

## بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در شهر تهران برای ماه های سرد سال های ۲۰۱۱-۲۰۱۳

زهرا شرعی پور<sup>۱\*</sup>

[sharie@ut.ac.ir](mailto:sharie@ut.ac.ir)

عباسعلی علی اکبری بیدختی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۸

### چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی هوا یکی از مهم ترین مشکلات زیست محیطی کلان شهرها محسوب می شود و در این میان، آلودگی هوای تهران به یکی از معضلات جدی شهری تبدیل شده است. بنابراین چگونگی توزیع آلاینده ها و روند تغییرات زمانی مکانی آن ها حایز اهمیت است. هدف از این تحقیق تعیین الگوی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در شهر تهران طی فصل سرد سال های ۲۰۱۱-۲۰۱۳ و دوره های حاد آلودگی هوا بوده و عوامل ایجاد کننده چنین الگوهایی مورد بحث قرار می گیرد.

روش بررسی: در این تحقیق از داده های آلودگی هوای ۱۶ ایستگاه موجود در شهر تهران وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران طی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ استفاده شده است. نقشه های توزیع آلاینده های هوا به روش درون یابی کرچینگ در نرم افزار Surfer تهیه و تحلیل می شود.

نتایج: نتایج بررسی توزیع مکانی زمانی میانگین آلاینده ها طی ماه دسامبر (که اغلب دوره های حاد آلودگی هوا در تهران را در بر دارد) ۲۰۱۲ نشان می دهد که غلظت آلاینده های گازی از جنوب به شمال و غلظت آلاینده های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می یابد. مقایسه نقشه های توزیع آلاینده CO به هنگام ظهر و شب نشان می دهد که به هنگام ظهر گرادیان شدیدی (شمال جنوبی) بر هم مقدارهای آلاینده CO حاکم است و در شب این گرادیان کاهش یافته و توزیع یکنواخت تر می شود. این نشان از انتقال آلاینده های گازی توسط باد آناباتیک (دشت به کوه) به سوی شمال در روز هنگام و بر عکس آن در شب با باد کاتاباتیک (کوه به دشت) کوهستان است که اغلب بر این منطقه، به ویژه در فصل سرد، حاکم است. عمق لایه مرزی (افزایشی به سوی جنوب) نیز روی این توزیع ها موثر است. نزدیکی مناطق جنوبی به کویرهای خشک و فعالیت های صنعتی از نوع ساختمانی شرایط افزایشی ذرات معلق را فراهم می کند و سپس گردش های محلی توزیع آن ها را تعیین می کند.

نتیجه گیری: بررسی ها نشان می دهد که در دوره های حاد آلودگی هوا الگوهای توزیع آلودگی میانگین ماهانه دسامبر حفظ می شود. مقایسه آنومالی های دوره های حاد آلودگی نسبت به قبل از دوره نشان می دهد که در این روزها معمولا بیشترین آنومالی ها در میان آلاینده های مختلف مربوط به ذرات معلق می باشد. در اکثر مناطق تهران از نظر آلاینده CO آلودگی شب بیش تر از روز است. بادهای محلی در جابجایی آلودگی هوا بسیا مؤثرند.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، توزیع زمانی- مکانی، فصل سرد، تهران.

۱- کارشناس ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران\* (مسوول مکاتبات).

۲- استاد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

## مقدمه

روند افزایش جمعیت و صنعتی شدن باعث افزایش آلودگی هوا در کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه شده و امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی کلان‌شهرها محسوب می‌شود. در این میان، آلودگی هوای تهران به یکی از معضلات جدی شهری تبدیل شده و به‌ویژه در فصل سرد سال باعث بروز بیماری‌های مختلف قلبی و عروقی، تنفسی و آلرژی در شهروندان تهرانی می‌شود.

از نظر موقعیت جغرافیایی، شهر تهران در جنوب کوهستان البرز و در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران واقع شده است و از شمال به شمیران، از شرق به دماوند، از غرب به کرج و از جنوب به شهر ری محدود می‌شود. عوامل جغرافیایی و هواشناسی از جمله بادهای غالب و ارتفاعات اطراف شهر تهران در افزایش آلودگی هوای آن تأثیر به‌سزایی داشته و در طی فصل سرد سال، با افزایش پدیده وارونگی دمایی، غلظت آلاینده‌های هوا افزایش یافته و برخی اوقات شرایط خطرناک و بحرانی پدید می‌آید.

تا کنون تحقیقات متعددی در مورد آلودگی هوای کلان‌شهرها انجام یافته که در این‌جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. Muir و همکاران (۲۰۰۶) دوره‌های حاد آلودگی  $PM_{10}$  را در انگلیس بررسی کرده و نشان داده‌اند که بررسی نسبت غلظت آلاینده  $PM_{10}$  به سایر آلاینده‌ها می‌تواند در تعیین سهم چشمه‌های آلودگی مفید باشد (۱).

Kassomenos و Vardou Lakis (۲۰۰۸) تغییرات ذرات معلق  $PM_{10}$  در دو شهر آتن یونان و بیرمنگام انگلیس را در ارتباط با سایر آلاینده‌ها و عوامل هواشناسی در طول دوره ۳ ساله (۲۰۰۳-۲۰۰۱) بررسی کرده‌اند. برطبق نتایج آن‌ها طی فصل سرد، همبستگی مثبتی بین آلاینده  $PM_{10}$  و آلاینده‌های  $CO$  و  $NO_x$  و تابش خورشیدی و همبستگی منفی بین آلاینده  $PM_{10}$  و از ن و سرعت باد و بارش مشاهده شده و این همبستگی‌ها در طی فصل گرم ضعیف شده است. بررسی دوره‌های حاد آلودگی  $PM_{10}$  در آن دو شهر نشان داده که اکثر این دوره‌ها در بیرمنگام منشأ فرامحلی و در آتن منشأ محلی داشته است (۲).

پارک‌های شهری با درخت‌ها و انواع مختلف گیاهان نقش مهمی را در کاهش آلودگی هوا ایفا می‌کنند. Yin و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر فضای سبز پارک‌ها بر کاهش غلظت آلاینده‌ها را در ۶ پارک واقع در شانگهای چین بررسی کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها میزان کاهش در فصول مختلف سال به ترتیب برای آلاینده‌های ذرات معلق ۳۵-۲٪، برای  $SO_2$ ، ۲۷-۲٪ و برای  $NO_2$  ۲۱-۱٪ محاسبه شده است. بنابراین بیش‌ترین تأثیر کاهش فضای سبز بر ذرات معلق بوده است (۳).

بابازاده و محمدی (۱۳۸۹) تشکیل مه دود فوتوشیمیایی در شهر تهران را از نظر عوامل هواشناسی جوی و آلودگی هوا بررسی کرده‌اند (۴).

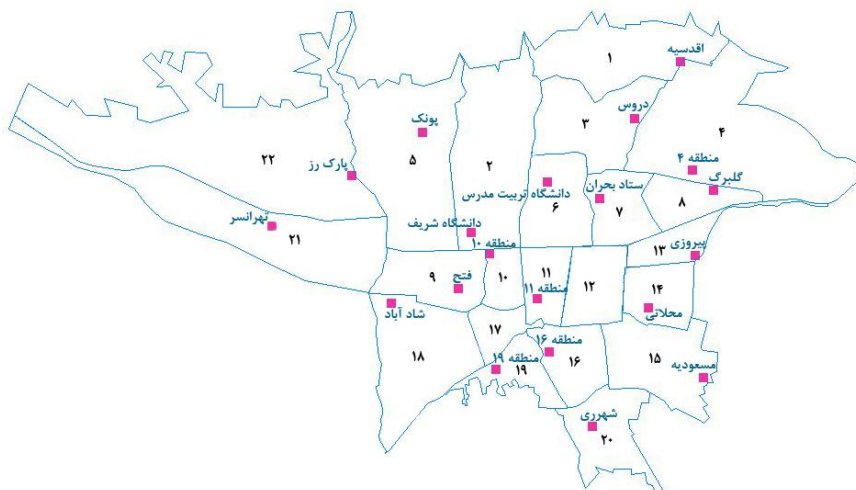
محمدی و اعتماد (۱۳۹۰) نشان داده‌اند که میزان بالای گرد و غبار در هوای شهر تهران، عامل مؤثری بر ایجاد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های ریوی می‌باشد (۵). شمسی پور و همکاران (۱۳۹۱) الگوهای پراکنش آلودگی هوای شهر تهران را در شرایط وزش باد، شبیه‌سازی کردند. آن‌ها نشان داده‌اند که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد و شرایط ناپایداری جوی، با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم فرازشی سبب تعدیل آلودگی هوا می‌شود (۶). یزدی و ارحامی (۱۳۹۱) تحقیقی را در مورد میزان غلظت آلاینده‌ها در حوالی بزرگراه‌های تهران انجام داده‌اند و نشان داده‌اند که در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متری از حاشیه بزرگراه‌ها، غلظت آلاینده‌های هوا به میزان ۵۰٪ کاسته می‌شود (۷). اشرفی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر شرایط هواشناسی بر غلظت آلاینده ذرات معلق ریز را در شهر تهران بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها غلظت آلاینده‌ها به دما، بارش، رطوبت نسبی و محل قرارگیری ایستگاه بستگی دارد (۸). اربابی و همکاران (۱۳۹۱) وارونگی دمایی در تهران را از نظر الگوهای سینوپتیکی بررسی کرده و نشان داده‌اند که الگوی مربوط به پرفشار سیبری در ایجاد پایداری شدید مؤثر بوده است (۹). هالک و کاوسی (۱۳۹۱) پروفیل ارتفاعی غلظت آلاینده ذرات معلق در محیط‌های بسته در شهر کرج را مورد بررسی قرار داده‌اند (۱۰). مرادی و علمی زاده (۱۳۹۱) عوامل ایجاد کننده گرد و غبار و اثرات آن بر محیط زیست و اثرات این پدیده مضر بر سلامت را طی دوره ۱۰ ساله در استان خوزستان بررسی کرده‌اند (۱۱). شرعی پور و علی اکبری بیدختی (۱۳۹۲) تغییرات زمانی مکانی آلاینده اوزون سطح زمین و عوامل هواشناسی مؤثر بر آن را در شهر تهران طی دوره سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ بررسی کرده‌اند (۱۲).

در مقاله حاضر، الگوی توزیع مکانی زمانی میانگین آلاینده‌ها در شهر تهران طی ماه دسامبر، باتوجه به اینکه یکی از آلوده‌ترین ماه سال است، بررسی می‌شود. سپس غلظت آلاینده‌های ایستگاه‌های مختلف مقایسه می‌شود و مناطق آلوده‌تر از نظر هر یک از آلاینده‌ها تعیین می‌شود. آلودگی شب و روز مقایسه شده و الگوهای توزیع آلودگی در دوره‌های حاد آلودگی بررسی می‌شود. طی دوره‌های حاد آلودگی هوا، آهنگ افزایش آلاینده‌ها در مناطق مختلف بررسی شده و آنومالی‌های آلاینده‌ها نسبت به روزهای قبل و بعد از دوره آلودگی در ایستگاه‌های مختلف تهران مقایسه می‌شود.

## روش بررسی

در این تحقیق از داده‌های آلودگی هوای ۱۶ ایستگاه موجود در شهر تهران وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. توزیع این ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

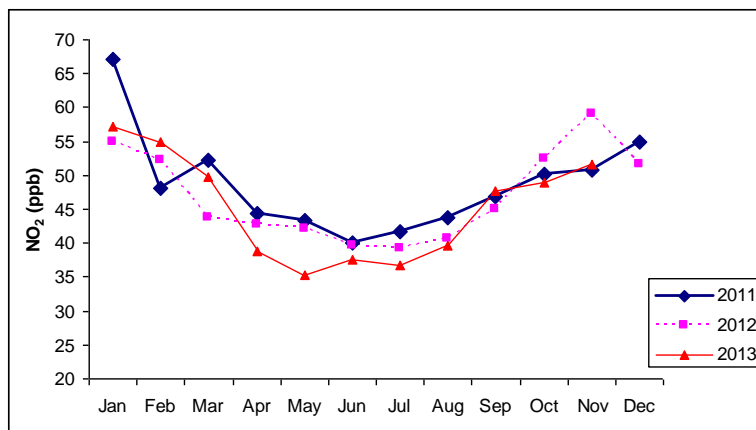
ایستگاه‌هایی که از داده‌های آن‌ها استفاده شده عبارتند از اقدسیه، ژئوفیزیک، پونک، ستاد بحران، گلبرگ، مسعودیه، شادآباد، پارک رز، شریف، تهرانسر، پیروزی، فتح، منطقه ۴ شهرداری، منطقه ۱۰ شهرداری، منطقه ۱۱ شهرداری و منطقه ۱۶ شهرداری. بازه زمانی تحقیق مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ است. ایستگاه‌های آلودگی سنجی به تعداد مناسب در این دوره وجود دارد که بتوان نقشه‌های هم مقدار غلظت آلاینده‌ها را تهیه کرد. نقشه‌های هم مقدارهای آلودگی به روش درون‌یابی کرجینگ در نرم افزار Surfer تهیه و تحلیل می‌شود. نوع آلاینده های هوای مورد مطالعه عبارتند از  $CO$ ،  $NO_x$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ،  $SO_2$  و  $O_3$ . در این تحقیق، برای دوره‌های حاد آلودگی هوا آنومالی هر یک از آلاینده‌ها نسبت به روزهای غیر آلوده قبل یا بعد از دوره محاسبه شده است. به‌طور نمونه برای دوره حاد آلودگی ۵-۱ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱)، آنومالی روز بسیار آلوده ۳ دسامبر (۱۳ آذر ۱۳۹۱) نسبت به یک روز غیر آلوده قبل از دوره مانند ۲۷ نوامبر (۷ آذر ۱۳۹۱) محاسبه می‌شود.



شکل ۱- توزیع ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران.

تغییرات فصلی آلاینده‌ها در ایستگاه‌های مختلف تهران مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که بیشینه فصلی اکثر آلاینده‌ها در فصل سرد و به‌خصوص ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه رخ می‌دهد. بیشینه غلظت فصل سرد بر اثر عوامل مختلف از جمله افزایش پایداری جوی، وارونگی‌های دمایی، کاهش سرعت باد سطحی و استفاده بیش‌تر از منابع گرمایی ایجاد می‌شود. وسایل نقلیه نیز در شرایط سرد دارای احتراق ناقص تری است. به‌طور نمونه شکل ۲ تغییرات میانگین فصلی آلاینده  $NO_2$  را برای منطقه ۱۶ تهران و طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. بیشینه فصلی در این ایستگاه در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به ترتیب مقادیر  $67/1$  و  $59/1$  ppb محاسبه شده است.

تغییرات فصلی آلاینده‌ها در ایستگاه‌های مختلف تهران مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که بیشینه فصلی اکثر آلاینده‌ها در فصل سرد و به‌خصوص ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه رخ می‌دهد. بیشینه غلظت فصل سرد بر اثر عوامل مختلف از جمله افزایش پایداری جوی، وارونگی‌های دمایی، کاهش سرعت باد سطحی و استفاده بیش‌تر از منابع گرمایی ایجاد می‌شود. وسایل نقلیه نیز در شرایط سرد دارای احتراق ناقص تری است. به‌طور نمونه شکل ۲ تغییرات میانگین فصلی آلاینده  $NO_2$  را برای منطقه ۱۶ تهران و طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. بیشینه فصلی در این ایستگاه در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به ترتیب مقادیر  $67/1$  و  $59/1$  ppb محاسبه شده است.



شکل ۲- تغییرات میانگین ماهانه آلاینده  $NO_2$  در ایستگاه منطقه ۱۶ تهران طی سالهای ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳.

بادهای محلی که عمدتاً ناشی از توزیع کوه های اطراف تهران است جنوبی در روز و شمالی در شب است. یکی از عوامل آلوده تر بودن مناطق مرکز تا شمال تهران از نظر آلاینده های گازی نسبت به سایر مناطق، وزش باد دشت به کوه طی روز از مناطق جنوب تهران است که باعث انتقال آلاینده ها از مناطق جنوب شهر به مناطق شمالی شهر می شود.

از طرف دیگر، وجود زمین های کشاورزی در حومه جنوب شرقی تهران می تواند در کاهش آلودگی ذرات معلق این مناطق مؤثر باشد. بررسی نقشه توزیع ذرات معلق نشان می دهد که وجود فضاهای سبز و پارک هایی مانند پارک پردیسان و پارک لویزان در کاهش ذرات معلق محیط اطراف مؤثرند. یکی از عوامل مؤثر در آلودگی بالای گازی مناطق مرکز تا شرق و شمال تهران را می توان به تردد وسایل نقلیه موتوری نسبت داد.

مقایسه آلودگی ایستگاه های شهر تهران از نظر آلاینده های مختلف برای میانگین ماهانه دسامبر ۲۰۱۲ انجام یافت. جدول ۱ این مقایسه را نشان می دهد. نتایج این مقایسه نشان داد که آلوده ترین ایستگاه ها از نظر آلاینده CO، ایستگاه پونک با مقدار ۳/۹ ppm، از نظر آلاینده NO<sub>x</sub>، ایستگاه منطقه ۴ با مقدار ۳۲۹/۳ ppb، از نظر آلاینده SO<sub>2</sub>، ایستگاه منطقه ۱۶ با مقدار ۴۰/۷، از نظر آلاینده PM<sub>2.5</sub>، ایستگاه شادآباد با مقدار ۶۷/۸ μg/m<sup>3</sup> و از نظر آلاینده PM<sub>10</sub> ایستگاه شادآباد با مقدار ۱۹۴/۴ μg/m<sup>3</sup> می باشد. شکل ۵ این مقایسه را برای آلاینده های CO و PM<sub>2.5</sub> نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، ایستگاه های شادآباد و پونک آلوده تر از سایر ایستگاه ها می باشند. از نظر اکثر آلاینده ها ایستگاه مسعودیه در جنوب شرق تهران پاک تر از سایر ایستگاه ها می باشد.

همان طور که انتظار می رود با توجه به پایداری بیش تر شبانه، مقایسه غلظت های آلودگی شب و روز میانگین ماهانه دسامبر آلاینده های CO و ذرات معلق نشان می دهد که رفتار آلاینده های گازی و ذرات معلق، متفاوت است به طوری که در اکثر ایستگاه ها از نظر آلاینده گازی CO آلودگی شب بیش تر از روز می باشد در حالی که از نظر آلاینده ذرات معلق PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در برخی ایستگاه ها مانند اقدسیه، پونک، تهرانسر، ژئوفیزیک، پارک رز و گلبرگ آلودگی شب بیش تر از روز بوده و در سایر ایستگاه ها آلودگی شب برابر یا کم تر از روز می باشد (مطابق شکل ۶).

دوره های حاد آلودگی در شهر تهران در دو بخش کل آلاینده ها و ذرات معلق بررسی شد. در برخی دوره های حاد آلودگی، همه آلاینده ها در طی چند روز افزایش می یابند و این افزایش تدریجی است.

در برخی دیگر از دوره های حاد آلودگی شهر تهران، طی دوره یک یا دو روزه، افزایش شدید و ناگهانی ذرات معلق رخ می دهد و همه

از آن جا که بیشینه فصلی اکثر آلاینده ها به جز اوزون در فصل سرد رخ می دهد، بررسی توزیع آلاینده ها در ماه دسامبر انجام یافت. برای تعیین الگوهای توزیع آلاینده های شهر تهران، نقشه های هم مقدار آلاینده های CO، NO<sub>x</sub>، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub>، SO<sub>2</sub> برای میانگین ماهانه دسامبر و آلاینده اوزون برای میانگین ماه جولای ترسیم و بررسی شد. شکل ۳ این الگوها را طی ساعت ۱۱:۰۰ محلی نشان می دهد. نتایج بررسی این الگوها نشان می دهد که از نظر آلاینده CO ایستگاه هایی که در مناطق شمال غرب و شرق و مرکز تهران قرار دارند از جمله پونک، منطقه ۴، ژئوفیزیک و منطقه ۱۰ آلوده تر هستند و غلظت آلاینده CO از جنوب به شمال افزایش می یابد. از نظر آلاینده NO<sub>x</sub>، ایستگاه منطقه ۴ در شرق تهران و ایستگاه منطقه ۱۰ در مرکز تهران آلوده ترین هستند. اما از نظر آلاینده NO<sub>2</sub>، برای این دوره ایستگاه منطقه ۴ آلوده ترین است. از نظر آلاینده SO<sub>2</sub>، ایستگاه منطقه ۱۶ در جنوب تهران، تهرانسر در غرب و اقدسیه در شمال شرق تهران آلوده ترین هستند. از نظر آلاینده های ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> ایستگاه های غرب و جنوب غرب به خصوص، ایستگاه شادآباد آلوده ترین هستند و غلظت آلاینده های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می یابد. به عبارت دیگر، از نظر آلاینده های گازی مرکز، شرق، شمال و شمال غرب تهران و از نظر آلاینده های ذرات معلق، جنوب غرب و غرب تهران آلوده تر از سایر مناطق می باشند. به عبارت دیگر مناطقی که از نظر آلاینده ذرات معلق پاک تر هستند، از نظر آلاینده گازی آلوده تر بوده و مناطقی که از نظر آلاینده گازی پاک تر هستند، از نظر آلاینده ذرات معلق آلوده تر می باشند.

مقایسه نقشه های توزیع آلاینده CO به هنگام ظهر و شب نشان می دهد که به هنگام ظهر گردانیدن شدیدی بر هم مقدارهای آلاینده CO حاکم است و در شب این گردانیدن کاهش یافته و توزیع یکنواخت تر می شود. شکل ۴ این مقایسه را برای ساعات ۰۰:۰۰ نیمه شب و ۱۴:۰۰ ظهر نشان می دهد. این نشان از انتقال آلاینده های گازی توسط باد آباتیک (دشت به کوه) به سوی شمال در روز هنگام و بر عکس آن در شب با باد کاتباتیک (کوه به دشت) کوهستان است که اغلب بر این منطقه، به ویژه در فصل سرد، حاکم است (شکل ۱۵).

شرایط جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران به گونه ای است که تهران از تمامی جهات به غیر از جنوب و جنوب شرق توسط کوه ها و تپه ها احاطه شده و در مناطق جنوب و جنوب غرب نیز با مناطق بیابانی همجوار است. از آن جا که بادهای همدیدی در تهران بیش تر جنوب غربی و غربی می باشد، این جریان ها می تواند ذرات گرد و خاک بیابانی واقع در جنوب غرب را به داخل شهر وارد کند و در این انتقال، بخشی از این ذرات می تواند در مناطق ابتدایی ورود، نشست یافته و باعث آلودگی بیش تر این مناطق نسبت به سایر مناطق شهر شود. البته

شده سپس به مناطق جنوب، شرق، مرکز و شمال غرب تهران منتقل می شود.

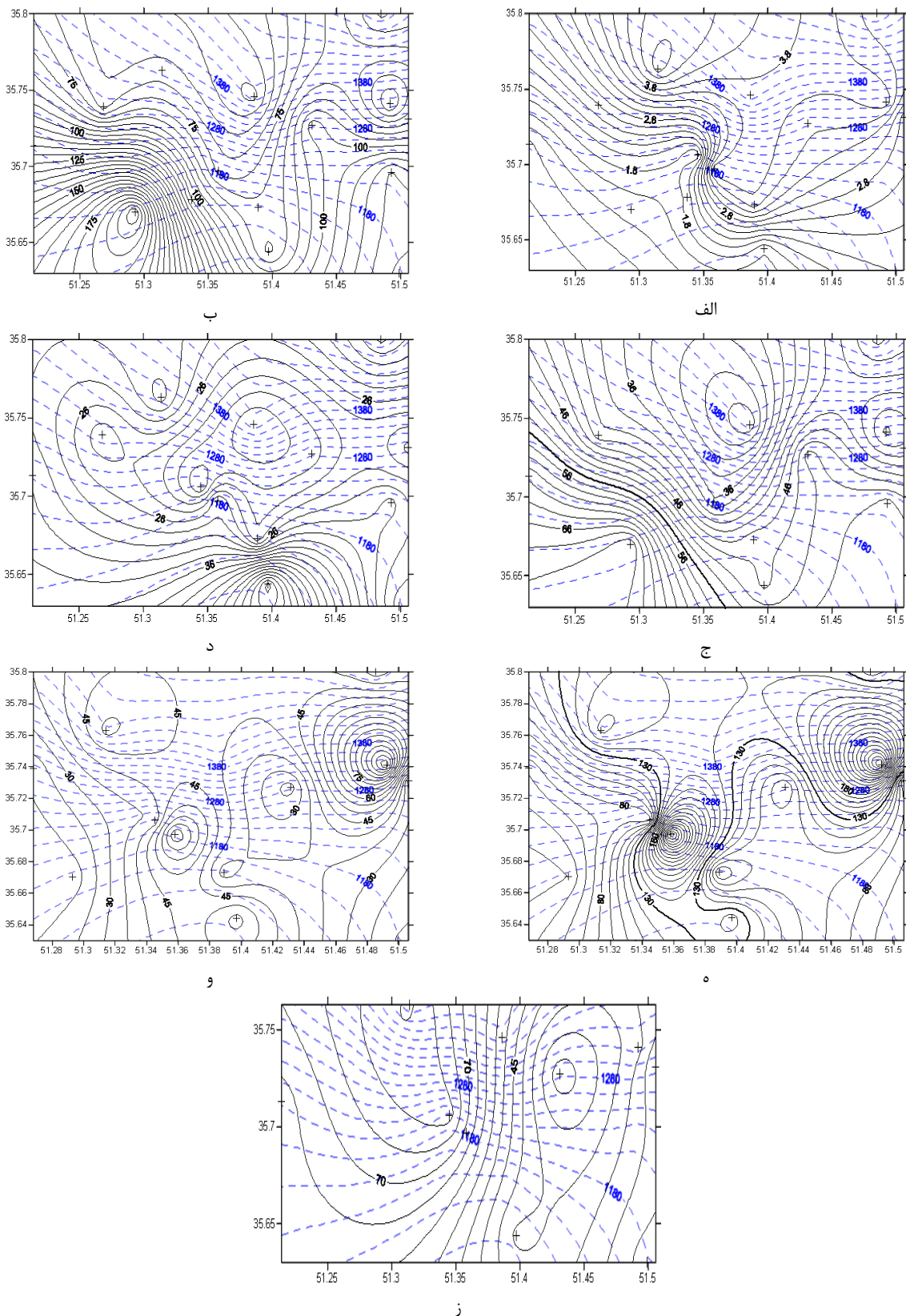
برای رخ داد حاد آلودگی دوره روزهای ۵-۱ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱)، آنومالی هر یک از آلاینده ها در روز ۳ دسامبر (۱۳ آذر ۱۳۹۱) نسبت به روزهای قبل یا بعد از دوره، محاسبه شد. این نتایج در جدول ۲ آمده است. این نتایج نشان می دهد که بیشترین آنومالی برای آلاینده CO مربوط به ایستگاه پونک با مقدار ۲/۳ ppm، برای آلاینده NO<sub>x</sub> مربوط به ایستگاه منطقه ۴ با مقدار ۳۰۲/۸ ppb، برای آلاینده SO<sub>2</sub> مربوط به ایستگاه تهرانسر با مقدار ۲۹/۲ ppb، برای آلاینده PM<sub>10</sub> مربوط به ایستگاه شادآباد با مقدار ۱۸۹/۳ μg/m<sup>3</sup> می باشد. مقایسه آنومالی و میانگین روزانه ایستگاه های مختلف تهران از نظر آلاینده PM<sub>2.5</sub> در روز ۳ دسامبر در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود در روز پیک آلودگی آلوده ترین ایستگاه ها از نظر آلاینده PM<sub>2.5</sub>، شادآباد و تهرانسر هستند.

مقایسه مقادیر میانگین و آنومالی (نسبت به روزهای با آلودگی کم تر محدوده قبل و بعد از دوره حاد آلودگی) ایستگاه های مختلف تهران از نظر هر یک از آلاینده ها در روزهای پیک آلودگی نشان می دهد که در روزهای حاد آلودگی معمولاً الگوهای توزیع آلاینده ها در شهر تهران از الگوهای میانگین ماهانه تبعیت می کند و به بیان دیگر اگر از نظر یک آلاینده خاص در الگوی میانگین ماهانه، برخی از ایستگاه ها آلوده تر از سایرین می باشند، در روزهای حاد آلودگی نیز همان ها آلوده تر از سایرین هستند. مقایسه آنومالی های ایستگاه ها نیز نشان می دهد که در روزهای حاد آلودگی در اکثر موارد، ایستگاه هایی که از نظر یک آلاینده آلوده تر هستند دارای آنومالی بیش تر آلودگی نسبت به روزهای قبل و بعد از دوره نیز می باشند. مقایسه آنومالی ها نشان می دهد که در روزهای حاد آلودگی معمولاً بیشترین آنومالی ها در میان آلاینده های مختلف مربوط به ذرات معلق می باشند. به طور کلی در دوره حاد آلودگی روزهای ۱ تا ۵ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱) آلوده ترین ایستگاه ها از نظر آلاینده های مختلف عبارتند از تهرانسر، شادآباد، منطقه ۴، ستاد بحران، پونک، منطقه ۱۰ و منطقه ۱۶.

بررسی آهنگ افزایش آلاینده ها در روزهای حاد آلودگی نشان می دهد که بالاترین آهنگ افزایش یا شدیدترین افزایش های ساعتی معمولاً به هنگام پیک آلودگی و یا ۱ تا ۳ ساعت قبل از آن رخ می دهد. به طور نمونه برای آلاینده CO بالاترین آهنگ افزایش به هنگام ۵ تا ۸ صبح رخ می دهد.

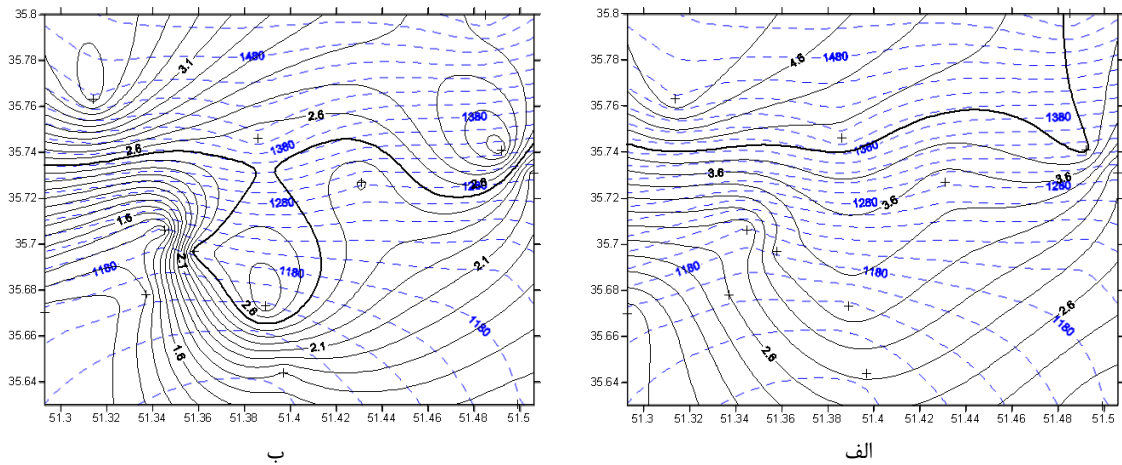
آلاینده ها چنین افزایش ناگهانی ندارند. دوره های حاد آلودگی بر اثر عوامل مختلف فرامحلی و محلی روی می دهد. عوامل هواشناسی همدیدی و محلی در ایجاد چنین دوره هایی تأثیر به سزایی دارند. شکل ۷ به طور نمونه، به دوره حاد آلودگی ۵-۱ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱) که منجر به تعطیلی مدارس و ادارات در روزهای ۱۴ و ۱۵ آذر شد، اشاره دارد. در این دوره همه آلاینده های هوا افزایش تدریجی داشته اند و در ایستگاه منطقه ۴، بیشینه غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> به حدود ۱۶۰ μg/m<sup>3</sup> یعنی حدود ۲ برابر روزهای قبل رسیده است. در این شکل روی داد افزایش شدید ذرات معلق در روز ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ نیز نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در این روز بیشینه غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> در ایستگاه شادآباد به حدود ۸۰۰ μg/m<sup>3</sup> یعنی ۴ برابر روزهای قبل از دوره رسیده است. در شکل ۸ دو دوره حاد آلودگی یاد شده از نظر پیک ذرات معلق روزانه مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می شود طی دوره های حاد آلودگی افزایش ناگهانی ذرات معلق، پیک روزانه ذرات معلق PM<sub>10</sub> می تواند به چند برابر دوره های حاد آلودگی افزایش همه آلاینده ها برسد. یکی از روش های تعیین دوره های حاد آلودگی ذرات معلق، تعیین نسبت ساعتی آلاینده PM<sub>10</sub> به آلاینده های NO<sub>2</sub> می باشد. در این روش، در دوره های حاد ذرات معلق، چنانچه غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> افزایش نداشته باشد، این نسبت افزایش می یابد ولی در دوره های حاد آلودگی که اکثر آلاینده ها افزایش می یابند، این نسبت افزایش نیافته و بیشینه ای را نشان نمی دهد. شکل ۹ تغییرات نسبت غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> به آلاینده NO<sub>2</sub> در دوره حاد ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ (۲۹ مهر ۱۳۹۰) در ایستگاه ژئوفیزیک را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، این نسبت در روز ۲۱ اکتبر افزایش یافته است. به بیان دیگر آلاینده NO<sub>2</sub> به اندازه PM<sub>10</sub> افزایش نیافته و یا چشمه افزایشی آن ها مشترک نبوده است.

طی روی داد افزایش شدید ذرات معلق در روز ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱، مقایسه غلظت میانگین روزانه ذرات معلق PM<sub>10</sub> ایستگاه های مختلف (مطابق شکل ۱۰) نشان می دهد که آلوده ترین ایستگاه، شادآباد با مقدار ۲۶۷/۹ μg/m<sup>3</sup> است. بررسی زمان آهنگ شدید افزایش غلظت ذرات معلق PM<sub>10</sub> طی روی داد های حاد آلودگی ذرات معلق نشان می دهد که معمولاً ایستگاه های واقع در جنوب غرب و غرب تهران زودتر از سایر مناطق این افزایش شدید را تجربه می کنند. به طور نمونه، در رویداد ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱، آهنگ شدید افزایش در ایستگاه های مختلف تهران طی ساعات ۹ صبح تا ۱۶ بعد از ظهر مشاهده شده و از نظر تقدم زمانی ابتدا از مناطق جنوب غرب آغاز



شکل ۳- نقشه های الگوی توزیع آلاینده های الف) CO و ب)  $PM_{10}$ ، ج)  $PM_{2.5}$ ، د)  $SO_2$ ، ه)  $NO_x$ ، و)  $NO_2$  و ز) اوزون در شهر تهران. نقشه همه آلاینده ها بجز ازن طی ۱۱ ساعت قبل از ظهر برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲ و نقشه اوزون طی ۱۵ ساعت بعد از ظهر برای میانگین ماه جولای ۲۰۱۲ می باشد و بازه هم مقدارها برای آلاینده های CO،  $0/2ppm$ ،  $PM_{10}$ ،  $5 \mu g/m^3$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $2 \mu g/m^3$ ،  $SO_2$ ،  $2 ppb$ ،  $NO_x$ ،  $10 ppb$  و اوزون،  $10 ppb$

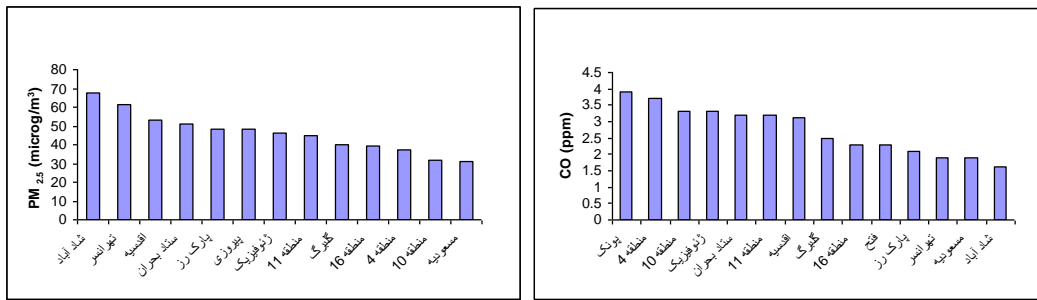
۵ می باشد. ایستگاههای سنجش با علامت + مشخص شده اند. کنتورهای توپوگرافی با خطوط شکسته نشان داده شده است.



شکل ۴- نقشه الگوی توزیع آلاینده CO در شهر تهران طی ساعات الف) ۰۰:۰۰ نیمه شب و ب) ۱۴:۰۰ ظهر برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲. ایستگاههای سنجش با علامت + مشخص شده اند. کنتورهای توپوگرافی با خطوط شکسته نشان داده شده است.

جدول ۱- مقایسه غلظت آلاینده های ایستگاههای تهران برای میانگین ماهانه دسامبر ۲۰۱۲.

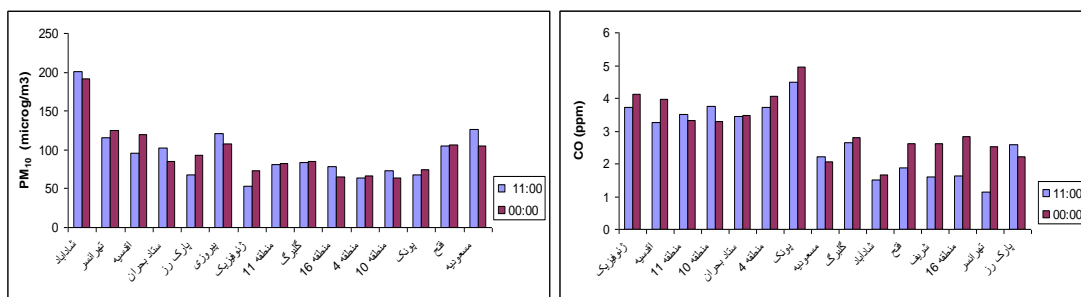
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	CO (ppm)	ایستگاه
۵۳	۱۰۰/۶	۳۸/۹	۱۱۷/۱	۳/۱	اقدسیه
۳۶/۹	۶۴/۸		۳۲۹/۳	۳/۷	منطقه ۴
۴۰	۸۰/۹	۱۷/۹	۶۸/۵	۲/۵	گلبرگ
۴۸	۱۰۹/۵	۱۶/۱			پیروزی
	۱۱۹/۲				محلانی
۳۰/۸	۱۱۴/۸	۱۵/۷	۵۲/۶	۱/۹	مسعودیه
۳۹/۲	۶۵/۳	۴۰/۷	۱۵۶/۸	۲/۳	منطقه ۱۶
۶۷/۸	۱۹۴/۴		۵۰/۱	۱/۶	شادآباد
	۱۰۰/۹				شریف
	۹۸/۸			۲/۳	فتح
۶۱/۳	۱۲۱/۵	۲۱/۸		۱/۹	تهرانسر
۴۸/۶	۸۴/۱	۲۱		۲/۱	پارک رز
	۷۳/۷	۳۰/۵	۱۴۰/۸	۳/۹	پونک
۴۶/۴	۶۱/۹	۱۵/۸		۳/۳	ژئوفیزیک
۵۱/۳	۹۲	۱۷/۳	۷۹/۹	۳/۲	ستاد بحران
۳۱/۵	۶۳/۸	۲۴/۵	۳۰۷/۴	۳/۳	منطقه ۱۰
۴۴/۹	۷۵/۸	۱۷/۷	۵۷/۳	۳/۲	منطقه ۱۱



الف ب

شکل ۵- مقایسه آلودگی ایستگاه‌های مختلف تهران برای میانگین ماهانه دسامبر ۲۰۱۲ از نظر آلاینده‌های

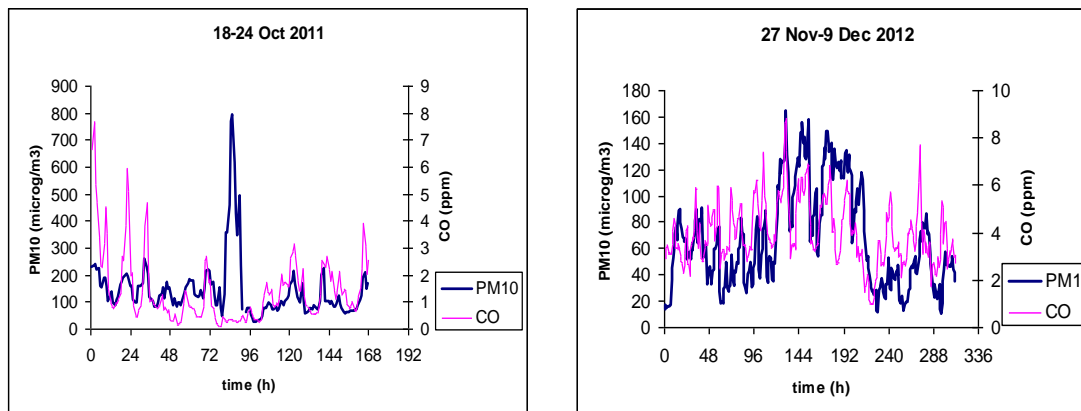
CO (الف) و  $PM_{2.5}$  (ب).



الف ب

شکل ۶- مقایسه آلودگی شب (ساعت ۰۰:۰۰) و روز (ساعت ۱۱:۰۰) ایستگاه‌های مختلف از نظر آلاینده‌های

CO (الف) و  $PM_{10}$  (ب) برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲.

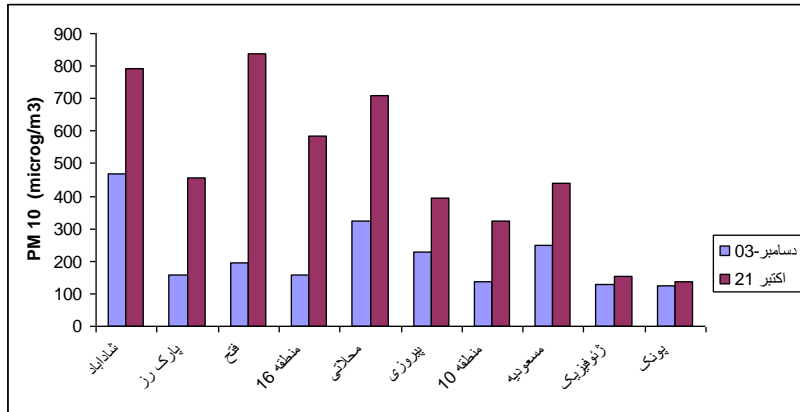


الف ب

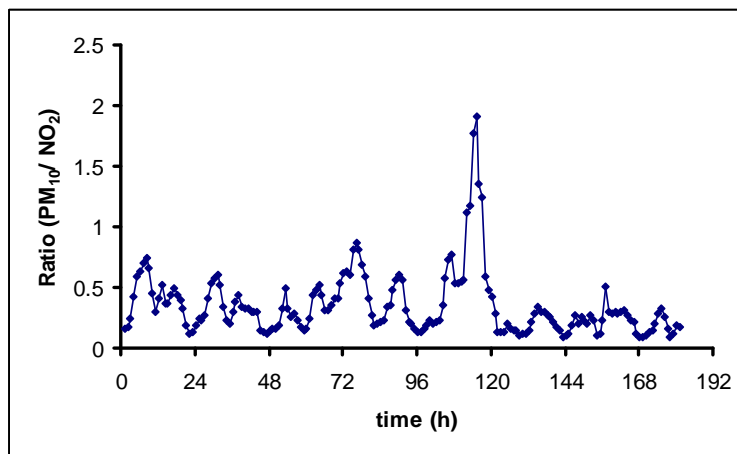
شکل ۷- تغییرات ساعتی غلظت ذرات معلق در دوره‌های حاد آلودگی برای الف) رخداد دوره ۵-۱ دسامبر ۲۰۱۲ (تعطیلی ادارات در ۱۴

و ۱۵ آذر ۱۳۹۱) در منطقه ۴ و ب) رخداد بیشینه ذرات معلق در ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ در ایستگاه شادآباد.

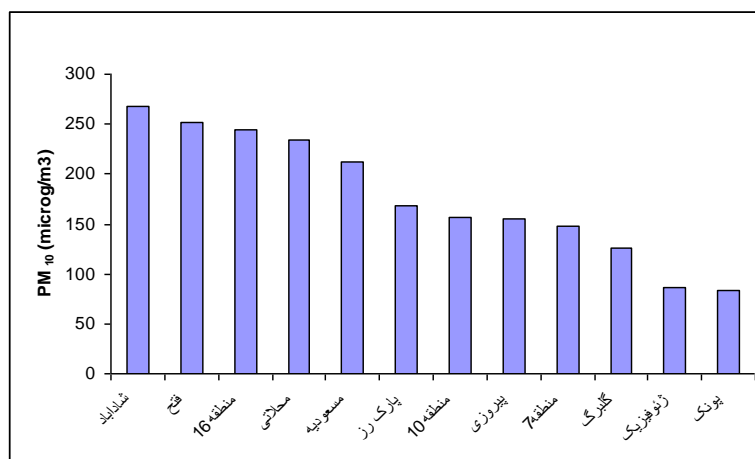




شکل ۸- مقایسه غلظت پیک روزانه ذرات معلق  $PM_{10}$  دو رویداد ۳ دسامبر ۲۰۱۲ (افزایش همه آلاینده ها) و ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ (افزایش ناگهانی ذرات معلق) در ایستگاه‌های مختلف.



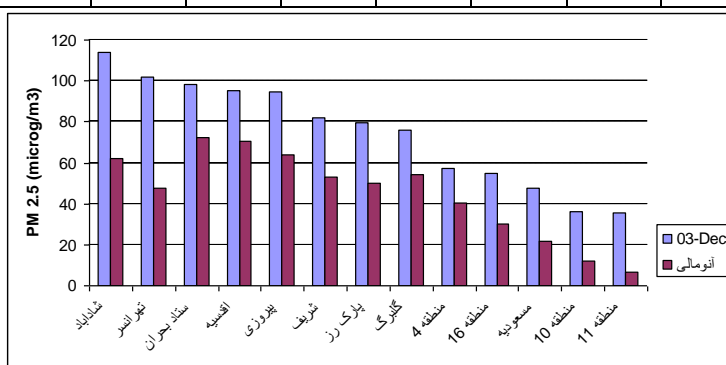
شکل ۹- تغییرات ساعتی نسبت آلاینده  $PM_{10}$  به  $NO_2$  از روز ۱۷ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۱۱ در ایستگاه ژئوفیزیک. کمیت نسبت محور قائم، بدون بعد است.



شکل ۱۰- مقایسه ایستگاهی غلظت میانگین روزانه ذرات معلق  $PM_{10}$  طی رویداد حاد آلودگی ذرات معلق ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱.

جدول ۲- مقادیر میانگین و آنومالی روزانه آلاینده های مختلف جوی در روز بیشینه آلودگی ۳ دسامبر ۲۰۱۲ نسبت به روزهای غیر آلوده قبل و بعد از دوره حاد آلودگی روزهای ۵-۲ دسامبر ۲۰۱۲ برای ایستگاه های مختلف تهران.

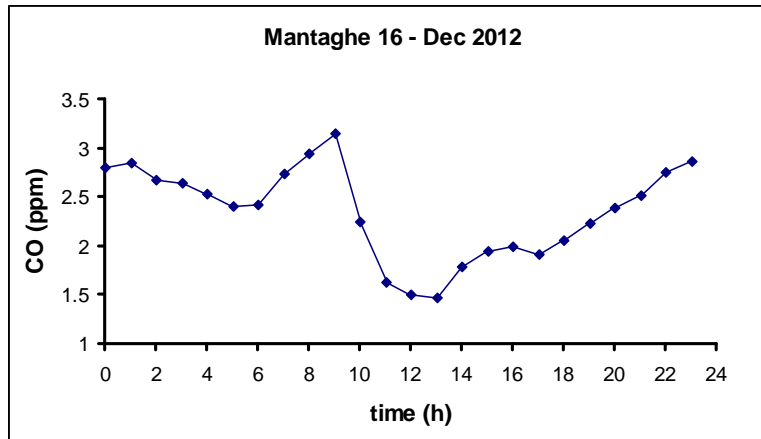
ایستگاه	CO (ppm)		NO <sub>x</sub> (ppb)		SO <sub>2</sub> (ppb)		PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	آنومالی	میانگین	آنومالی	میانگین	آنومالی	میانگین	آنومالی	میانگین	آنومالی	میانگین
اقدسیه	۰/۹	۴/۲	۹۹/۳	۱۶۴/۸	۱۰/۰	۴۴/۱	۱۰۸/۰	۱۷۵/۳	۷۰/۸	۹۵/۳
منطقه ۴	۰/۹	۴/۹	۳۰۲/۹	۴۹۱/۵			۵۴/۵	۱۰۶/۸	۴۰/۳	۵۷/۳
گلبرگ	۰/۷	۳/۱	۴۷/۰	۹۶/۸	۲/۶	۱۹/۸	۱۱۱/۹	۱۶۱/۳	۵۴/۰	۷۵/۷
پیروزی					۱۱/۵	۲۱/۰	۱۱۱/۹	۱۹۵/۰	۶۳/۸	۹۴/۴
محلای							۱۰۹/۸	۱۹۱/۴		
مسعودیه	۰/۵	۱/۷	۱۳/۶	۵۶/۷	۲/۳	۱۴/۹	۱۱۰/۵	۱۸۲/۹	۲۱/۷	۴۷/۶
منطقه ۱۶	۱/۲	۳/۳	۸۳/۹	۱۹۸/۳	۲۶/۱	۴۷/۱	۶۹/۵	۹۵/۹	۲۹/۹	۵۵/۱
شادآباد	۰/۱	۲/۱	۲۹/۶	۶۵/۶			۱۸۹/۳	۲۷۶/۹	۶۲/۴	۱۱۳/۸
شریف	۰/۳	۲/۸	۵۱/۲	۱۱۶/۴	۵/۷	۱۱/۹	۸۸/۶	۱۶۰/۸	۵۳/۱	۸۱/۸
فتح	۰/۰	۲/۹					۸۷/۳	۱۵۶/۵		
تهرانسر	۰/۰	۲/۵			۲۹/۲	۴۲/۴	۱۱۰/۳	۱۸۷/۱	۴۷/۵	۱۰۲/۰
پارک رز	۰/۳	۲/۰	۱۲/۸	۴۳/۳	۹/۶	۲۴/۰	۶۹/۴	۱۲۷/۴	۵۰/۲	۷۹/۷
پونک	۲/۳	۵/۳	۸۱/۱	۱۷۹/۵	۱۳/۰	۳۸/۹	۶۷/۰	۱۰۹/۹		
ژئوفیزیک	۱/۲	۴/۴			۶/۰	۱۸/۹	۴۷/۶	۹۲/۸		
ستاد بحران	۱/۶	۴/۸	۶۸/۹	۱۱۹/۰	۲۹/۲	۲۹/۲			۷۲/۵	۹۸/۵
منطقه ۱۰	۱/۹	۴/۷	۱۰۶/۱	۳۹۹/۶	۳/۹	۲۶/۲	۴۳/۳	۹۰/۲	۱۱/۸	۳۶/۰
منطقه ۱۱	۰/۰	۳/۳	۲۳/۹	۶۸/۹	۳/۶	۱۷/۱	۴۹/۴	۶۲/۵	۶/۹	۳۵/۷
میانگین تهران		۳/۵		۱۶۶/۷		۲۷/۳		۱۴۸/۳		۷۴/۸



شکل ۱۱- نمودار مقایسه ایستگاهی مقادیر میانگین و آنومالی روزانه آلاینده ذرات معلق ریز PM<sub>2.5</sub> در روز پیک آلودگی ۳ دسامبر ۲۰۱۲.

همان طور که مشاهده می شود، پیک روزانه در ساعت ۹ صبح با مقدار ۳/۱ ppm و کمینه روزانه در ساعت ۱۳ ظهر و با مقدار ۱/۵ ppm رخ داده است. با گسترش روز و نزدیک شدن ظهر، در اثر رشد ارتفاع لایه آمیخته و اختلاط هوا در این لایه، غلظت آلاینده CO به مقدار کمینه می رسد.

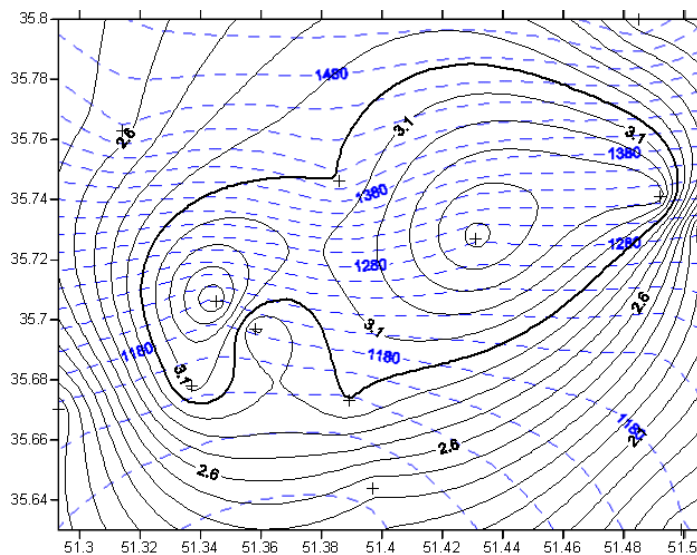
نتایج بررسی داده های ساعتی آلاینده CO طی ماه دسامبر ۲۰۱۲ نشان می دهد که پیک صبحگاهی بر اثر پیک ترافیک وسایل نقلیه موتوری معمولاً بین ساعات ۷ تا ۱۱ روی می دهد. به طور نمونه، تغییرات ساعتی آلاینده CO برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲ و ایستگاه منطقه ۱۶ تهران در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



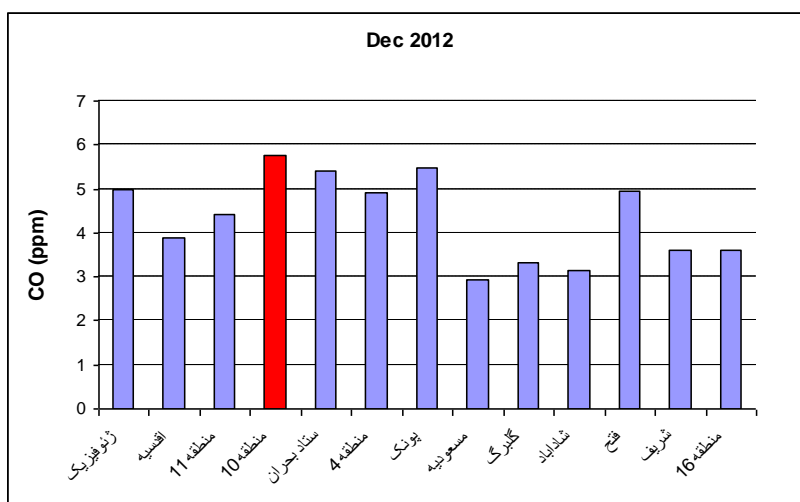
شکل ۱۲- الگوی روزانه آلاینده CO در ایستگاه منطقه ۱۶ تهران برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲.

۲۰۱۲ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، آلوده ترین ایستگاهها از نظر پیک صبحگاهی آلاینده CO به ترتیب منطقه ۱۰ (واقع در تقاطع یادگار امام و آزادی)، ستاد بحران (واقع در منطقه ۷) و پونک (واقع در شمال غرب) و پاک ترین ایستگاهها به ترتیب مسعودیه (واقع در جنوب شرق) و شادآباد (واقع در جنوب غرب) می باشند. محدوده تغییرات میانگین ماهانه پیک صبحگاهی آلاینده CO ایستگاههای مختلف بین ۵/۸ و ۲/۹ ppm می باشد. بالاترین فرکانس رخداد غلظت CO بالاتر از ۹ ppm در پیک صبحگاهی طی ماه دسامبر ۲۰۱۲ مربوط به ایستگاه ستاد بحران است.

شکل ۱۳ نقشه توزیع آلاینده CO شهر تهران را طی ساعت ۶ صبح برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، منطقه ای با آلودگی بالای CO در مرکز شهر از غرب تا شرق گسترده شده است. پیک صبحگاهی CO در ایستگاههای غربی مانند فتح، شادآباد و شریف زودتر از سایر مناطق تهران روی می دهد. یکی از عوامل این رخداد را می توان به ورود صبحگاهی خودروها به شهر از سمت بزرگراههای غربی نسبت داد. شکل ۱۴ مقایسه غلظت آلاینده CO پیک صبحگاهی ایستگاههای مختلف را برای میانگین ماه دسامبر



شکل ۱۳- نقشه توزیع آلاینده CO شهر تهران طی ساعت ۶ (پیک روزانه) صبح برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲. کنتورهای توپوگرافی با خطوط شکسته نشان داده شده است.



شکل ۱۴- مقایسه غلظت آلاینده CO پیک صبحگاهی ایستگاه‌های مختلف تهران برای میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲. بالاترین غلظت با رنگ قرمز مشخص شده است.

#### بحث و نتیجه گیری

نواحی بیابانی اطراف تهران باشد. این جریان‌ها می‌توانند باعث ته نشست مقداری از ذرات گرد و خاک در این مناطق شوند. از طرف دیگر، وجود زمین‌های کشاورزی در حومه جنوب شرقی تهران و وجود فضاهای سبز و پارک‌هایی مانند پارک پردیسان و پارک لویزان در کاهش ذرات معلق نواحی اطراف این مناطق می‌توانند مؤثر باشند. یکی از عوامل آلوده تر بودن مناطق مرکز تا شمال تهران از نظر آلاینده های گازی نسبت به سایر مناطق، انتقال آلاینده های گازی توسط باد آناباتیکی (دشت به کوه) به سوی شمال در روز هنگام و بر عکس آن در شب با باد کاتاباتیکی (کوه به دشت) کوهستان است که اغلب بر این منطقه، به‌ویژه در فصل سرد، حاکم است. تغییر عمق لایه مرزی جو روی این منطقه (افزایشی به سوی جنوب)، با توجه به توپوگرافی نیز روی این توزیع ها موثر است. شکل ۱۵ نیز نتیجه یک همانند سازی از گردش‌های محلی منطقه تهران را، که عمدتاً ناشی از کوهستان است، برای روز و شب نشان می‌دهد (سلطانزاده و همکاران، ۱۳۸۹). باد سطحی در روز با عمق و سرعت بیش‌تری نسبت به باد شبانه، به سوی شمال حرکت می‌کند، در حالی که باد شبانه محلی شمالی و کم عمق تر است. این بادهای نقش موثری در انتقال و توزیع آلاینده‌ها، همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴)، در طول شبانه روز دارد. کنتورهای هم مقدار آلاینده‌ها با کنتورهای مربوط به توپوگرافی به نظر می‌رسد بی ارتباط نباشند (شکل‌های ۳ و ۴) که می‌تواند در ارتباط با تغییرات عمق لایه مرزی این منطقه (افزایشی به سوی جنوب و مرکز شهر) با شد، همان‌طور که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است.

مقایسه آلودگی ایستگاه‌های شهر تهران از نظر آلاینده های مختلف برای میانگین ماهانه دسامبر نشان می‌دهد که آلوده ترین ایستگاه‌ها

در این تحقیق توزیع آلودگی هوای شهر تهران طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ بررسی شده است. نتایج بررسی توزیع آلاینده ها طی میانگین ماه دسامبر ۲۰۱۲ نشان می‌دهد که از نظر آلاینده CO ایستگاه‌هایی که در مناطق شمال غرب و شرق و مرکز تهران قرار دارند از جمله بونک و منطقه ۴ آلوده تر هستند و غلظت آلاینده CO از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. از نظر آلاینده  $NO_x$ ، ایستگاه منطقه ۴ در شرق تهران و ایستگاه منطقه ۱۰ در مرکز تهران آلوده ترین هستند. از نظر آلاینده  $SO_2$ ، ایستگاه منطقه ۱۶ در جنوب تهران، تهرانسر در غرب و اقدسیه در شمال شرق تهران آلوده ترین هستند. از نظر آلاینده های ذرات معلق  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  ایستگاه‌های غرب و جنوب غرب به‌خصوص، ایستگاه شادآباد آلوده ترین هستند و غلظت آلاینده های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، از نظر آلاینده های گازی مرکز، شرق، شمال و شمال غرب تهران و از نظر آلاینده های ذرات معلق، جنوب غرب و غرب تهران آلوده تر از سایر مناطق می‌باشند. به عبارت دیگر مناطقی که از نظر آلاینده ذرات معلق پاک تر هستند، از نظر آلاینده گازی آلوده ترند و مناطقی که از نظر آلاینده گازی پاک تر هستند، از نظر آلاینده ذرات معلق آلوده ترند.

مقایسه نقشه های توزیع آلاینده CO به‌هنگام ظهر و شب نشان می‌دهد که به‌هنگام ظهر گردبادان شدیدی بر هم مقدارهای آلاینده CO حاکم است و در شب این گردبادان کاهش یافته و توزیع یکنواخت تر می‌شود. این نشان از انتقال آلاینده های گازی توسط گردش محلی مربوط کوهستان است.

یکی از عوامل مؤثر بر آلودگی بالای ذرات معلق در جنوب غرب و غرب تهران می‌تواند وزش بادهای غالب با جهت جنوب غربی از

میانگین ماهانه فصل سرد تقریباً مشابه است. در دوره های حاد آلودگی هوا، آهنگ افزایش شدید ذرات معلق از نظر زمانی معمولاً ابتدا در مناطق جنوب غرب و غرب و سپس در مناطق دیگر تهران رخ می دهد. برای روی داد ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ (۲۹ مهر ۱۳۹۰) این آهنگ افزایش شدید از ساعت ۹ صبح در ایستگاه های غرب و جنوب غرب آغاز شده و سپس در طی چند ساعت تا ساعت ۱۶ بعد از ظهر به ترتیب به مناطق جنوب، شرق، مرکز و شمال غرب منتقل می شود.

برای رخ داد حاد آلودگی دوره روزهای ۵-۱۵ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱)، آنومالی هر یک از آلاینده ها در روز ۳ دسامبر (۱۳ آذر ۱۳۹۱) نسبت به روزهای قبل یا بعد از دوره، نشان می دهد که بیشترین آنومالی برای آلاینده CO مربوط به ایستگاه پونک با مقدار ۲/۳ ppm، برای آلاینده NO<sub>x</sub> مربوط به ایستگاه منطقه ۴ با مقدار ۳۰۲/۸ ppb، برای آلاینده SO<sub>2</sub> مربوط به ایستگاه تهرانسر با مقدار ۲۹/۲ ppb، برای آلاینده PM<sub>10</sub> مربوط به ایستگاه شادآباد با مقدار ۱۸۹/۳ μg/m<sup>3</sup>، برای آلاینده PM<sub>2.5</sub> مربوط به ایستگاه ستاد بحران با مقدار ۷۲/۵ μg/m<sup>3</sup> می باشد. مقایسه آنومالی ها نشان می دهد که در روزهای حاد آلودگی معمولاً بیشترین آنومالی ها در میان آلاینده های مختلف مربوط به ذرات معلق می باشد. بررسی آهنگ افزایش آلاینده ها در روزهای حاد آلودگی نشان می دهد که بالاترین آهنگ افزایش یا شدیدترین افزایش های ساعتی معمولاً به هنگام پیک آلودگی و یا ۱ تا ۳ ساعت قبل از آن رخ می دهد.

طی ماه دسامبر ۲۰۱۲ پیک صبحگاهی آلاینده CO بر اثر پیک ترافیک وسایل نقلیه موتوری معمولاً بین ساعات ۷ تا ۱۱ روی می دهد و با گسترش روز و نزدیک شدن ظهر، در اثر رشد ارتفاع لایه آمیخته و اختلاط هوا در این لایه، غلظت آلاینده CO به مقدار کمینه می رسد. در این ماه، آلوده ترین ایستگاه ها از نظر پیک صبحگاهی آلاینده CO به ترتیب منطقه ۱۰، ستاد بحران و پونک و پاک ترین ایستگاه ها به ترتیب مسعودیه و شاد آباد می باشد. نقشه توزیع آلاینده CO شهر تهران در ساعات مختلف طی ماه دسامبر ۲۰۱۲ نشان می دهد که آلودگی بالا در ساعات اولیه صبح، در مرکز شهر از غرب تا شرق مشاهده می شود سپس به تدریج تا مناطق شمالی شهر گسترده می شود.

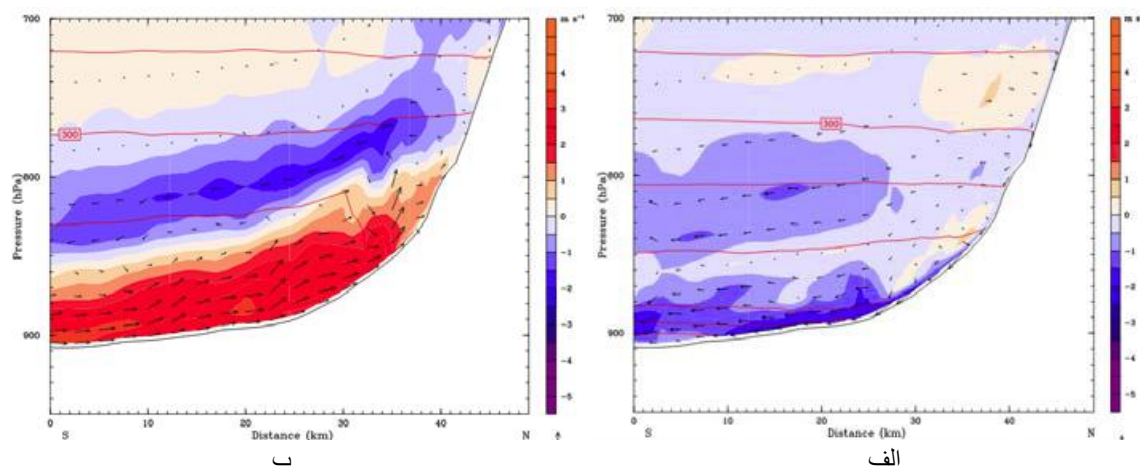
نتایج مطالعه حاضر می تواند در زمینه نحوه طراحی شهری به ویژه جانمایی تاسیسات حساس به آلودگی مورد استفاده قرار گیرد.

از نظر آلاینده CO، ایستگاه پونک با مقدار ۳/۹ ppm، از نظر آلاینده NO<sub>x</sub>، ایستگاه منطقه ۴ با مقدار ۳۲۹/۳ ppb، از نظر آلاینده SO<sub>2</sub>، ایستگاه منطقه ۱۶ با مقدار ۴۰/۷، از نظر آلاینده PM<sub>2.5</sub>، ایستگاه شادآباد با مقدار ۶۷/۸ μg/m<sup>3</sup> و از نظر آلاینده PM<sub>10</sub> ایستگاه شادآباد با مقدار ۱۹۴/۴ μg/m<sup>3</sup> می باشد. همچنین از نظر اکثر آلاینده ها ایستگاه مسعودیه در جنوب شرق تهران پاک تر از سایر ایستگاه ها است.

مقایسه غلظت های آلودگی شب و روز میانگین ماهانه دسامبر آلاینده های CO و ذرات معلق نشان می دهد که با توجه به پایداری بیش تر شبانه، رفتار آلاینده های گازی و ذرات معلق، متفاوت است به طوری که در اکثر ایستگاه ها از نظر آلاینده گازی CO آلودگی شب برابر و یا بیش تر از روز می باشد، در حالی که از نظر آلاینده ذرات معلق PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در برخی ایستگاه ها مانند اقدسیه، پونک، تهرانسر، ژئوفیزیک، پارک رز و گلبرگ آلودگی شب بیش تر از روز بوده و در سایر ایستگاه ها آلودگی شب برابر یا کم تر از روز می باشد. همین طور گردش های محلی نیز نقش موثری در توزیع آلاینده ها به ویژه از نوع گازی دارد.

بررسی دوره های حاد آلودگی در شهر تهران نشان می دهد که در برخی دوره های حاد آلودگی، همه آلاینده ها در طی چند روز افزایش یافته و این افزایش تدریجی می باشد. در برخی دیگر از دوره های حاد آلودگی شهر تهران، طی دوره یک یا دو روزه، افزایش شدید و ناگهانی ذرات معلق رخ می دهد و همه آلاینده ها چنین افزایش ناگهانی ندارند. دوره های حاد آلودگی بر اثر عوامل مختلف فرامحلی و محلی روی می دهد. عوامل هواشناسی همدیدی و محلی در ایجاد چنین دوره هایی تأثیر به سزایی دارند. در این تحقیق به طور نمونه دوره حاد آلودگی ۵-۱۵ دسامبر ۲۰۱۲ (۱۵-۱۱ آذر ۱۳۹۱) (افزایش کل آلاینده ها) و روز ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ (۲۹ مهر ۱۳۹۰) (افزایش ذرات معلق) به تفصیل بررسی شده است.

بررسی توزیع آلاینده ها در دوره های حاد آلودگی هوا نشان می دهد که در این دوره ها الگوهای توزیع آلودگی میانگین ماهانه دسامبر حفظ می شود. به بیان دیگر مناطقی که از نظر یک آلاینده به خصوص، در الگوی میانگین ماهانه آلوده تر هستند، در دوره های حاد آلودگی نیز به همان نحو آلوده تر از سایر مناطق می باشند و توزیع مکانی آلاینده های هوا در در دوره های حاد آلودگی هوا و



شکل ۱۵- برش های قائم مؤلفه W (مؤلفه قائم باد) که به طور رنگی است (قرمز معرف سرعت بالارو و آبی پایین رو است، در صورت رنگی نبودن تصویر، جهت بردارهای سرعت، سرعت های بالارو و پایین رو را مشخص می کنند) برای: الف) ساعت ۴:۳۰ محلی و ب) برای ساعت ۱۶:۳۰ محلی. بردارهای باد نیز نشان داده شده است. برش از ایستگاه مهرآباد برش در طول جغرافیایی ۵۱/۳۲۰. محور قائم و افقی به ترتیب نمایشگر ارتفاع فشاری و فاصله، بردارهای گردش هوا نیز نشان داده شده است (۱۳).

#### قدردانی

از شرکت کنترل آلودگی هوا برای در اختیار دادن داده های آلودگی هوا قدردانی می شود.

#### منابع

۵. محمدی، ح. و اعتماد، ا.ا. (۱۳۹۰)، تأثیر عناصر جوی و آلاینده های هوای شهر تهران بر بیماری سرطان ریه، فصلنامه سپهر، ۷۸، ۷۹-۸۸.
۶. شمسی پور، ع.ا.، نجیب زاده، ف. و حسین پور، ز. (۱۳۹۱)، شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۹-۳۶.
۷. یزدی، م. ن. و ارحامی، م. (۱۳۹۱)، بررسی سطح آلاینده های هوا در حوالی بزرگراه ها و عوامل مؤثر بر آن در تهران، همایش ملی جریان و آلودگی هوا، ۲۴-۲۵ آبان ۱۳۹۱.
۸. اشرفی، خ.، معجری، م.، انواری، ا. و فیض، س. م. ع. (۱۳۹۱) تأثیر شرایط هواشناختی بر غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون در سطح شهر تهران، همایش مدیریت آلودگی هوا و صدا، ۱۴-۱۵ آذر ماه ۱۳۹۱.
۹. اربابی، ا.، محقق، پ. و صابری دوست، م. (۱۳۹۱)، بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در تهران با استفاده از تحلیل عاملی، همایش ملی جریان و آلودگی هوا، ۲۴-۲۵ آبان ۱۳۹۱.
۱۰. هالک، ف. س. و کاوسی رحیم، ع. (۱۳۹۱)، پروفیل عمودی آلاینده ذرات معلق در محیط شهری کرج در
۱. Muir, D., Longhurst, J.W.S. and Tubb, A., (2006), Characterization and quantification of the sources of PM10 during air pollution episodes in the UK, Science of the Total Environment, 358, pp. 188–205.
2. Vardoulakis, S. and Kassomenos, P., (2008), Sources and factors affecting PM10 levels in two European cities: Implications for local air quality management, Atmospheric Environment, 42, pp. 3949–3963.
3. Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., Wang, W., (2011), Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China, Environmental Pollution, 159, pp. 2155-2163.
۴. بابازاده، م. و محمدی، ح. (۱۳۸۹)، بررسی روند آلایندهها و جو در شکل گیری مه دود فتوشیمیایی در شهر تهران، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)، ۳۱، ۱۰۹-۱۲۹.

- های (۲۰۰۸-۲۰۱۱)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۳، ۱۹۱-۲۰۶.
۱۳. سلطانزاده، ا.، علی اکبری بیدختی، ع.ع. و زوار رضا، پ. (۱۳۹۱)، بررسی جریان های محلی روی تهران با استفاده از یک مدل شهری تک لایه ای جفت شده با مدل میان مقیاس WRF در حضور شرایط جوی ایده آل، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۴، ۲۰۷-۲۲۱.
- استان البرز، همایش مدیریت آلودگی هوا و صدا، ۱۴-۱۵ آذر ماه ۱۳۹۱.
۱۱. مرادی، پ. و علمی زاده، ه.، (۱۳۹۱)، بررسی اثرات پدیده گرد و غبار بر سلامت و محیط زیست با تأکید بر استان خوزستان، همایش ملی جریان و آلودگی هوا، ۲۴-۲۵ آبان ۱۳۹۱.
۱۲. شرعی پور، ز. و علی اکبری بیدختی، ع.ع.، (۱۳۹۲)، بررسی آلاینده ازن سطحی در شهر تهران طی دوره سال