

**«بررسی غلظت آلاینده ازن (O3) در شهر تهران، منابع
انتشار و راهکارهای کاهش و کنترل آن»**



مقدمه

آثار ناشی از آلودگی هوا روزبه‌روز افزایش یافته و نگرانی‌های زیادی را به همراه دارد. ازن (تروپوسفری) یکی از آلاینده‌هایی است که عمدتاً از طریق تنفس وارد بدن می‌شود. این گاز می‌تواند عوارض تنفسی نظیر کاهش ظرفیت ریه، آسم، احتقان بینی و عوارض دیگری همچون احساس سوزش در چشم و کاهش ایمنی بدن در مقابل بیماری‌های عفونی را در پی داشته باشد. ایجاد بیماری مزمن انسداد ریوی (COPD) از آثار مخرب این آلاینده است. در این گزارش ضمن بررسی وضعیت ازن در هوای کلان شهر تهران، به بررسی علل تشکیل این آلاینده قوی و راهکارهای کنترل این آلودگی پرداخته می‌شود.

اهمیت موضوع

تعداد روزهای آلوده هوای شهر تهران به واسطه ازن^۱ به سرعت رو به افزایش است؛ به طوری که از صفر روز در سال ۱۳۹۴ به ۴۲ روز در سال ۱۳۹۹ رسیده است. این روزهای آلوده اغلب در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و به‌ندرت در شهریورماه اتفاق می‌افتد و در سال ۱۴۰۰ با کاهشی محسوس، به ۲۳ روز تا انتهای تابستان رسیده است.

جدول ۱. تعداد روزهای آلوده شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۹ از منظر آلاینده‌های مختلف

| ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون | ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون | دی‌اکسید گوگرد | دی‌اکسید نیتروژن | ازن | مونواکسیدکربن | |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------|-----|---------------|------|
| ۱۱۴ | ۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۳۹۴ |
| ۹۸ | ۶ | ۰ | ۳ | ۴ | ۰ | ۱۳۹۵ |
| ۱۱۴ | ۸ | ۰ | ۵ | ۲۲ | ۰ | ۱۳۹۶ |
| ۵۶ | ۱ | ۰ | ۰ | ۲۲ | ۰ | ۱۳۹۷ |
| ۷۹ | ۱ | ۰ | ۵ | ۳۰ | ۰ | ۱۳۹۸ |
| ۸۷ | ۶ | ۰ | ۵ | ۴۲ | ۰ | ۱۳۹۹ |

مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.

چگونگی تشکیل آلاینده تابستانه ازن (Summer Time Air Pollutant)

آلاینده‌های هوا به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند: آلاینده‌های اولیه، آلاینده‌هایی هستند که به‌طور مستقیم از منابع آلاینده منتشر می‌شوند مانند مونواکسید کربن، اکسیدهای ازت، دی‌اکسید گوگرد و برخی ذرات معلق اولیه. آلاینده‌های ثانویه، آلاینده‌هایی هستند که از ترکیب سایر گازها و ترکیبات در جو زمین تشکیل می‌شوند و از منابع آلاینده به‌طور مستقیم منتشر نمی‌شوند. ازن یک آلاینده ثانویه است که به‌طور مستقیم از هیچ منبع آلاینده‌ای منتشر نمی‌شود، بلکه از ترکیب سایر گازها و ترکیبات در جو به‌وجود می‌آید. (شکل ۱)

معاونت مطالعات
زیربنایی

سایر معاونت‌ها:
مطالعات امور
تولیدی

گروه محیط زیست

گزارش ششم
شهریورماه ۱۴۰۰

مشخصات گزارش

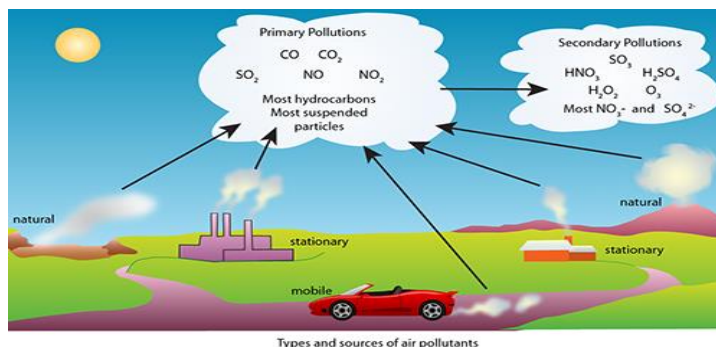
شماره مسلسل:
۲۵۰۱۷۸۳۷

تاریخ انتشار:
۱۴۰۰/۶/۲۹



۱. در مقابل «ازن استراتوسفری» یا «لایه ازن» که به شکل طبیعی در استراتوسفر ایجاد می‌شود، حدود ۱۵ تا ۲۵ کیلومتر بالاتر از سطح زمین و لایه‌ای حفاظتی شکل می‌دهد که از زمین در برابر اشعه‌های UVB خورشید حفاظت می‌کند.

شکل ۱. آلاینده‌های اولیه و ثانویه هوا

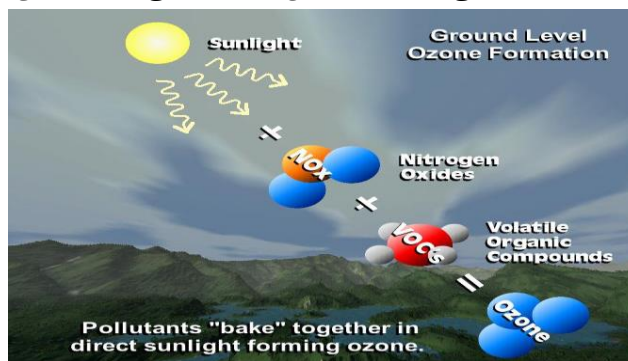


Source: Ozone (O₃) Air Quality Standards, U.S. Environmental Protection Agency, 2021.

برای تشکیل ازن سه عامل نور خورشید و اکسیدهای ازن (NO_x) و مواد آلی فرار (VOC) نیاز است. اکسیدهای ازن از خودروها، منابع خانگی و صنایع تولید و مواد آلی فرار نیز از صنایع به‌ویژه پالایشگاه، خودروها و درختان منتشر می‌شود (شکل ۲). اما نکته مهم در این واکنش شیمیایی، نور خورشید است که هرچه شدت آن بیشتر باشد با وجود ثابت ماندن میزان بقیه ترکیبات، آلاینده ازن بیشتری تولید می‌شود و به همین دلیل است که میزان تشکیل این آلاینده و غلظت آن در تابستان بیشتر از سایر فصول است.

از طرفی هوای گرم باعث انتشار بیشتر گازهای پیش‌ساز ازن می‌شود. در دمای بالا میزان تبخیر ترکیبات آلی فرار از منابع مختلف افزایش می‌یابد. همچنین هرچه دمای درون موتور خودروها و موتورسیکلت‌ها افزایش پیدا کند، NO_x بیشتری تولید و منتشر می‌شود. بنابراین افزایش دمای هوا علاوه بر تأثیر مستقیم در افزایش ایجاد ازن به‌علت گرما، با افزایش انتشار آلاینده‌های اولیه تشکیل‌دهنده آن تأثیر غیرمستقیمی نیز بر افزایش ایجاد ازن دارد.

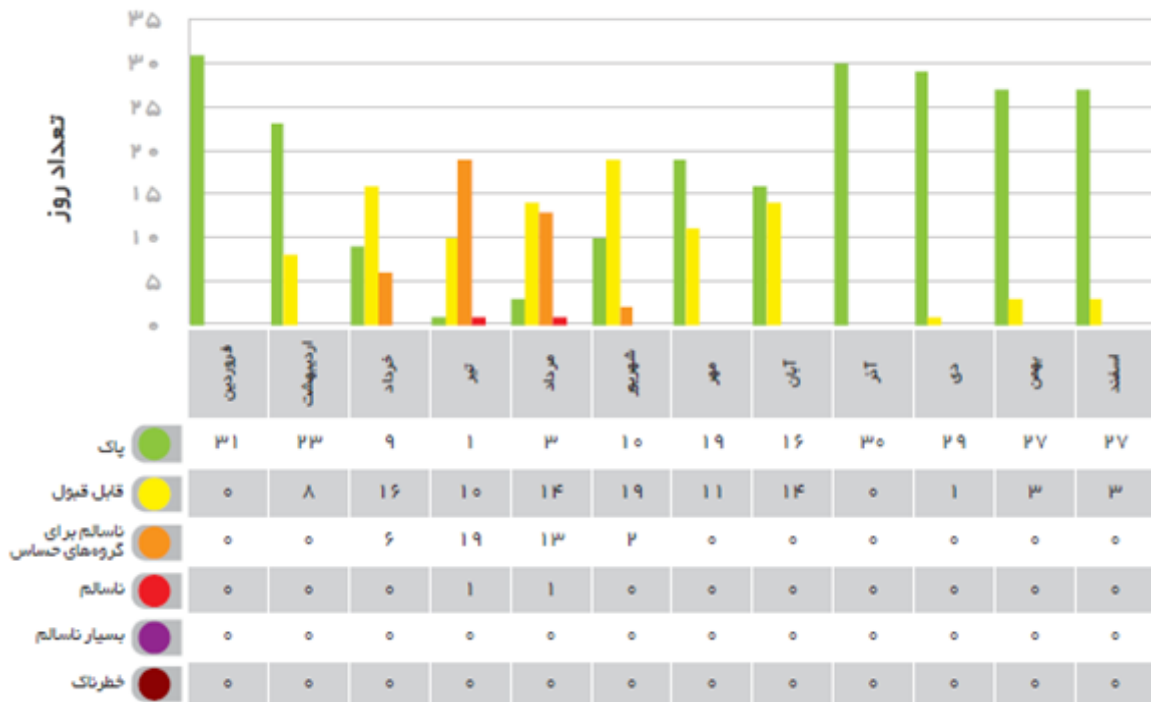
شکل ۲. چگونگی تشکیل واکنش فتوشیمیایی تشکیل ازن



Source: Ozone -- Its Formation and Impacts on People and Plants. United States Department of Agriculture Forest Service, 2021.

متأسفانه در کلانشهرهای کشور در همه فصول میزان انتشار اکسیدهای ازن و مواد آلی فرار بالاست و به‌خصوص در فصل تابستان به‌دلیل تابش شدید نور خورشید شرایط برای تولید آلاینده ازن فراهم است. بنابراین می‌توان ادعان نمود که ازن یک شاخص اکسیدان‌های فتوشیمیایی است. معمولاً غلظت‌های حداکثر ازن در بعدازظهر رخ می‌دهد و به‌طور کلی یک آلاینده تابستانه (Summer Time Air Pollutant) است. غلظت‌های حداکثر ازن در سطح زمین به‌ندرت دو تا سه ساعت دوام دارد. نیمه عمر این آلاینده در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود سه روز است.

نمودار ۱. کیفیت هوا از نظر شاخص آلاینده ازن طی ماه‌های مختلف در سال ۱۳۹۹ (برحسب تعداد روز)



مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.

مقایسه وضعیت آلاینده ازن در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (ابتدای فروردین‌ماه الی ۱۹ مردادماه)^۱

هوای تهران طی سال جاری (تا ۱۹ مرداد سال ۱۴۰۰) طی ۲ روز در وضعیت پاک، ۱۱۳ روز در شرایط قابل قبول، ۲۷ روز در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس و یک روز نیز در وضعیت ناسالم برای عموم جامعه قرار داشت. این درحالی است که کیفیت هوا در مدت مشابه سال گذشته نامناسب‌تر بوده و تعداد ۳۵ روز آلوده (شامل ۳۳ روز ناسالم برای گروه حساس و ۲ روز ناسالم برای همه افراد) در این دوره ثبت شده است. جدول ۱ وضعیت کیفیت هوا طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (اول فروردین‌ماه الی ۱۹ مردادماه) را مقایسه می‌نماید.

جدول ۱. وضعیت کیفی هوا طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (اول فروردین‌ماه الی ۱۹ مردادماه)

| سال | تعداد روز | | |
|------|-----------|-----------|---------------------------|
| | پاک | قابل قبول | ناسالم برای گروه‌های حساس |
| ۱۳۹۹ | ۱۵ | ۹۳ | ۳۳ |
| ۱۴۰۰ | ۲ | ۱۱۳ | ۲۷ |

مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.

با گرم‌تر شدن هوا معمولاً از شروع ماه خرداد شرایط برای تولید بیشتر آلاینده ازن فراهم می‌گردد و همین موضوع موجب افزایش روزهای آلوده در ماه‌های گرم سال می‌شود.

بررسی اطلاعات دستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در پایتخت نشان می‌دهد، طی دوره مورد بررسی در سال ۱۳۹۹ در همه روزهای آلوده (۳۵ روز)، گاز ازن آلاینده شاخص بوده است، ولی طی مدت مشابه در سال جاری ازن در ۲۰ روز آلوده، آلاینده شاخص بوده و در سایر روزهای

۱. مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، سال ۱۴۰۰.

آلوده (۸ روز)، ذرات معلق ریز آلاینده شاخص پایتخت بوده است. همچنین طولانی‌ترین دوره تداوم آلودگی در بازه مورد مطالعه سال جاری ۹ روز و در مدت مشابه سال گذشته، ۱۰ روز است.

جدول ۲ وضعیت کیفیت هوا طی تابستان سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (اول تیرماه الی ۱۹ مردادماه) را مقایسه می‌کند. طی مدت مورد بررسی در سال ۱۳۹۹ گاز ازن در همه روزهای آلوده، آلاینده شاخص بوده و ۲۹ روز در شرایط نامطلوب قرار گرفت، ولی در مدت مشابه طی سال جاری تعداد روزهای آلوده به لحاظ آلاینده ازن ۱۴ روز است که یک روز آن ناسالم برای همه اقلشار جامعه بود و همچنین ۳ روز نیز به علت افزایش غلظت ذرات معلق ریز در شرایط نامطلوب قرار گرفت.

جدول ۲. وضعیت کیفی هوا طی تابستان سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (اول تیرماه الی ۱۹ مردادماه)

| تعداد روز | | | | |
|-----------|-----|-----------|---------------------------|--------|
| سال | پاک | قابل قبول | ناسالم برای گروه‌های حساس | ناسالم |
| ۱۳۹۹ | ۰ | ۲۱ | ۲۷ | ۲ |
| ۱۴۰۰ | ۰ | ۳۲ | ۱۷ | ۱ |

مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.

میانگین دمای هوا در تابستان سال جاری بیشتر از سال ۱۳۹۹ بوده است. افزایش محسوس میانگین دما در این دوره (بیش از یک درجه سانتیگراد) منجر به خشکی زمین و افزایش گسیل طوفان‌های حامل گرد و خاک شده و به این دلیل افزایش تعداد روزهای آلوده از منظر آلاینده ذرات معلق را موجب شده است. به گونه‌ای که تعداد روزهای آلوده آلاینده ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون از ۶ روز در سال ۱۳۹۹ به ۱۲ روز افزایش یافته که در سه روز آن علاوه بر ازن شاخص آلاینده PM10 نیز از حد سلامت فراتر بوده است. شایان ذکر است در برخی روزها مثل ۱۹ تیر سال ۱۴۰۰ به‌طور هم‌زمان بیش از یک آلاینده در شرایط نامطلوب قرار داشته است.

سهام منابع انتشار آلاینده ترکیبات آلی فرار (VOCs) و NOx

یکی از راهکارهای مؤثر در کنترل ازن، شناسایی پیش‌ماده اولیه حاکم بر آن است. اقدامات کنترلی برای کاهش غلظت ازن تروپوسفری عمدتاً بر کاهش انتشار پیش‌سازهای ازن به‌خصوص NOx و VOCs متمرکز است. بنابراین در مرحله اول باید مشخص شود که آیا میزان تشکیل ازن بیشتر تحت تأثیر اکسیدهای ازن است که اصطلاحاً مواد آلی فرار محدودشده (VOC-Limited) نامیده می‌شود و یا بیشتر تحت تأثیر مواد آلی فرار است که به آن اصطلاحاً اکسیدهای ازن محدودشده NOx-Limited گفته می‌شود و یا هر دو. احصای این موضوع بسیار حائز اهمیت است، چراکه اگر تشکیل ازن بر اثر مواد آلی فرار محدودشده (VOC-Limited) باشد، با کنترل و کاهش میزان کم مواد آلی فرار می‌توان غلظت ازن را به میزان قابل توجهی کاهش داد و یا اگر تشکیل ازن تحت اکسیدهای ازن محدودشده (NOx-Limited) باشد، با کنترل و کاهش میزان کم اکسیدهای ازن می‌توان غلظت ازن را به میزان قابل توجهی کمتر کرد. شکل ۲ و ۳ سهم هریک از منابع انتشار آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار و NOx را نشان می‌دهد. سهم منابع متحرک در انتشار آلاینده ترکیبات آلی فرار و NOx به ترتیب ۷۲ و ۳۶ درصد است.

سهام منابع انتشار آلاینده ترکیبات آلی فرار (VOCs) (براساس گزارش سیاهه انتشار تهران)^۱

- منابع متحرک به میزان ۴۷۵۰۷ تُن در سال، (خودروهای سواری کمی بیش از ۵۰ درصد بیشترین سهم را دارند) - حدود ۷۲ درصد،
- جایگاه‌های سوخت بنزین ۱۳۷۳۳ تُن در سال - حدود ۲۱ درصد،
- پالایشگاه تهران ۲۶۳۳ تُن در سال - حدود ۴ درصد،
- سایر منابع (نیروگاه‌ها، صنایع، پایانه مسافری، فرودگاه، راه‌آهن، خانگی و تجاری) ۱۸۹۷ تُن در سال - حدود ۳ درصد.

۱. شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.

سهم منابع انتشار NOx (براساس گزارش سیاهه انتشار تهران)^۱

- منابع متحرک ۲۷۳۴۳ تن در سال (سهم خودروهای سواری با کمی بیش از ۵۰ درصد) - ۳۶ درصد
- خانگی و تجاری ۱۷۴۱۱ تن در سال - ۲۲ درصد
- نیروگاه‌ها، ۱۱۴۰۹ تن در سال - ۱۵ درصد
- پالایشگاه تهران ۱۰۴۲۳ تن در سال - ۱۴ درصد
- صنایع ۸۶۵۳ تن در سال - ۱۱ درصد
- سایر منابع (فرودگاه، پایانه‌ها، راه‌آهن) ۱۴۴۹ تن در سال - ۲ درصد

جمع‌بندی

با توجه به فرایند تولید ازن، جهت جلوگیری از تولید این گاز آلاینده در جو پایین، بایستی با انجام اقداماتی منابع اصلی انتشار آلاینده‌های اولیه تبدیل‌شونده به ازن (NOx و VOCs) را کنترل نمود. براساس آخرین اطلاعات سیاهه انتشار شهر تهران، منابع متحرک به ترتیب ۳۶ و ۷۲ درصد در تولید آلاینده NOx و ترکیبات آلی فرار که پیش‌سازهای «ازن» هستند، مؤثرند. بنابراین منابع متحرک اصلی‌ترین منابع تولید پیش‌سازهای ازن می‌باشد. با توجه به ارتباط قوی و معکوس ازن و اکسیدهای نیتروژن اعمال استراتژی‌های کاهش اکسیدهای نیتروژن در شهرهای بزرگ به‌تنهایی می‌تواند به افزایش آلاینده ازن منجر شود. از این رو در ارائه برنامه‌های کاهش آلاینده ازن اتخاذ استراتژی‌های مبتنی بر کاهش هم‌زمان اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار حائز اهمیت است.

در قانون هوای پاک و آیین‌نامه‌های اجرایی آن راهکارهای اصلی کنترل منابع اصلی انتشار آلاینده‌های اولیه تبدیل‌شونده به ازن پیش‌بینی شده است، منتها بنابه دلایل متعددی، بسیاری از این مصوبات معوق مانده و اجرا نشده است. یکی از مواردی که بایستی مجلس شورای اسلامی نسبت به آن پیگیر باشد، اجرایی شدن قانون هوای پاک (با گذشت ۴ سال هنوز اجرایی نشده) و مصوبات هیئت وزیران در خصوص کنترل، هدایت، انتقال و بازیافت بخارات بنزین است. لذا به‌ترتیب راهکارهایی که می‌تواند در کنترل و کاهش این آلاینده‌ها مؤثر باشد به شرح زیر است:

- اجرای کامل طرح کهاب (کنترل، هدایت، انتقال و بازیافت بخارات بنزین)^۲ در جایگاه‌های توزیع سوخت، خودروهای حمل سوخت و مخازن (اجرای ماده (۱۶) قانون هوای پاک)^۳

• توسعه خودروها و موتورسیکلت‌های الکتریکی (جهت کاهش تولید NOx و VOCs)

- ارتقای فرایند نظارت بر معاینه فنی خودروها به‌ویژه بررسی نصب و صحت کارایی کنیستر خودروهای بنزینی (کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار) (VOCs)

- تأمین سوخت پاک نیروگاه‌ها و صنایع و نصب تجهیزات کنترل آلاینده
- توسعه به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی (کاهش تولید NOx و VOCs)
- توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی پاک (کاهش تولید NOx و VOCs)
- اجرای ماده (۱۷) قانون هوای پاک در خصوص معاینه فنی موتورخانه‌ها و سامانه‌های احتراقی (کاهش تولید NOx)
- تسریع در اجرای مصوبه از رده خارج کردن خودروها و موتورسیکلت‌های فرسوده (کاهش تولید NOx و VOCs)
- ارتقای استاندارد آلاینده‌های خودروهای تولیدی براساس استاندارد روز دنیا
- اعمال نظارت بیشتر در پالایشگاه تهران جهت جلوگیری از نشت ترکیبات آلی فرار (VOCs)
- تدوین استاندارد ملی کیفیت کاتالیست خودرو و اجرای آن
- نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی

۱. همان.

۲. مهار بخارات بنزین در پمپ بنزین‌ها و جلوگیری از تردد خودروهای دیزلی، فرسوده و موتورسیکلت‌ها راهکار اصلی کنترل ازن است.
۳. دلایل عدم اجرای طرح کهاب دلایل متعددی است که یکی از دلایل اصلی عدم اجرای این مصوبه عدم توجه به هزینه - فایده اجرای این طرح است.