



شرکت کنترل کیفیت هوا
وابسته به شهرداری تهران
AirQuality Control Company
Subsidiary of Tehran Municipality

گزارش
کیفیت هوا و صدای شهر تهران
سال ۱۴۰۳

شناسنامه گزارش

تهیه‌کننده	**شرکت کنترل کیفیت هوا**	
کد گزارش	QM1404/06/01(U)/1	
عنوان گزارش	گزارش کیفیت هوا و صدای تهران در سال ۱۴۰۳	
نویسندگان	بخش‌های آلودگی هوا	سولماز احدی، محسن روشنی
	بخش هواشناسی	حسین شهبازی، سید محمود خوانساری
	بخش آلودگی صوتی	الهام کریمی
همکاران	اندازه‌گیری آلودگی هوا	محسن روشنی، سید محمد خلیلی
	تائید اطلاعات آلودگی هوا	طیبه میرعابدینی
	اندازه‌گیری آلودگی صدا	امیر نجفی، مهران حسین‌نژاد
ناظر فنی	منا خلیلی، حسین مقدم	
ناظر چاپ	حسین حسنخانی	
تاریخ	شهریور ماه ۱۴۰۴	
نحوه ارجاع	ذکر مطالب گزارش با مجوز شرکت کنترل کیفیت هوا و ذکر مرجع زیر بلامانع است: "گزارش سالانه کیفیت هوا و صدای تهران در سال ۱۴۰۳ "، QM1404/06/01(U)/1، شهریورماه ۱۴۰۴	
نسخه آنلاین	فایل پی‌دی‌اف این گزارش در وب‌سایت شرکت کنترل کیفیت هوا به آدرس http://air.tehran.ir قابل‌دسترسی می‌باشد.	
چاپ	همشهری	
طراح و صفحه‌آرا	محمود احمدی	

چکیده

گزارش پیش‌رو چهاردهمین سند منتشرشده از سوی شرکت کنترل کیفیت هوا می‌باشد که کیفیت هوا و صدای شهر تهران را در سال ۱۴۰۳ در یک مجموعه منسجم موردبررسی قرار داده و وضعیت غلظت و شاخص آلاینده‌های هوا و تراز صدا را از بعد زمانی و مکانی تحلیل نموده است. همچنین در این گزارش پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر وضعیت غلظت آلاینده‌های هوا در شهر تهران موردبررسی قرار گرفته است.

بر طبق این گزارش، شهر تهران طی سال ۱۴۰۳، دارای ۷ روز پاک (۱/۹ درصد)، ۲۱۳ روز قابل‌قبول (۵۸/۲ درصد)، ۱۲۷ روز ناسالم برای گروه‌های حساس جامعه (۳۴/۷ درصد) و ۱۹ روز ناسالم (۵/۲ درصد) و بدون روز بسیار ناسالم و خطرناک بوده و در مجموع تعداد روزهای دارای شرایط نامطلوب از ۱۱۹ روز در سال ۱۴۰۲ به ۱۴۶ روز در سال ۱۴۰۳ افزایش قابل‌توجهی یافته است.

طی سال ۱۴۰۳ در ۱۲۳ روز آلاینده $PM_{2.5}$، ۳۹ روز آلاینده O_3 و ۱۴ روز آلاینده PM_{10} فراتر از حد مجاز بوده‌اند و در مورد آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO هیچ روز فراتر از حد مجازی ثبت نگردیده است. در مجموع تعداد روزهای آلوده در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۴۰۲ از نظر آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و O_3 بیشتر و در مورد آلاینده PM_{10} کمتر بوده است. شایان ذکر است، طی سال ۱۴۰۳ در ۲۶ روز بیش از یک آلاینده فراتر از حد مجاز قرار داشته که در ۴ روز آن سه آلاینده به‌صورت هم‌زمان و در ۲۲ روز آن دو آلاینده معیار فراتر از حد استاندارد بوده‌اند. بیشترین شاخص آلودگی در سال ۱۴۰۳ عدد ۱۷۴ بوده که در روز ۲۹ آذر به دلیل افزایش $PM_{2.5}$ ثبت شده است. پاک‌ترین روز سال هم روز ۲ فروردین با شاخص ۴۰ بوده است.

ماه مرداد با ۲۷ روز و دی‌ماه با ۲۵ روز بیشترین تعداد روزهای نامطلوب را داشته‌اند. همچنین

چکیده

در آذرماه ۹ روز ناسالم برای همه افراد و در مجموع ۱۸ روز با آلودگی بالا ثبت شده است. در فروردین و اردیبهشت همه روزها در شرایط پاک یا قابل‌قبول بوده‌اند و فروردین بهترین کیفیت هوا را در طول سال ۱۴۰۳ به خود اختصاص داده است.

از منظر غلظت سالانه طی سال ۱۴۰۳، آلاینده‌های $PM_{2.5}$، O_3، CO، کربن سیاه (BC) و NO_2 نسبت به سال ۱۴۰۲ افزایش یافته، ولی PM_{10} و SO_2 کاهش داشته‌اند.

در بازه ده ساله منتهی به ۱۴۰۳، این سال با حدود ۳۹/۹ درصد روز آلوده، دومین سال آلوده بوده است. همچنین از منظر تعداد روزهای آلوده به تفکیک دو آلاینده اصلی و شاخص شهر تهران شامل $PM_{2.5}$ و O_3، به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار داشته است. آلاینده $PM_{2.5}$ مهم‌ترین آلاینده تهران است که بیشترین سهم روزهای آلوده را دارد (حدود ۳۴ درصد). این آلاینده علاوه بر انتشار مستقیم، از واکنش‌های شیمیایی در جو نیز تولید می‌شود و این ذرات ثانویه معمولاً خطرناک‌تر بوده و می‌توانند اثرات منفی بیشتری روی سلامت و اقلیم داشته باشند.

آلاینده ازن نیز دومین آلاینده مهم تهران است که در روزهای گرم سال سلامت مردم را تهدید می‌کند. سهم روزهای آلوده از منظر این آلاینده در سال ۱۴۰۳ در حدود ۱۱ درصد بوده و عموماً در ماه‌های خرداد تا شهریور و در ساعات گرم و آفتابی افزایش یافته است. تولید این آلاینده بسیار پیچیده بوده و برای کنترل آن باید سیاست‌های جامع و هماهنگ برای همه پیش‌سازهای آن تدوین شود.

ذرات PM_{10} سومین آلاینده مهم شهر تهران بوده که در حدود ۴ درصد روزهای سال ۱۴۰۳ در شرایط نامطلوب قرار داشته است. افزایش این آلاینده معمولاً به دلیل گرد و خاک و ریزگردها رخ داده که

چکیده

با تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر به‌ویژه در ماه‌های گرم و خشک تشدید شده است. در بیشتر روزهای سال، غلظت دی‌اکسید نیتروژن در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران در حد استاندارد روزانه بوده و وضعیت مطلوبی داشته اما در برخی ایستگاه‌ها، افزایش غلظت این آلاینده مشاهده شده است. این آلاینده هم به صورت مستقیم از منابع انتشار تولید شده و هم به عنوان آلاینده ثانویه در اثر واکنش‌های شیمیایی در هوا تشکیل می‌گردد. همچنین NO_2 نقش مهمی در تولید ذرات معلق و آلاینده ازن دارد. بنابراین، لازم است تلاش‌ها برای کاهش انتشار این آلاینده افزایش یابد.

در سال ۱۴۰۳، غلظت دی‌اکسید گوگرد در ایستگاه‌های شهر تهران در وضعیت مناسبی قرار داشته است. کاهش میزان سولفور در سوخت‌های مصرفی طی سال‌های اخیر باعث کاهش قابل توجه این آلاینده گردیده با این حال در برخی اوقات به‌ویژه در فصل‌های سرد سال، به دلیل فعالیت نیروگاه‌ها، صنایع و پالایشگاه‌ها، غلظت SO_2 تحت تأثیر میزان و کیفیت سوخت مصرفی در این بخش‌ها افزایش یافته است.

در سال‌های اخیر، میانگین غلظت منواکسید کربن در شهر تهران در حد مطلوبی بوده است. دلیل اصلی این بهبود، ارتقاء استانداردهای خودروها و استفاده از کاتالیست بوده که نشان‌دهنده اهمیت جدی‌گرفتن استانداردها در وسایل نقلیه و دیگر منابع آلودگی است.

اندازه‌گیری کربن سیاه از سال ۱۳۹۶ در برخی ایستگاه‌های شهر تهران آغاز شده و در سال ۱۴۰۳ یک دستگاه سنجش جدید به شبکه پایش این آلاینده افزوده شده است. غلظت کربن سیاه نسبت به سال گذشته افزایش یافته که بخشی از این افزایش به دلیل اضافه شدن ایستگاه جدید در منطقه‌ای پرتردد بوده است.

چکیده

گروه BTEX شامل بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن‌ها بوده و شرکت کنترل کیفیت هوا در سال ۱۴۰۳ ایستگاه شریف را به دستگاه سنجش این ترکیبات مجهز کرده است. در این گزارش برای اولین بار وضعیت این سری از ترکیبات آلی فرار موردبررسی قرار گرفته‌است. اطلاعات برداشت‌شده نشان می‌دهد، میانگین سالانه غلظت بنزن در سال ۱۴۰۳ از حد استاندارد ایران (۱/۵ ppb) فراتر بوده لذا با توجه به خطرات بهداشتی مانند سرطان خون، شناسایی و کنترل منابع انتشار این آلاینده ضروری است.

در فصل چهارم این گزارش به بررسی وضع هوای شهر تهران در طی سال ۱۴۰۳ و مقایسه آن با سال گذشته پرداخته شده است. همچنین روند تغییرات میانگین بلندمدت وضع هوای شهر تهران در بازه سیزده ساله (۱۳۹۱-۱۴۰۳) مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، کمیت‌های هواشناسی شامل دما، سرعت باد، جهت باد، فشار و رطوبت نسبی بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد برای بازه بلند مدت و به‌صورت روزانه، ماهانه و فصلی تحلیل شده است. نتایج مطالعات حاکی از آن است در دوره بلند مدت بیشترین سرعت باد مربوط به فصل بهار و کمترین آن مربوط به فصل پاییز است. علاوه بر این مشاهده شد که روند تغییرات سرعت باد در فصل پاییز از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۹ به‌طور معنی‌داری کاهشی بوده، در سال های بین ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ افزایش نسبی داشته اما در سال ۱۴۰۳ شاهد کاهش میانگین سرعت باد بوده‌ایم. روند تغییرات دما طی دوره بلند مدت ازنظر آماری معنی‌دار نبوده است، با این حال بررسی‌ها نشان داد در فصل بهار طی سه سال اخیر مقادیر دما کاهش یافته است. بررسی تغییرات رطوبت نسبی در بازه بلند مدت نشان داد که بیشترین مقادیر رطوبت نسبی در فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان است. همچنین طی ۴ سال اخیر روند افزایش مقدار رطوبت نسبی

چکیده

در فصل های بهار و تابستان قابل مشاهده است.

بررسی وضع هوا در سال ۱۴۰۳ و مقایسه آن با سال گذشته نشان داد که سرعت باد در فصل تابستان و بهار کمتر و در فصل زمستان اندکی بیشتر از سال گذشته بوده و در فصل پاییز تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. در مقایسه فصلی دما مشاهده می‌شود که فصل بهار، پاییز و زمستان اندکی خنک‌تر و فصل تابستان تقریبا مشابه سال گذشته بوده است. رطوبت نسبی نیز در فصل بهار، پاییز و زمستان مقادیر بیشتری نسبت به سال گذشته نشان می‌دهد.

در فصل پنجم بر مبنای آخرین اطلاعات ترافیکی موجود، نقشه تراز صوتی شهر تهران ترسیم و بر اساس آن حریم صوتی بزرگراه‌ها مشخص گردیده است. همچنین از اطلاعات ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت جهت ارزیابی وضعیت آلودگی صوتی در مناطق مختلف، طی دوره‌های زمانی روز و شب و صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی صوت استفاده شده است.

طبق نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ایستگاهها، میانگین تراز صوتی تمامی ایستگاه‌ها در سال ۱۴۰۳ در دوره زمانی روز ۶۹/۲۲ و در دوره زمانی شب ۶۶/۶۴ دسی‌بل می‌باشد. در بین ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت، ایستگاه‌های شهید گمنام و گلبرگ به ترتیب با میانگین تراز صوتی ۷۲/۵۵ و ۵۷/۵۵ دسی‌بل بیشترین و کمترین تراز صوتی را برای دوره زمانی روز نشان می‌دهند. ایستگاه‌های بزرگراه افسریه و منطقه۲۲ نیز به ترتیب با میانگین تراز صوتی ۷۲/۸۲ و ۵۵/۶۵ دسی‌بل بیشترین و کمترین تراز صوتی را در دوره زمانی شب نشان می‌دهند. لازم به ذکر است با توجه به ماهیت صدا که با افزایش فاصله از منبع صوت میزان تراز صوت دریافتی کاهش می‌یابد، یک ایستگاه در یک نقطه از منطقه به‌تنهایی نمی‌تواند نماینده آلودگی صوتی کل منطقه باشد. بااین‌وجود با مقایسه نتایج ایستگاه‌ها، به‌صورت تخمینی مشخص می‌گردد کدام مناطق در شرایط بحرانی‌تری قرار دارند.

۱۸ سخن مدیر عامل

۲۱ فصل اول کلیات و تعاریف

۲۲ ۱ - کلیات و تعاریف
۲۳ ۱-۱- آمارهای بین‌المللی منتسب به تأثیرات بهداشتی و هزینه‌های مالی آلودگی هوا
۳۲ ۱-۲- کمی‌سازی اثرات بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در کشور
۳۳ ۱-۳- چه کسانی بیشتر در معرض آلودگی هوا هستند؟
۳۴ ۱-۴- چه اندام‌هایی تحت تأثیر آلودگی هوا هستند؟
۳۵ ۱-۵- چه بیماری‌هایی با قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا مرتبط هستند؟
۳۶ ۱-۶- منابع انتشار و اثرات بهداشتی آلاینده‌های معیار
۴۱ ۱-۷- جدیدترین رهنمود جهانی کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۲۰۲۱
۴۴ ۱-۸- استاندارد هوای آزاد در ایران
۴۷ ۱-۹- شاخص کیفیت هوا (AQI)
۴۸ ۱-۹-۱ تغییرات نحوه محاسبه و اعلام شاخص کیفیت هوا (AQI)
۵۰ ۱-۹-۲- شاخص هم‌اکنون

۵۳ فصل دوم گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب غلظت آلاینده‌ها

۵۴ ۲- گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب غلظت آلاینده‌ها
۵۴ ۲-۱- مشخصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا
۵۸ ۲-۲- روند میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های مختلف در سالهای ۱۳۹۱ الی ۱۴۰۳
۶۱ ۲-۳- آلاینده ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)
۶۱ ۲-۳-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۶۳ ۲-۳-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۶۴ ۲-۳-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۴۰۳
۶۶ ۲-۳-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۶۸ ۲-۳-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۷۱ ۲-۳-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۴۰۳
۷۲ ۲-۴- آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})
۷۲ ۲-۴-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۷۳ ۲-۴-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۷۴ ۲-۴-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۴۰۳
۷۷ ۲-۴-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۷۷ ۲-۴-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۸۱ ۲-۴-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳
۸۲ ۲-۵- آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)
۸۲ ۲-۵-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۸۴ ۲-۵-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۸۵ ۲-۵-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال ۱۴۰۳
۸۷ ۲-۵-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۸۸ ۲-۵-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۹۱ ۲-۵-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳
۹۲ ۲-۶- آلاینده ازن (O_3)
۹۲ ۲-۶-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سالهای ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۹۳ ۲-۶-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۹۵ ۲-۶-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال ۱۴۰۳
۹۷ ۲-۶-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ازن(O_3) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۹۸ ۲-۶-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۱۰۱ ۲-۶-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳
۱۰۲ ۲-۷- آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2)
۱۰۲ ۲-۷-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۰۴ ۲-۷-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۰۵ ۲-۷-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال ۱۴۰۳
۱۰۷ ۲-۷-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۰۸ ۲-۷-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۲
۱۱۱ ۲-۷-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳
۱۱۲ ۲-۸- آلاینده منواکسید کربن (CO)
۱۱۲ ۲-۸-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۱۴ ۲-۸-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۱۵ ۲-۸-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال ۱۴۰۳
۱۱۷ ۲-۸-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۱۱۸ ۲-۸-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۱۲۱ ۲-۸-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳
۱۲۲ **۲-۹- آلاینده کربن سیاه (BC)**
۱۲۲ ۲-۹-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۲۴ ۲-۹-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۲۵ ۲-۹-۳- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۲۷ ۲-۹-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال‌های ۴۰۲ و ۱۴۰۳
۱۲۸ ۲-۹-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳
۱۲۹ ۲-۹-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۳
۱۳۰ **۲-۱۰- گروه ترکیبات آلی BTEX**
۱۳۰ ۲-۱۰-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال ۱۴۰۳
۱۳۲ ۲-۱۰-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال ۱۴۰۳
۱۳۲ ۲-۱۰-۳- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده بنزن طی سال ۱۴۰۳ با حد استاندارد
۱۳۵ فصل سوم **گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص AQI**
۱۳۶ **۳- گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص AQI**
۱۳۷ ۳ -۱- وضعیت کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا
۱۳۷ ۳-۱-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۳۹ ۳-۱-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۴۲ ۳-۱-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۴۳ ۳-۱-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص AQI
۱۴۶ **۳-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از دو و نیم میکرون ($PM_{2.5}$)**
۱۴۶ ۳-۲-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۴۸ ۳-۲-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۵۱ ۳-۲-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۵۲ ۳-۲-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده **$PM_{2.5}$**
۱۵۴ **۳-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})**
۱۵۴ ۳-۳-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۵۶ ۳-۳-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۵۹ ۳-۳-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۶۰ ۳-۳-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده PM_{10}

۱۶۲ **۳-۴- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)**
۱۶۲ ۳-۴-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۶۳ ۳-۴-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۶۶ ۳-۴-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۶۷ ۳-۴-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده NO_2
۱۶۹ **۳-۵- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ازن (O_3)**
۱۶۹ ۳-۵-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۷۰ ۳-۵-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۷۳ ۳-۵-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۷۴ ۳-۵-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده O_3
۱۷۶ **۳-۶- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2)**
۱۷۶ ۳-۶-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۷۷ ۳-۶-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۸۰ ۳-۶-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۸۱ ۳-۶-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده SO_2
۱۸۳ **۳-۷- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده منواکسید کربن (CO)**
۱۸۳ ۳-۷-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳
۱۸۵ ۳-۷-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۸۷ ۳-۷-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳
۱۸۸ ۳-۷-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده CO
۱۹۰ **۳-۸- تغییرات تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده‌های مختلف**
۱۹۲ **۳-۹- همزمانی شرایط آلوده برای بیش از یک آلاینده در سال ۱۴۰۳**
۱۹۵ فصل چهارم **بررسی وضعیت هواشناسی شهر تهران**
۱۹۶ **۴- بررسی وضعیت هواشناسی شهر تهران**
۱۹۶ **۴-۱- مقدمه**
۱۹۶ **۴-۲- داده‌های موردبررسی**
۱۹۷ **۴-۳- تغییرات بلندمدت کمیت‌های هواشناسی**
۱۹۸ ۴-۳-۱- روند تغییرات بلندمدت کمیت‌های هواشناسی
۲۰۱ **۴-۴- روند تغییرات ساعتی، ماهانه و فصلی کمیت‌های هواشناسی در سال ۱۴۰۳**
۲۰۱ ۴-۴-۱- سرعت باد
۲۰۵ ۴-۴-۲- دما

۲۰۸ ۴-۴-۳- رطوبت نسبی
۲۱۱ ۴-۵- فشار
۲۱۴ ۴-۶- ارتفاع لایه مرزی
۲۱۷ ۴-۷- ضریب تهویه
۲۲۰ ۴-۸- بارش
۲۲۴ ۴-۹- خلاصه تغییرات کمیت‌های هواشناسی
۲۲۷ فصل پنجم **وضعیت آلودگی صوتی شهر تهران**
۲۲۸ **۵- وضعیت آلودگی صوتی شهر تهران**
۲۲۸ **۵-۱- کلیات و تعاریف**
۲۲۹ ۵-۱-۱- شاخص‌های آلودگی صدا در محیط زیست
۲۲۹ ۵-۱-۲- مصوبات شورای عالی حفاظت محیط زیست
۲۳۲ ۵-۱-۳- اثرات آلودگی صدا
۲۳۳ ۵-۱-۴- کنترل و کاهش آلودگی صوتی در نقاط بحرانی
۲۵۱ **۵-۲- آشنایی با آخرین فناوری‌های روز دنیا برای کنترل آلودگی صوتی**
۲۵۱ ۵-۲-۱- استفاده از رادار صوتی برای جریمه خودروهای با آلودگی صوتی بالا
۲۵۴ **۵-۳- حفظ مناطق آرام**
۲۵۵ **۵-۴- گزارش آلودگی صوتی در مناطق شهرداری تهران**
۲۵۵ **۵-۵- ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران**
۲۵۷ **۵-۶- مقایسه تراز صوتی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت بین مناطق مختلف در سال ۱۴۰۳**
۲۵۹ **۵-۷- بررسی نوسانات صدای محیطی با استفاده از شاخص SNR (Signal to Noise Ratio)**
۲۶۱ **۵-۸- مقایسه آماری تراز صوت ایستگاه‌های سنجش صوت در سال ۱۴۰۳**
۲۶۶ **۵-۹- نتایج حاصل از مدل‌سازی آلودگی صوتی**
۲۶۶ ۵-۹-۱- مدل‌سازی صدای ترافیک جاده‌ای و خطوط هوایی
۲۶۸ ۵-۹-۲- مقایسه نتایج مدل‌سازی با اندازه گیری مستقیم
۲۶۹ **۵-۱۰- حریم صوتی بزرگراه‌های شهر تهران**
۲۷۱ ۵-۱۰-۱- حریم صوتی برای کاربری‌های حساس (مسکونی، آموزشی و درمانی)
۲۷۳ **۵-۱۱- راه‌کارهای کاهش و کنترل سروصدا**
۲۷۵ **۵-۱۲- بررسی اثر شرایط جوی و مناسبت‌های مختلف بر روی میانگین تراز صوت شهر تهران**
۲۷۵ ۵-۱۲-۱- افزایش تراز صوت تهران در چهارشنبه سوری سال ۱۴۰۳تهران
۲۷۹ فصل ششم **منابع**

سخن مدیرعامل

در آغاز گزارش تحلیلی وضعیت آلودگی هوا و صدای شهر تهران در سال ۱۴۰۳، لازم می‌دانم به اهمیت حیاتی این دو عامل در کیفیت زندگی شهروندان اشاره کنم. هوای پاک و محیطی آرام، از مهم‌ترین شاخص‌های سلامت شهری و رفاه اجتماعی هستند. متأسفانه، تهران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کلان‌شهرهای منطقه، با چالش‌های جدی ناشی از آلودگی هوا و صدا روبه‌روست؛ چالش‌هایی که ریشه در رشد جمعیت، افزایش تردد وسایل نقلیه، توسعه صنعتی و شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی شهر دارند.

آلودگی هوا، با تأثیر مستقیم بر سلامت جسمی و روانی شهروندان، سالانه موجب افزایش بیماری‌های قلبی، تنفسی و کاهش کیفیت زندگی می‌شود. از سوی دیگر، آلودگی صوتی نیز به‌عنوان یک معضل پنهان اما اثرگذار، آرامش و آسایش شهروندان را مختل کرده و پیامدهای منفی متعددی بر سلامت روان و عملکرد اجتماعی به جا می‌گذارد.

شرکت کنترل کیفیت هوا، با بهره‌گیری از شبکه گسترده پایش و فناوری‌های نوین، وظیفه

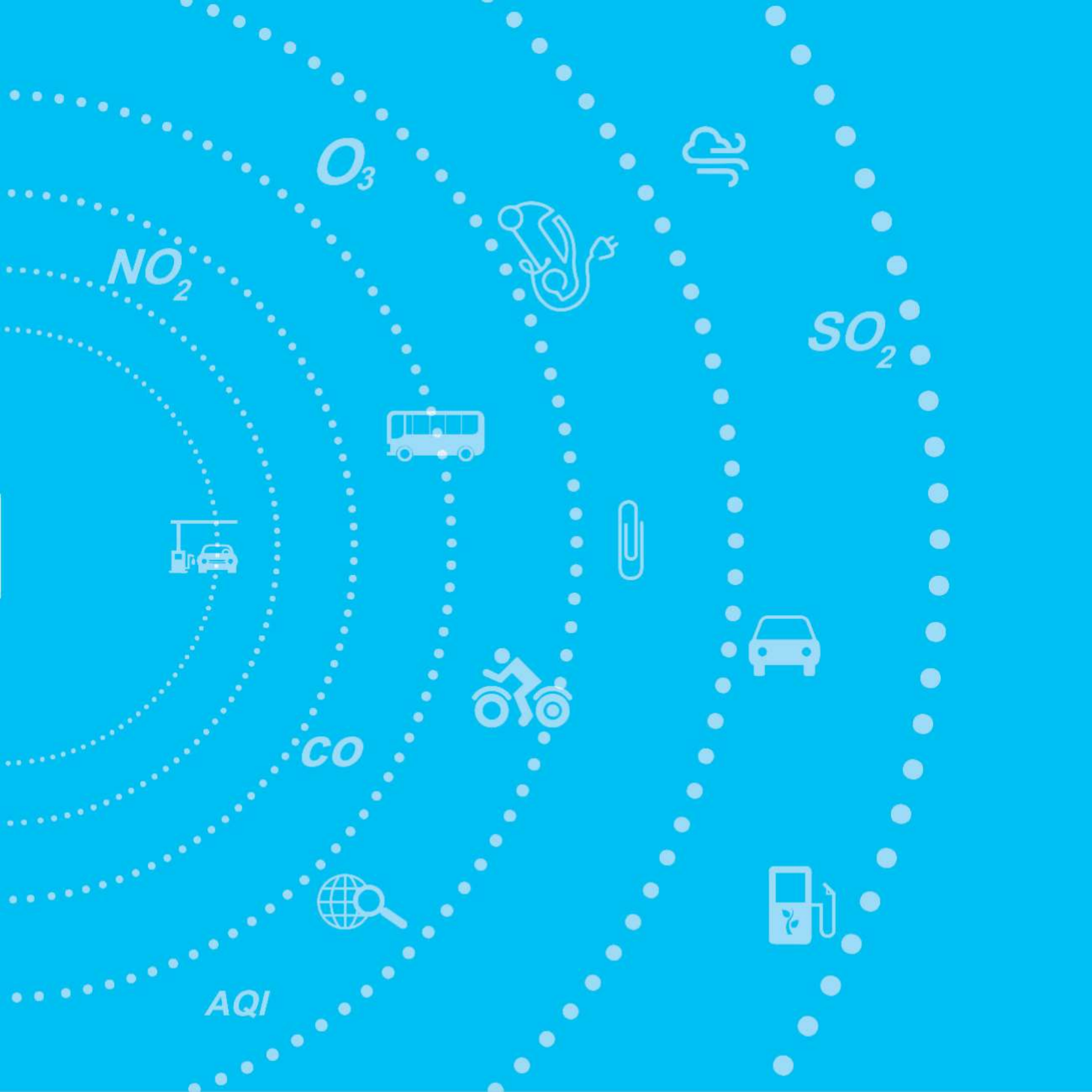
سخن مدیرعامل

خود می‌داند تا با ارائه داده‌های دقیق، اطلاعات مقایسه‌ای و تحلیل‌های علمی، تصویر روشنی از وضعیت آلودگی هوا و صدا در اختیار تصمیم‌سازان، مدیران، پژوهشگران و عموم مردم قرار دهد. بی‌تردید، کنترل و کاهش آلاینده‌ها، نیازمند عزم ملی، همکاری‌های فراسازمانی و سرمایه‌گذاری مستمر است؛ چرا که پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدت آلودگی هوا و صدا، سلامت، رفاه و آینده شهروندان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

امید است این گزارش، ضمن ارائه تصویری شفاف از وضعیت کیفیت هوا و آلودگی صدا تهران، زمینه‌ساز هم‌افزایی بیشتر و برنامه‌ریزی‌های هدفمندتر برای آینده‌ای پاک‌تر، آرام‌تر و سالم‌تر باشد.

از تلاش‌های بی‌وقفه همکارانم در شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران و حمایت مدیران و شهروندان گرامی سپاسگزارم و آرزو دارم با همدلی و همکاری، شاهد آسمانی آبی‌تر، هوایی سالم‌تر و شهری آرام‌تر برای تهران عزیز باشیم.

فاطمه کریمی
مدیر عامل شرکت کنترل کیفیت هوا


O_3
NO_2
SO_2
CO
AQI

فصل اول

کلیات و تعاریف

۱ـ کلیات و تعاریف

طبق تعریف ارائه‌شده در قانون هوای پاک مصوب ۹۶/۰۴/۲۵، آلودگی هوا عبارت است از انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز، بو و صدا در هوای آزاد، به‌صورت طبیعی یا انسان‌ساخت، به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به‌گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرآیندهای بوم‌شناختی (اکولوژیکی) یا آثار و ابنیه زیان‌آور بوده و یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی گردد.

با توجه به مطالعات و رهنمودهای سازمان‌ها و نهادهای معتبر بین‌المللی، برخی آلاینده‌ها با توجه به میزان تولید و انتشار و همین‌طور برحسب میزان آسیب‌های مربوطه، به‌عنوان آلاینده معیار معرفی شده‌اند که در بیشتر شهرهای مهم دنیا همواره مورد اندازه‌گیری و پایش قرار می‌گیرند.

در شهر تهران نیز بیش از دو دهه فرایند پایش کیفیت هوا با سنجش آلاینده‌های گازی منواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ازن در کنار ذرات معلق کوچک‌تر از ده میکرون انجام گردیده و البته بیش از یک دهه، آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از دو و نیم میکرون نیز مورد پایش قرار می‌گیرد.

در این بخش سعی شده ضمن تعریف آلاینده‌های معیار، شاخص کیفیت هوا، حدود استاندارد، اثرات بهداشتی و منشأ آلاینده‌ها معرفی‌شده و تعاریف و مفاهیم مورداستفاده برای گزارش‌دهی به‌اختصار توضیح داده شود. همچنین در این بخش خلاصه‌ای از جدیدترین مطالعات اثرات بهداشتی آلودگی هوا در جهان و جدیدترین رهنمود جهانی کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی ارائه شده است.

عوامل متعددی در کیفیت هوا و میزان غلظت آلاینده‌های گوناگون مؤثر می‌باشند که از آن جمله می‌توان به استاندارد آلایندگی منابع انتشار، کیفیت سوخت مصرفی، مدیریت ترافیک و همچنین متغیرهای متعدد هواشناسی اشاره نمود. یکی از عوامل تعیین کننده در کیفیت هوا طی سالیان اخیر خشکی زمین در کشور و همین‌طور کشورهای غرب و جنوب غرب ایران می‌باشد که این مسئله منجر به گسیل طوفان‌های بزرگ حاوی گردوغبار شده است. این در حالی است که معمولاً وزش باد موجب بهبود کیفیت هوا می‌گردد ولی در چند سال اخیر و بیشتر طی ماه‌های گرم سال، وزش بادهای سریع در خیلی از موارد منجر به گسیل گرد و خاک در هوا شده و غلظت ذرات معلق را افزایش داده است.

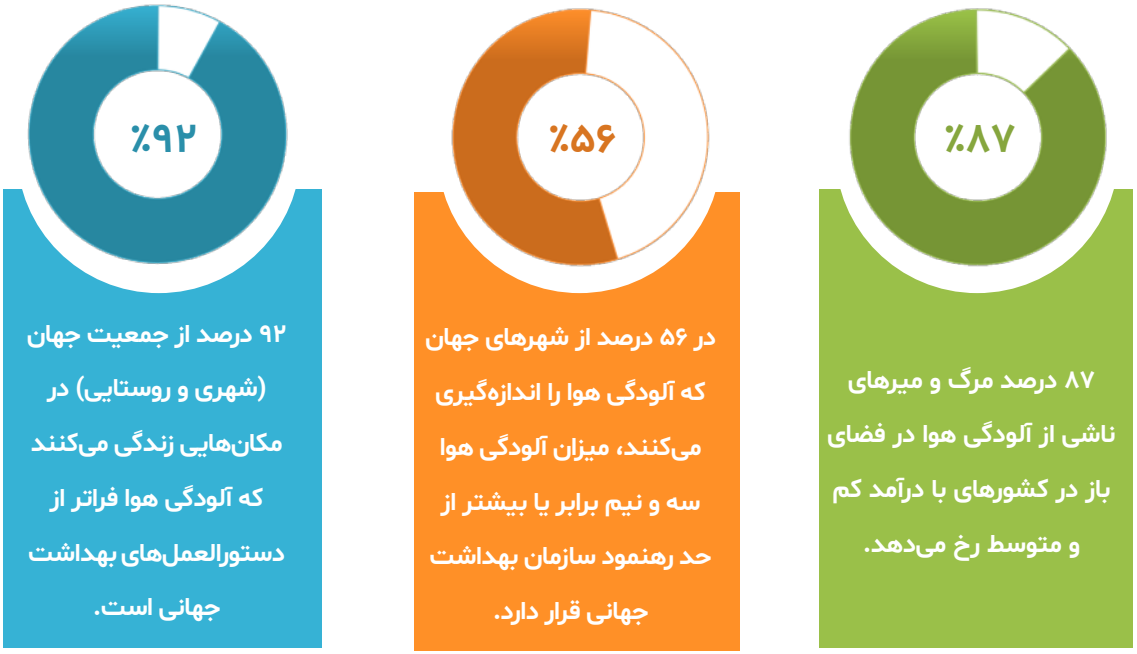
۱-۱- آمارهای بین‌المللی منتسب به تأثیرات بهداشتی و هزینه‌های مالی آلودگی هوا

آمارهای بین‌المللی منتسب به خطرات بهداشتی و هزینه‌های مالی آلودگی هوا نشان می‌دهد، آلودگی هوا به‌عنوان بزرگ‌ترین تهدید زیست‌محیطی برای سلامت انسان در سراسر جهان بوده و پیامدهای گسترده‌ای دارد.

هر نفسی که می‌کشیم (۱۲ تا ۲۰ بار در دقیقه)، اولین ارتباط ما با جهان پیرامون ما است. هوایی که ما استنشاق می‌کنیم می‌تواند زندگی ما را حفظ کند یا به ما آسیب برساند.

آلودگی هوا تغییرات اقلیمی را تشدید کرده، به تنوع زیستی و اکوسیستم‌ها آسیب می‌رساند، بازده محصولات کشاورزی و بهره‌وری نیروی کار را کاهش می‌دهد و منجر به خسارات اقتصادی می‌شود. آلاینده‌های هوا در مناطق، کشورها و افراد مختلف جامعه، به‌طور متوازن تأثیر نداشته و از هر ۱۰ مرگ ناشی از آلودگی هوا در فضای باز، ۹ مورد در کشورهای با درآمد کم و متوسط رخ می‌دهد. در همه کشورها، گروه‌های آسیب‌پذیر ازجمله نوزادان، کودکان، افراد مسن و افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن، به‌طور نامتناسبی تحت تأثیر اثرات مخرب آلودگی هوا قرار می‌گیرند. [۱]

طبق آمار سازمان بهداشت جهانی از هر ۱۰ نفر تنها ۱ نفر هوای سالم تنفس می‌کند و درک دامنه و تأثیر آلودگی هوا اولین گام برای محافظت از ما در برابر آلودگی هواست. در ۵۶ درصد از شهرهای جهان که آلودگی هوا را اندازه‌گیری می‌کنند، میزان آلودگی هوا سه و نیم برابر یا بیشتر نسبت به رهنمود سازمان بهداشت جهانی قرار دارد و ۸۷ درصد مرگ و میرهای ناشی از آلودگی هوا در فضای باز، در کشورهای با درآمد کم و متوسط رخ می‌دهد.[۲]



شکل ۱-۱ آمارهای مرتبط با آلودگی هوا در جهان

در گزارش «وضعیت جهانی هوا [۱] ۲۰۲۴» که توسط مؤسسه اثرات بهداشتی[۲] با همکاری پروژه بار جهانی بیماری‌ها[۳] از مؤسسه سنجش و ارزیابی سلامت[۴] و با مشارکت یونیسف[۵] منتشر شده اطلاعات جامعی درباره میزان مواجهه با آلاینده‌های هوای متداول مانند ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$)، ازن و برای نخستین‌بار، دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ ارائه می‌دهد. این گزارش، پنجمین نسخه از سری گزارش‌های وضعیت جهانی هوا می‌باشد. [۳]

1- State of Global Air

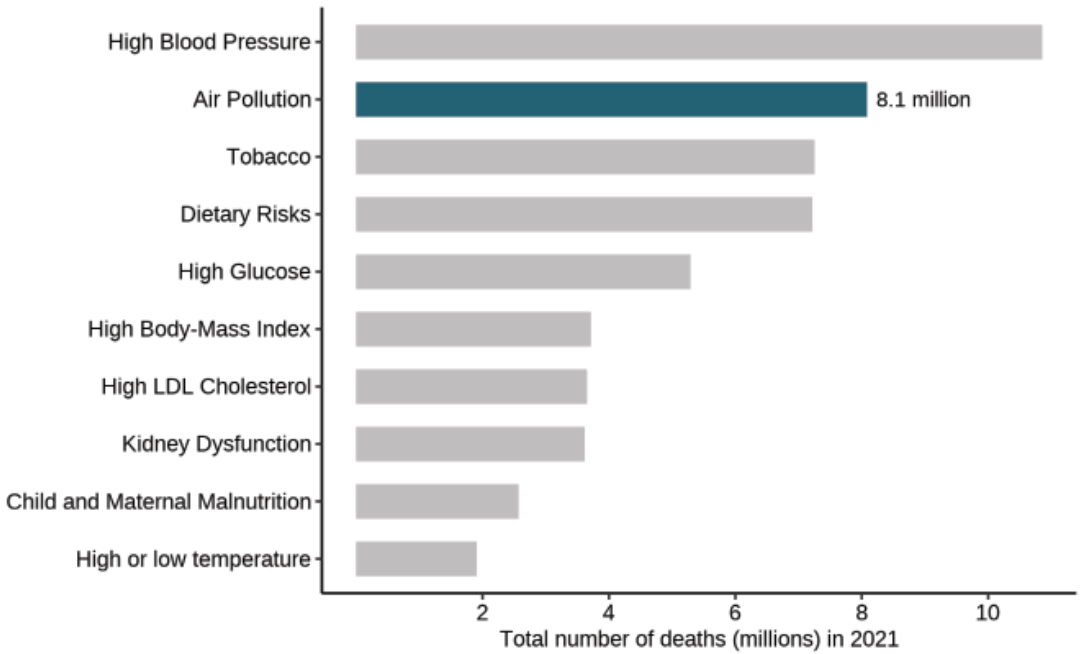
2-Health Effects Institute

3-Global Burden of Disease

4-Institute for Health Metrics and Evaluation

5-UNICEF

بر اساس این گزارش، در سال ۲۰۲۱، آلودگی هوا به‌عنوان دومین عامل خطر مرگ‌ومیر در سطح جهان پس از فشار خون بالا شناخته شد و به گزارش یونیسف آلودگی هوا در این سال باعث مرگ ۸/۱ میلیون نفر (بیش از ۱ مورد از هر ۸ مرگ) مطرح گردید که بیش از ۹۰ درصد آن‌ها به بیماری‌های غیرواگیر مانند بیماری‌های قلبی، سکته مغزی، دیابت، سرطان ریه و بیماری‌های مزمن انسدادی ریه (COPD) مرتبط بوده است. همچنین، بیش از هفتصد هزار مرگ در کودکان زیر پنج سال به دلیل آلودگی هوا مرتبط با آلودگی هوای خانگی و هوای آزاد در یک سال ثبت شده که تقریباً ۱۵درصد از کل مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال را شامل می‌شود و آلودگی هوا را به‌عنوان دومین عامل خطر مرگ برای کلیه افراد جامعه و همچنین برای کودکان زیر ۵ سال تبدیل ساخته است.

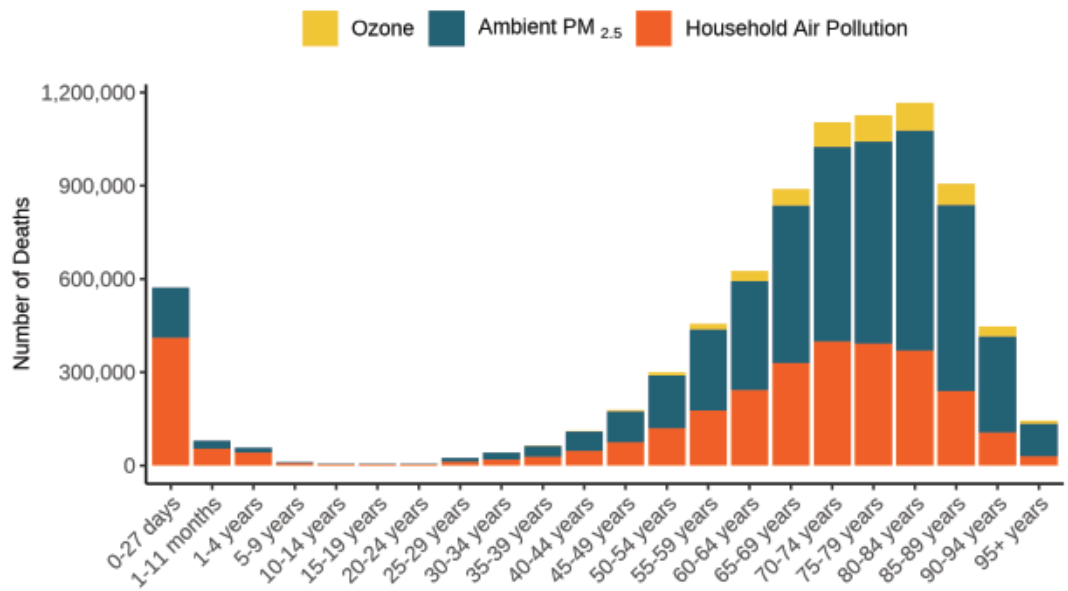


شکل ۱-۲ رتبه‌بندی جهانی عوامل خطر بر اساس تعداد کل مرگ و میر، ۲۰۲۱



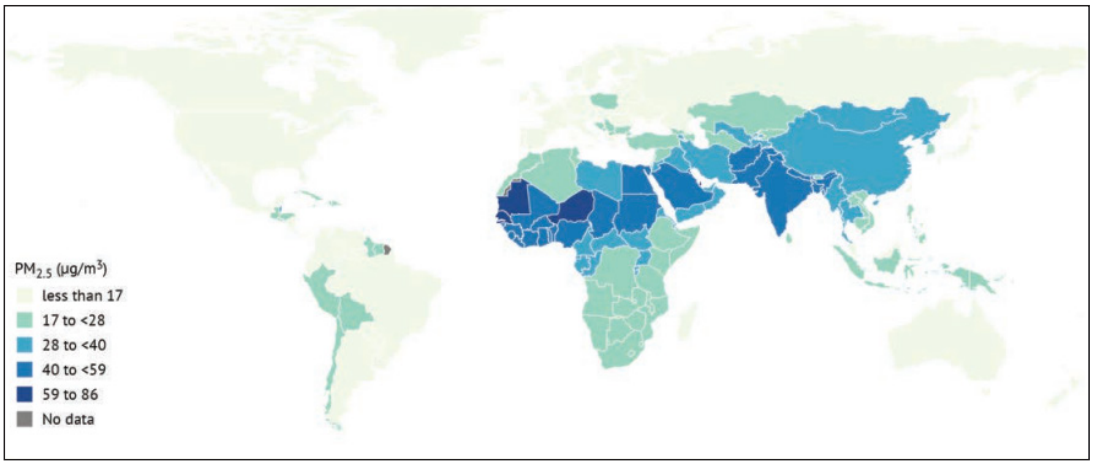
شکل ۱-۳ عوامل خطر منجر به مرگ و میر کلیه افراد جامعه (راست) و کودکان زیر ۵ سال (چپ) در جهان طی سال ۲۰۲۱ [۳]

در سال ۲۰۲۱، آلودگی هوای ناشی از ذرات ریز ($PM_{2.5}$) در هوای محیطی و خانگی، بزرگ‌ترین عامل از دست رفتن سال‌های زندگی سالم (DALYs) شناخته شد. پس از آن، فشار خون بالا، سیگار کشیدن، وزن کم هنگام تولد، و زایمان زودرس به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. کشورهای آسیا، آفریقا و خاورمیانه همچنان بالاترین سطح $PM_{2.5}$ محیط را تجربه می‌کنند. در سطح جهانی، هشت کشور از ده کشوری که بالاترین مواجهه با ذرات را داشته‌اند، در قاره آفریقا قرار دارند و دو کشور دیگر در خاورمیانه هستند. در کشورهای با درآمد کم و متوسط، مواجهه با $PM_{2.5}$ بین یک تا چهار برابر بیشتر از کشورهای با درآمد بالا بوده است. در سطح جهانی، سطوح $PM_{2.5}$ در هوای آزاد در بسیاری از مناطق در حال کاهش یا تثبیت است و میانگین جهانی آن در حدود ۳۱/۳ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد.



شکل ۱-۴ توزیع مرگ و میر جهانی در سال ۲۰۲۱ مربوط به $PM_{2.5}$ در هوای آزاد، ازن و آلودگی هوای خانگی بر اساس سن

بیشترین بار بیماری ناشی از آلودگی هوا بر دوش افراد مسن است زیرا افزایش سن یک عامل خطر برای بیماری‌های غیرواگیر می‌باشد.

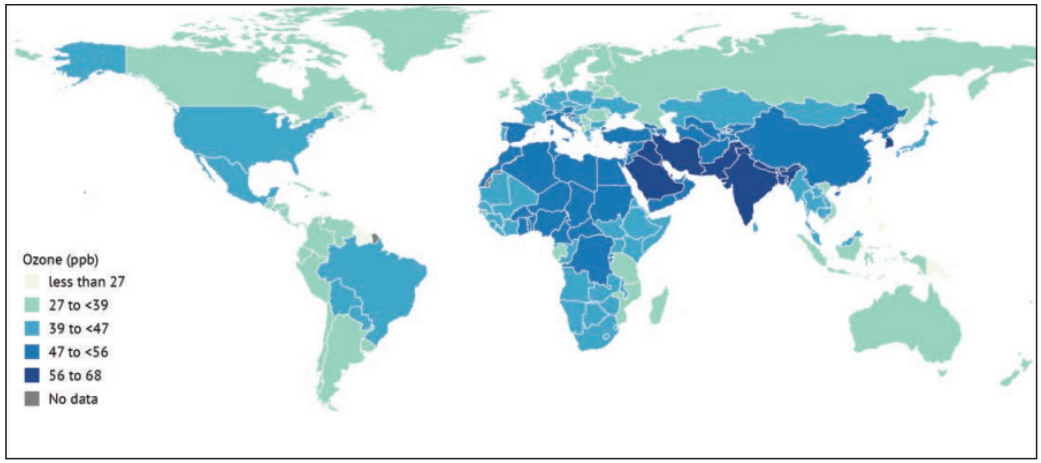


شکل ۱-۵ نقشه جهانی غلظت متوسط سالانه ذرات معلق ریز $PM_{2.5}$ وزن‌دار شده بر اساس جمعیت در هر کشور طی سال ۲۰۲۰

این نقشه نشان می‌دهد که در هر کشور، به‌طور متوسط چه میزان ذرات معلق بسیار ریز (با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون) در هوا وجود داشته و این میانگین بر اساس جمعیت آن کشور وزن‌دهی شده است. لذا مناطق با جمعیت بیشتر تأثیر بیشتری در محاسبه میانگین دارند. این شاخص یکی از معیارهای مهم کیفیت هوا و آلودگی محیط‌زیست است که ارتباط مستقیمی با سلامت انسان دارد.

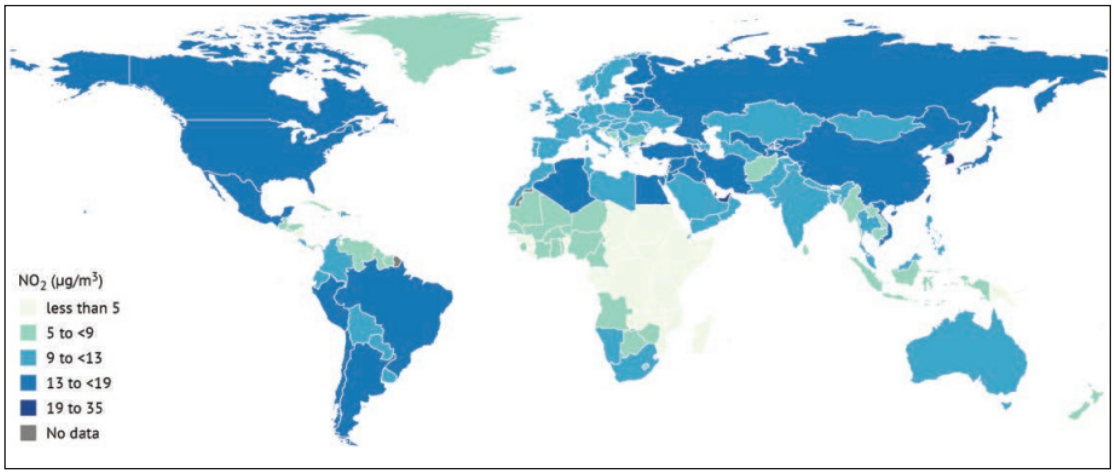
در سطح جهان، میزان غلظت آلاینده ازن ۳۰ تا ۷۰ درصد بالاتر از ۱۰۰ سال گذشته تخمین زده شده که این روند منعکس‌کننده افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین افزایش دما است. از سوی دیگر امواج گرما می‌تواند آلودگی ازن را تشدید کرده و سلامت انسان و عملکرد محصولات کشاورزی را کاهش دهند.

کشورهای با بالاترین میانگین ازن در خاورمیانه (قطر، بحرین، کویت، عربستان سعودی، و عراق)، آسیای جنوبی (نپال، هند، بنگلادش و پاکستان) و آسیای شرقی (جمهوری کره) قرار دارند. در سال ۲۰۲۰، حدود ۹۳ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی کرده‌اند که سطح ازن در فصول اوج گرما بالاتر از حد توصیه‌شده سازمان جهانی بهداشت می‌باشد.



شکل ۱-۶ نقشه جهانی میانگین فصلی غلظت ازن (O_3) حداکثر روزانه در بازه‌های ۸ ساعته، وزن‌دار شده بر اساس جمعیت در هر کشور طی سال ۲۰۲۰

در گزارش مذکور به بررسی وضعیت جهانی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) نیز پرداخته شده و برخلاف آلاینده ذرات معلق $PM_{2.5}$، برخی از بالاترین سطوح آلودگی NO_2 در کشورهای با درآمد بالا و با شاخص توسعه اجتماعی بالا مشاهده می‌شود. ۴۲ درصد از جمعیت جهان در معرض سطوح بالاتر از حد استاندارد سالانه NO_2 قرار دارند. هفت کشور از ده کشوری که بالاترین مواجهه را با NO_2 داشته‌اند در خاورمیانه قرار دارند و شامل بحرین، قطر، کویت، لبنان و امارات متحده عربی هستند. روسیه و ترکیه نیز سطوح بالایی از NO_2 را تجربه کرده‌اند. مثال‌هایی از کشورهای با شاخص توسعه اجتماعی بالا شامل سنگاپور، ژاپن و کانادا هستند که همه آن‌ها در معرض سطوح بالای NO_2 قرار دارند.



شکل ۱-۷ نقشه جهانی غلظت متوسط سالانه دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) وزن‌دار شده بر اساس جمعیت در هر کشور طی سال ۲۰۲۰

گزارش «کیفیت هوای جهانی [1] ۲۰۲۴» توسط شرکت سوئیسی IQAir تهیه شده است که در زمینه فناوری‌های مرتبط با کیفیت هوا فعالیت می‌کند و بانک داده‌های مرتبط با آلودگی هوا در بسیاری از کشورهای جهان را در اختیار دارد. در هفتمین گزارش سالانه کیفیت هوای جهان که در سال ۲۰۲۴ منتشر شده وضعیت آلودگی هوا بر اساس داده‌های بیش از چهل هزار ایستگاه پایش کیفیت هوا در ۸۹۵۴ شهر در ۱۳۸ کشور، بررسی شده است. در ادامه مهم‌ترین اطلاعات به‌دست‌آمده از این گزارش ارائه شده است. [۴]

- تنها در ۱۷ درصد از شهرهای جهان کیفیت هوا مطابق با حدود رهنمود سازمان بهداشت جهانی (WHO) است.
- هفت کشور، ازجمله استرالیا و نیوزیلند، به حد رهنمود سالانه $PM_{2.5}$ سازمان بهداشت جهانی (۵ میکروگرم بر مترمکعب) پایبند بوده‌اند.
- آلوده‌ترین کشورهای بر اساس این گزارش عبارت‌اند از: چاد، بنگلادش، پاکستان، جمهوری

1- World Air Quality Report

دموکراتیک کنگو و هند.

- در ۹۱/۳٪ از کشورهای جهان، میزان آلودگی از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی فراتر رفته است.
- شهر بیرنیهات در هند آلوده‌ترین منطقه شهری جهان با $PM_{2.5}$ میانگین ۱۲۸/۲ میکروگرم بر مترمکعب بوده و هند ۱۲ شهر از ۲۰ شهر آلوده جهان را در خود جای داده است.
- تغییرات اقلیمی و آتش‌سوزی‌های جنگلی افزایش آلودگی هوا در مناطق مختلف جهان را در پی داشته‌اند. برای مثال آتش‌سوزی‌های آمازون باعث افزایش چهار برابری $PM_{2.5}$ در برخی شهرهای برزیل شد.

گزارش جهانی ریسک[1] ۲۰۲۴ توسط مجمع جهانی اقتصاد[2] تهیه شده است. هدف این گزارش شناسایی و تحلیل ریسک‌های کلیدی است که جهان در کوتاه‌مدت (۲ سال آینده) و بلندمدت (۱۰ سال آینده) با آن‌ها روبه‌روست. [۵]

گزارش ۲۰۲۴ به بررسی ریسک‌های جهانی در دسته‌بندی‌های مختلف مثل اقتصادی، اجتماعی، فناوری، ژئوپلیتیکی و زیست‌محیطی می‌پردازد. در جدیدترین نسخه این گزارش، تغییرات اقلیمی، مسائل زیست‌محیطی و آلودگی (هوا، آب و خاک) در لیست ده نگرانی و ریسک کوتاه و بلندمدت قرار دارند، چون تأثیرات گسترده‌ای روی سایر حوزه‌ها مثل اقتصاد، سلامت و امنیت غذایی و ... دارند.

این گزارش نشان می‌دهد که مسائل زیست‌محیطی، به‌خصوص تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا در مرکز نگرانی‌های جهانی هستند. با اینکه آگاهی نسبت به این مسائل بیشتر شده، سرعت و مقیاس اقدامات جهانی هنوز کافی نیست. گزارش توصیه می‌کند که همکاری بین‌المللی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، و سیاست‌گذاری‌های سخت‌گیرانه‌تر برای کاهش آلودگی و حفاظت از محیط‌زیست باید در اولویت قرار بگیرند. بدون این اقدامات، مشکلات زیست‌محیطی می‌توانند به‌سرعت به یک بحران چندوجهی تبدیل شوند که همه جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

1- The Global Risks Report

2-World Economic Forum

در شکل ۱-۸ به‌اختصار برخی از مهم‌ترین پیامدهای نامطلوب ناشی از آلودگی هوا در سطح جهانی ارائه شده است.



شکل ۱-۸ پیامدهای نامطلوب آلودگی هوا در سطح جهان [۲][۳]

۱-۲- کمی‌سازی اثرات بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در کشور

در جدیدترین گزارشی که توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در مهرماه سال ۱۴۰۳ منتشر گردیده تعداد کل موارد مرگ ناشی از همه علل (علل طبیعی) منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ تخمین زده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، در ۲۳ شهر بزرگ کشور با جمعیت حدود ۳۴ میلیون نفر، حدود ۳۱۸۴۵ مورد مرگ منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ (بالای ۵ میکروگرم بر مترمکعب) در سال ۱۴۰۲ برآورد گردیده است. این مطالعه نشان داد بیشترین تعداد کل موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ طی سال ۱۴۰۲ در مراکز استانی به‌ترتیب در شهرهای تهران (۹۸۳۶)، مشهد (۴۶۳۷)، اصفهان (۳۰۹۳)، کرج (۲۱۷۳)، اهواز (۲۱۰۳)، شیراز (۱۵۳۲)، تبریز (۱۴۲۴)، قم (۸۷۶)، اراک (۸۰۹) و کرمانشاه (۷۴۲) بوده است.

همچنین نرخ خام مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ در تهران حدود ۱۵۹ نفر به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت بالای ۳۰ سال بوده است.

خسارات اقتصادی ناشی از مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ در مراکز استانی کشور طی سال ۱۴۰۲ حدود ۸/۹ میلیارد دلار و در کل ۱۲۷ شهر کشور با جمعیت ۵۴ میلیون نفر، حدود ۱۳/۷ میلیارد دلار برآورد شده و این میزان برای شهر تهران حدود ۲/۸ میلیارد دلار بوده است.

به‌طور خلاصه، آلودگی هوا در سال ۱۴۰۲ موجب حدود ۹۸۰۰ مرگ زودرس و ۲/۸ میلیارد دلار خسارت اقتصادی فقط در تهران شده است. [۶]

۱-۳- چه کسانی بیشتر در معرض آلودگی هوا هستند؟

همه در روزهایی که کیفیت هوا آلوده است، مشکلات سلامتی را تجربه می‌کنند، اما برخی از گروه‌های افراد در معرض خطر بیشتری نسبت به دیگران هستند، این افراد عبارت‌اند از:

- **کودکان:** کودکان به دلیل سیستم تنفسی درحال‌توسعه، میزان تنفس بالاتر نسبت به وزن بدن و فعالیت بدنی بیشتر بیش از سایر افراد جامعه تحت تأثیر ذرات معلق قرار دارند.
- **سالمندان:** افراد بالای ۶۵ سال به دلیل ضعف سیستم ایمنی و وجود بیماری‌های مزمن، بیشتر در معرض خطر هستند. آلودگی هوا می‌تواند به تشدید بیماری‌های تنفسی و قلبی در این گروه سنی منجر شود.
- **افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن:** افرادی که به بیماری‌های قلبی، ریوی مانند آسم و بیماری انسداد مزمن ریوی و دیگر مشکلات مزمن مبتلا هستند، بیشتر در معرض خطر تشدید علائم و عوارض ناشی از آلودگی هوا قرار دارند.
- **زنان باردار:** آلودگی هوا می‌تواند تأثیرات منفی بر جنین داشته و خطر زایمان زودرس یا نوزادان با وزن کم را افزایش دهد.
- **افراد سیگاری:** افرادی که سیگار می‌کشند یا در معرض دود سیگار قرار دارند، به دلیل آسیب‌های قبلی به ریه‌ها، بیشتر در معرض خطرات آلودگی هوا قرار دارند.

ـ کارگران صنعتی: افرادی که در صنایع با آلودگی بالا کار می‌کنند (مانند معدن، ساخت‌وساز و حمل‌ونقل) نیز در معرض خطر بیشتری قرار دارند.

ـ ساکنان مناطق شهری و خیابان‌های شلوغ و پرتردد: افرادی که در شهرهای بزرگ با ترافیک سنگین و منابع آلاینده صنعتی زندگی می‌کنند، بیشتر از سایرین تحت تأثیر آلاینده‌های هوا قرار دارند.

ـ افراد فعال در فضای باز: افراد فعال در تمام سنین که در فضای باز آلوده فعالیت بدنی ورزشی داشته و یا در فضای باز کار می‌کنند نسبت به افرادی که فعالیت کمتری دارند بیشتر در معرض عوارض آلاینده‌ها ازجمله ذرات معلق قرار دارند. در زمان ورزش بدن اکسیژن بیشتری مصرف و دی‌اکسید کربن بیشتری تولید می‌کند. برای برآورده کردن این نیاز، میزان تنفس از میانگین حدود ۱۵ تنفس در دقیقه (~ ۱۲ لیتر هوا) در حالت استراحت به حدود ۴۰ تا ۶۰ تنفس در دقیقه (~ ۱۰۰ لیتر هوا) در طول ورزش افزایش می‌یابد. بنابراین در طول فعالیت بدنی، تهویه تنفسی (حجم تهویه در دقیقه) و حجم هوای ورودی به بدن به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در طول تمرین هوازی، تنفس از بینی (که در آن فیلتر اولیه آلاینده‌ها انجام می‌شود) به تنفس دهانی تغییر می‌کند و درنتیجه مقدار زیادی هوای بدون فیلتر وارد بدن می‌شود و آلاینده‌ها به عمق ریه‌ها منتقل می‌شوند.

ژنتیک، بیماری‌های زمینه‌ای، تغذیه و عوامل اجتماعی و جمعیت شناختی نیز بر حساسیت فرد به آلودگی هوا تأثیر می‌گذارد.

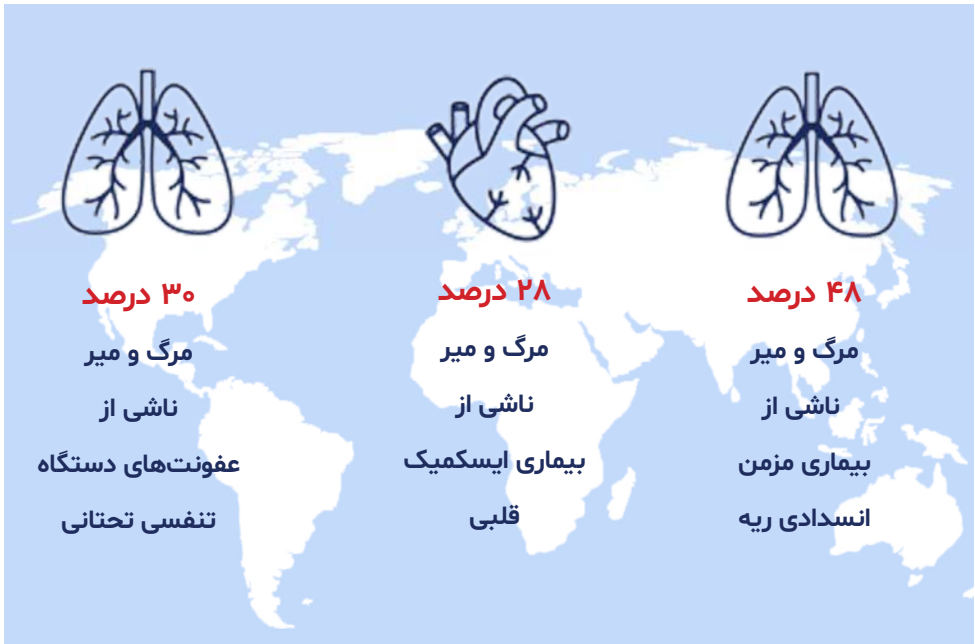
۱-۴- چه اندام‌هایی تحت تأثیر آلودگی هوا هستند؟

مسیر اصلی مواجهه با آلودگی هوا از طریق دستگاه تنفسی است. تنفس هوای آلوده منجر به التهاب، سرکوب سیستم ایمنی و جهش‌زایی در سلول‌های سراسر بدن ما می‌شود که بر ریه‌ها، قلب، مغز و سایر اندام‌ها تأثیر می‌گذارد. آلودگی هوا هیچ حد و مرزی نمی‌شناسد و تقریباً تمام اندام‌ها و سیستم‌های حیاتی بدن ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از آلاینده‌های هوا به دلیل اندازه کوچک خود می‌توانند از طریق ریه‌ها به جریان خون نفوذ کرده و در سراسر بدن گردش کنند و منجر به التهاب سیستمیک و سرطان‌زایی شود.

۱-۵- چه بیماری‌هایی با قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا مرتبط هستند؟

آلاینده‌های سمی از هوا به بدن ما، از خون به مغز، و از مادر باردار به فرزند متولد نشده‌اش منتقل می‌شوند. بیماری‌های خاص که به‌شدت با قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا مرتبط است عبارت‌اند از سکته مغزی، بیماری ایسکمیک قلبی، بیماری مزمن انسدادی ریه، سرطان ریه، ذات‌الریه. همچنین شواهدی وجود دارد که قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا را با افزایش خطر پیامدهای نامطلوب بارداری (به‌عنوان مثال وزن کم هنگام تولد)، سایر سرطان‌ها، دیابت، اختلالات شناختی و بیماری‌های عصبی مرتبط می‌کند. [۷]

مرگ و میر منتسب به آلودگی هوا در جهان



شکل ۱-۹ سهم آلودگی هوا در مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و ریوی در جهان[۳]



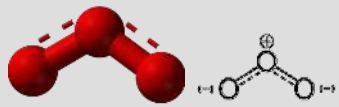
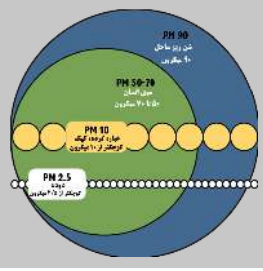
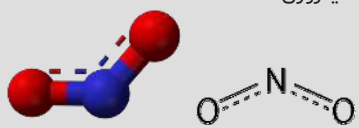
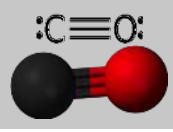
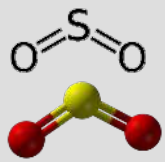
شکل ۱-۱۰ برخی از راهکارهای کاهش مواجهه با آلودگی هوا

۱-۶- منابع انتشار و اثرات بهداشتی آلاینده‌های معیار

آلاینده‌های هوا از نظر منشأ و اثرات بهداشتی بسیار متعدد بوده و بررسی تمامی آن‌ها عملاً غیرممکن است؛ بنابراین عموماً گروهی از آلاینده‌های هوا به نام آلاینده‌های معیار شامل منواکسید کربن، ازن، ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد، با توجه به اثرات بهداشتی و گستردگی منابع انتشار آن‌ها در اندازه‌گیری‌های مداوم، مورد سنجش قرار می‌گیرند.

مفاهیم کلی در خصوص منابع انتشار عمده و تأثیر بهداشتی این آلاینده‌ها به‌اختصار در جدول ۱-۱ و جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۱ منابع انتشار آلاینده های معیار

آلاینده	منابع انتشار
ازن 	این آلاینده ثانویه در اثر واکنش شیمیایی ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید تولید می‌شود.
ذرات معلق 	ذرات معلق در اثر انتشار مستقیم و یا واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شوند. عمده-ترین منابع انتشار این آلاینده شامل احتراق سوخت، خودروها و ماشین‌آلات دیزلی فاقد فیلتر دوده، فرایندهای صنعتی، کشاورزی و انتشار از خودروها (اگزوز، لنت، لاستیک و ...) می‌باشند.
دی‌اکسید نیتروژن 	احتراق سوخت (از وسایل نقلیه، واحدهای تولید برق، صنایع، بویلرها و همچنین سوزاندن چوب)
منواکسید کربن 	احتراق سوخت (به‌خصوص در وسایل نقلیه موتوری فرسوده و فاقد فناوری حذف آلاینده-ها)
دی‌اکسید گوگرد 	احتراق سوخت (به‌ویژه سوخت‌های با گوگرد بالا)، فرایندهای تولید برق و صنایع، منابع طبیعی مانند آتش‌فشان

جدول ۱-۲ تأثیرات بهداشتی آلاینده‌های هوا

آلاینده	تأثیر بهداشتی
ازن	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 مرگ‌ومیر زودرس
ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10}	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 مرگ‌ومیر زودرس و تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی است.
دی‌اکسید نیتروژن	تشدید بیماری‌های ریوی، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی، اورژانس و افزایش آسیب‌پذیری و استعداد ابتلا به عفونت‌های ریوی
منواکسید کربن	کاهش اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها و اندام‌های مختلف بدن، تشدید بیماری‌های قلبی و درد قفسه سینه، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی
دی‌اکسید گوگرد	تشدید آسم و افزایش علائم تنفسی، کمک به شکل‌گیری و تشدید علائم و اثرات بیماری‌های ریوی

آلاینده $PM_{2.5}$ یکی از شش آلاینده معیار معمول اندازه‌گیری آلاینده هوا است و به دلیل شیوع آن در محیط‌زیست و طیف وسیعی از اثرات سلامتی، معمولاً به‌عنوان مضرترین آلاینده برای سلامت انسان پذیرفته شده است. از سوی دیگر این آلاینده در بسیاری از شهرهای جهان به‌عنوان آلاینده شاخص مطرح بوده و از منابع متعددی تولید می‌شود. آلاینده $PM_{2.5}$ از نظر ترکیب شیمیایی و فیزیکی متفاوت بوده و ترکیبات شیمیایی رایج آن شامل سولفات‌ها، نیترات‌ها، کربن سیاه و آمونیوم هستند. رایج‌ترین منابع انسان‌ساز این آلاینده شامل موتورهای احتراق داخلی، تولید برق، فرآیندهای صنعتی، فرآیندهای کشاورزی، ساخت‌وساز و سوزاندن چوب و زغال‌سنگ در کاربری‌های مسکونی بوده و رایج‌ترین منابع طبیعی برای این آلاینده طوفان‌های گردوغبار، طوفان‌های شن و آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌باشند.

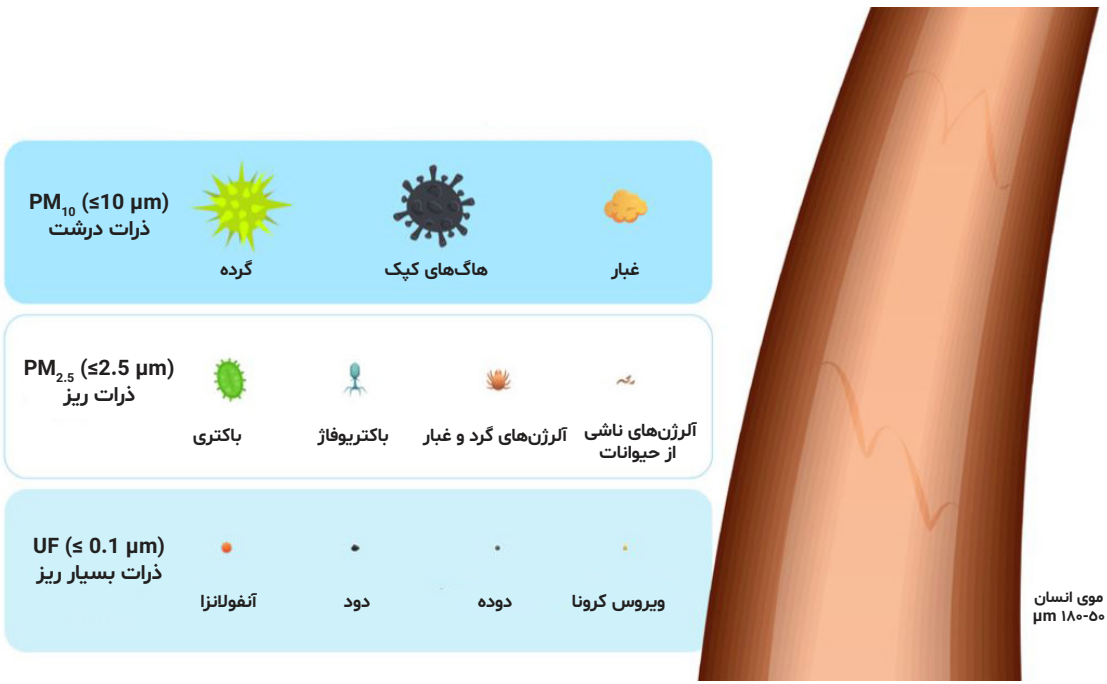
ذرات معلق (PM) معمولاً به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- PM_{10} ذرات قابل استنشاق، با قطرهای عموماً ۱۰ میکرومتر و کوچک‌تر (۱۰۰ برابر کوچک‌تر از یک میلی‌متر)
- $PM_{2.5}$ ذرات ریز قابل استنشاق، با قطرهای عموماً ۲/۵ میکرومتر و کوچک‌تر
- PM_{1} ذرات بسیار ریز، با قطرهای عموماً ۱ میکرومتر و کوچک‌تر

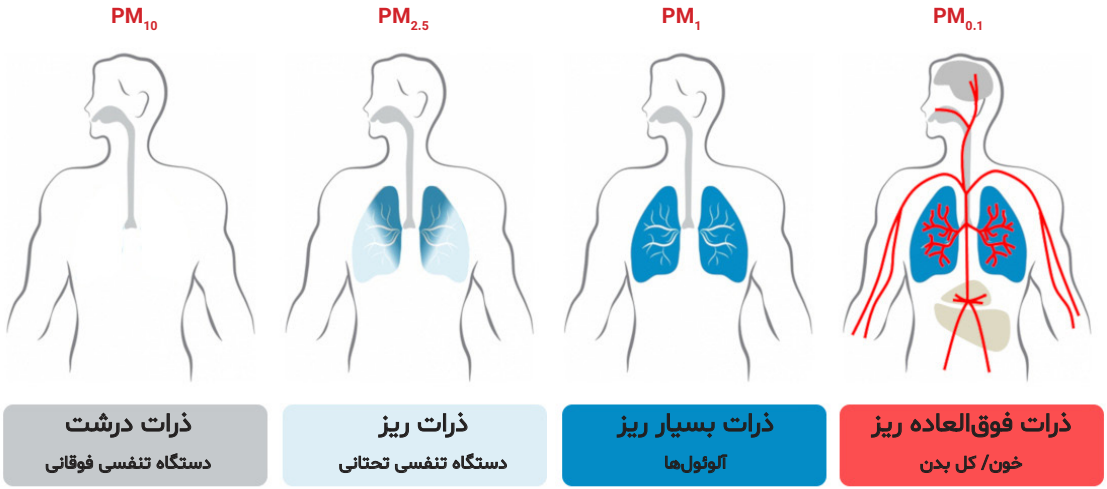
- $PM_{0.1}$ ذرات فوق‌العاده ریز با قطر ۰/۱ میکرومتر (یا ۱۰۰ نانومتر) و کوچک‌تر

برای دید بهتر، قطر موی انسان به‌طور متوسط حدود ۷۰ میکرومتر است که در حدود ۳۰ برابر بزرگ‌تر از بزرگ‌ترین ذرات ریز است. این ذرات میکروسکوپی به اعماق ریه‌های نفوذ کرده و حتی ممکن است به جریان خون راه پیدا کنند و وارد چشم‌ها، بینی و سیستم تنفسی شوند و در آنجا می‌توانند علائمی مانند سوزش چشم، عطسه، گلودرد، سرفه و خس‌خس سینه و بیماری‌هایی مانند برونشیت ایجاد کنند. [۸]

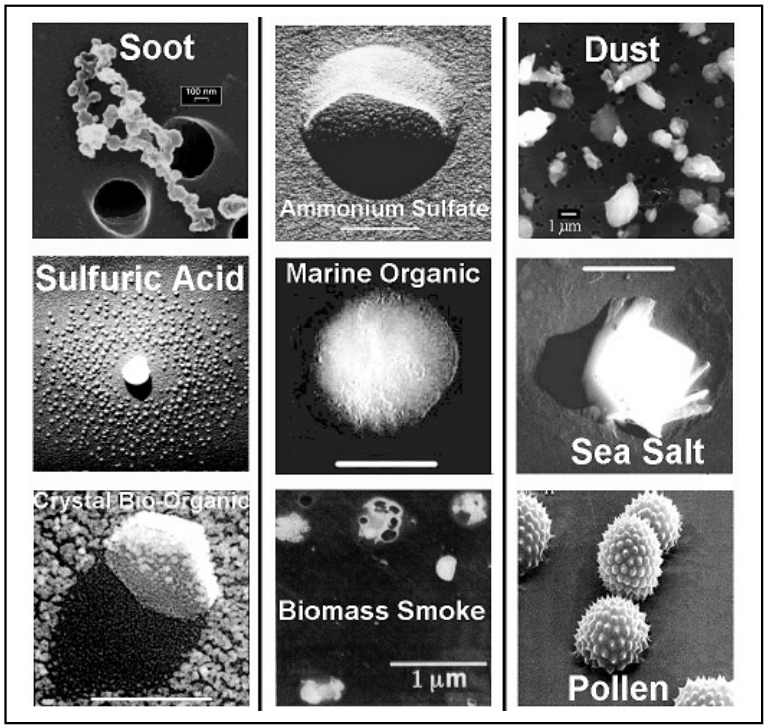
در شکل ۱-۱۱ اندازه ذرات معلق با قطرهای مختلف در مقایسه با تار موی انسان و در شکل ۱-۱۲ عمق نفوذ ذرات معلق به بافت‌های مختلف بدن نشان داده شده است. ذرات کوچک بیشترین خطر را برای سلامت انسان به همراه دارند. بینی انسان می‌تواند ذرات درشت را فیلتر نماید و ذرات ریز و فوق‌ریز با نفوذ به اعماق ریه‌ها حتی می‌تواند به جریان خون منتقل می‌شود.



شکل ۱-۱۱ مقایسه اندازه ذرات معلق [۹]



شکل ۱-۱۲ عمق نفوذ ذرات معلق به ریه[۱۰]



شکل ۱-۱۳ مقایسه اندازه ذرات معلق زیر میکروسکوپ

مقایسه اندازه ذرات معلق در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است. بی‌تردید هر چه اندازه ذرات ریزتر بوده و منبع تولید آن احتراق سوخت‌های فسیلی با کیفیت نامطلوب باشد، اثرات مخرب این ذرات افزایش می‌یابد. برای مثال ذرات دوده (Soot) به‌دلیل منبع احتراقی و ابعاد نانومتری به‌راحتی وارد ریه‌ها و جریان خون شده و شکل رشته‌ای و ساختار زنجیره‌ای آن باعث چسبندگی بیشتر آن به بافت‌ها می‌شود.

۱-۷- جدیدترین رهنمود جهانی کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی (WHO[1]) در سال ۲۰۲۱

از سال ۱۹۸۷، سازمان بهداشت جهانی (WHO) به‌طور دوره‌ای رهنمودهای کیفیت هوا (AQG[2]) را صادر می‌کند تا به دولت‌ها و جامعه مدنی کمک کند تا تماس انسان با آلودگی هوا و اثرات سوء آن را کاهش دهند. نسخه قبلی رهنمود کیفیت هوا این سازمان در سال ۲۰۰۵ منتشر شد و با گذشت بیش از ۱۵ سال به‌تازگی این سازمان در سال ۲۰۲۱ جدیدترین نسخه راهنمای کیفیت هوا را که بر پایه مطالعات اپیدمیولوژیک و با وجود پیشرفت روش‌های اندازه‌گیری نسبت به نسخه قبلی تهیه شده، منتشر نموده است. [۱۱]

این نسخه در واقع شواهد و توصیه‌های غیر الزام‌آور برای محافظت از سلامت عمومی در برابر بیماری‌های منتسب بر آلودگی هوا بوده و سیاست‌گذاران و مقامات ملی و محلی را در مدیریت ریسک و تدوین برنامه‌های کاهش آلودگی هوا رهنمون می‌سازد. برخلاف رهنمود کیفیت هوا، در استانداردهای آلودگی هوا[3] مقامات نظارتی سطح معینی از آلودگی را به‌عنوان حد مجاز در زمان مواجهه مشخص بر پایه استراتژی‌های اندازه‌گیری، مدیریت داده و روش‌های آماری مشخص می‌نمایند. مقدار عددی یک استاندارد الزام‌آور بوده و ممکن است شامل تعداد مجاز تخطی از مقدار عددی معین در بازه زمانی مشخص نیز باشد. اگرچه این موارد استانداردهای قانونی لازم‌الاجرا نیستند، با این‌وجود هدف از تهیه رهنمودهای کیفیت هوا ارائه توصیه‌های کمی سلامت مبتنی بر شواهد برای مدیریت کیفیت هوا است که به‌صورت غلظت بلندمدت یا کوتاه‌مدت برای تعدادی از آلاینده‌های اصلی هوا بیان شده و فراتر رفتن از سطوح معین‌شده

1- World Health Organization
2- Air quality guidelines
3- Air quality standard

در این رهنمود با خطرات مهمی برای سلامت عمومی همراه است. درنهایت، هدف از این رهنمودها ارائه راهنمایی برای کمک به کاهش سطح آلاینده‌های هوا به‌منظور کاهش بار سنگین سلامتی ناشی از مواجهه با آلودگی هوا در سراسر جهان است.

رهنمود کیفیت هوا در حال حاضر برای آلاینده‌های PM_{10} ،$PM_{2.5}$، ازن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و منواکسید کربن بر اساس زمان‌بندی‌های میانگین مربوطه ارائه گردیده که این آلاینده‌ها به دلیل ارتباط با پیامدهای بهداشتی مهم انتخاب شده‌اند.

رهنمود جدید ارائه‌شده شامل اهداف موقت (پلکانی) به‌منظور دستیابی به سطوح نهایی AQG بوده که در راستای هدایت اقدامات کاهش آلودگی هوا برای کشورهایی که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از این سطوح فراتر می‌روند، مقرر شده است. اهداف موقت شامل سطوح سهل‌گیرانه‌تر از سطح AQG است، تا متولیان و مقامات مناطق بسیار آلوده بتوانند از آن‌ها برای توسعه سیاست‌های کاهش آلودگی که در بازه‌های زمانی واقعی قابل‌دستیابی است، استفاده کنند. بنابراین، اهداف موقت باید به‌عنوان گامی در جهت دستیابی نهایی به AQG در نظر گرفته شوند.

همچنین در این گزارش به ارائه اظهارات کیفی در مورد شیوه‌های مطلوب برای مدیریت انواع خاص از ذرات معلق شامل کربن سیاه یا کربن عنصری (BC/EC)، ذره بسیار ریز (UFP) و ذرات ناشی از طوفان‌های شن و گردوغبار (SDS)) پرداخته شده هرچند با توجه عدم وجود مطالعات کافی در خصوص مخاطرات آن‌ها هنوز راهنما کیفیت هوا برای آن‌ها ارائه نشده است.

اهداف موقت و سطح نهایی در دستورالعمل سال ۲۰۲۱ سازمان بهداشت جهانی (جدول ۱ ۳) و اهم تغییرات اعمال شده در رهنمود ارائه‌شده در این نسخه (سال ۲۰۲۱) نسبت به نسخه قبل (۲۰۰۵) در جدول ۱ ۴ ارائه‌شده است. کاهش قابل ملاحظه برای میزان توصیه‌شده آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و NO_2 و همچنین ارائه رهنمود برای آلاینده‌های منواکسیدکربن (غلظت روزانه)، دی‌اکسید نیتروژن (غلظت روزانه) و ازن (بیشترین میانگین ۸ ساعته روزانه در ۶ ماه گرم سال) که در نسخه قبلی توصیه‌ای برای آن‌ها تعیین نشده، در این نسخه ارائه‌شده است. دیگر تغییر صورت گرفته سهل‌گیرانه شدن میزان توصیه شده مجاز برای آلاینده دی‌اکسیدگوگرد (غلظت روزانه) می‌باشد.

جدول ۱-۳ سطوح رهنمود کیفیت هوا و اهداف موقت توصیه‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی، سال ۲۰۲۱ [۱۱]

آلاینده	بازه زمانی	حد رهنمود	هدف موقت			
			هدف موقت ۱	هدف موقت ۲	هدف موقت ۳	هدف موقت ۴
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	سالانه	۵	۳۵	۲۵	۱۵	۱۰
	۲۴ ساعته[1]	۱۵	۷۵	۵۰	۳۷/۵	۲۵
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	سالانه	۱۵	۷۰	۵۰	۳۰	۲۰
	۲۴ ساعته[1]	۴۵	۱۵۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
O_3 ($\mu g/m^3$)	فصل اوج[2]	۶۰	۱۰۰	۷۰	–	–
	۸ ساعته[1]	۱۰۰	۱۶۰	۱۲۰	–	–
NO_2 ($\mu g/m^3$)	سالانه	۱۰	۴۰	۳۰	۲۰	–
	۲۴ ساعته[1]	۲۵	۱۲۰	۵۰	–	–
SO_2 ($\mu g/m^3$)	۲۴ ساعته[1]	۴۰	۱۲۵	۵۰	–	–
CO (mg/m^3)	۲۴ ساعته[1]	۴	۷	–	–	–

جدول ۱-۴ مقایسه رهنمودهای ارائه‌شده از سوی سازمان بهداشت جهانی در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۱

آلاینده	بازه زمانی	رهنمود سال ۲۰۰۵	رهنمود سال ۲۰۲۱
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	سالانه	۱۰	۵
	۲۴ ساعته	۲۵	۱۵
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	سالانه	۲۰	۱۵
	۲۴ ساعته	۵۰	۴۵
O_3 ($\mu g/m^3$)	فصل اوج	–	۶۰
	۸ ساعته	۱۰۰	۱۰۰
NO_2 ($\mu g/m^3$)	سالانه	۴۰	۱۰
	۲۴ ساعته	–	۲۵
SO_2 ($\mu g/m^3$)	۲۴ ساعته	۲۰	۴۰
CO (mg/m^3)	۲۴ ساعته	–	۴

۱- صدک ۹۹ درصد (۳-۴ بار تخطی در سال مجاز است.)
۲- میانگین بیشینه هشت‌ساعته در روز برای شش ماه اوج غلظت

جدول ۱-۵ رهنمودهای کیفیت هوا برای آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و مونوکسید کربن (میانگین زمان کوتاه) معتبر از نسخه قبل (بدون تغییر)

آلاینده	بازه زمانی	غلظت
NO_2 ($\mu g/m^3$)	۱ ساعته	۲۰۰
SO_2 ($\mu g/m^3$)	۱۰ دقیقه‌ای	۵۰۰
CO (mg/m^3)	۸ ساعته	۱۰
	۱ ساعته	۳۵
	۱۵ دقیقه‌ای	۱۰۰

۱-۸- استاندارد هوای آزاد در ایران

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد راهنمای کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی شامل رهنمودها و توصیه‌های غیر الزام‌آور برای محافظت از سلامت عمومی می‌باشد که برخی از کشورها از مقادیر توصیه شده در آن برای مقایسه وضعیت آلودگی هوا در منطقه خود استفاده می‌نمایند. با این وجود در بسیاری از کشورها نیز ضوابط و استانداردهای ملی و منطقه‌ای تصویب گردیده که می‌توان به استاندارد ملی (NAAQS[1]) مصوب سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (U.S.EPA[2] یا EPA) اشاره نمود که حدود مجاز تعیین‌شده در آن در بسیاری موارد با دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی متفاوت است.

در جدول ۱-۶ نحوه محاسبه شاخص کیفیت هوا بر اساس معیار سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و شاخص لحظه‌ای کیفیت هوا تعیین شده است.

1-National ambient air quality standard
2-United States Environmental Protection Agency

جدول ۱-۶ خلاصه استاندارد ملی کیفیت هوای محیطی آمریکا به تفکیک هر آلاینده[۱۲] [۱۳]

آلاینده		نوع استاندارد	بازه زمانی	سطح استاندارد	توضیحات
مونواکسید کربن (CO)		اولیه	۸ ساعت	$9\ ppm$	بیش از یک‌بار در سال فراتر نرود.
			۱ ساعت	$35\ ppm$	
سرب (Pb)		اولیه و ثانویه	یک ماه	$0.15\ \mu g\ m^{-3}$	فراتر نرود.
دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)		اولیه	۱ ساعت	$100\ ppb$	صده ۹۸ ام داده‌های حداکثر غلظت‌های یک‌ساعته روزانه، میانگین‌گیری شده در ۳ سال.
		اولیه و ثانویه	یک سال	$53\ ppb$	میانگین سالانه
ازن (O_3)		اولیه و ثانویه	۸ ساعت	$0.07\ ppm$	چهارمین غلظت بالای حداکثر ۸ ساعته روزانه، میانگین‌گیری در ۳ سال.
ذرات معلق (PM)	$PM_{2.5}$	اولیه	یک سال	$12\ \mu g\ m^{-3}$	متوسط سالانه، میانگین‌گیری شده در ۳ سال.
		ثانویه	یک سال	$15\ \mu g\ m^{-3}$	متوسط سالانه، میانگین‌گیری شده در ۳ سال.
		اولیه و ثانویه	۲۴ ساعت	$35\ \mu g\ m^{-3}$	صده ۹۸ ام، میانگین‌گیری شده در ۳ سال.
	PM_{10}	اولیه و ثانویه	۲۴ ساعت	$150\ \mu g\ m^{-3}$	به‌طور میانگین در ۳ سال بیش از یک‌بار در سال فراتر نرود.
دی‌اکسید گوگرد (SO_2)		اولیه	۱ ساعت	$75\ ppb$	صده ۹۹ ام داده‌های حداکثر غلظت‌های یک‌ساعته روزانه، میانگین‌گیری شده در ۳ سال.
		ثانویه	۳ ساعت	$0.5\ ppm$	بیش از یک‌بار در سال فراتر نرود.

در استاندارد آلودگی هوا مربوط به کشور ایران که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست تصویب شده و از ابتدای سال ۱۳۹۹ در شهر تهران استفاده می‌شود نیز از حدود مجاز سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا استفاده گردیده و در برخی موارد به‌ویژه برای استاندارد آلاینده‌های PM_{10}، $PM_{2.5}$ و ازن متفاوت با میزان پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی بوده و تا حدودی سهل‌گیرانه‌تر و اجرایی‌تر می‌باشند.

برای مثال در مورد آلاینده $PM_{2.5}$ حد مجاز مورداستفاده در ایران برای شاخص روزانه و سالانه به ترتیب ۳۵ و ۱۲ میکروگرم بر مترمکعب است که این میزان در رهنمود سازمان بهداشت جهانی به ترتیب ۱۵ و ۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد که تفاوت زیادی در اعداد وجود دارد و همچنین حد مجاز مورداستفاده در ایران برای شاخص روزانه PM_{10} برابر ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده که میزان آن در رهنمود سازمان بهداشت جهانی ۴۵ میکروگرم بر مترمکعب است.

جدول ۱-۷ حدود استاندارد مورداستفاده برای آلاینده‌های معیار در سال ۱۴۰۳

آلاینده		حد استاندارد	بازه زمانی
منواکسید کربن(CO)		۹/٤ (ppm)	هشت‌ساعته
		۳۵ (ppm)	یک‌ساعته
دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)		۱۰۰ (ppb)	روزانه (ماکزیمم ساعتی)
		۵۳ (ppb)	سالانه
ازن (O_3)		۷۰ (ppb)	هشت‌ساعته
		۱۲۴ (ppb)	یک‌ساعته
ذرات معلق (PM)	$PM_{2.5}$	۳۵ ($\mu g/m^3$)	روزانه
		۱۲($\mu g/m^3$)	سالانه
	PM_{10}	۱۵۰ ($\mu g/m^3$)	روزانه
		-	سالانه
دی‌اکسید گوگرد (SO_2)		۷۵ (ppb)	روزانه (ماکزیمم ساعتی)
		-	سالانه

۱-۹- شاخص کیفیت هوا (AQI[1])

شاخص کیفیت هوا شاخصی جهت اطلاع‌رسانی و پیش‌بینی روزانه کیفیت هوا است. این شاخص شهروندان را از کیفیت هوا (طبق شکل ۱-۱۴) آگاه ساخته و میزان ارتباط آن با سطوح سلامت را ارائه می‌کند.

به‌عبارت‌دیگر 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 منواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون و ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون محاسبه می‌شود.

کیفیت هوا (محدود مجاز)	توضیحات
پاک (۵۰-۰)	مقدار شاخص کیفیت هوا در حد ۰ تا ۵۰ مناسب بوده و بی‌خطر است و یا تأثیر کمی برای سلامتی دارد.
قابل‌قبول (۱۰۰-۵۱)	مقدار شاخص کیفیت هوا بین ۵۱ تا ۱۰۰ می‌باشد و کیفیت هوا قابل قبول بوده و غلظت آلاینده‌ها کمتر از حد سلامت است.
ناسالم برای گروه‌های حساس (۱۵۰-۱۰۱)	هنگامی که مقدار شاخص کیفیت هوا بین ۱۰۱ تا ۱۵۰ قرار می‌گیرد. گروه‌های حساس اثرپذیری بیشتری از آلودگی هوا خواهند داشت.
ناسالم (۲۰۰-۱۵۱)	هنگامی که عدد شاخص کیفیت هوا بین ۱۵۱ تا ۲۰۰ قرار داشته باشد کلیه افراد جامعه در معرض مخاطرات ناشی از آلودگی هوا قرار می‌گیرند گروه‌های حساس ممکن است دچار عوارض شدیدتری شوند.
بسیار ناسالم (۳۰۰-۲۰۱)	شاخص کیفیت هوا بین ۲۰۱ تا ۳۰۰ قرار داشته و احتمال بروز عوارض جدی بر سلامت افراد جامعه افزایش می‌یابد.
خطرناک (۵۰۰-۳۰۱)	در صورتیکه عدد شاخص کیفیت هوا بالاتر از ۳۰۰ باشد، شرایط به نحوی است که کلیه افراد جامعه می‌بایست از قرار گرفتن در هوای آزاد خودداری نمایند و یا حتی الامکان شهر را ترک کنند.

شکل ۱-۱۴ شاخص کیفیت هوا (AQI)

1-Air Quality Index

۱-۹-۱ نحوه محاسبه و اعلام شاخص کیفیت هوا (AQI)

بر اساس آیین‌نامه اجرایی تبصره (۳) ماده (۳) قانون هوای پاک، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری سازمان حفاظت محیط‌زیست موظف‌اند دستورالعمل محاسبه و اعلام شاخص کیفیت هوا را تهیه و ابلاغ نماید. سازمان محیط زیست در اواسط سال ۱۳۹۸ روش جدید محاسبه شاخص کیفیت هوا (که بر اساس استاندارد ۲۰۱۸ سازمان محیط‌زیست آمریکا) را تهیه و ابلاغ نمود. شرکت کنترل کیفیت هوا نیز زیرساخت‌های لازم جهت اعمال تغییرات را در سامانه تحت نظارت این شرکت فراهم نمود، بااین‌وجود به‌منظور استفاده از یک روش واحد برای کل سال اعلام وضعیت شاخص کیفیت هوا به روش جدید به ابتدای سال ۱۳۹۹ موکول گردید و از شروع این سال محاسبات شاخص بر اساس نقاط شکست جدید و منطبق با روش مورد تائید سازمان حفاظت محیط زیست انجام می‌گردد.

جدول ۱-۸ نقاط شکست محاسبه شاخص کیفیت هوا، مطابق ابلاغ صورت گرفته از سوی سازمان حفاظت محیط‌زیست و بر اساس استاندارد جدید سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا ۲۰۱۸

طبقه‌بندی کیفیت هوا	AQI	نقاط شکست							
		NO_2 (ppm) یک‌ساعته	SO_2 (ppm) یک‌ساعته	SO_2 (ppm) ۲۴ ساعته	CO (ppm) ۸ ساعته	PM_{10} ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	O_3 [۱] (ppm) یک‌ساعته	O_3 [۱] (ppm) ۸ ساعته
پاک	۰-۵۰	۰-۰/۰۵۳	۰-۰/۰۳۵	_	۰-۴/۴	۰-۵۴	۰-۱۲	_	۰-۰/۰۵۴
قابل قبول	۵۱-۱۰۰	۰/۰۵۴-۰/۱	۰/۰۳۶-۰/۰۷۵	_	۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	۱۲/۱-۳۵/۴	_	۰/۰۵۵-۰/۰۷۰
ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۱-۱۵۰	۰/۱۰۱ -۰/۳۶۰	۰/۰۷۶-۰/۱۸۵	_	۹/۵-۱۲/۴	۱۵۵-۲۵۴	۳۵/۵-۵۵/۴	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۰/۰۷۱-۰/۰۸۵
ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	۰/۳۶۱-۰/۴۶۹	۰/۱۸۶-۰/۳۰۴	_	۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	۵۵/۵-۱۵۰/۴	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۰/۰۸۶-۰/۱۰۵
بسیار ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	۰/۶۵ – ۱/۲۴۹	_	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۰/۱۰۶-۰/۲
خطرناک	۳۰۱-۴۰۰	۱/۲۵ -۱/۶۴۹	_	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴	۴۲۵-۵۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴	(۲)
	۴۰۱-۵۰۰	۱/۶۵ -۲/۰۴۹	_	۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۴۰/۵-۵۰/۴	۵۰۵-۶۰۴	۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	

۱- در بیشتر مناطق AQI بر اساس مقادیر ازن ۸ ساعته گزارش می‌شود اما در برخی مناطق AQI بر اساس مقادیر ازن یک‌ساعته به احتیاط نزدیک‌تر است. در این شرایط AQI می‌بایست هم برای مقادیر ازن ۸ ساعته و هم برای ازن ۱ ساعته محاسبه شود هرکدام بیشتر بود گزارش شود.

۲- وقتی غلظت ازن ۸ ساعته از ۰/۳۷۴ ppm فراتر رود مقادیر AQI بیش از ۳۰۰ باید با استفاده از غلظت ازن ۱ ساعته محاسبه شود.

جدول ۱-۹ راهنمای مواجهه با آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

AQI	کیفیت هوا	بیانیه سلامت	بیانیه هشدار
۰-۵۰	پاک	-	از هوای پاک لذت ببرید
۵۱-۱۰۰	قابل‌قبول	-	افراد با حساسیت بالا فعالیت شدید و یا طولانی‌مدت را کاهش دهند
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	افزایش احتمال علائم مشکلات تنفسی در افراد حساس، تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ‌ومیر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن	افراد دارای مشکلات قلبی یا تنفسی، افراد مسن و کودکان باید از فعالیت طولانی‌مدت اجتناب نمایند
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	افزایش تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ‌ومیر 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 فعالیت طولانی‌مدت خود را محدود نمایند و همه افراد فعالیت طولانی‌مدت را محدود نمایند
۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم	افزایش قابل‌توجه تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ‌ومیر زودرس در افراد دارای بیماری قلبی و افراد مسن و افزایش چشمگیر 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
>۳۰۰	خطرناک	افزایش قابل‌توجه تشدید مشکلات قلبی و ریوی و مرگ‌ومیر 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 سربسته باقی بمانند

۱-۹-۲- شاخص هم‌اکنون [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 آن‌که 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 ۱۳۹۵ در سامانه آلودگی هوا متعلق به شرکت کیفیت هوا، اطلاعاتی تحت عنوان "شاخص هم‌اکنون" ارائه شده است.



این شاخص که با عنوان Nowcast نیز شناخته می‌شود و برای آلاینده‌های ذرات معلق و ازن به کار می‌رود، به‌گونه‌ای تعریف‌شده است که در ۱۲ ساعت (۸ ساعت برای آلاینده ازن) آخر اگر میزان غلظت آلاینده تغییرات زیادی نداشته باشد، از متوسط ۱۲ ساعته در محاسبه شاخص استفاده می‌گردد و درصورتی‌که کیفیت هوا در ساعات اخیر دستخوش تغییرات قابل‌ملاحظه باشد، با تأکید بر اطلاعات ساعات نزدیک‌تر به آخرین ساعت (برای ذرات معلق سه ساعت آخر و برای ازن ساعت آخر)، برای محاسبه شاخص هم‌اکنون استفاده می‌نماید. بدین ترتیب اطلاعات و شاخص ارائه‌شده به کیفیت هوا در ساعت دریافت گزارش، نزدیک‌تر بوده و امکان اقدام برای مردم و مسئولان افزایش می‌یابد.

۱-Nowcast AQI


O_3
NO_2
SO_2
CO
AQI

فصل دوم

گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۴۰۳

برحسب غلظت آلاینده‌ها

۲ ـ گزارش کیفیت هوای تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب غلظت آلاینده‌ها

۲-۱ـ مشخصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا

پایش کیفیت هوای پایتخت در سال ۱۴۰۳ با ۱۹ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا انجام شد و به منظور به‌روزرسانی و تکمیل ایستگاه‌های قدیمی، سه ایستگاه شهرداری‌های مرکز، منطقه ۱۰ و منطقه ۱۶ از مدار کار خارج شده و با تجهیزات و دستگاه‌های کاملاً جدید و بروز مجهز گردیدند. این ایستگاه‌ها پس از تکمیل زیرساخت‌ها، به همراه سه ایستگاه کاملاً جدید دیگر مورد راهبری و استفاده قرار می‌گیرند.

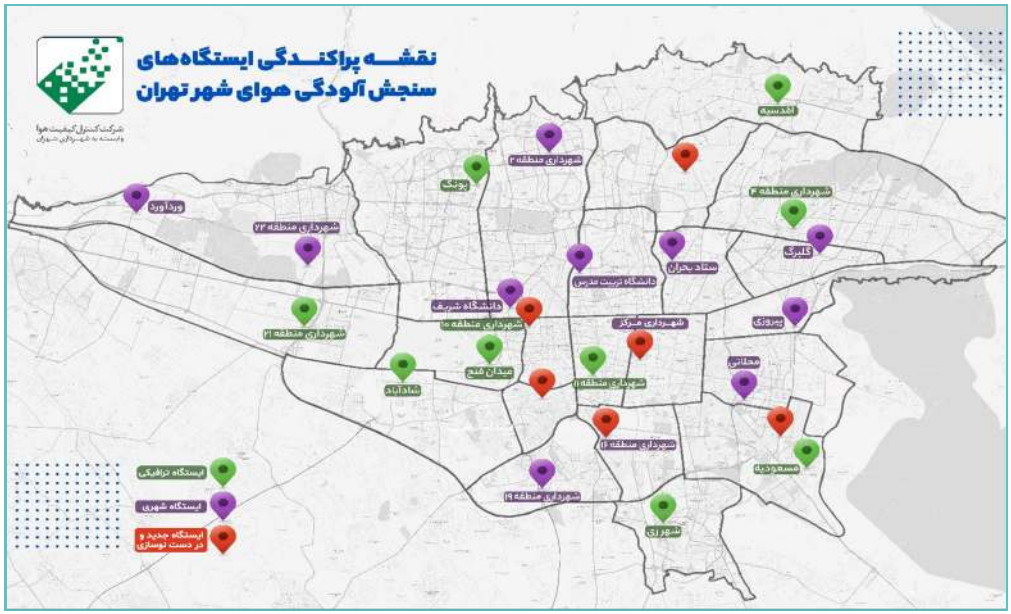
در ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران غلظت آلاینده‌های اصلي هوا شامل؛ منواکسید کربن (CO)، ازن (O_3)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x ،NO_2 ،NO)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) و ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)، به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شود.

مشخصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا شامل محل و تاریخ نصب و راه‌اندازی آن‌ها در جدول ۲-۱موجود می‌باشد.

جدول ۲-۱ مشخصات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای فعال شهر تهران در سال ۱۴۰۳ (متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا)

ایستگاه	منطقه	سال نصب و راه‌اندازی	آدرس
اقدسیه	۱	۱۳۷۹	میدان نوبنیاد، خیابان شهید لنگری، داخل سازمان هواشناسی
شهرری	۲۰	۱۳۸۴	میدان نماز، فرهنگسرای ولاء
پونک	۵	۱۳۸۶	میدان پونک، خیابان عدل، پارک ترافیک
مسعودیه	۱۵	۱۳۸۷	شهرک مسعودیه، میدان شیرازی، ناحیه ۶ شهرداری منطقه ۱۵
شهرداری منطقه ۲	۲	۱۳۹۲	سعادت‌آباد، بلوار شهرداری، داخل محوطه شهرداری منطقه ۲
گلبرگ	۸	۱۳۸۷	بزرگراه رسالت، خیابان دردشت، خیابان ۷۲ شرقی، اندیشه سرای گلبرگ
شهرداری منطقه ۴	۴	۱۳۸۸	خیابان هنگام، ابتدای خیابان طاهرخانی، داخل محوطه شهرداری منطقه ۴
شهرداری منطقه ۱۱	۱۱	۱۳۸۸	خیابان قزوین، داخل محوطه شهرداری منطقه ۱۱
شهرداری منطقه ۱۹	۱۹	۱۳۸۸	ابتدای اتوبان شهید کاظمی پارک آموزش ترافیک منطقه ۱۹
شهرداری منطقه ۲۱	۲۱	۱۳۹۱	شهرک استقلال، خیابان عبیدی، داخل محوطه ساختمان چندمنظوره ستاد بحران منطقه ۲۱
شهرداری منطقه ۲۲	۲۲	۱۳۹۶	خیابان مرادیان، نسیم پنجم، ناحیه ۲ شهرداری منطقه ۲۲
میدان فتح	۹	۱۳۸۹	میدان آزادی، میدان فتح، داخل ستاد مدیریت بحران
محلاتی	۱۴	۱۳۸۹	اتوبان شهید محلاتی، خیابان نبرد، خیابان شهید میرهاشمی (میثم)، ناحیه ۵
پیروزی	۱۳	۱۳۹۰	انتهای خیابان پیروزی، جنب پارک پیروزی، خدمات شهری
ستاد بحران	۷	۱۳۹۰	خیابان مطهری، بعد از خیابان مفتح، خیابان اکبری، داخل محوطه ستاد بحران
شادآباد	۱۸	۱۳۹۰	بزرگراه فتح، بلوار الغدیر، بلوار ۱۷ شهریور، ناحیه ۴ شهرداری منطقه ۱۸
دانشگاه تربیت مدرس	۶	۱۳۹۱	تقاطع بزرگراه چمران و جلال آل احمد، داخل محوطه دانشگاه تربیت مدرس
دانشگاه شریف	۲	۱۳۹۱	دانشگاه صنعتی شریف، جنب کارگاه‌های آموزشی
وردآورد	۲۲	۱۴۰۲	بزرگراه همدانی، بلوار کرمانشاه، ناحیه ۳ شهرداری منطقه ۲۲

شکل ۲ـ۱ وضعیت استقرار ایستگاه‌های فعال شرکت کنترل کیفیت هوا در شهر تهران طی سال ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ وضعیت استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در مناطق مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳ (متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوا)

طبقه‌بندی‌های مختلفي 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 (شهری[1]، ترافیکی[2]، 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 مترمربع از سطح اطراف خود باشند و این میزان برای ایستگاه‌های واقع در حومه شهر به چندین برابر می‌رسد.

به‌طورکلی هدف از استقرار ایستگاه‌های ترافیکی، بررسی آلودگي ناشی از خیابان‌های نزدیك به مناطق پرجمعیت می‌باشد. این ایستگاه‌ها باید تحت تأثیر مستقیم خیابان و وسایل نقلیه باشند.

1- Urban Stations
2- Traffic Stations

ایستگاه‌های شهری به‌منظور بررسی تأثیر آلاینده‌ها بر جمعیت در معرض آلودگی، در شهرها احداث می‌شوند. فاصله ایستگاه‌های شهری از خیابان‌های پر ترافیک برحسب میزان متوسط ترافیک روزانه (تعداد وسیله نقلیه)، متفاوت بوده و از حدود ۱۰ 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.

با عنایت به موجود نبودن استاندارد و دستورالعمل مدون در خصوص طبقه‌بندی ایستگاه‌ها در کشور، گروه‌بندی برای کاربری ایستگاه‌ها بر اساس ضوابط و مقررات سایر کشورها انجام‌شده است. با توجه به تفاوت در توزیع منابع انتشار در سطح شهر، بافت و طراحی شهری در کشورهای مختلف، ضرورت تدوین استاندارد جامع در این خصوص برای کشور وجود دارد. همچنین با توجه به اینکه از نصب و راه‌اندازی برخی از ایستگاه‌های سنجش آلودگی بیش از یک دهه می‌گذرد، تغییرات صورت گرفته در بافت و تراکم شهری، طبقه‌بندی دقیق آن‌ها را مشکل می‌سازد. بااین‌وجود بر اساس بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌ها و موقعیت استقرار ایستگاه‌ها نسبت به منابع تولید آلودگی به‌ویژه بزرگراه‌ها و خیابان‌های پرتردد شهری، طبقه‌بندی ایستگاه‌ها به شرح ذیل صورت گرفته است:

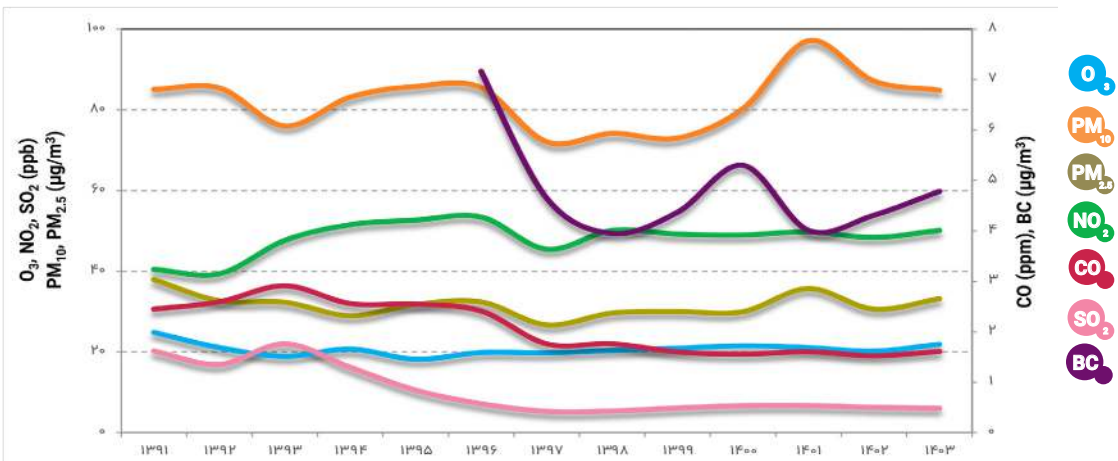
از ایستگاه‌های فعال شرکت کنترل کیفیت هوا، ایستگاه‌های محلاتی، ستاد بحران، شهرداری منطقه ۲۲، پیروزی، دانشگاه شریف، دانشگاه تربیت مدرس، گلبرگ، وردآورد، شهرداری منطقه ۲، شهرداری مرکز، شهرداری منطقه ۱۶ و شهرداری منطقه ۱۹، در گروه ایستگاه‌های شهری و غیر ترافیکی قرار دارند.

ایستگاه مناطق ۴، ۱۰، ۱۱ و ۲۱ و ایستگاه‌های اقدسیه، شادآباد، شهرری، میدان فتح، پونک و مسعودیه با توجه به نزدیکی به خیابان‌ها در گروه ایستگاه‌های ترافیکی قرار دارند.

در بخش حاضر، روند تغییرات غلظت آلاینده‌های معیار در شهر تهران در بازه زمانی ساعتی، هفتگی، ماهیانه، فصلی (در مقایسه با سال گذشته) و سالانه (در مقایسه با سال‌های گذشته) و همچنین روند غلظت آلاینده کربن سیاه موردبررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است، از سال ۱۳۹۶ در برخی از ایستگاه‌های شهر تهران آلاینده کربن سیاه (BC) اندازه‌گیری می‌شود که در این بخش آمار مقایسه‌ای و تحلیلی از این آلاینده نیز ارائه شده است. همچنین با تجهیز ایستگاه شریف به آنالایزر ترکیبات آلی فرار، امکان سنجش بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در این ایستگاه فراهم گردید که اطلاعات آن نیز در این بخش ارائه می‌گردد.

۲-۲- روند میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های مختلف در سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۴۰۳

نمودار ۲-۱ روند متوسط غلظت سالانه آلاینده‌های اصلی شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد. این نمودار اجمالی نشانگر آن است که به‌طورکلی روند غلظت متوسط سالانه آلاینده‌های CO و SO_2 در سالیان اخیر کاهشی بوده است. آلاینده $PM_{2.5}$ پس از چند سال روند کاهشی از سال ۱۳۹۸ افزایش نسبی یافته و این روند تا سال ۱۴۰۳ نیز ادامه داشته است. میانگین سالانه آلاینده ازن پس از چندین سال نزول نسبی تا سال ۱۳۹۵، رشد اندکی در سال ۱۳۹۶ داشت و پس از آن در سال‌های اخیر از روند نسبتاً ثابتی برخوردار بوده است. آلاینده NO_2 از روند خاصی پیروی ننموده و پس از طی روندی افزایشی با شیب کم، در سال ۱۳۹۷ با سیر کاهشی روبرو بوده ولی پس از افزایش طی سال ۱۳۹۸، طی سال‌های اخیر روند نسبتاً ثابتی داشته است. در مورد آلاینده PM_{10} همانند آلاینده NO_2 الگوی مشخصی وجود نداشته و افزایش نسبی از سال ۱۴۰۰ آغاز شده و در سه سال آخر و به‌ویژه در سال ۱۴۰۱ قابل‌ملاحظه بوده است. روند تغییرات غلظت آلاینده کربن سیاه پس از یک کاهش چشمگیر در دو سال اول شروع اندازه‌گیری، مجدداً روند افزایشی به خود گرفته ولی در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته و مجدداً در دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ روند صعودی به خود گرفته است. در ادامه این بخش وضعیت غلظت هر یک از این آلاینده‌ها به تفکیک بررسی می‌شود.



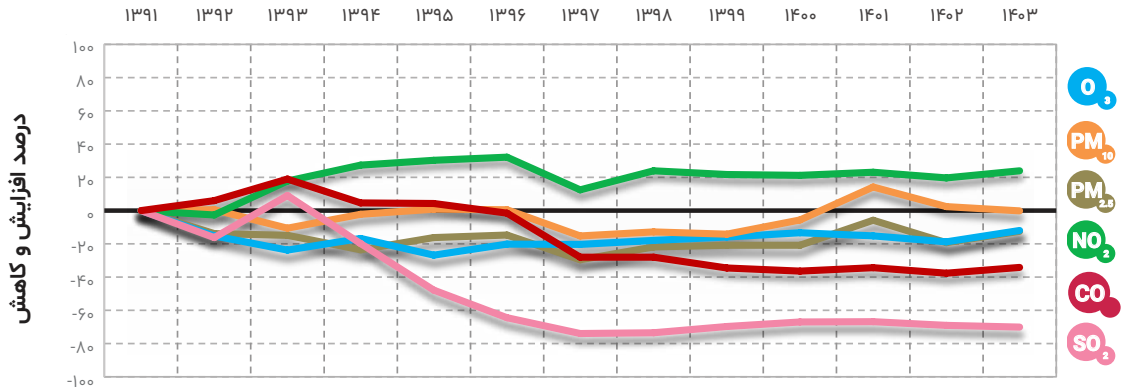
نمودار ۲-۱ میانگین غلظت سالانه آلاینده‌های مختلف سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۴۰۳

نمودار ۲-۲ روند تغییرات آلاینده‌های مختلف را برحسب درصد نسبت به سال پایه (سال ۱۳۹۱) نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار، آلاینده PM_{10} از سال ۹۱ تا ۹۳ روند کاهش ۱۰ درصدی داشته و پس از طی روندی نسبتاً ثابت تا سال ۹۹، با کاهش ۱۴ درصدی روبرو گردید و مجدداً با افزایش (به‌ویژه در سال ۱۴۰۱) مواجه شد و در نهایت در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال مبدأ، کمتر از یک درصد کاهش داشته است.آلاینده ازن از سال ۹۱ تا ۹۵ حدود ۲۶ درصد کاهش یافته و پس از آن با افزایش تدریجی، روند تقریباً ثابتی به خود گرفته است.

آلاینده دی‌اکسید گوگرد پس از افزایشی اندک در سال ۹۳، تا سال ۹۸ نسبت به سال مبدأ کاهش قابل توجه ۷۳ درصدی داشته و پس از آن نیز با اندکی افزایش روبرو شده و در پنج سال اخیر افزایش یا کاهش قابل‌توجهی نداشته و آخرین میزان آن ۷۰ درصد کمتر از سال مبدأ می‌باشد.

آلاینده منواکسید کربن تا سال ۹۳ حدود ۱۸ درصد رشد داشت و پس از آن کاهش قابل توجهی را به خود اختصاص داد و در سال ۱۴۰۳ تا حدود ۳۴ درصد نسبت به سال ۹۱، کاهش داشته است.

آلاینده دی‌اکسید نیتروژن تا سال ۹۶ حدود ۳۲ درصد رشد داشته و پس از اندکی کاهش در سال۹۷ مجدداً با افزایش روبرو شده و در سال‌های اخیر تفاوت زیادی در روند آن مشاهده نمی‌گردد. این آلاینده در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال مبدأ به رشد ۲۴ درصدی رسیده است. آلاینده $PM_{2.5}$ پس از حدود ۳۰ درصد کاهش تا سال ۹۷، روند رو به افزایش به خود گرفته و به‌ویژه در سال ۱۴۰۱ افزایش محسوسی را دارا بوده و در نهایت در سال ۱۴۰۳ حدود ۱۲ درصد نسبت به سال ۹۱ کاهش غلظت را نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۲ روند افزایش یا کاهش آلاینده‌های مختلف بر حسب درصد از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۴۰۳

جدول ۲-۲ خلاصه تغییرات میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های هوا در سال ۱۴۰۳ را نسبت به سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، غلظت سالانه آلاینده PM_{10} و SO_2 نسبت به سال ۱۴۰۲ کمتر شده و مابقی آلاینده‌ها نسبت به این سال با افزایش روبرو بودند و در این میان افزایش غلظت آلاینده BC به میزان ۱۰ درصد نسبت به سال ۱۴۰۲، بیشترین مقدار بوده است. لازم به توضیح است، طی این سال یک دستگاه به ایستگاه‌های مجهز به آنالایزر کربن سیاه (در ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹) اضافه گردیده که این امر می‌تواند در روند تغییرات نسبت به سال قبل مؤثر باشد.

جدول ۲-۲ خلاصه وضعیت آلودگی هوا در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال گذشته

آلاینده	روند تغییرات غلظت سالانه طی سال ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۴۰۲	درصد تغییرات نسبت به سال ۱۴۰۲
CO	↗	+۵/۵
PM_{10}	↘	-۲/۶
$PM_{2.5}$	↗↗	+۸/٤
SO_2	↘	-۳/٦
NO_2	↗	+۳/٦
O_3	↗↗	+۸/۵
BC	↗↗	+۱۰

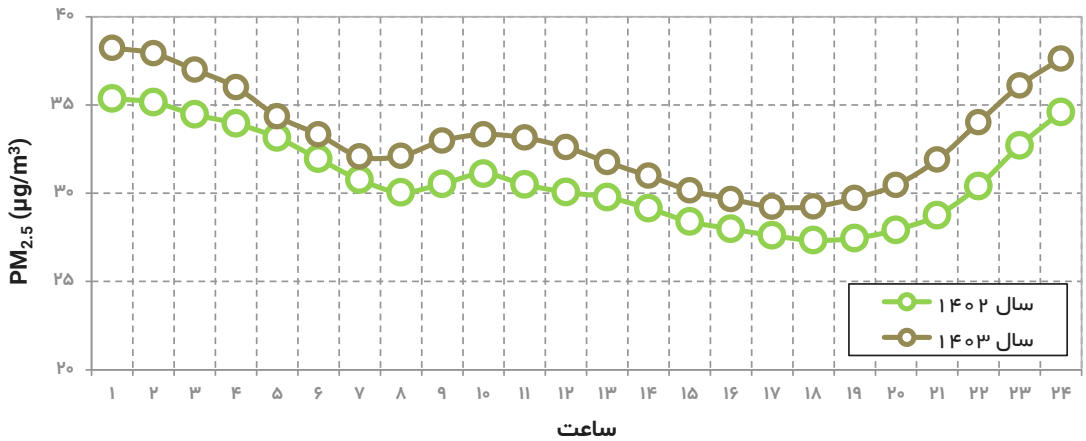
↗ روند افزایشی نسبت به سال ۱٤۰۲

↘ روند کاهشی نسبت به سال ۱٤۰۲

۲-۳- آلاینده ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

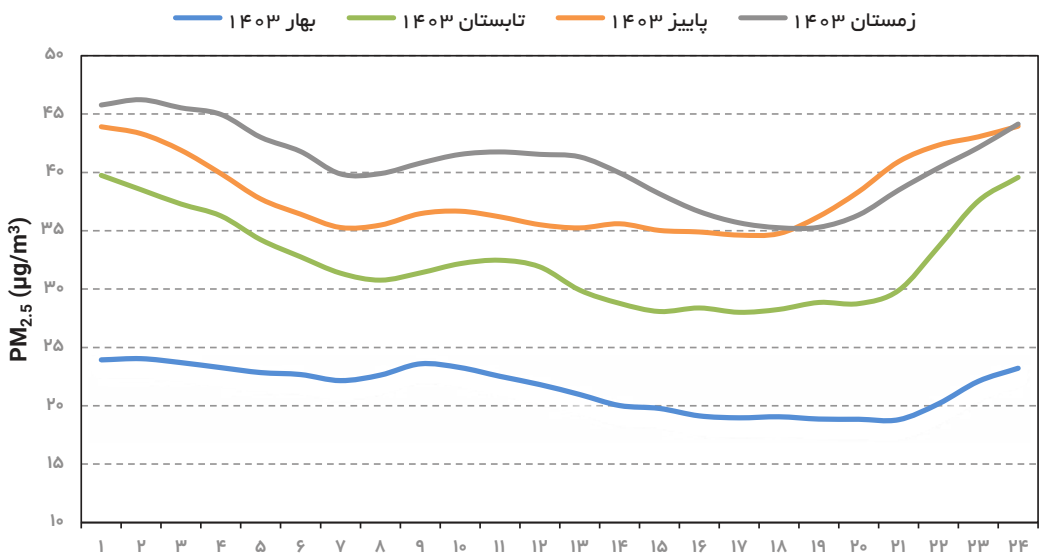
۲-۳-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۳ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، روند تغییرات ساعتی این آلاینده طی دو سال بسیار مشابه بوده ولی مقادیر ثبت شده در سال ۱۴۰۳ نسبت به ۱۴۰۲ افزایش داشته است. در هر دو سال از ساعات ابتدایی صبح با افزایش بار ترافیک میزان غلظت این آلاینده روند صعودی را آغاز نموده که اساساً به‌علت اهمیت حمل‌ونقل در تولید و انتشار آلاینده ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون می‌باشد. هم‌زمان با گرم‌تر شده هوا و افزایش عمق لایه اختلاط جو در ساعات میان‌روز و کاهش حجم ترافیک، با کاهش غلظت در این ساعات روبرو هستیم. در نیمه‌شب نیز به‌علت پایین آمدن لایه اختلاط و تجمع آلاینده‌های تولیدشده طی روز و همین‌طور هم‌زمانی حرکت خودروهای سنگین دیزلی در سطح شهر، بیشترین میزان غلظت دیده می‌شود. پس از این ساعت با جریان هوای کوه به دشت، به‌تدریج از شدت و میزان غلظت این آلاینده کاسته شده است.



نمودار ۲-۳ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

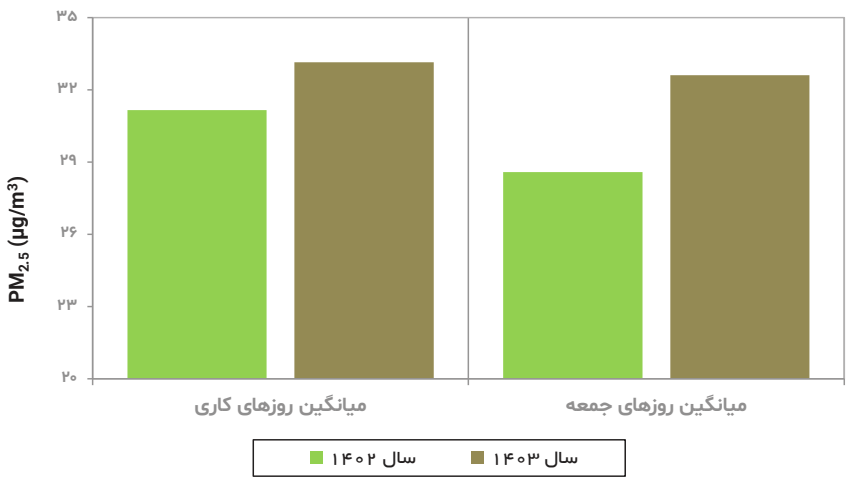
نمودار ۲-۴ نیز تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه فصول روند تغییرات ساعتی تقریباً یکسان می‌باشد، هر چند که در فصل بهار با توجه به شرایط مناسب جوی غلظت این آلاینده به‌طور قابل‌توجهی کمتر از سایر فصول بوده است. بیشترین غلظت‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان هم‌زمان با برودت هوا، پایداری جوی و کاهش عمق اختلاط دیده می‌شود و روند غالب در این فصول مطابق با ترافیک شهر می‌باشد.



نمودار ۲-۴ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۳-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

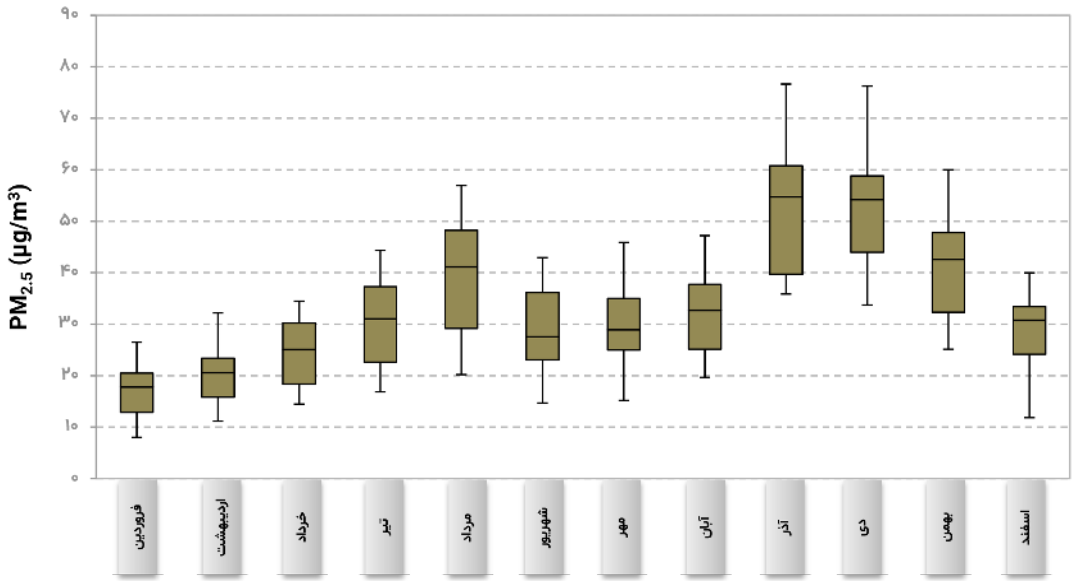
روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در روزهای کاری (شنبه تا پنجشنبه) و روز تعطیل (جمعه) هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در نمودار ۲-۵ مقایسه شده است. طی هر دو سال روزهای کاری هفته به علت افزایش حجم ترددهای شهری، بیشترین غلظت را داشته و روز جمعه نیز کمترین غلظت روزانه را به خود اختصاص می‌دهد. نکته حائز اهمیت میزان افزایش قابل توجه غلظت سال ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۴۰۲ می‌باشد.



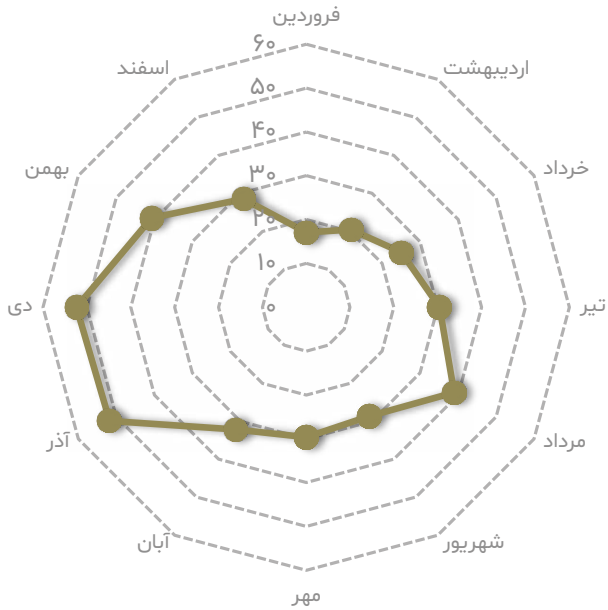
نمودار ۲-۵ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۲-۳-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۶ و نمودار ۲-۷ غلظت میانگین و توزیع غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ و نمودار ۲-۸ اطلاعات غلظت ماهانه این آلاینده را در بازه ۵ سال اخیر نشان می‌دهد. این آلاینده نماینده طیف وسیعی از ذرات بسیار ریز با سایزهای متفاوت با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون می‌باشد و بیشتر از فرآیندهای احتراقی به‌ویژه در وسایل نقلیه موتوری نظیر خودروهای دیزلی، سایش مربوط به حرکت وسایل نقلیه و همچنین درنتیجه فعل و انفعالات سایر آلاینده‌های موجود در هوا و به‌صورت آلاینده ثانویه تولید می‌شود. این آلاینده در صورت حاکمیت شرایط جوی پایدار برای چند روز متوالی و همچنین وقوع پدیده گرد و غبار، در هوای شهر انباشت شده و در اکثر قریب به‌اتفاق روزهای آلوده، آلاینده شاخص شهر تهران به‌شمار می‌رود.



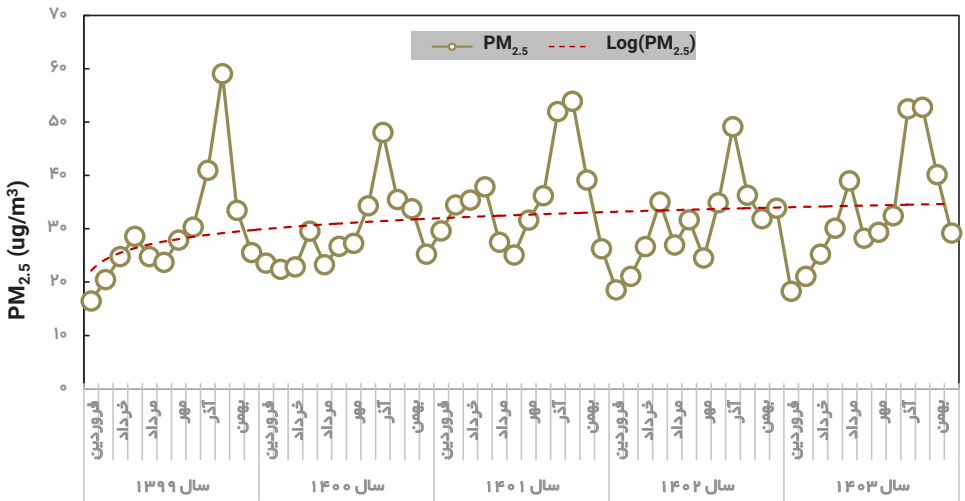
نمودار ۲-۶ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



نمودار ۲-۷ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال ۱۴۰۳ بر حسب میکروگرم بر مترمکعب

میانگین غلظت ماهانه آلاینده $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که طی سال ۱۴۰۳ ماه‌های ابتدایی فصل بهار از کمترین میزان از این حیث برخوردار بوده و بیشترین میزان نیز در آذر و دی دیده می‌شود. همان‌طور که در نمودار ۲-۶ و نمودار ۲-۷ مشخص شده است، بیشترین مقادیر غلظت ماهانه آلاینده $PM_{2.5}$ عموماً در ماه‌های سرد سال 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.

بر اساس نمودار ۲-۸ که روند تغییرات ماهانه آلاینده مذکور را طی بازه سال‌های ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳ نشان می‌دهد، طی سال ۱۳۹۹ بیشینه غلظت در دی‌ماه ملاحظه می‌گردد که به‌طور فاحشی نسبت به سایر ماه‌ها در ۵ سال اخیر آلوده‌تر بوده و همان‌طور که ذکر شد، آذر و دی سال ۱۴۰۳ نیز غلظت قابل‌ملاحظه‌ای را در این سال به‌خود اختصاص داده است.



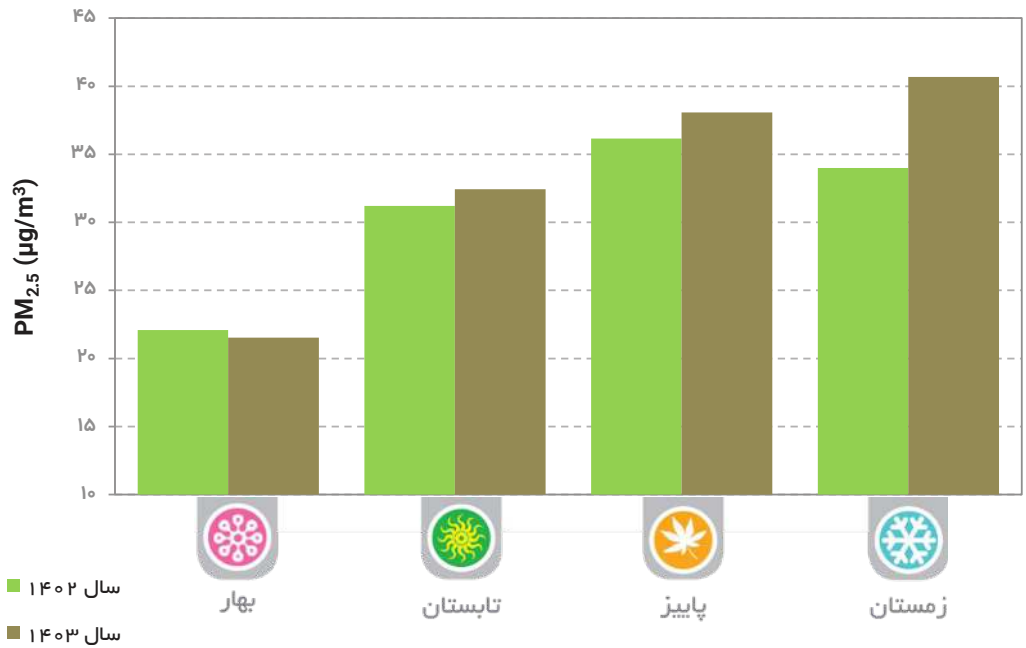
نمودار ۲-۸ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) از سال۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲-۳-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

به مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در فصل‌های مختلف سال پرداخته شده است. طی هر دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ فصل بهار از کمترین مقادیر این آلاینده برخوردار بود که می‌تواند به علت شرایط مناسب جوی این فصل باشد. با افزایش ترافیک و همین‌طور تغییرات شرایط جوی به میزان غلظت این آلاینده در سایر فصول سال افزوده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین غلظت فصول پاییز و زمستان در هر دو سال بیشترین مقدار را دارا بوده که این امر به علت سرما

و دوره‌های سکون و پایداری جوی، افزایش حجم ترددهای شهری و درنتیجه انباشت آلاینده‌ها بوده است.

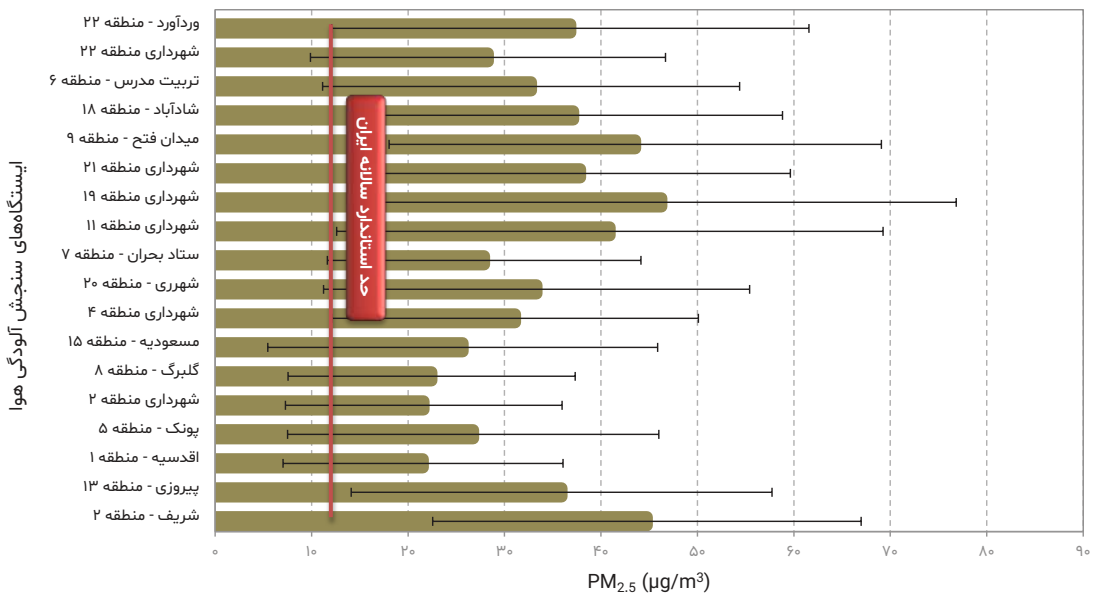
فصل زمستان ۱۴۰۳ بیشترین غلظت فصلی را در دو سال به خود اختصاص داده و وضعیت این آلاینده طی سال ۱۴۰۳ در کلیه فصول به‌استثنای بهار، نسبت به مدت مشابه در سال ۱۴۰۲ نامناسب‌تر بوده است.



نمودار ۲-۹ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

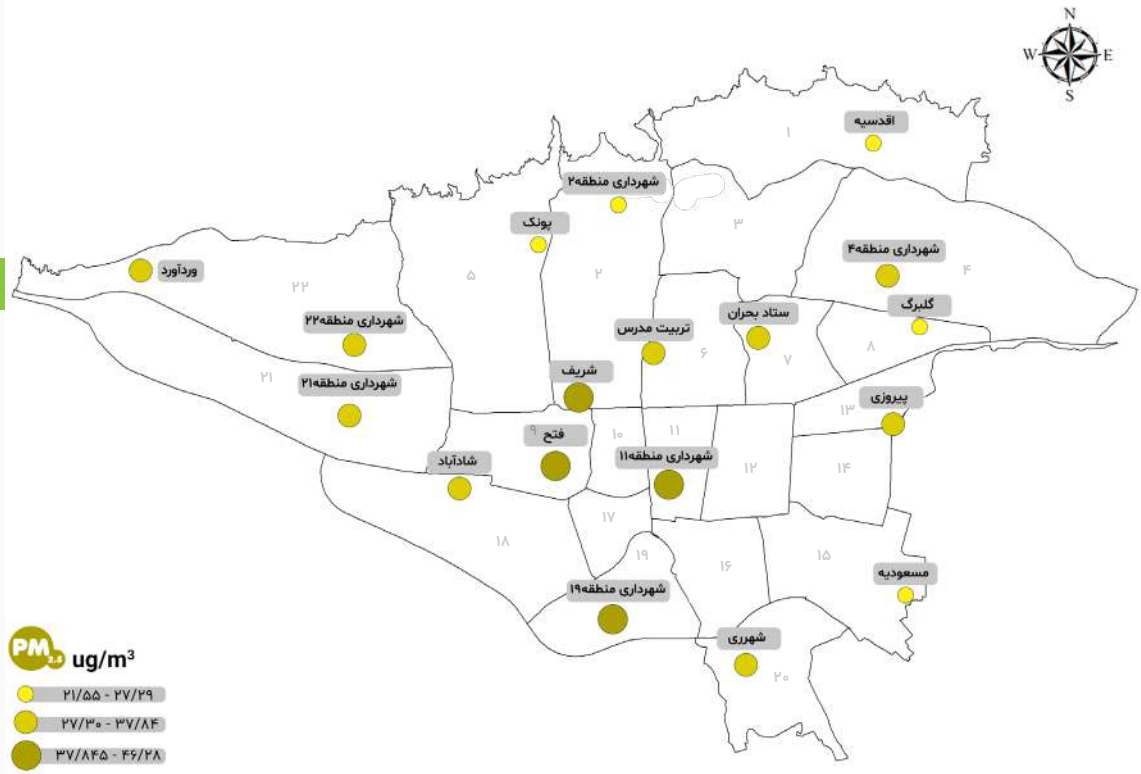
۲-۳-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۱۰ نشان‌دهنده متوسط غلظت سالانه آلاینده $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌هایی می‌باشد که بیش از ۷۵ درصد از روزهای سال در آن‌ها داده صحیح غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون اندازه‌گیری شده و تنها ایستگاه منطقه ۴ دارای ۶۷ درصد داده می‌باشد. مطابق این نمودار، وضعیت این آلاینده در تمام ایستگاه‌ها در مقایسه با استاندارد سالانه ایران (خط قرمزرنگ برابر با ۱۲ $\mu g/m^3$)، طی سال ۱۴۰۳ نامطلوب و در برخی موارد وخیم بوده و در ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۹، شریف (جنوب منطقه ۲) و میدان فتح (منطقه ۹) به‌ترتیب بیشترین میزان غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ مشاهده می‌شود و ایستگاه اقدسیه (منطقه ۱) نیز نسبت به سایر ایستگاه‌ها از کمترین میزان برخوردار بوده است. شایان‌ذکر است، اندازه‌گیری در کلیه ایستگاه‌ها به‌صورت نقطه‌ای بوده و به‌ویژه در ایستگاه‌های با موقعیت ترافیکی معرف کیفیت هوا در کل آن منطقه نیست.



نمودار ۲-۱۰ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در ایستگاه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۲ میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در سال ۱۴۰۳ 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 غلظت سالانه آلاینده $PM_{2.5}$ در آن ایستگاه بیشتر بوده است. شایان‌ذکر 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.



شکل ۲-۲ وضعیت غلظت سالانه آلاینده $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

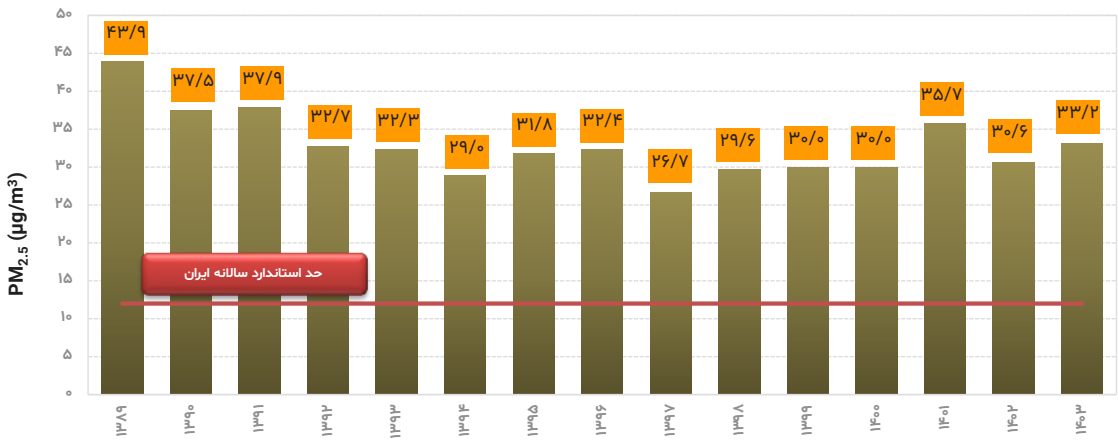
در جدول ۲-۳ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$ به‌همراه تعداد روزهای برداشت داده این آلاینده از هر ایستگاه در طول سال را ذکر نموده است. با توجه به تعداد روزهای دارای داده، ایستگاه گلبرگ و شهرداری منطقه ۲ از کمترین روزهای آلوده به لحاظ این آلاینده برخوردار بوده‌اند.

جدول۲-۳ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد مجاز از منظر آلاینده $PM_{2.5}$
شریف- منطقه ۲	۳۱۶	۲۱۰
پیروزی- منطقه ۱۳	۳۴۷	۱۳۵
پونک- منطقه ۵	۳۳۳	۶۷
گلبرگ- منطقه ۸	۲۹۸	۲۸
مسعودیه- منطقه ۱۵	۳۱۸	۵۶
شهرری- منطقه ۲۰	۳۲۴	۱۲۵
ستاد بحران- منطقه ۷	۳۳۱	۶۲
شهرداری منطقه ۲	۳۱۵	۳۳
شهرداری منطقه ۴	۲۲۲	۵۸
شهرداری منطقه ۱۱	۳۱۹	۱۶۰
شهرداری منطقه ۱۹	۳۴۱	۲۱۰
شهرداری منطقه ۲۱	۲۸۹	۱۳۹
شادآباد- منطقه ۱۸	۳۴۰	۱۴۲
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۷۸	۸۷
شهرداری منطقه ۲۲	۳۵۸	۷۳
فتح – منطقه ۹	۳۳۴	۲۱۰
وردآورد – منطقه ۲۲	۲۷۶	۱۱۴

۲-۳-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۴۰۳

با وجود آن‌که کیفیت هوا از منظر استاندارد روزانه برای آلاینده $PM_{2.5}$ در بسیاری از روزهای سال در شرایط قابل‌قبول و حتی پاک قرار می‌گیرد، ولی از منظر استاندارد سالانه، تمام سال‌های اخیر به لحاظ این آلاینده شاخص، در شرایط فراتر از حد مجاز قرار داشته است. در نمودار ۲-۱۱ مقایسه غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون از سال ۱۳۸۹ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. اندازه‌گیری این آلاینده از اواسط سال ۱۳۸۹ آغاز شد و غلظت سالانه آلاینده $PM_{2.5}$ تا سال ۱۳۹۴ در مجموع روند کاهشی داشته و طی دو سال بعد، با قدری افزایش روند ثابتی به خود گرفته است. غلظت این آلاینده در سال ۱۳۹۷ با کاهش قابل توجهی روبرو گردید و از کمترین فاصله با حد استاندارد سالانه برخوردار بوده است. پس از آن روند تدریجی افزایش غلظت تا سال ۱۴۰۱ با میانگین غلظت ۳۵/۷ میکروگرم بر مترمکعب به بیشینه میزان خود رسید و پس از کاهش در سال ۱۴۰۲ مجدداً در سال ۱۴۰۳ افزایش یافته و به ۳۳/۲ گرم بر مترمکعب رسید که ۲/۷ برابر استاندارد ملی (۱۲میکروگرم بر مترمکعب) و ۶/۶ برابر حد رهنمود سازمان بهداشت جهانی (۵ میکروگرم بر مترمکعب) بوده است. بااین‌وجود تا رسیدن به حد استاندارد، فاصله زیادی وجود داشته و لازم است برنامه‌ها و طرح‌های لازم تا نیل به این مقصود با اهتمام بیشتر و جدی‌تر در دستور کار قرار گیرد.

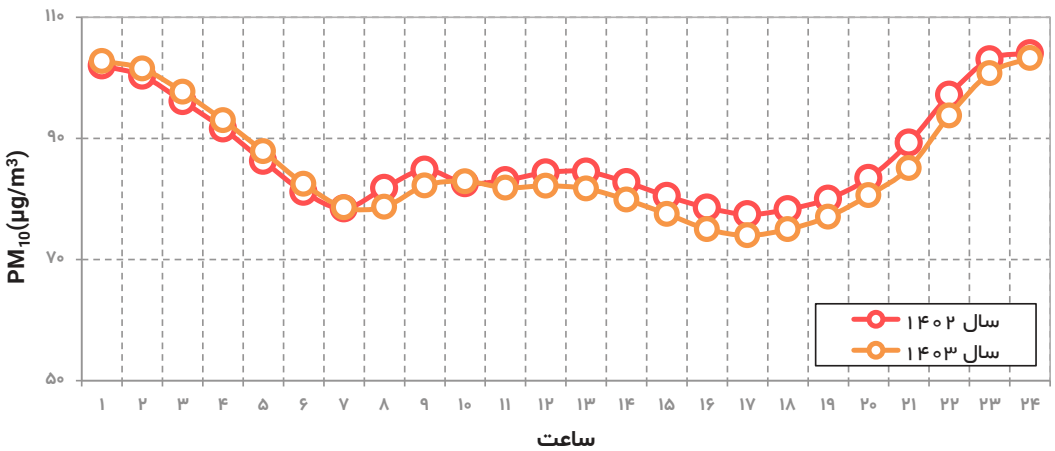


نمودار ۲-۱۱ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۴۰۳

۲-۴- آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})

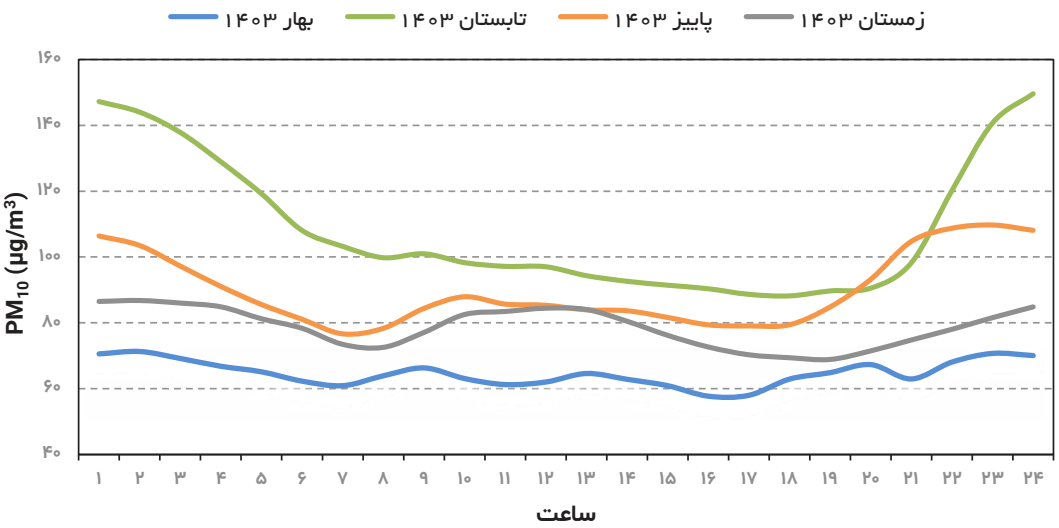
۲-۴-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۱۲ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نمایش داده شده و نمودار ۲-۱۳ نیز تغییرات تجمعی ساعتی این آلاینده را در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، روند تغییرات ساعتی این آلاینده طی دو سال نسبتاً مشابه بوده است. در شهر تهران با توجه به سهم به‌سزای حمل‌ونقل در میزان آلودگی هوا، بخشی از این آلاینده را ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون تشکیل داده و قسمتی نیز به علت نفوذ جریانات حاوی گردوغبار به هوای شهر است و تشابه روند این نمودار با نمودار ۲-۳ نیز بر همین اساس می‌باشد.



نمودار ۲-۱۲ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

در نمودار ۲ـ۱۳ تغییرات ساعتی تجمعی این آلاینده در فصول مختلف بررسی شده است. در این نمودار در ساعات ابتدایی و انتهایی شبانه‌روز طی فصول تابستان و پاییز افزایش قابل ملاحظه این آلاینده دیده می‌شود. افزایش غلظت مشاهده شده در ساعات پایانی روزهای فصل تابستان، عمدتاً ناشی از برهم کنش عوامل مختلف بویژه تغییرات شرایط هواشناسی از جمله افزایش سرعت باد، میزان رطوبت نسبی و ... همراه با گسیل گرد و خاک در این ساعات بوده که عمدتاً در فصل تابستان و تا حدودی بهار رخ می‌دهد.



نمودار ۲ـ۱۳ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده PM_{10} در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۴-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

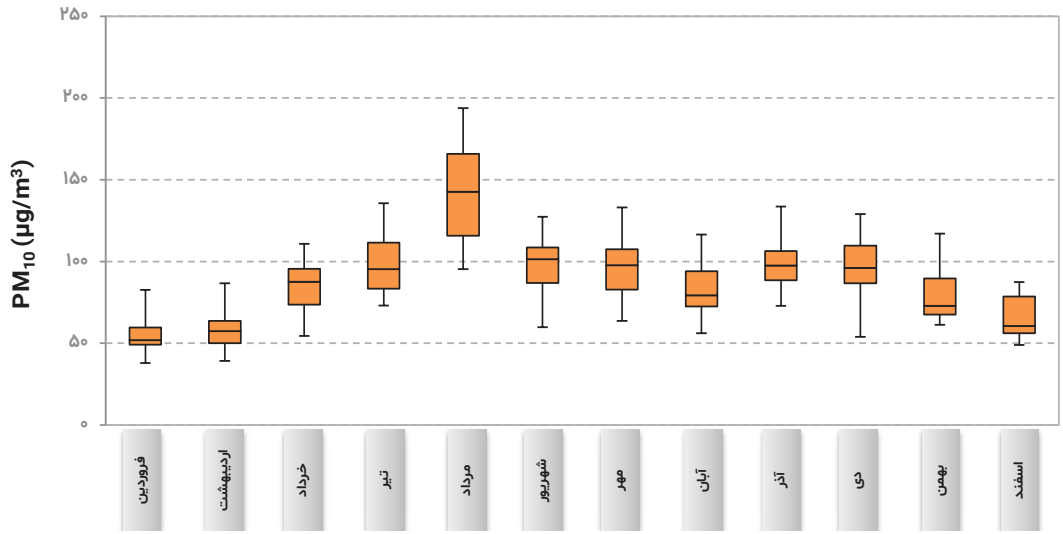
نمودار ۲-۱۴تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نمایش داده است. غلظت این آلاینده نیز طی روزهای کاری هفته، بیشتر بوده و در روز جمعه با کاهش نسبی روبرو بوده است.



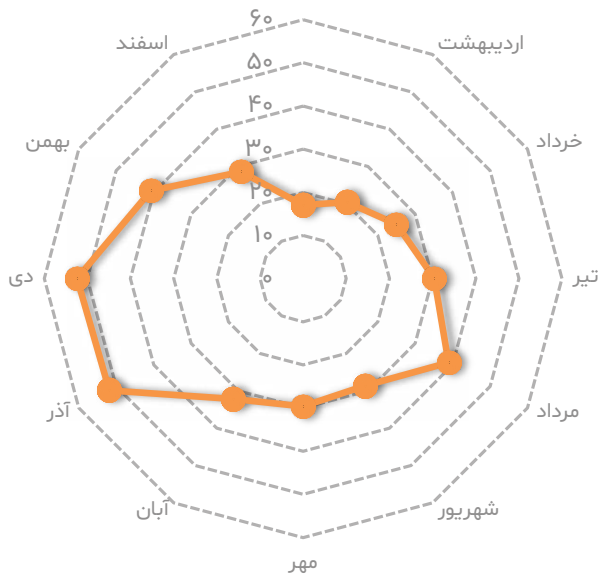
نمودار ۲-۱۴ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده PM_{10} در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۲-۴-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۱۵ غلظت میانگین آلاینده PM_{10} و نمودار ۲-۱۶ مقایسه توزیع غلظت ماهانه این آلاینده را در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده دارای منشأ طبیعی (شامل گرد و غبار) و منشأ غیرطبیعی (شامل مواردی چون حمل‌ونقل و صنایع) می‌باشد و به همین علت افزایش و کاهش آن چه از منظر سالانه و چه از منظر ماهانه حالت منظمی ندارد و همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه فصول روند متغیری را دارا می‌باشد. میانگین غلظت این آلاینده در ماه فروردین کمترین مقادیر را داشته است و طی ماه مرداد با بروز پدیده گرد و غبار، بیشترین مقادیر غلظت دیده می‌شود.



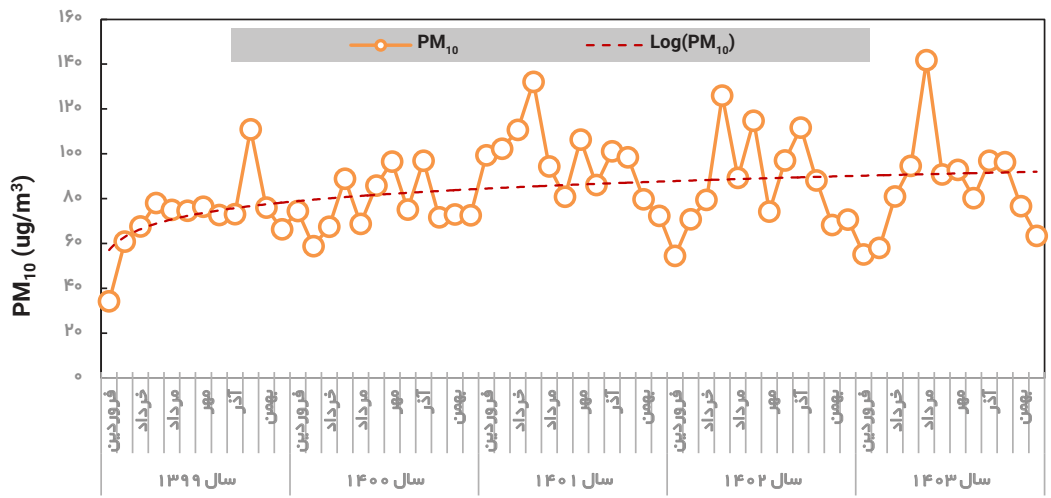
نمودار ۲-۱۵ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال ۱۴۰۳



نمودار ۲-۱۶ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده PM_{10} طی سال ۱۴۰۳ بر حسب میکروگرم بر مترمکعب

نمودار ۲-۱۷ نیز غلظت میانگین آلاینده PM_{10} را طی ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. به‌غیراز سال ۱۴۰۱ در همه سال‌های موردبررسی، عمدتاً طی دو ماه ابتدایی سال کمترین غلظت این آلاینده ثبت شده و به‌دنبال افزایش گسیل گرد و خاک در ماه‌های گرم و خشک، بیشترین مقادیر غلظت رخ داده است.

همچنین در ماه‌های سرد سال و هم‌زمان با بروز شرایط پایدار جوی افزایش غلظت این آلاینده مشاهده شده است. از سوی دیگر روند افزایشی غلظت ماهانه این آلاینده طی بازه ۵ سال بررسی شده، در این نمودار نمایان است که یکی از علل مهم آن گرم‌تر شدن هوا، گسترش خشکسالی و افزایش میزان طوفان‌های گرد و خاک در هوا می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان غلظت ماهیانه نیز به ترتیب در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹ و مردادماه سال ۱۴۰۳ وجود داشته است.

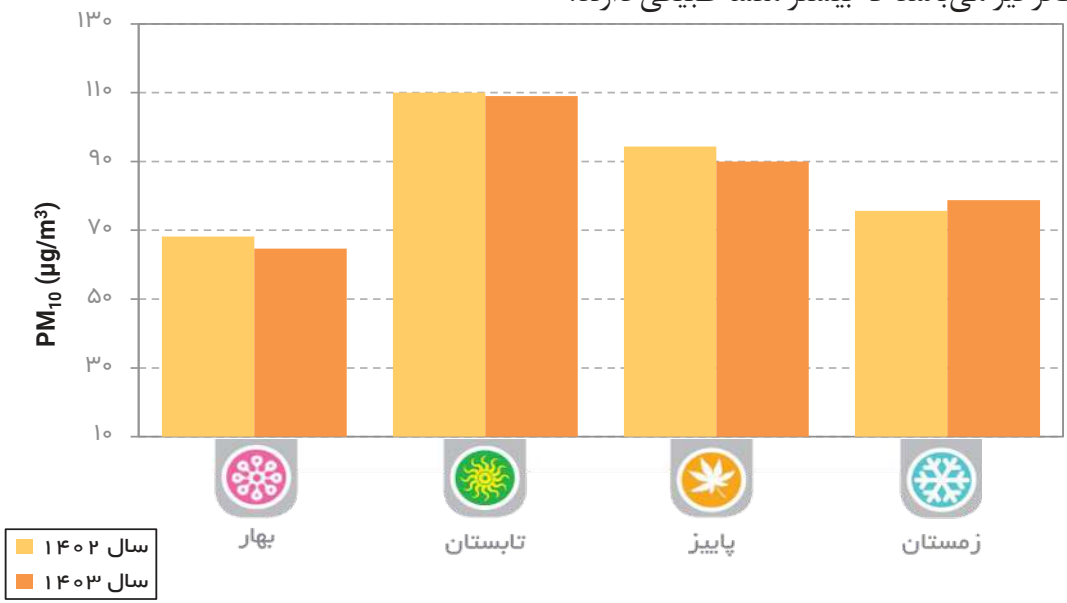


نمودار ۲-۱۷ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲-۴-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۱۸ مقایسه میانگین غلظت آلاینده PM_{10} را در فصول مختلف طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر دو سال فصل بهار به میزان قابل‌توجهی بهتر از فصول دیگر بوده است. بیشترین غلظت میانگین فصلی در میان فصل‌های مورد مطالعه، مربوط به تابستان ۱۴۰۲ بوده و کمترین میزان نیز مربوط به فصل بهار ۱۴۰۳ می‌باشد.

شایان‌ذکر 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.

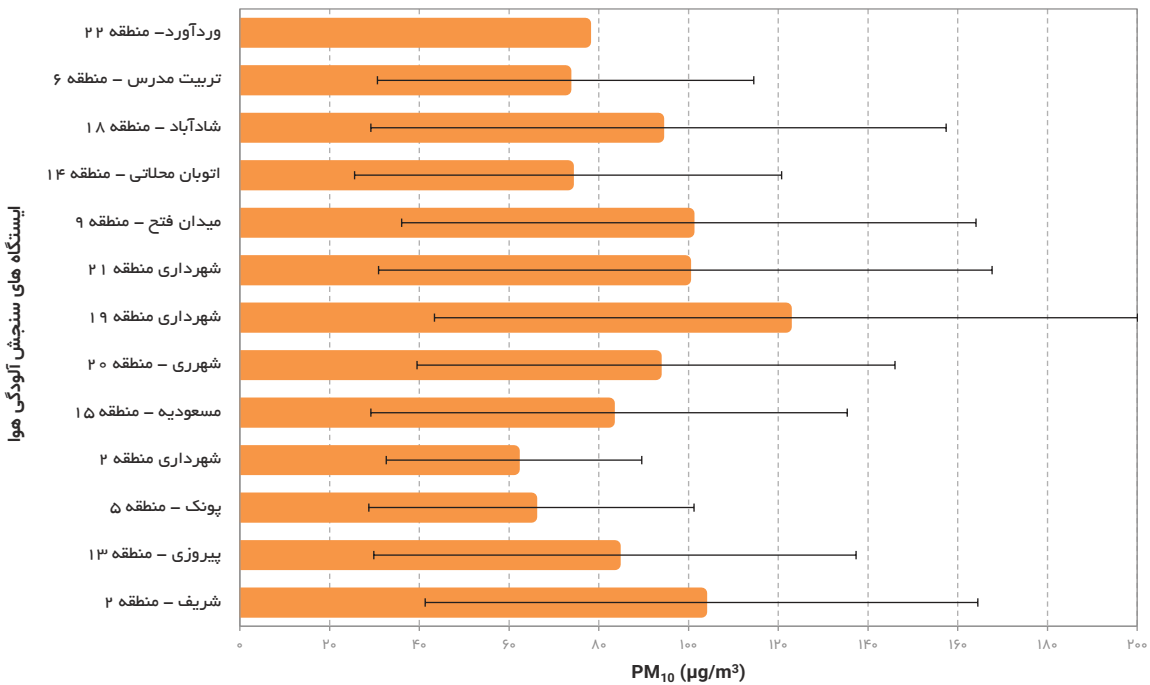


نمودار ۲-۱۸ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۲-۴-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

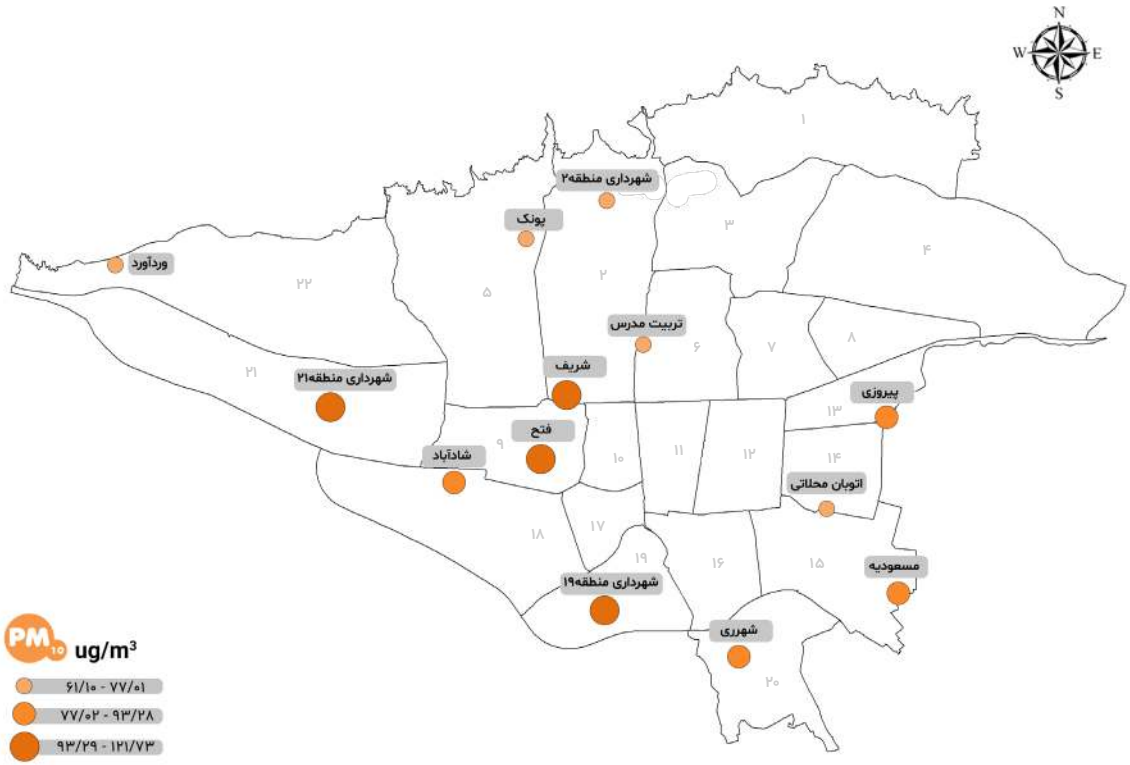
در نمودار ۲-۱۹متوسط غلظت سالانه آلاینده PM_{10} در ایستگاه‌هایی که بیش از ۷۵ درصد از روزهای سال از آن‌ها داده صحیح ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون برداشت شده، نشان داده شده است.

شایان‌ذکر است به منظور کامل‌تر بودن اطلاعات، ایستگاه‌های وردآورد، محلاتی و دانشگاه شریف نیز به ترتیب با ۷۲، ۶۹ و ۷۳ درصد داده در این نمودار گنجانده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ایستگاه شهرداری منطقه ۲ به علت فاصله بیشتر تا منابع انتشار این آلاینده کمترین غلظت را به خود اختصاص داده است. در ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۹، شریف (جنوب منطقه ۲) و میدان فتح (منطقه ۹) به‌ترتیب بیشترین میزان غلظت آلاینده PM_{10} مشاهده می‌شود و تمامی این ایستگاه‌ها در بخش‌های غربی و جنوب غربی شهر تهران قرار دارند که بیشتر در معرض جریانات حامل گرد و غبار می‌باشند و نکته قابل‌توجه دیگر در نمودار مربوطه آن است که در تمام ایستگاه‌ها غلظت سالانه از آخرین حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۵ میکروگرم بر مترمکعب) فراتر بوده و شهر تهران از نظر غلظت سالانه آلاینده PM_{10} در سال ۱۴۰۳ در وضعیت نامطلوبی قرار داشته است. شایان‌ذکر است، در استاندارد مصوب سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران این آلاینده دارای حدود مجاز سالانه نمی‌باشد.



نمودار ۲-۱۹ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۳ میزان میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون طی سال ۱۴۰۳ را با استفاده از اندازه دوایر قرارگرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در آن ایستگاه بیشتر بوده است و همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین غلظت‌ها مربوط به ایستگاه‌های واقع در جنوب تا غرب شهر می‌باشد.



شکل ۲-۳ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده PM_{10} در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

مطابق شکل ۲-۳ و نمودار ۲-۱۹بیشترین غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در مناطقی دیده می‌شود که بیشتر در معرض گرد و غبار با منشأ خارج از شهر تهران هستند. لازم به ذکر است علاوه بر

اثر ترافیک و پدیده گرد و غبار، فعالیت‌های منابع ساکن آلودگی هوا ازجمله فعالیت‌های ساختمانی و پروژه‌های عمرانی در اطراف ایستگاه‌ها نیز در انتشار این آلاینده مؤثر می‌باشند.

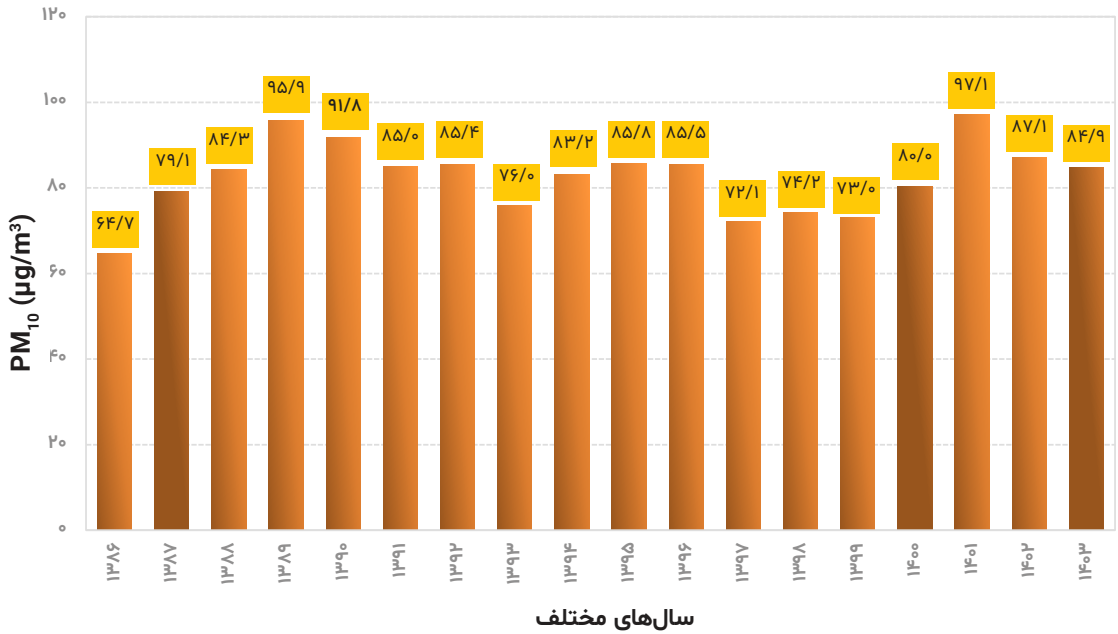
در جدول ۲-۴ تعداد روزهای برداشت اطلاعات آلاینده PM_{10} در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ و همچنین تعداد روزهای فراتر از حد مجاز از منظر این آلاینده ذکر گردیده است. نکته قابل‌توجه در مورد اطلاعات این جدول آن است که به جز یک ایستگاه واقع در بخش شمالی منطقه ۲، در سایر ایستگاه‌ها تعداد روزهای آلوده به لحاظ این آلاینده صفر نبوده و بیشترین میزان روز آلوده نیز مانند سال ۱۴۰۳ مربوط به شهرداری منطقه ۱۹ با ۶۳ روز می‌باشد.

جدول ۲-۴ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده PM_{10}

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد مجاز از منظر آلاینده PM_{10}
شریف- منطقه ۲	۲۶۲	۳۴
پیروزی – منطقه ۱۳	۳۴۳	۱۸
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۸۱	۴
شادآباد – منطقه ۱۸	۳۲۶	۲۷
مسعودیه- منطقه ۱۵	۳۵۱	۱۸
شهرری- منطقه ۲۰	۳۴۸	۱۷
شهرداری منطقه ۲	۳۲۸	۰
شهرداری منطقه ۱۹	۲۹۴	۶۳
شهرداری منطقه ۲۱	۳۰۸	۲۲
میدان فتح- منطقه ۹	۳۳۷	۳۷
پونک – منطقه ۵	۳۴۹	۲
اتوبان محلاتی- منطقه ۱۴	۲۴۷	۱۳
وردآورد – منطقه ۲۲	۲۶۶	۶

۲-۴-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۲۰ مقایسه غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون از سال ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. تغییرات غلظت سالانه این آلاینده تا سال ۱۳۸۹ روند افزایشی داشت و پس از آن تا سال ۱۳۹۳روند نزولی به خود گرفت و از آن به بعد سیر صعودی گرفته و پس از سال ۱۳۹۶ با کاهشی محسوس، روند نسبتاً ثابتی به‌خود گرفته است و مجدداً در سال ۱۴۰۰ بر مقدار آن افزوده شده و در سال ۱۴۰۱ به بیشترین مقدار خود در سال‌های موردبررسی رسیده است. در مجموع مشاهده می‌گردد که میانگین غلظت سالانه این آلاینده طی سال‌های موردبررسی روند غیریکنواخت و سینوسی داشته است.

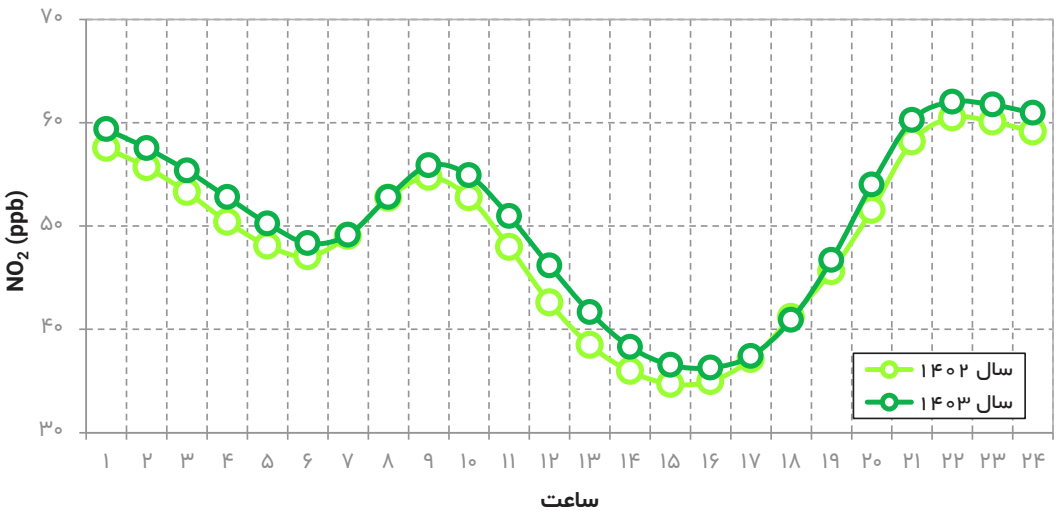


نمودار ۲-۲۰ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

۲-۵- آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)

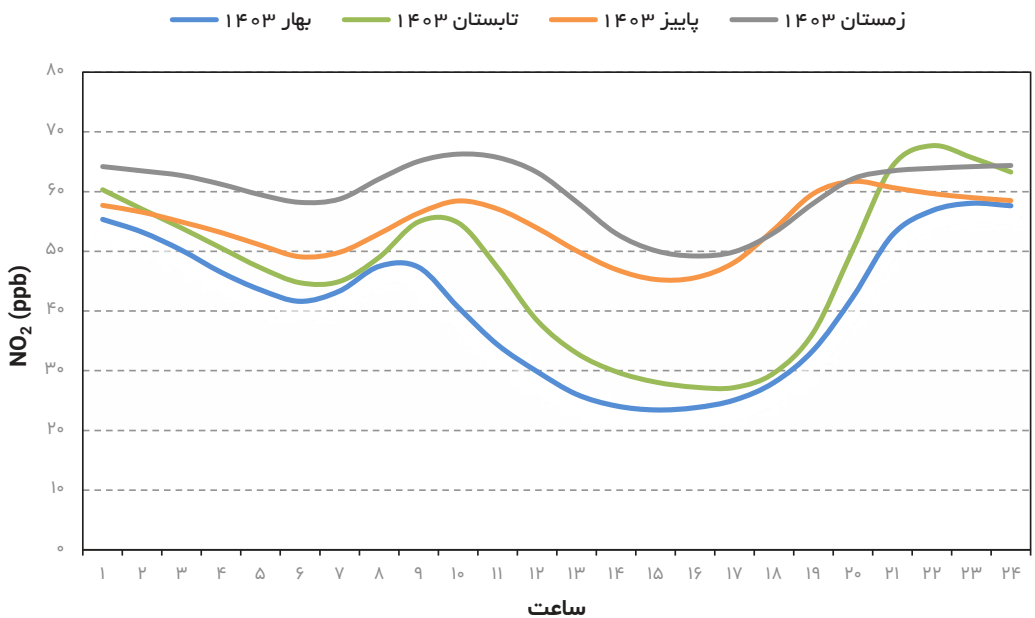
۲-۵-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۲۱ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را ارائه نموده است. این نمودار نیز روندی منطبق با میزان ترافیک را دارا می‌باشد، به‌نحوی‌که طی دو سال موردبررسی در ساعات اوج ترافیک روز و شب، دو میزان بیشینه را نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۲۱ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

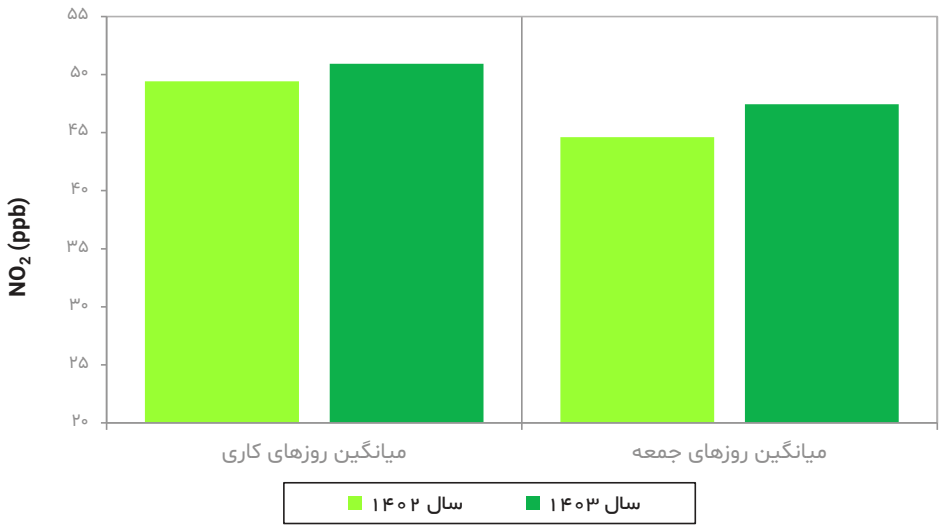
نمودار۲-۲۲ نیز تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده NO_2 در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ را نمایش می‌دهد و انطباق نمودار با ساعات ترافیک در همه فصل‌ها دیده می‌شود. فصل بهار از کمترین مقادیر برخوردار بوده و دو فصل پاییز و زمستان مقادیر نزدیک به یکدیگر را دارا می‌باشند. در فصول بهار و تابستان با توجه به واکنش رفت و برگشتی این آلاینده و گاز ازن، تفاوت مشخصی در روند این آلاینده رخ می‌دهد و حتی در ساعات پایانی در فصل تابستان با توجه به تخریب ازن تجمع یافته در طول روز و تولید NO_2، بیشترین مقدار این آلاینده دیده می‌شود.



نمودار ۲-۲۲ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده NO_2 در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۵-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۲۳ تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نمایش داده است. میزان غلظت این آلاینده در روزهای کاری هفته بیشتر بوده و با کاهش حجم ترددهای شهری در روزهای جمعه اندکی کاهش یافته است.

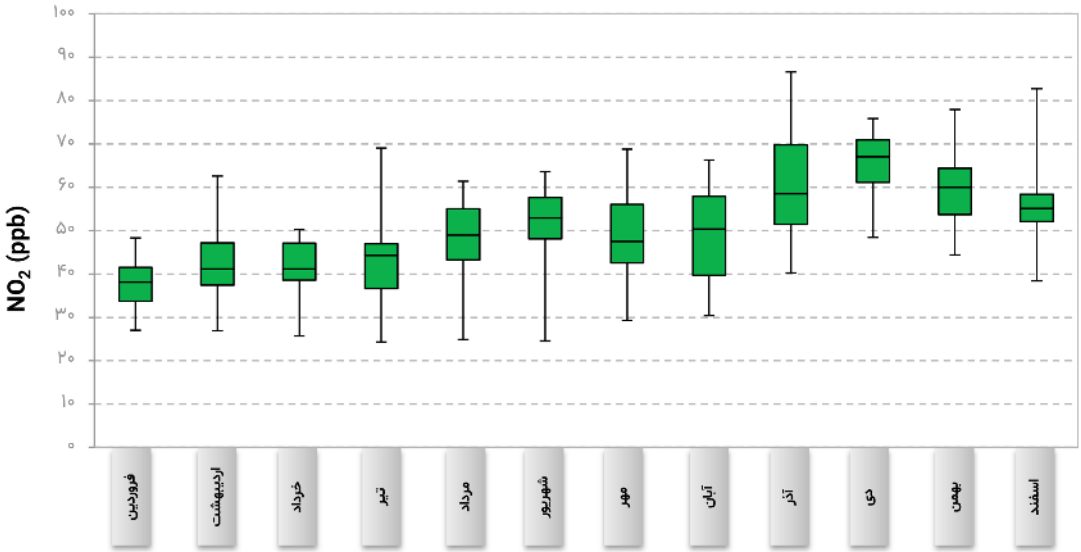


نمودار ۲-۲۳ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده NO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

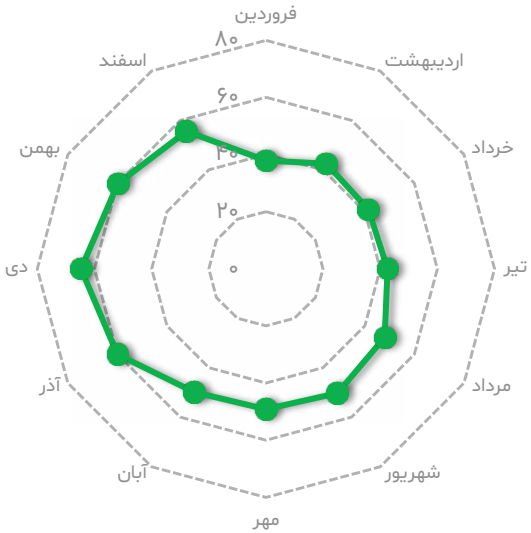
۲-۵-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۲۴ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده NO_2 و نمودار ۲-۲۵ مقایسه توزیع غلظت ماهانه این آلاینده را در سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد و همان‌گونه که دیده می‌شود، در ماه‌های سرد سال به‌ویژه آذر و دی، میانگین غلظت و همین‌طور بیشینه غلظت در این ماه‌ها به‌علت پایداری جوی و عدم جریانات جوی مناسب، افزایش یافته است.

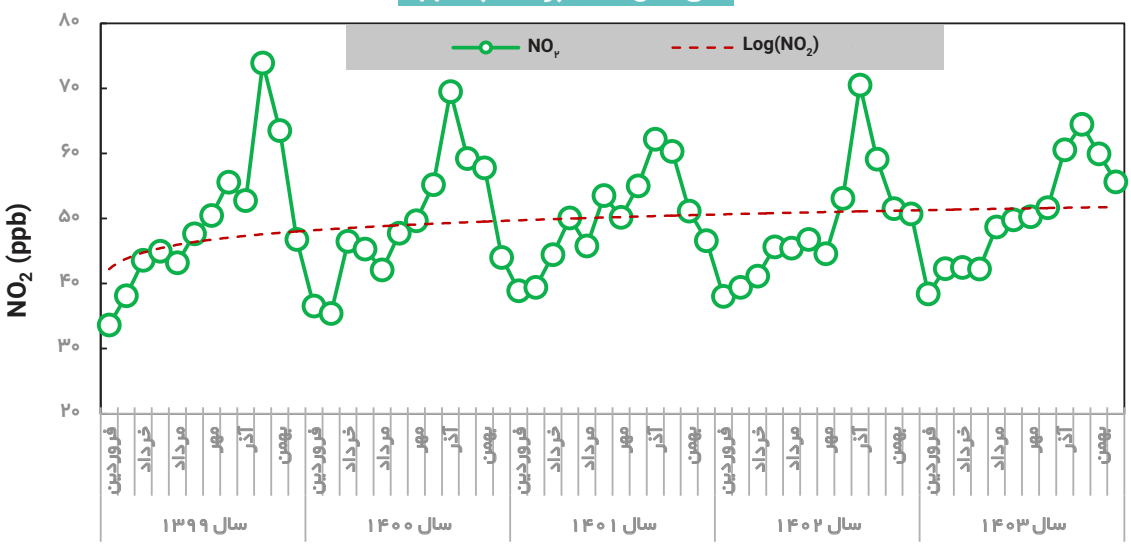
نمودار ۲-۲۶ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده NO_2 را در ۵ سال اخیر نمایش داده است. بر اساس این نمودار عموماً ماه‌های ابتدایی فصل بهار از کمترین مقادیر و ماه‌های سرد سال از بیشترین غلظت ماهانه این آلاینده برخوردار بوده‌اند. همچنین میزان غلظت ماهانه این آلاینده به ترتیب در دی‌ماه سال ۱۳۹۹ و آذرماه سال ۱۴۰۲ به بیشترین میزان خود طی بازه موردبررسی رسیده است.



نمودار ۲-۲۴ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



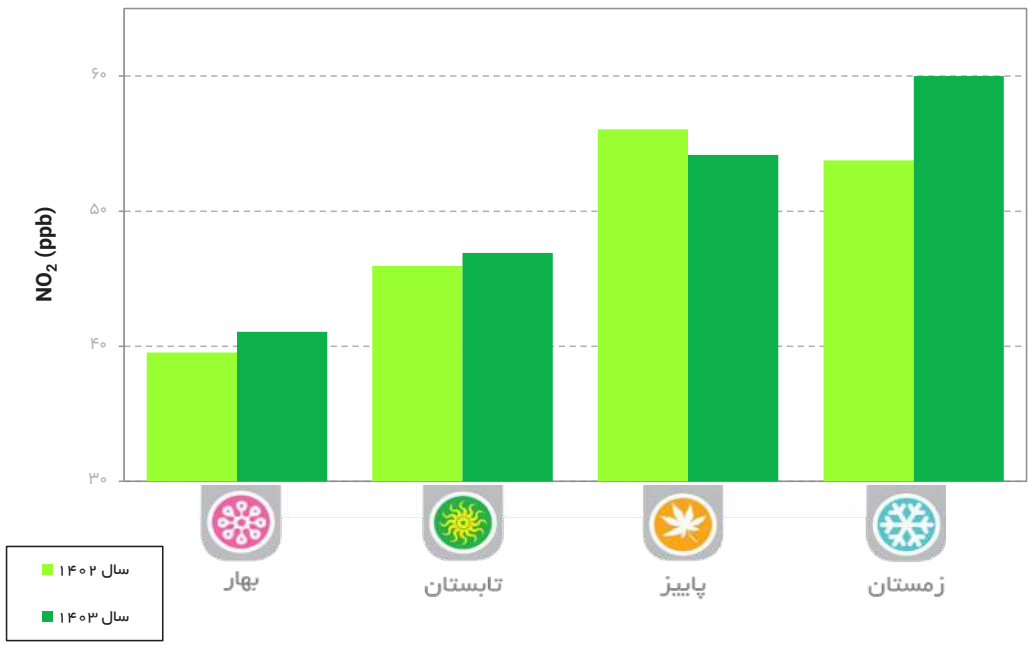
نمودار ۲-۲۵ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده NO_2 طی سال ۱۴۰۳ بر حسب ppb



نمودار ۲-۲۶ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲- ۵ -۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده‌دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

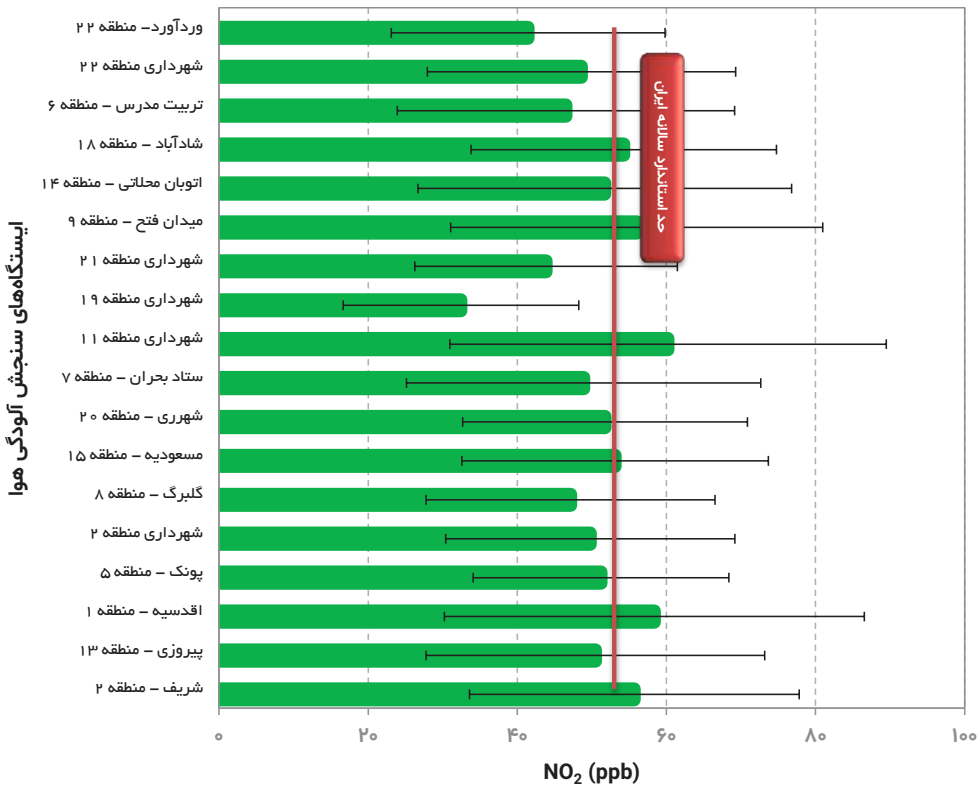
نمودار ۲-۲۷ به مقایسه غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در فصل‌های مختلف سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ می‌پردازد. با توجه به این نمودار، در هر دو سال هم‌زمان با برودت هوا و همین‌طور پایداری جوی، بیشترین غلظت مربوط به فصول سرد بوده است و در فصل بهار که شرایط جوی مناسب‌تری وجود داشته، کمترین غلظت دیده می‌شود. زمستان سال ۱۴۰۳ بیشترین و بهار سال ۱۴۰۲ کمترین غلظت فصلی را داشته‌اند.



نمودار ۲-۲۷ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

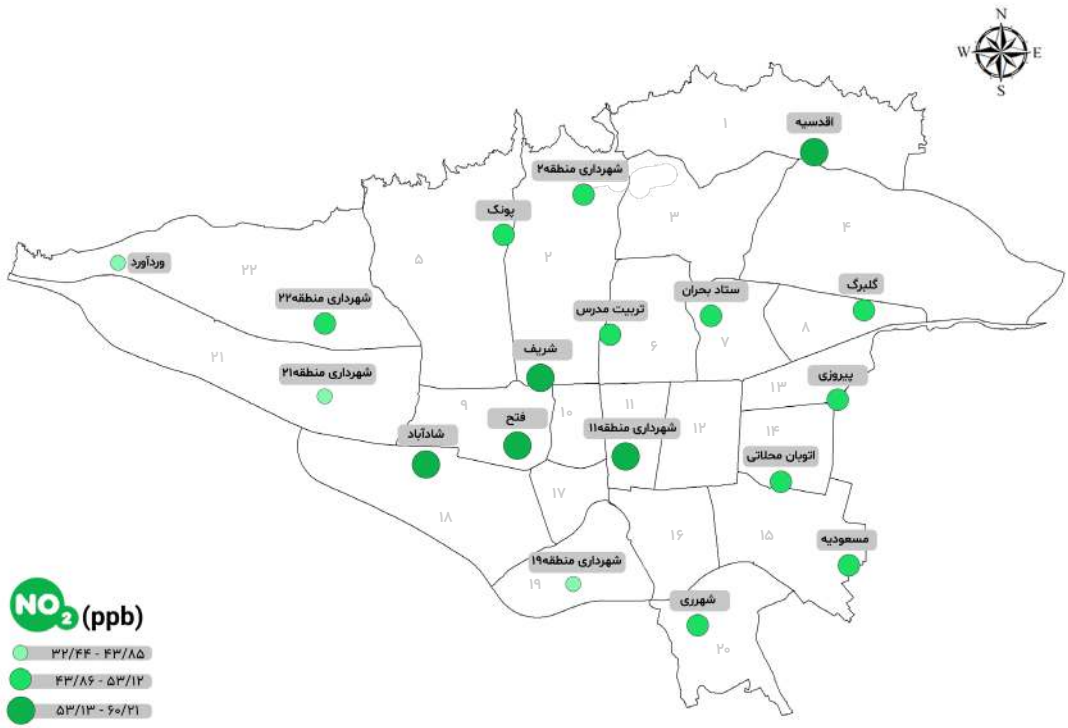
۲-۵-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۲۸ متوسط غلظت سالانه آلاینده NO_2 در ایستگاه‌هایی که بیش از ۷۵ درصد از روزهای سال از آن‌ها داده آلاینده دی‌اکسید نیتروژن برداشت‌شده و همچنین مقایسه آن با حد استاندارد سالانه ایران (خط قرمز رنگ برابر با ۵۳ ppb) آمده است. همچنین در این نمودار ایستگاه‌های منطقه ۲، گلبرگ و محلاتی به‌ترتیب با ۶۵، ۶۷ و ۷۰ درصد داده نیز ذکر شده‌اند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، از منظر استاندارد سالانه، ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۱، اقدسیه (منطقه ۱) و میدان فتح (منطقه ۹)، از بیشترین مقادیر برخوردار بوده و غلظت بالاتر از حد مجاز سالانه را تجربه کرده‌اند و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹ از این حیث دارای کمترین میزان بوده است.



نمودار ۲-۲۸ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) در ایستگاه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۴ میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در سال ۱۴۰۳ 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 دی‌اکسید نیتروژن در آن ایستگاه بیشتر بوده است.



شکل ۲-۴ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده NO_2 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

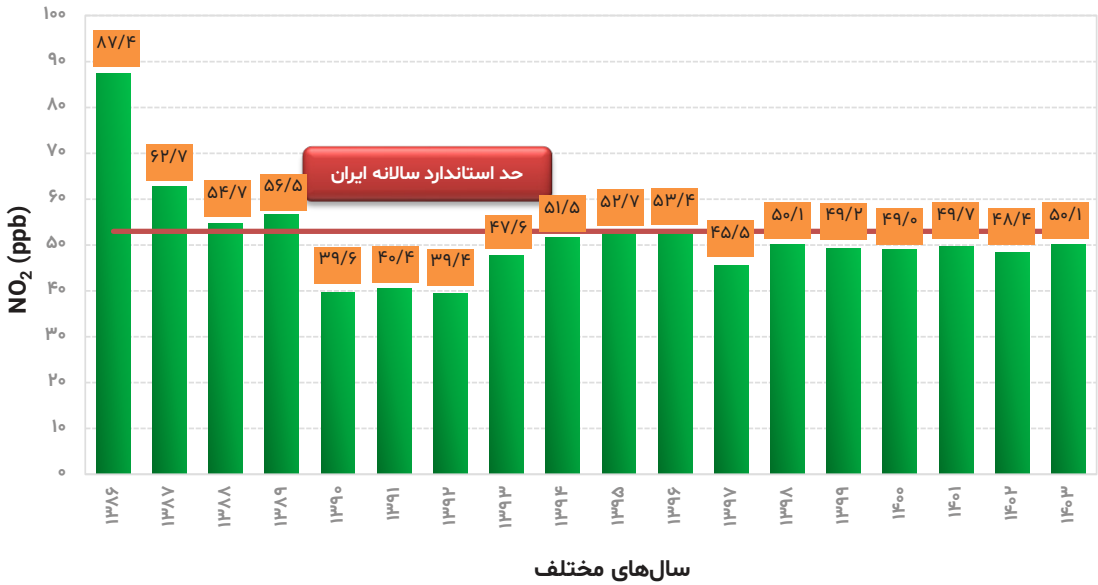
جدول ۲-۵ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ را به لحاظ آلاینده NO_2 به همراه تعداد روز برداشت داده از ایستگاه، ارائه نموده است. بر این اساس به لحاظ آلاینده دی‌اکسید نیتروژن، ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱ با ۱۰۷ روز آلوده، بیشترین و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹ هم تنها با ۳ روز آلوده کمترین سهم روزهای فراتر از حد مجاز را داشته است.

جدول ۲-۵ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده NO_2

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد مجاز NO_2 از منظر آلاینده
اتوبان محلاتی- منطقه ۱۴	۲۵۴	۳۹
پونک- منطقه ۵	۳۳۸	۳۴
پیروزی- منطقه ۱۳	۳۴۹	۴۵
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۴۴	۲۹
ستاد بحران- منطقه ۷	۳۰۶	۴۵
شادآباد- منطقه ۱۸	۳۳۵	۴۲
شریف- منطقه ۲	۳۰۸	۶۴
شهرری- منطقه ۲۰	۳۵۹	۴۴
شهرداری منطقه ۲	۲۳۶	۲۳
شهرداری منطقه ۱۱	۲۹۳	۱۰۷
شهرداری منطقه ۱۹	۳۱۷	۳
شهرداری منطقه ۲۱	۲۸۹	۹
شهرداری منطقه ۲۲	۳۴۴	۴۲
گلبرگ- منطقه ۸	۲۴۴	۲۹
مسعودیه- منطقه ۱۵	۳۳۲	۴۲
میدان فتح- منطقه ۹	۳۳۰	۸۱
وردآورد – منطقه ۲۲	۲۷۸	۱۵

۲- ۵ -۶ - مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

نمودار ۲-۲۹ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن را طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. بیشترین غلظت این آلاینده در سال ۱۳۸۶ بوده و پس از آن با کاهشی معنادار روبرو بود. علت این کاهش می‌تواند ارتقاء استاندارد خودروها و استفاده از کاتالیست در وسایل نقلیه تولیدی باشد. طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ کمترین غلظت‌ها دیده می‌شود و پس از رشدی تدریجی از سال ۱۳۹۳ به بعد تغییرات زیادی در آن ثبت نشده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، پس از کاهش نسبی طی سال ۱۳۹۷، مجدداً افزایش یافته و طی سال‌های ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۳، میانگین غلظت سالانه شهر به لحاظ این آلاینده اندکی کمتر از حد استاندارد سالانه ایران (خط قرمزرنگ برابر با ۵۳ ppb) بوده است.

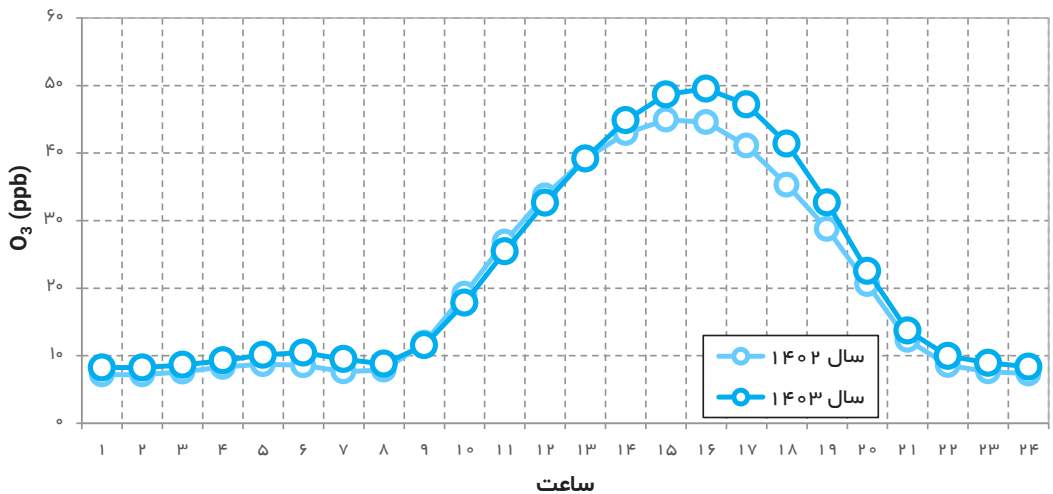


نمودار ۲-۲۹ میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

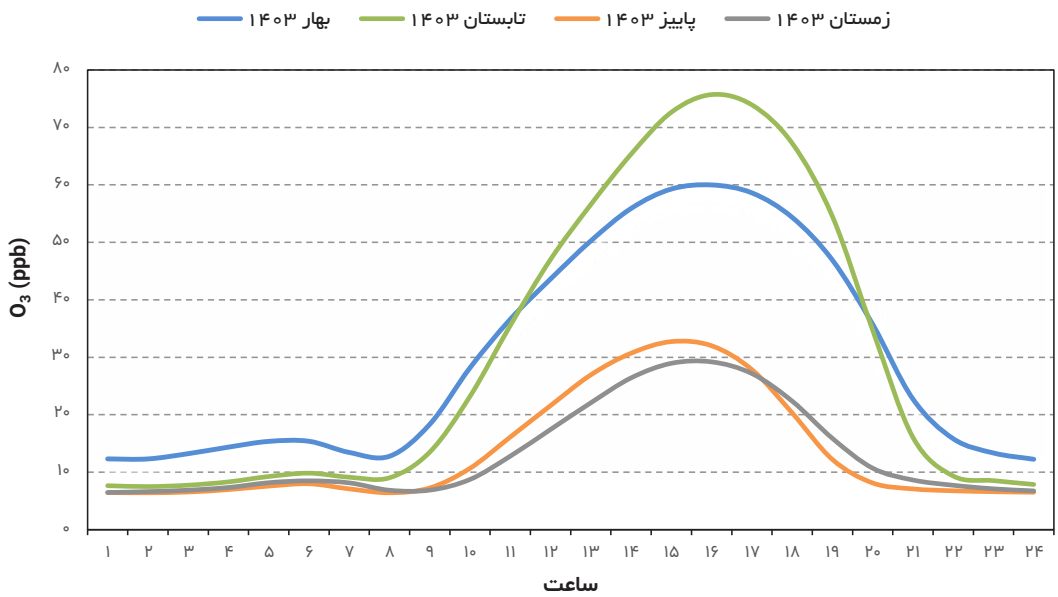
۲-۶- آلاینده ازن (O_3)

۲-۶-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۳۰ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده ازن در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ و نمودار ۲-۳۱ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده O_3 در فصول مختلف سال ۱۴۰۳ را ارائه نموده است. طی هر دو سال مورد بررسی روند ساعتی این آلاینده بسیار مشابه بوده و با توجه به افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی تولید این آلاینده‌ثانویه، با افزایش نور و دما، بیشترین غلظت آن در ساعات میانی روز که بیشترین شدت تابش نور خورشید وجود دارد، ثبت گردیده است. تفاوت چشمگیر میزان غلظت در ساعات آفتابی روز طی فصل تابستان و پس از آن بهار با فصول سرد زمستان و پاییز در نمودار ۲-۳۱ مشهود است.



نمودار ۲-۳۰ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳



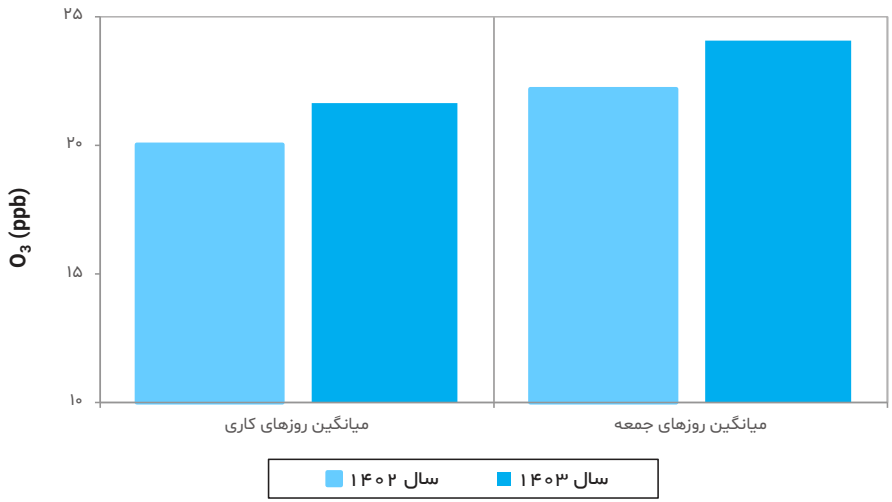
نمودار ۲-۳۱ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده O_3 در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۶-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۳۲ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده ازن در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان داده شده است. بر این اساس افزایش نسبی در میزان غلظت در روزهای کاری و در روز جمعه طی سال ۱۴۰۳ رخ داده است.

آنچه در نمودارهای مشابه سایر آلاینده‌ها از جمله NO_2 و $PM_{2.5}$ دیده می‌شود، کاهش قابل‌ملاحظه

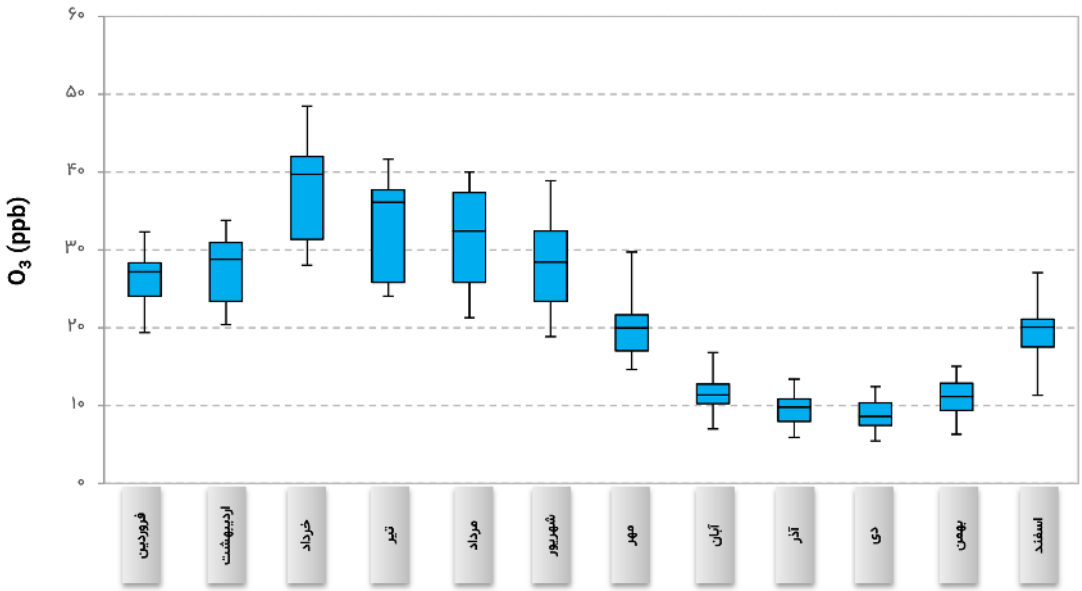
غلظت در روز پایان هفته می‌باشد که به دنبال کاهش ترددهای شهری و ترافیک رخ می‌دهد. این درحالی است که غلظت ازن با کاهش سطح سایر آلاینده‌ها در روز جمعه افزایش یافته که به آن تأثیر آخر هفته گفته می‌شود. این الگو کم و بیش در روز پایانی هفته اکثر شهرهای بزرگ دنیا مشاهده می‌گردد[۱۴].
البته این شرایط بسیار پیچیده بوده و به پارامترهای متعددی از قبیل غلظت ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق، تغییر زمانی انتشار پیش‌سازهای تولید ازن، انتقال ازن از سایر نواحی، افزایش سطح پیش‌ساز تولید ازن در شب قبل از تعطیلات (به‌ویژه پنجشنبه) و ... ارتباط دارد.



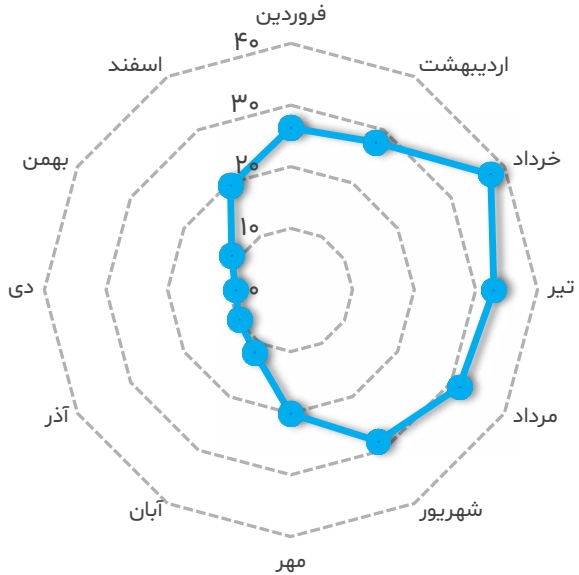
نمودار۲-۳۲ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده O_3 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۲-۶-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال ۱۴۰۳

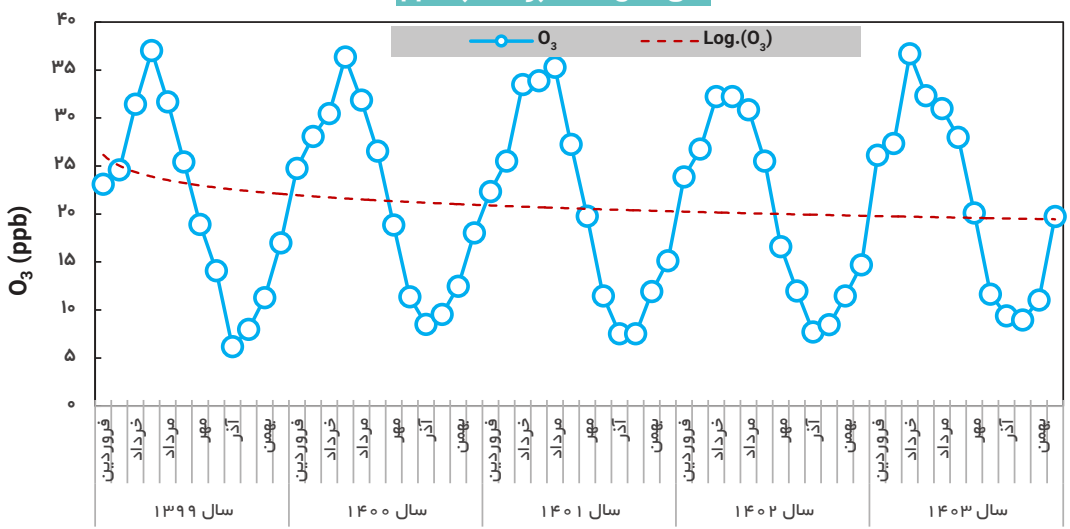
نمودار ۲-۳۳ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده O_3 و نمودار ۲-۳۴ توزیع غلظت ماهانه این آلاینده را طی سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد. ازن جزء آلاینده‌های ثانویه می‌باشد که از واکنش برخی گازها (اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار) در حضور نور خورشید ایجاد می‌شود و همان‌طور که دیده می‌شود، میزان غلظت این آلاینده در ماه‌های گرم سال افزایش یافته است. در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بیشترین غلظت میانگین ماهانه مشاهده می‌شود و در ماه‌هایی از سال که از شدت تابش نور خورشید کاسته شده، میزان این آلاینده هم به‌وضوح کاهش داشته است. نمودار ۲-۳۵ نیز تغییرات ماهانه غلظت این آلاینده را طی ۵ سال اخیر نمایش داده است و بیشینه غلظت ماهانه مشاهده شده در این دوره طی تیرماه سال ۱۳۹۹ و پس از آن در خردادماه سال ۱۴۰۳ اتفاق افتاده است.



نمودار ۲-۳۳ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ازن (O_3)
طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



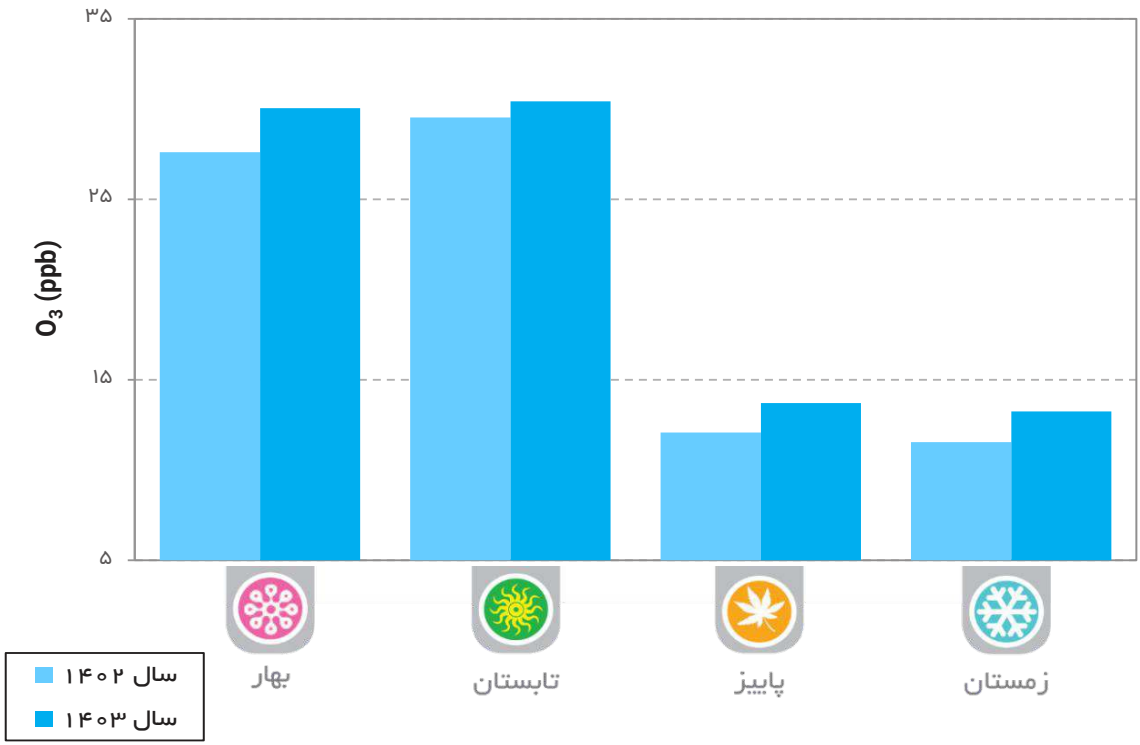
نمودار ۲-۳۴ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده O_3 طی سال ۱۴۰۳ بر حسب ppb



نمودار ۲-۳۵ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ازن (O_3) از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲-۶-۴- مقایسه فصلی غلظت آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

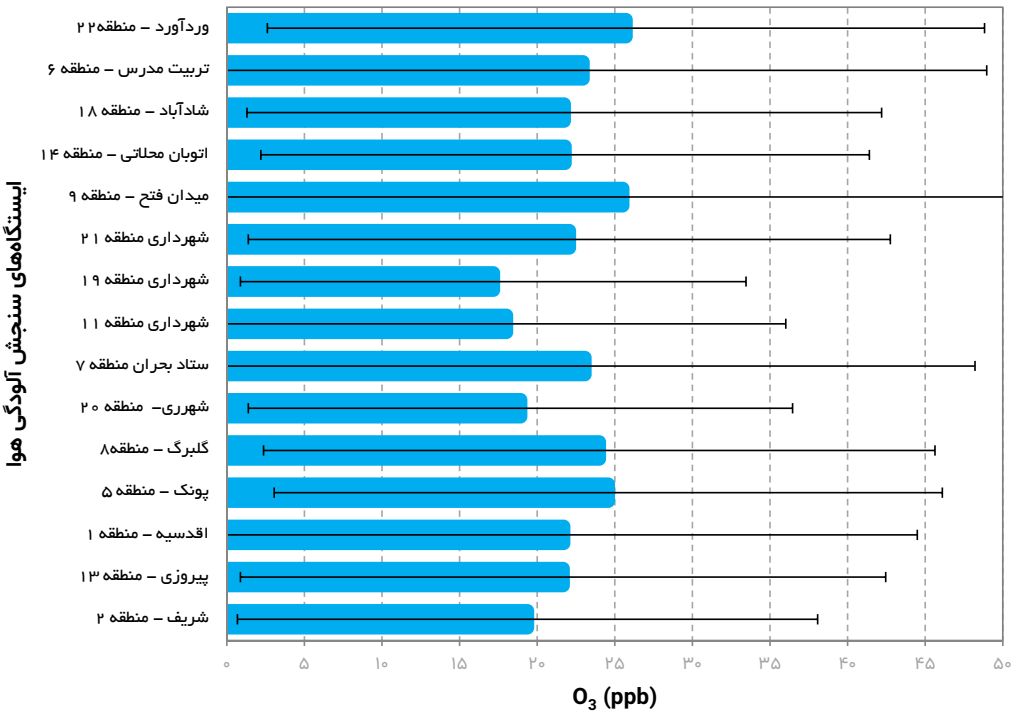
نمودار ۲-۳۶ غلظت آلاینده ازن را در فصول مختلف سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، بیشترین غلظت در هر دو سال مربوط به فصل تابستان بوده و فصل‌های سرد سال که شدت تابش خورشید در آن‌ها کمتر است، با حداقل غلظت روبه‌رو بوده‌اند و بر همین اساس تفاوت بسیاری در غلظت فصل‌های سرد و گرم طی هر دو سال وجود داشته است. میزان غلظت فصلی این آلاینده در فصل زمستان سال ۱۴۰۲ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده و تابستان سال ۱۴۰۳ نیز بیشینه میانگین غلظت فصلی را دارا بوده است.



نمودار ۲-۳۶ مقایسه غلظت فصلی آلاینده ازن (O_3) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

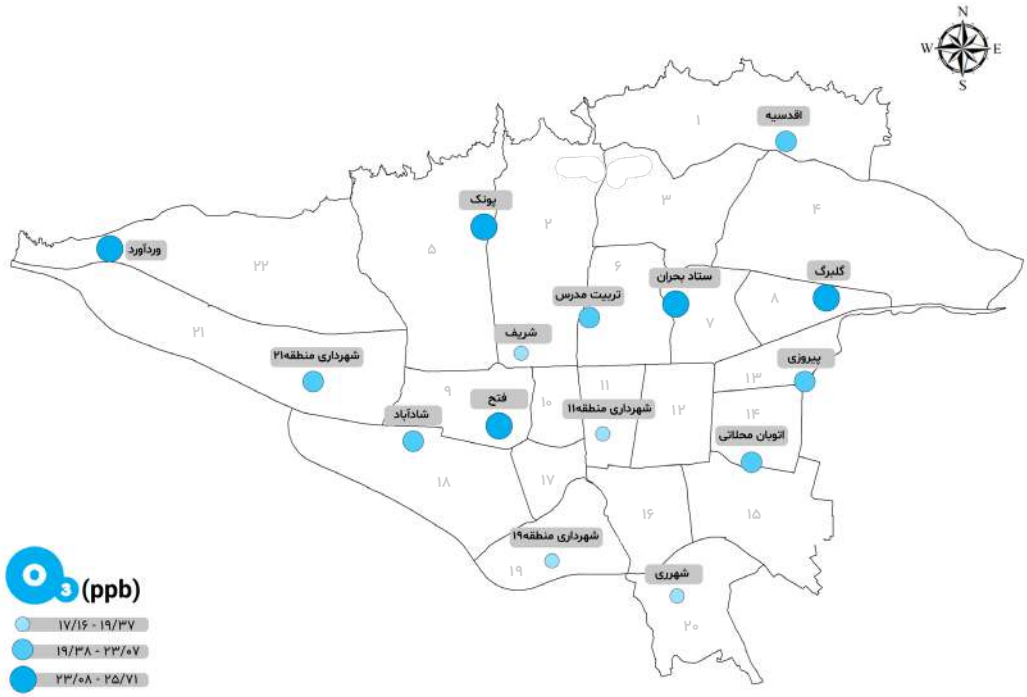
۲-۶-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۳۷ نشان‌دهنده متوسط غلظت سالانه آلاینده O_3 در ایستگاه‌هایی است که در بیش از ۷۵ درصد از روزهای سال، اندازه‌گیری آلاینده ازن انجام شده است (به غیر از ایستگاه محلاتی که دارای ۶۷ درصد داده بود). لازم به ذکر است، برای آلاینده ازن استاندارد سالانه تعریف نشده و در این نمودار تنها مقایسه وضعیت غلظت آلاینده ازن در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۴۰۳ بررسی شده است. همان‌گونه‌که در نمودار دیده می‌شود، ایستگاه‌های وردآورد، فتح و پونک از بیشترین میزان غلظت برخوردار بوده و ایستگاه منطقه ۱۹ با کمترین میزان میانگین سالانه غلظت ازن مواجه بوده است.



نمودار ۲-۳۷ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۵ میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن در سال ۱۴۰۳ 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 غلظت سالانه آلاینده O_3 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

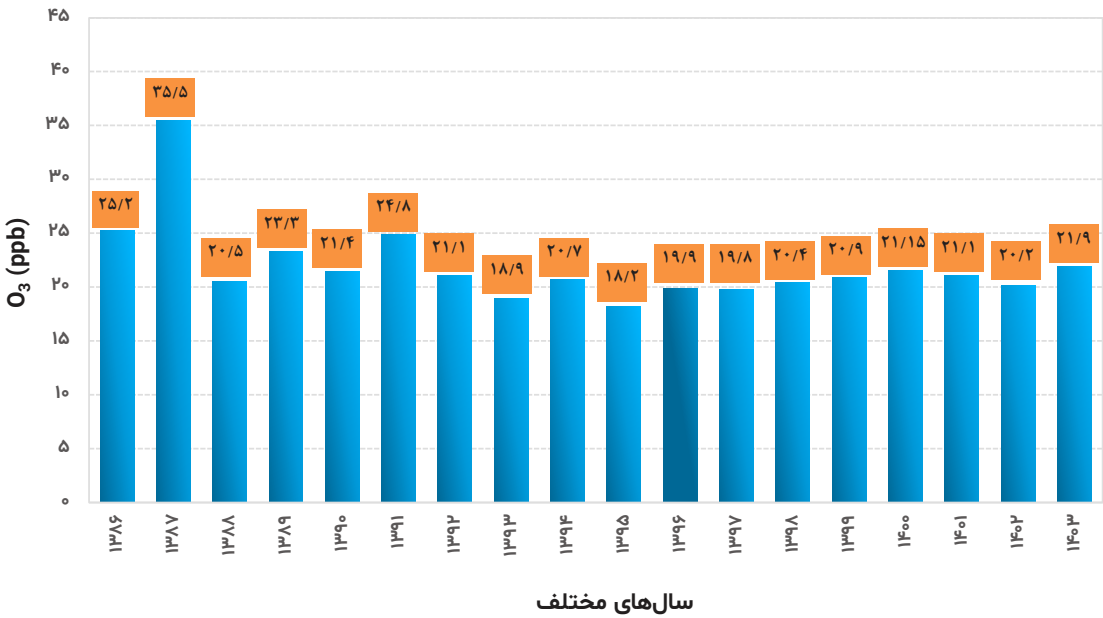
در جدول ۲-۶ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز به لحاظ آلاینده O_3 در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ نمایش داده شده است. بر این اساس ایستگاه ستاد بحران بیشترین سهم روزهای غیرمجاز و شهرداری منطقه ۱۹ و محلاتی بدون هیچ روز آلوده، از بدترین و بهترین شرایط برخوردار بوده‌اند.

جدول ۲-۶ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده O_3

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد مجاز O_3 از منظر آلاینده
اتوبان محلاتی- منطقه ۱۴	۲۴۰	۰
پونک- منطقه ۵	۳۳۲	۱۵
پیروزی- منطقه ۱۳	۳۵۰	۲۹
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۸۲	۴۵
ستاد بحران- منطقه ۷	۳۴۷	۶۸
شادآباد- منطقه ۱۸	۳۳۶	۷
شریف- منطقه ۲	۳۳۳	۹
شهری- منطقه ۲۰	۳۵۲	۳
شهرداری منطقه ۱۱	۲۹۵	۱۰
شهرداری منطقه ۱۹	۳۲۷	۰
شهرداری منطقه ۲۱	۲۹۰	۴
گلبرگ- منطقه ۸	۳۴۰	۴۵
میدان فتح- منطقه ۹	۳۵۰	۴۸
وردآورد- منطقه ۲۲	۲۷۴	۲۶

۲-۶-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۳۸ مقایسه غلظت سالانه آلاینده ازن از سال ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. سال ۱۳۸۷ نسبت به سال‌های موردمطالعه در وضعیت نامطلوب‌تری قرار داشته و سایر سال‌ها در وضعیت نسبتاً مشابهی از منظر آلاینده ازن بوده‌اند. با توجه به این‌که برای آلاینده ازن استاندارد سالانه تعریف نشده، در نمودار ذیل تنها روند غلظت این آلاینده طی سال‌های مختلف نشان داده شده است.

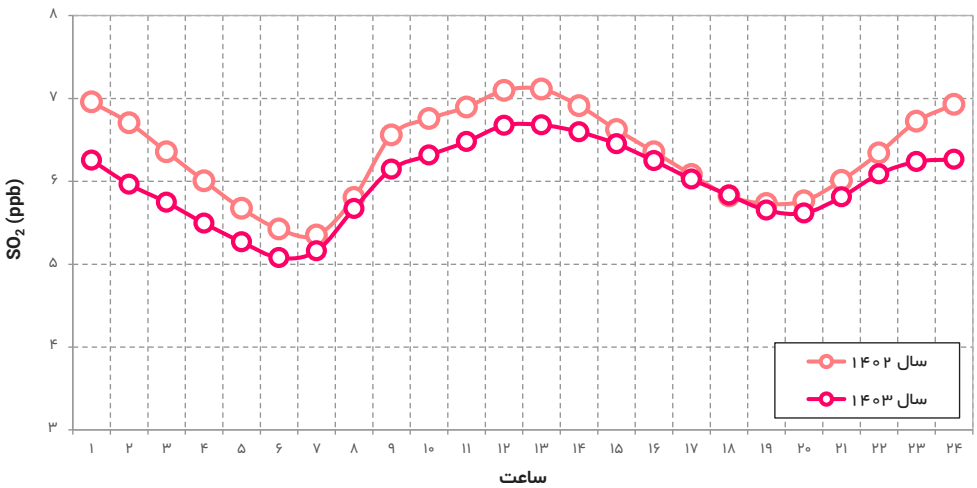


نمودار ۲-۳۸ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

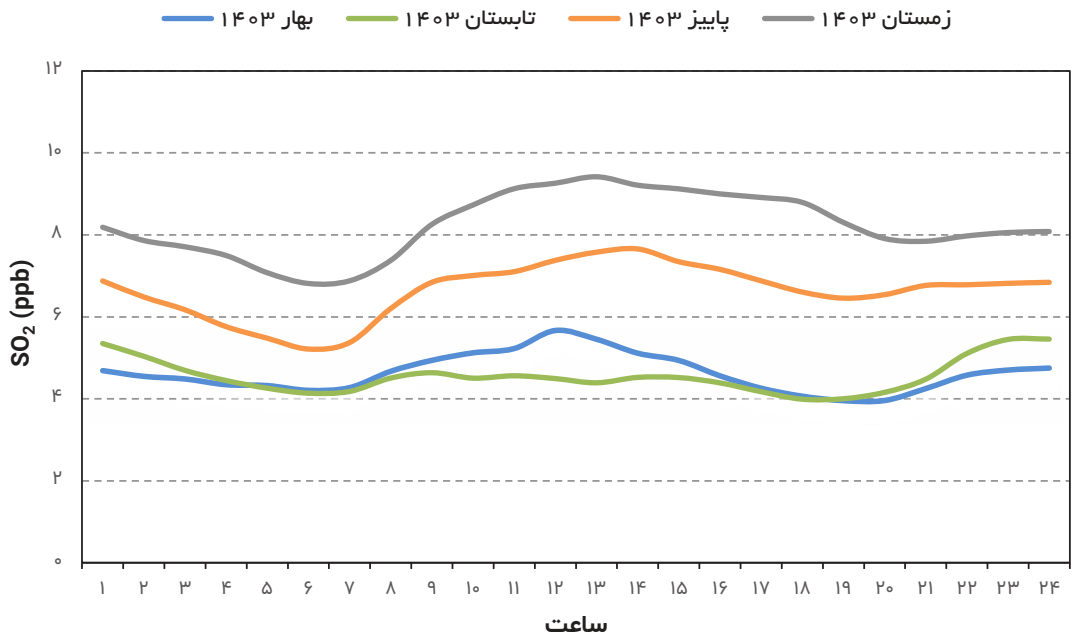
۲-۷- آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2)

۲-۷-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۳۹روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را ارائه نموده است. روند تغییرات ساعتی این آلاینده در دو سال موردبررسی شباهت زیادی داشته و بیشینه غلظت در هر دو سال در حدود ظهر (ساعات ۱۲ و ۱۳) رخ داده است. همان‌گونه که در نمودار مشهود است، در بیشتر ساعات شبانه‌روز میزان غلظت در سال ۱۴۰۲ بیشتر از سال ۱۴۰۳ بوده است.



نمودار ۲-۳۹ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

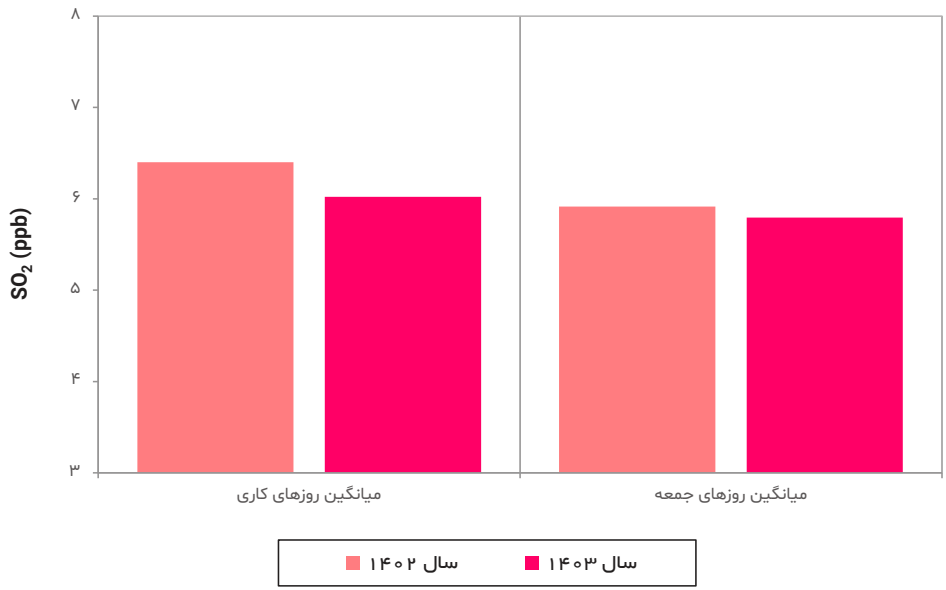


نمودار ۲-۴۰ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده SO_2 در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۰ نیز که تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده SO_2 را در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد، روندی مشابه نمودار قبل داشته ولی اختلاف قابل‌توجهی در غلظت فصول سرد و گرم در آن دیده می‌شود.

۲-۷-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۱ تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳نمایش داده است. این آلاینده در روزهای کاری هفته غلظت بیشتری را نشان می‌دهد و با کاهش ترددهای شهری در روز پایان هفته اندکی کاهش یافته است. لازم به ذکر است، با توجه به سهم بالای منابع صنعتی از جمله نیروگاه‌ها، صنایع و پالایشگاه‌ها در تولید آلاینده دی‌اکسید گوگرد، تغییرات این آلاینده به‌ویژه در فصول سرد سال علاوه بر تغییرات بار ترافیک در روزهای کاری و تعطیل هفته مؤثر از میزان و کیفیت سوخت مصرفی در کاربری‌ها صنعتی می‌باشد.

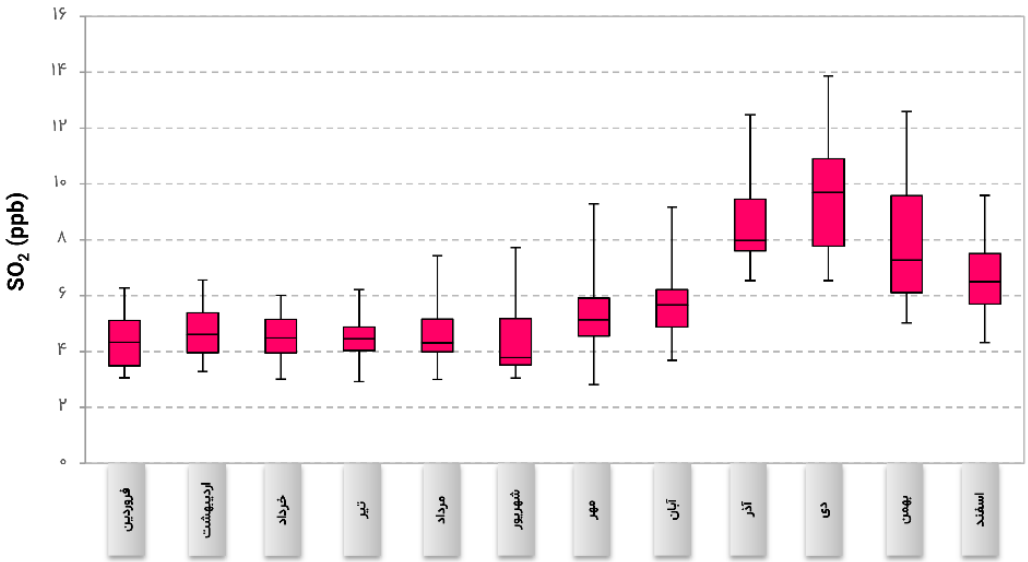


نمودار ۲-۴۱ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده SO_2 در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

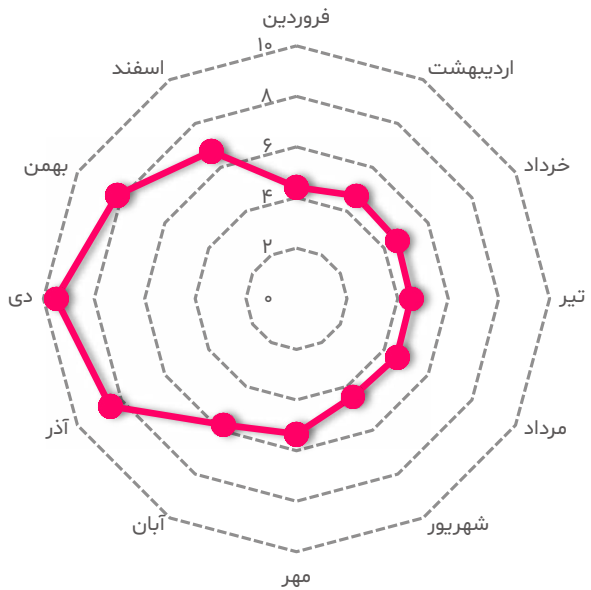
۲-۷-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۲ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد و نمودار ۲-۴۳ توزیع غلظت ماهانه این آلاینده را طی سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین مقادیر میانگین ماهیانه و نوسانات غلظت در ماه‌های سرد سال و هم‌زمان با کاهش جریانات جوی و انباشت آلودگی در هوا رخ داده است. البته یکی از دیگر دلایل افزایش این آلاینده در ماه‌های سرد، تغییر سوخت در برخی صنایع و نیروگاه‌ها و استفاده از سوخت‌های حاوی گوگرد بیشتر می‌باشد.

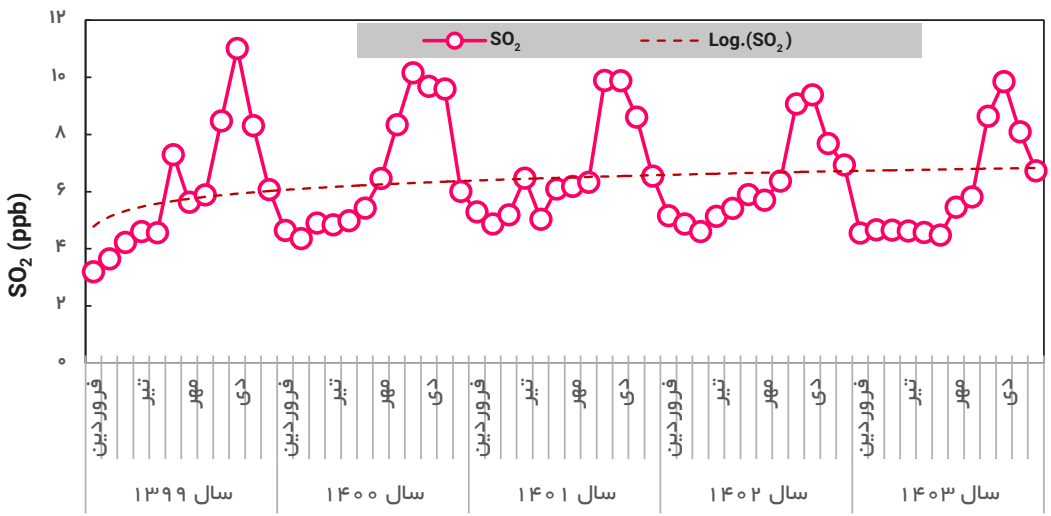
نمودار ۲-۴۴ نیز روند غلظت ماهانه این آلاینده را طی ۵ سال اخیر نشان می‌دهد. در این نمودار با وجود نوسانات ماهیانه غلظت روند کلی غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در هوای شهر تهران افزایشی بوده و در هر ۵ سال هر چه به ماه‌های سرد سال نزدیک‌تر می‌شویم بر میزان غلظت این آلاینده افزوده شده است. بیشترین غلظت ماهیانه نیز مربوط به دی‌ماه سال ۱۳۹۹ می‌باشد.



نمودار۲-۴۲ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2)
طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



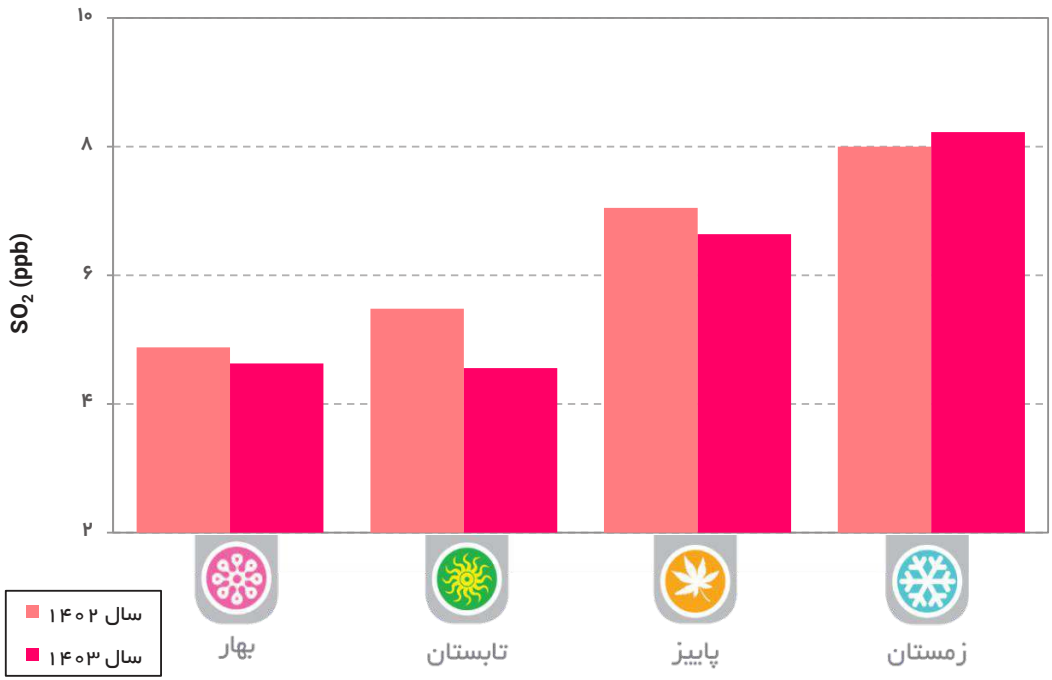
نمودار ۲-۴۳ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده SO_2 طی سال ۱۴۰۳ بر حسب ppb



نمودار ۲-۴۴ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد(SO_2) از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲-۷-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

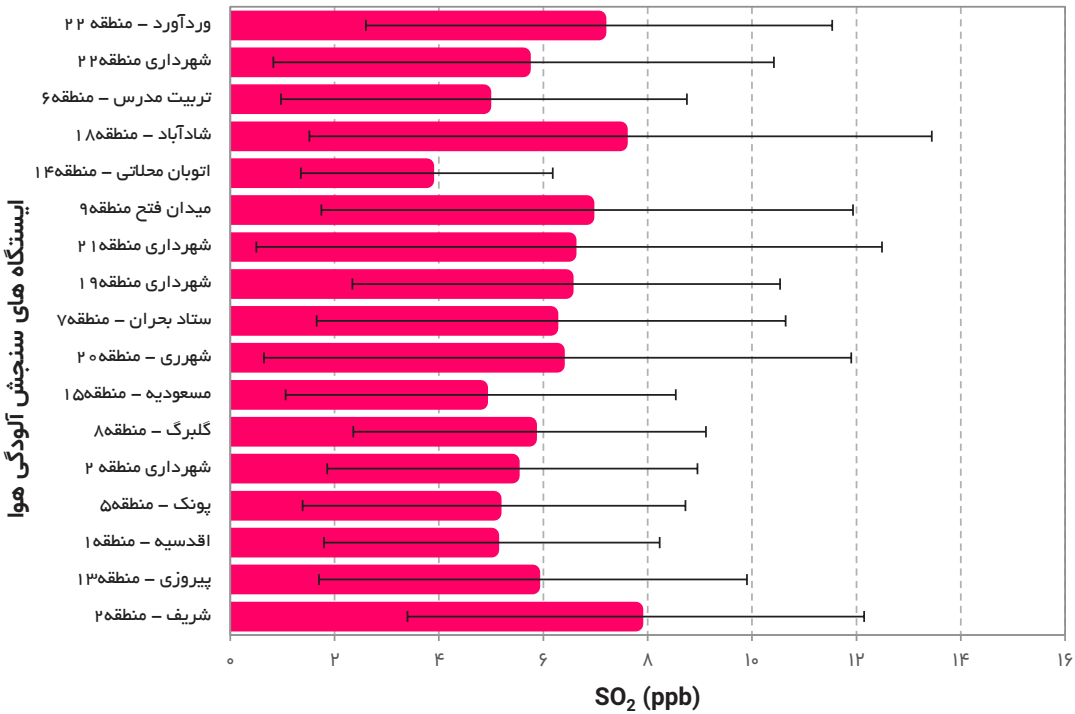
نمودار ۲-۴۵ میانگین غلظت آلاینده SO_2 را در فصول مختلف سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در هر دو سال فصل زمستان از بیشترین و فصل بهار و تابستان از کمترین غلظت برخوردار بوده و زمستان و تابستان سال ۱۴۰۳ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت فصلی بودند.



نمودار ۲-۴۵ مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

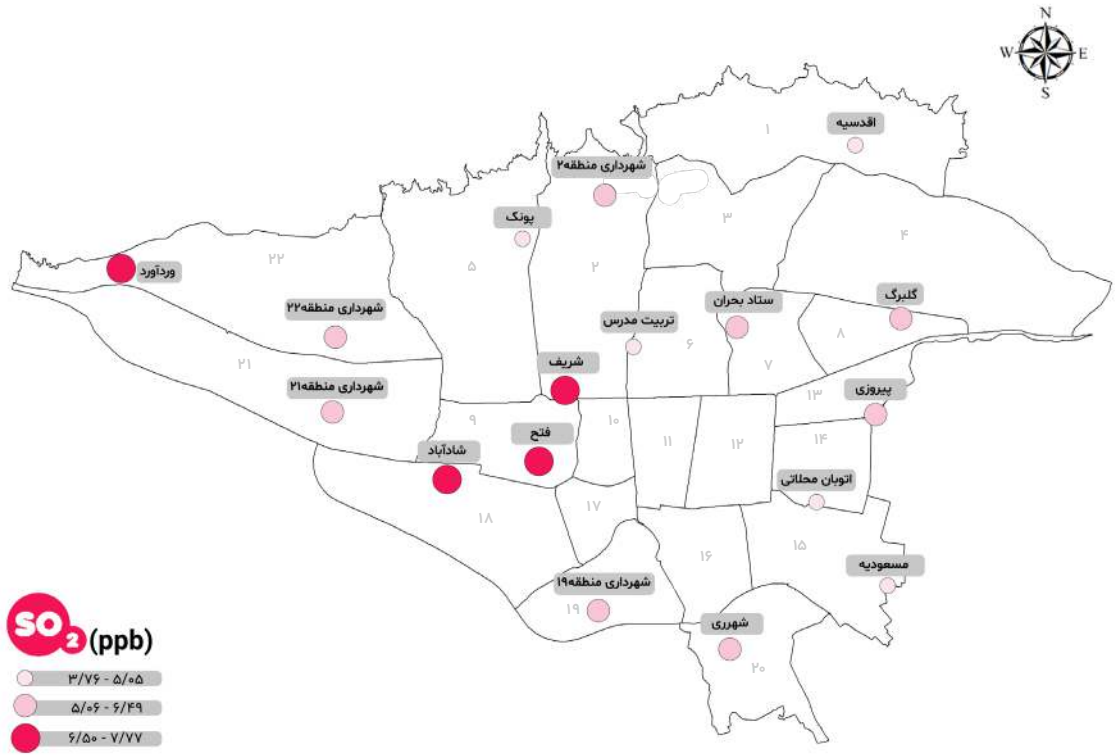
۲-۷-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۴۶ متوسط سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد در ایستگاه‌هایی که بیش از ۷۵ درصد از روزهای سال از آن‌ها داده صحیح آلاینده دی‌اکسید گوگرد برداشت‌شده، ذکر گردیده و فقط ایستگاه پونک دارای ۷۰ درصد داده بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان میانگین سالانه این آلاینده در ایستگاه‌های شریف (جنوب منطقه ۲)، شادآباد (منطقه ۱۸) و وردآورد (غرب منطقه ۲۲) بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بوده است. شایان‌ذکر است تا سال‌های ابتدایی دهه نود، اکثر ایستگاه‌ها به لحاظ این آلاینده در شرایط فراتر از حد مجاز سالانه قرار داشتند ولی خوشبختانه در سال‌های اخیر میزان محتوای سولفور سوخت توزیعی در شهر تهران به‌شدت کاهش داشته است. لازم به ذکر است، در حال حاضر استاندارد سالیانه برای این آلاینده وجود ندارد.



نمودار ۲-۴۶ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در ایستگاه‌های مختلف طی سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۶ میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سال ۱۴۰۳ را با استفاده از اندازه و رنگ دوایر قرارگرفته در محل ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران نشان داده است. بدیهی است هر چه اندازه این دوایر بزرگ‌تر باشد، میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد در آن ایستگاه بیشتر بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اگر تهران به چهار قسمت تقسیم گردد، ایستگاه‌های واقع در ربع جنوب غرب، بیشترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند. تردد خودروهای سنگین با سوخت دیزل و استفاده از سوخت‌های سنگین حاوی گوگرد بالا در صنایع و سایر منابع ثابت نقش بسزایی در افزایش غلظت این آلاینده دارد.



شکل ۲-۶ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده SO_2 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

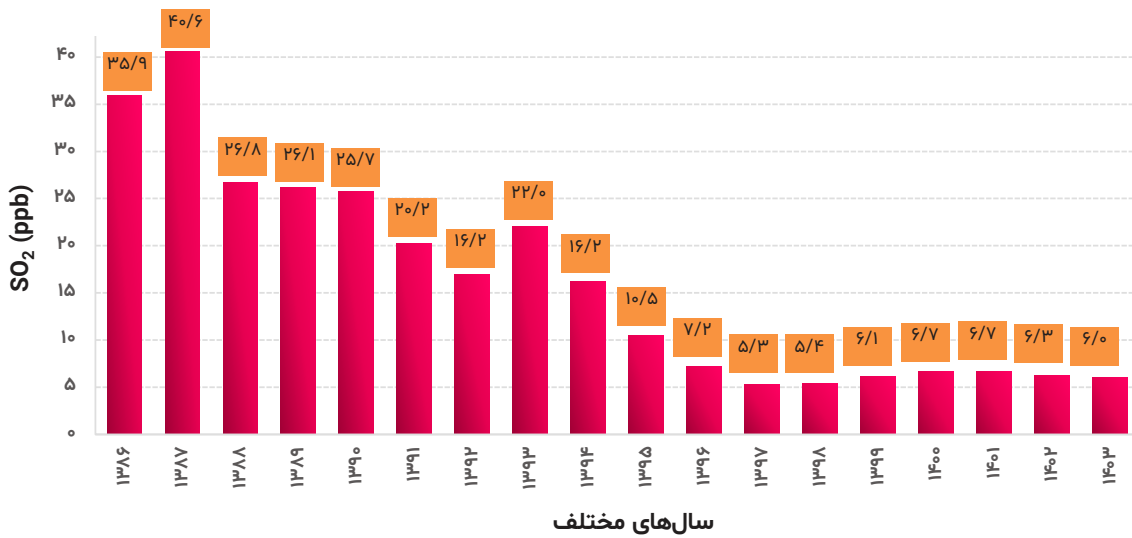
در جدول ۲-۷ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده SO_2 ذکر شده است و همان‌طور که مشاهده می‌گردد در بسیاری از ایستگاه‌ها تعداد روزهای آلوده صفر بوده و ایستگاه شهرداری منطقه ۲۱ بیشترین روز آلوده (۵ روز) را به خود اختصاص داده است.

جدول ۲-۷ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده SO_2

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد مجاز از منظر آلاینده SO_2
اتوبان محلاتی- منطقه ۱۴	۲۵۳	۰
پونک- منطقه ۵	۳۵۵	۰
پیروزی- منطقه ۱۳	۳۰۱	۰
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۶۹	۰
ستاد بحران- منطقه ۷	۳۴۰	۰
شادآباد- منطقه ۱۸	۳۲۸	۲
شریف- منطقه ۲	۳۴۱	۰
شهری- منطقه ۲۰	۳۴۸	۳
شهرداری منطقه ۲	۳۲۱	۰
شهرداری منطقه ۱۱	۲۱۳	۱
شهرداری منطقه ۱۹	۳۴۵	۰
شهرداری منطقه ۲۱	۳۰۳	۵
شهرداری منطقه ۲۲	۳۳۸	۱
گلبرگ- منطقه ۸	۳۴۲	۰
مسعودیه- منطقه ۱۵	۳۵۲	۰
میدان فتح- منطقه ۹	۳۵۲	۱
وردآورد- منطقه ۲۲	۲۸۱	۰

۲-۷-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۷ مقایسه غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد از سال ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، تفاوت غلظت در سال‌های ابتدایی و انتهایی نمودار کاملاً محرز می‌باشد. تغییرات غلظت سالانه این آلاینده طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ روند کاهشی داشته و در سال ۱۳۹۳ افزایش نسبی یافته و مجدداً روند کاهشی تا سال ۱۳۹۷ تداوم داشته است. پس از آن با شیب کمی اندکی افزایش در آن دیده می‌شود. شایان‌ذکر است، در سال‌های اخیر میزان غلظت گوگرد سوخت توزیعی در شهر تهران، کاهش یافته و پیش‌بینی می‌شود در صورت کاهش غلظت گوگرد بویژه در گازوئیل مصرفی خودروهای سنگین و اتوبوس‌هایی که در نقاط دیگر کشور سوخت‌گیری می‌نمایند، روند کاهشی این آلاینده همچنان ادامه داشته باشد. همچنین نظارت و پایش مستمر کیفیت سوخت مصرفی در صنایع به‌ویژه در فصول سرد نیز نقش بسزایی در کنترل و کاهش این آلاینده دارد.

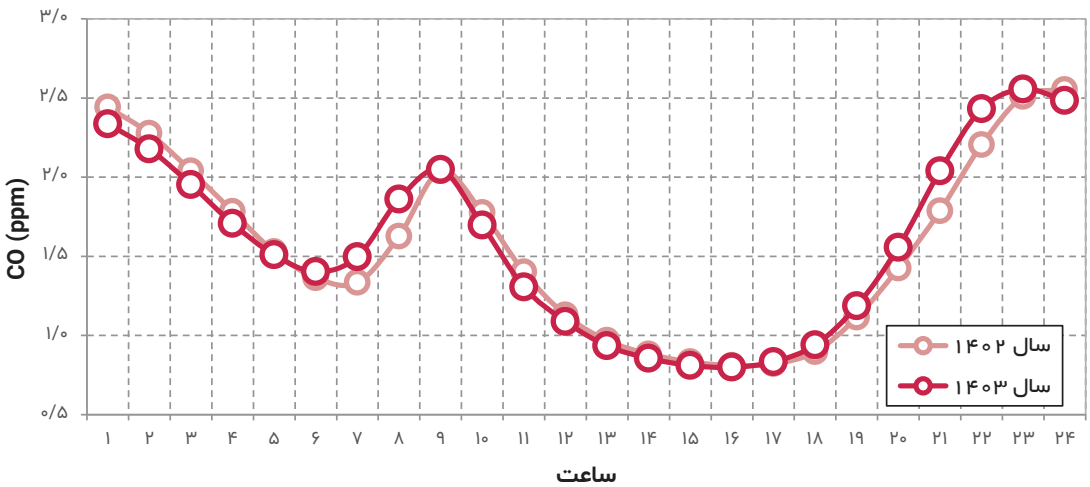


نمودار ۲-۴۷ میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

۲-۸- آلاینده منواکسید کربن (CO)

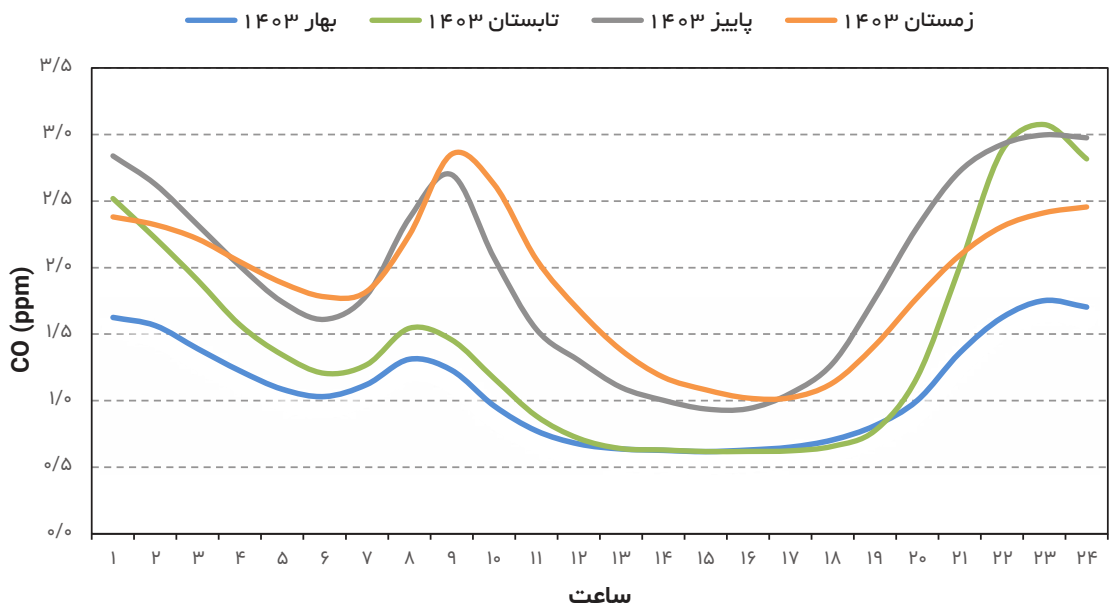
۲-۸-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۸ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را ارائه نموده است. این نمودار نیز روندی منطبق با میزان ترافیک را دارا می‌باشد، به‌نحوی‌که طی دو سال موردبررسی در ساعات اوج ترافیک روز و شب، دو میزان بیشینه را نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۴۸ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۴۹ نیز تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده CO را در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد و بر طبق آن روند ساعتی تغییرات غلظت در همه فصول یکسان بوده و بیشترین غلظت نیز مربوط به فصل‌های سرد سال است.



نمودار ۲-۴۹ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده CO در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۸-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۵۰ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در روزهای کاری و جمعه طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را ارائه می‌نماید. در مورد آلاینده CO نیز مانند سایر آلاینده‌هایی که منبع مهم انتشار آن‌ها ترافیک می‌باشد، روزهای جمعه از کمترین میزان غلظت برخوردار بوده‌اند.

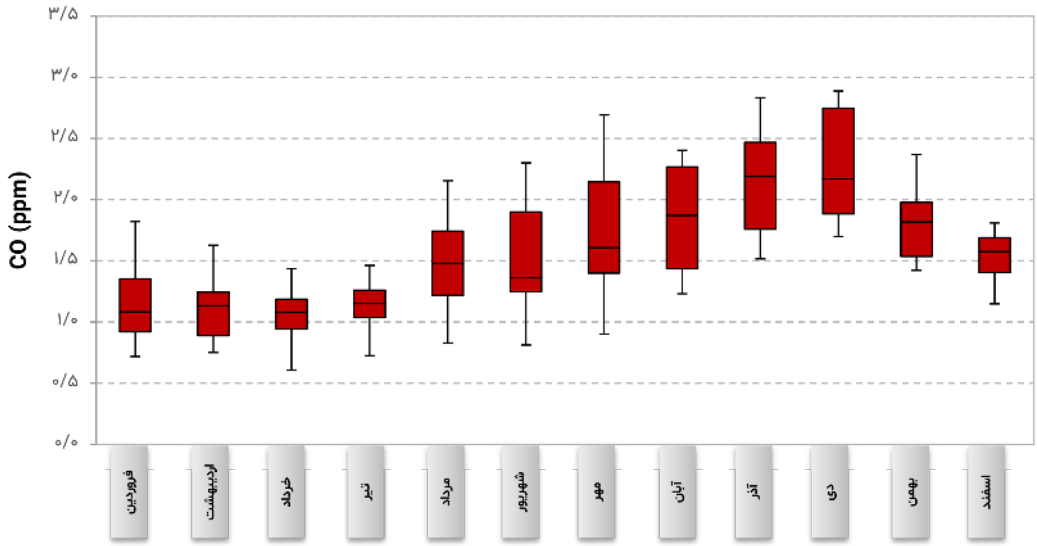


نمودار ۲-۵۰ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده CO در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

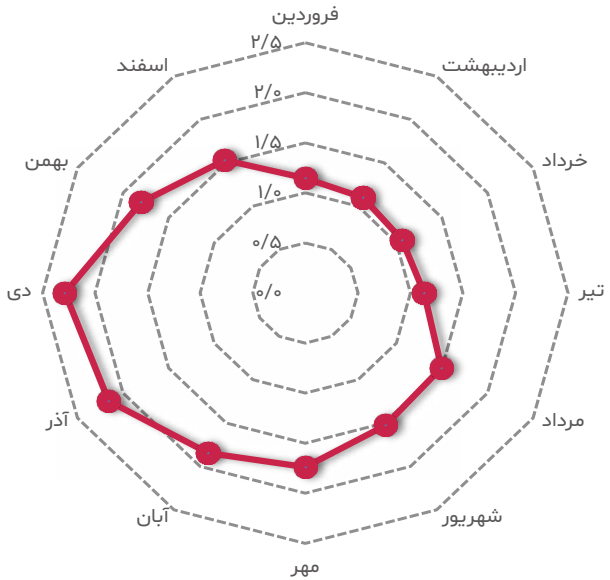
۲-۸-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۵۱ روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده CO را طی سال ۱۴۰۳ و نمودار ۲-۵۲ مقایسه توزیع غلظت ماهانه این آلاینده CO را طی سال ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد. همچنین در نمودار ۲-۵۳ روند تغییرات ماهانه غلظت این آلاینده در ۵ سال اخیر ارائه شده است. خوشبختانه با تدابیر اتخاذ شده در سالیان اخیر، آلاینده CO کاملاً کنترل شده و با طی روندی کاهشی در تمامی روزهای سال، در حد مجاز قرار داشته است. در تمام ماه‌های سال ۱۴۰۳ نیز همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، این آلاینده مشکل خاصی برای هوای شهر به وجود نیاورده است.

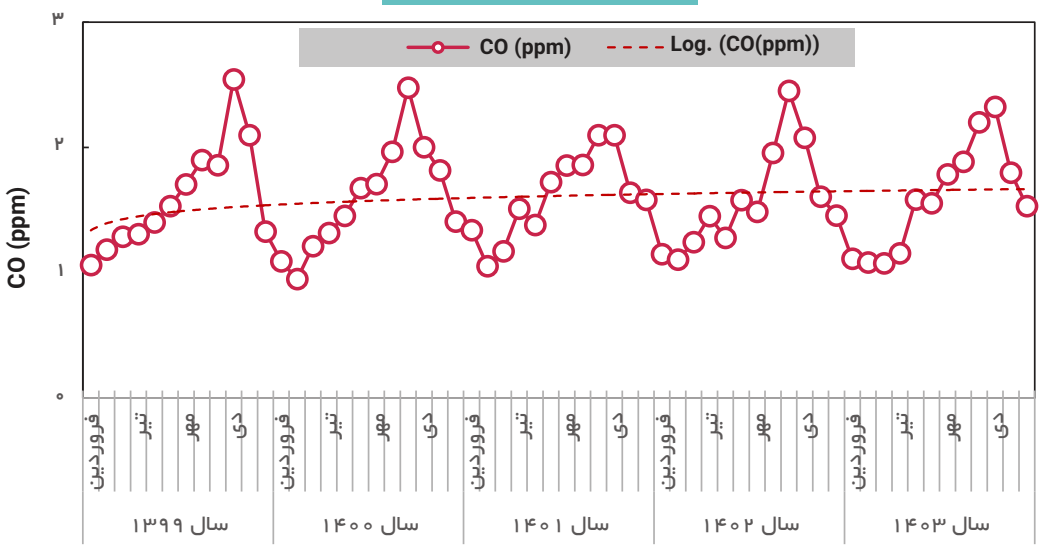
این آلاینده در اثر احتراق ناقص سوخت ایجاد شده و در ماه‌های سرد سال با افزایش وقوع وارونگی دما و پایداری جو، مقادیر میانگین غلظت آن به بیشترین میزان رسیده و در سایر ماه‌های سال کیفیت هوا به لحاظ این آلاینده در کل مطلوب بوده است. به‌طورکلی بیشترین غلظت این آلاینده طی سال ۱۴۰۳ در دی و آذرماه و کمترین میزان آن در خرداد رخ داده است.



نمودار ۲-۵۱ تغییرات ماهانه غلظت آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



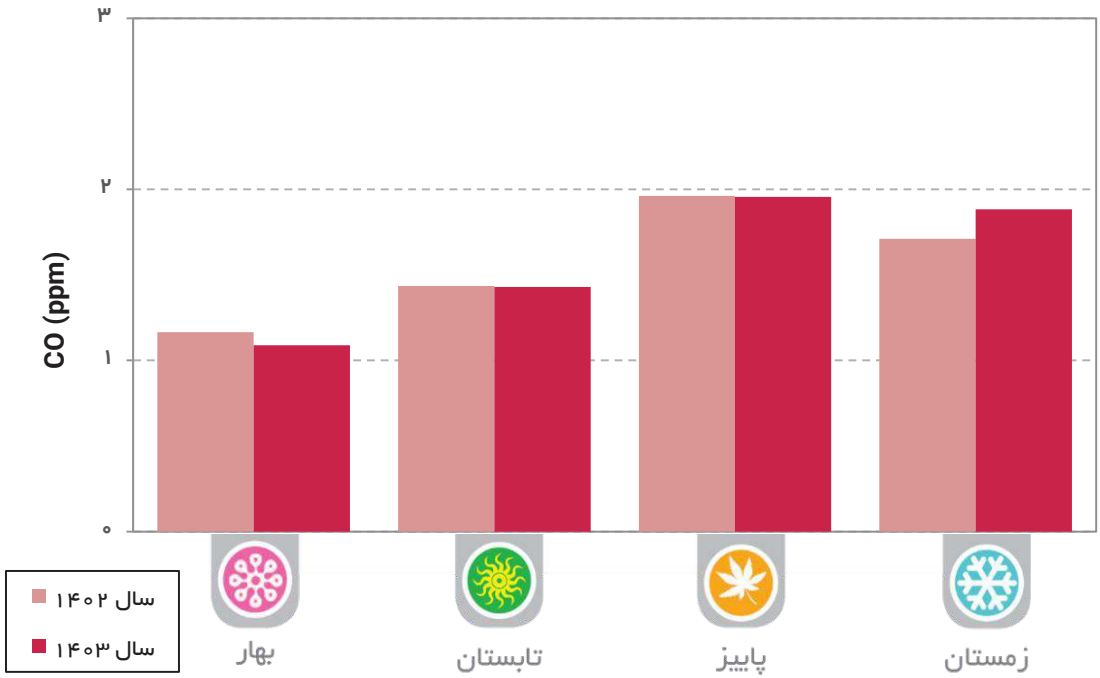
نمودار ۲-۵۲ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده CO
طی سال ۱۴۰۳ بر حسب ppm



نمودار ۲-۵۳ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده منواکسید کربن (CO)
از سال ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۳

۲-۸-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

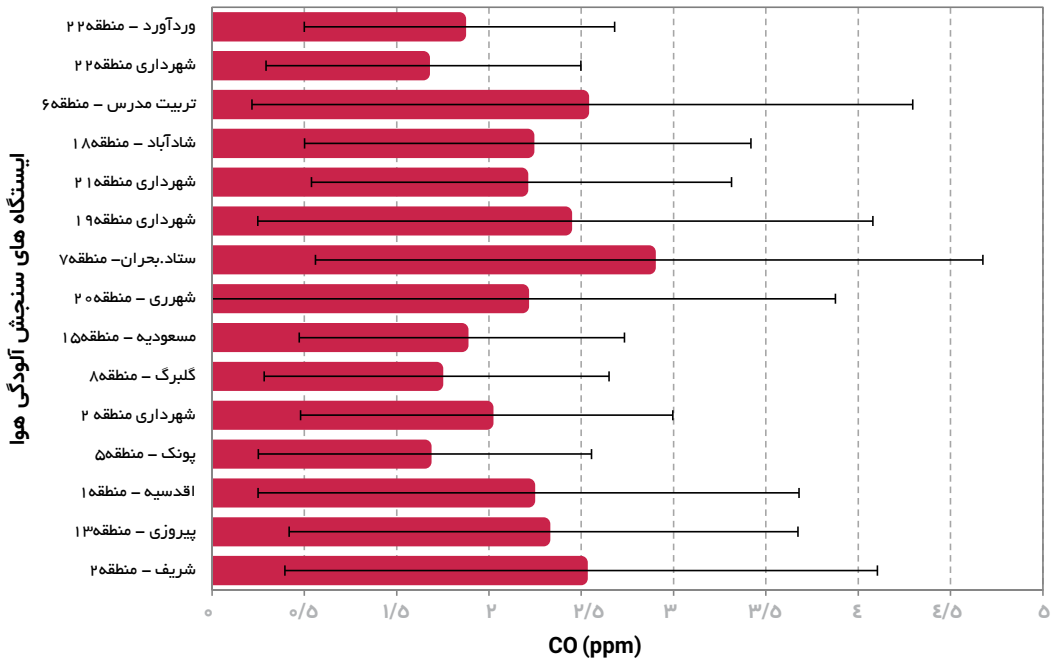
در نمودار ۲-۵۴ میانگین غلظت آلاینده CO در فصول مختلف طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، فصول پاییز ۱۴۰۲ و بهار سال ۱۴۰۳ به‌ترتیب از بیشترین و کمترین غلظت برخوردار بوده‌اند و در هر دو سال موردمطالعه غلظت این آلاینده در فصل پاییز بیش از سایر فصول می‌باشد.



نمودار ۲-۵۴ مقایسه غلظت فصلی آلاینده منواکسید کربن (CO) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

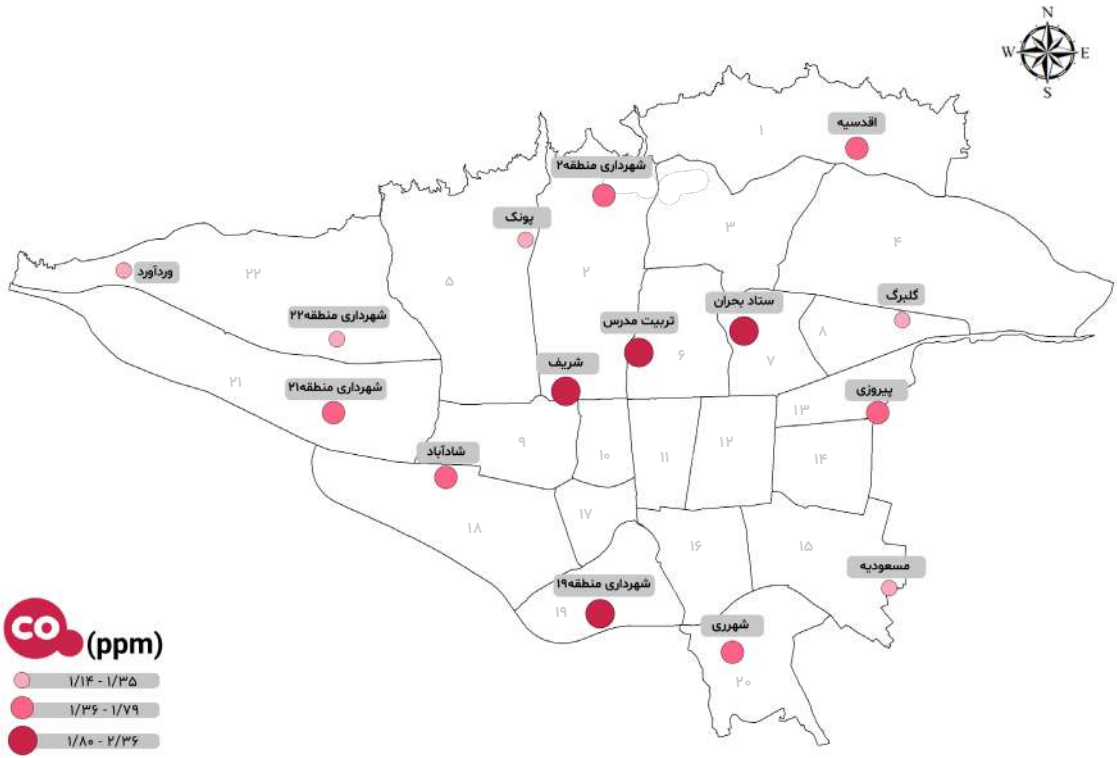
۲-۸-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۵۵ نشان‌دهنده میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن در ایستگاه‌هایی می‌باشد که در بیش از هفتاد و پنج درصد از روزهای سال از آن‌ها داده صحیح آلاینده منواکسید کربن برداشت‌شده و دو ایستگاه ستاد بحران و وردآورد نیز به‌ترتیب دارای ۶۸ و ۷۴ درصد داده صحیح بودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین میانگین سالانه غلظت به‌ترتیب در ایستگاه‌های ستاد بحران و دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه شریف و کمترین مقدار غلظت منواکسید کربن نیز در ایستگاه منطقه ۲۲ مشاهده می‌گردد، هرچند که تفاوت قابل‌توجهی بین بیشترین و کمترین غلظت این نمودار دیده نمی‌شود. 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 ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد.



نمودار۲-۵۵ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

شکل ۲-۷ میانگین غلظت سالانه این آلاینده طی سال ۱۴۰۳ 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 غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن در آن ایستگاه بیشتر بوده است. مطابق نمودار در ایستگاه‌هایی که مواجهه بیشتری با ترافیک وجود داشته، غلظت بیشتری از این آلاینده ثبت گردیده که عموماً در مناطق پرتردد شهر قرار دارند.



شکل ۲-۷ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

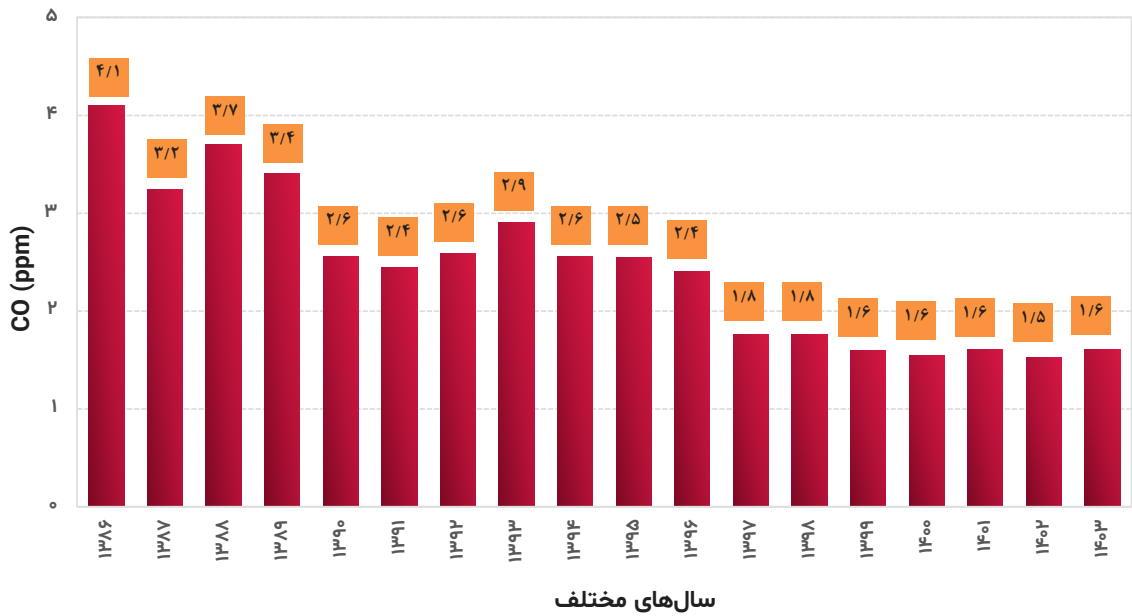
در جدول ۲-۸ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز به لحاظ آلاینده منواکسید کربن در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ ذکر شده است. بر اساس استاندارد، تعداد روزهای بیش‌ازحد مجاز روزانه برای آلاینده منواکسید کربن، نباید بیش از یک روز در سال باشد و همان‌طور که مشاهده می‌گردد، طی این سال در ایستگاه تربیت مدرس ۲ روز و در ایستگاه‌های شهرری و شهرداری منطقه ۱۹، ۱ روز فراتر از حد مجاز وجود داشته و بقیه ایستگاه‌ها فاقد روز آلوده بوده‌اند.

جدول ۲-۸ تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده CO

ایستگاه	تعداد روزهای برداشت اطلاعات طی سال ۱۴۰۳	تعداد روزهای فراتر از حد CO مجاز از منظر آلاینده
اتوبان محلاتی- منطقه ۱۴	۲۳۳	۰
پونک- منطقه ۵	۳۲۷	۰
پیروزی- منطقه ۱۳	۳۳۷	۰
تربیت مدرس- منطقه ۶	۲۸۳	۲
ستاد بحران – منطقه ۷	۲۴۶	۰
شادآباد – منطقه ۱۸	۳۲۰	۰
شریف- منطقه ۲	۳۲۸	۰
شهرری- منطقه ۲۰	۳۵۲	۱
شهرداری منطقه ۲	۳۲۶	۰
شهرداری منطقه ۱۹	۳۳۳	۱
شهرداری منطقه ۲۱	۳۰۸	۰
شهرداری منطقه ۲۲	۳۵۴	۰
گلبرگ- منطقه ۸	۳۲۹	۰
مسعودیه- منطقه ۱۵	۳۴۴	۰
وردآورد – منطقه ۲۲	۲۶۶	۰

۲-۸-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

نمودار ۲-۵۶ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده منواکسید کربن از سال ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار که کاهش قابل‌توجهی از ابتدا تا انتها در روند آن دیده می‌شود، در سال ۱۴۰۲ کمترین میزان غلظت سالانه این آلاینده مشاهده شده و سال ۱۳۸۶ آلوده‌ترین سال بوده است. به‌طورکلی تغییرات غلظت این آلاینده طی سال‌های موردبررسی، روند کاهشی داشته است. از آنجائیکه در تولید آلاینده منواکسید کربن، منابع متحرک بیشترین سهم را دارا می‌باشند، اجرای راهکارهای کنترل آلودگی ناشی از احتراق ناقص و بد سوزی مانند تعمیر و نگهداری صحیح خودرو، جلوگیری از روغن‌سوزی، حذف خودروها و موتورسیکلت‌های کاربراتوری و استفاده خودروها از کاتالیست تأثیر بسزایی در کاهش غلظت این آلاینده داشته است.



نمودار ۲-۵۶ میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۴۰۳

۲-۹- آلاینده کربن سیاه (BC)

کربن سیاه (Black Carbon) یک از اجزای آلاینده $PM_{2.5}$ در هواست که اندازه‌گیری آن از سال ۱۳۹۶ آغاز شده و هم‌اکنون در ۵ ایستگاه شهری (منطقه ۲۰)، پیروزی (منطقه ۱۳)، ستاد بحران (منطقه ۷)، شریف (جنوب منطقه ۲) و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹ دستگاه سنجش آن در حال کار می‌باشد. تحقیقات نشان داده است اثرات منفی قرارگیری در معرض این آلاینده می‌تواند از سایر آلاینده‌های این گروه بیشتر باشد. به‌طورکلی منابع اصلی انتشار کربن سیاه، سوزاندن چوب و زغال‌سنگ، صنایع و نیروگاه‌ها با سوخت‌های سنگین و احتراق موتورهای دیزلی است. با توجه به موارد ذکر شده گمان می‌رود ناوگان دیزلی که در شهر تهران تردد می‌کنند، نقش اصلی را در تعیین غلظت این آلاینده در هوای تهران به‌خصوص در ایستگاه‌های نزدیک به منابع ترافیکی داشته باشند.

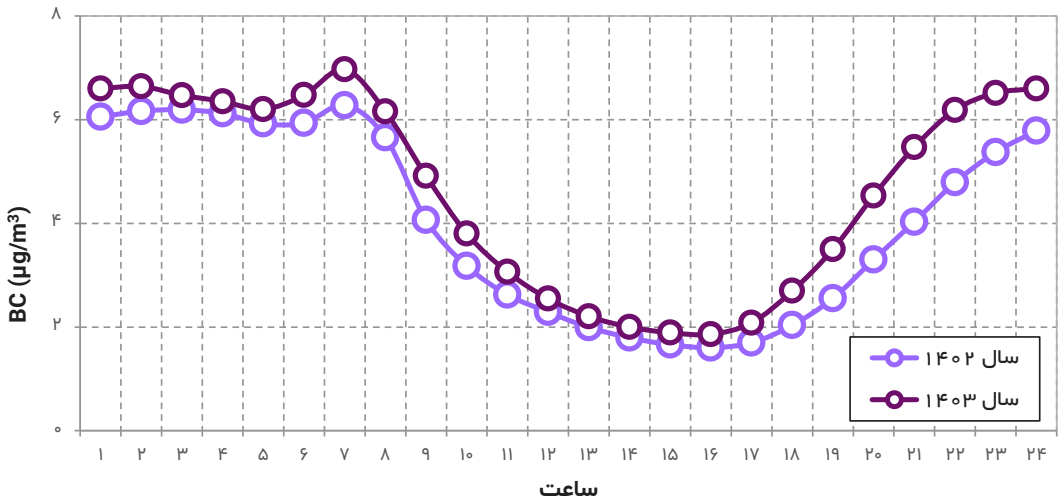
۲-۹-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۵۷ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را ارائه نموده است. تغییرات غلظت این آلاینده طی ساعات شبانه‌روز متأثر از وضعیت تردد خودروهای سنگین در شهر بوده و با غروب آفتاب و شروع حضور خودروهای سنگین در شهر، مقدار غلظت کربن سیاه شروع به افزایش نموده و در نیمه‌شب نیز با توجه به‌شدت گرفتن حضور کامیون‌های سنگین و کاهش ارتفاع لایه‌مرزی هوا که موجب تجمع آلاینده‌ها در ارتفاع نزدیک‌تری به سطح زمین می‌گردد، مقدار غلظت افزایش می‌یابد. بر اساس نمودار مذکور روند تغییرات ساعتی دو سال مذکور مشابه بوده میزان غلظت تجمعی ساعتی در سال ۱۴۰۳ بیشتر از سال ۱۴۰۲ بوده است. لازم به توضیح است که دستگاه سنجش کربن سیاه در ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹، طی سال ۱۴۰۳ راه‌اندازی شده و افزایش نسبی غلظت در سال ۱۴۰۳ را نسبت به سال قبل می‌توان متأثر از آن دانست.

توجه به اهمیت پدیده کاهش قابل‌ملاحظه سطح لایه اختلاط جو و پتانسیل اتمسفر جهت اختلاط آلاینده‌ها در شب، ضرورت مدیریت زمان انتشار و پخش آلودگی به‌ویژه در خصوص آلاینده کربن سیاه حائز اهمیت است [۱۵]، زیرا خودروهای دیزلی مجاز به تردد در طول شب از منابع اصلی تولید این

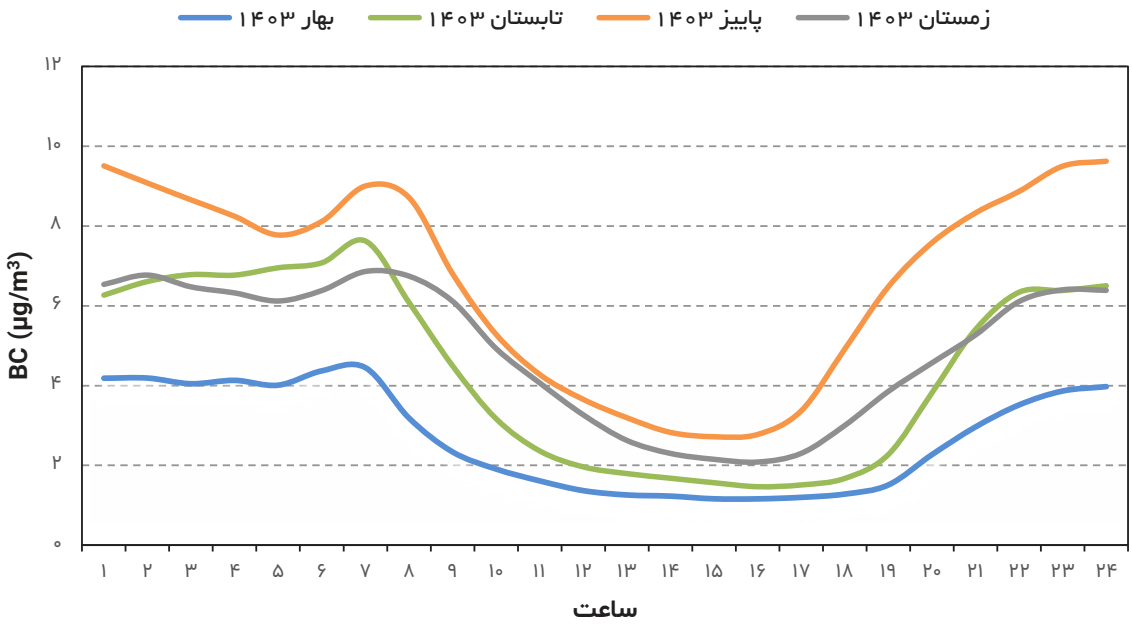
آلاینده به‌شمار می‌روند.

اتمام محدوده زمانی مجاز برای تردد خودروهای سنگین در صبحگاه، کاهش انتشار آلاینده کربن سیاه را به دنبال دارد و در طول روز میزان غلظت این آلاینده تقریباً ثابت و در کمترین میزان خود قرار می‌گیرد که این میزان نیز عمدتاً ناشی از فعالیت‌های روزانه و معمول خودروهای دیزلی نظیر اتوبوس‌های‌شهری، کامیون‌های سبک و دیگر منابع انتشار این آلاینده می‌باشد و این امر ضرورت استفاده از تکنولوژی‌های کاهش آلودگی این منابع به‌ویژه فیلتر دوده را بیش‌ازپیش روشن می‌سازد.



نمودار ۲-۵۷ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

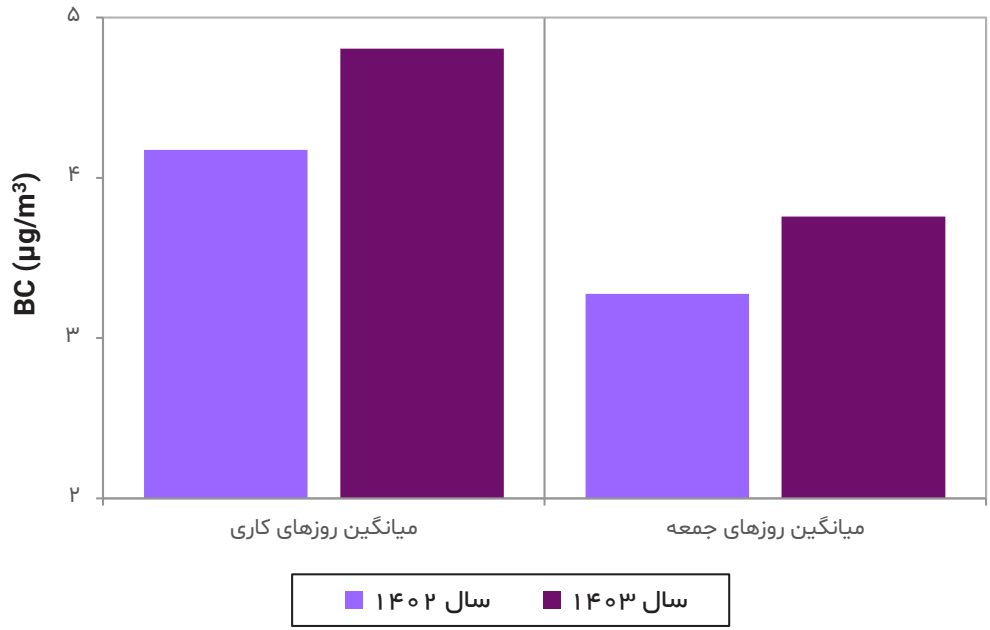
نمودار ۲-۵۸ نیز از بررسی تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده BC در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳ تهیه شده است. بر اساس این نمودار غلظت آلاینده کربن سیاه طی فصل پاییز و بیشتر ساعات فصل زمستان فراتر از سایر فصول سال بوده است.



نمودار ۲-۵۸ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت آلاینده BC در فصول مختلف طی سال ۱۴۰۳

۲-۹-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۲-۵۹ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در روزهای کاری و جمعه طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳را ارائه می‌نماید. در مورد آلاینده BC نیز مانند سایر آلاینده‌هایی که منبع مهم انتشار آن‌ها ترافیک می‌باشد، روزهای جمعه از کمترین میزان غلظت برخوردار می‌باشند هر چند میزان غلظت مشاهده‌شده برای سال ۱۴۰۳ در روزهای کاری و جمعه بیشتر از سال ۱۴۰۲ بوده است.

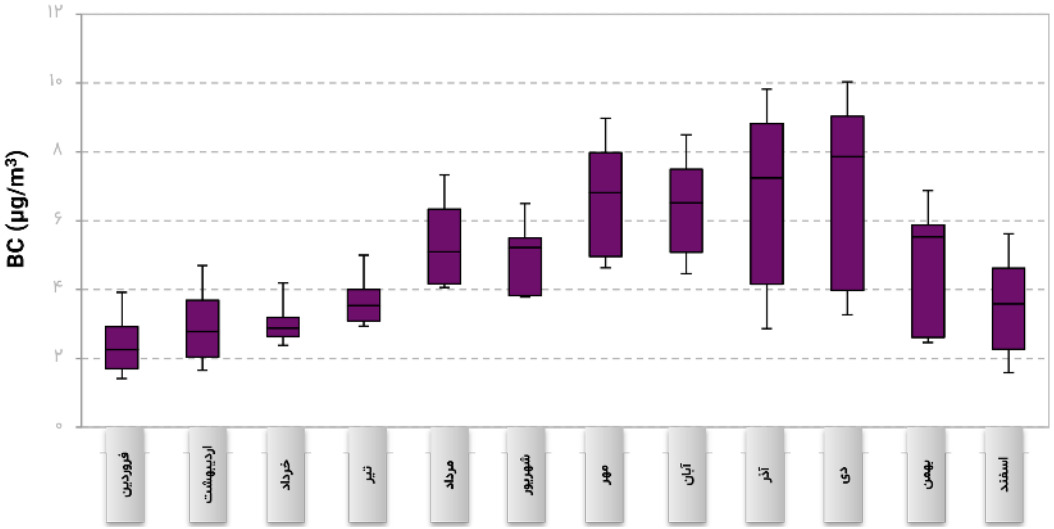


نمودار ۲-۵۹ روند تغییرات تجمعی غلظت آلاینده BC در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

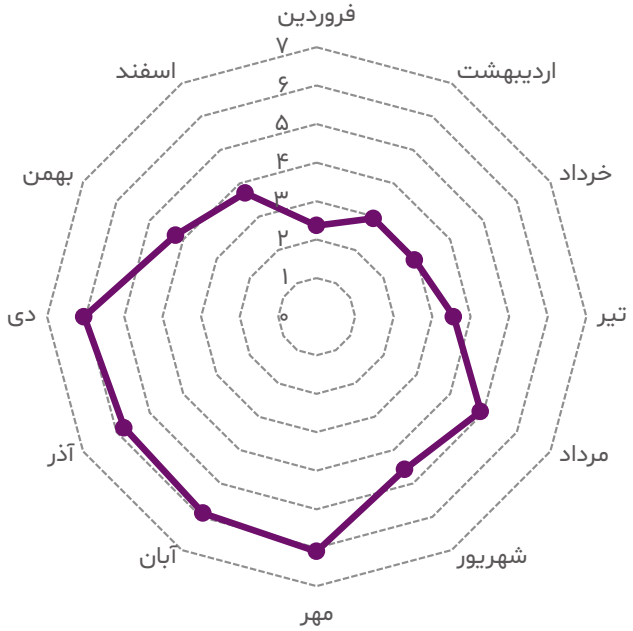
۲-۹-۳- روند تغییرات ماهانه غلظت آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال ۱۴۰۳

نمودار ۲-۶۰ نوسانات غلظت ماهانه آلاینده کربن سیاه در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ را با هم مقایسه می‌نماید. همچنین در نمودار ۲-۶۱ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده BC طی این سال نمایش داده شده است.

تغییرات غلظت این آلاینده در سال ۱۴۰۳ نشانگر افزایش قابل‌توجه طی ماه‌های سرد سال (به‌ویژه آذر و دی)، به دلیل کاهش عمق لایه اختلاط طی این دوره بوده است. در ۳ ماه ابتدای سال با وجود ناپایداری شرایط جوی، شاهد کاهش غلظت این آلاینده بوده‌ایم.



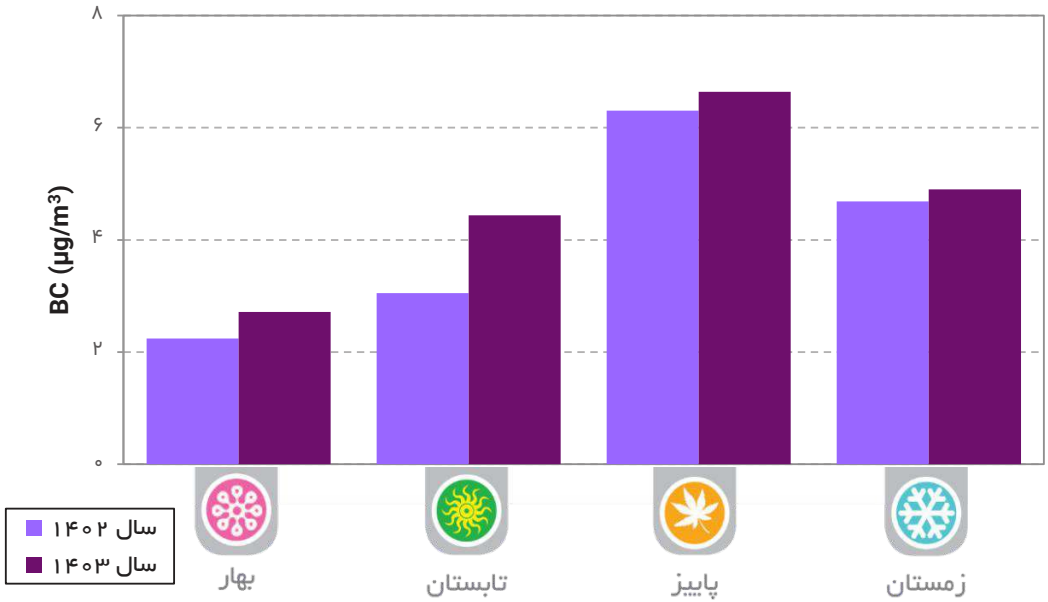
نمودار ۲-۶۰ تغییرات غلظت ماهانه آلاینده کربن سیاه (BC)
طی سال ۱۴۰۳ (میانگین غلظت ایستگاه‌ها)



نمودار ۲-۶۱ مقایسه توزیع غلظت ماهانه آلاینده BC
طی سال ۱۴۰۳ بر حسب میکروگرم بر مترمکعب

۲-۹-۴- مقایسه غلظت فصلی آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

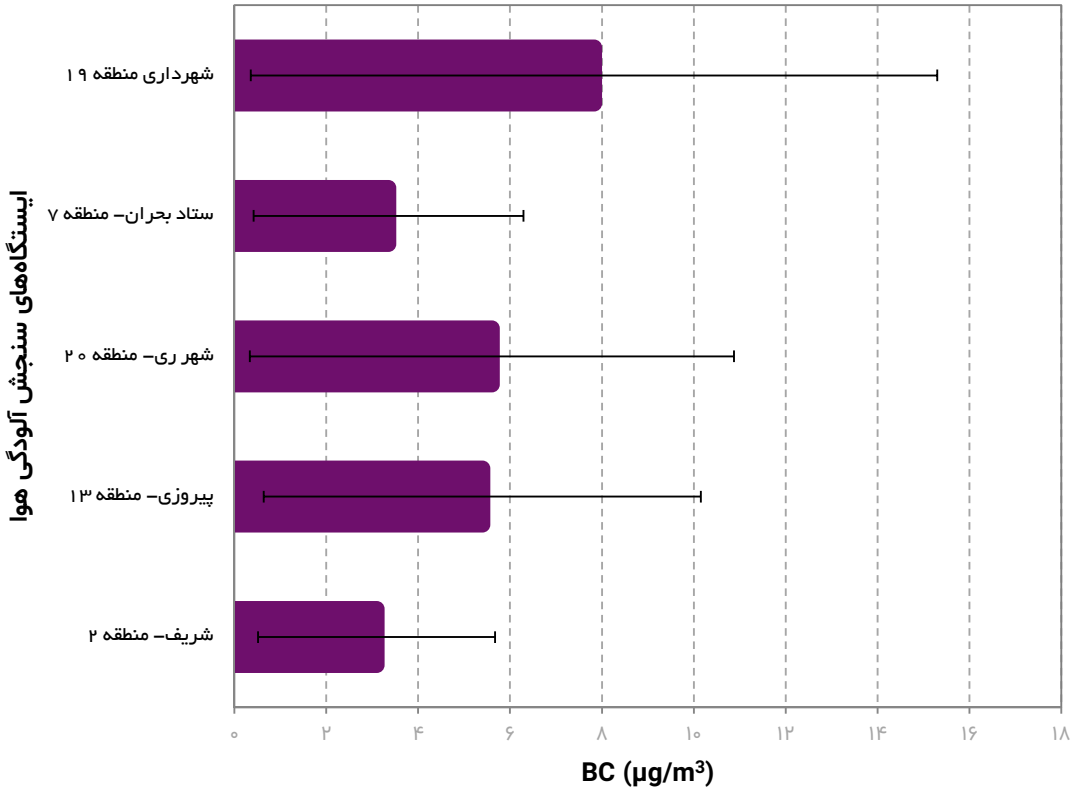
مقایسه میانگین فصول مختلف غلظت این آلاینده در نمودار ۲-۶۲ نشان داده شده است. فصل پاییز سال ۱۴۰۳ بیشترین غلظت فصلی را در این دو سال داشته و بهار همین سال نیز بهترین شرایط را به خود اختصاص داده است.



نمودار ۲-۶۲ مقایسه غلظت فصلی آلاینده کربن سیاه (BC) در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۲-۹-۵- میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

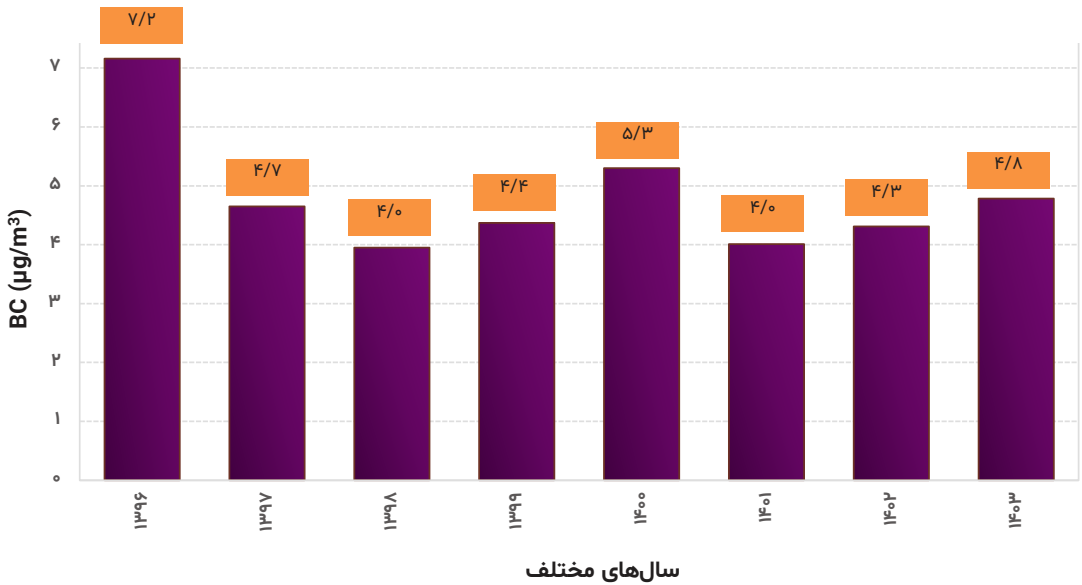
میانگین‌های سالیانه غلظت کربن سیاه به تفکیک ایستگاه اندازه‌گیری در نمودار ۲-۶۳ آورده شده است. ایستگاه منطقه ۱۹ و شهرری در جنوب تهران و پس از آن ایستگاه پیروزی در شرق تهران در نزدیکی بزرگراه‌ها و کمربندی تهران واقع است، بنابراین تردد کامیون‌ها به‌وفور در نزدیکی این ایستگاه مشاهده می‌شود که تحت تأثیر این مسئله بیشترین غلظت کربن سیاه به‌ترتیب در ایستگاه‌های مذکور رخ داده است.



نمودار ۲-۶۳ وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

۲-۹-۶- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۶۴ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده کربن سیاه از سال ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۳ نشان داده شده است. به‌طورکلی از زمان شروع اندازه‌گیری این آلاینده روند تغییرات غلظت آن طی سال‌های موردبررسی، تا سال ۱۳۹۸ کاهشی بوده و پس از کمی رشد در سال ۱۴۰۰ و کاهش در سال ۱۴۰۱، مجدداً در سال‌های اخیر روند صعودی به خود گرفته است. لازم به توضیح است، با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های مجهز به آنالایزر کربن سیاه نسبت به آلاینده‌های معیار در شبکه پایش شهر تهران و همچنین روند رو به رشد تعداد دستگاه‌های سنجش آلاینده مذکور طی سال‌های اخیر، تغییرات غلظت طی سال‌های مختلف متأثر از این شرایط نیز بوده است.



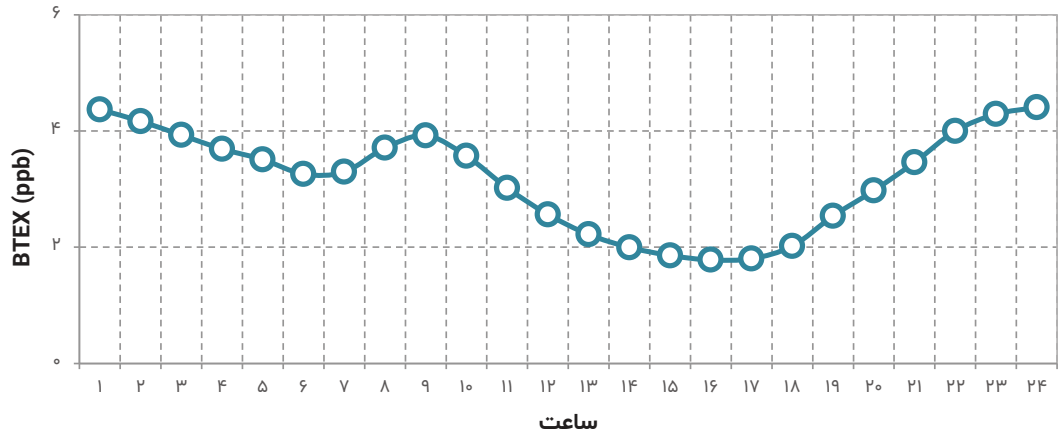
نمودار ۲-۶۴ میانگین غلظت سالانه آلاینده کربن سیاه (BC) طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۳

۲-۱۰- گروه ترکیبات آلی BTEX

گروه ترکیبات آلی BTEX شامل چهار ماده شیمیایی اصلی بنزن (Benzene)، تولوئن (Toluene)، اتیل‌بنزن (Ethylbenzene) و زایلن‌ها (Xylenes) می‌باشد. این ترکیبات جز ترکیبات آلی فرار (VOCs) طبقه‌بندی می‌شوند و به دلیل فراریت بالا به‌راحتی در هوا منتشر می‌شوند. اهمیت اندازه‌گیری BTEX در هوا به دلیل اثرات بهداشتی و سلامتی و همچنین تأثیر آن‌ها در تشکیل آلاینده‌های ثانویه می‌باشد. در این گروه، آلاینده بنزن به‌عنوان یک عامل سرطانزای قطعی (گروه ۱) شناخته شده و مواجهه طولانی‌مدت با غلظت‌های بالای آن باعث آسیب به کبد، کلیه‌ها، سیستم عصبی مرکزی و تشدید مشکلات تنفسی مانند آسم می‌شود. اتیل بنزن نیز به‌عنوان ماده احتمالی سرطان‌زا طبقه‌بندی شده و سایر ترکیبات این گروه نیز در غلظت‌های بالا اثرات سمی دارند. این ترکیبات به دلیل تأثیرات زیست‌محیطی و نقش در تشکیل ازن و مه دود فتوشیمیایی حائز اهمیت هستند. با عنایت به اهمیت این گروه از ترکیبات آلی فرار، شرکت کنترل کیفیت هوا اقدام به تجهیز ایستگاه شریف به دستگاه سنجش این گروه از آلاینده‌ها نمود و طی سال ۱۴۰۳ اطلاعات نسبتاً کاملی از تغییرات زمانی این آلاینده استخراج گردید.

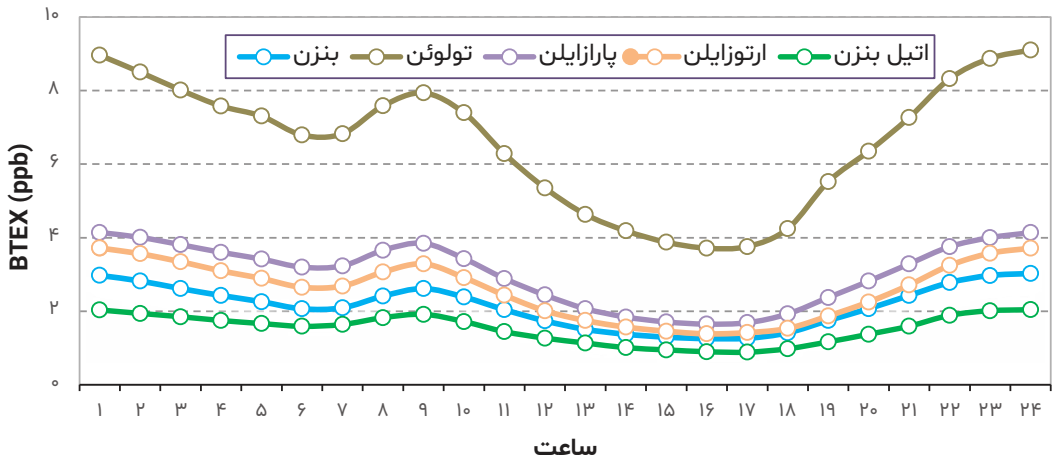
۲-۱۰-۱- روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال ۱۴۰۳

در نمودار ۲-۶۵ روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX طی ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال ۱۴۰۳ در ایستگاه دانشگاه شریف ارائه شده است و همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، شباهت زیادی بین رفتار ترکیبات آلی مذکور با آلاینده‌های ترافیکی وجود دارد که نشان از نقش این منابع در انتشار این گروه از آلاینده‌ها در هوای شهر دارد و با توجه به آن‌که ترکیبات آلی فرار یکی از اجزاء بنزین توزیعی در کشور به شمار می‌رود، بی‌تردید کاهش مصرف سوخت و ممانعت از نشت این گروه آلاینده‌ها در تمام مراحل انتقال، سوخت‌گیری و استفاده، تأثیر مستقیم در کاهش انتشار و کنترل تبخیر این ترکیبات دارد.



نمودار ۲-۶۵ روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX در ساعات مختلف شبانه‌روز طی سال ۱۴۰۳ در ایستگاه دانشگاه شریف

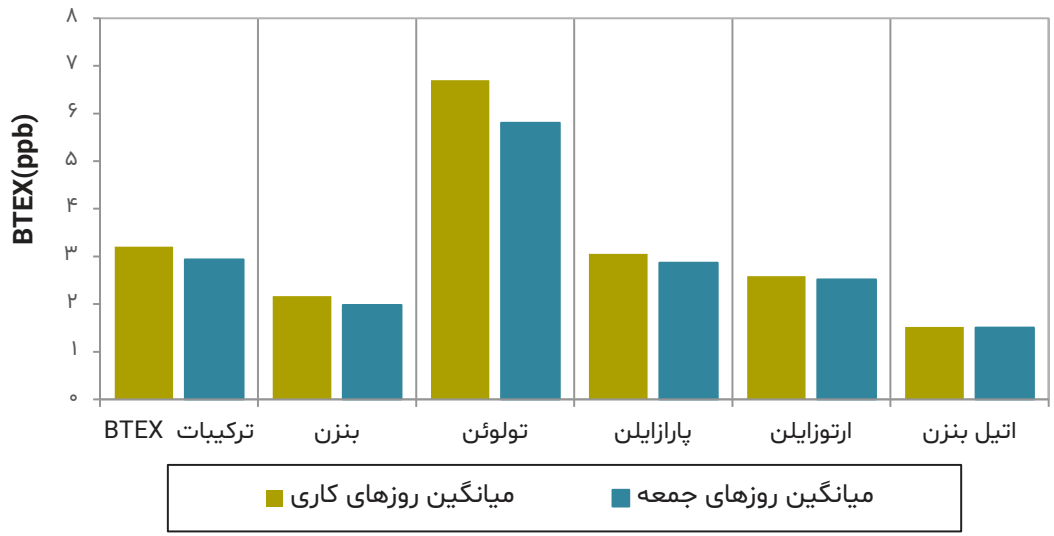
نمودار ۲-۶۶ نیز از بررسی تغییرات تجمعی ساعتی غلظت اجزای مختلف ترکیبات BTEX طی سال ۱۴۰۳ تهیه شده است. بر اساس این نمودار رفتار روزانه این آلاینده‌ها یکسان بوده و تولوئن بیشترین مقادیر را با اختلاف قابل‌توجه به خود اختصاص داده است. سایر گازهای این گروه هم با رفتاری مشابه و غلظت کمتر دیده شده و در بین آن‌ها آلاینده اتیل بنزن از کمترین غلظت برخوردار بوده است.



نمودار ۲-۶۶ تغییرات تجمعی ساعتی غلظت هریک از ترکیبات آلی BTEX طی سال ۱۴۰۳ در ایستگاه دانشگاه شریف

۲-۱۰-۲- روند تغییرات تجمعی غلظت گروه ترکیبات آلی BTEX در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال ۱۴۰۳

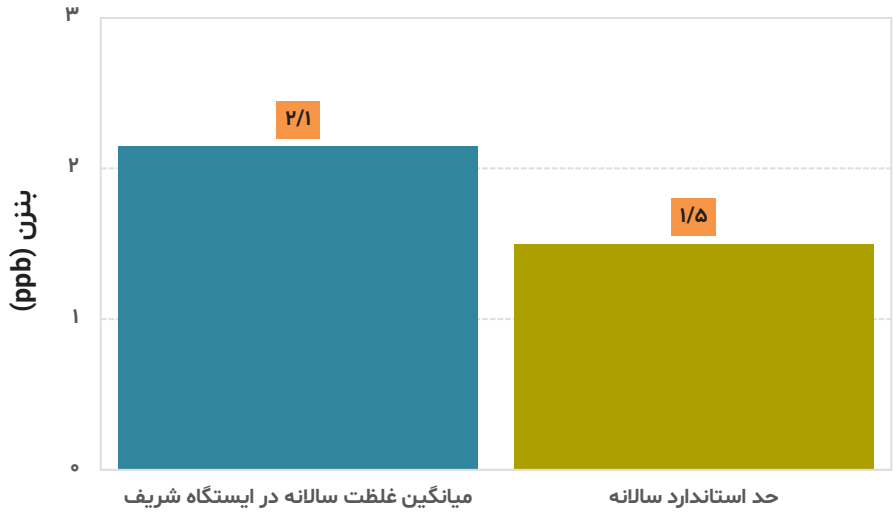
نمودار ۲-۶۷ روند تغییرات تجمعی هر یک از ترکیبات آلی BTEX در روزهای کاری و جمعه طی سال ۱۴۰۳ را ارائه می‌نماید. در مورد این ترکیبات نیز مانند سایر آلاینده‌هایی که منبع مهم انتشار آن‌ها ترافیک می‌باشد، روزهای جمعه از کمترین میزان غلظت برخوردار می‌باشند.



نمودار۲-۶۷ روند تغییرات تجمعی غلظت هریک از ترکیبات آلی BTEX در روزهای کاری و تعطیل هفته طی سال ۱۴۰۳ در ایستگاه دانشگاه شریف

۲-۱۰-۳- مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده بنزن طی سال ۱۴۰۳ با حد استاندارد

در نمودار ۲-۶۸ مقایسه میانگین سالانه غلظت آلاینده بنزن در سال ۱۴۰۳ با حد استاندارد ایران (غلظت سالانه برابر با ۱/۵ ppb) نشان داده شده است. این آلاینده تنها آلاینده از این گروه است که در کشور ایران دارای حد استاندارد هوای آزاد بوده و با توجه به میزان و موارد مصرف و همین‌طور صدمات بهداشتی منتسب به آن، می‌تواند مهم‌ترین عضو این گروه تلقی گردد. همان‌طور که در این نمودار نیز دیده می‌شود، میانگین سالانه آن بیشتر از حد استاندارد مربوطه می‌باشد و لازم است تا پس از شناسایی همه منابع انتشار، نسبت به ممانعت از انتشار این آلاینده که یکی از اثرات مخرب آن سرطان خون می‌باشد، اقدام لازم صورت پذیرد.



نمودار ۲-۶۸ میانگین غلظت سالانه آلاینده بنزن
طی سال ۱۴۰۳ در ایستگاه دانشگاه شریف


O_3
NO_2
SO_2
CO
AQI

فصل سوم

گزارش کیفیت هوای شهر تهران
در سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص AQI

۳- گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص AQI

یکی از روش‌های استاندارد نمایش و ارائه کیفیت آلاینده‌های هوا در سطح بین‌المللی استفاده از شاخص AQI می‌باشد. بر اساس توضیحات ارائه‌شده در فصل اول هر یک از آلاینده‌های مورد اندازه‌گیری، حدود استاندارد خاص خود را دارا می‌باشند که به‌منظور 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.

استفاده از این شاخص از دو جنبه حائز اهمیت است. نخستین مورد مربوط به بهره‌برداری بهداشتی شهروندان است که امکان تشخیص آخرین کیفیت هوا را فراهم آورده و بر طبق هر رتبه دستورالعمل بهداشتی نیز ارائه می‌گردد. مورد دوم و شاید مهم‌تر آن‌که روند شاخص آلاینده‌ها در طولانی‌مدت به‌مانند یک آینه نتیجه اقدامات مسئولین ذی‌ربط کیفیت هوا را نشان داده و امکان ارائه راهکارهای صحیح در آینده را فراهم می‌آورد. به همین دلیل در این بخش سعی شده شاخص‌های کیفیت هوا برای همه آلاینده‌های مورد اندازه‌گیری، در روزها و ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ و همچنین وضعیت شاخص کیفیت هوای تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ در جداول و نمودارهای متنوع با هم مقایسه گردند.

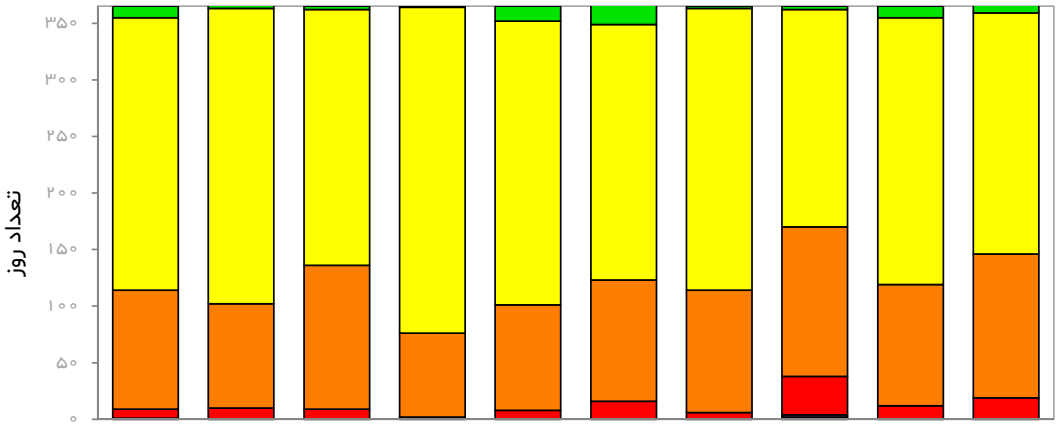
شایان ذکر است همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر گردید، با توجه به تغییر روش محاسبه شاخص از ابتدای سال ۱۳۹۹، کلیه شاخص‌های ارائه شده در این بخش بر اساس این روش می‌باشد و به‌منظور مقایسه بهتر، شاخص کیفیت هوا برای سال‌های گذشته نیز بر اساس روش جدید محاسبه و اعلام می‌گردد. البته آمار و اطلاعات مربوط به شاخص کیفیت هوا با روش محاسبه گذشته در سامانه شرکت کنترل کیفیت هوا و همین‌طور گزارش‌های سالانه مربوط به سال‌های قبل در اختیار می‌باشد.

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

۳-۱-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

نمودار ۳-۱وضعیت کیفی هوا از نظر شاخص کیفیت هوا طی بازه ده ساله منتهی به سال ۱۴۰۳ را برحسب تعداد روز نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، طی سال ۱۴۰۳ تعداد روزهای پاک با روند کاهشی نسبت به سال گذشته به ۷ روز رسیده و تعداد روزهای دارای شرایط قابل‌قبول نیز با کاهش قابل توجه نسبت به سال ۱۴۰۲، از ۲۳۶ به ۲۱۳ روز رسید. همچنین تعداد روزهای دارای شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و ناسالم نیز با افزایش نسبت به سال قبل به‌ترتیب برابر با ۱۲۷ و ۱۹ روز بود و شرایط بسیار ناسالم و خطرناک نیز در این سال ثبت نشد.

در مجموع سال ۱۴۰۱ با شکستن رکورد بیشترین روزهای نامطلوب (۱۷۰روز ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) بین سالیان موردبررسی بیشترین تعداد روزهای فراتر از حد مجاز را به خود اختصاص داد و سال ۱۳۹۷ نیز در بین سال‌های اخیر با کمترین روز آلوده روبرو بود. بر اساس آمار مقایسه‌ای شاخص کیفیت هوا طی دوره ده سال موردمطالعه، روزهای آلوده طی سال ۱۴۰۳پس از سال ۱۴۰۱، بیشترین تعداد را داشته و دومین سال آلوده بوده است.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
●	۱۰	۳	۳	۱	۱۳	۱۷	۲	۳	۱۰	۷
●	۲۴۱	۲۶۱	۲۲۶	۲۸۸	۲۵۱	۲۲۶	۲۴۹	۱۹۲	۲۳۶	۲۱۳
●	۱۰۵	۹۲	۱۲۷	۷۴	۹۳	۱۰۷	۱۰۸	۱۳۲	۱۰۷	۱۲۷
●	۸	۱۰	۹	۲	۸	۱۶	۶	۳۴	۱۲	۱۹
●	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰
●	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰

(۵۰ـ۰)پاک (۱۰۰ـ۵۱)قابل قبول (۱۵۰ـ۱۰۱)ناسالم برای گروه‌های حساس
(۲۰۰ـ۱۵۱)ناسالم (۳۰۰ـ۲۰۱)بسیار ناسالم (۵۰۰ـ۳۰۱)خطرناک

نمودار ۳-۱ کیفیت هوا از نظر شاخص کیفیت هوا (AQI) طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و قابل‌قبول) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌گردد که سال ۱۳۹۷ با ۲۰/۸ درصد و سال ۱۴۰۱ با ۴۶/۶ درصد به‌ترتیب کمترین و بیشترین روز آلوده را داشته‌اند و سال ۱۴۰۳ با ۳۹/۹ درصد روز آلوده از این حیث در رتبه دوم بیشترین روز آلوده طی ده سال اخیر قرار داشته است.

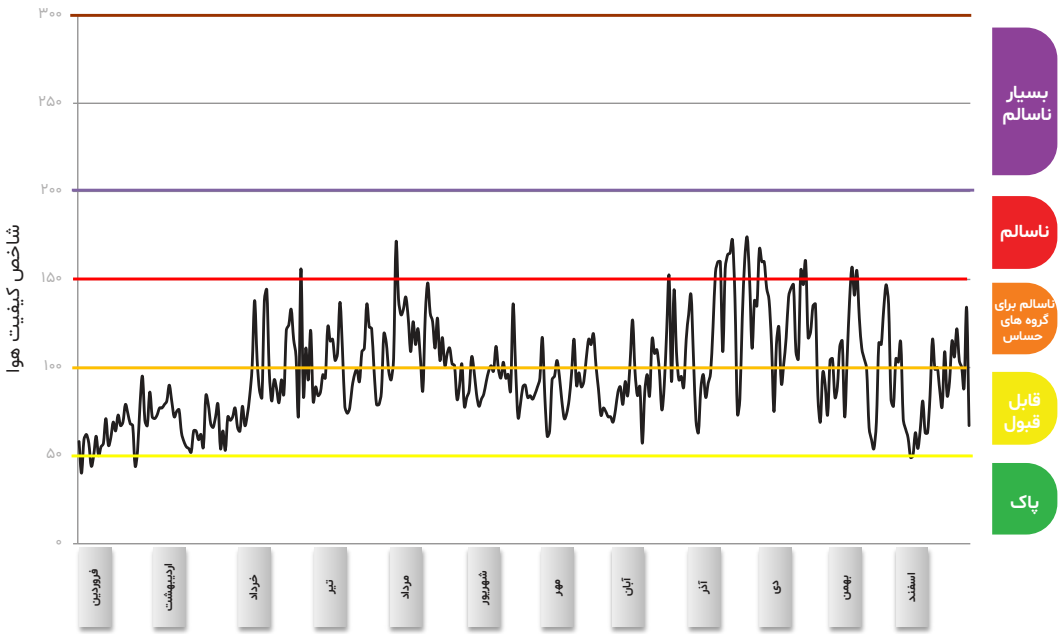
جدول ۳-۱ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص AQI طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	٦٨/٨	۳۱/۲
۱۳۹۵	۷۲/۳	۲۷/۷
۱۳۹٦	٦۲/۷	۳۷/۳
۱۳۹۷	۷۹/۲	۲۰/۸
۱۳۹۸	۷۲/۳	۲۷/۷
۱۳۹۹	٦٦/٤	۳۳/٦
۱٤۰۰	٦٨/٨	۳۱/۲
۱٤۰۱	٥۳/٤	٤٦/٦
۱٤۰۲	٦۷/٤	۳۲/٦
۱٤۰۳	٦۰/۱	۳۹/۹

۳-۱-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

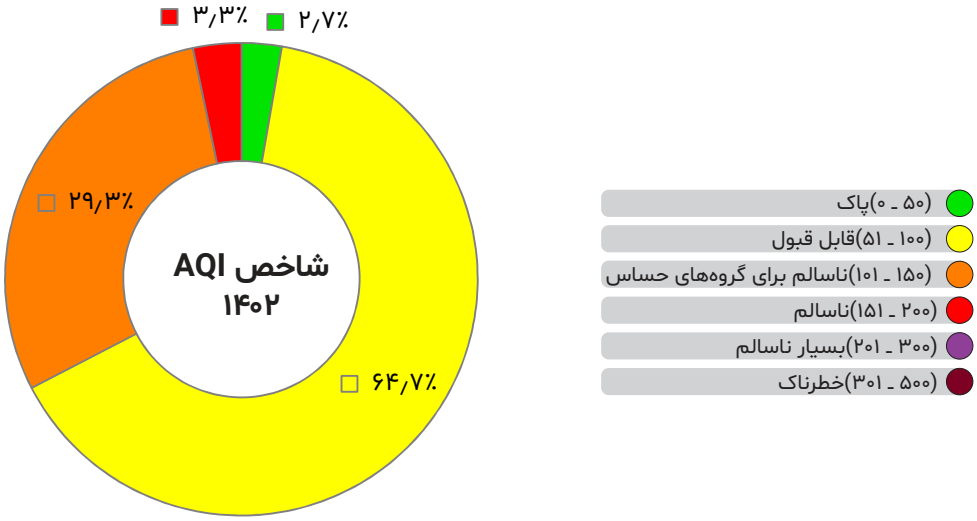
نمودار ۳-۲ روند تغییرات روزانه شاخص AQI در سال ۱۴۰۳ و نمودار ۳-۳ درصد شرایط مختلف کیفیت هوا طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نشان می‌دهند. مطابق نمودار ۳-۲ طی سال ۱۴۰۳، در فروردین و اردیبهشت با توجه به تعطیلی‌های نیمه اول فروردین، بارش‌ها و وزش بادهای مناسب، از تعداد روزهای مطلوب قابل‌توجهی برخوردار بوده و با گرم‌تر شدن هوا و افزایش تولید آلاینده ازن و نیز ورود توده‌های حامل گرد و خاک به پایتخت، بر تعداد روزهای آلوده در ماه‌های خرداد الی

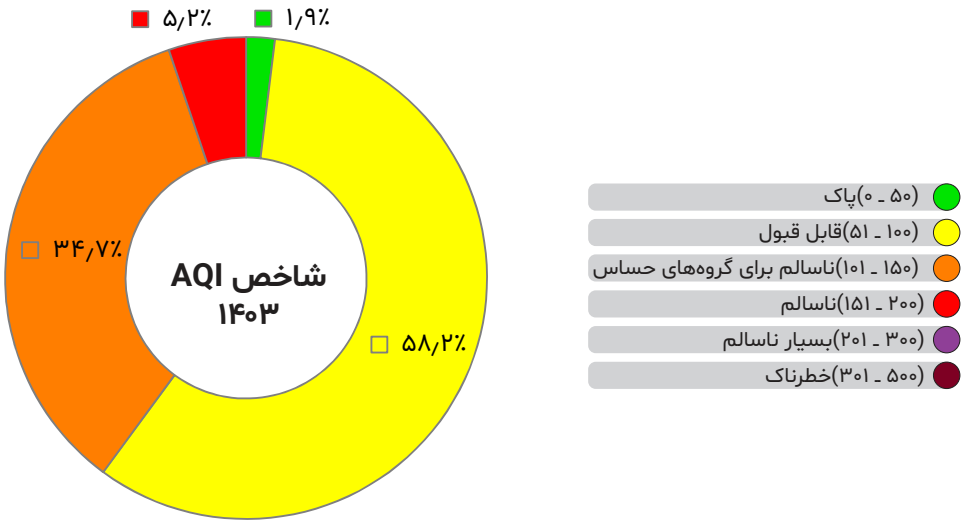
اواخر شهریورماه افزوده گردید. پس از دوره نسبتاً مناسب کیفیت هوا تا اواسط آبان‌ماه، همراه با سرد شدن هوا و پدیده وارونگی دما، تعداد روزهای آلوده به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$، افزایش یافت. بیشترین شاخص در سال ۱۴۰۳ برابر ۱۷۴ بود که در روز بیست و نه آذر برای آلاینده $PM_{2.5}$ ثبت شد. همچنین روز ۲ فروردین با شاخص ۴۰ به‌عنوان پاک‌ترین روز سال به ثبت رسید.



نمودار ۳-۲ تغییرات شاخص کیفیت هوا طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

در مجموع طی سال ۱۴۰۳، حدود ۶۰ درصد روزها در شرایط مجاز و ۴۰ درصد روزها در وضعیت فراتر از حد مجاز سلامت روزانه قرار داشتند و همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، درصد روزهای نامطلوب در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۴۰۲ افزایش قابل‌توجهی داشته است.



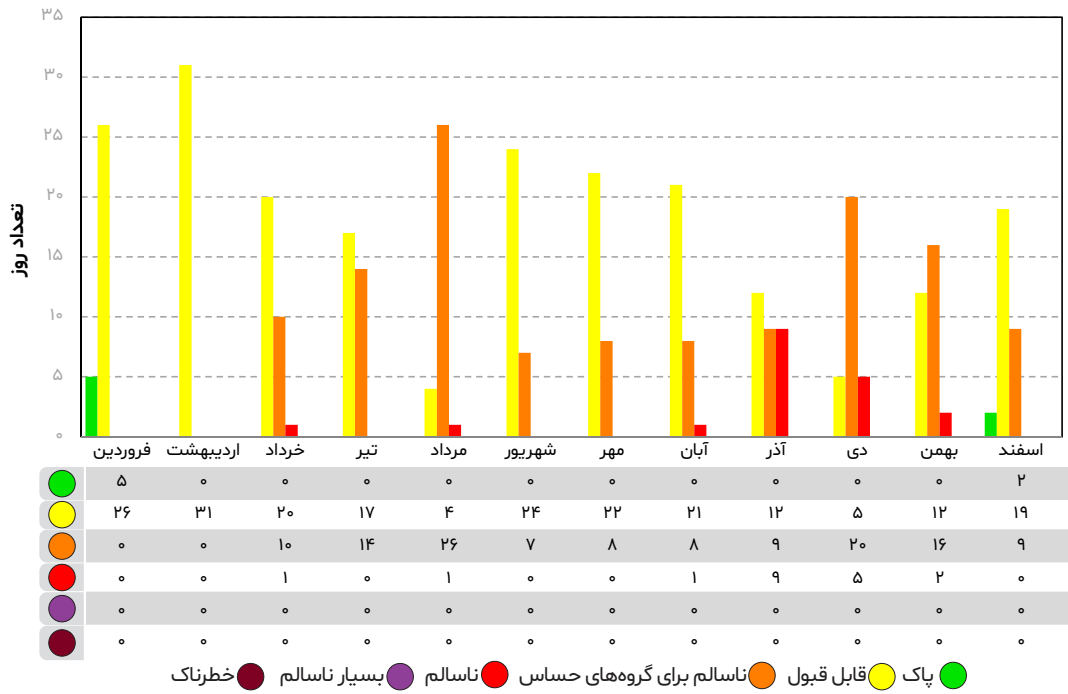


نمودار ۳-۳ وضعیت شاخص کیفیت هوا (AQI)
طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

۳-۱-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

با توجه به نمودار ۳-۴، بیشترین تعداد روز نامطلوب در مردادماه با ۲۶ روز شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و ۱ روز ناسالم مشاهده می‌گردد و پس از آن دی‌ماه با ۲۰ روز شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و ۵ روز ناسالم قرار داشته است. از سوی دیگر طی آذرماه نیز بیشترین تعداد روز ناسالم برای عموم افراد جامعه به میزان ۹ روز ثبت شده و در مجموع طی این ماه تعداد روزهای فراتر از حد مجاز ۱۸ روز بوده است.

در سال ۱۴۰۳ ماه‌های فروردین با ۵ روز پاک و ۲۶ روز قابل قبول و اردیبهشت با ۳۱ روز قابل قبول و بدون روز فراتر از حد مجاز، به عنوان بهترین ماه‌های سال کاملاً در شرایط مطلوب قرار داشتند.



نمودار ۳-۴ کیفیت هوا از نظر شاخص AQI
طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۱-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص AQI

تعداد روزهای با شرایط مطلوب و یا نامطلوب کیفیت هوا طی روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ به‌صورت مشخص‌تری در جدول ۳-۲ بر اساس رنگ‌های استاندارد شاخص کیفیت هوا نمایش داده شده است. بر این اساس طی ماه‌های مرداد، آذر و دی بیشترین دوره‌های متوالی آلودگی هوا رخ داده است و دو دوره ۹ و ۱۴ روزه در دی‌ماه و دو دوره ۱۲ و ۱۳ روزه در مردادماه، بارزترین بازه‌ها از حیث توالی روزهای آلوده در سال ۱۴۰۳ بوده است و این شرایط در مقایسه با دوره‌های متوالی آلودگی هوا در سال ۱۴۰۲ بسیار بیشتر بوده است.

جدول ۳-۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص AQI در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

بهار

فروردین

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

اردیبهشت

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

خرداد

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

تابستان

تیر

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

مرداد

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

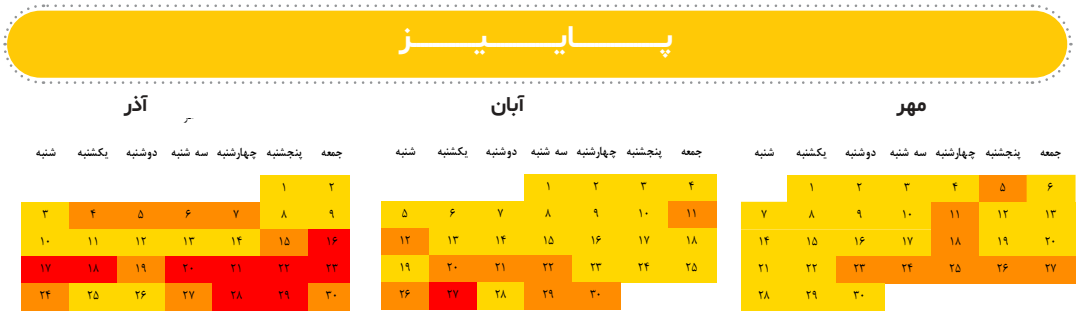
شهریور

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

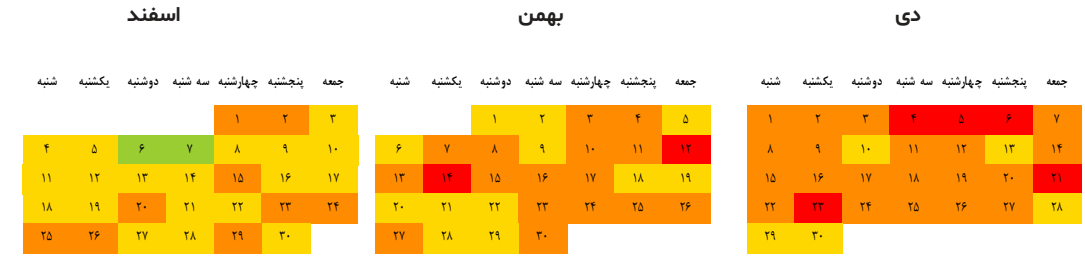
جدول ۳-۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص AQI در سال ۱۴۰۳ (ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز



زمـــستـــــان

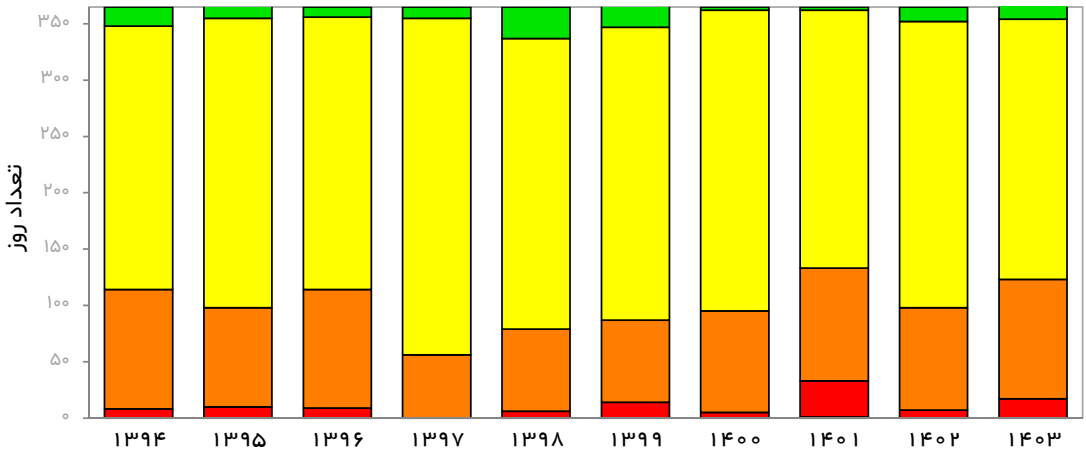


۳-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از دو و نیم میکرون ($PM_{2.5}$)

۳-۲-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

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

نمودار ۳-۵ نشان‌دهنده کیفیت هوا از نظر آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ و طی دوره ۱۰ ساله می‌باشد. در سال ۱۴۰۳ نیز مانند سایر سال‌های موردمطالعه، علت اصلی بالا بودن تعداد روزهای نامطلوب در شهر تهران، آلاینده $PM_{2.5}$ بوده و در مجموع ۱۲۳ روز (۳۳/۶ درصد) طی این سال به لحاظ آلاینده مذکور در وضعیت فراتر از حد مجاز قرار گرفته است. همان‌طور که در جدول ۳-۳ دیده می‌شود، در میان این سال‌ها، سال ۱۳۹۷ کمترین درصد روزهای نامطلوب را به خود اختصاص داده و سال ۱۴۰۱ نیز با ۱۳۳ روز، بیشترین تعداد روزهای آلوده و بیشترین شاخص ثبت شده را به خود اختصاص داده است. همچنین سال ۱۴۰۳ در میان سال‌های موردبررسی رتبه دوم به لحاظ بیشترین تعداد روز آلوده را دارا بوده است.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
(۵۰ ـ ۰)پاک	۱۷	۱۱	۹	۱۰	۲۸	۱۹	۳	۳	۱۳	۱۲
(۱۰۰ ـ ۵۱)قابل قبول	۲۳۴	۲۵۷	۲۴۲	۲۹۹	۲۵۸	۲۶۰	۲۶۷	۲۲۹	۲۵۴	۲۳۱
(۱۵۰ ـ ۱۰۱)ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۶	۸۸	۱۰۵	۵۶	۷۳	۷۳	۹۰	۱۰۰	۹۱	۱۰۶
(۲۰۰ ـ ۱۵۱)ناسالم	۸	۱۰	۹	۰	۶	۱۴	۵	۳۲	۷	۱۷
(۳۰۰ ـ ۲۰۱)بسیار ناسالم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
(۵۰۰ ـ ۳۰۱)خطرناک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

نمودار ۳-۵ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

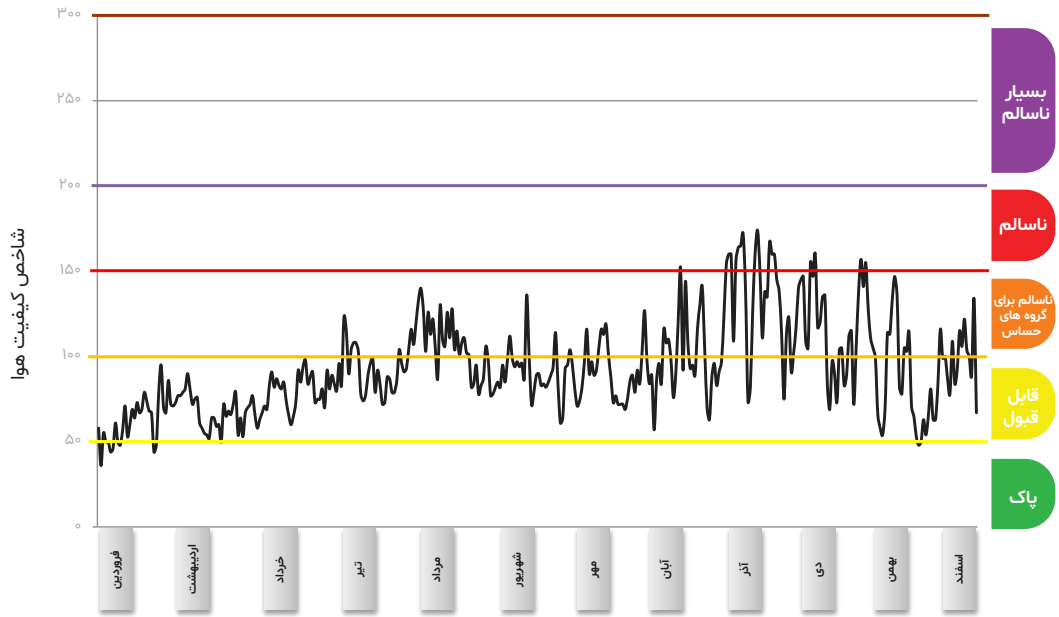
جدول ۳-۳ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	٦٨/٨	۳۱/۲
۱۳۹٥	۷۲/۳	۲۷/۷
۱۳۹٦	٦۲/۷	۳۷/۳
۱۳۹۷	۷۹/۲	۲۰/۸
۱۳۹۸	۷۲/۳	۲۷/۷
۱۳۹۹	٦٦/٤	۳۳/٦
۱٤۰۰	٦٨/٨	۳۱/۲
۱٤۰۱	٥۳/٤	٤٦/٦
۱٤۰۲	٦۷/٤	۳۲/٦
۱٤۰۳	٦۰/۱	۳۹/۹

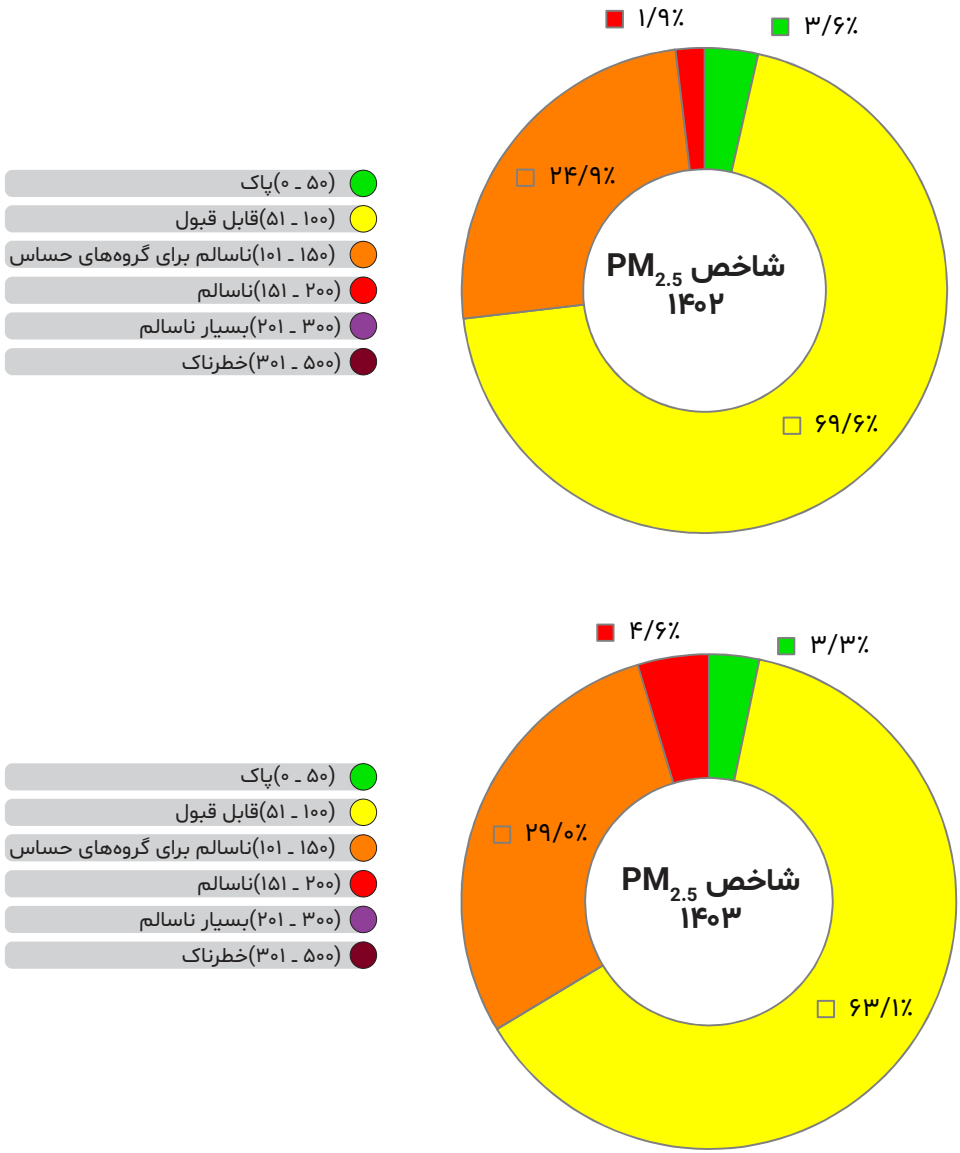
۳-۲-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۶ شاخص کیفیت هوا بر اساس میانگین غلظت روزانه آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون در سال ۱۴۰۳ و نمودار ۳-۷ درصد روزهای مطلوب و نامطلوب به لحاظ این آلاینده را طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در سال ۱۴۰۳ کمتر از ۴٪ روزها در شرایط پاک، حدود ۶۳٪ در شرایط قابل‌قبول و بیش از ۳۳٪ روزها نیز در شرایط فراتر از حد استاندارد بوده است. پاک‌ترین و آلوده‌ترین روز به لحاظ این آلاینده به ترتیب روزهای ۲ فروردین و ۲۹ آذر، با شاخص ۳۶ و ۱۷۴ بوده است. این آلاینده در بیشتر روزهای سال، آلاینده شاخص هوای پایتخت بوده و مشابهت این نمودار و نمودار ۳-۲ (روند شاخص AQI) به‌ویژه در نیمه دوم سال به همین علت می‌باشد و این بدان معنی است که در صورت کاهش غلظت این آلاینده، تعداد روزهای آلوده شهر نیز تا حد زیادی کاهش خواهد یافت.

مقایسه دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون نیز نشان می‌دهد که درصد روزهای با شرایط مطلوب در سال ۱۴۰۳ کاهش و درصد روزهای آلوده افزایش داشته است. در نیمه نخست سال ۱۴۰۳ تحت تأثیر طوفان‌ها و جریانات حاوی گردوغبار بویژه در ماه‌های مرداد و تیر، در برخی از روزها افزایش غلظت این آلاینده دیده می‌شود و از آذرماه به علت برودت هوا، کاهش ارتفاع لایه اختلاط و افت ناپایداری جوی، غلظت آلاینده مذکور افزایش یافته و تعداد قابل‌توجهی از روزها در شرایط فراتر از مجاز قرار گرفته است.



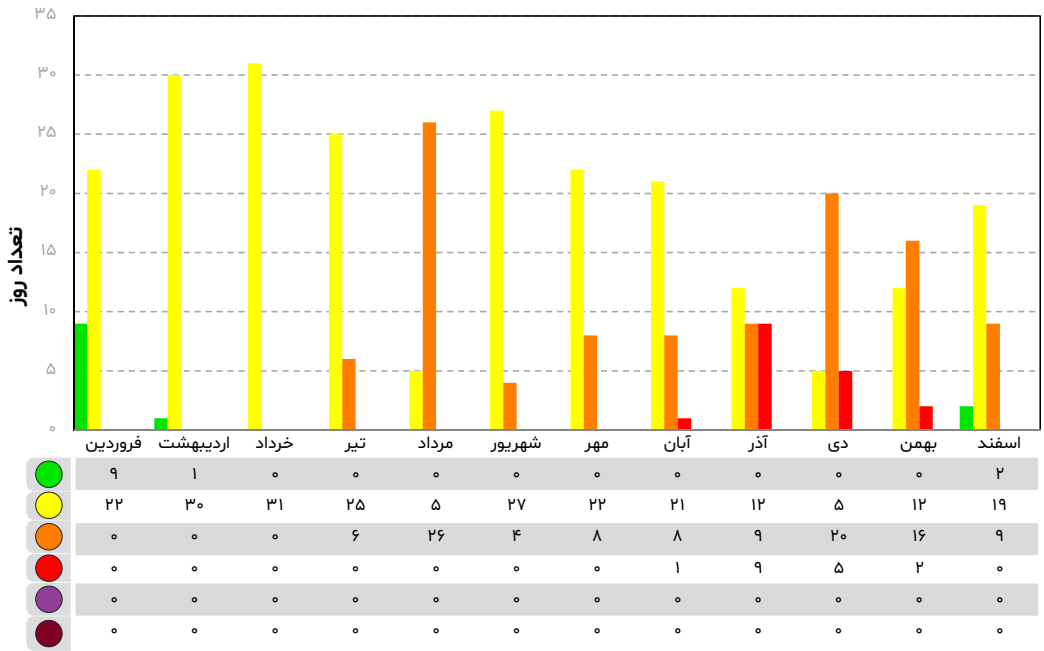
نمودار ۳-۶ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳



نمودار۳-۷ وضعیت شاخص آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

همان‌گونه که در نمودار ۳-۸ مشاهده می‌گردد، طی ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳، بیش از ۷۰ درصد روزهای آلوده به لحاظ این آلاینده، در نیمه دوم سال و به‌ویژه در ماه‌های سردتر ثبت شده است. بیشترین روزهای آلوده به‌ترتیب در ماه‌های مرداد (۲۶ روز)، دی (۲۵ روز) و آذر و بهمن (۱۸ روز) رخ داده است و علت آن برودت هوا و شرایط پایدار جوی طی ماه‌های سرد و گردوغبار موجود در هوا در مردادماه می‌باشد و همان‌طور که دیده می‌شود در ماه آذر ۹ روز، دی ۵ روز و در ماه‌های بهمن و آبان به ترتیب ۲ و ۱ روز ناسالم وجود داشته است.

مطلوب‌ترین ماه‌های سال، فروردین با ۹ روز پاک و ۲۲ روز قابل‌قبول، اردیبهشت با ۱ روز پاک و ۳۰ روز قابل قبول و خرداد با ۳۱ روز قابل قبول بوده‌اند.



نمودار ۳-۸ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$
طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۲-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده $PM_{2.5}$

در جدول ۳-۴ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده $PM_{2.5}$ با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

بهار

فروردین

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

اردیبهشت

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

خرداد

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

تابستان

تیر

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

مرداد

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

شهریور

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

جدول ۳-۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۳(ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســـتـــــان

دی

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

بهمن

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

اسفند

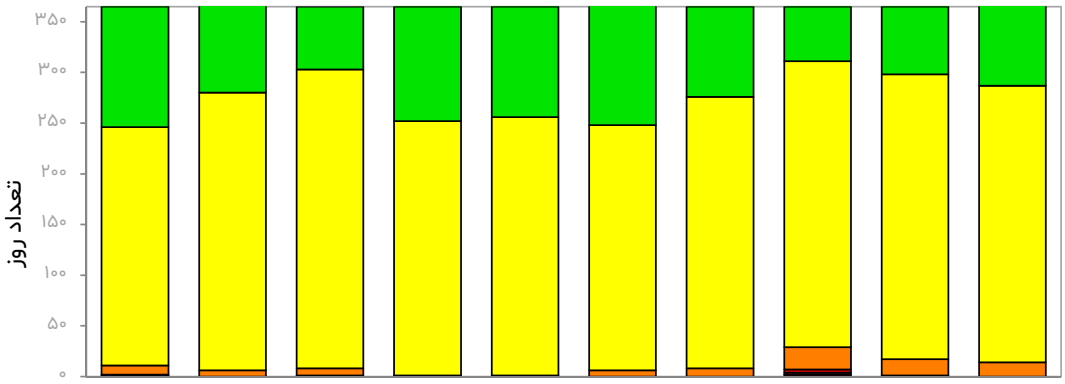
جمعه	پنجشنبه	چهارشنبه	سه شنبه	دوشنبه	یکشنبه	شنبه
۳	۲	۱				
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴
۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱
۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸
	۳۰	۲۹	۲۸	۲۷	۲۶	۲۵

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

۳-۳-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

نمودار ۳-۹ نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوا از نظر آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی دوره ۱۰ ساله می‌باشد. در سال ۱۴۰۳ مجموع تعداد روزهای پاک و قابل‌قبول به لحاظ این آلاینده ۳۵۲ روز (۷۹ روز پاک و ۲۷۳ روز قابل قبول) بوده و ۱۴ روز (۳/۸ درصد) نیز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشت. در دوره موردبررسی هیچ روزی در شرایط ناسالم و یا با کیفیت بدتر قرار نداشته و تعداد روزهای آلوده نسبت به سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ کمتر بود ولی این سال در دوره مورد بررسی جزء ۳ سال با بیشترین تعداد روزهای آلوده به شمار می‌رود. بیشترین تعداد روزهای آلوده در ده سال گذشته طی سال ۱۴۰۱ با ۲۹ روز ثبت گردید. سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با تنها ۱ روز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس از کمترین روز نامطلوب در بازه موردبررسی برخوردار بوده‌اند. یادآور می‌شود این آلاینده معمولاً از ذرات درشت‌تر تشکیل شده، متأثر از طبیعت بوده و به‌طورمعمول بیشتر روزهای نامطلوب به لحاظ آن، به‌واسطه گردوغبار و خشکی اقلیم حادث می‌شود.

در جدول ۳-۵ نیز مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و قابل‌قبول) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ از منظر این آلاینده نمایش داده شده است.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
●	۱۱۹	۸۶	۶۲	۱۱۳	۱۰۹	۱۱۸	۸۹	۵۴	۶۷	۷۹
●	۲۳۵	۲۷۴	۲۹۵	۲۵۱	۲۵۵	۲۴۲	۲۶۸	۲۸۲	۲۸۱	۲۷۳
●	۹	۶	۷	۱	۱	۶	۸	۲۲	۱۶	۱۴
●	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۰
●	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰
●	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰

(۰ ـ ۵۰)پاک (۵۱ ـ ۱۰۰)قابل قبول (۱۰۱ ـ ۱۵۰)ناسالم برای گروه‌های حساس
(۱۵۱ ـ ۲۰۰)ناسالم (۲۰۱ ـ ۳۰۰)بسیار ناسالم (۳۰۱ ـ ۵۰۰)خطرناک

نمودار ۳-۹ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

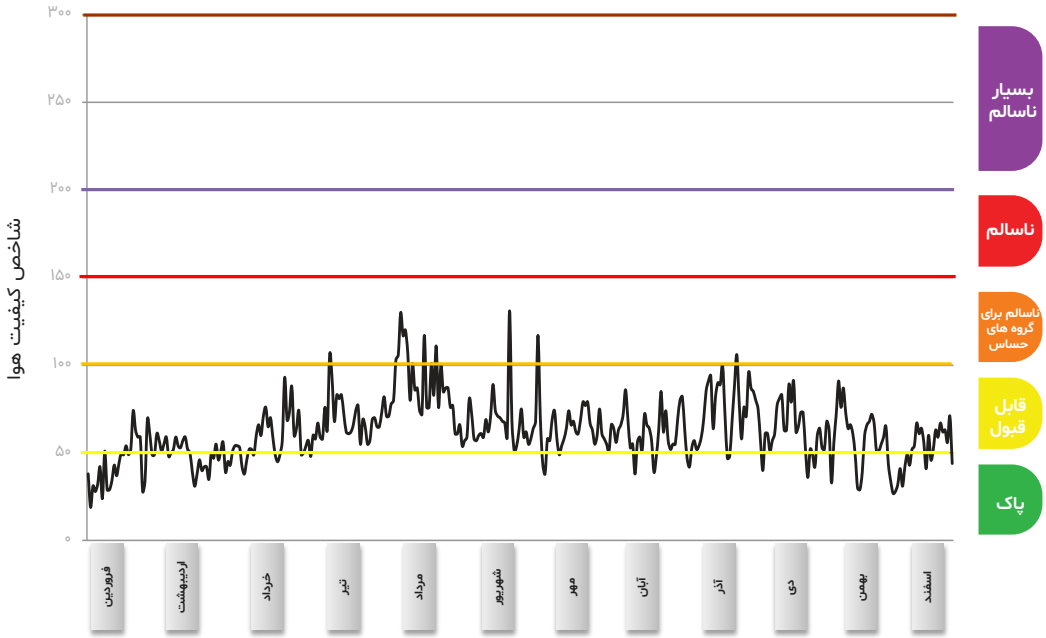
جدول ۳-۵ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده PM_{10} طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	۹۷٫۰	۳٫۰
۱۳۹۵	۹۸٫٤	۱٫٦
۱۳۹٦	۹۷٫۸	۲٫۲
۱۳۹۷	۹۹٫۷	۰٫۳
۱۳۹۸	۹۹٫۷	۰٫۳
۱۳۹۹	۹۸٫٤	۱٫٦
۱٤۰۰	۹۷٫۸	۲٫۲
۱٤۰۱	۹۲٫۱	۷٫۹
۱٤۰۲	۹۵٫۳	٤٫۷
۱٤۰۳	۹٦٫۲	۳٫۸

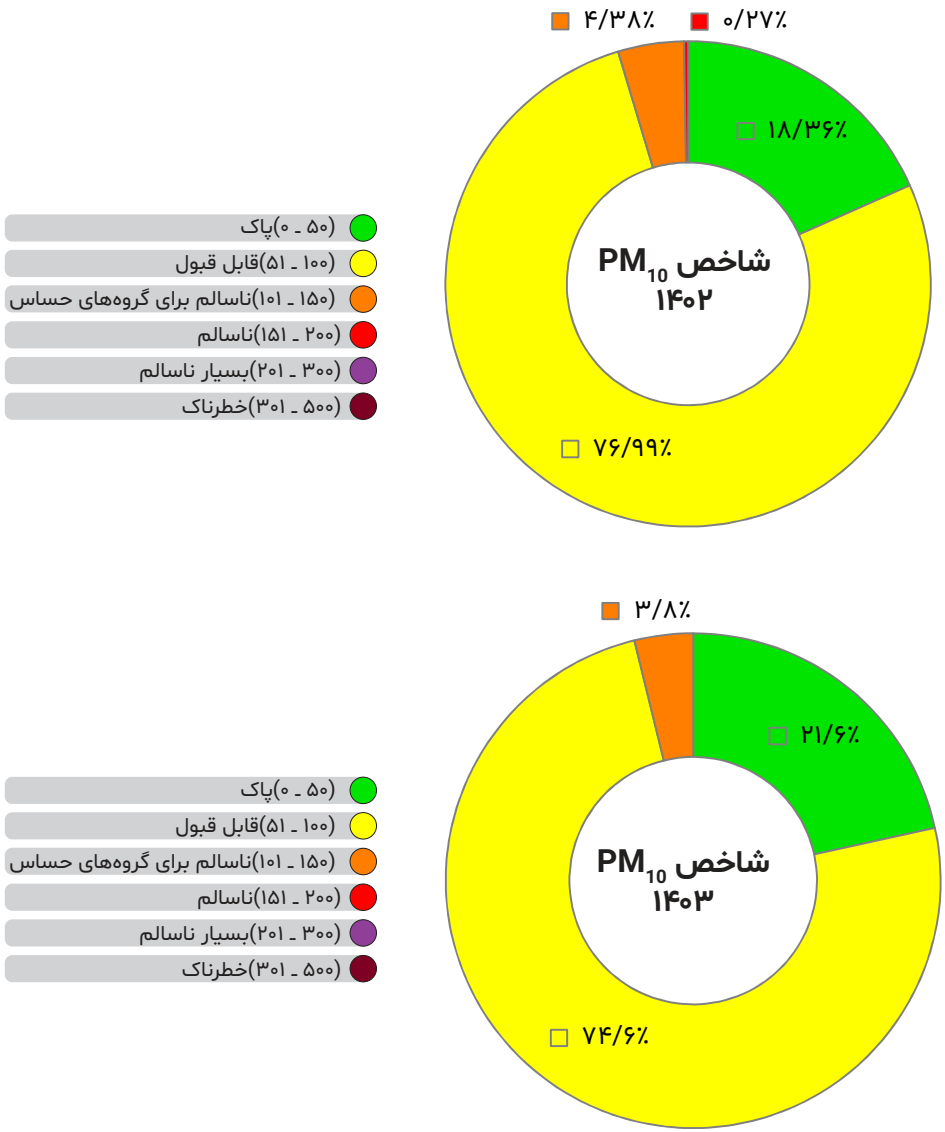
۳-۳-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۱۰روند روزانه شاخص کیفیت هوا را بر اساس آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (بر اساس میانگین غلظت روزانه) طی سال ۱۴۰۳ و نمودار ۳-۱۱ وضعیت کلی شاخص این آلاینده را در دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به درصد نمایش می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بیشتر روزهای سال ۱۴۰۳ (حدود ۹۶٪) کیفیت هوا به لحاظ این آلاینده در شرایط پاک و قابل‌قبول بوده است. همچنین رشد غلظت در دو بازه روزهای گرم به علت خشکی زمین و بروز طوفان‌های حاوی گردوغبار و همینطور در روزهای سرد سال و به علت پایداری جوی اتفاق افتاده است.

از منظر آلاینده PM_{10} آلوده‌ترین روز سال ۱۴۰۳، در روز ۲۴ شهریور با شاخص ۱۳۱ و پاک‌ترین روز با شاخص ۱۹ در روز ۲ فروردین اتفاق افتاده است.



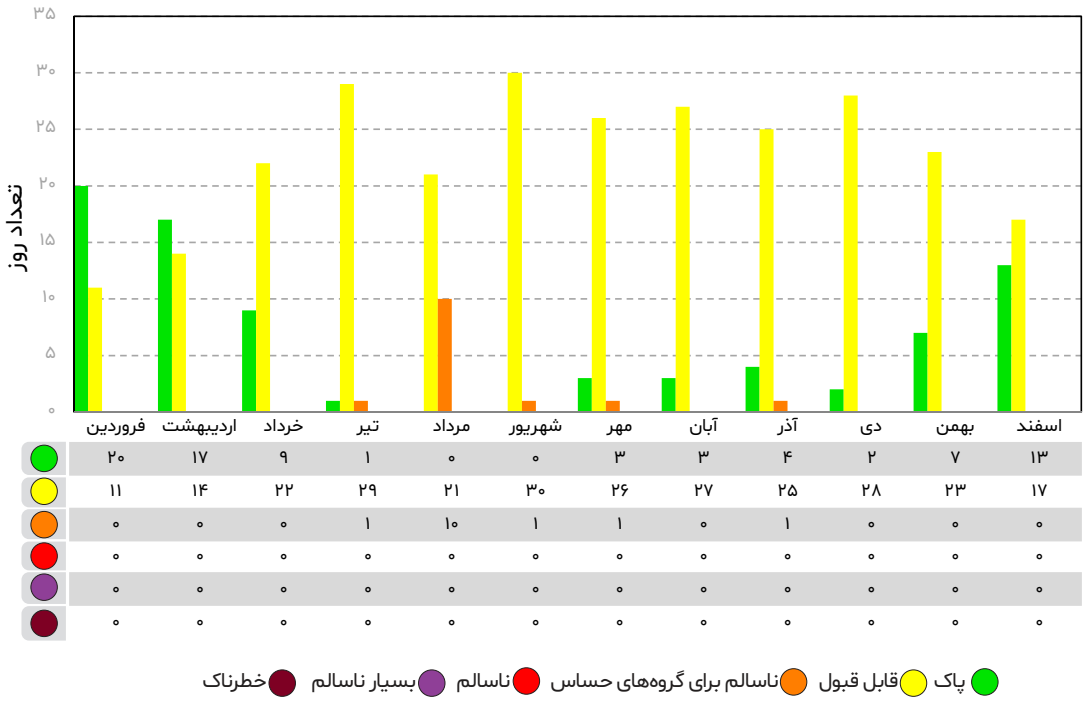
نمودار ۳-۱۰ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳



نمودار ۳-۱۱ وضعیت شاخص آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

۳-۳-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده PM_{10} طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

با توجه به نمودار ۳-۱۲ مشاهده می‌گردد، طی ۷ ماه این سال همه روزها به لحاظ ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در شرایط مطلوب بوده است. طی این سال مردادماه با ۱۰ روز ناسالم برای گروه‌های حساس، آلوده‌ترین ماه بوده و فروردین با ۲۰ روز پاک و ۱۱ روز قابل‌قبول به لحاظ این آلاینده، مطلوب‌ترین ماه سال بوده است.

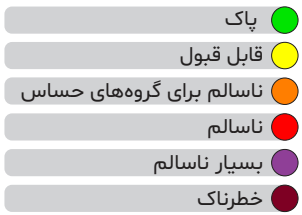


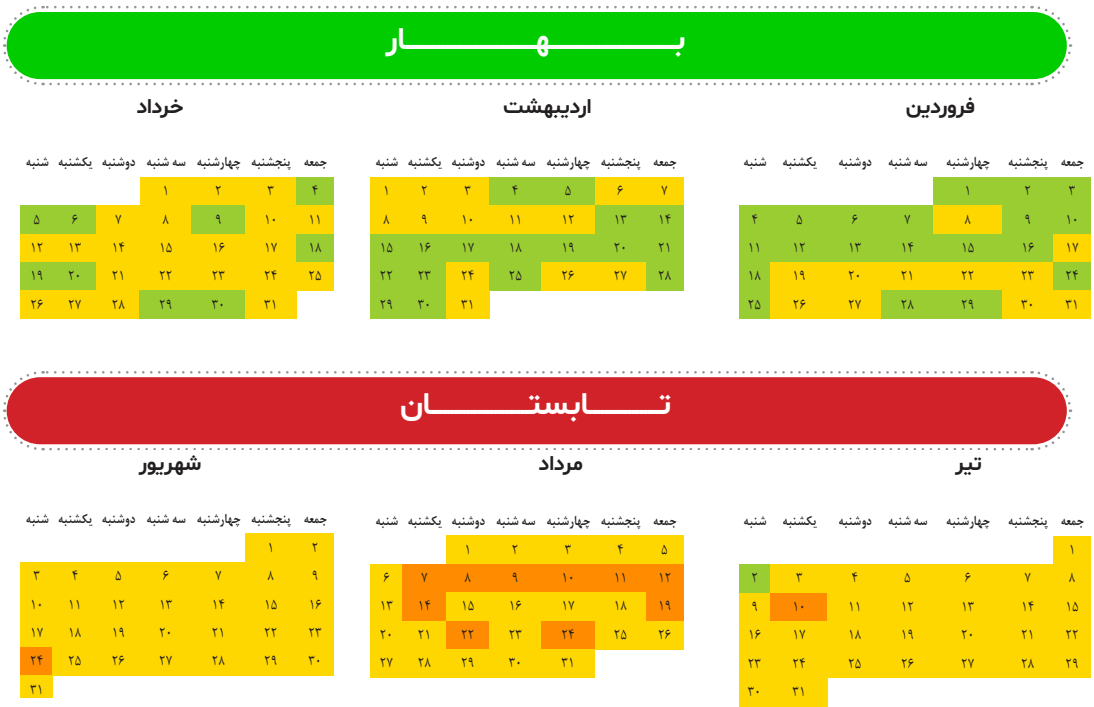
نمودار ۳-۱۲ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{10} طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۳-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده PM_{10}

در جدول ۳-۶ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده PM_{10} با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است. از نکات قابل‌توجه این سال یک دوره شش‌روزه متوالی آلودگی به لحاظ آلاینده PM_{10} در مردادماه است.

جدول ۳-۶ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{10} در سال ۱۴۰۳





جدول ۳-۶ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده PM_{10} در سال ۱۴۰۳ (ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســـتـــــان

دی

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

بهمن

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

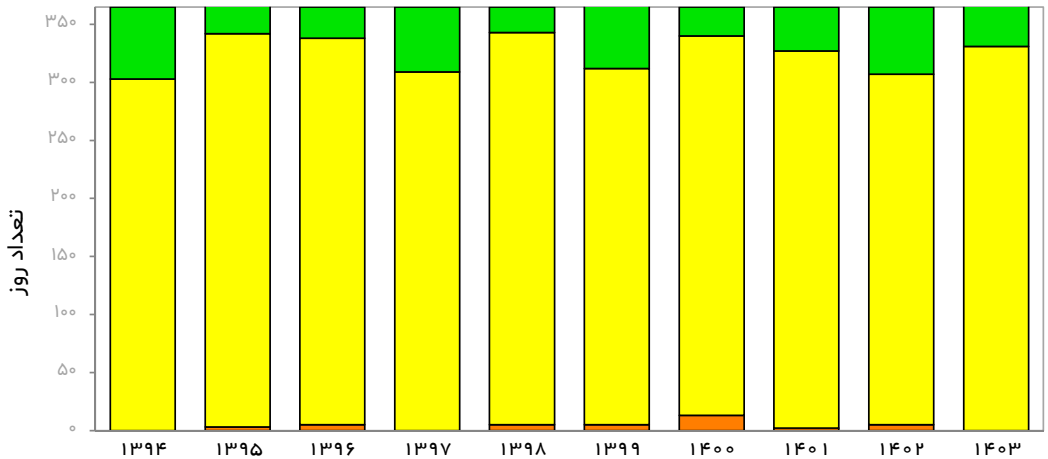
اسفند

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

۳-۴- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)

۳-۴-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

در نمودار ۳-۱۳ و جدول ۳-۷ شاخص و درصد شرایط کیفی هوا از منظر آلاینده NO_2 طی سال‌های اخیر مقایسه شده است. بر این اساس در اغلب روزهای سال‌های موردمطالعه با معیار استاندارد روزانه، وضعیت مطلوبی برای این آلاینده برقرار بوده و طی سال ۱۴۰۳ شاخص این آلاینده در همه روزها در شرایط مجاز قرار داشت. در سال‌های مورد بررسی، سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۳ بدون روز آلوده، مطلوب‌ترین و سال ۱۴۰۰ نیز با ۱۳ روز آلوده، بدترین سال به لحاظ بیشترین روز فراتر از حد مجاز آلاینده NO_2 به‌شمار می‌رود.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
(۵۰ ـ ۰)پاک	۶۲	۲۴	۲۷	۵۶	۲۲	۵۴	۲۵	۳۸	۵۸	۳۵
(۱۰۰ ـ ۵۱)قابل قبول	۳۰۳	۳۳۹	۳۳۳	۳۰۹	۳۳۸	۳۰۷	۳۲۷	۳۲۵	۳۰۲	۳۳۱
(۱۵۰ ـ ۱۰۱)ناسالم برای گروه‌های حساس	۰	۳	۵	۰	۵	۵	۱۳	۲	۵	۰
(۲۰۰ ـ ۱۵۱)ناسالم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
(۳۰۰ ـ ۲۰۱)بسیار ناسالم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
(۵۰۰ ـ ۳۰۱)خطرناک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

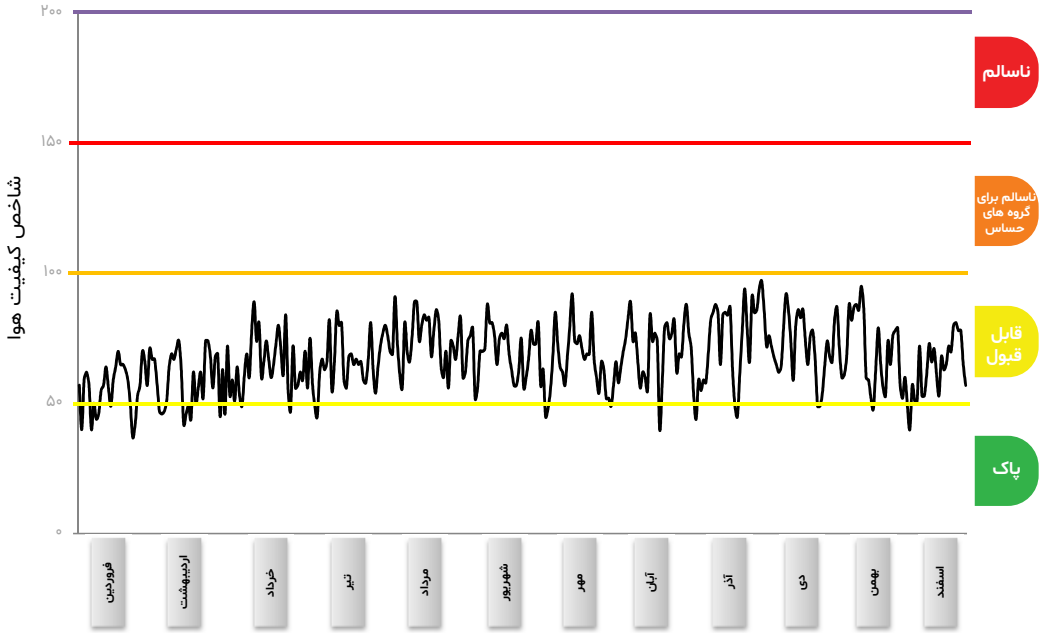
نمودار ۳-۱۳ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

جدول۳-۷ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده NO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	۱۰۰	۰
۱۳۹۵	۹۹٫۲	۰٫۸
۱۳۹٦	۹۸٫٦	۱٫٤
۱۳۹۷	۱۰۰	۰
۱۳۹۸	۹۸٫٦	۱٫٤
۱۳۹۹	۹۸٫٦	۱٫٤
۱٤۰۰	۹٦٫٤	۳٫٦
۱٤۰۱	۹۹٫۲	۰٫۸
۱٤۰۲	۹۸٫٦	۱٫٤
۱٤۰۳	۱۰۰	۰

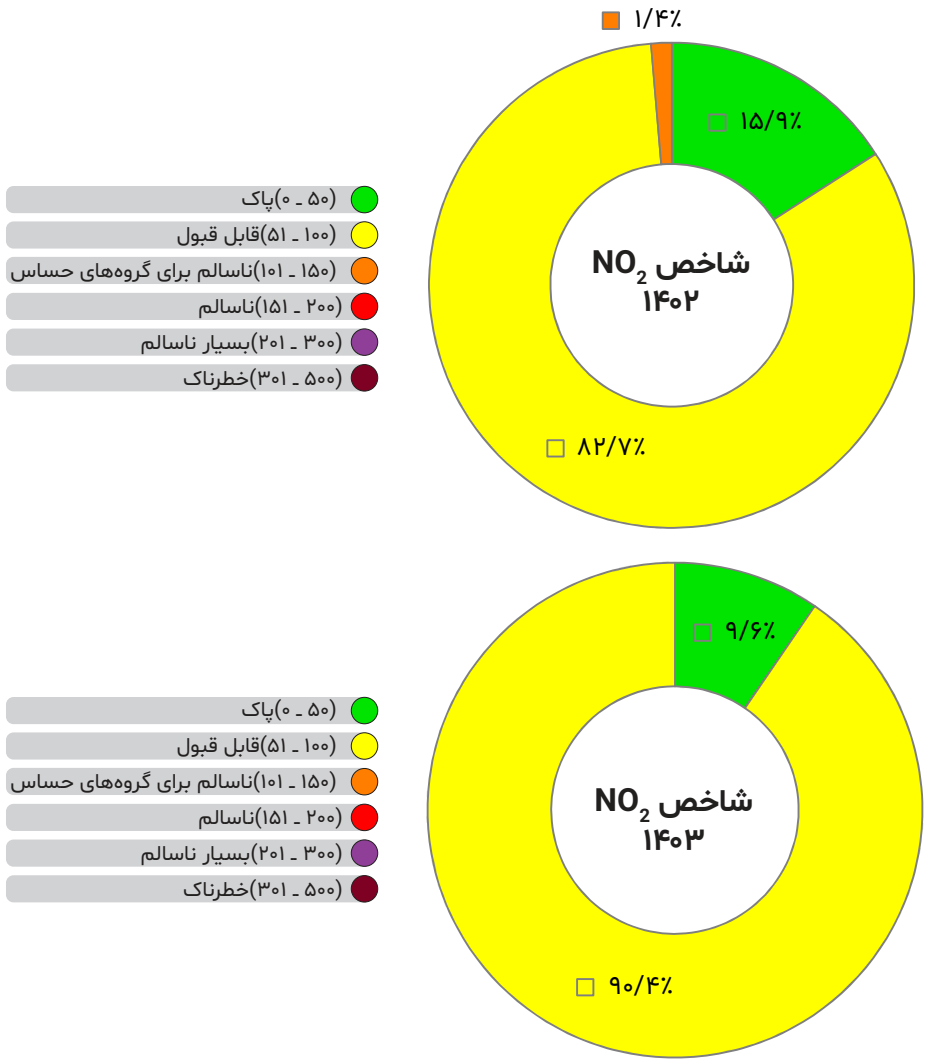
۳-۴-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۱۴ روند روزانه شاخص کیفیت هوا بر اساس ماکزیمم غلظت روزانه دی‌اکسید نیتروژن در سال ۱۴۰۳ و نمودار ۳-۱۵ درصد روزهای مطلوب و نامطلوب به لحاظ این آلاینده را در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد و همان‌طور که ذکر گردید تمامی روزها در سال ۱۴۰۳ در شرایط مجاز بوده و بیشترین غلظت‌های در ماه‌های سرد سال و همزمان با پایداری جوی دیده می‌شود.



نمودار ۳-۱۴ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

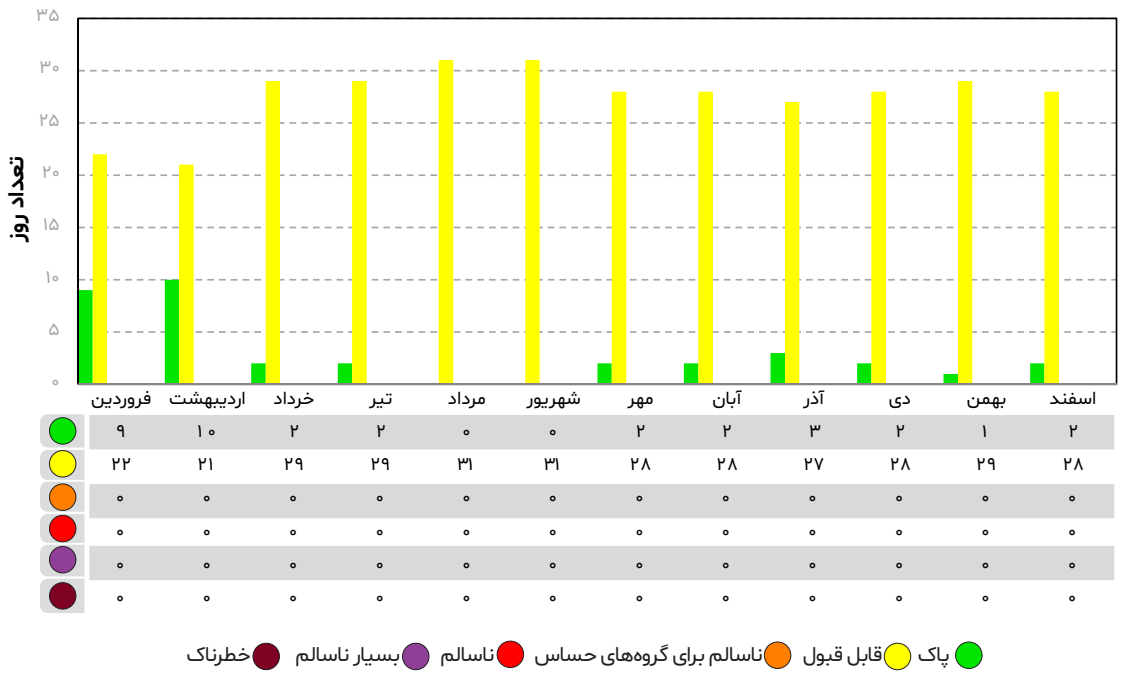
در مجموع طی سال ۱۴۰۳، ۱۰۰ درصد روزها به لحاظ استاندارد روزانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در شرایط مطلوب قرار گرفته‌اند و نسبت به سال ۱۴۰۲ با ۵ روز آلوده از این حیث شرایط بهتری ثبت گردیده است.



نمودار ۳-۱۵ وضعیت شاخص آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)
طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

۳-۴-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده NO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۱۶ نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوا از نظر آلاینده دی‌اکسید نیتروژن و بر اساس استاندارد کوتاه‌مدت در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ می‌باشد، این آمار نشان می‌دهد که در همه ماه‌ها تمام روزها دارای شرایط مجاز بوده است. بر این اساس ماه‌های اردیبهشت و فروردین به‌ترتیب با ۱۰ و ۹ روز پاک و بدون روز آلوده بهترین ماه‌های سال از منظر آلاینده دی‌اکسید نیتروژن می‌باشند. در سال ۱۴۰۳ از منظر آلاینده NO_2، ۶ دی‌ماه با شاخص ۹۷ آلوده‌ترین روز و ۲۳ فروردین با شاخص ۳۷ پاک‌ترین روز سال بودند.



نمودار ۳-۱۶ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۴-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده NO_2

کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده NO_2 بارنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۸ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO_2 در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

بهار

فروردین

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

اردیبهشت

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

خرداد

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

تابستان

تیر

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

مرداد

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

شهریور

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

جدول ۳-۸ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده NO_2 در سال ۱۴۰۳(ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســـتـــــان

دی

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

بهمن

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

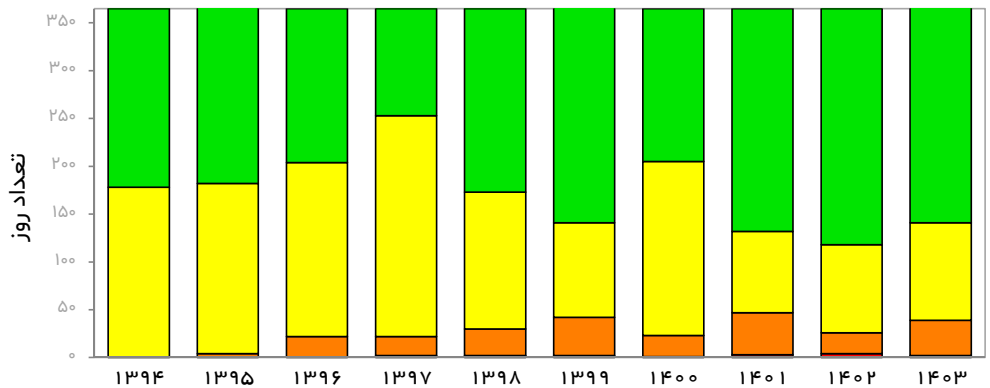
اسفند

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

۳-۵- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ازن (O_3)

۳-۵-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

در نمودار ۳-۱۷ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 طی دوره ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۴۰۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، سال ۱۳۹۴ بدون روز آلوده به لحاظ آلاینده ازن، در شرایط مطلوب‌تری قرار داشته و پس از آن در هر سال به تعداد روزهای آلوده اضافه می‌گردد و پس از مقداری کاهش در سال ۱۴۰۰، مجدداً طی سال ۱۴۰۱ تعداد روزهای آلوده افزایش یافته و با توجه به ثبت ۴۷ روز فراتر از حد مجاز (۱۲/۹ درصد) بدترین شرایط را از حیث تعداد روزهای فراتر از حد مجاز در سال‌های موردبررسی به خود اختصاص داده است. در سال ۱۴۰۳ تعداد روزهای آلوده به ۳۹ روز (۱۰/۷ درصد) رسید و طی آن ۳۷ روز ناسالم برای گروه‌های حساس و ۲ رو ناسالم ثبت گردید. این سال در مجموع دارای رتبه سوم از نظر تعداد روزهای آلوده طی ۱۰ سال گذشته بوده است.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
(۵۰ ـ ۰)پاک	۱۸۷	۱۸۴	۱۶۱	۱۱۲	۱۹۲	۲۲۵	۱۶۰	۲۳۳	۲۴۷	۲۲۵
(۱۰۰ ـ ۵۱)قابل قبول	۱۷۸	۱۷۸	۱۸۲	۲۳۱	۱۴۳	۹۹	۱۸۲	۸۵	۹۲	۱۰۲
(۱۵۰ ـ ۱۰۱)ناسالم برای گروه‌های حساس	۰	۴	۲۲	۲۰	۲۸	۴۰	۲۲	۴۴	۲۲	۳۷
(۲۰۰ ـ ۱۵۱)ناسالم	۰	۰	۰	۲	۲	۲	۱	۳	۴	۲
(۳۰۰ ـ ۲۰۱)بسیار ناسالم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
(۵۰۰ ـ ۳۰۱)خطرناک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

نمودار ۳-۱۷ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

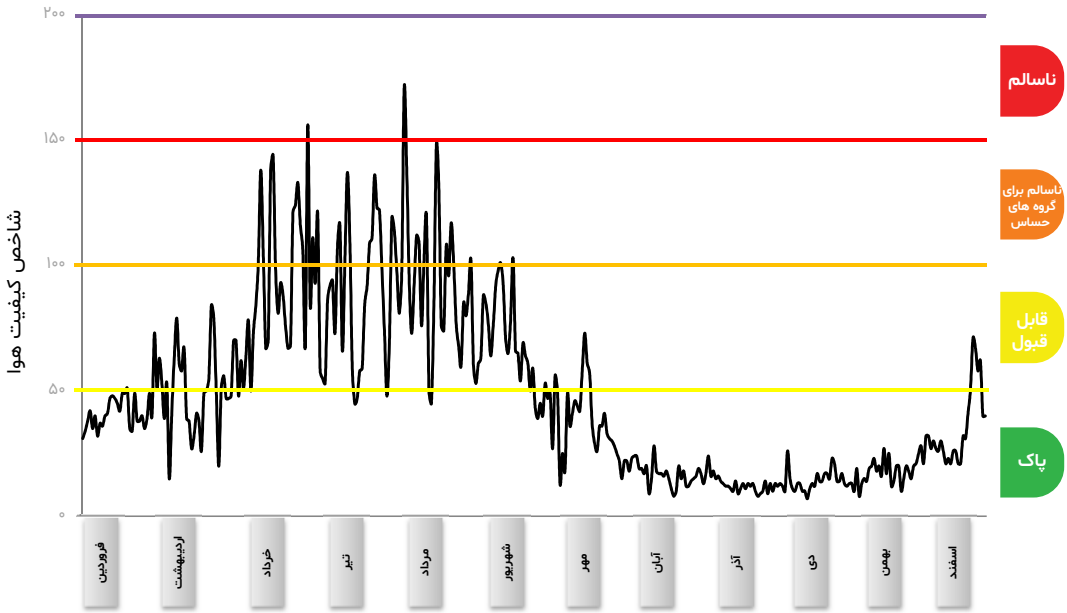
جدول۳-۹ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده O_3 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	۱۰۰	۰
۱۳۹۵	۹۸٫۹	۱٫۱
۱۳۹٦	۹٤٫۰	٦٫۰
۱۳۹۷	۹٤٫۰	٦٫۰
۱۳۹۸	۹۱٫۸	۸٫۲
۱۳۹۹	۸۸٫۵	۱۱٫۵
۱٤۰۰	۹۳٫۷	٦٫۳
۱٤۰۱	۸۷٫۱	۱۲٫۹
۱٤۰۲	۹۲٫۹	۷٫۱
۱٤۰۳	۸۹٫۳	۱۰٫۷

۳-۵-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

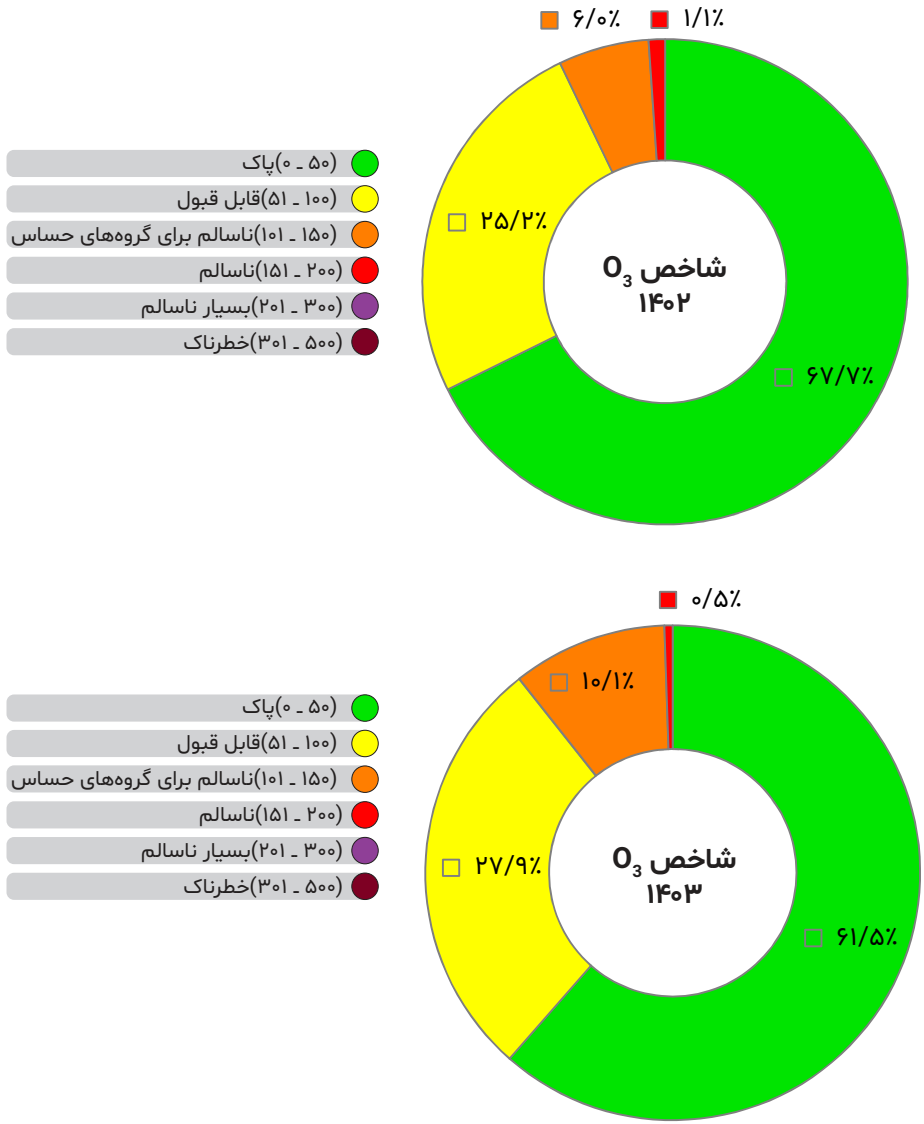
در نمودار ۳-۱۸روند روزانه شاخص کیفیت هوا بر اساس بیشینه غلظت روزانه آلاینده ازن در سال ۱۴۰۳ ملاحظه می‌شود. در نمودار ۳-۱۹ نیز وضعیت شاخص آلاینده ازن را بر حسب درصد طی دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نمایش داده است.

روند افزایشی این آلاینده در روزهای گرم سال به‌ویژه از میانه خرداد تا شهریور کاملاً مشخص می‌باشد و همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود تعداد قابل‌توجهی از روزها در این بازه فراتر از حد استاندارد بوده و حتی در ۲ روز شرایط ناسالم برای همه اقشار جامعه رخ داده است. در مجموع طی این سال حدود ۱۱ درصد روزها به لحاظ آلاینده ازن در شرایط نامطلوب قرار گرفت. علل بروز این شرایط بسیار پیچیده بوده و مجموعه‌ای از عوامل ازجمله شرایط هواشناسی و تغییرات غلظت پیش‌سازهای این آلاینده در ایجاد آن مؤثر بوده است که در گزارش "بررسی وضعیت آلاینده ازن در شهر تهران" از مجموعه گزارش‌های شرکت کنترل کیفیت هوا به تفضیل به آن پرداخته شده است. [۱۴]



نمودار ۳-۱۸ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده ازن (O_3) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

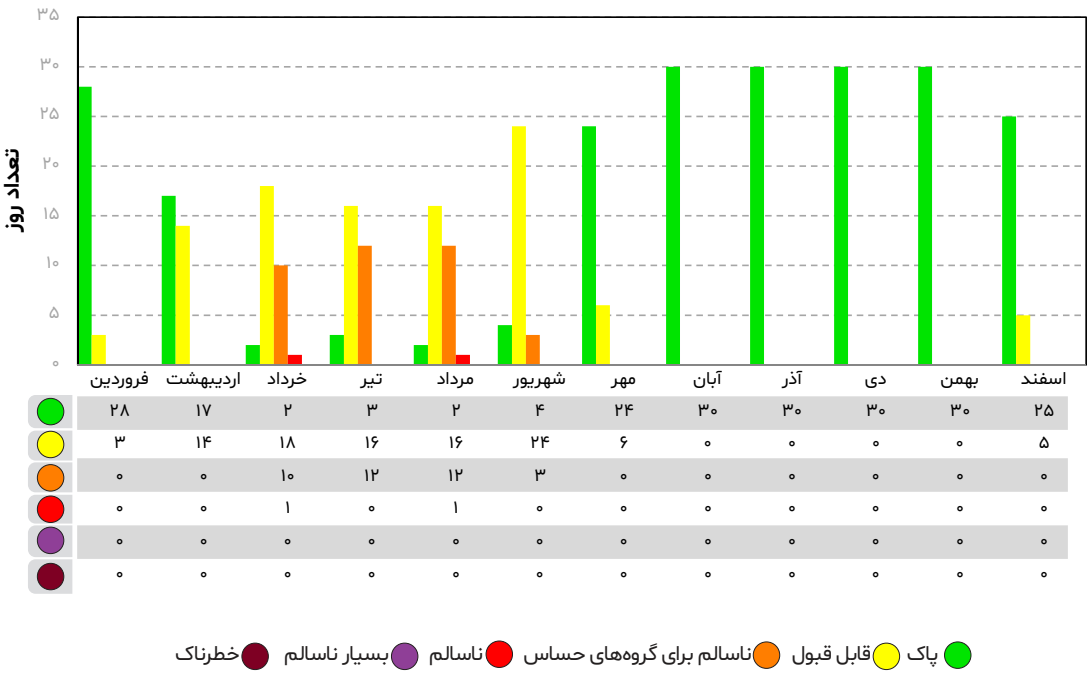
مقایسه دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده ازن نیز نشان می‌دهد تعداد روزهای نامطلوب در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال قبل با افزایش نسبی روبرو بوده است.



نمودار ۳-۱۹ وضعیت شاخص آلاینده ازن (O_3) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

۳-۵-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده O_3 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۲۰ نشان می‌دهد، در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳، روزهای آلوده در ماه‌های خرداد الی شهریور اتفاق افتاده و سایر ماه‌ها در شرایط پاک و قابل‌قبول قرار داشته‌اند. مرداد با داشتن ۱۲ روز ناسالم برای گروه‌های حساس و ۱ روز ناسالم در بدترین شرایط به لحاظ این آلاینده قرار داشته، تیر با ۱۲ روز ناسالم برای گروه‌های حساس و خرداد با ۱۰ روز ناسالم برای گروه‌های حساس و ۱ روز ناسالم، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. کمترین شاخص ثبت‌شده در این سال مربوط به روز ۱۸ دی‌ماه با شاخص ۷ و بیشترین میزان نیز در روز ۷ مردادماه با شاخص ۱۷۱ بوده است.



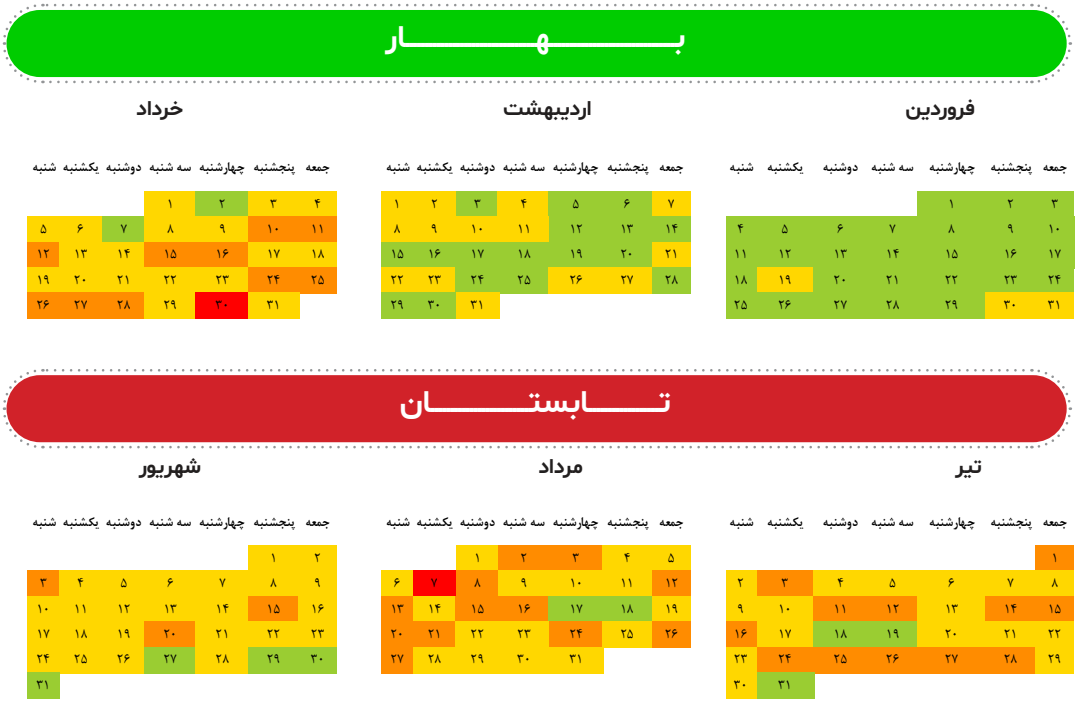
نمودار ۳-۲۰ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3
طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۵-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده O_3

در جدول ۳-۱۰ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ بر حسب شاخص کیفیت هوای آلاینده O_3 با رنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است. نکته قابل‌توجه در این تقویم تفاوت محسوس کیفیت هوا در ماه‌های سرد و گرم می‌باشد.

جدول ۳-۱۰ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک



جدول ۳-۱۰ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده O_3 در سال ۱۴۰۳(ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســـتـــــان

دی

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

بهمن

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

اسفند

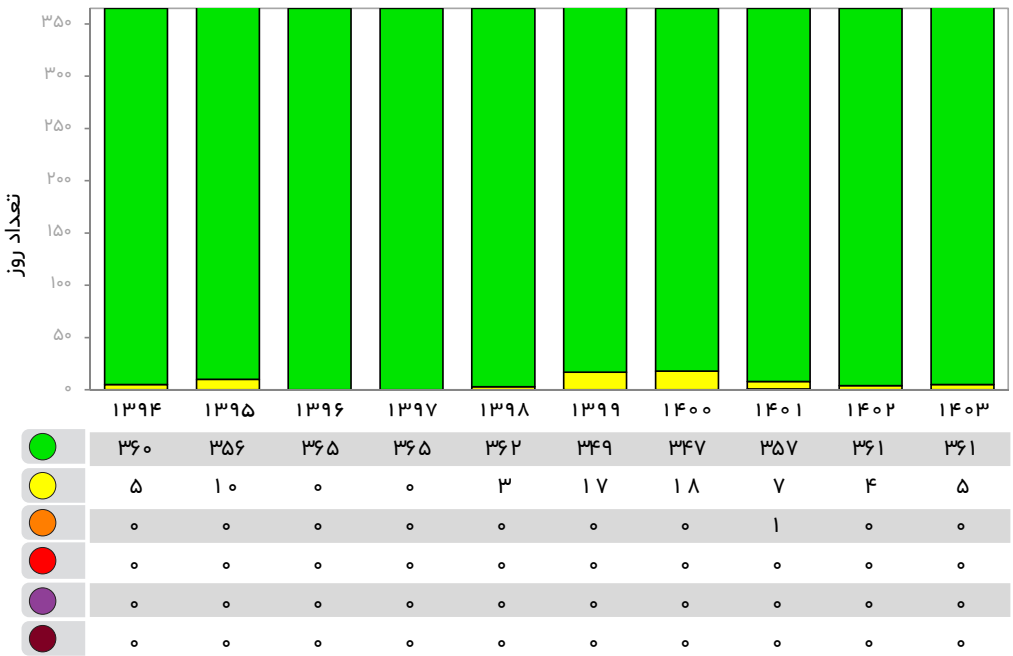
جمعه	پنجشنبه	چهارشنبه	سه شنبه	دوشنبه	یکشنبه	شنبه
۳	۲	۱				
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴
۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱
۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸
	۳۰	۲۹	۲۸	۲۷	۲۶	۲۵

۳-۶- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2)

۳-۶-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

با توجه به نمودار ۳-۲۱ مشاهده می‌گردد، کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد طی اغلب روزهای سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ در وضعیت پاک قرار داشته است و درصد کمی از روزها نیز دارای شرایط قابل‌قبول بوده‌اند.

در جدول ۳-۱۱ نیز مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و قابل‌قبول) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ از منظر این آلاینده نمایش داده شده که مطابق آن به‌غیراز یک روز در سال ۱۴۰۱، ۱۰۰ درصد روزها طی سال‌های دیگر در شرایط مطلوب هستند.



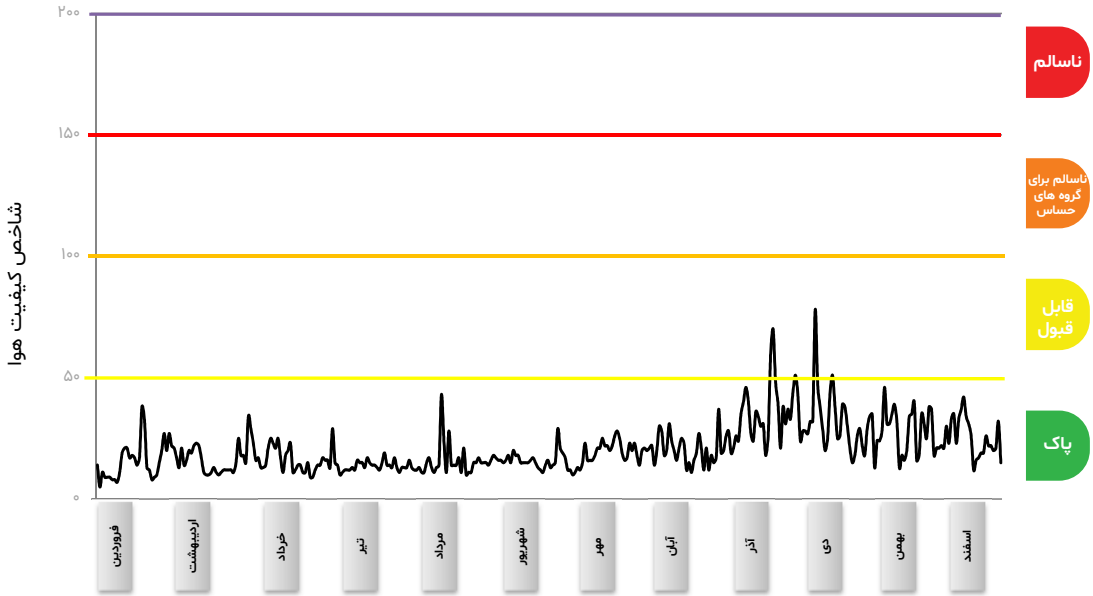
نمودار ۳-۲۱ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

جدول ۳-۱۱ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده SO_2 طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	۱۰۰	۰
۱۳۹۵	۱۰۰	۰
۱۳۹٦	۱۰۰	۰
۱۳۹۷	۱۰۰	۰
۱۳۹۸	۱۰۰	۰
۱۳۹۹	۱۰۰	۰
۱٤۰۰	۱۰۰	۰
۱٤۰۱	۹۹/۷	۰/۳
۱٤۰۲	۱۰۰	۰
۱٤۰۳	۱۰۰	۰

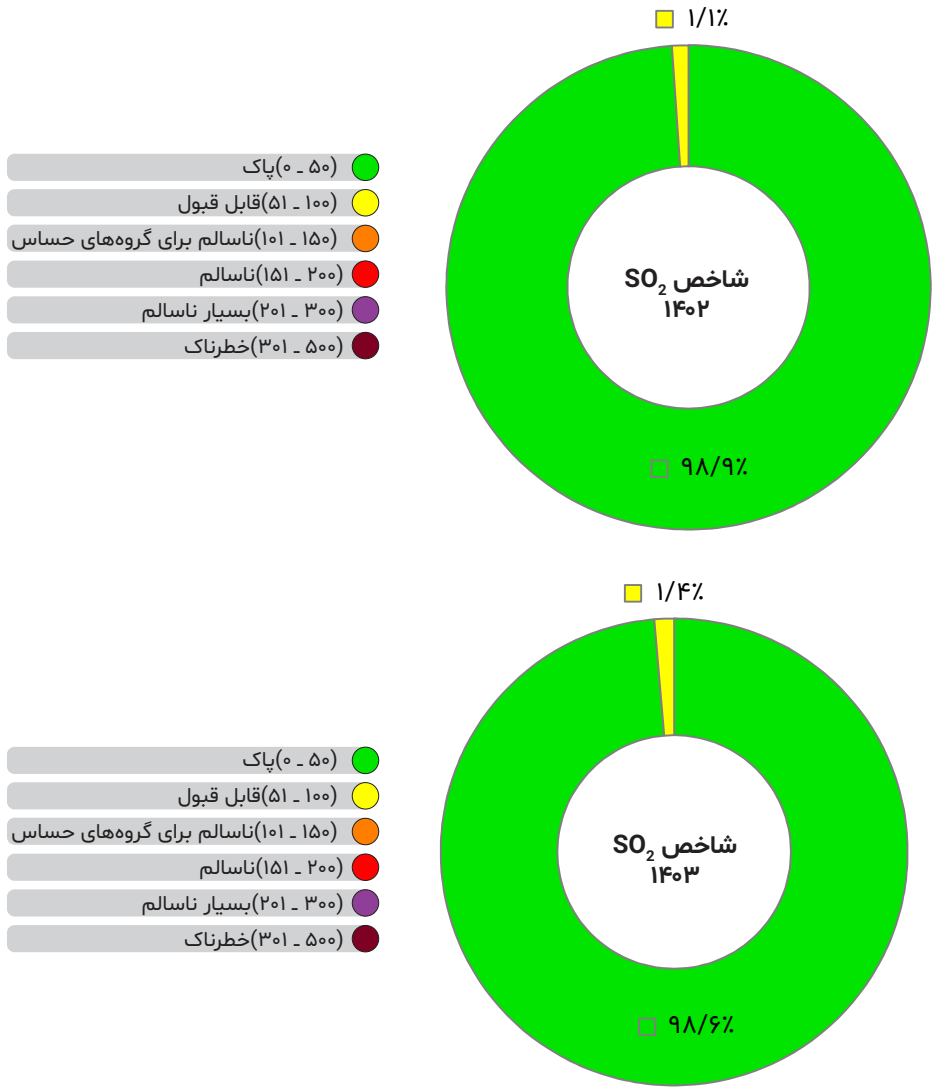
۳-۶-۲- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

روند روزانه شاخص کیفیت هوا بر اساس آلاینده دی‌اکسید گوگرد در نمودار ۳-۲۲ نشان می‌دهد که اغلب روزهای سال ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده SO_2 در شرایط پاک بوده است. البته میزان این آلاینده در برخی روزها در ماه‌های سرد سال در شرایط قابل‌قبول بوده که یکی از عوامل آن تغییر سوخت مصرفی در برخی صنایع در این زمان می‌باشد که مطابق نتایج اندازه‌گیری شده، غلظت این آلاینده در برخی ایستگاه‌های شهر، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در ساعات میانی روز را نشان داده است. همچنین تغییر روش محاسبه شاخص که به‌جای میانگین روزانه از بیشینه غلظت ساعتی استفاده می‌شود، نیز یکی از علل افزایش میزان عدد شاخص و نمایش تغییرات ناگهانی غلظت این آلاینده بوده است.



نمودار ۳-۲۲ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

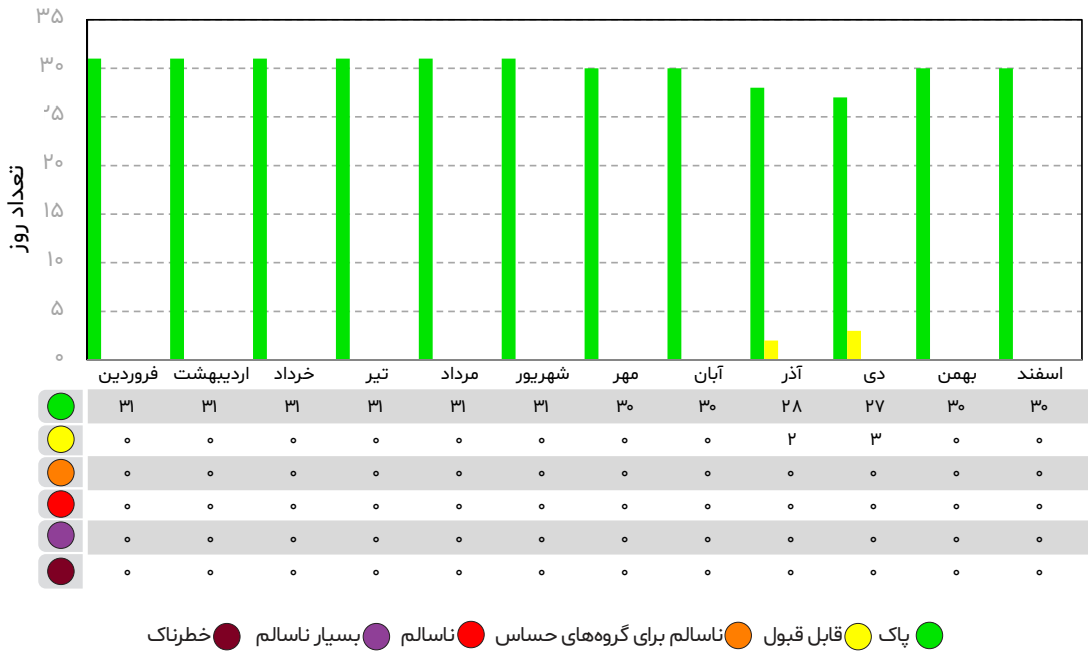
نمودار ۳-۲۲ نیز درصد شرایط کیفی دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را به لحاظ آلاینده دی‌اکسید گوگرد مقایسه می‌نماید و همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در هر دو سال، همه روزها در شرایط مطلوب قرار داشته‌اند و همین‌طور درصد روزهای پاک در سال ۱۴۰۳ اندکی کاسته شده است.



نمودار ۳-۲۳ وضعیت شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

۳-۶-۳- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده SO_2 طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳

نمودار ۳-۲۴ نشان می‌دهد، طی اغلب ماه‌ها در سال ۱۴۰۳ وضعیت شاخص آلودگی هوا به لحاظ آلاینده دی‌اکسید گوگرد، در وضعیت بسیار مطلوب (پاک) قرار داشته است و تنها در ماه‌های آذر و دی در مجموع ۵ روز با شرایط قابل‌قبول ثبت شده است. بیشترین شاخص ثبت شده برای SO_2 در سال ۱۴۰۳ برابر ۷۸ و در روز ۱۵ دی بوده و کمترین شاخص ثبت‌شده نیز در این سال برابر ۵ و مربوط به روز ۲ فروردین بود.



نمودار ۳-۲۴ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO_2
طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۶-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده SO_2

در جدول ۳-۱۲ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده SO_2 بارنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است و رنگ سبز غالب در این تقویم به نشانه روزهای پاک، قابل‌توجه می‌باشد.

جدول ۳-۱۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO_2 در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

بهار

فروردین

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

اردیبهشت

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

خرداد

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

تابستان

تیر

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

مرداد

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

شهریور

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

جدول ۳-۱۲ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده SO_2 در سال ۱۴۰۳ (ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــاییـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســتـــــان

دی

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

بهمن

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

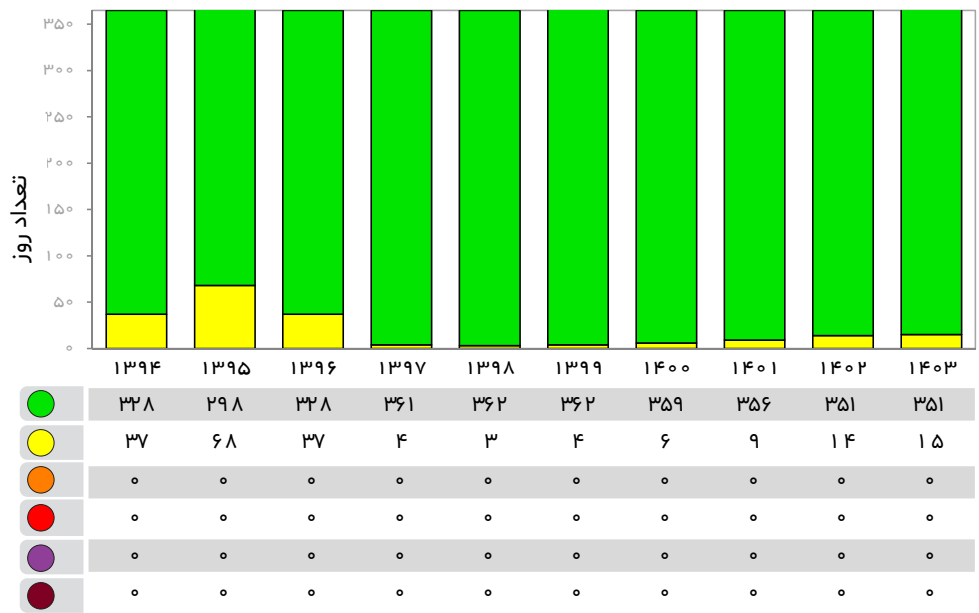
اسفند

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

۳-۷- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده منواکسید کربن (CO)

۳-۷-۱- کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

نمودار۳-۲۵ نشان‌دهنده کیفیت هوا از نظر آلاینده منواکسید کربن می‌باشد، همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در این دوره ۱۰ ساله، همه روزها دارای شرایط مطلوب بوده‌اند و سال ۱۴۰۳ نیز از ۳۵۱ روز پاک و ۱۵روز قابل‌قبول برخوردار بوده است. مهم‌ترین دلیل کاهش غلظت این آلاینده در شهر تهران 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 همچنین این شرایط نشان‌دهنده آن است که در صورت اجرای روش‌های صحیح، کاهش آلودگی هوا امکان‌پذیر خواهد بود.



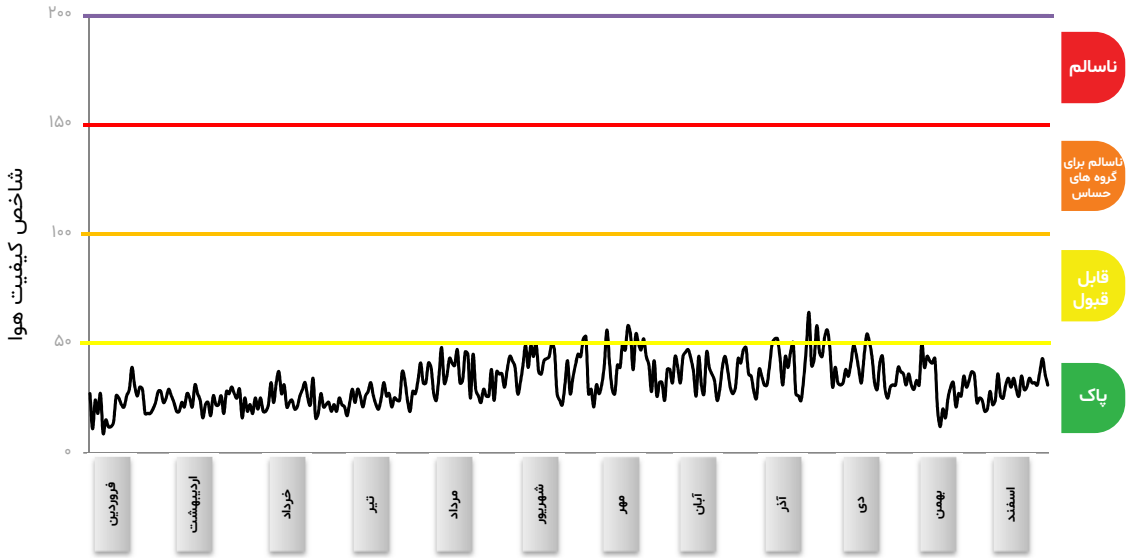
نمودار ۳-۲۵ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

در جدول ۳-۱۳ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و قابل‌قبول) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ از منظر آلاینده CO نشان داده شده است. بهبود کیفیت هوا به لحاظ آلاینده منواکسید کربن طی سال‌های موردمطالعه در این نمودار محسوس می‌باشد و طی همه سال‌ها تمامی روزها از شرایط مطلوب برخوردار بوده است.

جدول ۳-۱۳ مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص آلاینده CO طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳

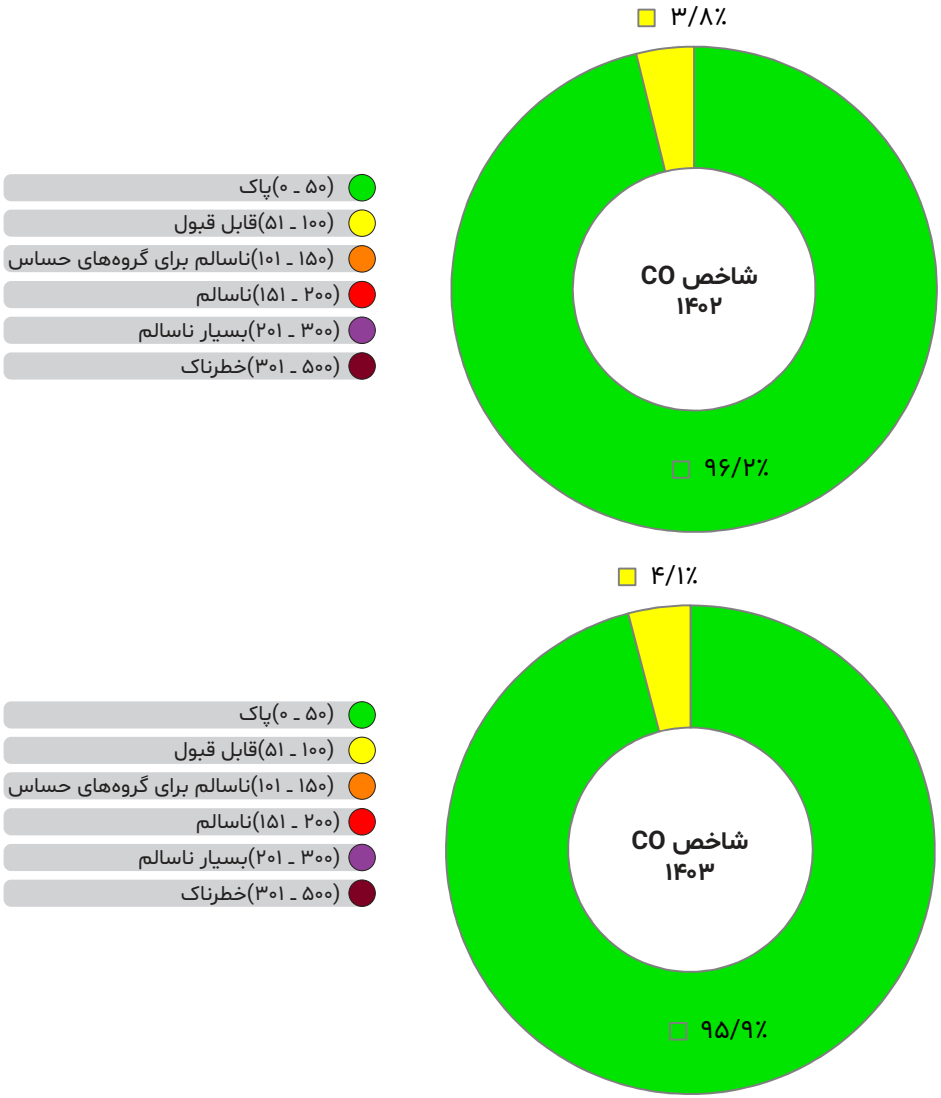
سال	شرایط مطلوب (%)	شرایط نامطلوب (%)
۱۳۹٤	۱۰۰	۰
۱۳۹۵	۱۰۰	۰
۱۳۹٦	۱۰۰	۰
۱۳۹۷	۱۰۰	۰
۱۳۹۸	۱۰۰	۰
۱۳۹۹	۱۰۰	۰
۱٤۰۰	۱۰۰	۰
۱٤۰۱	۱۰۰	۰
۱٤۰۲	۱۰۰	۰
۱٤۰۳	۱۰۰	۰

در نمودار ۳-۲۶ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده CO طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳ و در نمودار ۳-۲۷ درصد روزهای سالم و آلوده بر اساس آلاینده منواکسید کربن در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان داده شده است. هیچ روزی طی سال ۱۴۰۳ به لحاظ این آلاینده بالاتر از حد استاندارد نبوده و در حدود ۹۶٪ روزهای سال، وضعیت پاک حکم‌فرما بوده و بقیه روزها نیز در شرایط قابل‌قبول قرار داشته است. بیشترین شاخص‌های ثبت شده به لحاظ این آلاینده معمولاً در روزهای سرد سال و هم‌زمان با کاهش ارتفاع لایه اختلاط و پایداری جوی اتفاق افتاده است.



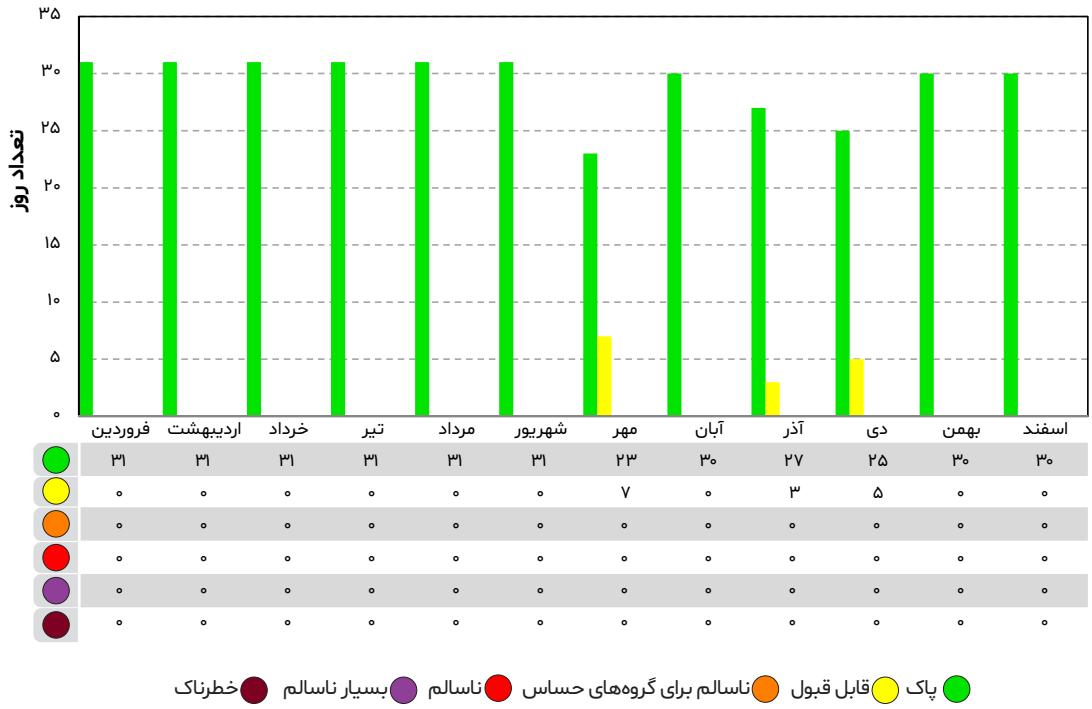
نمودار ۳-۲۶ کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده منواکسید کربن (CO) طی روزهای مختلف در سال ۱۴۰۳

مقایسه دو سال اخیر نیز نشان از وضعیت مطلوب هوا به لحاظ آلاینده منواکسید کربن داشته و طی هر دو سال حدود ۹۶ درصد روزها در شرایط پاک قرار گرفته است.



نمودار ۳-۲۷ وضعیت شاخص آلاینده منواکسید کربن (CO) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ (درصد)

نمودار ۳-۲۸ نشان می‌دهد، وضعیت شاخص آلاینده منواکسید کربن بر اساس استاندارد هشت‌ساعته، در همه ماه‌های سال ۱۴۰۳ بسیار مطلوب بوده و به غیر از ماه‌های مهر، آذر و دی در سایر ماه‌ها شرایط پاک در کلیه روزها ثبت گردیده است. کمترین شاخص ثبت‌شده برای این آلاینده در سال ۱۴۰۳ مربوط به ۶ فروردین، با عدد ۹ و بیشترین عدد نیز مربوط به روز ۲۹ آذر و برابر ۶۴ بوده است.



نمودار۳-۲۸ کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO
طی ماه‌های مختلف در سال ۱۴۰۳ (برحسب تعداد روز)

۳-۷-۴- تقویم آلودگی هوای سال ۱۴۰۳ بر اساس شاخص آلاینده CO

در جدول ۳-۱۴ کیفیت هوا در روزهای مختلف سال ۱۴۰۳ برحسب شاخص کیفیت هوای آلاینده CO بارنگ‌های مربوطه نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO در سال ۱۴۰۳

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

بهار

فروردین

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

اردیبهشت

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

خرداد

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

تابستان

تیر

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

مرداد

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

شهریور

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

جدول ۳-۱۴ تقویم کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده CO در سال ۱۴۰۳(ادامه)

- پاک
- قابل قبول
- ناسالم برای گروه‌های حساس
- ناسالم
- بسیار ناسالم
- خطرناک

پـــــایـــــیـــــز

مهر

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

آبان

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

آذر

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

زمـــســتـــــان

دی

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

بهمن

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

اسفند

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

۳-۸- تغییرات تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ به لحاظ آلاینده‌های مختلف

جدول ۳-۱۵نشان‌دهنده تعداد روزهای آلوده به لحاظ انواع آلاینده‌های هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۳ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، آلاینده شاخص هوای شهر تهران در این سال‌ها ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون بوده است. پس از این آلاینده، ازن در مقام دوم از منظر تعداد روزهای آلوده سال قرار دارد که در برخی روزهای گرم سال به محدوده فراتر از حد مجاز می‌رسد. آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰میکرون در بیشتر روزهای سال‌های موردبررسی در شرایط استاندارد قرار داشته و تنها در برخی از روزهای محدود در سال و عمدتاً متأثر از جریانات حامل گرد و خاک به فراتر از حد سلامت می‌رسد. سال ۱۴۰۱ با ۲۹ روز آلوده از این حیث و با افزایشی قابل‌توجه، آلوده‌ترین سال در بین سال‌های موردمطالعه بوده و پس از آن، سال ۱۴۰۲ با ۱۷ روز آلوده از منظر این آلاینده در مقام دوم قرار دارد.

همچنین طی این دوره ده‌ساله، کیفیت هوا از نظر آلاینده منواکسید کربن در وضعیت مطلوب بوده و از منظر آلاینده SO_2، تنها ۱ روز آلوده در سال ۱۴۰۱ ثبت شده و سایر سال‌های موردمطالعه در وضعیت مطلوب قرار دارند. در مورد آلاینده NO_2 نیز حداکثر تعداد روز نامطلوب با عدد ۱۳ روز در سال ۱۴۰۰ رخ داده است. در مورد آلاینده ازن با ۴۷ روز، بیشترین تعداد روزهای آلوده در سال ۱۴۰۱ دیده می‌شود. در مجموع سال ۱۳۹۷ از کمترین تعداد روزهای آلوده (۵۶ روز) به لحاظ آلاینده $PM_{2.5}$ برخوردار بوده است و سال ۱۴۰۱ با بیشترین روز آلوده به لحاظ آلاینده‌های ازن، دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون و ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون در ۱۰ سال موردبررسی، بیشترین تعداد و میزان شاخص روزهای آلوده را نشان می‌دهد.

در مجموع سال ۱۴۰۳ از منظر تعداد روزهای آلوده به لحاظ دو آلاینده اصلی و شاخص شهر تهران شامل $PM_{2.5}$ و O_3 در بازه ده ساله، به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار داشته است.

جدول ۳-۱۵ تغییرات تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۴۰۳ از منظر آلاینده‌های مختلف

	منواکسید کربن	ازن	دی‌اکسید نیتروژن	دی‌اکسید گوگرد	ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون	ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون
۱۳۹٤	۰	۰	۰	۰	۱۱	۱۱٤
۱۳۹۵	۰	٤	۳	۰	٦	۹۸
۱۳۹٦	۰	۲۲	۵	۰	۸	۱۱٤
۱۳۹۷	۰	۲۲	۰	۰	۱	۵٦
۱۳۹۸	۰	۳۰	۵	۰	۱	۷۹
۱۳۹۹	۰	٤۲	۵	۰	٦	۸۷
۱٤۰۰	۰	۲۳	۱۳	۰	۸	۹۵
۱٤۰۱	۰	٤۷	۲	۱	۲۹	۱۳۳
۱٤۰۲	۰	۲٦	۵	۰	۱۷	۹۸
۱٤۰۳	۰	۳۹	۰	۰	۱٤	۱۲۳

۳-۹- هم‌زمانی شرایط آلوده برای بیش از یک آلاینده در سال ۱۴۰۳

شاخص کیفیت هوای ثبت شده در ایستگاه‌های شهر تهران نشانگر آن است که طی سال ۱۴۰۳ در ۲۶ روز بیش از یک آلاینده فراتر از حد مجاز قرار داشته که در ۴ روز آن سه آلاینده $PM_{2.5}$، PM_{10} و O_3 به‌صورت هم‌زمان و در ۲۲ روز آن دو آلاینده معیار (شامل ۱۲ روز هم‌زمانی $PM_{2.5}$ و O_3 و ۱۰ روز هم‌زمانی PM_{10} و $PM_{2.5}$) فراتر از حد استاندارد بوده‌اند. هم‌زمانی شرایط آلوده برای چند آلاینده می‌تواند منجر به تشدید عوارض و مخاطرات بهداشتی این آلاینده‌ها به‌ویژه برای گروه‌های حساس جامعه گردد. در جدول ۳-۱۶اطلاعات مربوط به تاریخ بروز این شرایط و آلاینده‌های معیار فراتر از حد مجاز در این روزها طی سال ۱۴۰۳ ارائه شده است. بیشترین روزهای آلوده برای بیش از یک آلاینده طی مردادماه رخ داده و بیشترین هم‌زمانی مربوط به دو آلاینده $PM_{2.5}$ و O_3 بوده است.

جدول ۳-۱۶ تاریخ هم‌زمانی شرایط آلوده شاخص کیفیت هوا برای بیش از یک آلاینده در شهر تهران طی سال ۱۴۰۳

آلاینده‌ها	تعداد روز	تاریخ‌ها
PM_{10} و $PM_{2.5}$	۱۰	• ۱۰ تیر • ۹، ۱۰، ۱۱، ۱٤، ۱۹ و ۲۲ مرداد • ۲٤ شهریور • ۵ مهر • ۲۹ آذر
O_3 و $PM_{2.5}$	۱۲	• ۱۱، ۱٤، ۱۵ و ۱٦ تیر • ۲، ۱۳، ۱۵، ۱٦، ۲۰، ۲۱، ۲٦ و ۲۷ مرداد
PM_{10} ،$PM_{2.5}$ و O_3	٤	• ۷، ۸، ۱۲ و ۲٤ مرداد


O_3
NO_2
SO_2
CO
AQI

فصل چهارم

بررسی وضعیت هواشناسی شهر تهران

۴- بررسی وضعیت هواشناسی شهر تهران

۴-۱- مقدمه

علم هواشناسی در مبحث آلودگی هوا به سازوکارهای جوی در نزدیکی سطح می‌پردازد و تأثیر کمیت‌های هواشناسی بر توزیع و پخش آلاینده‌های جوی را مورد بررسی قرار می‌دهد. از مهم‌ترین این سازوکارها می‌توان به بارش، وضعیت پایداری جو و رفتار لایه‌مرزی اشاره کرد که با تغییر در کمیت‌های جوی مانند دما و سرعت باد در کاهش یا افزایش میزان غلظت آلاینده‌ها در جو در مقیاس منطقه‌ای یا در مقیاس‌های بزرگ‌تر اثرگذار هستند. از طرفی شکل‌گیری سامانه‌های بزرگ‌مقیاس و میان‌مقیاس جوی نیز می‌تواند در تغییر میزان غلظت و پخش آلاینده‌ها مانند ذرات معلق ($PM_{2.5}$ ، PM_{10}) مؤثر باشد. با این توصیف، بررسی وضعیت جوی می‌تواند به شناخت رفتار آلاینده‌ها و چگونگی تغییرات آن‌ها در شرایط مختلف کمک کند. همچنین شناخت الگوهای جوی در زمان های مختلف سال به ویژه در مواقع بحرانی آلودگی هوا یا در وضعیت برقراری وضعیت پاک، کمک شایانی به پیش‌بینی آلودگی هوا کرده و می‌تواند در کنترل این معضل زیست‌محیطی مفید باشد.

۴-۲ - داده‌های موردبررسی

در این گزارش به منظور بررسی روند تغییرات سرعت باد، دما، رطوبت نسبی، فشار و دید افقی از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی مهرآباد واقع در مختصات جغرافیایی ۳۴/۵۱ درجه عرض جغرافیایی و ۵۶/۵۸ درجه طول جغرافیایی استفاده شده است. مقادیر مربوط به ارتفاع لایه مرزی (نسل پنجم بازتحلیل جوی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF)) استخراج شده و مقادیر ضریب تهویه براساس ضخامت لایه مرزی و متوسط سرعت باد از سطح زمین تا ارتفاع لایه مرزی جو محاسبه شده است. لایه مرزی، که پایین‌ترین لایه جو است، یکی از مهم‌ترین بخش‌های جو به شمار می‌رود که به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف سطحی مانند اصطکاک، تبخیر، و ناهمواری‌های سطح زمین قرار دارد. در این لایه، انتقال گرما، تکانه، و جرم میان سطح زمین و جو انجام می‌شود و به همین دلیل، این لایه نقشی حیاتی در فرآیندهای جوی ایفا می‌کند. تغییرات ارتفاع لایه مرزی تحت

تأثیر الگوهای جوی و تغییرات زمانی قرار دارد که این امر به‌ویژه در فرآیندهای انتقال و اختلاط آلاینده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی این تغییرات می‌تواند کمک کند تا میزان تلاطم لایه مرزی، که مستقیماً بر پخش و توزیع آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد، به‌طور دقیق‌تر پیش‌بینی شود. در این راستا، مقادیر ارتفاع لایه مرزی از داده‌های بازتحلیل شده توسط مرکز پیش‌بینی وضعیت جو اروپا استخراج شده است. یکی از عوامل مهمی که بر غلظت آلاینده‌ها تأثیرگذار است، ساختار و ویژگی‌های لایه مرزی و همچنین سرعت باد در این لایه است. این دو عامل نقش مهمی در انتقال و پراکندگی آلاینده‌ها دارند. برای محاسبه میزان پراکندگی آلاینده‌ها، از ضریب تهویه استفاده می‌شود که به‌طور مستقیم به ارتفاع لایه مرزی و سرعت باد در این لایه وابسته است. رابطه‌ای که برای محاسبه این ضریب به‌کار می‌رود به‌صورت زیر است:

$$VC=ZU$$

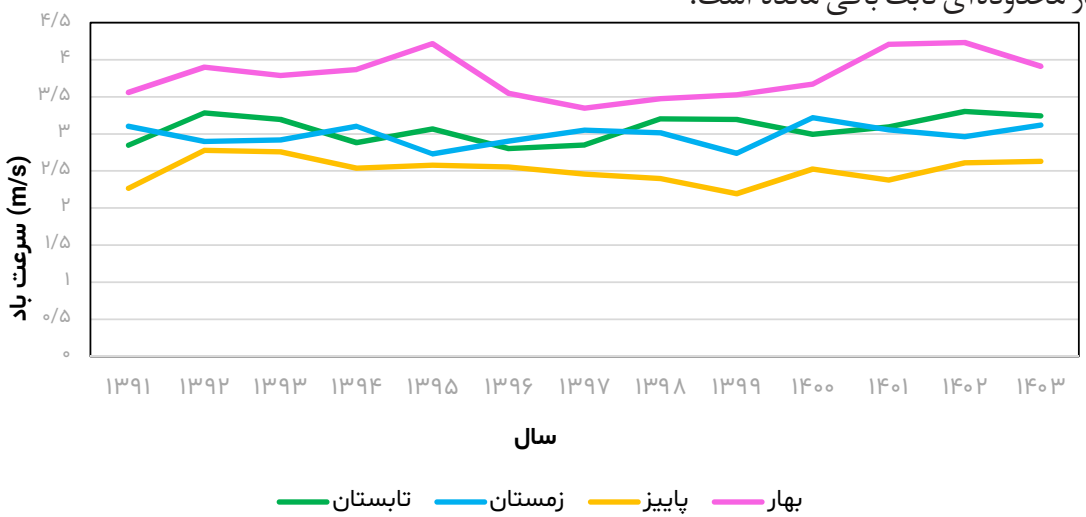
که در آن، Z بیانگر ارتفاع لایه مرزی وU میانگین سرعت باد در لایه مرزی است. هرچقدر این ضریب تهویه بزرگ‌تر باشد، شرایط مناسب‌تری برای پراکندگی آلاینده‌ها فراهم می‌آید و به‌تبع آن، تجمع آلاینده‌ها در نزدیکی سطح زمین کاهش خواهد یافت. در این گزارش، برای محاسبه ضریب تهویه، از داده‌های باز تحلیل شده شامل ارتفاع لایه مرزی و سرعت باد در ترازهای پایین‌تر از لایه مرزی استفاده شده است. این داده‌ها به‌طور میانگین برای هر ساعت محاسبه شده‌اند و سپس به‌صورت روزانه، ماهانه و فصلی میانگین‌گیری شده‌اند. مقادیر به‌دست آمده در سال ۱۴۰۳، با مقادیر محاسبه‌شده در سال‌های گذشته، به‌ویژه سال قبل، مقایسه شده تا روند تغییرات و تأثیرات شرایط جوی بر پراکندگی آلاینده‌ها بهتر مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۳ - تغییرات بلندمدت کمیت‌های هواشناسی

در این بخش به بررسی تغییرات بلندمدت کمیت‌های هواشناسی شهر تهران شامل سرعت باد، دما و رطوبت نسبی پرداخته شده است. به این منظور داده‌های هواشناسی به‌صورت فصلی برای بازه زمانی دوازده ساله (۱۴۰۳-۱۳۹۱) میانگین‌گیری شده و روند تغییرات هر کمیت در فصول مختلف برای ایستگاه مهرآباد بررسی شده است.

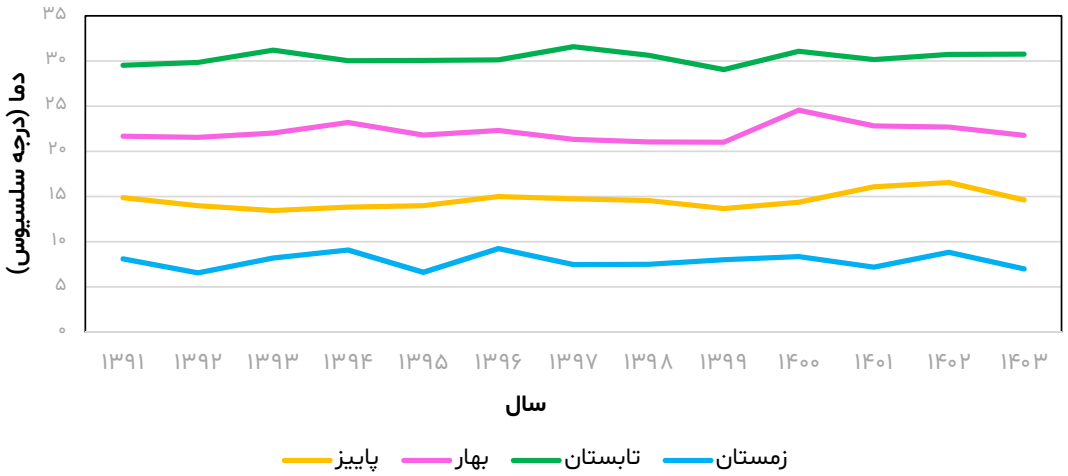
۴-۳-۱- روند تغییرات بلندمدت کمیت‌های هواشناسی

بررسی داده‌های نمودار ۴-۱ حاکی از آن است که بیشترین مقادیر سرعت باد مربوط به فصل بهار است. میانگین بلندمدت سرعت باد در این فصل حدود ۳/۷۸ متر بر ثانیه برآورد می‌شود. اگرچه نوساناتی در طول دوره مشاهده می‌شود، اما تغییرات بلندمدت این کمیت از نظر آماری معنادار نیست. در سال‌های ابتدایی یعنی از ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ روند افزایشی در سرعت باد فصل بهار مشاهده می‌شود، اما پس از آن تا سال ۱۳۹۸ شاهد کاهش نسبی هستیم. از سال ۱۳۹۹ به بعد، دوباره روند افزایشی سرعت باد در این فصل شکل گرفته که تا سال ۱۴۰۲ ادامه یافته و در سال ۱۴۰۳ با اندکی کاهش همراه بوده است. کمترین مقادیر سرعت باد به فصل پاییز اختصاص دارد، به‌طوری که میانگین بلندمدت آن حدود ۲/۵ متر بر ثانیه است. سرعت باد در این فصل از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ روند کاهشی معناداری را طی کرده و در سال ۱۳۹۹ به کمترین مقدار خود رسیده است. بااین‌حال، از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ مقداری افزایش در سرعت باد پاییزه مشاهده می‌شود و سپس مقدار آن تثبیت شده است. در فصول تابستان و زمستان، میانگین بلندمدت سرعت باد تقریباً یکسان و در حدود ۳ متر بر ثانیه است. در هر دو فصل مذکور، تغییرات سالانه سرعت باد فاقد روند معنادار بوده و نوسانات آن در طول دوره زمانی مورد بررسی، جزئی و در محدوده‌ای ثابت باقی مانده است.



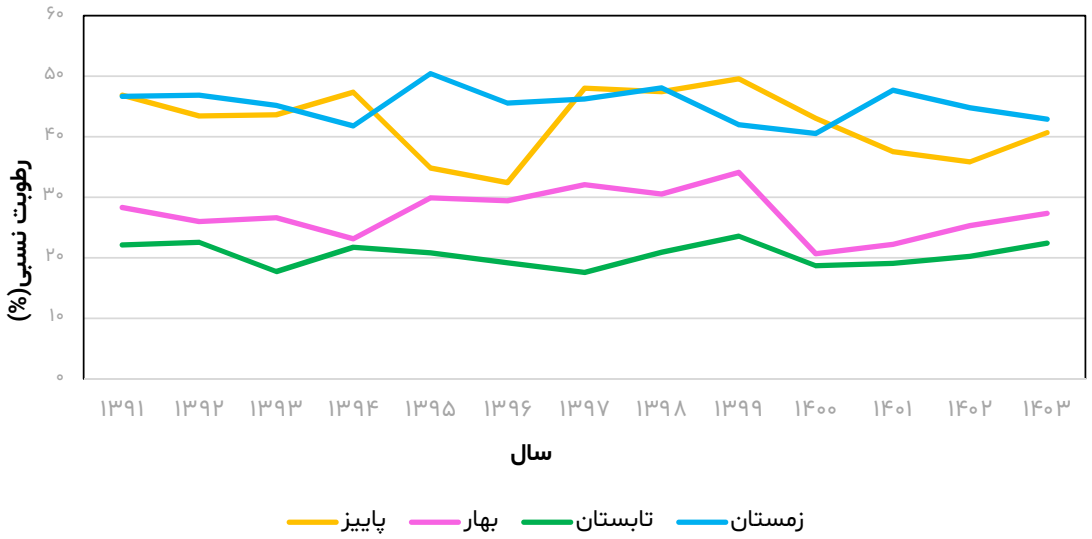
نمودار ۴-۱ میانگین روند تغییرات سالانه سرعت باد در ایستگاه مهرآباد به تفکیک فصول مختلف برای سال ۱۴۰۳-۱۳۹۱

در نمودار ۴ ۲ روند تغییرات سالانه دما در ایستگاه مهرآباد به تفکیک فصول مختلف برای بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۴۰۳ نشان داده شده است. بیشترین مقادیر دما مربوط به فصل تابستان با میانگین بلند مدت ۳۰/۳ درجه سلسیوس و کمترین آن مربوط به فصل زمستان با میانگین ۷/۹ درجه سلسیوس است. روند تغییرات بلندمدت دما در هیچ‌کدام از فصول معنی‌دار نبوده و تغییرات قابل‌توجهی رخ نداده است.



نمودار ۴-۲ میانگین روند تغییرات سالانه دما در ایستگاه مهرآباد به تفکیک فصول مختلف برای سال ۱۳۹۱-۱۴۰۳

روند تغییرات سالانه رطوبت نسبی در ایستگاه مهرآباد به تفکیک فصول مختلف برای بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۴۰۳ در نمودار ۴-۳ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، بیشترین مقادیر رطوبت مربوط به فصل زمستان و پاییز به ترتیب با میانگین بلندمدت ۴۵/۵ و ۴۲/۵ درصد و کمترین آن مربوط به فصل تابستان با میانگین ۲۰/۳ درصد است.

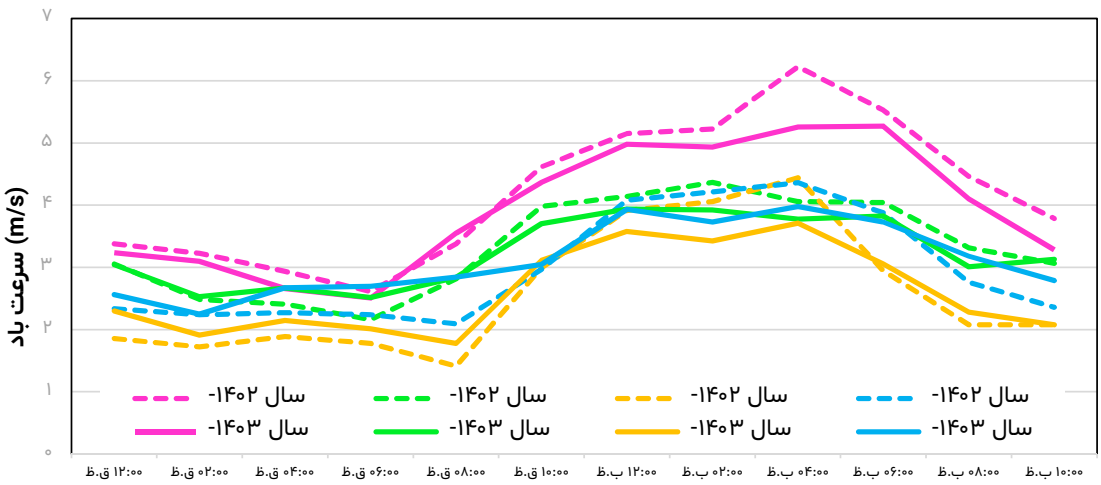


نمودار ۴-۳ میانگین روند تغییرات سالانه رطوبت نسبی در ایستگاه مهرآباد به تفکیک فصول مختلف برای سال ۱۳۹۱-۱۴۰۳

۴-۴ - روند تغییرات ساعتی، ماهانه و فصلی کمیت‌های هواشناسی در سال ۱۴۰۳

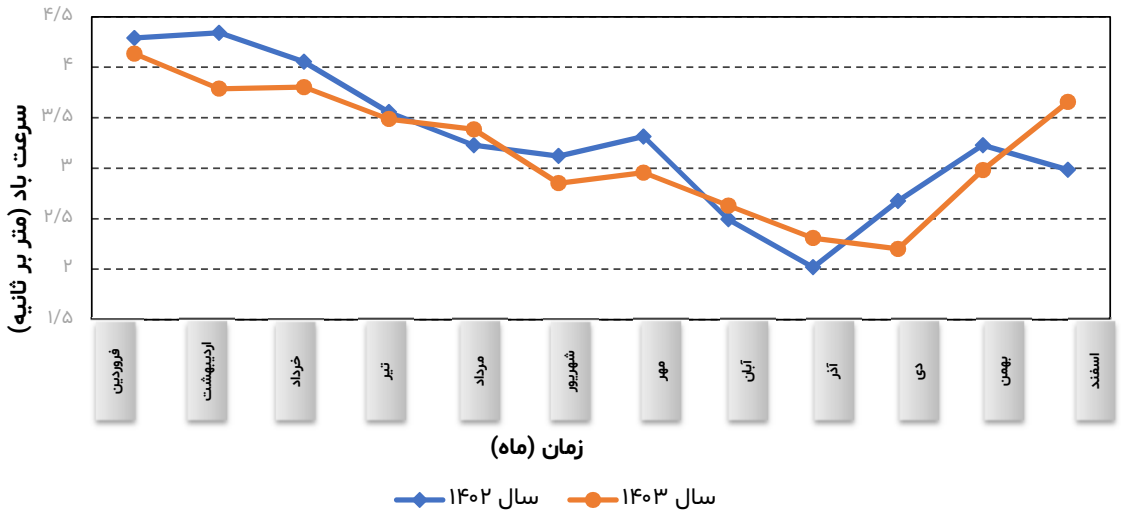
۴-۴-۱- سرعت باد

تغییرات شبانه‌روزی سرعت باد به تفکیک فصول مختلف برای سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در نمودار ۴-۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور میانگین در ایستگاه مهرآباد، در طول شب به‌ویژه در فصل پاییز سرعت باد ناچیز و جو نسبتاً آرام حاکم است. با طلوع خورشید و افزایش ناپایداری‌های جوی به‌تدریج بر سرعت باد افزوده شده و بیشینه سرعت باد در ساعات بعدازظهر مشاهده می‌شود. سرعت باد در طی روز در فصل بهار بیشتر از سایر فصول است و کمترین مقادیر در تمام ساعات شبانه‌روز در فصل پاییز مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود در تمام فصول با نزدیک شدن به ساعات پایانی روز از شدت سرعت باد نیز کاسته می‌شود. میانگین تغییرات سرعت باد در طول ساعات شبانه‌روز در سال ۱۴۰۳ در فصول مختلف به ویژه در طول روز کمتر از سال ۱۴۰۲ بوده است که می تواند یکی از دلایل تعدد روزهای آلوده در این سال باشد.



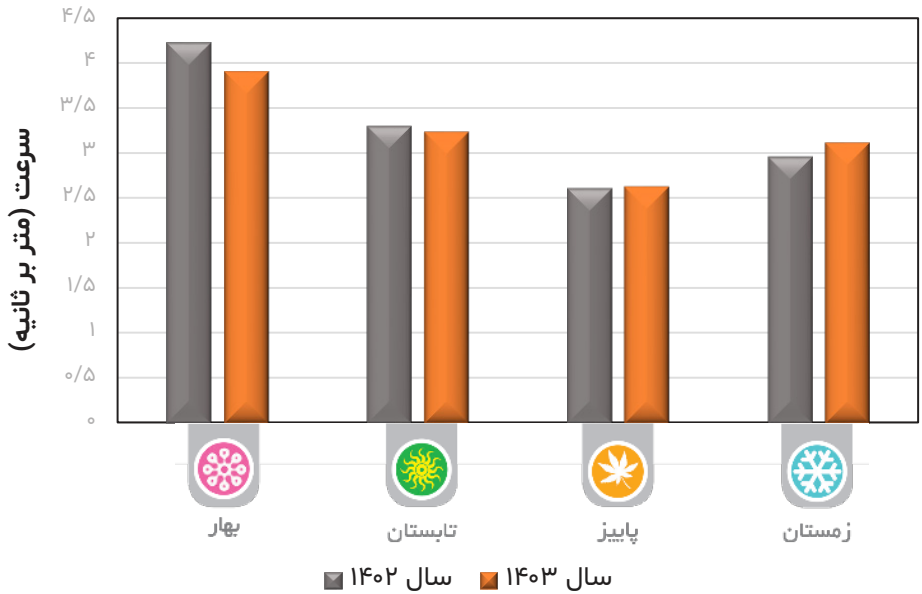
نمودار ۴-۴ میانگین روند تغییرات ساعتی سرعت باد در ایستگاه مهرآباد در سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار ۴-۵ تغییرات ماهانه سرعت باد در سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد که در هر دو سال در شش‌ماهه اول، میانگین سرعت باد تقریبا بیشتر از شش ماه دوم است. بیشینه سرعت باد در اردیبهشت و فروردین سال ۱۴۰۲ به ترتیب با مقادیر ۴/۴ و ۴/۳ ثبت شده است. کمترین مقادیر سرعت باد در ماه آذر ۱۴۰۲ و دی ماه ۱۴۰۳ به ترتیب با مقادیر میانگین ۲ و ۲/۱ بوده است. مقایسه تغییرات سرعت باد بین سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که در ماه‌های مرداد، آبان و آذر و اسفند میانگین سرعت باد نسبت به سال گذشته افزایش و در سایر ماه‌ها کاهش یافته است.



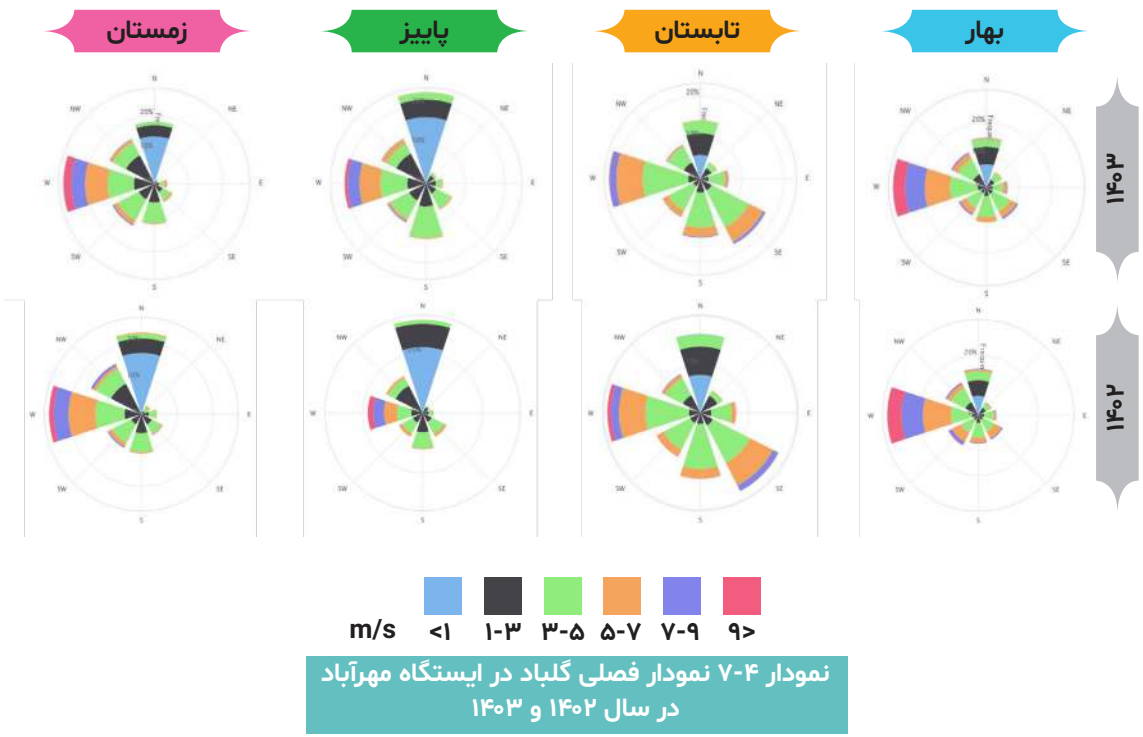
نمودار۴-۵ روند تغییرات ماهانه سرعت باد در ایستگاه مهرآباد در سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

مقایسه فصلی سرعت باد بین سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نیز در نمودار ۴-۶ نشان می‌دهد که به‌طورکلی سرعت باد در فصل بهار بیشتر و در فصل پاییز کمتر از سایر فصول است. در سال ۱۴۰۲، کمترین سرعت باد در فصل پاییز با میانگین فصلی ۲٫۷ متر بر ثانیه و بیشترین آن در فصل بهار با میانگین فصلی ۴٫۳ متر بر ثانیه رخ داده است. در مقایسه با سال گذشته سرعت باد در فصل تابستان و پاییز تقریباً بدون تغییر و در فصل زمستان اندکی بیشتر از سال گذشته بوده است. سرعت باد در فصل پاییز تغییرات چندانی نشان نمی‌دهد.



نمودار ۴-۶ تغییرات فصلی سرعت باد در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

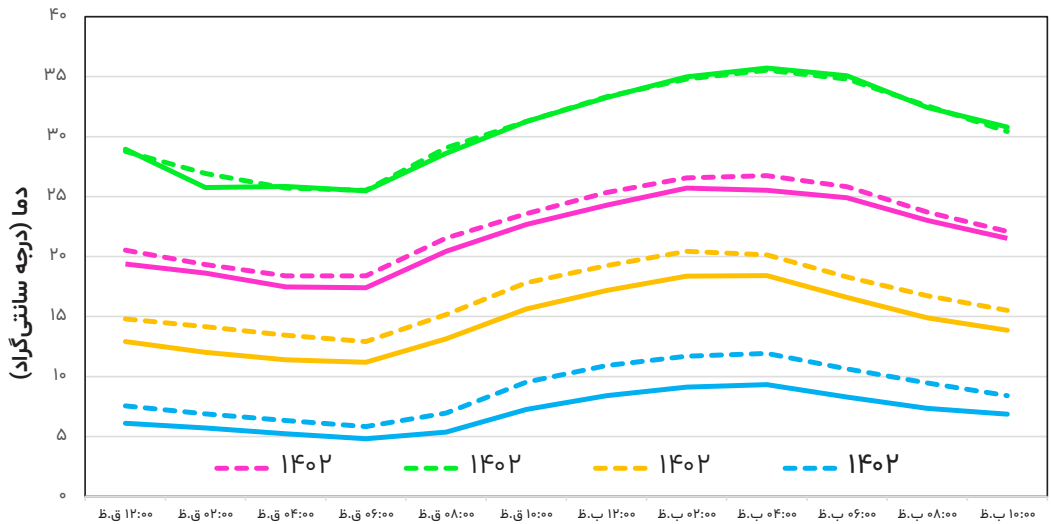
بررسی گلباد فصلی برای ایستگاه مهرآباد در نمودار ۴-۷ نشان می‌دهد که در سال ۱۴۰۲ باد غالب بالای ۱ متر بر ثانیه در این ایستگاه در تمام فصول، باد غربی بوده و در سال ۱۴۰۳ نیز روند مشابهی دیده می‌شود. در هر دو سال در فصل تابستان علاوه بر باد غربی، بخش قابل ملاحظه‌ای از جهت وزش باد جنوب شرقی نیز بوده است اما در سایر فصول باد غالب، غربی ملاحظه می‌شود. در هر دو سال در فصل بهار بیشترین فراوانی مربوط به بادهای با سرعت بالای ۳ متر بر ثانیه بوده و این روند برای فصل تابستان نیز صادق است. در فصل پاییز بیشترین فراوانی سرعت باد مربوط به بادهای آرام زیر ۱ متر بر ثانیه بوده و در فصل زمستان عمده فراوانی مربوط به بادهای ۱ تا ۵ متر بر ثانیه می‌باشد. بیشترین فراوانی وزش بادهای شدید با سرعت بیش از ۷ متر بر ثانیه مربوط به فصل بهار و سپس فصل زمستان بوده است. همچنین کاهش فراوانی وزش بادهای مؤثر با سرعت بین ۳ تا ۷ متر ثانیه در فصل پاییز می‌تواند دلیلی بر محدود شدن شرایط مناسب برای پراکندگی آلاینده‌ها در این زمان باشد.



نمودار ۴-۷ نمودار فصلی گلباد در ایستگاه مهرآباد در سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

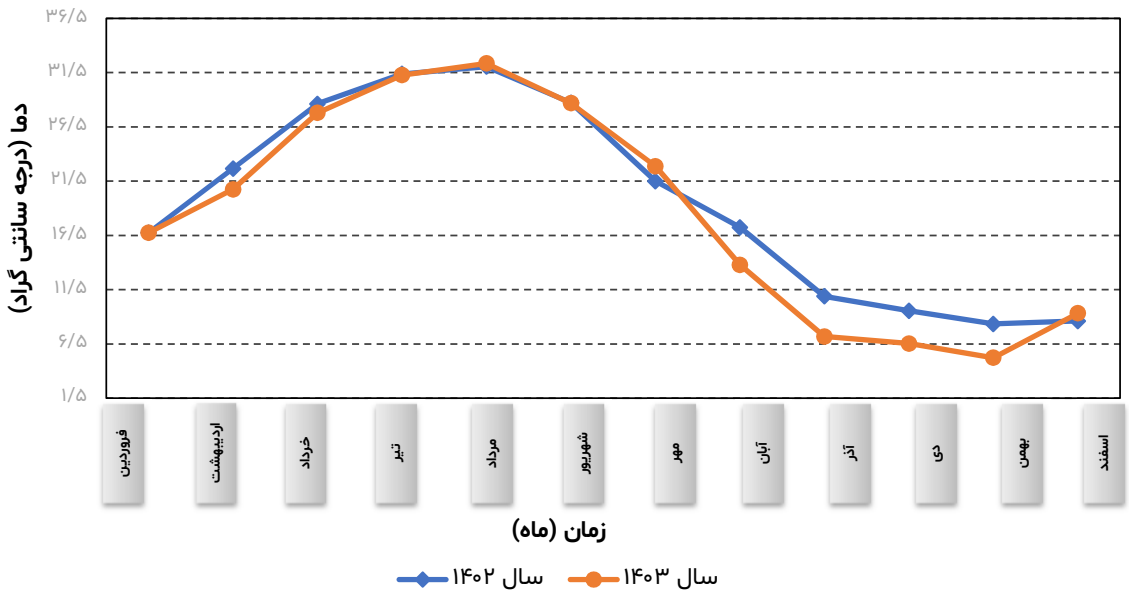
۴-۴-۲ - دما

میانگین تغییرات شبانه‌روزی دما به تفکیک فصول مختلف برای سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در ایستگاه مهرآباد در نمودار ۴-۸ نشان داده شده است. به‌طورکلی، کمینه دما در ساعات قبل از طلوع خورشید و بیشینه آن در ساعات بعدازظهر (قبل از غروب خورشید) مشاهده می‌شود. در مقایسه تغییرات شبانه‌روزی دما در سال ۱۴۰۲ با سال ۱۴۰۳ به‌طور میانگین دما در فصل های بهار، زمستان و پاییز اندکی کاهش داشته است. اختلاف دمای بیشینه و کمینه نیز در فصل بهار و تابستان در حدود ۱۰-۱۱ درجه سلسیوس و در فصل پاییز و زمستان بین ۶-۸ درجه سلسیوس است.



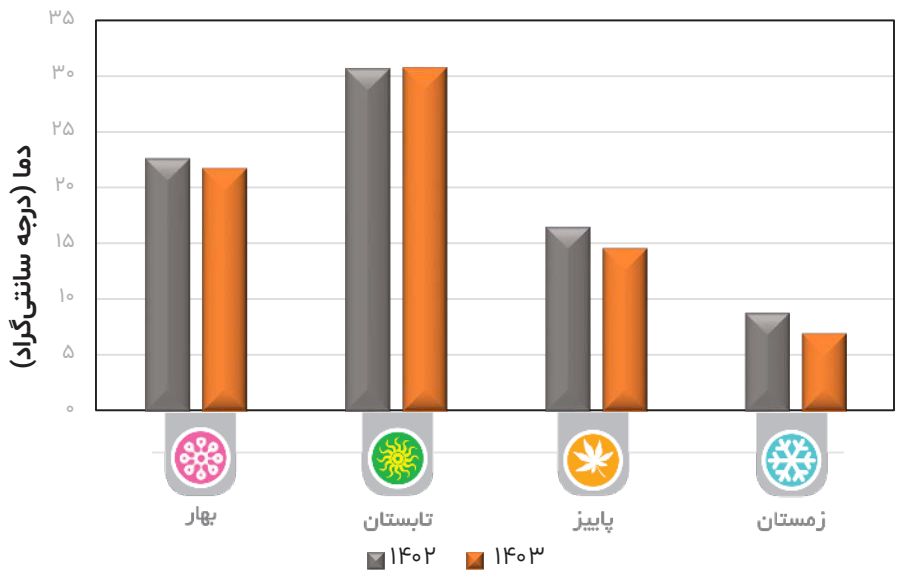
نمودار ۴-۸ روند تغییرات ساعتی دما در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

مطابق با نمودار ۹-۴ مشاهده می‌شود که در سال ۱۴۰۲ بیشینه دما در مرداد ماه با میانگین ۳۱/۵ درجه سلسیوس و کمینه آن در بهمن‌ماه با میانگین ۸/۵ درجه سلسیوس ثبت شده است. همچنین در سال ۱۴۰۳ نیز بیشینه دما در مردادماه با میانگین ۳۲ درجه سلسیوس و کمینه آن در بهمن‌ماه با میانگین ۵/۷ درجه سلسیوس ثبت شده است. مقایسه متوسط ماهانه دما بین سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که الگوی تغییرات دما در این دو سال تقریباً مشابه بوده اگرچه در برخی ماه‌ها، مانند آبان، آذر، دی و بهمن تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود.



نمودار ۹-۴ روند تغییرات ماهانه دما در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

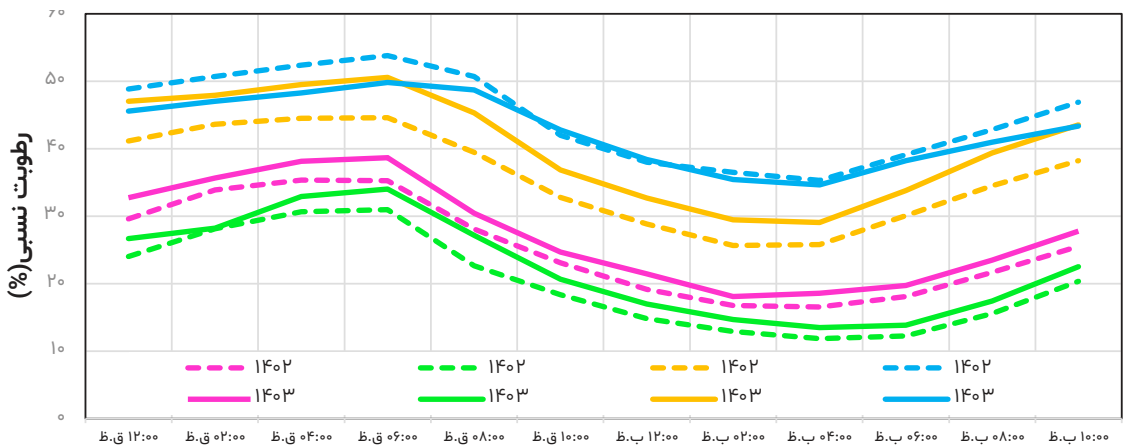
تغییرات فصلی دما در سال ۱۴۰۲ (نمودار ۴-۱۰) نیز نشان می‌دهد که بیشترین دما در فصل تابستان با میانگین ۳۰/۷ درجه سلسیوس و کمترین دما در فصل زمستان با میانگین ۸/۸ درجه سلسیوس رخ داده است. در مقایسه فصلی دما در سال ۱۴۰۲ با سال گذشته مشاهده می‌شود که فصل تابستان، پاییز و زمستان گرم‌تر و فصل بهار خنک تر از سال گذشته بوده‌اند.



نمودار ۴-۱۰ تغییرات فصلی دما در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

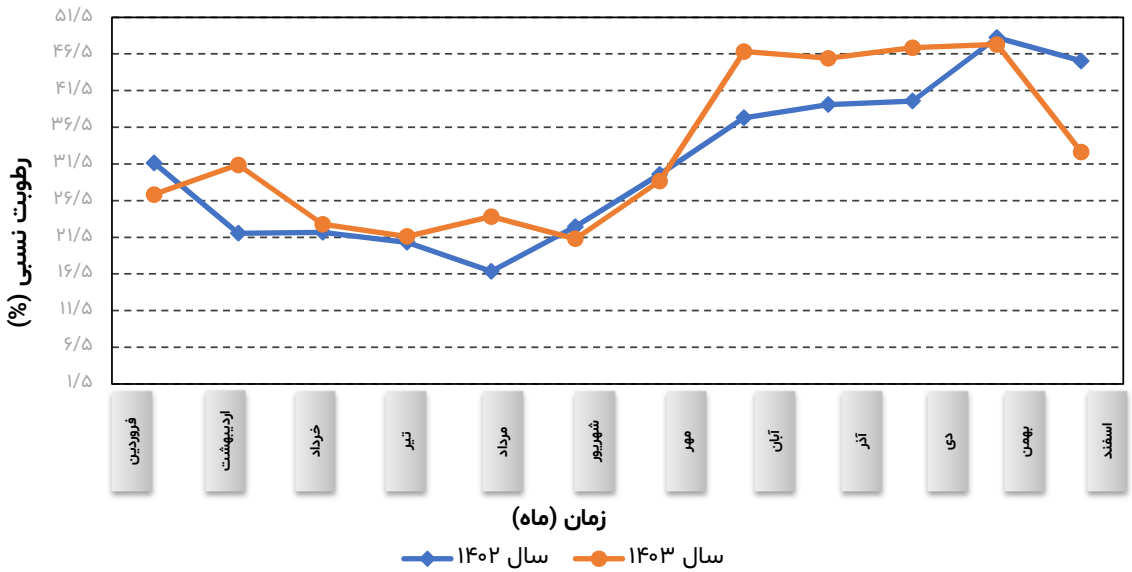
۴-۴-۳ - رطوبت نسبی

روند تغییرات شبانه‌روزی رطوبت نسبی به تفکیک فصول مختلف در ایستگاه مهرآباد برای سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در نمودار ۴-۱۱ مشاهده می‌شود. الگوی تغییرات شبانه‌روزی رطوبت نسبی معکوس با الگوی دما است به‌طوری‌که کمینه و بیشینه رطوبت نسبی به ترتیب مطابق با بیشینه و کمینه دما در یک شبانه‌روز است. کمترین مقادیر رطوبت نسبی در طول روز مشاهده می‌شود که هم‌زمان با بیشترین مقادیر دما است، درحالی‌که بیشترین مقادیر رطوبت نسبی در طول شب هم‌زمان با کاهش دما مشاهده می‌شود. مقایسه روند تغییرات شبانه‌روزی رطوبت نسبی در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال گذشته نشان می‌دهد که در فصل زمستان رطوبت نسبی کاهش اندکی کاهش یافته، در فصل پاییز روند یکسان اما شاهد افزایش بوده ایم و در فصول بهار و تابستان نیز با افزایش روبه‌رو شده است. بیشترین مقادیر رطوبت نسبی در فصل زمستان و سپس پاییز و کمترین آن در فصل تابستان و سپس بهار مشاهده می‌شود.



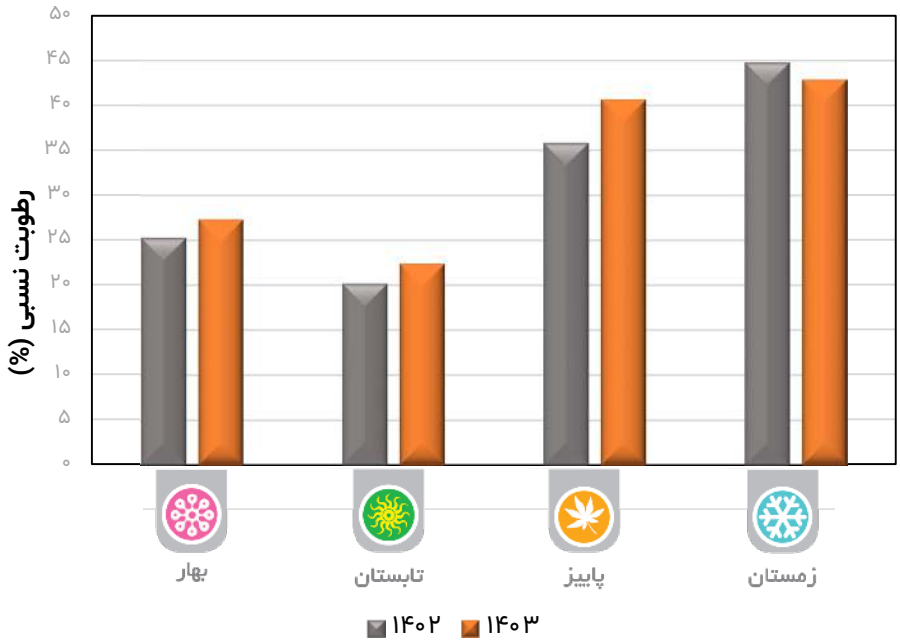
نمودار ۴-۱۱ روند تغییرات ساعتی رطوبت نسبی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

با توجه به نمودار ۴-۱۲، روند تغییرات ماهانه رطوبت نسبی در سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که در ماه‌های گرم سال میزان رطوبت نسبی کمتر از سایر ماه‌ها است، به‌طوری‌که کمینه رطوبت نسبی در ماه مرداد با میانگین ۱۵٪ رخ داده است. بیشینه رطوبت نسبی نیز در ماه بهمن با مقدار ۵۰٪ مشاهده می‌شود. همچنین با مقایسه تغییرات رطوبت نسبی بین سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مشاهده می‌شود که به‌طور کلی رطوبت نسبی در اغلب ماه‌های سال افزایش یافته و تنها در برخی ماه‌ها از جمله اسفند کاهش پیدا کرده است. همچنین در ماه اسفند کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار رطوبت نسبی نسبت به سال گذشته مشاهده می‌شود.



نمودار ۴-۱۲ روند تغییرات ماهانه رطوبت نسبی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

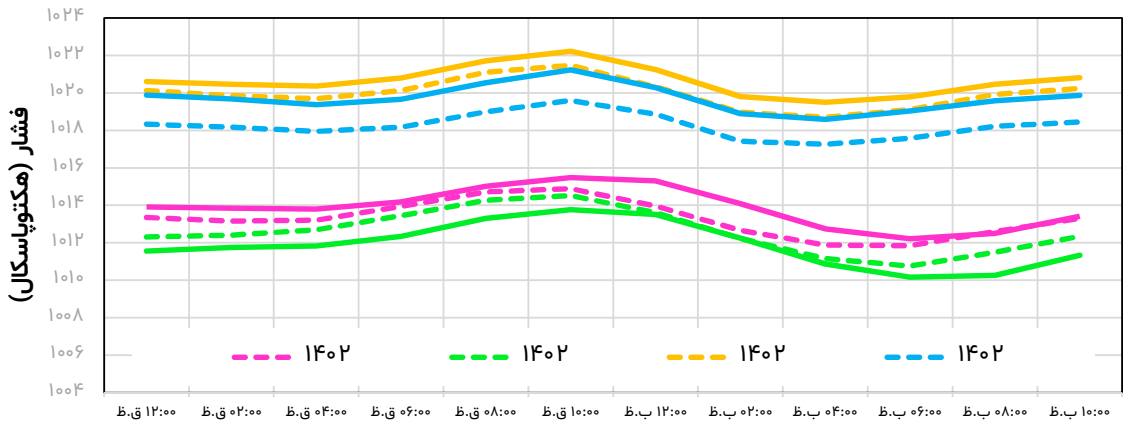
تغییرات فصلی رطوبت نسبی در نمودار ۴-۱۳ نشان می‌دهد که در فصل تابستان کمترین میزان رطوبت نسبی رخ می‌دهد که ناشی از افزایش دما در این فصل است. بیشترین مقدار رطوبت نسبی نیز در فصل زمستان مشاهده می‌شود که می‌توان گفت با توجه به افزایش بارش ها و کاهش دما رخ داده است. در مقایسه با سال گذشته نیز مشاهده می‌شود که در سال ۱۴۰۳ در تمامی فصول، به جز فصل زمستان، رطوبت نسبی بیشتر از سال گذشته بوده است.



نمودار ۴-۱۳ تغییرات فصلی رطوبت نسبی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

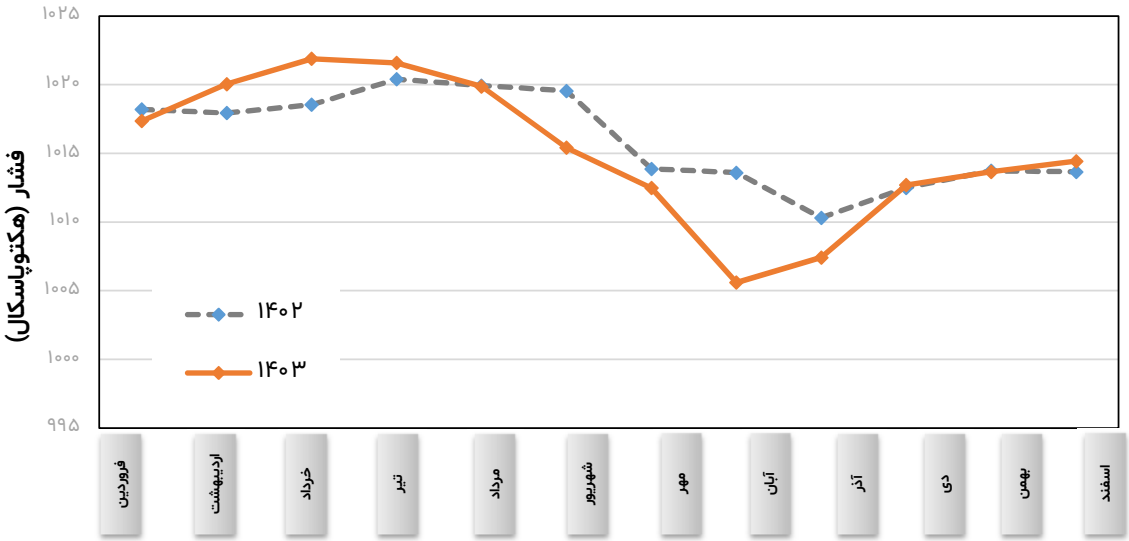
۴-۵- فشار

مطابق نمودار ۴-۱۴ تغییرات فشار در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که فشار هوا در تمامی فصول سال ۱۴۰۳ نسبت به ۱۴۰۲ تغییرات اندکی داشته است. در اغلب ساعات شبانه‌روز، فشار در سال ۱۴۰۳ کمی بیشتر از سال قبل بوده و الگوی تغییرات روزانه فشار در هر دو سال تقریباً مشابه است. به‌طور کلی، این نمودار بیانگر مشابهت تقریبی فشار جوی بین دو سال و نبود نوسانات شدید در این متغیر است.



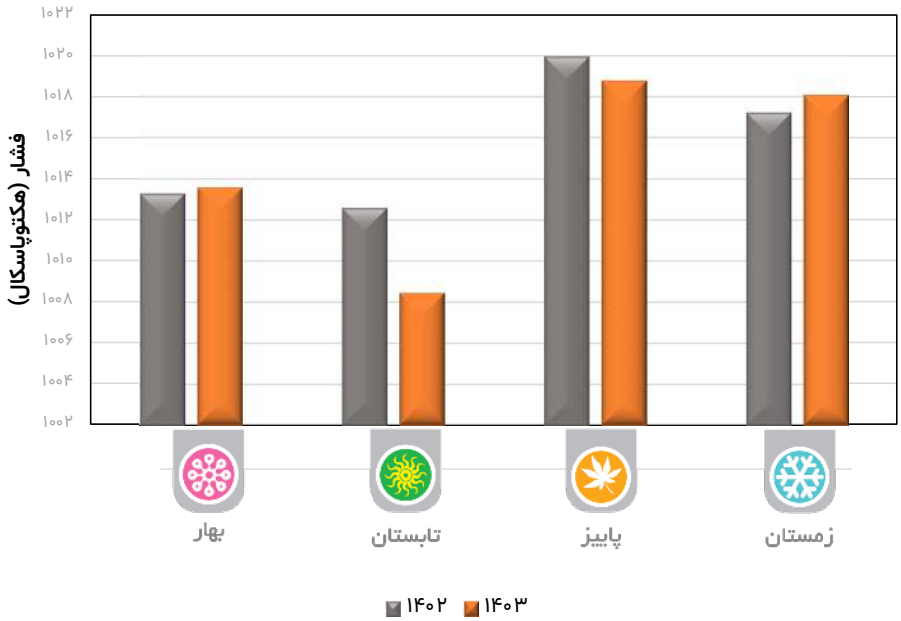
نمودار ۴-۱۴ تغییرات ساعتی فشار در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

نمودار روند تغییرات ماهیانه ۴-۱۵ فشار در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که فشار هوا در نیمه اول سال ۱۴۰۳ (به‌ویژه اردیبهشت تا تیر) بیشتر از سال ۱۴۰۲ بوده است. از مرداد تا دی، فشار در سال ۱۴۰۳ کاهش زیادی داشته و در آبان به کمترین مقدار (حدود ۱۰۰۳ هکتوپاسکال) رسیده است. در ماه‌های پایانی (دی تا اسفند)، فشار دوباره افزایش یافته و به سطوح سال قبل نزدیک شده است.



نمودار ۴-۱۵ روند تغییرات ماهانه فشار در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

بر اساس نمودار ۴-۱۶ تغییرات فصلی فشار در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که فشار هوا در فصل‌های بهار و زمستان در سال ۱۴۰۳ اندکی بیشتر از سال ۱۴۰۲ بوده است. اما در تابستان، فشار به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و از پاییز نیز پایین‌تر است. این کاهش می‌تواند نشانه‌ای از ناپایداری یا گرمای شدید در تابستان ۱۴۰۳ باشد.

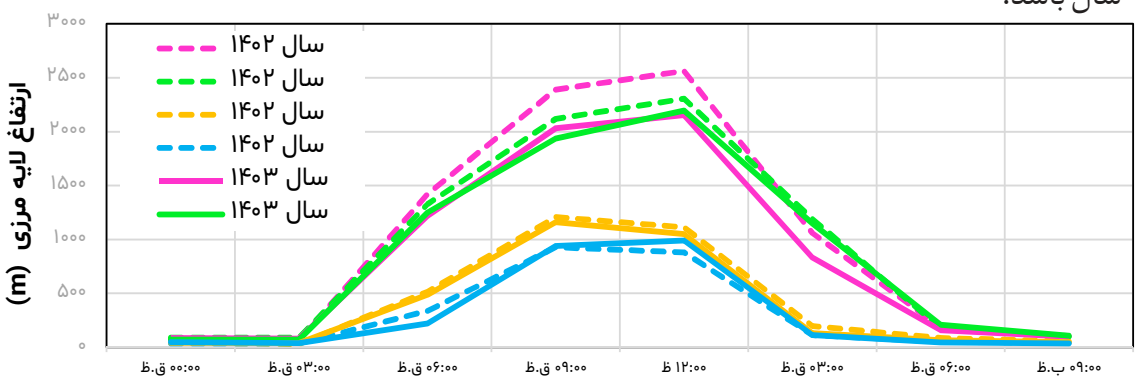


نمودار ۴-۱۶ تغییرات فصلی فشار در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۴-۶- ارتفاع لایه مرزی

تغییرات ساعتی ارتفاع لایه‌ی مرزی در ایستگاه مهرآباد طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مطابق نمودار ۴-۱۷ نشان می‌دهد که این ارتفاع در تمام فصول دارای نوسان منظم روزانه بوده است. در ابتدای شب و ساعات بامدادی (تا حوالی ساعت ۳ بامداد)، ارتفاع لایه‌ی مرزی در کمترین مقدار خود قرار داشته و تقریباً ثابت بوده است. با طلوع خورشید و افزایش تدریجی دما، ارتفاع لایه‌ی مرزی شروع به افزایش کرده و این روند صعودی تا حوالی ظهر (ساعت ۱۲ الی ۱۵) ادامه یافته است. در این بازه‌ی زمانی، بیشینه‌ی روزانه‌ی ارتفاع لایه‌ی مرزی ثبت شده و سپس با کاهش تابش خورشید، ارتفاع لایه‌ی مرزی به تدریج کاهش یافته و مجدداً تا شب به مقادیر اولیه‌ی خود بازگشته است. در مقایسه فصلی، بیشترین ارتفاع لایه‌ی مرزی در فصل بهار ۱۴۰۲ ثبت شده است، به طوری که در ساعات میانی روز ارتفاع آن به بیش از ۲۵۰۰ متر رسیده است. در پاییز، حداکثر ارتفاع لایه‌ی مرزی نسبت به دو فصل قبلی کاهش قابل توجهی داشته و در زمستان کمترین مقادیر ثبت شده است؛ در زمستان ارتفاع لایه‌ی مرزی در ظهر به سختی به ۱۰۰۰ متر می‌رسد.

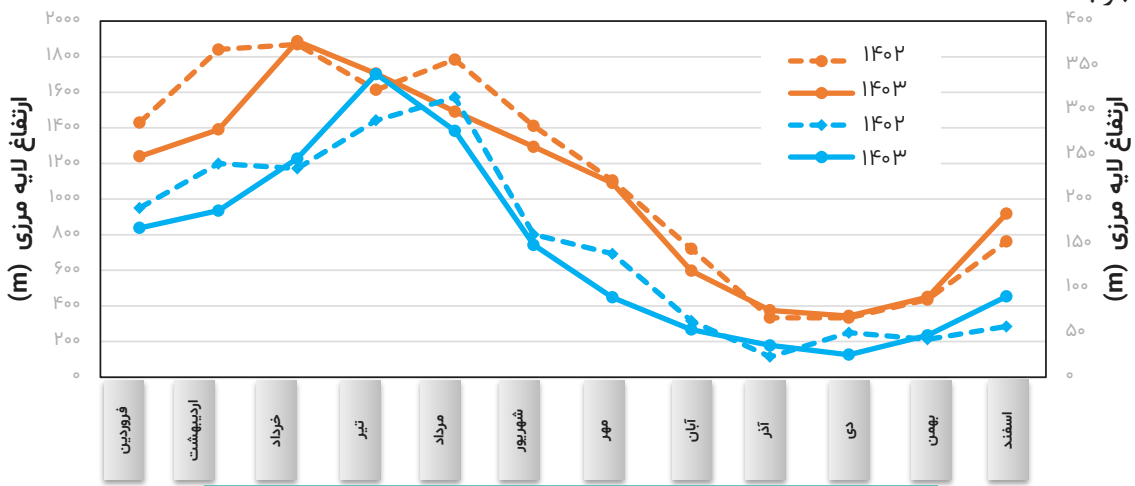
مقایسه‌ی بین دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که الگوی تغییرات ساعتی لایه‌ی مرزی در هر فصل مشابه است و اختلافات بین دو سال اندک بوده است. با این حال در برخی ساعات روز، ارتفاع لایه‌ی مرزی در سال ۱۴۰۳ کمی کمتر از ۱۴۰۲ ثبت شده که می‌تواند ناشی از شرایط جوی پایدارتر در این سال باشد.



نمودار ۴-۱۷ تغییرات ساعتی ارتفاع لایه مرزی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

مطابق نمودار ۴-۱۸بررسی روند تغییرات ماهانه ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول شب و روز در ایستگاه مهرآباد برای سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که به طور کلی، ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول روز به مراتب بیشتر از شب است. این تفاوت ناشی از تاثیر مستقیم تابش خورشید بر افزایش دمای سطح زمین و در نتیجه توسعه‌ی لایه‌ی مرزی در طول روز می‌باشد، در حالی که در شب، با سرد شدن سطح زمین، لایه‌ی مرزی کوچک‌تر و پایدارتر می‌شود. در هر دو سال، ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول روز از فروردین شروع به افزایش کرده و در خرداد و تیر به بیشینه‌ی سالانه‌ی خود می‌رسد. در این ماه‌ها، ارتفاع لایه‌ی مرزی روزانه به حدود ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰ متر می‌رسد. پس از تیرماه، ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول روز به تدریج کاهش می‌یابد و در پاییز و زمستان به حداقل مقادیر سالانه خود، یعنی حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، می‌رسد. در طول شب، ارتفاع لایه‌ی مرزی به مراتب کمتر بوده و مقادیر آن معمولاً بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر نوسان داشته است. کمترین مقادیر شبانه در ماه‌های سرد سال (آبان، آذر، دی و بهمن) ثبت شده که بیانگر پایداری بیشتر جو و ضعیف بودن اختلاط عمودی در این ماه‌ها است.

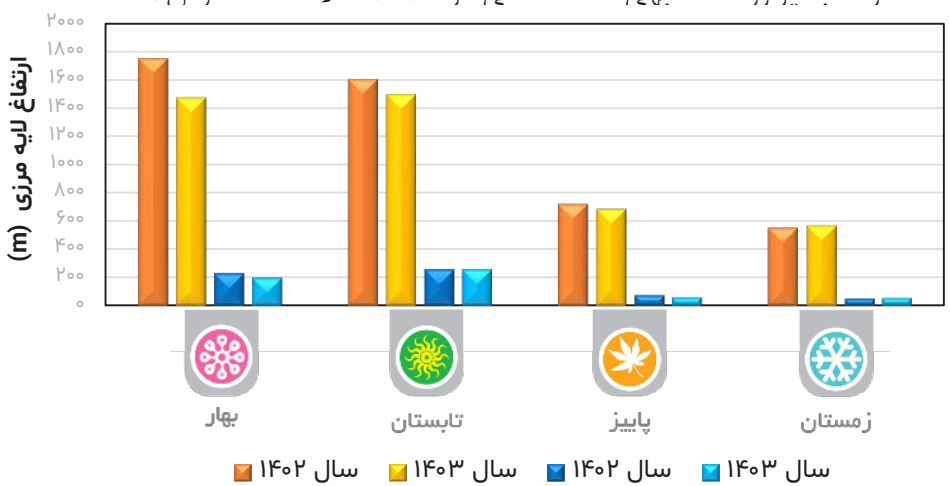
مقایسه‌ی دو سال نشان می‌دهد که الگوی کلی تغییرات در طول شب و روز مشابه است. با این حال در برخی ماه‌ها، به ویژه در فصل تابستان، ارتفاع لایه‌ی مرزی روزانه در سال ۱۴۰۳ اندکی کمتر از سال ۱۴۰۲ ثبت شده که ممکن است به دلیل تفاوت‌های جزئی در شدت تابش خورشید یا پایداری بیشتر جو باشد.



نمودار ۴-۱۸ روند تغییرات ماهانه ارتفاع لایه مرزی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

بررسی تغییرات فصلی ارتفاع لایه‌ی مرزی در ایستگاه مهرآباد (نمودار ۴-۱۹) طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که به طور کلی، در تمام فصول ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول روز به مراتب بیشتر از شب است. این تفاوت ناشی از اثر مستقیم تابش خورشید بر گرم شدن سطح زمین و توسعه‌ی عمودی لایه‌ی مرزی در طول روز می‌باشد، در حالی که در شب با سرد شدن سطح زمین، لایه‌ی مرزی فشرده‌تر و محدودتر می‌شود. در فصل‌های بهار و تابستان، بیشترین ارتفاع روزانه‌ی لایه‌ی مرزی ثبت شده است. در بهار، ارتفاع لایه‌ی مرزی در طول روز به حدود ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر رسیده و در تابستان نیز مقادیر نزدیک به این مقدار مشاهده شده است. این روند نشان‌دهنده‌ی فعالیت قوی‌تر تلاطم‌های جوی و اختلاط حرارتی در نیمه‌ی گرم سال می‌باشد. در مقابل، ارتفاع لایه‌ی مرزی در شب، حتی در فصل‌های گرم سال، بسیار کمتر و حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر باقی مانده است. در فصل پاییز، ارتفاع روزانه‌ی لایه‌ی مرزی نسبت به بهار و تابستان کاهش یافته و در زمستان این کاهش محسوس‌تر شده، به طوری که در زمستان ارتفاع لایه‌ی مرزی در روز به حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر و در شب به کمتر از ۱۵۰ متر کاهش پیدا کرده است.

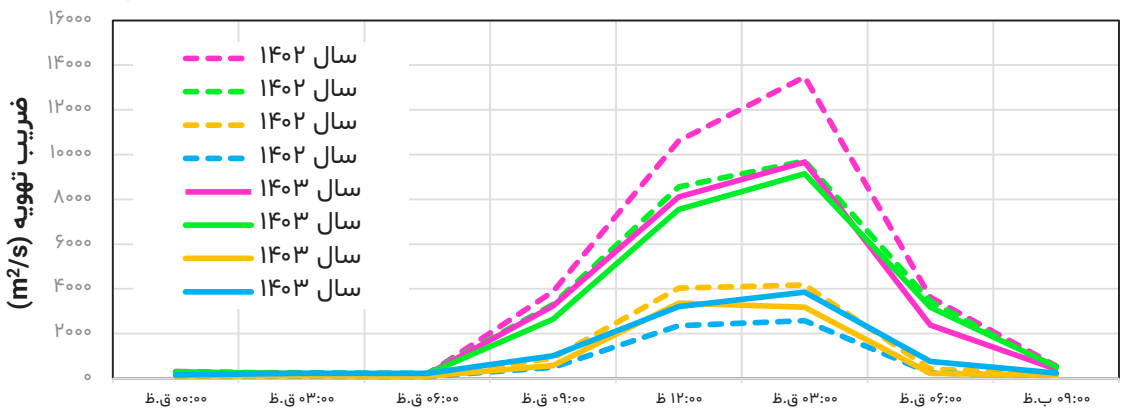
مقایسه‌ی دو سال نشان می‌دهد که ارتفاع لایه‌ی مرزی روزانه در سال ۱۴۰۳ در اغلب فصل‌ها کمی کمتر از سال ۱۴۰۲ بوده است، که می‌تواند ناشی از پایداری جوی بیشتر یا دمای پایین‌تر در سال ۱۴۰۳ باشد. در شب نیز روند مشابهی مشاهده می‌شود، اما اختلافات محسوس نیست.



نمودار ۴-۱۹ تغییرات فصلی لایه مرزی در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

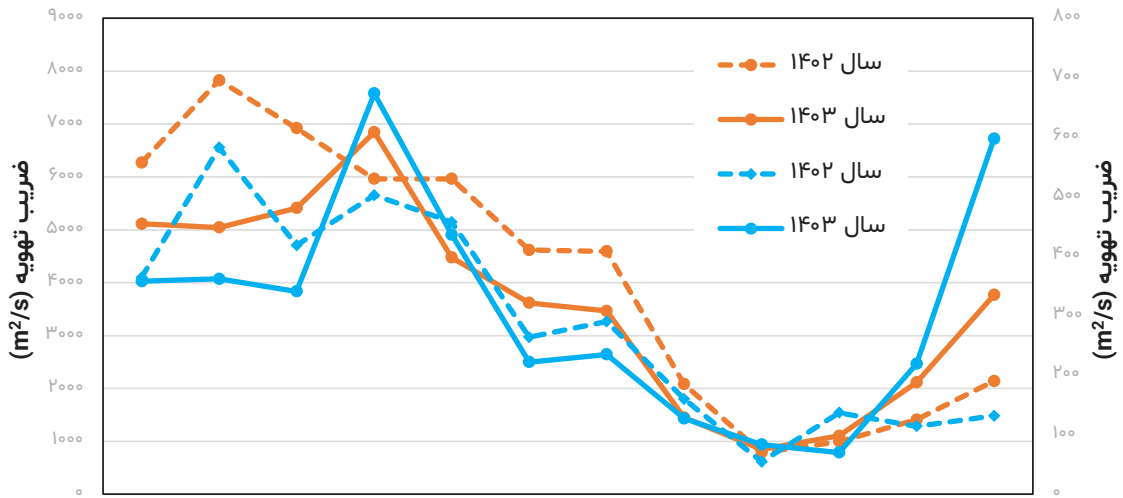
۴-۷- ضریب تهویه

تحلیل روند تغییرات ساعتی ضریب تهویه بر اساس نمودار (۴-۲۰) در فصول مختلف طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که این شاخص در طول شبانه‌روز نوسانات منظم و قابل پیش‌بینی دارد. در ساعات اولیه شب (۲۱:۰۰ تا حدود ۶:۰۰ صبح)، ضریب تهویه در تمامی فصول در کمترین مقدار خود قرار داشته و تقریباً ثابت مانده است. این وضعیت به دلیل پایداری جوی، کاهش شدت وزش باد و استقرار لایه‌ی وارونگی حرارتی در ساعات شبانه اتفاق می‌افتد. با شروع روز و افزایش تابش خورشید، ضریب تهویه به تدریج افزایش می‌یابد و این روند تا حوالی ظهر و اوایل عصر (ساعت‌های ۱۲ تا ۱۵) ادامه دارد، جایی که بیشینه‌ی ضریب تهویه روزانه ثبت شده است. در این بازه، شرایط برای تهویه شهری مناسب‌تر است و امکان جابجایی آلاینده‌ها به لایه‌های بالاتر جو فراهم می‌شود. در مقایسه‌ی فصلی، بالاترین مقادیر ضریب تهویه در فصل بهار مشاهده شده که به ویژه در سال ۱۴۰۲ به اوج بالاتری نسبت به سایر فصول رسیده است. تابستان پس از بهار در رتبه‌ی دوم قرار دارد، ضریب تهویه در این فصل اندکی کمتر از بهار است. در پاییز و زمستان، مقدار ضریب تهویه به طور قابل توجهی کمتر بوده که نشان‌دهنده‌ی کاهش ظرفیت تهویه طبیعی شهر تهران در نیمه سرد سال می‌باشد. مقایسه‌ی دو سال نشان می‌دهد که در فصل بهار، سال ۱۴۰۲ ضریب تهویه بیشتری نسبت به سال ۱۴۰۳ داشته است، اما در تابستان، پاییز و زمستان تفاوت بین دو سال کمتر و خطوط نسبتاً به هم نزدیک‌ترند. این تفاوت بیانگر شرایط جوی نسبتاً پایدارتری در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۴۰۲، به ویژه در فصل بهار، می‌باشد.



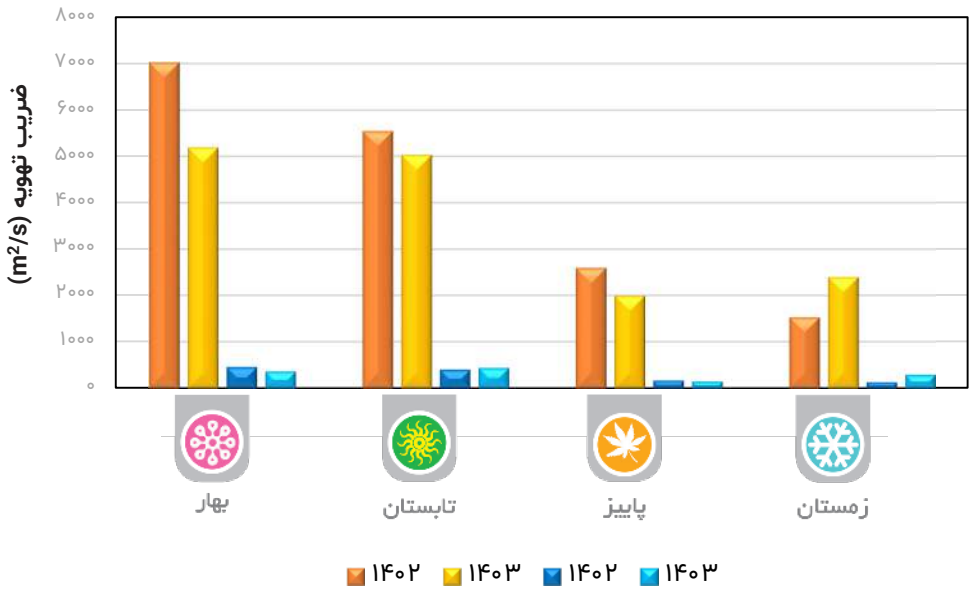
نمودار ۴-۲۰ تغییرات ساعتی ضریب تهویه در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

بررسی روند تغییرات ماهانه ضریب تهویه شهر تهران (نمودار ۴-۲۱) در طول شب و روز طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که در هر دو سال، ضریب تهویه در طول روز از فروردین تا خرداد به تدریج افزایش یافته و در اردیبهشت یا خرداد به اوج خود رسیده است. در این ماه‌ها، مقدار ضریب تهویه روزانه به حدود ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ مترمربع بر ثانیه رسیده است. پس از خرداد، با ورود به تابستان و سپس پاییز، ضریب تهویه کاهش یافته و در ماه‌های سرد سال، به ویژه در آذر، دی و بهمن، به کمترین مقدار خود رسیده است. در شب، مقدار ضریب تهویه به طور قابل توجهی کمتر بوده و در زمستان به حداقل خود می‌رسد (زیر ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه). مقایسه‌ی بین دو سال نشان می‌دهد که در طول روز، سال ۱۴۰۲ ضریب تهویه‌ی بالاتری نسبت به سال ۱۴۰۳ در فصل های بهار و تابستان داشته است، اما در نیمه‌ی دوم سال، تفاوت‌ها کمتر شده‌اند.



نمودار ۴-۲۱ روند تغییرات ماهانه ضریب تهویه در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

بررسی تغییرات فصلی ضریب تهویه در ایستگاه مهرآباد برای سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مطابق نمودار ۴-۲۲ نشان می‌دهد که در هر دو سال، بیشترین مقدار ضریب تهویه در فصل بهار مشاهده شده است. در بهار ۱۴۰۲، ضریب تهویه روزانه به حدود ۷۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه رسیده که بالاترین مقدار در بین همه‌ی فصل‌ها و در بین ۲ سال است، در حالی که در بهار ۱۴۰۳ این مقدار اندکی کمتر، حدود ۵۵۰۰ تا ۶۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه بوده است. پس از بهار، در تابستان نیز ضریب تهویه همچنان بالا بوده، هرچند نسبت به بهار کاهش یافته است. در فصل پاییز، کاهش محسوسی در ضریب تهویه نسبت به نیمه‌ی اول سال دیده می‌شود و در زمستان این کاهش به اوج خود می‌رسد. در زمستان ۱۴۰۳ نسبت به زمستان ۱۴۰۲، ضریب تهویه روزانه اندکی بهبود یافته و بالاتر ثبت شده است.

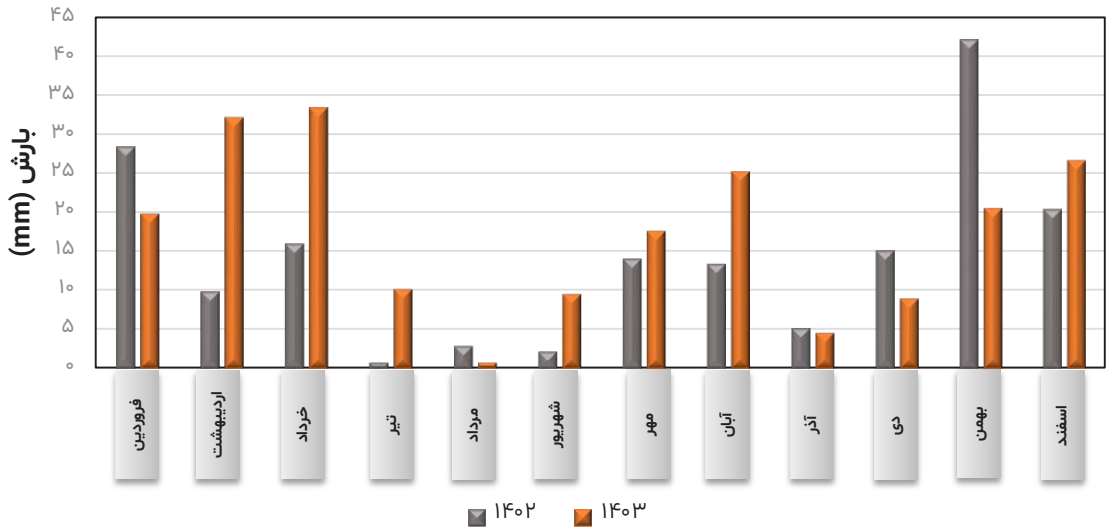


نمودار ۴-۲۲ تغییرات فصلی تهویه در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۴-۸- بارش

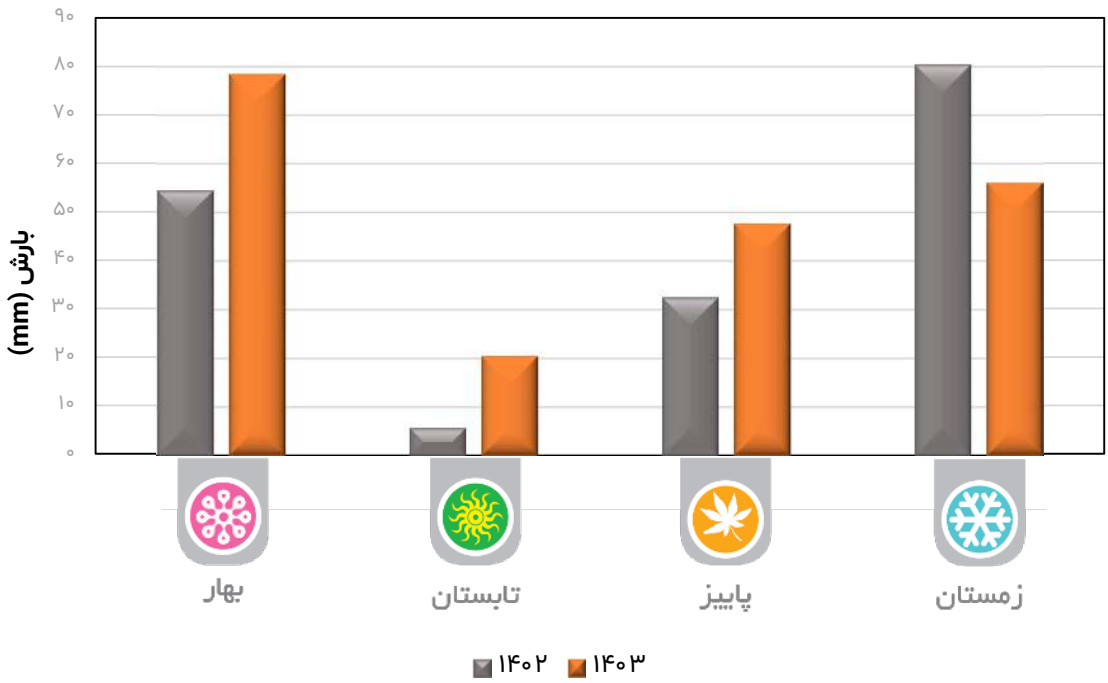
نمودار ۴-۲۳ مقادیر ماهانه بارش تهران در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ را نشان می‌دهد که الگوی بارندگی در هر دو سال، با وجود برخی تفاوت‌ها، از روند فصلی رایج اقلیم نیمه‌خشک تهران تبعیت می‌کند؛ یعنی بیشترین بارش در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار رخ داده و در تابستان بارش‌ها بسیار محدود یا نزدیک به صفر بوده است.

در نیمه اول سال، به ویژه در ماه‌های اردیبهشت و خرداد، بارش در سال ۱۴۰۳ به طور قابل توجهی بیشتر از سال ۱۴۰۲ ثبت شده است. اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۳ به ترتیب با بیش از ۳۰ میلی‌متر بارش، پربارش‌ترین ماه‌های نیمه نخست سال بوده‌اند. در مقابل، سال ۱۴۰۲ در این ماه‌ها بارش کمتری را تجربه کرده است. در نیمه دوم سال، بارش در مهر، آبان و اسفند ۱۴۰۳ به شکل محسوسی بیشتر از ۱۴۰۲ بوده و این نشان‌دهنده‌ی فعال‌تر بودن سامانه‌های بارشی در این دوره در سال ۱۴۰۳ است. با این حال، در دی و بهمن ۱۴۰۲ بارندگی بیشتری نسبت به سال ۱۴۰۳ رخ داده است، به‌ویژه در بهمن که با حدود ۴۰ میلی‌متر بارش، پربارش‌ترین ماه سال ۱۴۰۲ بوده است. در مجموع، بارش سال ۱۴۰۳ نسبت به ۱۴۰۲ توزیع یکنواخت‌تری در ماه‌ها داشته و در بیشتر ماه‌ها عملکرد بهتری از نظر مقدار بارش نشان داده است. در مقابل، بارش سال ۱۴۰۲ تمرکز بیشتری در برخی ماه‌ها (به‌ویژه بهمن) داشته و در سایر ماه‌ها ضعیف‌تر ظاهر شده است. این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از پراکندگی زمانی و شدت متفاوت سامانه‌های بارشی فعال در منطقه تهران در دو سال متوالی باشد.



نمودار ۴-۲۳ مقادیر بارش در ایستگاه مهرآباد
برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

بررسی بارش فصلی تهران در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ مطابق نمودار (۴-۲۴) نشان می‌دهد که میزان بارش در هر دو سال بیشترین مقدار خود را در فصل‌های بهار و زمستان تجربه کرده است، اما توزیع آن میان فصل‌ها متفاوت بوده است. در سال ۱۴۰۳، فصل بهار پربارش‌ترین فصل سال بوده و مجموع بارش آن حدود ۷۸ میلی‌متر ثبت شده، که نسبت به سال ۱۴۰۲ افزایش قابل‌توجهی (بیش از ۱۵ میلی‌متر) داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که سامانه‌های بارشی بهاری در سال ۱۴۰۳ فعالیت بیشتری داشته‌اند. در فصل تابستان، که معمولاً بارش‌ها بسیار محدود هستند، سال ۱۴۰۳ بارش بیشتری نسبت به ۱۴۰۲ ثبت کرده است. اگرچه مقادیر کلی در هر دو سال پایین است، اما تفاوت نسبی قابل توجهی وجود دارد: حدود ۲۰ میلی‌متر در تابستان ۱۴۰۳ در مقابل تنها حدود ۵ میلی‌متر در تابستان ۱۴۰۲. این اختلاف می‌تواند نشانه‌ای از بروز چند بارش غیرمعمول تابستانی در سال ۱۴۰۳ باشد. در فصل پاییز نیز افزایش بارش در سال ۱۴۰۳ نسبت به ۱۴۰۲ مشاهده می‌شود. میزان بارش پاییز ۱۴۰۳ حدود ۴۵ میلی‌متر بوده که نسبت به حدود ۳۰ میلی‌متر در پاییز ۱۴۰۲ رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. این افزایش در کنار بارش‌های بهاری بالا باعث شده که مجموع بارش سالانه در ۱۴۰۳ از توزیع متعادل‌تری برخوردار باشد. در مقابل، زمستان سال ۱۴۰۲ پربارش‌تر از زمستان ۱۴۰۳ بوده است؛ در زمستان ۱۴۰۲ بیش از ۷۵ میلی‌متر بارندگی ثبت شده، در حالی که این مقدار در سال ۱۴۰۳ به حدود ۵۵ میلی‌متر کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که در سال ۱۴۰۳ سهم زمستان از بارندگی سالانه کاهش یافته و این بارش بیشتر در فصل‌های بهار و پاییز متمرکز شده است.



نمودار ۴-۲۴ نمودار فصلی مقادیر بارش در ایستگاه مهرآباد برای سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

۴-۹- خلاصه تغییرات کمیت‌های هواشناسی

به‌طورکلی، میزان تغییرات کمیت‌های هواشناسی در سال ۱۴۰۳ نسبت به سال گذشته به تفکیک فصول مختلف در جدول ۴-۱نشان داده شده است. نتایج نشان داد که دما در فصول بهار، پاییز و زمستان کاهش و در تابستان بدون تغییر بوده است. سرعت باد در فصول بهار و تابستان کاهش و در پاییز و زمستان افزایش اندکی یافته است. رطوبت نسبی در تمام فصول با افزایش مواجه بوده و دید افقی نیز در همه فصل‌ها بهبود یافته است. ارتفاع لایه مرزی در روز کاهش و در شب افزایش داشته است. بارش در بهار، تابستان و پاییز افزایش و در زمستان کاهش یافته است.

جدول ۴-۱ مقایسه کمیت‌های جوی بین سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۲ (درصد)

متغیر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دما(°C)	۴/۵% ↓	۰/۰% →	۵/۶% ↓	۲۲/۲% ↓
سرعت باد(m/s)	۲/۴% ↓	۹/۴% ↓	۳/۶% ↑	۶/۷% ↑
رطوبت نسبی(%)	۱۰/۷% ↑	۱۶/۷% ↑	۱۸/۸% ↑	۸/۳% ↑
فشار(hPa)	۰/۱% ↑	۰/۲% ↓	۰/۰% →	۰/۱% ↑
ارتفاع لایه مرزی در روز(m)	۱۶/۷% ↓	۶/۷% ↓	۶/۲% ↓	۳/۴% ↓
ارتفاع لایه مرزی در شب(m)	۱۳/۶% ↑	۲۷/۰% ↑	۲۵/۰% ↑	۱۱/۱% ↑
ضریب تهویه روز(m^3/s)	۲۱/۴% ↓	۹/۱% ↓	۱۶/۷% ↓	۳۸/۹% ↓
ضریب تهویه شب(m^3/s)	۷/۷% ↑	۹/۱% ↑	۱۱/۷% ↓	۱۱/۱% ↑
بارش(mm)	۳۰/۰% ↑	۳۰۰/۰% ↑	۵۰/۰% ↑	۳۱/۲% ↓


L10
NII
Beep
ep
NPL

فصل پنجم

وضعیت آلودگی صوتی شهر تهران

۵- وضعیت آلودگی صوتی شهر تهران

پیشرفت تکنولوژی و توسعه فناوری همگام با رشد جمعیت شهری، همواره پیامدهای مثبتی را براي رفاه عمومی به همراه داشته است؛ اما از تأثیرات منفی آن مبتني بر گسترش آلودگی‌های مختلف محیط‌زیست، نظیر آلودگی صوتی نمی‌توان به‌راحتی چشم‌پوشی کرد. عمده‌ترین منابع آلودگی صوتی در محیط‌های شهری، ناشی از تردد وسایل نقلیه موتوری است. توسعه شهری و ایجاد شریان‌های اصلی و بزرگراهی و البته فعالیت‌های ساختمانی و عملیات عمرانی از عمده‌ترین دلایل آلودگی صوتی در شهرها می‌باشند. جهت آگاهي از روند انتشار آلودگی‌های صوتی، نصب ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در سطح شهر، تهیه نقشه‌های آلودگی صوتی و تشخیص نقاط بحرانی جهت اولویت‌بندی استفاده از راهکارهای کاهشی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

۵-۱- کلیات و تعاریف

سروصدا یا آلودگی صوتی، صدای نامطلوبی است که علاوه بر اثرات مضر بر سلامتی افراد باعث برهم خوردن آرامش در زمان استراحت و تمرکز در حین انجام کار می‌شود.

واحد اندازه‌گیری صدا برحسب دسی‌بل (dB) و بر اساس تغییرات فشار هوا، مقدار آن بین صفر دسی‌بل (آستانه شنوایی) تا ۱۳۰ دسی‌بل (آستانه کری) بیـــان می‌شود. گوش انسان بلندی صدا را در فرکانس‌های مختلف یکسان درك نمی‌کند؛ بر همین اساس فیلتری بر روی دستگاه‌های اندازه‌گیری صدا نصب می‌شود، (فیلتر وزنی (A)) تا محدوده اندازه‌گیری منطبق بر محدوده شنوایی انسان باشد. به عبارت بهتر در شبکه A مقادیر تراز فشار صوت متناسب با حساسیت گوش انسان توزین می‌گردد. واحد تراز صدا به‌صورت (dBA) نوشته می‌شود.

۵-۱-۱- شاخص‌های آلودگی صدا در محیط‌زیست

تراز فشار صوت در هر لحظه از شبانه‌روز دارای تغییرات زیادی است. در فواصل نسبتاً کوتاه از منابع صوتی مثلاً کمتر از ۱۰۰ متر تغییرات لحظه‌ای بیشتر نمایان می‌شود، لذا بایستی اندازه‌گیری و ارزیابی بر اساس الگوهای زمانی قابل قبول و ترجیحاً استاندارد انجام شود. برای تبدیل مقادیر تراز فشار صوت در طول دوره زمانی موردنظر، باید آن را به تراز معادل تبدیل نمود.

حد مجاز آلودگی صدا در هوای آزاد و حتی داخل اماکن به صورت تراز معادل برای دوره‌های معین زمانی از شبانه‌روز تعریف شده است. اندازه‌گیری یا محاسبه تراز معادل فشار صوت برای آن دوره‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا قابلیت مقایسه با حدود مجاز را خواهد داشت. کشورهای مختلف، دوره‌های زمانی متفاوتی را برای محاسبه یا مبنای تراز معادل تصویب نموده‌اند. معروف‌ترین دوره‌های زمانی، ساعت ۷ صبح تا ساعت ۲۲ برای تراز روز (DL)[1]، به‌عنوان دوره ۱۵ ساعته روز و از ساعت ۲۲ تا ۷ صبح روز بعد (NL)[2]، به‌عنوان تراز ۹ ساعته شب است. در برخی معیارها، ساعت ۱۹ تا ۲۲ به‌عنوان تراز ابتدای شب (EL)[3] و ساعت ۲۳ تا ۷ صبح روز بعد، با اعمال ضرایب مربوطه به عنوان تراز معادل شب (NL) مقرر شده است.

در ایران طبق مصوبه شورای عالی محیط‌زیست (سال ۱۳۸۱) فقط دو دوره زمانی ۷ صبح تا ۱۰ شب برای تراز روز و ۱۰ شب تا ۷ صبح به‌عنوان تراز شب تصویب شده است. حدود مجاز آلودگی صوتی نیز بر این اساس معین شده است[۱۶].

۵-۱-۲- مصوبات شورای عالی حفاظت محیط زیست

در اجراي ماده ۲ آئین‌نامه اجرایی نحوه جلوگیري از آلودگي صوتي مصوب جلسه مورخ ۱۳۷۸/۳/۱۹ هیئت‌وزیران، حدود مجاز صدا در هوای آزاد ایران به شرح ذیل تعیین و موافقت می‌شود که از تاریخ تصویب در سطح کشور به مورد اجرا گذارده شود.

1- Day Average Sound Level (DL)

2-Night Average Sound Level (NL)

3-Evening Average Sound Level (EL)

در جدول ۵-۱ استاندارد این مناطق که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست اعلام گردیده، مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۱ حدود مجاز صدا در هوای آزاد ایران

نوع منطقه	روز (۷ صبح الی ۱۰ شب) L_{eq} (۳۰) (dB (A	شب (۱۰ شب الی ۷ صبح) L_{eq} (۳۰) (dB (A
منطقه مسکونی	۵۵	۴۵
منطقه تجاری – مسکونی	۶۰	۵۰
منطقه تجاری	۶۵	۵۵
منطقه مسکونی – صنعتی	۷۰	۶۰
منطقه صنعتی	۷۵	۶۵

۱- L_{eq} (۳۰)dB (A) = تراز معادل در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه اندازه‌گیري در شبکه وزنی A می باشد و واحد آن دسی‌بل است.

تعاریف:

منطقه مسکونی: محدوده‌هایی هستند که بیش از ۵۰ درصد آن دارای کاربری مسکونی خالص باشد و بقیه آن (علاوه بر شبکه معابر) شامل خدمات مربوط به مسکونی و بدون مزاحمت برای مسکونی باشد.

منطقه تجاری ـ مسکونی: منطقه‌ای است که معمولاً طبقات همکف به‌صورت تجاری و طبقات بالاتر به‌صورت مسکونی پیش‌بینی‌شده باشد، اما کاربری مسکونی معمولاً بیش از تجاری است.

منطقه تجاری: منطقه‌ای است که عمدتاً دارای کاربری تجاری و یا کاربری‌های مربوط به آن (دفاتر اداری، تفریحی، فرهنگی و غیره) باشد (بیش از ۵۰ درصد اراضی).

منطقه مسکونی ـ صنعتی: منطقه‌ای است که در کنار نواحی مسکونی بعضی از صنایع غیر مزاحم و غیر آلوده قرار گیرد (مانند بعضی از صنایع کارگاهی) در اینجا کاربری عمده مسکونی است.

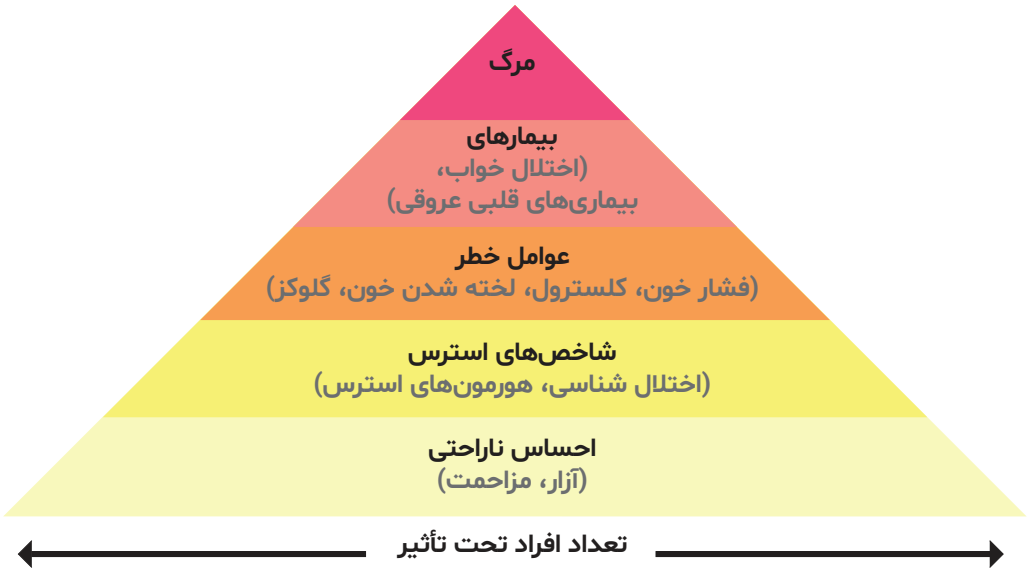
منطقه صنعتی: مناطقی است که دارای کاربری صنعتی بوده و طبق ضوابط محیط‌زیست استقرار آن‌ها در محیط شهر مجاز نبوده و بر اساس مطالعات زیست‌محیطی بافاصله‌ای مناسب بیرون از شهر یا نواحی مسکونی قرار گیرد. کارگاه‌های مزاحم شهری، کاربری‌های کارخانه‌ای، تولیدی و خدمات صنعتی عموماً در این محدوده واقع هستند [۱۷].

آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی است که در ابعاد مختلف سلامتی انسان را به مخاطره می‌اندازد و در درازمدت دارای عوارض متعدد و مختلفی است که در جدول ۵-۲ به آن اشاره شده است [۱۸].

جدول ۵-۲ اثرات مختلف آلودگی صدا بر انسان

دستگاه شنوایی	افت دائم و موقت شنوایی
بالینی	افزایش هورمون کلسترول (ضربان قلب)، کورتیزول خون (استرس) و افزایش فشارخون- انعقاد رگ‌های خونی، سکته قلبی، سوءهاضمه، زخم معده و روده
خواب	در خواب آستانه شنوایی پایین است، به عبارت دیگر جنبه تخریبی فیزیولوژیکی سروصدا بیشتر است. سروصدا ممکن است اثر و ارزش شفابخش خواب را از بین ببرد.
نوزادان (جنین)	انقباض رگ‌های مسئول تهیه غذا و اکسیژن برای جنین و کاهش وزن در نوزادان
روحی و روانی	کاهش تمرکز، اختلال در یادگیری، اضطراب، عصبانیت و سردرد

در گزارشی که تحت عنوان بار بیماری ناشی از سر و صدای محیطی در سال ۲۰۱۱ توسط سازمان بهداشت جهانی منتشر گردید، مزاحمت، اختلال خواب، بیماری‌های قلبی عروقی، اختلال شناختی و آسیب شنوایی به عنوان پیامدهای بهداشتی مرتبط با نویز محیطی انتخاب شدند. سپس شدت اثرات ناشی از سر و صدا بر سلامتی افراد در مقابل تعداد افراد مبتلا به صورت شکل ۵-۱ ارائه گردید [۱۹].



شکل ۵-۱ شدت اثرات سر و صدا بر سلامتی و تعداد افراد مبتلا

۵-۱-۴- کنترل و کاهش آلودگی صوتی در نقاط بحرانی

جهت کنترل آلودگی صوتی باید سه مرحله مدنظر قرار گیرد:

۱- کاهش و کنترل صدای منبع تولیدکننده صوت

۲- کاهش و کنترل صدا در مسیر انتشار صوت

۳- کاهش و کنترل صدا در محل دریافت صوت

کنترل در منبع

منابع تولید آلودگی صوتی دو دسته هستند:

الف) منابع ساکن

منابع ساکن مولد آلودگی صوتی عبارت‌اند از: مراکز تجاری، صنعتی، کارخانه‌ها، تعمیرگاه‌های وسایل نقلیه، تراشکاری‌ها، چوب‌بری‌ها، سنگ‌بری‌ها، فعالیت‌های ساختمانی و عملیات عمرانی و ... که نباید در مجاورت مراکز حساس به صدا قرار گیرند. در غیر این صورت باید حتماً اقدامات کنترلی در جهت کاهش آلودگی صوتی در این مراکز صورت بگیرد تا سروصدای ناشی از آن‌ها موجب ایجاد مزاحمت برای ساکنین مجاور در مراکز مسکونی، آموزشی، درمانی و اداری نگردد.

ب) منابع متحرک

منابع متحرک تولید آلودگی صوتی عبارت‌اند از انواع خودروها، موتورسیکلت‌ها، پرواز هواپیماها و حرکت قطارها که بهتر است خودروهای تولید شده، خودروهای در حال تولید، خودروهای وارداتی و خودروهای در حال استفاده و موتورسیکلت‌ها از نظر میزان انتشار آلودگی صوتی بررسی شوند؛ تا مشخص گردد میزان صدای منتشر شده توسط آن‌ها در حد استاندارد باشد و در غیر این صورت برای آن‌ها تدابیر و راه‌حل‌هایی در نظر گرفته شود.

الزام تست صدای اگزوز در مراکز معاینه فنی از جمله اقداماتی است که در این راستا بسیار راهگشا خواهد بود که متأسفانه تا به امروز در کشور مورد توجه قرار نگرفته و اجرایی نشده است.

همچنین مسیرهای ریلی، فرودگاه‌ها و پایانه‌های[1] اتوبوس‌رانی باید خارج از محیط شهری واقع گردند و درصورتی‌که با افزایش جمعیت و توسعه شهر در طول سالیان متمادی؛ در محدوده بافت شهری قرار گیرند، باید اقدامات کنترلی و اصلاحی در زمینه کاهش آلودگی صوتی در این نواحی در دستور کار قرار گیرد. از جمله این اقدامات می‌توان به ممنوعیت پروازهای شبانه در فرودگاه‌های واقع در محیط‌های شهری و استفاده از هواپیماهای با تکنولوژی بهتر و صدای کمتر اشاره نمود. در خصوص پایانه‌ها، رعایت الزامات زیست‌محیطی از جمله ممنوعیت کارکرد درجا، مکان‌یابی تعمیرگاه‌ها و پارکینگ‌ها در ضلعی از پایانه که فاصله بیشتری با منطقه مسکونی وجود داشته باشد، استفاده از فضای استاندارد برای تعمیرگاه‌ها به‌طوری‌که کلیه کار تعمیرات در داخل سوله انجام گیرد، از جمله اقداماتی است که باعث کاهش میزان مواجهه ساکنین مجاور این پایانه‌ها خواهد شد. در بحث مربوط به کنترل منبع علاوه بر موارد فوق‌الذکر، اقداماتی با هزینه بسیار کم نیز وجود دارد که در بسیاری از کشورهای توسعه یافته متداول است. در این کشورها با افزایش سطح آگاهی عموم جامعه از طریق آموزش و با کمک تابلوها و علائم هشدار دهنده از مشارکت شهروندان در بحث کنترل آلودگی صدا بهره گرفته می‌شود. به عنوان نمونه، نصب تابلوهای بوق زدن ممنوع در مجاور کاربری‌های حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس و منازل مسکونی و تابلوی ممنوعیت کارکرد درجا در محل توقفگاه‌ها، پایانه‌های اتوبوس‌رانی و تاکسیرانی، مدارس و بیمارستان‌ها را می‌توان از جمله این اقدامات نام برد. در خصوص تابلوی ممنوعیت کارکرد درجا، نباید از نقش چند منظوره آن در کاهش آلودگی هوا، صدا، کاهش مصرف سوخت، افزایش ذخیره انرژی، حفظ محیط‌زیست و افزایش طول عمر موتور وسایل نقلیه غافل بود؛ بنابراین در بحث مدیریت شهری و مهندسی ترافیک، توجه و استفاده از این علائم بسیار کارآمد بوده و به حفظ محیط‌زیست و سلامت جامعه کمک خواهد کرد (شکل ۵-۲).

۱. منظور، پایانه‌های بزرگ مقیاسی است که امکاناتی مانند تعمیرگاه، پمپ بنزین و پارکینگ در آن وجود دارد



شکل ۵-۲ نمونه تابلوهای ممنوعیت کارکرد درجا و بوق زدن ممنوع در سایر کشورها

همچنین با توجه به اهمیت آموزش کودکان در خصوص مباحث زیست‌محیطی و حساسیت این گروه سنی نسبت به آلودگی هوا و صدا، در بسیاری از کشورها با نصب پلاکاردها و تابلوهایی با همین مضمون (شکل ۵-۳) با آموزش دانش‌آموزان، والدین و رانندگان سرویس مدارس از مشارکت آن‌ها در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی استفاده می‌نمایند.



شکل ۵-۳ نمونه تابلوهای ممنوعیت کارکرد درجا و بوق زدن ممنوع در سایر کشورها

توقف طولانی مدت خودروها در حاشیه معابر شهری، رویکردی سنتی و قدیمی است که سال‌هاست در کشورهای پیشرو تغییر کرده است و به کاربری‌های دیگری مانند مسیر ویژه دوچرخه، پیاده راه و فضای شهری ایمن اختصاص یافته است؛ بنابراین توسعه حمل‌ونقل غیر موتوری به ویژه در هسته مرکزی شهر و ایجاد برنامه‌های موقت برای ممنوعیت تردد وسایل نقلیه در تعدادی از معابر شهر در روز خاصی از سال (شکل۵-۴)، راهکارهایی است که قطعاً در کاهش آلودگی صوتی و ترویج فرهنگ استفاده از حمل‌ونقل پاک مؤثر خواهد بود.



شکل ۵-۴ ایجاد فضای امن شهری و توسعه حمل‌ونقل غیر موتوری

تجربیاتی مانند محدودیت تردد وسایل نقلیه در خیابان‌های محلی تحت عنوان Slow Street (شکل ۵-۵) در کشورهای پیشرو در زمان شیوع کوید-۱۹ و اختصاص این معابر به پیاده راه و وسایل نقلیه غیر موتوری مانند دوچرخه، اسکوتر و ویلچر نشان داد تا چه اندازه کاهش استفاده از وسایل نقلیه موتوری در کاهش

آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله آلودگی صوتی و افزایش سلامت جسم و روان مردم مؤثر است. بنابراین در قرن حاضر طراحی خیابان‌ها نه بر اساس رویکرد خودرو محور، بلکه باید انسان محور باشد.



شکل ۵-۵ نمونه‌ای از محدودیت تردد وسایل نقلیه در برخی معابر شهری در دوره کرونا

کنترل در مسیر

یکی از شناخته‌شده‌ترین راه‌کارها برای کنترل آلودگی صوتی در مسیر، نصب دیوارهای صوتی مناسب یا خاک‌ریزهای صوتی در مجاورت مکان‌هایی با کاربری‌های حساس به صدا مانند مراکز آموزشی، درمانی، مسکونی و اداری است که البته امکان‌سنجی برای نصب دیوار صوتی و انتخاب جنس، شکل، ارتفاع، ضخامت و طول آن بحث بسیار گسترده‌ای است که باید مورد توجه قرار گیرد.

برای آن‌که صداگیرها یا موانع صوتی بتوانند مؤثر عمل کنند، باید دو اصل در آن‌ها رعایت شود؛ اول این‌که

خط دید بین منبع و دریافت‌کننده صوت را قطع کنند، یعنی به عبارتی ارتفاع صداگیر باید متناسب و بالاتر از منبع انتشار صوت باشد. دوم این‌که حداکثر کارایی صداگیر زمانی است که صداگیر به‌جای قرار داشتن وسط منبع انتشار و دریافت‌کننده، در نقطه‌ای نزدیک به منبع صوتی یا دریافت‌کننده صوت قرار داشته باشد تا بتواند قبل از انتشار صوت در ارتفاع و عرض، آن را بشکند [۲۰].

البته دیوارهای صوتی اشکال مختلفی دارند و این‌طور نیست که مانند یک دیوار در طول بزرگراه‌ها کشیده شوند. هم‌اکنون در دنیا اشکال دیگری از دیوارهای صوتی به اجرا گذاشته شده است که به دلیل طراحی خاصشان نسبت به شکل فعلی که در کشورمان اجرا می‌شود، عملکرد بسیار بهتری دارند. به عنوان مثال دیوارهایی که به شکل تونل طراحی می‌شوند و دو طرف بزرگراه را پوشش می‌دهند تا خودروها از داخل مسیر کریدور مانند آن، تردد کنند. موانع صوتی کاملاً بسته، نیمه بسته و سر کج به ترتیب دارای بیشترین کاهش ترازهای صدا در دو جهت افقی و عمودی‌اند، به‌گونه‌ای که نواحی اطراف، وجوه جلو و کناری ساختمان‌ها را برای کاربری‌های مسکونی و حتی تجاری در محدوده موردنظر را مناسب می‌سازند (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶ نمایی از دیوارهای صوتی بسته و سرکج

طراحی ظاهری دیوارهای صوتی نیز موضوع مهمی است که باید مدنظر قرار گیرد. استفاده از تصاویر رنگی و المان‌های هماهنگ با طبیعت یا محیط‌های شهری (شکل ۵-۷) باعث افزایش زیبایی بصری و جذابیت این موانع خواهد شد.



شکل ۵-۷ نمونه‌ای از طراحی دیوارهای صوتی هماهنگ با مناظر طبیعی

همچنین به دلیل هزینه بالای ساخت دیوارهای صوتی با ارتفاع شش متر، در کشور هلند صفحات آلومینیومی ساخته شده است که بر روی لبه بالایی دیوارهای صوتی با ارتفاع سه متر نصب می‌گردد و باعث افزایش عملکرد کاهش صدا در حدود ۴ تا ۵ دسی‌بل بیشتر می‌گردد. بنابراین نصب این صفحات بر روی دیوارهای صوتی دو تا سه متری در کنار بزرگراه‌ها، خطوط ریلی و ... علاوه بر کاهش هزینه‌ها (به دلیل کاهش ارتفاع دیوارهای صوتی) و افزایش دید بصری برای ساکنان مجاور آن‌ها، افزایش عملکرد دیوارهای مذکور را به همراه خواهد داشت (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸ صفحات آلومینیومی استفاده شده بر روی دیوار صوتی و در کنار بزرگراه در کشور هلند

در حال حاضر با پیشرفت تکنولوژی، دیوارهای صوتی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که علاوه بر کاهش آلودگی صدا، در جذب آلاینده‌های هوا نیز اثرگذار هستند. در واقع جاذب‌ها و فیلترهای خاصی بر روی دیوارهای صوتی تعبیه می‌گردد و باعث جذب NO_X که یکی از آلاینده‌های مهم در بحث آلودگی هوا است می‌شود (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹ دیوارهای صوتی در مجاورت بزرگراه‌های شهر Kobe ژاپن، با قابلیت جذب NO_x

در کشور هلند نیز از سیستمی به نام FDRS (شکل۵-۱۰) بر روی دیوارهای صوتی استفاده می‌شود. این سیستم برای استفاده در تونل‌ها، تعمیرگاه‌ها، پارکینگ‌ها، محیط‌های صنعتی و بر روی موانع صوتی مناسب است و باعث جذب ذرات معلق با قطر کمتر از یک تا ۱۰ میکرون و بهبود کیفیت هوا می‌گردد.



شکل ۵-۱۰ استفاده از سیستم FDRS در صنعت و تونل‌های شهری

این سیستم، از پنل‌هایی تشکیل شده است که با کمک الیاف نوری (LED) کار می‌کند، هیچ‌گونه صدایی تولید نمی‌کند و ضرری برای سلامتی انسان یا حیوانات ندارد. ذرات معلق پس از جذب و یونیزه شدن توسط پنل، بر روی صفحه داخلی آن (grounded panels) ته‌نشین شده و در کشورهایی مانند هلند که به نسبت، ذرات معلق کمتر است؛ هر شش ماه یک‌بار و در کشورهای آلوده‌تر نیاز است هر سه ماه یک‌بار ذرات داخل پنل با آب شسته شود. طول هر یک از این پنل‌ها بین ۵ تا ۶ متر است.

پنل‌های FDRS با نصب بر روی دیوارهای صوتی کنار جاده، موجب عملکرد دو جانبه دیوارهای صوتی در کاهش آلودگی صوتی و ذرات معلق می‌گردد (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱ استفاده از سیستم FDRS بر روی دیوارهای صوتی

همچنین استفاده از پوشش گیاهی بر روی دیوارهای صوتی یا به صورت موانع سبز، علاوه بر تلطیف هوا موجب زیبایی بصری، کاهش زبری سطوح و کاهش انعکاس صوت خواهد شد (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲ استفاده از پوشش گیاهی بر روی دیوارهای صوتی در مجاور معابر شهری

قابل ذکر است، دیوارهای صوتی علاوه بر نوع ثابت آن، که در کنار بزرگراه‌ها به عنوان مانع صوتی در مقابل صدای ناشی از ترافیک کاربرد دارد؛ در بسیاری از کشورها به صورت متحرک جهت کاهش صدای ناشی از تجهیزات، ماشین‌آلات ساختمانی و عمرانی استفاده می‌شود. این نوع از دیوارها به‌راحتی قابل نصب بوده و جابجا نمودن آن‌ها نیز بسیار آسان است، لذا به عنوان یکی از ملزومات فعالیت‌های ساختمانی و عملیات عمرانی با یک‌بار خریداری می‌تواند در پروژه‌های متعدد توسط پیمانکار استفاده گردد (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳ نمایی از دیوارهای صوتی متحرک جهت استفاده در فعالیت‌های ساختمانی و عملیات عمرانی

همچنین، در مورد تجهیزات ثابت با آلودگی صوتی بالا در پشت بام و حیاط منازل مسکونی یا ساختمان‌های اداری و تجاری که باعث مزاحمت برای ساکنین اطراف می‌شود، می‌توان با طراحی اتاقک‌هایی با استفاده از کاورهای عایق، میزان آلودگی صوتی ناشی از آن را به میزان قابل توجهی کاهش داد. این کاورها تراز صدا را حدود ۲۰ دسی‌بل کاهش می‌دهند.



شکل ۵-۱۴ نمایی از اتاقک‌های پیش ساخته به منظور کاهش صدای تجهیزات پر سرو صدا

همچنین نصب دیوارهای صوتی در مجاور خطوط ریلی درون‌شهری، استفاده از لرزه‌گیرها، به کارگیري مصالح طبیعي مانند خاک‌ریز در خطوط ریلی [۲۱] و نصب سیستم‌های فنر-میراگر در پی ساختمان‌های ویژه (کنترل در دریافت کننده) به منظور کاهش ارتعاشات ناشی از خطوط ریلی [۲۲] از جمله تمهیدات کنترلی است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده از آسفالت‌های متخلخل در معابر پرتردد و در مجاورت کاربری‌های حساس که به دلیل محدودیت فضا امکان استفاده از سایر راهکارهای کاهشی وجود ندارد، می‌تواند در جهت کنترل و کاهش آلودگی صوتی ناشی از تردد خودروها با سرعت‌های متفاوت استفاده گردد. طبق مطالعات صورت گرفته، آسفالت متخلخل میانگین تراز صوت را حدود ۲ تا ۳ دسی‌بل کاهش خواهد داد. اگرچه این میزان کاهش دارای اهمیت است، ولی به دلیل محدودیت‌هایی مانند هزینه بالای اجرا و نگهداری نسبت به آسفالت معمولی و همچنین کاهش کارایی آن در طول زمان؛ استفاده از این راهکار با هدف کاهش صوت مورد استقبال قرار نگرفته است.

در حال حاضر استفاده از تکنولوژی‌های جدید با استفاده از انحراف امواج صدا به سمت بالا، می‌تواند جایگزین بهتری برای آسفالت‌های متخلخل باشد. امواج صدای ناشی از حرکت لاستیک‌های وسایل نقلیه به جای طی مسیر مستقیم؛ وارد شیارهای تعبیه شده در کنار معبر خواهد شد. امواج پس از برخورد با

دیواره شیارها، منعکس و با ایجاد فشار رو به بالا باعث انحراف امواج صوت از مسیر مستقیم خواهد شد. این بتن با پهنای تقریباً یک متر با نصب در کنار جاده باعث کاهش ۲/۵ دسی‌بل خواهد شد و در صورتی که در دو ردیف استفاده شود این کاهش به ۵ دسی‌بل خواهد رسید. این تکنولوژی علاوه بر هزینه اجرای کمتر نسبت به آسفالت متخلخل، نیاز به اقدامات نگهداشت زیادی نداشته و عملکرد کاهشی خود را بر خلاف آسفالت متخلخل تا مدت زمان طولانی (حدود سی سال) حفظ خواهد کرد. در شکل ۵-۱۵ استفاده عملیاتی از این تکنولوژی در کشور هلند که سازنده آن می‌باشد، نشان داده شده است.

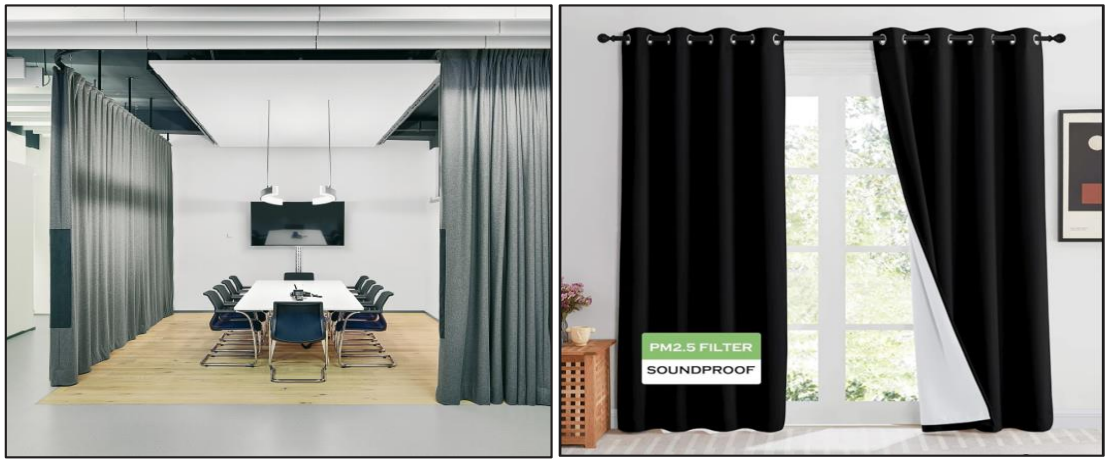


شکل ۵-۱۵ نمونه‌ای از کاربرد WHIS stone در مجاور معابرکشور هلند

علاوه بر موارد ذکر شده، در نظر گرفتن حداقل فاصله ۵۰ متر از بدنه بزرگراه‌ها در هر دو طرف (حریم صوتی) برای ساختمان‌سازی؛ باعث می‌شود صدای کمتری متوجه محیط داخل ساختمان‌های مجاور بزرگراه‌ها گردد. استفاده از پوشش گیاهی مناسب و متراکم در این فاصله، می‌تواند علاوه بر بهبود منظر شهری و تلطیف هوا در کاهش آلودگی صوتی نیز نقش مؤثری را ایفا نماید. هرچند تا به امروز هزینه بالای زمین در کشورها و کمبود فضا با توجه به رشد جمعیت، مانع از اجرای این روش شده است.

کنترل در دریافت‌کننده

دریافت‌کننده‌های آلودگی صوتی ناشی از تردد خودروها، قطارها و پرواز هواپیماها، اگر افراد ساکن در ساختمان‌های مجاور این مناطق با کاربری‌های خاص باشند؛ جهت دریافت صدایی در حد استاندارد در این مکان‌ها، بایستی به لحاظ آلودگی صوتی کاملاً عایق‌بندی شوند (مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان). برای مثال از شیشه‌های چند جداره استاندارد، پرده‌های آکوستیک (شکل ۵-۱۶) و مصالح مناسب در هنگام ساخت آن‌ها استفاده گردد. حتی‌المقدور در ساختمان‌های نزدیک به بزرگراه‌های پر سروصدا، بهتر است اتاق‌هایی که نیاز به آرامش و سکوت بیشتری دارند، مانند اتاق مطالعه و اتاق‌خواب در دورترین فاصله ممکن از بزرگراه‌ها قرار بگیرند. همچنین در دیوارهای بین واحدها، دیوارهای پیرامونی و سقف نیز از عایق‌های صوتی استفاده شود.



شکل ۵-۱۶ نمونه‌ای از پرده‌های آکوستیک در منازل مسکونی و محیط‌های اداری

لازم به ذکر است در بسیاری از کشورها علاوه بر استفاده از پنجره‌های دوجداره استاندارد، از یک پنجره چوبی متحرک [1] نیز در مقابل پنجره شیشه‌ای استفاده می‌شود که می‌تواند یکی از راه‌کارهای مناسب و کم هزینه در کاهش صدا، به ویژه در هنگام شب باشد. امکان نصب این پنجره‌های کرکره‌ای از سمت داخل نیز وجود دارد (شکل۵-۱۷).

1-Window shutter



شکل ۵-۱۷ استفاده از پنجره‌های کرکره‌ای به صورت داخلی (Interior) و خارجی (Exterior)

روش دیگری که بتوان ورود صدای ناشی از ترافیک را به داخل اتاق کاهش داد؛ استفاده از سیستم کنترل فعال می‌باشد. DeNoize مانند هدفون‌های حذف نویز فعال عمل می‌کند و بر روی محدوده ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز تمرکز می‌کند، این نویز با فرکانس پایین، بیشترین آزار را ایجاد می‌کند؛ زیرا به راحتی از سطوح شیشه ای عبور می‌کند. با کیت DeNoize، این نویز را که از بیرون می‌آید تجزیه و تحلیل می‌شود و شیشه با یک سیگنال معکوس می‌لرزد تا انتقال نویز کاهش یابد. نتیجه این است که بیشتر صداهای مضر وارد خانه نمی‌شود.



شکل ۵-۱۸ استفاده از سیستم کنترل فعال برای کاهش صدای ورودی

از دیگر روش‌هایی که در کاهش صدا در فضای داخلی ساختمان کاربرد دارد، استفاده از پنل‌های سقفی و دیواری آکوستیک (شکل ۵-۱۹) می‌باشد. این پنل‌ها ضمن اینکه یک اثر هنری است و بر زیبایی فضا می‌افزاید، دارای قابلیت جذب صدا بوده و بسته به نوع صدا و فرکانس آن در ضخامت‌های مختلف ساخته می‌شوند.



شکل ۵-۱۹ پنل‌های آکوستیکی طراحی شده برای فضاهای داخلی

فضاهای داخلی می‌تواند شامل محیط‌های اداری، مکان‌های آموزشی مانند مدارس و مهدکودک‌ها، رستوران‌ها، سالن‌های ورزشی و حتی در فضاهایی مثل کارواش و تعمیرگاه‌ها باشد که آلودگی صوتی بالایی دارند. در فضاهایی مانند رستوران به دلیل همهمه و صدای زیاد، استفاده از این نوع پنل‌ها در ایجاد فضایی آرام و مسرت‌بخش برای مشتریان ضروری است.



شکل ۵-۲۰ پنل‌های آکوستیکی طراحی شده برای فضای داخلی رستوران و تعمیرگاه ماشین

همچنین استفاده از مصالح با تخلخل بیشتر مانند آجر، همراه با پوشش گیاهی در جدار بیرونی ساختمان‌ها علاوه بر زیبایی منظر، میزان انعکاس صدا از سطوح را کاهش خواهد (شکل۵-۲۱).



شکل ۵-۲۱ نمایی از ساختمان‌های با سطوح آجری و همراه با پوشش گیاهی

۵-۲- آشنایی با آخرین فناوری‌های روز دنیا برای کنترل آلودگی صوتی

۵-۲-۱- استفاده از رادار صوتی برای جریمه خودروهای با آلودگی صوتی بالا

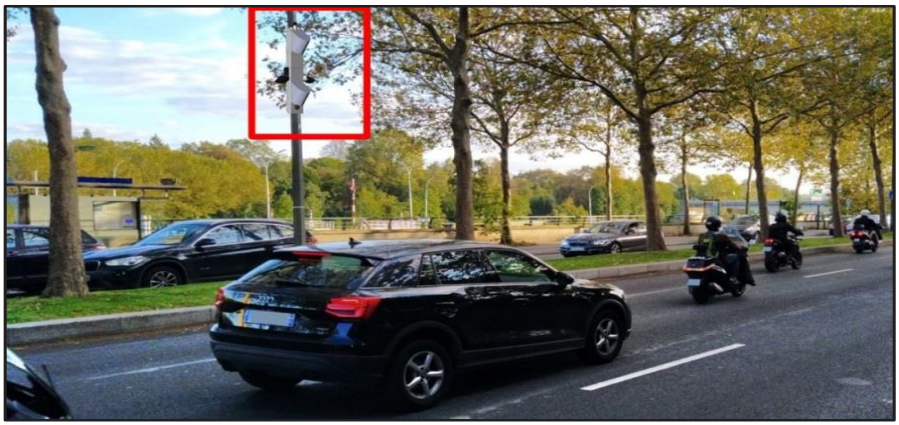
به‌منظور درک بهتر آلودگی صوتی، کشور فرانسه یک دستگاه نوآورانه به نام "JELLYFISH" معروف به حسگر چتر دریایی به کار گرفته که مجهز به ۴ میکروفون است و چندین بار در ثانیه تراز صدا را اندازه‌گیری و منشأ آن را مشخص می‌کند. در واقع این دستگاه علاوه بر ثبت سطح صدا، جهت‌های اصلی منابع انتشار را تعیین می‌کند، سپس با نمایش این "سطوح موضعی" روی یک تصویرسازی ۳۶۰ درجه، "دیدن نویز" ممکن می‌شود. در تجسم‌های تولید شده، سطوح صدا از هر جهت به صورت شش ضلعی یا نقطه‌های رنگی نشان داده می‌شود. کد رنگ استفاده شده، این امکان را فراهم می‌کند که به طور مستقیم شدت سطوح صدا محاسبه شود.



شکل ۵-۲۲ تجسم ردپای صوتی ایجاد شده از عبور موتورسیکلت و نمایش حس‌گر JELLYFISH با چهار میکروفون

کنترل انتشار صدا از وسایل نقلیه موتوری بخشی از مبارزه با آلودگی صوتی است که در قانون محیط‌زیست به رسمیت شناخته شده است. در همین راستا، نمونه اولیه رادار صوتی HYDRA در کشور فرانسه با هدف کنترل و تحریم وسایل نقلیه بسیار پر سر و صدا ساخته شد و از تابستان ۲۰۱۹ برای اهداف مطالعاتی و آموزشی در امتداد چندین جاده مستقر گردید. مرحله اجرای آزمایشی برای شناسایی وسایل نقلیه

پر سر و صدا از ابتدای ژانویه ۲۰۲۲ شروع شده است و تا انتهای دوره آزمایشی ثبت تخلفات بدون اعمال جریمه انجام خواهد شد.



شکل ۵-۲۳ نمایی از رادار صوتی HYDRA

در واقع رادار صوتی HYDRA همان‌طور که در شکل ۵-۲۴ مشخص است از دو حس‌گر "JELLYFISH" که توسط قفس فلزی محافظت می‌شود، دو عدد دوربین LAPI و یک دوربین زاویه باز تشکیل شده است و موتورسیکلت به دلیل صدای غیر مجاز و با تراز صوت حداکثر ۹۲/۷ دسی‌بل در دوربین ثبت تخلف ضبط شده است.



شکل ۵-۲۴ قسمت‌های مختلف رادار HYDRA و نمایی از تصویر ضبط شده توسط دوربین ثبت تخلف

همچنین نمایشگرهایی به طور خاص طراحی شده و به حسگر چتر دریایی مستقر در سایت متصل هستند (شکل ۵-۲۵). این نمایشگرها برای نمایش پیام "خیلی پر سر و صدا" برای رانندگانی که وسیله نقلیه آن‌ها سر و صدای بیش از حد تولید می‌کند، در نظر گرفته شده است. انرژی آن‌ها از باتری‌هایی تأمین می‌شود که روی یک پنل خورشیدی شارژ می‌شوند. آستانه برای نمایش پیام "TOO NOISY" روی ۸۵ دسی‌بل تنظیم شده است، سطح ترازی که هیچ وسیله نقلیه‌ای نباید از آن تجاوز کند و به طور معمول با رعایت محدودیت سرعت مجاز ۵۰ کیلومتر رانندگی ممکن خواهد بود.



شکل ۵-۲۵ تابلو نمایشگر آلودگی صوتی

۵-۳- حفظ مناطق آرام

آلودگی صوتی تأثیر عمده‌ای بر سلامت انسان و محیط‌زیست دارد. حفاظت از مناطقی که هنوز تحت تأثیر صدا قرار نگرفته‌اند، می‌تواند مزایای بهداشتی زیست‌محیطی قابل توجهی برای حفاظت از حیات‌وحش و سلامت انسان داشته باشد. در دستورالعمل صدای محیطی در اروپا، نه تنها بر روی کاهش آلودگی صوتی بلکه بر روی نیاز به حفظ مناطق آرام نیز تأکید شده است. مناطق آرام نه تنها در مناطق روستایی، بلکه در برخی از شلوغ‌ترین شهرهای اروپا نیز یافت می‌شوند. دستورالعمل فوق یک منطقه آرام را فضای بازی تعریف می‌کند که توسط مقامات محلی یا ملی مربوطه تعریف شده است و عمدتاً از سروصداهای مزاحم مانند ترافیک، صنعت یا فعالیت‌های تفریحی به دور است. حتی ابتکارات جالبی برای افزایش آگاهی مردم در این راستا شکل گرفته و تابلوهای خاصی به منظور نصب در این مناطق در کشور سوئد طراحی شده است.

در توضیح ذیل تابلو طراحی شده (شکل ۵-۲۶)، نوشته شده است که شما اکنون در یکی از مکان‌های انتخاب شده توسط شهر استکهلم در پروژه راهنمای سکوت هستید. "**صداهای شهر همیشه وجود دارند، اما آرامش نسبی را باید یافت**".



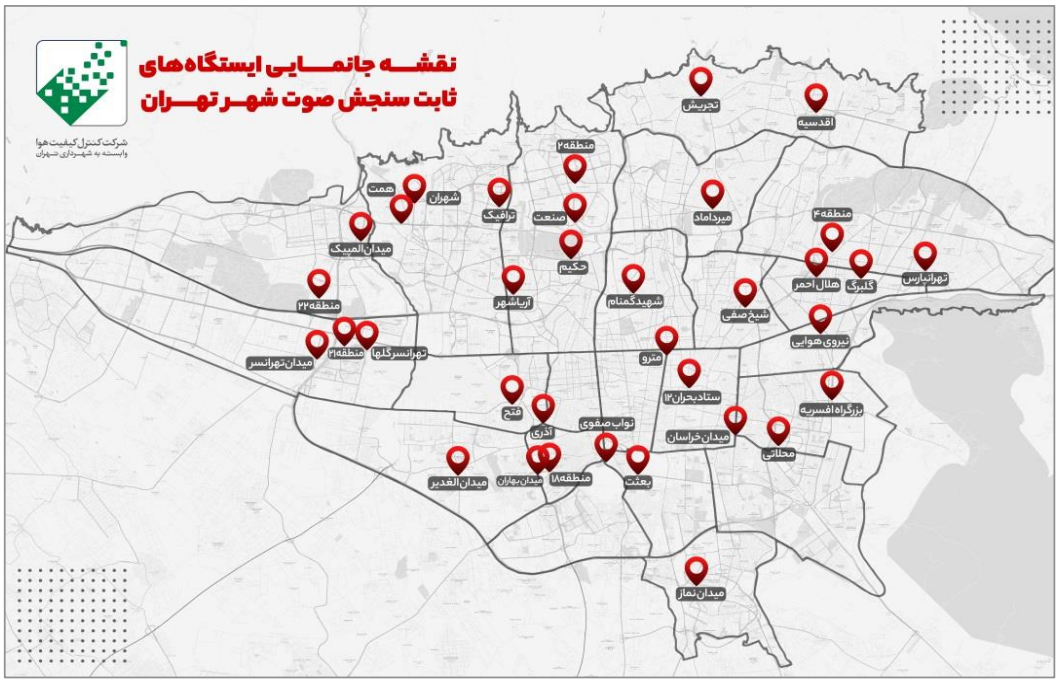
شکل ۵-۲۶ تابلو طراحی شده برای پروژه راهنمای سکوت

۵-۴- گزارش آلودگی صوتی در مناطق شهرداری تهران

کاهش آلودگی صوتی به‌منظور بالا بردن سطح کیفی زندگی و کم کردن اثرات آن بر سلامت شهروندان، به عنوان یکی از معضلات زیست‌محیطی شهر تهران، بر همگان به‌خصوص پیکره شهرداری آشکار می‌باشد. به همین منظور شرکت کنترل کیفیت هوا، پروژه «تهیه نقشه‌های تراز آلودگی صوتی و تعیین نقاط بحرانی» را از ابتداي سال ۱۳۷۹ در منطقه هفت شهرداری تهران آغاز و سپس در سایر مناطق نیز این کار را به اتمام رساند. در این پروژه با استفاده از دو تکنیك مدل‌سازی و اندازه‌گیری که توسط نرم‌افزارها و تجهیزات منحصر به فرد و کاملاً تخصصی انجام می‌شود، نقشه‌های توزیع آلودگی صوتی در سطح تمامی مناطق به دست می‌آید. این نقشه‌ها نشانگر میزان متوسط آلودگی صوتی است که در کاربری‌های مختلف اعم از درمانی، آموزشی، مسکونی، مسکونی ـ تجاری و تجاری در دوره‌های زمانی روز و شب وجود دارد. در نهایت با استفاده از این نقشه‌ها و به دست آوردن نقاط بحرانی آلودگی صوتی، می‌توان راهکارهای مناسب کاهش صدا را در سطح مناطق تشخیص داده و جهت اجرا اولویت‌بندی نمود.

۵-۵- ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران

در راستای بررسی وضعیت آلودگی صدا در شهر تهران، شرکت کنترل کیفیت هوا در حال حاضر با استفاده از ۳۵ ایستگاه فعال، اندازه‌گیری و سنجش تراز صوت شهر تهران را انجام می‌دهد. در شکل ۵-۲۷ جانمایی این ایستگاه‌ها مشخص گردیده است.



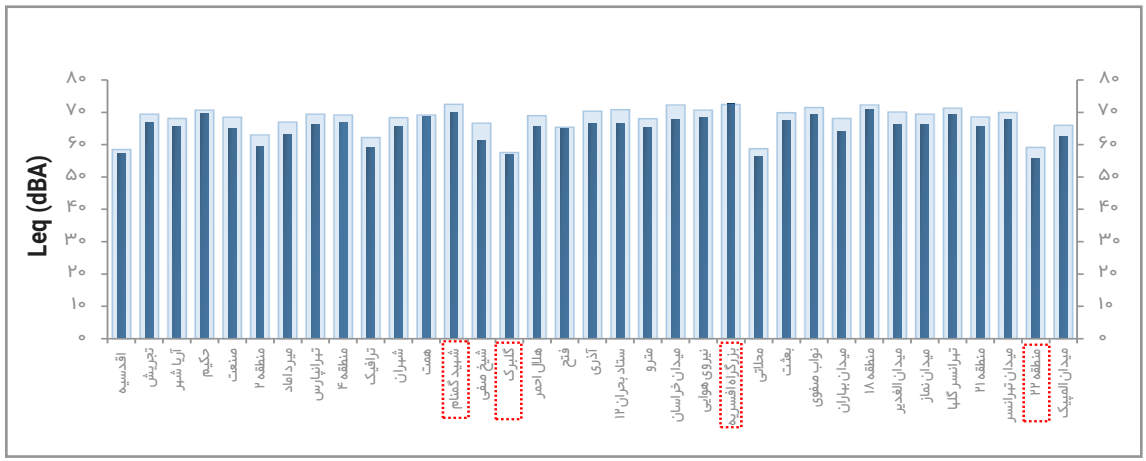
شکل ۵-۲۷ وضعیت استقرار ایستگاه‌های ثابت سنجش آلودگی صدا در شهر تهران

در نحوه انتخاب محل ایستگاه‌ها به موارد متعددی از جمله حفظ فاصله سه متری از موانع، ارتفاع ۴ متر از سطح زمین، نزدیکی به معابر اصلی و بزرگراه‌ها، وجود امنیت در محل نصب ایستگاه (سرقت، دستکاری،...) و دسترسی به منبع تغذیه برق مورد توجه قرار گرفته است.

۵-۶- مقایسه تراز صوتی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت بین مناطق مختلف در سال ۱۴۰۳

در بین ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت، ایستگاه‌های شهید گمنام و گلبرگ به ترتیب با میانگین تراز صوتی ۷۲/۵۵ و ۵۷/۵۵ دسی‌بل بیشترین و کمترین تراز صوتی را برای دوره زمانی روز نشان می‌دهند. ایستگاه‌های بزرگراه افسریه و منطقه۲۲ نیز به ترتیب با میانگین تراز صوتی ۷۲/۸۲ و ۵۵/۶۵ دسی‌بل بیشترین و کمترین تراز صوتی را در دوره زمانی شب نشان می‌دهند (نمودار۵-۱). مقایسه تراز صوتی ایستگاه‌ها در روز و شب نشان می‌دهد، در مناطق مختلف بسته به نوع کاربری‌ها و فعالیت‌های غالب آن منطقه؛ میزان اختلاف تراز صوت بین دوره زمانی روز و شب متفاوت است. در مورد ایستگاه نصب شده در منطقه ۱۴ (بزرگراه افسریه) میانگین تراز صوتی در دوره زمانی روز و شب تقریباً برابر هستند. علت این است که بزرگراه افسریه یکی از شریان‌های اصلی جنوب شرق تهران است که از مبادی ورودی و خروجی پایتخت نیز به شمار می‌آید. عدم محدودیت تردد خودروهای سنگین در طول شبانه‌روز، موجب نزدیکی میانگین تراز صوتی در طول روز و شب شده است. علاوه بر این از آنجایی که استاندارد سطح تراز صدا برای شب ۱۰ دسی‌بل کمتر از روز می‌باشد و با توجه به نحوه محاسبه شاخص روز و شب و اضافه شدن ۱۰ دسی‌بل به عنوان پنالتی(جریمه) در فرمول شاخص شبانه؛ میزان اختلاف بین دو شاخص مذکور بر خلاف انتظارمان کاهش می‌یابد.

لازم به ذکر است با توجه به ماهیت صدا که با افزایش فاصله از منبع صوت، میزان تراز صوت دریافتی کاهش می‌یابد؛ **یک ایستگاه در یک نقطه از منطقه به‌تنهایی نمی‌تواند نماینده آلودگی صوتی کل منطقه باشد.** با این حال، نتایج ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت یک دید کلی نسبت به سطح تراز صدای معابر و مناطق مختلف به مدیران و برنامه‌ریزان شهری می‌دهد. ضمن اینکه مقایسه نتایج ایستگاه‌های سنجش صوت با نتایج مدل‌سازی آلودگی صوتی، میزان صحت و دقت نتایج مدل‌سازی را نیز نشان خواهد داد.



نمودار ۵-۱ مقایسه میانگین تراز صوت ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در مناطق مختلف (دوره زمانی روز وشب) در سال ۱۴۰۳

۵-۷- بررسی نوسانات صدای محیطی با استفاده از شاخص SNR (Signal to Noise Ratio)

در این بخش، به‌جای تکیه صرف بر میانگین تراز صوتی در بازه‌های زمانی روز و شب، از شاخص‌های آماری L_{10} و L_{90} برای هر ایستگاه استفاده شده است. شاخص L_{10} نمایانگر سطح صدایی است که در ۱۰٪ از کل دوره اندازه‌گیری از آن بالاتر بوده‌ایم (یعنی سطوح بلند و گذرای صدا مانند عبور خودروهای سنگین، بوق و ...)، و L_{90} سطحی است که در ۹۰٪ زمان از آن بالاتر بوده‌ایم (که معمولاً نمایانگر نویز زمینه یا سطح پایه صداست).

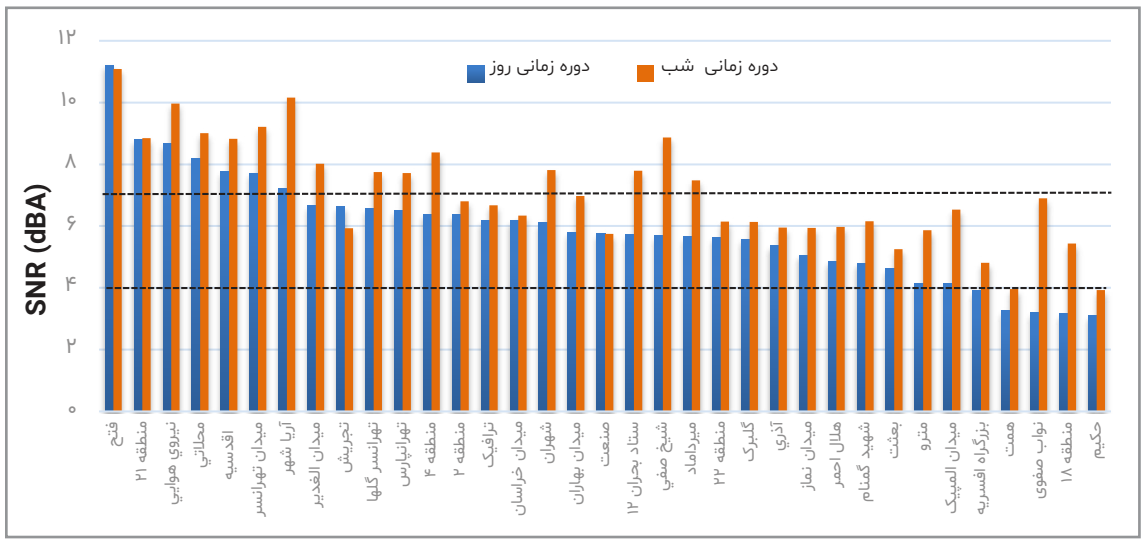
تفاضل این دو مقدار، که در این گزارش با عنوان SNR بیان می‌شود، نمایی از نوسانات صوتی محیط در یک ایستگاه ارائه می‌دهد. این شاخص کمک می‌کند تا بتوان ایستگاه‌هایی را که دارای نوسانات زیاد و پیک‌های صوتی شدید هستند از ایستگاه‌هایی با صدای محیطی پایدار و یکنواخت تفکیک کرد. این نوع تحلیل می‌تواند برای شناسایی منابع گذرا یا مقطعی صدا بسیار مفید باشد؛ موضوعی که با تحلیل صرف بر اساس میانگین‌ها قابل مشاهده نیست و می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریت شهری و برنامه‌ریزی کاربری زمین نقش کلیدی ایفا کند.

در واقع مقدار بالای L_{10}-L_{90} نشان‌دهنده حضور صداهای بلند (مانند عبور خودروهای سنگین، بوق یا صداهای ناگهانی) در کنار نویز پایدار زمینه است که باعث آزاررسانی بیشتر می‌شود؛ در حالی‌که مقدار پایین‌تر این شاخص، بیانگر یکنواختی و ثبات سطح صدا در محیط است.

در این مطالعه، شاخص SNR (اختلاف بین L_{10} و L_{90}) به سه بازه تقسیم شده است. **مقادیر کمتر از ۴ دسی‌بل** نشان‌دهنده‌ی محیط صوتی پایدار و نوسانات کم است. قابل ذکر است که نوسانات کم لزوماً به معنی سطح تراز صدای پایین نمی‌باشد. به عنوان مثال، ایستگاه ثابت سنجش صوت در بزرگراه حکیم با میانگین تراز صدای ۷۰/۷۲ و ۶۹/۵۸ در روز و شب در این دسته قرار گرفته است. علت، قرارگیری ایستگاه مذکور در مجاور بزرگراه است که جریان ترافیک یکنواختی در طول روز و شب دارد و به همین دلیل نوسانات صدا نیز کمتر است. **مقادیر بین ۴ تا ۷ دسی‌بل** بیانگر نوسانات متوسط است که مطابق نمودار ۵-۲ اکثریت ایستگاه‌ها در این طبقه قرار گرفته‌اند. **مقادیر بیش از ۷ دسی‌بل** نشان‌دهنده‌ی نوسان زیاد در سطح صدا هستند. نوسان زیاد می‌تواند مانند ایستگاه محلاتی به دلیل

قرارگیری در محیط آرام باشد که به دلیل پایین بودن سطح صدای زمینه، صداهای ناگهانی باعث افزایش L_{10} و به دنبال آن افزایش SNR خواهد شد. همچنین نوسان بالا می‌تواند به دلیل منابع صوتی ناپایدار با صدای متناوب، مثل قرارگیری در مجاور فرودگاه (ایستگاه فتح، منطقه ۲۱ و تهرانسر) و خطوط ریلی باشد.

همچنین بر اساس نمودار ۵-۲ بیشتر ایستگاه‌ها در شب نوسان بیشتری نسبت به روز دارند. در شب معمولاً به دلیل کاهش ترافیک و فعالیت‌های شهری، صدای زمینه (L_{90}) کاهش پیدا می‌کند ولی پیک‌ها (L_{10}) به دلیل عبور وسایل نقلیه سنگین، موتورسیکلت یا صداهای لحظه‌ای هنوز بالا است و **این مناطق مستعد ایجاد اختلال در خواب و افزایش استرس برای ساکنین آنجا می‌باشد.**



نمودار ۵-۲ مقایسه شاخص SNR بین ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت (دوره زمانی روز وشب) در سال ۱۴۰۳

۵-۸- مقایسه آماری تراز صوت ایستگاه‌های سنجش صوت در سال ۱۴۰۳

اکثر ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در مجاورت مناطق با کاربری تجاری ـ مسکونی نصب شده‌اند و استاندارد منطقه تجاری ـ مسکونی برای دوره زمانی روز ۶۰ و برای شب ۵۰ دسی‌بل است. با مراجعه به نمودار ۵-۳ که در آن میزان تراز صدا برای تمامی ایستگاه‌ها در دو دوره زمانی روز و شب برحسب ساعت‌های مختلف شبانه‌روز در سال ۱۴۰۳ رسم شده است، دیده می‌شود که در هر دو بازه زمانی (روز و به ویژه شب) میزان تراز صدا از حد استاندارد کاربری تجاری - مسکونی [۱] بالاتر است.

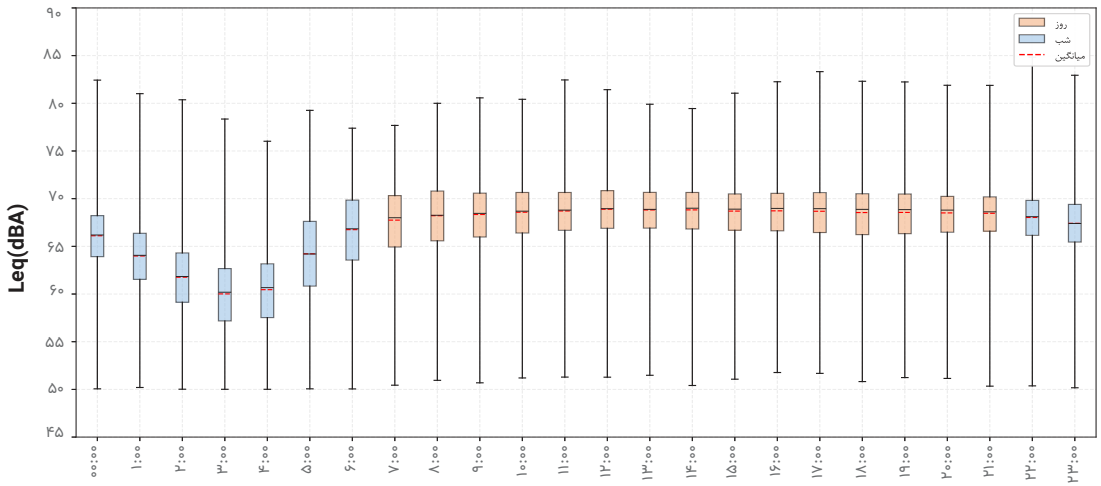
اگرچه برای ارائه و اجرای راهکارهای کنترلی به صورت اختصاصی، نیاز است سطح تراز صدا به صورت محلی و برای هر ایستگاه سنجش صوت به صورت جداگانه بررسی شود؛ اما بررسی تجمعی داده‌های ایستگاه‌ها و نمودار مقایسه‌ای برای کل شهر، می‌تواند بیانگر روند کلی تغییرات باشد و دید جامعی نسبت به وضعیت شهر در اختیار مدیران شهری قرار خواهد داد.

همانگونه که در نمودار ذیل مشخص است، تفاوت زیاد بین حداقل و حداکثر فشار صوت و همچنین پهنای باکس پلات، نشان از تغییرات و نوسانات زیاد سطح تراز صدا در طول روز و شب دارد. به عبارتی تفاوت زیاد بین حداقل و حداکثر تراز صوت و ناهمگونی صدا، به معنی پتانسیل آزاردهندگی بیشتر

۱-نوع کاربری مجاور ۹۰ درصد از ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت، تجاری ـ مسکونی است.

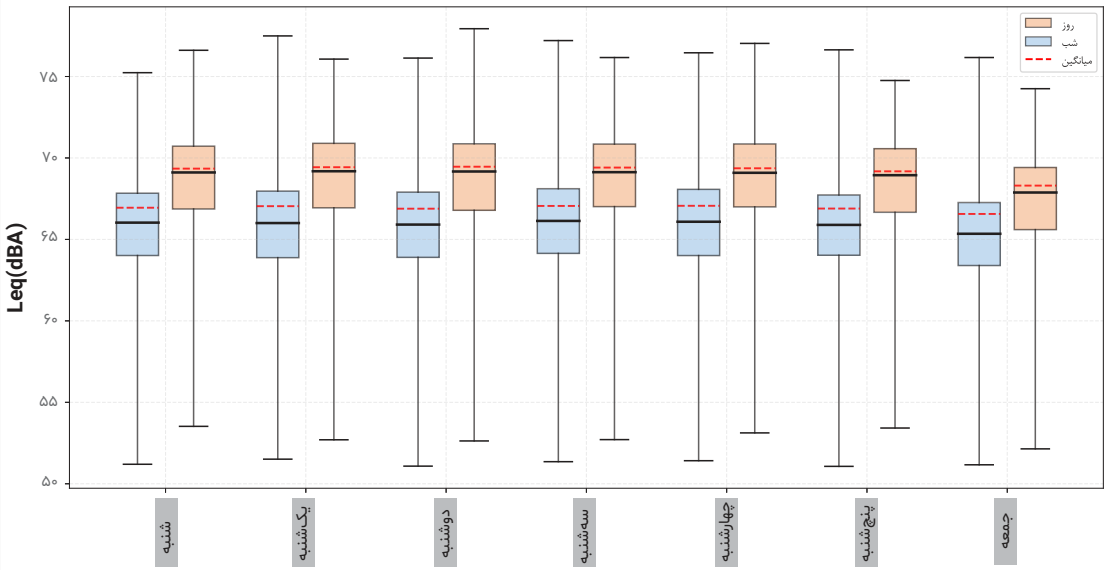
برای افراد است. این در حالی است که طبق جدول استانداردهای آلودگی صوتی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران در هنگام شب، محیط باید به اندازه ۱۰ دسی‌بل آرام‌تر و کم سروصدا تر از روز باشد. از آنجایی که انتظار داریم با کاهش فعالیت‌های شهری و ترافیک در طول شب، سطح تراز صدای بیشینه کاهش یابد ولی بر اساس نمودار ۵-۳ بالا بودن سطح صدای بیشینه در شب، می‌تواند به دلیل منابع صدای متناوب و ناگهانی، مانند عبور وسایل نقلیه سنگین به دلیل مجوز تردد شبانه باشد. این صداها اغلب اثرات مخرب‌تری بر سلامت روانی افراد و خواب آنها دارند.

لازم به توضیح است، با توجه به این‌که در بحث آلودگی صوتی، میانگین لگاریتمی (LAeq) دارای اهمیت بالایی است، این شاخص در باکس پلات به‌صورت نقطه چین و با رنگ قرمز نمایش داده شده است.



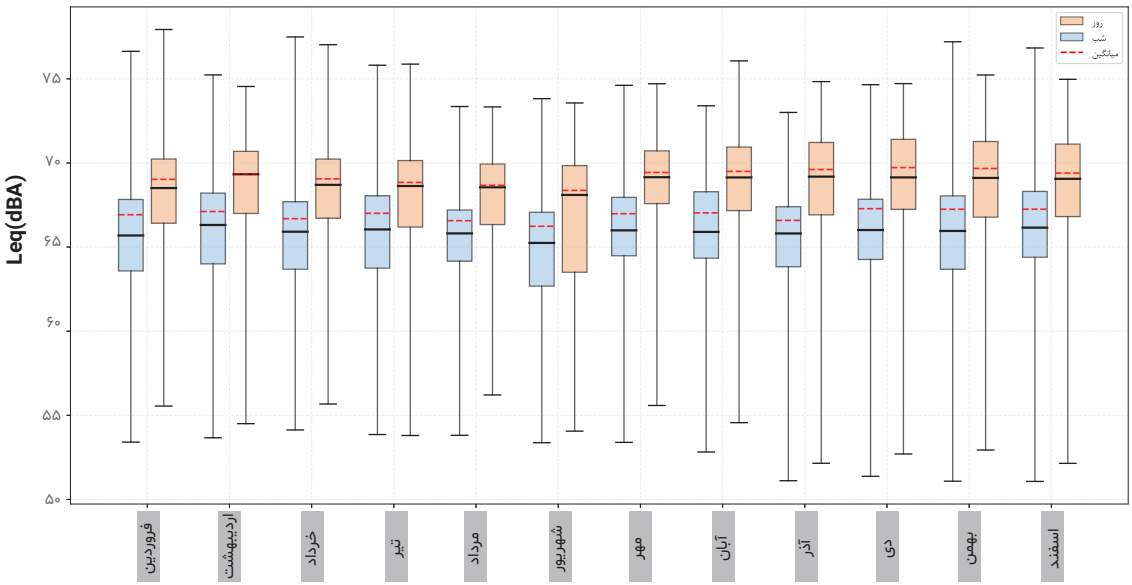
نمودار ۵-۳ مقایسه سطح تراز صوتی ساعت‌های مختلف شبانه‌روز، در تمامی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت سال ۱۴۰۳

مقایسه میانگین تراز صوتی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در دوره زمانی روز و شب برحسب روزهای هفته در سال ۱۴۰۳، در نمودار ۵-۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌گردد، به طور کلی میانگین تراز صدا در روز (باکس نارنجی) حدود ۲ تا ۳ دسی‌بل بیشتر از شب (باکس آبی) است و روزهای جمعه و پنج‌شنبه به دلیل کاهش حجم تردد خودروها؛ میانگین تراز صوت به نسبت روزهای کاری کمتر است. کمترین میانگین تراز صوت در دوره زمانی روز و شب به ترتیب ۶۸/۳۰ و ۶۶/۵۹ دسی‌بل است که مربوط به روز جمعه است. فاصله بین چارکی (پهنای جعبه)، نشان دهنده میزان نوسانات تراز صدا می‌باشد و تقریباً برای همه روزها ثابت است. میانگین روزانه بالاتر از شبانه است و در روز جمعه، هم میانه و هم میانگین در کمترین مقدار هستند. بیشینه‌ها نسبتاً پایدارند و بیشتر در محدوده ۷۴ تا ۷۷ دسی‌بل قرار دارند. حداقل صدای ثبت شده نیز تقریباً پایدار و نزدیک به ۵۰ دسی‌بل است. در خصوص آلودگی صوتی، به دلیل ماهیت لگاریتمی صدا، میانگین لگاریتمی (LAeq) از میانه مهم‌تر است. نقطه چین قرمز معرف سطح میانگین لگاریتمی تراز صدا می‌باشد که در طول روز نسبت به شب با میانه فاصله کمتری دارد. میانگین بیشتر از میانه به این معناست که احتمالاً برخی لحظات پیک‌دار (ناگهانی) یا رویدادهای خاص صوتی در برخی ایستگاه‌ها رخ داده است.



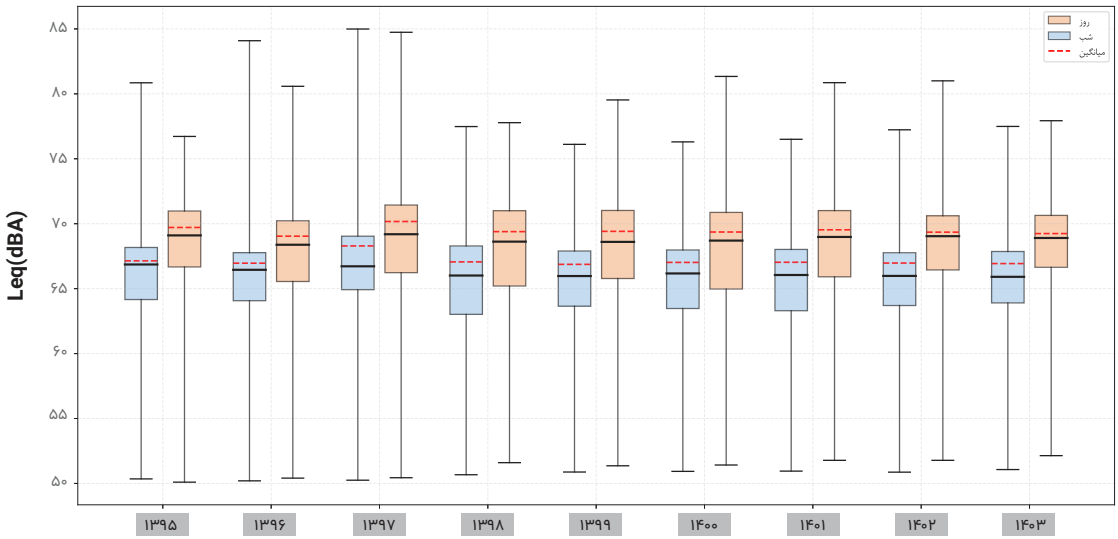
نمودار ۵-۴ مقایسه میانگین تراز صوتی روزهای مختلف هفته در تمامی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت سال ۱۴۰۳

با مراجعه به نمودار ۵-۵ که در آن میانگین تراز صدا برای دو دوره زمانی روز و شب برحسب ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۳ در ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت رسم شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، تراز صدای معادل برای دوره زمانی روز در ماه‌های مختلف تقریباً بین ۶۸/۳۷ تا ۶۹/۷۳ دسی‌بل و میانگین تراز صوت در دوره زمانی شب بین ۶۶/۲۴ تا ۶۷/۲۸ دسی‌بل است.



نمودار ۵-۵ مقایسه میانگین تراز صوتی ماه‌های مختلف سال در تمامی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت سال ۱۴۰۳

میانگین تراز صدای ایستگاه های سنجش صوت بین سال های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ در نمودار ۵-۶ رسم شده است.



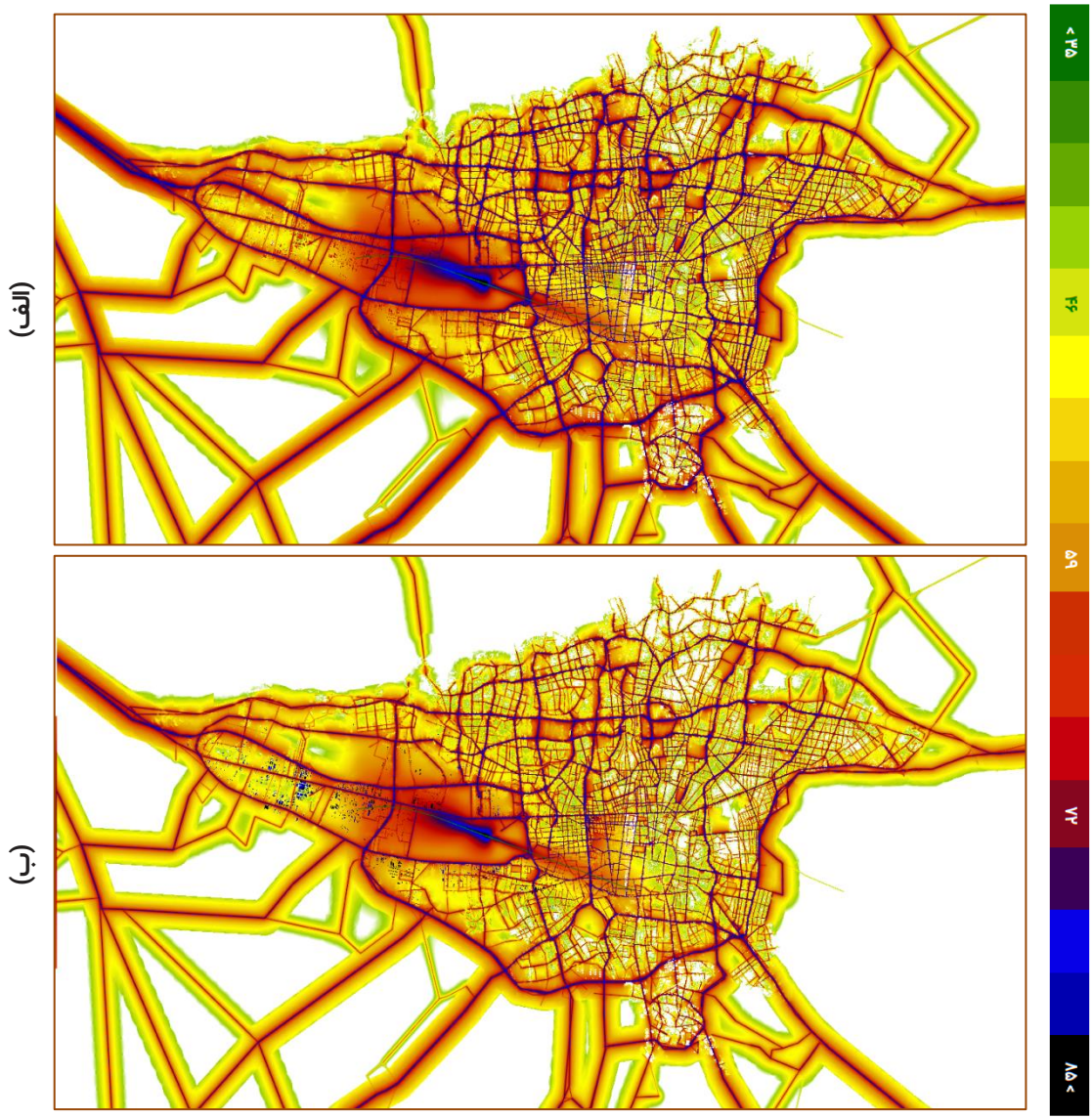
نمودار ۵-۶ مقایسه میانگین تراز صوتی سال‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت سال ۱۴۰۳

۵-۹- نتایج حاصل از مدل‌سازی آلودگی صوتی

۵-۹-۱- مدل‌سازی صدای ترافیک جاده‌ای و خطوط هوایی

نتایج حاصل از مدل‌سازی آلودگی صوتی شهر تهران در دو دوره زمانی روز و شب بر اساس داده‌های ترافیکی سال ۹۶ در شکل ۵-۲۸ ارائه شده است. همان‌طور که در نقشه‌های تهیه شده توسط نرم‌افزار تخصصی صدا[1] مشاهده می‌شود، میزان تراز صدا بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی در مناطق و ساختمان‌های هم‌جوار با بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی بالای ۷۵ دسی‌بل است 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. منطقه ۹ از جمله مناطقی است که علاوه بر صدای ترافیک، صدای ناشی از عبور هواپیماهای فرودگاه مهرآباد نیز از دیگر منابع تولیدکننده آلودگی صوتی در آن می‌باشد. همچنین لکه‌های بزرگ سفید رنگ بر روی نقشه به دلیل وجود فضای سبز وسیع، مانند پارک‌های جنگلی چیتگر، سرخه‌حصار، بوستان ولایت و ... است. در مناطقی هم که فضای سبز وجود ندارد اما همچنان لکه‌های سفید رنگ قابل مشاهده است، به دلیل در دسترس نبودن و یا عدم دقت کافی در داده‌های ساختمانی است.

1. CadnaA

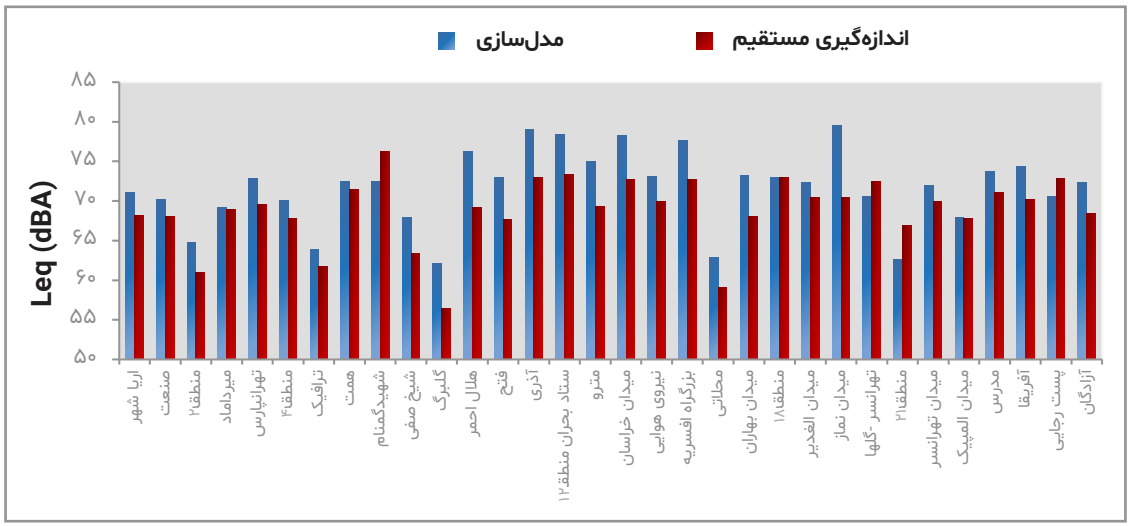


شکل ۵-۲۸ تصویر مدل‌سازی تراز صوت شهر تهران در دوره زمانی روز (الف) و در دوره زمانی شب (ب)

۵-۹-۲- مقایسه نتایج مدل‌سازی با اندازه‌گیری مستقیم

بعد از ترسیم نقشه تراز صوتی توسط نرم‌افزار مدل‌ساز صوت، جهت اطمینان و صحت‌سنجی نقشه‌ها از نتایج اندازه‌گیری ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت استفاده گردید. درصورتی‌که نتایج مدل ۳± دسی‌بل با نتایج اندازه‌گیری مستقیم تفاوت داشته باشند، نتایج قابل‌قبول خواهند بود. به منظور به حداقل رساندن تأثیر سطوح انعکاسی، ایستگاه‌های موقت در مجاورت بزرگراه‌ها جانمایی شدند. لازم به توضیح است به دلیل عدم دسترسی به تمامی داده‌های ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت، مقایسه بین نتایج مدل‌سازی و اندازه‌گیری مستقیم تنها در مورد تعدادی از ایستگاه‌ها صورت گرفت.

با توجه به نمودار ۵-۷، بین نتایج مدل‌سازی و ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت همبستگی قابل قبولی مشاهده می‌گردد (R^2=0.57). از آنجایی‌که داده‌های ترافیکی استفاده شده در مدل‌سازی نقشه تراز صوت، نتیجه یک مدل ترافیکی (EMME/2) است و قطعاً مانند سایر مدل‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشد، لذا داده‌های ترافیکی در بزرگراه‌ها دارای دقت بالاتری بوده و در معابر شریانی درجه یک، دو و معابر فرعی، به نسبت از دقت داده‌ها کاسته می‌شود. بنابراین در نقاطی که ایستگاه‌ها از معابر اصلی فاصله زیادی داشته باشند، اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهدات مستقیم مشخص‌تر خواهد بود.



نمودار ۵-۷ مقایسه نتایج مدل‌سازی با نتایج اندازه‌گیری مستقیم

۵-۱۰- حریم صوتی بزرگراه‌های شهر تهران

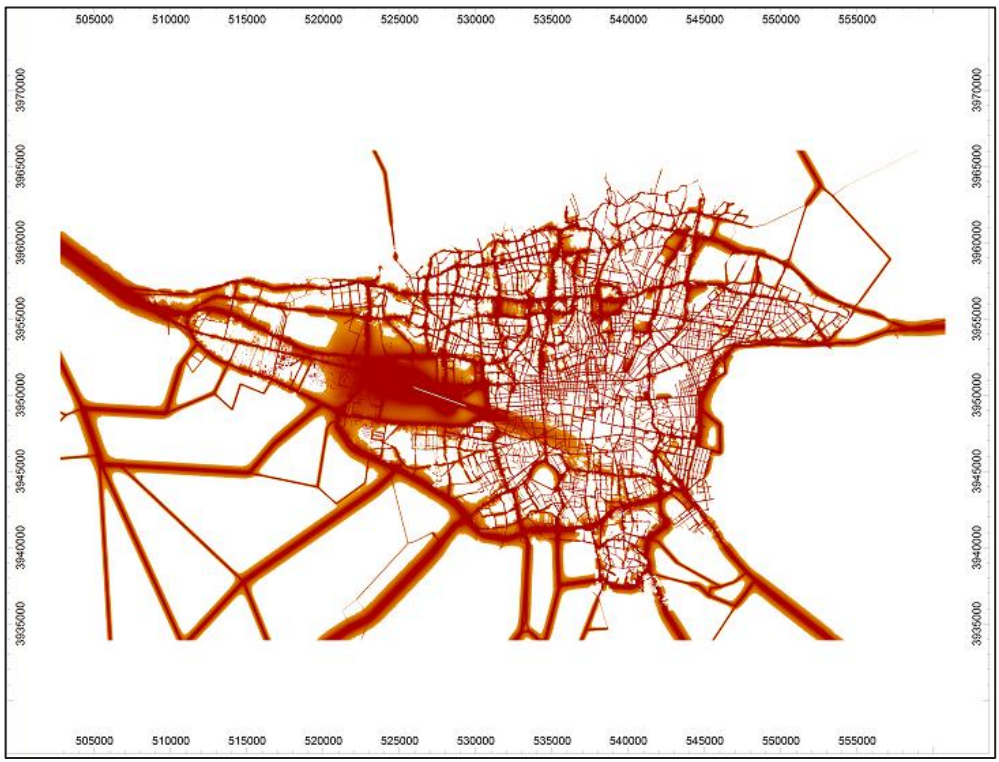
به کل اراضی طولی و عرضی که برای جاده‌سازی، تعریض، اقدامات راهداری و ایمنی بین حد نهائی تا محور راه (آکس راه) در طرفین با رعایت قوانین و مقررات اختصاص می‌یابد حریم راه گفته می‌شود. اولین مقررات مربوط به تعیین درجه و میزان حریم راه‌ها در سال ۱۳۴۶ در هیئت‌وزیران به تصویب رسیده و بر اساس آن راه‌های کشور بر اساس اهمیت آن‌ها در شبکه راه‌ها درجه‌بندی شده‌اند.
تعیین حریم جهت دست‌یابی به اهداف زیر در نظر گرفته‌شده است:

الف) توسعه، تعریض و بهسازي راه در آینده
ب) تأمین ایمنی عبور و مرور
پ) تسهیل در عملیات راهداری
ت) وجود فضاي لازم جهت نصب تجهیزات ایمنی
ث) زهکشی و حفر کانال در طول و طرفین راه
ج) احداث راه‌های دسترسی، راه جانبی و پیاده‌رو
چ) درختکاري و فضای سبز
ح) جلوگیري از صدمات وارده به ابنیه اطراف
خ) جلوگیری از رسیدن ارتعاشات و آلودگی صوتی به ساکنین اطراف حریم

لازم به توضیح است، در کشور ایران تعیین حریم بزرگراه‌ها تا به امروز با هدف صوت و کاهش اثرات آن نبوده است. با تصویب لایحه "برنامه عملیاتی کاهش آلودگی صوتی شهر تهران" ابلاغی شوراي محترم اسلامي شهر به شماره ۱۶۰/۲۱۱۵/۲۳۶۲۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۹/۰۷، تعیین حریم صوتی بزرگراه‌ها الزامی و تهیه نقشه آن به شرکت کنترل کیفیت هوا محول گردیده است.

نقشه حریم صوتی بزرگراه‌ها بر اساس نقشه تراز صوتی شهر تهران تهیه و توسط سازمان فناوری اطلاعات در تاریخ ۱۳۹۹/۰۵/۰۸ بر روی لایه طرح تفصیلی تهران بارگذاری گردید.

همان‌طور که در شکل ۵-۲۹ مشاهده می‌گردد، نقشه حریم صوتی به سه بخش تقسیم می‌شود که با سه رنگ متفاوت نشان داده شده است. رنگ قرمز نشان‌دهنده مناطق بحرانی با تراز صوتی بالای ۶۵ دسی‌بل است که مراکز حساس به صدا نباید در این محدوده قرار بگیرند. محدوده نارنجی‌رنگ که تراز صوتی آن بین ۵۵ تا ۶۵ دسی‌بل است و در صورت قرارگیری مراکز حساس در این نواحی باید از راه‌کارهای کاهشی استفاده گردد. مناطق سفیدرنگ نیز محدوده امن بوده و دارای تراز صوتی استاندارد (۵۵ دسی‌بل) است [۲۳].



شکل ۵-۲۹ نقشه حریم صوتی بزرگراه‌های شهر تهران

با توجه به جدید بودن موضوع حریم صوتی در کشور، در شرایط کنونی بسیاری از مناطق مسکونی و مراکز حساس، بدون رعایت فاصله در حاشیه بزرگراه‌ها قرار گرفته‌اند. استاندارد در نظر گرفته شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست برای مناطق مسکونی در دوره زمانی روز و شب به ترتیب ۵۵ و ۴۵ دسی‌بل است. لذا پیشنهاد می‌گردد در محدوده قرمز رنگ (بالای ۶۵ دسی‌بل) با توجه به تفاوت زیاد بین میانگین تراز صوت شرایط موجود با استاندارد در نظر گرفته شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست؛ قوانینی به منظور ممنوعیت ساخت و ساز به ویژه برای مراکز حساس به صدا مانند مراکز آموزشی و درمانی وضع گردد. همچنین برای ساختمان‌های موجود از ترکیب چندین راه‌کار کاهشی استفاده شود و اجرای مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان با نظارت و سختگیری بیشتری اعمال گردد.

۵-۱۰-۱- حریم صوتی برای کاربری‌های حساس (مسکونی، آموزشی و درمانی)

منازل مسکونی و مراکزی از قبیل مراکز درمانی و آموزشی مراکزی هستند که نباید در نواحی پرترافیک و پرسروصدای شهر واقع شوند و علاوه بر آن لازم است که در صورت امکان، به شعاع ۵۰ تا ۱۰۰ متر از بزرگراه فاصله داشته باشند.

تحقیقات نشان می‌دهد مواجهه با صدای محیط می‌تواند برای دانش‌آموزان پیامدهایی نظیر اختلال در درک مطلب، بی‌توجهی، مشکل رفتار غیرطبیعی، اختلال در ارتباط با همسالان و یادآوری تأخیری داشته باشد. این در حالی است که افزایش روزافزون تعداد خودروها در معابر شهر تهران و حجم بالای ترافیک شهری و همچنین صدای ناهنجار ناشی از آن، وضعیت این شهر را با بحران مواجه ساخته است. وضعیت آلودگی صوتی در مراکز درمانی به‌مراتب بحرانی‌تر از مراکز آموزشی می‌باشد، زیرا در مورد مراکز درمانی دوره زمانی شب نیز مطرح است. در دوره زمانی شب طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست، محیط باید به اندازه ۱۰ دسی‌بل آرام تر و کم سروصدا تر از دوره زمانی روز باشند و این در صورتی است که اگر تعداد وسایل نقلیه عبوری در ناحیه موردنظر نصف گردد، میزان تراز صوت تنها حدود ۲ تا ۳ دسی‌بل کاهش خواهد یافت.

در ارتباط با مراکز حساس به صدا بخصوص مدارس و بیمارستان‌ها علاوه بر صدای بیرون ساختمان، سطح تراز صدای داخلی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا استفاده از پنل‌های اکوستیکی، آموزش و ارتقاء آگاهی دانش‌آموزان و کارمندان مدارس و مراکز درمانی برای کاهش صدای محیط داخلی، ارزیابی دوره‌ای سطح صدا در مراکز یاد شده و استفاده از نمایشگرهای صوتی از بهترین راهکارهای پیشنهادی است.



شکل ۵-۳۰ تابلوهای نمایشگر آلودگی صوتی

در سال ۲۰۰۹، سازمان بهداشت جهانی (WHO) دستورالعمل‌های صدای شب را برای اروپا منتشر کرد [۲۴].این نشریه شواهد جدیدی از آسیب سلامتی ناشی از قرار گرفتن در معرض سروصدای شبانه ارائه و مقادیر آستانه‌ای را توصیه کرد که اگر در شب نقض شوند، سلامتی را تهدید می‌کنند. با توجه به دستورالعمل ۲۰۰۲/۴۹/EC، برای محافظت از مردم به ویژه گروه‌های آسیب‌پذیر شامل کودکان، بیماران مزمن و سالمندان سطح تراز صدای شبانه ۴۰ دسی‌بل توصیه می‌شود. با این حال سطح تراز صدای ۵۵ دسی‌بل برای استاندارد صدای شبانه، به عنوان یک هدف موقت برای کشورهایی توصیه می‌شود که به دلایل مختلف نمی‌توانند در کوتاه مدت از دستورالعمل‌های صدا در شب پیروی کنند و سیاست‌گذاران می‌بایست رویکردی گام‌به‌گام را اتخاذ نمایند.

۵-۱۱- راه‌کارهای کاهش و کنترل سروصدا

افزایش جمعیت شهرها و بیشتر شدن تعداد خودروها منجر به افزایش ظرفیت محورهای اصلی و شبکه‌های بزرگراهی خواهد شد. در چنین شرایطی تعریض معبر، استفاده از فضاهای زیرزمینی یا اقدام به احداث یک محور جدید ازجمله اقدامات ضروری است. هم‌زمان با طراحی و اجرای هر یک از این گزینه‌ها، باید برای به حداقل رساندن تبعات اجتماعی، اقتصادی و البته زیست‌محیطی ناشی از افزایش ظرفیت معابر تلاش کرد. بدون شک وقتی تعداد لاین‌های ترافیکی یک معبر دو یا چند برابر شود، آلودگی صوتی ناشی از تردد خودروها نیز به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد.

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که به‌طورکلی در تعداد زیادی از نواحی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، آلودگی صوتی بیش از حد استاندارد است و با توجه به این‌که منبع اصلی تولید صدا در محیط‌های شهری تردد خودروها می‌باشد، لذا اکثر روش‌های کنترلی، جهت ممانعت از انتشار صدا از خیابان‌ها به نواحی اطراف می‌باشد. از مهم‌ترین روش‌های کنترلی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استفاده از خودروها و موتورسیکلت‌های با صدای کمتر و از رده خارج کردن خودروهای فرسوده
- استفاده از دیوارهای صوتی ثابت (مجاور بزرگراه‌ها) و متحرک (مجاور پروژه‌های ساختمانی و عمرانی)
- جلوگیری از تردد خودروهای سنگین در خیابان‌های فرعی در شب و اجرای مقررات سخت‌گیرانه جهت بهره‌برداری از خودروهای سنگین با صدای کمتر
- استفاده از پوشش‌های گیاهی مناسب
- استفاده از آسفالت‌های متخلخل
- ایجاد تسهیلات نظیر پارکینگ و غیره در مراکز شلوغ، جهت جلوگیری از ازدحام خودروها، کاهش بار ترافیکی و افزایش ظرفیت معابر خیابانی
- الزام تست صدای خودروهای سبک، سنگین، موتورسیکلت‌ها و ماشین‌آلات مورد استفاده در فعالیت‌های ساختمانی و عملیات عمرانی در مراکز معاینه فنی
- عایق‌بندی درها، پنجره‌ها و دیوارهای ساختمان‌ها (اعمال قانون و نظارت بر حسن اجرای مبحث

۱۸ مقررات ملی ساختمان)

- رعایت حریم صوتی بزرگراه‌ها (در نظر گرفتن فاصله مناسب بین مناطق مسکونی و بزرگراه)
- برنامه‌های آموزشي مرتبط با اهداف طرح کاهش آلودگی صوتی

یکی از شناخته‌شده‌ترین این راهکارها برای کنترل آلودگی صوتی در مسیرهاي شهری، نصب دیوارهای صوتی مناسب در مجاورت مکان‌هایی با کاربری‌های حساس به صدا مانند مراکز آموزشی، درمانی و مسکونی است که البته امکان‌سنجی برای نصب دیوار صوتی و انتخاب جنس، شکل، ارتفاع، ضخامت و طول آن بحث بسیار گسترده‌ای است که باید موردتوجه قرار بگیرد.

هم‌اکنون دیوارهای صوتی در بزرگراه‌های کردستان، حکیم، شهید صیاد شیرازی، آزادگان، شهید خرازی، شیخ فضل‌الله نوری، یادگار امام و بزرگراه طبقاتی صدر نصب شده‌اند.

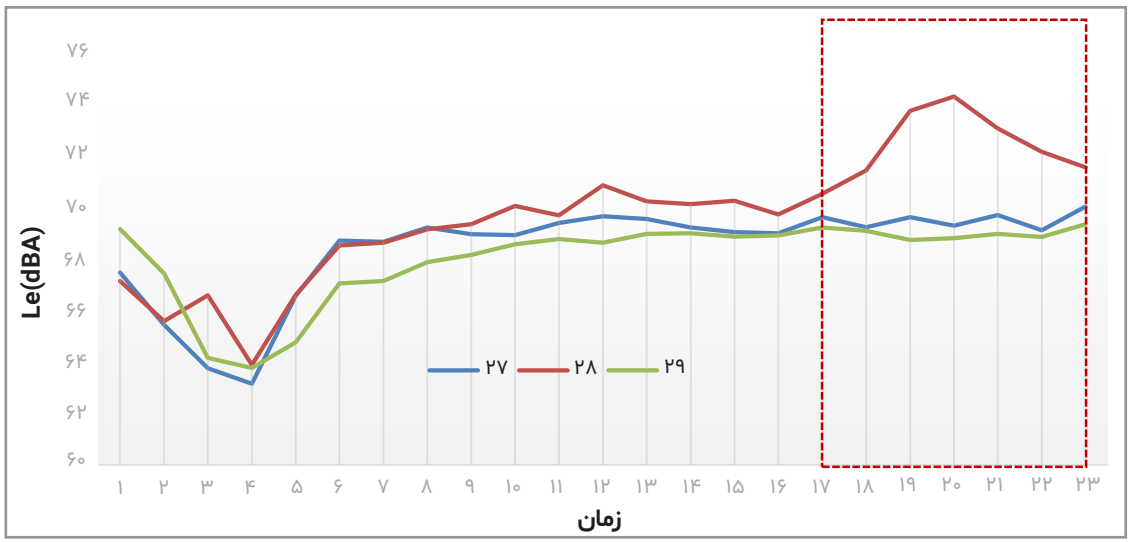
نصب دیوار صوتی در بزرگراه‌ها اگرچه راه‌حلی مناسب و بسیار کارآمد است و تراز صوت را بین ۱۰ تا ۲۰ دسی‌بل کاهش می‌دهد، اما به دلیل هزینه بسیار زیاد آن و محدودیت ارتفاع باید دیگر روش‌های کنترلی مانند استفاده از پنجره‌های چند جداره استاندارد و آسفالت متخلخل را نیز مدنظر قرارداد. این مسئله را نباید فراموش کرد که پیشگیری بهتر از درمان است. اگرچه تا به امروز در کشور مفهومی به نام "حریم صوتی بزرگراه‌ها"، مطرح نبوده است، اما بسیاری از کشورهای پیشرفته با وضع قوانینی در این رابطه توانسته‌اند تراز صوت را به شکل قابل‌ملاحظه‌ای برای ساکنین مجاور بزرگراه‌ها کاهش دهند.

۵-۱۲- بررسی اثر شرایط جوی و مناسبت‌های مختلف بر روی میانگین تراز صوت شهر تهران

۵-۱۲-۱- افزایش تراز صوت تهران در چهارشنبه سوری سال ۱۴۰۳تهران

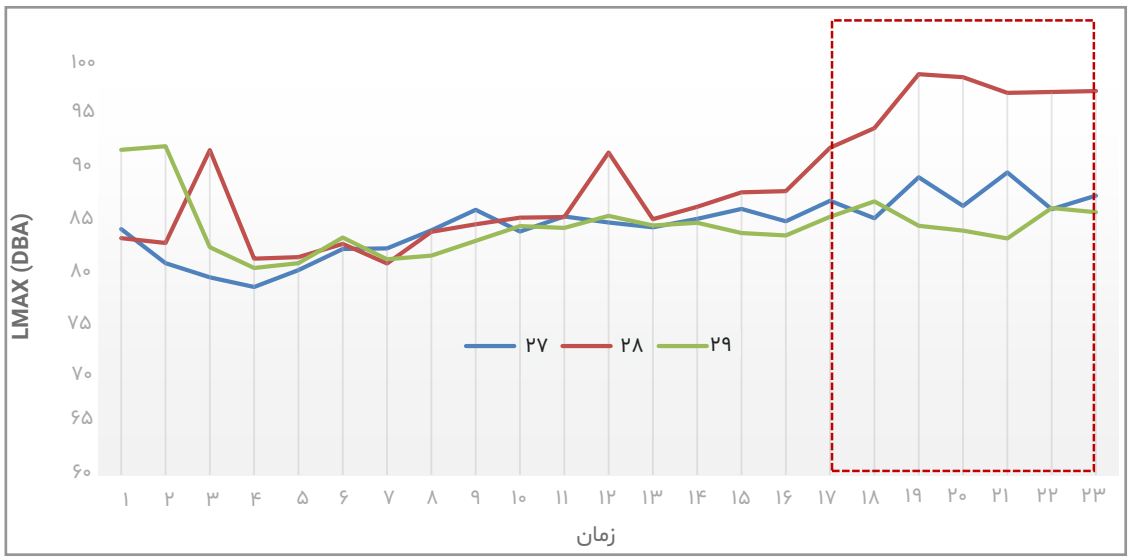
بر اساس نتایج ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت شرکت کنترل کیفیت هوا و با توجه به برگزاری مراسم چهارشنبه سوری و استفاده از مواد منفجره، بیشترین افزایش سطح تراز صدا مربوط به ساعات بین ۱۷ تا ۲۳ سه‌شنبه ۲۸ اسفند می‌باشد. حداکثر تراز معادل ثبت شده در ساعت ۸ شب به میزان ۷۴/۲۱ دسی‌بل است.

مقایسه میانگین تراز صدای ساعتی در ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در روز دوشنبه (۲۷ اسفند) و سه‌شنبه (۲۸ اسفند) نشان داد، بیشترین افزایش آلودگی صوتی در محدوده زمانی ذکر شده در حدود ۵ دسی‌بل بوده است. (نمودار ۵-۸).



نمودار ۵-۸ مقایسه میانگین تراز صوت ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در روزهای دوشنبه، سه شنبه و چهارشنبه مورخ ۲۸،۲۷ و ۲۹ اسفند ماه ۱۴۰۳

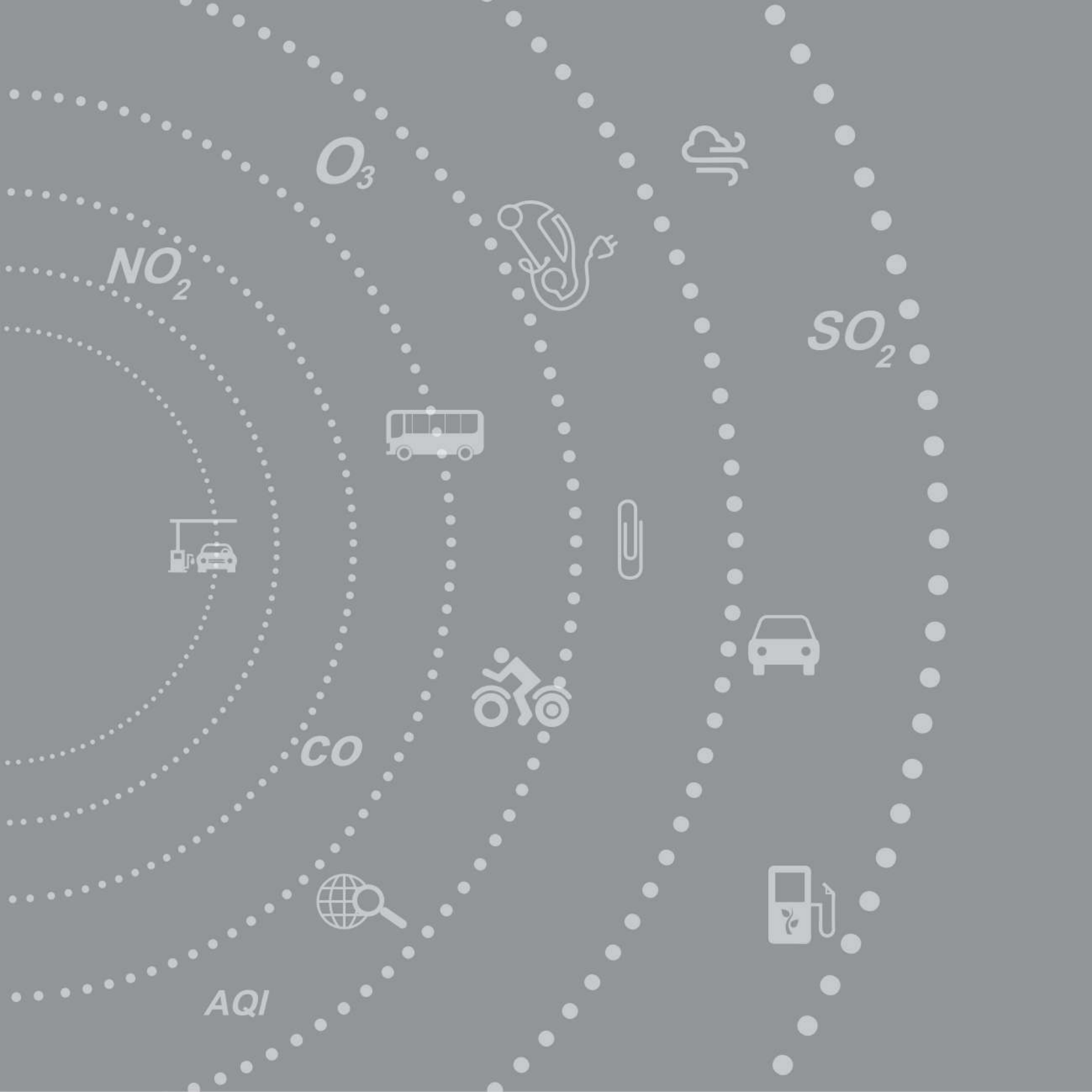
لازم به ذکر است استفاده از مواد محترقه به دلیل ایجاد صدای انفجار و افزایش تراز صوت به صورت لحظه‌ای، حداکثر تأثیر را بر روی تراز صوت بیشینه (Lmax) خواهد داشت. که بر اساس نتایج ایستگاه‌ها مشخص گردید در همین بازه زمانی میزان افزایش تراز صوت حداکثر ۱۱ دسی‌بل بوده و بیشینه تراز صدا در این روز به عدد ۹۶ دسی‌بل رسید (نمودار ۵-۹).

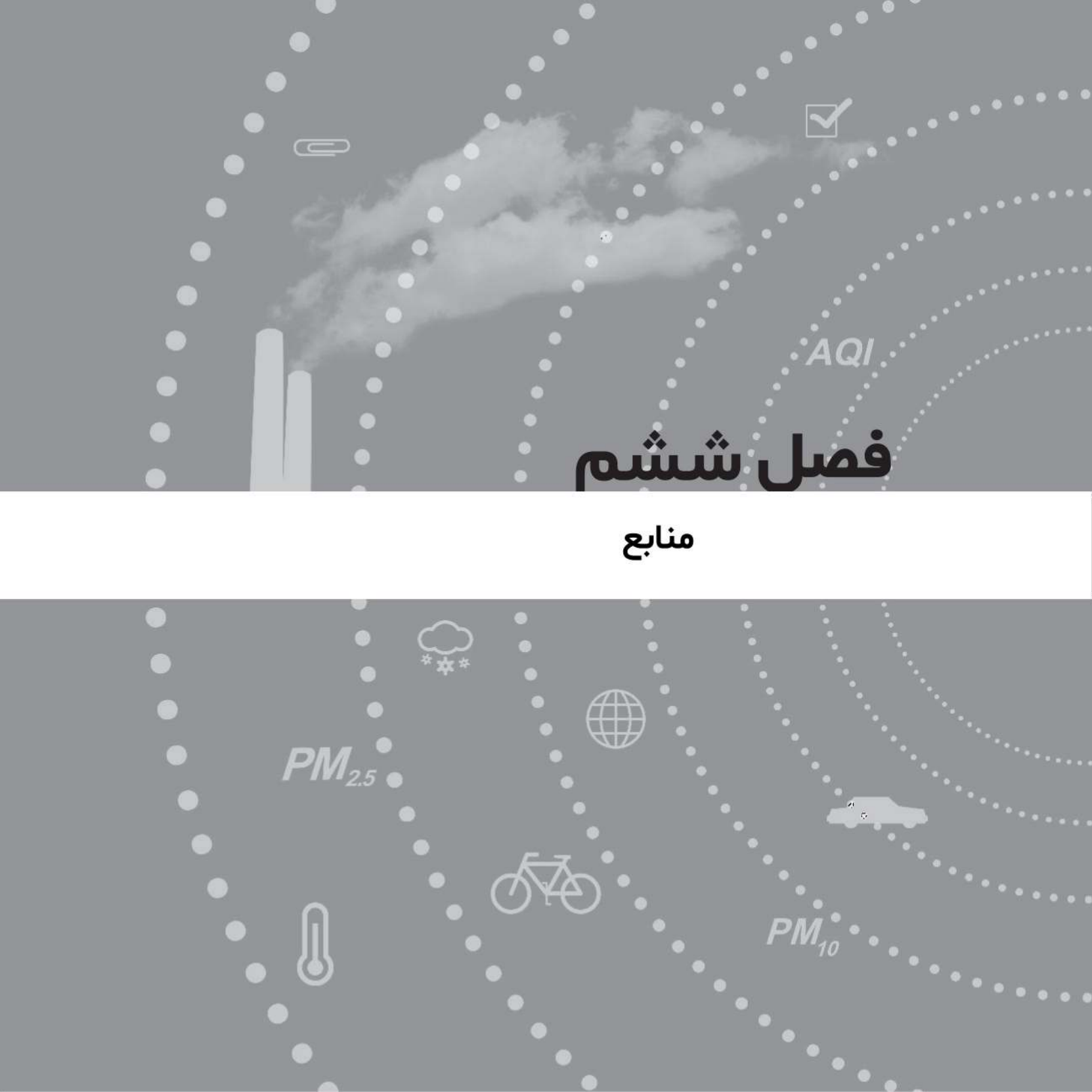


نمودار ۵-۹مقایسه تراز صوت بیشینه ایستگاه‌های ثابت سنجش صوت در روزهای دوشنبه، سه شنبه و چهارشنبه مورخ ۲۸،۲۷ و ۲۹ اسفند ماه ۱۴۰۳

فراموش نکنیم علاوه بر اینکه آستانه تحمل افراد نسبت به سطح صدا متفاوت است، بسیاری از افراد حساس جامعه مانند سالمندان، بیماران قلبی و کودکان در مواجهه با این سطح از آلودگی در معرض آسیب‌های جدی از لحاظ سلامت روحی و جسمی قرار خواهند گرفت. بنابراین جایگزینی روش‌های نامناسب برگزاری جشن چهارشنبه‌سوری با آیین سنتی نه تنها موجب شادی و بزرگداشت رسوم دیرینه شده، بلکه مانع از آسیب‌های جبران ناپذیر به سلامت افراد جامعه خواهد شد.

هیاهوی عجیب و غریب این شب نه تنها سلامت انسان‌ها را به خطر می‌اندازد، بلکه باعث آزار، ترس، وحشت و حتی مرگ حیوانات می‌شود. انفجارهای مهیب چهارشنبه سوری، حیوانات را از لانه‌هایشان فراری داده و به ایست قلبی آنان منجر می‌شود. پرندگان احساس نا امنی کرده و از هراس زیاد، حتی لانه‌ها و جوجه‌های خود را ترک می‌کنند. اغلب این گونه‌ها از ترس و وحشت ناگهانی، سکته کرده و می‌میرند. از طرفی سوزاندن لاستیک‌ها و روشن کردن آتش، هوا را آلوده کرده و منجر به بیماری حیات وحش می‌شود؛ تداوم این وضعیت حتی به مرگ ناگهانی حیوانات منجر می‌شود.


O_3
NO_2
SO_2
CO
AQI



فصل ششم

منابع

منابع:

1. The State of Global Air Quality Funding 2023, Clean Air Fund

2. https://breathelife2030.org/the-issue/health-and-climate-impacts

3. Health Effects Institute. 2024. State of Global Air 2024. Special Report. Boston, MA :Health Effects Institute

4.AirVisual, IQAir. "World air quality report." Region & City$PM_{2.5}$ (2024)

5. https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/

۶. کمی سازی اثرات بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق $PM_{2.5}$ در پنجاه و هفت شهر ایران در سال ۱۴۰۲، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مهرماه ۱۴۰۳.

7. https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts

8. https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics

9. World Air Quality report, region and city$PM_{2.5}$ ranking, 2023, +IQAir

10. https://www.encyclopedie-environnement.org/en/health/airborne-particulate-health-effects/

11. World Health Organization. "WHO global air quality guidelines: particulate matter $PM_{2.5}$ andPM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary." (2021).

12. https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table

۱۳. احمد طاهری، وحید حسینی" بررسی کیفیت هوای سه ساله شهر تهران بر اساس استانداردهای رایج جهانی"، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، شماره QP97/04/01 (U)/01، تیر ۱۳۹۷.

۱۴. سولماز احدی، محسن روشنی، حسین شهبازی و زهرا باطنی، "گزارش بررسی وضعیت آلاینده ازن در شهر تهران"، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، شماره QM98/07/02(U)/1، مهرماه ۱۳۹۸.

۱۵. سولماز احدی، "گزارش بررسی ارتفاع لایه اختلاط در شهر تهران و تاثیر آن بر کیفیت هوا"، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، شماره QM1400/04/01(U)/1، تیرماه ۱۴۰۰.

۱۶. گلمحمدی، رستم؛ مهندسی صدا و ارتعاش، انتشارات دانشجو، ویرایش ۳، ۱۳۸۶، صفحه ۲۸۰-۲۸۱.

۱۷. شاعری، محمد؛ رحمتی، علیرضا؛ قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی، سازمان حفاظت محیط‌زیست، چاپ اول، انتشارات حک، صفحه ۱۸۳-۱۸۴.

۱۸. عباس پور، مجید؛ مهندسی محیط‌زیست، انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، چاپ ۵، ۱۳۸۹. صفحه ۶۷۵-۶۸۷.

19.Babisch W. The noise/stress concept, risk assessment and research needs. Noise & Health, 2002, 4(16) :1-11.

۲۰. عباسی، میلاد؛ پنجعلی، زهرا؛ بهروش، فاطمه؛ موانع صوتی زیست‌محیطی: راهنمای کاربردی خواص آکوستیک و طراحی نما، انتشارات فناوران وزیری، چاپ ۱، ۱۳۹۵.

۲۱. اسماعیلی، مرتضی؛ فشارکی، محمد؛ نشریه مهندسی حمل و نقل، شماره ۲، ۱۳۸۸، صفحه ۶۱-۷۷.

22. M, Bahrekazemi. "Train-Induced Ground Vibration and Its Prediction «PhD Thesis, Dept. of Civil and Architectural Engineering", Royal Institute of Technology, (2004).

۲۳. کریمی، الهام؛ پیمان، حامیان؛ منظم اسماعیل‌پور، محمدرضا؛ حسینی، وحید؛ اولویت‌بندی مراکز حساس واقع در حریم صوتی بزرگراه‌ها جهت استفاده از راهکارهای کاهشی با استفاده از GIS و نرم‌افزار مدل‌ساز صوتی CadnaA (مطالعه موردی - شهر تهران)، هفتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، ۱۳۹۷.

24. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2009 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf, accessed 7 October 2010)

25. Civil and Architectural Engineering", Royal Institute of Technology, (2004)

۲۶. کریمی، الهام؛ پیمان، حامیان؛ منظم اسماعیل‌پور، محمدرضا؛ حسینی، وحید؛ اولویت‌بندی مراکز حساس واقع در حریم صوتی بزرگراه‌ها جهت استفاده از راهکارهای کاهشی با استفاده از GIS و نرم‌افزار مدل‌ساز صوتی CadnaA (مطالعه موردی - شهر تهران)، هفتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، ۱۳۹۷

27. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2009 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf, accessed 7 October 2010)

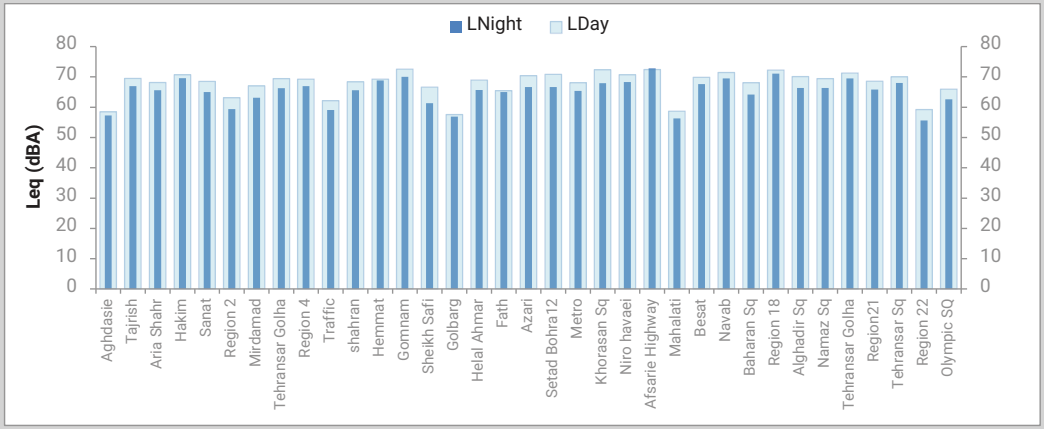
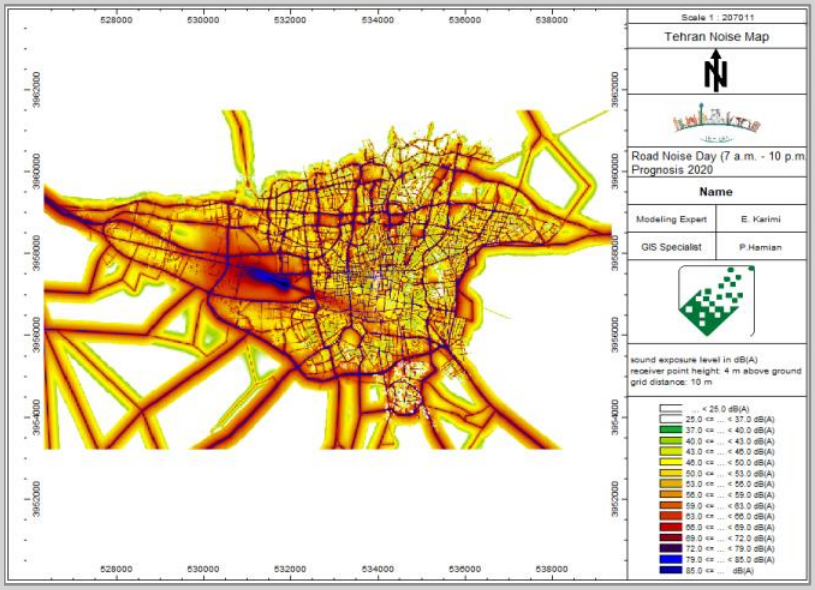


Figure 6 - Equivalent sound pressure level of noise monitoring stations in different districts -2024

According to results of the analysis of equivalent sound pressure levels recorded by noise monitoring stations within the year2024 ,the day time and night time noise level was 69.22 and 66.64 dB(A), respectively.

The permanent noise monitoring stations of Shahid Gomnam and Golbarg recorded the highest and lowest average sound levels during the day time period, measuring 72.55 dB and 57.55 dB, respectively. During the night time period, the Afsariyeh Highway and District 22 stations exhibited the highest and lowest average sound pressure levels, with 72.82 dB and 55.65 dB, respectively (see Figure 6). It should be noted that the noise level decreases when moving away from the noise source, so an individual station in one district cannot be assumed to be a proper representative of the noise pollution of the entire area.

However, the comparison of results obtained from all the stations will help us identify critical districts.



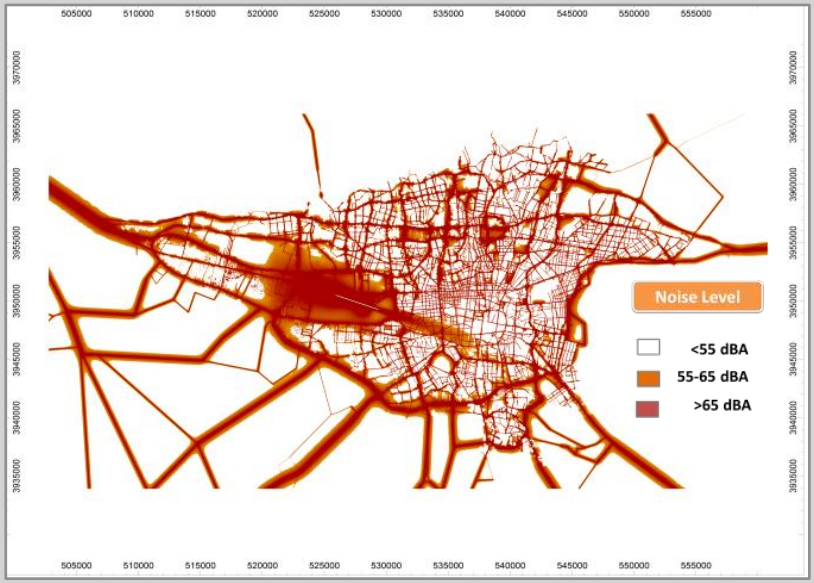


Figure 5- Tehran noise distribution map (top pic), Noise buffer zone (bottom pic)

Abstract

is performed in the department of Air and Noise Pollution Monitoring and the result are displayed by the AQCC's noise website (http://noise.tehran.ir)

To gain a comprehensive understanding of the spatial distribution of noise pollution over the city and perform computational analysis for noise mitigation plans, the production of noise maps is also conducted by the use of CadnaA modeling software. The simulated results are evaluated regularly with respect to the measured noise levels. Comparing the simulation and measurement data would be a good indicator for accuracy control of the map layers. Based on Last traffic data, the noise maps were produced, and the sensitive areas located close to highways were entirely assessed for buffer zone implementation (see Figure 5).

speed decreased again. The temperature trend over the long term was not statistically significant; however, investigations showed that in spring over the last three years, temperature values have decreased. The analysis of relative humidity changes over the long term showed that the highest relative humidity values occur in winter and the lowest in summer. Also, over the past four years, an increasing trend in relative humidity in spring and summer has been observed.

The weather review for the year 1403 compared to the previous year showed that wind speed in summer and spring was lower, slightly higher in winter, and showed no significant change in autumn. Seasonal temperature comparison shows that spring, autumn, and winter were slightly cooler, and summer was approximately the same as the previous year. Relative humidity also showed higher values in spring, autumn, and winter compared to the previous year.

• **Noise pollution Assessment**

In chapter five, the noise monitoring network is briefly introduced. There are around 35 active noise monitoring stations located in different parts of Tehran city. They provide hourly measurements of sound pressure levels. The post-processing analysis of data



Abstract

Abstract

of secondary pollutants. A comparison of the annual average benzene concentration in 1403 with the Iranian national standard limit (1.5 ppb) reveals that the concentration exceeded the permissible limit. Given the severe health risks, such as leukemia, identifying and controlling emission sources of these pollutants is essential.

• **Weather Trends Assessment**

In the fourth chapter of this report, the weather conditions of Tehran city during the year 1403 are examined and compared with the previous year. Additionally, the long-term trend of average weather conditions in Tehran over a Thirteen-years period (1391-1403) has been analyzed. For this purpose, meteorological variables including temperature, wind speed, wind direction, pressure, and relative humidity based on data from Mehrabad meteorological stations have been analyzed on daily, monthly, and seasonal bases for the long-term period.

The study results indicate that over the long term, the highest wind speed occurs in spring and the lowest in autumn. Furthermore, it was observed that the trend of wind speed changes in autumn significantly decreased from 1392 to 1399, had a relative increase between 1400 and 1402, but in 1403 the average wind

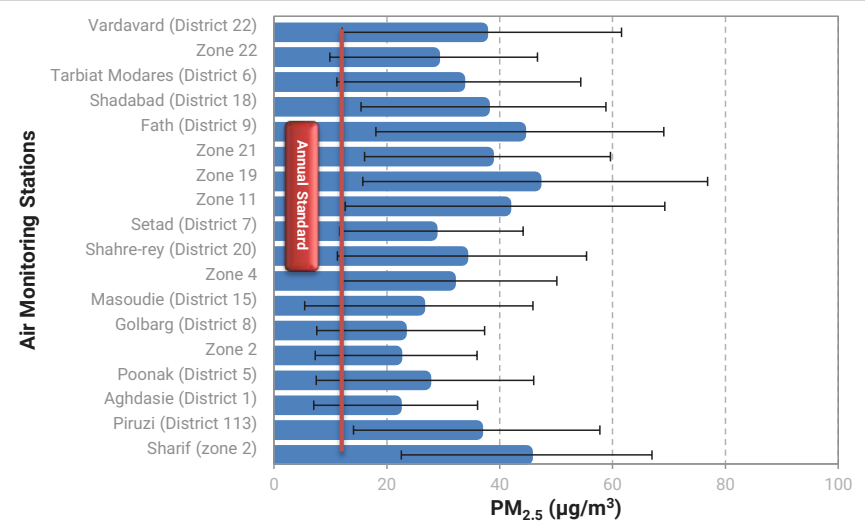


Figure 4- Annual mean concentrations of $PM_{2.5}$ measured at different stations in Tehran during the year 1403 (March 20, 2024 to March 20, 2025)

Abstract

The group of organic compounds known as BTEX includes benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes. During the year 1403 (March 2024-March 2025), the Air Quality Control Company equipped the Sharif station with a device to measure these volatile organic compounds. Benzene is a known carcinogen, while other compounds in this group are toxic at high concentrations. They significantly contribute to air pollution and the formation

Abstract

healthy conditions in all days during the studied period. However, considering the annual average national standard level, NO_2 exceedances were recorded in some stations.

The PM_{10} daily index in 14 days of 1403, were beyond the daily standard limit.

In addition, the monitoring of Black Carbon (BC) concentration was initiated at a few sites in the year 1396. The records of the studied year indicate a considerable increase in BC levels with respect to the previous year.

Overall, the fine particulate matter ($PM_{2.5}$) was considered to reflect unhealthy conditions in Tehran and most of polluted days were associated with an increase in this pollutant. The concentrations of particulate matter measured at all air quality monitoring stations in Tehran exceeded the national standard annual means (see Figure 4).

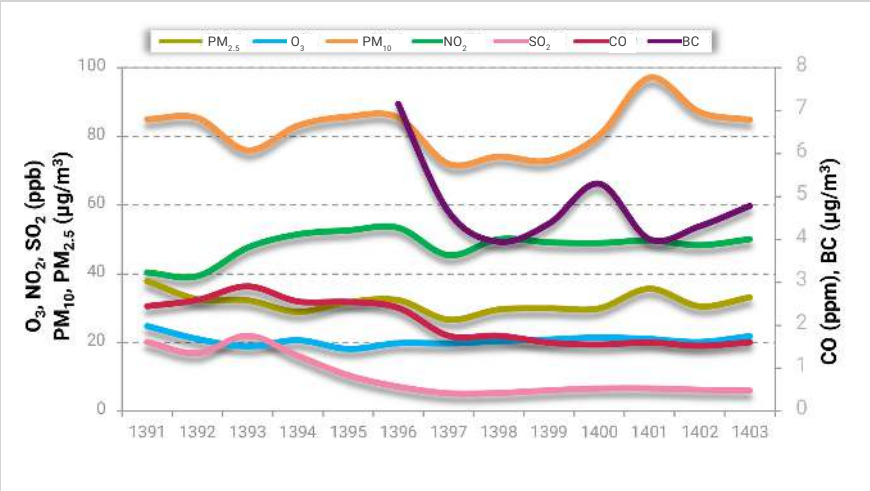


Figure 3- Annual average concentrations of pollutants in Tehran between 1391 and 1403 (according to the Iranian calendar)

Abstract

The temporal and spatial analyses of carbon monoxide (CO) concentration over the studied period reveal that, fortunately, Tehran's air quality due to CO was healthy.

Although, the reduction in sulfur content of fuel distributed in Tehran in recent years has led to a decrease in the concentration of sulfur.

According to the daily national standard levels, nitrogen dioxide (NO_2) concentration was remained below the standard limit for

Abstract

calendar), and this trend has continued through 1403. The annual average concentration of ozone, after several years of relative decline until 1395, showed a slight increase in 1396, and since then, in recent years, it has remained relatively stable. The pollutant NO_2 has not followed a specific trend; after a gradual increase, it encountered a decreasing trend in 1397, but following an increase in 1398, it has maintained a relatively stable trend in recent years.

Regarding the pollutant PM_{10}, similar to NO_2, there has been no distinct pattern; a relative increase began in 1400 and has been particularly notable over the last three years, especially in 1401.

The concentration trend of black carbon, after a significant decrease in the first two years of measurement, resumed an increasing trend, but decreased again in 1401, followed by an upward trend in 1402 and 1403. The following section will examine the concentration status of each of these pollutants separately.

The worst AQI (174) during the studied period was observed on the 19th of December and it occurred as a result of elevated $PM_{2.5}$ levels due to temperature inversion and the accumulation of air pollutants.

The cleanest day (AQI = 40) were observed on March 21 (2024) and were mainly caused by the dominance of unstable atmospheric conditions.

In recent years, particulate matter with a diameter less than 2.5 micrometers ($PM_{2.5}$) has been established as criteria pollutant in Tehran. There were 123 reported days of unhealthy conditions due to elevated $PM_{2.5}$ levels, 39 days caused by O_3 exceedance and 14 days associated with increased PM_{10} concentrations.

The time series of annual mean concentrations of air pollutants (O_3, CO, NO_2, and SO_2 [ppb], PM_{10}, $PM_{2.5}$ and BC [$\mu g/m^3$]) over Tehran from 1391 to 1403 (according to the Iranian calendar) are shown in Figure 3 .

Based on the figure 3 the annual average concentration trends of the pollutants CO and SO_2 have shown a decreasing pattern in recent years. The pollutant $PM_{2.5}$, after several years of decline, experienced a relative increase starting in 1398 (in the Iranian

Abstract

Abstract

In total, during the year 1403, 60.1% of days were in permissible conditions and 39.9% of days were beyond AQ standard limit, and the percentage of unfavorable days in 1403 compared to 1402 has increased significantly.

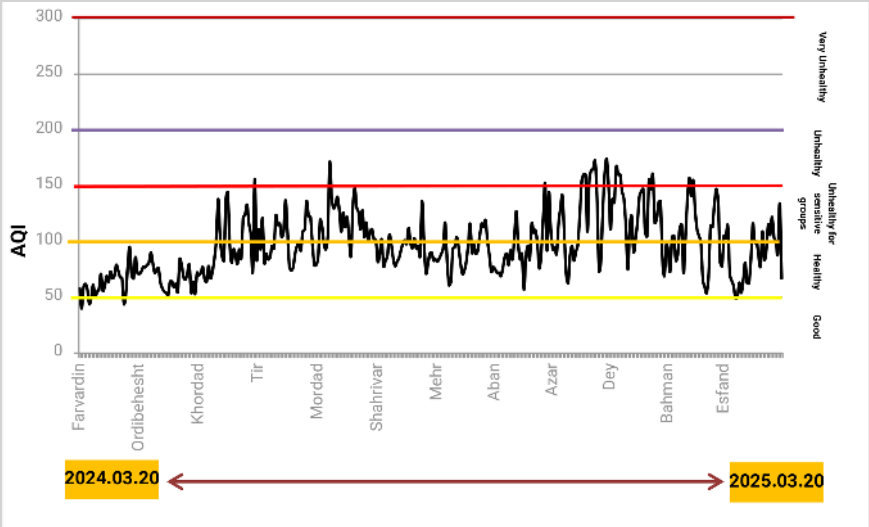


Figure 2- Daily Air Quality Index during the year 1403 (March 20, 2024 to March 20, 2025)

healthy conditions (58.2%) (50 <AQI≤100), 127 days with unhealthy conditions for sensitive groups (34.7%) (100 <AQI≤ 150) and 19 days with unhealthy conditions (5.2%) (151 <AQI≤ 200).

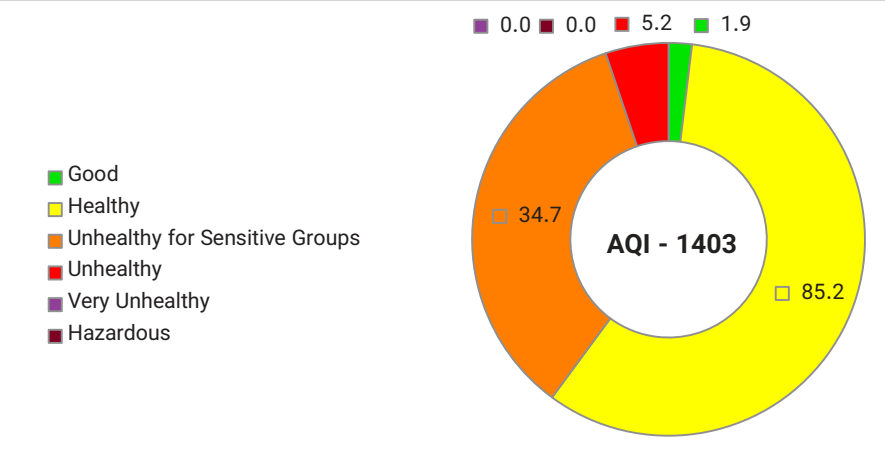


Figure 1- Air Quality Index summary during the year 1403 (March 20, 2024 to March 20, 2025)

The significant increase in the number of days with AQI>100 could be perceived as the highlights of the studied year compared with year 1402. Also, according to the global health standards, the number of days with unfavorable AQ conditions in Tehran is still significant.

Abstract



Abstract

assessment of Tehran's air quality during the period of March 20, 2024 to March 20, 2025, alongside an investigation of the spatial and temporal variations in air pollutant concentrations; this is the 14th such report that has been published by the Tehran Air Quality Control Company (AQCC). In addition, the conditions of meteorological parameters in Tehran that affect the air quality are presented in the current report for different time intervals. Moreover, due to the significant impact of noise pollution on human health, the seasonal and monthly mean variations of mean noise levels measured at different monitoring stations across the city of Tehran has been examined for the same time period.

• **Air Quality Assessment**

The present report represents variations in the concentration of all the pollutants on the hourly, daily, weekly, monthly, seasonal and annual scales; it also evaluates the pollutant levels based upon the short-term and long-term national standard levels.

Based on the Air Quality Index (AQI) calculated by the methods described in the Iranian National Standards, the period under study consisted of 7 good days (1.9%) (AQI$\leq$ 50), 213 days with

Company (AQCC). In addition, the conditions of meteorological parameters in Tehran that affect the air quality are presented in the current report for different time intervals. Moreover, due to the significant impact of noise pollution on human health, the seasonal and monthly mean variations of mean noise levels measured at different monitoring stations across the city of Tehran has been examined for the same time period.

Air quality issues are considered one of the main challenges that Tehran presently faces. In the last several years, Tehran has frequently experienced long episodes of pollution during the winter, dust phenomena and increase in ground-level ozone during the summer in which the concentration of some pollutants has exceeded the national standard limits. Since air pollution has a disproportionately large impact on public health and visibility in Tehran, the importance of detecting the pollutants, their sources and influential factors is therefore emphasized. It has been more than two decades since the air quality monitoring network was established in Tehran for the purpose of measuring air pollutant concentrations and informing the public about current air quality (AQ) conditions. The present report provides a comprehensive



Abstract



Abstract

Abstract

Air quality issues are considered one of the main challenges that Tehran presently faces. In the last several years, Tehran has frequently experienced long episodes of pollution during the winter, dust phenomena and increase in ground-level ozone during the summer in which the concentration of some pollutants has exceeded the national standard limits. Since air pollution has a disproportionately large impact on public health and visibility in Tehran, the importance of detecting the pollutants, their sources and influential factors is therefore emphasized. It has been more than two decades since the air quality monitoring network was established in Tehran for the purpose of measuring air pollutant concentrations and informing the public about current air quality (AQ) conditions.

The present report provides a comprehensive assessment of Tehran's air quality during the period of March 20, 2024 to March 20, 2025, alongside an investigation of the spatial and temporal variations in air pollutant concentrations; this is the 14th such report that has been published by the Tehran Air Quality Control

Tehran Annual Air and Noise Quality Report

Period of March 2024 - March 2025

Prepared by:		**Air Quality Control Company**
Report Code:		QM1404/05/01(U)/1
Report title:		Tehran Annual Air and Noise Quality Report Period of March 2024 - March 2025
Authors:	**Air Quality Assessment:**	Solmaz Ahadi, Mohsen Roshani
	Meteorology:	Hossein Shahbazi, Seyed Mahmoud Khansari
	Noise Pollution Assessment:	Elham Karimi
Contributions by:		Tayebe Mirabedini, Amir Najafi, Mohammad khalili, Mehran Hosseinnejad, Hossein Hasankhani
Technical supervisor:		Mona Khalili, Hossein Moghadam

First Volume
Date: July-August 2025

This report is an English summary of Tehran's annual air and noise quality report. It provides an overview of air and noise quality of the city of Tehran during the period of March 2024 - March 2025.

The complete report in Persian can be found at:
http://air.tehran.ir/portals/0/ReportFiles/AirPollution/TehranAirQuality1403.pdf

This report should be cited as: "Tehran Annual Air and Noise Quality Report, period of March 2024 - March 2025, QM1404/05/01(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

Tehran Annual Air and Noise Quality Report

Period of March 2024 - March 2025