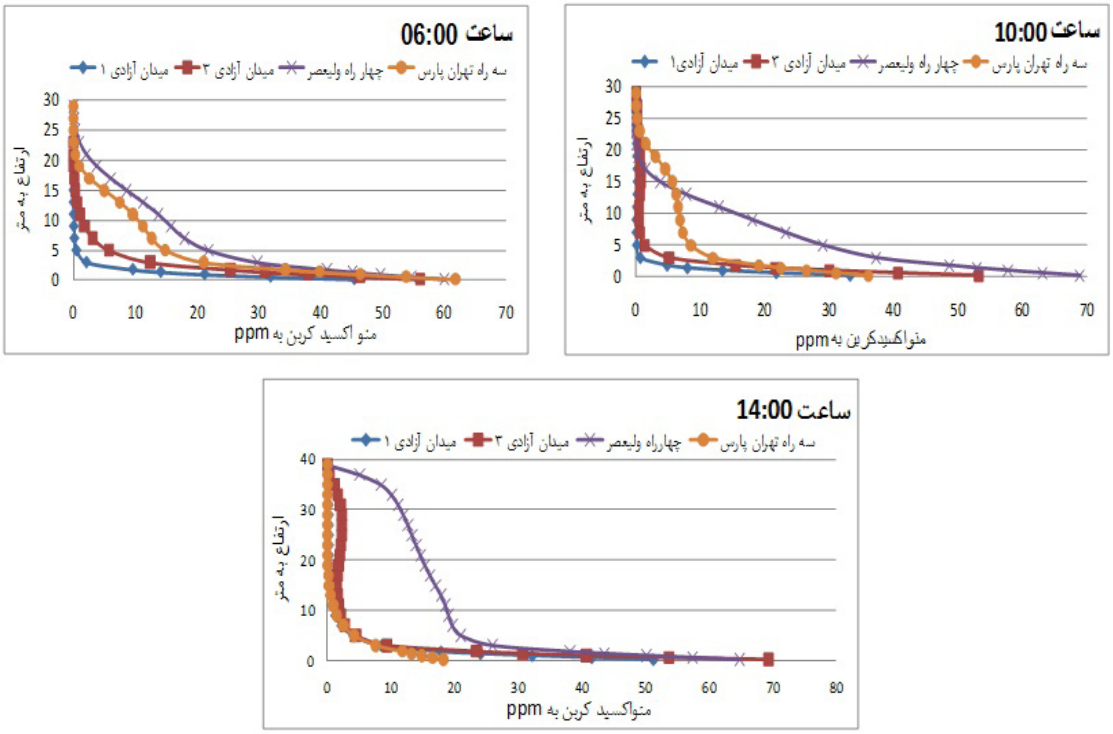
شرایط تابستانی: در مقایسه حجم غلظت گاز CO بین ساعت‌های مختلف روز، ساعت ۶ صبح بالاترین مقادیر آلودگی را نشان می‌دهد. چهارراه ولیعصر در دو ساعت ۶ و ۱۰ صبح در سطح زمین حجم بیشتری نشان می‌دهد، هرچند بعد از ظهر دو مقطع آزادی و تهران‌پارس مقادیر بیشتری دارند.

شکل ۳: نیم‌رخ قائم غلظت آلاینده CO در مسیر آزادی – تهران‌پارس (نمونه تابستان)



در صبح به دلیل پایین بودن دمای هوا و وجود پدیده ضعیف وارونگی دمایی در نزدیکی سطح، ارتفاع پراکنش آلاینده کمتر از بقیه ساعات است. در عصر وابسته به گرمایش سطحی و افزایش لایه اختلاط گستره ارتفاعی آلاینده CO افزایش یافته است. در محدوده تهران‌پارس به‌دلیل وزش باد نسبتاً شدید (۵ متر بر ثانیه)، باعث شده مقدار آلاینده در سطح کاهش یابد و آمیختگی ناشی از آن، سبب پراکنش آلاینده تا ارتفاع ۲۰ متری با شیب کاهشی پایین شده است.
شرایط پاییزی: مقادیر کلی گاز منواکسید کربن در همه ساعت‌های نمونه پاییز نسبت به ساعت متناظر خود در تابستان افزایش فاحش نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بیشینه ۳۰ppm آلاینده در تابستان، در فصل پاییز به بیش از ۷۰ppm رسیده است. الگوی روند تغییرات متفاوت آلاینده CO در چهارراه ولیعصر نکته قابل توجه است. به‌طوری‌که در عصر با شیب بسیار ملایمی حجم آلاینده تا ارتفاع ۴۰ متری گسترده شده است. شکل‌گیری هسته‌های گرمایی انسان‌ساخت در محدوده‌های با هسته فعالیتی همانند چهارراه ولیعصر باعث ایجاد تلاطم‌های حرارتی شده و پراکنش قائم آلاینده را گسترش می‌دهد.
در نزدیکی سطح تجمع بیشینه آلاینده وجود دارد. پس از آن تحت‌تأثیر عوامل گوناگونی همچون مؤلفه‌های باد در کنار کاهش یا از بین رفتن اثر سازه‌های شهری، پراکنده شده و در جهت‌های متفاوتی پخش می‌شود. در بیشتر نمونه‌های تابستانه و پاییزه، چهارراه ولیعصر مقادیر بالای CO را ثبت کرد. اگر به خصوصیات کالبدی سه مقطع انتخابی توجه شود، تراکم سازه‌ها و کاربری‌های متفاوت شهری در محدوده چهارراه ولیعصر از دو نمونه دیگر قابل‌توجه‌تراست. گیرنده اول میدان آزادی در محدوده ضلع غربی میدان و در وسط جاده مخصوص، محلی است که هیچ ساختمانی تا چندین متری اطراف آن وجود ندارد، اگرچه روزانه حجم وسیعی از ترافیک سواره، به‌عنوان منبع اصلی آلودگی هوا در آن شکل می‌گیرد؛ به‌دلیل روان بودن ترافیک، نبود مانع و وسیع بودن محدوده فضای باز آن، جریان باد آزادانه و بدون اصطکاک می‌تواند باعث پخش آلاینده‌ها شود. از سوی دیگر در محدوده اطراف گیرنده سوم میدان آزادی (ضلع شرقی)، با اینکه در دو طرف محل تعبیه آن ساختمان‌هایی وجود دارند، اما با یک فضای خیلی گسترده و باز یعنی محدوده وسیع اطراف میدان آزادی هم‌جوار است. همچنین به‌دلیل عرض زیاد خیابان آزادی و وجود خروجی‌ها، زیرگذرها و مسیرهای مختلف، سبب تقسیم حجم ترافیک در کل محدوده میدان آزادی شده است و فشار زیادی روی یک محدوده خاص وارد نمی‌شود.
سه‌راه تهران‌پارس از جنبه کاربری شهری یک شرایط متفاوت‌تری را نشان می‌دهد. نیمه جنوبی آن یک فضای آزاد است که در حرکت آزادانه آلاینده‌ها با آشفتگی‌های هوا اثرگذار است. چهارراه ولیعصر از مراکز اصلی شهر تهران با مراکز خرید، آموزش عالی، سازمان‌ها و ادارات متنوع و غیره سبب تراکم جمعیتی و ترافیک سواره آن شده است. به‌دلیل فشردگی سازه‌های شهری، کمبود فضاهای آزاد، عرض کم خیابان، انتقال و پراکندگی آلاینده‌ها ضعیف‌تر است که سبب افزایش غلظت گاز منواکسید کربن در مقایسه با سایر مقطع‌ها شده است.

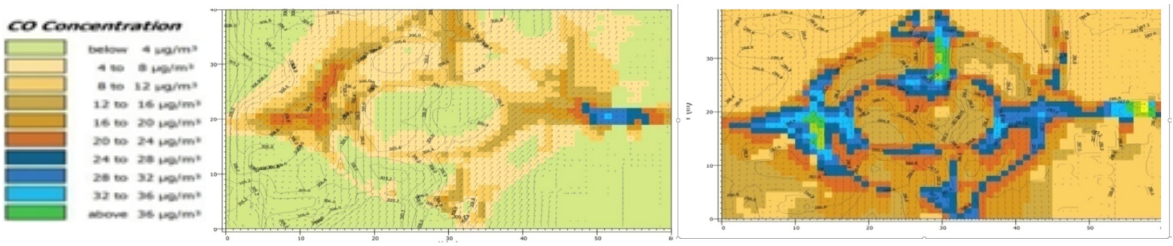
شکل ۴: میزان غلظت آلاینده CO در چند معبر اصلی مسیر آزادی– تهران‌پارس– نمونه پاییز– ساعت مختلف



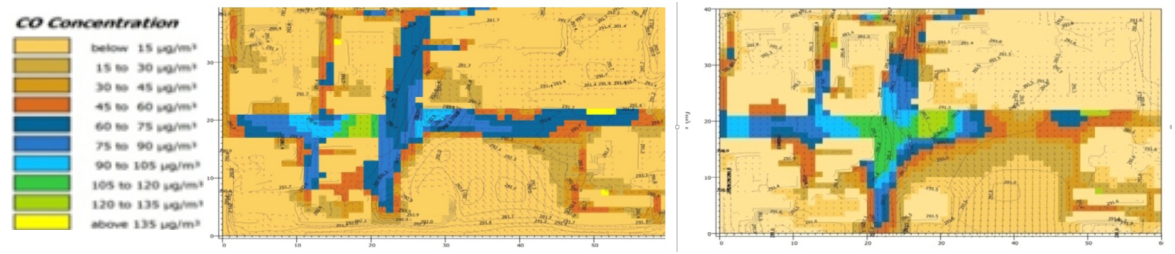
۴. تحلیل پراکنش فضایی آلاینده CO

شرایط هوایی متفاوت در ساعت‌های مختلف روزانه الگوی پراکنش عناصر آلاینده هوا را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه فضاهای با مقادیر متفاوت آلودگی را تشکیل می‌دهد. در این مطالعه اثر عناصر جوی در کنار عناصر کالبد شهری مورد توجه قرار گرفته است. اثر همزمان آن‌ها شرایطی فراهم آورده تا تجمع آلاینده CO در مجاورت سطح بیشتر باشد. در مقایسه میان سه مقطع مورد بررسی چهارراه ولیعصر با شرایط متفاوت بافت شهری و فعالیتی و ترافیکی از شرایط آلودگی شدیدتری نسبت به میدان آزادی و تهران‌پارس شناخته می‌شود؛ اما در بررسی جزئی‌تر، مقاطع سه‌گانه فضاهای با پتانسیل آلودگی متفاوت دیده می‌شود. توزیع فضایی آلودگی وابسته به متغیرهای مؤثر شهری است. در محدوده‌های پرترافیک و متراکم مقاطع حجم آلاینده‌ها بیشتر بوده و در فضاهای باز و کم‌تراکم کاهش چشم‌گیری نشان می‌دهد. توجه به مقادیر بیشینه آلاینده در هر سه مقطع تفاوت اساسی بین ولیعصر با دو مقطع غربی و شرقی مسیر نشان می‌دهد. محدوده پارک دانشجو در ضلع شرقی چهارراه با مقادیر کمینه و تقاطع ولیعصر ـ انقلاب با مقادیر بیشینه مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).

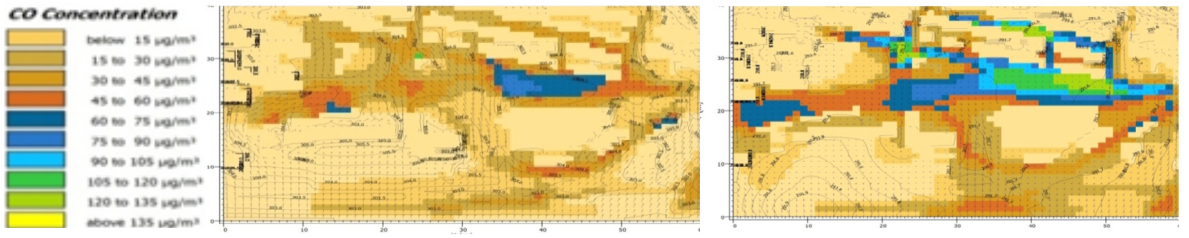
شکل ۵: پراکنش حجم CO در ساعت ۶ صبح و ۱۶ بعدازظهر میدان آزادی در شرایط تابستان در سطح زمین



شکل ۶: پراکنش حجم CO در ساعت ۶ صبح و ۱۶ بعدازظهردر چهارراه ولیعصر در شرایط تابستان در سطح زمین



شکل ۷: پراکنش حجم CO در ساعت ۶ صبح و ۱۶ بعدازظهردر تهران‌پارس در شرایط تابستان در سطح زمین



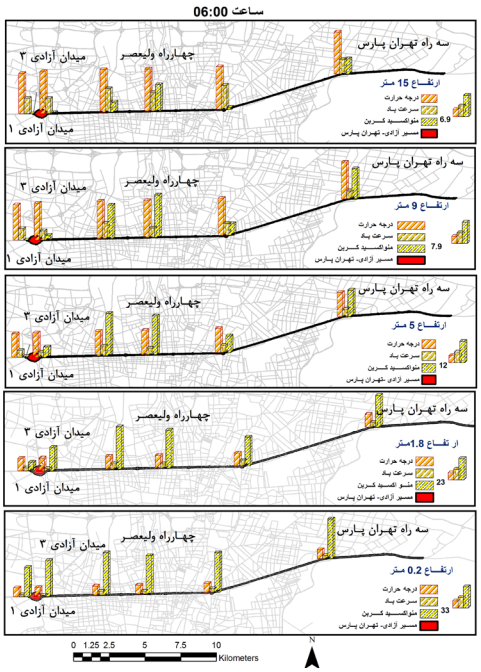
۴-۱- مقایسه شرایط عناصر جوی و گاز CO

در این بخش شش ایستگاه از مجموع خروجی‌های مربوط به گیرنده‌های مجازی برش‌هایی از مسیر آزادی- تهران‌پارس انتخاب شده‌اند. ایستگاه‌ها شامل گیرنده‌های اول و سوم میدان آزادی (به ترتیب در ضلع غربی و شرقی میدان) و گیرنده‌های مرکزی شامل چهارراه نواب، چهارراه ولیعصر، میدان امام حسین و سه راه تهران‌پارس هستند. آنچه که در این بخش با نقشه‌های GIS مورد تحلیل قرار می‌گیرند، دما، سرعت باد و غلظت آلاینده CO در ایستگاه‌های پیش‌گفته است. عناصر جوی و گاز CO در پنج ارتفاع؛ سطح ۱/۸، ۵، ۹ و ۱۵ متر برای سه ساعت ۶، ۱۰، ۱۴ در دو روز نمونه انتخاب شده از مردادماه برای فصل گرم و آذر ماه برای فصل سرد، نمایش داده می‌شوند. هدف از این تحلیل مقایسه اثر عناصر جوی مؤثر در حجم و پراکنش آلودگی خیابان مورد مطالعه در ترازهای ارتفاعی مختلف است.

پاییز

در نقشه مربوط به ساعت ۶ (شکل ۸)، مقادیر غلظت‌های CO در ارتفاع ۰/۲ متری سطح زمین نسبت به سایر ارتفاعات بالاتر است.

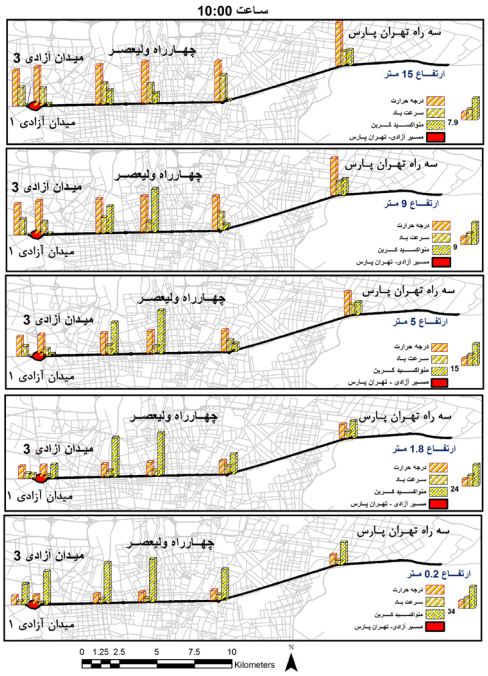
شکل ۸: نقشه مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه –ساعت ۶ صبح– نمونه پاییز



در بین ایستگاه‌ها، کمترین غلظت‌ها در آزادی دیده می‌شود و سایر ایستگاه‌ها تقریباً از میزان مشابه و نزدیک به هم برخوردار هستند. در ارتفاع دو متری و بالاتر به‌دلیل فاصله گرفتن از منابع تولید آلاینده‌ها و نیز کاهش غلظت هوا و وجود تلاطم‌های حرارتی بیشتر، به تدریج از میزان تمرکز آلودگی کاسته می‌شود. در مجموع بیشترین میزان آلودگی در چهارراه توحید و ولیعصر با وضعیت ساخت و ساز فشرده‌تر و فضای باز کمتر نسبت به سایر محدوده‌ها، رخ داده است. همچنین با افزایش ارتفاع از سطح زمین به‌دلیل دور شدن از منابع تولید، حجم گاز CO کاهش می‌یابد. آلودگی میادین بزرگ آزادی و امام حسین تقریباً از بین رفته و در سایر نواحی نیز به حداقل رسیده است.

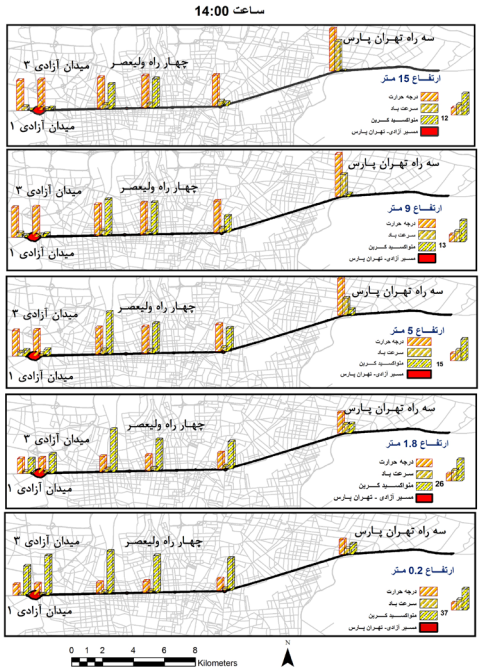
در شکل ۹؛ ساعت ۱۰ صبح، حجم گاز منواکسید کربن در ایستگاه‌هایی که دارای فضای باز هستند مانند میدان آزادی، میدان امام حسین و حتی سه‌راه تهران‌پارس، کمتر است. اما در دو چهارراه ولیعصر و نواب به دلیل تراکم بالای ساختمان‌ها و عرض کم خیابان‌ها، این میزان بالاتر است به گونه‌ای که در ارتفاعات بالا نیز هنوز آلودگی آن قابل توجه است. در حالی‌که در میادین آزادی و امام حسین در اثر گردش آسان‌تر و سریع‌تر باد، کاملاً از بین رفته است.

شکل ۹: نقشه مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه – ساعت ۱۰ صبح – نمونه پاییز



در شکل ۱۰؛ مربوط به ساعت ۱۴، آلوده‌ترین شرایط در چهارراه نواب دیده می‌شود. تفاوت اصلی این مقطع با بقیه در تراکم توده‌های ساختمانی است. در دیگر بخش‌ها فضاهای باز هرچند کوچک دیده می‌شود مثلاً چهارراه ولیعصر با وجود نزدیکی میزان آلودگی آن با چهارراه نواب به‌دلیل وجود فضای سبز پارک دانشجو، مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. پس مسأله حبس‌شدگی در بین ساختمان‌ها و جلوگیری از ورود جریان باد موجب نشان دادن میزان آلودگی بیشتر در چهارراه نواب شده است.

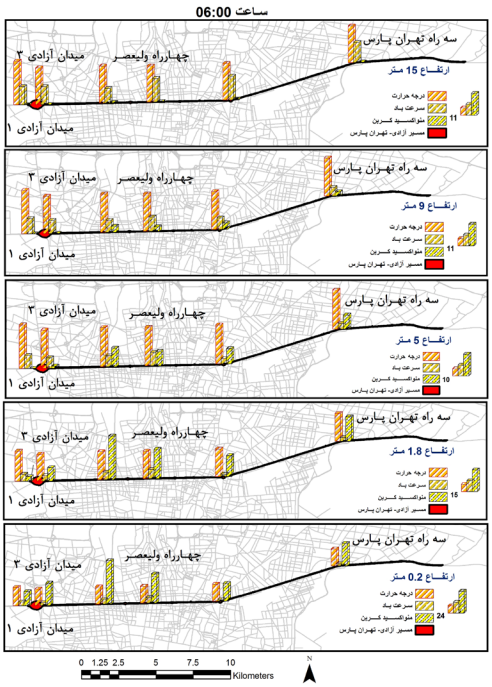
شکل ۱۰: نقشه مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه - ساعت ۱۴ – نمونه پاییز



تابستان

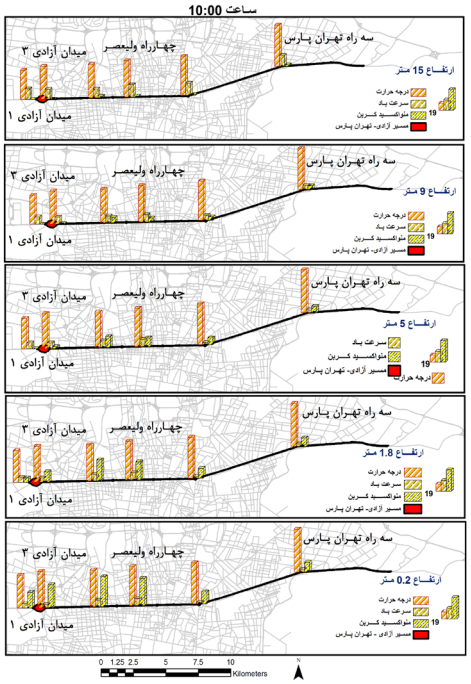
در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳، شرایط سه عنصر دما، سرعت باد و میزان غلظت آلاینده CO را در ارتفاع‌های مختلف به ترتیب برای سه ساعت نماینده ۶، ۱۰ و ۱۴ نشان می‌دهد.

شکل ۱۱: نقشه مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه - ساعت ۶ صبح – نمونه تابستان

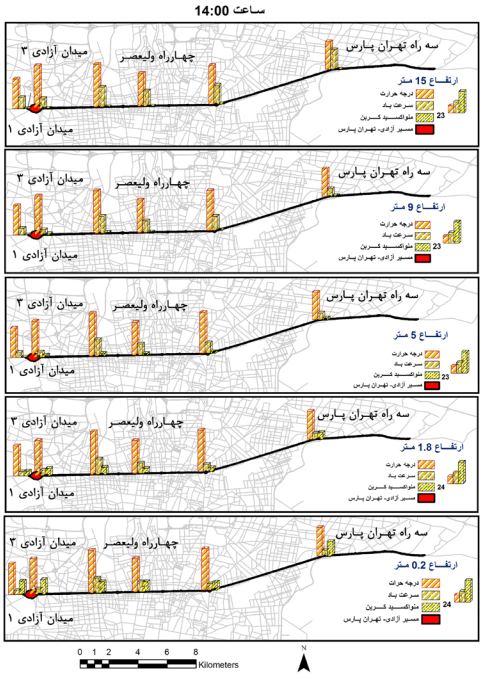


با توجه به مقیاس عددی روی نقشه‌ها، از میزان کلی آلودگی نسبت به فصل سرد کاسته شده است. محدوده میادین بزرگ آزادی و امام حسین (ع) کمترین مقادیر را دارند و در فضاهای فشرده و شلوغ‌تر چهارراه ولیعصر و توحید نیز بالاترین غلظت آلودگی دیده می‌شود. به‌طورکلی در تمامی ایستگاه‌ها با افزایش ارتفاع، میزان آلاینده منواکسید کربن نیز کاهش یافته است. دلیل کاهش عمومی حجم آلاینده CO افزایش دما و تلاطم‌های حرارتی ناشی از صعود و انبساط هوا است. با مراجعه به شکل‌ها با افزایش ارتفاع شدت وزش باد نیز افزایش نشان می‌دهد. در مقایسه، دمای سطحی ساعت‌های مختلف در ساعت ۶ یک وارونگی دمایی ثبت شده که در ساعت‌های بعد دیده نمی‌شود. بنابراین نبود سازوکار صعود و پراکنش مهم‌ترین عامل حجم بالای آلاینده CO در ساعت ۶ صبح است که مقادیر کاملاً متفاوتی از ساعت‌های ۱۰ و ۱۴ نشان می‌دهد.

شکل ۱۲: نقشه‌های مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه – ساعت ۱۰ صبح – نمونه تابستان



شکل ۱۳: نقشه‌های مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه – ساعت ۱۴ – نمونه تابستان



۵. نتیجه‌گیری

اثر تراکم ساختمانی و فعالیتی به حدی در تمرکز آلاینده‌ها اثرگذار هستند که اثر شدت ترافیک را کم‌رنگ می‌کنند. به‌طوری‌که در میدان آزادی بااین‌که ترافیک سواره خیلی سنگین و تولید گاز آلاینده در ضلع غربی، به دلیل فضای باز و جریان آزادانه هوا، میزان آلودگی هوا پایین است. همچنین از نتایج به‌دست آمده این‌که محدوده فضاهای سبز و راه‌های فرعی مابین بلوک‌های ساختمانی که جریان باد آزادانه‌تر عمل می‌کند، حجم آلاینده به‌طور قابل توجه کم است. در مقطع چهارراه ولیعصر بافت ساختمانی فشرده، حجم بالای تردد خودروها، تقاطع دو خیابان اصلی (انقلاب و ولیعصر) سبب شده تا بالاترین مقادیر آلاینده در آن ثبت شده باشد. مطابق نظریه استوارت و اوک (۲۰۱۲) اثر تفکیکی عناصر شهری بر متغیرهای هوا با لایه لختی (اینرسی) مشخص می‌شود که در شرایط وزش باد تا سه برابر ارتفاع خود را پوشش می‌دهد. بنابراین در این مطالعه نیز مشخص شد که در محدوده‌های محصور با سازه‌های ساختمانی و درختان، ارتفاع پراکنش افزایش یافته و آلاینده CO تا ارتفاع بالاتری صعود می‌کند. اثرات گرمایشی و تلاطمی سازه‌های ارتفاعی عامل مهم در افزایش گسترش عمودی آلاینده هستند. تفاوت در شرایط وزشی و دمایی هوا در محدوده تهران‌پارس نسبت به میدان آزادی شرایط توزیع فضایی و ارتفاعی آلودگی را از میدان آزادی متفاوت ساخته است. وزش باد جنوب-غربی و فضاهای باز جنوبی مقطع با بافت فشرده‌تر ضلع شمالی آن زمینه تهویه آلودگی و پخش آن را در بعد ارتفاعی با مقادیر پایین نشان می‌دهد. آماتو و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثرات کاربری‌های اراضی شهری را بر شدت آلودگی هوا مطالعه کردند و اثر ارتفاع و نوع پوشش نمای ساختمان‌ها را در الگوی پراکنش آلاینده‌ها مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش حاضر خیابان‌ها در محدوده چهارراه به‌عنوان کانیون‌های شهری در بین بافت ساختمانی هستند که می‌توانند در برابر وزش بادهای با جهات مختلف شرایط متفاوتی در ارتباط با کیفیت عناصر جوی ایجاد کنند. همچنین تفاوت در جنس و نوع پوشش سطوح محدوده باعث تفاوت در ضریب انعکاس و جذب تابش ورودی می‌شود. غلظت‌های CO در چهارراه ولیعصر بیشتر در داخل خیابان‌ها به‌ویژه در مرکز معبر و اطراف گیرنده شماره دو تمرکز یافته است. چرا که جریان غالب شمالی در ساعات صبحگاهی و جریان جنوبی در زمان‌های بعدازظهر با سوگیری در معابر طولی محدوده، آلودگی‌ها به همراه خود به مرکز چهارراه حمل می‌کند. بیشترین مقادیر آلودگی CO در سه‌راه تهران‌پارس در ساعات ابتدایی روز قابل مشاهده است. اما در تابستان و ساعت‌های بعدازظهر به دلیل افزایش دما، پایداری هوا از بین رفته، لذا گرادیان‌های دمایی موجب تشکیل جریان‌های قوی‌تر باد می‌شود و از تمرکز آلودگی می‌کاهد. به‌طورکلی غلظت‌های آلودگی کل محدوده تحت تأثیر شرایط جوی در نوسان است. به‌طور مثال در ساعات اولیه صبح و یا در فصل پاییز، مقادیر پایین دما همراه با حاکمیت شرایط پایداری و وارونگی سبب عدم تشکیل جریان‌های هوا و وزش باد شده و یا از سرعت‌های آن می‌کاهد. در نتیجه میزان غلظت آلودگی در سطح افزایش یافته و در جهت ارتفاعی پخش آلاینده مشاهده نمی‌شود. با افزایش ارتفاع از سطح زمین و فاصله گرفتن از کانون انتشارات و همچنین کمتر شدن تأثیر عوارض سطحی زمین، وزش‌های باد سریع‌تر و منظم‌تر شده و در تعدیل آلودگی مؤثر واقع می‌شود. همچنین جنس پوشش‌های سطحی آسفالت و سیمان با ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی مشخص که تلاطم‌های حرارتی بالایی در تابستان ایجاد می‌کنند و سرمایش بیشتری که در دوره سرد نسبت به دوره گرم دارند، به نوعی کنترل‌کننده الگوی پراکنش و تراکم آلاینده‌های هوا هم هستند. در نهایت، اثر ارتفاع ساختمان‌ها در پیرامون خیابان‌ها در شکل‌دهی به لایه‌های آمیخته و اینرسی ناشی از تلاطم‌های حرارتی هستند و درنتیجه در الگوی پراکنش عمودی آلاینده‌ها مؤثر خواهند بود. در پایان باید توجه داشت که آلودگی هوا پدیده تقریباً دائمی در تهران است، بنابراین باید با شناخت عوامل مؤثر در توزیع و تغییرات فضایی آن راه‌حل‌های مدیریتی و اجرایی برای کاهش آن پیدا نمود. در چهارراه ولیعصر عامل تراکم، در میدان آزادی حجم بالای تولید انتشارات، عامل افزایش میزان آلاینده CO بودند. بنابراین برای کاهش حجم آلودگی در ولیعصر راه‌کار اساسی در کاهش حجم تراکم ساختمانی و تراکم فعالیتی و جمعیتی است. افزایش پیاده‌راه‌ها همانند خیابان برادران مظفر از راه‌کارهای سودمند در کاهش حجم تولید آلاینده مدنظر باشد.

پی‌نوشت

1. The Air Pollution Mode
2. P = H * X H = K * C K = f * (y *10);

K= کل پیمایش روزانه سواری در منطقه، f= طول معبر به متر، y= حجم ترافیک یا تعداد تردد به ساعت.
10= تعداد کل ساعات در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی وضعیت ترافیکی (در اینجا از ساعت ۵ الی ۱۵)، C=7/8.

References

- Amato, G.D. Cecchi, L., Amato, M.D. & Liccardi, G. (2010). Urban Air Pollution and Climate Change as Environmental Risk Factors of Respiratory Allergy: An Update, *J Investig Allergol Clin Immunol*, 20(2), 95-102.
- Amini, J., & Tayebi, S. (2010). Analysis of the Spatial Distribution of Tehran's Air Pollution Cores, Case Study; autumn 2010, *3rd Geographers Students' Conference*, University of Tehran, Tehran.
- Ashok, K. (2006). Modelling PM10 Concent rations and Carrying Capacity Associated with Wood Heater Emissions in Launceston, Tasmania, *Atmospheric Environment*, 40.
- Bemquerer, F., Rasia, C. & Leitekruger, E. (2010). *A Method for Simulating NOx Dispersion in an Urban Area Using ENVI-met*, ACM. New York, USA, ISBN: 978-1-4503-0069-8.
- Bruse, M. (2007). *ENVI-met Implementation of the Gas/ particle Dispersion and Deposition Model PDDM*, www.Envi-met.com.
- Bruse, M. (2007). *Particle Filtering Capacity of Urban Vegetation: A Micro Scale Numerical Approach*, Environmental Modelling Group, INST, Geography, University of Mainz.
- Brzozzowski, K. (2005). *Modeling of Air Pollution on a Military Airfield*. Air Force Academy, Dywizjonu.
- Daly, A. & Zannetti, P. (2007). *An Introduction to Air Pollution, Definitions Classification and History*, Chapter1, the Inviro Group Institute, Fremont, CA (USA).
- Etabi, F., Abbaspour, M., Karbasi, A.R. & Hajiseyedmirzahoseini, S.A. (2007). Modeling Particulate Matter Dispersion Using ADMS-urban Model. *Science and Environment Technology*, 9(1), 1-15.
- Ghanbari, H.A., & Azizi, Gh. (2009). Numerical Simulation of Tehran Air Pollution basis on Wind Pattern. *Physical Geography Researches*, 68, 15-32.
- Ghiaseddin, M., Hesami, Z., Etabi, F., & Mahmoudi, M. (2006). Study of Air Quality of inside the Residential Area in 1 and 5 Regions of Tehran with PM10, *Journal of Environmental Studies*, 32(4), 1-8.
- Giselle, S. (2001). *Transportation, Climatic Hazards and Pollution*. (Shahriyar Khaledi, Trans.). University of Shahid Behashti, Tehran.
- Hoseinpour, Z. (2011). *Synoptic Analysis of Tehran's Air Pollution (Emphasis on PM10)*. Master Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran.
- Karra, S., Malki-Esphtein, L. & Neophyton, M. (2011). The Dispersion of Traffic Related Pollutants Across a non Hemogeneous Street Canyin, *Environmental Sciences*, 4, 25-34.
- Madadi, H., Ashrafzadeh, M.R., Najafi, N., & Sheikhzade, B. (2009). Modelling NOx and CO Dispersion from Natural Gas Burning in Semnan Mixing Cycle Powerhouse. *2nd International Symposium on Environmental Engineering*, Tehran.
- Nikolova, I., Janssen S., Vos P., Vrancken K., Mishra V. & Berghmans P. (2011). Dispersion Modelling of Yeraffic of Induced Ultra-fine Particles in Street Canyon in Antwerp, Belqium and Comparision with Observations, *Science of the Total Environment*, 412-413, 336-343.
- Ranjbar-Saadatabadi, A., Aliakbari-bidokhti, A., & Sadeghhoseini, S.A. (2005). Urbanization and Heat Island Effects on Air and Local Climate Condition on Tehran Megacity basis on Mehrabad and Varamin Weather Stations. *Journal of Environmental Studies*, 39, 59-68.
- Sharifi, M. (2009). Study of Air Pollution from Passenger Terminal in the Surrounding Urban Texture, Master Thesis, *University of Tehran*, Tehran.
- Stewart, I.D. & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, Bull. Amer. Meteor. *Society*, 93, 1879–1900.
- Wania, A., Bruse, M., Blond, N., & Weber C. (2012). Analyzing the Influence of Different Street Vegetation on Traffic Induced Particle Dispersion Using Micro Scale Simulations, *Journal of Environmental Management*, 94, 91-101.
- World Health Organization. (1996). Urban Air Pollution in Megacities of the World, *Atmospheric Environmental*, 30, 681-686, WWW.ENVI-met.com.
- Yadghar, A.M. (2006). *Modelling and Analysis Pollutant Dispersion from Mobile Sources base on GIS*. Master Thesis, University of Tehran, Tehran.
- Zawar- reza, P., Appelhans, T., Gharaylou, M. & Shamsipur, A. (2010). Meso Scale Control on Par-

ticulate Matter Pollution for Mega City in a Semi-arid Mountainous Environment, *Environment and Pollution*, 41, 166-183.

- Zawar-Reza, P., Kingham, S. & Jamie, P. (2005). Evaluation of a Year-long Dispersion Modelling of PM10 using the Mesoscale Model TAPM for Christchurch –Newzland. *Science of the Total Environment*, 349, 249-259.