

۱۳۹۵

گزارش کیفیت هوای تهران







شرکت کنترل کیفیت هوا

وابسته به شهرداری تهران

AirQualityControl Company

Subsidiary of Tehran Municipality

گزارشات محتوایی کاربردی و تخصصی

- کد گزارش QM96/02/01(U)/1
- عنوان گزارش • گزارش کیفیت هوای تهران ۱۳۹۵
- نویسندگان • کیفیت هوا • مریم نادری، محسن روشنی، معصومه عباسیان
• هواشناسی • سارا تربیتیان
• سیاهه انتشار و مدل سازی • حسین شهبازی
- مدیر تولید • لیلا نظری
- ناظر علمی • وحید حسینی، مریم نادری
- تولید داده • احمد طاهری، حسین حسنخانی، امیر نجفی، الهام کریمی، طیبه میرعابدینی
- عکس • امید جعفرنژاد
- طراحی هنری • فاطمه تکلو
- طراحی جلد • سولماز احدی
- تاریخ • اردیبهشت ماه ۱۳۹۶
- نحوه ارجاع • ذکر مطالب گزارش با مجوز شرکت کنترل کیفیت هوا
و ذکر مرجع زیر بلامانع است:
"گزارش کیفیت هوای تهران ۱۳۹۵"، QM96/02/01(U)/1، اردیبهشت ماه ۱۳۹۶
- نسخه آنلاین • فایل پی دی اف این گزارش در وبسایت شرکت کنترل کیفیت هوا به آدرس <http://air.tehran.ir> قابل دسترسی می باشد.
- چاپ • مرکز چاپ نشر شهر



شناسنامه





چالش آلودگی هوا که مستقیماً با سلامت مردم در ارتباط می‌باشد یکی از نتایج توسعه صنعتی، افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و در نتیجه توسعه حمل و نقل بوده است و در حال حاضر به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های ساکنان شهرهای بزرگ و شاید تمام مناطق از جمله روستاهای دورافتاده کشور نیز قرار گرفته باشد. این مشکل که در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا تحت کنترل قرار گرفته است، به علت تعدد منابع آلاینده و همین‌طور نهادهای تصمیم‌گیر در کشور، ابعادی پیچیده به خود گرفته که برای حل آن در مرحله اول نیاز به شناسایی منابع آلاینده و میزان آلودگی در مناطق مختلف می‌باشد.



گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۵ ششمین سند منتشر شده از سوی شرکت کنترل کیفیت هوا می‌باشد که کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۵ را در یک مجموعه منسجم مورد بررسی قرار داده و وضعیت غلظت آلاینده‌ها را از بعد زمانی و مکانی تحلیل نموده است. همچنین در این گزارش بررسی پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر وضعیت غلظت آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سهم انتشار آلاینده‌های هوا از منابع ساکن و متحرک در شهر تهران تعیین شده است.



بر طبق این گزارش شهر تهران طی سال ۱۳۹۵، دارای ۱۷ روز پاک (۵٪)، ۲۶۰ روز سالم (۷۱٪)، ۸۰ روز ناسالم برای گروه‌های حساس جامعه (۲۲٪) و ۹ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه (۲٪) بوده است و در مقایسه با سال قبل، ۲۲ روز (۶٪) از تعداد روزهای نامطلوب کاسته شده است. آلوده‌ترین روز از منظر شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۵ مربوط به بیست دی ماه با شاخص ۱۵۹ و پاک‌ترین روزهای سال، روز اول و





24%

PM_{2.5}

PM₁₀

CO

O₃

NO₂

SO₂

یازدهم فروردین با شاخص ۳۵ بوده است. در این سال بیشترین روزهای آلوده به ترتیب در ماه‌های دی (۲۲ روز) و آبان (۱۶ روز) رخ داده است. ماه فروردین به علت وجود ۱۰ روز پاک و ۲۱ روز سالم و ماه اردیبهشت با وجود ۱ روز پاک و ۳۰ روز سالم و بدون هیچ روز آلوده، به ترتیب از مطلوب‌ترین کیفیت هوا نسبت به سایر ماه‌های سال برخوردار بوده‌اند. در سال‌های اخیر آلاینده ذرات معلق به‌ویژه ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون به عنوان آلاینده شاخص شهر تهران مطرح شده و طی سال ۱۳۹۵، ۸۸ روز، به لحاظ آلاینده PM_{2.5} و ۶ روز از منظر آلاینده PM₁₀ در وضعیت نامطلوب قرار داشته است.

روند غلظت آلاینده‌های O₃، SO₂، CO و PM_{2.5} در سالیان اخیر کاهشی بوده و آلاینده‌های PM₁₀ و NO₂ پس از سیر کاهشی، روندی افزایشی با شیب کم را در پیش گرفته‌اند. خوشبختانه به لحاظ آلاینده منواکسیدکربن (CO) شهر تهران در وضعیت مطلوب قرار دارد. با بررسی وضعیت آلاینده ازن (O₃) مشاهده می‌شود که وضعیت این آلاینده طی سال ۱۳۹۵ در شرایط مطلوبی قرار داشته است. آلاینده‌های دی‌اکسیدگوگرد (SO₂) و دی‌اکسیدنیتروژن (NO₂) در تمام روزهای سال از نظر استاندارد روزانه در شرایط مطلوب قرار داشته‌اند درحالی‌که بررسی وضعیت این دو آلاینده از منظر استاندارد سالانه نشان می‌دهد که طی این سال غلظت هر دو آلاینده فراتر از حد استاندارد سالانه قرار دارند.

در مجموع باید گفت در کلان‌شهر تهران آلاینده‌های ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون (PM_{2.5}) و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM₁₀) در شرایط نامطلوبی قرار دارند و کلیه روزهای آلوده سال ۱۳۹۵ به علت افزایش غلظت این دو آلاینده (به‌ویژه PM_{2.5}) بوده است. از نظر آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، سال ۱۳۸۵

پاک‌ترین و سال ۱۳۸۷ آلوده‌ترین سال بوده است که از آن سال به بعد تعداد روزهای آلوده این آلاینده کاهش یافته است. شایان ذکر است، اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) از اوایل مهر ماه سال ۱۳۸۹ در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا انجام شده است و دلیل افزایش تعداد روزهای آلوده در سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵ عموماً به علت اندازه‌گیری این آلاینده بوده است که طی این بازه زمانی، سال ۱۳۹۰ با داشتن ۲۱۸ روز آلوده از سایر سال‌های مورد مطالعه در وضعیت نامناسب‌تری قرار داشته و سال ۱۳۹۵ از کمترین تعداد روزهای آلوده (۸۸ روز) به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$ برخوردار بوده است.



چکیده

بدیهی است که شرایط آب‌وهوایی نقشی تعیین‌کننده در چگونگی رفتار بسیار پیچیده آلاینده‌ها ایفا می‌کند. در این گزارش تغییرات برخی از مهمترین پارامترهای هواشناسی (شامل سرعت و جهت باد، میزان بارش، دما و غیره) طی دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مطالعه گردید. جدا از تغییرات نسبی برخی عناصر هواشناسی در برخی از ماه‌ها، نتایج این بررسی در کل نشان‌دهنده تغییرات جزئی (بین ۵٪+ و ۵٪-) پارامترهای مذکور طی این دو سال بوده است. همچنین روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در چگونگی توزیع و پراکندگی ذرات معلق برای دو نمونه موردی طی سال ۱۳۹۵ (شامل پدیده‌های گردوغبار، برقراری شرایط جوی ناپایدار و بارندگی) بررسی گردید و نتایج حاصله بر ارتباط مستقیم بین شرایط جوی و چگونگی توزیع و ماندگاری آلاینده‌ها دلالت می‌کند. در بخشی از این گزارش، سیاهه انتشار شهر تهران برای سال مبنا ۱۳۹۲ و برای آلاینده‌های منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق



چکیده



برآورد گردیده است. در این سیاهه انتشار منابع ساکن و متحرک شهر تهران در تخمین تولید آلودگی در نظر گرفته شده، که منابع متحرک شامل ناوگان‌های خودروهای سواری، تاکسی، موتورسیکلت، وانت، مینی‌بوس، اتوبوس و کامیون و منابع ساکن شامل صنایع آلاینده، بخش خانگی و تجاری، تبدیل انرژی (شامل نیروگاه و پالایشگاه)، پایانه‌ها، اتوبوس‌های درون شهری و جایگاه‌های عرضه بنزین هستند. نتایج نشان داده است که میزان تولید آلودگی سالانه شهر تهران از منابع آلاینده مورد بررسی در حدود ۷۲۷ هزار تن در سال می‌باشد که در این میان سهم منابع ساکن ۱۵٪ و سهم منابع متحرک ۸۵٪ است. بررسی سهم منابع در تولید هریک از آلاینده‌ها به تفکیک نشان می‌دهد که سهم منابع متحرک در تولید آلاینده‌های منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق به ترتیب ۹۸٪، ۴۷٪، ۶٪، ۸۶٪ و ۷۰٪ می‌باشد و مابقی توسط منابع ساکن تولید می‌شوند. در بخشی از این گزارش به بررسی موردی شرایط جوی و کیفیت هوای شهر تهران طی یک بازه آلودگی هوا (۱۹ آبان الی ۵ آذر ماه سال ۱۳۹۵) پرداخته شده است. در بازه مورد نظر، شرایط کیفی هوای شهر تهران به دلیل حاکمیت شرایط جوی پایدار و تشدید وارونگی دما، برای چندین روز متوالی در شرایط نامطلوب قرار گرفت و به تدریج با افزایش میزان ناپایداری جوی، وزش باد نسبتاً شدید و بارندگی، وضعیت کیفیت هوای تهران به سمت بهبودی سوق پیدا نمود. همچنین در این مطالعه با استفاده از سیستم مدلسازی ریاضی توسعه داده شده در شرکت کنترل کیفیت هوا، شبیه‌سازی توزیع آلاینده $PM_{2.5}$ انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده از مدلسازی و غلظت مشاهده شده در برخی از ایستگاه‌ها برای آلاینده $PM_{2.5}$ طی این بازه زمانی، حاکی از تبعیت نتایج هر دو روش از الگویی مشابه می‌باشد.

۱۴	مقدمه
۱۹	فصل اول کلیات و تعاریف
۲۰	۱-۱ منابع انتشار و اثرات بهداشتی آلاینده‌های معیار
۲۲	۲-۱ استاندارد هوای آزاد در ایران
۲۳	۳-۱ شاخص کیفیت هوا (AQI)
۲۹	۴-۱ شاخص هم‌اکنون
۳۱	۵-۱ پیامدهای اقتصادی، آسیب‌های اجتماعی و زیست‌محیطی آلودگی هوا
۳۵	فصل دوم گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده‌ها
۳۷	طبقه‌بندی ایستگاه‌ها
۴۱	۱-۲ آلاینده منواکسیدکربن 
۴۱	۱-۲-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی سال ۱۳۹۵
۴۲	۱-۲-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
۴۳	۱-۲-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
۴۵	۱-۲-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵
۴۶	۲-۲ آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون 
۴۶	۲-۲-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۳۹۵
۴۷	۲-۲-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
۴۸	۲-۲-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
۵۱	۲-۲-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵
۵۲	۳-۲ آلاینده دی‌اکسیدنیترژن 
۵۲	۳-۲-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسیدنیترژن طی سال ۱۳۹۵
۵۲	۳-۲-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسیدنیترژن طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
۵۳	۳-۲-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیترژن در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
۵۵	۳-۲-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیترژن طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵
۵۶	۴-۲ آلاینده ازن 
۵۶	۴-۲-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ازن (O_3) طی سال ۱۳۹۵
۵۷	۴-۲-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
۵۸	۴-۲-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
۶۱	۴-۲-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵



فهرست

۶۲ ▶ ۲-۵ آلاینده دی‌اکسیدگوگرد SO_2

- ۶۲ ۲-۵-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسیدگوگرد (SO_2) طی سال ۱۳۹۵
- ۶۲ ۲-۵-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسیدگوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
- ۶۳ ۲-۵-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدگوگرد (SO_2) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
- ۶۵ ۲-۵-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدگوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵

۶۷ ▶ ۲-۶ آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $۲/۵$ میکرون $PM_{2.5}$

- ۶۷ ۲-۶-۱ روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $۲/۵$ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۳۹۵
- ۶۸ ۲-۶-۱-۱ مدلسازی نحوه توزیع و پراکنش آلاینده $PM_{2.5}$ طی شش ماه دوم سال ۱۳۹۵
- ۷۰ ۲-۶-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $۲/۵$ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
- ۷۱ ۲-۶-۳ میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $۲/۵$ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
- ۷۴ ۲-۶-۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $۲/۵$ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵

فصل سوم گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب شاخص AQI

۷۸ ▶ ۳-۱ وضعیت کیفیت هوا براساس شاخص آلودگی هوا

- ۷۸ ۳-۱-۱ کیفیت هوا براساس شاخص کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵
- ۸۱ ۳-۱-۲ کیفیت هوا براساس شاخص AQI طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۸۳ ۳-۱-۳ کیفیت هوا براساس شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۸۴ ۳-۱-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص AQI

۸۴ ▶ ۳-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده متواکسیدکربن CO

- ۸۶ ۳-۲-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵
- ۸۷ ۳-۲-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده CO طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۸۹ ۳-۲-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده CO طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۹۰ ۳-۲-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده CO

۹۲ ▶ ۳-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون PM_{10}

- ۹۲ ۳-۳-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵
- ۹۴ ۳-۳-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۹۵ ۳-۳-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۹۶ ۳-۳-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده PM_{10}

۹۹ ▶ ۳-۴ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده دی‌اکسیدنیترژن NO_2

- ۹۹ ۳-۴-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO_2 طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵
- ۱۰۰ ۳-۴-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۰۲ ۳-۴-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۰۳ ۳-۴-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده NO_2



فهرست



۱۰۵ ▶ ۳-۵ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3

- ۱۰۵ : ۳-۵-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵
- ۱۰۶ : ۳-۵-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۰۸ : ۳-۵-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۰۹ : ۳-۵-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده O_3

۱۱۱ ▶ ۳-۶ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده دی‌اکسیدگوگرد SO_2

- ۱۱۱ : ۳-۶-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵
- ۱۱۲ : ۳-۶-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۱۴ : ۳-۶-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۱۵ : ۳-۶-۴ تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده SO_2

۱۱۷ ▶ ۳-۷ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از $PM_{2.5}$ میکرون

- ۱۱۷ : ۳-۷-۱ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵
- ۱۱۸ : ۳-۷-۲ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۲۰ : ۳-۷-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵
- ۱۲۱ : ۳-۷-۴ تقویم کیفیت هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$

۱۲۳ ▶ ۳-۸ تغییرات تعداد روزهای آلوده‌ی هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵
به لحاظ آلاینده‌های مختلف

۱۲۸ ▶ ۴-۱ نقش پارامترهای هواشناسی بر کیفیت هوا

- ۱۳۰ : ۴-۱-۱ توپوگرافی
- ۱۳۱ : ۴-۱-۲ فشار
- ۱۳۴ : ۴-۱-۳ سرعت و جهت باد
- ۱۳۵ : ۴-۱-۴ گل‌باد
- ۱۳۸ : ۴-۱-۴ پایداری و ناپایداری جوی

۱۴۰ ▶ ۴-۲ بررسی تغییرات ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

۱۴۲ ▶ ۴-۳ بررسی موردی چند پدیده جوی

- ۱۴۲ : ۴-۳-۱ پدیده گردوغبار-شهریور ماه ۱۳۹۵
- ۱۴۶ : ۴-۳-۲ شرایط جوی ناپایدار به همراه بارش باران-فروردین ماه ۱۳۹۵



فهرست

۱۵۱	فصل پنجم	سیاهه انتشار شهر تهران
	۱۵۱ ▶	۱-۵ سیاهه انتشار کل
۱۶۵	فصل ششم	بررسی و مدلسازی يك بازه آلودگی هوا در شهر تهران در سال ۱۳۹۵
	۱۶۷ ▶	۱-۶ تحلیل شرایط آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی
	۱۷۶ ▶	۲-۶ مدل سازی آلودگی هوا
۱۸۷	فصل هفتم	اطلاعرسانی آلودگی هوا
	۱۸۸ ▶	۱-۷ پایگاه اینترنتی شرکت کنترل کیفیت هوا
	۱۹۵ ▶	۲-۷ سامانه برخط پایش آلودگی هوا
	۱۹۵ ▶	۳-۷ سامانه برخط پایش آلودگی صدا
	۱۹۷ ▶	۴-۷ سامانه تحت وب سیاهه انتشار شهر تهران
	۲۰۱ ▶	۵-۷ سامانه تحت وب پیش بینی آلودگی هوای شهر تهران
	۲۰۳ ▶	۶-۷ راهبری و اطلاعرسانی روزانه آلودگی هوای تهران از طریق شبکه های اجتماعی
	۲۰۵ ▶	۷-۷ اپلیکیشن ”کیفیت هوای تهران“ دسترسی شهروندان به اطلاعات لحظه ای و برخط آلودگی هوا
	۲۰۷ ▶	۸-۷ اطلاعرسانی از طریق تابلوهای اطلاعرسان و تلویزون های شهری
	۲۰۸ ▶	۹-۷ استند اطلاعرسان آلودگی هوا و صدا
	۲۰۸ ▶	۱۰-۷ نرم افزار تجميع سامانه های شرکت کنترل کیفیت هوا
۲۱۱	فصل هشتم	پروژه های مهم شرکت کنترل کیفیت هوا
	۲۱۲ ▶	۱-۸ ارزیابی جامع آلاینده های هوای شهر تهران بزرگ (سپهر)
	۲۲۳ ▶	۲-۸ پروژه منشأیابی ذرات
	۲۳۱ ▶	۳-۸ نقشه های آلودگی صوتی شهر تهران
۲۳۵	فصل نهم	پیوست ها
	۲۴۲ ▶	منابع



۱۴

مقدمه

براساس گزارش موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان^۱ IARC وابسته به سازمان جهانی بهداشت^۲، در سال ۲۰۱۳ آلودگی هوا و ذرات معلق هوا به عنوان ترکیبات سرطان‌زای درجه ۱ برای انسان طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین بر اساس گزارش بار بیماری‌های جهانی (۲۰۱۳)، آلودگی هوا چهارمین عامل خطر برای مرگ منتسب در دنیا و همچنین هفتمین عامل خطر در ایران می‌باشد. کلان شهر تهران با توجه به شرایط توپوگرافی و اقلیم آن و همچنین تردد نزدیک به ۵ میلیون وسیله نقلیه و استقرار تعداد زیادی واحدهای صنعتی بزرگ و کوچک، یکی از هشت شهر بزرگ کشور است که آلودگی هوا در آن به یکی از مشکلات بزرگ فراروی مردم و مسئولین این شهر تبدیل شده و در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح و اتخاذ راهکارهای کارشناسانه، می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت شهروندان و محیط زیست شهر به جای گذارد.

هر چند که سال‌ها است متولیان امر برای کاهش آلاینده‌های هوا در کلان شهر تهران تلاش می‌کنند اما بررسی وضعیت موجود، بیانگر آن است که تا دستیابی به هوای پاک، راه طولانی در پیش است و کیفیت هوای شهر تهران با استانداردهای جهانی و ملی فاصله زیادی دارد.

مهم‌ترین نکته در امر مدیریت کیفیت هوا اندازه‌گیری دقیق انواع آلاینده‌های هوا بر اساس استانداردهای بین‌المللی، منشأیابی و تدوین راهکارهای مناسب برای کاهش آن‌ها به شمار می‌رود.

1. International Agency for Research on Cancer

2. WHO

شرکت کنترل کیفیت هوا با توجه به اهمیت مقوله آلودگی هوا در کلان شهر تهران تولید گزارش سالانه کیفیت هوا را از سال ۱۳۹۰ با هدف گردآوری اطلاعات پایه سنجش آلاینده‌های هوا و تهیه بانک اطلاعات داده‌ها از یک طرف و تسهیل در امر پژوهش و ارتقاء دانش علمی مدیران و تصمیم‌گیرندگان از طرف دیگر در دستور کار خود قرار داده که امید است مورد استفاده متولیان امر، پژوهشگران و عموم شهروندان واقع شود.









O_3



SO_2

NO_2



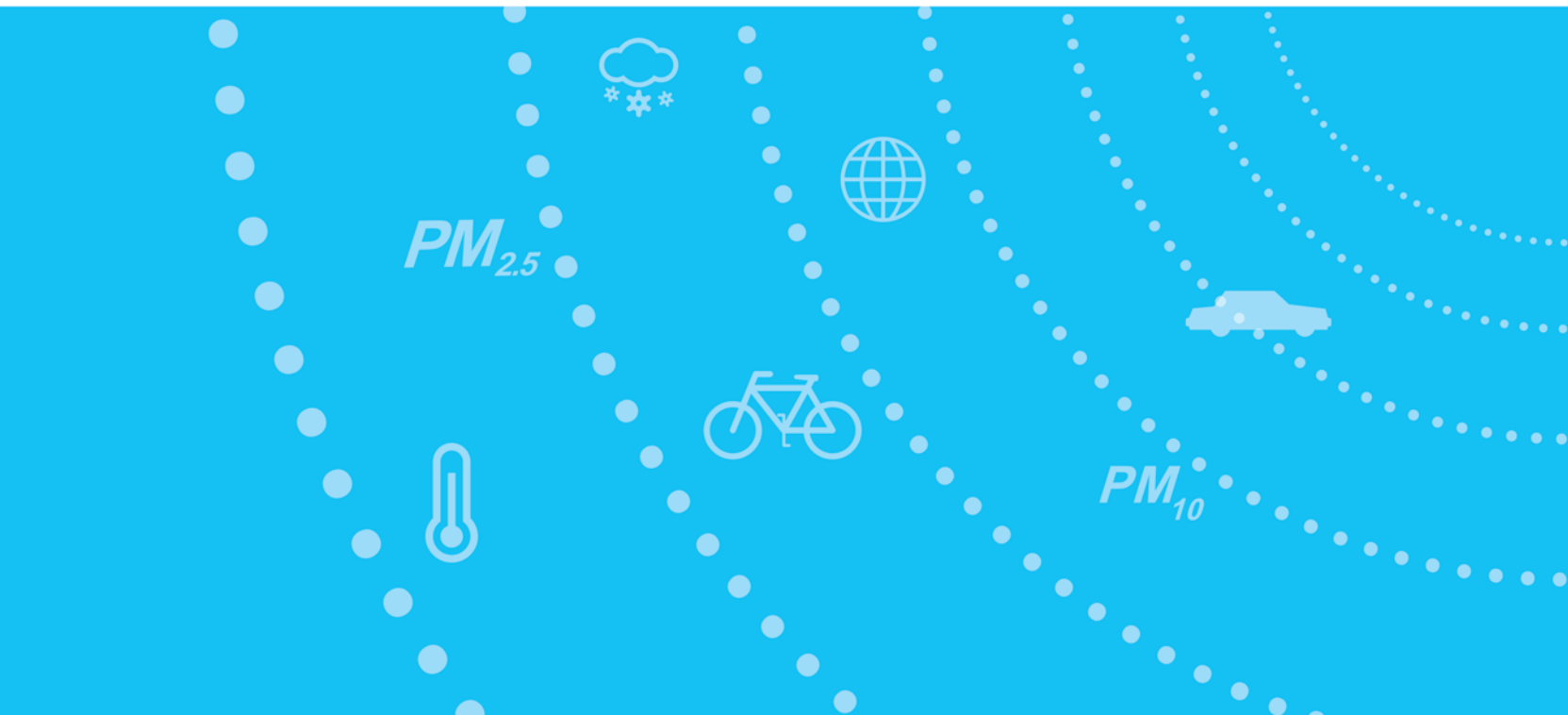
CO



AQI



کلیات و تعاریف



هوای تنفسی انسان و موجودات دیگر در سطح زمین مخلوطی از گازهایی نظیر نیتروژن (حدود ۷۸٪)، اکسیژن (۲۱٪) و درصد کمی از گازهای دیگر در کنار بخار آب می‌باشد. حضور برخی مواد دیگر در این میان حتی به صورت ناچیز می‌تواند برای جانداران و انسان مخاطره‌آمیز باشد و به همین علت از آن به عنوان آلودگی هوا یاد می‌گردد. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۶ سازمان بانک جهانی، قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا چهارمین عامل منجر به مرگ در سراسر جهان بعد از چاقی، رژیم غذایی نامناسب و سیگار می‌باشد. این گزارش نشان می‌دهد، آلودگی هوا بیش از عواملی چون کم‌ تحرکی، مصرف الکل و مواد مخدر و آلودگی آب منجر به مرگ و میر انسان‌ها می‌شود [۱].

با توجه به خطرات جبران‌ناپذیر ناشی از آلودگی هوا، بر ضرورت تحقیق و بررسی منابع تولید و میزان غلظت هر یک از آلاینده‌های هوا تأکید می‌گردد. در این بخش مفاهیم کلی در خصوص آلاینده‌های معیار، حدود استاندارد، منابع و اثرات بهداشتی ارائه شده و تعاریف مورد استفاده برای اطلاع‌رسانی به اختصار توضیح داده شده است.

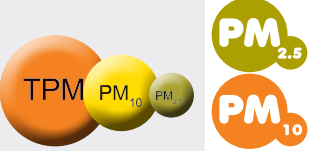
۱-۱- منابع انتشار و اثرات بهداشتی آلاینده‌های معیار

آلودگی هوا عبارت است از وجود هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز و تشعشع پرتوزا و غیرپرتوزا در هوا به تعداد و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر جانداران به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد.

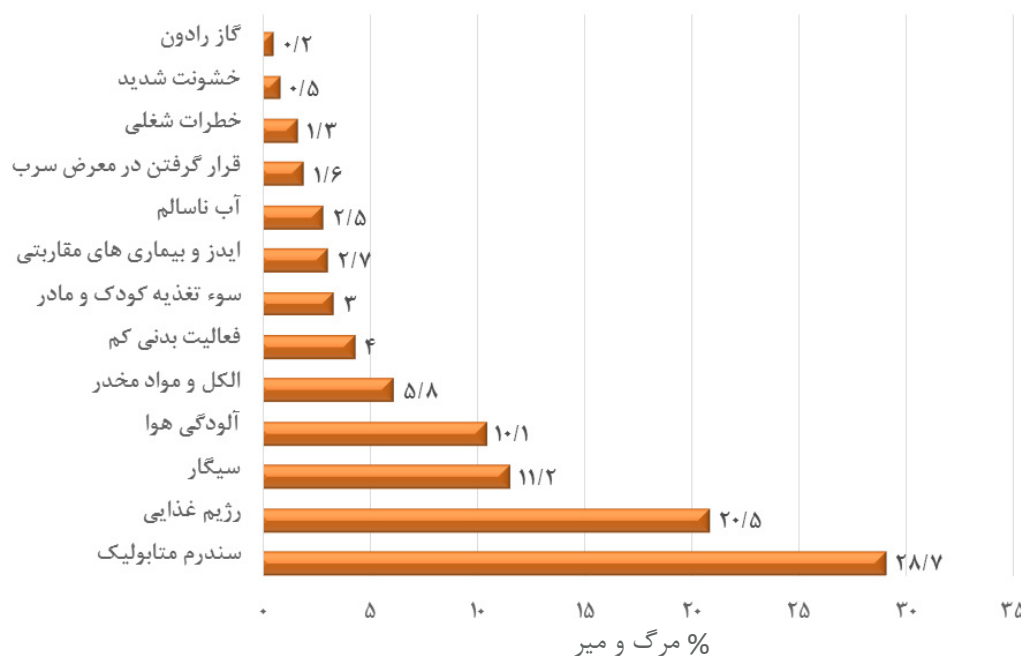
آلاینده‌های هوا از نظر منشأ و اثرات بهداشتی بسیار متعدد بوده و بررسی تمامی آنها عملاً غیر ممکن است. بنابراین عموماً گروهی از آلاینده‌های هوا به نام آلاینده‌های معیار شامل منواکسیدکربن، ازن، ذرات معلق، دی‌اکسیدنیتروژن و دی‌اکسیدگوگرد، با توجه به اثرات بهداشتی و گستردگی منابع انتشار آنها در اندازه‌گیری‌های مداوم مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

مفاهیم کلی در خصوص منابع انتشار عمده و تأثیر بهداشتی این آلاینده‌ها به اختصار در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

جدول ۱-۱ منابع انتشار و تأثیر بهداشتی آلاینده‌های معیار

آلاینده	تأثیر بهداشتی	منبع انتشار
اوزن 	کاهش عملکرد ریه و افزایش علائم تنفسی مانند سرفه، تنگی نفس، تشدید آسم و سایر بیماری‌های ریوی، افزایش استفاده از دارو، مراجعات و پذیرش بیمارستانی، اورژانس و مرگ و میر زودرس	این آلاینده ثانویه در اثر واکنش شیمیایی ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید تولید می‌شود.
ذرات معلق 	مواجهه کوتاه‌مدت با این آلاینده می‌تواند منجر به تشدید علائم بیماری‌های قلبی - ریوی و علائم تنفسی، افزایش نیاز به استفاده از دارو و پذیرش بیمارستانی گردد. مواجهه طولانی‌مدت عامل مرگ و میر زودرس و تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی است.	ذرات معلق در اثر انتشار مستقیم و یا واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شوند. عمده‌ترین منابع انتشار این آلاینده شامل احتراق سوخت (مانند سوزاندن زغال سنگ و چوب)، خودروها و ماشین‌آلات عمرانی دیزلی فاقد فیلتر دوده، فرایندهای صنعتی، کشاورزی و انتشار از جاده، خودروها (اگزوز، لنت، لاستیک و ...) می‌باشند.
دی‌اکسید نیتروژن 	تشدید بیماری‌های ریوی، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی، اورژانس و افزایش آسیب‌پذیری و استعداد ابتلا به عفونت‌های ریوی	احتراق سوخت (از وسایل نقلیه، واحدهای تولید برق، صنایع، بویلرها و همچنین سوزاندن چوب)
مونواکسید کربن 	کاهش اکسیژن رسانی به بافت‌ها و اندام‌های مختلف بدن، تشدید بیماری‌های قلبی و درد قفسه سینه، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی	احتراق سوخت (به‌خصوص در وسایل نقلیه موتوری فرسوده و فاقد فناوری حذف آلاینده‌ها)
دی‌اکسید گوگرد 	تشدید آسم و افزایش علائم تنفسی، کمک به شکل‌گیری و تشدید علائم و اثرات بیماری‌های ریوی	احتراق سوخت (به‌ویژه سوخت‌های با گوگرد بالا)، فرایندهای تولید برق و صنایع، منابع طبیعی مانند آتش‌فشان

از سال ۱۹۹۰ تاکنون آلودگی هوا چهارمین عامل خطر برای سلامتی و منجر به مرگ در سراسر جهان می‌باشد (شکل ۱-۱). براساس گزارش بانک جهانی، خطراتی که آلودگی هوا بر سلامت می‌تواند داشته باشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین میزان است. در سال ۲۰۱۳ حدود ۹۳٪ از میزان مرگ‌ومیرها و بیماری‌های غیرکشنده ناشی از آلودگی هوا در این کشورها رخ داد، در حالی که ۹۰٪ از جمعیت کشورها در معرض تراز بالایی از آلاینده‌های خطرناک قرار داشتند [۱].



شکل ۱-۱ مقایسه درصد عوامل تاثیرگذار در مرگ و میر زودرس

۱-۲- استاندارد هوای آزاد در ایران

با توجه به عدم تدوین استاندارد ملی و کارآمد برای کشور ایران، در حال حاضر برای محاسبه استاندارد کوتاه‌مدت آلاینده‌ها، از راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوای ارائه شده توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال ۱۳۹۰ و برای محاسبه استاندارد طولانی‌مدت (سالانه) آلاینده‌ها، از استاندارد مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۹۰ استفاده می‌گردد که این استانداردها برگرفته از استانداردهای تدوین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA^۱) و سازمان بهداشت جهانی (WHO^۲) می‌باشند. در جدول ۱-۲ حدود استاندارد مورد استفاده در این گزارش برای آلاینده‌های معیار در سال ۱۳۹۵ مشخص شده است.

1. Environmental Protection Agency

2. World Health Organization

جدول ۲-۱ حدود استاندارد مورد استفاده برای آلاینده‌های معیار در سال ۱۳۹۵

آلاینده	حد استاندارد	بازه زمانی
منواکسیدکربن (CO)	۹/۴ (ppm)	هشت‌ساعته
	۳۵ (ppm)	یک‌ساعته
دی اکسیدنیتروژن (NO ₂)	۱۰۰ (ppb)	روزانه (ماکزیمم ساعتی)
	۲۱ (ppb)	سالانه
اوزن (O ₃)	۱۲۴ (ppb)	روزانه (ماکزیمم ساعتی)
	۷۵ (ppb)	هشت‌ساعته
ذرات معلق (PM)	(PM _{2.5})	روزانه
		سالانه
	(PM ₁₀)	روزانه
		سالانه
دی اکسیدگوگرد (SO ₂)	۱۴۴ (ppb)	روزانه
	۷ (ppb)	سالانه

۳-۱- شاخص کیفیت هوا^۱ (AQI)

شاخص کیفیت هوا، شاخصی جهت اطلاع‌رسانی و پیش‌بینی روزانه کیفیت هوا است. این شاخص شهروندان را از کیفیت هوا (شکل ۲-۱) آگاه ساخته و میزان ارتباط آن با سطوح سلامت را ارائه می‌کند. به عبارت دیگر میزان تأثیر هوای آلوده بر سلامت انسان را نشان داده و درک آن را برای شهروندان آسان‌تر می‌سازد. شاخص کیفیت هوا برای شش آلاینده اصلی هوا شامل منواکسیدکربن، ازن، دی‌اکسیدگوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون محاسبه می‌شود.

1. Air Quality Index



شکل ۱-۲ شاخص کیفیت هوا (AQI)، حدود و رنگ شرایط مختلف

در شکل ۲-۱ شاخص کیفیت هوا و رنگ‌های مرتبط به هر گروه مشخص شده که در ادامه آمده است. تأثیر بهداشتی مرتبط با هر طبقه سلامت شامل موارد ذیل است:



جدول ۳-۱ نقاط شکست آنلاین در محاسبه شاخص کیفیت هوا

نقاط شکست							طبقه‌بندی کیفیت هوا
O ₃ (ppm) ۸ ساعته	O ₃ (ppm) ۱ ساعته	PM _{2.5} (μg/m ³) ۲۴ ساعته	PM ₁₀ (μg/m ³) ۲۴ ساعته	CO (ppm) ۱ ساعته	SO ₂ (ppm) ۲۴ ساعته	NO ₂ (ppm) ۱ ساعته	
۰-۰/۰۵۹	—	۰/۰-۱۵/۴	۰-۵۴	۰/۰-۴/۴	۰-۰/۰۳۴	۰-۰/۰۵۳	پاک
۰/۰۶۰-۰/۰۷۵	—	۱۵/۵-۳۵/۰	۵۵-۱۵۴	۴/۵-۹/۴	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۰/۰۵۴-۰/۱	سالم
۰/۰۷۶-۰/۰۹۵	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۱۵۵-۲۵۴	۹/۵-۱۲/۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۰/۱۰۱-۰/۳۶۰	ناسالم برای گروه‌های حساس
۰/۰۹۶-۰/۱۱۵	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۲۵۵-۳۵۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۰/۳۶۱-۰/۶۴۰	ناسالم
۰/۱۱۶-۰/۳۷۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۰/۶۵-۱/۲۴	بسیار ناسالم
(۲)	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴ ۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴ ۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۴۲۵-۵۰۴ ۵۰۵-۶۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴ ۴۰/۵-۵۰/۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴ ۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۱/۲۵-۱/۶۴ ۱/۶۵-۲/۰۴	خطرناک

- در بیشتر مناطق AQI براساس مقادیر ازن ۸ ساعته گزارش می‌شود، اما در برخی مناطق AQI براساس مقادیر ازن یک‌ساعته به احتیاط مناسب‌تر است. در این شرایط AQI می‌بایست هم برای مقادیر ازن ۸ ساعته و هم برای ازن ۱ ساعته محاسبه شود و هر کدام بیشتر بود، گزارش شود.
- وقتی غلظت ازن ۸ ساعته از ۳۷۴ ppm فراتر رود، مقادیر AQI بیش از ۳۰۰ باید با استفاده از غلظت ازن ۱ ساعته محاسبه شود.

از آنجا که آلاینده ($PM_{2.5}$) در تمام روزهای سال ۱۳۹۵ آلاینده شاخص هوا در شهر تهران شناخته شده است، توصیه‌های بهداشتی لازم در مواجهه با آلاینده مذکور در جدول ۴-۱ ذکر شده است.

جدول ۴-۱ راهنمای مواجهه با آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

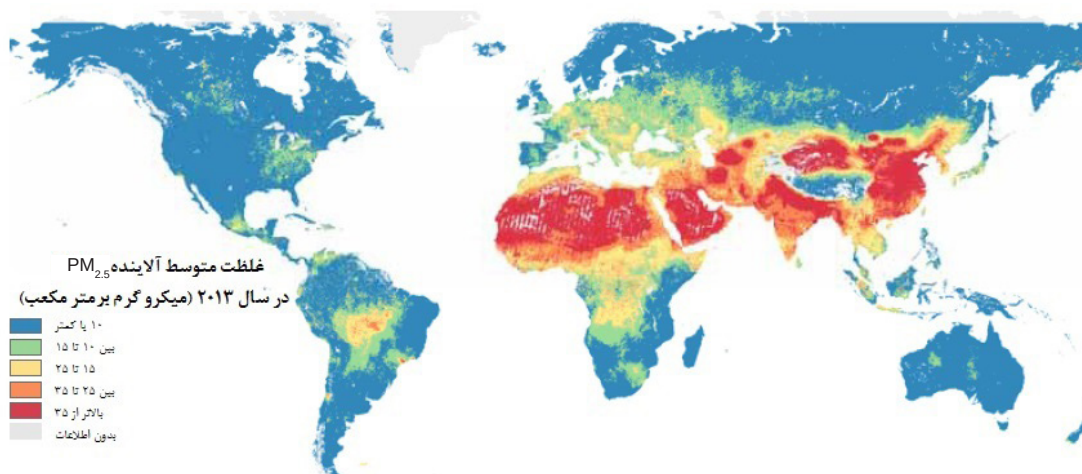
بیانیه هشدار	کیفیت هوا	AQI	بیانیه سلامت
از هوای پاک لذت ببرید	پاک	۰-۵۰	-
افراد با حساسیت بالا فعالیت شدید و یا طولانی مدت را کاهش دهند	سالم	۵۱-۱۰۰	-
افراد دارای مشکلات قلبی یا تنفسی، افراد مسن و کودکان باید از فعالیت طولانی مدت اجتناب نمایند	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۱-۱۵۰	افزایش احتمال علائم مشکلات تنفسی در افراد حساس، تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ و میر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن
افراد دارای مشکلات قلبی یا تنفسی، افراد مسن و کودکان فعالیت طولانی مدت خود را محدود نمایند و همه افراد فعالیت طولانی مدت را محدود نمایند	ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	افزایش تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ و میر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن و افزایش مشکلات تنفسی در افراد معمولی
افراد دارای مشکلات قلبی یا تنفسی، افراد مسن و کودکان باید از فعالیت در فضای باز اجتناب نمایند و همه افراد باید از فعالیت طولانی اجتناب نمایند	بسیار ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	افزایش قابل توجه تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ و میر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن و افزایش چشمگیر مشکلات تنفسی در افراد معمولی
همه افراد باید از فعالیت در محیط باز اجتناب نموده و افراد دارای مشکلات قلبی یا تنفسی، افراد مسن و کودکان باید داخل محیط سر بسته باقی بمانند	خطرناک	<۳۰۰	افزایش قابل توجه تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ و میر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن و افزایش چشمگیر مشکلات تنفسی در افراد معمولی

در شکل ۳-۱ میزان و نوع آسیب ذرات معلق با قطرهای مختلف بر سلامت و همچنین میزان نفوذ آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ تأثیر ذرات معلق بر سلامتی انسان بر حسب اندازه ذرات (میکرون) [۲]

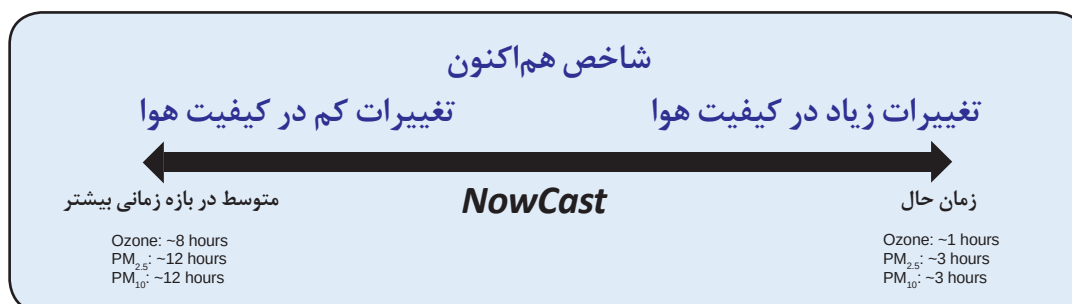
شکل ۴-۱ نقشه پراکنش ذرات معلق با قطر کمتر از $2/5$ میکرون در سال 2013 می باشد. همان طور که ملاحظه می شود کشور ایران نیز جزء مناطق با غلظت بالا بوده است.



شکل ۴-۱ نقشه میزان پراکنش آلاینده $PM_{2.5}$ در سال 2013 در مناطق مختلف کره زمین [۱]

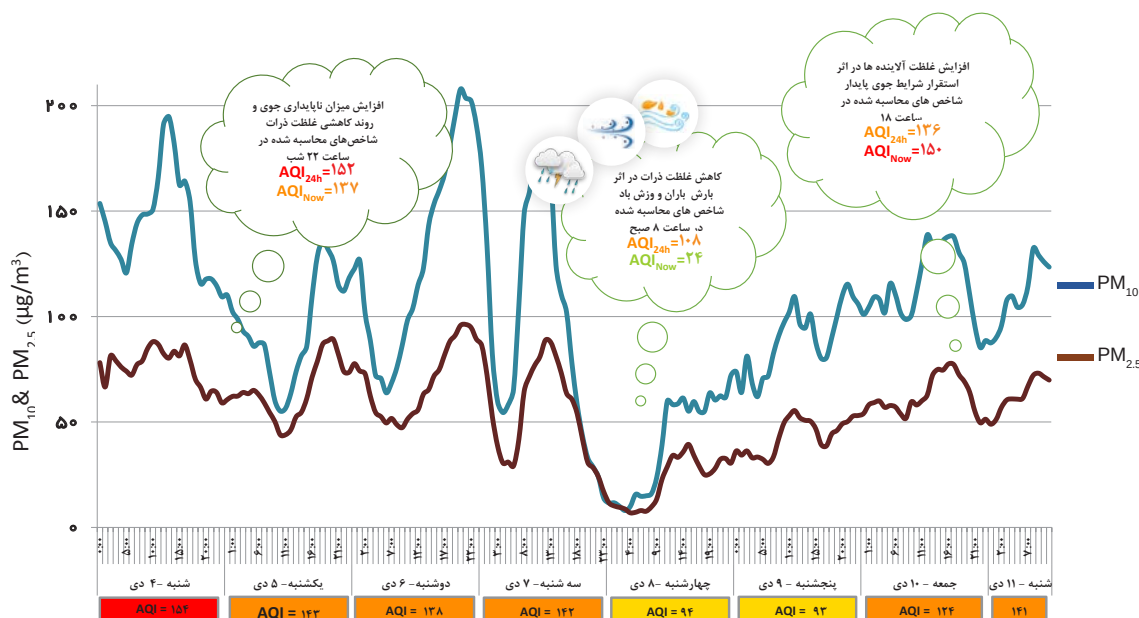
از آنجا که AQI یک شاخص ۲۴ ساعته می‌باشد و به عبارت بهتر کیفیت هوا را در ۲۴ ساعت گذشته نشان می‌دهد، قدرت تصمیم‌گیری مردم هنگام مواجهه با آلودگی هوا کم می‌گردد و در واقع اطلاعاتی که در دسترس عموم قرار می‌گیرد، متوسط ۲۴ ساعت گذشته بوده است.

برای آن که در مواقعی که تغییرات خاصی در کیفیت هوا به علت شرایط جوی متغیر روی می‌دهد و خصوصاً هنگام بروز شرایط ناسالم، امکان ارائه گزارشی از آخرین ساعات فراهم باشد و مردم نیز بتوانند با توجه به آخرین شرایط از نظر کیفیت هوا تدابیر لازم را اتخاذ نمایند، از سال گذشته در سامانه آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا، اطلاعاتی تحت عنوان «شاخص هم‌اکنون» ارائه شده است.



این شاخص که با عنوان Nowcast [۳] نیز شناخته می‌شود و برای آلاینده‌های ذرات معلق و ازن به کار می‌رود، به گونه‌ای تعریف شده است که در ۱۲ ساعت آخر (۸ ساعت آخر برای آلاینده ازن)، اگر میزان غلظت آلاینده تغییرات زیادی نداشته باشد، از متوسط ۱۲ ساعته در محاسبه شاخص استفاده می‌گردد و در صورتی که کیفیت هوا در ساعات اخیر دستخوش تغییرات قابل ملاحظه باشد، با تأکید بر اطلاعات ساعات نزدیک‌تر به آخرین ساعت (برای ذرات معلق ۳ ساعت آخر و برای ازن ساعت آخر)، برای محاسبه شاخص هم‌اکنون استفاده می‌نماید. بدین ترتیب اطلاعات و شاخص ارائه شده به کیفیت هوا در ساعت دریافت گزارش، نزدیک‌تر بوده و امکان اقدام برای مردم و مسئولان افزوده می‌شود.

1. Nowcast AQI



نمودار ۱-۵ مقایسه روش اطلاع رسانی شاخص ۲۴ ساعته و شاخص هم‌اکنون در یک بازه زمانی نمونه (۴ الی ۱۱ دی ماه ۱۳۹۵)

نمودار ۱-۵ تفاوت موجود در شاخص ۲۴ ساعته و شاخص هم‌اکنون را در یک بازه زمانی با شرایط جوی متغیر (۴ الی ۱۱ دی ماه ۱۳۹۵) نمایش می‌دهد. این نمودار که اطلاعات مربوط به غلظت دو آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون را در ساعات مختلف بازه زمانی مذکور نمایش می‌دهد، در سه زمان متفاوت از نظر شاخص ۲۴ ساعته و شاخص هم‌اکنون، مقایسه شده است. در مورد اول (ساعت ۱۰ شب، ۴ دی ماه ۱۳۹۵) که شاخص ۲۴ ساعته تا شرایط ناسالم ۱۵۲ رسیده ولی به علت افزایش میزان ناپایداری جوی شاخص هم‌اکنون عدد ۱۳۷ را نشان می‌دهد و در مورد سوم (ساعت ۶ عصر، ۱۰ دی ماه ۱۳۹۵) دقیقاً شرایطی بالعکس مورد اول دیده می‌شود، بدین ترتیب که شاخص هم‌اکنون به علت کاهش میزان ناپایداری جوی بیشتر از شاخص ۲۴ ساعته بوده است. بیشترین میزان تفاوت در این دو شاخص در حالتی مانند حالت دوم (ساعت ۸ صبح، ۸ دی ماه ۱۳۹۵)

بروز می‌نماید. در این حالت به علت بالا بودن غلظت آلاینده‌ها در ۲۴ ساعت قبل و تأثیر غلظت بالای ساعات قبلی، شاخص ۲۴ ساعته عدد ۱۰۸ و در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس می‌باشد، در صورتی که در ساعات آخر به علت بارش باران و وزش باد مؤثر، غلظت آلاینده‌ها تا حد زیادی کاهش یافته و شاخص هم‌اکنون شرایط بسیار مطلوب پاک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، شاخص ۲۴ ساعته شاخصی کاملاً علمی بوده که بر اساس میزان صدمه بر بدن انسان تعریف شده است، ولی همان‌گونه که ملاحظه گردید به لحاظ اهمیت امکان تصمیم‌گیری در شرایط مختلف، استفاده از شاخص هم‌اکنون در شرایطی خاص بسیار مفیدتر خواهد بود.

۵-۱- پیامدهای اقتصادی، آسیب‌های اجتماعی و زیست‌محیطی آلودگی هوا

آلودگی هوا تنها یک عامل تهدیدکننده سلامت نیست، بلکه از جنبه‌های گوناگون کشورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلودگی هوا با افزایش میزان مرگ و میر و بروز بیماری‌های متعدد منجر به کاهش کیفیت زندگی خواهد شد. به عبارت دیگر، آلودگی هوا با کاهش نیروی کار، فرصت‌های آموزشی، سطح درآمد، بازدهی و سطح اقتصاد را در کشورها کاهش می‌دهد.

بانک جهانی در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای در خصوص بررسی ارتباط میان میزان توسعه اقتصادی جوامع و آلودگی هوا انجام داد. بر اساس نتایج این مطالعه، مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در ایران در دو دهه گذشته از رقم ۱۷ هزار نفر (در سال ۱۹۹۰) به بیش از ۲۱ هزار نفر در سال ۲۰۱۳ رسیده است. بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳، با وجود توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های پزشکی کشورها، هزینه‌های پیشگیری از مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا دو برابر شد و ضرر ناشی از، از دست دادن نیروی کارآمد به میزان ۴۰٪ افزایش یافت (جدول ۵-۱).

بر اساس این گزارش، در دو دهه گذشته عامل آلودگی هوا از آلودگی آب که سال‌ها رتبه اول را داشته، سبقت گرفته است و آمار مرگ و میرهای زودرس ناشی از آن از سال ۱۹۹۰ بدین سو، به طور مداوم افزایش یافته است [۱].

جدول ۱-۵ مقایسه میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ و هزینه اقتصادی آلودگی هوا در ایران در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ [۱]

کشور	میانگین سالانه غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)		کل مرگ به علت آلودگی هوا		کل هزینه آسایش از دست رفته (میلیون دلار) (درصد تولید ناخالص داخلی براساس قدرت خرید)		کل در آمد از دست رفته (میلیون دلار) (درصد تولید ناخالص داخلی براساس قدرت خرید)	
	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳
ایران	۲۸/۶۴	۳۱/۸۹	۱۷,۰۳۵	۲۱,۶۸۰	۱۳,۹۴۰	۳۰,۵۹۹	۲,۵۳۳	۱,۴۷





O_3

NO_2

SO_2

CO

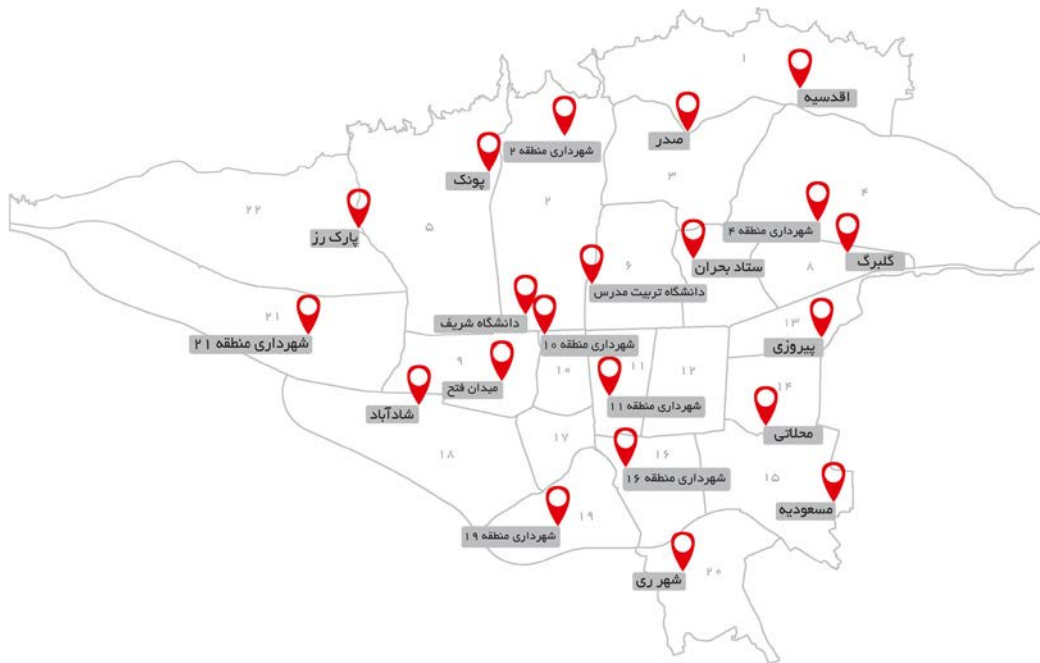
AQI

۲ گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده‌ها

در سال ۱۳۹۵ شرکت کنترل کیفیت هوا با استفاده از ۲۱ ایستگاه فعال، اندازه‌گیری و پایش کیفیت هوای شهر تهران را انجام داده است. ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوا عبارتند از: اتوبان محلاتی، اقدسیه، پارک رز، پیروزی، پونک، صدر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه شریف، ستاد بحران، شادآباد، شهرداری منطقه ۲۱ (نام جدید ایستگاه تهرانسر پس از جابجایی در داخل منطقه ۲۱ طی سال ۱۳۹۵)، شهرری، شهرداری منطقه ۲، شهرداری منطقه ۴، شهرداری منطقه ۱۰، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۹ (در سال ۱۳۹۵ در داخل منطقه جابجا گردید)، گلبرگ، مسعودیه و میدان فتح.

در این ایستگاه‌ها غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل منواکسیدکربن (CO)، ازن (O_3)، اکسیدهای ازت (NO ، NO_2 ، NO_x)، دی‌اکسیدگوگرد (SO_2)، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) و ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($\text{PM}_{2.5}$)، به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است، در ایستگاه‌های محلاتی، صدر، شهرداری مناطق ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۶ و ۱۹ و میدان فتح تنها یکی از انواع ذرات معلق اندازه‌گیری می‌شود.

شکل ۲-۱ وضعیت استقرار ایستگاه‌های فعال شرکت کنترل کیفیت هوا در شهر تهران طی سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ وضعیت استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران طی سال ۱۳۹۵
(متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا)

طبقه‌بندی ایستگاه‌ها

طبقه‌بندی‌های مختلفی در خصوص ایستگاه‌های ثابت سنجش آلودگی هوا برحسب محل قرارگیری و آلاینده‌های مختلف ارائه شده است که در آن‌ها به موارد متعددی چون نوع کاربری ایستگاه (مسکونی، ترافیکی، صنعتی و...)، فاصله از موانع (ساختمان‌ها، درختان و...)، فاصله از خیابان، بزرگراه و تقاطع، فاصله از منابع آلودگی مانند دودکش و واحدهای صنعتی، ارتفاع از سطح زمین، نوع پوشش زمین، جهت وزش باد غالب و غیره توجه شده است. به‌طور کلی محل ایستگاه تا حد امکان باید نماینده مناطق اطراف خود

باشد. به‌طور مثال، ایستگاه‌های ترافیکی بایستی معرف وضعیت هوا برای بیش از ۲۰۰ متر مربع از سطح اطراف خود باشند و این میزان برای ایستگاه‌های واقع در حومه شهر به چندین برابر می‌رسد.

از ایستگاه‌های فعال شرکت کنترل کیفیت هوا در سال ۱۳۹۵، ۹ ایستگاه شامل محلاتی، ستاد بحران، پارک رز، پیروزی، دانشگاه شریف، دانشگاه تربیت مدرس، گلبرگ، شهرداری منطقه ۱۶ و شهرداری منطقه ۱۹، در گروه ایستگاه‌های شهری^۱ و غیرترافیکی قرار دارند. این ایستگاه‌ها به منظور بررسی تأثیر آلاینده‌ها بر جمعیت در معرض آلودگی در شهرها احداث می‌شوند. فاصله ایستگاه‌های شهری از خیابان‌های پرتراфик برحسب میزان متوسط ترافیك روزانه (تعداد وسیله نقلیه)، متفاوت بوده و از حدود ۱۰ متر تا ۲۰۰ متر متغیر می‌باشند. همچنین ایستگاه‌های شهری بایستی از تعمیرگاه‌های اتومبیل و پارکینگ‌های بزرگ حداقل ۲۰۰ متر و از ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی در حدود ۱۰۰ متر فاصله داشته باشند.

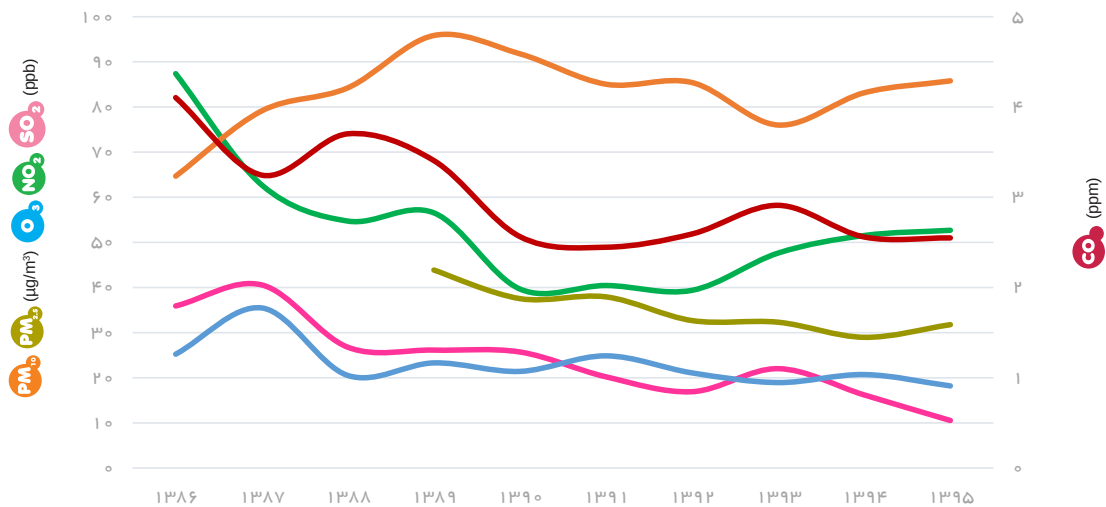
ایستگاه مناطق ۲، ۴، ۱۰، ۱۱ و ۲۱ و ایستگاه‌های اقدسیه، شادآباد، شهرری، میدان فتح، صدر، پونک و مسعودیه با توجه به نزدیکی به خیابان‌ها در گروه ایستگاه‌های ترافیکی^۲ قرار دارند. هدف از استقرار این ایستگاه‌ها، بررسی آلودگی ناشی از خیابان‌های نزدیک به مناطق پرجمعیت می‌باشد. این ایستگاه‌ها باید تحت تأثیر مستقیم خیابان و وسایل نقلیه باشند.

مشخصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا به همراه پارامترهای اندازه‌گیری شده در آن ایستگاه‌ها، محل، تاریخ نصب و راه‌اندازی آن‌ها در پیوست ۱ موجود می‌باشد. بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌های معیار در شهر تهران در بازه زمانی ماهانه، فصلی (در مقایسه با سال گذشته) و سالانه (در مقایسه با سال‌های گذشته) در این بخش آمده است.

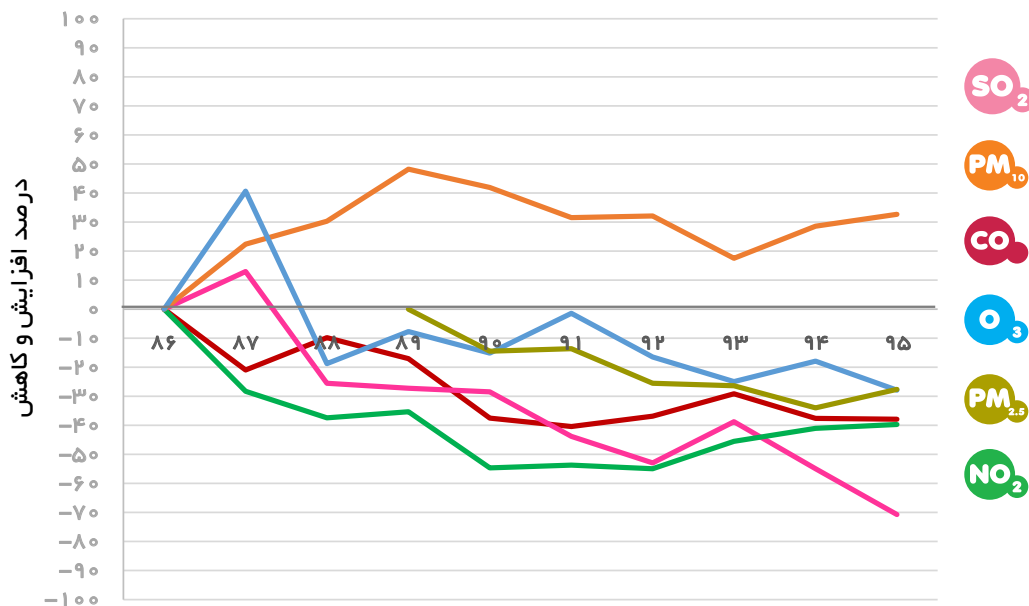
نمودار ۱-۲ روند غلظت سالانه آلاینده‌های اصلی شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. این نمودار اجمالی نشانگر آن است که روند غلظت آلاینده‌های CO ، SO_2 و O_3 در سالیان اخیر کاهشی بوده و آلاینده‌های PM_{10} و NO_2 پس از سیر کاهشی، روندی افزایشی با شیب کم را در پیش گرفته‌اند. در ادامه این بخش وضعیت غلظت هر یک از این آلاینده‌ها به تفکیک بررسی می‌شود. لازم به ذکر است، اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون از اواسط سال ۱۳۸۹ آغاز شده است.

1. Urban Stations

2. Traffic Stations



نمودار ۱-۲ میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵



نمودار ۲-۲ روند افزایش یا کاهش آلاینده‌های مختلف برحسب درصد از سال مبدأ^۱ تا سال ۱۳۹۵

۱. برای تمامی آلاینده‌ها سال ۱۳۸۶ و برای $PM_{2.5}$ سال ۱۳۸۹ سال مبدأ می‌باشد.

نمودار ۲-۲ روند تغییرات آلاینده‌های مختلف را برحسب درصد نسبت به سال پایه نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار، آلاینده PM_{10} از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ روند افزایش ۵۰ درصدی داشته و پس از طی روندی ثابت در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲، افزایش ۱۵ درصدی از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ به خود گرفته و در مجموع در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال مبدأ از افزایش ۳۲ درصدی برخوردار بوده است.

آلاینده ازن از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ افزایش ۴۰ درصدی داشته پس از آن از غلظت این آلاینده کاسته شده به طوری که در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال مبدأ کاهش ۲۸ درصدی دیده می‌شود. آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال مبدأ کاهش حدوداً ۷۰ درصدی داشته است که بسیار قابل ملاحظه می‌باشد. آلاینده منواکسید کربن نیز در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال مبدأ کاهش تقریباً ۴۰ درصدی داشته است.

آلاینده دی‌اکسید نیتروژن از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۰ روند تقریباً کاهشی داشته و بعد از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ روند افزایشی گرفته است. این آلاینده در مجموع در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال پایه با ۴۰ درصد کاهش روبرو بوده است. آلاینده $PM_{2.5}$ از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ به شکل پلکانی روند کاهشی داشته و در مجموع در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال مبدأ کاهش ۲۷ درصدی داشته است.

جدول ۱-۲ خلاصه تغییرات میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های هوا در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد. غلظت سالانه آلاینده‌های O_3 ، CO و SO_2 نسبت به سال ۱۳۹۴ کمتر شده و غلظت سالانه سایر آلاینده‌ها نسبت به سال ۱۳۹۴ با افزایش روبرو بوده است. لازم به ذکر است که غیر از دو آلاینده CO و O_3 که استاندارد سالانه برای آنها تعریف نشده است، غلظت تمام آلاینده‌ها از منظر استاندارد سالانه بالاتر از حد مجاز بوده است.

جدول ۱-۲ خلاصه وضعیت آلودگی هوا در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال گذشته و حد استاندارد سالانه

آلاینده	روند تغییرات غلظت سالانه طی ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴	درصد تغییرات نسبت به سال ۱۳۹۴	میزان غلظت نسبت به استاندارد سالانه
CO	↘	-۳/۸	-
PM ₁₀	↗	۳	فراتر از حد استاندارد
PM _{2.5}	↗	۱۰	فراتر از حد استاندارد
SO ₂	↘	-۳۶	فراتر از حد استاندارد
NO ₂	↗	۲	فراتر از حد استاندارد
O ₃	↘	-۱۲	-

↗	روند افزایشی نسبت به سال ۱۳۹۴
↘	روند کاهشی نسبت به سال ۱۳۹۴
-	نبود استاندارد سالانه

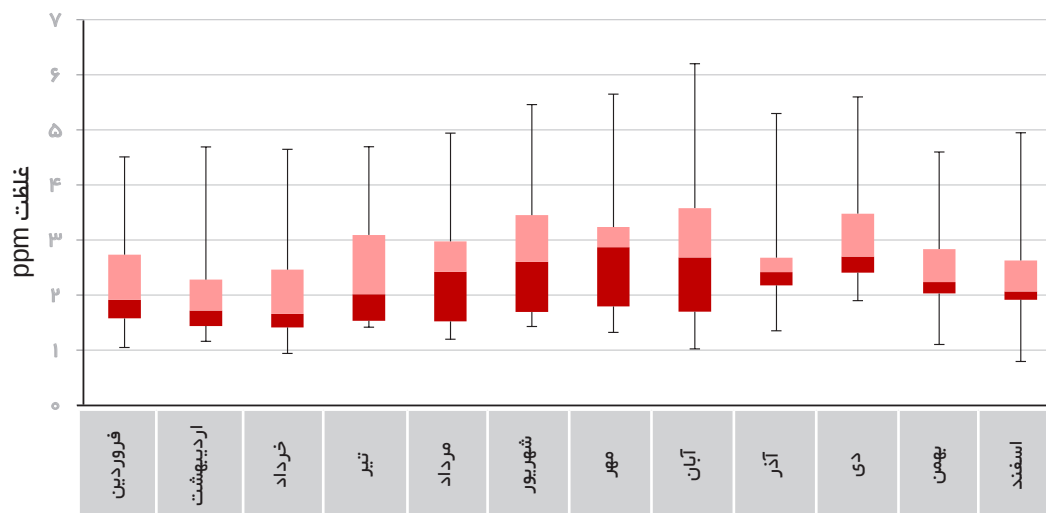
۱-۲-۱ آلاینده منواکسید کربن (CO)

۱-۲-۱-۲ روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۱-۲-۳ روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده CO را طی سال ۱۳۹۵ نمایش می دهد. خوشبختانه با تدابیر اتخاذ شده در سالیان اخیر آلاینده CO کاملاً کنترل شده و در اکثر قریب به اتفاق روزهای سال در حد مجاز قرار داشته است. در تمام ماههای سال ۱۳۹۵ نیز همان طور که ملاحظه می شود، این آلاینده مشکل خاصی برای هوای شهر به وجود نیاورده است.



از آنجا که این آلاینده در اثر احتراق ناقص سوخت ایجاد می‌گردد، در ماه‌های شهریور و مهر همزمان با بازگشایی مدارس و دانشگاه‌ها و افزایش حجم ترافیک شهر و در آبان ماه به علت پایداری جوی، میزان غلظت آن افزایش یافته است و البته مجدداً در ماه آبان به علت وجود روزهایی با بارش باران و وزش باد مناسب، غلظت‌های پایین این آلاینده نیز مشاهده می‌شود. همزمان با افزایش وقوع وارونگی دما و پایداری جو در ماه‌های آذر و دی، مقادیر میانگین غلظت آن به بیشترین میزان رسیده است. در ماه‌های دیگر سال نیز کیفیت هوا به لحاظ این آلاینده در کل مطلوب بوده است. هر چه میزان وزش باد و بارش‌ها بیشتر و همچنین در زمان‌هایی که حجم تردد وسایل نقلیه موتوری در سطح شهر کمتر بوده، میزان غلظت مونواکسیدکربن هم به مراتب کمتر شده است.

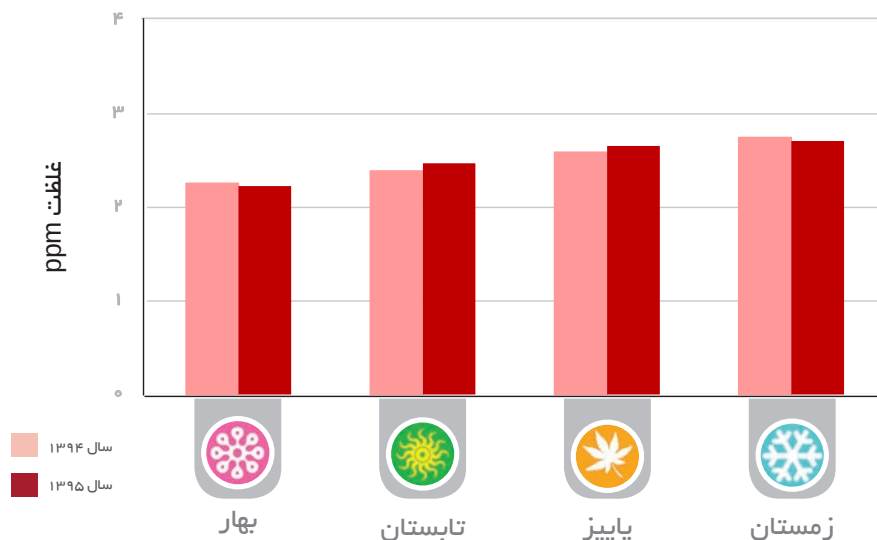


نمودار ۳-۲ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده مونواکسیدکربن (CO) طی سال ۱۳۹۵ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)

۲-۱-۲- مقایسه غلظت فصلی آلاینده مونواکسیدکربن (CO) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

در نمودار ۴-۲ میانگین غلظت آلاینده CO در فصول مختلف طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مقایسه شده

است. میانگین این آلاینده در فصول سال ۱۳۹۵ نسبت به فصل‌های مشابه سال ۱۳۹۴ تفاوت چندانی نداشته و همان‌طور که مشاهده می‌گردد در پاییز و زمستان به علت سرما، ترافیک بیشتر و پایداری جوی، بیشترین مقادیر غلظت رخ داده است.

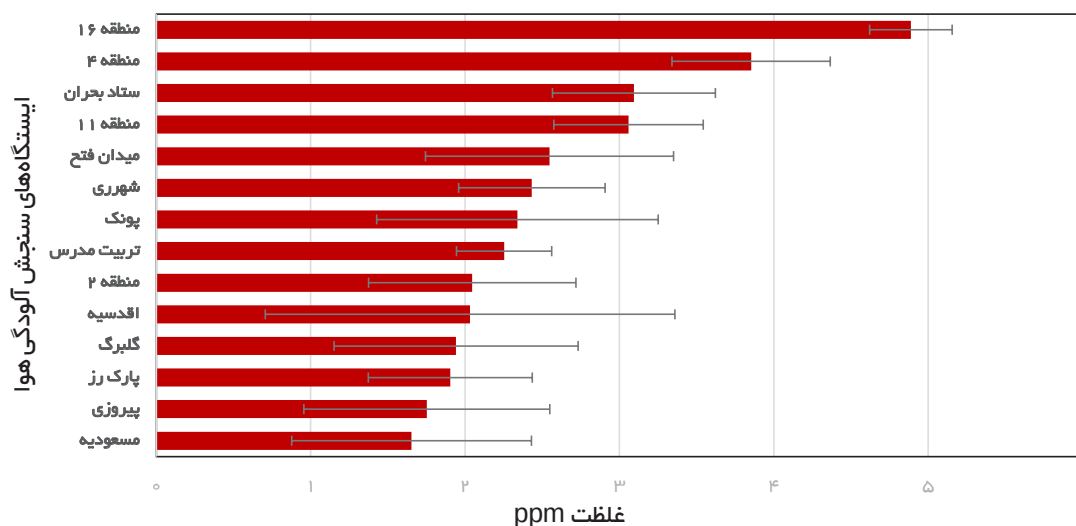


نمودار ۲-۴ مقایسه غلظت فصلی آلاینده منواکسیدکربن (CO) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

۲-۱-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

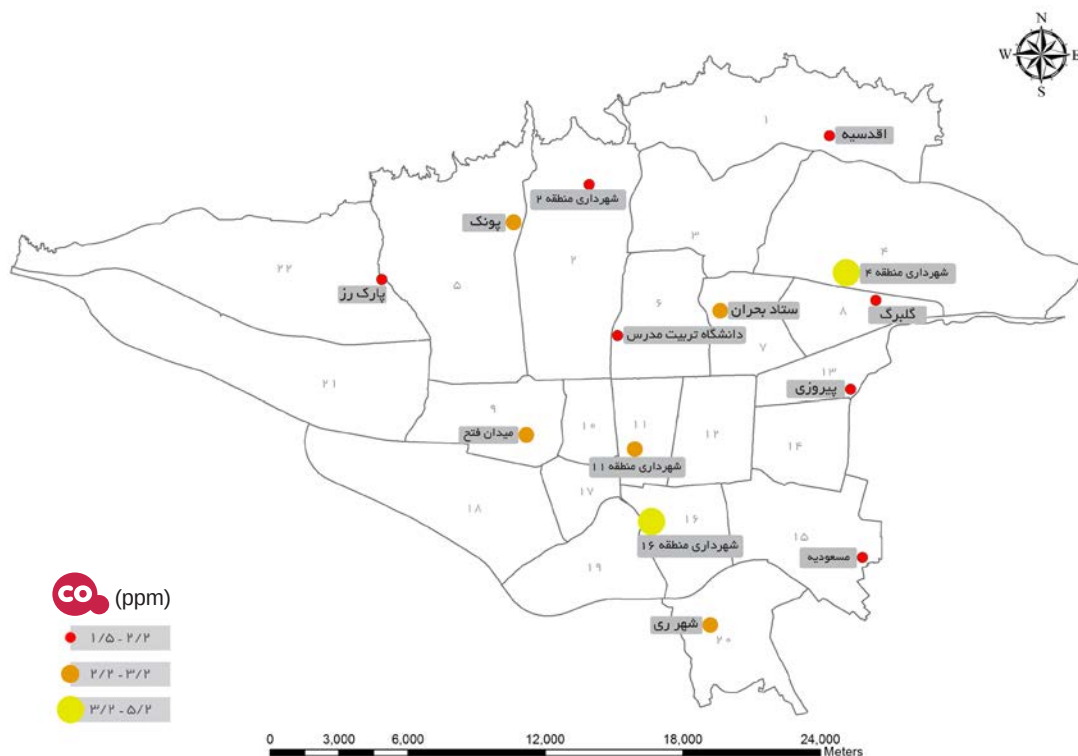
نمودار ۲-۵ نشان‌دهنده میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن در ایستگاه‌هایی می‌باشد که بیش از نیمی از روزهای سال از آن‌ها داده آلاینده منواکسیدکربن برداشت شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین میانگین سالانه غلظت به ترتیب در ایستگاه‌های شهرداری مناطق ۱۶ و ۴، ایستگاه ستاد بحران و منطقه ۱۱ مشاهده می‌شود. کمترین مقدار غلظت منواکسیدکربن نیز در ایستگاه‌های مسعودیه (منطقه ۱۵) و پیروزی (منطقه ۱۳) مشاهده می‌گردد. شایان ذکر است، با توجه به اینکه استاندارد سالانه برای این

آلاینده (به دلیل کوتاه بودن زمان ماندگاری) تعریف نشده است، نمودار مربوطه تنها مقایسه وضعیت غلظت این آلاینده در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۵ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۲ محل استقرار ایستگاه‌های دارای بیش از پنجاه درصد اطلاعات غلظت آلاینده منواکسیدکربن و میانگین سالانه غلظت این آلاینده طی سال ۱۳۹۵ را با استفاده از اندازه دواير قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دواير بزرگ‌تر باشد، میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسیدکربن در آن ایستگاه بیشتر بوده است.

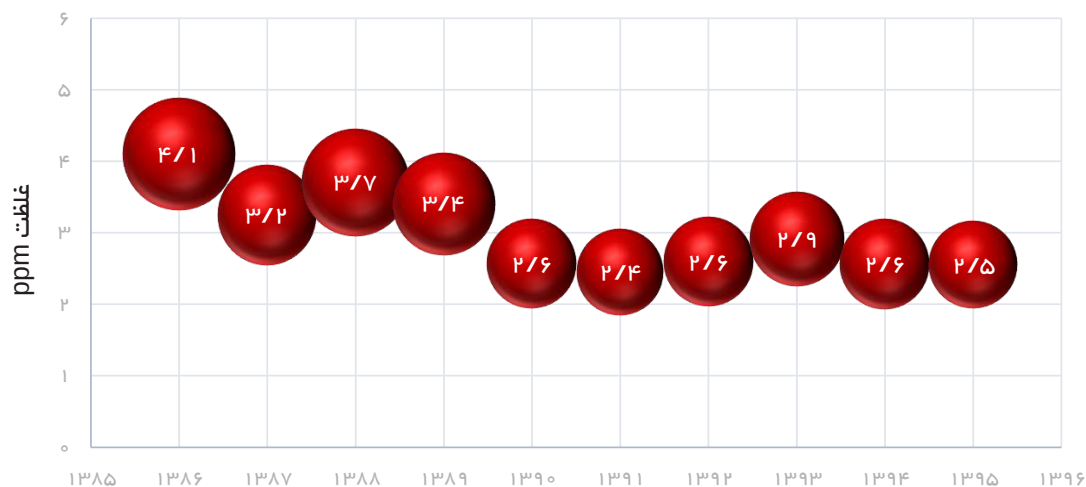


شکل ۲-۲ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

۲-۱-۴- مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

در نمودار ۲-۶ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسیدکربن از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار در سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۲ کمترین میزان غلظت سالانه مشاهده شده و سال ۱۳۸۶ آلوده‌ترین سال بوده است. به‌طور کلی روند تغییرات غلظت این آلاینده طی سال‌های مورد بررسی، روند کاهشی داشته است، با این حال در سال ۱۳۹۳ افزایش اندکی در میزان آن دیده می‌شود. به‌علت آن‌که در تولید آلاینده منواکسیدکربن، منابع متحرک بیشترین سهم را دارا می‌باشند، اجرای

راهکارهای کنترل آلودگی ناشی از احتراق ناقص و بدسوزی مانند تعمیر و نگهداری صحیح خودرو، جلوگیری از روغن سوزی، حذف خودروها و موتورسیکلت‌های کاربراتوری و استفاده خودروها از کاتالیست تأثیر به‌سزایی در کاهش غلظت این آلاینده داشته است.



نمودار ۲-۶ میانگین سالانه غلظت آلاینده متواکسیدکربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

۲-۲- آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})

۲-۲-۱- روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۳۹۵

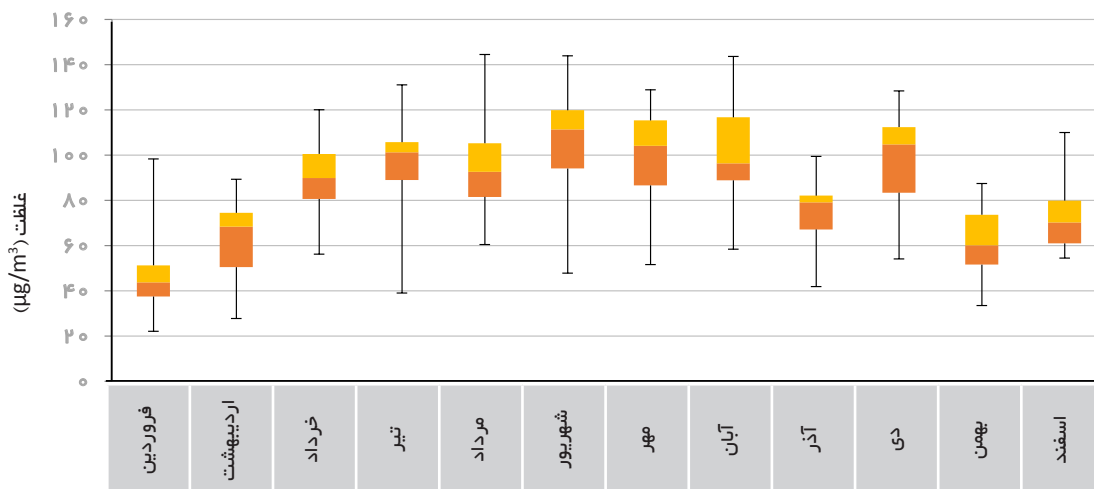
نمودار ۲-۷ میانگین غلظت آلاینده PM_{10} را در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. میانگین غلظت این آلاینده در ماه فروردین در کمترین مقدار خود بوده و همچنین کمترین غلظت نیز در این ماه ثبت شده است. در ماه‌های بعد به تدریج با کاهش میزان بارندگی، تشدید گرما و افزایش احتمال وقوع پدیده گردوغبار با منشأ غیر محلی، غلظت آن افزایش یافته و همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در ماه‌های گرم و خشک سال،



فصل ۲

۴۶

بیشترین میانگین غلظت این آلاینده رخ داده است. حاکمیت شرایط جوی پایدار به‌ویژه در ماه‌های سرد سال نیز در افزایش غلظت این آلاینده مؤثر بوده است.

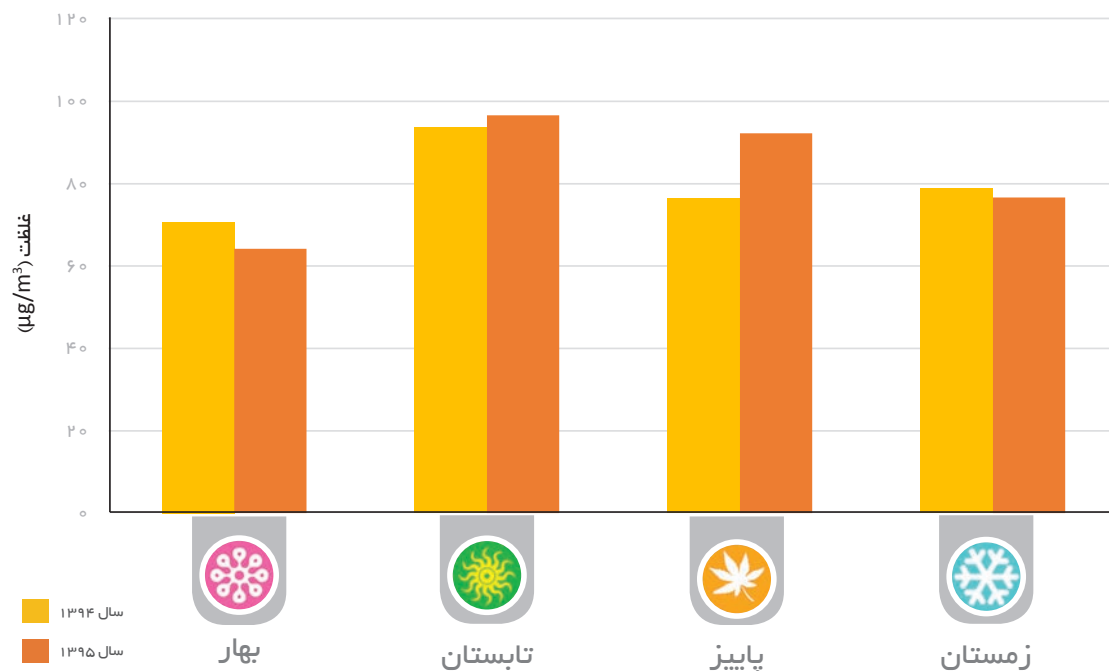


نمودار ۲-۷ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۳۹۵

۲-۲-۲- مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

نمودار ۲-۸ میانگین غلظت آلاینده PM_{10} را در فصول مختلف طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مقایسه می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت این آلاینده در فصول بهار و زمستان سال ۱۳۹۵ نسبت به فصل‌های مشابه سال ۱۳۹۴ کمتر بوده ولی در فصل‌های پاییز و تابستان سال ۱۳۹۵ غلظت میانگین بالاتری ثبت گردیده است.

از نکات حائز اهمیت در هر دو سال مورد بررسی در نمودار مذکور، ثبت بیشترین غلظت میانگین فصلی در فصل تابستان بوده است که علت اصلی آن گرما و خشکی بیشتر و همین‌طور افزایش وقوع پدیده گردوغبار طی سالیان اخیر است. شایان ذکر است که آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون علاوه بر ذرات ریز $PM_{2.5}$ شامل ذرات درشت‌تر نیز می‌باشد که بیشتر منشأ طبیعی دارند.

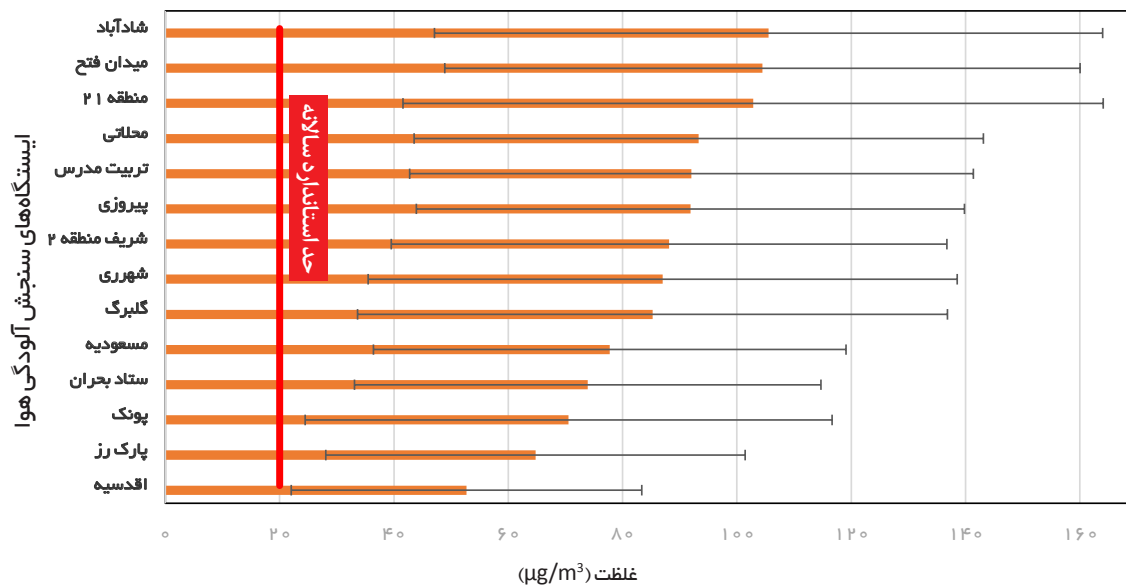


نمودار ۲-۸ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

۲-۲-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

در نمودار ۲-۹ متوسط سالانه غلظت آلاینده PM_{10} در ایستگاه‌هایی که بیش از نیمی از روزهای سال از آن‌ها داده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون برداشت شده و همین‌طور مقایسه آن با حد استاندارد سالانه ایران (خط قرمز رنگ برابر با $20 \mu g/m^3$) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های شادآباد (منطقه ۱۸)، فتح (منطقه ۹) و شهرداری منطقه ۲۱، به ترتیب بیشترین میزان غلظت آلاینده PM_{10} مشاهده می‌شود و ایستگاه اقدسیه نیز نسبت به سایر ایستگاه‌ها در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته است. نکته قابل توجه دیگر در این نمودار این است که در تمام ایستگاه‌ها غلظت

سالانه از حد استاندارد فراتر بوده و شهر تهران از نظر غلظت سالانه آلاینده PM_{10} در سال ۱۳۹۵ در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار داشته است.

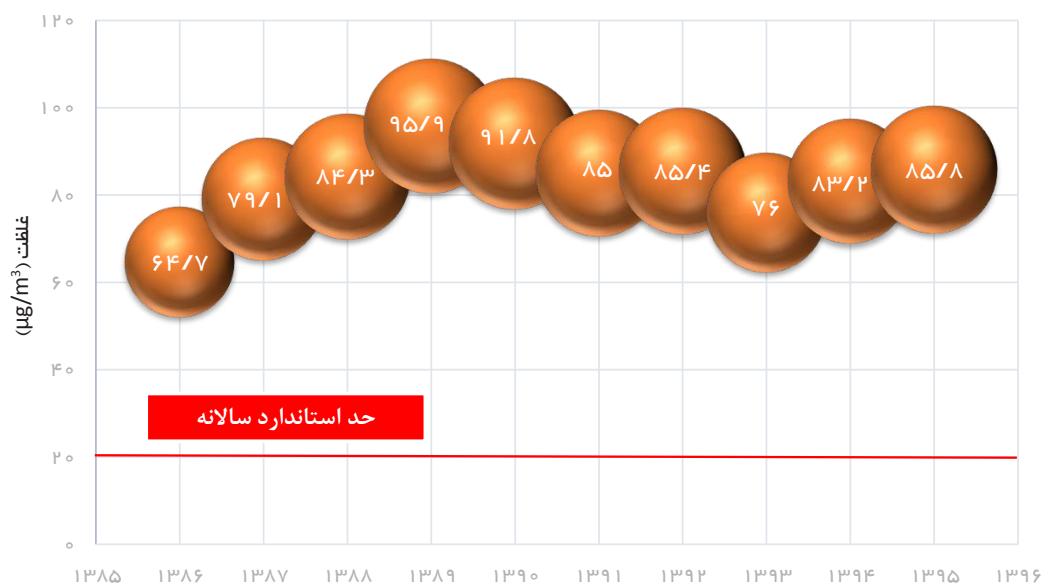


نمودار ۹-۲ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۳ میزان میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون طی سال ۱۳۹۵ را با استفاده از اندازه دوایر قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در آن ایستگاه بیشتر بوده است.

۲-۲-۴- مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

در نمودار ۲-۱۰ مقایسه غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ نشان داده شده است. روند تغییرات غلظت سالانه آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۸۹ افزایشی بوده است و از آن زمان تا سال ۱۳۹۳، روند نزولی یافته و در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مجدداً سیر صعودی گرفته است. در مجموع مشاهده می‌گردد که غلظت سالانه این آلاینده نسبت به سال ۱۳۸۶ روند افزایشی داشته و میانگین سالانه غلظت این آلاینده در تمام سال‌های مورد بررسی در مقایسه با استاندارد سالانه در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار داشته است.

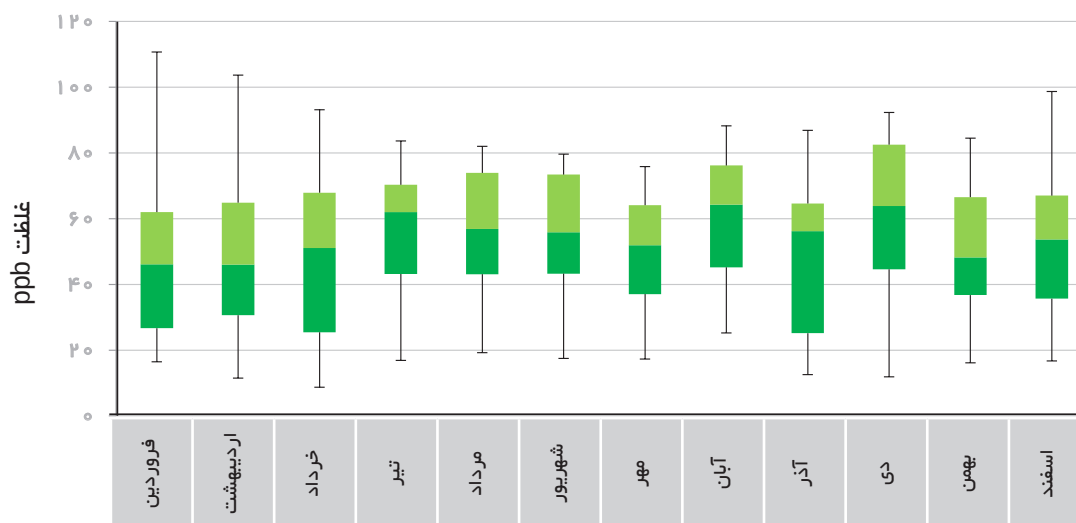


نمودار ۲-۱۰ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

۲-۳- آلاینده دی اکسید نیتروژن (NO_2)

۲-۳-۱- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۱۱ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده NO_2 را در سال ۱۳۹۵ نمایش می دهد و همان گونه که دیده می شود، غلظت میانگین این آلاینده در ماه های دی و آبان همزمان با استقرار شرایط جوی پایدار بیش از دیگر ماه ها بوده و در ماه های فروردین و اردیبهشت کمترین مقادیر میانگین مشاهده می شود.



نمودار ۲-۱۱ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال ۱۳۹۵ (میانگین غلظت ایستگاه ها)

۲-۳-۱- مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی اکسید نیتروژن طی سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

نمودار ۲-۱۲ به مقایسه غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن در فصل های مختلف سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ می پردازد. با توجه به این نمودار، به جز فصل زمستان، تمام فصول سال ۱۳۹۵ نسبت به فصول مشابه سال

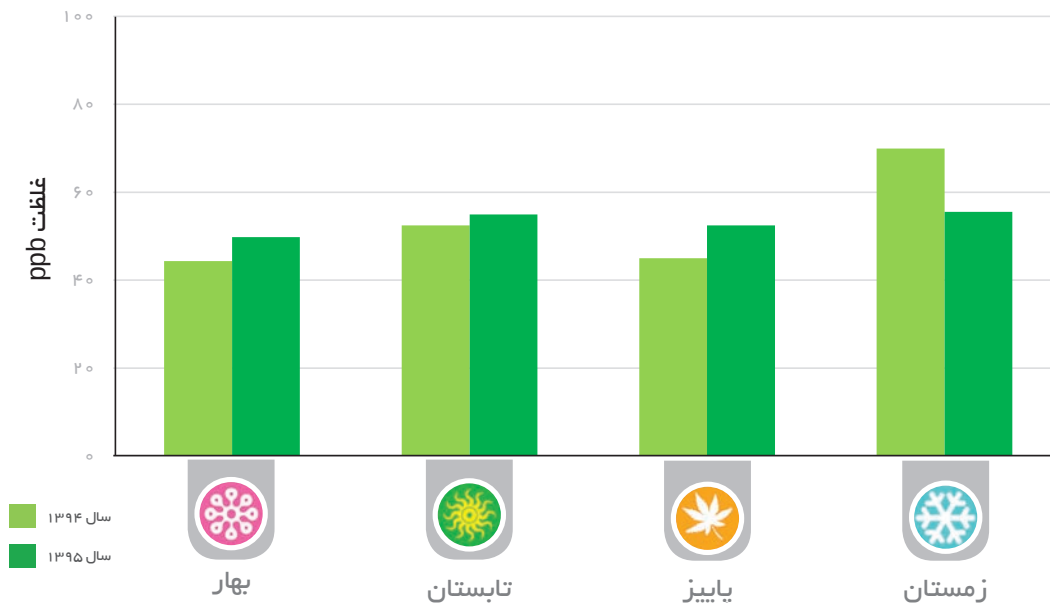
NO_2

فصل ۲

۵۲

گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده ها

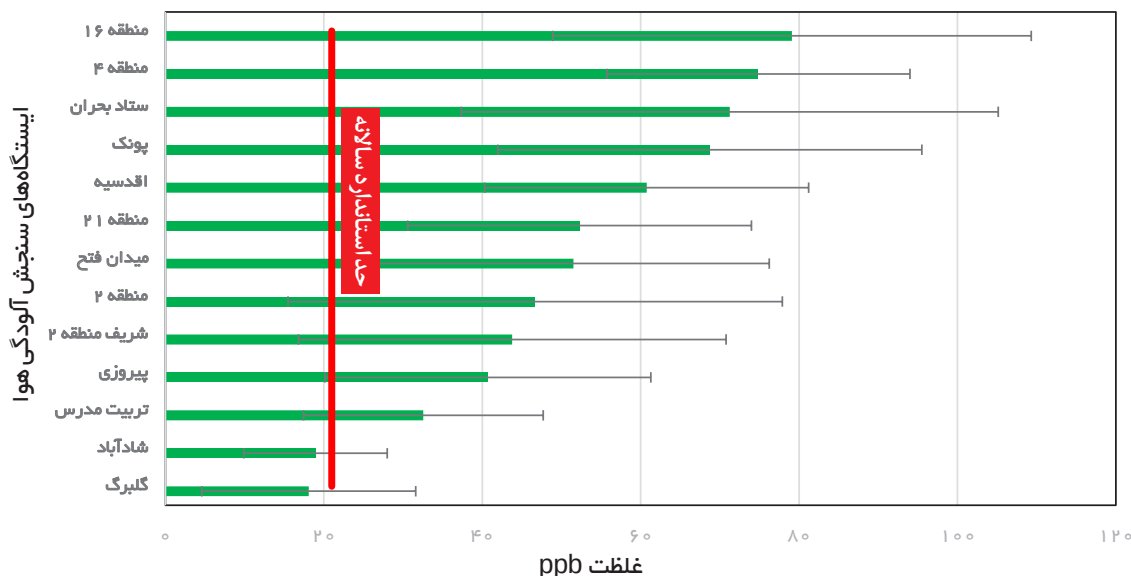
۱۳۹۴ از غلظت NO₂ بیشتری برخوردار بوده و در هر دو سال همزمان با برودت هوا و همین‌طور پایداری جوی، بیشترین غلظت مربوط به زمستان بوده است.



نمودار ۱۲-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسیدنیترژن (NO₂) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

۲-۳-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیترژن در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

در نمودار ۱۳-۲ متوسط سالانه غلظت آلاینده NO₂ در ایستگاه‌هایی که بیش از نیمی از روزهای سال از آن‌ها داده آلاینده دی‌اکسیدنیترژن برداشت شده و همچنین مقایسه آن با حد استاندارد ایران (خط قرمز رنگ برابر با ۲۱ ppb) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از منظر استاندارد سالانه تمامی ایستگاه‌های شهر تهران به غیر از ایستگاه‌های گلبرگ و شادآباد طی سال ۱۳۹۵ در وضعیت نامطلوب قرار داشته‌اند.

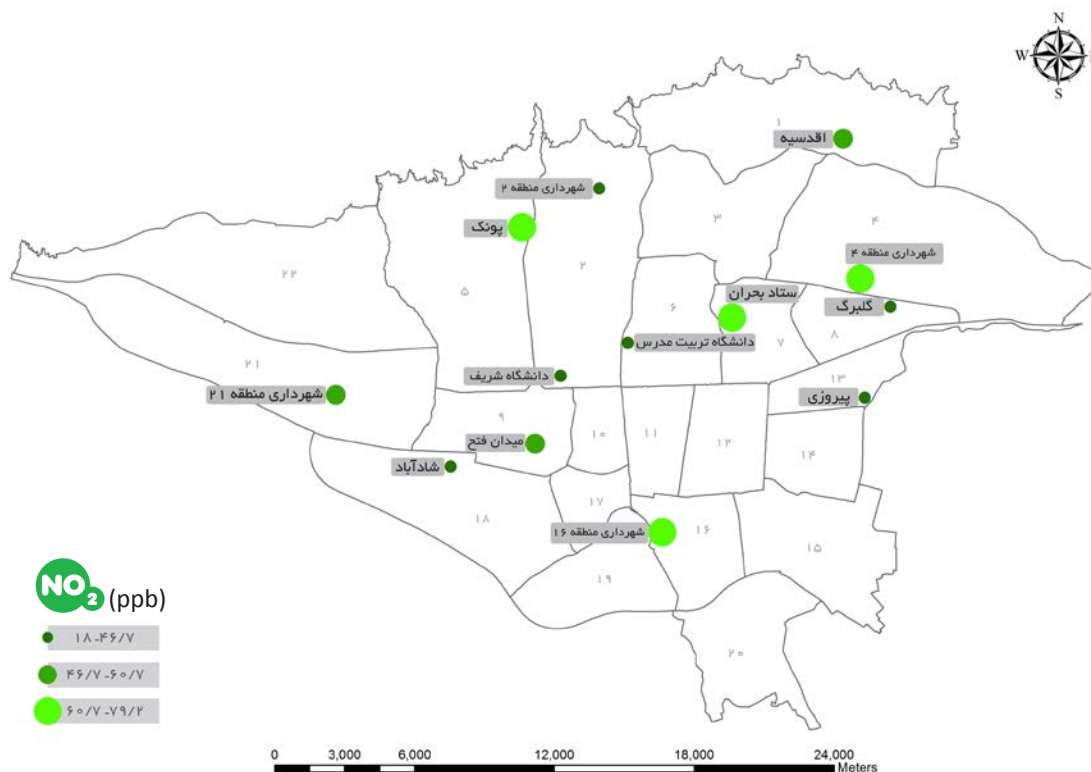


نمودار ۲-۱۳ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن (NO₂) در ایستگاه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۴ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن در سال ۱۳۹۵ را با استفاده از اندازه و رنگ دوایر قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین سالانه آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن در آن ایستگاه بیشتر بوده است. بیشترین مقادیر مربوط به ایستگاه‌های شهرداری مناطق ۱۶ و ۴ و ایستگاه ستاد بحران و کمترین غلظت میانگین نیز در ایستگاه گلبرگ (منطقه ۸) و شادآباد (منطقه ۱۸) رخ داده است.

NO₂

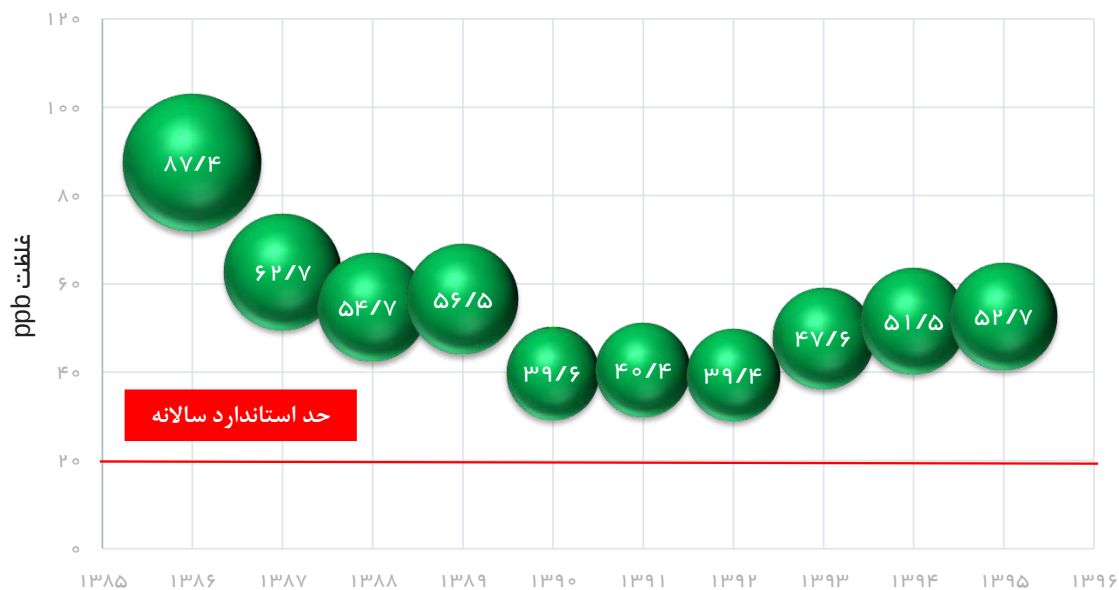
۵۵



شکل ۲-۴ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده NO₂ در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

۲-۳-۴- مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن (NO₂) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

نمودار ۲-۱۴ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسیدنیتروژن را طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. غلظت این آلاینده طی سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی داشته و از سال ۱۳۹۳ با اندکی رشد روبه‌رو بوده است. از منظر آلاینده NO₂ سال ۱۳۹۲ نسبت به سایر سال‌های مورد مطالعه در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته و سال ۱۳۸۶ نیز آلوده‌ترین سال می‌باشد و همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، کلیه سال‌های مورد بررسی نسبت به استاندارد سالانه در وضعیت نامناسبی قرار داشته‌اند.



نمودار ۲-۱۴ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

۲-۴- آلاینده ازن (O_3)

۲-۴-۱- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال ۱۳۹۵

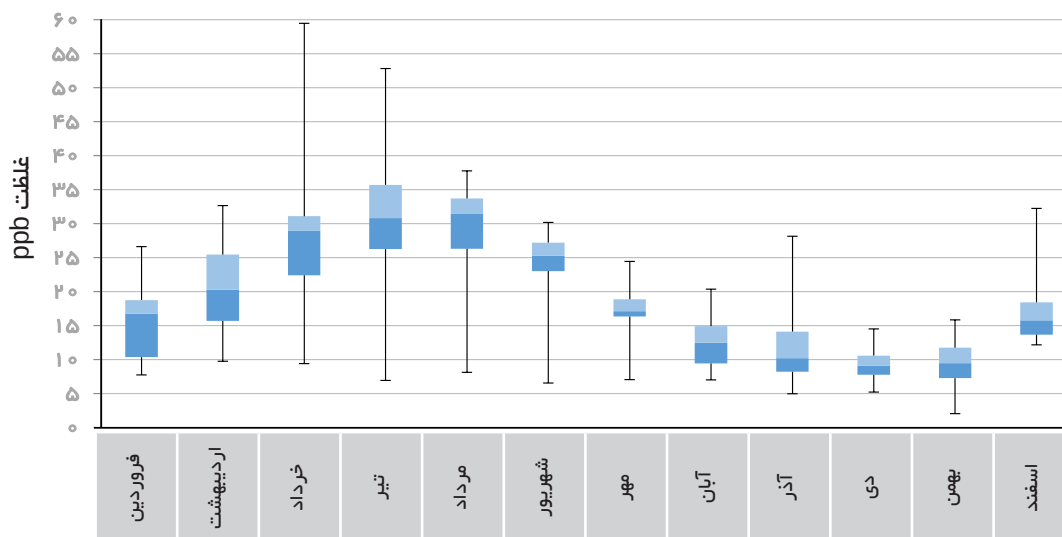
نمودار ۲-۱۵ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده O_3 را طی سال ۱۳۹۵ نمایش می‌دهد. ازن جزء آلاینده‌های ثانویه می‌باشد که از واکنش برخی گازها (اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار) در حضور نور خورشید ایجاد می‌شود و همان‌طور که دیده می‌شود، میزان غلظت این آلاینده در ماه‌های گرم سال افزایش یافته است. در ماه‌های تیر، مرداد و خرداد بیشترین میانگین ماهانه غلظت مشاهده می‌شود و در ماه‌هایی از سال که از شدت تابش نور خورشید کاسته شده، میزان این آلاینده هم به وضوح کاهش داشته است.

NO_2

فصل ۲

۵۶

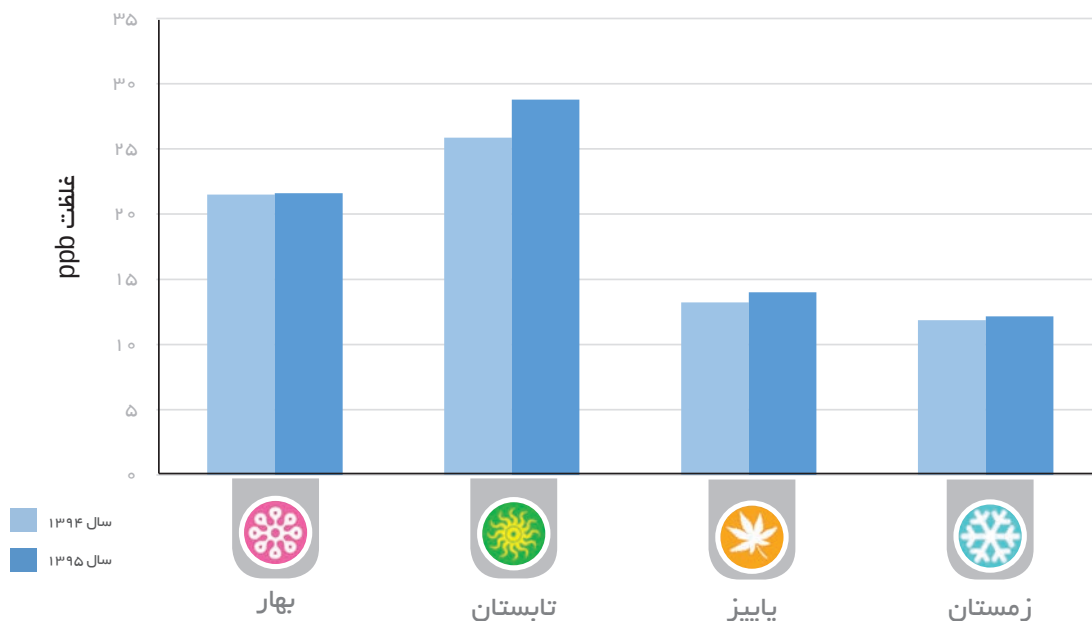
گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده‌ها



نمودار ۲-۱۵ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال ۱۳۹۵ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)

۲-۴-۲- مقایسه غلظت فصلی آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

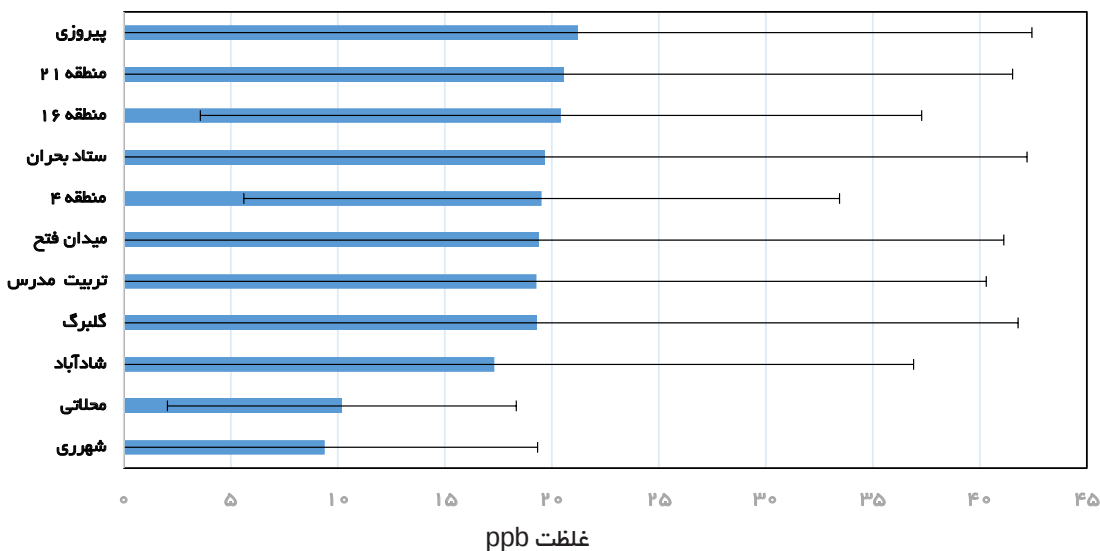
نمودار ۲-۱۶ غلظت آلاینده ازن را در فصول مختلف سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، بیشترین غلظت در هر دو سال مربوط به فصل تابستان بوده و فصل‌های سرد سال که شدت تابش خورشید در آن‌ها کمتر است، با حداقل غلظت روبه‌رو بوده‌اند، این در حالی است که تمام فصول سال ۱۳۹۵ نسبت به فصل مشابه سال ۱۳۹۴ از غلظت بیشتری برخوردار بوده‌اند.



نمودار ۲-۱۶ مقایسه فصلی غلظت آلاینده ازن (O_3) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

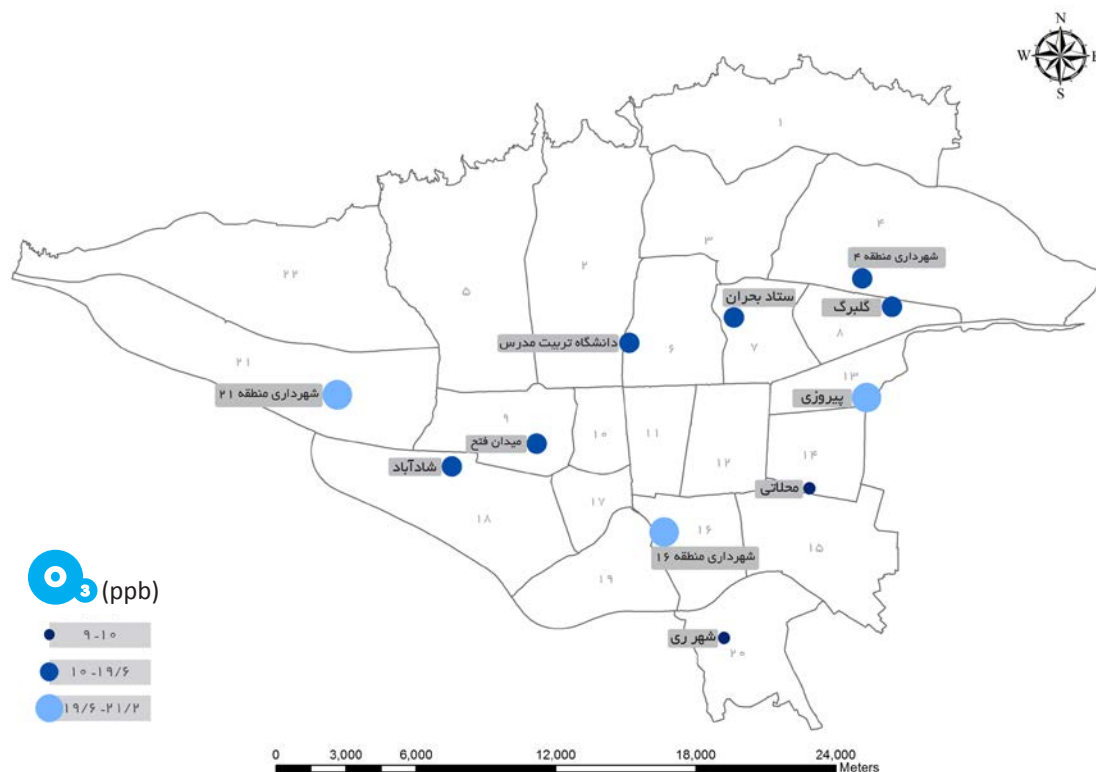
۲-۴-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۱۷ نشان‌دهنده متوسط سالانه غلظت آلاینده O_3 در ایستگاه‌هایی است که در بیش از نیمی از روزهای سال، اندازه‌گیری آلاینده ازن در آن‌ها انجام شده است. لازم به ذکر است، برای آلاینده ازن استاندارد سالانه تعریف نشده و در این نمودار تنها وضعیت غلظت آلاینده ازن در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۹۵ بررسی شده است. همان‌گونه که در نمودار دیده می‌شود، ایستگاه‌های پیروزی (منطقه ۱۳) و شهرداری منطقه ۲۱ از بیشترین میزان غلظت برخوردار بوده و ایستگاه‌های شهرری (منطقه ۲۰) و محلاتی (منطقه ۱۴) با کمترین میزان غلظت ازن مواجه بوده‌اند.



نمودار ۲-۱۷ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۵ میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن در سال ۱۳۹۵ را با استفاده از اندازه و رنگ دوایر قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین سالانه آلاینده ازن در آن ایستگاه بیشتر بوده است.

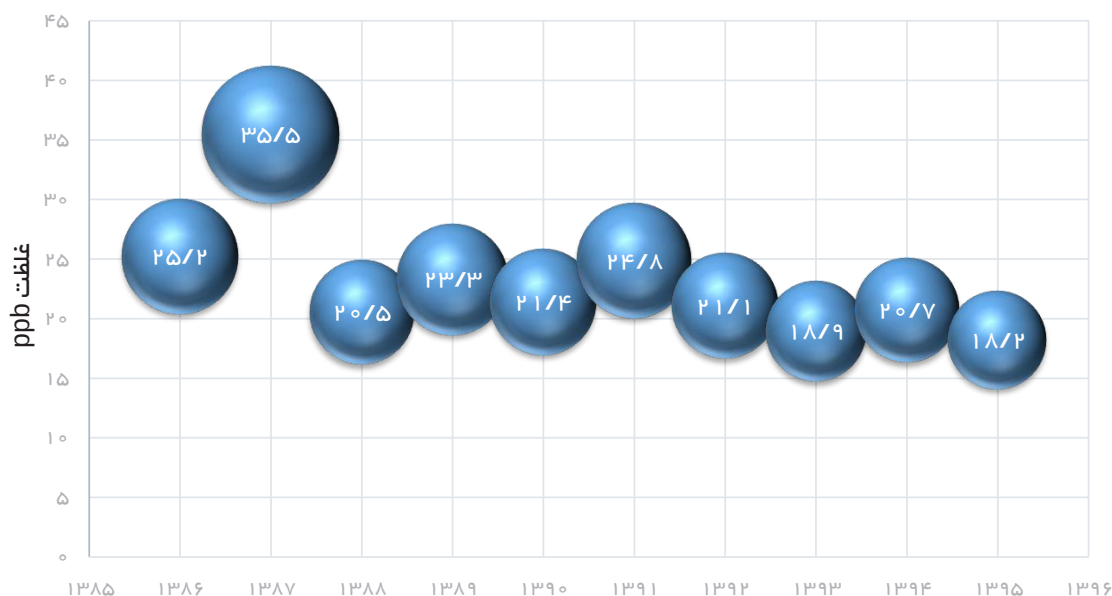


شکل ۲-۵ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده O_3 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

مطابق شکل ۲-۵ و نمودار ۲-۱۷ بالاترین غلظت ازن در ایستگاه‌های پیروزی (منطقه ۱۳) و شهرداری منطقه ۲۱ مشاهده می‌گردد. افزایش غلظت در نقاط حاشیه‌ای به علت فاصله گرفتن از مرکز شهر قابل توجه می‌باشد، چراکه غلظت آلاینده ازن در حاشیه شهرها بیشتر از نقاط مرکزی می‌باشد و در نقاط مرکزی، غلظت این آلاینده کمتر می‌باشد.

۲-۴-۴- مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

در نمودار ۲-۱۸ مقایسه سالانه غلظت آلاینده ازن از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ نشان داده شده است. سال ۱۳۸۷ نسبت به سال‌های مورد مطالعه در وضعیت نامطلوب‌تری قرار داشته و سایر سال‌ها در وضعیت نسبتاً مشابهی از منظر آلاینده ازن بوده‌اند. با توجه به این که برای این آلاینده استاندارد سالانه تعریف نشده، در نمودار ذیل تنها روند غلظت این آلاینده طی سال‌های مختلف نشان داده شده است.

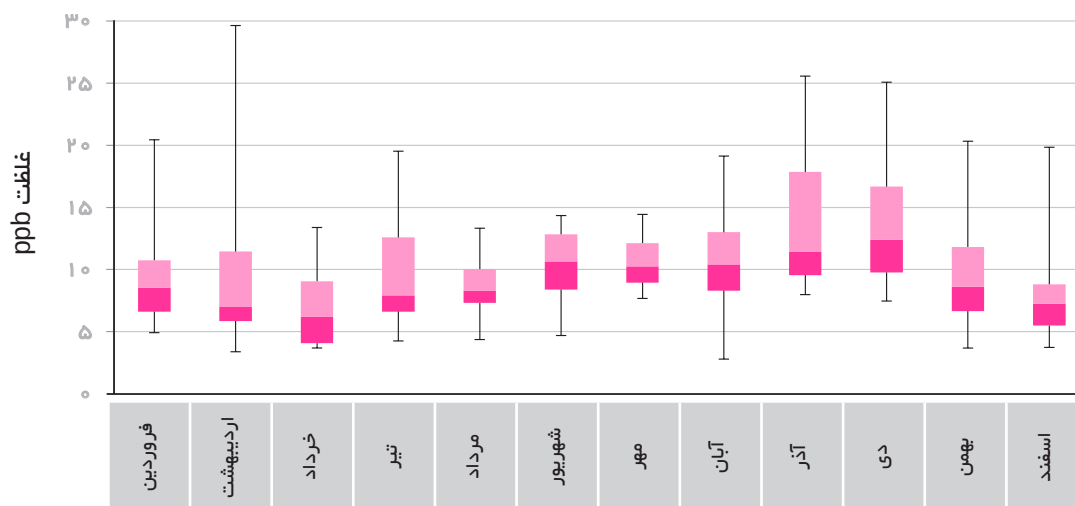


نمودار ۲-۱۸ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

۲-۵- آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2)

۲-۵-۱- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۱۹ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد طی سال ۱۳۹۵ را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد، علی رغم این که ماکزیمم مقادیر غلظت در ماه اردیبهشت دیده شده است. میانگین غلظت این آلاینده در ماه های آذر و دی بیش از سایر ماه ها است.



نمودار ۲-۱۹ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) طی سال ۱۳۹۵ (میانگین غلظت ایستگاه ها)

۲-۵-۲- مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) طی سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

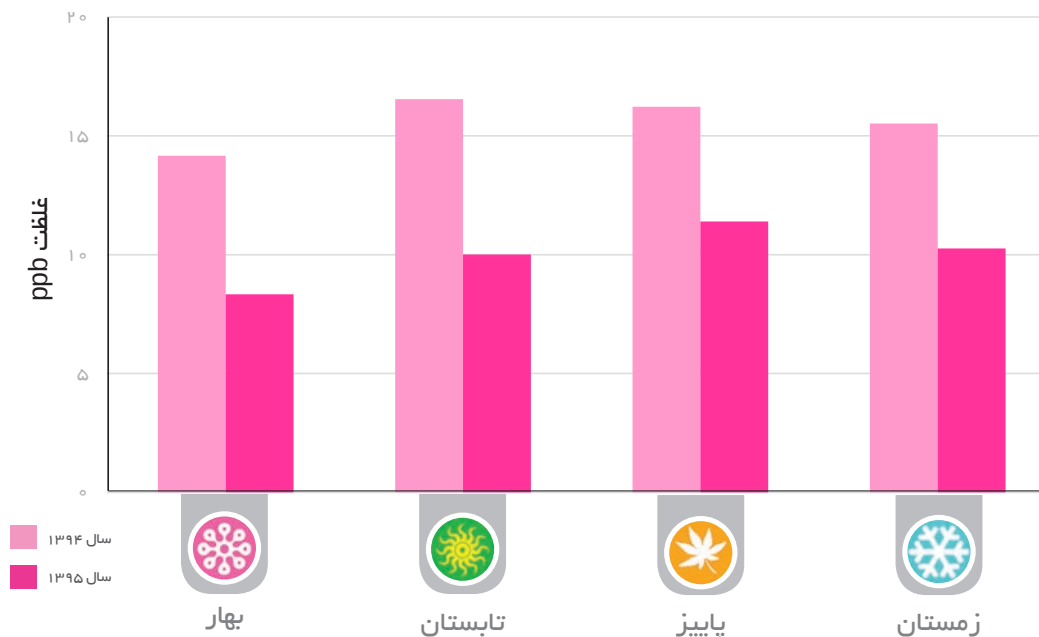
نمودار ۲-۲۰ میانگین غلظت آلاینده SO_2 را در فصول مختلف سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد، در تمام فصول سال ۱۳۹۵ غلظت فصلی آلاینده دی اکسید گوگرد نسبت به فصل مشابه در سال ۱۳۹۴ کمتر بوده است.

SO_2

فصل ۲

۶۲

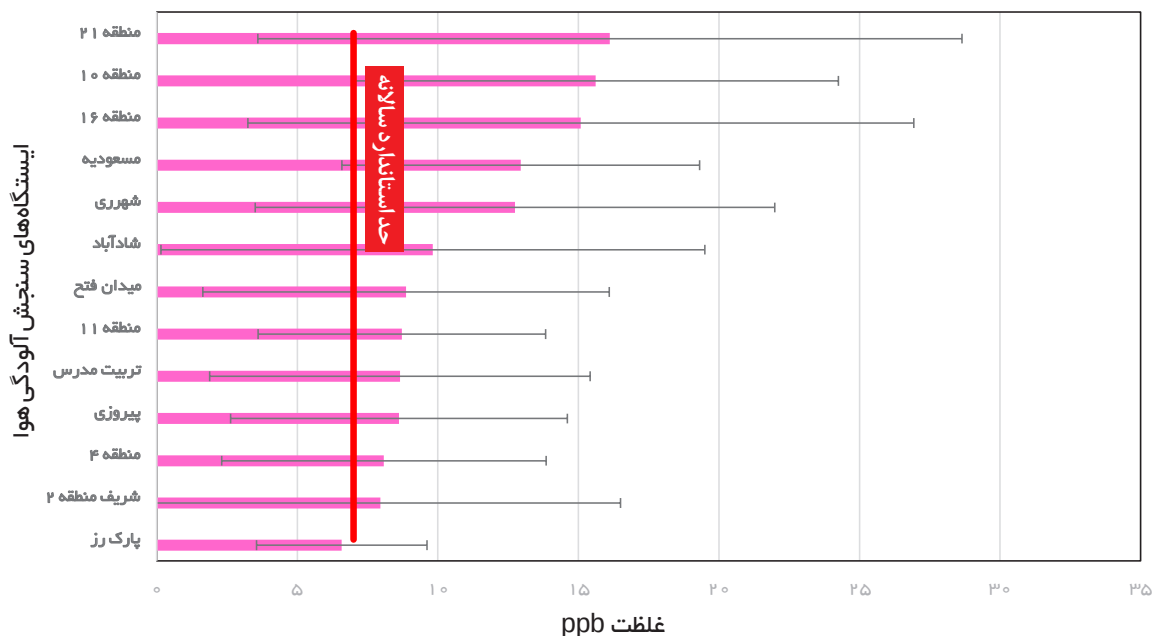
گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده ها



نمودار ۲-۲۰ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی اکسید گوگرد (SO₂) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

۲-۵-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد (SO₂) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

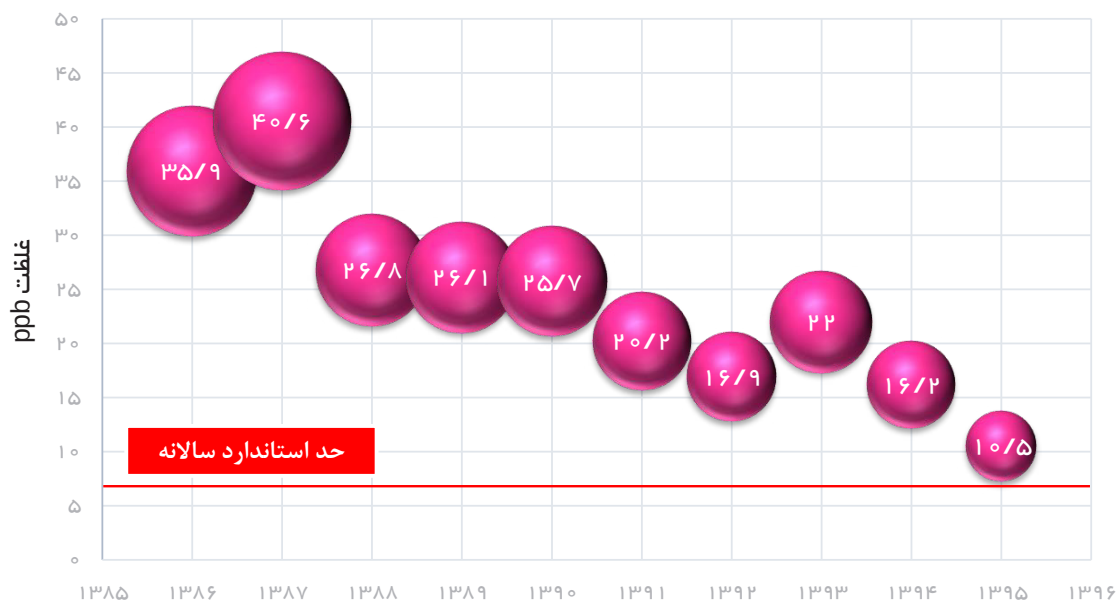
در نمودار ۲-۲۱ متوسط سالانه آلاینده دی اکسید گوگرد در ایستگاه‌هایی که بیش از نیمی از روزهای سال از آن‌ها داده آلاینده دی اکسید گوگرد برداشت شده و همچنین مقایسه آن با حدود استاندارد ایران (خط قرمز رنگ برابر با ۷ ppb) ذکر شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به سختگیرانه‌تر بودن استاندارد سالانه نسبت به استاندارد کوتاه‌مدت آلاینده‌ها، به غیر از ایستگاه پارک رز، وضعیت غلظت سالانه آلاینده دی اکسید گوگرد در سایر ایستگاه‌هایی که این آلاینده را سنجش نموده‌اند، در وضعیت ناسالم قرار دارند، هر چند از منظر استاندارد روزانه، روز ناسالمی در سال ۱۳۹۵ مشاهده نشده است.



نمودار ۲-۲۱ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO₂) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۶ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سال ۱۳۹۵ را با استفاده از اندازه و رنگ دوایر قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در آن ایستگاه بیشتر بوده است. بیشترین میانگین سالانه آلاینده SO₂ در سال ۱۳۹۵ مربوط به ایستگاه‌های شهرداری مناطق ۲۱، ۱۰ و ۱۶ بوده که در نمودارها قابل مشاهده می‌باشد. تردد خودروهای سنگین با سوخت دیزل نقش به‌سزایی در افزایش غلظت این آلاینده دارد، به‌خصوص اگر میزان غلظت گوگرد موجود در سوخت بالا باشد.

و در سال ۱۳۹۳ افزایش نسبی یافته و مجدداً روند کاهشی در سال ۱۳۹۵ نیز تداوم داشته است. میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سال ۱۳۸۷ نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی در وضعیت نامناسب‌تری بوده و سال ۱۳۹۵ نسبت به سایر سال‌های مورد مطالعه در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته و به حد استاندارد سالانه بسیار نزدیک شده است. شایان ذکر است، در سال‌های اخیر میزان غلظت گوگرد موجود در گازوئیل مصرفی شهر کاهش یافته است و پیش‌بینی می‌شود در صورت کاهش غلظت گوگرد در گازوئیل مصرفی خودروهای سنگین و اتوبوس‌هایی که در نقاط دیگر کشور سوخت‌گیری می‌نمایند، روند کاهشی این آلاینده همچنان ادامه داشته باشد.



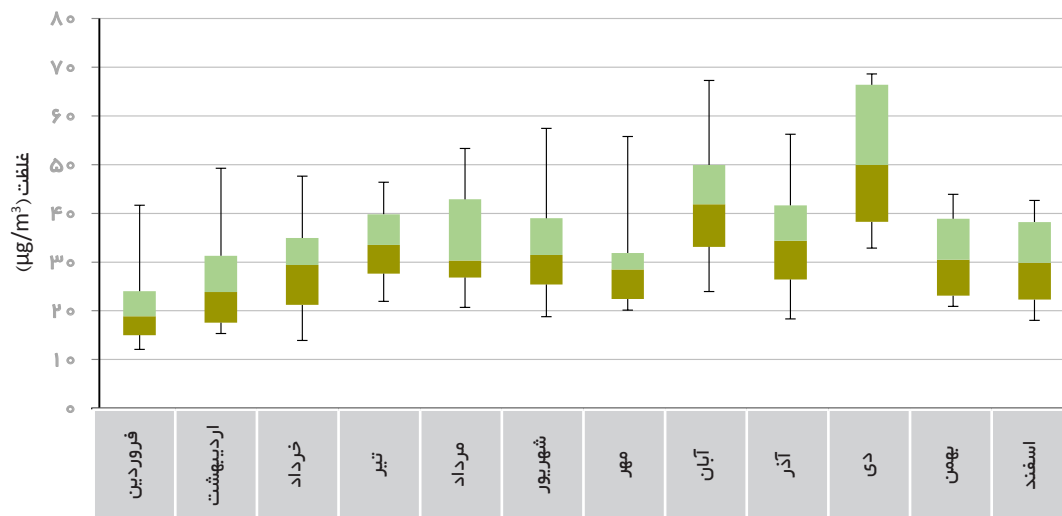
نمودار ۲-۲ میانگین سالانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO₂) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵

۲-۶- آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

۲-۶-۱- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۲۳ غلظت میانگین آلاینده $PM_{2.5}$ را در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. این آلاینده که نماینده طیف وسیعی از ذرات بسیار ریز با سایزهای متفاوت با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون می‌باشد، بیشتر از فرایندهای احتراقی به‌ویژه در وسایل نقلیه موتوری نظیر خودروهای دیزل تولید می‌شود و در صورت حاکمیت شرایط جوی پایدار برای چند روز متوالی، در هوای شهر انباشت می‌شود. شایان ذکر است، این آلاینده در اکثر قریب به اتفاق روزها، آلاینده شاخص به شمار می‌رود.

در ماه فروردین مقارن با تعطیلات نوروزی، کاهش ترافیک و شرایط مناسب جوی، کمترین غلظت ماهانه این آلاینده اتفاق افتاده است و همان‌طور که در نمودار مشخص شده، میانگین ماهانه غلظت با شروع فصل گرم و بروز پدیده گردوغبار در شهر، افزایش یافته است. البته بیشترین مقادیر در غلظت ماهانه به ترتیب در ماه‌های دی و آبان دیده می‌شود و علت آن برودت هوا، افزایش میزان پایداری جوی و وارونگی دما است که به انباشت آلاینده‌ها در هوای شهر منجر شده است.



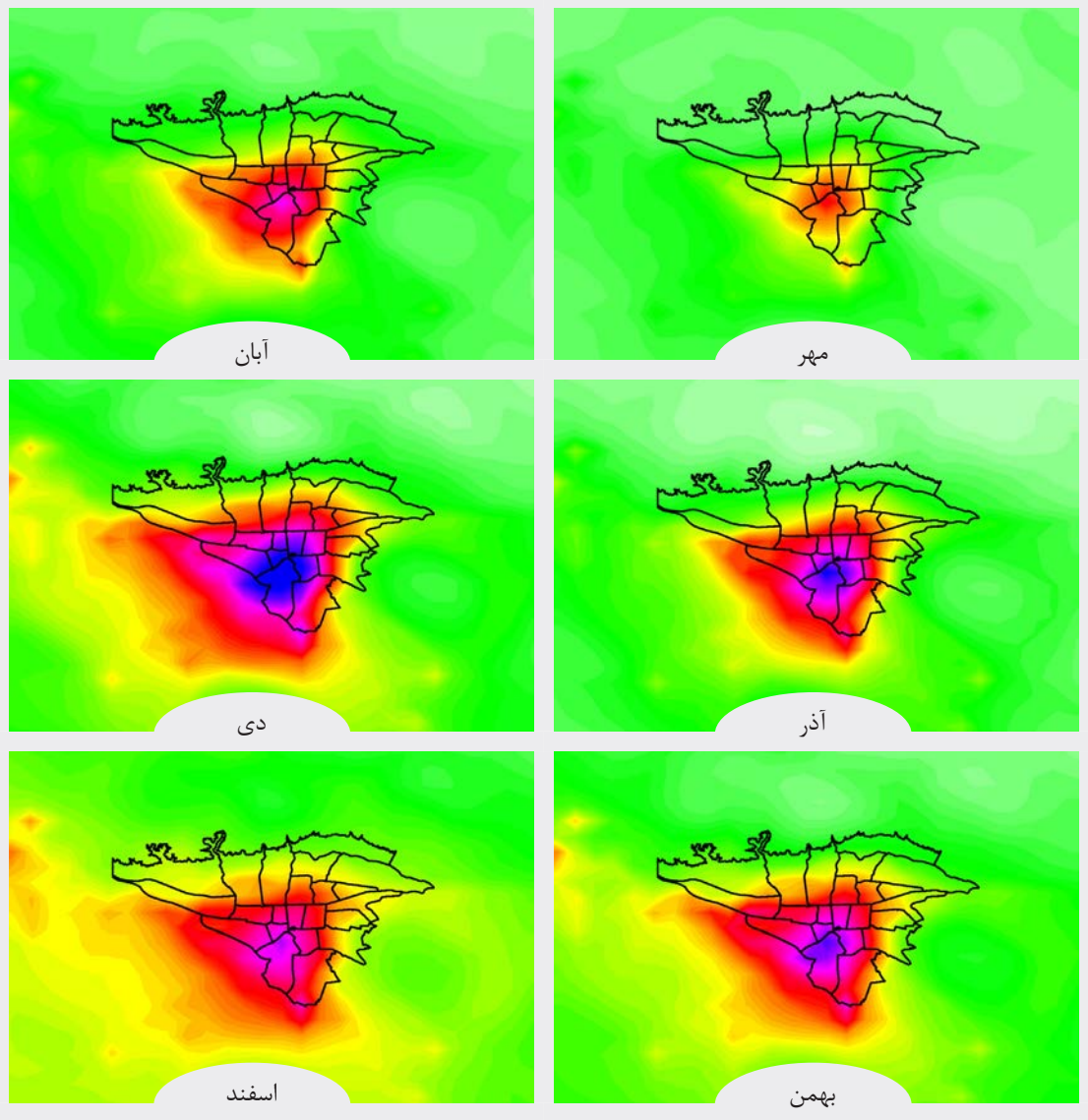
نمودار ۲-۲۳ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)

۲-۶-۱-۱-مدلسازی نحوه توزیع و پراکنش آلاینده $PM_{2.5}$ طی شش ماه دوم سال ۱۳۹۵

با استفاده از سیستم مدلسازی ریاضی توسعه داده شده در شرکت کنترل کیفیت هوا، شبیه‌سازی توزیع میانگین ماهانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران برای شش ماه دوم سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. در شکل ۲-۷ توزیع میانگین ماهانه غلظت $PM_{2.5}$ در سطح شهر تهران در شش ماه دوم سال ۱۳۹۵ (ماه‌های مهر الی اسفند) نشان داده شده است.

با توجه به این شکل، بیشترین میانگین ماهانه غلظت مربوط به دی ماه است و همان‌گونه که در نمودار ۲-۲۳ مشخص است، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها نیز بیشینه میانگین ماهانه غلظت $PM_{2.5}$ در دی ماه مشاهده گردیده است. همچنین روند تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده طی ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند و همزمان با ماه‌های سرد سال (به ویژه آذر و دی ماه) و افزایش احتمال برقراری شرایط جوی پایدار، تجمع قابل توجه غلظت $PM_{2.5}$ در برخی مناطق شهر تهران مشاهده شده است.

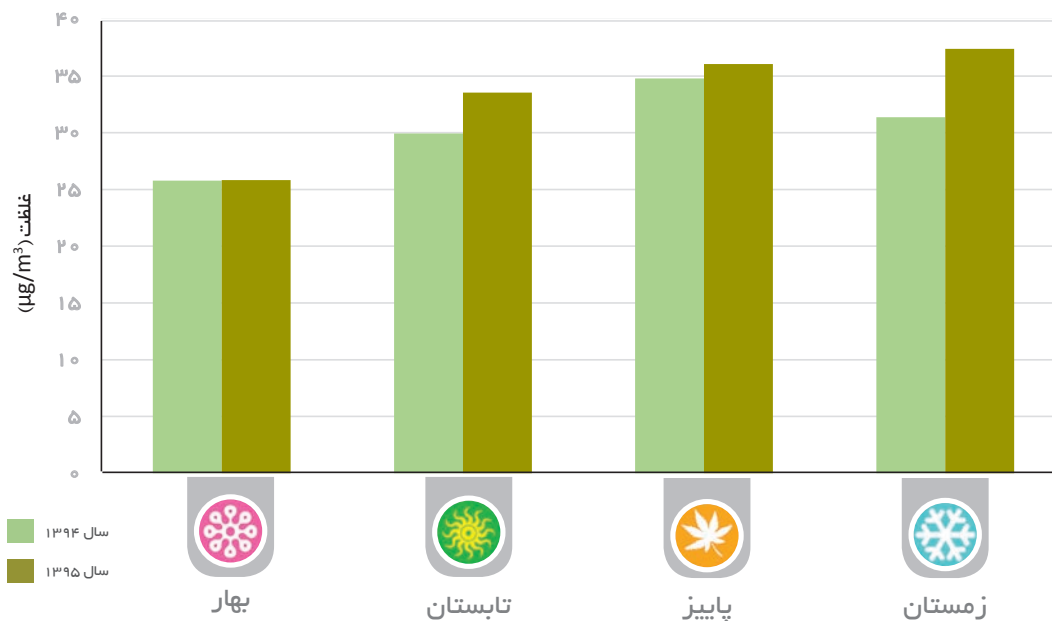




شکل ۲-۷ نحوه توزیع و پراکنش آلاینده PM_{2.5} طی ماه‌های مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند ۱۳۹۵

۲-۶-۲- مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

در نمودار ۲-۶-۲ به مقایسه غلظت میانگین ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در فصل‌های مختلف دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ پرداخته شده است. در هر دو سال فصل بهار از کمترین مقادیر برخوردار بوده است که می‌تواند به علت شرایط مناسب جوی این فصل باشد و با افزایش ترافیک و همین‌طور تغییرات شرایط جوی به میزان این آلاینده در سایر فصول افزوده شده است. غلظت این آلاینده در تمام فصول سال ۱۳۹۵ نسبت به فصل مشابه سال ۱۳۹۴ افزایش داشته است.



نمودار ۲-۶-۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

شکل ۲-۸ توزیع میانگین فصلی غلظت $PM_{2.5}$ مدلسازی شده در سطح شهر تهران برای دو فصل پاییز و زمستان سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، همانند آنچه در نمودار ۲-۶-۲ مشاهده

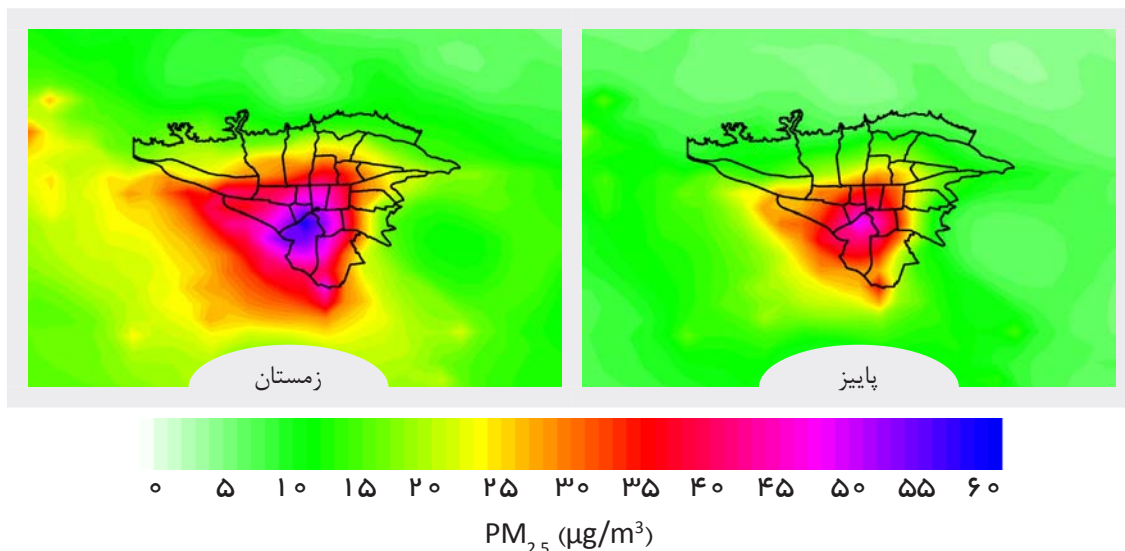


فصل ۲

۷۰

گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب غلظت آلاینده‌ها

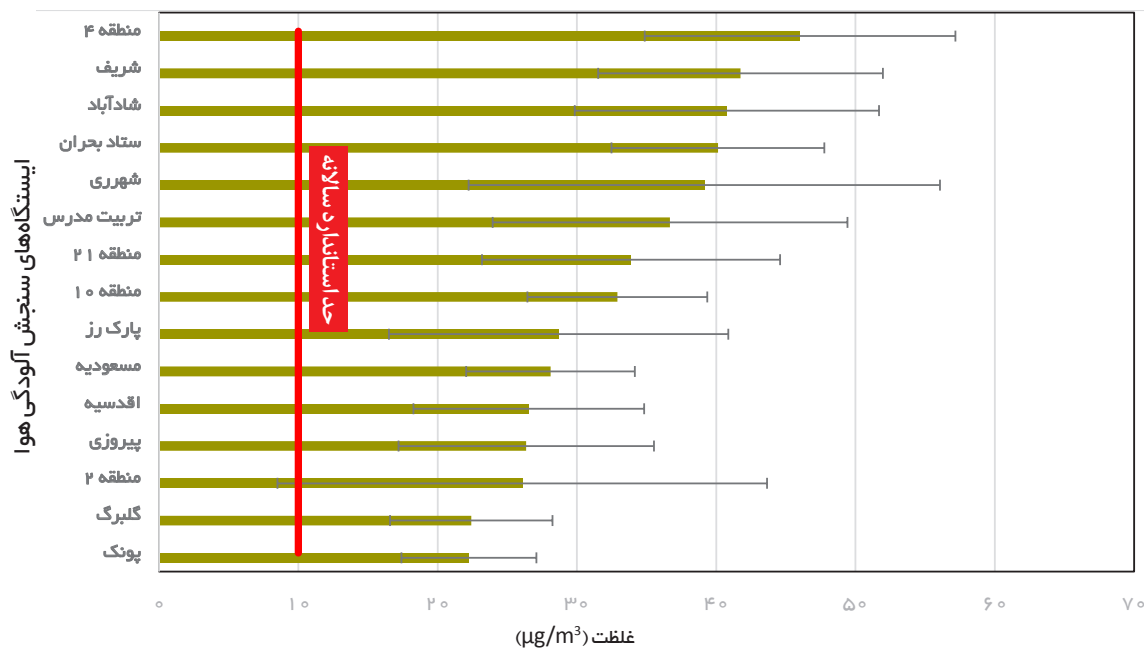
می‌گردد، نتایج مدل و مشاهدات هر دو بر بیشتر بودن میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل زمستان نسبت به فصل پاییز دلالت می‌کنند.



شکل ۲-۸ نحوه توزیع و پراکنش میانگین فصلی غلظت $PM_{2.5}$ طی فصل‌های پاییز و زمستان سال ۱۳۹۵

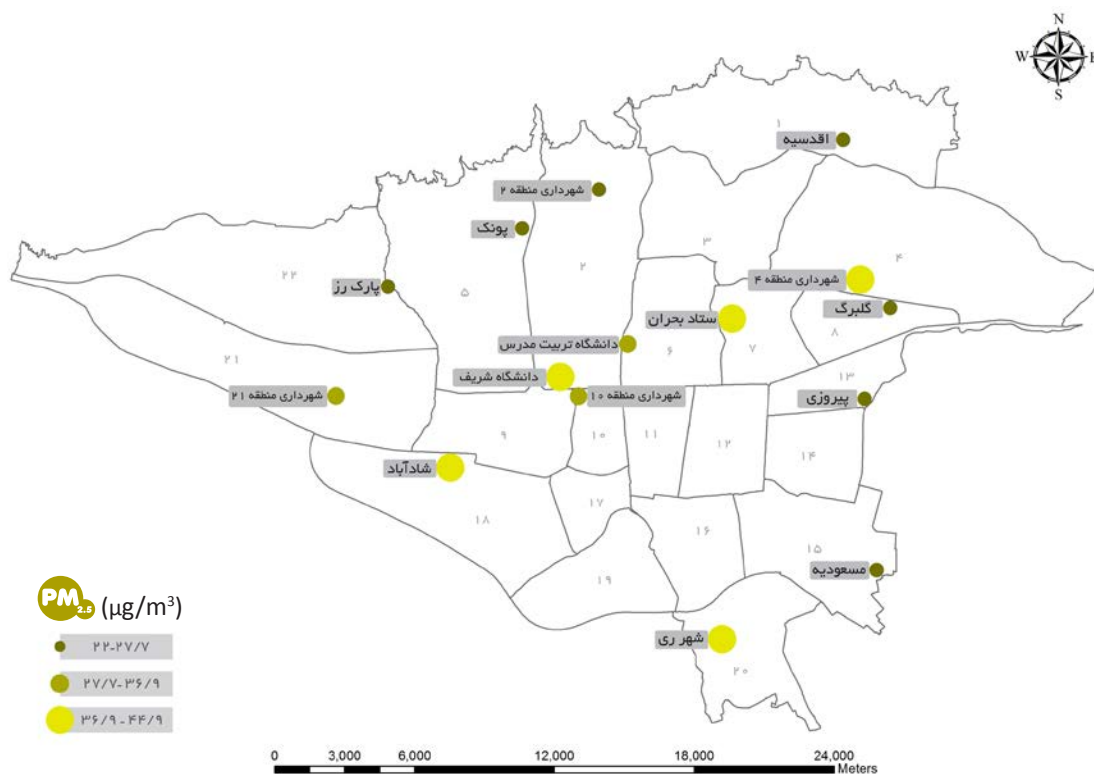
۲-۶-۳- میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۲۵ نشان‌دهنده متوسط سالانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌هایی می‌باشد که بیش از نیمی از روزهای سال در آن‌ها داده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، وضعیت این آلاینده در تمام ایستگاه‌ها در مقایسه با استاندارد سالانه ایران (خط قرمز رنگ برابر با $10 \mu g/m^3$)، طی سال ۱۳۹۵ بسیار نامطلوب بوده است و در ایستگاه‌های منطقه ۴، دانشگاه شریف (منطقه ۲) و ایستگاه شادآباد (منطقه ۱۸) به ترتیب بیشترین میزان غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ مشاهده شده و ایستگاه پونک نیز نسبت به سایر ایستگاه‌ها از کمترین میزان برخوردار بوده است.



نمودار ۲-۲۵ وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

شکل ۲-۹ میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در سال ۱۳۹۵ را با استفاده از رنگ دوایر قرار گرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین سالانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در آن ایستگاه بیشتر بوده است.

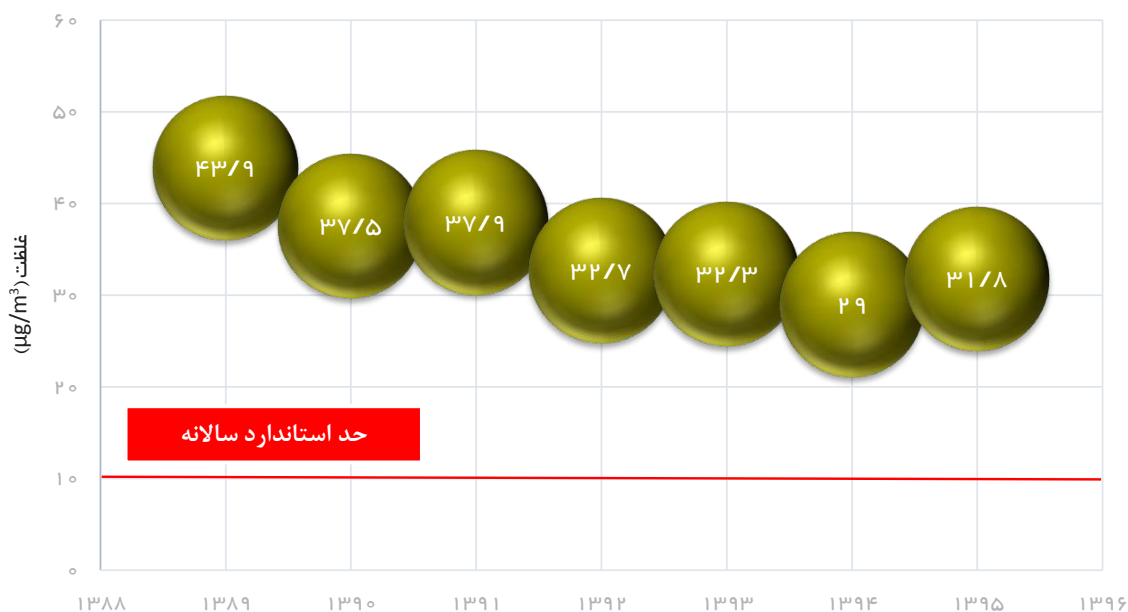


شکل ۲-۹ وضعیت سالانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

مطابق شکل ۲-۹ و نمودار ۲-۲۵ در ایستگاه‌های واقع در شمال و شرق شهر تهران غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ کمتر بوده است. در تولید و انتشار این آلاینده علاوه بر فرایند احتراق خودروها و منابع ساکن شهری، انتشار از منابع طبیعی خارج و داخل شهر و انتقال از چشمه‌های تولید گردوغبار تأثیرگذار است.

۲-۶-۴- مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵

با وجود آن‌که کیفیت هوا از منظر استاندارد روزانه برای آلاینده $PM_{2.5}$ در بسیاری از روزهای سال در شرایط سالم و حتی پاک قرار می‌گیرد، ولی از منظر استاندارد سالانه، تمام سال‌های اخیر به لحاظ این آلاینده شاخص، در شرایط فراتر از حد استاندارد قرار داشته‌اند. در نمودار ۲-۶ مقایسه سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون از سال ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵ نشان داده شده است. سالانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵ روند نسبتاً کاهشی داشته است و میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در سال ۱۳۸۹ نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی در وضعیت نامناسب‌تر و سال ۱۳۹۴ کمترین میزان را در این میان به خود اختصاص داده است و البته در سال ۱۳۹۵ اندکی افزایش نسبت به سال ۱۳۹۴ به چشم می‌خورد. این درحالی است که، تمامی سال‌های مورد بررسی در مقایسه با استاندارد سالانه در وضعیت بسیار نامطلوبی بوده‌اند. لازم به ذکر است، اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) از اوایل مهر ماه سال ۱۳۸۹ در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا انجام شده است.



نمودار ۲-۶-۴- وضعیت میانگین سالانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵



۳

گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب شاخص AQI

$PM_{2.5}$



PM_{10}



AQI



از آنجا که آلاینده‌های مختلفی در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا اندازه‌گیری می‌شوند و هر کدام از این آلاینده‌ها حدود استاندارد خاص خود را دارا می‌باشند، به منظور تسهیل در ارائه گزارش‌ها و استفاده راحت‌تر برای همه اقشار جامعه، به‌جای استفاده از غلظت‌ها و واحدهای مختلف و پیچیده، از شاخص AQI که عددی بدون بعد می‌باشد، استفاده می‌گردد. در این بخش سعی شده شاخص‌های کیفیت هوا در روزها و ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ و همچنین وضعیت شاخص کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ در جداول و نمودارهای متنوع با هم مقایسه گردند. این مقایسه به غیر از نمایش شرایط کیفیت هوا، کمک شایانی به تحلیل شرایط موجود و تدوین برنامه‌های آینده می‌نماید.

۳-۱- وضعیت کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا

۳-۱-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵

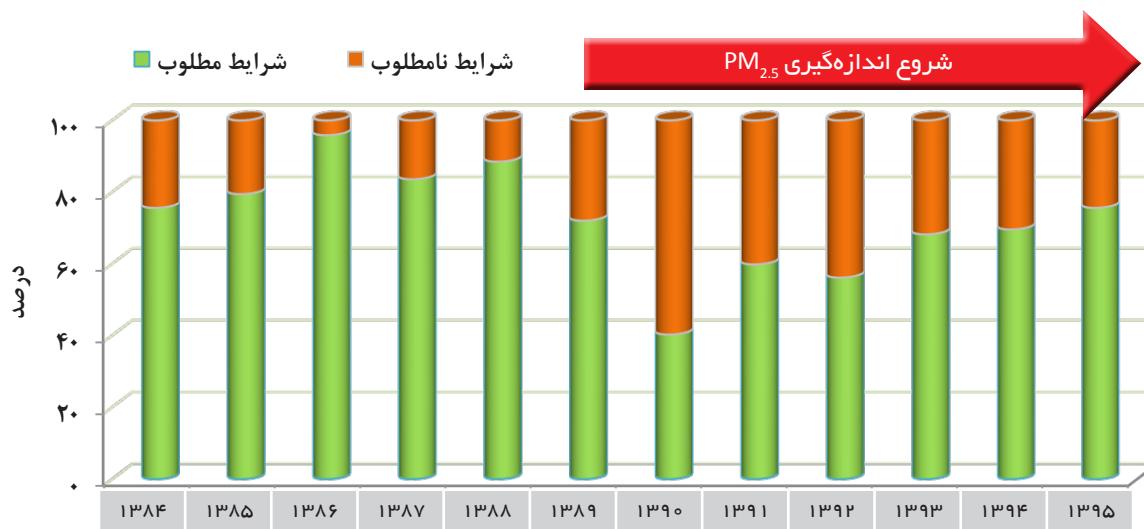
جدول ۳-۱ نشان‌دهنده وضعیت کیفی هوا از نظر شاخص کیفیت هوا طی سال‌های مختلف بر حسب تعداد روز می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، در سال ۱۳۹۵ تعداد روزهای آلوده در مقایسه با سال‌های اخیر کاهش محسوسی داشته است و در مجموع به ۸۹ روز رسیده است. هر چند تعداد روزهای پاک این سال ۱۷ روز بوده و نسبت به سال ۱۳۹۴، ۴ روز کمتر شده است ولی مجموع روزهای پاک و سالم از سال ۱۳۹۰ (شروع اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون) برای اولین بار به ۲۷۷ روز رسیده و خوشبختانه بیشترین تعداد روزهای در شرایط مطلوب در این سال رخ

داده است. از طرف دیگر سال ۱۳۸۶ با کمترین تعداد روزهای آلوده (۱۵ روز ناسالم برای گروه‌های حساس) نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته است. شایان ذکر است، اندازه‌گیری آلاینده $PM_{2.5}$ از اواسط سال ۱۳۸۹ در شهر تهران آغاز شده و محاسبه وضعیت این آلاینده در بررسی‌های انجام شده، عامل افزایش تعداد روزهای آلوده از این زمان در شهر تهران بوده است.

جدول ۳-۱ کیفیت هوا از نظر شاخص کیفیت هوا (AQI) طی سال‌های مختلف (برحسب تعداد روز)

	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک
۱۳۸۴	۰	۰	۳	۸۶	۲۵۳	۲۳
۱۳۸۵	۰	۰	۰	۷۵	۲۵۴	۳۶
۱۳۸۶	۰	۰	۰	۱۵	۳۲۸	۲۲
۱۳۸۷	۰	۱	۲	۵۷	۲۹۳	۱۳
۱۳۸۸	۱	۱	۴	۳۶	۲۹۱	۳۲
۱۳۸۹	۰	۱	۲۴	۷۷	۲۴۹	۱۴
۱۳۹۰	۰	۳	۷	۲۰۸	۱۴۴	۳
۱۳۹۱	۰	۱	۱۲	۱۳۴	۲۱۶	۳
۱۳۹۲	۰	۰	۱۲	۱۴۸	۲۰۲	۳
۱۳۹۳	۰	۰	۴	۱۱۲	۲۳۳	۱۶
۱۳۹۴	۰	۱	۵	۱۰۵	۲۳۳	۲۱
۱۳۹۵	۰	۰	۹	۸۰	۲۶۰	۱۷

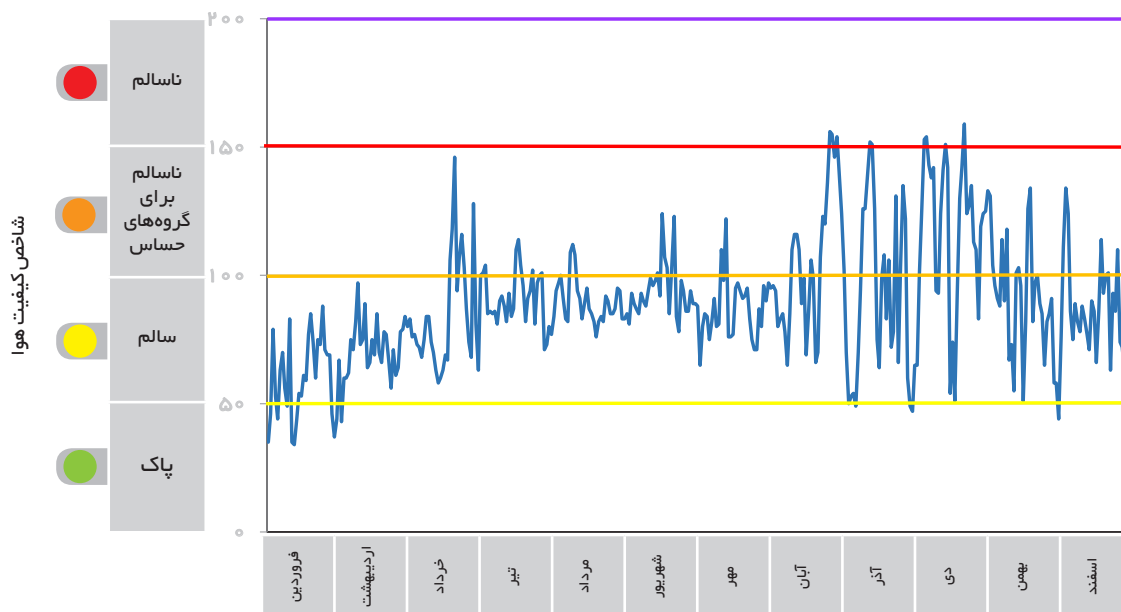
مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و سالم) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ در نمودار ۱-۳ نشان داده شده است. در نمودار ۱-۳، کاهش تعداد روزهای آلوده طی شش سال اخیر (دوره اندازه‌گیری آلاینده $PM_{2.5}$) کاملاً محسوس است.



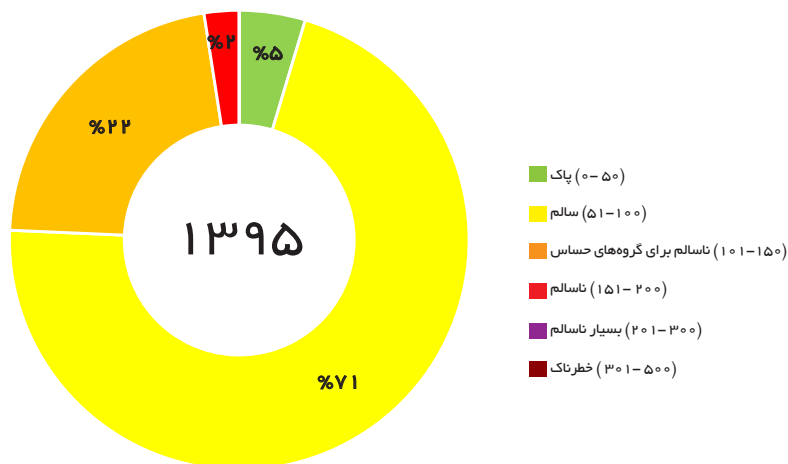
نمودار ۱-۳: مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده AQI طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵

۳-۱-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۲-۳ روند تغییرات روزانه شاخص AQI و نمودار ۳-۳ درصد روزهای سالم و ناسالم را در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهند. همان‌طور که در نمودار ۲-۳ مشاهده می‌گردد، کیفیت هوا در تمام روزهای دو ماه ابتدایی سال در شرایط مطلوب قرار داشته و از ماه خرداد و با شدت گرفتن گرما و وقوع پدیده گرد و غبار، به تدریج بر تعداد روزهای آلوده افزوده شده است. نکته قابل توجه این است که از ماه خرداد تا انتهای آبان ماه سال ۱۳۹۵، هیچ روز پاکی مشاهده نشده است. هرچند در این مدت بیشتر روزها در شرایط سالم قرار داشته ولی تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس نیز قابل ملاحظه بوده است. با شروع سرما تعداد روزهای نامطلوب و میزان آلودگی هوا افزوده شده و در اواخر آذر تا اوایل دی ماه، شرایط نامطلوب در تعداد زیادی از روزها به شکل متوالی اتفاق افتاده که این توالی طولانی، خود وخامت شرایط کیفیت هوا را حادثر نموده است. استقرار جو پایدار و وقوع پدیده وارونگی عمده‌ترین عامل افزایش تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در روزهای سرد سال بوده است. البته در چندین روز از ماه‌های سرد سال با حاکمیت جریانات جوی مناسب، کیفیت هوای پایتخت به شرایط پاک رسید. در مجموع در سال ۱۳۹۵، حدود ۷۶٪ روزها در شرایط مطلوب و ۲۴٪ روزها در وضعیت نامطلوب بوده است. آلوده‌ترین روز از منظر شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۵ مربوط به ۲۰ دی ماه با شاخص ۱۵۹ و پاک‌ترین روزهای سال، روز اول و یازدهم فروردین با شاخص ۳۵ بوده است.



نمودار ۲-۳ تغییرات شاخص کیفیت هوا طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

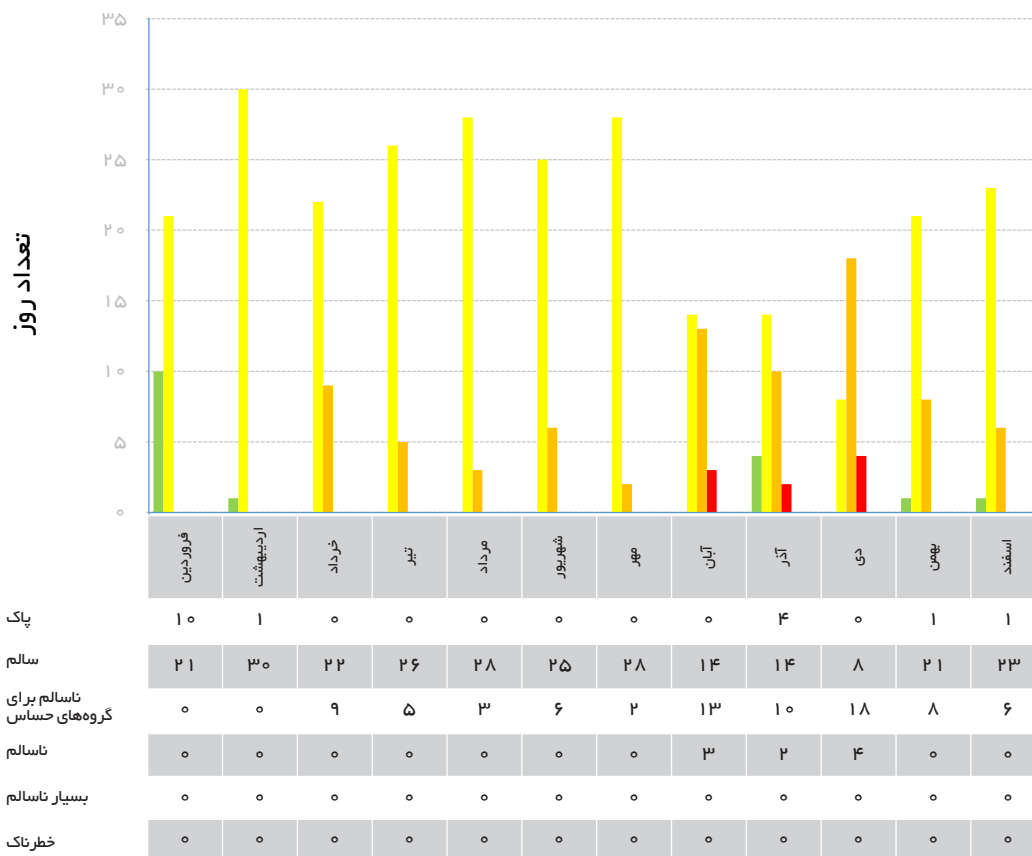


نمودار ۳-۳ وضعیت شاخص کیفیت هوا (AQI) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)

۱. با توجه به نبود روزهای در شرایط بسیار ناسالم و خطرناک، این شرایط در نمودارها نمایش داده نشده است.

۳-۱-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

با توجه به نمودار ۳-۴ مشاهده می‌گردد، بیشترین روزهای آلوده در سال ۱۳۹۵ به ترتیب در ماه‌های دی (۲۲ روز) و آبان (۱۶ روز) رخ داده است. ماه فروردین به علت وجود ۱۰ روز پاک و ۲۱ روز سالم و ماه اردیبهشت با وجود ۱ روز پاک و ۳۰ روز سالم و بدون هیچ روز آلوده، به‌ترتیب از مطلوب‌ترین کیفیت هوا نسبت به سایر ماه‌های سال برخوردار بوده‌اند.



نمودار ۳-۴ کیفیت هوا از نظر شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (برحسب تعداد روز)

۳-۱-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص AQI

تعداد روزهای با شرایط مطلوب و یا نامطلوب کیفی هوا طی روزهای مختلف سال ۱۳۹۵ به صورت مشخص تری در جدول ۲-۳ بر اساس رنگ‌های استاندارد شاخص کیفیت هوا نمایش داده شده است.

جدول ۲-۳- تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص AQI در سال ۱۳۹۵

 ناسالم	 پاک
 بسیار ناسالم	 سالم
 خطرناک	 ناسالم برای گروه‌های حساس

بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		

جدول ۳-۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص AQI در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر							آبان							آذر						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷			۱	۲	۳	۴	۵
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۲۹	۳۰						۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			

زمستان

دی							بهمن							اسفند						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲							۱		۱	۲	۳	۴	۵	۶
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۸	۲۹	۳۰				
							۳۰													

۳-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده منواکسیدکربن (CO)

۳-۲-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵

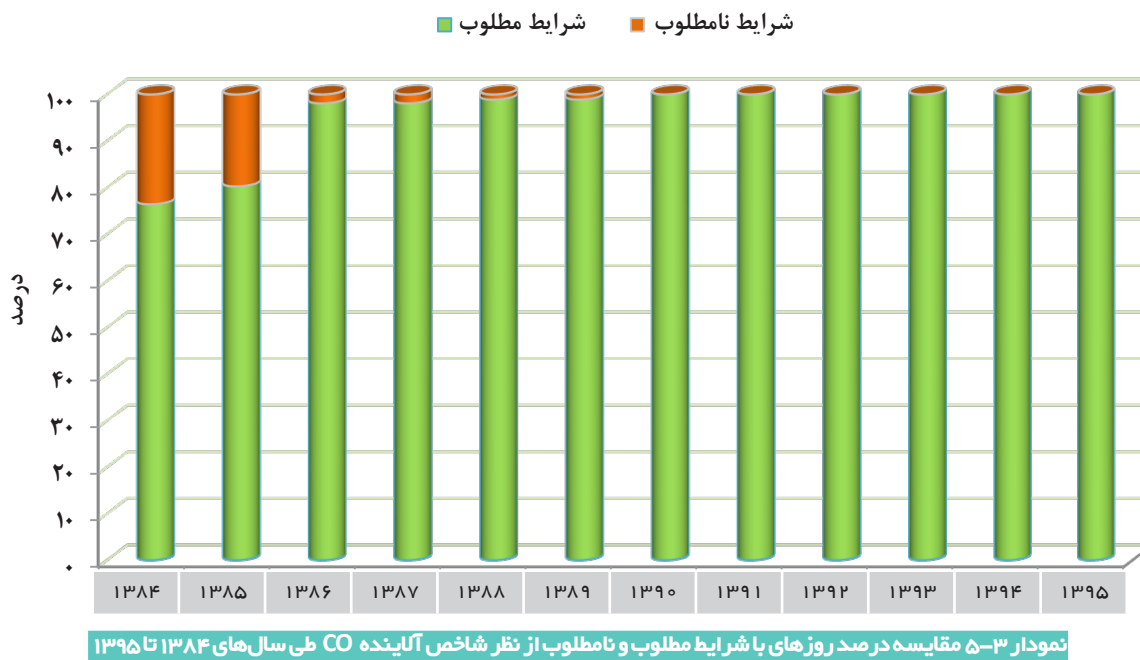
جدول ۳-۳ نشان‌دهنده کیفیت هوا از نظر آلاینده منواکسیدکربن می‌باشد، همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در این دوره ۱۲ ساله، سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به لحاظ آلاینده منواکسیدکربن جزء آلوده‌ترین سال‌ها بوده و سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ از نظر این آلاینده در شرایط مطلوبی قرار داشته و هیچ روز ناسالمی طی این ۶ سال رخ نداده است که مهمترین دلیل آن را می‌توان ارتقاء تکنولوژی ساخت خودروها، کاهش خودروهای کاربراتوری، تغییرات در سیستم گرمایش منازل و ارتقاء کیفیت سوخت طی چند سال اخیر عنوان نمود و البته نشان‌دهنده آن است که در صورت اجرای روش‌های صحیح، کاهش آلودگی هوا امکان‌پذیر خواهد بود.

جدول ۳-۳ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO طی سال‌های مختلف (برحسب تعداد روز)

	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک
۱۳۸۴	۰	۰	۳	۸۳	۲۴۳	۳۶
۱۳۸۵	۰	۰	۰	۷۲	۲۴۵	۴۸
۱۳۸۶	۰	۰	۰	۷	۲۷۷	۸۱
۱۳۸۷	۰	۰	۰	۷	۱۶۴	۱۹۵
۱۳۸۸	۰	۰	۰	۴	۲۲۱	۱۴۰
۱۳۸۹	۰	۰	۰	۴	۱۶۸	۱۹۳
۱۳۹۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۳۴۲
۱۳۹۱	۰	۰	۰	۰	۲۶	۳۴۰
۱۳۹۲	۰	۰	۰	۰	۴۶	۳۱۹
۱۳۹۳	۰	۰	۰	۰	۶۷	۲۹۸
۱۳۹۴	۰	۰	۰	۰	۳۸	۳۲۷
۱۳۹۵	۰	۰	۰	۰	۵۰	۳۱۶

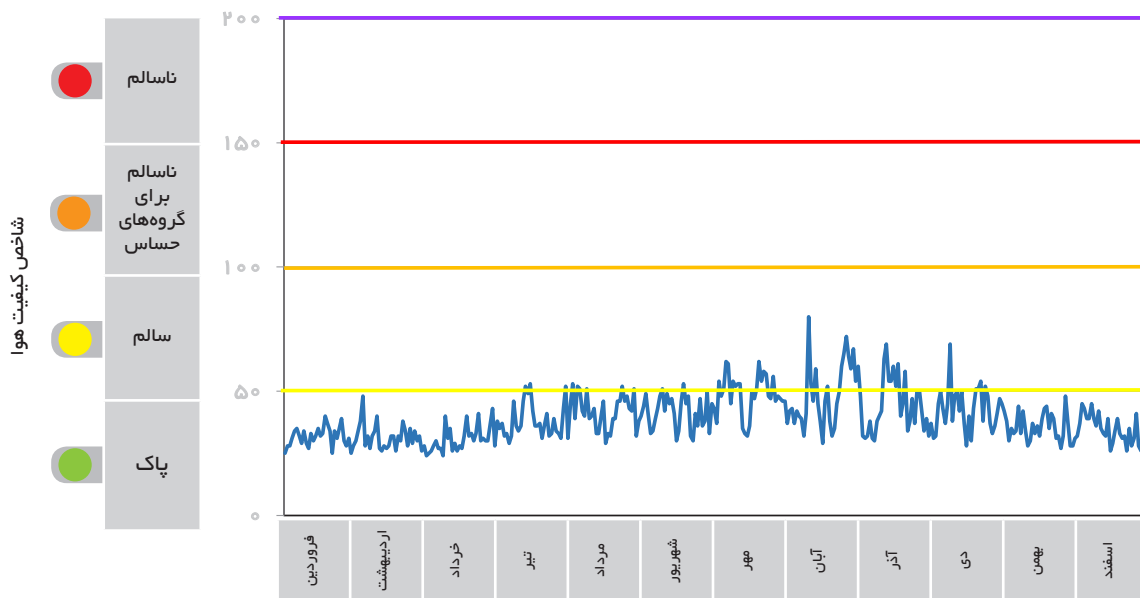


در نمودار ۳-۵ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و سالم) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ از منظر آلاینده CO نشان داده شده است. بهبود کیفیت هوا به لحاظ آلاینده منواکسیدکربن طی سال‌های مورد مطالعه در این نمودار محسوس می‌باشد.

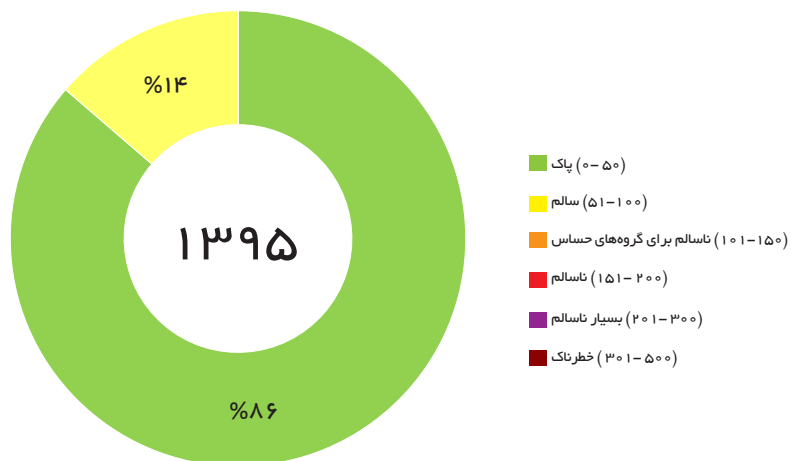


۳-۲-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده CO طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

در نمودار ۳-۶ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵ و در نمودار ۳-۷ درصد روزهای سالم و آلوده بر اساس آلاینده منواکسیدکربن در سال ۱۳۹۵ نشان داده شده است. هیچ روزی طی سال ۱۳۹۵ به لحاظ این آلاینده بالاتر از حد استاندارد نبوده و در ۸۶٪ روزهای سال، وضعیت پاک حکم‌فرما بوده است.



نمودار ۳-۶ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵



نمودار ۳-۷ وضعیت شاخص آلاینده منواکسیدکربن (CO) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)



۳-۲-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده CO طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۳-۲-۸ نشان می‌دهد، وضعیت شاخص آلاینده منواکسیدکربن بر اساس استاندارد هشت ساعته، در همه ماه‌های سال ۱۳۹۵ بسیار مطلوب بوده است و تمام ماه‌های فصل بهار و همچنین ماه‌های بهمن و اسفند به علت پاک بودن تمام روزها نسبت به سایر ماه‌ها، در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته‌اند. کمترین شاخص ثبت شده برای این آلاینده در سال ۱۳۹۵ مربوط به ۳۰ اردیبهشت، برابر ۲۴ و بیشترین عدد نیز مربوط به روز ۷ آبان ماه و برابر ۸۰ بوده است.



نمودار ۳-۲-۸ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (برحسب تعداد روز)



۳-۲-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده CO

در جدول ۳-۴، کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده CO با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO در سال ۱۳۹۵



بهار

فروردین							اردیبهشت							خرداد						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶					۱	۲	۳		۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳		۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰		۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷		۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱					۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۲۹	۳۰	۳۱			

تابستان

تیر							مرداد							شهریور						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴							۱			۱	۲	۳	۴	۵
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		
							۳۰	۳۱												



فصل ۳

۹۰

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

جدول ۳-۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰

آبان

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰					

آذر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			

زمستان

دی

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	

بهمن

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰						

اسفند

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰				

۳-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})

۳-۳-۱- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

جدول ۳-۵ نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوا از نظر آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی دوره دوازده ساله می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ مجموع تعداد روزهای پاک و سالم به لحاظ این آلاینده نسبت به سال قبل افزایش داشته و تنها ۶ روز به لحاظ این آلاینده در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس اتفاق افتاده است و سال ۱۳۹۵ از این نظر نسبت به سال‌های اخیر از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار بوده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد روزهای آلوده از نظر این آلاینده در سال ۱۳۸۷ بیشتر از سایر سال‌های مورد بررسی بوده است (۴۳ روز)، همچنین سال ۱۳۹۰، با ۳ روز بسیار ناسالم و نیز سال ۱۳۸۸ با ۱ روز خطرناک در شرایط نامطلوبی قرار داشته‌اند. این درحالی است که سال ۱۳۸۵ با داشتن ۳ روز فراتر از حد مجاز نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی، دارای شرایط بهتری به لحاظ آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون بوده است.

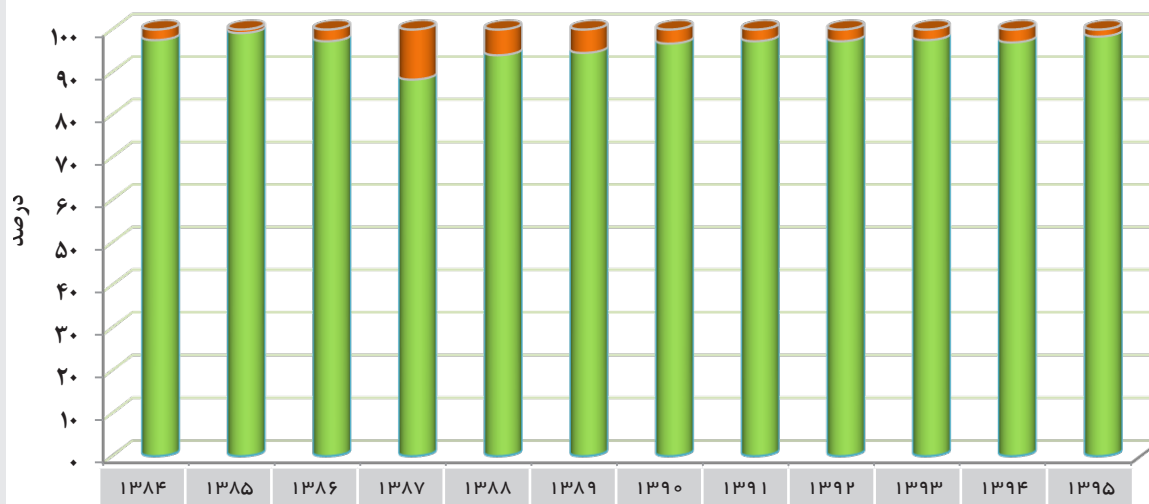
در نمودار ۳-۹ نیز مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و سالم) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ از منظر این آلاینده نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌شود، طی شش سال اخیر تغییر محسوسی در کیفیت هوا به لحاظ آلاینده PM_{10} رخ نداده و کیفیت مطلوبی از این حیث وجود داشته است.



جدول ۳-۵ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های مختلف (برحسب تعداد روز)

	پاک	سالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
۱۳۸۴	۱۰۵	۲۵۱	۹	۰	۰	۰
۱۳۸۵	۱۷۵	۱۸۷	۳	۰	۰	۰
۱۳۸۶	۱۰۲	۲۵۳	۱۰	۰	۰	۰
۱۳۸۷	۴۹	۲۷۴	۴۰	۲	۱	۰
۱۳۸۸	۱۱۵	۲۲۸	۱۶	۴	۱	۱
۱۳۸۹	۹۳	۲۵۲	۱۷	۲	۱	۰
۱۳۹۰	۶۳	۲۹۰	۹	۰	۳	۰
۱۳۹۱	۶۰	۲۹۶	۶	۳	۱	۰
۱۳۹۲	۷۳	۲۸۲	۱۰	۰	۰	۰
۱۳۹۳	۱۱۶	۲۴۰	۷	۲	۰	۰
۱۳۹۴	۱۱۹	۲۳۵	۹	۱	۱	۰
۱۳۹۵	۹۱	۲۶۹	۶	۰	۰	۰

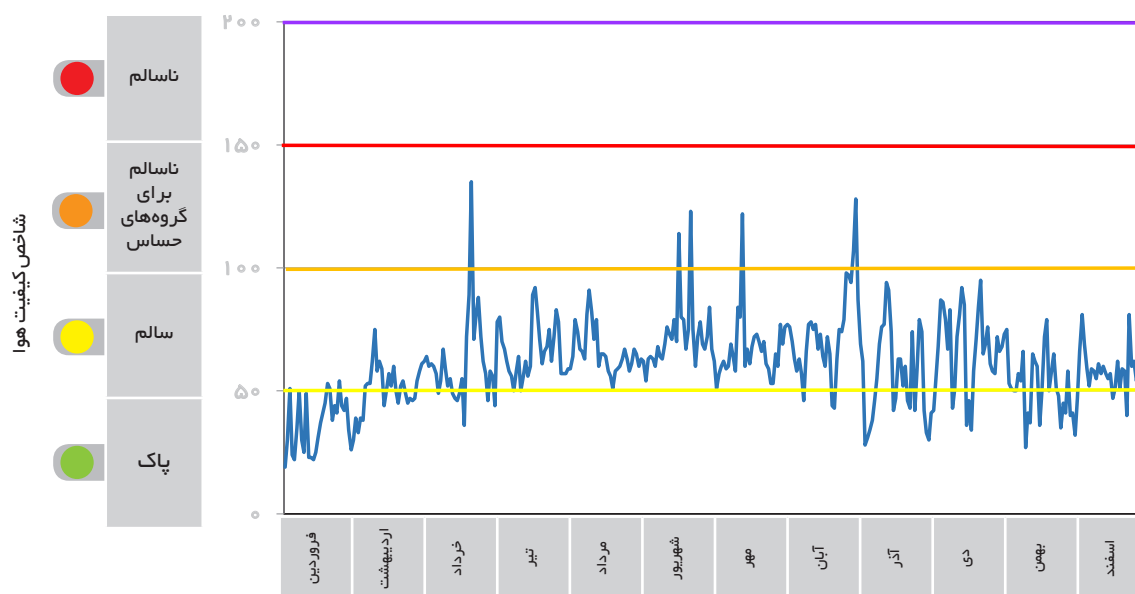
شرایط نامطلوب شرایط مطلوب



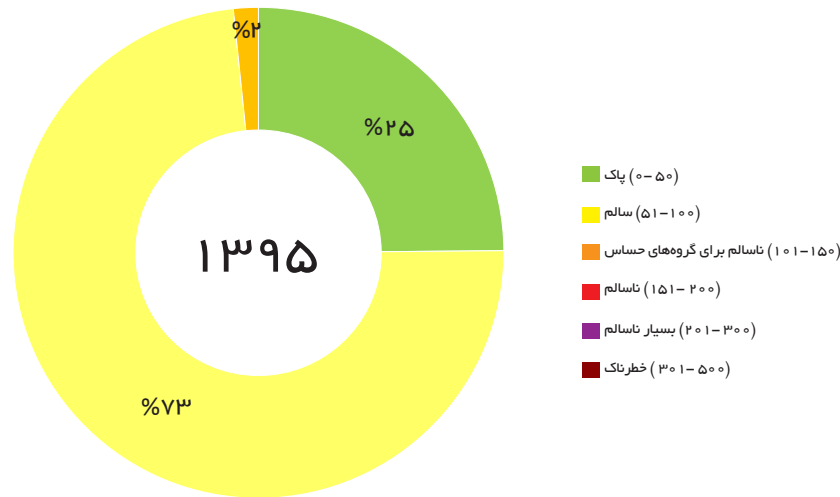
نمودار ۳-۹ مقایسه درمذ روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

۳-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۳-۱۰ روند روزانه شاخص کیفیت هوا را بر اساس آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (بر اساس میانگین روزانه غلظت) طی سال ۱۳۹۵ و نمودار ۳-۱۱ درصد روزهای سالم و ناسالم به لحاظ این آلاینده را در سال ۱۳۹۵ نمایش می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بیشتر روزهای سال (حدود ۹۸٪) کیفیت هوا به لحاظ این آلاینده در شرایط پاک و سالم بوده است و در حدود ۲٪ از روزهای سال، شاخص این آلاینده بالاتر از حد مجاز قرار داشته که معمولاً این شرایط مصادف با جریان‌های جوی مملو از گردوغبار رخ داده است. از منظر آلاینده PM_{10} آلوده‌ترین روز سال ۱۳۹۵، در روز ۱۸ خرداد ماه با شاخص ۱۳۵ و پاک‌ترین روز با شاخص ۱۹ فروردین اتفاق افتاده است.



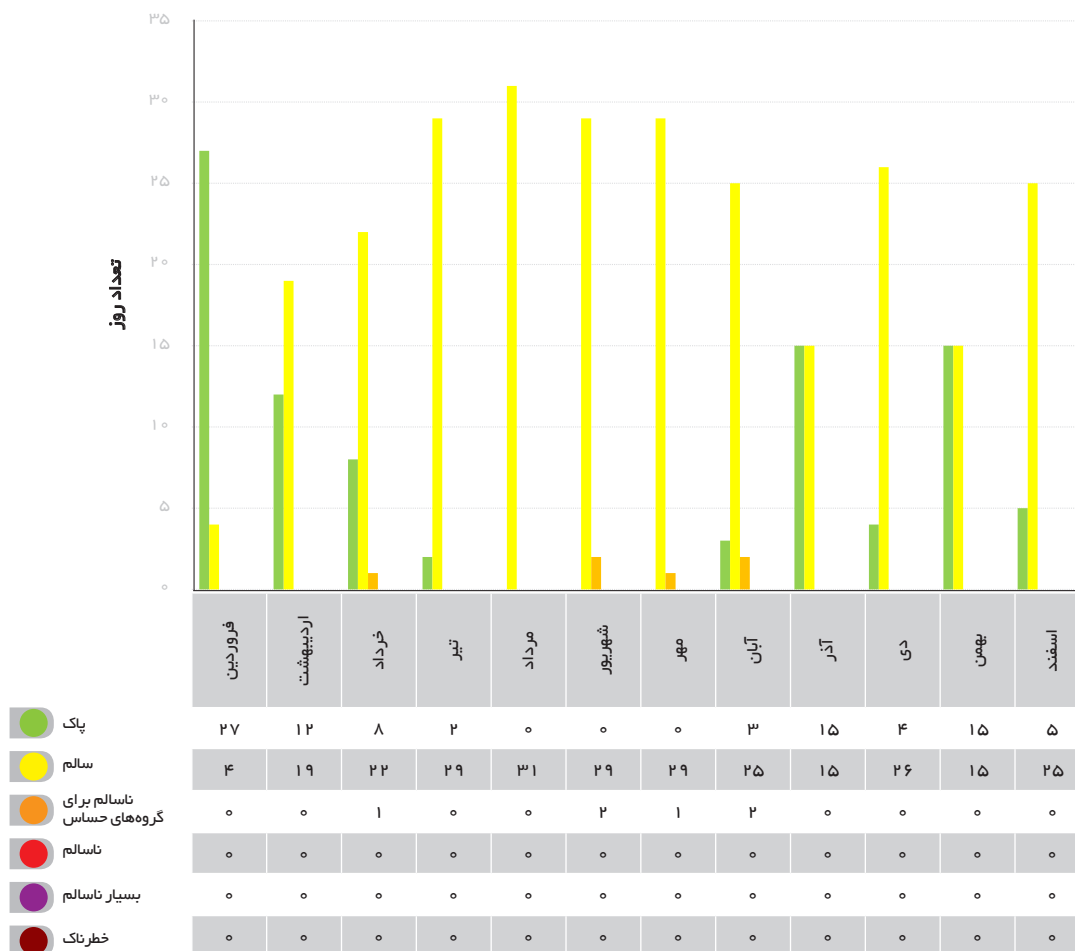
نمودار ۳-۱۰ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵



نمودار ۳-۱۱ وضعیت شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)

۳-۳-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده PM_{10} طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

با توجه به نمودار ۳-۱۲، ۸ ماه سال ۱۳۹۵ به لحاظ آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در شرایط پاک و یا سالم قرار داشته و ماه‌های شهریور و آبان با ۲ روز و ماه‌های خرداد و مهر با داشتن ۱ روز آلوده، تنها ماه‌هایی از سال ۱۳۹۵ بودند که به لحاظ این آلاینده و بر اساس استاندارد کوتاه‌مدت، دارای شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس بودند. همچنین از منظر این آلاینده فروردین ماه با وجود ۲۷ روز پاک و ۴ روز سالم، مطلوب‌ترین شرایط را دارا بوده است.



نمودار ۳-۱۲ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM₁₀ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (برحسب تعداد روز)

۳-۳-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده PM₁₀

در جدول ۳-۶ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده PM₁₀ با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۶ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM₁₀ در سال ۱۳۹۵

- ناسالم
- پاک
- بسیار ناسالم
- سالم
- خطرناک
- ناسالم برای گروه‌های حساس

بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		

جدول ۳-۶ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM₁₀ در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر						آبان						آذر					
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه
					۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶			۱	۲	۳	۴
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۹	۳۰					۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		

زمستان

دی						بهمن						اسفند					
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه
					۱									۱	۲	۳	۴
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۸	۲۹	۳۰			
						۳۰											

PM₁₀

فصل ۳

۹۸

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

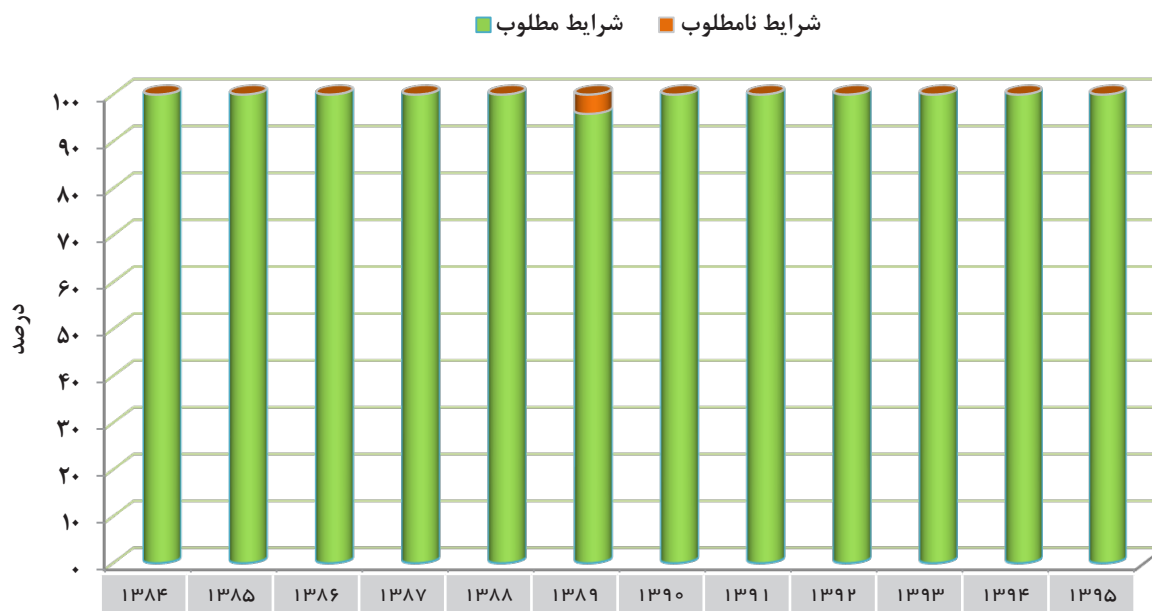
۳-۴- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده دی اکسیدنیتروژن (NO_2)

۳-۴-۱- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO_2 طی سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

با توجه به جدول ۳-۷ و نمودار ۳-۱۳ شاخص کیفیت هوا از منظر آلاینده NO_2 در تمامی سال های مورد مطالعه به غیر از سال ۱۳۸۹ با معیار استاندارد روزانه، در وضعیت مطلوبی قرار داشته است. دلیل افزایش تعداد روزهای ناسالم در سال ۱۳۸۹ و همچنین افزایش تعداد روزهای سالم نسبت به روزهای پاک در سال های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ در مقایسه با سال های قبل از آن، سختگیرانه تر شدن استاندارد این آلاینده از اواسط سال ۱۳۸۹ بوده است. وضعیت این آلاینده در سال ۱۳۹۵ در شرایط مشابهی نسبت به سایر سال های مورد مطالعه قرار داشته است.

جدول ۳-۷- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO_2 طی سال های مختلف (برحسب تعدادروز)

	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه های حساس	سالم	پاک
۱۳۸۴	۰	۰	۰	۰	۱	۳۶۴
۱۳۸۵	۰	۰	۰	۰	۶	۳۵۹
۱۳۸۶	۰	۰	۰	۰	۳۱	۳۳۴
۱۳۸۷	۰	۰	۰	۰	۳۳	۳۳۳
۱۳۸۸	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶۵
۱۳۸۹	۰	۰	۰	۱۵	۱۱۹	۲۳۱
۱۳۹۰	۰	۰	۰	۰	۳۱۴	۵۱
۱۳۹۱	۰	۰	۰	۰	۲۲۶	۱۴۰
۱۳۹۲	۰	۰	۰	۰	۲۴۱	۱۲۴
۱۳۹۳	۰	۰	۰	۰	۲۸۲	۸۳
۱۳۹۴	۰	۰	۰	۰	۳۰۲	۶۳
۱۳۹۵	۰	۰	۰	۳	۳۳۸	۲۵



نمودار ۳-۱۳ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده NO₂ طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

۳-۴-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO₂ طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۳-۱۴ روند روزانه شاخص کیفیت هوا بر اساس ماکزیمم غلظت روزانه دی‌اکسیدنیتروژن و نمودار ۳-۱۵ درصد روزهای سالم و ناسالم به لحاظ این آلاینده را در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، از منظر این آلاینده و به لحاظ استاندارد روزانه، ۷٪ روزها در شرایط پاک، ۹۲٪ روزها در شرایط سالم بوده و حدود ۱٪ روزها نیز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشته است.

NO₂

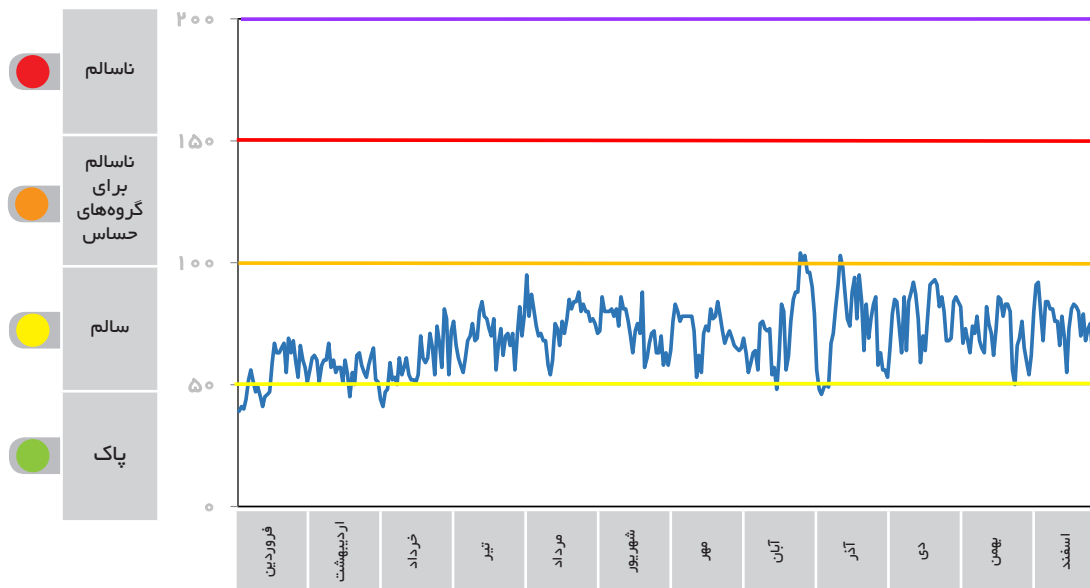
فصل ۳

۱۰۰

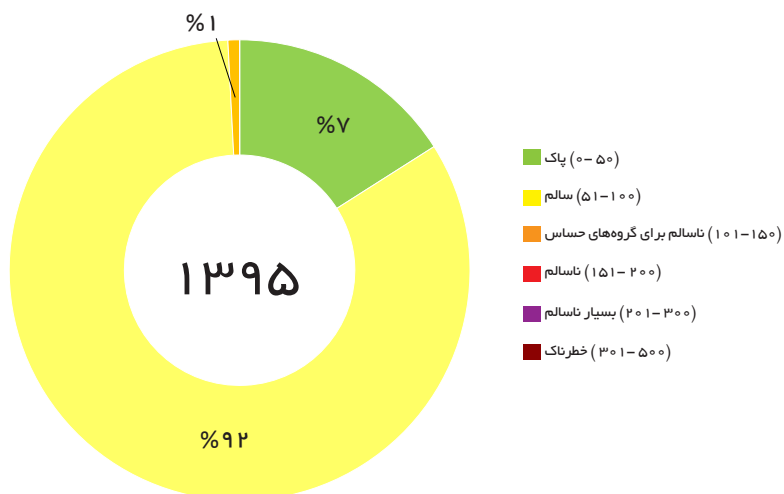
کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

NO₂

شاخص کیفیت هوا



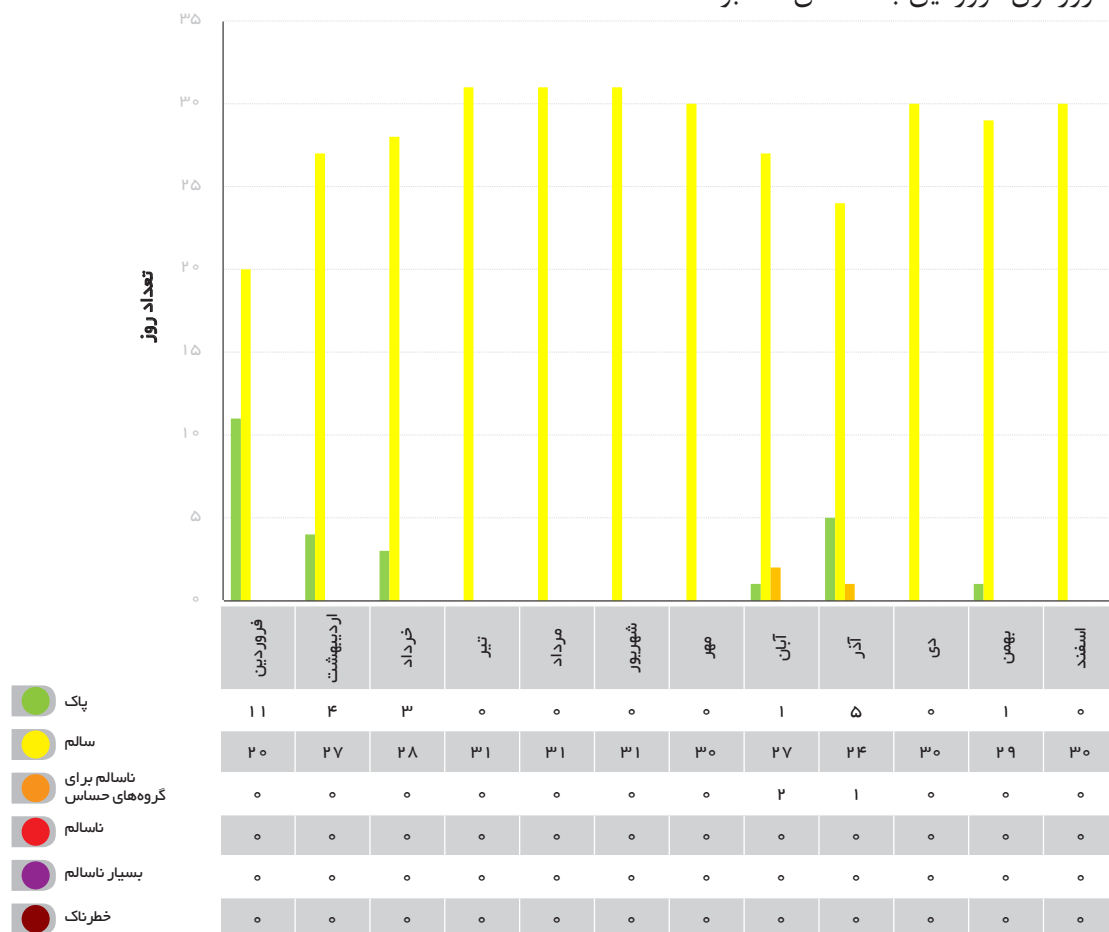
نمودار ۳-۱۴ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO₂) طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵



نمودار ۳-۱۵ وضعیت شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO₂) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)

۳-۴-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده NO₂ طی ماههای مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۱۶-۳ نشان دهنده شاخص کیفیت هوا از نظر آلاینده دی اکسید نیتروژن و بر اساس استاندارد کوتاه مدت در ماههای مختلف سال ۱۳۹۵ می باشد. این آمار نشان می دهد که به غیر از ماههای آبان و آذر که به ترتیب دارای ۲ و ۱ روز آلوده بوده اند، تمامی ماهها در وضعیت مطلوب قرار داشته و ماههای فروردین و اردیبهشت با بیشترین تعداد روزهای پاک و سالم و شرایط مطلوب تری بوده اند. در سال ۱۳۹۵ از منظر آلاینده NO₂، آلوده ترین روز، ۲۳ آبان با شاخص ۱۰۴ و کمترین میزان آلودگی مربوط به روز اول فروردین با شاخص ۳۹ بوده است.



نمودار ۱۶-۳- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO₂ طی ماههای مختلف در سال ۱۳۹۵ (بر حسب تعداد روز)

NO₂

فصل ۳

۱۰۲

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۴-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده NO₂

در جدول ۳-۸ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده NO₂ با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۸ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO₂ در سال ۱۳۹۵



بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

NO₂

۱۰۳

جدول ۳-۸: تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO₂ در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر							آبان							آذر						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲										۱	۲	۳	۴	۵
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			
							۲۹	۳۰												

زمستان

دی							بهمن							اسفند						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲										۱	۲	۳	۴	۵
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۸	۲۹	۳۰				
							۳۰													

NO₂

فصل ۳

۱۰۴

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

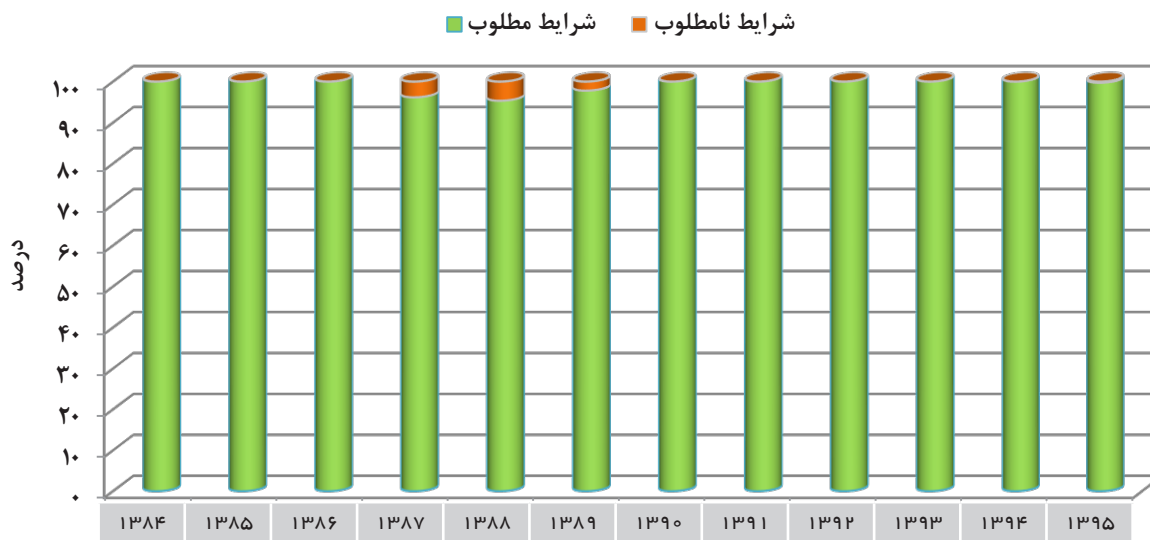
۳-۵- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ازن (O_3)

۳-۵-۱- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

با توجه به جدول ۳-۹، تمامی سال‌های مورد مطالعه به غیر از سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۸۹ به لحاظ آلاینده ازن و براساس استاندارد یک ساعته در وضعیت مطلوبی قرار داشته و بیشترین تعداد روزهای آلوده طی سال ۱۳۸۸ (۱۷ روز) رخ داده است. همان‌طور که در نمودار ۳-۱۷ دیده می‌شود، سال ۱۳۹۳ به علت دارا بودن بیشترین تعداد روز پاک به لحاظ این آلاینده در شرایط مطلوب‌تری قرار داشته و در سال ۱۳۹۵ تمام روزها در شرایط مطلوب بوده و تنها یک روز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس رخ داده است.

جدول ۳-۹- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های مختلف (برحسب تعداد روز)

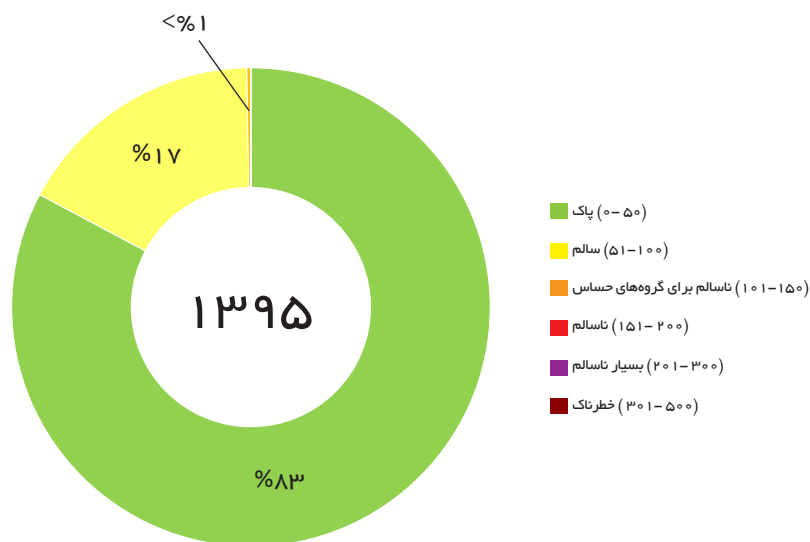
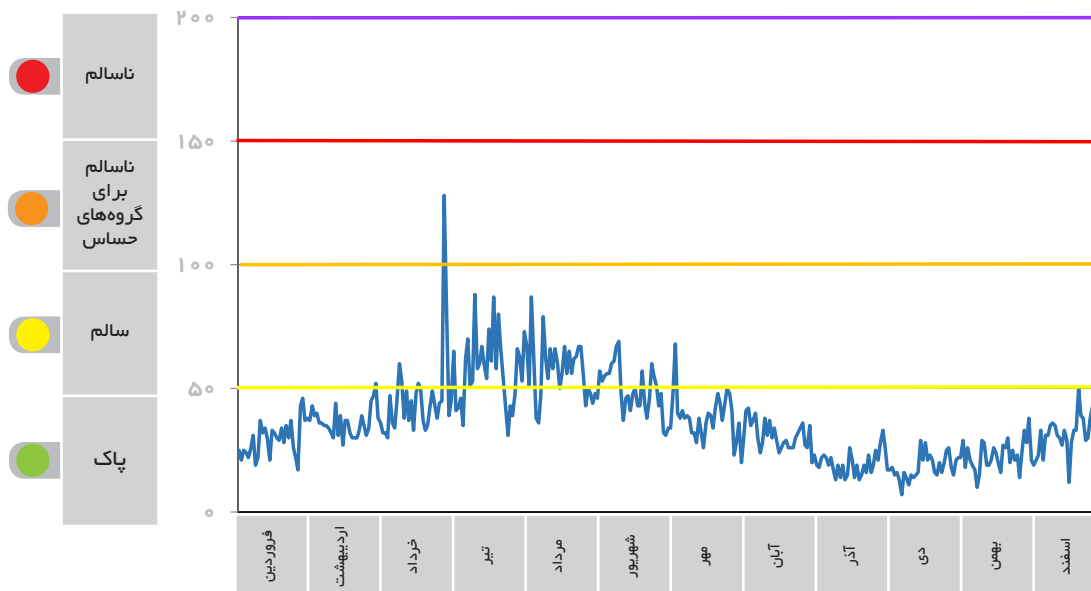
	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک
۱۳۸۴	۰	۰	۰	۰	۱۷	۳۴۸
۱۳۸۵	۰	۰	۰	۰	۴۱	۳۲۴
۱۳۸۶	۰	۰	۰	۰	۱۱۰	۲۵۵
۱۳۸۷	۰	۰	۰	۱۴	۲۲۲	۱۳۰
۱۳۸۸	۰	۰	۰	۱۷	۱۷۰	۱۷۸
۱۳۸۹	۰	۰	۰	۸	۱۳۵	۲۲۲
۱۳۹۰	۰	۰	۰	۰	۶۱	۳۰۴
۱۳۹۱	۰	۰	۰	۰	۴۵	۳۲۱
۱۳۹۲	۰	۰	۰	۰	۴۹	۳۱۶
۱۳۹۳	۰	۰	۰	۰	۴	۳۶۱
۱۳۹۴	۰	۰	۰	۰	۳۸	۳۲۷
۱۳۹۵	۰	۰	۰	۱	۶۲	۳۰۳



نمودار ۳-۱۷ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

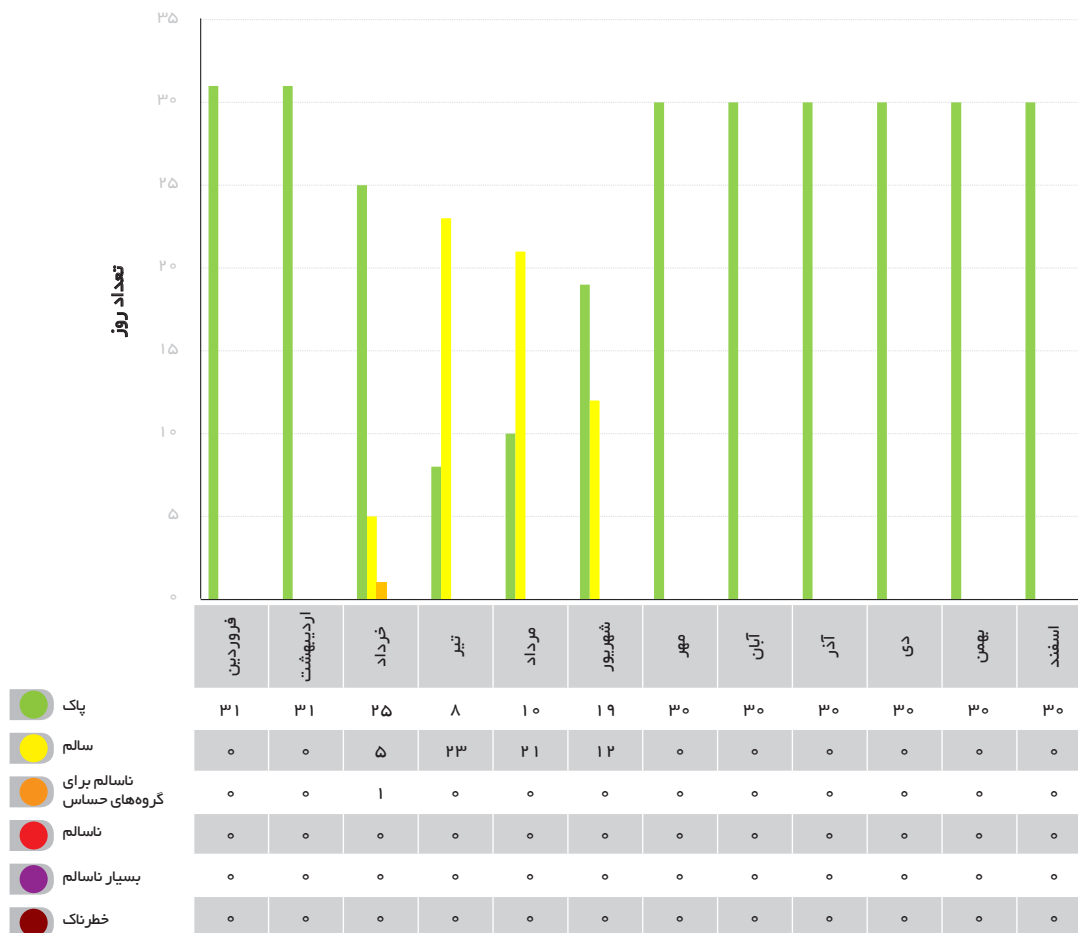
۳-۵-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

در نمودار ۳-۱۸ روند روزانه شاخص کیفیت هوا بر اساس ماکزیمم غلظت روزانه آلاینده ازن در سال ۱۳۹۵ ملاحظه می‌شود. به غیر از یکی از روزهای ماه خرداد، تمام روزهای سال به لحاظ این آلاینده و از منظر استاندارد روزانه در شرایط پاک و سالم بوده‌اند. بیشتر روزهای فصول بهار، پاییز و زمستان در سال گذشته به لحاظ این آلاینده در شرایط پاک قرار داشته‌اند و با توجه به این‌که ازن در حضور نور خورشید تولید می‌شود، در ماه‌های گرم سال تعداد روزهای ناسالم افزوده شده و بیشترین مقادیر AQI در روزهای گرم سال دیده می‌شود.



۳-۵-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده O_3 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۳-۲۰ نشان می‌دهد، در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵، وضعیت شاخص آلودگی هوا به لحاظ آلاینده ازن بسیار مطلوب بوده و به غیر از تعدادی از روزهای تابستان و ماه خرداد، تمام ماه‌های سال در شرایط پاک قرار داشته است. بیشترین شاخص ثبت شده در این سال مربوط به ۲۸ خرداد و برابر ۱۲۸ بوده و کمترین میزان نیز در روز ۶ دی ماه و با شاخص ۷ رخ داده است.



نمودار ۳-۲۰- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (برحسب تعداد روز)



فصل ۳

۱۰۸

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۵-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده O_3

در جدول ۳-۱۰ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده O_3 با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱۰ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 در سال ۱۳۹۵



بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

جدول ۳-۱۰ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر							آبان							آذر						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲										۱	۲			
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			
							۲۹	۳۰												

زمستان

دی							بهمن							اسفند						
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲							۱			۱	۲	۳	۴	۵
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۸	۲۹	۳۰				
							۳۰													

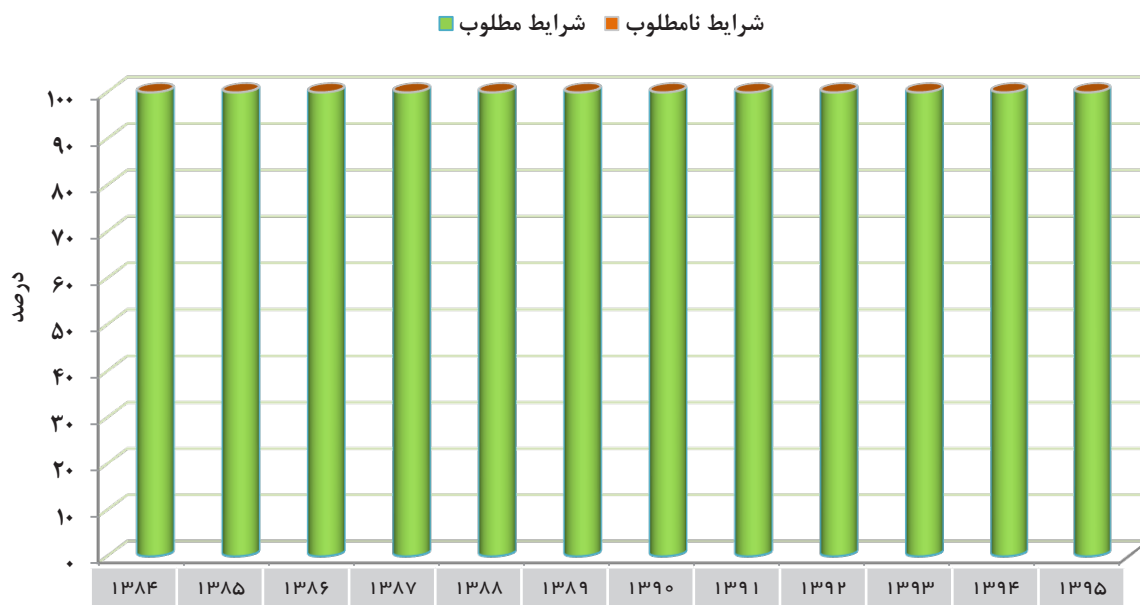
۳-۶- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2)

۳-۶-۱- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO_2 طی سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

با توجه به جدول ۳-۱۱، مشاهده می گردد کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی اکسید گوگرد طی سال های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ در تمامی روزهای سال از نظر استاندارد روزانه در وضعیت پاک قرار داشته است. همچنین در هیچ یک از سال های مورد مطالعه، این آلاینده در وضعیت ناسالم قرار نداشته است. در نمودار ۳-۲۱ نیز مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و سالم) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ از منظر این آلاینده نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱۱ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO_2 طی سال های مختلف (برحسب تعداد روز)

	پاک	سالم	ناسالم برای گروه های حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
۱۳۸۴	۳۵۰	۱۵	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۵	۳۲۰	۴۳	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۶	۲۷۵	۹۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۷	۲۴۸	۱۱۸	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۸	۳۰۴	۶۱	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۹	۳۰۹	۵۶	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۰	۳۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۱	۳۶۶	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۲	۳۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۳	۳۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۴	۳۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۵	۳۶۶	۰	۰	۰	۰	۰



نمودار ۲۱-۳ مقایسه در صد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

SO_2

فصل ۳

۱۱۲

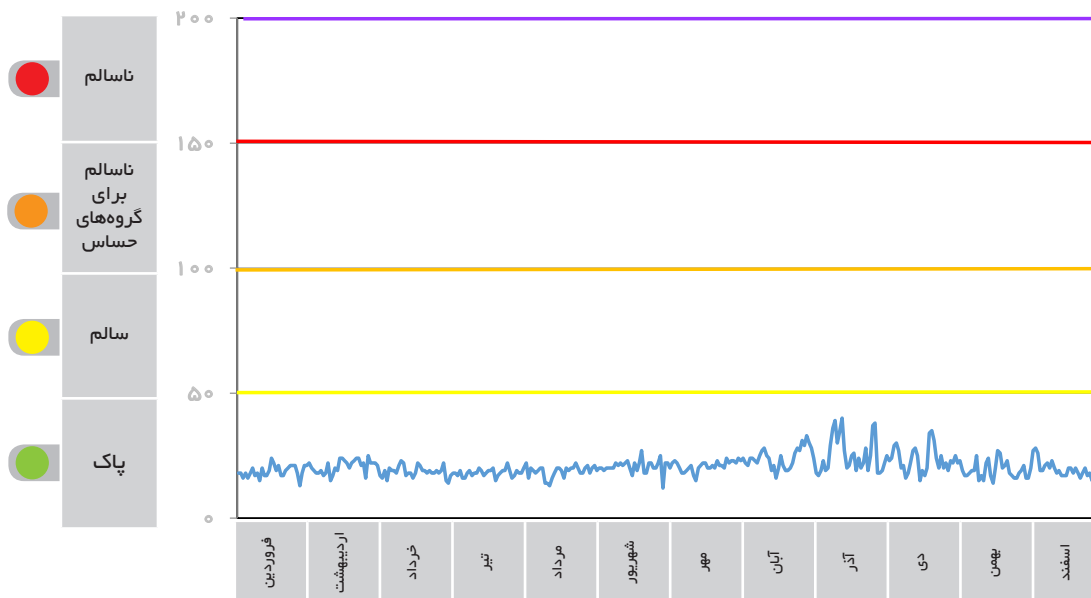
کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۶-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

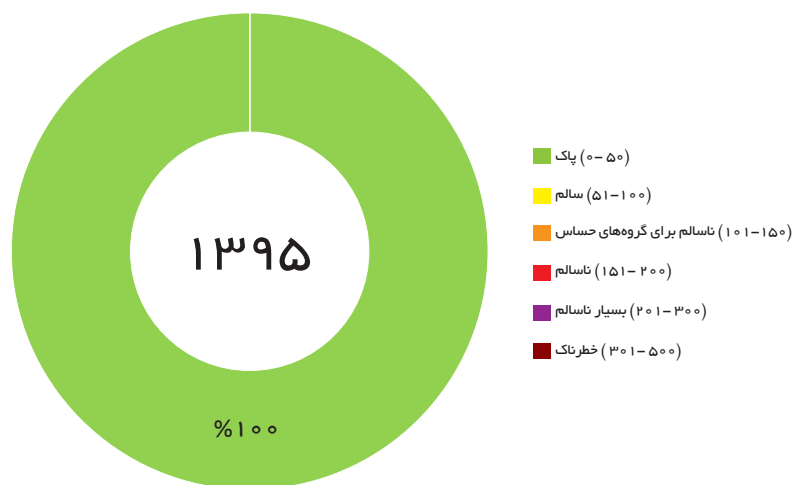
روند روزانه شاخص کیفیت هوا براساس آلاینده دی‌اکسید گوگرد در نمودار ۲۲-۳ نشان می‌دهد که تمام روزهای سال ۱۳۹۵ به لحاظ استاندارد روزانه SO_2 در شرایط پاک بوده است.

SO₂

۱۱۳



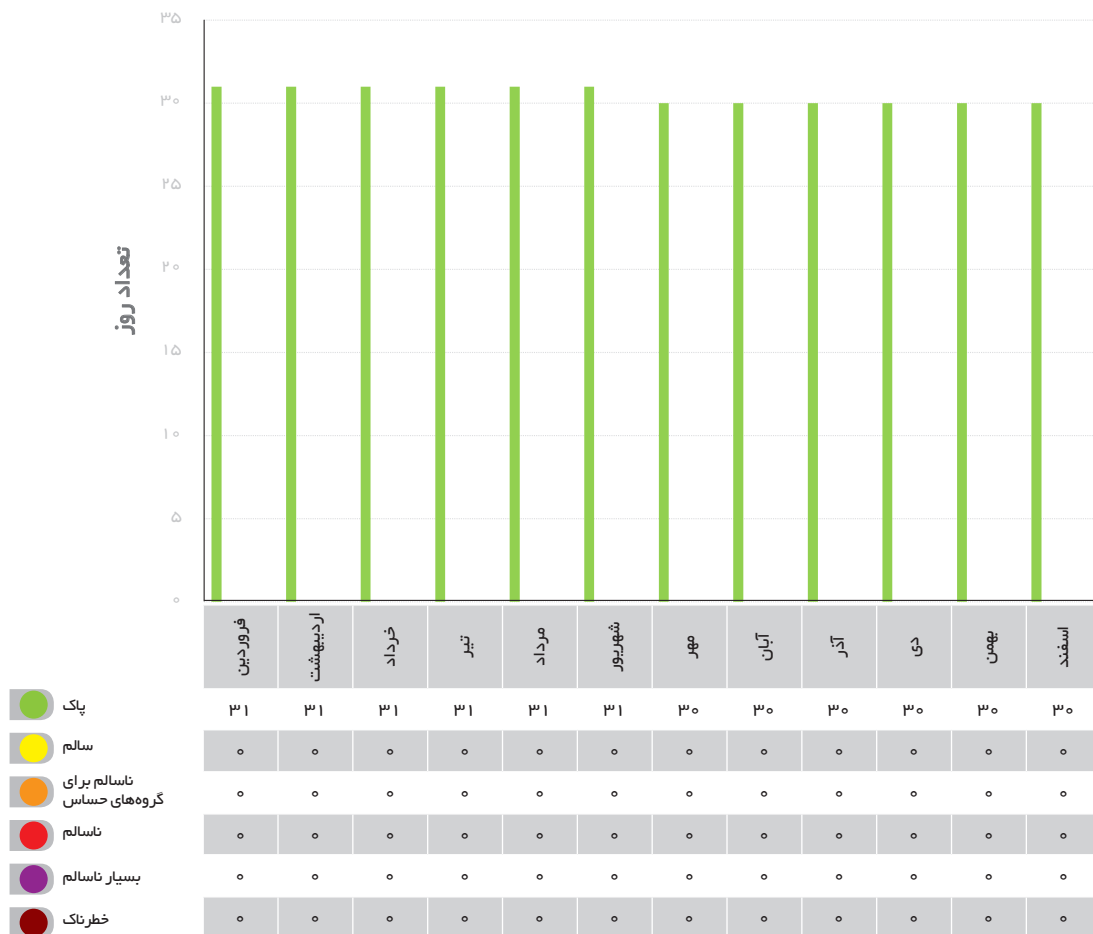
نمودار ۲۲-۳ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO₂) طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵



نمودار ۲۳-۳ وضعیت شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO₂) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)

۳-۶-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده SO₂ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۲۴-۳ نشان می‌دهد، طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ وضعیت شاخص آلودگی هوا به لحاظ آلاینده دی‌اکسید گوگرد و بر اساس استاندارد روزانه، در وضعیت بسیار مطلوب (پاک) قرار داشته است. کمترین و بیشترین شاخص ثبت شده در این سال به لحاظ آلاینده SO₂ به ترتیب برابر ۱۲ و ۴۰ بوده و در روزهای ۲۶ شهریور و ۱۱ آذر اتفاق افتاده است.



نمودار ۲۴-۳ از نظر شاخص آلاینده SO₂ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (بر حسب تعداد روز)

SO₂

فصل ۳

۱۱۴

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۶-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده SO₂

در جدول ۳-۱۲ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده SO₂ با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO₂ در سال ۱۳۹۵



بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		

جدول ۳-۱۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO₂ در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
					۱	۲
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰

آبان

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰					

آذر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			

زمستان

دی

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	

بهمن

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰						

اسفند

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰				

SO₂

فصل ۳

۱۱۶

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۷- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

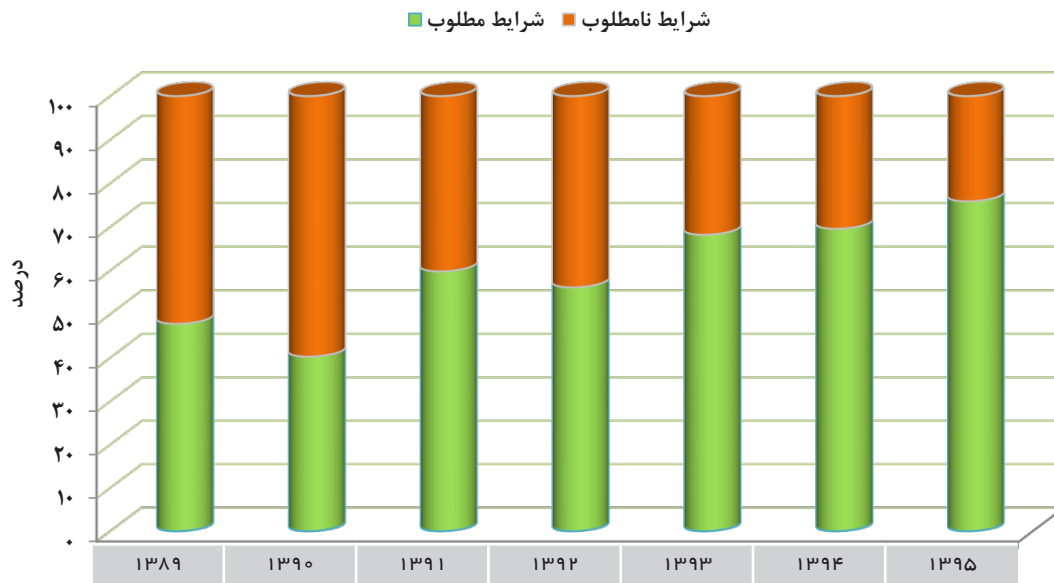
۳-۷-۱- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵

پس از آغاز اندازه‌گیری آلاینده $PM_{2.5}$ از سال ۱۳۸۹، این آلاینده به‌عنوان شاخص‌ترین و چالش‌انگیزترین آلاینده سالیان اخیر شهر تهران تبدیل شده است.

جدول ۳-۱۳ نشان‌دهنده کیفیت هوا از نظر آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵ می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ نیز مانند سایر سال‌های مورد مطالعه، علت اصلی بالا بودن تعداد روزهای ناسالم در شهر تهران، آلاینده $PM_{2.5}$ بوده است و ۸۸ روز طی این سال به لحاظ آلاینده مذکور در وضعیت فراتر از حد مجاز قرار گرفته است. همان‌طور که در نمودار ۳-۲۵ دیده می‌شود، سال ۱۳۹۰ نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی از نظر این آلاینده در وضعیت نامناسب‌تری قرار داشته است. البته شایان توجه است که مجموع تعداد روزهای پاک و سالم به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۵ برای اولین بار به ۲۷۸ روز افزایش یافته است.

جدول ۳-۱۳- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های مختلف (برحسب تعداد روز)

	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک
۱۳۸۹	۰	۰	۲۲	۶۱	۷۲	۴
۱۳۹۰	۰	۲	۸	۲۰۸	۱۳۹	۸
۱۳۹۱	۰	۰	۱۳	۱۳۴	۲۱۶	۳
۱۳۹۲	۰	۰	۱۲	۱۴۸	۲۰۱	۴
۱۳۹۳	۰	۰	۳	۱۱۳	۲۳۳	۱۶
۱۳۹۴	۰	۰	۵	۱۰۶	۲۳۳	۲۱
۱۳۹۵	۰	۰	۹	۷۹	۲۶۱	۱۷



نمودار ۳-۲۵ مقایسه در صد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵

PM_{2.5}

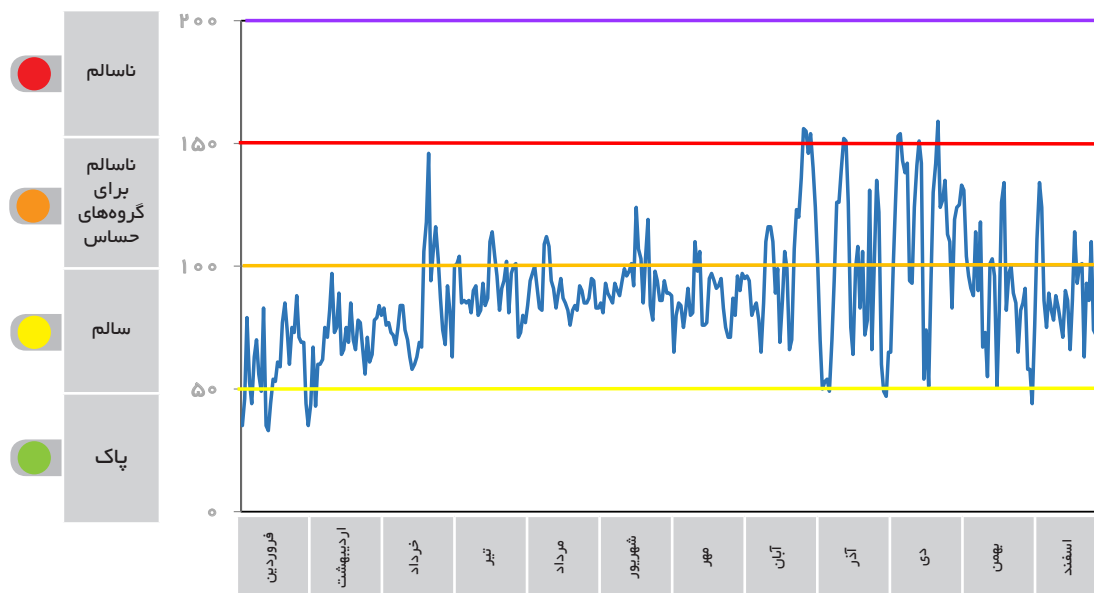
فصل ۳

۱۱۸

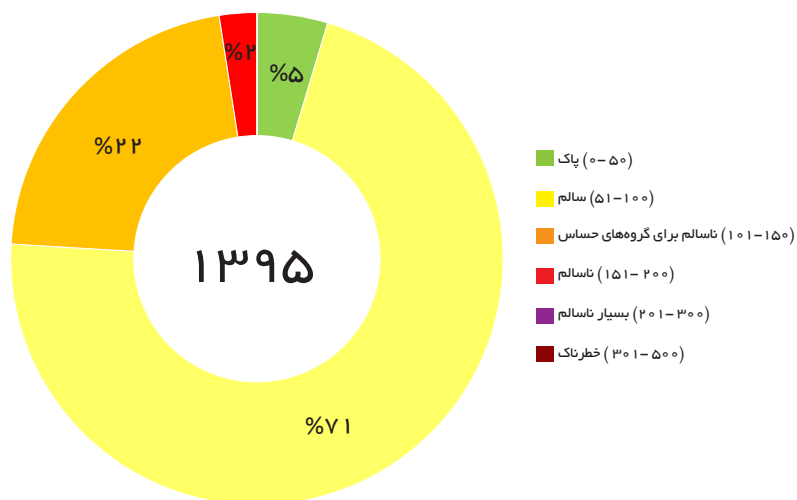
۳-۷-۲- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵

نمودار ۳-۲۶ و نمودار ۳-۲۷ شاخص کیفیت هوا بر اساس میانگین روزانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 2.5 میکرون و درصد روزهای سالم و ناسالم به لحاظ این آلاینده را طی سال ۱۳۹۵ نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ۵٪ روزها در شرایط پاک، ۷۱٪ در شرایط سالم و حدود ۲۴٪ روزها نیز در شرایط فراتر از حد استاندارد بوده است. پاک‌ترین و آلوده‌ترین روز به لحاظ این آلاینده به ترتیب روزهای ۱۲ فروردین و ۲۰ دی، با شاخص ۳۳ و ۱۵۹ اتفاق افتاده است. این آلاینده در تمام روزهای سال، آلاینده شاخص هوای پایتخت بوده و مشابهت این نمودار و روند شاخص AQI نمودار ۳-۲ به همین علت می‌باشد و این بدان معنی است که در صورت کاهش غلظت این آلاینده، تعداد روزهای آلوده شهر نیز کاهش خواهد یافت.

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI



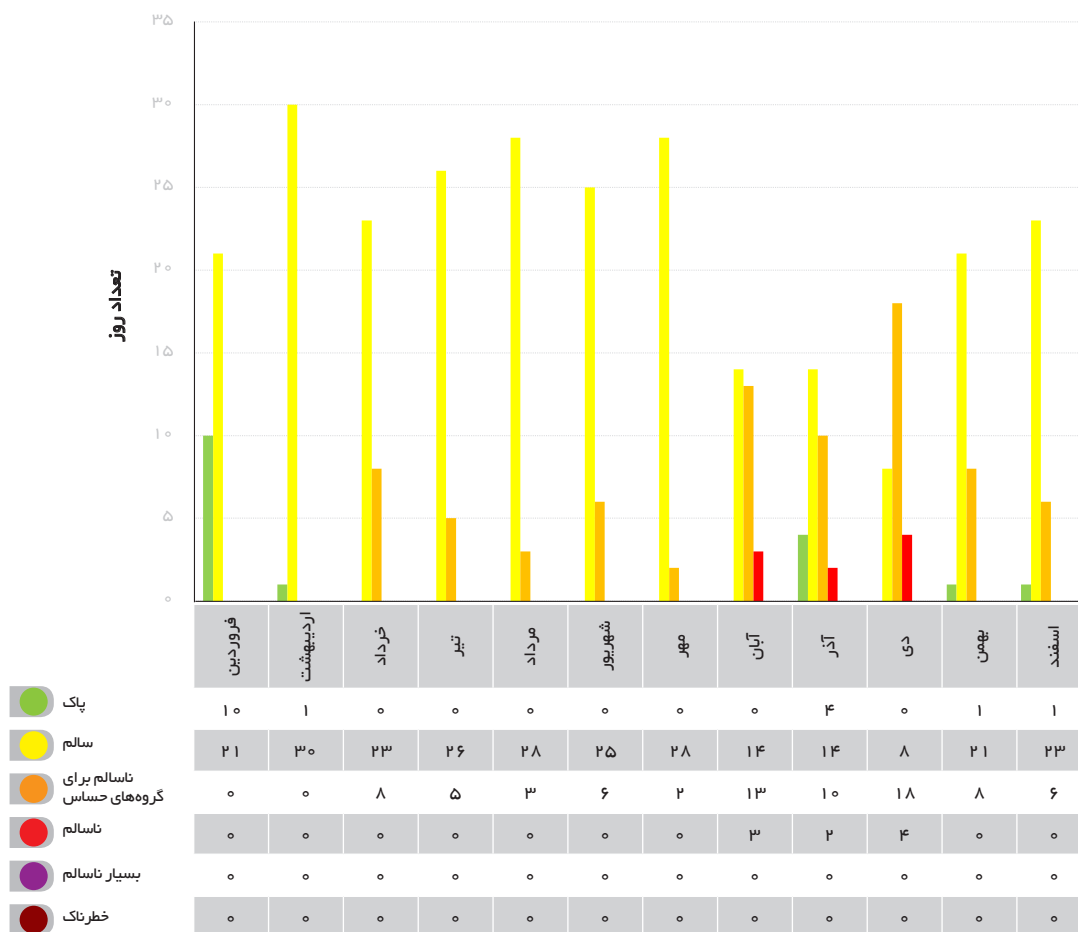
نمودار ۲۶-۳ کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی روزهای مختلف در سال ۱۳۹۵



نمودار ۲۷-۳ وضعیت شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۳۹۵ (درصد)

۳-۷-۳- کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵

همان‌گونه که در نمودار ۲۸-۳ مشاهده می‌گردد، طی ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵، بیشترین روزهای آلوده به ترتیب در ماه‌های دی (۲۲ روز)، آبان (۱۶ روز) و آذر (۱۲ روز) مشاهده شده و مطلوب‌ترین ماه‌های سال، فروردین با ۱۰ روز پاک و ۲۱ روز سالم و اردیبهشت ماه با ۳۰ روز سالم و تنها یک روز پاک بوده‌اند. البته ماه فروردین به دلیل وجود ۱۰ روز با شرایط کیفی هوای پاک از کیفیت هوای مطلوب‌تری برخوردار بوده است.



نمودار ۲۸-۳- کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۵ (برحسب تعداد روز)

PM_{2.5}

فصل ۳

۱۲۰

کیفیت هوا برحسب شاخص AQI

۳-۷-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۳۹۵ براساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$

در جدول ۳-۱۴ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده $PM_{2.5}$ با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۵



بهار

فروردین

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰	۳۱			

اردیبهشت

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

خرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

تابستان

تیر

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

مرداد

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

شهریور

شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	جمعه
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

جدول ۳-۱۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{2.5} در سال ۱۳۹۵ (ادامه)



پاییز

مهر						آبان						آذر					
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه
					۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶			۱	۲	۳	۴
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۲۹	۳۰					۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		

زمستان

دی						بهمن						اسفند					
شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنج‌شنبه
					۱									۱	۲	۳	۴
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۸	۲۹	۳۰			
						۳۰											

PM_{2.5}

فصل ۳

۱۲۲

کیفیت هوا بر حسب شاخص AQI

۳-۸- تغییرات تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ به لحاظ آلاینده‌های مختلف

جدول ۳-۱۵ نشان‌دهنده تعداد روزهای آلوده به لحاظ انواع آلاینده‌های هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، آلاینده شاخص هوای شهر تهران از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۵ آلاینده منواکسیدکربن بوده که از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۵ آلاینده ذرات معلق، جایگزین این آلاینده گازی شده است. با توجه به جدول مربوطه، مشاهده می‌گردد که کاهش چشمگیری در تعداد روزهای آلوده آلاینده منواکسیدکربن طی سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۵ رخ داده است، به‌طوری‌که از ۱۶۳ روز آلوده در سال ۱۳۸۱ به وضعیت کاملاً مطلوبی در سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ رسیده است، همچنین طی این ۶ سال آلاینده‌های ازن، دی‌اکسیدگوگرد و دی‌اکسیدنیتروژن نیز (از منظر استاندارد کوتاه‌مدت) در وضعیت مطلوب قرار داشته‌اند.

جدول ۳-۱۵ تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ از منظر آلاینده‌های مختلف

ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون	ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون	دی‌اکسید گوگرد	دی‌اکسید نیتروژن	ازن	منواکسید کربن	
-	۱۱	۰	۰	۰	۱۶۳	۱۳۸۱
-	۱۱	۰	۰	۰	۱۵۹	۱۳۸۲
-	۳	۰	۰	۰	۸۵	۱۳۸۳
-	۹	۰	۰	۰	۸۶	۱۳۸۴
-	۳	۰	۰	۰	۷۲	۱۳۸۵
-	۱۰	۰	۰	۰	۷	۱۳۸۶
-	۴۳	۰	۰	۱۴	۷	۱۳۸۷
-	۲۲	۰	۰	۱۷	۴	۱۳۸۸
۸۴	۲۱	۰	۱۶	۸	۴	۱۳۸۹
۲۱۸	۱۲	۰	۰	۰	۰	۱۳۹۰
۱۴۷	۱۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۹۱
۱۶۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۹۲
۱۱۶	۹	۰	۰	۰	۰	۱۳۹۳
۱۱۱	۱۱	۰	۰	۰	۰	۱۳۹۴
۸۸	۶	۰	۳	۱	۰	۱۳۹۵

از نظر آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، سال ۱۳۸۵ پاک‌ترین و سال ۱۳۸۷ آلوده‌ترین سال بوده است. از آن سال به بعد تعداد روزهای آلوده این آلاینده کاهش یافته است. شایان ذکر است، اندازه‌گیری آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) از اوایل مهر ماه سال ۱۳۸۹ در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا انجام شده است و دلیل افزایش تعداد روزهای آلوده در سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵ عموماً به علت اندازه‌گیری این آلاینده بوده است. در طی این بازه زمانی، سال ۱۳۹۰ با داشتن ۲۱۸ روز آلوده از سایر سال‌های مورد مطالعه در وضعیت نامناسب‌تری قرار داشته و سال ۱۳۹۵ از کمترین تعداد روزهای آلوده (۸۸ روز) به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$ برخوردار بوده است.



O₃

NO₂

SO₂

CO

AQI

نقش پارامترهای هواشناسی در کیفیت هوای شهر تهران طی سال ۱۳۹۵

الگوهای هواشناسی در ایجاد، ماندگاری، توزیع و پراکندگی آلاینده‌ها نقش به‌سزایی دارند. تأثیر مستقیم شرایط جوی حاکم بر منطقه بر رفتار بسیار پیچیده آلاینده‌ها انکارناپذیر است، به‌گونه‌ای که می‌تواند افزایش یا کاهش غلظت آن‌ها در مقیاس محلی و حتی جهانی را به‌دنبال داشته باشد. مطالعه دقیق ارتباط بین شرایط کیفی هوا و وضعیت جوی کمک شایانی به بهبود مدل‌های آلودگی هوا جهت پیش‌بینی دوره‌های چند روزه آلودگی و به تبع آن اقدامات لازم در راستای بهبود کیفیت هوا می‌کند. لذا در این بخش به صورت مختصر ارتباط برخی از پارامترهای هواشناسی با کیفیت هوا در سال ۱۳۹۵ در مقایسه با مدت مشابه آن در سال ۱۳۹۴ بررسی شده است.

۴-۱- نقش پارامترهای هواشناسی بر کیفیت هوا

تأثیر برخی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی بر شرایط کیفی هوا به صورت خلاصه در جدول ۴-۱ اشاره شده است. لازم به ذکر است، اثر الگوهای فشار بر کیفیت هوا به‌صورت جداگانه در شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ تأثیر پارامترهای هواشناسی بر غلظت آلاینده‌ها [۵]

پارامتر هواشناسی	تأثیر بر تجمع، پراکندگی یا حذف آلاینده‌ها از جو	تأثیر بر واکنش‌های شیمیایی مؤثر در تولید آلاینده‌ها در جو
الگوهای فشار هوا	توضیحات در شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴	تأثیر غیرمستقیم
سرعت باد 	بادهای شدید قادر به پراکنش آلاینده‌ها هستند ولی در مواردی وزش تندبادهای سبب وقوع پدیده گرد و غبار شده و افزایش قابل توجهی در غلظت ذرات معلق مشاهده می‌شود.	با توجه به تأثیر بادهای قوی بر پراکندگی آلاینده‌ها و کاهش غلظت آن‌ها در جو، در نتیجه انجام واکنش‌های شیمیایی کاهش می‌یابد.
وارونگی دما 	وارونگی دمای شدید قادر به محدود کردن روند اختلاط آلاینده‌ها در راستای قائم و افزایش غلظت آن‌ها می‌باشد.	وارونگی دما قادر به تجمع آلاینده‌ها بر روی سطح منطقه خواهد بود که باعث تسریع در انجام واکنش‌های شیمیایی می‌گردد.
باران 	قادر به کاهش اکثر آلاینده‌ها از جو می‌باشد.	قادر به کاهش غلظت آلاینده‌ها و در نتیجه کاهش احتمال انجام واکنش‌های شیمیایی مرتبط در جو است.
رطوبت نسبی 	تأثیر غیرمستقیم	قادر به افزایش در تولید برخی آلاینده‌های ثانویه مانند سولفات‌ها و نیترات‌ها می‌شود.
دما 	به طور کلی دمای سطحی بالا با کیفیت هوای نامطلوب همراه است ولی در مواردی دماهای بسیار بالا قادر به افزایش اختلاط در راستای قائم و کاهش غلظت آلاینده‌ها خواهند بود.	انجام واکنش‌های فتوشیمیایی با افزایش دما بیشتر می‌شود در نتیجه غلظت آلاینده‌هایی مانند ازن بالا می‌رود.
ابر / مه 	ابرهای همرفتی حاکی از وجود شرایط بسیار مطلوب برای اختلاط در راستای قائم هستند که منجر به پراکندگی آلاینده‌ها می‌شود.	قطره‌های آب می‌توانند تولید برخی آلاینده‌های ثانویه را افزایش دهند. وجود ابر مانع از رسیدن تابش خورشیدی به جو نزدیک سطح زمین می‌شود و انجام واکنش‌های فتوشیمیایی را محدود می‌کند.
تأثیر شرایط هواشناسی فصول سال 	تأثیر غیرمستقیم	تغییر زاویه خورشید در فصول مختلف سبب تغییر مقدار تابش نور دریافتی برای انجام واکنش‌های شیمیایی می‌شود.



شهر تهران در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز واقع شده که از نظر جغرافیایی در حد فاصل بین ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و بین ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی گسترده شده است [۴]. ارتفاع تهران نسبت به سطح متوسط دریا در نواحی شمالی ۱۷۰۰ متر، در مرکز ۱۲۰۰ متر و در جنوب ۱۱۰۰ متر می‌باشد. در نتیجه شیب عمومی تهران شمال به جنوب می‌باشد. علاوه بر وجود این شیب کلی، در داخل شهر نیز ناهمواری‌هایی وجود دارد که در شرایط آلودگی هوا اثرگذار است.

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومترمربع از شمال به ارتفاعات البرز، از سمت شرق به کوه‌های محدوده بی‌بی‌شهربانو و از جنوب به حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران ختم می‌شود (شکل ۴-۱). احاطه شدن تهران از سمت شمال و شمال شرق توسط ارتفاعات، مانع از عبور بادهایی که از سمت غرب و جنوب می‌وزند (در شرایطی که از بزرگی کافی برخوردار نباشند) شده و باعث انباشتگی آلاینده‌ها بر روی سطح منطقه می‌گردد، در نتیجه پتانسیل آلودگی هوا در مرکز شهر را افزایش می‌دهد.

¹- Topography



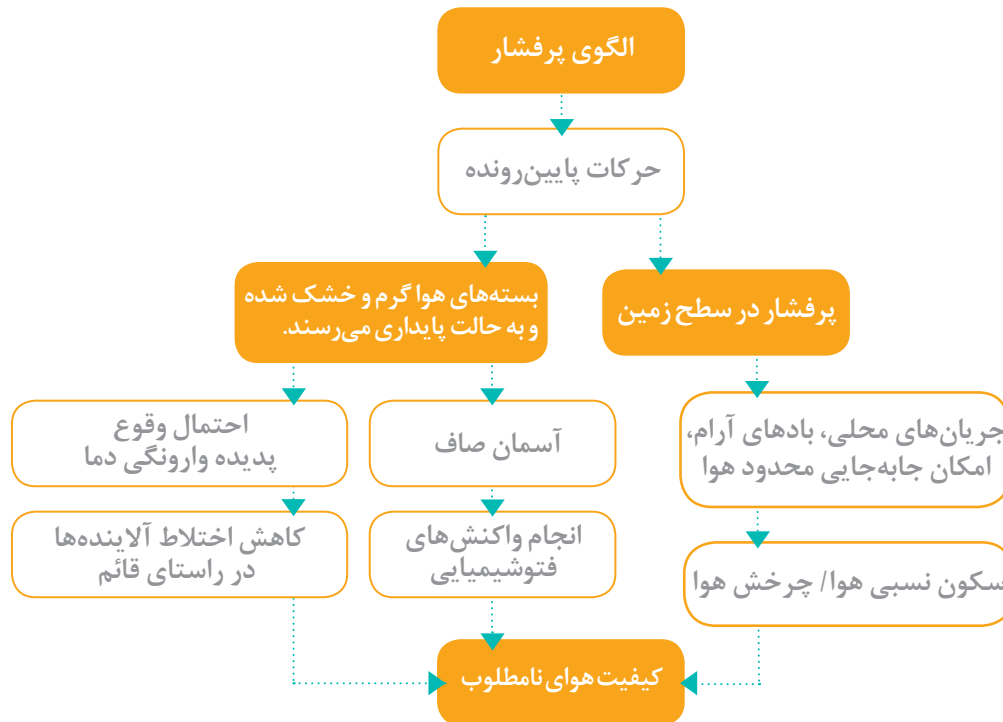
شکل ۴-۱ وضعیت جغرافیایی شهر تهران

۴-۱-۲- فشار^۱

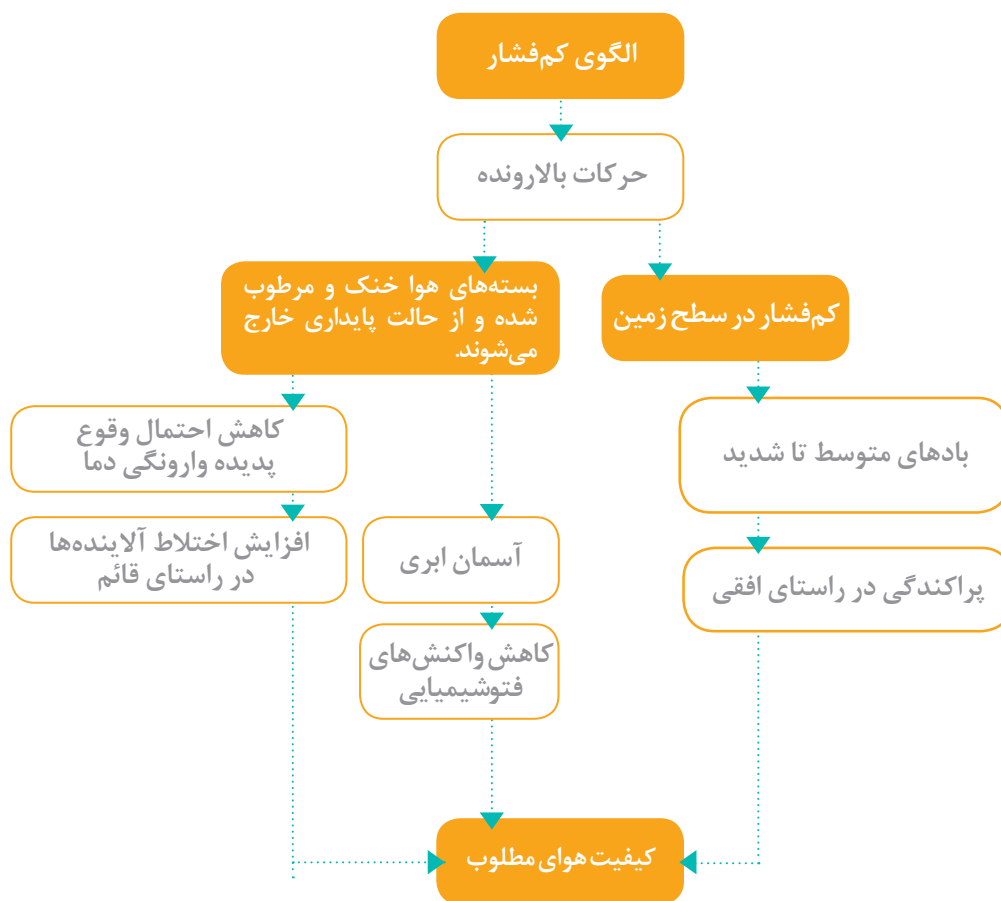
فشار جو عبارت است از نیروی وارده توسط مولکول‌ها و اتم‌های تشکیل‌دهنده جو در واحد سطح که به صورت مستقیم با وزن ستون هوایی که در بالای واحد سطح مورد نظر قرار گرفته مرتبط است. پارامتر فشار عامل مؤثری در کنترل بسیاری از عناصر آب‌وهوایی و در نتیجه تغییرات کیفیت هوا می‌باشد. در مورد پارامتر فشار، هم فشار سطح زمین و هم فشار در سطوح میانی جو در تغییرات آب و هوایی مؤثر می‌باشند که بررسی دقیق این موضوع به علت مباحث تخصصی در این گزارش نمی‌گنجد. برای مثال، حاکمیت الگوی پرفشار در تهران به طور معمول با برقراری شرایط جوی پایدار همراه بوده، به گونه‌ای که منجر به محدود شدن حرکت آلاینده‌ها در راستای قائم شده و انباشتگی آلودگی در سطح زمین را به دنبال داشته است. در صورت

1. Pressure

استقرار این سیستم برای چند روز می‌تواند منجر به شرایط بحرانی آلودگی هوا شود. حال آن‌که الگوی کم‌فشار، معمولاً با ناپایداری‌های جوی همراه است که باعث صعود آلاینده‌ها و پراکندگی آن‌ها می‌شود. این سیستم‌های کم‌فشار در صورت وجود رطوبت کافی می‌توانند منجر به بارش و زدودن آلاینده‌ها از جو شوند. شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴ به صورت مشخص‌تری ارتباط بین الگوهای هواشناسی و کیفیت هوا را نشان می‌دهند. باید توجه داشت این تحلیل‌ها با فرضیات و ساده‌سازی‌های متعدد انجام گرفته و در تمام موارد بدون در نظر گرفتن جوانب دیگر صادق نمی‌باشد.



شکل ۲-۴ طرح شماتیک شرایط هواشناسی و کیفیت هوا که به‌طور معمول با الگوی پرفشار همراه است [۵].



شکل ۴-۳ طرح شماتیک شرایط هواشناسی و کیفیت هوا که به طور معمول با الگوی کم فشار همراه است [۵].

۴-۱-۳- سرعت و جهت باد^۱

باد هم در مقیاس منطقه‌ای و هم محلی در پخش و پراکنش آلاینده‌ها در تهران نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. بادهای محلی که به نوسانات روزانه دما و توپوگرافی منطقه بستگی دارند، در صورت عدم وجود سیستم‌های هواشناسی قوی می‌توانند در انتقال افقی ذرات آلوده‌کننده مؤثر باشند. به طور معمول وزش باد با سرعت حداکثر در حوالی ظهر تا عصر اتفاق می‌افتد و به تدریج با کاهش دمای هوا در شب از سرعت باد نیز کاسته می‌شود و سرانجام در ساعات ابتدایی صبح مقدار آن به حداقل می‌رسد.

به دلیل قرار گرفتن تهران در دامنه ارتفاعات البرز، در طول روز نسیم دشت به کوه (باد محلی)، آلاینده‌ها را به سمت شمال تهران منتقل می‌کند. این آلاینده‌ها در اثر برخورد با ارتفاعات شمالی در آنجا به حالت سکون می‌مانند و شب‌هنگام همراه با نسیم کوه به دشت به سمت جنوب جابه‌جا می‌شوند. در صورت برقراری شرایط پایداری جو برای مدت نسبتاً طولانی و سکون نسبی هوا، آلودگی مرتباً توسط بادهای محلی به سمت شمال و جنوب شهر جابه‌جا می‌شوند و به تدریج بر مقدار آن افزوده می‌شود.

به طور کلی در سطح زمین فشار هوا در منطقه گرم کم و در منطقه سرد زیاد است. لذا اختلاف فشار موجود منجر به شکل‌گیری جریان هوا از منطقه با فشار زیاد به منطقه با فشار کم می‌شود. این تغییر فشار برحسب فاصله را که جهت آن از مرکز پرفشار به مرکز کم‌فشار است شیب تغییرات فشار می‌نامند که عامل اصلی ایجاد حرکت هوا به صورت باد است. میزان اختلاف فشار بین مراکز پرفشار و کم‌فشار رابطه مستقیم با شدت باد دارد. به عبارت دیگر شیب تغییرات فشار، بزرگی سرعت باد را کنترل می‌کند اما لزوماً تعیین‌کننده جهت باد نیست. باد مؤثر در مقیاس منطقه‌ای در نتیجه شیب

1. Wind Speed – Wind Direction

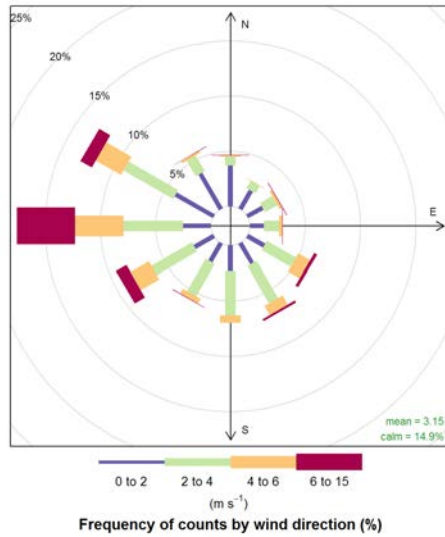
تغییرات فشار در منطقه (گرادیان فشار) ایجاد می‌شود که در پراکندگی و جابه‌جایی آلاینده‌ها اهمیت بسیار دارند.

به دلیل شرایط جغرافیایی منطقه، باد غالب تهران (از نظر شدت و فراوانی) باد غربی^۱ (از سمت غرب) می‌باشد و وزش این بادهای به دلیل انتقال آلاینده‌های ناشی از منابع انتشار محلی به سمت شرق نقش به‌سزایی در تهویه هوای شهر ایفا می‌کند. هرچند در شرایطی که باد از سرعت و شدت کافی برخوردار نباشد (باد آرام) قادر به جابه‌جایی آلاینده‌ها از روی موانع کوهستانی مستقر در شمال و شرق تهران نخواهد بود. همچنین وزش باد شدید غربی و جنوب‌غربی در فصل‌های گرم و خشک سال ممکن است همراه با ریزگردهای نشأت‌گرفته از مناطق جنوب غرب استان تهران و جنوب غرب کشور باشد و باعث بروز شرایط نامطلوب کیفیت هوا در تهران شود.

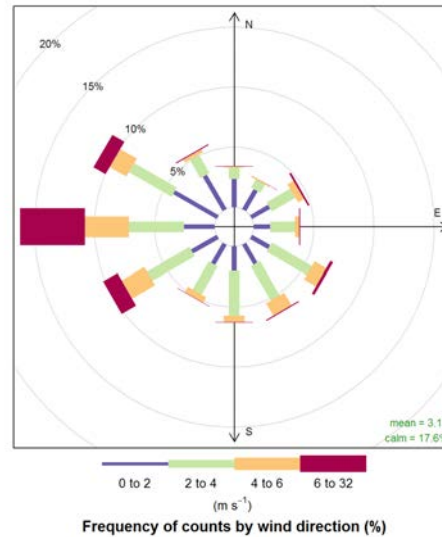
به منظور بررسی بزرگی سرعت و درصد فراوانی بادهای یک مکان خاص در بازه زمانی مشخص از نمودار گل‌باد استفاده می‌شود. شکل ۴-۴ مقایسه‌ای از نمودار گل‌باد ایستگاه مهرآباد تهران مربوط به دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ (میانگین سالانه) می‌باشد که بر یکسان بودن الگوی جهت باد طی دو سال گذشته دلالت می‌کند. همان‌گونه که در شکل مشخص است، بزرگی بادهای توسط رنگ‌های مختلف از هم متمایز شده‌اند که بازه‌ی رنگ‌ها در مقیاس‌بندی زیر شکل مشخص شده است. دایره‌های خاکستری نشان‌دهنده درصد فراوانی بادهای بزرگی‌های مختلف می‌باشند.

1. West Wind

2. WindRose



۱۳۹۵



۱۳۹۴

شکل ۴-۴ مقایسه گل باد ایستگاه مهر آباد تهران مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ (سمت راست) و ۱۳۹۵ (سمت چپ) (میانگین سالانه)

به‌طور کلی فراوانی وزش باد با سرعت بالاتر از ۶ متربرثانیه در سال ۱۳۹۵ کمتر از سال ۱۳۹۴ بوده است (جدول ۴-۲). اندازه میانگین باد اندازه‌گیری شده در این ایستگاه برای هر دو سال به‌طور تقریبی برابر ۳ متربرثانیه می‌باشد.

جدول ۴-۲ مقایسه فراوانی بادهای با تندی بیشتر از ۶ متر بر ثانیه با توجه به جهت آن‌ها برای دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

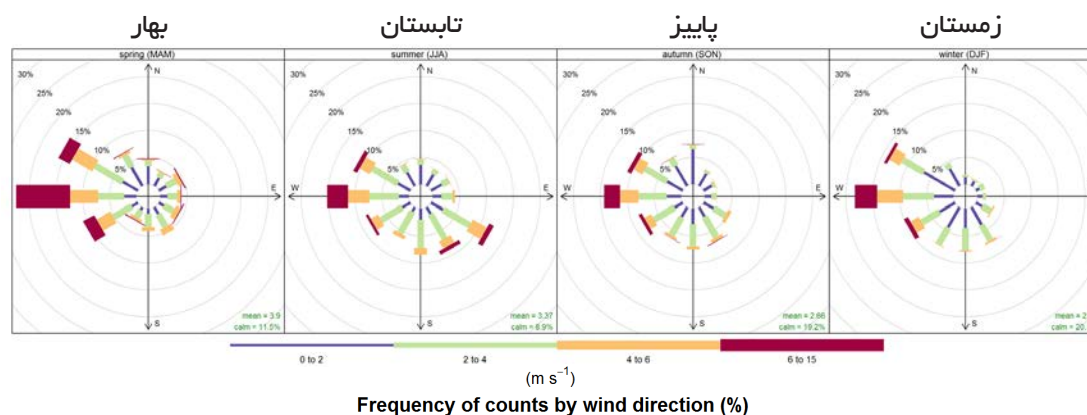
جهت باد	درصد فراوانی باد با سرعت بیشتر از ۶ متربرثانیه در سال ۱۳۹۴	درصد فراوانی باد با سرعت بیشتر از ۶ متربرثانیه در سال ۱۳۹۵
غربی	۸٪	۶٪
شمال غربی	۳/۵٪	۲٪
جنوب غربی	۳٪	۲٪
جنوب شرقی	۱٪	۱٪

باد غالب^۱ این ایستگاه برای هر دو سال مورد نظر باد غربی (غرب به شرق) (۱۷/۵٪ از کل بادهای) است. به طور میانگین در سال ۱۳۹۵، ۲/۵٪ از باد غالب با سرعت ۰ تا ۲ متربرثانیه، ۵٪ از این باد ۲ تا ۴ متربرثانیه، ۴٪ از باد غالب با سرعت ۴ تا ۶ متربرثانیه و ۶٪ با سرعت بیشتر از ۶ متربرثانیه از ناحیه غرب وزیده است. درصد فراوانی بادهای با بزرگی بیشتر از ۶ متربرثانیه در سال ۱۳۹۵ کمتر از سال ۱۳۹۴ می‌باشد.

باد غالب ثانویه^۲ این ایستگاه برای هر دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ (۱۳ درصد از کل بادهای) باد شمال غربی^۳ است. همچنین باد جنوب غربی^۴ از بادهای حائز اهمیت برای هر دو سال مورد نظر می‌باشد که به طور متوسط ۱۰٪ از کل بادهای از این سمت می‌وزند. با توجه به جدول ۴-۲، وزش بادهای با سرعت بالاتر از ۶ متربرثانیه از سمت نواحی غربی در سال ۱۳۹۵ کمتر از سال ۱۳۹۴ می‌باشد. در کل ۳۶٪ از کل بادهای در تهران در سال ۱۳۹۵ جهتی متغیر بین شمال غربی تا جنوب غربی دارند.

شکل ۴-۵ گل باد مربوط به ایستگاه مهرآباد برای فصول مختلف سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، درصد فراوانی وزش بادهای بالاتر از ۶ متربرثانیه از سمت غرب در فصل بهار نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. همچنین در فصل تابستان، علاوه بر باد غالب غربی، وزش باد از سمت نواحی جنوب شرقی نیز از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردار است.

-
1. Prevailing Wind
 2. Second Prevailing Wind
 3. Northwest Wind
 4. Southwest Wind



شکل ۴-۵ مقایسه گل باد ایستگاه مهرآباد تهران در فصول مختلف سال ۱۳۹۵

۴-۱-۴- پایداری و ناپایداری جوی^۱

جو زمین مدام دستخوش تغییرات ناشی از سیستم‌های پایداری و ناپایداری قرار دارد که در چگونگی توزیع آلاینده‌ها در جو تأثیرگذار هستند. شرایط پایداری و ناپایداری جوی تعیین‌کننده میزان تلاطم و اختلاط لایه‌های مختلف جو هستند. در جو پایدار، شرایط برای جریان هوا در راستای افقی و قائم به طور نسبی مهیا نمی‌باشد و در چنین شرایطی پخش و اختلاط آلاینده‌ها محدود شده و در برخی موارد به حالت سکون قرار می‌گیرند. حال آن‌که در حالت ناپایداری، حرکت افقی و عمودی در هوا امکان‌پذیر است و می‌تواند همراه با وزش باد و در مواردی تشکیل ابر، بارندگی، گردباد و طوفان باشد. وجود شرایط جوی ناپایدار باعث شکل‌گیری تلاطم و آمیختگی بسیار بالایی می‌شود که کمک شایانی به پراکندگی آلاینده‌ها و بهبود کیفیت هوا می‌کند.

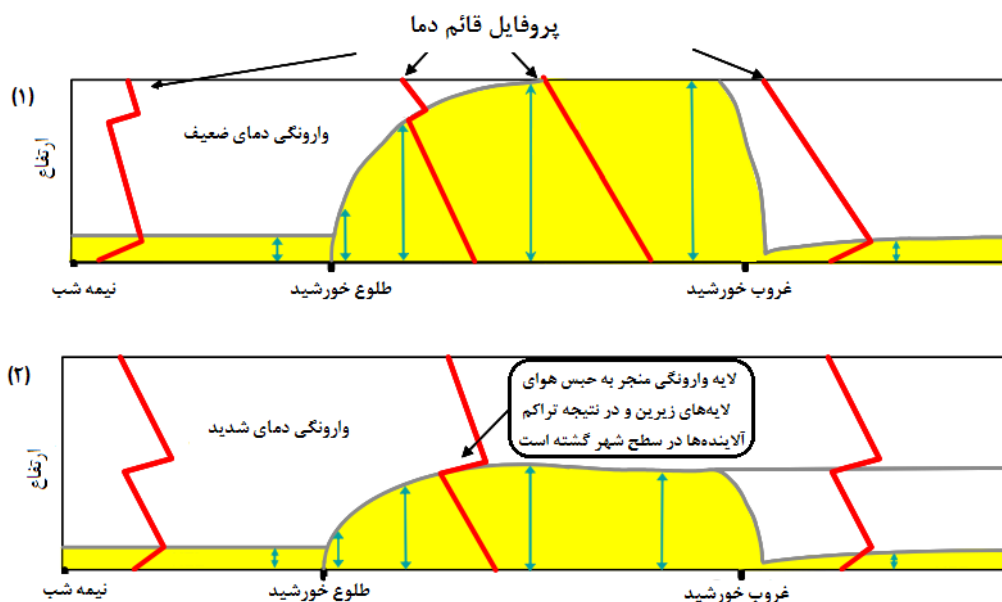
شرایط جوی پایدار از جمله عوامل تأثیرگذار در تشدید و ماندگاری پدیده وارونگی دما می‌باشد. بدیهی

1. Stability and Instability

است که کاهش درجه حرارت هوا با افزایش ارتفاع در جو رابطه‌ای مستقیم دارد. هنگامی که دمای هوا از دمای لایه‌ی زیرین خود بیشتر شده و مانع از صعود هوای زیرین خود شود، وارونگی دمایی رخ می‌دهد که باعث انباشتگی آلاینده‌ها در لایه زیرین می‌شود. در صورتی که ارتفاع لایه‌ی وارونگی کم باشد باعث تراکم آلاینده‌ها و افت کیفیت هوا در نزدیکی زمین می‌شود.

وارونگی دمایی یکی از عوامل بسیار مهم در تشدید آلودگی هوا محسوب می‌شود که در تهران به کرات به‌ویژه در فصل سرما رخ می‌دهد. یکی از عوامل تأثیرگذار در وضعیت وارونگی دمایی تهران شیب عمومی شمال به جنوب این ناحیه می‌باشد. در صورت وقوع پدیده وارونگی دما، به دلیل شیب موجود فاصله سطح زمین با لایه وارونگی از شمال تا جنوب تهران یکسان نمی‌باشد. این اختلاف ارتفاع به‌ویژه در مناطق شمالی کمتر بوده و احتمال تجمع آلاینده‌ها در این مناطق بالاتر است. در صورت بیشتر بودن ارتفاع لایه وارونگی احتمال دارد که سطح زمین در نواحی شمالی بسیار بالاتر و در نواحی جنوبی بسیار پایین‌تر از لایه وارونگی باشد که در هر دو مورد خطر جدی کیفیت هوای این مناطق را تهدید نمی‌کند و تنها مناطق مرکزی تهران تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرند.

ارتفاع لایه مرزی یا عمق آمیختگی، فضای موجود در راستای قائم جو برای پخش و پراکنش آلاینده‌های هوا است. ارتفاع لایه مرزی ارتباط مستقیم با میزان انباشتگی و یا پراکندگی آلاینده‌ها روی سطح شهر دارد. در طول شب به دلیل کاهش دما، عمق این لایه به کمترین مقدار می‌رسد و منجر به تجمع آلودگی در سطح زمین می‌شود. همراه با طلوع خورشید و افزایش تدریجی دما در طول روز، بر ارتفاع این لایه افزوده شده و فضای لازم برای اختلاط آلاینده‌ها فراهم می‌گردد. شکل ۴-۶ نمایی از تغییرات عمق لایه مرزی برای دو حالت با شرایط وارونگی دمای ضعیف (۱) و شدید (۲) را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳- پروفایل قائم دما و تغییرات عمق لایه مرزی در طول یک شبانه‌روز برای دو حالت برقراری شرایط وارونگی دمایی ضعیف (۱) و شدید (۲)

۴-۲- بررسی تغییرات ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

جدول ۳-۴ میزان تغییرات نسبی ماهانه برخی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی مؤثر در شرایط کیفیت هوای تهران (شامل دما، فشار سطح دریا [۶]، سرعت باد، ساعت آفتابی، بارش و رطوبت نسبی) در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد [۷]. بر اساس جدول ۳-۴، به‌طور کلی میزان بارش طی ماه‌های فصل زمستان سال ۱۳۹۵ نسبت به فصل مشابه در سال ۱۳۹۴ افزایش نسبی داشته است. برای دو پارامتر فشار سطحی و مجموع ساعات آفتابی تغییر محسوسی بین این دو سال مشاهده نشده است. همچنین از میزان سرعت باد طی ماه‌های آبان و دی ۱۳۹۵ نسبت به مدت مشابه در سال ۱۳۹۴ کاسته شده و در آذر ماه ۱۳۹۵ افزایش نسبی در سرعت باد نسبت به سال گذشته مشاهده می‌شود. با این وجود نتایج این بررسی نشان‌دهنده تغییرات جزئی (بین ۵٪+ و ۵٪-) پارامترهای مذکور طی دو سال مذکور

بوده است. باید در نظر داشت به دلیل ماهیت متغیر و متضادی که آب و هوا دارا می‌باشد، کمیت میانگین در همه موارد نمی‌تواند به‌طور دقیق گویای شرایط هواشناسی خاص حاکم بر منطقه باشد.

جدول ۳-۴ پارامترهای ماهانه هواشناسی مؤثر بر شرایط کیفیت هوای سال ۱۳۹۵ در مقایسه با سال ۱۳۹۴ (درصد نسبی) [۷]

ماه	رطوبت نسبی	سرعت باد	فشار سطح دریا	دما	مجموع ساعات آفتابی	مجموع بارش
فروردین	++	=	=	--	-	+
اردیبهشت	++	=	=	=	=	++
خرداد	+	+	=	-	+	-
تیر	++	+	=	=	+	--
مرداد	+	+	=	=	=	=
شهریور	--	=	=	+	+	=
مهر	--	-	=	=	+	-
آبان	--	-	=	++	++	--
آذر	--	++	=	--	++	--
دی	+	-	=	-	=	+
بهمن	++	+	=	--	=	+
اسفند	++	--	=	--	--	++
کل سال	=	=	=	-	=	=

راهنمای جدول

نشانه	تغییرات نسبت به سال ۱۳۹۴
++	افزایش قابل توجه ($> + 15\%$)
+	افزایش جزئی (بین $+ 6\%$ و $+ 15\%$)
=	اختلاف ناچیز (بین $+ 5\%$ و $- 5\%$)
-	کاهش جزئی (بین $- 6\%$ و $- 15\%$)
--	کاهش قابل توجه ($< - 15\%$)

۴-۳- بررسی موردی چند پدیده جوی

تأثیر مستقیم جریانات جوی که منجر به وقوع پدیده‌هایی از جمله گردوغبار، وارونگی دما و یا بارش برف و باران می‌شوند در کیفیت هوای شهر تهران انکارناپذیر است. در این بخش به منظور بررسی دقیق‌تر نقش شرایط جوی در وضعیت کیفیت هوای تهران، روند توزیع آلاینده‌ها برای دو مورد خاص (پدیده گردوغبار و شرایط جوی ناپایدار به همراه بارش باران) مطالعه گردید. بدین منظور تغییرات میانگین ساعتی غلظت آلاینده‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$ (میانگین کل ایستگاه‌ها) نسبت به تغییرات ساعتی پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه مهرآباد بررسی گردید. پارامترهای هواشناسی در نظر گرفته شده بسته به پدیده مورد بررسی شامل سرعت و جهت باد، دما، رطوبت نسبی و عمق میدان دید می‌باشند.

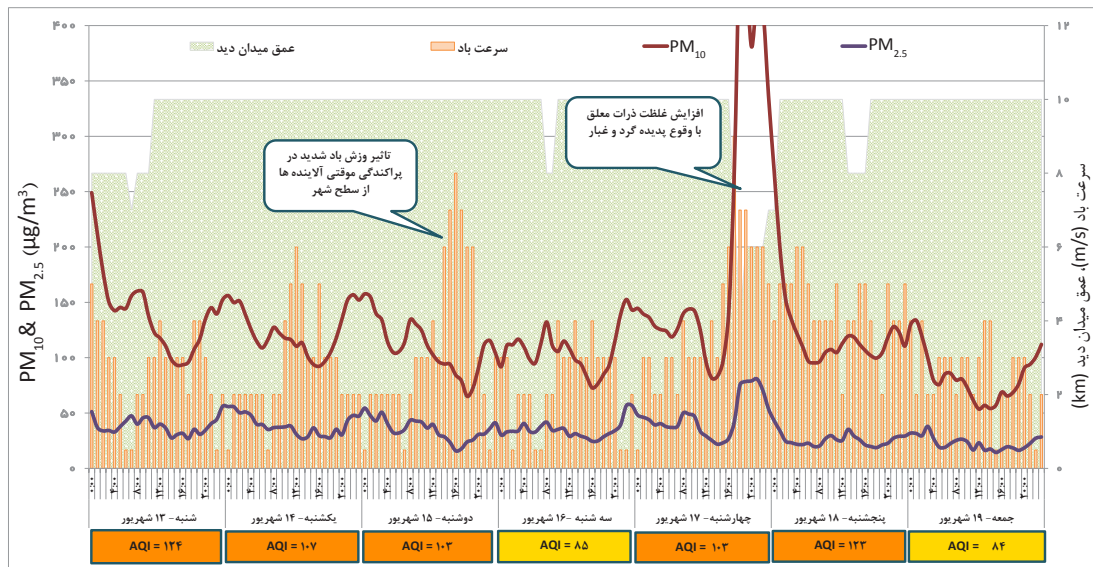
۴-۳-۱- پدیده گردوغبار - شهریور ماه ۱۳۹۵

شهر تهران طی ماه‌های خرداد الی شهریور سال ۱۳۹۵ چندین بار در معرض وزش بادهای شدید و هجوم میزان بالایی از ریزگردها به سطح شهر قرار گرفت. جهت بررسی تأثیر پدیده مذکور در شرایط کیفی هوای تهران، یک هفته انتخابی طی سال ۱۳۹۵ (۱۳ تا ۱۹ شهریور ماه) در نظر گرفته شد. در دوره مورد مطالعه، پایتخت ۵ روز در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس و ۲ روز را در شرایط سالم سپری کرده است. وزش بادهای نسبتاً شدید در تهران طی بازه زمانی مورد نظر اثر متضادی داشته است. وزش بادهای مذکور در اوایل هفته (روزهای شنبه الی سه‌شنبه) به‌ویژه در بعدازظهر منجر به کاهش موقتی غلظت آلاینده‌ها و بهبود نسبی کیفیت هوا شده است. حال آن‌که وزش این بادهای از روز چهارشنبه (۱۷ شهریور) با انتقال گردو خاک به سطح شهر و وقوع پدیده گردوغبار شرایط نامطلوبی

را فراهم کرده است. نمودار ۴-۱ تغییرات ساعتی غلظت ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ را در ارتباط با پارامترهای سرعت باد و عمق میدان دید نشان می‌دهد.

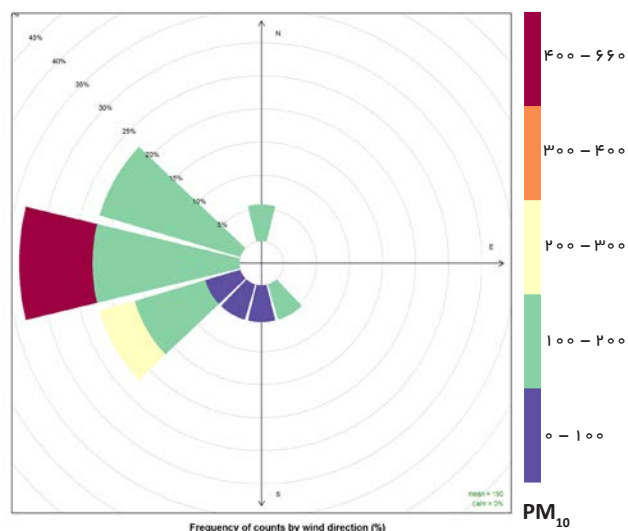
به طور کلی طی روزهای شنبه الی سه‌شنبه (۱۳ الی ۱۶ شهریور) وزش باد محلی، که در اثر نوسانات روزانه دما رخ می‌دهد، به طور مستقیم در پراکندگی موقتی آلاینده‌ها مؤثر بوده و در بهبودی کیفیت هوا نقش به‌سزایی داشته است. شایان ذکر است، میانگین سرعت باد طی روزهای مذکور حدود ۳ متربرثانیه گزارش شده و در برخی ساعات بعدازظهر بزرگی آن بین ۴ تا ۷ متربرثانیه (با جهت متغیر بین جنوب‌شرقی تا شمال‌غربی) متغیر بوده که در اکثر موارد کاهش موقتی غلظت آلاینده‌ها را به دنبال داشته است.

در روز چهارشنبه (۱۷ شهریور) با نفوذ امواج ناپایدار به نوار شمالی کشور، دامنه‌های جنوبی البرز تحت تأثیر فعالیت آن قرار گرفته و به‌تدریج سبب افزایش میزان ناپایداری جوی، میزان ابرناکی و وزش باد شدید موقتی در این مناطق گردید. در بعدازظهر چهارشنبه وزش باد شدید با سرعت متغیر بین ۶ تا ۹ متربرثانیه با جهت غالب غربی - جنوب‌غربی، خیزش و انتقال گردوخاک را به منطقه به‌دنبال داشت و منجر به کاهش کیفیت هوای پایتخت شد. با توجه به نمودار ۴-۱، همزمان با وزش باد شدید در روز چهارشنبه، میانگین ساعتی غلظت آلاینده‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$ به‌ترتیب به بیش از $400 (\mu g/m^3)$ و $70 (\mu g/m^3)$ رسیده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، غلظت این آلاینده‌ها به‌قدری بالا بوده که عمق میدان دید در برخی ساعات به ۴ کیلومتر کاهش یافته است.

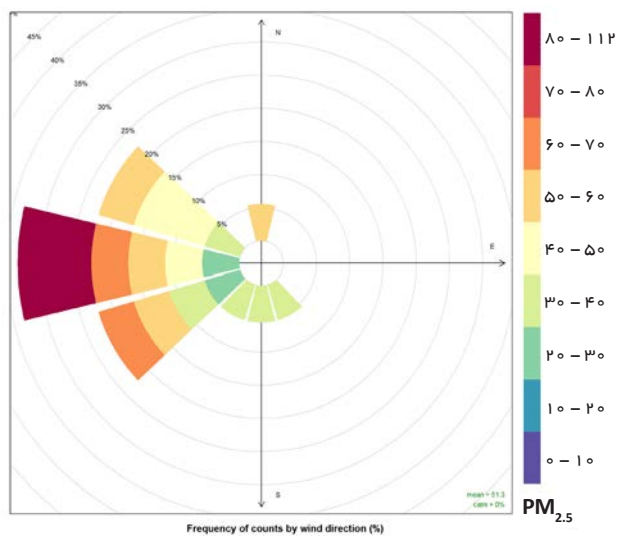


نمودار ۴-۱: تاثیر وقوع پدیده گرد و غبار بر غلظت آلاینده‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$

شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ از بررسی غلظت میانگین ساعتی ذرات معلق اندازه‌گیری شده در ایستگاه شریف و سرعت باد برای ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهیه شده است. همان‌طور که در این نمودارها مشخص است، طی روز چهارشنبه (۱۷ شهریور) غلظت بالایی از ذرات معلق با قطر کمتر از $2/5$ میکرون و 10 میکرون همراه با باد غربی و جنوب‌غربی به سمت ایستگاه شریف جابه‌جا گردید. لازم به ذکر است، خوشبختانه تغییرات شرایط آب‌وهوایی حاکم بر منطقه و کاهش تردد خودروها در روزهای پایانی هفته (۱۸ و ۱۹ شهریور) شرایط کیفی هوا را به سمت بهبودی نسبی هدایت کرد.



شکل ۴-۷ انتقال ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) توسط باد غربی در روز چهارشنبه ۱۷ شهریور ۱۳۹۵ (ایستگاه شریف)



شکل ۴-۸ انتقال ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) توسط باد غربی-جنوب غربی در روز چهارشنبه ۱۷ شهریور ۱۳۹۵

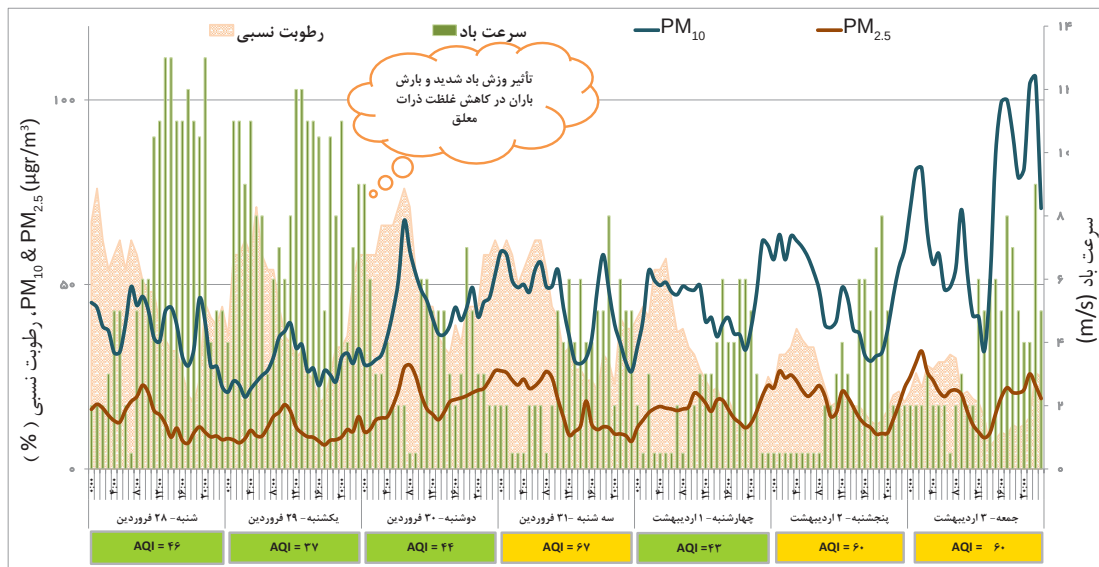
جدول ۴-۴: بیشینه، کمینه و میانگین غلظت ذرات مععلق و پارامترهای هواشناسی بررسی شده

بیشینه	PM ₁₀ (میکروگرم بر متر مکعب)	PM _{2.5} (میکروگرم بر متر مکعب)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	عمق میدان دید (کیلومتر)	دما (درجه سانتی گراد)
۴۷۷/۴۲	۸۰/۷	۶۳	۹	۱۰	۳۸	بیشینه
۵۳/۵۵	۱۴/۴	۴	۰/۵	۴	۱۷	کمینه
۱۲۷	۳۴/۷	۲۵/۷	۳/۲	۹/۶	۲۸	میانگین

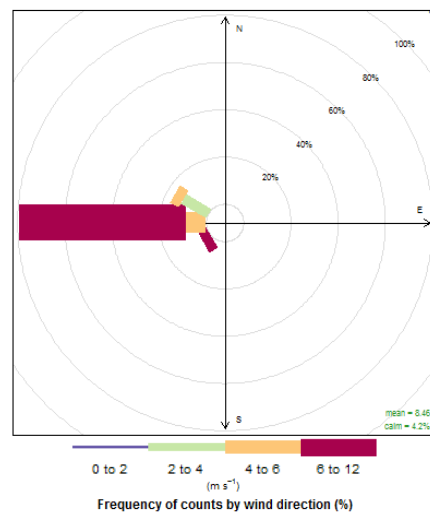
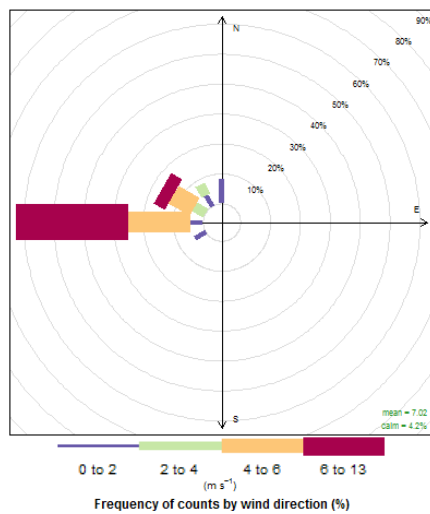
۴-۳-۲- شرایط جوی ناپایدار به همراه بارش باران - فروردین ماه ۱۳۹۵

اثر شرایط جوی ناپایدار و بارندگی در بهبود وضعیت کیفی هوای تهران برای هفته پایانی فروردین سال ۱۳۹۵ (روزهای ۲۸ فروردین الی ۳ اردیبهشت) بررسی شد. ارزیابی شاخص کیفیت هوا گویای آن است که هوای تهران در این بازه زمانی در شرایط کیفی مطلوب (۴ روز پاک و ۳ روز سالم) قرار داشته است.

در اوایل هفته موردنظر، گذر سامانه بارشی از نوار شمالی کشور و تأثیر آن بر دامنه‌های جنوبی البرز سبب وزش باد شدید، افزایش رطوبت نسبی در جو و بارش پراکنده در شهر تهران گردید که موجب برقراری وضعیت هوا با شرایط پاک شده است. شایان ذکر است، وزش بادهای شدید (متغیر بین ۸ تا ۱۳ متر بر ثانیه) از سمت غرب در بهبود کیفیت هوا نقش به‌سزایی داشته است (نمودار ۴-۲). گل‌باد مربوط به دو روز شنبه و یکشنبه (۲۸ و ۲۹ فروردین ماه) به صورت مشخص‌تری جهت باد غالب (باد غربی) را نشان می‌دهد (شکل ۴-۹). همچنین پارامتر عمق میدان دید در تمامی روزهای این دوره بیشترین مقدار بوده است.



نمودار ۴-۲: تأثیر بارش و وزش باد بر غلظت آلاینده‌های PM₁₀ و PM_{2.5}



شنبه

یکشنبه

شکل ۴-۹: گل باد مربوط به روزهای ۲۸ و ۲۹ فروردین ماه ۱۳۹۵

جدول ۴-۵: بیشینه، کمینه و میانگین غلظت ذرات معلق و پارامترهای هواشناسی بررسی شده

دما (درجه سانتی گراد)	عمق میدان دید (کیلومتر)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت نسبی (درصد)	PM _{2.5} (میکروگرم بر متر مکعب)	PM ₁₀ (میکروگرم بر متر مکعب)	
۲۷	۱۰	۱۳	۷۶	۳۲	۱۰۶	بیشینه
۸	۸	۰/۵	۶	۶/۵	۱۹/۵	کمینه
۱۶	۹/۹	۴/۵	۳۶	۱۶	۴۵	میانگین





NO₂

O₃

SO₂

CO

AQI



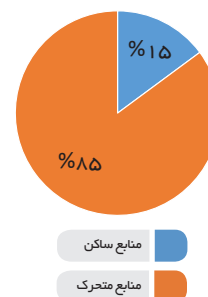
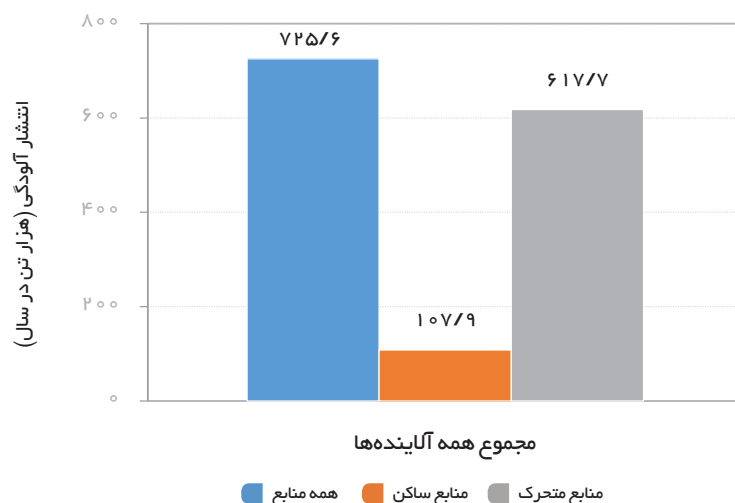
سیاهه انتشار شهر تهران



۱-۵ سیاهه انتشار کل

سیاهه انتشار مجموع تمامی آلاینده‌های هوا، تولیدشده در شهر تهران در سال ۱۳۹۲ (شامل آلاینده‌های منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق)، به تفکیک منابع ساکن و متحرک در نمودار ۵-۱ آورده شده است. مطابق این نمودار، سهم منابع ساکن از کل تولید آلودگی در شهر تهران ۱۵٪ و سهم منابع متحرک ۸۵٪ است. مطابق نمودار ۵-۱، کل تولید آلودگی هوا در شهر تهران در حدود ۷۲۶ هزار تن در سال برآورد شده است.

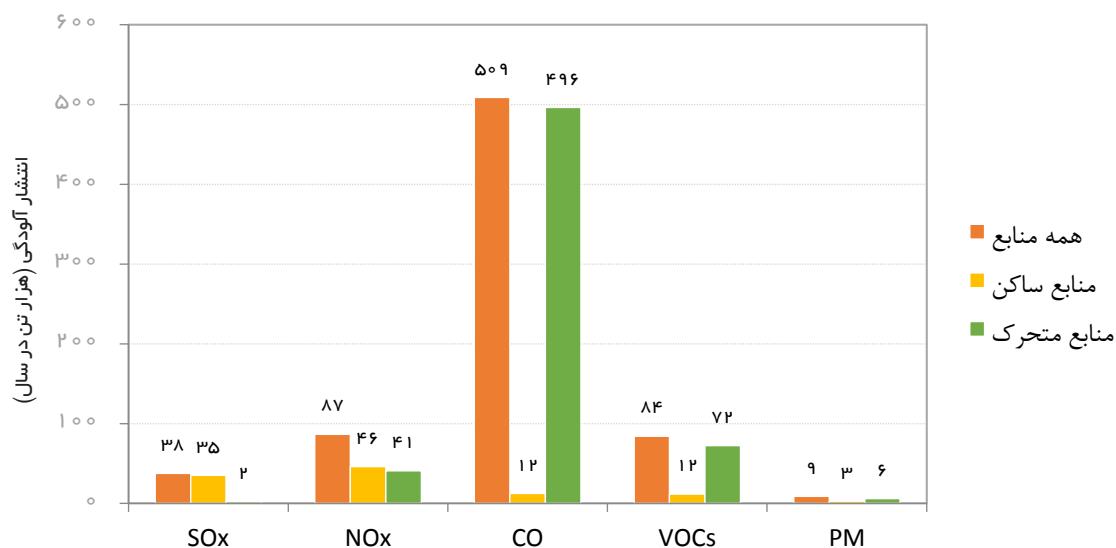
مجموع انتشار تمامی آلاینده‌های هوا در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



نمودار ۵-۱ میزان تولید آلودگی سالانه در شهر تهران در سال ۱۳۹۲ به تفکیک منابع ساکن و متحرک

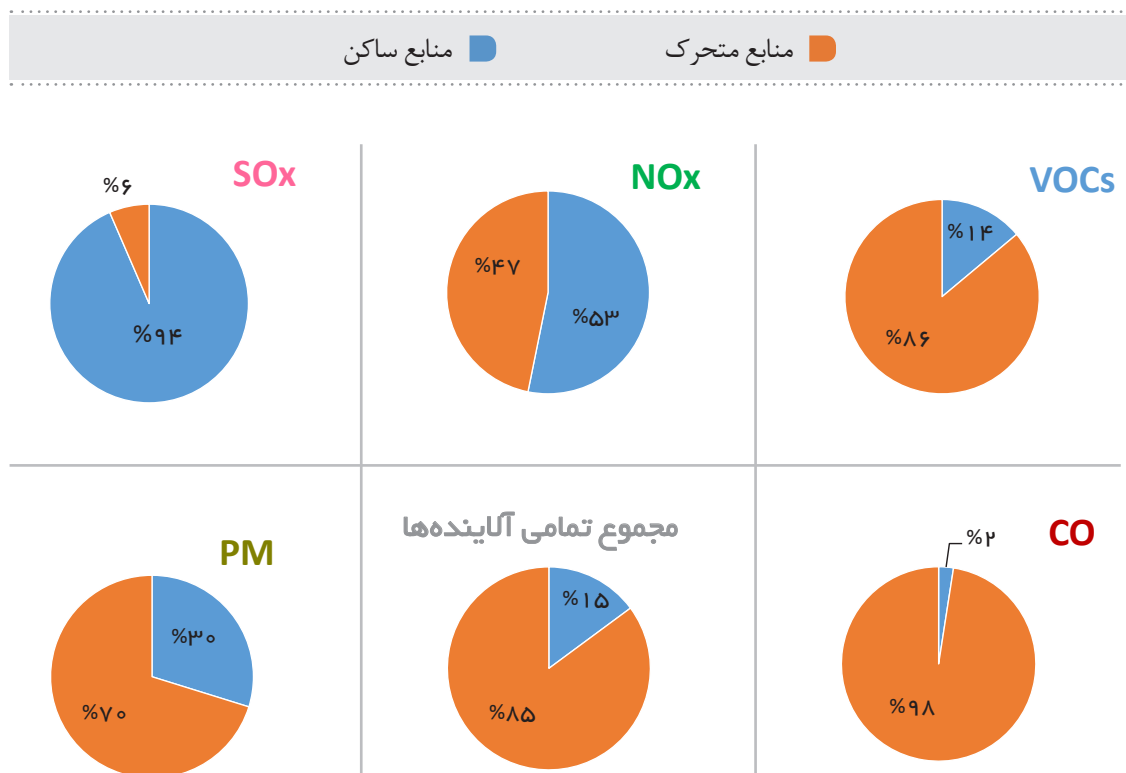
میزان انتشار در سال ۱۳۹۲ برای هریک از آلاینده‌های اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، منواکسیدکربن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق و به تفکیک منبع انتشار (ساکن و متحرک) در نمودار ۲-۵ آورده شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است، بیشترین میزان انتشار مربوط به آلاینده‌ی منواکسیدکربن است که عمدتاً از منابع متحرک منتشر می‌شود. پس از منواکسیدکربن، به ترتیب، آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات آلی فرار، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق قرار دارند.

مقدار انتشار آلاینده‌ها به تفکیک منابع انتشار در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



نمودار ۲-۵: سیاهه انتشار به تفکیک نوع آلاینده و منبع انتشار در سال ۱۳۹۲

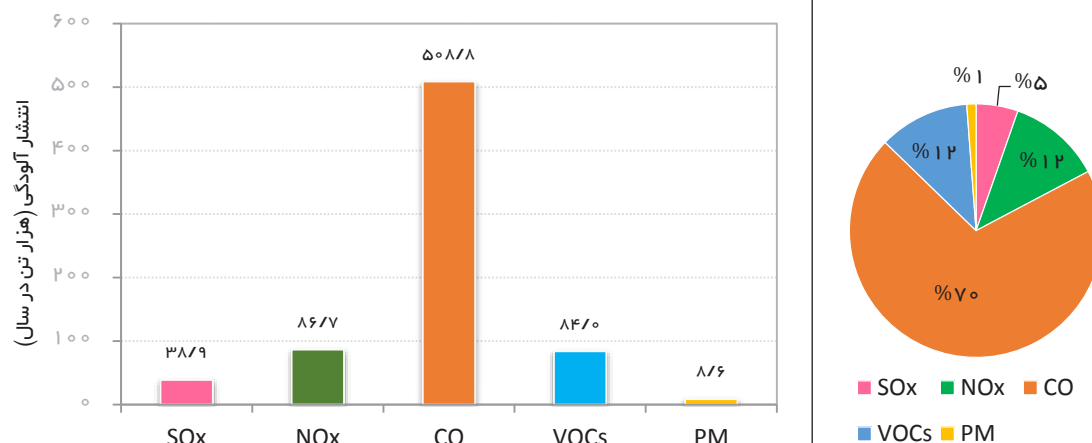
سهم منابع ساکن و متحرک در انتشار هریک از آلاینده‌های اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، منواکسیدکربن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق در نمودار ۵-۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، سهم منابع ساکن در انتشار آلاینده‌های اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن بیشتر است و منابع متحرک در تولید انتشار آلاینده‌های منواکسیدکربن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق سهم بیشتری دارند.



نمودار ۵-۳ سهم منابع ساکن و متحرک در انتشار هریک از آلاینده‌ها در شهر تهران در سال ۱۳۹۲

سیاهه انتشار شهر تهران به تفکیک نوع آلاینده در سال ۱۳۹۲ در نمودار ۴-۵ نشان داده شده است. بیشترین میزان انتشار با سهم ۷۰ درصد مربوط به آلاینده منواکسیدکربن است. اما همان طور که در بررسی سطح غلظت آلاینده‌ها در سال ۱۳۹۲ نشان داده شده است، مهم‌ترین آلاینده تأثیرگذار بر کیفیت هوای شهر تهران، با وجود تولید کمتر در مقایسه با سایر آلاینده‌ها، ذرات معلق است. مقادیر مربوط به انتشار هریک از آلاینده‌ها در شهر تهران، به تفکیک منبع انتشار، در جدول ۵-۱ نشان داده شده است.

میزان انتشار آلاینده‌های هوا در شهر تهران به تفکیک نوع آلاینده‌ها در سال ۱۳۹۲



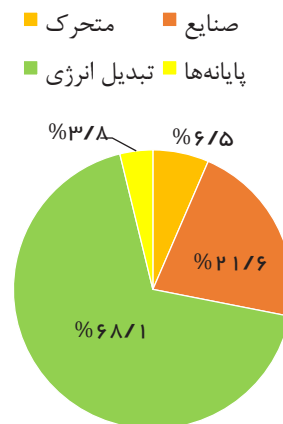
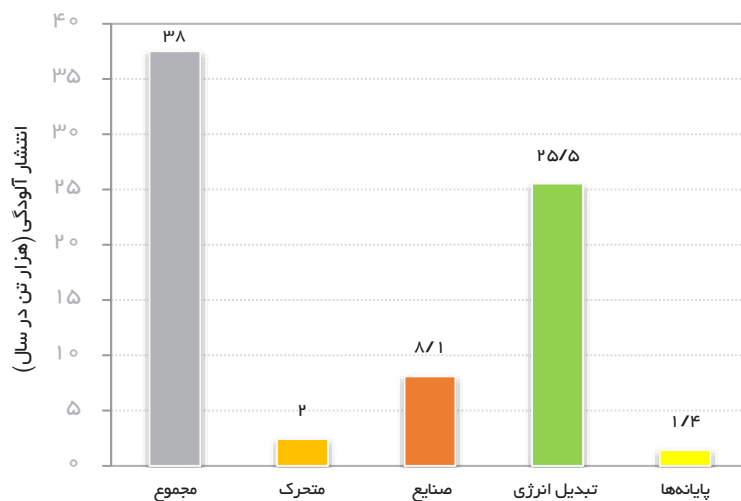
نمودار ۴-۵ سیاهه انتشار شهر تهران به تفکیک نوع آلاینده در سال ۱۳۹۲

جدول ۵-۱ سیاهه انتشار شهر تهران به تفکیک نوع آلاینده و منبع انتشار در سال ۱۳۹۲

منبع انتشار	PM	VOCs	CO	NOx	SOx	مجموع انتشار آلاینده‌ها
میزان انتشار انواع آلاینده‌ها در شهر تهران به تفکیک منبع انتشار در سال ۱۳۹۲ (برحسب تن)						
منابع ساکن	۲۵۶۳	۱۱۶۹۶	۱۲۴۸۸	۴۶۰۹۴	۳۵۰۸۶	۱۰۷۹۲۸
منابع متحرک	۶۰۳۸	۷۲۳۲۱	۴۹۶۳۲۰	۴۰۵۷۹	۲۴۳۷	۶۱۷۶۹۵
مجموع	۸۶۰۱	۸۴۰۱۷	۵۰۸۸۰۹	۸۶۶۷۳	۳۷۵۲۲	۷۲۵۶۲۲
سهم منابع آلاینده شهر تهران در انتشار آلاینده‌های مختلف در سال ۱۳۹۲ (درصد)						
سهم منابع ساکن	۲۹/۸٪	۱۳/۹٪	۲/۵٪	۵۳/۲٪	۹۳/۵٪	۱۴/۹٪
سهم منابع متحرک	۷۰/۲٪	۸۶/۱٪	۹۷/۵٪	۴۶/۸٪	۶/۵٪	۸۵/۱٪
مجموع	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪

سیاهه انتشار شهر تهران در سال ۱۳۹۲ به تفکیک منابع متحرک و هرکدام از بخش‌های اصلی منابع ساکن (پنج بخش شامل صنایع، خانگی و تجاری، تبدیل انرژی (شامل نیروگاه و پالایشگاه)، پایانه‌ها و جایگاه‌های بنزین) در نمودار ۵-۵ تا نمودار ۵-۹ نشان داده شده است.

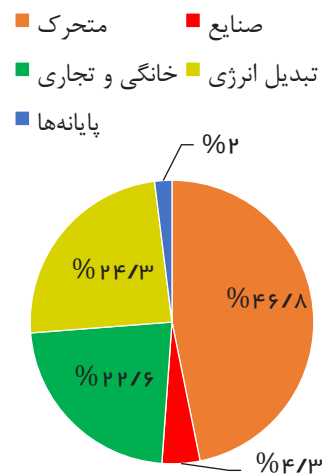
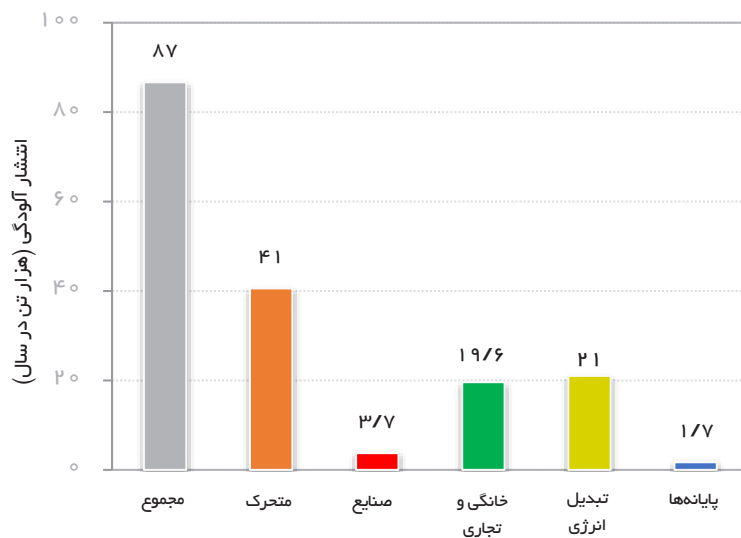
میزان انتشار سالانه SOx از منابع مختلف در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



نمودار ۵-۵ سیاه انتشار اکسیدهای گوگرد در شهر تهران به تفکیک بخش‌های مختلف در سال ۱۳۹۲

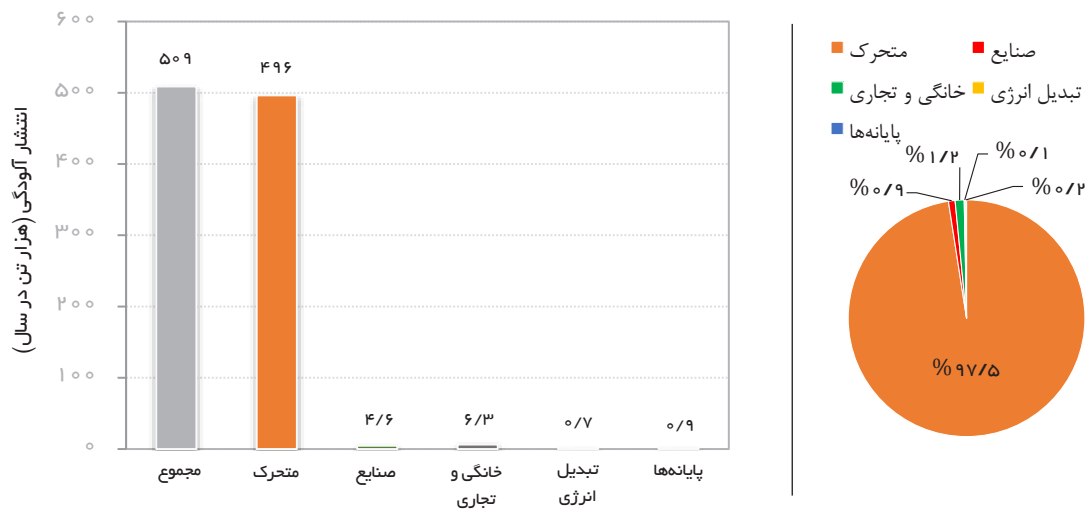
۱۵۷

میزان انتشار سالانه NOx از منابع مختلف در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



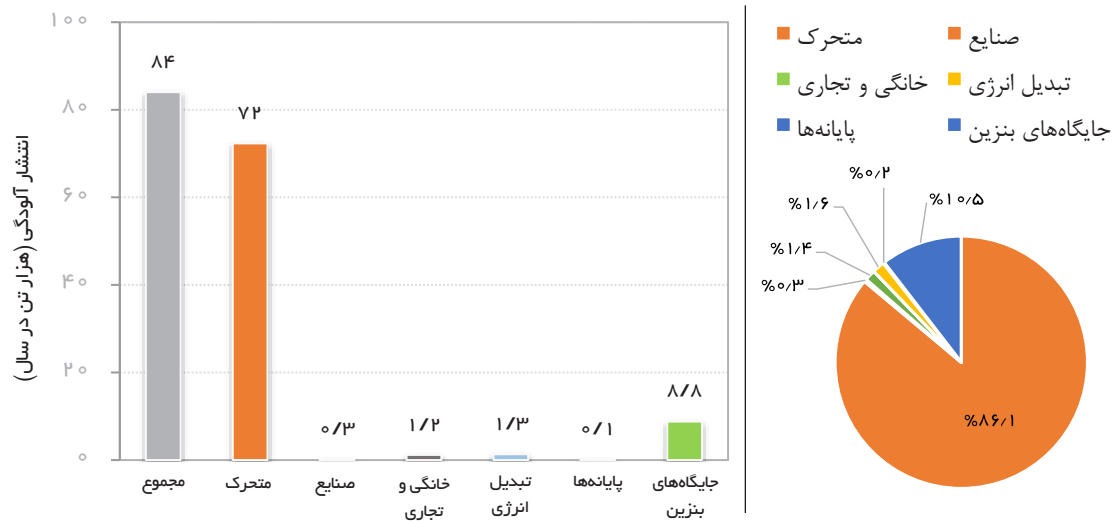
نمودار ۵-۶ سیاه انتشار اکسیدهای نیتروژن در شهر تهران به تفکیک بخش‌های مختلف در سال ۱۳۹۲

میزان انتشار سالانه CO از منابع مختلف در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



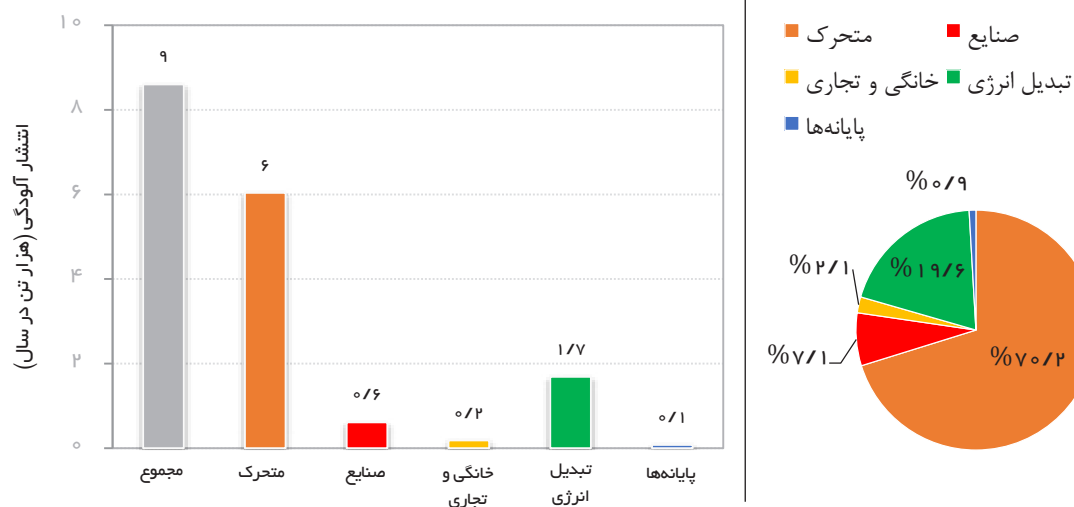
نمودار ۵-۷ سیاه انتشار منواکسیدکربن در شهر تهران به تفکیک بخش‌های مختلف در سال ۱۳۹۲

میزان انتشار سالانه VOCs از منابع مختلف در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



نمودار ۵-۸ سیاه انتشار ترکیبات آبی فرار در شهر تهران به تفکیک بخش‌های مختلف در سال ۱۳۹۲

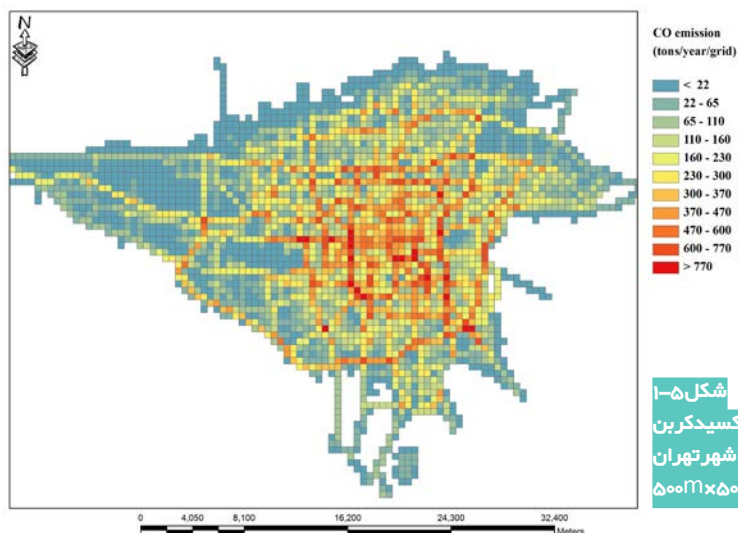
میزان انتشار سالانه ذرات معلق از منابع مختلف در شهر تهران در سال ۱۳۹۲



نمودار ۵-۹ سیاهه انتشار ذرات معلق در شهر تهران به تفکیک بخش‌های مختلف در سال ۱۳۹۲

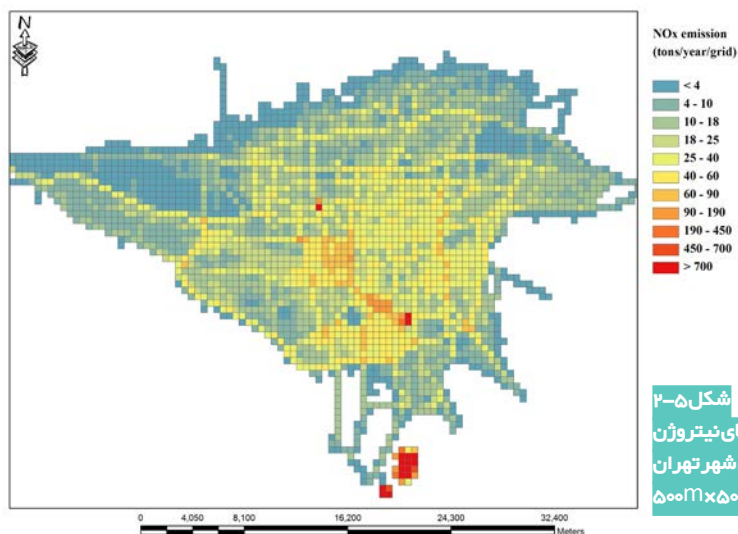
توزیع انتشار انواع آلاینده‌های حاصل از تمامی منابع (متحرک و ساکن) در سال ۱۳۹۲ به صورت نقشه GIS، در شکل ۵-۱ تا شکل ۵-۵ نشان داده شده است.

توزیع انتشار سالانه منواکسید کربن



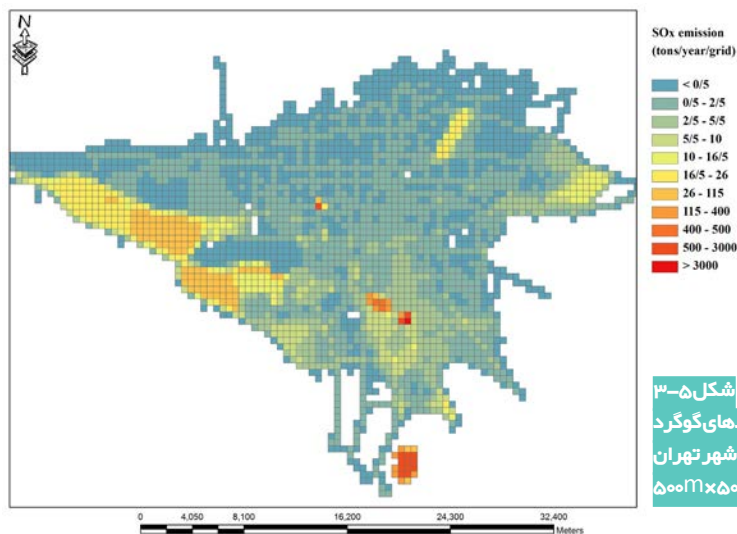
شکل ۵-۱
توزیع انتشار سالانه منواکسید کربن
حاصل از تمامی منابع تولید آلودگی شهر تهران
در سال ۱۳۹۲ در شبکه‌های ۵۰۰م×۵۰۰م

توزیع انتشار سالانه اکسیدهای نیتروژن



شکل ۵-۲
توزیع انتشار سالانه اکسیدهای نیتروژن
حاصل از تمامی منابع تولید آلودگی شهر تهران
در سال ۱۳۹۲ در شبکه‌های ۵۰۰م×۵۰۰م

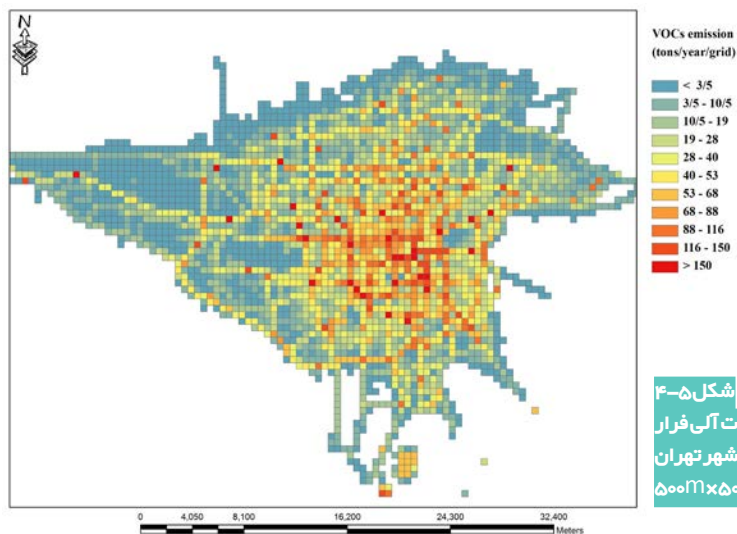
توزیع انتشار سالانه اکسیدهای گوگرد



شکل ۳-۵
توزیع انتشار سالانه اکسیدهای گوگرد
حاصل از تمامی منابع تولید آلودگی شهر تهران
در سال ۱۳۹۲ در شبکه‌های ۵۰۰م×۵۰۰م

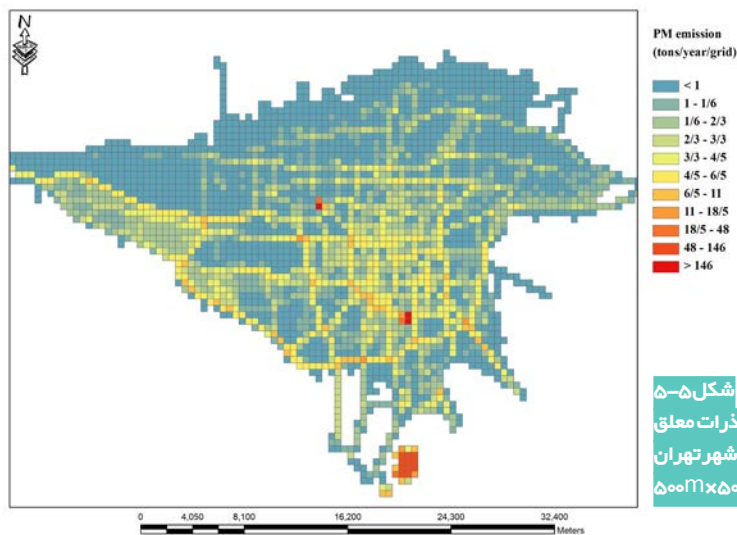
۱۶۱

توزیع انتشار سالانه ترکیبات آلی فرار



شکل ۴-۵
توزیع انتشار سالانه ترکیبات آلی فرار
حاصل از تمامی منابع تولید آلودگی شهر تهران
در سال ۱۳۹۲ در شبکه‌های ۵۰۰م×۵۰۰م

توزیع انتشار سالانه ذرات معلق



شکل ۵-۵

توزیع انتشار سالانه ذرات معلق

حاصل از تمامی منابع تولید آلودگی شهر تهران

در سال ۱۳۹۲ در شبکه‌های ۵۰۰م×۵۰۰م





NO₂

O₃

SO₂

CO

AQI



بررسی و مدلسازی یک بازه آلودگی هوا در شهر تهران در سال ۱۳۹۵

در مطالعه حاضر ارتباط کیفیت هوای تهران با پارامترهای جوی در یک بازه هفده روزه (۱۹ آبان الی ۵ آذر سال ۱۳۹۵) بررسی گردید. طی این دوره کیفیت هوای تهران برای چندین روز متوالی (۱۹ الی ۲۹ آبان) در شرایط نامطلوب قرار داشت، به گونه ای که بیشترین غلظت روزانه آلاینده $PM_{2.5}$ در این بازه زمانی ۲/۳ برابر استاندارد میانگین روزانه ($\mu g/m^3$) ۳۵ بوده است و سپس با تغییر شرایط جوی و افزایش میزان ناپایداری جوی، شرایط کیفی هوا به سمت بهبودی تغییر پیدا نمود (۳۰ آبان الی ۵ آذر).

جهت بررسی رفتار ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در بازه مورد نظر ($PM_{2.5}$)، تغییرات ساعتی و میانگین روزانه آلاینده مذکور نسبت به تغییرات پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در ایستگاه مهرآباد (دما، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد) مقایسه گردید. همچنین پروفایل قائم دما به منظور بررسی تغییرات بیشینه ارتفاع لایه مرزی و پایداری جو مطالعه گردید. در بخش نهایی این فصل به بررسی و مدلسازی وضعیت آلودگی هوا پرداخته شد. با استفاده از سیستم مدلسازی ریاضی توسعه داده شده در شرکت کنترل کیفیت هوا (بر اساس ترکیب دو مدل هواشناسی WRF و مدل آلودگی CAMx) شبیه سازی توزیع میانگین روزانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در بازه زمانی مورد مطالعه، انجام گرفت.

۶-۱- تحلیل شرایط آلودگی هوا و تغییرات پارامترهای هواشناسی در بازه زمانی مورد مطالعه

به منظور بررسی نقش شرایط جوی در بحران آلودگی هوا یک دوره هفده روزه طی ۱۹ آبان الی ۵ آذر ماه سال ۱۳۹۵ (۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶) در نظر گرفته شد. در دوره انتخابی، شهر تهران شاهد استقرار شرایط جوی پایدار، وقوع پدیده وارونگی دما و به تبع آن افزایش قابل توجه غلظت آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات معلق بود. ارزیابی شاخص کیفیت هوا گویای آن است که پایتخت طی این بازه زمانی، ۳ روز در شرایط ناسالم و ۸ روز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشته است. میانگین ساعتی غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی این دوره بین $101 - 9 \mu g/m^3$ متغیر بوده، به گونه‌ای که بیشترین میانگین روزانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در این بازه زمانی ۲/۳ برابر حد استاندارد توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ($35 \mu g/m^3$) بوده است.

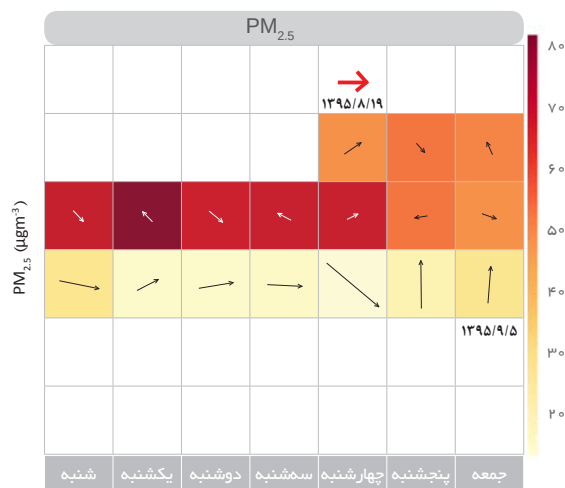
سرانجام در روزهای پایانی این دوره (۳۰ آبان الی ۵ آذر)، با افزایش میزان ناپایداری جوی، وزش باد نسبتاً شدید (۵ تا ۸ متربرثانیه) و بارش برف و باران، شرایط برای بهبودی وضعیت هوا و برقراری کیفیت هوای مطلوب فراهم شد و شاخص کیفیت هوا ۴ روز در شرایط سالم و ۲ روز در وضعیت پاک قرار گرفت. شایان ذکر است، غلظت آلاینده‌های استفاده شده در این مطالعه مربوط به میانگین غلظت کل ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا بوده و همچنین داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد نیز به کار گرفته شده است.

شکل ۶-۱ تصویر ماهواره‌ای مربوط به وقوع بحران آلودگی هوا در تهران و تجمع آلاینده‌ها مربوط به روز چهارشنبه (۱۹ آبان سال ۱۳۹۵) را نشان می‌دهد.



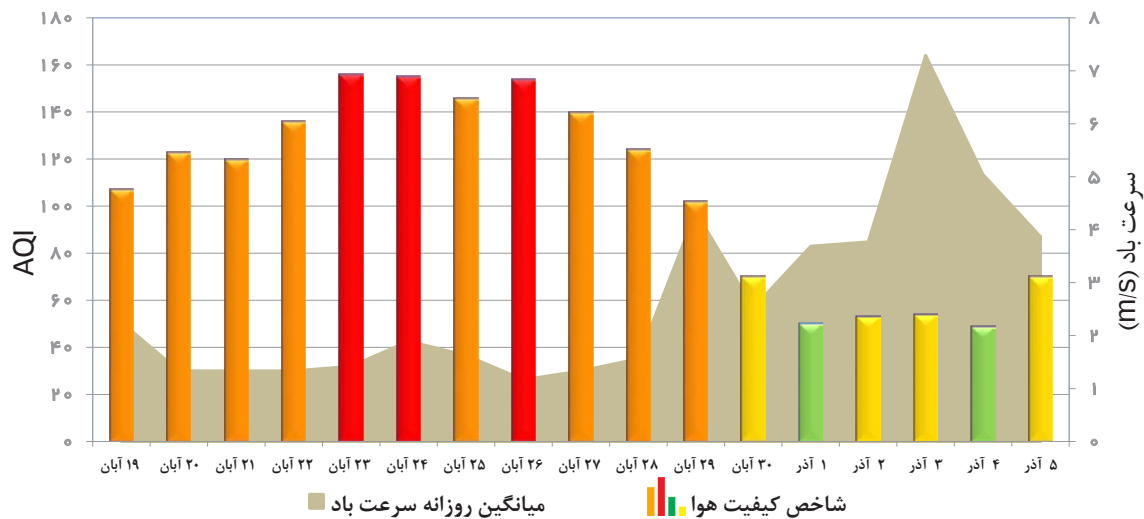
شکل ۶-۱: تصویر ماهواره‌ای مربوط به روز چهارشنبه ۱۹ آبان سال ۱۳۹۵

تقویم میانگین روزانه تغییرات غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ بر حسب میکروگرم بر متر مکعب ($\mu g/m^3$) (بر اساس تغییرات رنگی) به همراه تغییرات سرعت باد (بزرگی فلش) و جهت باد (جهت فلش) در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، نوسانات غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ با تغییرات سرعت باد رابطه معکوسی دارد. همان‌گونه که مشخص است، کاهش شدت باد در روزهای با غلظت بیشینه ذرات معلق (رنگ قرمز) و افزایش سرعت باد با روزهای با غلظت کمتر ذرات معلق (رنگ زرد) هماهنگ بوده است.

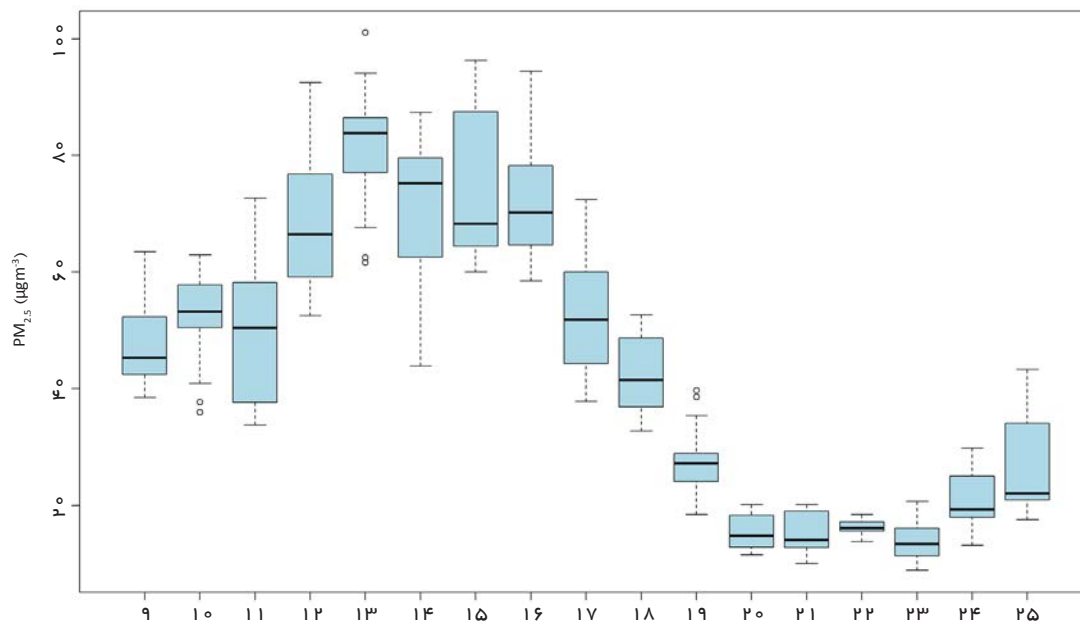


شکل ۶-۲: تقویم آلودگی هوا در بازه ۱۹ آبان الی ۵ آذر ۱۳۹۵
بر اساس تغییرات میانگین روزانه غلظت PM_{2.5} به همراه سرعت و جهت باد

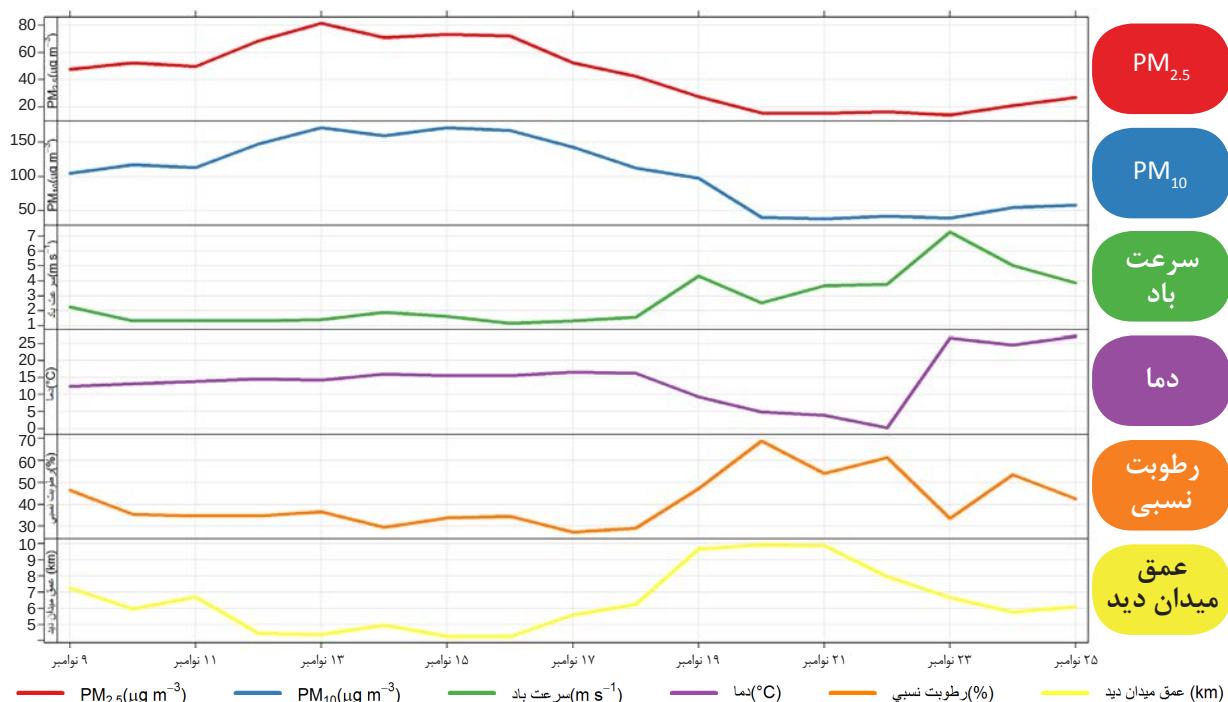
نمودار ۱-۶ تغییرات شاخص کیفیت هوا به همراه روند میانگین روزانه سرعت باد را نشان می‌دهد. در نمودار مذکور تأثیر برقراری شرایط جوی پایدار و وزش باد آرام (سرعت باد بین ۰ تا ۲ متر بر ثانیه) و افزایش غلظت ذرات معلق (برقراری شرایط کیفی هوای نامطلوب) نمایان است. همچنین با تغییر شرایط جوی و افزایش میزان ناپایداری جوی بر سرعت باد به تدریج افزوده شده که در پراکندگی ذرات از سطح شهر و برقراری شرایط کیفی مطلوب هوا نقش به‌سزایی داشته است. همچنین بر طبق نمودار ۲-۶، بیشینه غلظت ساعتی PM_{2.5} و مقدار میانه غلظت در روز ۲۳ آبان مشاهده شده است.



نمودار ۶-۱ تغییرات شاخص کیفیت هوا به همراه میانگین روزانه سرعت باد در بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۵ آذر



نمودار ۶-۲ تغییرات روزانه غلظت PM_{2.5} در بازه ۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ (۱۹ آبان الی ۵ آذر ۱۳۹۵)



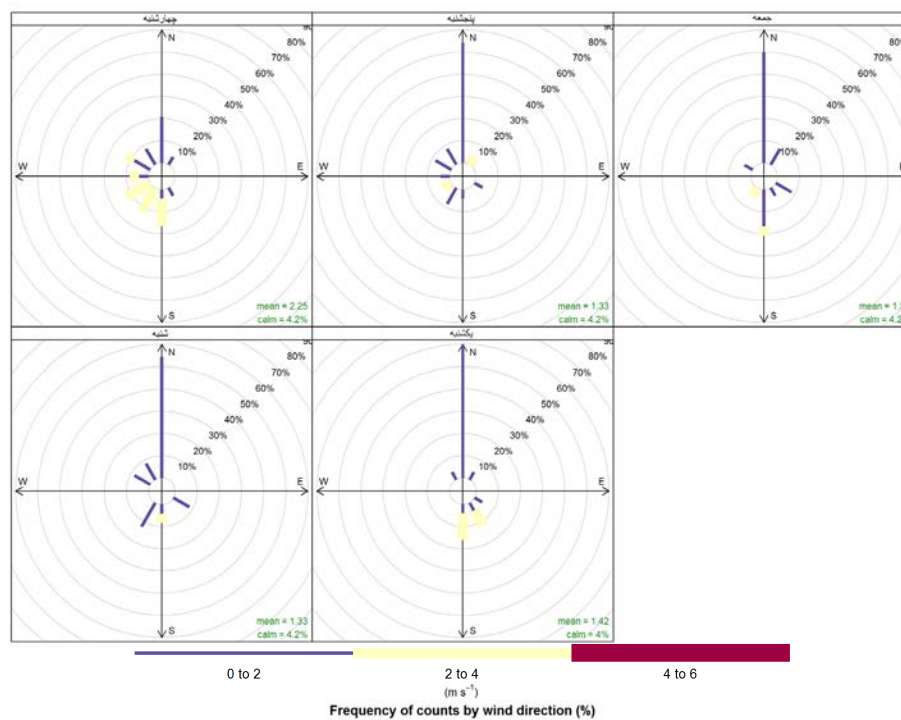
نمودار ۳-۶ تغییرات میانگین روزانه غلظت ذرات معلق (PM₁₀, PM_{2.5}) نسبت به پارامترهای هواشناسی (سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و عمق میدان دید) در بازه زمانی ۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ (۱۹ آبان الی ۵ آذر ۱۳۹۵)

نمودار ۳-۶ تغییرات میانگین روزانه غلظت ذرات معلق را نسبت به پارامترهای هواشناسی برای بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۵ آذر (۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶) نشان می‌دهد. با توجه به پایین بودن سرعت باد در بازه زمانی مورد مطالعه در شهر تهران می‌توان نتیجه گرفت ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} از منابع محلی نشأت گرفته‌اند، لذا تغییرات میانگین روزانه غلظت ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} از یک الگو تبعیت می‌کنند. همان‌طور که در نمودار ۳-۶ مشاهده می‌شود، روند تغییرات ذرات معلق رابطه معکوسی با تغییرات سرعت باد دارد، به طوری که نوسانات سرعت باد به صورت محسوس موجب تغییر در غلظت ذرات می‌شود که بر نقش باد در پراکندگی و یا انباشتگی ذرات دلالت می‌کند. به طور میانگین سرعت باد در روزهای برقراری

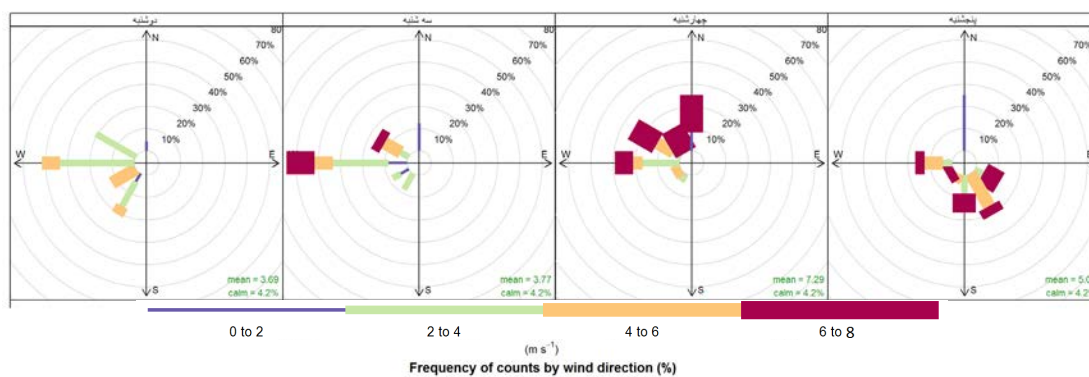
شرایط نامطلوب کیفیت هوا ۲ متربرثانیه بوده و طی اکثر ساعات این روزها از کمترین مقدار برخوردار بوده است (متغیر بین ۰ تا ۲ متربرثانیه).

همچنین بر طبق نمودار ۳-۶، در پارامتر دما طی روزهای بحرانی تغییر محسوسی مشاهده نشده است و همزمان با تأثیر فعالیت سامانه بارشی از روز ۱۸ نوامبر (۲۸ آبان) روند کاهشی داشته است. همچنین پارامتر رطوبت نسبی در روزهای با شرایط کیفی هوای نامطلوب به طور میانگین ۳۵٪ بوده و در روز ۲۰ نوامبر (۳۰ آبان) همزمان با بارش برف و باران به ماکزیمم مقدار (۸۶٪) رسیده است. پارامتر عمق میدان دید نیز طی زمان مورد مطالعه در اثر تجمع غلظت آلاینده‌ها و همچنین تغییرات میزان رطوبت نسبی موجود در هوا دستخوش تغییر بوده و طی دوره آلودگی هوا در کمترین مقدار به ۳ کیلومتر رسیده است.

نمودار گل‌باد به منظور بررسی درصد فراوانی باد با جهات و سرعت‌های متفاوت برای کل روزهای این دوره تهیه گردید. شکل‌های ۳-۶ و ۴-۶ گل‌باد مربوط به برخی روزهای این دوره را نشان می‌دهند. در اوج برقراری شرایط جوی پایدار و به تبع تجمع غلظت آلاینده‌ها طی روزهای ۱۹ الی ۲۳ آبان (شکل ۳-۶)، وزش بادهای آرام (۰ تا ۲ متربرثانیه) با جهاتی متغیر صورت گرفته است و در روزهای دیگر وزش بادهای با سرعت بیشتر از ۲ متربرثانیه نیز مشاهده گردید. به تدریج با افزایش سرعت باد (سرعت بالاتر از ۳ متربرثانیه) از تجمع آلاینده‌ها کاسته شده و در نهایت، در روزهای ۱ الی ۴ آذر وزش بادهای با جهات متغیر عمده‌تاً بین شمال غربی تا جنوب شرقی با سرعت بین ۵ تا ۸ متربرثانیه به بهبود کیفیت هوا کمک کرده‌اند (شکل ۴-۶).

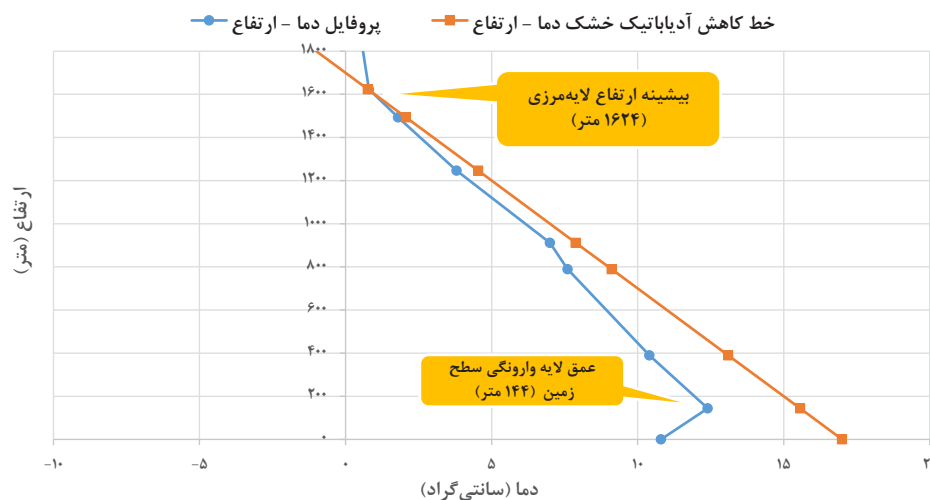


شکل ۳-۶ نمودار گل‌باد مربوط به روزهای ۱۹ الی ۲۳ آبان

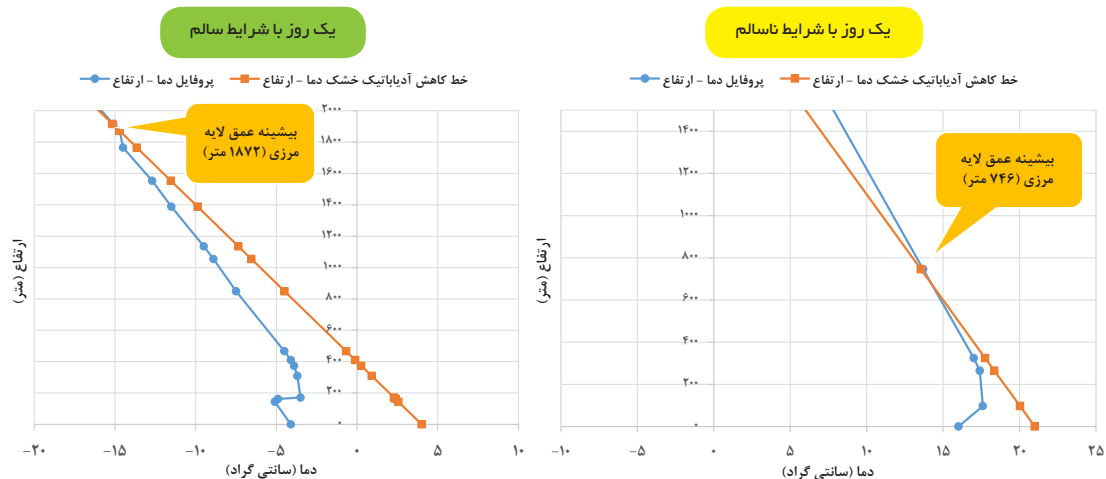


شکل ۳-۶ نمودار گل‌باد مربوط به روزهای ۱ الی ۴ آذر

بررسی پروفایل قائم دما به گونه مشخص تری می تواند نمایانگر بروز پدیده وارونگی دما باشد (نمودار ۴-۶). ارتفاع لایه مرزی یا عمق آمیختگی فضای موجود در راستای قائم جو برای پخش و پراکنش آلاینده های جوی می باشد. همچنین بیشینه ارتفاع لایه مرزی بر اساس تقاطع نمودار دما - ارتفاع با خط کاهش آدیاباتیک خشک (یک درجه کاهش دما به ازای هر صد متر صعود) [۸]، در نمودار ۴-۶ برای یک روز با شرایط کیفی هوای نامطلوب، ۱۹ آبان ماه ۱۳۹۵ (۹ نوامبر ۲۰۱۶)، نشان داده شده است. در این روز، افزایش دما با ارتفاع برای لایه نزدیک سطح زمین وجود دارد که نشان از پایداری ساختار قائم جو و وقوع پدیده وارونگی دما دارد. تداوم جو پایدار مستقر بر منطقه در طول این بازه باعث شد پدیده وارونگی در لایه نزدیک سطح زمین در اکثر روزهای با شرایط کیفی نامطلوب مشاهده گردد. لازم به ذکر است، ارتفاع پایه در ایستگاه مهرآباد برابر ۱۱۹۱ متر است. نمودار ۴-۶ نیز مقایسه ای از تغییرات پارامتر دما نسبت به ارتفاع برای دو روز انتخابی با شرایط مطلوب کیفی هوا (۳ آذر) و شرایط نامطلوب کیفی هوا (۲۷ آبان) را نشان می دهد. اختلاف قابل ملاحظه عمق لایه مرزی برای دو روز مذکور کاملاً مشهود است، که بر تأثیر مستقیم فضای موجود در راستای قائم سطح شهر در پراکندگی و یا انباشتگی آلاینده ها دلالت می کند.

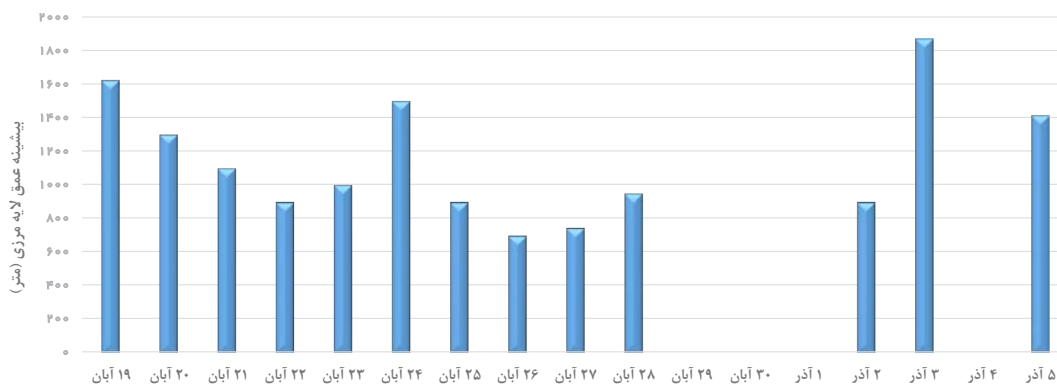


نمودار ۴-۶ بررسی پروفایل قائم دما طی روز چهارشنبه ۱۹ آبان سال ۱۳۹۵



نمودار ۵-۶ مقایسه پروفایل قائم دما در دو روز با شرایط مطلوب کیفی هوا (۳ آذر) و شرایط نامطلوب کیفی هوا (۲۷ آبان)

نمودار ۶-۶ نوسانات بیشینه ارتفاع لایه مرزی را برای کل این دوره نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، کمترین ارتفاع مربوط به روز ۲۶ آبان می‌باشد که در حدود ۷۰۰ متر است و بیشترین ارتفاع در روز ۳ آذر به مقدار ۱۸۷۲ متر رسید. شایان ذکر است، داده‌های جو بالا مربوط به روزهای ۲۹ و ۳۰ آبان و برخی روزهای آذر ماه (۱ و ۴ آذر) در دسترس نبوده است.



نمودار ۶-۶ نوسانات بیشینه ارتفاع لایه مرزی در بازه مورد مطالعه

میزان پایداری ساختار قائم جو را می‌توان با استفاده از این‌گونه نمودارهای مربوط به ۴-۶ و ۵-۶ و با مقایسه آهنگ کاهش دمای واقعی در راستای قائم (Γ) نسبت به آهنگ کاهش دمای آدیاباتیک خشک (بی‌دررو) تعیین نمود (Γ_h) [۸]. اگر آهنگ کاهش دمای واقعی کمتر از آهنگ کاهش دمای بی‌دررو باشد ($\Gamma < \Gamma_h$)، شرایط پایدار و در صورت بیشتر بودن ($\Gamma > \Gamma_h$)، شرایط ناپایدار مهیا می‌شود. همچنین در صورت هماهنگی این دو کمیت ($\Gamma = \Gamma_h$) شرایط خنثی برقرار می‌شود. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد، به طور تقریبی هوای تهران در طی این بازه ۹ روز در شرایط پایدار، ۳ روز در شرایط خنثی و ۵ روز باقیمانده در شرایط ناپایدار قرار داشته است.

۶-۲- مدلسازی آلودگی هوا

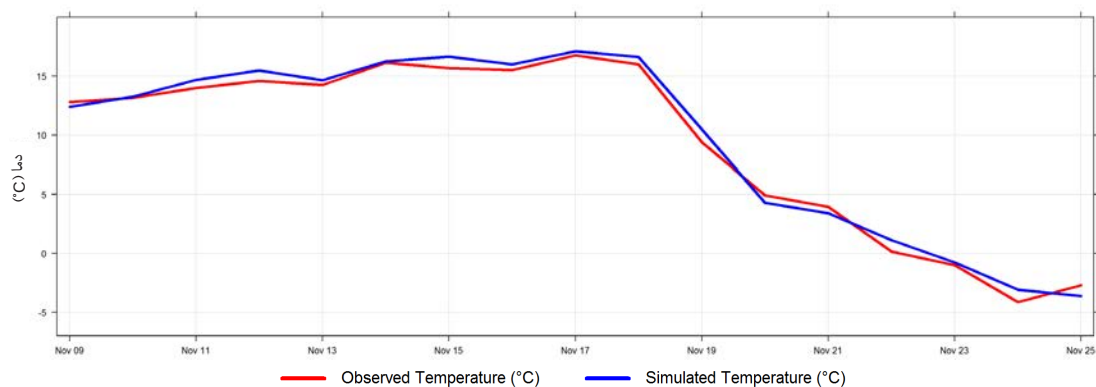
در این قسمت به منظور بررسی نحوه توزیع و پراکنش آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون بر روی شهر تهران طی بازه زمانی مورد نظر، از روش مدلسازی آلودگی هوا استفاده گردید. این کار با بهره‌گیری از ترکیب سیستم مدلسازی متشکل از دو مدل هواشناسی WRF^1 و مدل آلودگی هوا $CAMx^2$ انجام گرفته است. برای این منظور در مدل آلودگی هوا ($CAMx$) بر اساس اطلاعات پارامترهای هواشناسی (میدان باد، دما، ابرناکی و ...) و همچنین اطلاعات تولید آلودگی در شهر تهران (بر اساس سیاهه انتشار شهر تهران)، معادله پیوستگی هر آلاینده حل شده و توزیع غلظت هر آلاینده بر روی شهر تهران به دست آمده است.

به منظور بررسی عملکرد مدل پیش‌بینی، برخی پارامترهای هواشناسی (از جمله سرعت باد و دما) با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد طی بازه زمانی مورد مطالعه مقایسه گردید. نمودارهای

1. Weather Research and Forecasting Model

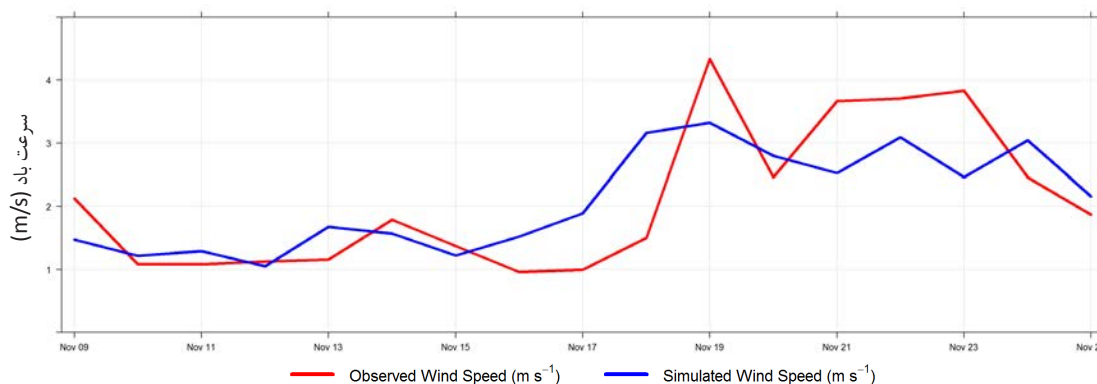
2. Comprehensive Air Quality Model with Extensions

۷-۶ و ۸-۶ به ترتیب تغییرات میانگین روزانه پارامترهای دما و سرعت باد را برای داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل مربوط به ایستگاه مذکور را نشان می‌دهند.



نمودار ۷-۶ مقایسه روند میانگین روزانه دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد (خط قرمز رنگ) با نتایج مدل (خط آبی رنگ) در بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۵ آذر ۱۳۹۵ (۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶)

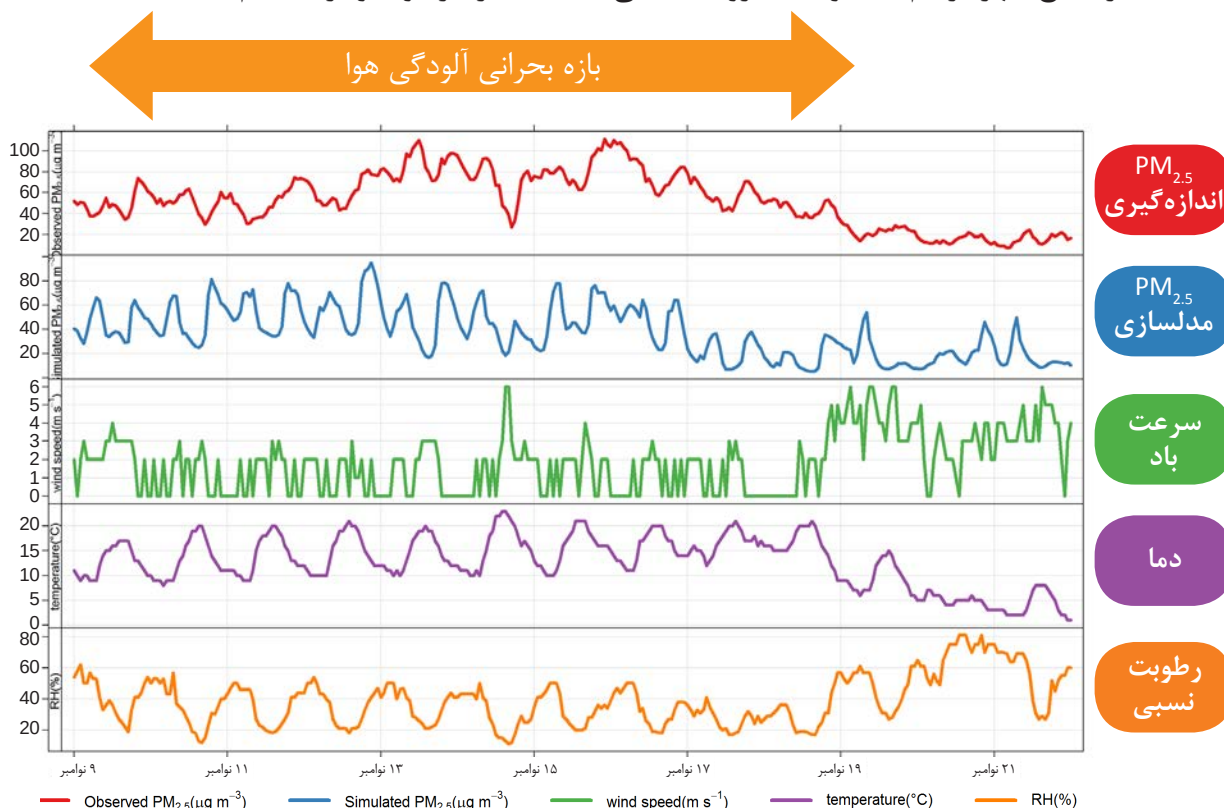
بر اساس نمودار ۷-۶، به طور کلی تغییرات میانگین روزانه پارامتر دما برای داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل مربوط به ایستگاه مهرآباد از یک الگو تبعیت کرده و در اکثر موارد اختلاف جزئی مشاهده شده ناشی از بیشتر بودن بزرگی نتایج مدل نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. همان‌گونه که نمودار ۸-۶ نشان می‌دهد، تغییرات میانگین روزانه سرعت باد اندازه‌گیری شده و نتایج پیش‌بینی شده در ایستگاه مورد بررسی در اکثر موارد از الگوی هماهنگی تبعیت کرده و در بازه بحرانی آلودگی هوا و استقرار جو پایدار (۹ الی ۱۸ نوامبر) نتایج مدل و مشاهدات حاکی از وزش باد آرام و در برخی موارد سکون نسبی هوا است و از ۱۹ نوامبر (۲۹ آبان) بر سرعت باد افزوده شده است.



نمودار ۸-۶ مقایسه روند میانگین روزانه سرعت باد اندازه گیری شده در ایستگاه مهرآباد (خط قرمز رنگ) با نتایج مدل (خط آبی رنگ) در بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۵ آذر ۱۳۹۵ (۹ الی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶)

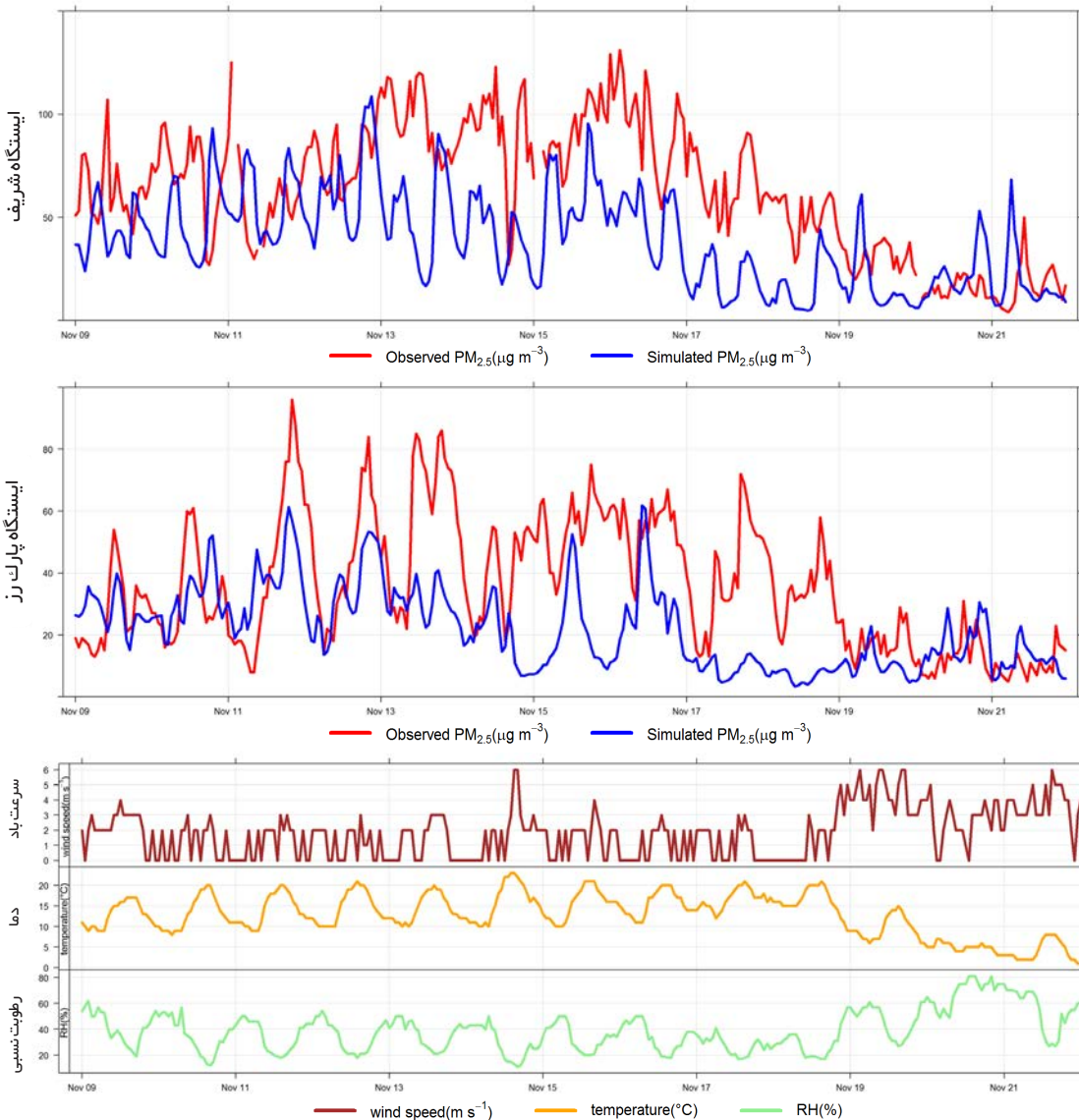
از آنجا که آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران آلاینده شاخص بوده و تغییرات این آلاینده به طور مستقیم در وضعیت کیفی هوای شهر تهران تأثیر می گذارد، این قسمت به بررسی روند آلاینده مذکور اختصاص یافته است. بدین منظور، نتایج مدلسازی و اندازه گیری غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ مربوط به ۷ ایستگاه انتخابی (شامل ایستگاه های شریف، شادآباد، پارک رز، گلبرگ، شهرری، شهرداری منطقه ۱۰ و منطقه ۲۱) در بازه زمانی مذکور مقایسه گردید. نمودار ۹-۶ تغییرات میانگین ساعته غلظت $PM_{2.5}$ (نتایج مدلسازی و داده اندازه گیری شده در ایستگاه ها) به همراه پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در ایستگاه مهرآباد (سرعت باد، دما و رطوبت نسبی) را طی بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۱ آذر سال ۱۳۹۵ (۹ تا ۲۱ نوامبر) نشان می دهد. بر اساس نمودار ۹-۶، با وجود اختلاف نسبی در برخی موارد، روند تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ مدلسازی و اندازه گیری شده از یک الگو پیروی کرده و تغییرات هر دو نمودار در جهت معکوس نوسانات سرعت باد می باشد. طی بازه زمانی ۱۹ الی ۲۸ آبان (۹ الی ۱۸ نوامبر)،

به دلیل استقرار شرایط جوی پایدار و سکون نسبی هوا در برخی ساعات، افزایش قابل توجه غلظت $PM_{2.5}$ برای نتایج مدل و اندازه‌گیری قابل توجیه است. به تدریج با افزایش میزان ناپایداری جوی از ۲۹ آبان (۱۹ نوامبر)، شرایط جوی مناسب (افزایش سرعت باد و بارش باران) جهت پراکندگی آلاینده‌ها از سطح شهر فراهم شده و شاهد روند کاهشی غلظت‌ها در هر دو نمودار هستیم.



نمودار ۹-۶ تغییرات میانگین ساعتی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ (نتایج مدلسازی و داده اندازه‌گیری شده) برای میانگین ۷ ایستگاه انتخابی به همراه تغییرات ساعتی پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد (سرعت باد، دما و رطوبت نسبی) طی روزهای ۹ الی ۲۱ نوامبر ۲۰۱۶ (۱۹ آبان الی ۱ آذر ۱۳۹۵)

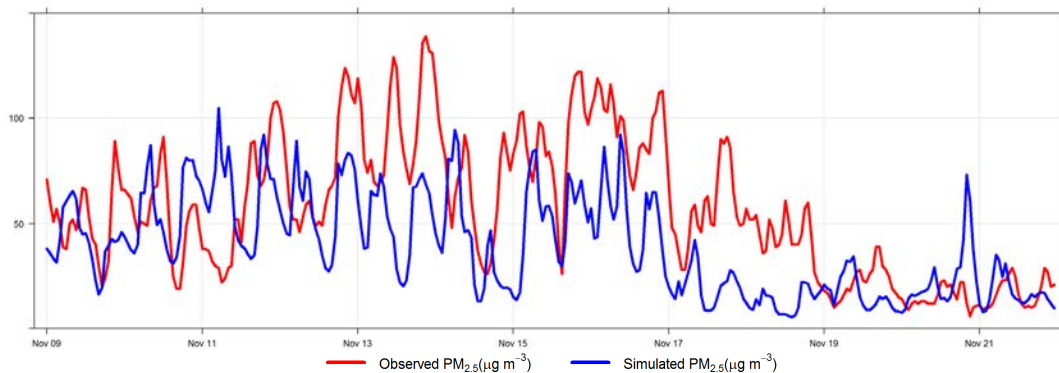
جهت بررسی دقیق‌تر، مقایسه تغییرات میانگین ساعتی غلظت ذرات معلق مربوط به نتایج مدل و مشاهدات به طور جداگانه برای ۴ ایستگاه اندازه‌گیری (شریف، پارک رز و شهرداری مناطق ۲۱ و ۱۰) انجام گردید (نمودارهای ۶-۱۰ و ۶-۱۱).



نمودار ۶-۱۰ تغییرات میانگین ساعتی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ نتایج مدلسازی (خط آبی رنگ) و داده اندازه‌گیری شده (خط قرمز رنگ) در ایستگاه‌های شریف (۱) و پارک رز (۲) به همراه تغییرات ساعتی پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد (۳) (سرعت باد، دما و رطوبت نسبی)

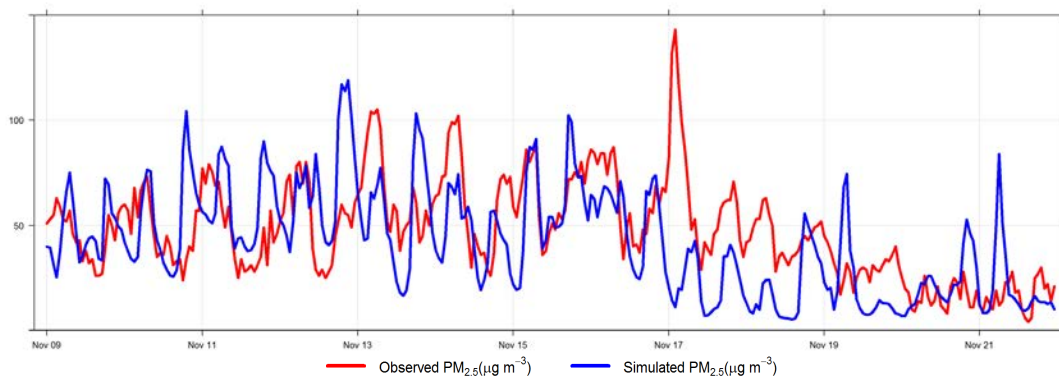
طی روزهای ۹ الی ۲۱ نوامبر ۲۰۱۶ (۱۹ آبان الی ۱ آذر ۱۳۹۵)

ایستگاه شهرداری منطقه ۲۱



۱

ایستگاه شهرداری منطقه ۱۰

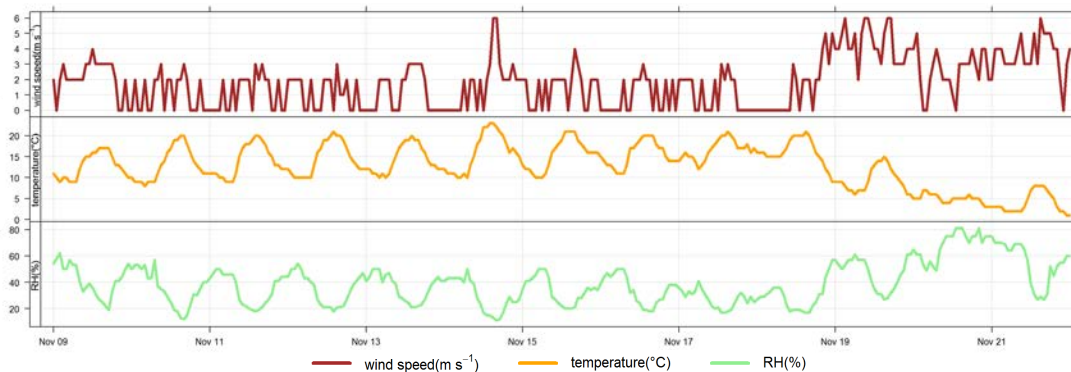


۲

سرعت باد

دما

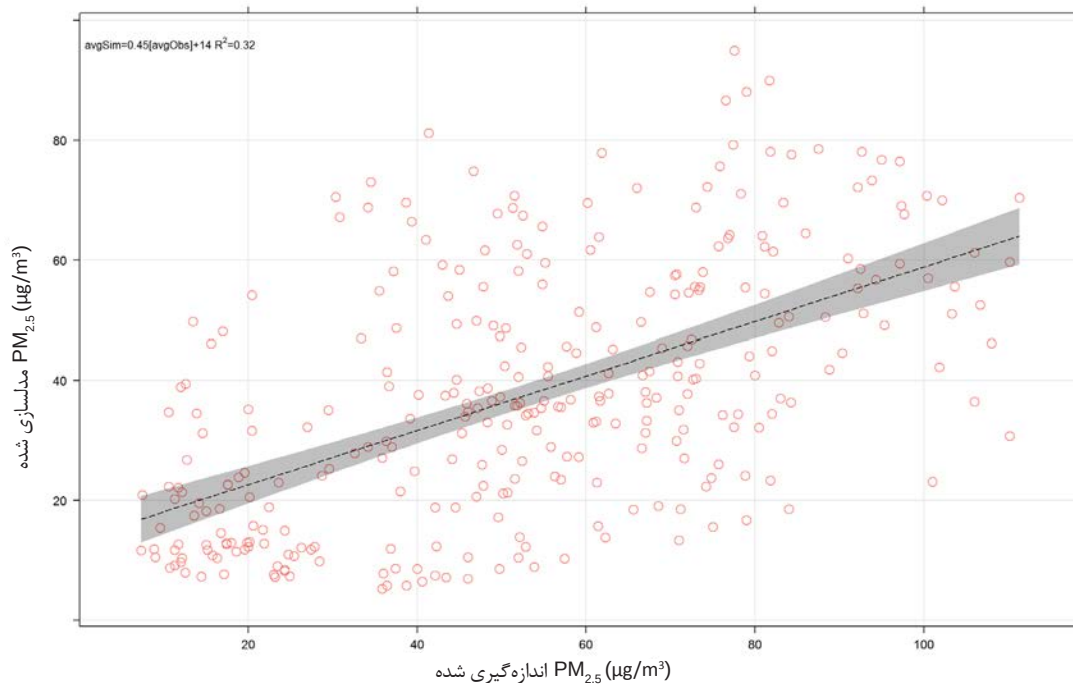
رطوبت نسبی



۳

نمودار ۶-۱۱ تغییرات میانگین ساعتی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ نتایج مدلسازی (خط آبی رنگ) و داده اندازه‌گیری شده (خط قرمز رنگ) در ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲۱ (۱) و شهرداری منطقه ۱۰ (۲) به همراه تغییرات ساعتی پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مهرآباد (۳) (سرعت باد، دما و رطوبت نسبی) طی روزهای ۹ الی ۲۱ نوامبر ۲۰۱۶ (۱۹ آبان الی ۱ آذر ۱۳۹۵)

میزان همبستگی بین میانگین ساعتی غلظت $PM_{2.5}$ مدلسازی شده در محل ۷ ایستگاه مورد بررسی و غلظت این آلاینده در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا نیز برای بازه زمانی مورد نظر محاسبه گردید و همان گونه که در نمودار ۶-۱۲ نمایان است، همبستگی نسبتاً متوسطی بین پارامترهای مورد مطالعه برقرار است ($R^2=0/3$).

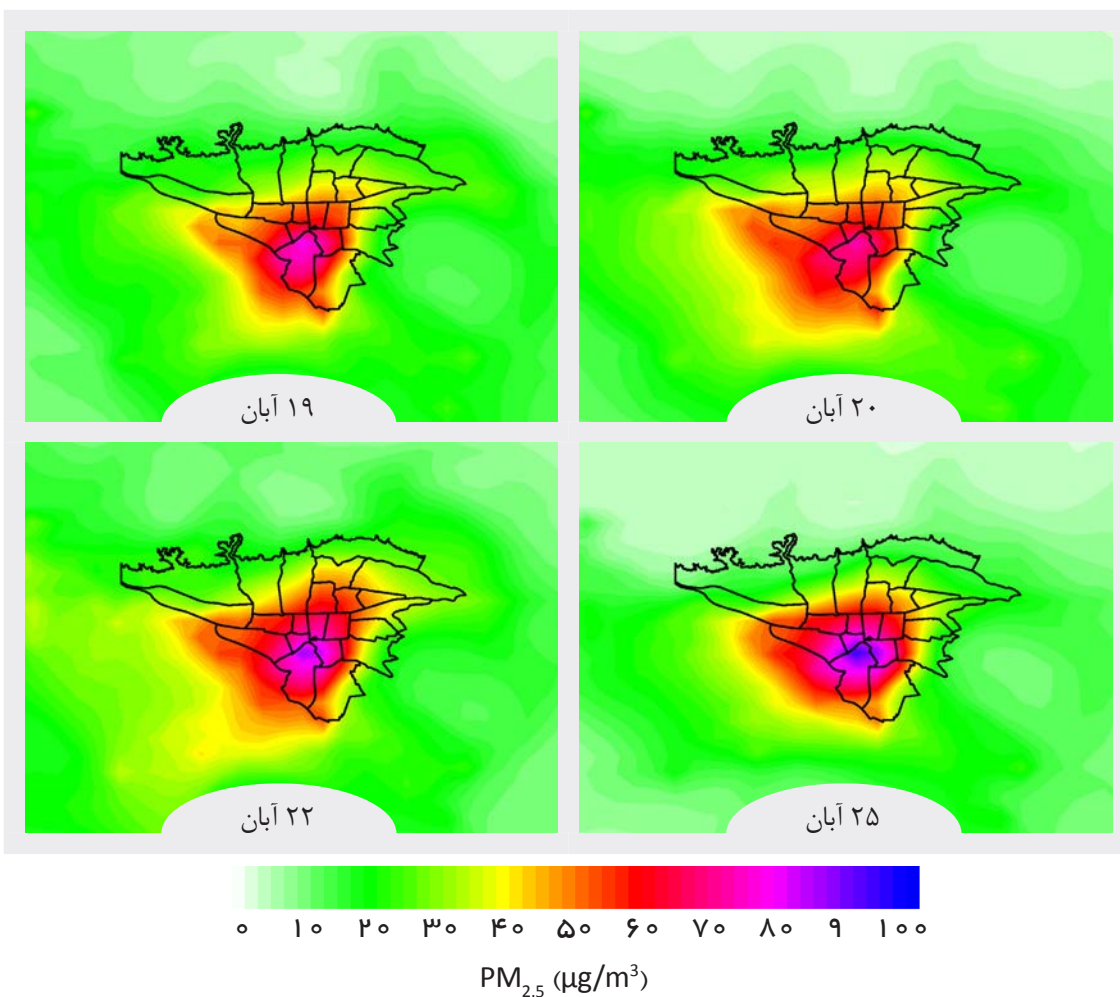


نمودار ۶-۱۲ ضریب همبستگی میانگین غلظت $PM_{2.5}$ مدلسازی شده (محور قائم) و اندازه گیری شده (محور افقی)

در بازه زمانی ۱۹ آبان الی ۱ آذر سال ۱۳۹۵

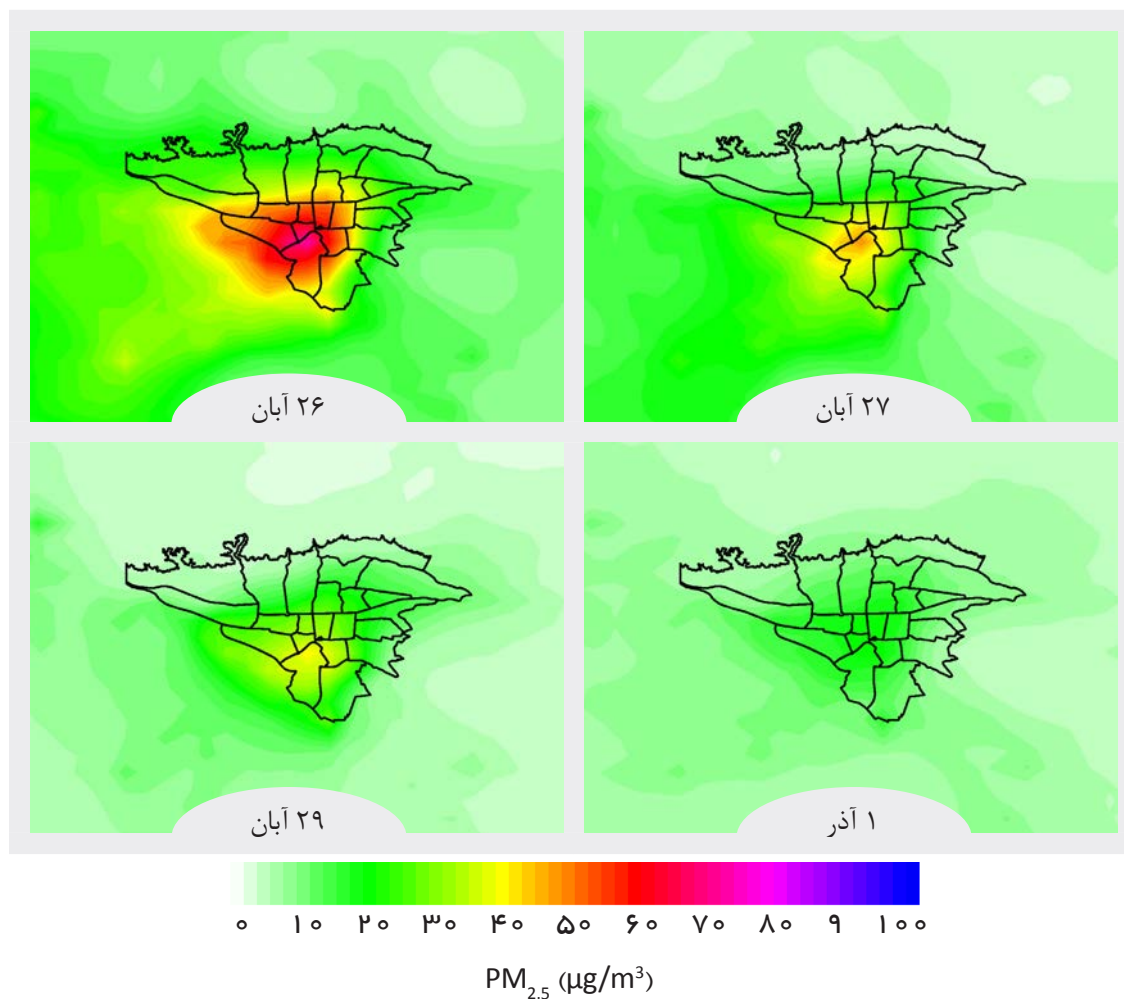
همچنین نحوه پراکنش غلظت میانگین روزانه آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران برای برخی روزها طی بازه زمانی مورد مطالعه در شکل‌های ۵-۶ و ۶-۶ نشان داده شده است. در شکل ۶-۵ چگونگی روند افزایشی غلظت $PM_{2.5}$ طی روزهای با شرایط جوی پایدار و کیفیت هوای نامطلوب نشان داده شده

است (۱۹ الی ۲۵ آبان). همزمان با افزایش میزان پایداری جوی طی بازه مذکور، در نتایج مدل نیز شاهد تجمع آلاینده‌ها در سطح شهر تهران هستیم. این مورد در نقشه مربوط به روز ۲۵ آبان کاملاً مشهود است. لازم به ذکر است، وضعیت کیفیت هوا در برخی روزهای مورد نظر در شرایط ناسالم برای همه افراد جامعه قرار داشته است.



شکل ۶-۵ نحوه توزیع و پراکنش آلاینده PM_{2.5} طی روزهای ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۲۵ آبان ماه ۱۳۹۵ (میانگین روزانه)

روند معکوس این جریان و افزایش میزان ناپایداری جوی، کاهش غلظت $PM_{2.5}$ و در نتیجه بهبود کیفیت هوا در نقشه‌های مربوط به روزهای ۲۶ آبان الی ۱ آذر شبیه‌سازی شده است (شکل ۶-۶). شایان ذکر است، شاخص کیفیت هوا در روز ۱ آذر به شرایط مطلوب کیفی هوا (پاک) رسیده است.



شکل ۶-۶ نحوه توزیع و پراکنش آلاینده $PM_{2.5}$ طی روزهای ۲۶، ۲۷، ۲۹ آبان و ۱ آذر ماه ۱۳۹۵ (میانگین روزانه)





O₃



NO₂



SO₂



CO



AQI



اطلاع رسانی آلودگی هوا





شکل ۷-۱ پایگاه اینترنتی شرکت کنترل کیفیت هوا

مهم‌ترین نیاز شهروندان شهر تهران در بحث آلودگی هوا، آگاهی از آخرین وضعیت کیفیت هوا، پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوا در روز آینده و اطلاع از اخبار مرتبط با راهکارها و اقدامات مرتبط با کاهش آلاینده‌گی می‌باشد. از اهم امکانات و راه‌های ارتباطی این شرکت جهت این هدف، می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۷-۱- پایگاه اینترنتی شرکت کنترل کیفیت هوا

پایگاه اینترنتی شرکت کنترل کیفیت هوا به آدرس <http://air.tehran.ir> به عنوان بزرگ‌ترین منبع اطلاعاتی آلودگی هوای شهر تهران مطرح بوده و با هدف اطلاع‌رسانی وضعیت آلودگی هوا، ارائه اخبار، محتوای آموزشی و بازتاب اقدامات و پروژه‌های تخصصی این شرکت، به‌روزترین اطلاعات مرتبط با آلودگی هوا و صدا را در اختیار عموم مردم، مسئولان، خبرنگاران، دانشجویان و ... قرار می‌دهد.

لیستی از گزارشات و کتب موجود در این پایگاه به شرح زیر می باشد:

	گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۲	۵		سیاهه انتشار آلاینده‌های جامع شهر تهران	۱
	گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۳	۶		مطالعات و بررسی فنی - اقتصادی و اجرایی بهترین موتور سیکلت برقی مناسب با شرایط شهر تهران	۲
	گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۴	۷		مناطق کم انتشار آلودگی شهری	۳
	گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۱۱	۸		گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۱	۴

	برنامه‌های توسعه‌ای خودروهای برقی از نگاه آژانس بین‌المللی انرژی	۱۳		گزارشات آلودگی هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۱۶	۹
	امکان سنجی استفاده از اتوبوس برقی در ناوگان اتوبوسرانی سریع تهران	۱۴		گزارش کیفیت سوخت بنزین و دیزل توزیع شده در جایگاه‌های کلان شهر تهران از ۱۳۹۰ لغایت ۱۳۹۲	۱۰
	الزامات، حدود و مقررات استانداردهای آلاینده‌های تولیدی خودروهای سواری، سبک و سنگین یورو ۲ و یورو ۴	۱۵		پایش کیفیت سوخت بنزین و دیزل شهر تهران - سال‌ها ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳	۱۱
	فیلتر دود دیزل: راهی موثر برای کاهش آلودگی موتورهای دیزلی و ذرات معلق هوا	۱۶		بررسی اثر کیفیت بنزین و دیزل بر انتشار آلاینده‌ها از خودروهای سواری و سنگین	۱۲

	کزارشات سالانه کیفیت هوا	۲۱		۱۷ طرح استفاده از خودروی الکتریکی در شهر لندن
	گزارش عملکرد سالانه ۹۳	۲۲		۱۸ طرح جایگزینی تاکسی‌های درون شهری با خودروی پاک
	بررسی تاثیر اعمال محدودیت ترافیکی زوج و فرد در حجم ترافیک و سطح انتشار آلاینده‌ها در شهر تهران	۲۳		تبخیر بنزین در تهران: یکی از عوامل موثر آلودگی هوا (بررسی طرح کهاب - کاهش، هدایت، انتقال و بازیافت بخار بنزین)
	ارزیابی فنی و اقتصادی تاکسی هیبرید برقی مناسب شهر تهران	۲۴		۲۰ مضرات انتشار آلاینده‌ها آگروز در حالت گرم برای خودروهای بنزین سوز ساخت داخل با استاندارد آلاینده‌ها یورو ۲

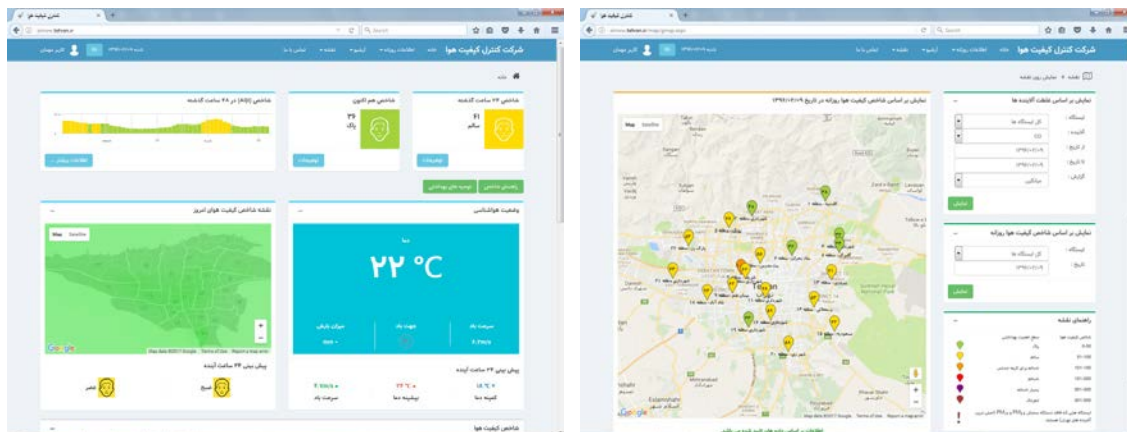
	تغییرات زمانی و مکانی ریزذرات در سطح شهر تهران	۲۹		آلاینده‌های ناشی از سامانه بخارات محفظه لنگ	۲۵
	اثرات آگروز دیزل بر سلامتی	۳۰		معاینه فنی و تأثیر آن بر کاهش آلودگی هوا	۲۶
	گزارش عملکرد ۹۴ محیط زیست	۳۱		هزینه‌های اقتصادی ناشی از اثرات آلودگی هوا بر سلامت در اروپا	۲۷
	گزارش عملکرد پروژه دوچرخه شهری سال ۹۴	۳۲		ارزیابی اثر بخشی پروژه تعویض کاتالیست تاکسی شهر تهران	۲۸

	بررسی میزان غلظت گاز رادون در هوای اماکن سرپسته شهر تهران	۳۷		مجموعه استانداردهای آلودگی خودرو در دنیا دلفی	۳۳
	مطالعه و ارزیابی کیفیت هوای محیط‌های داخلی	۳۸	آلودگی هوا و سلامت انسان	کتاب آلودگی هوا و سلامت انسان	۳۴
	کتابچه آموزشی مبارک هوادار	۳۹	گزارش کیفیت هوای تهر ۱۳۹۴	گزارش کیفیت هوای تهران ۹۴	۳۵
	خلاصه تحلیل هزینه و فایده انطباق با استاندارد یورو ۶ خودروهای سنگین و بررسی نمونه‌های موفق دنیا	۴۰	گزارش عملکرد سالانه ۱۳۹۴	گزارش عملکرد سالانه ۹۴	۳۶

	اندازه گیری توزیع ذرات معلق شهر تهران	۴۱
	معاينه فني زيست محيطي و ايمي خوردهاي ديژلي سنگين	۴۲
	مصرف سوخت و ضرايب انتشار آلايندگي واقعي اگزوز خودروهاي سوازي و موتور سيكلت کشور از سطح استاندارد يورو ۲ تا يورو ۴ با اندازه گيري مستقيم ۱۳۹۵ - ۱۳۹۲	۴۳
	آناليز شيميايي ذرات معلق كوچكتر از ۲/۵ ميكرون هواي شهر تهران به منظور مطالعات منشأ يابي	۴۴
	مروري بر كنترل و كيفيت آلودگي هوا در کشور فرانسه بر اساس قوانين و مقررات ملي و اروپايي	۴۵
	گزارشات آلودگي هوا و صدا در مناطق شهرداری تهران - منطقه ۱۲	۴۶
	بررسی اجزای شيميايي ذرات معلق و سهم منابع توليد آن در شهر پاریس	۴۷

۲-۲- سامانه برخط پایش آلودگی هوا

این سامانه به آدرس <http://airnow.tehran.ir> با هدف دسترسی به اطلاعات و داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در دسترس عموم مردم و مسئولان به شکل برخط قرار دارد. این سامانه شامل اطلاعات آلاینده‌ها در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در تمام سطح شهر از بدو تأسیس ایستگاه می‌باشد. شاخص کیفیت هوا در ۲۴ ساعت گذشته، شاخص کیفیت هوای هم‌اکنون، وضعیت هواشناسی، نقشه شهر به لحاظ کیفیت هوا و ... امکاناتی است که در این سامانه برای اطلاع‌رسانی و استفاده عموم مردم و کارشناسان در اختیار قرار دارد.

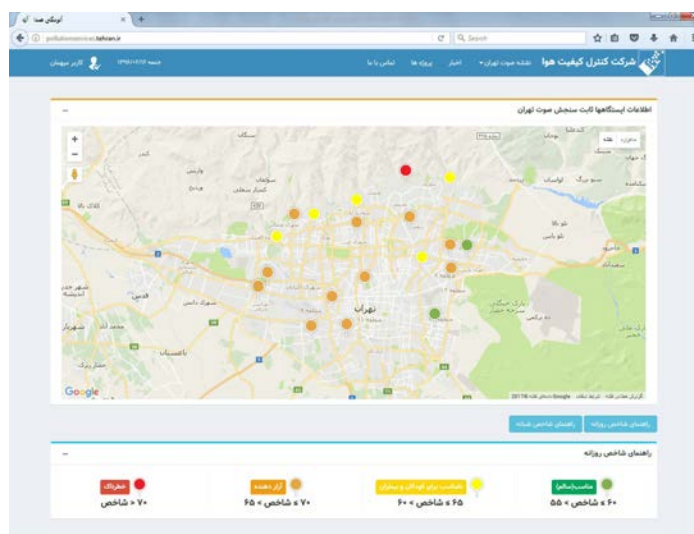


شکل ۲-۲ سامانه برخط پایش آلودگی هوا

۲-۳- سامانه برخط پایش آلودگی صدا

با توجه به برخط بودن داده‌های کیفیت هوا و استقبال عموم مردم، دانشجویان و مسئولین طی چهار سال گذشته، تصمیم گرفته شد تا در بخش صوت نیز وب‌سایتی طراحی گردد تا اطلاعات در دسترس

عموم قرار گیرد. سامانه صوت این شرکت شامل بخش‌های مختلفی جهت نمایش نقشه تراز صوت شهر تهران، اطلاعات دریافتی از ۳۹ ایستگاه ثابت سنجش صوت، قوانین و مصوبات، اخبار مربوط به صوت و همچنین پروژه‌های انجام شده در واحد صوت این شرکت می‌باشد.



شکل ۷-۳ سامانه برخط پایش آلودگی صدا

با انتخاب هر ایستگاه تمامی مشخصات مربوطه شامل نوع کاربری، استاندارد و تغییرات تراز صوت به صورت ساعتی، روزانه، هفتگی و ماهانه قابل مشاهده می‌باشد. همچنین با استفاده از نقشه تراز صوت شهر تهران می‌توان نقاطی را که به لحاظ وضعیت آلودگی صدا در شرایط بحرانی قرار دارند را شناسایی و جهت استفاده از راهکارهای کاهش در اولویت قرار داد.

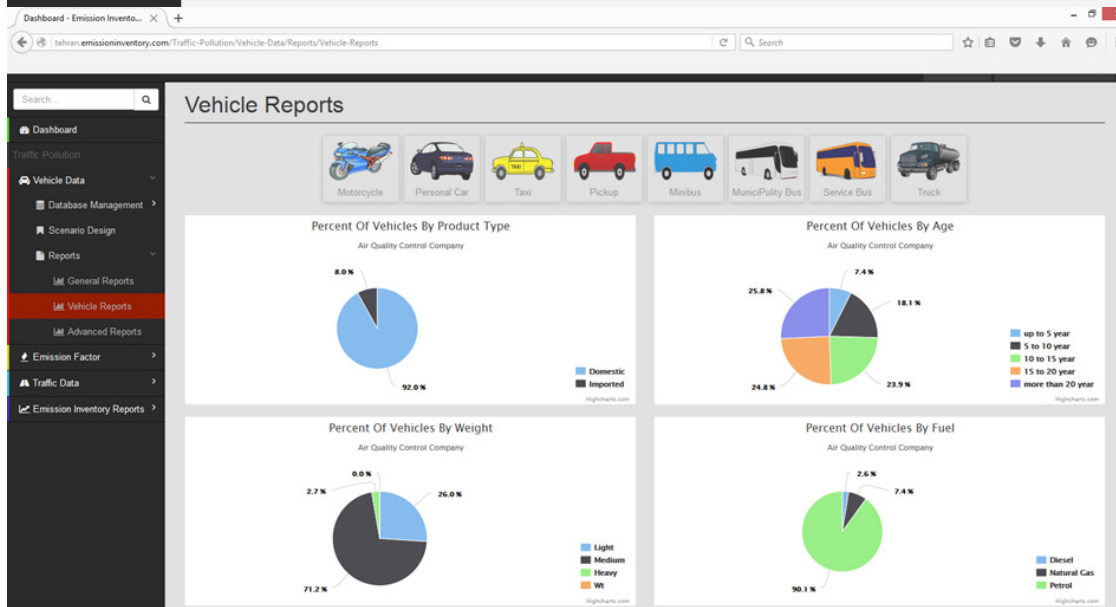
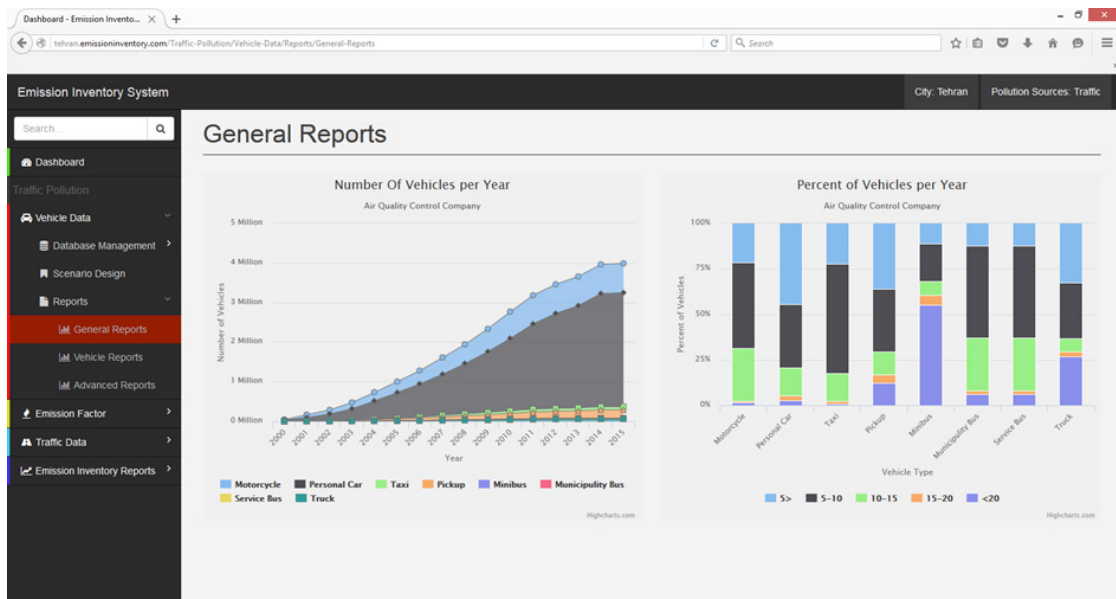
هدف از توسعه سیاهه انتشار، کمی‌سازی مقادیر آلاینده‌گی تولیدی از منابع مختلف، شناسایی و اهمیت‌سنجی و مقایسه منابع مختلف برای آلاینده‌گی‌های گوناگون، تولید مقادیر اولیه مورد نیاز برای مدل‌های پراکنش آلودگی هوا و مدل‌های عددی فتوشیمیایی درشت یا ریزمقیاس و اجرا و اثرسنجی سناریوهای مختلف کاهش آلودگی هوا است. سیاهه انتشار، مهم‌ترین ابزار علمی و مدیریتی شناخت و کاهش آلودگی هوا است. بدون سیاهه انتشار، برنامه‌ریزی برای کاهش آلودگی هوا کاملاً بی‌هدف است. سیاهه انتشار، اهداف کیفی را به اهداف کمی تبدیل کرده و پایش اثربخشی برنامه‌های کاهش آلودگی هوا را میسر می‌سازد.

نکته قابل توجه در زمینه مدیریت آلودگی هوای شهر تهران و توسعه سیاهه انتشار، لزوم به‌روزرسانی و پایش دائمی میزان تولید و انتشار آلودگی از منابع آلاینده مختلف در شهر تهران در سال‌های مختلف به منظور رصد تأثیرات اجرا و یا عدم اجرای برنامه‌های کنترل و کاهش آلودگی هوا می‌باشد. در این راستا شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران با همکاری هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلاینده‌گی دانشگاه صنعتی شریف اقدام به راه‌اندازی سامانه تحت وب سیاهه انتشار شهر تهران نموده تا محاسبات مربوط به انتشار انواع آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای در این سامانه انجام گیرد.

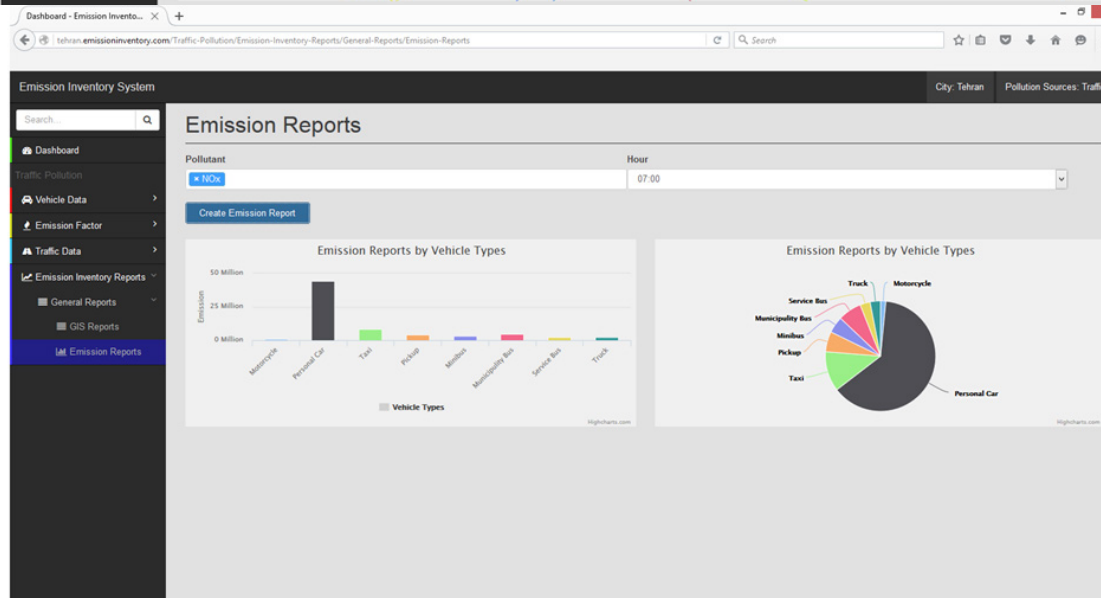
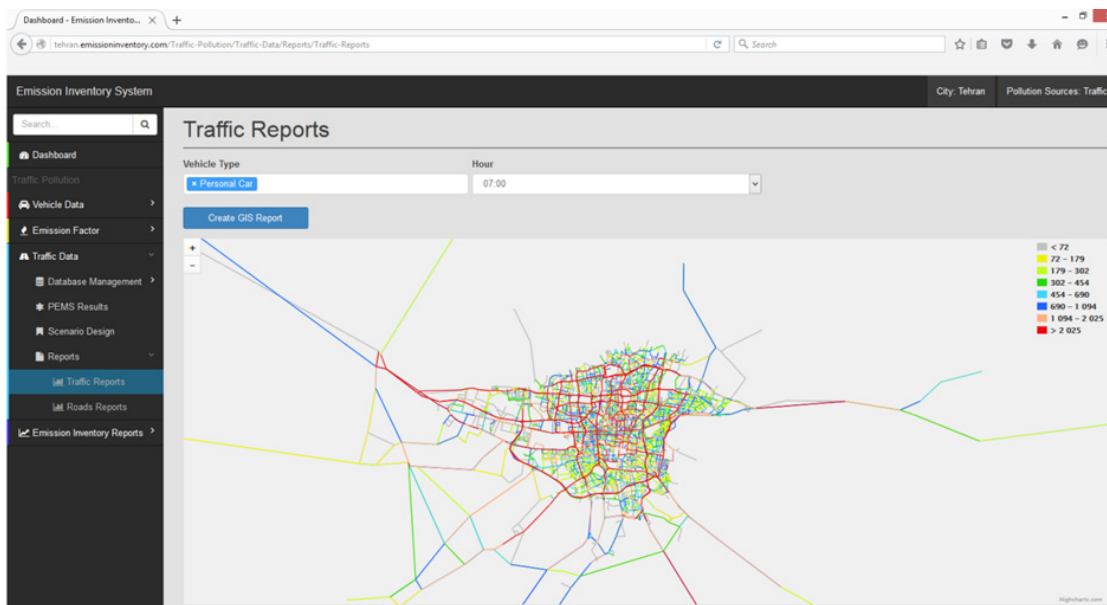
نسخه اولیه این سامانه در سال ۱۳۹۴، با توجه به اهمیت منابع متحرک آلودگی، با تأکید بر محاسبه سیاهه انتشار وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران رونمایی شده است و برای سایر منابع آلاینده موجود در این شهر در حال تکمیل می‌باشد. در نسخه در حال تکمیل سامانه، منابع آلاینده‌ای از جمله فرودگاه، پایانه‌ها، نیروگاه و پالایشگاه، منابع خانگی و تجاری و ... افزوده خواهد شد.

از جمله قابلیت‌های این سامانه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ◀ تحلیل ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران به تفکیک انواع ناوگان‌های خودروهای سواری، تاکسی، وانت، موتورسیکلت، مینی‌بوس، اتوبوس و کامیون
- ◀ محاسبه ضرایب انتشار آلاینده‌ی ناوگان وسایل نقلیه شهر تهران به تفکیک نوع ناوگان و براساس پارامترهای تکنولوژی خودرو، نوع و کیفیت سوخت، شرایط و وضعیت آب‌وهوایی، اطلاعات هندسی معابر و الگوی رانندگی
- ◀ امکان استفاده از اطلاعات مدل‌سازی ترافیکی و همچنین اطلاعات آنلاین مربوط به شمارش حجم تردد وسایل نقلیه
- ◀ محاسبه میزان آلاینده‌ی تولیدی و منتشره در سطح شهر تهران ناشی از تردد وسایل نقلیه مختلف با تفکیک زمانی و مکانی
- ◀ امکان اعمال برنامه‌های کنترل و کاهش آلاینده‌ی در سامانه از جمله نوسازی ناوگان، توسعه حمل و نقل عمومی، سیاست‌های کنترلی و بازدارنده، ارتقاء کیفیت سوخت و تحلیل میزان اثربخشی برنامه‌ها
- ◀ تولید گزارش‌های گوناگون تحلیلی و مدیریتی از ناوگان وسایل نقلیه، میزان فعالیت و تردد، ضرایب انتشار، سیاهه انتشار و اثربخشی برنامه‌ها
- ◀ تولید اطلاعات پایه برای مدل‌های فتوشیمیایی پراکنش آلودگی هوا و پیش‌بینی آلودگی هوای شهری
- ◀ کمی‌سازی برنامه‌های کاهش آلودگی هوا، سنجش و نظارت بر پیشرفت برنامه‌ها و تدوین گزارش‌های عملکرد شامل نوسازی ناوگان، توسعه حمل و نقل عمومی، سیاست‌های کنترلی و بازدارنده، ارتقاء کیفیت سوخت و ...
- ◀ تعیین اهداف کمی برای دستگاه‌های دولتی و نیمه‌دولتی برای کاهش آلاینده‌ی تولیدی



شکل ۴-۷: نمایی از برخی از قابلیت‌های سامانه سیاهه انتشار شهر تهران



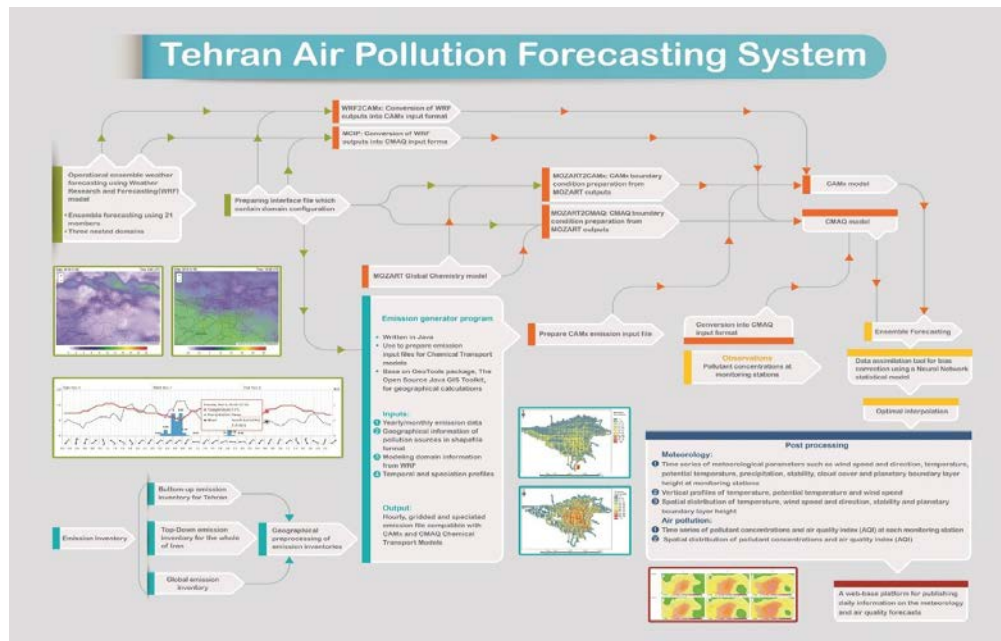
شکل ۷-۵ نمایی از برخی از قابلیت‌های سامانه سیاهه انتشار شهر تهران

۷-۵- سامانه تحت وب پیش‌بینی آلودگی هوای شهر تهران

شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران از سال ۱۳۹۱ اقدام به راه‌اندازی سامانه پیش‌بینی آلودگی هوای تهران کرده است. در حال حاضر نسخه اولیه این سامانه رونمایی شده است و همه روزه نتایج مربوط به پیش‌بینی وضعیت هواشناسی و همچنین شاخص کیفیت هوا برای روز جاری و دو روز آینده بر روی وب‌سایت شرکت کنترل کیفیت هوا (air.tehran.ir) قرار داده می‌شود. پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوای شهر تهران برای یک روز آینده، هم‌اکنون در حال انجام و به‌روزرسانی می‌باشد و پس از اطمینان از صحت عملکرد سیستم در اختیار شهروندان قرار داده خواهد شد. آدرس سامانه پیش‌بینی کیفیت هوای شهر تهران به نشانی apfs.tehran.ir می‌باشد.

از جمله قابلیت‌های این سامانه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

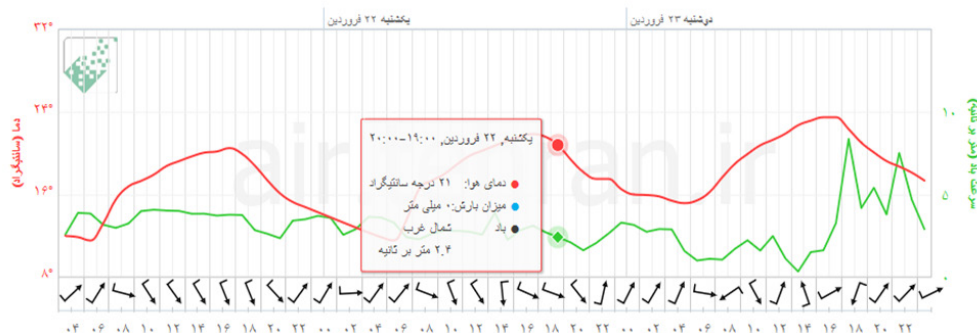
- ▶ پیش‌بینی وضعیت هواشناسی شهر تهران از جمله میدان باد و پایداری جوی برای دو روز آینده، از منظر تأثیر بر پخش و پراکنش آلودگی هوا در شهر تهران
- ▶ پیش‌بینی وضعیت پراکنش آلاینده‌ها در جو شهر تهران برای روز آینده و برای آلاینده‌هایی از جمله منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، ازن و ذرات معلق
- ▶ امکان استفاده از این سامانه در اهداف تصمیم‌سازی و بررسی کمی اجرای برنامه‌های کنترل و کاهش آلودگی هوا
- ▶ بررسی تأثیر منابع آلاینده مختلف در آلودگی هوای شهر تهران و سهم منابع در آلودگی هوای شهر تهران در شرایط بحرانی
- ▶ امکان پیش‌بینی اجرای سیاست‌های کوتاه‌مدت در شرایط بحرانی آلودگی هوا از جمله زوج و فرد و مناطق کم‌انتشار
- ▶ بررسی تأثیرپذیری مکانی آلودگی هوای شهر تهران نسبت به تولید آلودگی در مناطق مختلف شهر



شکل ۶-۷ اجزای مختلف سامانه پیش‌بینی آلودگی هوا و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

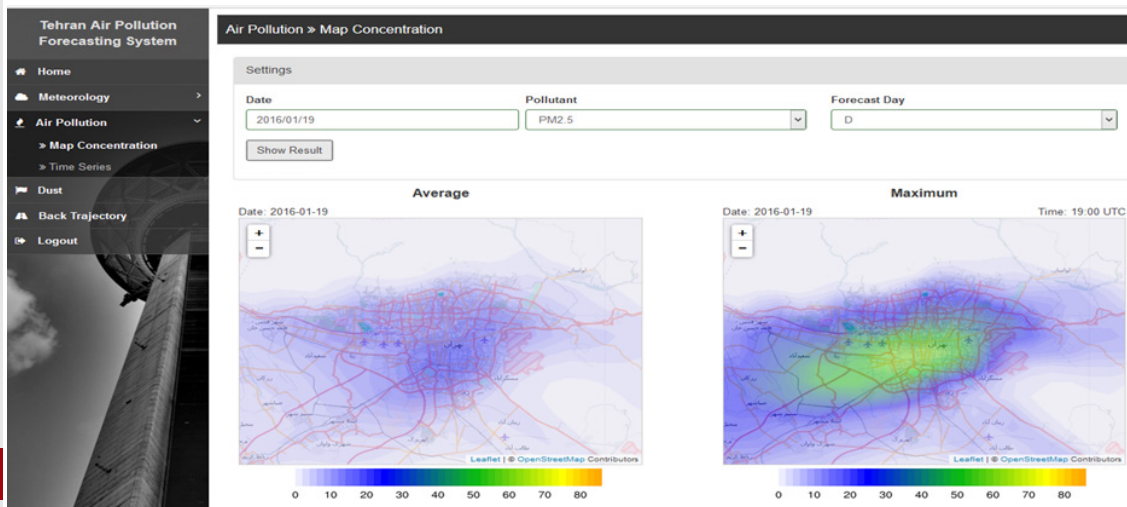
پیش‌بینی دما، بارش، سرعت و جهت باد

برای امروز و دو روز آینده در موقعیت ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد (تهران)



تحلیل: بر اساس تحلیل آخرین داده‌های هواشناسی پیش‌بینی شده برای شهر تهران، برای امروز بعدازظهر وزش باد قوی و شرایط جوی نسبتاً ناپایدار انتظار می‌رود. به تدریج از صبحگاه یکشنبه از میزان ناپایداری جوی کاسته شده و سرعت باد روند کاهشی خواهد داشت. طبق نتایج بدست آمده از مدل کیفیت هوا، افزایش نسبی غلظت ذرات معلق کمتر از 2.5 میکرون در اکثر ایستگاه‌ها در روز یکشنبه انتظار می‌رود. همچنین برای روز دوشنبه وزش باد شدید و در نتیجه مه‌پاشی شدن شرایط جوی مناسب برای پراکندگی آلاینده‌ها از سطح شهر پیش‌بینی می‌شود.

شکل ۷-۷ پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی برای روز جاری و دو روز آینده



شکل ۷-۸ پیش بینی وضعیت آلودگی هوای شهر تهران برای یک روز آینده

۷-۶- راهبری و اطلاع رسانی روزانه وضعیت آلودگی هوای تهران از طریق شبکه های اجتماعی



اطلاعات آماری مربوط به کانال تلگرام شرکت کنترل کیفیت هوا به نشانی [telegram.me/AqccTehran](https://t.me/AqccTehran) (تا پایان سال ۱۳۹۵) در شکل ۷-۹ نشان داده شده است. وضعیت برخط آلودگی هوای شهر تهران، گزارش های جدید و اخبار مرتبط با محیط زیست به صورت روزانه در کانال تلگرام شرکت بارگذاری می شود.



شکل ۷-۹ کانال تلگرام شرکت کنترل کیفیت هوا

سایت آپارات

به منظور ارتقاء سطح آگاهی شهروندان، متخصصان و سایر اقشار جامعه با آخرین اطلاعات مربوط به آلودگی هوا و صدا در سایت آپارات شرکت کنترل کیفیت هوا به نشانی <http://www.aparat.com/aqcc> نیز تا پایان سال ۱۳۹۵ بیش از ۷۰ عنوان فیلم آموزشی، انیمیشن و مصاحبه تخصصی بارگذاری شده است.

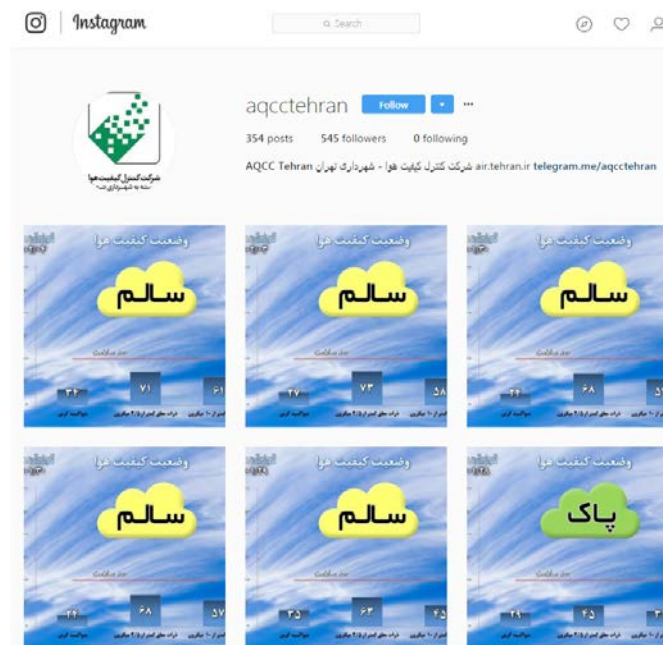


شکل ۷-۱۰ اطلاعات مربوط به آلودگی هوا و صدا در سایت آپارات



اینستاگرام

اطلاع‌رسانی وضعیت آلودگی هوا از طریق اینستاگرام شرکت به نشانی [instagram.com/aqcctehran](https://www.instagram.com/aqcctehran) نیز در حال انجام است و در حال حاضر این صفحه با بیش از ۵۰۰ عضو، روزانه اخبار برخط وضعیت آلودگی هوا را به مخاطبان اطلاع‌رسانی می‌کند.



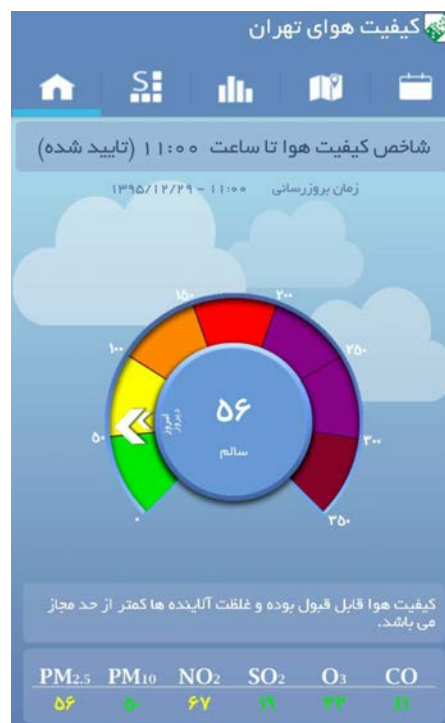
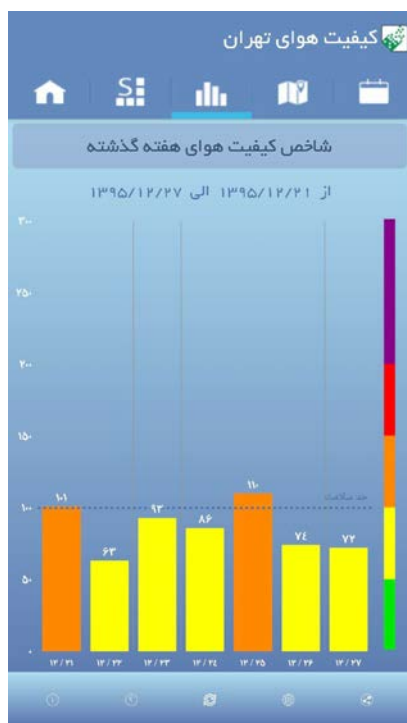
شکل ۷-۱۱ اطلاع‌رسانی وضعیت آلودگی هوا از طریق اینستاگرام

۷-۷- اپلیکیشن "کیفیت هوای تهران" دسترسی شهروندان به اطلاعات لحظه‌ای و برخط آلودگی هوا

این برنامه به صورت روزانه اطلاعات کیفیت هوای تهران را به شهروندان ارائه می‌نماید. این برنامه در دو نسخه اندروید و iOS موجود بوده و به صورت رایگان در سایت بازار و اپاستور قابل دانلود است.

امکانات این برنامه عبارتند از:

- ◀ نمایش شاخص کیفیت هوا به تفکیک ایستگاه‌ها
- ◀ نمایش شاخص کیفیت هوای ایستگاه‌ها روی نقشه شماتیک تهران
- ◀ نمایش شاخص کیفیت هوا در هریک از روزهای هفته گذشته
- ◀ ارائه تحلیل و پیش‌بینی در برخی روزها با توجه به شرایط شاخص
- ◀ ارائه راهنمای هریک از آلاینده‌های معیار
- ◀ ارائه هشدار خودکار (Notification) به کاربران در صورت وجود شرایط نامطلوب کیفیت هوا



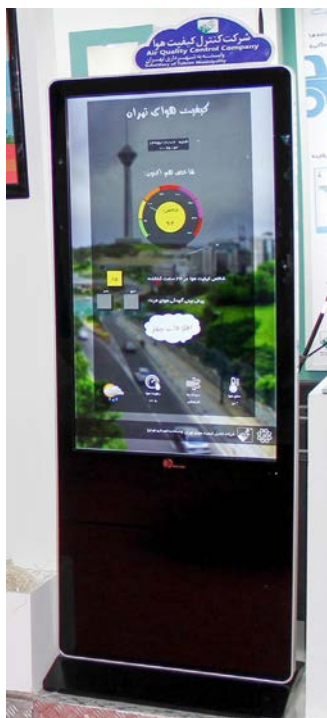
شکل ۷-۱۲ اپلیکیشن کیفیت هوای تهران

۸-۷- اطلاع‌رسانی از طریق تابلوهای اطلاع‌رسانی و تلویزیون‌های شهری

یکی دیگر از راه‌های اطلاع‌رسانی وضعیت آلودگی هوا به شهروندان تهرانی، ارسال اطلاعات برخط وضعیت آلودگی هوا به صورت روزانه از طریق ۴۰ تابلوی اطلاع‌رسانی و نمایشگرهای شهری می‌باشد.



شکل ۷-۱۳ تابلوهای اطلاع‌رسانی و نمایشگرهای شهری



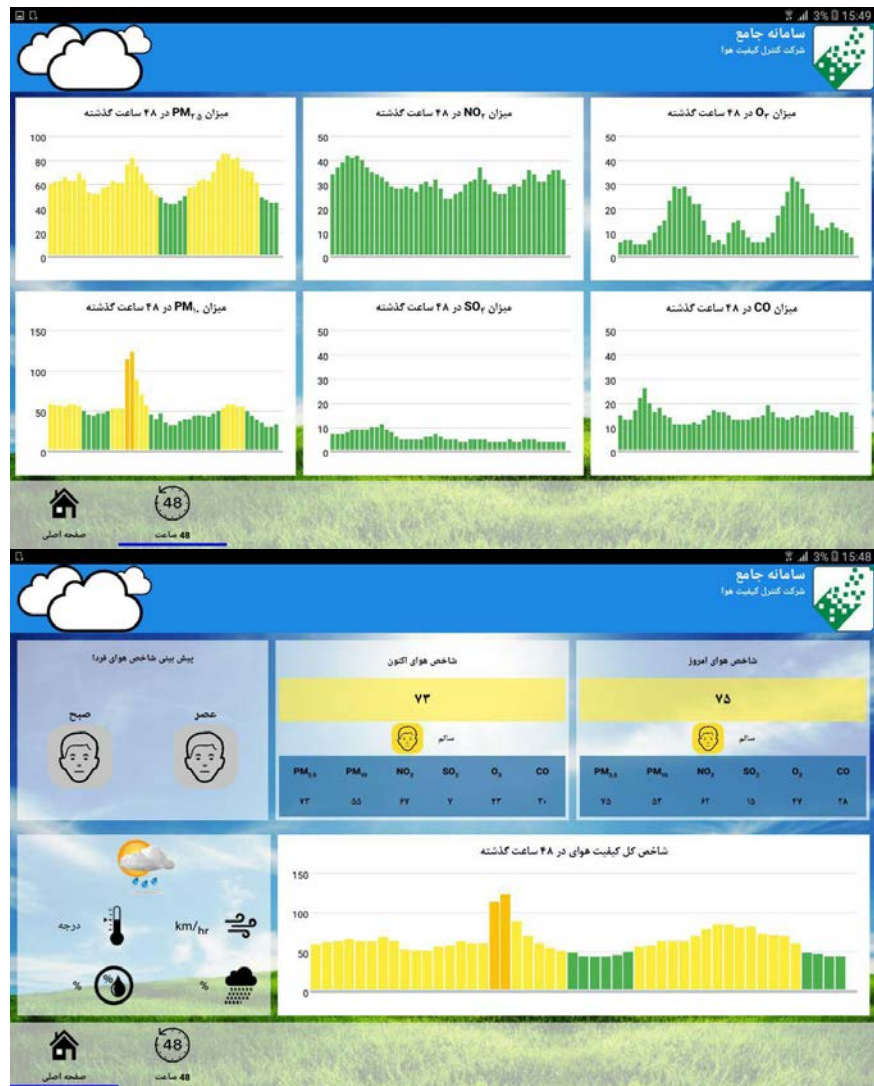
شکل ۷-۱۴ استند اطلاع‌رسانی آلودگی هوا و صدا

۷-۹- استند اطلاع‌رسانی آلودگی هوا و صدا

جهت آگاهی شهروندان با سامانه اطلاع‌رسانی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، نرم‌افزار داخلی استند نمایشگاهی با قابلیت لمسی، طراحی و ساخته شده است. این استند دارای یک نرم‌افزار جامع و پویا است که قابلیت نمایش اطلاعات موجود در سامانه کنترل کیفیت را برای شهروندان در محیط‌های نمایشگاهی، کنفرانس‌ها و ... فراهم می‌نماید.

۷-۱۰- نرم‌افزار تجميع سامانه‌های شرکت کنترل کیفیت هوا

این نرم‌افزار با تمرکز بر روی تبلت طراحی شده و دسترسی مدیران شهری و تصمیم‌گیران کلیدی را در هر لحظه به اطلاعات جامع سامانه کنترل کیفیت هوا و صدای تهران فراهم نموده و امکان ارائه نمودارهای مناسب، اطلاعات جامع به صورت طبقه‌بندی شده و در پکیج‌های تحلیل شده را دارا می‌باشد.



شکل ۷-۱۵: نرم افزار تجميع سامانه‌های شرکت کنترل کیفیت هوا



O_3



SO_2

NO_2



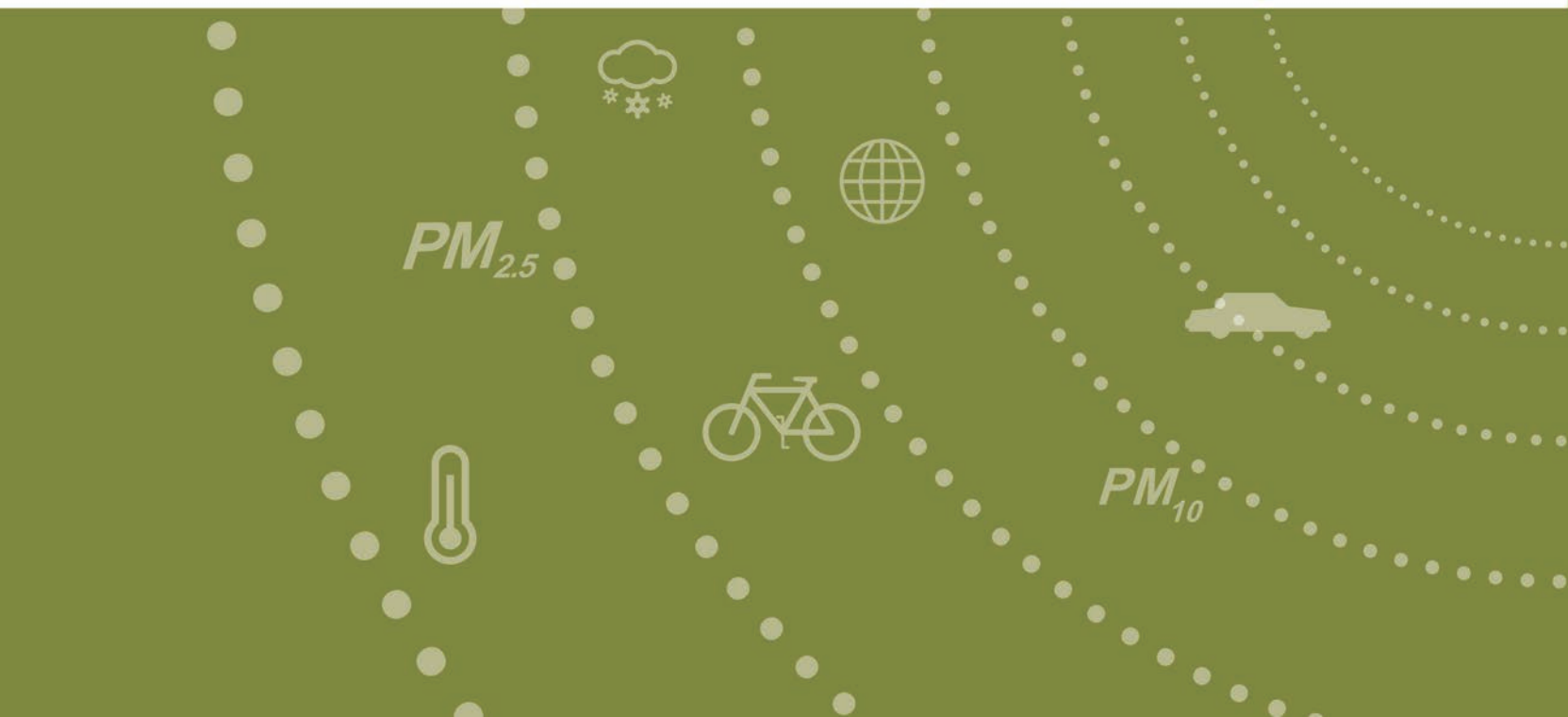
CO



AQI



پروژه‌های مهم شرکت کنترل کیفیت هوا



شرکت کنترل کیفیت هوا علاوه بر سنجش و تهیه گزارش‌های متداول مربوط به کیفیت هوا، با انجام ده‌ها پروژه متنوع در زمینه‌های مرتبط با آلاینده‌گی هوا در شهر تهران، به مطالعه و بررسی این موضوع می‌پردازد. این مطالعات علاوه بر جنبه تکمیل اطلاعات، جهت تدوین برنامه‌ها توسط مسئولان و همین‌طور ارائه راهکارهای بهداشتی به شهروندان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فصل حاضر به چند نمونه از این پروژه‌ها اشاره شده و در مورد آن توضیحاتی ارائه می‌گردد.

۸-۱- ارزیابی جامع آلاینده‌گی هوای تهران بزرگ (سپهر)^۱

مقدمه

نزدیک به دو دهه از نمونه‌گیری‌های غیرفعال، جهت شناسایی، تخمین، مدلسازی و سنجش آلاینده‌های هوا در مقیاس هوای داخل و محیطی استفاده می‌شود. در سال ۱۳۹۴ به منظور شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌های مختلف هوای شهر تهران تهیه و توسعه مدل‌های رگرسیون زمین و همچنین تولید نقشه‌های آلودگی هوا این طرح مورد بهره‌برداری قرار گرفت. استفاده از این مدل‌ها برای مطالعات آتی مبتنی بر کنترل و پایش آلودگی هوا، تخمین ارزیابی میزان ریسک، بهداشت و جمعیت و در نهایت مواجهه شهروندان با آلودگی هوا در شهر تهران ضروری خواهد بود.

شروع این طرح از بهار ۱۳۹۴ و پایان آن اردیبهشت ۱۳۹۵ بوده است. که در حجم گسترده کلان شهر تهران در ۲۲ منطقه و طی چهار مرحله به انجام رسید. در حال حاضر این پروژه در مرحله مدلسازی و

۱. سپهر: Study of Exposure Prediction for Environment Health Research

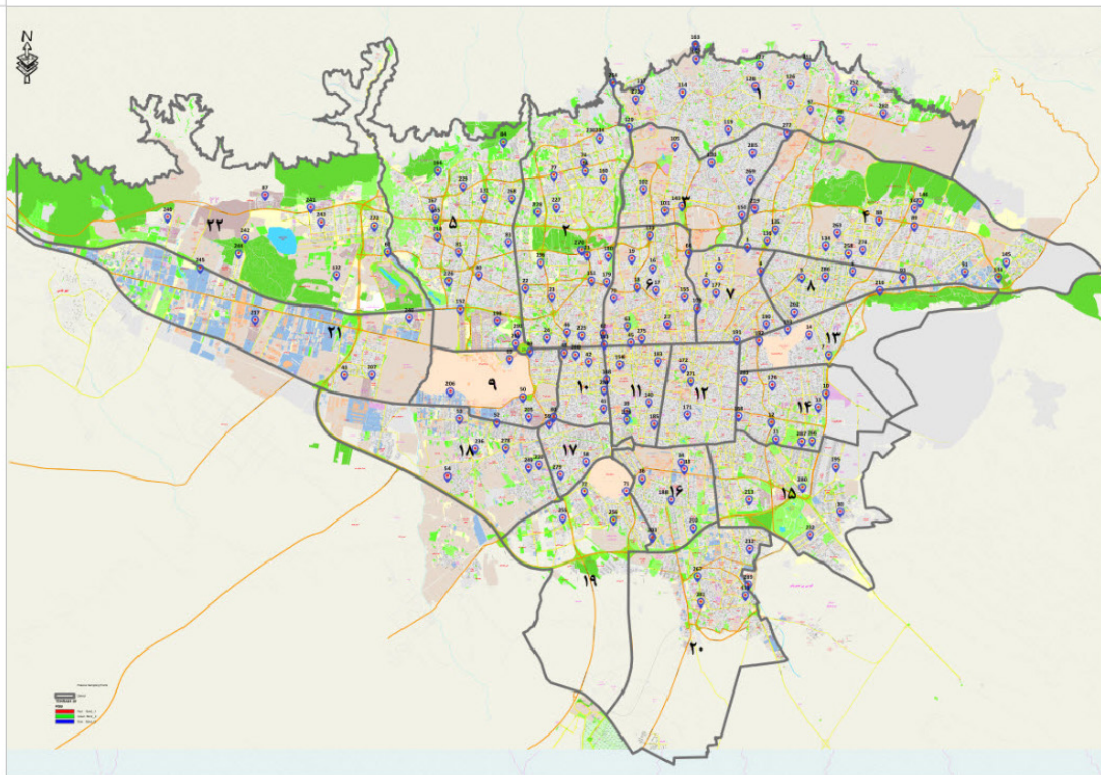
تهیه مقادیر مواجهه افراد با آلاینده‌های هوا در کاربری‌های مختلف شهری نظیر مناطق مسکونی، ترافیکی و تجاری و... می‌باشد.

ضرورت انجام پروژه ارزیابی جامع آلاینده‌گی هوای تهران بزرگ

نمونه‌برداری در مقیاس کلان (شهری) و به تعداد بالا راه حل مناسبی جهت انجام تحقیقات گسترده در زمینه تأثیرات دراز مدت و بهداشتی آلاینده‌های هوا خواهد بود. به همین منظور برای اجرای این پروژه با توجه به محدودیت‌های موجود تعداد ۱۷۴ نقطه با جانمایی مطابق (شکل ۸-۱)، برای پوشش کلیه نواحی شهری با کاربری‌های مختلف تعیین شد که بر طبق استانداردهای موجود این نمونه‌برداری‌ها در زمانی معین و یکسان به انجام رسید به‌طوری‌که یک تیم شانزده نفره جهت استقرار نمونه‌بردارها در یک ساعت و در یک روز معین به محل‌های انتخاب شده مورد نظر اعزام شدند که پس از انجام نمونه‌برداری‌ها طی دو هفته مجدداً جمع‌آوری نمونه‌های غیرفعال طبق زمان‌بندی مشخص و استاندارد در یک روز و یک ساعت به انجام رسید.

این تحقیق پایه و اساس علمی تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها را در تهران و در مقیاس کلان آن -ایران- فراهم ساخته و نقاط برجسته و مورد توجه به لحاظ آلودگی هوا را از جنبه مکانی و زمانی پیش‌بینی و بیان خواهد کرد. همچنین میزان مواجهه در مناطق مختلف مسکونی و آموزشی و غیره با مدلسازی حاصل از نتایج این تحقیق حاصل می‌شود.

یکی از یافته‌های مهم این مطالعه، صحت‌سنجی اندازه‌گیری ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوای شهری مربوط به شرکت کنترل کیفیت هوا (AQCC) و سازمان حفاظت محیط زیست (DOE) خواهد بود، که به دلیل برخی نگرانی‌ها در خصوص عملکرد آن‌ها، اجرا خواهد شد.



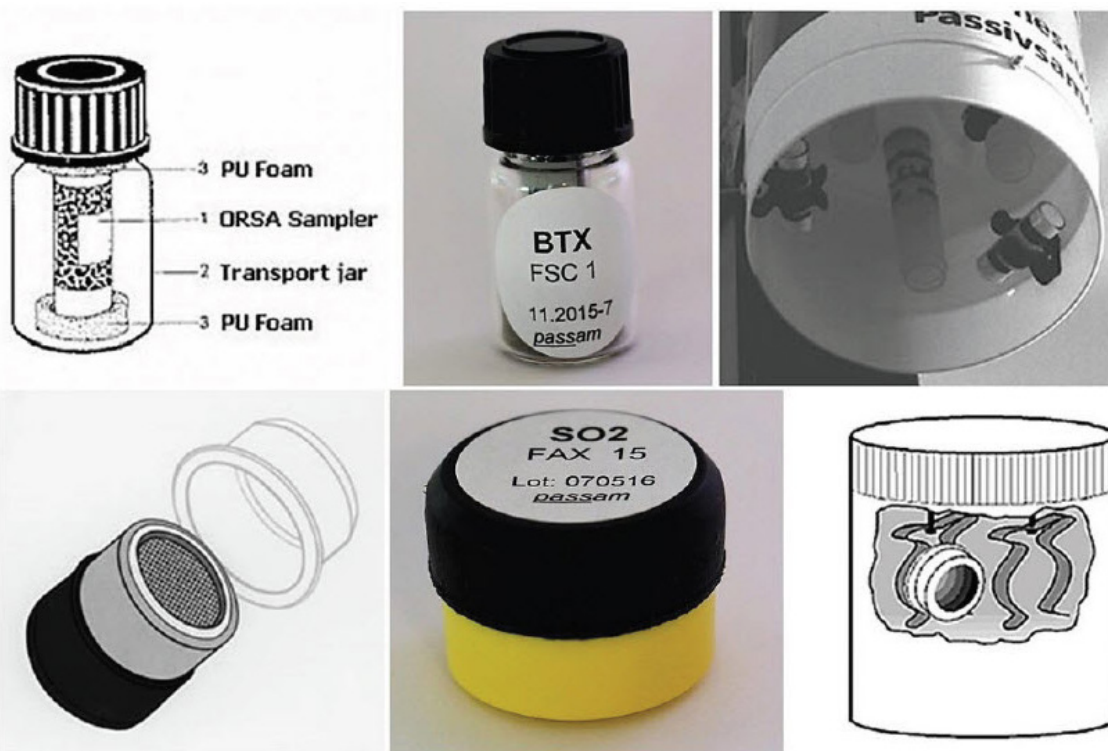
شکل ۸-۱: جاذمایی قرارگیری نمونه بردارهای غیرفعال در سطح شهر بر اساس کاربری‌های مسکونی و ترافیکی

به منظور انجام بهتر و افزایش بهره‌برداری از نتایج شرکت کنترل کیفیت هوا مبادرت به همکاری با مشاوران خارجی نمود. همکاری این مجموعه با شرکت کنترل کیفیت هوا و همچنین حمایت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران و همچنین پشتیبانی لجستیک دانشگاه شریف نقش چشمگیری در پیشبرد این پروژه داشته است.

تعیین و تهیه لوله‌های شناساگر (نمونه‌بردارهای غیرفعال)

به منظور انجام این پروژه، نمونه‌گیرهای نوع اروپایی مورد تأیید واقع شد. این نوع نمونه‌گیرها برای سنجش NO_2 و O_3 ، BTEX، VOCs، SO_2 در تهران، تهیه و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۸-۲). به جهت افزایش دقت و صحت نتایج، آزمایشگاه خارجی منتخب شرکت کنترل کیفیت هوا جهت آنالیز این ابزار، تعیین گردید.

شکل ۸-۲: نمونه بردارهای غیرفعال مورد استفاده در پروژه



تعیین محل و نقاط نمونه‌برداری

جهت افزایش دقت و تخمین بهتر آلاینده‌های هوا و نحوه انتشار آن در شهر تهران، بر اساس بازدید میدانی و همچنین بررسی نرم‌افزاری تعداد ۱۷۴ نقطه به‌انضمام ایستگاه‌های ثابت شرکت کنترل کیفیت هوا جهت استقرار نمونه‌بردارهای غیرفعال تعیین شد. این نقاط کلیه مناطق ۲۲گانه شهر تهران را با کاربری‌های ترافیکی، مسکونی، آموزشی و ... پوشش داد.

یکی از بخش‌های مهم این پروژه کدگذاری نمونه‌ها، جهت تخصیص هر نمونه‌بردار غیرفعال به ایستگاه مورد نظر بوده که در آن زمان و مکان به دقت تعیین شده است. بدین منظور از یک روش کدگذاری جهت ثبت نمونه بردارهای غیرفعال و سایر مشخصات زمانی و مکانی بهره‌برداری شد.

مراحل انجام نمونه‌برداری‌ها

۲۱۶

در این مطالعه، نمونه‌برداری‌ها در طی دو فاز به انجام رسید:

فاز یک شامل نمونه‌برداری و اندازه‌گیری در ۱۰ ایستگاه شرکت کنترل کیفیت هوا بوده و در بهار سال ۱۳۹۴ (۲۰ فروردین الی ۱۱ تیر ماه) در طی ۶ دوره ۲ هفته‌ای انجام شد. هدف از انجام این مرحله (فاز ۱) تعیین تفاوت کمی و کیفی نتایج آنالیز و داده‌های نمونه‌بردارهای غیرفعال و اطلاعات ایستگاه‌های مرجع می‌باشد.

در فاز دوم پروژه نمونه‌بردارهای غیرفعال در ۱۷۴ نقطه، از تابستان ۱۳۹۴ آغاز و در بهار ۱۳۹۵ به پایان رسید. در فاز دوم سه مرحله نمونه‌برداری گسترده انجام شد که به ترتیب در تابستان ۱۳۹۴، زمستان ۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ به‌انجام رسید. در طول این مرحله ۵ ایستگاه مرجع سنجش کیفیت هوا به فاصله هر دو هفته توسط نمونه‌بردارهای غیرفعال مورد سنجش قرار گرفت. به منظور صحت‌سنجی اطلاعات نمونه

بردارهای غیرفعال، طرح‌های موازی با تیوب‌های کمپانی دیگر و امکانات آزمایشگاهی ایرپاریف فرانسه نیز انجام شد.

به منظور تجزیه و تحلیل عملیات نمونه‌برداری پروژه ارزیابی جامع آلاینده‌های هوای تهران بزرگ، کلیه داده‌های تلفیقی و تکراری نمونه‌بردارهای غیرفعال مورد استفاده در کلیه فازها که شامل آلاینده‌های ازن، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، بنزن و... هستند، مورد بررسی قرار گرفتند. این ارزیابی بیانگر صحت داده‌ها در خصوص بکارگیری در مدلسازی‌های آتی خواهد بود.

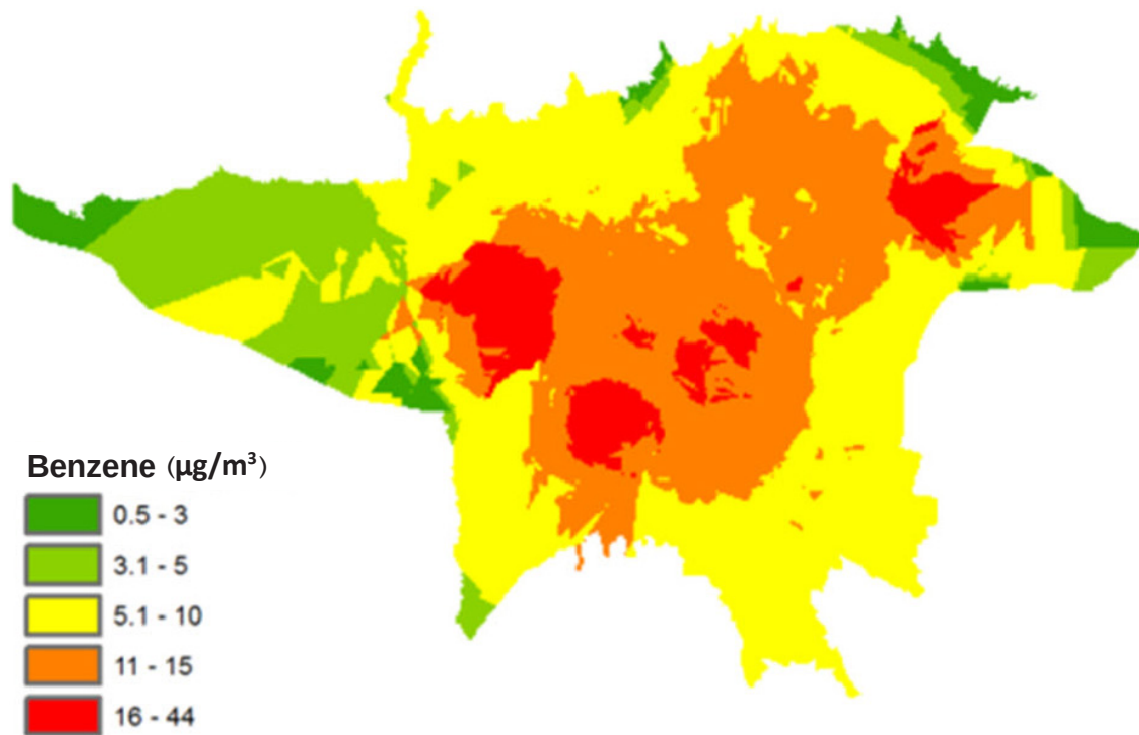
نتایج

در فاز اول این طرح اطلاعات و نتایج داده‌ها مورد بررسی کلی قرار گرفت. بر اساس این داده‌ها و با توجه به انجام نمونه‌برداری‌ها در فصل بهار، بررسی روند نتایج حاکی از این امر بود که با نزدیک شدن به ماه‌های آخر فصل بهار به تدریج بر میزان آلاینده‌ها افزوده شده است. همچنین مقایسه ایستگاه‌های ترافیکی با مناطق مسکونی بیانگر افزایش و شدت آلاینده‌ها در مناطق ترافیکی می‌باشد.

در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی به منظور تغییرات فضایی آلودگی هوا در فضای باز و در مقیاس کوچک مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق سعی بر آن شد تا از روش IDW جهت مدلسازی اطلاعات و نتایج آنالیزها بهره‌برداری شود.

بررسی اطلاعات و نتایج داده‌ها بیانگر شدت آلاینده ترکیبات آلی فرار در مناطق مرکزی و پرتراфик شهری می‌باشد که میزان آن بالای ۴ ppb گزارش شده است. این در حالی است که استاندارد آلاینده بنزن ۱/۵ می‌باشد. بیشترین غلظت آلاینده بنزن در تابستان ۱۳۹۴ در مناطق مرکزی و عمدتاً ترافیکی بوده است، دلیل عمده آن گرمای هوا و افزایش میزان تبخیر بنزین است (شکل ۸-۳). بازبینی اطلاعات مربوط به این

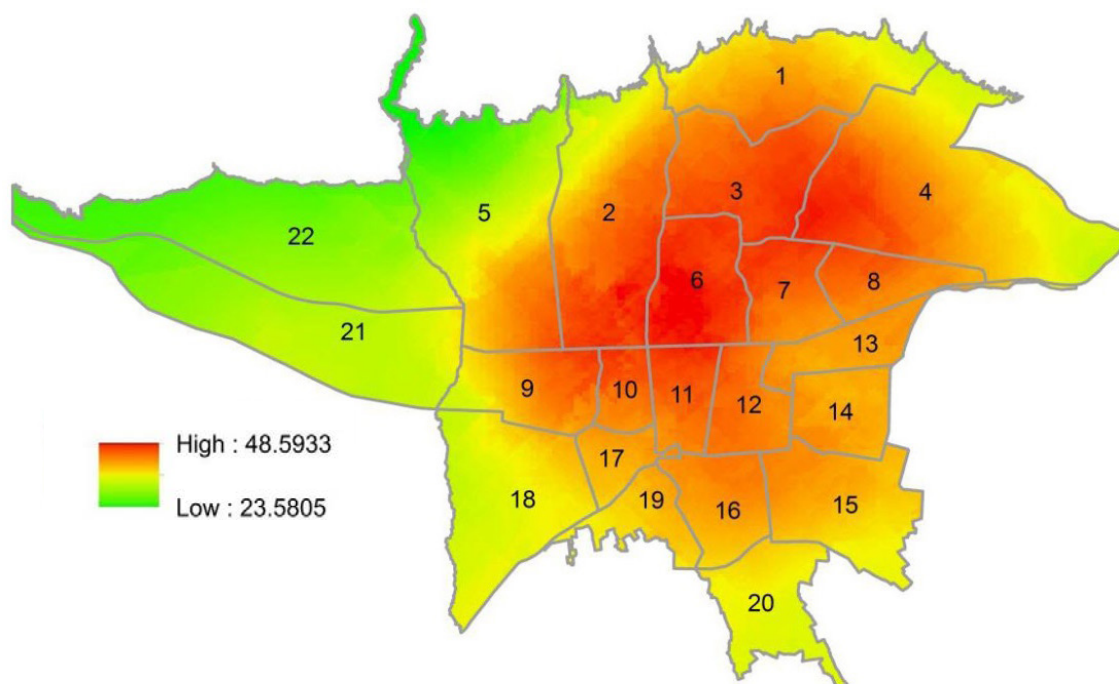
آلاینده نشان تولید و انتشار منطقه‌ای آن بوده که اثرات بهداشتی طولانی مدت آن بر سلامت جامعه در مراحل بعدی با مدلسازی آلودگی هوا بدست خواهد آمد.



شکل ۸-۳ پراکندگی آلاینده بنزن در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران (تابستان ۱۳۹۴)

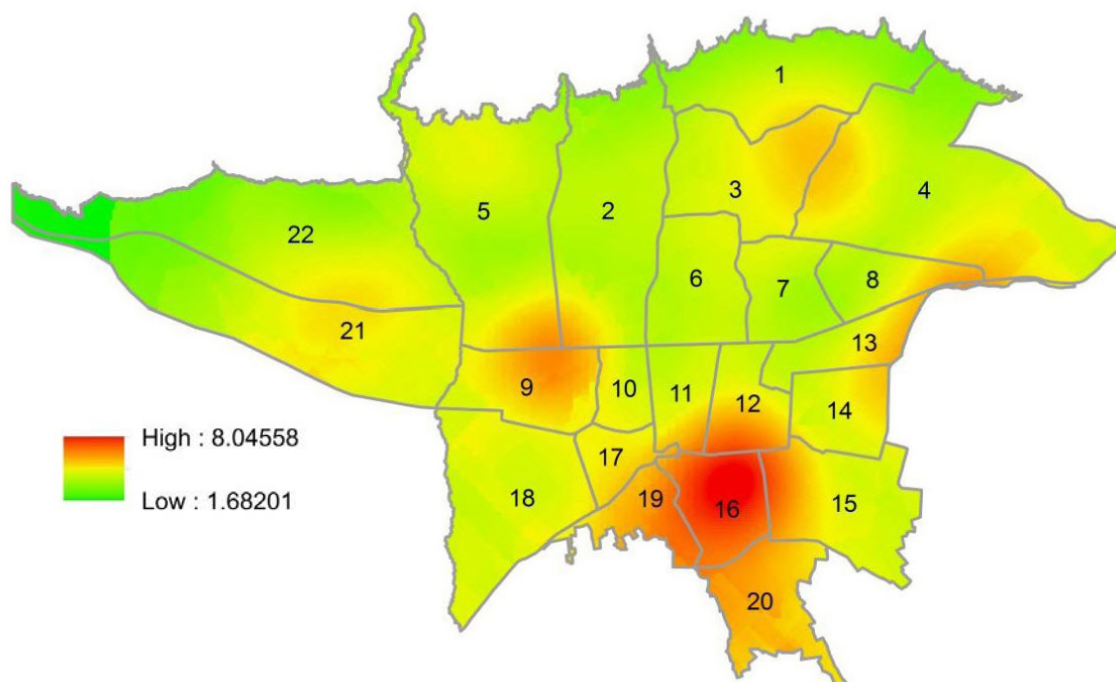
داده‌های آلاینده NO_2 بر اساس استاندارد سالانه و در طی ۳ دوره اندازه‌گیری در فصول بهار، تابستان و زمستان، بررسی شده و میزان این آلاینده بالاتر از حد استاندارد سالانه ۲۰ ppb گزارش شده است. مناطق

۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۷ دارای بیشترین غلظت در فصل زمستان می‌باشند. طبق نقشه‌های بدست آمده و در مقایسه با نتایج حاصل از ایستگاه‌های ثابت شرکت کنترل کیفیت هوا مقادیر این آلاینده در نقاط مرکزی و شمالی و همچنین بزرگراه‌های منطقه غرب تهران افزایش چشمگیری در مقایسه با دیگر مناطق دارد (شکل ۸-۴). در خصوص غلظت این آلاینده تفاوت فصلی چشمگیری وجود دارد. بطوریکه در فصل بهار کمترین غلظت آن دیده شده که علت عمده آن کاهش بارترافیک و تغییرات آب و هوایی به نحو مطلوب می‌باشد.



شکل ۸-۴ پراکنش آلاینده دی اکسیدنیترژن ۲۲ گانه شهر تهران ۱۳۹۴-۱۳۹۵

در زمستان ۱۳۹۴ در بیش از ۱۹ منطقه از شهر تهران میانگین عددی سالانه آلاینده SO_2 فراتر از حد مجاز قرار گرفت. میزان SO_2 تنها در مناطق حاشیه‌ای تهران افزایش داشته که احتمال تأثیر بزرگراه‌های کمربندی و همچنین استفاده سوخت‌های فسیلی در کارخانجات و صنایع اطراف دور از ذهن نمی‌باشد (شکل ۸-۵).



شکل ۸-۵ پراکنش آلاینده دی اکسیدنیترژن ۲۲ گانه شهر تهران ۱۳۹۴-۱۳۹۵

با توجه به بررسی نتایج و داده‌های حاصل از نمونه‌بردارهای غیرفعال ازن که بصورت آماری و همچنین مقایسه‌ای با ایستگاه‌های مرجع، نتایج صحیح و قابل استنادی از این تیوب‌ها در این طرح حاصل نشد.

بنابراین، چشم انداز این پروژه این است که این طرح ابزاری برای تعیین و تأیید اطمینان و صلاحیت داده‌های ایستگاه‌های ثابت سنجش آلاینده‌ها به منظور مدلسازی فضایی مجدد انتشار آلاینده خواهد بود. امید آن می‌رود تا این طرح در سال‌های آتی بطور گسترده‌تر ادامه یافته و از اهداف آن صحت‌سنجی و تعیین مکان مناسب استقرار ایستگاه‌های ثابت سنجش آلاینده خواهد بود. همچنین در طرح‌های عمرانی و ترافیکی نیز این ابزار نقش مهمی در داده‌برداری‌های گسترده و تولید نتایج مفید علمی را ارائه خواهد نمود. با استناد و بررسی نتایج این طرح (سپهر)، بررسی میزان مواجهه استنشاقی مردم ساکن در شهر تهران با ترکیبات BTEX، NO_2 و SO_2 موجود در هوای آزاد و ارزیابی ریسک این آلاینده‌ها در ایجاد پیامدهای سرطانی و غیرسرطانی با همکاری دانشگاه تهران به انجام رسید.

با توجه به اینکه برآورد میانگین آلاینده‌ها در سطح مناطق ۲۲ گانه شهر تهران از اهداف این مطالعه بوده، تهیه نقشه‌های پراکندگی و ادغام آن‌ها توسط روش‌های آمار فضایی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش ویژه‌ای در مطالعه و رسیدن به اهداف طرح دارد.

در این راستا برای تهیه این نقشه‌های جغرافیایی روش‌های درونیابی مختلف مانند IDW و KRIGING وجود دارند، با توجه به مزیت‌های مدل KRIGING در این مطالعه از روش کریجینگ برای درونیابی استفاده شد.

با بهره‌گیری از روش‌های مطرح‌شده در قسمت کلیات در زمینه ارزیابی ریسک در مطالعه حاضر در مرحله اول به منظور حفاظت از سلامت افراد جامعه، آلاینده‌های هوا شامل BTEX، دی‌اکسیدنیترژن و دی‌اکسیدسولفور در کلان شهر تهران با میانگین جمعیتی حدود ۹ میلیون نفر به عنوان آلاینده‌های مخاطره‌آمیز در نظر گرفته شدند.

در مرحله دوم، مقادیر دوز مرجع مواجهه با آلاینده‌های فوق‌الذکر، از سیستم یکپارچه اطلاعات ریسک سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده¹ IRIS استخراج گردید.

1. Integrated Risk Information System

مرحله سوم، ارزیابی ریسک برآورد میزان مواجهه افراد جامعه با آلاینده‌های محیط بر اساس گروه‌های سنی و جنسی مختلف می‌باشد.

بر اساس غلظت‌های بدست آمده در طول اجرای این طرح که بر مبنای غلظت NO_2 ، کمترین غلظت به ترتیب در ایستگاه‌های درکه، آبشناسان، مرادآباد و شهران و بیشترین غلظت به ترتیب در ایستگاه‌های ترمینال غرب، ترمینال جنوب و دانشگاه تهران مشاهده شده است. بالا بودن غلظت در ایستگاه‌های ترمینال غرب بواسطه تردد بسیار زیاد وسایط نقلیه در این محل می‌باشد چرا که وسایط نقلیه مهمترین منبع انتشار NO_2 در هوای آزاد می‌باشند.

از آنجایی که استانداردهای هوای پاک ایران از بین آلاینده‌های مورد سنجش در این مطالعه تنها برای NO_2 و بنزن استاندارد سالیانه وجود دارد لذا در صورت مقایسه غلظت آلاینده‌های NO_2 و بنزن در ۱۷۹ محل نمونه‌برداری با مقادیر استاندارد ملی می‌توان به این نتیجه رسید که تنها در ۱۱ محل نمونه‌برداری در شهر تهران متوسط غلظت سالیانه NO_2 از مقادیر استاندارد سالیانه ملی (۵۳ ppb) بالاتر بوده است و به عبارت دیگر در ۶ درصد از موارد غلظت دی‌اکسیدنیترژن بالاتر بوده است.

لازم به ذکر است که در صورت مقایسه میانگین غلظت‌های سالیانه به مقادیر رهنمودی سازمان بهداشت جهانی (¹WHO) (۲۱ ppb) برای تنها سه محل نمونه‌برداری غلظت NO_2 هوای آزاد پایین‌تر از رهنمود WHO بوده است و در ۱۷۶ محل دیگر غلظت این آلاینده بالاتر از رهنمود WHO بوده است.

در مقایسه نتایج میانگین غلظت سالیانه بنزن با مقادیر استاندارد ملی (۱/۵ ppb) نتایج این مطالعه بیانگر این است که تقریباً در ۸۵ درصد از محل‌های نمونه‌برداری غلظت سالیانه بنزن بالاتر از استاندارد ملی بوده است و این امر بعلت وجود بیش از ۳ میلیون خودرو در شهر تهران می‌باشد که سبب افزایش غلظت بنزن که یک آلاینده سرطان‌زای قطعی برای انسان است می‌گردد. بر اساس نتایج این طرح بیشترین میزان خطر سرطان‌زایی ترکیبات آلی فرار مربوط به آلاینده بنزن است.

1. WHO: World Health Organization

از لحاظ تفاوت ریسک سرطان‌زایی در بین گروه‌های سنی ۱۷ گانه نتایج مطالعه ما نشان داد، ریسک سرطان اضافی در گروه سنی ۰ - ۴ سال به مراتب از ریسک سرطان اضافی برای سایر گروه‌های سنی بیشتر می‌باشد. همچنین گروه سنی ۵ - ۹ سال از لحاظ ریسک، در رتبه دوم قرار دارد. این امر می‌تواند به دلیل تعداد تنفس بالا و میزان مواجهه بیشتر در این دو گروه سنی و همچنین متابولیسم ناقص در کودکان باشد. خطر ایجاد پیامدهای غیرسرطانی ناشی از مواجهه با SO_2 ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. لازم به ذکر است که کمترین خطر برای ایجاد پیامدهای غیرسرطانی به ترتیب در مناطق ۲۲ و ۱ مشاهده شد. همچنین بیشترین خطر برای ایجاد پیامدهای غیرسرطانی به ترتیب در مناطق ۱۶ و ۱۹ مشاهده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان خطر برای ایجاد پیامدهای غیرسرطانی مواجهه با NO_2 بالا و قابل ملاحظه است و همچنین بیشترین خطر برای ایجاد پیامدهای غیرسرطانی ناشی از مواجهه با NO_2 هوای آزاد در شهر تهران به ترتیب در مناطق ۶ و ۳ مشاهده گردید که در این مناطق خطر ایجاد پیامدهای غیرسرطانی بیش از دو برابر حد مجاز می‌باشد.

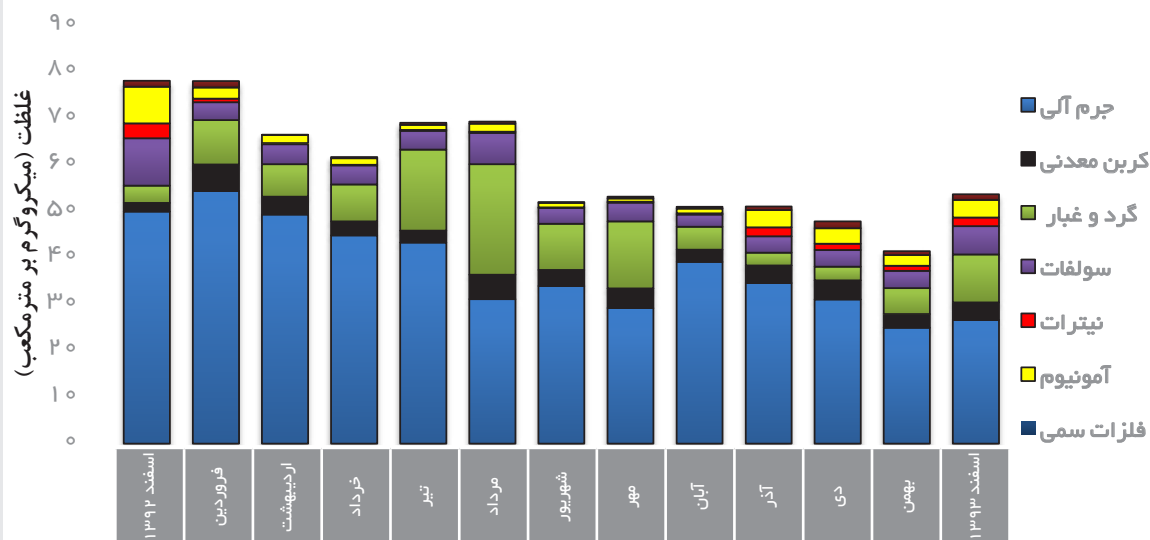
۸-۲- پروژه منشأیابی ذرات

با عنایت به تأثیر منفی ذرات معلق موجود در هوا و بالا بودن غلظت این ذرات در هوای تهران، این موضوع به یکی از اصلی‌ترین معضلات این شهر تبدیل شده و توجه ویژه به آن ضروری به نظر می‌رسد. شناسایی ترکیبات موجود در این ذرات و برآورد سهم هر منبع انتشار، کمک شایانی به مدیران جهت تصمیم‌گیری و تدوین راهکارهای کنترلی خواهد داشت. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در مورد منشأ و اجزای سازنده این ذرات، در این پروژه وضعیت غلظت، عناصر تشکیل‌دهنده و منابع ذرات معلق در ایستگاه دانشگاه شریف مورد مطالعه قرار گرفت.

برای اطلاع از وضعیت آلاینده $PM_{2.5}$ و شناسایی منابع آن نمونه‌برداری‌های ۲۴ ساعته هر شش روز یک‌بار به مدت یک سال در ایستگاه شرکت کنترل کیفیت هوا در دانشگاه صنعتی شریف انجام شد. این نمونه‌برداری از اسفند ۹۲ آغاز شد و به مدت یک سال کامل ادامه یافت. در این مدت ۵۱ روز نمونه‌برداری انجام گرفت که در هر نوبت دو نمونه، یکی بر روی فیلتر کوارتز و دیگری بر روی فیلتر تفلون برداشت شد. پس از نمونه‌برداری، به منظور شناسایی ترکیبات موجود و محاسبه غلظت آن‌ها، آنالیز شیمیایی شامل چندین بخش مجزا از هم در دانشگاه ویسکانسین آمریکا و توسط گروه تحقیقاتی پروفیسور جیمز شاور^۱ صورت گرفت. در مجموع این آنالیزها، تمامی المان‌ها، گونه آلی و شیمیایی شناسایی گردید. پس از شناسایی غلظت اجزای مختلف توسط آنالیزهای شیمیایی، به کمک مدل‌های پذیرنده از جمله PCA و CMB، سهم منابع مختلف در تولید ذرات معلق در طول دوره نمونه‌برداری تعیین گردید.

بر اساس آنالیز جرمی فیلترها، میانگین غلظت $PM_{2.5}$ موجود در هوای منطقه در دوره نمونه‌برداری، برابر $37/13$ میکروگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. مطابق نتایج به‌دست آمده، میانگین غلظت $PM_{2.5}$ هوای تهران در $87/5\%$ از روزهای نمونه‌برداری از حد مجاز اعلام شده توسط سازمان محیط زیست ایران بالاتر بوده است. همچنین در مقایسه با استاندارد آمریکا قابل مشاهده است که 48% روزهای نمونه‌برداری مقادیر غلظت ذرات معلق ریز در ایستگاه شریف از مقدار مجاز تجاوز کرده است.

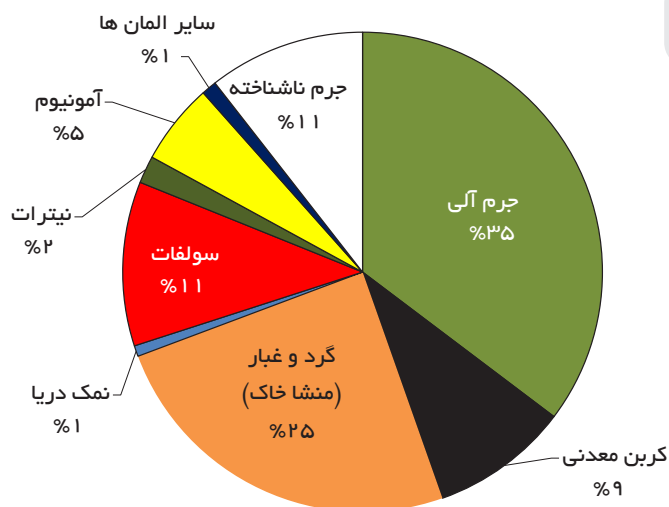
1. Professor James Schauer, Department of Civil and Environment Engineering, University of Wisconsin



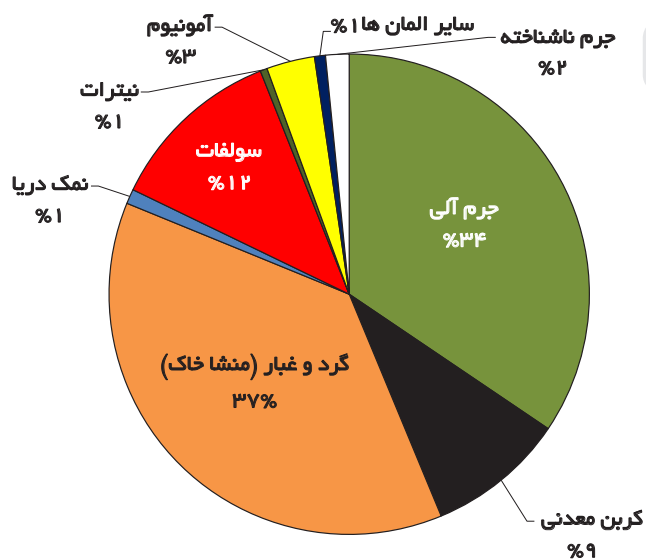
نمودار ۸-۱ میانگین ماهانه غلظت اجزای تشکیل دهنده PM_{2.5} در ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف بر حسب µg/m³

ترکیبات اصلی تشکیل دهنده PM_{2.5} در هوای تهران توسط آنالیز شیمیایی تعیین شدند. بر این اساس، غلظت اجزای شیمیایی به صورت ماهانه و نیز به صورت میانگین سالانه و فصل سرد و گرم در نمودار ۸-۲ آمده است. جرم آلی، کربن معدنی، ذرات گردوغبار و یون‌های غیر آلی محلول در آب (مانند سولفات، کلرید، نیترات و آمونیوم) قسمت اعظم PM_{2.5} موجود در هوای شهر تهران را تشکیل می‌دهد. بر اساس شکل الف، ذرات آلی، ذرات گردوغبار و سولفات بدون نمک به طور میانگین، به ترتیب با ۳۵، ۲۵ و ۱۱ درصد بیشترین سهم را در PM_{2.5} هوای تهران دارا هستند. ذرات آلی با حدود سهم ۱۳ تا ۵۴ درصد، در بیشتر ماه‌های سال به جز ماه‌های گرم و خشک (خرداد تا شهریور) مؤلفه اصلی در جرم ذرات معلق می‌باشند. در فصول گرم و خشک گردوغبار با بیشینه درصد سهم ۵۶ درصد و میانگین ۳۵ درصد، سهم بیشتری در جرم ذرات دارند.

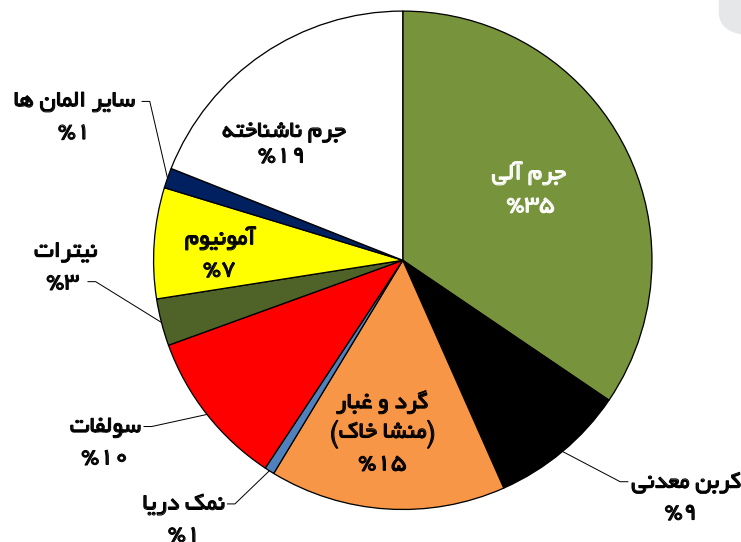
الف) سالانه



ب) فصول گرم



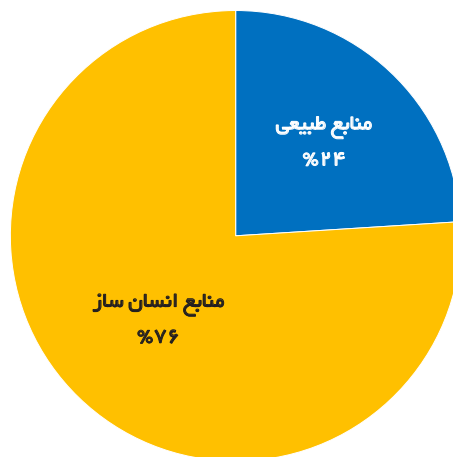
نمودار ۸-۲ میانگین درمصد مشارکت اجزای تشکیل‌دهنده $PM_{2.5}$ در ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف الف) سالانه ب) فصول گرم ج) فصول سرد



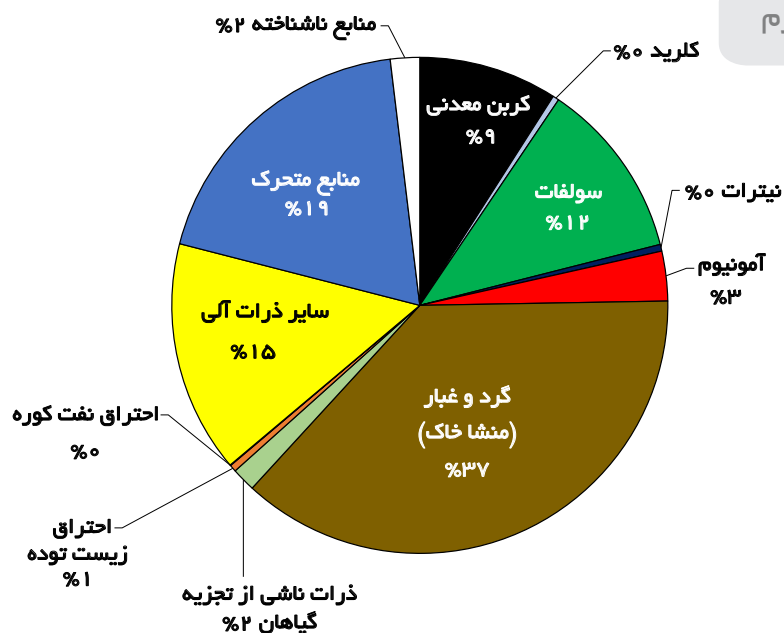
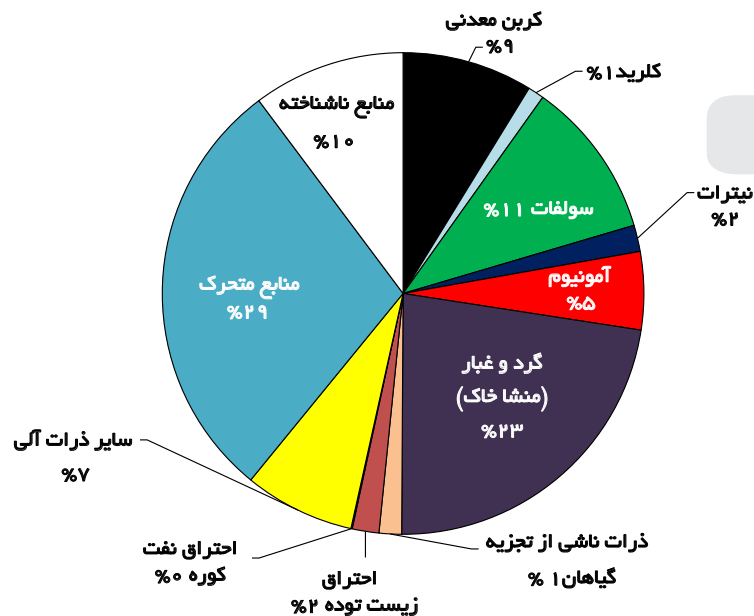
نمودار ۸-۲ میانگین درصد مشارکت اجزای تشکیل‌دهنده $PM_{2.5}$ در ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف (الف) سالانه ب) فصول گرم ج) فصول سرد (ادامه)

بر اساس نتایج این مدل که خلاصه آن در نمودارهای ۸-۳ و ۸-۴ آمده است، به‌طور کلی منابع انسانی با سهمی حدود ۷۶٪، عمده‌ترین منبع تولید ذرات معلق می‌باشند. ۶ منبع شامل وسایل نقلیه بنزینی، دیزلی، خودروهای دودزا، احتراق نفت کوره، احتراق زیست توده و ذرات ریز ناشی از تجزیه گیاهان به‌عنوان منابع اصلی انتشار ذرات معلق شناخته شدند. نتایج این سهم‌بندی حاکی از آن است که منابع متحرک شامل وسایل نقلیه بنزینی، دیزلی و خودروهای دودزا در مجموع ۷۲٪ از غلظت کربن آلی و حدود ۲۹٪ از کل $PM_{2.5}$ منتشرشده در هوای این منطقه از شهر تهران را تشکیل می‌دهد. ذرات گردوغبار نیز ۲۴٪ از جرم $PM_{2.5}$ را تشکیل داده و پس‌از آن یون‌های محلول در آب با ۱۹٪ بیشترین مشارکت را در انتشار $PM_{2.5}$ دارند. در ادامه احتراق زیست‌توده و ذرات ناشی از تجزیه گیاهان هر دو با

حدود ۲٪، رده‌های بعدی را در انتشار $PM_{2.5}$ به هوای مناطق اطراف ایستگاه نمونه‌برداری را به خود اختصاص داده‌اند. احتراق نفت کوره نیز با کمتر از نیم درصد نقش اندکی در تولید $PM_{2.5}$ هوای تهران داشته است. با توجه به شکل ۸-۴ ب و ج)، درصد مشارکت منابع در فصول سرد و گرم بسیار متفاوت می‌باشد. منابع متحرک با ۳۳٪ در فصول سرد و گردوغبار با ۳۷٪ در فصول گرم سال منابع عمده تولید ذرات می‌باشند. لازم به ذکر است، میزان مشارکت جرم آلی در فصول گرم سال نسبت به سایر زمان‌ها به میزان قابل توجهی تا ۱۵٪ افزایش یافته است.

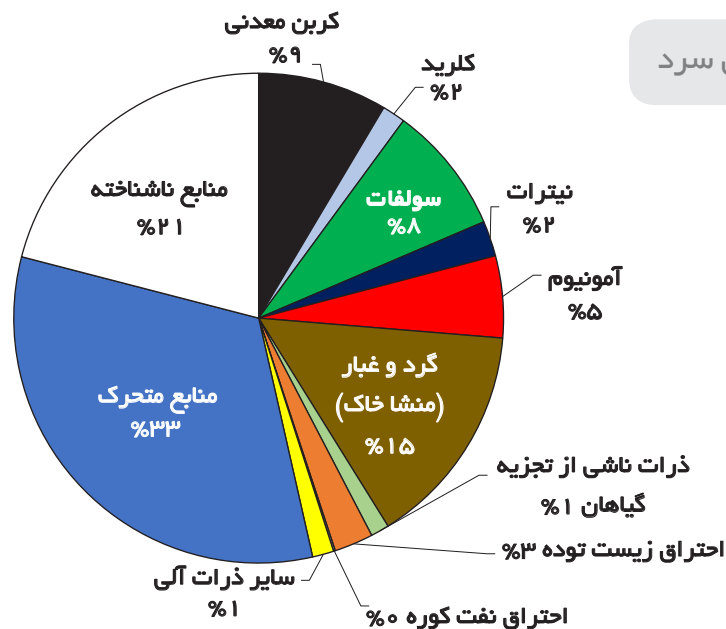


نمودار ۸-۳ جمع بندی سهم بندی منابع به کمک مدل CMB به دو دسته طبیعی و انسان ساز



نمودار ۸-۴ خلاصه نتایج حاصل از سهم‌بندی منابع انتشار ذرات معلق ریز (تشکیل یون‌های سولفات، آمونیم و نیترات به‌صورت ثانویه در هوای اتمسفر- تشکیل کربن معدنی از منابع متحرک خصوصاً وسایل نقلیه سنگین) (الف) سالانه ب) فصول گرم ج) فصول سرد

ج) فصول سرد



نمودار ۸-۴ خلاصه نتایج حاصل از سهم‌بندی منابع انتشار ذرات معلق ریز (تشکیل یون‌های سولفات، آمونیوم و نیترات به‌صورت ثانویه در هوای اتمسفر-تشکیل کربن معدنی از منابع متحرک خصوصاً وسایل نقلیه سنگین) الف) سالانه ب) فصول گرم ج) فصول سرد (ادامه)

نتایج حاصل از این مدل نشان داد اجزای تشکیل‌دهنده خاک موجود در پوسته زمین اصلی‌ترین نقش را در تغییرات انتشار ذرات معلق در هوای تهران داشته است. پس از آن منابع صنعتی سرب‌دار، ترکیبات و یون‌های ثانویه، احتراق نفت کوره و منابع سوختنی شامل وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی از عمده‌ترین منابع تغییرات $PM_{2.5}$ در هوای تهران بوده‌اند. این منابع غالباً مقدار زیادی فلزات سنگین تولید می‌کنند. این فلزات با اینکه جرم زیادی در ترکیب ذرات معلق ندارند، ولی به‌دلیل سمیت بالا، بسیار خطرناک می‌باشند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سمی در زمستان و در دوران وارونگی بیشتر و در نتیجه نگرانی از خطرات احتمالی آن‌ها بیشتر هست.

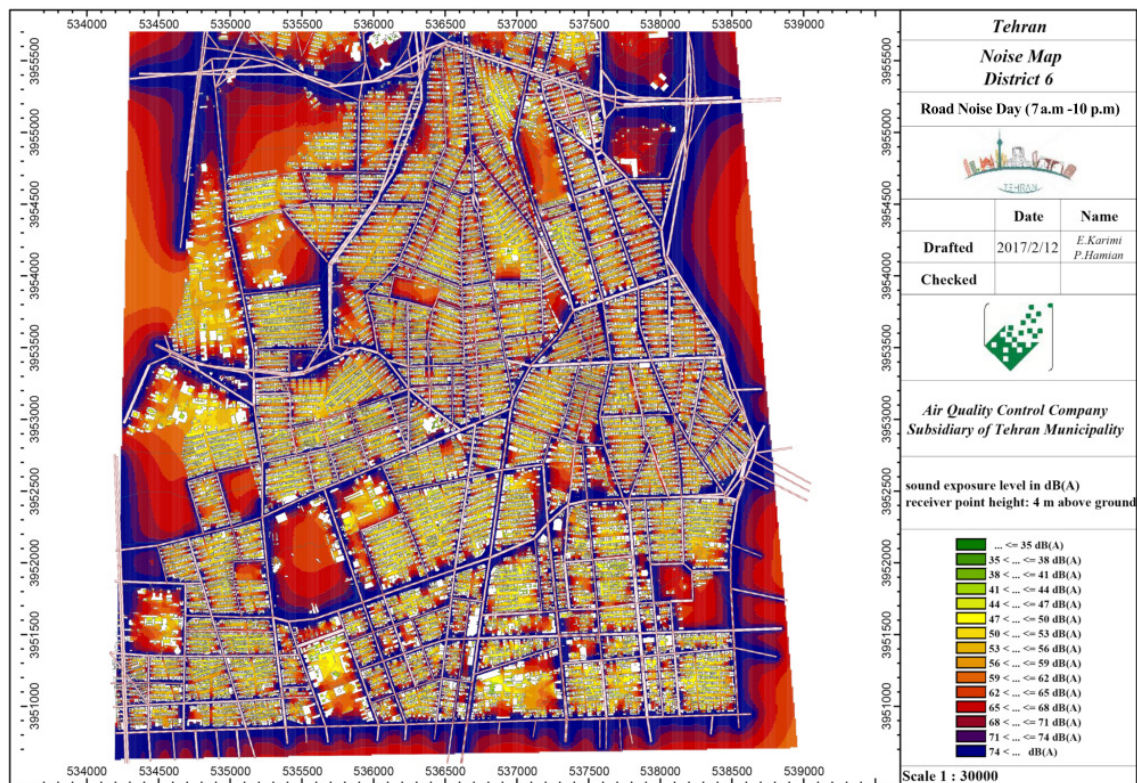
۸-۳- نقشه‌های آلودگی صوتی شهر تهران

آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست در نواحی شهری است که محصول توسعه و پیشرفت تکنولوژی می‌باشد. سروصدا یکی از معضلات اساسی دنیای امروز ما بوده و خیل عظیمی از افراد چه در محیط کار خود و چه در محل زندگی از آزار ناشی از آن در مخاطره‌اند. زندگی ماشینی سبب شده، انسان در محیطی پراسترس با منابع صدا و ارتعاش همزیستی توأم با ناراحتی را تحمل کند. با توجه به اهمیت این موضوع، شرکت کنترل کیفیت هوا با مشارکت شهرداری تهران شروع به انجام پروژه تهیه و تدوین نقشه‌های تراز صوتی و تعیین نقاط بحرانی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران نمود که هدف از اجرای آن تشخیص و تعیین میزان آلودگی صوتی در سطح مناطق و میزان خروج از حد مجاز می‌باشد تا با استفاده از آن بتوان نسبت به ارائه راهکارهای کاهش برای نقاط بحرانی اقدام نمود. تولید این نقشه‌ها توسط نرم‌افزار مدل‌ساز Soundplan از سال ۱۳۷۹ آغاز شد و تا سال ۱۳۹۱ ادامه داشت. طبق دستورالعمل اتحادیه اروپا -۲۰۰۲، به‌روزرسانی نقشه‌ها باید هر ۵ سال یک‌بار انجام شود. همچنین بر اساس مصوبه «برنامه عملیاتی کاهش آلودگی صوتی شهر تهران» مورخ ۱۳۹۴/۹/۷ شهرداری مکلف است نقشه‌های تراز صوتی بزرگراه‌های شهر تهران را هر ۶ ماه یک‌بار به‌روزرسانی نماید.

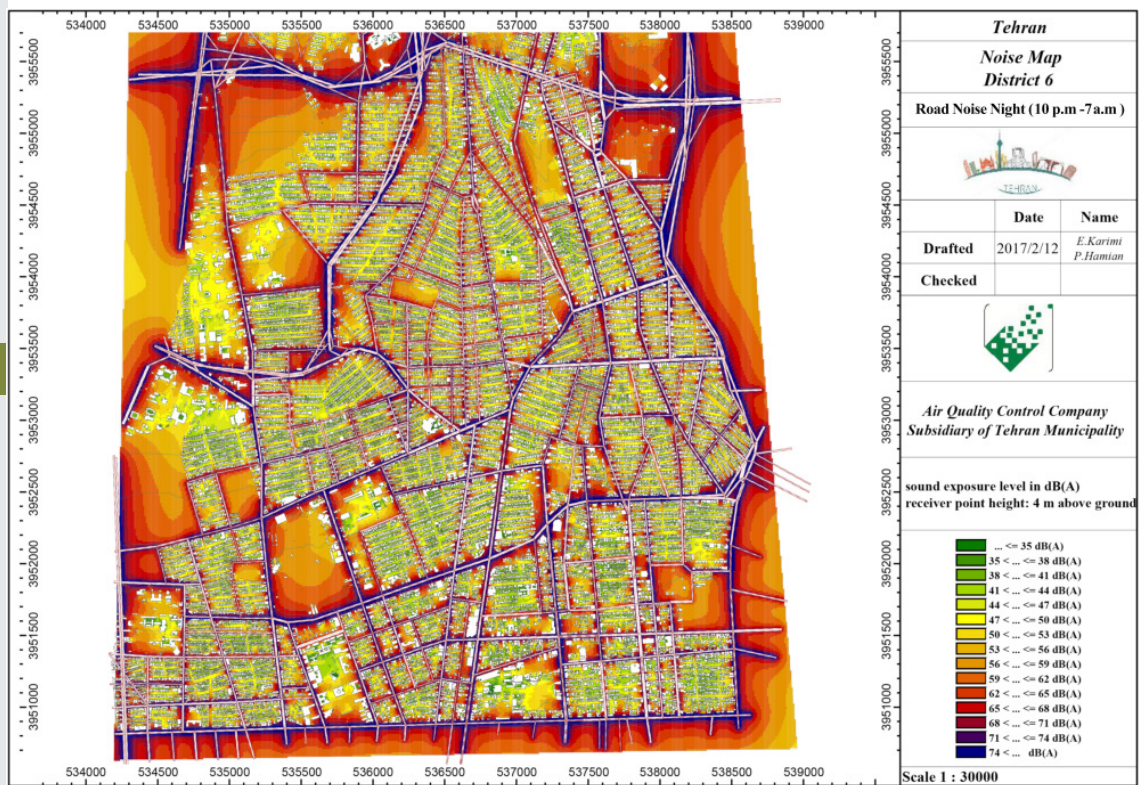
در حال حاضر نقشه‌های تراز صوتی مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران، توسط نرم‌افزار مدل‌ساز CadnaA که نرم‌افزاری است پیشرفته با قابلیت‌های مختلف از جمله پردازش حجم زیاد اطلاعات با سرعت بالا، در حال به‌روزرسانی است. منطقه ۶، اولین منطقه‌ای است که به‌روزرسانی شده است و سایر مناطق نیز در دست اقدام است.

نتایج حاصل از مدل‌سازی آلودگی صوتی منطقه ۶ در دو دوره زمانی شب و روز در شکل ۸-۵ و شکل ۸-۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، میزان تراز صدا ((Leq(dBA)) در بزرگراه‌های منطقه، بالای ۷۴ دسی‌بل می‌باشد و در نقشه با رنگ آبی نمایش داده شده است. این در صورتی است که بخش اعظم این

بزرگراه‌ها و خیابان‌ها از مجاورت مناطق مسکونی و حتی آموزشی عبور می‌کند و موجب نارضایتی و آزار ساکنین این مناطق شده است. لازم به ذکر است، میزان حد مجاز صدا برای کاربری مسکونی و آموزشی در دوره زمانی روز ۵۵ دسی‌بل و در دوره زمانی شب ۴۵ دسی‌بل می‌باشد.



شکل ۸-۶ مدل‌سازی تراز صوتی منطقه ۶ شهر تهران در دوره زمانی روز



شکل ۷-۸ مدل سازی تراز سوتی منطقه ۶ شهر تهران در دوره زمانی شب



O_3



SO_2



CO



AQI

۹

پیوست

جدول ۹-۱ مشخصات ایستگاه‌های فعال سنجش آلودگی هوای فعال شهر تهران در سال ۱۳۹۵
(متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا)

ایستگاه	منطقه	سال نصب و راه‌اندازی	آدرس
اقدسیه	۱	۱۳۷۹	میدان نوین‌یاد خیابان شهید لنگری، داخل سازمان هواشناسی
پارک رز	۲۲	۱۳۸۵	انتهای اتوبان شهید حکیم، داخل محوطه پارک رز
پونک	۲	۱۳۸۶	میدان پونک، خیابان عدل، پارک ترافیک
پیروزی	۱۳	۱۳۹۰	انتهای خیابان پیروزی، جنب پارک پیروزی، خدمات شهری
دانشگاه تربیت مدرس	۶	۱۳۹۱	تقاطع بزرگراه چمران و جلال آل احمد، داخل محوطه دانشگاه تربیت مدرس
شهرداری منطقه ۲۱	۲۱	۱۳۹۱	شهرک استقلال، خیابان عبیدی، داخل محوطه ساختمان چند منظوره ستاد بحران منطقه ۲۱
ستاد بحران	۷	۱۳۹۰	خیابان مطهری، بعد از خیابان مفتح، خیابان اکبری، داخل محوطه ستاد بحران
شاد آباد	۱۸	۱۳۹۰	بزرگراه فتح، بلوار الغدیر، بلوار ۱۷ شهریور، ناحیه ۴ شهرداری منطقه ۱۸
دانشگاه شریف	۲	۱۳۹۱	دانشگاه صنعتی شریف، جنب کارگاه های آموزشی
شهر ری	۲۰	۱۳۸۴	میدان نماز، فرهنگسرای ولاء
شهرداری منطقه ۲	۲	۱۳۹۲	سعادت آباد، بلوار شهرداری، داخل محوطه شهرداری منطقه ۲
شهرداری منطقه ۴	۴	۱۳۸۸	خیابان هنگام، ابتدای خیابان طاهر خانی، داخل محوطه شهرداری منطقه ۴
شهرداری منطقه ۱۰	۱۰	۱۳۸۸	تقاطع بزرگراه یادگار امام و خیابان آزادی، داخل ورزشگاه یادگار امام
شهرداری منطقه ۱۱	۱۱	۱۳۸۸	خیابان قزوین، داخل محوطه شهرداری منطقه ۱۱
شهرداری منطقه ۱۶	۱۶	۱۳۸۸	میدان بهمن، داخل محوطه شهرداری منطقه ۱۶
شهرداری منطقه ۱۹	۱۹	۱۳۸۸	ابتدای اتوبان شهید کاظمی پارک آموزش ترافیک منطقه ۱۹
صدر	۳	۱۳۹۴	تقاطع اتوبان صدر و مدرس، مرکز کنترل تونل نیایش و صدر
گلبرگ	۸	۱۳۸۷	بزرگراه رسالت، خیابان دردشت، خیابان ۷۲ شرقی اندیشه سرای گلبرگ
مسعودیه	۱۵	۱۳۸۷	شهرک مسعودیه، میدان شیرازی، ناحیه ۶ شهرداری منطقه ۱۵
میدان فتح	۹	۱۳۸۹	میدان آزادی، میدان فتح، داخل ستاد مدیریت بحران
محلاتی	۱۴	۱۳۸۹	اتوبان شهید محلاتی، خیابان نبرد خیابان میثم ناحیه ۵



شکل ۲-۹ موقعیت مکانی ایستگاه پارک رز



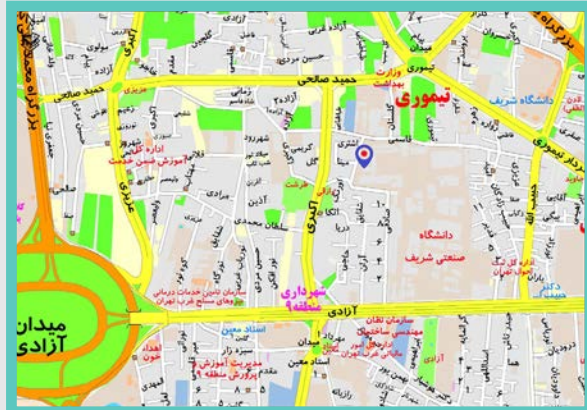
شکل ۱-۹ موقعیت مکانی ایستگاه اقدسیه



شکل ۴-۹ موقعیت مکانی ایستگاه پیروزی



شکل ۳-۹ موقعیت مکانی ایستگاه پونک



شکل ۶-۹ موقعیت مکانی ایستگاه دانشگاه شریف



شکل ۵-۹ موقعیت مکانی ایستگاه دانشگاه تربیت مدرس



شکل ۸-۹ موقعیت مکانی ایستگاه شادآباد



شکل ۷-۹ موقعیت مکانی ایستگاه ستاد بحران



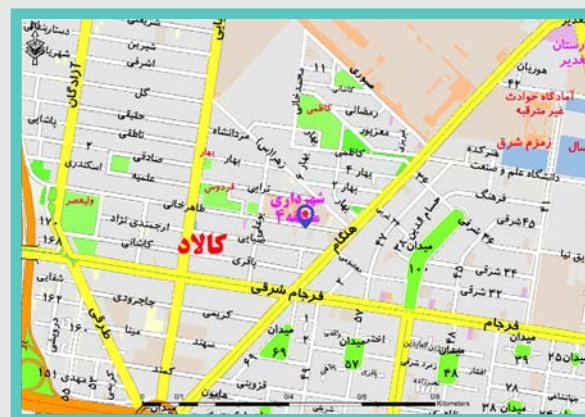
شکل ۹-۱۰ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۲



شکل ۹-۹ موقعیت مکانی ایستگاه شهری



شکل ۹-۱۲ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۱۰



شکل ۹-۱۱ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۴



شکل ۹-۱۳ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱



شکل ۹-۱۴ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۱۶



شکل ۹-۱۵ موقعیت مکانی ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹



شکل ۹-۱۶ موقعیت مکانی ایستگاه گلبرگ



شکل ۹-۱۸ موقعیت مکانی ایستگاه مسعودیه



شکل ۹-۱۷ موقعیت مکانی ایستگاه محلاتی



شکل ۹-۲۰ موقعیت مکانی ایستگاه صدر



شکل ۹-۱۹ موقعیت مکانی ایستگاه فتح



شکل ۹-۲۱ موقعیت مکانی ایستگاه منطقه ۲۱

منابع

1. 2016 International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank
2. <http://www.freudenberg-filter.com>
3. https://www3.epa.gov/airnow/ani/pm25_aqi_reporting_nowcast_overview.pdf
۴. آمارنامه شهر تهران در سال ۱۳۹۴، سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات
<http://tmicto.tehran.ir/Portals/0/Document/Amarname/AmarShahr93/index.html>
5. <https://www.airnow.gov/>
6. <http://www.esrl.noaa.gov/>
7. <http://weather.uwyo.edu/>
۸. اشرفی، خسرو؛ احمدی ارکمی، علی. تحلیل پایداری جوی و همبستگی آن با غلظت آلاینده های هوا: بررسی موردی بحران آلودگی هوای تهران. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۸، شماره ۳، ۱۳۹۳، صفحه ۴۹-۶۱.



Publications

Publications

- Amini, Heresh, et al. "Spatiotemporal description of BTEX volatile organic compounds in a Middle Eastern megacity: Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR)." *Environmental Pollution* 226 (2017): 219-229.
- Arhami, Mohammad, et al. "Seasonal trends, chemical speciation and source apportionment of fine PM in Tehran." *Atmospheric Environment* 153 (2017): 70-82.
- Hosseini, Vahid, and Hossein Shahbazi. "Urban Air Pollution in Iran." *Iranian Studies* 49.6 (2016): 1029-1046.
- Amini, Heresh, et al. "Annual and seasonal spatial models for nitrogen oxides in Tehran, Iran." *Scientific reports* 6 (2016).
- Shahbazi, Hossein, et al. "A GIS based emission inventory development for Tehran." *Urban Climate* 17 (2016): 216-229.
- Hassani, A., and V. Hosseini. "An assessment of gasoline motorcycle emissions performance and understanding their contribution to Tehran air pollution." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 47 (2016): 1-12.
- Shahbazi, Hossein, et al. "The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach." *Emission Control Science and Technology* 2.1 (2016): 44-56.
- Banitalebi, Ehsan, and Vahid Hosseini. "Development of hot exhaust emission factors for Iranian-made euro-2 certified light-duty vehicles." *Environmental science & technology* 50.1 (2015): 279-284.

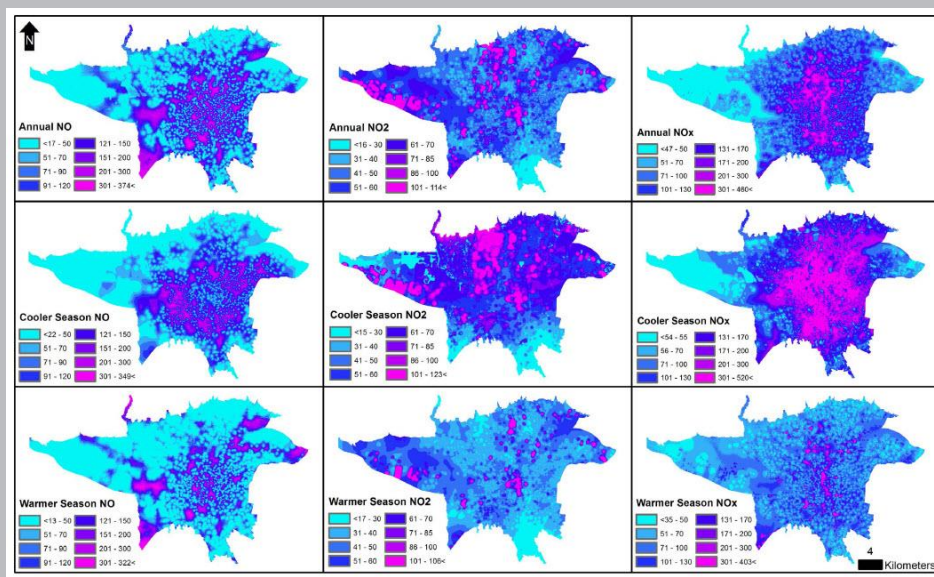


Figure 12- Estimated annual, cooler and warmer seasons NO, NO₂ and NO_x concentrations (ppb) from the final land use regression models in Tehran, Iran



References

- 1- Arhami, M., Hosseini, V., Shahne, M.Z., Bigdeli, M., Lai, A. and Schauer, J.J., (2017) Seasonal trends, chemical speciation and source apportionment of fine PM in Tehran, Atmospheric Environment, 153, 70–82
- 2- Amini H, Hosseini V, Schindler C, Hassankhany H, Yunesian M, Henderson S.B, Künzli N. Spatiotemporal description of BTEX volatile organic compounds in a Middle Eastern megacity: Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR). Environ Pollut. 2017; 226:219-229. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.04.027
- 3- Amini H, Taghavi-Shahri S.M, Henderson S.B, Hosseini V, Hassankhany H, Naderi M, Ahadi S, Schindler C, Künzli N, Yunesian M. Annual and seasonal spatial models for nitrogen oxides in Tehran, Iran. Sci Rep. 2016; 6:32970. DOI: 10.1038/srep32970

the additional 144 city-wide sites (7.9 and 58.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively). Overall, the observed ambient concentrations of toxic VOCs are a public health concern in Tehran.

The annual and seasonal LUR models were also developed for ambient oxides of nitrogen (NO , NO_2 , and NO_x) in the Middle Eastern city of Tehran, Iran. A novel systematic algorithm was developed for spatial modeling. The most predictive variables were: distance to the traffic access control zone, distance to primary schools, green space, official areas, bridges, and slope. At 1000 randomly-selected locations the correlations between cooler and warmer season estimates were 0.64 for NO , 0.58 for NO_x , and 0.30 for NO_2 . Seasonal differences in spatial patterns of pollution are likely driven by differences in source contributions and meteorology. These models provide a basis for understanding long-term exposures and chronic health effects of air pollution in Tehran.



Abstract

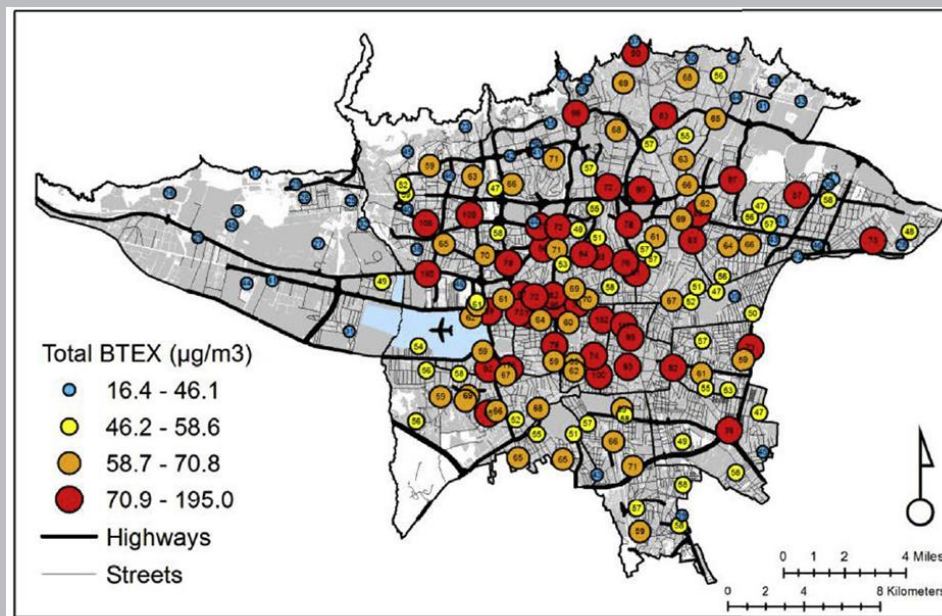


Figure 11 - Estimated annual mean Total BTEX over 179 Tehran SEPEHR sites. The classification is based on the quantile of observed values. Sites are labeled by their rounded annual mean concentration.

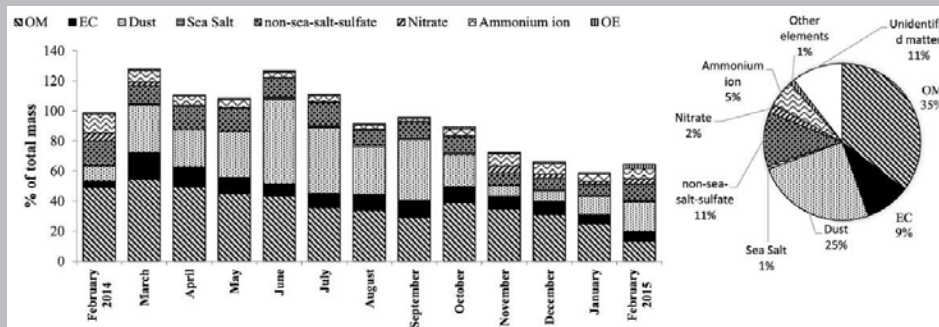


Figure 10 - The contribution of major mass constituents to $PM_{2.5}$ in Central Tehran.

- Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEP-EHR) [2, 3]

Air pollution in the urban environment is increasingly indicated as a significant factor affecting the public health. Within urban areas, traffic emissions are thought to be very significant and sometimes the most significant source of air pollution.

Here we present the design, methods, and results of the Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR).

The concentration of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, BTEX were measured at five reference sites and 174 distributed sites identified by a cluster analytic method in 3 seasons.

The annual median (25th-75th percentile) for benzene, the most carcinogenic of the BTEX species, was 7.8 (6.3 - 9.9) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and was higher than the national and European Union air quality standards at approximately 90% of the measured sites.

The annual median of benzene and total BTEX across the 35 sites in the Tehran regulatory monitoring network (7.7 and 56.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively) did a reasonable job of approximating





Abstract

study aims to identify the major components and heavy metals in $PM_{2.5}$, along with their seasonal trends and associated sources. 24-hour $PM_{2.5}$ samples were collected at a main residential station every 6 days for a full year, from February 2014 to February 2015. The sampling station was set up in the Sharif University of Technology campus. This air quality station is part of Tehran's air quality station network operated by Air Quality Company.

The chemical components samples were analyzed at the Water Science and Engineering Laboratory and the Wisconsin State Laboratory. All of the fiber filter was analyzed by Ion Chromatography (IC) for inorganic ions, including chloride, nitrate, phosphate, sulfate, sodium, ammonium, magnesium, and potassium.

The determined major mass components of $PM_{2.5}$ together accounted for 89% of the particulate mass on average. The determined dominant components were organic matter (35%), dust (25%), non-sea salt sulfate (11%), EC (9%), ammonium (5%), nitrate (2%), OE (1%), and sea salt (1%). The contributions of different components varied considerably throughout the year. The particulate OM was the dominant component during most of the year, with a contribution of 13 - 54% (average of 35%). Organic matter and EC together comprised 44% of fine PM on average (increased to >70% during the colder season), reflecting the significance of anthropogenic urban sources (i.e. vehicles). Most of the OC was formed from water-insoluble compounds ($82.5 \pm 4.3\%$ on average), suggesting a large contribution from the incomplete combustion of fossil fuels (mainly by vehicles). On the other hand, dust oxides dominated during the hot and dry months of June to September and comprised 32 - 56% of $PM_{2.5}$. The levels of major heavy metals, such as As, Cd, Rh, Cu, Sn, Pb, Tl, Cl, Ag, Sb, Ni, and V, were highly influenced by anthropogenic sources, such as industry, residual oil combustion, and vehicles. The levels of these heavy metals increased during cold seasons. The information provided in this study regarding major components and heavy metals in fine PM could aid in investigations about health outcomes and associated sources, as well as inform efforts to develop effective countermeasures and control strategies.

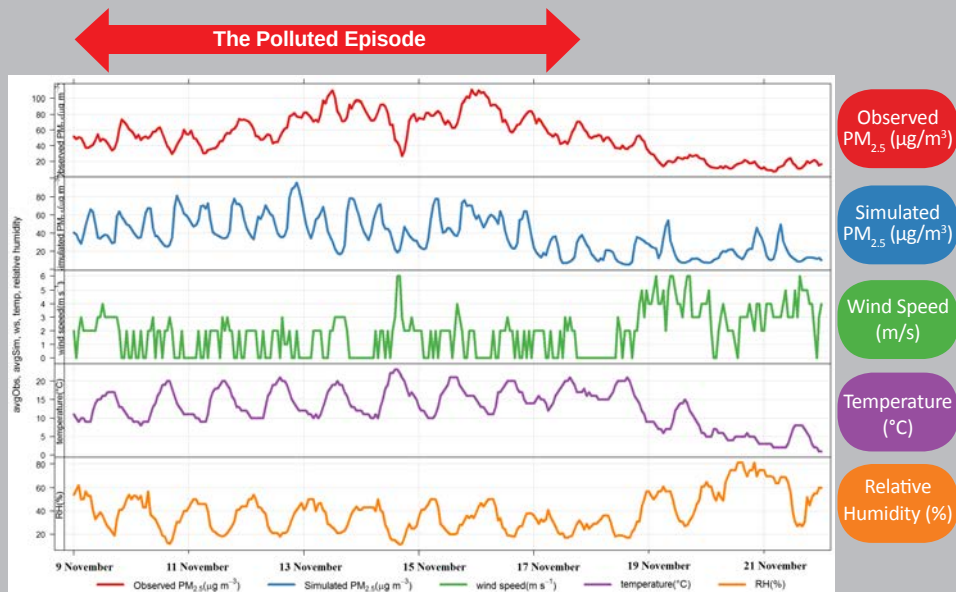


Figure 9 – A comparison of simulation outputs with the observations of $PM_{2.5}$ surface concentrations for November 9 to November 21, 2016



There are a variety of projects being conducted at AQCC. The two most prominent projects completed during the recent years are as follows:

- Chemical analysis of fine particulate matter ($PM_{2.5}$) in the ambient air of Tehran for source apportionment [1]

Airborne fine particulate matter, or particles with an aerodynamic diameter smaller than $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$), cause profound adverse health effects and environmental impacts, such as reducing visibility and affecting climate and ecosystems.

Little is known of the composition and sources of these particles for Tehran, Iran, so this



Abstract

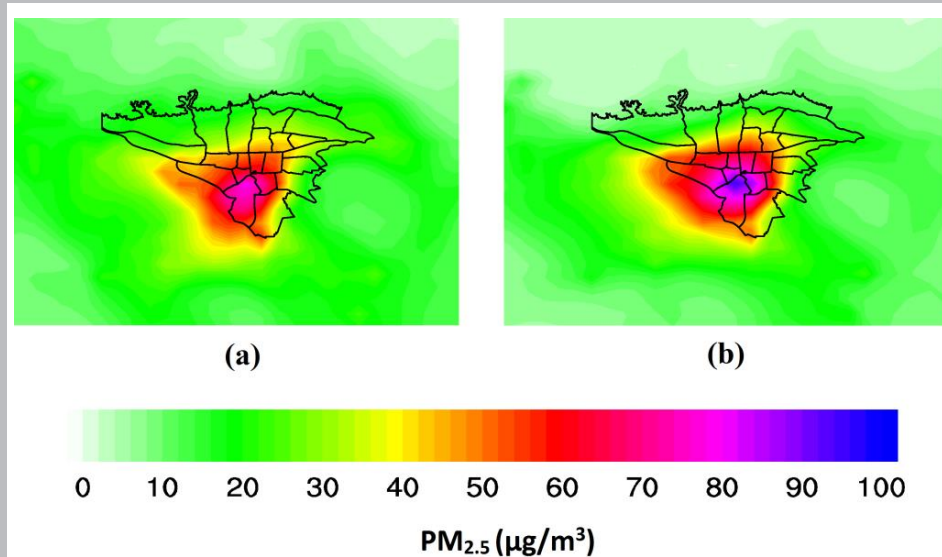


Figure 8 - The spatial distribution of the simulated daily mean $PM_{2.5}$ concentrations over Tehran for November 9, 2016 (a), and November 15, 2016 (b)

A comparison between the model results and observations with respect to changes in some meteorological parameters is shown in Figure 9. Based on this figure, some trends are common to both observational data and simulated outputs. The significant increase in observed and simulated $PM_{2.5}$ is clear during the polluted episode (November 9 to November 18, 2016). Also, the gradual increase in atmospheric instability (including the increase in wind speed and precipitation on some days) since November 19 has led to a decrease in both measurements and simulated results.

atmospheric conditions dominated most days in that episode, and thus the atmospheric conditions intensified the surface temperature inversions. A combination of the WRF model (weather research and forecasting) and CAMx model (comprehensive air quality model with extensions) was used to reproduce the spatial distribution of gas phase and particle phase air pollutant concentrations for this episode. The recently developed emission inventory was used by the CAMx model as Tehran's anthropogenic emission inventory. Figure 8 presents the spatial distribution of the simulated daily mean $PM_{2.5}$ concentrations over Tehran for November 9, and November 15, 2016.

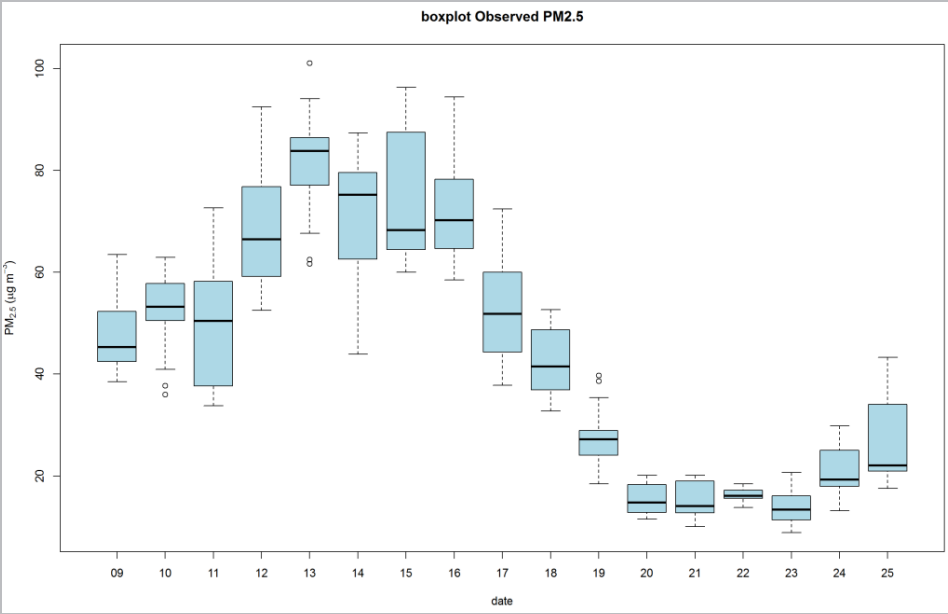


Figure 7 - Daily box plot of $PM_{2.5}$ concentrations during the studied episode (November 9 to November 25, 2016)





Abstract

In addition, in the present report, the emission inventory of the city of Tehran was estimated for the base year (March 21, 2013 to March 20, 2014) and for CO, NOx, SOx, volatile organic compounds (VOCs), and PM. The estimated emission inventory considers Tehran's stationary and mobile sources in calculating the pollution production. Mobile sources refer to transportation activities (mostly vehicular sources in this study), which include personal vehicles, taxis, motorcycles, pickup trucks, minibuses, buses, and trucks; the stationary sources comprise all industrial activities in the residential, commercial, and energy conversion sectors (including power plants and refineries), terminals, and petrol stations. The findings indicate that Tehran's annual rate of pollution production from the studied sources was approximately 727 k tons per year, with the contributions of the stationary and mobile sources found to be 15% and 85%, respectively. The individual examination of source apportionment in the emission of each pollutant shows that mobile sources contributed to producing 98%, 47%, 6%, 86%, and 70% of the city's CO, NOx, SOx, VOCs, and PM, respectively, and the remainder was generated by stationary sources (see Table 1).

Table 1 - Annual emission of air pollutants in Tehran (%)

Source	NOx	CO	PM
Stationary	53.2%	2.5%	29.8%
Mobile	46.8%	97.5%	70.2%
(Sub-total)	100%	100%	100%

A comprehensive assessment of an episode in Tehran, which occurred from November 9 to November 25, 2016, is also presented in this report. Daily variations in PM_{2.5} concentrations during the studied episode are shown in figure 7. The weather analysis showed that stable

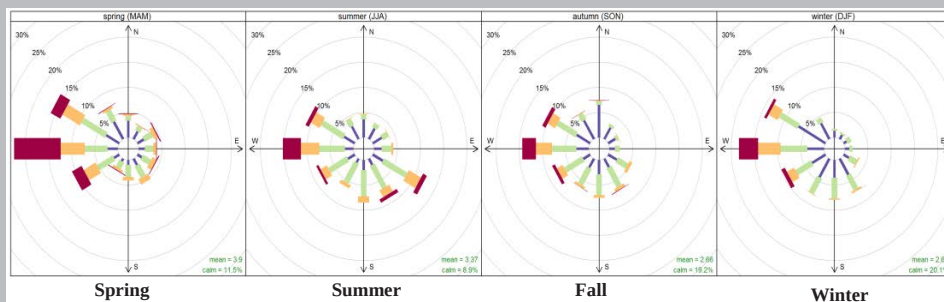


Figure 5 – The seasonal change in wind rose plots in 1395
(March 20, 2016 to March 20, 2017)

Moreover, this report investigated the role of weather parameter variations in the spatial distribution and dispersion of airborne particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) for two phenomena: dust and atmospheric instability conditions with rain precipitation. Figure 6 is an example of such an analysis of the dust phenomenon. The findings reveal a direct relationship between weather conditions and processes that affect particulate matter dispersion and their atmospheric lifetime.



Abstract

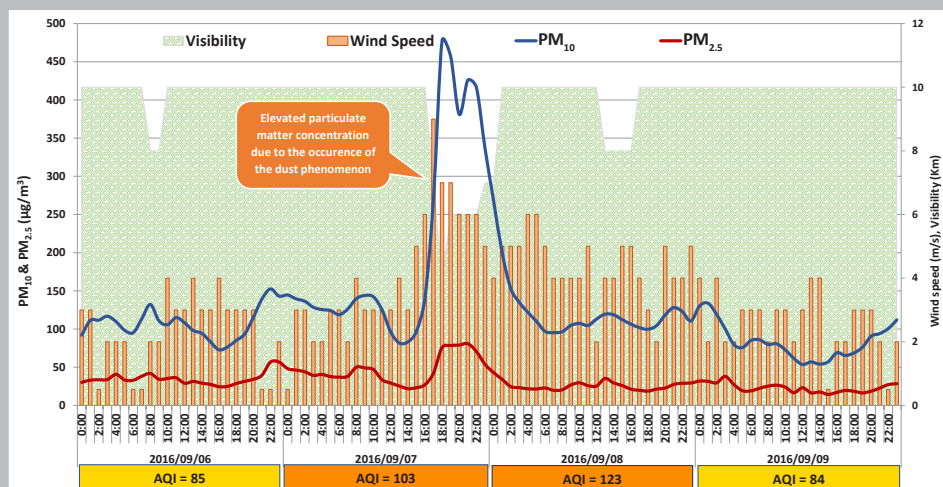


Figure 6 - The impact of the dust phenomenon on PM_{10} & $PM_{2.5}$ concentrations



Abstract

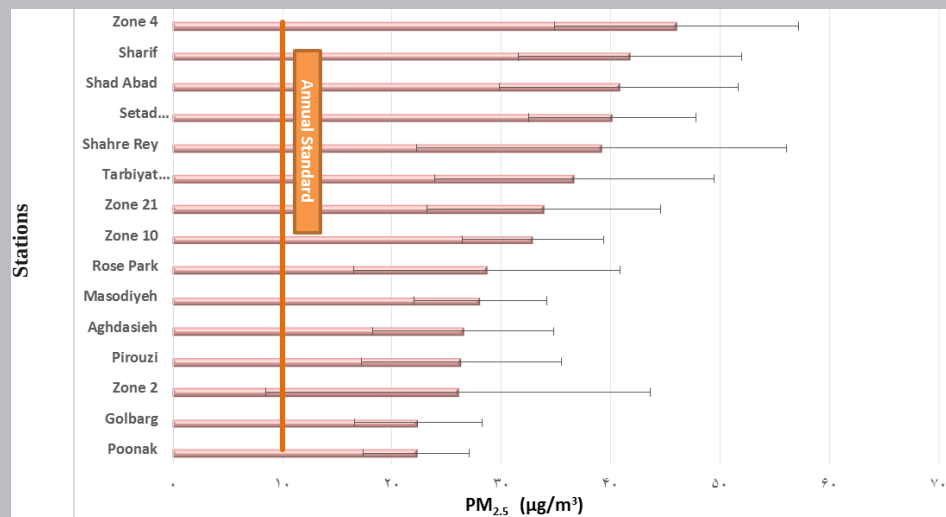


Figure 4 - Annual mean concentrations of PM_{2.5} measured at different stations in Tehran during the year 1395 (March 20, 2016 to March 20, 2017) (µg/m³)

The significant effect of meteorological patterns on Tehran's air quality is indisputable. The present report also evaluated the relative changes in some meteorological parameters (surface pressure, wind speed, wind direction, relative humidity, temperature, etc.) for the studied period compared with the same period in the previous year. The result indicates a slight change in the main meteorological parameters (from -5% to +5%). In addition, examining wind rose plots could help with better understanding the wind pattern at a particular site. Figure 5 shows the seasonal change in the wind pattern for Mehr-Abad weather station. According to this figure, the western winds are the prevailing winds for all seasons and the highest wind speed is observed in spring, which is associated with the best air quality in comparison with the rest of the studied year.

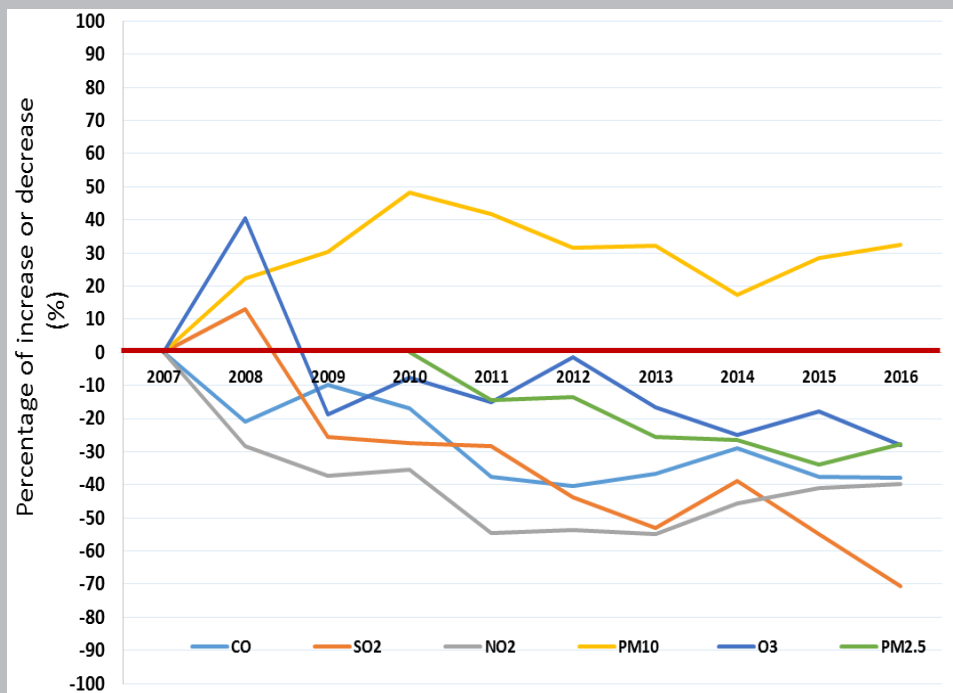


Figure 3- Trend in annual mean concentrations of pollutants in Tehran between 2007 and 2016 (%)
(2007 is the base year)

Overall, the particulate matter, including $PM_{2.5}$ and PM_{10} , was considered to reflect unhealthy conditions in Tehran, and all polluted days were associated with increases in these pollutants (mainly $PM_{2.5}$). The concentrations of particulate matter measured at all air quality monitoring stations in Tehran exceeded the national standard annual means (see Figure 4).



Abstract



Abstract

The highest number of days with polluted air quality conditions occurred during the months of December, January, and November. However, the worst AQI (159) during the studied period was observed on January 9, and occurred as a result of the dominance of stable atmospheric condition. In contrast, the best air quality index was recorded during the months of March and April (March 21, 2016 to April 20, 2016), which had 10 clean days, and 21 days of healthy conditions. Also, the period between April 21, 2016 to May 21, 2016 with 1 clean day and 30 healthy days was among the best air quality periods. The cleanest day (AQI = 35) was observed on two days, March 20, 2016 and March 30, 2016, and was mainly caused by an increase in unstable atmospheric conditions and reduced urban traffic volume.

In recent years, various types of particulate matter, especially those with a diameter less than 2.5 micrometers ($PM_{2.5}$) have been established as criteria pollutants in Tehran. There were 88 reported days of unhealthy conditions due to $PM_{2.5}$ and 6 days related to PM_{10} (particulate matter with a diameter less than 10 micrometers) over the studied period.

Tehran's major pollutants have shown a slightly decreasing trend over the last ten years, though a relatively increasing trend has been observed for pollutants such as PM_{10} , $PM_{2.5}$, and NO_2 since last year. The trend in annual mean concentrations of criteria air pollutants (O_3 , CO, NO_2 , and SO_2 [ppb] and PM_{10} and $PM_{2.5}$ [$\mu g/m^3$]) over Tehran from 2007 to 2016 are shown in Figure 3. The relative changes in annual mean concentration of pollutants have been calculated by considering the year 2007 as the base year. According to figure 3, concentrations of PM_{10} have increased by 32% over the period, and SO_2 have shown greatest reductions (by about %70 with respect to the base year), whereas CO concentrations have decreased by about %40.

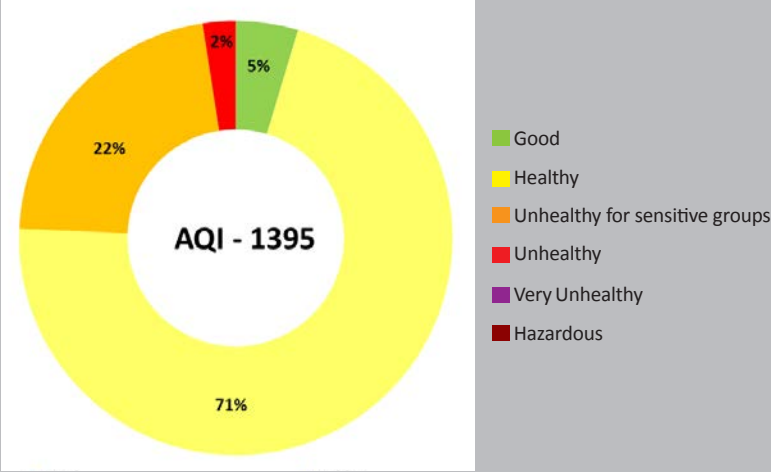


Figure 1- Air Quality Index Summary (March 20, 2016–March 20, 2017) (percent)

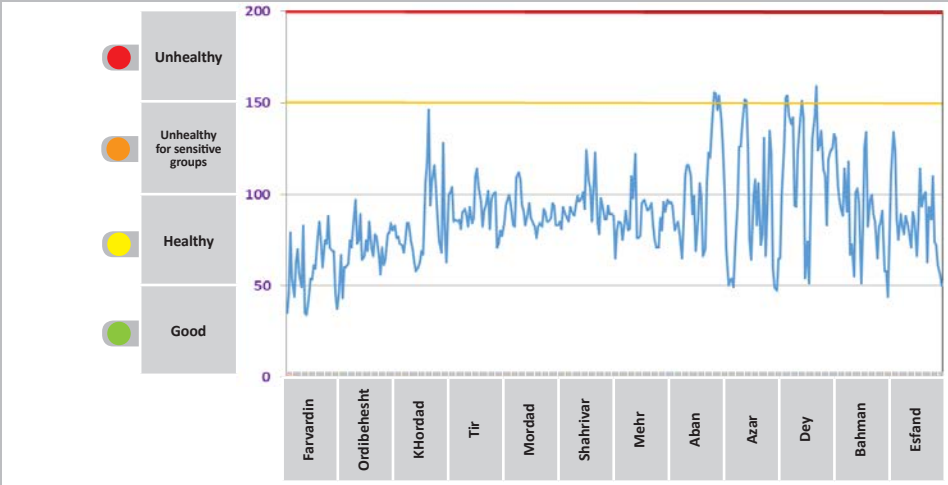


Figure 2- Daily Air Quality Index during the year 1395 (March 20, 2016–March 20, 2017)



Abstract



Abstract

Abstract

Air pollution condition is one of the most critical environmental problems that Tehran faces presently. Industrial development, rapid population growth, urbanization, transportation development, and increasing fuel consumption are the main factors that have contributed to making Tehran's air pollution one of the greatest challenges for its inhabitants. Since air pollution has a disproportionately large impact on public health and visibility in Tehran, the importance of detecting pollutants, their sources and influential factors is therefore emphasized.

The present report provides a comprehensive assessment of Tehran's air quality during the period of March 20, 2016 to March 20, 2017, alongside an investigation of the spatial and temporal variations in air pollutant concentrations; this is the sixth such report that has been published by the Tehran Air Quality Control Company. In addition, the meteorological parameters associated with significant effects on air pollution distribution are evaluated in this report, and the source apportionments of air pollutants produced by stationary and mobile sources are calculated.

Based on the Air Quality Index (AQI) calculated by the methods described in the Iranian National Standards, the period under study consisted of 17 clean days ($AQI \leq 50$), 260 days with healthy conditions ($50 < AQI \leq 100$), 80 days of unhealthy conditions for sensitive groups ($100 < AQI \leq 150$), and 9 days of unhealthy conditions ($150 < AQI \leq 200$). In total, the number of polluted days decreased by 22 days compared with the last year. Figure 1 provides a summary of the air quality categories during this time interval, and Figure 2 presents the variations in daily AQI values over the studied year.

Tehran Annual Air Quality Report

Period of March 2016-March 2017

Summary

Report Code: QM96/02/01(U)/1

Contributions by:

Air Quality: Maryam Naderi – Mohsen Roshani – Masoome Abbasian

Meteorology: Sara Torbatian

Emission Inventory & Modeling: Hossein Shahbazi

Scientific Supervisor: Dr.Vahid Hosseini, Maryam Naderi

Production Supervisor: Leila Nazari

Photographer: Omid Jafarnezhad

Cover Designer: Solmaz Ahadi

Contributions by: Ahmad Taheri, Elham Karimi, Amir Najafi, Hossein Hassankhany, and Tayebbeh Mirabedini

First Volume

Date: April-May 2017

This report is an English summary of Tehran's annual air quality report. It gives an overview of pollutant concentrations during the period of March 2016-March 2017.

The complete report in Persian can be found at: <http://air.tehran.ir/Default.aspx?tabid=471>

Tehran's complete air quality data can be accessed on AQCC website: <http://airnow.tehran.ir/>

Any use of part of this report should mention "Tehran Annual Air Quality Report, period of March 2016-March 2017, QM96/02/01(U)/1".

Contact Us

Air Quality Control Company, subsidiary of Tehran Municipality

No.2, Mehrdad St., Motahari Ave., Tehran, Iran

Phone: +98 (21) 88832340

Fax: +98 (21) 88832338

www.air.tehran.ir

NO_2     CO 
 O_3   SO_2  $PM_{2.5}$
 PM_{10} **Tehran Annual** 

Air Quality Report

Period of March 2016- March 2017

     **AQI** 



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران

AirQualityControl Company

Subsidiary of Tehran Municipality



air.tehran.ir

