

مدل سازی اثر جهت خیابان در پراکنش آلودگی هوا

مطالعه موردی: ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران

مصطفی کریمی^۱ - استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران
سمانه خوشنواز - دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، ایران.
علی اکبر شمسی پور - دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران.
معصومه مقبل - استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

چکیده

با توجه به رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت شهرها، مسائل و مشکلات آنها نیز بارزتر می‌گردند. آلودگی هوا از مهمترین مسائل حوزه شهری است. تهران به عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی و ارتباطی ایران، هر سال به طور مکرر با رخداد روزهای آلوده و ناسالم مواجه است. در شهر تهران افزون بر شکل و توپوگرافی شهر، تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها، میزان ترافیک، عرض و جهت معابر به همراه شرایط جوی و اقلیمی نقش اساسی در آلودگی هوای شهر دارند. در تحقیق حاضر، برای تحلیل تأثیر جهت‌گیری معابر و جهت و شدت باد بر چگونگی پراکنش آلاینده‌های هوا از داده‌های آماری ایستگاه ژئوفیزیک در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰) و مدل خردمقیاس Envi-met استفاده شد. پراکنش آلودگی‌ها در ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران در دو بازه زمانی زمستان و تابستان (ژانویه و ژوئیه) و در سه مقطع زمانی صبح، ظهر و عصر شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در هر دو فصل سال، جهت خیابان‌ها و دسترسی‌ها نقش مؤثری در تجمع یا پراکنش آلاینده‌ها دارند؛ به طوری که تراکم آلودگی در خیابان‌هایی که در ساعات مختلف روز عمود بر جهت وزش باد غالب هستند، بیشتر است. براساس نتایج، غلظت آلاینده‌ها در خیابان‌های اصلی محدوده مورد مطالعه با جهت آنها ارتباط معناداری نشان می‌دهد. در خیابان‌های متأثر از بادهای شمالی، غلظت آلاینده‌ها متوسط، در خیابان‌های با حاکمیت باد جنوبی، غلظت‌ها زیاد و در خیابان‌های با جهت جنوب غربی، غلظت‌ها کم است. بنابراین در نظر گرفتن شرایط اقلیمی (به ویژه باد) در طراحی معابر شهری در بهبود کیفیت هوای شهر تأثیرگذار است.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، جهت معابر، سمت و سرعت باد، تهران، مدل Envi-met.

۱. مقدمه

یکی از مهمترین موضوعاتی که امروزه در ارتباط با اقلیم مطرح است، بحث مربوط به توسعه شهرنشینی و آلودگی هوای شهری و متعاقب آن آب و هوای شهری است (Landsberg 1981, Mohammadi 2011). آلودگی هوای شهری در آغاز به عنوان یک مشکل محلی مرتبط با انتشارات گرمایش خانگی و صنعتی در نظر گرفته می شد که تا حد زیادی قابل کنترل نیز بود. با وجود پیشرفت های قابل توجه در تکنولوژی سوخت و موتور، در حال حاضر انتشار انواع آلاینده ها در محیط های شهری همچنان غلبه دارند (Fenger 1999, Vardoulakis, Fisher et al. 2003). ایران هم از این مسئله و معضل زیست محیطی به دور نبوده و این مشکل به ویژه در شهرهای بزرگی همچون تهران، تبریز، اصفهان، شیراز، اراک و کرج به وضوح قابل مشاهده است. توسعه سریع شهرنشینی، صنعتی شدن و روند روزافزون به کارگیری خودروها، سبب مشکلات متعدد محیط زیستی همچون تولید و پخش انواع آلاینده های هوا گردیده که از مسائل مهم کلانشهرهایی مانند تهران محسوب می شود. با این وجود، در آلودگی هوای تهران عوامل متعددی دخیل هستند. شهر تهران از جهت نوار شمالی تا جنوب شرق بارشته کوه های البرز و بی بی شهر بانو محدود بوده و از جنوب با شیب ملایمی به دشت های بیابانی متصل می شود. نبود تهویه مطلوب هوا به ویژه در فصول پاییز و زمستان باعث انباشتگی آلودگی در تنگناهای کوهستان شرق تهران می شود (Sharifi 2009). محدود شدن تهران به وسیله کوه ها باعث شده که از خاصیت پالایش مؤثری برخوردار نباشد و عوامل هواشناسی مانند وارونگی دمایی، استمرار سامانه های پرفشار همراه با هوای پایدار در فصل های سرد و بادهای محلی مانند کوه به دشت، آلاینده ها را به مرکز شهر وارد کرده و آلودگی را تشدید می کند. وجود بادهای غالب غربی و تجمع اکثر صنایع در غرب تهران نیز باعث می شود که هوای آلوده اغلب اوقات وجود داشته باشد. همچنین جزیره گرمایی با ایجاد جریان باد از اطراف به طرف شهر، مواد آلاینده حومه را به داخل شهر هدایت می کند (Ranjbar Saadatabadi, Ali Akbari Bedokhti et al. 2003, Safavi and Alijani 2006). اما علاوه بر عوامل طبیعی مؤثر بر پراکنش آلودگی ها در محیط های شهری، عوامل انسان ساخت از جمله هندسه شهری، جهت گیری خیابان ها و ساختمان ها و ارتفاع آنها نیز می تواند در تشدید یا کاهش غلظت آلاینده های هوا مؤثر واقع شود. به دیگر سخن، نحوه گسترش افقی و عمودی شهر در فرآیند توسعه شهری از سایر عوامل تأثیرگذار بر غلظت آلاینده ها و پراکنش آنها در جو نواحی شهری است. به طوری که در طراحی های شهری، تهویه هوا به وسیله خیابان های شهر به دلیل تأثیر و ارتباط آن با ظرفیت تخلیه آلاینده های هوا از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به این که شبکه بندی خیابان های شهر تهران اغلب شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و در برخی نواحی به علت شیب زمین جنوب شرق-شمال غرب است (Saidnia 1989)، این الگو در تعامل با الگوی وزش باد می تواند منجر به الگوی پراکنش آلاینده ها در سطح معابر گردد. مطالعه جهت خیابان ها و معابر در مسیربایی یا منحرف کردن

بادهای و وضعیت طراحی خیابان ها نسبت به جهت باد غالب یکی از روش های مطالعه وضعیت آلودگی هوا و نحوه پراکنش آلاینده ها با توجه به الگو و فرم معابر و خیابان است. از این رو هدف مطالعه، تشخیص الگوی جریان و شبیه سازی باد و نحوه پراکنش آلاینده ها با توجه به جهت معابر به وسیله مدل خرد مقیاس Envi-met است. امروزه با توجه به پیشرفت های رایانه ای و تنوع انواع مدل های آلودگی هوا که مقیاس و پیچیدگی متفاوتی دارند، مدل سازی یکی از ابزارهای قوی و ارزان برای شبیه سازی وضعیت آلودگی نسبت به سایر روش های آزمایشگاهی و فیزیکی است. آلودگی هوا در کلانشهرهایی همچون تهران ابعاد خاصی دارد و از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این ضرورت پژوهش برای به دست آوردن درک و بینش کلی نسبت به مراحل و ویژگی های جریان و پراکنش آلاینده ها در معابر و در مقیاس خرد است. همچنین در ارتباط با ضرورت چنین مسئله ای باید خاطر نشان کرد با وجودی که این آلودگی در سطح خیابان ایجاد می شود، اثرش به سبب تعامل پراکنش و پخش آلاینده از طریق شرایط هواشناسی (سرعت و جهت باد، پایداری جو) و پیکربندی ساختمان و جهت خیابان می تواند گسترده باشد. برای رسیدن به این هدف، منطقه ۶ شهرداری تهران که به علت مرکزیت اداری، خدماتی و گذرگاهی آن از ترافیک و کالبد خاص برخوردار است، انتخاب گردید. این منطقه معمولاً رابط بین شمال و جنوب شهر تهران و تا حدودی شرق و غرب آن است. منطقه ۶ به لحاظ نقش فرامنطقه ای، وجود کاربری های اداری، بهداشتی-درمانی و آموزشی، فقدان شبکه بزرگراهی مؤثر در داخل منطقه، تکیه بر معابر شریانی اصلی و فرعی در بیشتر ساعات روز، به ویژه در زمان اوج ترافیک با تراکم شدید خودروها روبه روست. این منطقه به دلایل گفته شده در بالا دارای هوای آلوده است و آلاینده هایی چون CO_2 ، NO_2 ، SO_2 ، CO و ذرات معلق در اکثر مواقع سال چند برابر سطح استاندارد و مجاز را نشان داده است (Asadi 2009).

۲. چارچوب نظری

به طور کلی، خیابان های شهری به دو دسته خیابان های باز و خیابان های کانونی تقسیم می شوند. خیابان باز، خیابانی است که تنها در یک طرف به وسیله ساختمان ها احاطه شده، در حالی که خیابان کانونی، خیابانی است که از هر دو طرف به وسیله ساختمان ها احاطه شده و فقط به سمت آسمان باز است. از نظر تهویه هوا، خیابان هایی که ساختمان ها در دو طرف آن به صورت ممتد و خطی برافراشته شده اند (خیابان های کانونی) بدترین نوع طراحی خیابانی از لحاظ پراکنش آلودگی شناخته شده اند. از این رو، مطالعات آزمایشگاهی و مدل سازی های متعددی در خصوص جریان هوا و پراکنش آلودگی ها در خیابان های شهری انجام گرفته است. در میان انواع پارامترهای تأثیرگذار، عامل نسبت ارتفاع ساختمان به عرض خیابان (H/W) از جمله مهمترین پارامترهای مؤثر در تهویه هوای خیابان های کانونی است. بسته به نسبت یاد شده (ارتفاع ساختمان به عرض خیابان) ممکن است یک یا چند ورتکس باد در خیابان ایجاد شود (Hunter, Johnson et

al. 1992, Sini, Anquetin et al. 1996, Karra, Malki-Epshtein et al. 2017). در کنار هندسه ساختمان‌ها و خیابان‌ها، غلظت آلاینده‌ها و پراکندگی آنها در خیابان‌های شهری تحت تأثیر سرعت و جهت باد قرار دارد. مطالعات قبلی نشان داده که غلظت آلاینده‌هایی همچون ذرات معلق (PM) هنگامی که جهت باد از حالت موازی به عمودی تغییر پیدا می‌کند، تا سه برابر افزایش می‌یابد. (MacNaughton, Melly et al. 2014, Yuan, Ng et al. 2019, Lateb, Meroney et al. 2016, Wong, Lai et al. 2014).

شهر تهران نیز به عنوان پایتخت سیاسی ایران از معضلات زیست محیطی متعددی همچون آلودگی هوا رنج می‌برد. به طوری که سالانه افراد زیادی در اثر این آلودگی‌ها جان خود را از دست می‌دهند. از این رو تاکنون مطالعات متعددی در خصوص آلودگی هوای شهر تهران به انجام رسیده است. به طوری که بررسی سطوح وارونگی در آلودگی هوای شهر تهران نشان داده که بین ۷۳ تا ۸۵/۵ درصد میزان آلودگی در ایستگاه‌های سطح شهر ناشی از وارونگی دما بوده و از طرفی این وارونگی‌ها متأثر از سامانه‌های فشار و تشعشع زیاد سطح زمین است. نتایج تحقیق دیگری نشان می‌دهد که ویژگی‌های طبیعی تهران اثر بسیار زیادی در آلودگی آن دارد و اظهار شده که با توجه به ارتفاع بین شمال و جنوب تهران، در مواردی که ضخامت وارونگی کم است (۱۰۰ متر و کمتر) برخی مناطق شمالی تهران به دلیل این که ارتفاع بیشتر از ۱۰۰ متر دارند (نسبت به ایستگاه مهرآباد) خارج از منطقه آلودگی قرار گرفته و دارای هوایی با آلودگی کم هستند (Safavi and Alijani 2006).

نتایج تحقیق دیگری نشان می‌دهد که عوامل آلوده کننده گازی با میانگین دما و ارتفاع وارونگی رابطه معکوس دارند. در حالی که با میانگین شدت وارونگی و متوسط رطوبت در لایه وارونگی رابطه مستقیم دارند (Panjakhoubi 2011). مطالعه آلودگی هوای تهران در رابطه با پایداری و وارونگی دمای جو نشان داده که در فاصله ۶ تا ۸ صبح بیشینه آلاینده‌ها و در فاصله ۱۰ صبح تا ۴ بعدازظهر پائین‌ترین مقدار آلاینده‌ها در شهر مشاهده می‌شوند (Ensaifi Moghaddam 1993). براساس نتایج پژوهش دیگری، بین ضخامت لایه وارونگی و غلظت آلودگی رابطه معکوسی وجود دارد. ارتفاع وارونگی با شدت آن ضریب همبستگی منفی دارد و کمینه ارتفاع وارونگی در اواخر پائیز و اوایل زمستان رخ می‌دهد (Deljoo 1999).

در رابطه با وضعیت هم‌دیدگی و تأثیر آن بر آلودگی نیز تحقیقات بسیاری انجام شده که از آنها می‌توان به پژوهش‌های (Qasami, Ali Akbari Bedokhti et al. 2007, Ali Akbari Bedokhti and Shariipour 2009, Eskani Kazazi and Lale Siah Pirani 2010, Ranjbar Saadatabadi 2010, Shamsipour 2012, Shamsipour and Amini 2013, Shamsipour, Najibzadeh et al. 2013, Shamsipour, Ashrafi et al. 2015) اشاره کرد. در ارتباط با پراکندگی آلاینده‌ها در خیابان، تحقیقات متعددی در منابع خارجی با روش‌های مختلف فیزیکی، تجربی و عددی انجام شده است. مدل‌های مختلف با مقیاس‌های متفاوت به منظور محاسبه غلظت آلاینده‌های سطح زمین توسعه یافته‌اند. مطالعه

پراکندگی آلاینده‌های مرتبط با ترافیک در سراسر یک خیابان ناهمگن در نیکوزیای قبرس با جهت گیری شرقی-غربی نشان می‌دهد که سطوح آلودگی در سطح زمین به شدت به شرایط هواشناسی، طرح بندی خیابان و موقعیت خطوط ترافیکی در داخل خیابان بستگی دارد. بررسی توزیع مکانی آلاینده‌های مربوط به ترافیک در خیابان دانگ فنگ (جهت شرقی-غربی) در گوانژو چین نشان می‌دهد که پروفایل‌های افقی و عمودی متوسط غلظت‌های آلاینده‌های مربوط به ترافیک درون خیابان وابسته به جهت باد در سطح بام است (Xie, Zhang et al. 2003). در مطالعه تونل بادی که با در نظر گرفتن یک خیابان منفرد با دو ردیف ساختمان عمود بر جریان نزدیک شونده تأثیر تغییرات ابعاد ساختمان، جهت باد و هندسه بام بر روی میدان غلظت مطالعه شده است. نتایج حاکی از آن بوده، زمانی که جهت باد از عمود به مورب نسبت به خیابان تغییر می‌یابد، غلظت به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند (Kastner-Klein and Plate 1999).

وقتی باد نسبت به جهت باد عمود موازی است، غلظت به حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. بررسی تأثیر جریان باد زمینه بر روی پراکندگی Co در دو خیابان با هندسه مختلف نشان داد که اختلاف‌ها در هندسه خیابان و بادهای زمینه موجب جریان‌های باد دره‌ای و مشخصات پراکندگی متضاد شده است (Boddy, Smalley et al. 2005).

ویژگی‌های جریان باد و کیفیت هوا در یک خیابان در ناحیه شهری شلوغ، با ارائه چهار الگوی ساختمانی نمونه، بررسی و نتایج نشان داده که پیکربندی ساختمان و جهت باد از عوامل بسیار مهم در تعیین ویژگی‌های جریان باد و پراکندگی آلاینده در داخل حوزه شهری هستند. همچنین شکاف بین ساختمان‌ها یک عامل بسیار مهم است که باید به وسیله برنامه‌ریزان و طراحان شهری در نظر گرفته شود.

بنابراین با توجه به تحقیقات انجام شده، علاوه بر عوامل مکانی و طبیعی مؤثر در پراکنش آلودگی هوا (موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی و...) چپ‌نش ساختمان‌های شهر، به ویژه عرض خیابان، جهت گیری آنها، فاصله و وجود تقاطع فاکتورهای اصلی در تعریف نحوه پراکندگی آلودگی در سطح خیابان‌ها هستند (Di et al. 2008 Sabatino, Buccolieri). حرکت هوا یا باد تحت تأثیر عواملی مانند ناهمواری‌های زمین، وضع زمین، منابع گرما و وجود ساختمان‌ها و غیره تغییر می‌یابد (Faraji 1999).

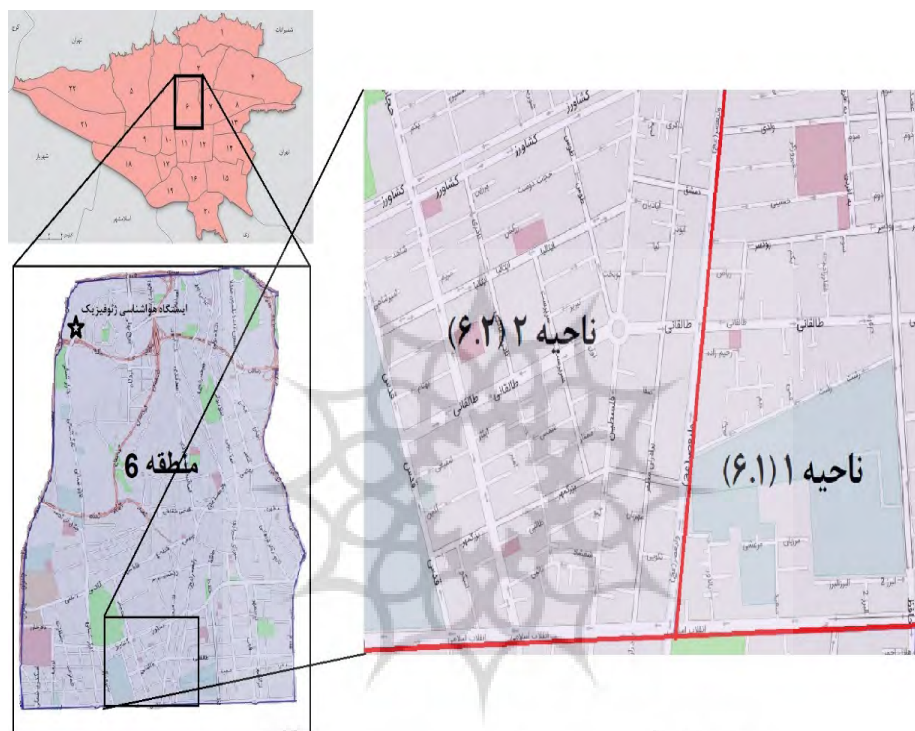
ساختارهای فیزیکی شهر مانند مکان شهر در یک منطقه، اندازه سطح فضاهای ساخته شده شهری، تراکم مناطق شهری، جهت و عرض معابر در خیابان‌ها، ارتفاع ساختمان‌ها، پارک‌ها و فضاهای سبز و... بر اقلیم شهر می‌تواند تأثیر بگذارد (Pourdyhimi 2011). از آنجایی که فرم شهرها، نحوه استقرار خیابان‌ها نسبت به جهت وزش باد، ارتفاع و فرم ساختمان و جزئیات اجرایی آنها در تعیین جریان‌های اصلی باد در شهر، بر نحوه وزش باد و بر افزایش یا کاهش شدت باد و تغییر الگوی موضعی آن تأثیر دارند، توجه به آنها در تنظیم شرایط محیط و بهره‌گیری از جریان باد برای تهویه (به ویژه در بحث آلودگی هوا) و پیشگیری از تأثیرات منفی آن اهمیت

دارد. با این حال افزایش سرعت باد در تمام نسبت‌های ارتفاع به عرض معبر باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها می‌شود (KianMehri and Bahraini 2016).

۳. روش

به منظور مطالعه اثر جهت معابر و خیابان‌ها بر پراکنش آلودگی هوا در شهر تهران، با توجه به این که مدل مورد استفاده از جمله مدل‌های خردمقیاس است، ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران به دلایل بیان شده در بخش قبل به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب گردید (تصویر شماره ۱).

پس از انتخاب محدوده مورد مطالعه، عناصر اقلیمی مورد نیاز مدل برای شبیه‌سازی جریان باد و پراکنش آلاینده‌ها شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی، جهت و سرعت باد به صورت ساعتی در طی دوره آماری بیست سال (۱۹۹۱-۲۰۱۰) برای ایستگاه ژئوفیزیک (نزدیکترین ایستگاه به محدوده مورد مطالعه) از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. داده‌های حجم ترافیک در محدوده مطالعاتی مربوط به سه مقطع زمانی از روز (صبح، ظهر و بعدازظهر) و در روزهای کاری هفته و در دو ماه تابستان (ژوئیه) و زمستان (ژانویه) است.



تصویر شماره ۱: منطقه مورد مطالعه (ناحیه ۲ شهرداری منطقه ۶ تهران) و موقعیت ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک

روند شبانه‌روزی میزان آلاینده منطبق بر میزان تردد خودروها در خیابان است یا به عبارت دیگر با زمان فعالیت در شهر در ارتباط است (Tehran 2013).

محاسبه اطلاعات مربوط به آلاینده مورد نظر با استفاده از روابط معین و حجم ترافیک به دست آمده است. برای محاسبه میزان کل انتشار آلاینده‌ها از خودروها از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد (Shamsipour and Amini 2013):

$$\text{رابطه شماره (۱)} \quad K = f * (y * 3)$$

K کل پیمایش روزانه سواری در منطقه

F طول کمان (طول معبر به متر)

y حجم ترافیک یا تعداد تردد به ساعت

تعداد کل ساعات در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی وضعیت ترافیکی (در اینجا سه ساعت برای هر مقطع زمانی)

$$\text{رابطه شماره (۲)} \quad H = K * C$$

H مصرف سوخت کل ماشین‌ها

C ۹ لیتر (مصرف متوسط بنزین هر خودرو در هر ۱۰۰ کیلومتر) نکته: باید حاصل بر صد هزار تقسیم شود تا میزان مصرف بنزین هر خودرو در هر متر به دست آید.

$$\text{رابطه شماره (۳)} \quad P = H * X$$

P میزان انتشارات هر آلاینده (gr/m)

X سهم آلودگی هر آلاینده در سوخت خودروها

محاسبه میزان X مستلزم انجام عملیات آماری مجزایی است و برای انجام آن از ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰ استفاده شده است.

از آنجایی که باد در پراکنش آلودگی‌ها بسیار اهمیت دارد، فراوانی سرعت و جهت باد غالب با ترسیم گلباد برای سه مقطع زمانی صبح، ظهر و عصر ماه‌های مختلف سال ایستگاه ژئوفیزیک (تصویر شماره ۱) در دوره مطالعاتی با نرم‌افزار WRplot تعیین گردید. سپس با استفاده از مدل خردمقیاس ENVI-met 3.1 الگوی پراکنش آلودگی‌ها در فصل تابستان و زمستان شبیه‌سازی شدند. مدل انوی مت با محیط طراحی سه بعدی بسیار متناسب برای

شبیه‌سازی فضاهای شهری در رابطه با تحلیل جریان‌های هوا، الگوی پراکنش آلاینده‌های هوا و کیفیت اثر عناصر انسان‌ساخت در تغییرات خردمقیاس الگوی حرکت هوا، تلاطم‌های گرمایی و رطوبتی هواست. این نرم‌افزار از مدل‌های به‌روز با استفاده گسترده در شهرهای مختلف جهان به ویژه در اروپا، قابلیت بالای آن در تحلیل‌های عددی و گرافیکی دو و سه بعدی، همچنین رایگان بودن دریافت و به‌روزرسانی آن، برای پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت. تصویر شماره ۲ محدوده مطالعاتی طراحی شده در مدل را نمایش می‌دهد. خروجی‌های مدل به دو شکل گرافیکی و عددی است که مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتیجه‌گیری از اطلاعات انجام شد. لازم به توضیح است برای طراحی بافت محدوده مورد مطالعه از مشخصاتی مانند جهت‌گیری خیابان‌ها، عرض معابر، ارتفاع ساختمان‌ها و خطوط ترافیک در برنامه Area input file editor مدل Envi-met استفاده شد. همچنین نوع پوشش سطحی (آسفالت) محدوده برای بام ساختمان‌ها، خیابان و پیاده‌روها تعیین گردید. تحلیل خروجی‌های گرافیکی با برنامه LEONARDO و اطلاعات عددی با Excel انجام گرفت. از مقایسه نتایج گرافیکی حاصل از شبیه‌سازی نحوه عملکرد و اثرگذاری هر یک از جهت‌های خیابان بر پراکنش آلودگی هوا در گستره میکروکلیمای بافت محدوده در دوره تابستانه و زمستانه محاسبه و تحلیل شد.

۴. بحث و یافته‌ها

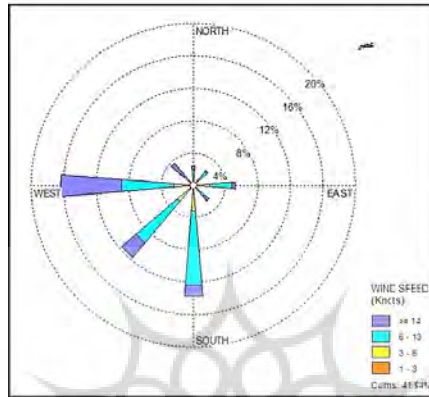
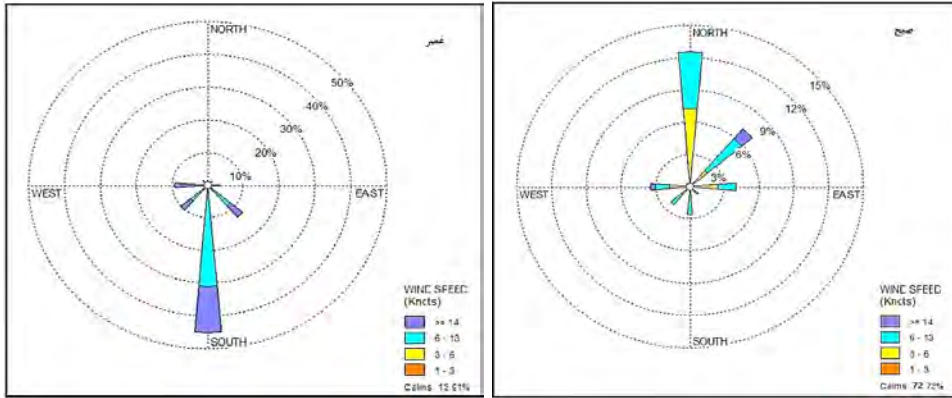
۴.۱. تعیین الگوی باد در زمستان و تابستان در محدوده مورد مطالعه

مشخص شد جهت باد غالب در محدوده مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر توپوگرافی سطحی است. شایع‌ترین بادها در ساعات‌های شبانگاهی و اولیه صبح از شمال به جنوب می‌وزند که تحت تأثیر

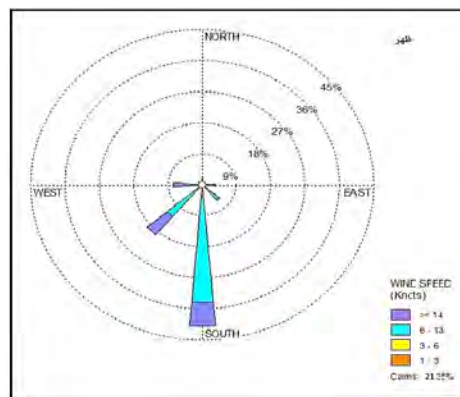
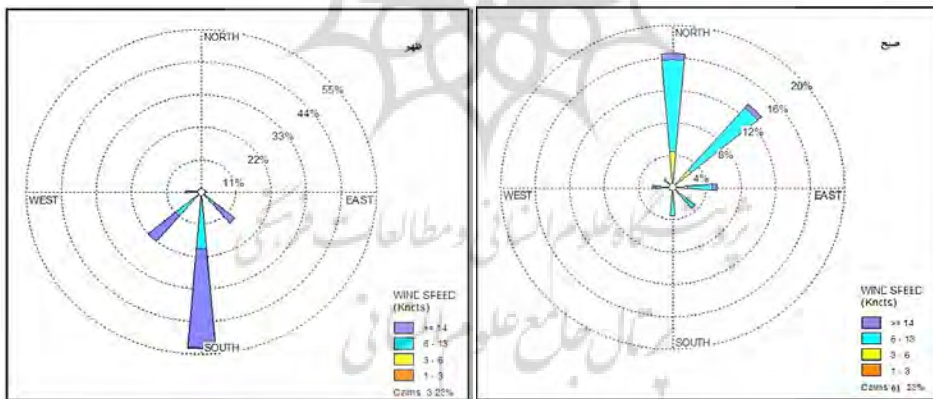
نسیم کوه به دشت قرار دارند. در عین حال در تمام ماه‌های سال دارای الگوی وزش باد مشابه است. با شروع صبح به تدریج جهت وزش باد جنوبی یعنی دشت به کوه آغاز می‌شود و وزش باد در تمام ماه‌های سال الگوی مشابهی را نشان می‌دهد. در بعدازظهر نیز جهت باد در بیشتر ماه‌های سال، دارای جهت غالب جنوبی یعنی همان دشت به کوه است و تنها در سه ماه از سال (ماه‌های آوریل، می و ژوئن) جهت وزش باد غالب جنوب غربی است، اما وزش بادهای جنوب غربی نیز با اهمیت است. بنابراین خیابان‌ها دارای رژیم‌های متفاوتی از میدان باد در ساعات مختلف روز هستند و سمت بادگیر و باد پناه آنها در طول روز تغییر می‌کند. همچنین در تمام ماه‌ها درصد وقوع هوای آرام در ساعت ۶:۳۰ بیشتر از ساعات‌های دیگر است و ماه دسامبر تناوب وقوع بیش از ۷۵ را ثبت کرده است. این مطلب نشان می‌دهد که معمولاً در ساعات‌های آغازین روز به خصوص در ماه‌های سرد، وضعیت آرام برقرار است. از ساعت ۱۲:۳۰ تا ۱۵:۳۰ نیز کمترین درصد وقوع هوای آرام مشاهده می‌شود. همان گونه که ملاحظه می‌شود، درصد هوای آرام در این ایستگاه در فصل تابستان کمتر از سایر فصول است. بنابراین پرتلاطم‌ترین فصل سال تابستان است (تصویرهای شماره ۳ و ۴). به این ترتیب به دلیل الگوی یکسان در کل سال، دو مقطع تقویمی شامل زمستان (ماه ژانویه) و تابستان (ماه جولای) به ترتیب به عنوان نماینده فصل سرد و گرم و همچنین سه مقطع زمانی شامل صبح (۹-۶)، ظهر (۱۳-۱۰) و عصر (۱۹-۱۶) مبنای شبیه‌سازی خرد اقلیمی در نظر گرفته شد. انتخاب این زمان‌ها (ماه‌های شبیه‌سازی) بر مبنای تغییرات معنادار و مشخص جهت باد غالب و تفاوت‌های دمایی که در آنها وجود دارد، بوده است. همچنین تغییرات حجم ترافیک که منجر به مقدار انتشارات متفاوت می‌شود، در نظر گرفته شده است.



تصویر شماره ۲: محدوده مطالعاتی (ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران) طراحی شده در مدل Envi-met



تصویر شماره ۳: گلباد ماه ژانویه ایستگاه ژئوفیزیک (منطقه ۶ شهرداری تهران) (صبح، ظهر، عصر)



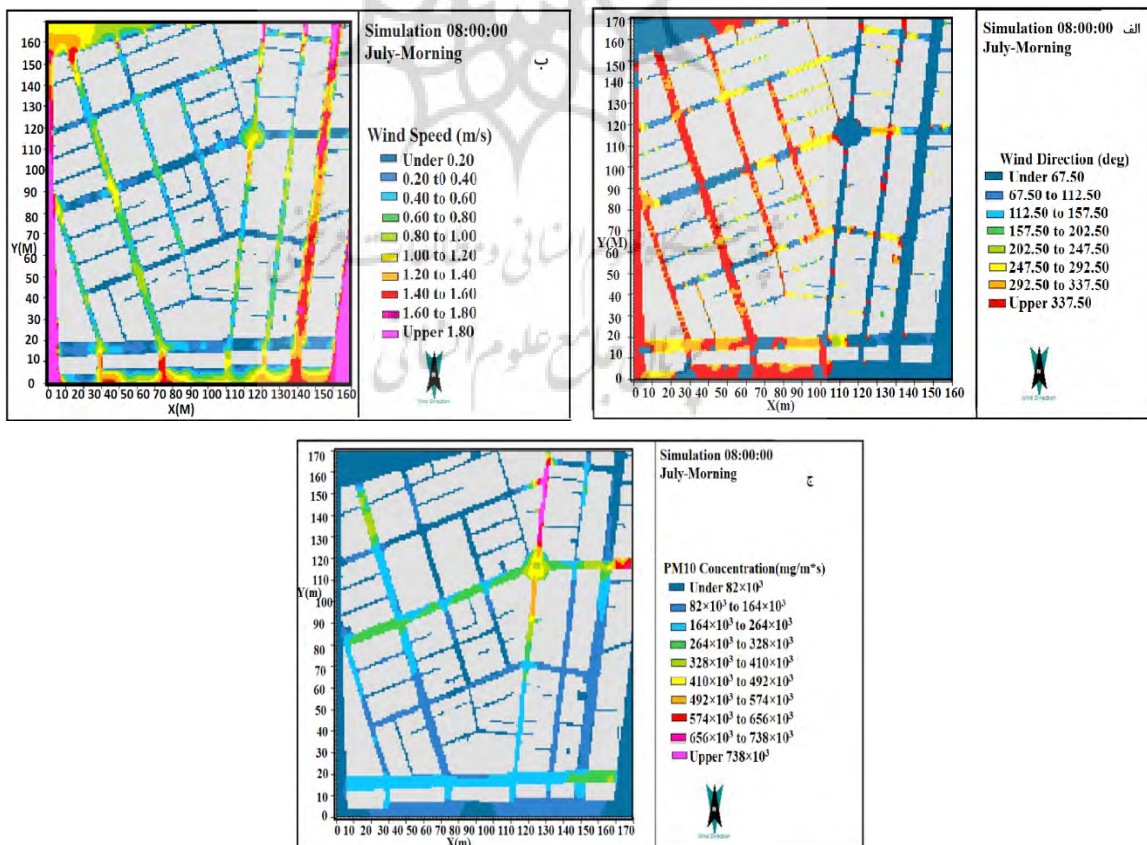
تصویر شماره ۴: گلباد ماه جولای ایستگاه ژئوفیزیک (منطقه ۶ شهرداری تهران) (صبح، ظهر، عصر)

۴.۲. الگوی پراکنش آلودگی هوا در فصل تابستان (ماه جولای)

براساس نتایج حاصل از مدل، همان طور که در تصویر شماره ۵-الف قابل مشاهده است، بردارهای باد در ساعت هشت صبح در خیابان‌های شمالی-جنوبی و در میدان فلسطین نشان دهنده جهت قابل انتظار شمالی و در خیابان‌های شرقی-غربی ترکیبی از جهت‌های شرقی، غربی، شمال غربی و شمال شرقی است. در سمت مقابل، عمده جریان شرقی و در بخش‌هایی از شمال شرقی است که با نزدیک شدن به تقاطع قدس جهت غربی می‌شود که این امر به علت وجود ساختمانی با ارتفاع بیش از ۳۰ متر است که جریان باد را به غربی تغییر داده است. همچنین الگوی مشابهی از جریان شمال شرقی در طرفین تقاطع خیابان انقلاب ولیعصر دیده می‌شود. از طرف دیگر، بررسی سرعت باد در محدوده نشان می‌دهد (تصویر شماره ۵-ب) که بیشترین سرعت‌ها در خیابان ولیعصر و به صورت چند هسته سرعتی (سرعت $1/6 - 1/8$ متر بر ثانیه در مرکز) در امتداد خیابان است. با توجه به غالب بودن جهت وزش باد شمالی در این خیابان‌ها، سرعت بیشتر در آنها می‌تواند به علت کانالیزه شدن جریان هوا در امتداد خیابان و عرض زیاد آن (۴۰ متر) که موجب اصطکاک کمتر می‌شود، باشد. علاوه بر این، توزیع فضایی آلاینده‌ها در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (تصویر شماره ۵-ج) که بیشترین غلظت‌ها در گوشه شرقی تقاطع ولیعصر-طالقانی و در خیابان فلسطین در شمال میدان است. این افزایش غلظت در مکان اول به دلیل گردابه باز چرخشی افقی و وارد شدن جریان به خیابان است. در

نمای عمودی گوشه غربی تقاطع ولیعصر-طالقانی شکل‌گیری گردابه باز چرخش کننده عمودی که مرکز آن به سمت ساختمان رو به باد جابه‌جا شده سبب حبس شدگی و تجمع آلاینده‌ها در دیواره ساختمان رو به باد شده است.

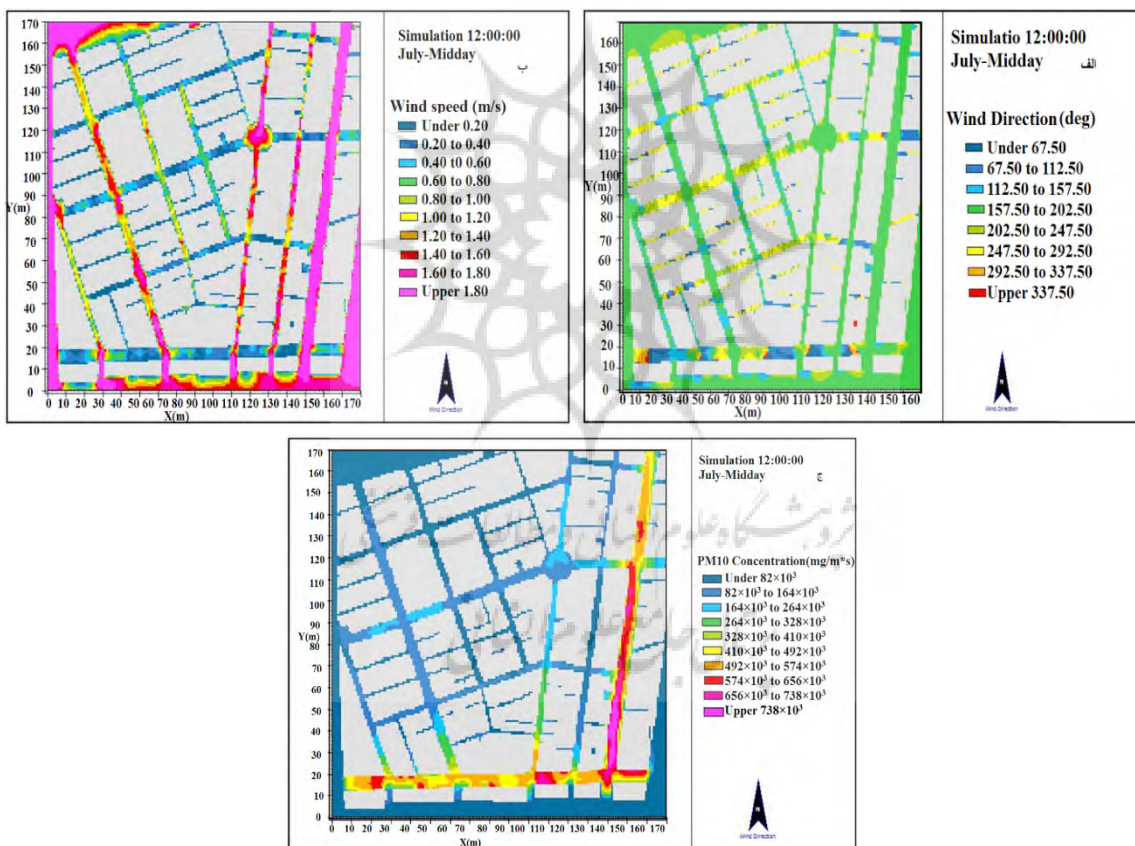
در ساعت ۱۲ ظهر، جهت وزش باد در اکثر محدوده به طور کلی جنوبی بوده و تقریباً به محور خیابان‌های شرقی-غربی و همچنین به سطوح رو به باد بیشتر ساختمان‌ها عمود است. بر خلاف انتظار جهت جریان در تقاطع‌ها نسبت به جریان باد تغییر نکرده و تنها در چند تقاطع شاهد جریان جنوب غربی هستیم. جریان بازگردشی در تقاطع ولیعصر-طالقانی در گوشه غربی ایجاد شده است. در حقیقت با تغییر جهت باد الگوی جریان در طرفین تقاطع معکوس شده است. همگرایی قوی جریان در تقاطع انقلاب با ولیعصر موجب حرکت و ورود هوا از خیابان انقلاب به ولیعصر شده است. در گوشه غربی تقاطع انقلاب قدس و گوشه شرقی تقاطع انقلاب فلسطین گردابه بازگردشی افقی را نشان می‌دهد. دو بلوک واقع شده در طرف جنوبی خیابان انقلاب ما بین خیابان‌های قدس و فلسطین در این ساعت نیز الگوی جریان تقریباً مشابهی را به وجود آورده‌اند که با توجه به جریان باد ورودی جنوبی، جهت‌های متفاوتی را نسبت به صبح ایجاد کرده‌اند. در خیابان‌های شرقی-غربی ترکیبی از جهت‌ها مشاهده می‌شود که این احتمالاً به دلیل آرایش و ارتفاع متفاوت ساختمان‌ها، اختلاف در طرح تقاطع‌ها و شکل‌گیری حرکات گردشی در آنهاست (تصویر شماره



تصویر شماره ۵: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت هشت صبح ماه جولای

۶-الف). در شمال میدان فلسطین به دلیل فشردگی و تراکم هوای ورودی از میدان به خیابان سرعت افزایش یافته است. در خیابان وصال سرعت‌های ۱/۴ - ۰/۷ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود که این میزان در تقاطع‌ها به ۲/۱ - ۱/۴ متر بر ثانیه می‌رسد. کمترین سرعت در خیابان‌های شرقی-غربی و تقریباً عمود بر جهت باد و با مقدار کمتر از ۰/۷ متر بر ثانیه ثبت شده است (تصویر شماره ۶-ب). تصویر شماره ۶-ج، نشان دهنده غلظت‌های PM₁₀ در ارتفاع صفر، برای شرایط جهت وزش باد جنوبی و سرعت ورودی ۱- متر بر ثانیه در ساعت ۱۲ ظهر ماه جولای است. در این ارتفاع، بازگردش کننده‌های افقی در تقاطع‌های ولیعصر-طالقانی و انقلاب-قدس (گوشه‌های چپ) و انقلاب-فلسطین گوشه راست که شرح داده شد، سبب حبس شدگی و به دام افتادن آلاینده‌ها شده است. جهت باد جنوبی شکل گرفته در میدان فلسطین موجب جمع شدن آلاینده‌ها در قسمت شمالی میدان و انتقال به خیابان شمال آن شده است. از طرفی همگرایی جریان ایجاد شده در خیابان طالقانی ما بین

خیابان مظفر و میدان باعث انتقال آلاینده‌ها در این قسمت شده است. در وسط خیابان انقلاب با توجه به استقرار دو بلوک ساختمانی به خوبی دیده می‌شود که چگونه شکل‌گیری الگوی جریان باد مشابه منجر به پراکنش مشابه در آلودگی شده است. آلودگی در طرفین تقاطع وصال-طالقانی به دلیل جریان غربی باد است. همچنین به طور واضح مشخص است، آلاینده‌ها از خیابان انقلاب به خیابان‌های متقاطع با آن منتقل شده و به تدریج با دور شدن از منبع آلودگی کاهش یافته است. با توجه به جهت باد جنوبی در خیابان ولیعصر(کانالیزه شدن جریان و وقوع سرعت بیشتر در آن) آلاینده‌ها مسافت بیشتری را طی کرده‌اند. بنابراین جریان باد غالب جنوبی احتمالاً اصلی‌ترین عامل مؤثر در پراکنش و جابه‌جایی آلاینده‌ها بوده است. گوشه چپ تقاطع انقلاب-قدس جریان گردابه‌ای در وسط و با تمایل به قسمت تحتانی دره (یا سطح خیابان) موجب حبس آلاینده‌ها در سمت رو به باد شده است.



تصویر شماره ۶: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت ۱۲ ظهر ماه جولای

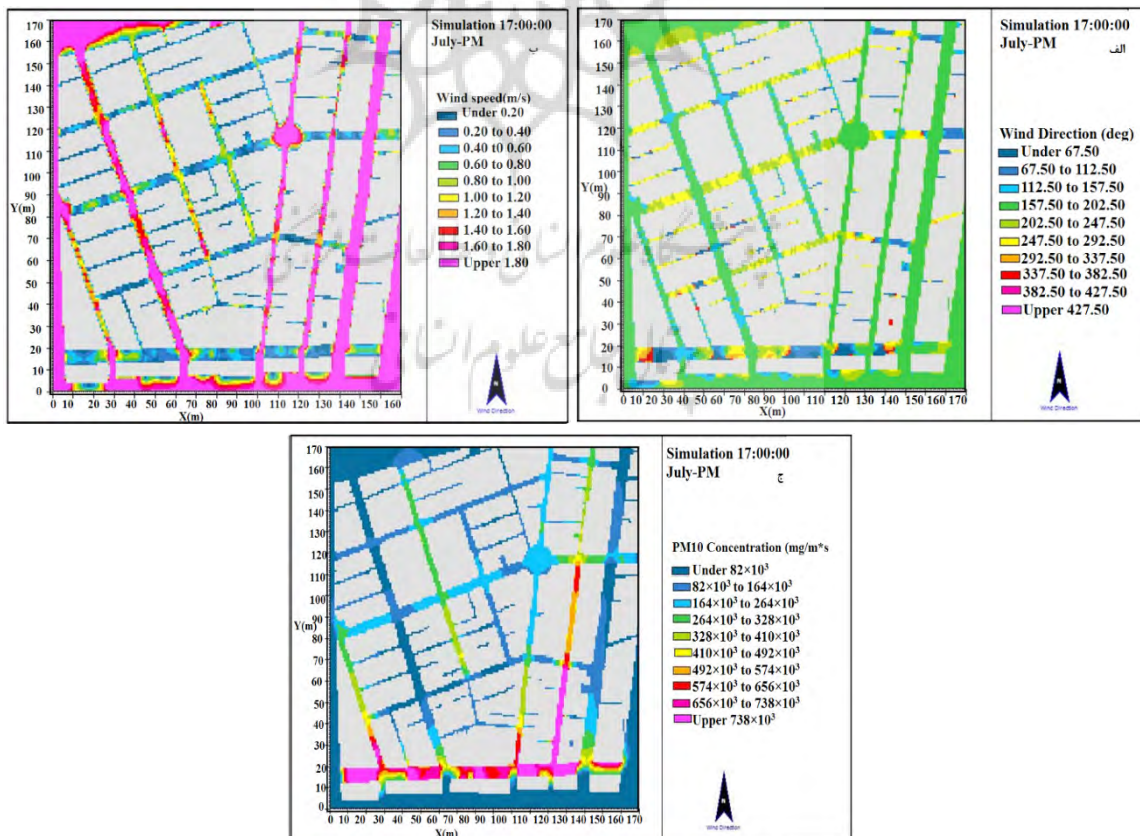
خود مدل مانند محاسبه زاویه تابش و... هستند. با مراجعه به تصویر شماره ۷-ب به خوبی دیده می‌شود، در این ساعت از نظر سرعت باد نسبت به مقطع زمانی ظهر محدوده افزایش سرعت داشته و این افزایش سرعت در خیابان‌های شمالی-جنوبی مشهودتر است. بیشینه سرعت باد در خیابان ولیعصر با میزان ۳-۴ متر بر ثانیه در مرکز مسیر اتفاق می‌افتد و با نزدیک

شرایط مقطع زمانی عصر (ساعت ۱۷) (تصویر شماره ۷-الف)، از نظر الگوهای جریان باد ایجاد شده در کل محدوده با اختلاف اندکی بسیار مشابه با شرایط مقطع زمانی ظهر است. از آنجایی که شرایط فیزیکی در هر دو مقطع زمانی یکسان بوده است، این اختلاف احتمالاً مربوط به مؤلفه‌های جوی می‌شود که به طور جداگانه به مدل وارد شده یا مربوط به شرایط موجود در

شدن به جداره‌ها کاهش می‌یابد (۲-۳ متر بر ثانیه). با دقت در بردارهای باد مشخص می‌شود که در قسمت‌های مرکز و شمالی میدان فلسطین سرعت باد به ۲-۳ متر بر ثانیه می‌رسد. در خیابان‌های شرقی-غربی عموماً سرعت کمتر از مسیرهای شمالی جنوبی است و تنها افزایش در تقاطع خیابان‌ها رخ می‌دهد. مطابق با خروجی گرافیکی مدل، بیشترین آلودگی هوا مربوط به خیابان‌های انقلاب، قدس، مظفر و نادری است. آلاینده‌ها از خیابان انقلاب به خیابان‌های متقاطع با آن منتقل شده است؛ با این تفاوت که در خیابان‌های قدس و مظفر آلاینده‌ها مسافت بیشتری را طی کرده‌اند. با توجه به عرض کم، جهت جنوبی باد و افزایش شدت باد در این ساعت، به خوبی امکان انتقال آلاینده‌ها فراهم شده است. به نظر می‌رسد شدت باد در خیابان‌های عریض‌تر منجر به پراکنش و کاستن از آلاینده‌ها گردیده است. در خیابان ولیعصر و وصال نسبت به مقطع زمانی ظهر کاهش یافته، در حالی که مقادیر ورودی برای منبع خطی ولیعصر از ظهر بیشتر بوده است. همچنین آلودگی میدان فلسطین نسبت به ظهر افزایش داشته است (تصویر شماره ۷-ج).

۴.۳. الگوی پراکنش آلودگی هوا در فصل زمستان (ماه ژانویه)
در صبح ژانویه در سطح زمین بردارهای باد در خیابان‌های شمالی-جنوبی نشان دهنده جهت وزش باد شمالی هستند؛ در قسمت‌های شمال غربی که به نظر می‌رسد به دلیل کنگره‌های

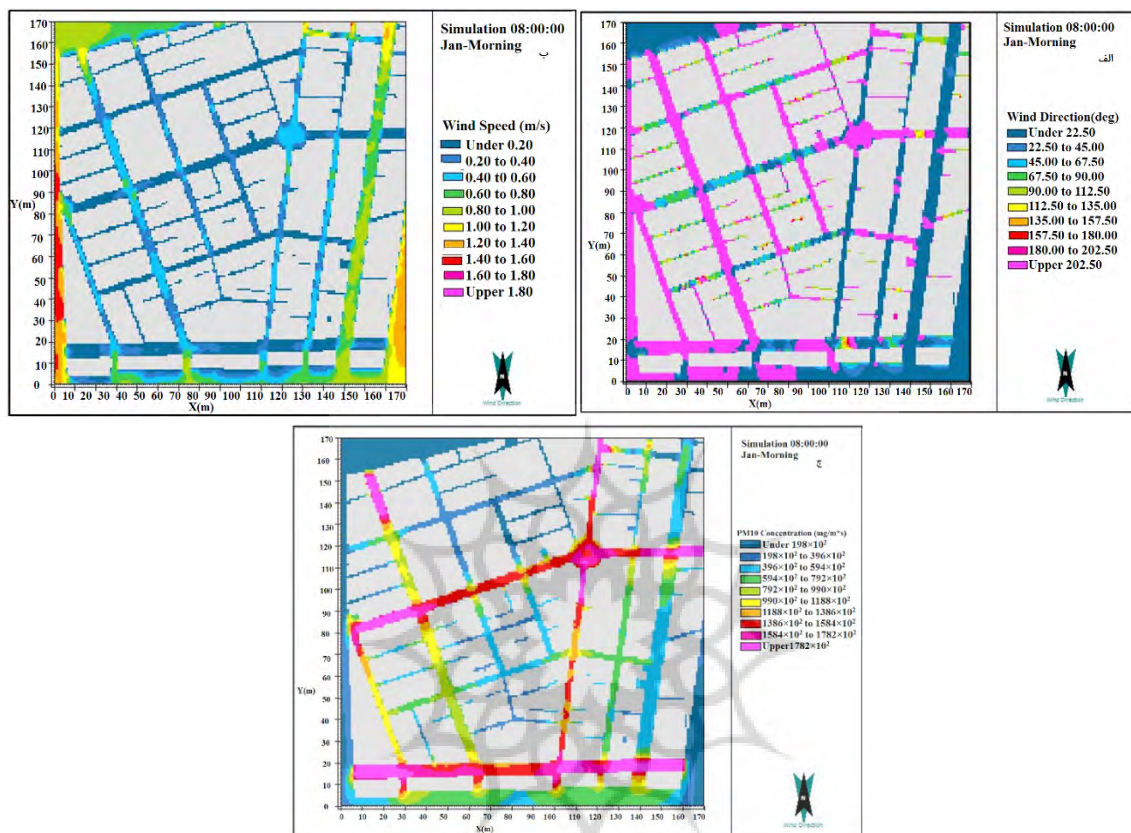
ایجاد شده در مدل و فواصل کوچک در جداره ساختمان‌هاست. در خیابان شرقی-غربی ترکیبی از جهت‌ها دیده می‌شود. با دقت در تصویر مشخص می‌شود که الگوی جهت وزش باد نسبت به ماه جولای در همین زمان تفاوت چندانی ندارد و بیشترین تغییر جهت در خیابان طالقانی حد فاصل نادری تا میدان فلسطین رخ داده است. با توجه به جهت باد شمالی، آلاینده‌ها از تقاطع‌ها به خیابان انقلاب منتقل و غلظت آلودگی را افزایش می‌دهند. در خیابان انقلاب (ما بین خیابان‌های قدس تا وصال) ارتفاع ساختمان‌ها در سمت جنوب (جداره‌های رو به باد) بیشتر از قسمت شمالی است، به همین دلیل جریان در برخورد با موانع ساختمانی موجب تراکم حداکثری غلظت در سمت رو به باد در خیابان شده است. در خیابان طالقانی نیز مشابه با خیابان انقلاب ارتفاع ساختمان‌ها در سمت جنوب بیشتر از قسمت شمالی است. جهت باد شمال شرقی آلاینده‌ها را در امتداد خیابان منتقل کرده است (تصویر شماره ۸-الف). با توجه به تصویر شماره ۸-ب، سرعت باد در خیابان ولیعصر بیش از یک متر بر ثانیه است که دلایل آن در مباحث قبل گفته شد. در خیابان انقلاب سرعت‌ها عموماً کمتر از ۰/۴ متر بر ثانیه است و تنها در تقاطع‌ها به دلیل اثر ونتوری شاهد افزایش کمی در سرعت باد هستیم (۰/۸-۰/۶ متر بر ثانیه). در خیابان طالقانی باد شمالی با برخورد به جداره‌های ساختمانی سرعتش کاسته شده و به کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه می‌رسد. همانگونه که تصویر شماره ۸-ج نشان می‌دهد، غلظت آلاینده‌ها در خیابان ولیعصر که محور آن



تصویر شماره ۷: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت ۱۷ عصر ماه جولای

آلاینده‌هایی همچون ذرات معلق هنگامی که جهت باد از حالت موازی به عمودی تغییر پیدا می‌کند، تا سه برابر افزایش می‌یابد. مطابقت دارد (MacNaughton, Melly et al. 2014, Yuan, Ng et al. 2014, Shamsipour, Ashrafi et al. 2015, KianMehr and Bahraini 2016, Lateb, Meroney et al. 2016, Wong, Lai et al. 2019)

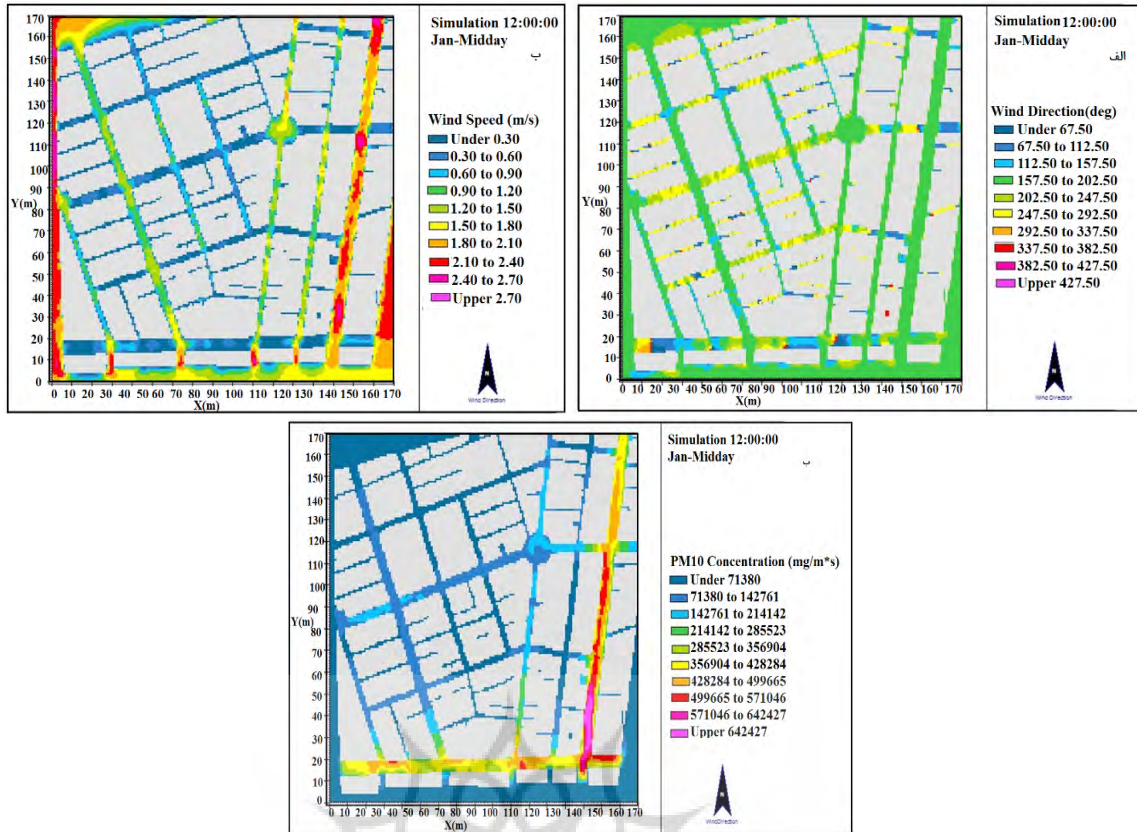
نسبت به جهت وزش باد تقریباً موازی است، نسبت به سایر نقاط محدوده به میزان کمتری است. این می‌تواند به دلیل سرعت بیشتر باد در نتیجه کانالیزه شدن جریان و عرض زیاد خیابان باشد. حضور چند ساختمان مرتفع در آن نیز بر سرعت باد و ایجاد تلاطم در این محل‌ها بر کاهش آلودگی مؤثر بوده است. این یافته با یافته‌های پژوهش‌های قبلی که نشان داده‌اند، غلظت



تصویر شماره ۸: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت هشت صبح ماه ژانویه

در ساعت ۱۲ ظهر، به طور کلی جهت باد در خیابان‌های شمالی-جنوبی، شمالی است. جهت باد در خیابان‌های شرقی-غربی در اثر عوارض و عناصر شهری مانند جهت خیابان‌ها، انواع سازه‌ها با ارتفاع‌های مختلف و پوشش سطحی تغییرات بیشتری را از خود نشان داده و ترکیبی از جهت‌های غربی، جنوب غربی و... است. شواهد گردابه باز چرخش کننده افقی با توجه به تصویر شماره ۹-الف در چند قسمت از محدوده، به طور مثال در گوشه‌های غربی تقاطع انقلاب-قدس و ولیعصر-طالقانی و گوشه شرقی تقاطع انقلاب-فلسطین مشاهده می‌شود. افزایش ناگهانی در عرض خیابان ولیعصر موجب جریان یافتن هوا از طالقانی به ولیعصر و شکل‌گیری جریان شرقی در گوشه شرقی ولیعصر-طالقانی شده است. در خیابان طالقانی جهت به غربی و جنوب غربی تغییر کرده است. در تقاطع خیابان انقلاب با ولیعصر آرایش محلی ساختمان‌ها جهت باد جنوب غربی را ایجاد کرده که جریان قوی را به سمت ولیعصر به وجود آورده است. با توجه به تصویر شماره ۹-ب سرعت باد در خیابان‌های

شرقی-غربی کمتر از ۰/۶ متر بر ثانیه است. بیشینه سرعت در خیابان ولیعصر (در مرکز هسته‌های سرعتی ایجاد شده) به ۰/۹-۰/۶ متر بر ثانیه و عمدتاً کمتر از ۰/۳ هستند و در تقاطع‌ها به دلیل تعامل جریان و اثر ونتوری شاهد افزایش قابل توجهی در سرعت باد هستیم. در خیابان طالقانی با توجه به نمای عمودی سرعت در وسط خیابان بیشتر (۰/۴-۰/۲) و در تماس با جداره‌ها به دلیل اصطکاک کمتر (۰/۲) می‌شود. به طور کلی سرعت در خیابان‌های شمالی جنوبی حتی در خیابان‌های کم عرض در مقایسه با خیابان‌های شرقی-غربی بیشتر است. با مراجعه به تصویر شماره ۹-ج مشخص می‌شود، بیشترین غلظت‌ها در خیابان‌های ولیعصر و انقلاب است که با در نظر گرفتن ترافیک بالا و غلظت محاسبه شده ورودی بالا منطقی به نظر می‌رسد. هسته‌های سرعتی در ولیعصر هم فقط منجر به کاهش و افزایش جرم موضعی آلاینده‌ها شده است.

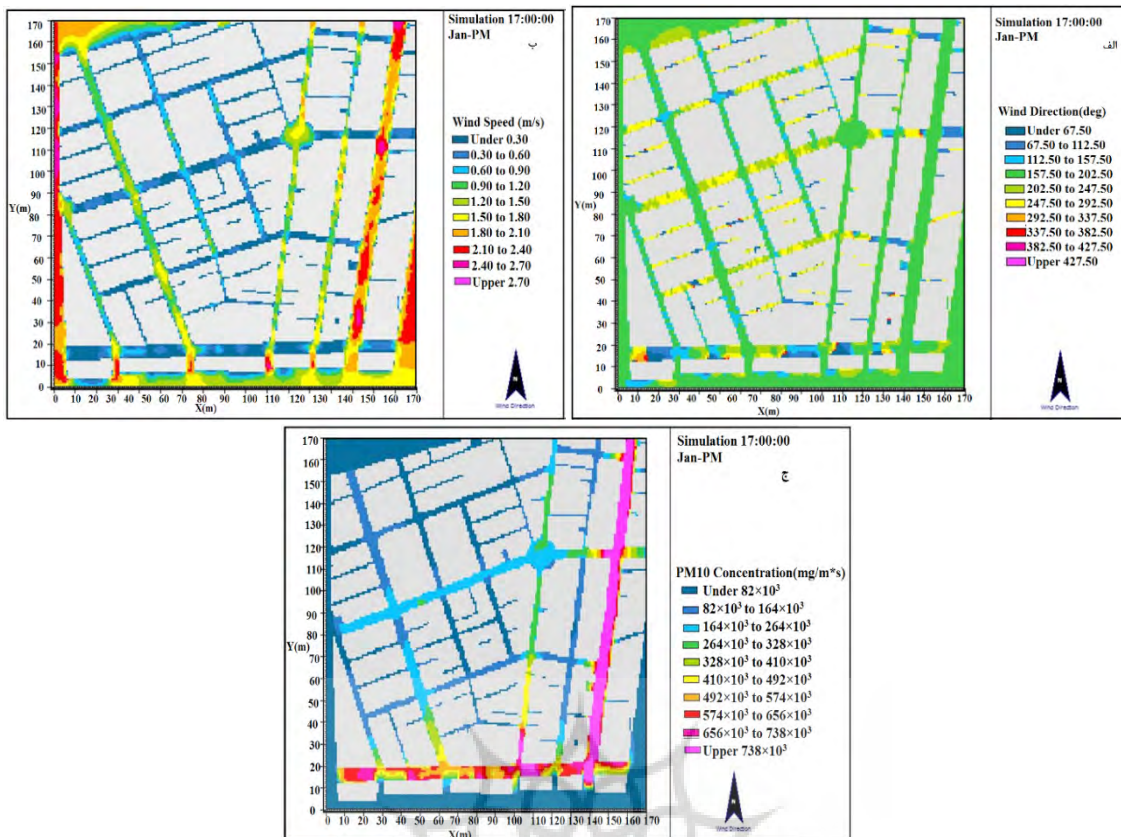


تصویر شماره ۹: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت ۱۲ ظهر ماه زانویه

۵. نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها، برای جهت‌های مختلف خیابان و وزش باد در ساعات شبانه‌روز، مشاهده می‌شود در تابستان و زمستان در مقطع زمانی صبح، سرعت‌های باد پایین‌تری مشاهده شد که با رسیدن به ساعات عصرگاهی بر سرعت‌ها افزوده شده است. به طور کلی و با توجه به تغییرات جهت و سرعت باد در ساعات مختلف روز در دو فصل تابستان و زمستان و با توجه به هندسه خیابان‌ها می‌توان نتیجه گرفت که غلظت آلاینده‌های پیش‌بینی شده در هر دو زمان از سال و در ساعاتی که بادهای شمالی غالب هستند، متوسط است. در حالی که در ساعات استیلاي بادهای جنوبی بر غلظت آلاینده‌ها افزوده می‌شود. همچنین در ساعاتی که جهت غالب باد، جنوب غربی است، از میزان غلظت آلاینده‌ها کاسته می‌شود. این مسئله در خیابان‌های شمالی-جنوبی مشهودتر است. در نهایت می‌توان استنتاج نمود، در خیابان‌هایی که جهت آنها به موازات جهت بادهای غالب است، اثر کانالیزاسیون خیابان‌ها باعث افزایش سرعت باد می‌شود و در خیابان‌هایی که عمود بر جهت وزش باد هستند، اثر ارتفاع و همجواری ساختمان‌ها ضمن تغییر سرعت و جهت باد، سبب انباشته شدن آلاینده‌ها می‌گردند. به طور کلی، جهت‌گیری معابر در ارتباط با بادهای جنوب غربی نسبت به بادهای محلی تأثیر بیشتری در پراکنش آلاینده‌ها نشان می‌دهد. جهت‌گیری، توزیع و ساختار ساختمان‌ها و بلوک‌های ساختمانی، نفوذپذیری احجام منفرد و کل متن محدوده موجب

در ساعات عصر، با توجه به جهت باد جنوبی (180°) وارد شده برای هر دو مقطع زمانی ظهر و عصر الگوی جریان در کل محدوده تقریباً مشابه است و تنها تغییرات کمی در آن اتفاق افتاده است (تصویر شماره ۱۰-الف). با دقت در تصویر شماره ۱۰-ب مشخص می‌شود در مقطع زمانی عصر با وجود سرعت ورودی یکسان در مدل، شاهد افزایش اندکی در سرعت باد به ویژه در خیابان‌های شمالی-جنوبی هستیم. در این ساعت نیز این خیابان‌ها سرعت بیشتری را نشان می‌دهند و کمترین سرعت‌ها (کمتر از 0.6 متر بر ثانیه) در خیابان‌های شرقی-غربی رخ می‌دهد. با وقوع حداکثر سرعت و تشکیل هسته‌های سرعتی در خیابان ولیعصر مشاهده می‌شود که بیشینه سرعت در آن به 2.7 - 2.4 متر بر ثانیه می‌رسد. توزیع فضایی آلاینده PM₁₀ در تصویر شماره ۱۰-ج نشان می‌دهد که بیشترین غلظت آلاینده‌ها مربوط به خیابان‌هایی با بیشترین جریان ترافیک است (ولیعصر و انقلاب). در نمای عمودی از خیابان ولیعصر مشاهده می‌شود، آلاینده‌ها در کل امتداد خیابان در ضلع غربی انباشته شده‌اند. در این ساعت نیز مانند مقطع ظهر به دلیل گردابه‌های باز چرخشی افقی، غلظت‌های بالا در همان نقاط دیده می‌شود. جریان باد جنوب-جنوب غرب و جنوب غربی شکل گرفته به ترتیب در گوشه شرقی و غربی انقلاب، آلاینده‌های موجود در انقلاب را به خیابان ولیعصر وارد کرده است. جریان باد جنوبی نیز سبب انتقال آلاینده‌ها در تمام طول خیابان شده است. به طور کلی آلودگی هوا در محدوده افزایش یافته است.



تصویر شماره ۱۰: الگوی جهت وزش (الف)، سرعت باد (ب) و پراکنش آلاینده‌ها (ج) در ساعت ۱۷ عصر ماه ژانویه

ساعات از روز که عمدتاً جنوب غربی است، نحوه توسعه معابر و ساختمان‌سازی باید در انطباق با این جهت جریان صورت پذیرد تا به انتقال بهتر آلاینده‌ها و جلوگیری از تمرکز آنها کمک نماید.

References:

- Ali Akbari Bedokhti, A. and Z. Shariipour (2009). "Upper Air Meteorological Conditions and Air Pollution Conditions (Case Study: Tehran)." *Environmental Studies* 52: 1-14 [In Persian].
- Asadi, M. (2009). "Explaining the role of public transport in a sustainable urban environment." M.Sc. Thesis, Faculty of Environmental Science, University of Tehran. [In Persian].
- Boddy, J., R. Smalley, N. Dixon, J. Tate and A. Tomlin (2005). "The spatial variability in concentrations of a traffic-related pollutant in two street canyons in York, UK—Part I: the influence of background winds." *Atmospheric Environment* 39(17): 3147-3161.
- Deljoo, A. (1999). "Investigation of temperature inversion and instability on Tehran." M.Sc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian].

تغییر موضعی سرعت و جهت باد و دما شده است. پراکنندگی در خیابان‌ها به طور عمودی به میدان جریان شکل گرفته در آن و بر بالای بام ساختمان‌ها و به طور افقی به جهت وزش باد در خیابان‌های اتصال دهنده بستگی دارد. در نهایت آنچه آلودگی را کنترل می‌کند، جهت بادهای محلی، جریان آشفته بالای بام و نحوه پراکنش و ارتفاع ساختمان‌هاست. مورد آخر از نظر تأثیری که بر روی جریان و جهت باد می‌گذارد، اهمیت دارد. غلظت‌های محاسبه شده بدون در نظر گرفتن تلاطم و جریان ایجاد شده ترافیک و حرارت گازهای خروجی از وسایل نقلیه بوده است. در صورتی که مدل، شامل این ویژگی‌ها باشد، به نظر می‌رسد مقادیر آلاینده‌ها به خصوص در سرعت باد کم بهتر محاسبه شود. در نهایت، با توجه به جریان بادهای محلی در شهر تهران که در ساعات اولیه تا شبانگاهی در جهات غالب شمالی، جنوب غربی و جنوبی است، به نظر می‌رسد جهت انتقال بهتر آلاینده‌ها و پیشگیری از تجمع آنها در سطح خیابان و افزایش غلظت آلودگی‌ها، توسعه معابر شهر و ساختمان‌ها باید در ارتباط با جهت بادهای غالب انجام پذیرد. با توجه به این اصل که با تغییر جهت جریان از حالت موازی با معابر به حالت عمودی، میزان غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد، بنابراین براساس یافته‌های این پژوهش، از آنجایی که میزان غلظت آلاینده‌ها با توجه به حجم ترافیک به ویژه در ساعات بعدازظهر در بسیاری از خیابان‌های اصلی محدوده مورد مطالعه (از جمله انقلاب و ولیعصر) افزایش قابل توجهی دارد و با در نظر گرفتن جهت باد غالب در این

traffic-related air pollution.” *Science of the total environment* 490: 37-43.

- Mohammadi, H. (2011). “Urban Meteorology.” Tehran Press, University of Tehran. [In Persian].
- Panjakhoubi, P. (2011). “Analysis of Relationship between Tehran Air Pollution and Temperature Inversion.” M.Sc. Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Persian].
- Pourdyhimi, S. (2011). “Climate in Sustainable Environmental Design (Application of Climatology in Environmental Planning and Design), Volume I: Large and Medium Scale.” Shahid Beheshti University Press, Tehran. [In Persian].
- Qasami, T., A. Ali Akbari Bedokhti, A. Sedaghatkerdar and F. Sahraian (2007). “Investigation of Synoptic Conditions in Several Critical Periods of Tehran Air Pollution.” *Environmental Science and Technology* 9: 229-238 [In Persian].
- Ranjbar Saadatabadi, A., A. Ali Akbari Bedokhti and S. Sadeghi Hosseini (2003). “Case Study of Thermal Island and its Numerical Simulation.” *Journal of Earth and Space Physics* 31(No.1): 63-78. [In Persian].
- Ranjbar Saadatabadi, A., Mohammadin Mohammadi, L. (2010). “A Study of Mean Synoptic Patterns Based on Occurrence of Different Concentrations of CO in Summer and Autumn Seasons in Tehran.” *Natural Geography Research*(No.72): 111-127 [In Persian].
- Safavi, Y. and B. Alijani (2006). “Study of Geographical Factors in Tehran Air Pollution.” *Geographical Researches*(No.58): 99-112 [In Persian].
- Saidnia, A. (1989). “Location of Tehran City.” *Journal of Environmental Studies*(No.15): 1-10 [In Persian].
- Shamsipour, A., A. (2012). “Climate Modeling; Theory and Method.” University of Tehran Publications, First Edition, 2012. [In Persian].
- Shamsipour, A. and J. Amini (2013). “Simulation of CO Distribution Pattern with Envi-Met Micro-Climatic Model on the Azadi-Tehranpars.” *Geography and Environmental Hazards*(No.7): 85-103 [In Persian].
- Shamsipour, A., A. Ashrafi, M. Alikhah Asl
- Di Sabatino, S., R. Buccolieri, B. Pulvirenti and R. Britter (2008). “Flow and pollutant dispersion in street canyons using FLUENT and ADMS-Urban.” *Environmental Modeling & Assessment* 13(3): 369-381.
- EnsafiMoghaddam, T. (1993). “Investigation of Tehran air pollution and its relationship with temperature inversion.” M.Sc. Thesis, Faculty of Human Sciences, Tarbiat Modarres University. [In Persian].
- Eskani Kazazi, A. and M. Lale Siah Pirani (2010). “Synoptic analysis of Tehran air pollution.” *Journal of Geography* No.2: 135-161 [In Persian].
- Faraji, A. (1999). “Weather and Climatology.” Carno Publications, Tehran [In Persian].
- Fenger, J. (1999). “Urban air quality.” *Atmospheric environment* 33(29): 4877-4900.
- Hunter, L., G. Johnson and I. Watson (1992). “An investigation of three-dimensional characteristics of flow regimes within the urban canyon.” *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere* 26(4): 425-432.
- Karra, S., L. Malki-Epshtein and M. K.-A. Neophytou (2017). “Air flow and pollution in a real, heterogeneous urban street canyon: A field and laboratory study.” *Atmospheric Environment* 165: 370-384.
- Kastner-Klein, P. and E. Plate (1999). “Wind-tunnel study of concentration fields in street canyons.” *Atmospheric Environment* 33(24-25): 3973-3979.
- KianMehr ,A. and H. Bahraini (2016). “Investigation of the Effect of Direction and Wind Speed on Ventilation and Contaminants in Street Corridors.” *Environmental Science* 14: 97-108 [In Persian].
- Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*, Academic press.
- Lateb, M ,R. N. Meroney, M. Yataghene, H. Fellouah, F. Saleh and M. Boufadel (2016). “On the use of numerical modelling for near-field pollutant dispersion in urban environments– A review.” *Environmental Pollution* 208: 271-283.
- MacNaughton, P., S. Melly, J. Vallarino, G. Adamkiewicz and J. D. Spengler (2014). “Impact of bicycle route type on exposure to

and K. Ashrafi (2015). "Modeling Particle Distribution Pattern in the South of Tehran (Case Study: Tehran Cement Factory) with AERMOD Model." *Environmental Studies*(No.4): 799-814 [In Persian].

- Shamsipour, A., F. Najibzadeh and Z. Hosseinpour (2013). "Simulation of the Distribution Pattern of Tehran Meskaetropolitan Air Pollution in Windy Days." *Geography and Environmental Hazards*(No.4): 19-36 [In Persian].
- Sharifi, M. (2009). "Investigation of air pollution caused by passenger terminal in the surrounding urban context." M.Sc. thesis, Faculty of Environment, University of Tehran. [In Persian].
- Sini, J.-F., S. Anquetin and P. G. Mestayer (1996). "Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons." *Atmospheric environment* 30(15): 2659-2677.
- Tehran, C. o. S. a. P. o. (2013). "Investigating the Impact of Forms of City on Air Quality (Tehran Case Study)." Report No.22, Deputy of Studies and Planning of Infrastructure and Master Plan.
- Vardoulakis, S., B. E. Fisher, K. Pericleous and N. Gonzalez-Flesca (2003). "Modelling air quality in street canyons: a review." *Atmospheric environment* 37(2): 155-182.
- Wong, P. P., P.-C. Lai, R. Allen, W. Cheng, M. Lee, A. Tsui, R. Tang, T.-Q. Thach, L. Tian and M. Brauer (2019). "Vertical monitoring of traffic-related air pollution (TRAP) in urban street canyons of Hong Kong." *Science of the total environment* 670: 696-703.
- Xie, S., Y. Zhang, L. Qi and X. Tang (2003). "Spatial distribution of traffic-related pollutant concentrations in street canyons." *Atmospheric Environment* 37(23): 3213-3224.
- Yuan, C., E. Ng and L. K. Norford (2014). "Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies." *Building and Environment* 71: 245-258.

