دانشگاه صنعتی شریف
دوفصلنامه علمی و فناوری
| سال سوم | شماره چهارم | بهار ۱۳۹۸ |

فناورد
نشریه فناوری‌های نوین

دوفصلنامه علمی و فناوری

Particulate Matters, Dust, Air Pollution:
Suspending the Breath or Resolving the Threat?!

ذرات معلق، گرد و غبار، آلودگی هوا؛
تعلیقی بر تنفس یا تدبیری بر تهدید؟!

FANAAVARD
Cutting Edge of Technology

بهار ۹۸

تحلیل دقیق و کارآمد
مهمترین گلوگاه راهبردی در کنترل آلودگی هوا در کشور

استارتاپ‌های برتر در حوزه مدیریت آلودگی هوا

سایه سنگین آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان
گزارش آماری از اثرات آلاینده‌های هوا بر بروز بیماری‌ها و مرگ و میر در دنیا

بومی‌سازی فیلترهای دوده دیزل (DPF)

گفت‌وگو با دکتر وحید حسینی؛ دبیر کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا

گفت‌وگو با دکتر شینا انصاری؛ مدیر کل دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست

FANAAVARD | Cutting Edge of Technology
Vol.3 | No.4 | Sprint 2019
قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ

در سرزمین پاک، رویش گیاه به اذن پروردگار است.

سوره اعراف، آیه ۵۸

سخن آغازین

پیشـرفت سـریع و روزافزون فناوری، با وجود ارائهٔ فرصت‌های بی‌شمار، چالش‌هایی را در زمینه‌های مختلف علمی- کاربردی پیش روی نوآوران قرار داده که بررسـی این شـرایط نیازمند مطالعه و تحقیقات ژرف اسـت. مجلـهٔ «فنـاورد» به‌منظور دربرگرفتن تمام جوانب نـوآوری در حیطه‌های مختلف فناوری، از شـکل‌گیری ایده ذهنی تا بهره‌وری وسیع کاربردی پا به عرصه وجود نهاده است. هدف این مجله که از سوی معاونت پژوهشی دانشـگاه صنعتی شـریف منتشـر می‌شـود، فراهم آوردن بسـتری مناسـب برای تبادل اطلاعات، انعکاس دسـتاوردهای پژوهشـی و تجارب ارزندهٔ صاحبان صنایع و گسـترش و بهبود حیطهٔ فناوری و نوآوری اسـت. تمرکز این مجله بر تهدیدها و فرصت‌هایی اسـت که به دلیل سـرعت روزافزون پیشـرفت فناوری پیش روی نـوآوران و مبتکران زمینه‌های مختلف صنعت قرار دارد. ارتباط میان دانشـمندان و صنعتگران درون‌مرزی و برون‌مـرزی برای ارتباط و مبادله بهتر اطلاعات، مورد تاکید و توجه این مجله اسـت که بدین‌ترتیب اطلاعاتی غنی و ارزشمند از حیطهٔ نوآوری در فناوری را به علاقه‌مندان ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است که مجلهٔ «فناورد» در قالب دوفصلنامه منتشر شده و مطالب هر شماره پیرامون موضوعی خاص خواهد بود.

مجلـه فنـاورد حـاوی مقاله‌هـا، گزارش‌ها، اخبـار و دسـتاوردهای فناورانه در حوزه‌های مختلف فناوری است.

نقـل مطالـب ایـن دو فصلنامـه بـا ذکـر منبع آزاد اسـت.

فناورد؛ دوفصلنامه فناوری‌های نوین

صاحب‌امتیاز: **دانشگاه صنعتی شریف، معاونت پژوهش و فناوری**
مدیر مسئول: **دکتر محمد رضا موحدی**
سردبیر: **دکتر سعید خدایگان**

اعضای هیات تحریریه:
دکتر محمدرضا موحدی — دکتر ساناز مقیم
دکتر وحید حسینی — دکتر سعید خدایگان
دکتر علی محمد طهماسبی بیرگانی
دکتر سید نواب حسینی منش
مهندس محمدمهدی میرزایی قمی

اعضای شورای نویسندگان:
کیا داستانی — حمید خدایگان
زهرا سادات حسن پور جسری — فرهاد بهزادی

آی‌تی و انفورماتیک:
فرهاد بهزادی — احمد سیر صدر

امور هنری و صفحه آرایی:
سید سبحان‌علی ثابت

ویراستار: آزاده میرشکاک

طرح جلد: مریم احمدی

| سرمقاله |

۴ نقش ذرات معلق و گرد و غبار در آلودگی هوا؛ علت یا معلول؟!

| مقاله‌های مروری |

۶ آلودگی هوا؛ معضلی قابل کنترل
۱۸ ذرات معلق (PM)؛ قاتل خاموش
۲۶ چالش جهانی گرد و غبار

| مقاله تخصصی |

۳۳ تحلیل دقیق و کارآمد؛ مهمترین گلوگاه راهبردی در کنترل آلودگی هوا در کشور
۶۰ سایه سنگین آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان

| گزارش فنی |

۶۶ روش‌ها و استانداردهای تحلیل آلاینده‌های خروجی از صنایع

| گزارش خبری |

۷۱ استارتاپ‌های برتر در حوزه مدیریت آلودگی هوا

| گفت‌وگوها |

گفت‌وگو با دکتر وحید حسینی؛ دبیر کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا:
۷۷ تجربیات موفق و کیفیت اجرای مصوبات مربوط به کاهش آلودگی هوا

گفت‌وگو با دکتر شینا انصاری؛ مدیر کل دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست:
۸۱ اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوای ایران

| معرفی مراکز |

۸۸ آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون گازها در مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه شریف

| معرفی طرح فناورانه |

۹۰ بومی‌سازی فیلترهای دوده دیزل (DPF)

تلفن: ۶۶۱۶۶۳۲۳
دورنگار: ۶۶۰۱۶۵۱۶
پست الکترونیکی: fanaavard@sharif.edu

نشانی: تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، مجتمع خدمات فناوری دانشگاه، دفتر شماره ۴۰۵
صندوق پستی: ۱۸۸۱۰۰۰
کانال تلگرام: @FANAAVARD
وب‌سایت: http://fanaavard.sharif.edu

دکتر سعید خدایگان
سردبیر، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

نقش ذرات معلق و گرد و غبار در آلودگی هوا؛ علت یا معلول؟!

هـوا، ضروری‌ترین نیاز انسـان بـرای تداوم حیات است و بدون آن تنها لحظاتی می‌توان به زندگی ادامه داد. بشـر از دیرباز به اهمیت هوا و نقش آن در اسـتمرار و بقای هستی پی برده بود، به‌طوری‌که در باور پیشـینیان، هوا در کنـار آب و آتش و خاک از ارکان چهارگانه آفرینش جهان هسـتی به شـمار رفته است. در گذشـته، بـه دلیل حجم بسـیار عظیمی از هوای پـاک پیرامون کره زمیـن، احتمال بـروز محدودیت در دسترسـی به هوای قابل تنفـس برای انسـان، بـه ذهـن بدبین‌ترین افـراد آن روزگاران نیـز خطـور نمی‌کرد، اما در دنیـای امروز دسترسی‌نداشـتن به هوای پاک در سراسـر دنیا به‌حدی گسـترش یافته اسـت که بنا بـر اعلام سـازمان بهداشـت جهانـی، آلودگی هـوا خطرناک‌تریـن تهدید زیست‌محیطی برای سلامت بشر و همچنین چهارمین عامـل مرگ‌ومیر در جهان در قرن بیست‌ویکم است.

آلاینده‌های هوا شامل گازها و ذرات معلق‌اند کـه ترکیبی از انـواع گرد و غبار، دود و سـایر ذرات خشـک معلق در هوا هستند. بی‌شک اولین آلاینده‌های هوا منشأ طبیعی داشته‌اند؛ دود و خاکسـتر ناشی از آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتـع، بخارهـا و میعانات بدبـو و گازهای متصاعدشده از آتشفشان‌ها، گرد و غبار ناشی از تندبادهـا و طوفان‌ها در نواحی خشـک و کویری یا نمکزارها منشـأ طبیعی داشـته‌اند و از دیربـاز موجب بـروز آلودگی‌های محلی در هوا می‌شـدند. معمولا این نوع پدیده‌ها تا زمانی که بنا بر اکوسیسـتم طبیعی حاکم بر زمیـن ایجـاد و تکرار می‌شـدند، خطر جدی برای حیات انسان و سایر جانداران نداشتند، اما نفوذ و دخالت انسـان در چرخه طبیعت و زیـاده‌روی‌اش در فعالیت‌هـای غیرطبیعی، آغازگر وقوع مشکلات جدید و بعضا غیرقابل پیش‌بینی بوده است.

با مروری بر تاریخچه شـکل‌گیری و توسـعه جوامع شهری، می‌توان دریافت که با پیدایش تمدن‌های بشـری و افزایش نیازهای انسان خصوصـا نیاز به آتـش و متعاقبا اسـتفاده از سـوخت‌هایی از قبیل چوب و زغال سـنگ، حجم قابل توجهی از دود ناشـی از سـوخت در کوره‌های زغال‌سـوز تولید شـده است. با افزایش نرخ رشـد جمعیت شهری، گسترش کارخانجـات تولیـدی و کوره‌هـای صنعتی، میـزان مصـرف سـوخت‌های دودزا به‌طور چشـمگیری بـالا رفـت. ادامـه ایـن روند و نزدیک‌بـودن کارخانجـات و کوره‌های دودزا به شـهرها موجب بروز مشـکلات متعددی در روند زندگی شهرنشینی گردید، تا جایی که در قرن سیزدهم میلادی، ادوارد اول پادشاه انگلستان استفاده از سـوخت زغال سنگ را منع کرد. هرچند به دلیل رشـد سریع جمعیت و افزایش نیازهای زندگی شـهری، وضع این نوع قوانیـن، به توقف مصرف سـوخت‌های فسـیلی یـا کاهـش حجـم آلودگی‌هـای ناشـی از آنها منجر نشـد. با گذشـت زمان و پیشرفت‌های صنعتی، احداث و توسعه بیشتر کارخانجات، میزان حجم تولیدی آلاینده‌های صنعتی شـتاب مضاعفی گرفت. افزایش آثار آلودگی‌های ناشـی از توسـعه کارخانجات و کوره‌هـای صنعتی تا جایـی پیش رفت که در قرن هفدهم، پادشـاه انگلسـتان دستور داد کارخانجات صنعتی از شهر لندن خارج شود. با وقـوع انقلاب صنعتی در قـرن هجدهم و نوزدهم، حجـم گسـترده‌ای از آلاینده‌های ناشی از صنعتی‌شدن زندگی انسان وارد چرخه طبیعت شـد. به‌تدریج بـا اختـراع اتومبیل، همگام بـا افزایش جمعیت و توسـعه زندگی شهری، تولید انواع مختلف خودروهای سبک و سنگین، گسترش اسـتفاده از وسایل نقلیه و رشـد قابل توجه کارخانجات صنعتی سطح تولید ذرات آلاینده هوا را به‌شدت افزایش داد. از سوی دیگر، قطع بی‌رویّه درختان و تخریب جنگل‌ها، برداشـت بیش از حـد از ذخایر آب زیرزمینـی، سدسـازی و کاهـش حجم آب تالاب‌هـا و دریاچه‌هـا، سیاسـت‌های غیـر اصولـی مدیریـت آب، توسـعه بیابان‌هـا و نمکزارها، کشـاورزی سـنتی و غیر اصولی و فرسایش خاک، موجب بروز پدیده گرد و غبار و گسـترش آلودگی هـوا بر اثر ترکیـب انواع ذرات معلـق در آن شـده اسـت. این معضل به‌قدری تشـدید شـده که امروزه آلودگی هوا یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی بشر محسوب می‌شود.

نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد علاوه بر فعالیت‌های انسانی و نفوذ و دخالت انسان در طبیعت، تغییرات طبیعی آب‌وهوایی و اقلیمی نیـز عامل مهمی در بروز پدیـده طوفان‌های گرد و غبار اسـت. وجود پوشش‌های گیاهی مناسب در تثبیت شن‌های روان و جلوگیری از پیشـروی شن‌زارها و بیابان‌زایی نقش بسزایی در ممانعت از بروز پدیده گرد و غبار دارد. حال آنکـه تغییرات اقلیمـی می‌تواند منجـر به از بین رفتن این پوشـش‌های گیاهی محافظ و افزایش احتمال وقـوع پدیده‌های گرد و غبار و طوفان‌های شن گردد. خاستگاه پدیده گرد و غبار، طبیعت است که در اقلیم‌های خشک احتمـال رخـداد آن بالاسـت. فعالیت‌های مخـرب انسـان در طبیعـت (خشـک‌کردن منابع مختلـف آبی، قطع درختان، بیابان‌زایی

و فرسـایش خاک) حجم ذرات معلق ناشی از پدیده گرد و غبار را افزایش می‌دهد. از طرفی، ذرات معلـق و گـرد و غبـار می‌توانند موجب پراش نور خورشـید و تغییر کیفیت تشعشات جذب‌شـده نور از طریـق گیاهان و همچنین به واسـطه رخداد پدیـده گلخانـه‌ای، باعث گرمایش و افزایش قابل توجه متوسـط دمای خاک و محیط شوند. به این ترتیب، گرمایش ناشی از حجم بالای گرد و غبار مداوم در یک اکوسیستم، می‌تواند موجب کاهش بارندگی، خشک‌شـدن منابع آبـی منطقه، فرسـایش خـاک و تغییرات اقلیمـی و در نتیجه نابودی پوشـش‌های گیاهی محافظ منطقه گردد. از طرف دیگر، از بین رفتن پوشش‌های گیاهی و توسـعه مناطق بیابانی موجب تشدید پدیده گرد و غبار می‌شـود. به عبـارت دیگر، پدیده گـرد و غبار تغییرات اقلیمـی را به دنبال دارد و تغییرات اقلیمی منجر به تشـدید پدیده گرد و غبار می‌شـود. در واقـع، پدیده گرد و غبار و تغییرات اقلیمی نسبت به یکدیگر رابطه عامل و معلول متقابل دارند.

بـا نگاهی وسـیع‌تر و با دنبال‌کـردن زنجیره علـت و معلول‌هـا در بررسـی نقـش عوامل موثر در ایجاد آلودگـی هوا، می‌توان دریافت کـه حجم بالایی از آلاینده‌هـای هوا حاصل صنعتی‌شدن زندگی و افزایش سریع جمعیت و فعالیت‌هـای انسـانی اسـت. بنابرایـن، می‌تـوان عوامل انسـانی و سـوءمدیریت در مصرف منابع طبیعی و تغییرات اکوسیستمی را عامل اصلی بـروز بخش عمده‌ای از ذرات معلق آلاینده هوا دانسـت. از سوی دیگر، در مناطق مستعد وقوع پدیده طبیعی گرد و غبار، ترکیب انواع آلودگی‌ها با منشأهای طبیعی و صنعتـی و همچنین تغییرات اکوسیسـتمی موجب تشدید سـطح آلودگی هوا می‌شود. از طرفـی، تداوم و ماندگاری گرد و غبار و ذرات معلق علاوه بـر آلودگی هوا باعث بروز اثرات بلندمدت تغییرات اقلیمی و در نتیجه تشـدید پدیده گرد و غبار خواهد شد. به بیان ساده‌تر، فعالیت‌هـای انسـانی عامل افزایـش انواع آلودگی‌های هوا، و افزایش سطح آلودگی هوا عامل بروز تغییرات اقلیمی و متعاقبا تغییرات اقلیمی، تشدیدگر پدیده گرد و غبار و افزایش حجم ذرات معلق است که این خود به معنای افزایش آلودگی هوا و هم‌افزایی رشـد گرد و غبار و سطح آلودگی هواست.

در چنیـن چرخه و سـیکل معیوبی که ذرات معلق و گرد و غبـار، هم عامل آلودگی هوا و هم معلول آن هسـتند، نقش سیاست‌گذاری و اتخاذ تدابیر صحیـح و مدیریت منطقی در کنترل سطح آلودگی هوا با هدف خارج‌شدن از ایـن چرخه مخـرب بیش از پیـش مهم و حیاتـی می‌نماید. شناسـایی، کنترل و حذف اصلی‌تریـن عوامـل تولیـد آلاینده‌های هوا در منطقـه، هرچنـد از ابتدایی‌ترین اقدامات است، اما مسـیر اجرای دقیق و موفق آن با چالش‌های متعدد و پیچیده‌ای روبرو اسـت که گاهـی بسـیار زمان‌بـر و پرهزینه‌اند. در کنار اقدامات اجرایی و اصلاحی برای کنترل عوامل اصلی بروز آلودگی هـوا، اندازه‌گیری و تحلیـل دقیـق ذرات معلـق مطابـق بـا اسـتانداردهای موجود، شناسـایی ترکیب و منشأیابی هر یک از آنها در مدیریت و کنترل سطح این آلاینده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این میان، سـیاهه انتشـار یکی از ابزارهای کلیـدی در اتخـاذ سیاسـت‌های کاهـش انتشـار آلاینده‌ها در هوا اسـت که در عمل، بـدون وجـود آن برنامه‌ریزی بـرای کاهش آلودگـی هـوا ممکن نیسـت. بـا تخصیص مناسب سـخت‌افزاری و نرم‌افزاری در تعبیه ایسـتگاه‌های اندازه‌گیـری و پایـش میزان آلاینده‌های هـوا و تحلیل دقیـق داده‌های حاصل و بررسی آماری تاریخچه کیفیت هوا، می‌توان میزان اثربخشی اقدامات اصلاحی را به‌طور مسـتمر بررسـی و نسـبت به انجام اقدامات تکمیلی تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی کرد.

بی‌شـک بررسـی و مطالعه تجربیات موفق دیگر کشـورها در کنترل آلودگـی، با در نظر گرفتـن تفاوت‌هـای اقلیمـی و سـاختاری، می‌تواند الگوی مناسـبی بـرای حل معضل پرهزینه آلودگی هوا در کشور باشد. همچنین مطالعـه نمونه‌هـای موفـق در دنیا نشـان می‌دهد که به‌کارگیری فناوری‌های جدید در حوزه آلودگی هوا و سرمایه‌گذاری و حمایت از طرح‌های نوآورانه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری چگونه به شـکل‌گیری ایده‌هـای نو و ایجاد اسـتارت‌آپ‌های موفق در این حـوزه منجر می‌شـود؛ چنین رویکردی علاوه بر کنترل و کاهش سـطح آلودگی هـوا و متعاقبا کاهش احتمال بروز بیماری‌ها و مرگ‌ومیرهای ناشی از آلودگی هوا، به رونق کسب‌وکارهای مبتنی بر دانش و فناوری در این حوزه می‌انجامد.

آلودگی هوا؛ معضلی قابل کنترل

مروری بر سابقه یک الگوی موفق جهانی

آلودگی هوا امروزه بزرگ‌ترین مخاطره زیست‌محیطی برای سلامت جوامع به شمار می‌رود. در یک تخمین کلی، آلودگی هوا عامل سالانه بیش از ۷ میلیون مرگ زودرس است. آلودگی هوا چهارمین علت مهم مرگ زودرس در دنیا است که سالانه ۲۲۵ میلیارد دلار بر اقتصاد جهانی هزینه تحمیل می‌کند. امروزه حدود ۹۰ درصد مردم جهان هوای آلوده تنفس می‌کنند. بیش از ۹۰ درصد مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در کشورهای ضعیف و متوسط اقتصادی اتفاق می‌افتد. مهم‌ترین آلاینده هوای محیط، ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2/5}$) هستند که در سال ۲۰۱۶ میلادی ۴/۱ میلیون مرگ زودرس ناشی از بیماری‌های قلبی و سکته، سرطان ریه، بیماری‌های ریوی و اختلالات تنفسی به این آلاینده نسبت داده شده است. بر مبنای غلظت اندازه‌گیری‌شده در ۳۰۰۰ شهری که در سطح دنیا تحت پوشش برنامه سازمان بهداشت جهانی قرار دارند، غلظت $PM_{2/5}$ در سال ۲۰۱۶ در ۶۴درصد شهرها فراتر از حد استاندارد این سازمان گزارش شده است. در آن سال غلظت $PM_{2/5}$ در ۱۰۰درصد شهرهای خاورمیانه و آفریقا، ۹۹درصد شهرهای جنوب آسیا، ۹۵درصد شهرهای جنوب شرق آسیا و ۸۹درصد شهرهای شرق آسیا بیشتر از حد استاندارد بوده است.

بعد از ذرات معلق، از نظر میزان ریسک مرگ زودرس، مهم‌ترین آلاینده هوای محیط، اوزون سطحی است. غلظت اوزون سطحی در هوای جهان رو به افزایش دارد. در سال ۲۰۱۶ تعداد ۲۳۴هزار مرگ ناشی از بیماری‌های حاد ریوی به اوزون نسبت داده شده است. علاوه بر آلودگی هوای محیط، آلودگی هوای خانگی نیز اخیرا مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. حدود ۳میلیارد نفر، معادل ۴۰درصد جمعیت جهان، به سوخت و فناوری‌های پاک برای مصارف خانگی دسترسی ندارند. تعداد ۳/۸میلیون مرگ در سال ۲۰۱۶ به آلودگی هوای خانگی نسبت داده شده است. در گزارش پیش رو ضمن ارائه اطلاعات کلی در مورد آلاینده‌ها به منظور آشنایی مخاطبان، از ایالات متحده آمریکا به‌عنوان یک الگوی موفق در کنترل کیفیت هوا یاد شده و در مورد مهم‌ترین عوامل موفقیت این کشور بحث خواهد شد.

تاریخچه مختصری از قانون‌گذاری در زمینه آلودگی هوا در این کشور بیان می‌شود و با ارائه نتایج آماری روند بهبود کیفیت هوا در این کشور در طول زمان در نتیجه اجرای قوانین مورد بحث قرار می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد، ذرات $PM_{2/5}$ و اوزون سطحی مهم‌ترین آلاینده‌های هوای محیط هستند. کنترل انتشار اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرّار نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در کاهش غلظت ذرات معلق و اوزون در هوای محیط دارد. یکی از منابع مهم انتشار ذرات معلق (به‌صورت مستقیم)، ترکیبات آلی فرّار و اکسیدهای نیتروژن منابع متحرک هستند. بنابراین کنترل آلایندگی خودروها برای بهبود کیفیت هوا بسیار حائز اهمیت است. در گزارش پیش رو در مورد رویّه قانون‌گذاری و برنامه‌ریزی ایالات متحده برای کاهش انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک بحث خواهد شد. ایالات متحده در کاهش انتشار آلاینده گوگرد دی‌اکسید هم بسیار موفق عمل کرده که مهم‌ترین عامل آن بهبود کیفیت سوخت منابع احتراقی ایستا و متحرک بوده است.

استاندارد کیفیت هوا

یکی از استانداردهای معتبر کیفیت هوا که در سطح دنیا مطرح است، استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) می‌باشد که در حقیقت استاندارد کیفیت هوای ایران نیز از همین استاندارد الگوبرداری شده است. کشور آمریکا سابقه‌ای طولانی در مقابله با آلودگی هوا دارد و به استناد داده‌های آماری بلندمدت، تاکنون توانسته در این زمینه بسیار موفق عمل کند. نخستین انگیزه برای اقدام جهت کنترل کیفیت هوا در آمریکا در پی اتفاق سال ۱۹۴۸ میلادی به‌وجود آمد. در آن سال ابری ضخیم از آلاینده‌ها به مدت پنج شبانه‌روز آسمان شهر صنعتی دونورا در ایالت پنسیلوانیا را در بر گرفت که منجر به مرگ ۲۰نفر و بیماری ۶۰۰۰نفر از ۱۴۰۰۰نفر اهالی شهر شد. در سال ۱۹۵۵ با تصویب کنگره آمریکا، آلودگی هوا به‌عنوان یک مشکل ملی شناخته شد و بودجه‌ای برای تحقیق و پژوهش در این زمینه در نظر گرفته شد. در نتیجه آن، ۸ سال بعد در سال ۱۹۶۳ اولین قانون هوای پاک (CAA) به تصویب رسید که وظیفه اصلی آن آموزش و تحقیق در رابطه با پاکسازی هوای آلوده بود. در نسخه اولیه هنوز تدبیری جهت کاهش آلاینده‌ها در هوا اندیشیده نشده بود. در سال ۱۹۶۵ قانون CAA با الحاق قانون کنترل آلایندگی وسایل نقلیه کامل‌تر شد. این قانون استانداردهایی برای انتشار آلاینده‌های وسایل نقلیه سبک مشخص می‌کرد. دو سال بعد در سال ۱۹۶۷ قانون کنترل کیفیت هوا (AQA) تصویب گردید که ایالت‌ها را به تدوین استانداردهای محلی کیفیت هوا بر اساس معیارهای فدرال و تبیین سازوکار اجرایی کردن آن طبق برنامه زمان‌بندی شده ملزم می‌کرد. اما این قانون اثرگذار نبود. در نتیجه در

سال ۱۹۷۰ کنگره آمریکا نسخه جدید قانون CAA را تصویب کرد. در دستورالعمل جدید استانداردهایی برای شش آلاینده هوا مشخص شد که عبارتند از: گوگرد دی‌اکسید (SO2)، نیتروژن دی‌اکسید (NO2)، کربن مونواکسید (CO)، اوزون (O3)، ذرات معلق (PM) و سرب (Pb). همچنین در این دستورالعمل تدابیر لازم جهت اجرایی‌شدن برنامه‌های کنترل کیفیت هوا از جمله کنترل آلایندگی وسایل نقلیه موتوری اندیشیده شده بود. در همین سال کنگره، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) را با وظیفه نظارت بر اجرای استانداردهای تبیین‌شده در قانون CAA تاسیس کرد. پس از آن، مهم‌ترین اصلاحات دستورالعمل CAA در سال ۱۹۹۰ صورت پذیرفت که در نتیجه آن حوزه اختیارات آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در اجرای قوانین کنترل آلودگی هوا گسترش یافت. از جمله مهم‌ترین اصلاحات CAA در سال ۱۹۹۰ می‌توان به تاکید بیشتر بر کاهش انتشار آلاینده گوگرد دی‌اکسید در نیروگاه‌ها اشاره کرد. همچنین ایده تجارت آلاینده‌ها در دستورالعمل جدید مطرح گردید. بدین ترتیب که کمپانی‌ها می‌توانستند حق انتشار آلاینده خود را به دیگر کمپانی‌ها بفروشند. دفتر برنامه‌ریزی و استاندارد آلودگی هوای سازمان محیط زیست آمریکا، با هدف ارزیابی کیفیت هوا و مقایسه آن با استانداردها و داده‌های آماری، استاندارد ملی کیفیت هوای محیطی (NAAQS) را به تفکیک هر آلاینده بر اساس قوانین فدرال تدوین کرده است. در این استاندارد حدودی برای شش آلاینده معیار گوگرد دی‌اکسید (SO2)، نیتروژن‌دی‌اکسید (NO2)، کربن مونواکسید (CO)، اوزون (O3)، ذرات معلق (PM) و سرب (Pb) مشخص شده است (جدول۱). استانداردهای NAAQS به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. استانداردهای اولیه حفاظت از سلامت عمومی افراد جامعه، کودکان، بیماران و سالمندان را تامین کرده و استانداردهای ثانویه به رفاه اجتماعی، کاهش دید افقی، آسیب به حیوانات، گیاهان و ابنیه مربوط می‌شود.

آلاینده‌های هوا

آلاینده‌های هوا شامل برخی گازها و ذرات معلق در اتمسفر می‌شوند. آلاینده‌های گازی عبارتند از: گوگرد دی‌اکسید (SO2)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، اوزون (O3)، کربن مونواکسید (CO)، ترکیبات آلی فرّار (VOCs)، آلاینده‌های سمی هوا (۱۸۷ مورد آلاینده سمی از سوی EPA شناسایی شده و در مورد آنها دستورالعمل وجود دارد؛ مثل بنزن موجود در سوخت، پرکلرواتیلن که از طریق برخی خشک‌شویی‌ها در هوا منتشر می‌شود و متیلن‌کلراید که در برخی صنایع به‌عنوان حلال استفاده می‌شود) و حالت گازی برخی فلزات. ذرات معلق (PM۲٫۵ و PM۱۰) مخلوطی از ترکیبات مختلف است که در ۵ گروه عمده دسته‌بندی می‌شوند: سولفات‌ها، نیترات‌ها، کربن سیاه، کربن آلی و گردوغبار ناشی از پوسته زمین. برخی آلاینده‌ها به‌صورت مستقیم وارد جو می‌شوند و برخی دیگر حاصل فعل و انفعالات شیمیایی در جو هستند. به‌عنوان نمونه اوزون سطحی در پی واکنش ترکیبات آلی فرّار و اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید در جو شکل

جدول۱: استاندارد NAAQS

آلاینده	نوع استاندارد	بازه متوسط‌گیری	سطح استاندارد	توضیحات
مونواکسیدکربن (CO)	اولیه	۸ ساعت	۹ ppm	بیش از یک بار در سال فراتر نرود
		۱ ساعت	۳۵ ppm	
سرب (Pb)	اولیه و ثانویه	۱ ماه	۰/۱۵ µg/m۳	فراتر نرود
نیتروژن‌دی‌اکسید (NO2)	اولیه	۱ ساعت	۱۰۰ ppb	صده ۹۸ام داده‌های حداکثر غلظت روزانه، میانگین‌گیری شده در سه سال
	اولیه و ثانویه	۱ سال	۵۳ ppb	میانگین سالانه
اوزون (O3)	اولیه و ثانویه	۸ ساعت	۰/۰۷ ppm	چهارمین غلظت بالای حداکثر ۸ ساعت روزانه، میانگین‌گیری شده در سه سال
PM۲٫۵	اولیه	۱ سال	۱۲ µg/m۳	متوسط سالانه، میانگین‌گیری شده در سه سال
	ثانویه	۱ سال	۱۵ µg/m۳	متوسط سالانه، میانگین‌گیری شده در سه سال
	اولیه و ثانویه	۲۴ ساعت	۳۵ µg/m۳	صده ۹۸ام، میانگین‌گیری شده در سه سال
PM۱۰	اولیه و ثانویه	۲۴ ساعت	۱۵۰ µg/m۳	بطور میانگین در طول سه سال بیشتر از یک بار در سال فراتر نرود
گوگرد دی‌اکسید (SO2)	اولیه	۱ ساعت	۷۵ ppb	صده ۹۸ام داده‌های غلظت یک ساعته روزانه، میانگین‌گیری شده در سه سال
	ثانویه	۳ ساعت	۰/۵ ppm	بیشتر از یک بار در سال فراتر نرود

می‌گیرد. از میان تمام آلاینده‌های هوا، شش آلاینده به عنوان آلاینده‌های معیار شناخته می‌شوند و EPA استانداردهایی را تحت عنوان NAAQS برای آنها مشخص کرده است. آلاینده‌ها به طرق مختلف بر سلامت انسان و محیط زیست اثر می‌گذارند. گروه‌های حساس مانند کودکان، سالمندان، بیماران قلبی و تنفسی بیشتر از آلودگی هوا متاثر می‌شوند. تحقیقات علمی فراوانی تا کنون در این رابطه انجام شده است. در ادامه در مورد آثار بالینی و زیست‌محیطی هر یک از آلاینده‌ها بحث خواهد شد.

اوزون

آثار بالینی: تماس با اوزون اختلال در عملکرد ریه و بروز علائم تنفسی مانند سرفه و تنگی نفس را در پی دارد. اوزون همچنین باعث تشدید آسم و بیماری‌های ریوی مثل آمفیزم می‌شود که به دنبال آن مصرف دارو و مراجعات به مراکز درمانی و اورژانس‌ها افزایش پیدا می‌کند. تماس با اوزون ریسک مرگ‌ومیر زودرس ناشی از بیماری‌های تنفسی را افزایش می‌دهد. همچنین تماس کوتاه‌مدت با اوزون با افزایش مرگ‌ومیر طبیعی که شامل مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی می‌شود در ارتباط است.

آثار زیست محیطی: اوزون با آسیب‌رساندن به برگ گیاهان، کاهش فوتوسنتز، اختلال در روند تولید مثل و رشد گیاه به پوشش گیاهی مناطق آسیب وارد می‌کند که باعث تغییر در ساختار اکوسیستم، کاهش تنوع زیستی و کاهش جذب کربن‌دی‌اکسید می‌شود. تخمین زده شده که در سال ۲۰۰۰ میلادی اوزون باعث کاهش ۹/۶درصدی تولید گندم، ۳/۹درصدی تولید ذرت و ۱۱/۲درصدی تولید سویا در سطح جهان شده است. از طرف دیگر اوزون یک گاز گلخانه‌ای به شمار می‌رود که در روند گرمایش زمین و تغییر اقلیم موثر است.

ذرات معلق (PM)

آثار بالینی: تماس با ذرات معلق، به ویژه ذرات با ابعاد کمتر از ۲/۵ میکرون (PM۲/۵)، می‌تواند باعث آسیب به دستگاه قلبی‌عروقی بدن، حملات قلبی و سکته شود. این آثار باعث افزایش مراجعات به مراکز درمانی و تعداد بستری و در برخی موارد مرگ زودرس می‌شود. تماس با ذرات معلق بر دستگاه تنفسی هم موثر است و باعث تشدید حملات آسم می‌شود.

آثار زیست‌محیطی: ذرات معلق با ابعاد کمتر از ۲/۵ میکرون عامل اصلی کاهش دید در مناطقی از جمله پارک‌های طبیعی و مناطق بیابانی به شمار می‌روند. باد می‌تواند ذرات معلق را تا فواصل طولانی حمل کرده و سبب رسوب آنها بر خاک و آب‌های سطحی شود. رسوب ذرات معلق باعث اسیدی‌شدن دریاچه‌ها و جریان‌های سطحی شده، تعادل مواد مغذی را در حوضه آب‌های ساحلی و رودهای بزرگ به هم می‌زند و منابع مغذی خاک را از بین می‌برد که باعث صدمه‌دیدن جنگل‌های حساس و اراضی زراعی شده و تنوع زیستی را با تهدید مواجه می‌کند. ذرات معلق همچنین باعث آسیب‌رسیدن به سنگ‌ها و مواد دیگر می‌شوند و می‌توانند در بلندمدت به مجسمه‌ها و ابنیه تاریخی صدمه وارد کنند.

کربن‌مونواکسید

آثار بالینی: تنفس مقادیر زیاد کربن‌مونواکسید باعث کاهش اکسیژن دریافتی اندام‌ها و بافت‌های بدن می‌شود که در بیماران قلبی منجر به درد قفسه سینه و برخی علائم دیگر و افزایش مراجعات به پزشک می‌شود.

آثار زیست‌محیطی: کربن‌مونواکسید در تشکیل گازهای گلخانه‌ای اوزون و کربن‌دی‌اکسید مشارکت می‌کند و از این طریق در روند گرمایش زمین و تغییر اقلیم اثر می‌گذارد.

سرب

آثار بالینی: بسته به غلظت آلاینده در هوا، تماس با سرب باعث اختلال در رشد سیستم عصبی کودکان می‌شود که کاهش سطح IQ و اختلالات یادگیری و رفتاری از نتایج آن است. آثار بلندمدت تماس با غلظت بالای سرب شامل آسیب‌های قلبی‌عروقی مثل فشار خون بالا و بیماری‌های قلبی در بزرگسالان می‌شود.

آثار زیست‌محیطی: مقادیر زیاد سرب موجود در خاک و آب‌های شیرین منجر به کاهش رشد و نرخ تولید مثل در آبزیان و گیاهان می‌شود.

نیتروژن دی‌اکسید

آثار بالینی: تماس کوتاه‌مدت با آلاینده نیتروژن‌دی‌اکسید سبب تشدید بیماری‌های تنفسی به‌ویژه آسم می‌شود، باعث بروز علائم تنفسی شده و افزایش مراجعات به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی را در پی دارد. تماس بلندمدت با این آلاینده افزایش شیوع آسم و حساسیت به عفونت‌های دستگاه تنفسی را به دنبال دارد.

گوگرد دی‌اکسید

آثار بالینی: تماس کوتاه‌مدت با گوگرد دی‌اکسید بر دستگاه تنفسی اثر می‌گذارد. به این ترتیب که سختی تنفس و افزایش علائم آسم را به دنبال دارد. این مشکل برای مبتلایان به آسم در هنگام ورزش‌کردن و فعالیت جدی است. بین تماس کوتاه‌مدت با آلاینده گوگرد دی‌اکسید و افزایش مراجعات به مراکز درمانی جهت بیماری‌های تنفسی، به‌ویژه در مورد گروه‌های حساس مثل کودکان، سالمندان و مبتلایان به آسم رابطه وجود دارد. از طرفی گوگرد دی‌اکسید در تشکیل ذرات معلق در جو مشارکت می‌کند که برای سلامت انسان مضر است.

اکسیدهای نیتروژن و گوگرد (SOx و NOx)

آثار زیست‌محیطی: اکسیدهای نیتروژن با ترکیبات آلی فرّار واکنش داده و اوزون در هوا شکل می‌گیرد. از سوی دیگر اکسیدهای نیتروژن از طریق واکنش با آمونیاک و ترکیبات دیگر در شکل‌گیری ذرات معلق در جو مشارکت می‌کنند که آثار بالینی و زیست‌محیطی مخربی را به دنبال دارد. رسوب اکسیدهای نیتروژن در اسیدی‌شدن و تغذیه‌گرایی (اشباع نیتروژن) آب‌های سطحی و خاک موثر است که منجر به اختلال در تعادل اکوسیستم می‌شود. رسوب اکسیدهای گوگرد نیز باعث اسیدی‌شدن محیط خاک و آب‌های سطحی شده و متیلاسیون جیوه در تالاب‌ها را به همراه دارد. اکسیدهای گوگرد به پوشش گیاهی و جمعیت گونه‌های موجود در اکوسیستم‌های آبی و سرزمینی آسیب می‌زنند و از طرفی در تشکیل ذرات معلق در جو مشارکت می‌کنند که آثار زیست‌محیطی مخربی از جمله سرد شدن اتمسفر را به همراه دارد.

آلاینده‌های سمی هوا

آثار بالینی: همان‌طور که پیشتر اشاره شد، سازمان محیط زیست آمریکا ۱۸۷ مورد را به عنوان آلاینده‌های سمی هوا شناسایی کرده است. این آلاینده‌ها بسته به نوع آلاینده، غلظت آن و نحوه تماس افراد با هوای آلوده، اثرات متعددی بر سلامت انسان به جای می‌گذارند. افرادی که هوای مسموم را استنشاق می‌کنند، ممکن است دچار سوزش چشم، بینی و حلق و همچنین تنگی نفس شوند. تماس بلندمدت با هوای مسموم می‌تواند باعث بروز سرطان و آسیب به سیستم ایمنی بدن و دستگاه‌های عصبی، تناسلی و تنفسی شود. برخی از این آلاینده‌های سمی در تشکیل اوزون و ذرات معلق در جو نیز مشارکت می‌کنند.

آثار زیست‌محیطی: برخی از آلاینده‌های سمی پس از رسوب بر خاک و آب‌های سطحی می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند. تماس با این آلاینده‌ها بر سلامت دام و حیات وحش نیز موثر است. برخی از این آلاینده‌ها با مشارکت در شکل‌گیری ذرات معلق، بر محیط زیست اثر مخرب می‌گذارند.

شاخص کیفیت هوا

شاخص کیفیت هوا (AQI) ابزاری مناسب جهت ارزیابی کیفیت هوا است که به اطلاع‌رسانی عمومی در مورد وضعیت آلودگی هوا، میزان خطر آن برای سلامت و روش‌های محافظت در برابر آن کمک شایانی می‌کند. این شاخص بر اساس غلظت پنج آلاینده گوگرد دی‌اکسید (SO_2)، نیتروژن‌دی‌اکسید (NO_2)، کربن مونواکسید (CO)، اوزون (O_3)، ذرات معلق (PM) در هوا محاسبه می‌گردد و با توجه به آثار آن بر سلامت انسان به شش بازه مطابق جدول ۲ تقسیم می‌شود. در جدول ۳ گروه‌های حساس به هر آلاینده ارائه شده است. این شاخص برای ذرات معلق با ابعاد کمتر از ۱۰میکرون (PM۱۰) و کمتر از ۲/۵میکرون (PM۲/۵) به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. ارتباط این شاخص با استانداردهای NAAQS به این ترتیب است که در اغلب مواقع وقتی AQI برابر با ۱۰۰ است، غلظت آلاینده در هوا برابر با استاندارد کوتاه‌مدت و وقتی برابر با ۵۰ است، غلظت آلاینده با استاندارد سالانه آن (در صورت وجود) برابر است. AQI برای مناطق شهری با جمعیت حداقل ۳۵۰هزار نفر به این ترتیب محاسبه می‌شود که پس از اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های اصلی در هر ایستگاه و تبدیل داده‌های اولیه به AQI بیشترین مقدار AQI محاسبه شده به عنوان شاخص کیفیت هوای ایستگاه گزارش شده و آلاینده مربوط به عنوان آلاینده مسئول شناخته

جدول۲: ارتباط شاخص کیفیت هوا با سطح اهمیت بهداشتی و رنگ‌های متناظر

بازه شاخص کیفیت هوا	سطح اهمیت بهداشتی	رنگ	
۰ - ۵۰	خوب	سبز	
۵۱ - ۱۰۰	متوسط	زرد	
۱۰۱ - ۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	نارنجی	
۱۵۱ - ۲۰۰	ناسالم	قرمز	
۲۰۱ - ۳۰۰	خیلی ناسالم	بنفش	
بالاتر از ۳۰۰	خطرناک	خرمایی	

جدول۳: گروه‌های حساس به هر آلاینده

آلاینده	گروه حساس
اوزون (O_3)	کودکان و افراد مبتلا به آسم
مونواکسیدکربن (CO)	افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی
گوگرد دی‌اکسید (SO_2)	افراد مبتلا به آسم
نیتروژن‌دی‌اکسید (NO_2)	کودکان و افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی
PM۲/۵	کودکان، سالمندان و مبتلایان به بیماری‌های قلبی و تنفسی
PM۱۰	افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی

می‌شود. پس از آن بالاترین مقدار AQI بین تمام ایستگاه‌های سطح شهر به عنوان شاخص کیفیت هوای شهر گزارش می‌شود.

منشأ آلاینده‌ها

شناسایی منشأ آلاینده‌ها مهم‌ترین گام در مقابله با آنها محسوب می‌شود. منابع منتشرکننده آلاینده‌ها را می‌توان در چهار گروه عمده دسته‌بندی کرد:

۱- منابع احتراقی ایستا (مثل نیروگاه‌ها و بویلرهای صنعتی)

۲- فرایندهای صنعتی و غیرصنعتی (مثل کوره‌های سیمان، پالایشگاه‌ها، کارخانجات ذوب فلزات و خشک‌شویی‌ها)

۳- وسایل نقلیه جاده‌ای

۴- وسایل متحرک غیرجاده‌ای (مثل ماشین‌آلات تفریحی و ساخت‌وساز، کشتی‌ها، هواپیماها و لوکوموتیوها)

در شکل ۱ سهم هر گروه در انتشار آلاینده‌ها نشان داده شده است. این شکل مربوط به ایالات متحده آمریکا است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، منابع احتراقی ایستا مثل نیروگاه‌های تولید انرژی در انتشار گوگرد دی‌اکسید و ذرات معلق سهم قابل توجهی دارند. نکته قابل توجه دیگر این است که در ایالات متحده سهم وسایل نقلیه جاده‌ای در انتشار مستقیم ذرات معلق با ابعاد کمتر از ۲/۵ و ۱۰میکرون به ترتیب ۷ و ۱۱درصد است و بیش از ۷۰درصد آلودگی ذرات معلق از منابع احتراقی ایستا و فرایندهای صنعتی و غیرصنعتی و احتمالا منابع طبیعی نشأت می‌گیرد. در اختیار داشتن این اطلاعات با ارزش آماری در کنترل و مدیریت آلودگی هوا بسیار موثر است.

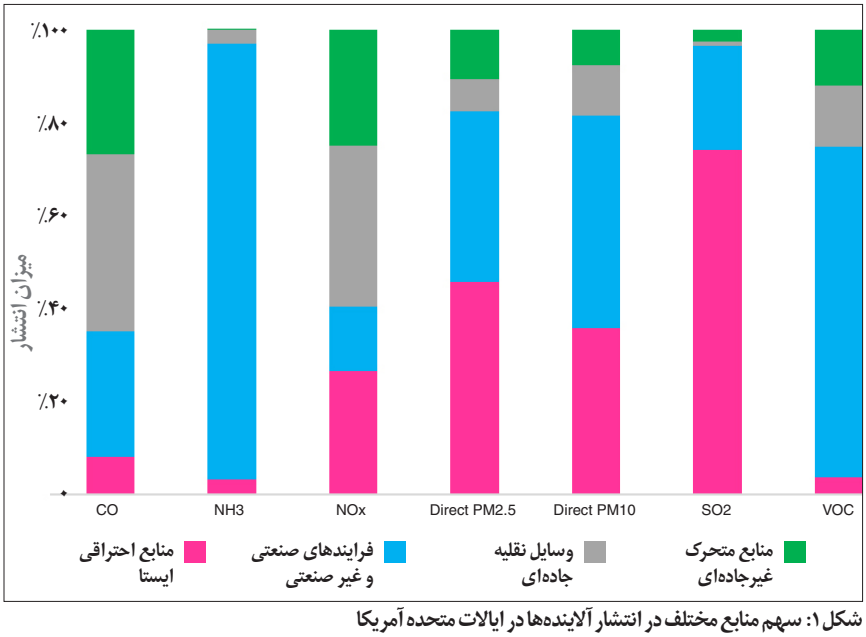
استاندارد وسایل نقلیه

یکی از منابع عمده آلودگی هوا در مناطق شهری، خودروها هستند. برای کنترل آلایندگی خودروها استانداردهای متعددی در سطح دنیا تنظیم شده است. در ایالات متحده آمریکا دو نوع استاندارد برای خودروها وجود دارد: استاندارد فدرال آمریکا که سازمان محیط زیست این کشور تنظیم کرده و استاندارد هیأت منابع هوایی کالیفرنیا (CARB). استاندارد کالیفرنیا سخت‌گیرانه‌تر از استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا است، هرچند که در آخرین نسخه‌ها، این دو استاندارد تطابق و هماهنگی بیشتری پیدا کرده‌اند. ایالت‌ها مختار به انتخاب هرکدام از این دو استاندارد هستند.

جدیدترین نسخه استاندارد فدرال آمریکا، استاندارد درجه سوم است که در پی استانداردهای درجه دوم، اول و مقررات کنترل آلایندگی پیش از آن منتشر شده است. استانداردهای فدرال درجه اول و دوم در متمم دستورالعمل هوای پاک (CAA) در سال ۱۹۹۰ تعریف شدند. بازه اجرایی این دو استاندارد به ترتیب بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۷ و ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ بوده است. پس از اجرای کامل مقررات درجه دوم، سازمان محیط زیست آمریکا استاندارد درجه سوم را در سال ۲۰۱۴ تصویب کرد که بازه اجرایی آن بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ میلادی خواهد بود.

استاندارد فدرال درجه اول خودروهای سبک با وزن ناخالص (GVWR) کمتر از ۸۵۰۰ پوند را دربرمی‌گرفت. استاندارد درجه دوم با شامل‌شدن خودروهای متوسط مسافربری با وزن ناخالص ۸۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پوند گسترده‌تر شد. استاندارد درجه سوم خودروهای سنگین با وزن ناخالص تا ۱۴۰۰۰ پوند (مثل وانت‌بارها، پیک‌آپ‌ها و ون‌ها) را نیز شامل می‌شود. در بازه اجرایی هر یک از استانداردها، کمپانی‌های تولید خودرو مکلف هستند هر سال به صورت افزاینده درصد مشخصی از خودروهای تولیدی خود را با استاندارد جدید تطبیق دهند. مابقی خودروها باید با استانداردهای سری قبل مطابقت داشته باشند. در پایان دوره اجرایی، کلیه خودروهای تولیدی باید حائز شرایط استاندارد جدید باشند.

در استاندارد فدرال درجه اول خودروهای سبک با توجه به وزن ناخالص و کاربری به چهار گروه تقسیم شده و برای هر گروه از خودروها حدودی بر حسب گرم بر مایل برای انتشار آلاینده‌های NOx، CO و ذرات معلق مشخص شده بود.



شکل ۱: سهم منابع مختلف در انتشار آلاینده‌ها در ایالات متحده آمریکا

این استاندارد در مورد خودروهای سنگین‌تر سخت‌گیری کمتری اعمال می‌کرد. اما در استانداردهای درجه دوم و سوم رویّه تغییر پیدا کرد. وجه تمایز استانداردهای درجه دوم و سوم فدرال آمریکا با سایر استانداردهای موجود مثل استاندارد اتحادیه اروپا (EURO) این است که استاندارد فدرال مجموعه‌ای از گواهی‌نامه‌ها است که به هر یک Bin گفته می‌شود. بدین ترتیب تولیدکنندگان خودرو می‌توانند هر مدل را با یکی از Binها تطبیق دهند. اما طبق الزامات استاندارد درجه دوم، متوسط انتشار NOx کل خودروهای فروخته‌شده هر کمپانی باید کمتر از ۰/۰۷ گرم بر مایل در طول عمر مفید خودروها باشد. این عدد با Bin5 استاندارد درجه دوم مطابقت دارد. بدین معنی که اگر یک کمپانی تعدادی خودرو با استاندارد Bin6 یا Bin7 در هر سال فروخته که NOx بیشتری از مقدار مجاز منتشر می‌کنند، باید به تعداد کافی خودرو با استاندارد Bin4 یا Bin3 بفروشد تا بتواند میانگین انتشار مجاز NOx را رعایت کند. مضافا در استاندارد درجه دوم کیفیت سوخت نیز مورد تاکید قرار گرفت. بدین ترتیب که تولیدکنندگان و واردکنندگان سوخت ملزم به کاهش میانگین سالانه محتوای گوگرد گازوئیل از ppm۱۲۰ در سال ۲۰۰۴ به ppm۳۰ در سال ۲۰۰۶ شدند. قابل ذکر است که استاندارد درجه دوم صرف نظر از نوع سوخت (بنزین، گازوئیل یا سوخت‌های جایگزین) کلیه خودروهای سبک و سنگین را در برمی‌گیرد. درحالی‌که استاندارد درجه اول برای خودروهای بنزینی و گازوئیلی از نظر میزان انتشار NOx تفاوت قائل می‌شد. از این جهت که استاندارد بر حسب گرم بر مایل مشخص شده، خودروها با موتور سنگین‌تر مجبور به استفاده از تکنیک‌های کنترل آلایندگی کارآمدتر هستند.

استاندارد فدرال درجه سوم ساختاری مشابه با استاندارد درجه دوم دارد. با این تفاوت که نسبت به استاندارد سری قبل سخت‌گیرانه‌تر است. در استاندارد درجه دوم متوسط انتشار NOx کل خودروهای فروخته‌شده یک کمپانی معیار قرار داده شده بود، در صورتی که در استاندارد درجه سوم میانگین انتشار NOx به علاوه گازهای آلی غیر متانی (NMOG) معیار قرار گرفته است. بدین ترتیب که متوسط انتشار NOx+NMOG خودروهای سبک تا سال ۲۰۲۵ باید به ۳۰ میلی‌گرم بر مایل (استاندارد درجه سوم، Bin30) برسد. انتخاب این معیار به این دلیل است که با توجه به شکل ۱ اولین منبع انتشار اکسیدهای نیتروژن و دومین منبع انتشار ترکیبات آلی فرّار در آمریکا خودروها هستند. از طرف دیگر این دو آلاینده در تشکیل اوزون سطحی که یکی از مشکل‌زاترین آلاینده‌ها در آمریکا است، مشارکت می‌کنند. کیفیت سوخت در استاندارد درجه سوم مورد تاکید بیشتری قرار گرفته است و محتوای گوگرد گازوئیل باید از ppm۳۰ به ppm۱۰ کاهش پیدا کند. استاندارد فدرال درجه سوم نیز صرف نظر از نوع سوخت برای همه خودروها اعمال می‌شود. در جدول ۴ استاندارد فدرال درجه ۳ ارائه شده است.

قابل ذکر است که مقدار مجاز انتشار ذرات معلق از حدود ۱۰۰ میلی‌گرم بر مایل در استاندارد درجه اول، به حداکثر ۲۰ میلی‌گرم بر مایل در استاندارد درجه دوم کاهش پیدا کرد. مقدار انتشار ذرات معلق توسط خودروها در ایالات متحده بر اساس استاندارد درجه سوم تا سال ۲۰۲۵ به کمتر از ۳ میلی‌گرم بر مایل کاهش پیدا خواهد کرد.

ساختار کلی استاندارد کالیفرنیا نیز همانند استانداردهای فدرال است. همان‌گونه که پیشتر ذکر گردید، ایالت‌ها مختار به انتخاب هر یک از دو استاندارد هستند. برخی ایالت‌ها در آمریکا که نیاز به قوانین سخت‌گیرانه‌تر برای رسیدن به چشم‌اندازهای کیفیت هوای تعیین‌شده دارند، مثل ایالت‌های نیویورک و نیوجرسی استاندارد کالیفرنیا را به تصویب رسانده‌اند. جدیدترین نسخه استاندارد کالیفرنیا، استاندارد LEV III است که بازه اجرایی آن بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ خواهد بود. استاندارد LEV II نیز بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ اجرایی گردیده است. مطابق جدول ۵، در استاندارد LEV III خودروهای سبک و متوسط بر اساس وزن ناخالص به سه گروه کمتر از ۸۵۰۰ پوند، ۸۵۰۰ تا ۱۰ هزار پوند و ۱۰ هزار تا ۱۴ هزار پوند تقسیم شده‌اند و برای هر گروه استانداردهایی ارائه شده است. در استاندارد LEV III نیز همانند استاندارد فدرال درجه سوم، معیار میزان انتشار NOx+NMOG است که کمپانی‌ها را ملزم می‌کند از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۵ متوسط انتشار NOx+NMOG کل خودروهایی که می‌فروشند را به میزان ۷۵درصد و تا ۳۰ میلی‌گرم بر مایل کاهش دهند (شکل ۲).

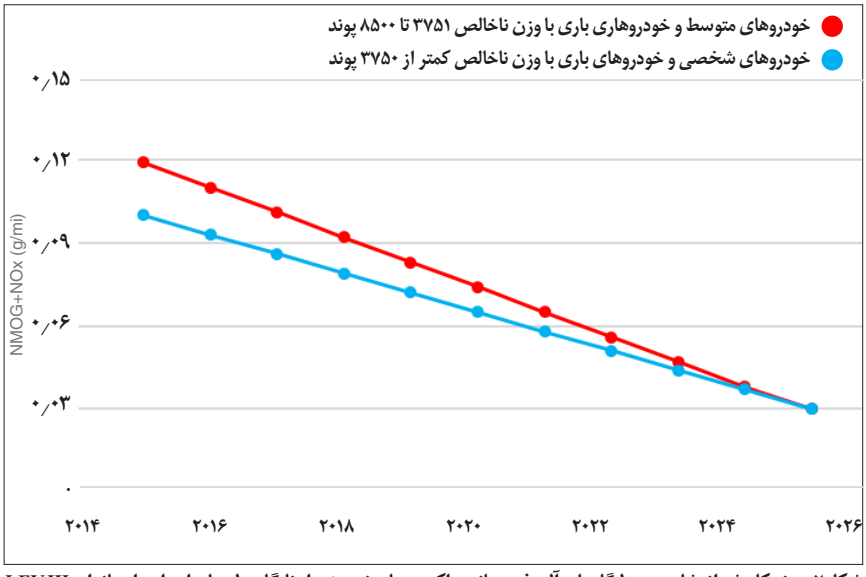
جدول ۴: استاندارد فدرال درجه ۳

Bin	NMOG+NOx	PM	CO	HCHO
	mg/mi	mg/mi	mg/mi	mg/mi
۱۶۰	۱۶۰	۳	۴/۲	۴
۱۲۵	۱۲۵	۳	۲/۱	۴
۷۰	۷۰	۳	۱/۷	۴
۵۰	۵۰	۳	۱/۷	۴
۳۰	۳۰	۳	۱/۰	۴
۲۰	۲۰	۳	۱/۰	۴
۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۵: استاندارد LEV III کالیفرنیا (حدود بر حسب گرم بر مایل)

نوع وسیله نقلیه	طبقه استاندارد	NMOG+NOx	CO	HCHO	PM
خودروهای شخصی	LEV۱۶۰	۰/۱۶۰	۴/۲	۴	۰/۰۱
	ULEV۱۲۵	۰/۱۲۵	۲/۱	۴	۰/۰۱
خودروهای باری سبک با وزن ناخالص کمتر از ۸۵۰۰ پوند	ULEV۷۰	۰/۰۷۰	۱/۷	۴	۰/۰۱
	ULEV۵۰	۰/۰۵۰	۱/۷	۴	۰/۰۱
خودروهای متوسط مسافربری	SULEV۳۰	۰/۰۳۰	۱	۴	۰/۰۱
	SULEV۲۰	۰/۰۲۰	۱	۴	۰/۰۱
خودروهای متوسط با وزن ناخالص ۸۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پوند	LEV۳۹۵	۰/۳۹۵	۶/۴	۶	۰/۱۲
	ULEV۳۴۰	۰/۳۴۰	۶/۴	۶	۰/۰۶
	ULEV۲۵۰	۰/۲۵۰	۶/۴	۶	۰/۰۶
	ULEV۲۰۰	۰/۲۰۰	۴/۲	۶	۰/۰۶
	SULEV۱۷۰	۰/۱۷۰	۴/۲	۶	۰/۰۶
	SULEV۱۵۰	۰/۱۵۰	۳/۲	۶	۰/۰۶
خودروهای متوسط با ون ناخالص ۱۰۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ پوند	LEV۶۳۰	۰/۶۳۰	۷/۳	۶	۰/۱۲
	ULEV۵۷۰	۰/۵۷۰	۷/۳	۶	۰/۰۶
	ULEV۴۰۰	۰/۴۰۰	۷/۳	۶	۰/۰۶
	ULEV۲۷۰	۰/۲۷۰	۴/۲	۶	۰/۰۶
	SULEV۲۳۰	۰/۲۳۰	۴/۲	۶	۰/۰۶
	SULEV۲۰۰	۰/۲۰۰	۳/۷	۶	۰/۰۶

در استاندارد LEV III با توجه به پیشرفت تکنولوژی، روند مشخصی برای کاهش انتشار ذرات معلق از طریق خودروها اندیشیده شده است. بدین ترتیب که در طول بازه اجرایی طبق زمان‌بندی ارائه‌شده در جدول ۶ کمپانی‌ها می‌بایست هر سال به صورت افزاینده درصد مشخصی از خودروهای تولیدی خود را با استاندارد انتشار ذرات معلق تطبیق دهند. میزان انتشار ذرات معلق درصد باقی‌مانده از خودروهای تولیدشده در فاز اجرایی باید مطابق با مقادیر ارائه‌شده در جدول ۵ باشد. در نتیجه این اقدام، میزان انتشار ذرات معلق توسط خودروهای سبک از ۱۰میلی‌گرم بر مایل به ترتیب به ۳ و ۱میلی‌گرم بر مایل طی بازه ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ و ۲۰۲۵ تا ۲۰۲۸ کاهش خواهد یافت. همچنین میزان انتشار ذرات معلق خودروهای متوسط با وزن ناخالص ۸۵۰۰ تا ۱۰هزار پوند و ۱۰ هزار تا ۱۴هزار پوند بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ از حداکثر ۶۰میلی‌گرم بر مایل به ترتیب به ۸ و ۱۰میلی‌گرم بر مایل کاهش پیدا خواهد کرد. همان‌طور که در ادامه ضمن ارائه اطلاعات آماری بحث خواهد شد، کشور آمریکا در مقابله با آلودگی هوا تاکنون بسیار موفق عمل نموده است. توجه به رویّه قانون‌گذاری در آمریکا جهت کاهش آلایندگی خودروها که در قالب استانداردها سعی در کنترل آلودگی هوا داشته است، به عنوان یک نمونه از اقدامات بلندمدت و برنامه‌ریزی‌شده این کشور می‌تواند ایده‌های زیادی در ذهن مخاطبان ایجاد نماید.



شکل ۲: روند کاهش انتشار متوسط گازهای آلی غیر متانی و اکسیدهای نیتروژن از ناوگان طی بازه اجرایی استاندارد LEV III

ایالات متحده آمریکا؛ یک الگوی موفق

قانون هوای پاک (CAA) در بیش از چهل سال گذشته محور اصلی برنامه‌های کنترل کیفیت هوا در آمریکا بوده است. در طول این مدت علی‌رغم اعمال قوانین سخت‌گیرانه کنترل آلایندگی، اقتصاد این کشور روندی صعودی طی کرده است. بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷ میانگین انتشار تجمعی ۶ آلاینده اصلی (PM2.5. PM10. SO2. NOx. VOCs. CO و Pb) در ایالات متحده حدود ۷۳درصد کاهش یافته است. این درحالی است که طی این مدت تولید ناخالص داخلی

۲۶۲ درصد رشد کرده و مسافت پیموده‌شده توسط خودروها ۱۸۹درصد، میزان مصرف انرژی ۴۴درصد و جمعیت این کشور حدود ۶۰درصد افزایش پیدا کرده است (شکل ۳).

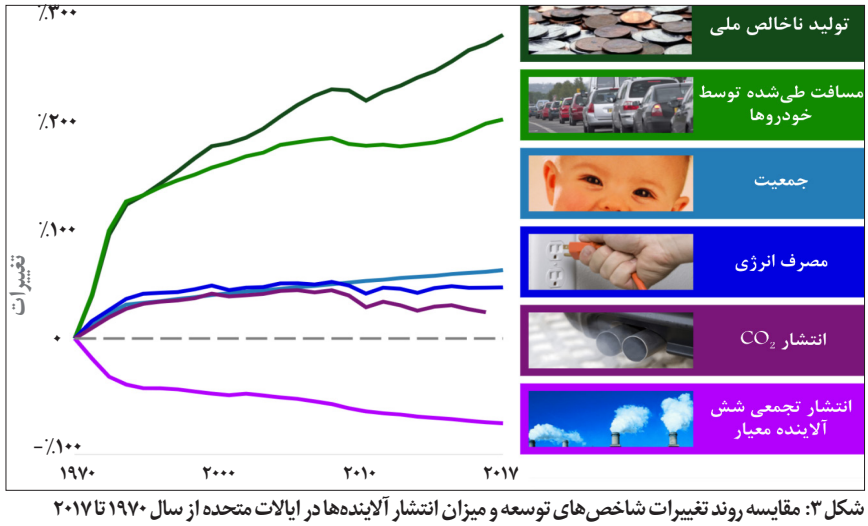
در نتیجه اجرای برنامه‌های کنترل کیفیت هوا در ایالات متحده از سال ۱۹۹۰ میلادی تا کنون، مطابق شکل ۴ غلظت آلاینده‌های کربن‌مونواکسید به میزان ۷۷درصد، نیتروژن‌دی‌اکسید بیش از ۵۰درصد، اوزون ۲۲درصد، ذرات معلق کمتر از ۱۰ و ۲/۵میکرون به ترتیب به میزان ۳۴ و ۴۰درصد و گوگرد دی‌اکسید ۸۸درصد در هوای آمریکا کاهش یافته است.

در شکل ۵ وضعیت آلاینده گوگرد دی‌اکسید در سطح آمریکا در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۷ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در طول ۲۷ سال گذشته، مشکل این آلاینده در سطح این کشور، علی‌الخصوص در بخش شرقی به خوبی کنترل شده است. در شکل ۶ روند کاهش غلظت این آلاینده در هوای آمریکا نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود کنترل آلایندگی منابع احتراقی ایستا نقش قابل توجهی در کاهش غلظت آلاینده SO۲ در هوا ایفا کرده است. یکی از عوامل مهم کاهش غلظت و انتشار گوگرد دی‌اکسید در ایالات متحده آمریکا، ارتقای کیفیت سوخت و کاهش محتوای گوگرد سوخت توزیعی در سطح این کشور است.

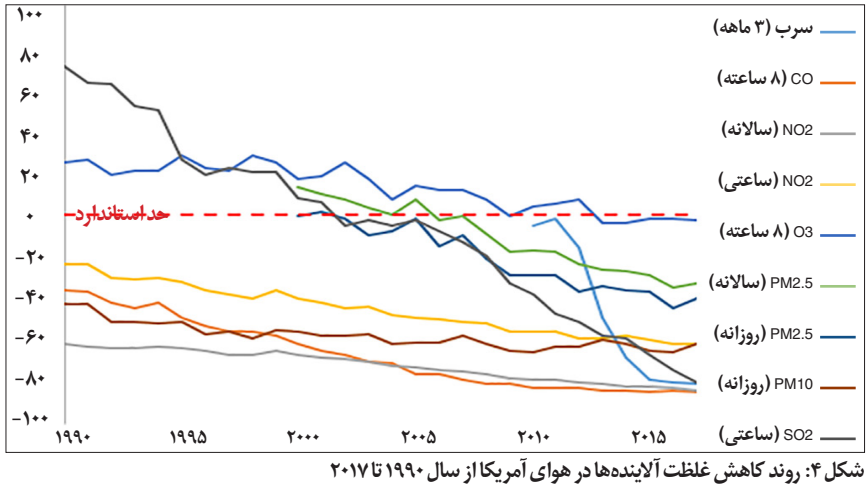
پیشتر نیز اشاره شد که یکی از آلاینده‌های مهم در آمریکا اوزون سطحی است، از این جهت که هم بر سلامت شهروندان اثرگذار است و هم با آسیب‌رساندن به پوشش گیاهی، زیان اقتصادی قابل توجهی را بر کشاورزان تحمیل می‌کند. در شکل ۷ غلظت این آلاینده در سطح ایالات متحده در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۷ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، وضعیت این آلاینده در سال ۱۹۹۰ در آمریکا بسیار نامناسب

جدول۶: زمانبندی کاهش انتشار ذرات در استاندارد LEV III کالیفرنیا (درصد ناوگان)

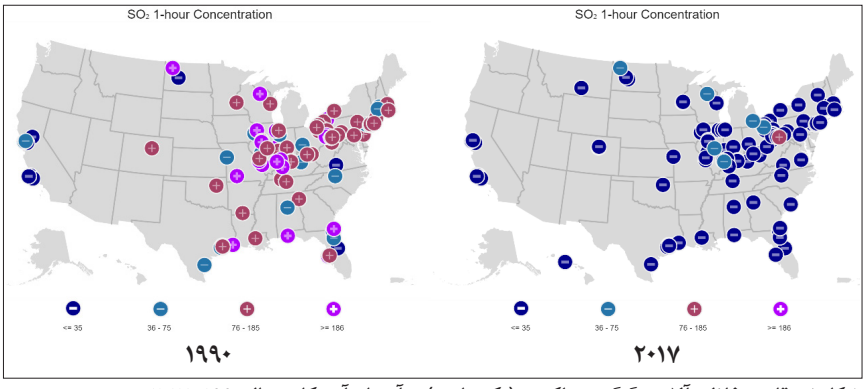
سال	خودروهای شخصی، باری سبک و مسافربری متوسط		خودروهای متوسط
	PM = 3 mg/mi	PM = 1 mg/mi	PM = 8/10 mg/mi
۲۰۱۷	۱۰	۰	۱۰
۲۰۱۸	۲۰	۰	۲۰
۲۰۱۹	۴۰	۰	۴۰
۲۰۲۰	۷۰	۰	۷۰
۲۰۲۱	۱۰۰	۰	۱۰۰
۲۰۲۲	۱۰۰	۰	۱۰۰
۲۰۲۳	۱۰۰	۰	۱۰۰
۲۰۲۴	۱۰۰	۰	۱۰۰
۲۰۲۵	۷۵	۲۵	۱۰۰
۲۰۲۶	۵۰	۵۰	۱۰۰
۲۰۲۷	۲۵	۷۵	۱۰۰
۲۰۲۸	۰	۰	۱۰۰



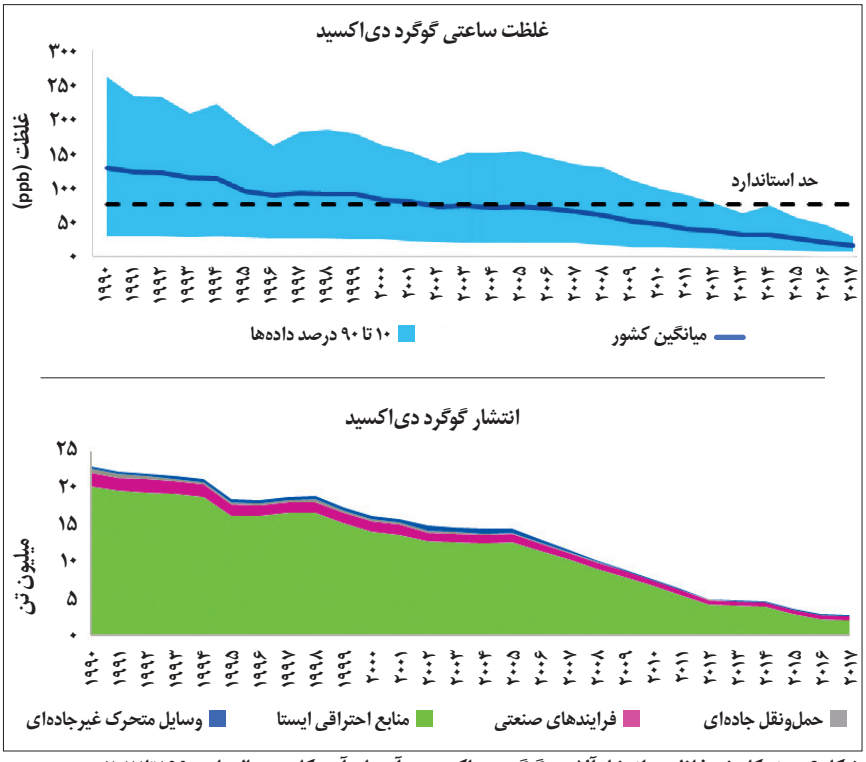
شکل ۳: مقایسه روند تغییرات شاخص‌های توسعه و میزان انتشار آلاینده‌ها در ایالات متحده از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷



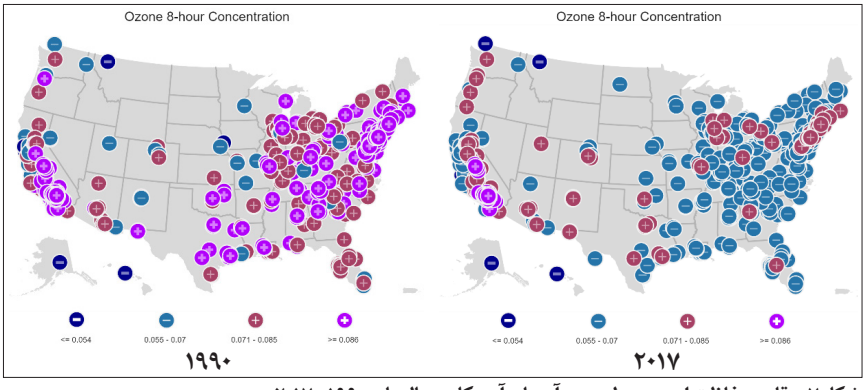
شکل ۴: روند کاهش غلظت آلاینده‌ها در هوای آمریکا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷



شکل ۵: مقایسه غلظت آلاینده گوگرد دی‌اکسید (یک‌ساعته) در آسمان آمریکا در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۷



شکل ۶: روند کاهش غلظت و انتشار آلاینده گوگرد دی‌اکسید در آسمان آمریکا بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷



شکل ۷: مقایسه غلظت اوزون سطحی در آسمان آمریکا در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۷

بوده است. آلاینده اوزون سطحی به‌صورت مستقیم منتشر نمی‌شود، بلکه در نتیجه واکنش شیمیایی اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار مثل فرمالدهید (HCHO) در هوا شکل می‌گیرد. بنابراین در بررسی روند تغییر غلظت اوزون در هوا، تغییرات غلظت اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار نیز باید بررسی گردد. گفته شد که اولین منبع انتشار اکسیدهای نیتروژن در آمریکا خودروها هستند. اعمال مقررات سخت‌گیرانه در رابطه با آلایندگی خودروها نقش بسزایی در کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و به تبع آن اوزون ایفا کرده است. میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن در آمریکا توسط خودروها از ۹/۶میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۳/۷میلیون تن در سال ۲۰۱۷ کاهش پیدا کرده است. در شکل ۷ روند نزولی غلظت اوزون و در کنار آن سیر کاهشی غلظت اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار (VOCs) ناشی از منابع چهارگانه آلاینده نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود وضعیت اوزون در آسمان ایالات متحده در سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۱۹۹۰ بهبود چشم‌گیری یافته است.

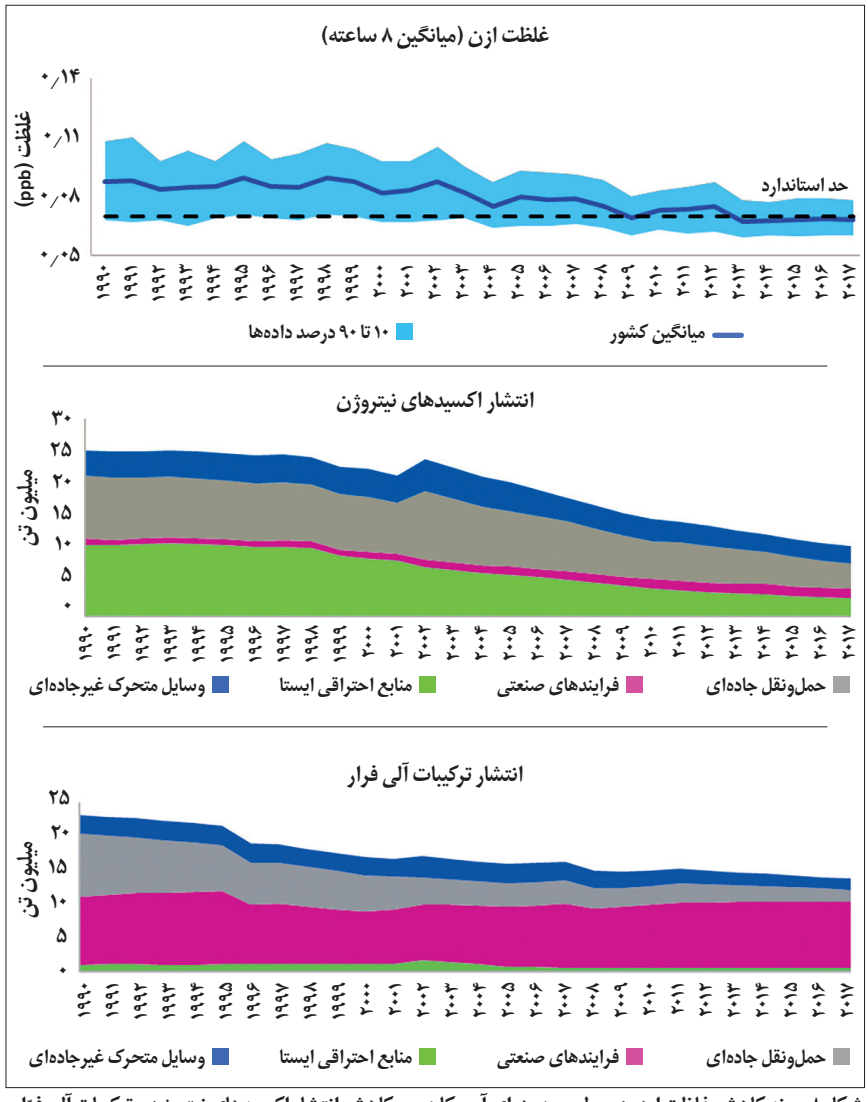
تصاویر ماهواره‌ای در بررسی آلودگی هوا کمک شایانی می‌کنند. در شکل ۸ غلظت آلاینده نیتروژن دی‌اکسید در سطح آمریکا در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در طول این مدت سطح غلظت این آلاینده در آسمان آمریکا کاهش قابل توجهی داشته است. این شواهد حاکی از اثربخشی قوانین کنترل کیفیت هوا در این کشور است. به‌منظور مقایسه، روند تغییر غلظت نیتروژن دی‌اکسید در سطح آمریکا بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ میلادی در کنار وضعیت این آلاینده در اروپا و کشور ایران در شکل ۹ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که شکل هم نشان می‌دهد در آمریکا و اروپا غلظت این آلاینده در بازه زمانی ذکرشده

کاهش پیدا کـرده، در صورتی که در ایران و به‌ویژه در حوالی پایتخت، غلظت آن افزایش نسبتا قابل توجهی داشته است.

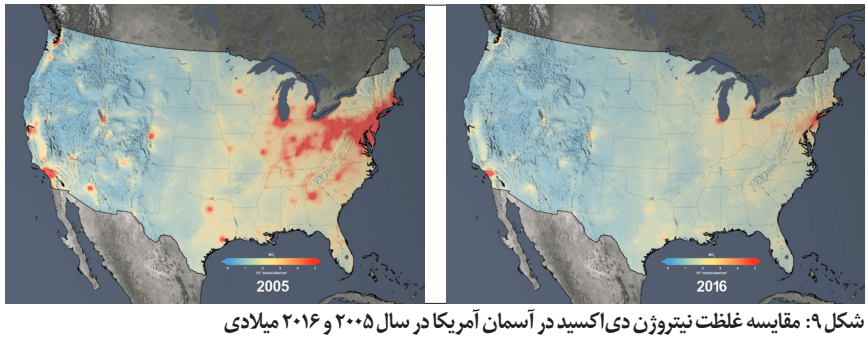
در شـکل ۱۱ وضعیت ذرات معلـق کمتر از ۲/۵میکرون (میانگین ۲۴ ساعته) در سطح آمریکا در سـال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ نشـان داده شـده اسـت. همان‌طور کـه ملاحظه می‌شـود در ۱۷ سـال گذشته مشـکل این آلاینده در شـرق آمریکا به‌خوبی کنترل شده اسـت. هرچند کـه در بخش غربـی، برخی از ایسـتگاه‌ها وضعیـت نامطلوبی را نشـان می‌دهند، اما همان‌گونه که شکل ۱۲ نشان می‌دهـد، غلظت آلاینـده PM۲٫۵ در طول ۱۷ سـال گذشـته روندی نزولی طـی کرده است. به نحوی که در ۸۰درصد ایستگاه‌های پایش هـوای آمریـکا وضعیت ایـن آلاینده مسـاعد اسـت و میانگین غلظت آن در کل کشور از حد استاندارد کمتر است.

ذرات معلق گاهی از برخـی منابع آلاینده به صورت مسـتقیم در هوا منتشـر می‌شـوند و گاهی در نتیجه واکنش‌های شیمیایی در جو شکل می‌گیرند. از این‌رو اهمیت بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌هایی مثل اکسیدهای نیتروژن و گوگرد و همچنین ترکیبات آلی فرّار که در تشـکیل ذرات معلق در جو مشـارکت می‌کنند، نمایان می‌شـود. در شکل ۱۲ روند تغییرات غلظت سـه آلاینده ذکرشده در کنار رونـد تغییرات غلظت آلاینـده PM۲٫۵ طی سـال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشـان داده شده اسـت. کاهش غلظت اکسـیدهای نیتروژن و گوگـرد در نتیجه اجـرای قوانین و مقررات کنترل آلودگی هـوا، قطعا در کاهش غلظت ذرات معلق نقش بسـزایی ایفا کرده اسـت. هرچنـد انتشـار ترکیبـات آلی فرّار ناشـی از فرایندهـای صنعتـی و غیر صنعتـی در ۱۷ سال گذشته ۱/۱میلیون تن در سال افزایش داشته، اما کنترل انتشار آن از منبع خودروها، وسایل متحرک غیرجاده‌ای و منابع احتراقی ایسـتا باعث کاهـش ۳/۱میلیـون تنی کل انتشـار این آلاینده در این مدت شـده است. قابل ذکر اسـت که غلظـت آلاینده PM۱۰ در سراسـر آمریکا از سطح اسـتاندارد بسیار پایین‌تر اسـت و درباره این آلاینده، مشـکل جدی وجود ندارد.

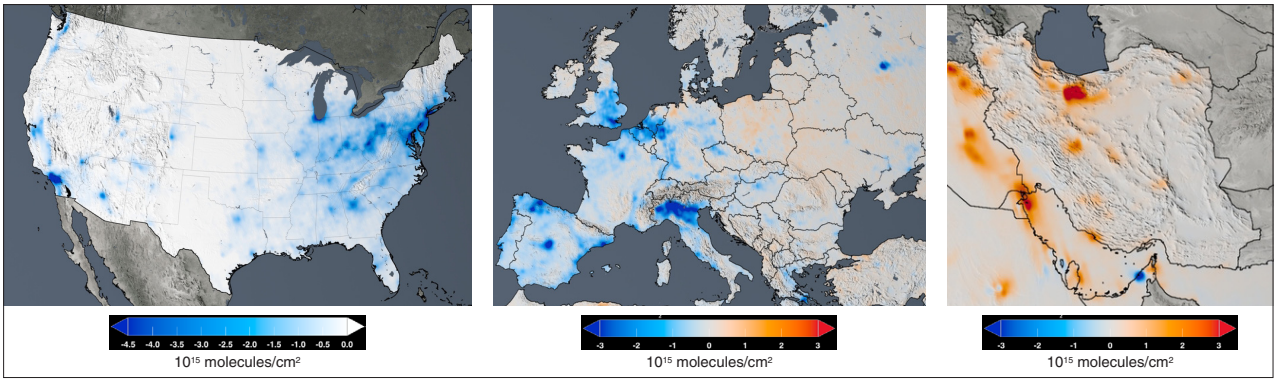
همان‌طور که پیشـتر نیز اشاره شد، اجزای تشـکیل‌دهنده ذرات معلـق را می‌توان در ۵ گـروه عمده تقسـیم‌بندی کـرد: کربن آلی،



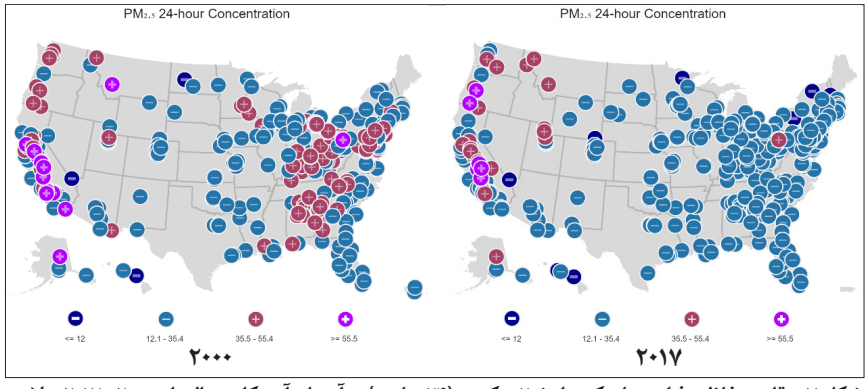
شکل ۸: روند کاهش غلظت اوزون سطحی در هوای آمریکا در پی کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرّار



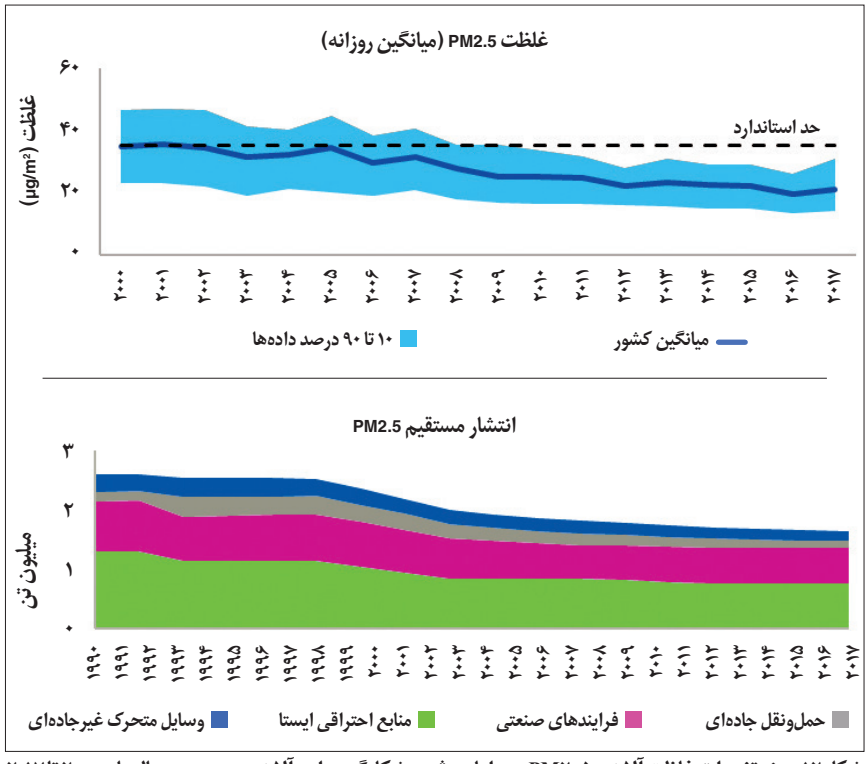
شکل ۹: مقایسه غلظت نیتروژن دی‌اکسید در آسمان آمریکا در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ میلادی



شکل ۱۰: مقایسه تغیر غلظت نیتروژن دی‌اکسید بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در آمریکا، اروپا و ایران



شکل ۱۱: مقایسه غلظت ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (۲۴ ساعته) در آسمان آمریکا در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ میلادی



شکل ۱۲: روند تغییرات غلظت آلاینده PM۲/۵ و عوامل موثر در شکل‌گیری این آلاینده در جو بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷

کربن سیاه (عنصری)، ترکیبات غیر آلی که عمدتا شامل سولفات‌ها و نیترات‌ها می‌شوند و همچنین گردوغبار، خاکستر و ذرات نمک. کربن آلی و کربن سیاه محصول احتراق ناقص سوخت هستند که مستقیما در هوا منتشر می‌شوند. البته نسبت کربن سیاه به کربن آلی بسته به شرایط احتراق و نوع سوخت فرق می‌کند. در شکل ۱۳ میانگین سالانه غلظت ذرات معلق کمتر از ۲/۵میکرون به تفکیک اجزای تشکیل‌دهنده در دو ایستگاه پایش در نقاط مختلف آمریکا نشان داده شده است. با توجه به این داده‌ها، می‌توان گفت کربن آلی و نیترات‌ها مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق در آمریکا هستند. قابل ذکر است که در هر دو ایستگاه نشان داده شده، غلظت میانگین از حد استاندارد یعنی ۱۵ µg/m3 کمتر است.

جمع‌بندی

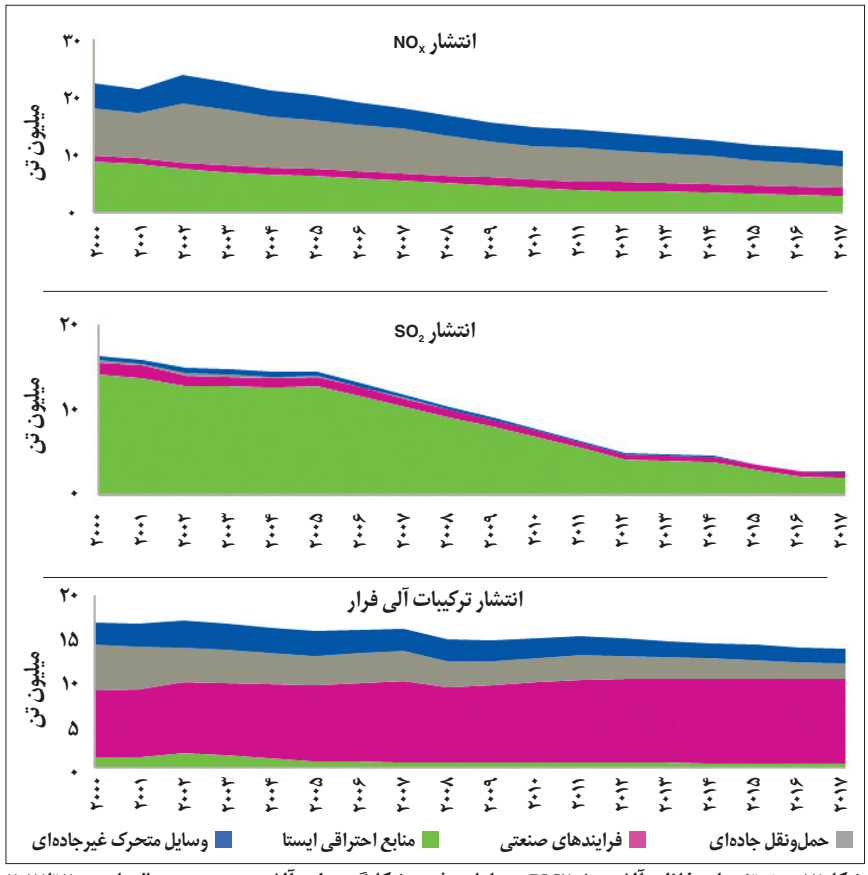
در مقاله حاضر ضمن مطرح‌شدن کلیات مربوط به مقوله کیفیت هوا، با ارائه اطلاعات آماری از تجربه چندین و چند ساله ایالات متحده آمریکا، نشان داده شد که مسأله آلودگی هوا یک معضل لاینحل نیست. تعداد کل روزهایی که شاخص کیفیت هوا (برای آلاینده اوزون و PM۲/۵) بالاتر از حد «ناسالم برای گروهای حساس» قرار داشته، در ۳۵ شهر بزرگ آمریکا از مجموعا ۲۱۵۵ روز در سال ۲۰۰۱ به ۷۲۹ روز در سال

۲۰۱۷ کاهش پیدا کرده است. کاهش قابل توجه غلظت تجمعی شش آلاینده اصلی در عین رشد اقتصادی، رشد جمعیت و افزایش مصرف انرژی در چهار دهه گذشته در آمریکا، مصداق عینی توسعه پایدار است. این امر حاکی از آن است که توسعه اقتصادی و گسترش صنایع لزوما با آلودگی هوا رابطه مستقیم ندارد. این موضوع را می‌توان به مسائل زیست‌محیطی مهم دیگر مثل مسأله آب بسط داد. ملاحظه می‌شود که علی‌رغم رشد اقتصادی قابل توجه، مصرف آب ایالات متحده معادل با مصرف آب این کشور در سال ۱۹۸۵ است. تجربه توسعه نامتوازن و ناپایدار در کشور ما نشان می‌دهد که با وجود افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و افزایش مصرف آب، درآمد کشاورزان منطقه کاهش پیدا کرده و از میانگین کل کشور کمتر شده است.

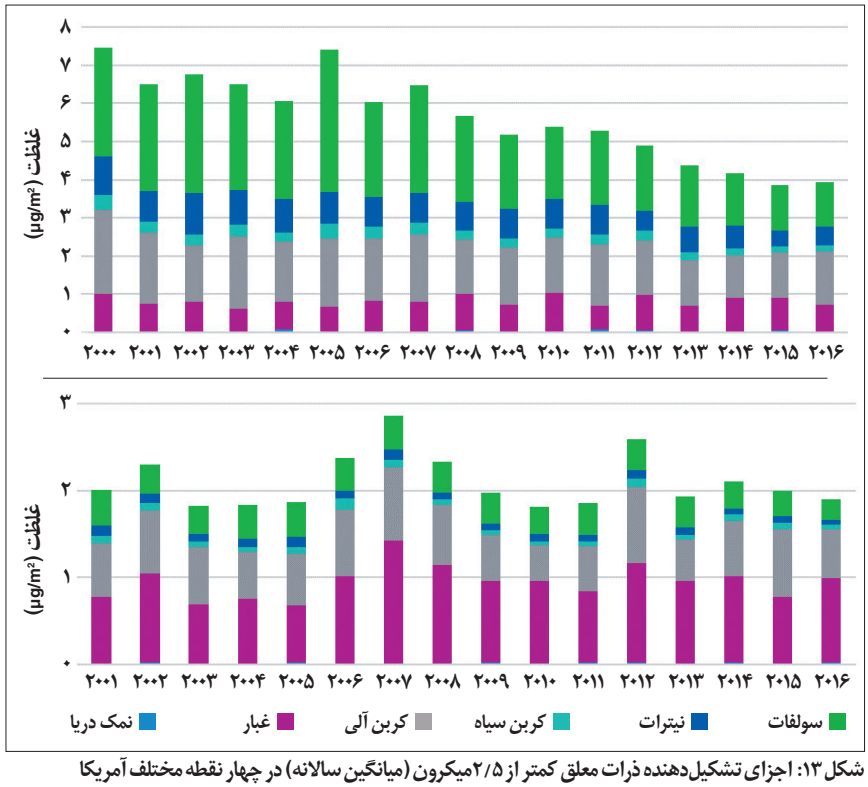
صرف نظر از پیشرفت‌های حوزه فناوری که بدون شک از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در کنترل آلودگی هوا به شمار می‌رود، انضباط قانونی، مقررات و چشم‌اندازهای بلندمدت و منطقی مهم‌ترین نقش را در کنترل کیفیت هوا در آمریکا ایفا کرده‌اند. توجه به نحوه قانون‌گذاری و تدوین استانداردها برای کنترل آلایندگی خودروها که در مقاله حاضر در مورد آن بحث شد، می‌تواند در این رابطه الهام‌بخش باشد. تاثیر این قوانین در کاهش غلظت اوزون، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق در این مقاله مورد بحث قرار گرفت. از سویی تحلیل‌های آماری دقیق و نظام‌مند از وضعیت آلاینده‌ها در این کشور که برخی از نتایج آن در این مقاله ارائه شد، بی‌شک کمک شایانی به کنترل آلودگی هوا کرده و خواهد کرد.

مراجع

- airquality.gsfc.nasa.gov
- www.dieslenet.com
- www.epa.org
- www.healthdata.org
- www.who.int
- www.worldbank.org



شکل ۱۲: روند تغییرات غلظت آلاینده $PM_{2/5}$ و عوامل موثر در شکل‌گیری این آلاینده در جو بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷



شکل ۱۳: اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (میانگین سالانه) در چهار نقطه مختلف آمریکا

ذرات معلق (PM)؛ قاتل خاموش

آمار میزان آلایندگی ذرات معلق و مرگ و میر ناشی از آن در مناطق مختلف دنیا

آلودگی هوای شهری یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی بشر و چهارمین عامل مرگ‌ومیر مردم جهان در قرن ۲۱ به شمار می‌رود. در عین حال میزان آلودگی هوا بر اثر فعالیت‌های کشاورزی، صنعت، وسایط نقلیه و احتراق منابع انرژی همچنان رو به افزایش است. بر اساس آمارهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، حدود ۸۷درصد جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می‌کنند که سطح آلودگی هوا بالاتر از حد مجازی است که این سازمان اعلام کرده است. در کشورهایی با درآمد کم و متوسط - که حدود ۸۰درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند- اوضاع نامساعدتر است و ۹۰درصد افراد در معرض سطح خطرناکی از آلودگی هوا هستند. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند چین و هند، به دلیل رشد سریع اقتصادی و توسعه شهرنشینی، آلودگی شدید هوا زندگی بسیاری از مردم را به مخاطره انداخته است. روند توسعه شهرنشینی همچنان ادامه دارد، به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۷۰درصد جمعیت جهان در مناطق شهری مستقر شوند و تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۴۱ کلان‌شهر (با جمعیت بیش از ۱۰ میلیون نفر) وجود داشته باشد.

آلاینده‌های هوا شامل ترکیبی از گازها و ذرات معلق (PM) هستند. در این میان ذرات PM۲٫۵ (ذرات با قطر آیرودینامیکی کوچک‌تر از ۲٫۵ میکرون - شکل ۱)، شدیدا بر سلامت، دید، اکوسیستم و کیفیت آب و هوا تاثیر می‌گذارند، به‌طوری‌که از میان ۸۴ عامل مرگ‌ومیر، PM۲٫۵ به‌عنوان ششمین عامل مرگ زودرس در جهان معرفی شده است (شکل ۲). از این رو ما در این گزارش برآنیم نگاه دقیق‌تری به آلاینده PM و میزان آن در کشورهای مختلف جهان داشته باشیم.

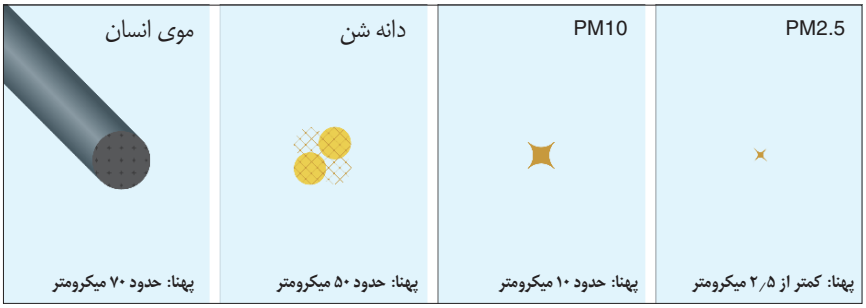
عوامل ایجاد ذرات ریز PM متنوعند و شناخت مکانیزم اصلی ایجاد آنها در مناطق شهری نسبتا نامعلوم است. برای مثال، اجزای شیمیایی کربن آلی (OC)، سولفات، نیترات، آمونیوم، فلزات رديابی و کربن عنصری (EC)، به‌طور معمول در ذرات PM یافت می‌شوند که عمدتا ناشی از ترافیک، صنعت، بیوسفر و دیگر فعالیت‌های منطقه‌ای بشر از جمله سوخت زیست‌توده و فعالیت‌های کشاورزی است. از آنجا که منابع انتشار طبیعی و انسانی گوناگونی برای PM شهری وجود دارد، تقسیم‌بندی عوامل انتشار این ذرات دشوار است و به همین دلیل اغلب روش‌های موجود فعلی نادرستند و به نتایج متضادی منجر می‌شوند.

همان‌طور که بیان شد منابع انتشار اولیه ذرات PM گسترده است و عوامل طبیعی و موارد ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی را شامل می‌شود. در شکل ۳ عوامل ایجاد PM در نقاط مختلف جهان نشان داده شده است.

در سطح جهانی حدود ۲۵درصد عامل ایجاد PM۲٫۵ ناشی از ترافیک، ۱۵درصد آن ناشی از فعالیت‌های صنعتی، ۲۰درصد ناشی از مصرف سوخت خانگی و ۲۲درصد ناشی از منابع ناشناخته فعالیت‌های انسانی و تنها حدود ۱۸درصد آن ناشی از عوامل طبیعی نظیر گرد و غبار و نمک‌های دریایی است.

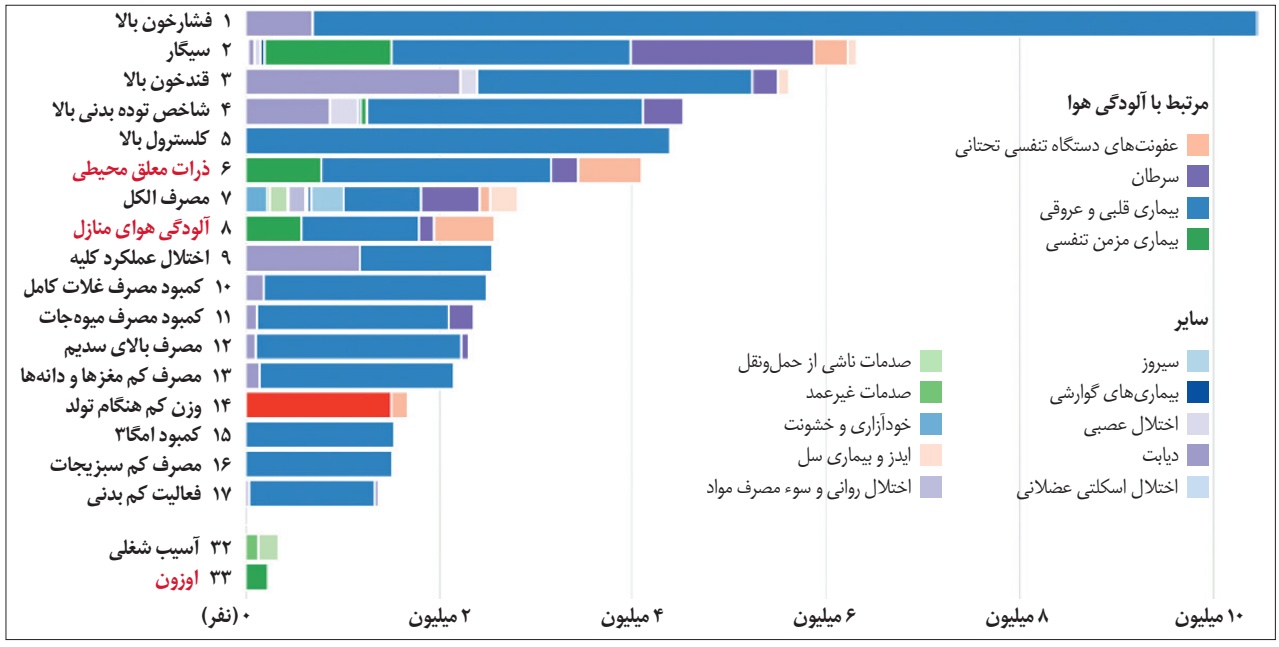
پر واضح است که تنفس هوای آلوده سبب افزایش نرخ ابتلا به انواع بیماری‌ها (نظیر بیماری‌های مزمن تنفسی) و در نتیجه کاهش طول عمر می‌گردد، به‌طوری‌که قرارگرفتن طولانی‌مدت در معرض PM با افزایش ۶درصدی خطر مرگ زودرس همراه است. برای مثال در چین بیش از ۲۰ میلیون بیماری تنفسی در سال ۲۰۰۷ گزارش شده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا به ۳٫۶ میلیون نفر افزایش یابد.

بر اساس بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی، سالانه ۷ میلیون نفر با استنشاق ذرات PM جان خود را از دست می‌دهند. این ذرات به داخل ریه و سیستم تنفسی نفوذ کرده و سبب بروز بیماری‌هایی مانند سکته مغزی، بیماری‌های قلبی، سرطان ریه، بیماری‌های انسدادی ریوی مزمن و عفونت‌های تنفسی، از جمله پنومونی[1]



شکل ۱- مقایسه اندازه ذرات PM

۱. ذات الریه

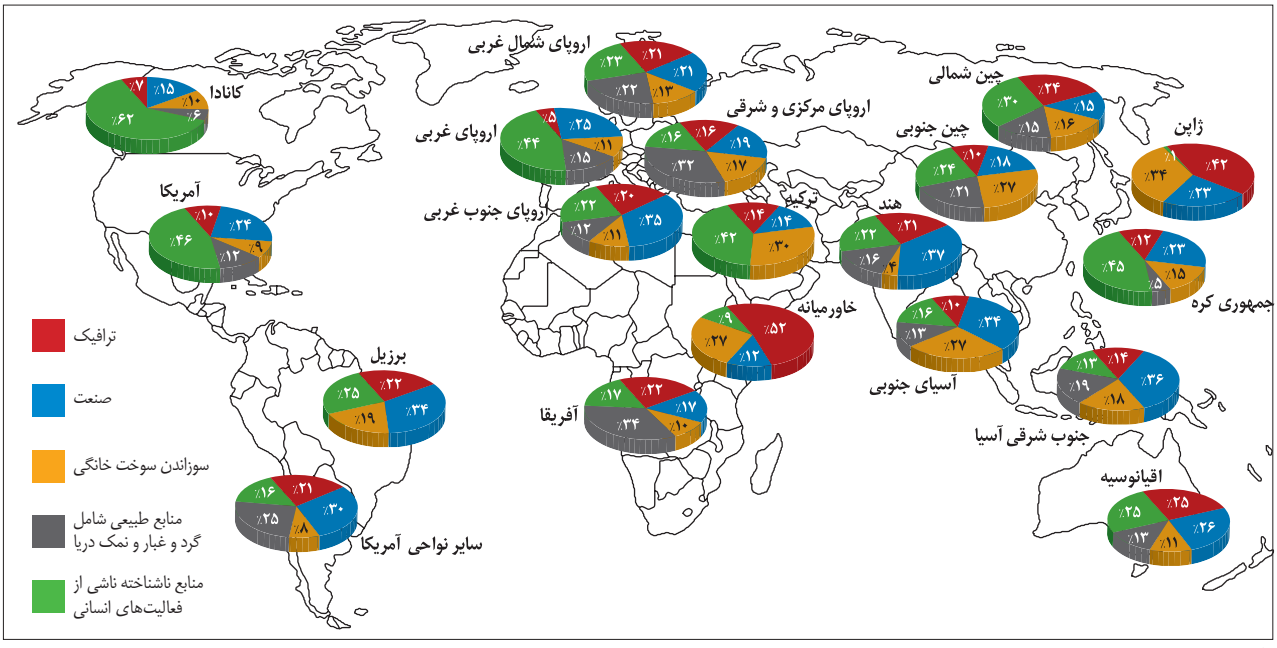


شکل ۲- رتبه‌بندی جهانی عوامل ایجاد مرگ‌ومیر برای همه سنین (۲۰۱۶)

می‌گردد. از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ تعداد مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوا با افزایش ۳۰درصد از ۲٫۲ میلیون نفر به ۲٫۹ نفر افزایش یافته است.

بیش از ۹۰درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در کشورهایی با درآمد کم و متوسط به‌ویژه در آسیا و آفریقا و پس از آن در مدیترانه شرقی، اروپا و آمریکا رخ می‌دهد. سازمان بهداشت جهانی بر این عقیده است که آلودگی هوا عامل مهمی در بیماری‌های غیرواگیر(NCDs[2]) است و عامل حدود یک چهارم (۲۴درصد) از کل مرگ‌ومیر بزرگسالان ناشی از بیماری‌های قلبی، ۲۵درصد از سکته مغزی، ۴۳درصد از بیماری انسدادی ریوی مزمن و ۲۹درصد از سرطان ریه می‌باشد.

باید توجه داشت آلودگی هوا نه‌تنها یک تهدید جدی برای سلامت بشر محسوب می‌شود، بلکه با ایجاد انواع بیماری‌ها و مرگ زودرس، منجر به تقلیل رفاه و کیفیت زندگی می‌گردد؛ چنانچه با کاهش نیروی



شکل ۳- عوامل ایجاد PM۲٫۵ در مناطق مختلف جهان

2. Non Communicable Diseases

جدول ۱- میزان زیان رفاهی ناشی از آلودگی هوا در هر منطقه
(بازه زمانی: ۱۹۹۰-۲۰۱۳)، میلیارد دلار آمریکا

منطقه / سال	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۳
شرق آسیا و اقیانوسیه	۴۳۹	۶۳۰	۸۰۵	۱۱۹۹	۱۸۲۲	۲۳۰۶
اروپا و آسیای مرکزی	۱۳۰۸	۱۲۲۶	۱۱۸۸	۱۳۰۱	۱۲۵۹	۱۲۴۵
آمریکای لاتین و کارائیب	۱۰۵	۱۰۱	۱۰۴	۱۲۷	۱۶۷	۱۹۴
خاورمیانه و شمال آفریقا	۷۴	۸۲	۹۸	۱۱۸	۱۴۴	۱۵۴
آمریکای شمالی	۵۱۶	۵۴۴	۵۷۸	۵۷۶	۵۱۴	۴۹۵
جنوب آسیا	۱۳۵	۱۷۴	۲۱۴	۳۰۳	۴۹۷	۶۰۴
جنوب صحرای آفریقا	۶۱	۶۳	۷۶	۹۰	۱۰۷	۱۱۴

کار مولد کشورها، درآمد و رشد اقتصادی نیز کاهش می‌یابد. جدول ۱ و ۲ به ترتیب میزان خسارت اقتصادی ناشی از آلودگی هوا را به تفکیک در نقاط مختلف جهان و دنیا طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان زیان رفاهی ناشی از آلودگی هوا به‌شدت قابل توجه است. میزان خسارت ۳٫۳ تریلیون‌دلاری حاصل از هوای آلوده در سال ۲۰۱۶، تقریبا معادل مجموع تولید ناخالص داخلی هند و روسیه است. لازم به ذکر است در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳، میزان زیان رفاهی جهانی حاصل از آلودگی هوا با بیش از ۶۰درصد افزایش زیان، به ۳٫۵۵ تریلیون دلار رسیده است. در شکل ۴ میزان زیان رفاهی ناشی از آلودگی هوا به تفکیک بر اساس گروه‌های درآمدی در سال ۲۰۱۳ به تصویر کشیده شده است.

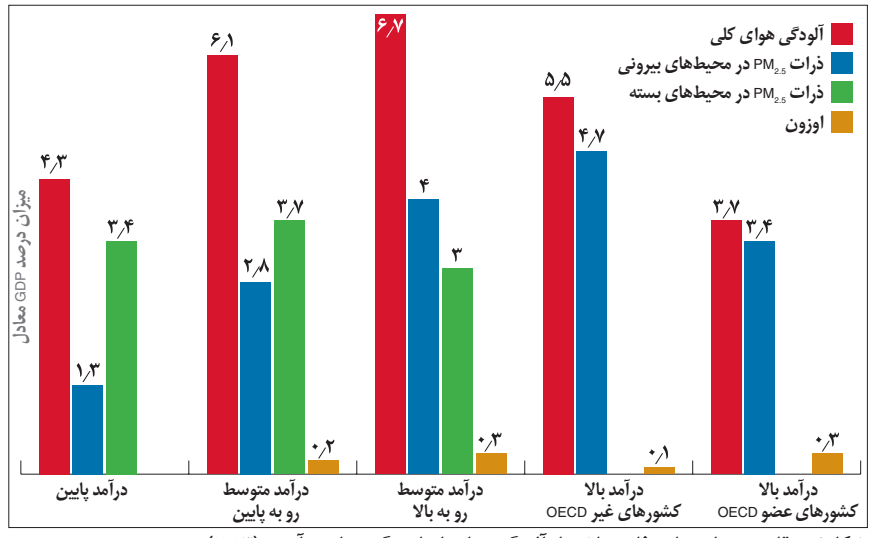
باید اظهار داشت سهم کشورهای مختلف جهان از میزان آلودگی هوا، به‌ویژه PM یکسان نیست و در یک نگاه کلی مناطق آسیایی بالاترین سطح غلظت PM۲٫۵ را تحمل می‌کنند. در این خصوص بر اساس آمارهایی که به‌تازگی از سوی IQAir AirVisual منتشر شد، از میان ۳۰۰۰ شهر مورد بررسی در سال ۲۰۱۸، در ۶۴درصد آنها میزان ذرات PM۲٫۵ فراتر از حد تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی بوده است. همچنین میزان PM۲٫۵ در ۱۰۰درصد شهرهای ناحیه خاورمیانه و آفریقا فراتر از حد WHO است. در ۹۹درصد شهرهای آسیای جنوبی، ۹۵درصد شهرهای آسیای جنوب شرقی و ۸۹درصد شهرهای آسیای شرقی نیز میزان غلظت PM۲٫۵ بیشتر از حد مجاز اعلام شده است.

همان‌گونه که اشاره شد رتبه‌بندی شهرها از منظر آلودگی هوا نشان می‌دهد که شهرهای آسیایی بالاترین سطح متوسط آلودگی PM۲٫۵ را در سال ۲۰۱۸ داشته‌اند، به‌طوری‌که ۵۰ شهر آلوده جهان در چین، هند، پاکستان و بنگلادش واقع شده است. منطقه خاورمیانه نیز در زمره مناطقی است که آلوده‌ترین هوای جهان را دارند، چنانچه میزان غلظت PM۲٫۵ در شهرهای کویت، دبی و منامه، بیش از ۵۰۰درصد حد مجاز سازمان بهداشت جهانی گزارش شده است. در مقیاس کشوری

جدول ۲- میزان زیان رفاهی کل در جهان ناشی از آلودگی هوا

GDP%[3]	تریلیون دلار بر سال: نرخ ارز بازار ($)	تریلیون دلار بر سال: نرخ بین المللی PPP[4] ($)	سال	حوزه	مراجع
۳٫۵٪	-	۳٫۶	۲۰۱۳ (قیمت‌ها براساس ۲۰۱۱)	آلودگی هوای بیرونی	World Bank and IHME[5] (2016)
۶٫۰٪	-	۳٫۴	۲۰۱۵ (قیمت‌ها براساس ۲۰۱۰)	آلودگی هوای بیرونی	OECD[6] (2016)
۵٫۱٪	۳٫۸	-	۲۰۱۵ (قیمت‌ها براساس ۲۰۱۵)	آلودگی هوای بیرونی و آلودگی هوای خانه ناشی از سوخت جامد	Lancet Commission[7] (2017)
۴٫۵٪	۳٫۳	۵٫۵	۲۰۱۵ (قیمت‌ها براساس ۲۰۱۵)	آلودگی هوای بیرونی	Larsen (2017) for the World Bank
۴٫۴٪	۳٫۳	۵٫۷	۲۰۱۶ (قیمت‌ها براساس ۲۰۱۶)	آلودگی هوای بیرونی	World Bank 2018

۳. تولید ناخالص داخلی
۴. Purchasing Power Parity: برابری قدرت خرید نوعی شاخص اقتصادی است که در سازمان های بین المللی جهت رتبه بندی و مقایسه درآمد سرانه و تولید ناخالص داخلی کشورها به کار می‌رود.
۵. Institute for Health Metrics and Evaluation
۶. Organization for Economic Co-Operation and Development
۷. یک کمیسیون بین المللی غیر دولتی است که مرکز آن در دانشگاه کالج لندن قرار دارد.



شکل ۴- مقایسه میزان زیان رفاهی ناشی از آلودگی هوا بر اساس گروه‌های درآمدی (۲۰۱۳)

نیز با در نظر داشتن جمعیت، بنگلادش آلوده‌ترین کشور از منظر آلودگی هوا معرفی شده و پس از آن با اختلاف اندکی، پاکستان و هند در رده‌های دوم و سوم جای می‌گیرند.

نقشه زیر برآوردی از غلظت متوسط PM۲٫۵ را در سطح کشوری در سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. این برآورد بر اساس داده‌های موجود شهرهای یک منطقه و با توجه به جمعیت آن منطقه صورت گرفته است. کشورهای خاکستری رنگ فاقد اطلاعات دقیقی از PM۲٫۵ در سال ۲۰۱۸ بوده‌اند.

میزان غلظت در بیشتر کشورهای آسیایی همچون بنگلادش، پاکستان، هند، افغانستان، اندونزی، چین و کشورهای خاورمیانه نظیر بحرین، کویت و امارات متحده عربی، بسیار بالاتر از حد تعیین‌شده WHO است. کشور ایران نیز با غلظت ۲٫۵ برابر حد استاندارد WHO، در رده بیست و پنجم جای گرفته است. جدول ۳ در نگاهی دیگر به رتبه‌بندی مناطق بر اساس پایتخت کشورها با توجه به غلظت PM۲٫۵ می‌پردازد.

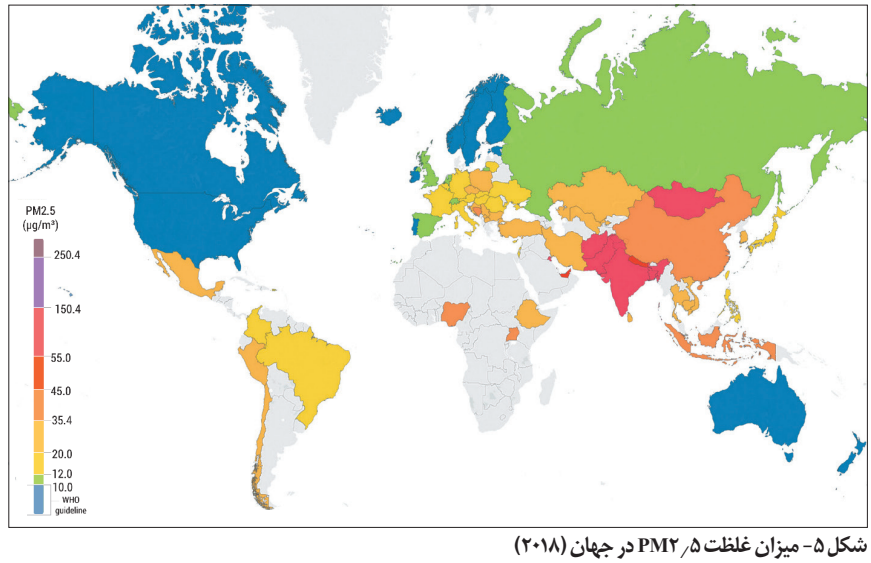
همان‌طور که دیده می‌شود کشورهای واقع در آسیا و خاورمیانه، از نظر آلودگی PM۲٫۵ در صدر جدول قرار دارند. تنها ۹ مورد از ۶۲ پایتخت بررسی‌شده، از لحاظ PM۲٫۵ دارای مقدار غلظت کمتری از آستانه تعیین‌شده سازمان بهداشت جهانی (۱۰ $\mu g/m^3$) هستند. تهران نیز با غلظت ۲٫۶۱ برابری حد مجاز WHO در جایگاه بیست و سوم قرار گرفته است.

در ادامه به بررسی دقیق‌تری از جایگاه ایران در آسیا از لحاظ آلودگی ذرات PM۲٫۵ می‌پردازیم.

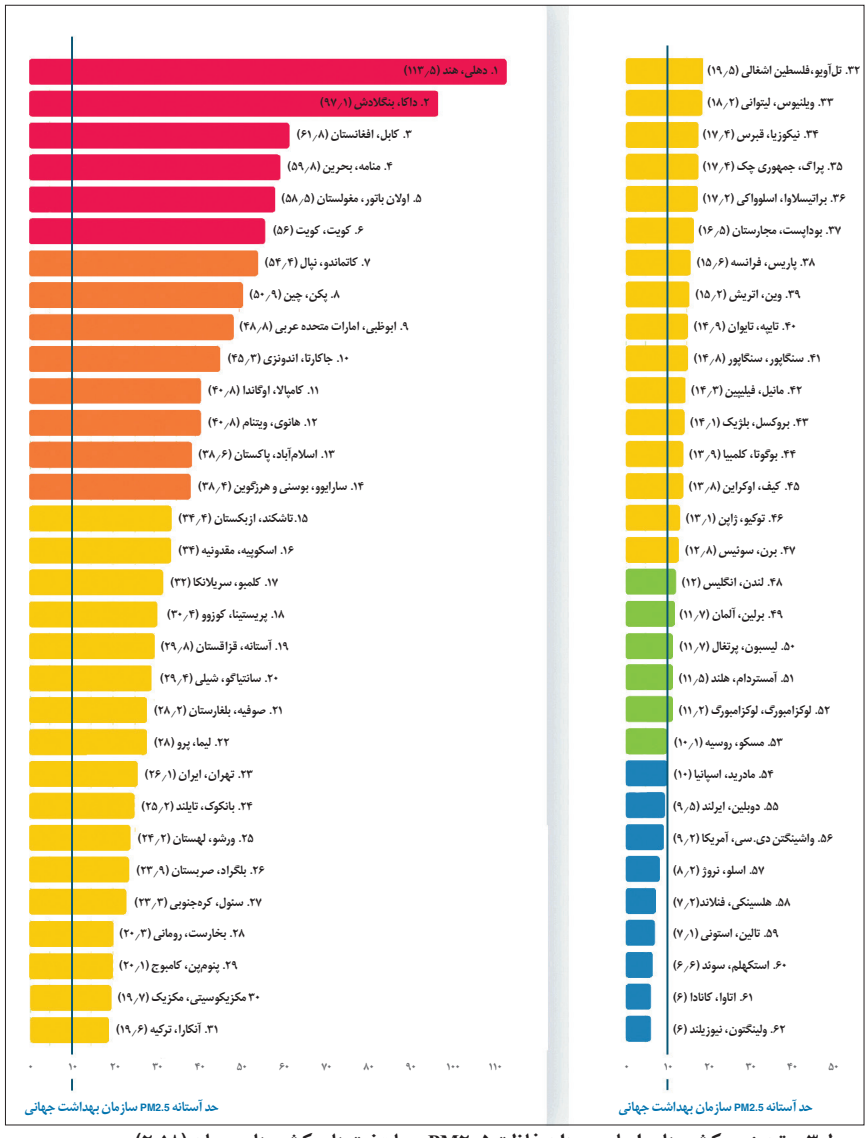
بر اساس مطالعات انجام‌شده در سال ۲۰۱۸، چهار مورد از پنج شهر جهان با بیشترین آلودگی در آسیای جنوبی واقع شده است. از میان ۸۴ شهر بررسی‌شده در آسیای جنوبی، ۹۹درصد آنها غلظتی فراتر از حد مجاز WHO دارند. به‌طور میانگین، متوسط غلظت PM۲٫۵ در این منطقه، ۶ برابر مقدار حد مجاز ((۱۰ ($\mu g/m^3$)) است. در این بررسی کشور ایران با میزان متوسط ۲۲ $\mu g/m^3$، از منظر آلودگی PM۲٫۵ در جایگاه هفتم در آسیای جنوبی واقع شده است.

منابع انتشار ذرات PM۲٫۵ در این ناحیه بر حسب نوع منطقه و شهر متفاوت است؛ اما عمده میزان آلودگی در آسیای جنوبی ناشی از اگزوز خودروها، سوخت زیست‌توده، مصرف زغال‌سنگ و فعالیت‌های صنعتی است. جدول ۴ فهرست آلوده‌ترین و پاکیزه‌ترین شهرهای واقع در آسیای جنوبی را بر حسب غلظت PM۲٫۵ نشان می‌دهد.

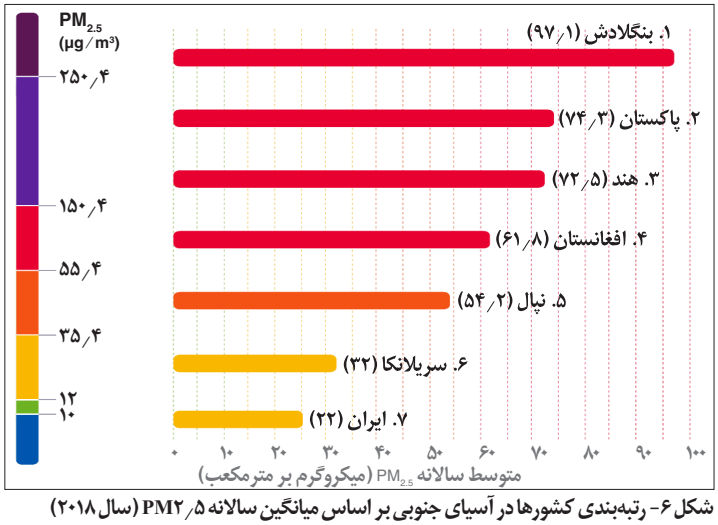
مشاهده می‌شود شهر قُروه (واقع در استان کردستان) با کمترین میزان PM۲٫۵ ((۷٫۸ ($\mu g/m^3$))، به‌عنوان پاکیزه‌ترین منطقه در آسیای جنوبی در سال ۲۰۱۸ معرفی شده است. این شهر تنها شهر آسیای جنوبی است که غلظتی کمتر از حد آستانه ((۱۰ ($\mu g/m^3$)) دارد. لازم به ذکر است که ارقام بیان‌شده بر اساس اطلاعات



شکل ۵- میزان غلظت PM۲٫۵ در جهان (۲۰۱۸)



جدول ۳- رتبه‌بندی کشورها بر اساس میزان غلظت PM۲٫۵ در پایتخت‌های کشورهای جهان (۲۰۱۸)



شکل ۶- رتبه‌بندی کشورها در آسیای جنوبی بر اساس میانگین سالانه PM۲٫۵ (سال ۲۰۱۸)

در دسترس از شهرهای مورد بررسی است و لذا برخی از شهرها (از جمله زابل در ایران) بـه دلیل فقـدان اطلاعات دقیق، بررسـی نشـده‌اند. درصورتی‌کـه باید اظهـار کرد بر اسـاس گـزارش WHO، زابـل بـا غلظت (µg/m³) ۲۱۷، آلوده‌ترین شـهر جهان در سـال ۲۰۱۶ بوده اسـت. واشنگتن‌پست به نقل از سازمان بهداشت جهانی، ۱۰ شهر را با بیشترین میزان PM۲٫۵ معرفی کرده است که در شـکل ۷ نشان داده شده‌اند. (آخرین اطلاعـات موجود بر اسـاس سـال ۲۰۱۶ بوده و اطلاعات به‌روزتری در سـال ۲۰۱۸ در دسترس نبوده)

مشـاهده می‌گردد زابل که به عنوان مکانی با «بادهای ۱۲۰ روزه[8]» شناسـایی می‌شود، با غلظت ۲۱۷ میکروگـرم بر متر مکعب، در سال ۲۰۱۶ آلوده‌ترین شهر از نظر PM۲٫۵ شناخته شده است.

در یـک آمـار به‌روزتـر در سـال ۲۰۱۸ وضعیـت آلودگی هـوا بر اسـاس PM۲٫۵، در نقاط مختلف جهان بررسـی شـده که در شـکل ۸ طی یک شـمای کلی نشـان داده می‌شود.

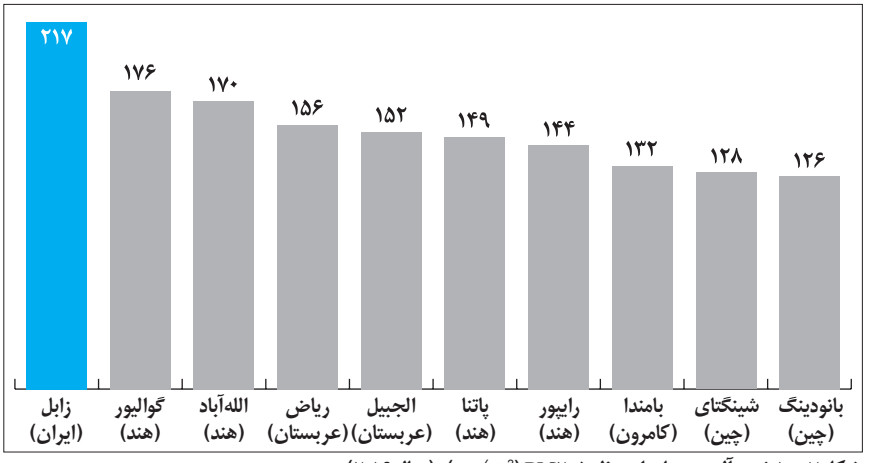
بـه وضـوح وضعیـت غلظـت PM۲٫۵ در آفریقـا و خاورمیانـه نگران‌کننـده اسـت، به‌گونـه‌ای کـه ۱۰۰درصد شـهرهای مورد بررسـی در این نواحی غلظتـی بالاتر از حد استاندارد WHO دارند. در کشورهای آسیای جنوبـی نیـز از جمله ایران، اوضـاع چندان خوشـایند نیسـت و مقدار PM۲٫۵ در بیش از ۹۸درصـد مناطق این ناحیـه بالاتر از حد استاندارد WHO است. بر اساس این بررسی کمترین میزان غلظـت آلاینده PM۲٫۵ در کشـورهای آمریکای شمالی است. در بیش از ۸۰درصد شـهرهای مورد بررسـی در این ناحیه، غلظت PM۲٫۵ پایین‌تر از حد آستانه WHO است.

اگرچـه میـزان غلظت بـالای PM۲٫۵ در بسـیاری از مناطق جهـان، بحرانی جدی و

8. 120 days of wind

پاکیزه‌ترین شهرهای آسیای جنوبی			آلوده‌ترین شهرهای آسیای جنوبی		
رتبه	شهر	متوسط سالانه (۲۰۱۸)	رتبه	شهر	متوسط سالانه (۲۰۱۸)
۱	قروه، ایران	7.8	۱	گورگان، هند	135.8
۲	تبریز ، ایران	12.2	۲	قاضی‌آباد ، هند	135.2
۳	سنندج ، ایران	12.5	۳	فیصل‌آباد، پاکستان	130.4
۴	نهاوند ، ایران	16.1	۴	فریدآباد ، هند	129.1
۵	زنجان ، ایران	18.6	۵	بیوادی ، هند	125.4
۶	میبد ، ایران	21.1	۶	نویدا ، هند	123.6
۷	آبدانان ، ایران	21.2	۷	پاتنا ، هند	119.7
۸	هشتگرد ، ایران	22.1	۸	لوکنا ، هند	115.7
۹	کرج ، ایران	22.2	۹	لاهور، پاکستان	114.9
۱۰	سجزی ، ایران	22.3	۱۰	دهلی ، هند	113.5
۱۱	اصفهان ، ایران	23.8	۱۱	جوداپور ، هند	113.4
۱۲	مبارکه ، ایران	24.1	۱۲	مظفرپور ، هند	110.3
۱۳	کرمان ، ایران	24.4	۱۳	وارانسی ، هند	105.3
۱۴	تهران ، ایران	26.1	۱۴	مرادآباد ، هند	104.9
			۱۵	آگرا ، هند	104.8

جدول ۴- آلوده‌ترین و پاکیزه‌ترین شهرهای آسیای جنوبی از منظر $PM_{2/5}$ (۲۰۱۸)



شکل ۷- ۱۰ شهر آلوده جهان از منظر $PM_{2/5}$ ($\mu g/m^3$)، (سال ۲۰۱۶)

خطرناک است، پیشرفت‌های مثبتی نیز در برخی کشورها برای کاهش ذرات PM صورت گرفته است. در حال حاضر بیش از ۴۳۰۰ شهر در ۱۰۸ کشور جهان در پایگاه داده کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی قرار دارند. از سال ۲۰۱۶ نیز بیش از ۱۰۰۰شهر دیگر به این پایگاه اضافه شده‌اند. این امر نشانگر بهبود اقدامات دولت‌ها برای کاهش آلودگی هوا طی سال‌های اخیر است.

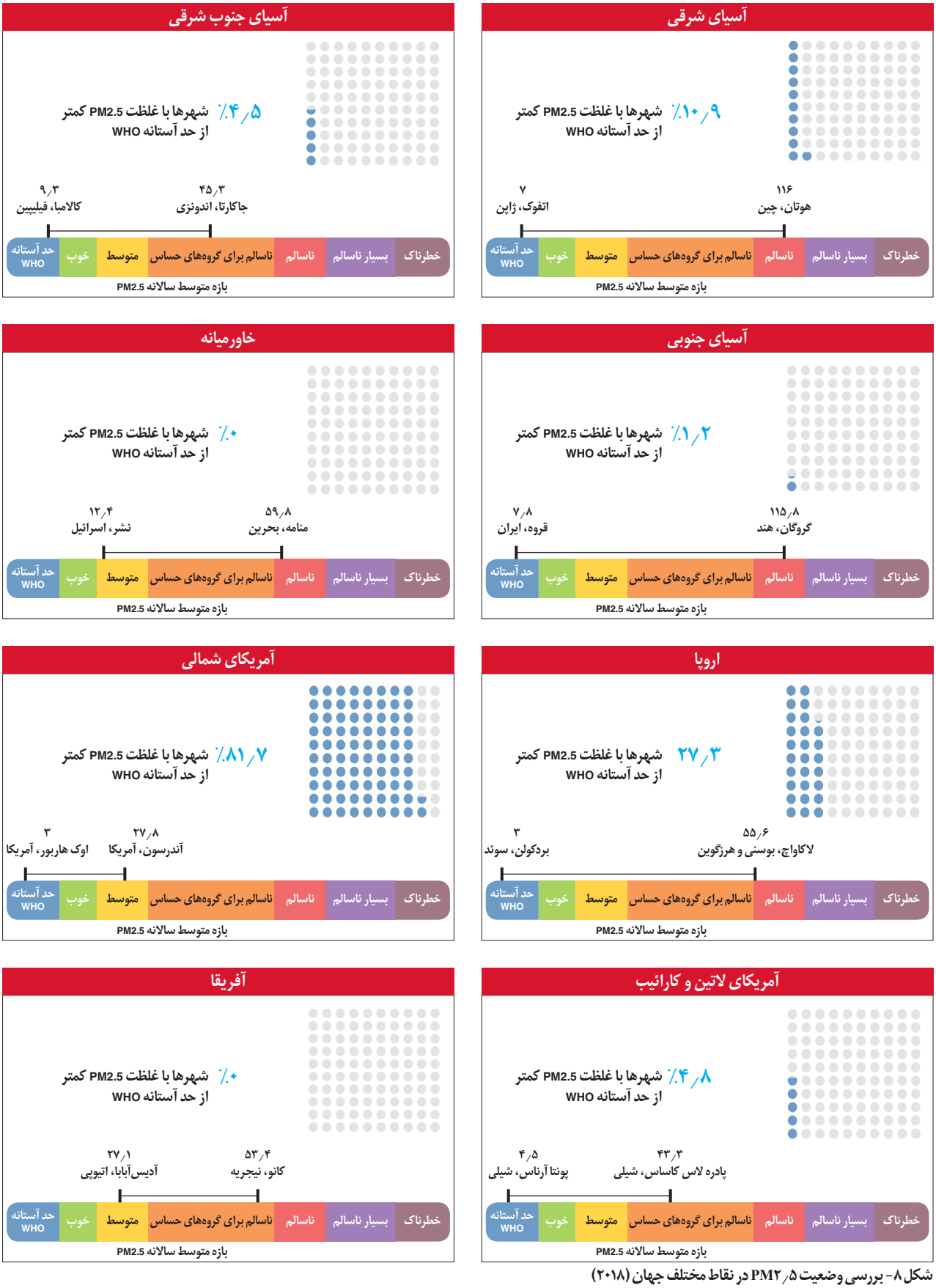
از جمله اقدامات موثر در این زمینه می‌توان به اجرای طرح "Pradaan Mantri Ujjwala Yojana" در کشور هند اشاره کرد که فقط طی دو سال، ۳۷ میلیون نفر از زنانی که زیر خط فقر زندگی می‌کنند، با استفاده LPG[9] رایگان جهت استفاده از انرژی پاک خانگی تحت حمایت قرار داده شده‌اند. مکزیکوسیتی نیز متعهد به استانداردهای خودروی پاک از جمله حرکت به سمت اتوبوس‌های فاقد دوده[10] و ممنوعیت خودروهای شخصی دیزلی تا سال ۲۰۲۵ شده است.

آلودگی هوا مرز نمی‌شناسد. بهبود کیفیت هوا نیازمند اقدامات مداوم و هماهنگ دولت‌ها در تمام سطوح است. کشورها باید در راستای توسعه راه‌حل‌های حمل‌ونقل پایدار، تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر و مدیریت پسماندها اقدامات لازم را انجام دهند.WHO با بخش‌های بسیاری از جمله حمل‌و نقل و انرژی، برنامه‌ریزی شهری و توسعه روستایی برای حمایت از کشورها جهت مقابله با این مشکل همکاری می‌کند. از جمله اقدامات برای تشویق شهروندان به کاهش آلودگی هوا، تشکیل کمپین جهانی «نفس زندگی[11]» بوده است. سری اول آن «ماراتن برای یک ماه» است که مردم را متعهد می‌کند به جای استفاده از خودرو از سایر گزینه‌های موجود برای پیمودن مسافت حداقل یک ماراتن (۴۲ کیلومتر / ۲۶ مایل) طی یک ماه استفاده نمایند.

جمع‌بندی

امروزه آلودگی هوا تهدیدی جدی برای سلامت افراد به‌ویژه در کشورهایی با درآمد کم و متوسط محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که از سال ۱۹۹۰ به بعد، آلودگی هوا چهارمین

9. Liquefied Petroleum GAS
10. soot-free buses
11. Breathe Life



شکل ۸- بررسی وضعیت PM۲٫۵ در نقاط مختلف جهان (۲۰۱۸)

عامـل مرگ زودرس در جهـان بوده و منجر به مـرگ ۵٫۵ میلیـون نفر در سـال ۲۰۱۳ شده اسـت. در این میان ذرات PM به دلیل ابعاد ریزشـان به‌شـدت بـر سـلامت افراد تاثیرگذار بوده و با توجه به آمارهای بیان‌شده در سـال ۲۰۱۶، بیـش از ۹۱درصد جمعیت جهان هوایـی را تنفس می‌کننـد که غلظت PM۲٫۵ آن بالاتـر از حد اسـتاندارد WHO اسـت. پیامدهـای حاصل از ایـن آلاینده‌ها به اندازه‌ای اسـت که منجر به تحمیل زیان رفاهـی جهانی ۵٫۱۱ تریلیون دلار در سـال ۲۰۱۳ شـده که تقریبا معـادل ۷٫۵درصد و ۷٫۴درصـد تولید ناخالـص داخلی (GDP) آسـیای شـرقی و منطقه اقیانوسیه و جنوب آسـیا اسـت. بـه وضـوح تحمیل خسـارت تریلیون‌دلاری ناشـی از هوای آلوده نیازمند اقدامات جدی و فعالیت‌های همگانی است. مهم‌تریـن گام در جهت کاهش خسـارات، شناسـایی عوامل ایجاد آلودگی هوا و تلاش بـرای کاهش میزان انتشـار آلودگی هر یک از عوامل می‌باشد. باید توجه داشت اقدام در زمینه کاهـش آلودگی هوا محدود به کاهش احتراق زغـال سـنگ در نیروگاه‌ها و صنایع نیسـت و نیازمند کاهش مصرف سـوخت یا اسـتفاده از زیسـت‌توده‌ها بـرای گرم‌کردن و پخت‌وپـز میلیون‌هـا خانـوار در سراسـر جهان است.

منابع:

- 2018 WORLD AIR QUALITY REPORT, Region & City PM2.5 Ranking. IQAir AirVisual air quality
- Health Effects Institute. 2018. State of Global Air 2018. Special Report. Boston, MA :Health Effects Institute.
- Karagulian, F., Belis, C.A., Dora, C.F.C., Prü ss-Ustü n, A.M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H. and Amann, M., 2015. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM) : A systematic review of local source contributions at global level. Atmospheric environment, 120, pp.475-483.
- Martin Heger and Maria Sarraf, AIR POLLUTION IN TEHRAN : HEALTH COSTS, OURCES, AND POLICIES,world bank group,April 2018.
- Public D Disclosure
- Renyi Zhang, Gehui Wang, Song Guo, Misti L. Zamora, Qi Ying, Yun Lin, Weigang Wang, Min Hu,§ and Yuan Wang, Formation of Urban Fine Particulate Matter. 2015.(DOI : 10.1021/acs.chemrev.5b00067)
- Silent Killer : Fine Particulate Matter. The health impacts of current and planned coal-fied power generation in South Korea and related current policy. February 11, 2015.
- World Health Organization releases new global air pollution data, May 2018. (http ://ccacoalition.org/en/news/world-health-organization-releases-new-global-air-pollution-data).

دکتر ساناز مقیم
استادیار دانشکده مهندسی عمران
دانشگاه صنعتی شریف

چالش جهانی گرد و غبار

عوامل، آسیب‌ها و راهکارهای مقابله

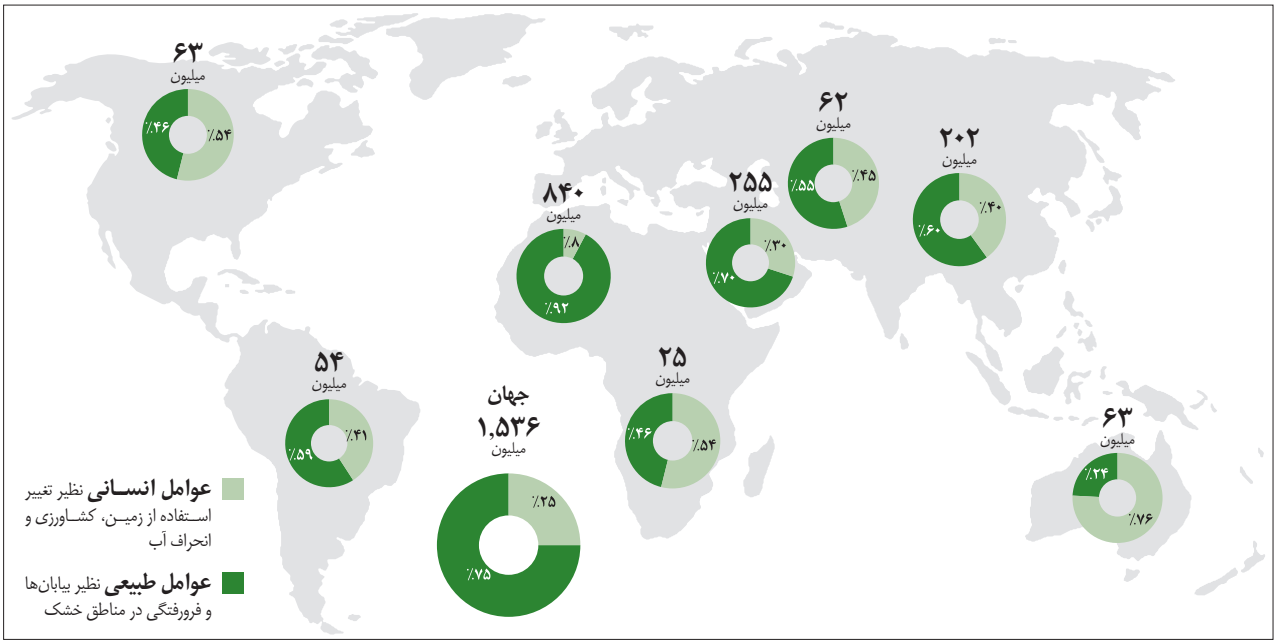
امروزه طوفان‌های گرد و غبار به یک معضل جدی در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است. به‌طوری‌که بیش از ۱۵۰ کشور جهان مستقیما تحت تاثیر طوفان‌های گرد و خاک هستند که حدود ۴۵ مورد از آنها در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند. بر اساس برآوردهای انجام‌شده سالانه حدود ۲ میلیارد تن گرد و غبار در هوا پراکنده می‌شود که ۲۷درصد آنها از منطقه آسیا- اقیانوسیه نشأت می‌گیرد. با توجه به شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته میزان انتشار جهانی گرد و غبار از اواخر قرن نوزدهم تا امروز بیش از ۲۵درصد افزایش یافته است؛ حدود ۵۶درصد این تغییرات ناشی از تغییرات اقلیمی و ۴۰درصد آن ناشی از فعالیت‌های انسانی (نظیر تغییر کاربری اراضی و گسترش کشاورزی) بوده است.

طوفان‌های شن و گرد و غبار عمدتا در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب رخ می‌دهد. ذرات متفاوت گرد و غبار بسته به اندازه و شکل ظاهری نه تنها قادر به حرکت در جهت قائم تا ارتفاع چندین کیلومتر هستند، بلکه در بعد افقی نیز ممکن است تا هزاران کیلومتر از طریق بادهای قوی پخش شوند و مناطق بسیاری را تحت تاثیر قرار دهند. برای مثال طوفان گرد و غبار چین در سال ۱۹۹۰ طی دو هفته مسافتی بیش از ۲۰هزار کیلومتر را پیمود. طوفان‌های گرد و غبار می‌توانند به‌طور چشمگیری بر میدان دید[1] تاثیر بگذارند و فاصله دید را به کمتر از ۱ کیلومتر کاهش دهند. به‌عنوان مثال، وزش باد شدید در بهمن ماه ۱۳۹۷ در زاهدان به طوفان شدید گرد و خاک منجر شد که دید افقی را در محل فرودگاه زاهدان به ۱۰۰ متر کاهش داد و یا در سال ۲۰۱۸ طوفان کشنده غبار در دهلی نو رخ داد که براساس آن فاصله دید، صفر گزارش شده است.

کمربند جهانی گرد و غبار که شامل مراکز تولید گرد و غبار و نواحی متاثر از آنها است، از مناطق بیابانی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری ساهارا از طریق خاورمیانه به صحرای بزرگ هند و بیابان‌های آسیای مرکزی، چین و مغولستان گسترش می‌یابد. میزان حرکت گرد و غبار و ریزگردها در مقیاس جهانی در خارج از این منطقه بسیار کم است. به‌وضوح با چنین اثرات فراگیر مرزی، مدیریت خطرات گرد و غبار و ریزگردها نیازمند همکاری منطقه‌ای و جهانی است.

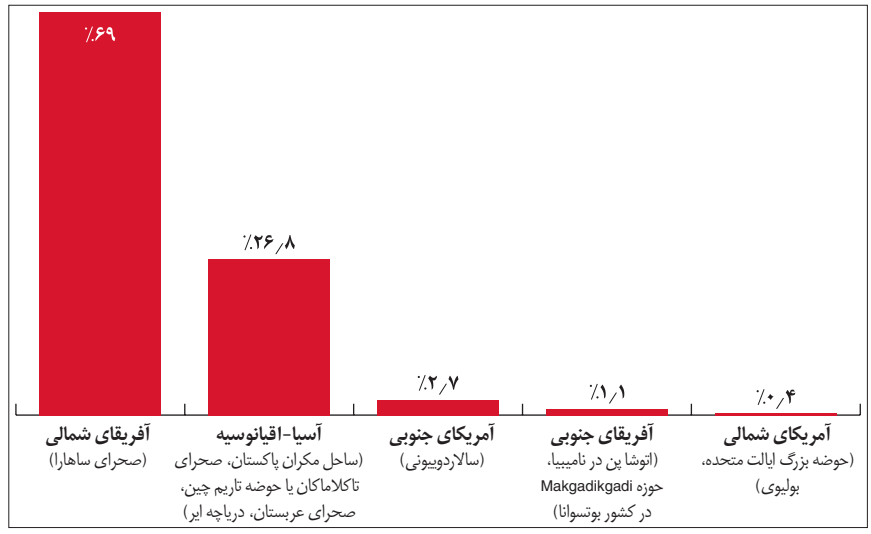
عوامل تولید گرد و غبار و ریزگردها

عوامل ایجاد طوفان‌های شن و گرد و غبار شامل فرسایش زمین، بیابان‌زایی، تغییرات آب‌وهوایی، وزش بادهای شدید، خشکسالی‌های پی‌درپی و طولانی‌مدت و همچنین استفاده نادرست از منابع آب و زمین است. عوامل طبیعی مانند فرورفتگی‌های زمین در مناطق خشک (که عمدتا ناشی از خشک‌شدن دریاچه‌ها



شکل ۱- منابع انتشار گرد و غبار در جهان / منبع : Ginoux et al. (2012)

1. visibility



شکل ۲- میزان درصد انتشار گرد و غبار در نقاط مختلف جهان / منبع: Akhlaq, Sheltami and Mouftah, 2012

با پوشش گیاهی اندک است)، ۷۵درصد از سهم انتشار جهانی گرد و غبار در جهان را تشکیل می‌دهند. عوامل انسانی نظیر تغییرات کاربری زمین، فرسایش خاک، توسعه بی‌رویّه کشاورزی، جنگل‌زدایی، تغییر در چرخه آب و انحراف جریان آب، ۲۵درصد سهم باقی‌مانده را شامل می‌شود. شکل ۱ سهم عوامل طبیعی و انسانی تولید گرد و غبار را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی مناطق تا حدود ۷۶درصد طوفان گرد و غبار، ناشی از فعالیت‌های انسانی و دستکاری‌های انسان در طبیعت است. در هر منطقه مستعد گرد و غبار، رابطه بین فعالیت‌های انسانی و افزایش میزان گرد و غبار در آن منطقه را می‌توان به‌وضوح مشاهده نمود. پس از انتقال آب دریاچه اونز[2] کالیفرنیا به لس‌آنجلس در سال ۱۹۱۳، این دریاچه یک منبع اصلی ایجاد ریزگرد و گرد و غبار در کالیفرنیا شد. پاتاگونیا در نیمه جنوبی آرژانتین، به علت بیابان‌زایی ناشی از دامداری نامناسب به یک کانون اصلی گرد و غبار در آن ناحیه مبدل شده است. دریاچه بالخاش در قزاقستان نیز از سال ۱۹۷۰ پس از اتمام ساخت سد روی رود ایلی خشک شد. در ایران نیز دریاچه ارومیه که از جولای ۱۹۹۸ تا ژوئن ۲۰۱۴، حدود ۹۰درصد مساحت خود را از دست داده است، منجر به بیابان‌زایی، ایجاد تپه‌های شن و ماسه و طوفان گرد و غبار و ریزگرد در منطقه شده است.

این موارد نمونه‌هایی از فعالیت‌های انسانی است که سبب تخریب محیط زیست و پراکنده‌شدن طوفان‌های گرد و غبار شده است. معیارهای مختلف مانند تغییرات در پوشش گیاهی و کاربری زمین و تغییر در بهره‌وری کشاورزی می‌تواند به تشخیص خشکسالی، تخریب زمین (فرسایش بادی)، بیابان‌زایی و در نتیجه طوفان شن و گرد و غبار کمک کند.

طوفان‌های شن و گرد و غبار معمولا در خاورمیانه، شمال چین، جنوب غربی آسیا و استرالیا رخ می دهد که از میان آنها آسیا-اقیانوسیه، ۲۶/۸درصد میزان انتشار گرد و غبار جهان را تا سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داده است. از حدود ۲میلیارد تن گرد و غبار منتشرشده در اتمسفر در هر سال، صحرای ساهارا در شمال آفریقا، با انتشار حدود ۱/۴۳میلیارد تن گرد و غبار، بیشترین عامل تولیدکننده گرد و غبار در سال ۲۰۱۲ بوده است. منطقه آسیا - اقیانوسیه با انتشار بیش از نیم‌میلیارد تن گرد و غبار در سال، دومین مرکز انتشار طوفان شن و گرد و غبار در دنیا است (شکل ۲).

در یک نگاه کلی نقاط منتشرکننده طوفان‌های شن و گرد و غبار در منطقه آسیا -اقیانوسیه به چهار زیرناحیه قابل تفکیک است:

- شرق و شمال شرق آسیا
- جنوب و جنوب غرب آسیا
- آسیای مرکزی
- اقیانوسیه[3]

که در ادامه به توضیح هریک می‌پردازیم:

شرق و شمال شرق آسیا

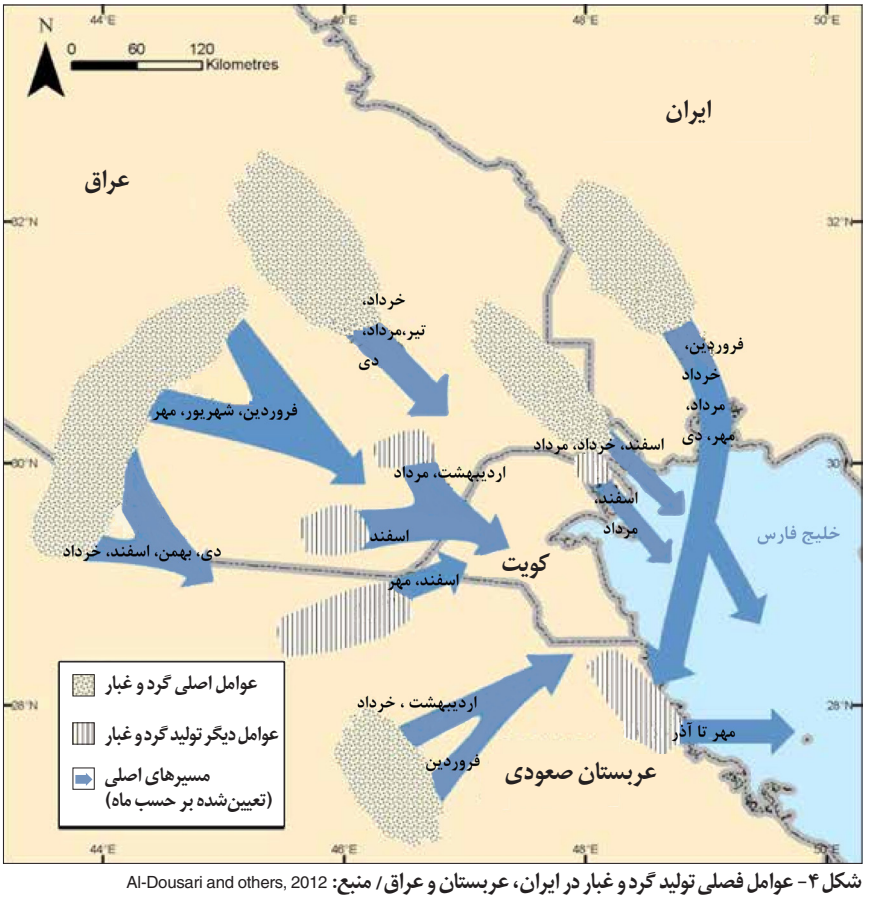
پدیده گرد و غبار یک معضل جدی در منطقه شرق و شمال شرق آسیا به شمار می‌رود. ذرات گرد و غبار که به‌طور عمده از مناطق خشک مغولستان داخلی (در چین) و بیابان گبی در مغولستان (و همچنین به‌طور فزاینده‌ای از مناطق شمال شرقی چین) نشأت می‌گیرند، به سمت شرق وارد شده و نه تنها چین بلکه کره و ژاپن را نیز متاثر می‌کنند.

جنوب و جنوب غرب آسیا

طوفان شن و گرد و غبار به‌شدت به نواحی جنوب و جنوب غربی آسیا آسیب می‌رساند. گرد و غبار و ریزگردها در این منطقه عمدتا یا منشأ داخلی دارند یا از مراکز گرد و غبار واقع در غرب آسیا و شمال آفریقا وارد می‌شود. گفتنی است اگرچه طوفان‌های گرد و غبار در همه نواحی جنوب و جنوب غرب آسیا رایج است، ولی بیشترین تعداد فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در مناطق جنوب شرق ایران (در استان سیستان و بلوچستان)، جنوب غربی افغانستان، شمال غربی پاکستان، بیابان تار در شمال غرب هند، دشت ترکستان افغانستان و منطقه رجیستان ازبکستان رخ می‌دهد. شکل زیر نمایی از طوفان گرد و غبار و ریزگردها را

2. Owens lake
3. Pacific

شکل ۳- طوفان گرد و غبار بر فراز خلیج فارس (۱۹ فوریه ۲۰۱۷) / عکس از ناسا تهیه شده توسط جف اسمالتز، LANCE/EOSDIS Rapid Response



شکل ۴- عوامل فصلی تولید گرد و غبار در ایران، عربستان و عراق/ منبع: Al-Dousari and others, 2012

در سال ۲۰۱۷ در ناحیه جنوب غربی ایران و خلیج فارس نشان می‌دهد عمده عوامل انتشار طوفان‌های گرد و غبار در بخش‌های جنوبی ایران، عربستان و عراق در شکل ۴ نشان داده شده است.

خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها ناشی از گرمایش زمین و فعالیت‌های بشری می‌تواند به ایجاد و افزایش ریزگردها و گرد و غبار کمک کند. به‌عنوان مثال، خشک‌شدن دریاچه هامون و ارومیه با کاهش رطوبت خاک و برجای گذاشتن املاح و نمک به تشدید طوفان‌های گرد و غبار کمک کرده و معضلات اساسی در نظام سلامت، اقتصاد و اجتماع در منطقه وارد نموده است.

آسیای مرکزی

بخش مرکزی آسیا با طوفان‌های گرد و غبار بسیاری مواجه است. یکی از عوامل بروز این طوفان‌ها، مناطق وسیعی از بیابان‌های شنی طبیعی و بیابان‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در این ناحیه است. گسترش فعالیت‌های انسانی در حوضه دریاچه آرال، منجر به گسترش پخش نمک و گرد و غبار از بخش‌های خشک‌شده دریاچه آرال و تشدید طوفان‌های شن و گرد و غبار در این منطقه شده است. همچنین باید اظهار کرد که مناطق وسیعی از حوضه دریاچه آرال در حال حاضر منابع فعال گرد و غبار سمی و آلوده به آلاینده‌های باقی مانده از کودهای مصنوعی و آفت‌کش‌ها هستند که از دهه‌های گذشته ممنوع شده بودند.

اقیانوسیه

استرالیا بزرگ‌ترین عامل گرد و غبار در نیمکره جنوبی است. طوفان‌های تولیدشده در استرالیا عمدتا فرامرزی بوده و به مناطق خارج قاره‌ای، به جنوب شرقی نیوزلند، به اقیانوس جنوبی و شمال غربی اقیانوس هند نیز می‌توانند سفر کنند.

شکل ۵- خسارات اقتصادی گرد و غبار و ریزگردها در نقاط مختلف جهان

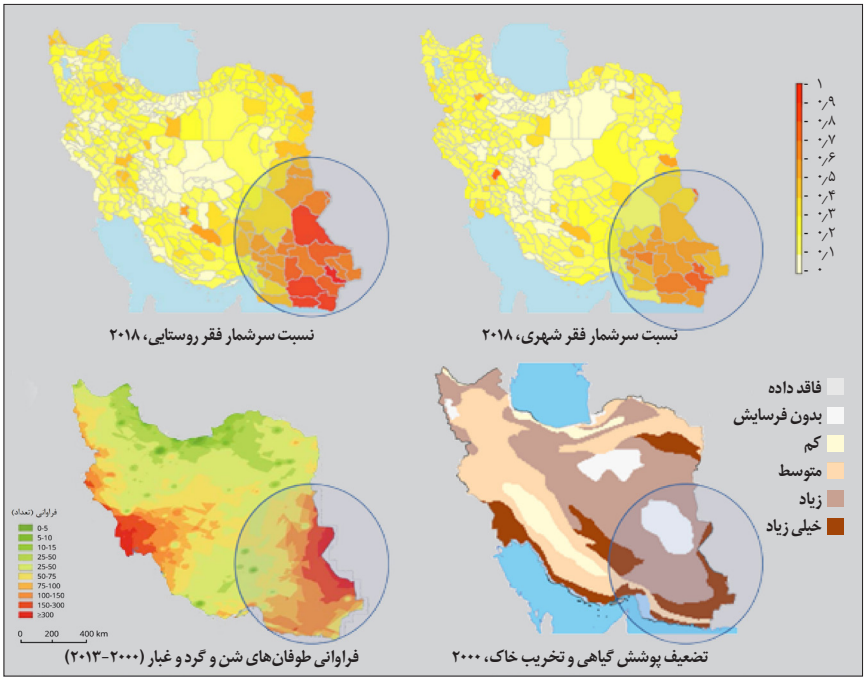
منبع: Sand and dust storms: subduing a global phenomenon - frontiers 2017

اثرات طوفان‌های گرد و غبار

بی‌تردید طوفان‌های شن و گرد و غبار تاثیرات ناگواری بر سلامت انسان، محیط زیست و اقتصاد دارند. افزایش آلودگی هوا- خاک-آب، از کار افتادن زیرساخت‌های عملیاتی نظیر فرودگاه‌ها و شبکه‌های ارتباطی، اختلال در عملکرد نیروگاه‌های برق و کاهش منابع آب (کمی و کیفی) از دیگر پیامدهای گرد و غبار و ریزگردها است. به‌طور کلی گرد و غبار و ریزگردها با پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدت مختلفی همراه است؛ آسیب به محصولات کشاورزی، مرگ و میر دام‌ها، آسیب‌های زیربنایی (ساختمان‌ها، شبکه‌های برق و شبکه‌های ارتباطی)، اختلال در سیستم‌های حمل‌ونقل و ارتباطات، تصادفات هوایی و جاده‌ای و هزینه زدودن شن و ماسه و گرد و غبار از جمله آثار کوتاه‌مدت گرد و غبار است. هزینه‌های بلندمدت شامل بروز انواع بیماری‌ها، فرسایش خاک، کاهش کیفیت خاک، آلودگی خاک از طریق رسوب آلاینده‌ها و تغییرات جهانی آب و هوا است.

از دیدگاه اقتصادی، پدیده گرد و غبار سالانه منجر به تحمیل هزینه‌ای حدود ۵٫۶میلیارد دلار در منطقه آسیا- اقیانوسیه می‌شود. به‌عنوان مثال منطقه زابل که در جنوب شرقی ایران واقع شده است، در فاصله زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴، ۳۳۸ روز با پدیده گرد و غبار و ریزگردها دست‌به‌گریبان بوده است. خسارت اقتصادی برآوردشده ناشی از طوفان گرد و غبار در این بازه زمانی، بیش از ۲۰۰ میلیون دلار برآورد شده است. شکل زیر نمونه‌هایی از خسارات اقتصادی به بار آمده ناشی از طوفان شن و گرد و غبار را در جهان نشان می‌دهد.

در واقع طوفان‌های شن و گرد و غبار که اغلب با خشکسالی، تخریب زمین و بیابان‌زایی همراه هستند، منجر به تشدید محرومیت و نابرابری در مناطق می‌شود. به‌عنوان مثال طی مطالعه‌ای در ایران، رابطه بین فراوانی تعداد طوفان‌های رخداده با سطح محرومیت در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶)؛ نتایج حاکی از آن است که ارتباط معناداری میان وقوع طوفان‌های گرد و غبار و فرسایش زمین با سطح محرومیت در منطقه وجود دارد.

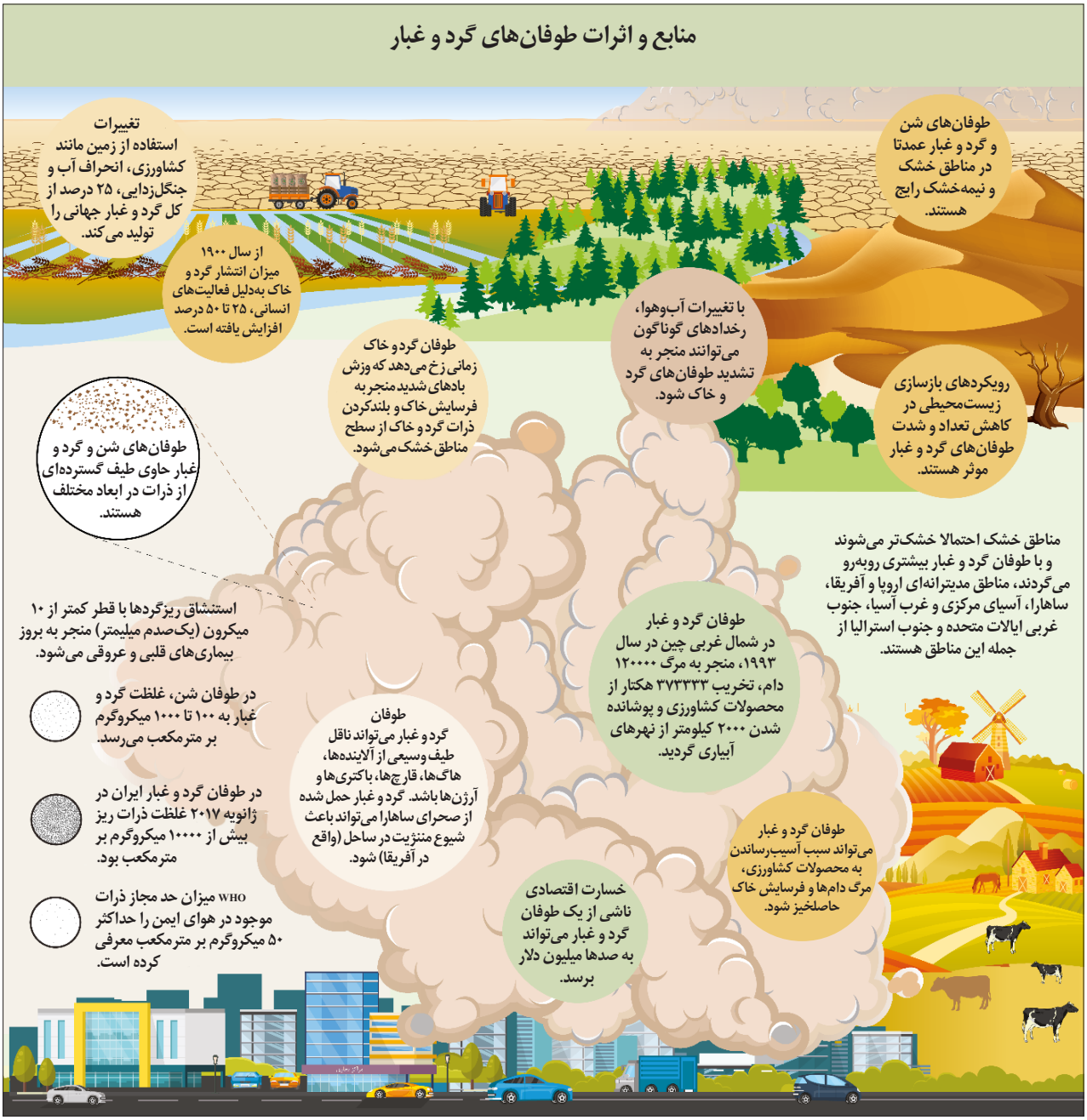


شکل ۶- ارتباط طوفان‌های گرد و خاک و تخریب خاک و سطح محرومیت

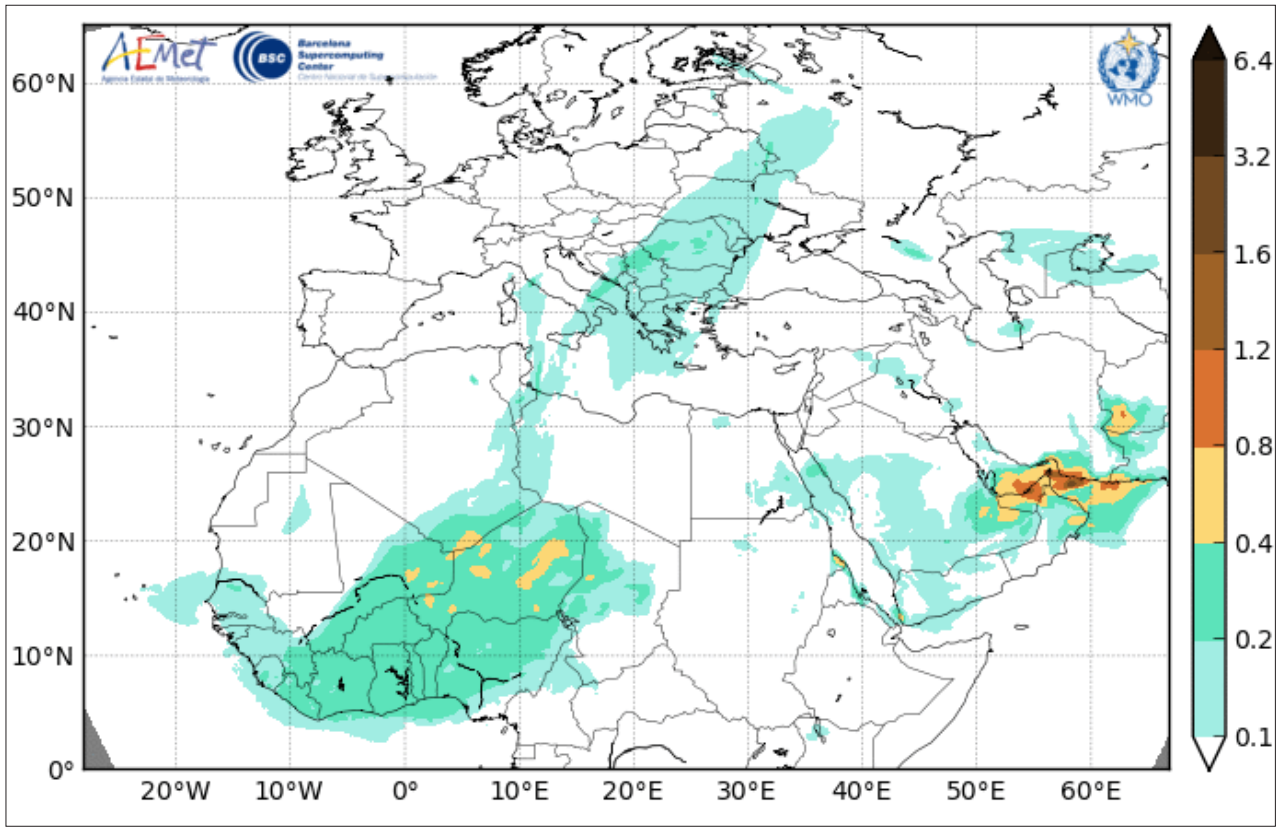
منبع: ESCAP Theme Study 2018: Inequality (forthcoming)

طوفان‌هـای گـرد و غبار و تخریـب زمین با تخریب زمین‌های کشـاورزی و دام‌ها، منجر به تشدید فقر در نواحی متاثر می‌شوند. ضمن آنکه این طوفان‌ها می‌توانند منجر به افزایش شیوع بیماری‌های مزمن در مناطق با سطح پایین توانایی گردند. از سـال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ ، طوفـان گرد و غبار در شـهر زابل منجر به تحمیل خسـارات اقتصادی ۳۱ میلیون دلار در بخـش سـلامت و ۴۸ میلیـارد دلار در بخش کشـاورزی شده اسـت. ضمن آنکه به دلیل رفـاه پایین اقتصادی، مردم این منطقه در مقابله با خسـارات به‌بارآمـده از طوفان‌ها تاب‌آوری پایینی دارند.

اگرچه می‌توان به‌صورت عملی مکان رخداد گـرد و غبـار و ریزگردها را تعییـن نمود، اما



شکل ۷- اینفوگرافی منابع و صدمات گرد و غبار و ریزگردها / منبع: Sand and dust storms: subduing a global phenomenon - frontiers 2017



شکل ۸- وضعیت ریزگردها و گرد و غبار پیش‌بینی‌شده توسط مرکز منطقه‌ای بارسلونا (۲۰۱۸/۰۲/۱۱) / این تصویر در https://dust.aemet.es **به‌صورت خودکار به‌روز می‌شود**

برآورد اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی آنها به دلیل عدم داده‌های دقیق، مشکل خواهد بود. شکل ۷ برخی آثار و منابع ریزگردها و گرد و غبار را به اختصار نشان می‌دهد.

اقدامات چندجانبه برای کاهش اثرات گرد و غبار و ریزگردها

اقدامات یکپارچه‌ای برای مقابله با آسیب‌های فرسایش زمین، کاهش تنوع زیستی در زمین و تهدیدات تغییرات آب‌وهوایی به ترتیب در سه کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد (UNCCD[4])، کنوانسیون تنوع زیستی (CBD[5]) و کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب‌وهوایی (UNFCCC[6]) صورت گرفته است. برنامه‌ها و فعالیت‌های این کنوانسیون‌ها که با یکدیگر مرتبط هستند تاثیر بسزایی در کاهش ریزگردها و مقابله با خطرات و تهدیدهای ناشی از طوفان‌های گرد و غبار دارد.

در سال ۲۰۰۷ سیستم مشاوره و ارزیابی هشدار طوفان شن و ماسه (SDS-WAS[7]) را سازمان جهانی هواشناسی (WMO[8])، راه‌اندازی کرد. SDS-WAS قابلیت پیش‌بینی، شبیه‌سازی، انتقال اطلاعات و دانش را به کاربران از طریق مشارکت بین‌المللی تحقیقاتی و جوامع عملیاتی فراهم می‌سازد تا امکان پیش‌بینی به‌موقع طوفان‌های شن و ماسه و گرد و غبار برای کشورها فراهم شود. این سیستم از طریق کمیته اجرایی SDS-WAS و سه ناحیه منطقه‌ای که در ذیل آمده است، فعالیت می‌کند:

- مرکز منطقه‌ای برای شمال آفریقا، خاورمیانه و اروپا که توسط یک مرکز در بارسلونای اسپانیا هماهنگ شده و سازمان هواشناسی دولتی (AEMET) و مرکز ابرکامپیوتری بارسلونا (BSC[9]) آن را مدیریت می‌کنند.
- مرکز منطقه‌ای آسیا که توسط مرکزی در پکن چین هماهنگ شده و اداره هواشناسی چین (CMA) آن را کنترل می‌کند. هدف اصلی این مرکز، پشتیبانی از یک شبکه SDS-WAS تحقیقاتی شامل NMHSs ژاپن، قزاقستان، مغولستان، جمهوری خلق چین و جمهوری کره است.
- مرکز منطقه‌ای آمریکا که اخیرا در ایالات متحده تاسیس شده است و توسط مرکزی در موسسه هواشناسی و هیدرولوژی کارائیب در بارباداوس اداره می‌گردد.

شکل ۸ نمایی از وضعیت گرد و غبار و ریزگردها را که مرکز بارسلونا اسپانیا پیش بینی کرده است نشان می‌دهد.

4. United Nations Convention to Combat Desertification
5. Convention on Biological Diversity
6. United Nations Framework Convention on Climate Change
7. Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System
8. World Meteorological Organization
9. Barcelona Supercomputing Centre

جمع‌بندی

طی سال‌های اخیر پدیده ریزگردها و گرد و غبار به یک معضل جدی در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است. امروزه بیش از ۱۵۰ کشور جهان به‌طور مستقیم تحت تاثیر طوفان‌های گرد و خاک هستند. بر اساس برآوردهای انجام‌شده سالانه حدود ۲میلیارد تن گرد و غبار در هوا پراکنده می‌شود که در این میان صحرای ساهارا در شمال آفریقا، با انتشار حدود ۱٫۴۳میلیارد تن گرد و غبار، بیشترین عامل تولیدکننده گرد و غبار در جهان به شمار می‌رود.

حدود ۷۵درصد سهم انتشار گرد و غبار در جهان منشأ طبیعی دارد و ۲۵درصد باقی‌مانده ناشی از فعالیت‌های انسانی و دستکاری‌های بشر در محیط زیست پیرامون خود است؛ چنانچه در هر منطقه مستعد گرد و غبار، رابطه بین فعالیت‌های انسانی و افزایش میزان گرد و غبار در آن منطقه به‌وضوح قابل بررسی است. اگرچه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی نقش بسزایی در افزایش گرد و غبار دارد ولی اقدامات بشر مانند تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی، خشک‌کردن منابع آبی (به‌طور عمده برای مصارف کشاورزی) و جنگل‌زدایی نه‌تنها این پدیده جوی را تشدید می‌کند بلکه خود می‌تواند باعث به وجود آمدن کانون‌های جدید گرد و غبار شود (مانند دریاچه آرال که به صحرای آرال[10] تبدیل شده است).

با توجه به اینکه گرد و غبار و ریزگردها می‌توانند مسافت‌های طولانی را طی کنند، رخدادی فرامرزی تلقی می‌شوند و کنترل و کاهش خسارات ناشی از آنها نیازمند اقدامات و همکاری‌های منطقه‌ای و چه‌بسا بین‌المللی است. از جمله این اقدامات، راه‌اندازی سیستم کنترل و ارزیابی طوفان شن و ماسه (SDS-WAS) از سوی سازمان جهانی هواشناسی در سال ۲۰۰۷ بود که می‌تواند به‌عنوان سیستم‌های هشدار با پیش‌بینی به‌موقع طوفان‌های شن و ماسه و گرد و غبار در زمان و مکان مناسب، آسیب‌ها و خسارات محتمل را کاهش دهد.

منابع

• الهام خدابنده‌لو، عباس علیمحدی سراب، ابوالقاسم صادق نیارکی، علی درویشی بلورانی، علی‌اصغر آل شیخ؛ ارزیابی و ارائه مدل جدید مکانی- زمانی انتشار ریزگردها در مقیاس منطقه‌ای (DustEM)، سنجش از دور و GIS ایران، ۱۳۹۵

• HTTP://BASIN.IR/1396/09/26/DUST

• https://dust.aemet.es

• IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

• Moghim, S. and Ramezanpoor, R., 2019: Characterization of aerosol types over Lake Urmia Basin, Central Asian DUst Conference (CADUC 2019), E3S Web Conf., 99, https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199901006.

• Sand and dust storms in Asia and the pacific: opportunities for regional cooperation and action. united nation .ESCAP (2018)

• Sand and dust storms: subduing a global phenomenon – frontiers 2017: emerging issues of environmental concern, shepherd, Gemma (2017)

10. Aralkum Desert

شورای نویسندگان

تحلیل دقیق و کارآمد

مهمترین گلوگاه راهبردی در کنترل آلودگی هوا در کشور

آلودگی هوا یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی کشور است که تاکنون هزینه قابل توجهی بر جامعه تحمیل کرده و علاوه بر پایتخت، در سالیان گذشته گریبان‌گیر سایر مناطق کشور نیز شده است. این مشکل زیست‌محیطی علاوه بر تاثیر مستقیم بر سلامت افراد جامعه، باعث افت محسوس کیفیت زندگی در برخی نقاط کشور از جمله بخش جنوب غربی شده است. اولین گام برای مدیریت و کنترل موثر آلودگی هوا، تحلیل دقیق آن است. متاسفانه هنوز در تحلیل نظام‌مند و موثر آلودگی هوا در ایران نقاط ضعفی دیده می‌شود. مسأله آلودگی هوای ایران تاکنون آن‌طور که باید به صورت دقیق تحلیل نشده است. تحلیل آلودگی هوا ابعاد مختلفی دارد، از جمله اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا، نمونه‌برداری، مطالعات آزمایشگاهی، مدل‌سازی، محاسبات و تحلیل‌های آماری. در این میان، پایش و اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا در تحلیل آلودگی هوا نقشی کلیدی دارد. اصولا کنترل و مدیریت یک پدیده زمانی به بهترین شکل میسر می‌شود که با تعریف یک شاخص بتوان آن را اندازه‌گیری کرد. از این رو، پایش کیفی هوا جایگاه بسیار مهمی در کنترل کیفیت هوا و سیاست‌گذاری در مقابله با این معضل زیست‌محیطی دارد. البته باید اشاره کرد که از دیگر اهداف مهم پایش کیفیت هوا، اطلاع‌رسانی عمومی در مورد کیفیت روزانه هوا است.

به استناد نتایج ارائه‌شده، در اندازه‌گیری آلودگی هوا در سطح کشور نقاط ضعف مهمی دیده می‌شود. با اینکه سازمان‌های مختلف مثل سازمان هواشناسی، شهرداری‌ها و وزارت بهداشت در این زمینه ورود کرده‌اند، طبق ماده ۲۰ آیین‌نامه اجرایی ماده ۲ قانون هوای پاک، متولی اصلی پایش و اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوای کشور، سازمان محیط زیست است که در این زمینه با محدودیت‌های جدی مواجه است. پایش وضعیت آلاینده‌های هوا تنها وظیفه دفتر پایش فراگیر آلودگی سازمان محیط زیست نیست. بلکه در کنار آن پایش وضعیت آب، پساب و خاک نیز در حیطه مسئولیت این دفتر قرار گرفته است. این در حالی است که محدودیت منابع مالی و انسانی که در اختیار سازمان قرار گرفته، در عمل دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست را با چالش‌های جدی در راهبری ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در سراسر کشور مواجه کرده است. بنابراین لزوم شفاف‌کردن جایگاه و اهمیت پایش آلودگی هوا به منظور ایجاد مطالبه در راستای رفع محدودیت‌ها در این زمینه نمایان می‌شود. در مقاله پیش رو با ارائه ارقام و آمارهایی از وضعیت ایستگاه‌های استان خوزستان و اصفهان به‌عنوان نمونه، وضعیت پایش آلاینده‌های معیار در کشور تشریح خواهد شد و در مورد عواملی که سبب پدید آمدن فاصله شرایط فعلی تا شرایط ایده‌آل گردیده و همچنین در مورد راهکارها بحث خواهد شد.

علاوه بر آلاینده‌های معیار که شاخص کیفیت هوا بر مبنای آنها مشخص می‌شود، برخی آلاینده‌های خاص مثل ترکیبات آلی فرّار، کربن سیاه، فلزات سنگین و... در برخی نقاط کشور مثل عسلویه مسأله‌ساز شده و سلامت ساکنان را با تهدید جدی مواجه کرده‌اند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ۱۸۷ آلاینده را تحت عنوان آلاینده‌های سمی شناسایی و برای آنها دستورالعمل تدوین کرده است. اندازه‌گیری این آلاینده‌ها نیاز به تجهیزات بعضا گران‌قیمت دارد. برخلاف الگوهای موفق جهانی، تاکنون در ایران تحلیل دقیقی از وضعیت این آلاینده‌ها صورت نگرفته است. در این مقاله لزوم اندازه‌گیری و سیاهه‌برداری آلاینده‌های خاص و تجهیز امکانات لازم برای این کار تشریح خواهد شد.

یکی از وظایف مهم سازمان محیط زیست، ارزیابی آثار زیست‌محیطی طرح‌ها و صنایع و نظارت بر آنها است. در این زمینه دو مورد قابل بحث است: پایش آنلاین صنایع و پایش کیفیت سوخت توزیعی در سطح کشور. پایش آنلاین صنایع و کیفیت سوخت می‌تواند نقشی بسیار مهم در کاهش انتشار آلاینده‌ها از صنایع و کنترل کیفیت سوخت ایفا کند. سوخت بی‌کیفیت در آلایندگی هوا بسیار موثر است. از این رو علاوه بر جنبه نظارتی طرح‌های پایش کیفیت سوخت، شناخت دقیق از وضعیت سوخت در کشور جهت سیاست‌گذاری برای کاهش آلودگی هوا ضروری است. در مقاله پیش رو ضمن ارائه آمار، وضعیت کنونی پایش کیفیت سوخت و پایش آنلاین صنایع در کشور تشریح خواهد شد و نیازمندی‌ها برای رسیدن به یک ساختار منظم مورد بحث قرار خواهد گرفت.

امروزه یکی از آلودگی‌های جدید زیست‌محیطی، آلودگی بو است. با توجه به گسترش روزافزون شهرنشینی و همچنین گسترش صنایع، لزوم توجه به این آلاینده و پایش و تحلیل دقیق آن شامل شناسایی کانون‌ها و نحوه انتشار بو و همچنین روش‌های تخفیف آن نمایان می‌شود. آلودگی بو در درجه اول منجر به تنش‌های

اجتماعی شده و در روند رشد اقتصادی و اجتماعی جوامع اختلال ایجاد می‌کند. از طرفی، آسیب‌هایی نظیر کم‌اشتهایی، مصرف کمتر آب، تهوع، استفراغ و اختلالات تنفسی را نیز به دنبال دارد. در سطح جهان استانداردهایی برای آلودگی بو تدوین شده است. پایش بو در کشورهای پیشرفته جزء روش‌های نوین پایش آلودگی محیط زیست محسوب می‌شود. پایش و کنترل این نوع آلودگی هوا در نقاط حساس کشور نیازمند دستگاه‌های سنجش و همچنین تدوین حدود استاندارد است. تحلیل این نوع آلودگی هوا از دانش‌های روز دنیا است.

سیاهه انتشار، یکی از ابزارهای پایه‌ای و اساسی برای سیاست‌گذاری در زمینه کاهش انتشار آلاینده‌ها در هوا است. بدون سیاهه انتشار در عمل برنامه‌ریزی برای کاهش آلودگی هوا ممکن نیست. داده‌های ایستگاه‌های پایش هوا (با فرض صحت داده‌ها) و شمارش روزهای پاک، سالم یا خطرناک می‌تواند معیاری از اثربخشی اقدامات باشد. اما اتکا به این داده‌ها به‌هیچ‌وجه برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در حوزه کنترل کیفیت هوا کافی به نظر نمی‌رسد. این در حالی است که در صورت عدم اطمینان از صحت داده‌های اندازه‌گیری‌شده، هیچ تصمیمی بر مبنای آنها نمی‌توان گرفت. سیاهه انتشار در واقع سهم منابع مختلف از جمله منابع ایستا نظیر نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها و منابع متحرک مثل خودروها را در انتشار آلاینده‌ها مشخص می‌کند. در اروپا و ایالات متحده آمریکا از سال ۱۹۹۰ در مورد سیاهه انتشار داده وجود دارد. در صورتی که در ایران سیاهه انتشار فقط در سال ۹۴ و تنها برای شهر تهران بر مبنای داده‌های سال ۹۲ و چند سال قبل از آن توسط جایکا گردآوری شده است. چالشی که در مورد مسأله آلودگی هوا در ایران وجود دارد، تنوع جغرافیایی این پدیده است. آلودگی هوا در سیستان و بلوچستان، خوزستان، ارومیه (احتمالا به دلیل شرایط دریاچه ارومیه)، عسلویه (به دلیل تجمع پالایشگاه‌ها) و تهران وضعیت کاملا متفاوتی دارند. لذا سیاهه انتشار به مدیریت و کنترل آلودگی هوا کمک شایانی می‌کند. سیاهه انتشار باید در سطح کشور تدوین شده و به صورت منظم هر چند سال یکبار به‌روز شود. یکی از معضلات مربوط به کیفیت هوا، نه تنها در ایران بلکه در سراسر دنیا، ذرات معلق در جو است. همه شهروندان ایرانی با عبارت ذرات معلق آشنایی دارند. سال‌هاست این معضل در کشور مطرح است. اما مسأله ذرات معلق در هوای ایران تاکنون به‌صورت دقیق تحلیل نشده است. ذرات معلق غالبا شامل ترکیبات معدنی، ترکیبات آلی، فلزات سنگین و ذرات غبار می‌شوند. آنالیز دقیق ذرات معلق، شناسایی ترکیب و منشاءیابی آنها برای مدیریت و کنترل این آلاینده ضروری است. سیاهه انتشار برای تحلیل ذرات معلق کفایت نمی‌کند، زیرا در سیاهه انتشار تنها میزان انتشار مستقیم ذرات تعیین می‌شود. این در حالی است که بخش قابل توجهی از غلظت ذرات معلق در جو، سهم ذرات ثانویه است که در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی در جو شکل گرفته‌اند. داده‌های ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد که بخش مهمی از ذرات معلق را نیترات‌ها و سولفات‌ها تشکیل می‌دهند. بنابراین کنترل انتشار اکسیدهای نیتروژن و گوگرد برای کاهش غلظت ذرات معلق ضروری است. تنها اطلاعاتی که از آنالیز ذرات معلق در ایران وجود دارد، نتیجه تحقیقی است که سال ۱۳۹۵ بر مبنای داده‌های سال ۱۳۹۳ ایستگاه پایش کیفیت هوای دانشگاه صنعتی شریف منتشر شده است. در حال حاضر امکان انجام مطالعات آزمایشگاهی برای تحلیل ذرات معلق در کشور فراهم نیست. اهمیت موضوع ذرات معلق در جو و آسیب‌های ناشی از آن، لزوم تجهیز آزمایشگاه‌های مربوط را روشن می‌کند. هر چند با توجه به شرایط بین‌المللی ایران، این امر ساده به نظر نمی‌رسد.

پدیده گرد و غبار نیز یکی از معضلاتی است که در چند سال اخیر گریبان‌گیر محدوده نسبتا وسیعی از کشور شده است. پدیده گرد و غبار تاکنون به‌صورت دقیق و کارآمد در ایران تحلیل نشده است. ستاد ملی مقابله با گرد

و غبـار به منظور تحلیل ایـن پدیده اقدامات خوبی را در دسـت اجـرا دارد. کارشناسـان این مرکـز به دنبـال تهیه نقشـه پهنه‌بندی مناطق غبارناک و غبارخیز در کشور هستند. دسـتیابی سـریع‌تر به یک چارچـوب دقیق (شـاخص‌ها، متغیرها و...) برای تحلیل این معضل به برنامه‌ریزی برای کنترل این پدیده کمک شایانی می‌کند. ارائه الگوهای جهانی می‌تواند در این زمینه اثربخش باشد.

اندازه‌گیری آلاینده‌های معیار

همان‌گونه که پیشـتر اشاره شد، اندازه‌گیری مناسـب غلظـت آلاینده‌هـا در جو نقشـی مهـم در کنترل و مدیریـت آلودگی هوا دارد. آلاینده‌های معیار که بر اسـاس آنها شاخص کیفیـت هـوا مشـخص می‌شـود، عبارتند از ذرات معلـق بـا ابعاد کمتـر از ۲/۵ و ۱۰ میکـرون و ۴ آلاینـده گازی کـه عبارتند از: گوگرد دی‌اکسید، نیتروژن دی‌اکسید، اوزون و کربن مونواکسـید. در کشـور ایـران ۱۹۶ ایسـتگاه پایش کیفیت هوا وجـود دارد. این ایستگاه‌ها را غالبا شـهرداری‌ها و یا سازمان محیـط زیسـت اداره می‌کننـد. در تهـران مجموع ایسـتگاه‌های متعلق به شـهرداری و سازمان محیط زیسـت ۴۲ ایستگاه است. هزینه‌هـای مربوط به راهبـری، تعمیرات و نگهداری ایسـتگاه‌های پایش بسیار بالاست و در شرایط تحریم اقتصادی، تامین قطعات برای این ایستگاه‌ها آسان نیست. بسیاری از ایسـتگاه‌ها یا تمام آنالایزرهای آلاینده‌های معیـار را ندارند یا به دلیل راهبری نامناسـب و نقص فنـی برخـی از آنالایزرهـای آنها از کار افتاده‌انـد. بـا توجه بـه محدودیت منابع مالی و شـرایط ذکرشده و همچنین با عنایت به اینکه بر اسـاس اندازه‌گیری‌های پیشـین ذرات معلـق مهم‌ترین آلاینده هوای کشـور هستند، اولویت اول سـازمان محیط زیست فعـال نگاداشـتن آنالایزرهـای اندازه‌گیری ذرات معلـق ایسـتگاه‌ها اسـت. در صورتی کـه هـدف از اندازه‌گیری غلظـت آلاینده‌ها در هـوا را صرفـا اطلاع‌رسـانی عمومـی در مورد کیفیت هوا و تلاش برای پیشـگیری از آسـیب‌های ناشـی از آلودگی هوا برای افراد حساس بدانیم، شـاید این نحوه اندازه‌گیری کافی باشـد. اما به تحلیل آلودگی هوا کمک چندانی نمی‌کند. برای کنتـرل موثر آلودگی هـوا، ابتدا باید آن را به‌صورت دقیق و کارآمد تحلیل کـرد و برای تحلیل آلودگـی هوا باید بتوان پارامترهای مرتبط با آن را به‌طور دقیق اندازه گرفت. بنابراین لازم است به‌منظور رفع محدودیت‌ها و تامیـن منابع مالی لازم برای سـازماندهی و بهبود وضعیت ایسـتگاه‌های پایش کیفیت هوای کشور اقدام شود.

بررسـی وضعیـت اندازه‌گیـری آلاینده‌ها در کشـور، نیاز به اطلاعات اولیـه و زمان قابل توجهـی دارد. به همین دلیل در مقاله حاضر به‌عنـوان نمونـه، بـه وضعیـت اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های معیار در شـهر اصفهان و اسـتان خوزسـتان در نیمه نخسـت سال ۱۳۹۷ نگاهـی اجمالی داریم. برای بررسـی اجمالی و کلی وضعیـت اندازه‌گیری آلودگی هوای کشـور می‌تـوان در مـورد کافی بودن تعـداد و جانمایـی صحیـح ایسـتگاه‌ها در مناطـق مختلـف، میزان داده در دسـترس (data availability) ایسـتگاه‌ها و صحـت داده‌های گزارش‌شده بحث کرد. میزان داده در دسـترس ایسـتگاه‌ها پارامتر مهمی برای ارزیابـی نحوه عملکـرد و راهبری ایسـتگاه است و محاسـبه آن نیاز به داده‌های حاصل از اندازه‌گیـری سـاعتی غلظـت آلاینده‌هـا دارد. آنچـه در مقاله پیش رو ارائه شـده، در حقیقت قابلیت محاسبه شاخص کیفیت هوا توسـط هر ایسـتگاه برای هر آلاینده اسـت کـه با data availability متفاوت اسـت، اما می‌توانـد معیار خوبی بـرای ارزیابی عملکرد ایستگاه باشد. برای نمونه، اندازه‌گیری اوزون در طول شـبانه‌روز در ۱۷ بازه ۸ ساعته انجام می‌شـود؛ بازه اول از ۷ صبح تا ۳ عصر و بازه آخر از ۱۱ شـب تـا ۷ صبـح روز بعد صورت می‌گیـرد. در هر بـازه میانگین غلظت اوزون محاسبه و صحت‌سـنجی می‌شود و حداکثر میانگیـن محاسبه‌شـده به‌عنـوان نماینـده غلظـت اوزون در آن روز گـزارش می‌شـود. ایـن داده در صورتی معتبر اسـت که حداقل ۱۳ مقدار از ۱۷ مقدار میانگین گزارش‌شـده معتبر باشـد. در صورتی که ۱۲ مقدار یا کمتر موجود باشد ولی حداکثر مقدار آنها بیشتر از ۰/۰۷ ppm باشـد، مقدار گزارش‌شده نهایی قابـل قبول خواهد بود. در هر بازه ۸ سـاعته میانگیـن محاسبه‌شـده در صورتـی معتبـر اسـت که حداقـل ۶ داده موجود باشـد. اگر کمتر از ۶ داده موجود باشـد، اما با قرار دادن تعدادی صفر و رسـاندن تعداد داده‌ها به ۸ و محاسـبه مجدد، میانگین حاصل بیشـتر از ۰/۰۷ ppm باشد، آن داده قابل قبول است. بنابرایـن با وجـود تعداد کمتـر داده و میزان داده در دسـترس پایین، شـاخص مربوط به هر آلاینده قابل محاسبه است، اما زمانی که در طول یک ماه، یک ایسـتگاه عددی برای یک آلاینده گزارش نمی‌کند، نشان می‌دهد وضعیت راهبری ایسـتگاه بسـیار نامناسـب است.

در جدول ۱ وضعیت اندازه‌گیری آلاینده‌های معیار در ۷ ایسـتگاه شـهر اصفهان در بهار سـال ۱۳۹۷ بر اسـاس داده‌های ارائه‌شده در سـامانه پایش کیفی هوای کشور بررسی شده است. اعداد نشـان‌دهنده درصد تعداد روزهای ماه است که ایسـتگاه مربوط برای هـر آلاینده داده گزارش کرده اسـت. اولین نکتـه‌ای کـه در ایـن جـدول جلـب توجه می‌کند، تعداد زیاد صفرها است. همان‌طور که ملاحظه می‌شـود، بر اسـاس اطلاعات موجود در سـامانه پایش کیفی هوای کشور، در طول بهار سـال گذشـته غلظت PM۱۰ در هیچ‌یک از ایسـتگاه‌های شـهر اصفهان اندازه‌گیری نشـده اسـت. بنابراین می‌توان گفت تخمینـی از غلظت ذرات معلق با ابعاد

جدول۱: درصد روزهایی از ماه که ایستگاه‌های شهر اصفهان برای آلاینده‌های معیار شاخص گزارش کرده‌اند

آلاینده	ایستگاه‌های اصفهان							ایستگاه‌های تهران	
	دانشگاه	احمدآباد	خرازی	خواجو	پروین	استانداری	رودکی	تربیت مدرس	پونک
فروردین ۹۷									
PM2.5	۶۸	۸۴	۷۷	۹۷	۱۰۰	۱۰۰	۶۱	۱۰۰	۹۳
PM10	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۸۴
SO2	۰	۰	۰	۴۸	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
NO2	۰	۰	۸۴	۰	۰	۹۶	۰	۱۰۰	۱۰۰
O3	۰	۰	۰	۰	۵۸	۰	۰	۱۰۰	۸۷
CO	۰	۰	۸۴	۱۶	۳۵	۷۷	۳۲	۱۰۰	۱۰۰
اردیبهشت ۹۷									
PM2.5	۳۹	۶۵	۹۷	۸۴	۸۷	۸۱	۰	۱۰۰	۱۰۰
PM10	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۷۰
SO2	۰	۰	۰	۱۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
NO2	۰	۰	۸۴	۰	۵۸	۷۵	۰	۱۰۰	۱۰۰
O3	۰	۰	۰	۰	۵۵	۰	۰	۱۰۰	۸۷
CO	۰	۰	۹۴	۷	۵۲	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
خرداد ۹۷									
PM2.5	۹۴	۹۴	۷۷	۹۴	۵۵	۸۱	۳	۹۷	۱۰۰
PM10	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
SO2	۰	۰	۰	۱۳	۰	۰	۰	۱۰۰	۸۷
NO2	۰	۰	۴۵	۰	۷۱	۸۱	۰	۱۰۰	۱۰۰
O3	۰	۰	۰	۰	۱۳	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
CO	۰	۰	۳۹	۱۰	۶۱	۳۹	۳	۱۰۰	۱۰۰

کمتر از ۱۰ میکرون در آسمان اصفهان در بهار گذشته وجود ندارد. این در حالی است که با توجه به وضعیت بستر زاینده‌رود، خشک‌شدن تالاب گاوخونی و کانون‌های فرسایش بادی موجود در استان سمنان، این شهر احتمالا در معرض پدیده گرد و غبار قرار دارد. لذا اندازه‌گیری PM۱۰ اهمیت ویژه‌ای دارد. از طرفی با توجه به استقرار و فعالیت صنایع آلاینده در محدوده شهر و تردد زیاد خودروها در خیابان‌ها، اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های گازی در جو اصفهان اهمیت فراوانی دارد. با این وجود، غلظت آلاینده مهمی مثل اوزون در طول بهار سال ۱۳۹۷ تنها در ایستگاه خیابان پروین اندازه‌گیری شده است. آن هم در شرایطی که ایستگاه ذکرشده تنها در نیمی از روزهای ماه فرودین و اردیبهشت و تنها در ۱۳درصد روزهای خردادماه داده گزارش کرده است. در صورت عدم اطمینان از کیفیت سوخت توزیعی در سطح شهر اصفهان، اندازه‌گیری غلظت گوگرد دی‌اکسید لازم است. این در حالی است که در بهار سال ۹۷ غلظت این آلاینده تنها در ایستگاه خرازی اندازه‌گیری شده، در شرایطی که ایستگاه مذکور در این سه ماه به ترتیب در ۴۸، ۱۰ و ۱۳درصد روزهای ماه داده گزارش کرده است.

وضعیت اندازه‌گیری NO2 نیز در اصفهان ایده‌آل نیست. اندازه‌گیری این آلاینده در ایستگاه پروین به خوبی انجام نشده است. ایستگاه خرازی هم در خرداد سال گذشته در ۴۵درصد روزها شاخص گزارش کرده است.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، عملکرد ایستگاه رودکی در بهار گذشته به هیچ عنوان مطلوب نبوده، به‌طوری‌که در ماه‌های اردیبهشت و خرداد تقریبا داده‌ای گزارش نکرده است. داده‌های گزارش‌شده در سامانه پایش کیفی هوای کشور نشان می‌دهد که وضعیت اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا در شهر اصفهان مطلوب نیست. البته ممکن است برخی ایستگاه‌ها، مجهز به آنالایزرهای تعدادی از آلاینده‌ها نباشند. اما به هر حال می‌توان گفت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و آلاینده‌های گازی به خوبی در شهر اصفهان اندازه‌گیری نمی‌شوند. شاخص کیفیت هوا بر مبنای مقایسه داده‌های گزارش‌شده توسط ایستگاه‌های سطح شهر مشخص می‌شود. بنابراین شاخص کیفیت هوای محاسبه‌شده برای آسمان اصفهان در بهار سال گذشته، نمی‌تواند معیار دقیقی از کیفیت هوای این شهر باشد. البته در شهر اصفهان اخیرا ۹ ایستگاه پایش کیفیت هوا توسط شهرداری راه‌اندازی شده است. داده‌های مربوط به این ایستگاه‌ها در دسترس عموم قرار نگرفته است. طبق اطلاعات موجود در سامانه مرکز پایش و کنترل کیفیت هوای اصفهان، این ایستگاه‌ها اندازه‌گیری PM۱۰ و اوزون را انجام نمی‌دهند.

در جدول ۱ وضعیت ایستگاه‌های شهر اصفهان با دو ایستگاه تربیت مدرس و پونک در شهر تهران مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دو ایستگاه ذکرشده در شهر تهران به صورت کارآمدی راهبری شده‌اند و تقریبا در تمام روزها شاخص

کیفیت هوا برای هر ۶ آلاینده معیار را گزارش کرده‌اند. تنها آلاینده‌ای که می‌توان گفت به‌صورت قابل قبول در اصفهان اندازه‌گیری شده است، PM۲٫۵ است. البته صحت داده‌های اندازه‌گیری‌شده هنوز محل تردید است. از آنجا که در اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها بحث ابزار دقیق مطرح است، اگر راهبری ایستگاه نامناسب باشد و کالیبراسیون آنالایزرها به‌طور دوره‌ای و منظم انجام نشود و تعمیرات و نگهداری ایستگاه‌ها طبق اصول نباشد، نمی‌توان به صحت داده‌های اندازه‌گیری‌شده اطمینان کرد. برای مثال در صورت عدم کالیبره‌کردن به‌موقع دستگاه‌های سنجش غلظت ذرات معلق، ممکن است تا ۸۰ درصد و بیشتر در اندازه‌گیری‌ها خطا وجود داشته باشد. در صورت عدم اطمینان از راهبری صحیح ایستگاه‌ها می‌توان گفت که اعداد گزارش‌شده بی‌معنی هستند و از نظر آماری ارزشی ندارند.

در جدول ۲ وضعیت اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا در چهار شهر اهواز، آبادان، دزفول و خرمشهر در استان خوزستان در نیمه نخست سال گذشته بر اساس داده‌های موجود در سامانه پایش کیفی هوای کشور نشان داده شده است. اعداد نشان‌دهنده درصد تعداد روزهای ماه است که ایستگاه مربوط برای هر آلاینده شاخص گزارش کرده است. همانند جدول ۱ اولین نکته‌ای که در این جدول جلب توجه می‌کند، تعداد زیاد صفرها است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سه ماه اول سال گذشته، غلظت آلاینده‌های گازی در هوای شهر اهواز اندازه‌گیری نشده است. همچنین بر اساس داده‌های ارائه‌شده، در شش ماه نخست سال ۱۳۹۷ غلظت PM۲٫۵، اوزون و نیتروژن دی‌اکسید در شهر آبادان اندازه‌گیری نشده است. با توجه به اینکه در آبادان پالایشگاه نفت در مجاورت مناطق مسکونی قرار گرفته است (شکل ۱)، اندازه‌گیری آلاینده‌ها در این شهر اهمیت زیادی دارد. زیرا پالایشگاه‌ها سهم قابل توجهی در انتشار آلاینده‌های گازی و ذرات معلق دارند. با توجه به اینکه بخشی از آلاینده PM۲٫۵ را گرد و غبار تشکیل می‌دهد، لازم است غلظت این آلاینده مخصوصا در خوزستان دقیقا پایش شود. در حالی که در شهرهای آبادان و خرمشهر در نیمه نخست سال گذشته داده‌ای در مورد این آلاینده موجود نیست. وضعیت اندازه‌گیری آلاینده PM۱۰ در خرمشهر در نیمه نخست سال گذشته و به‌ویژه در چهار ماه اول اصلا مناسب نبوده است.

در شهر اهواز دو ایستگاه پایش کیفیت هوا موجود است که در حال حاضر یکی از این دو ایستگاه غیر فعال است. در حالی که به گفته کارشناسان، اهواز به ۱۴ ایستگاه پایش کیفیت هوا نیاز دارد. با توجه به فعالیت گسترده شرکت توسعه مهندسی نفت در میادین غرب کارون، شرکت مذکور مکلف به خریداری و راه‌اندازی پنج ایستگاه مجهز به همه آنالایزرها در منطقه شده است. شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب نیز مکلف شده است ۳۲ ایستگاه پایش کیفیت هوا را در سه استان راه‌اندازی کند که از این تعداد ۲۰ ایستگاه مربوط به استان خوزستان است.

جدول۲: درصد روزهایی از ماه که ایستگاه‌های استان خوزستان برای آلاینده‌های معیار شاخص گزارش کرده‌اند

بهار ۹۷					تابستان ۹۷				
آلاینده	اهواز	آبادان	دزفول	خرمشهر	آلاینده	اهواز	آبادان	دزفول	خرمشهر
فروردین					تیر				
PM2.5	۹۰	۰	۹۳	۰	PM2.5	۵۴	۰	۳۸	۰
PM10	۹۶	۹۰	۹۶	۲۹	PM10	۵۱	۸۳	۶۷	۳۲
SO2	۰	۰	۰	۰	SO2	۲۲	۶۴	۰	۰
NO2	۰	۰	۰	۰	NO2	۰	۰	۰	۰
O3	۰	۰	۰	۰	O3	۰	۰	۰	۰
CO	۰	۸۰	۰	۰	CO	۰	۹۰	۷۰	۰
اردیبهشت					مرداد				
PM2.5	۵۸	۰	۹۶	۰	PM2.5	۷۴	۰	۸۷	۰
PM10	۶۷	۷۷	۹۰	۹	PM10	۸۷	۸۷	۸۳	۷۴
SO2	۰	۰	۰	۰	SO2	۵۸	۹۰	۰	۰
NO2	۰	۰	۰	۰	NO2	۰	۰	۰	۰
O3	۰	۰	۰	۰	O3	۴۸	۰	۰	۰
CO	۰	۷۰	۰	۰	CO	۰	۹۰	۸۳	۰
خرداد					شهریور				
PM2.5	۸۳	۰	۶۱	۰	PM2.5	۸۳	۰	۹۳	۰
PM10	۱۰۰	۸۰	۷۸	۱۲	PM10	۱۰۰	۹۶	۸۳	۹۶
SO2	۰	۰	۰	۰	SO2	۷۷	۸۷	۰	۰
NO2	۰	۰	۰	۰	NO2	۰	۰	۰	۰
O3	۰	۰	۰	۰	O3	۷۷	۰	۰	۰
CO	۰	۱۹	۰	۰	CO	۱۹	۹۰	۹۶	۰

شکل ۱: موقعیت پالایشگاه نفت آبادان و مجاورت آن با مناطق مسکونی

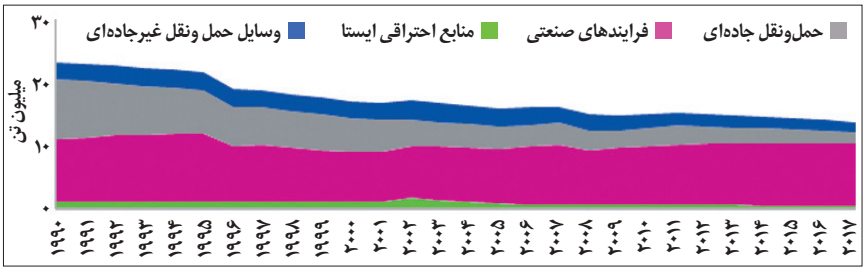
اندازه‌گیری آلاینده‌ها خاص

آلاینده‌های هوا به ۶ آلاینده‌ای که شاخص کیفیت هوا بر اساس غلظت آنها در هوا معین می‌شود محدود نیستند. سازمان محیط زیست آمریکا ۱۸۷ مورد را به عنوان آلاینده سمی هوا شناسایی کرده و در جهت کنترل انتشار آنها اقدام کرده است. تماس طولانی با این آلاینده‌ها اگر غلظت معیار را داشته باشند، منجر به بروز سرطان و آسیب‌های بالینی دیگر نظیر اختلالات باروری و نقص در زمان تولد، اختلال رشد، آسیب به سیستم ایمنی، عصبی و همچنین دستگاه تنفسی بدن می‌شود. از طرفی برخی آلاینده‌های سمی هوا مانند جیوه می‌توانند بر خاک و آب‌های سطحی رسوب کرده و از این طریق وارد زنجیره غذایی انسان شوند. البته از آثار این آلاینده‌ها بر محیط زیست نیز نباید غافل بود. از جمله آلاینده‌های سمی هوا می‌توان بنزن موجود در سوخت، متیلن‌کلراید که به عنوان حلال در صنایع استفاده می‌شود، دی‌اکسین، آزبست، تولوئن و فلزات سنگین مثل کادمیوم، جیوه، کروم و سرب را نام برد.

از زمان تصویب متمم قانون هوای پاک آمریکا در سال ۱۹۹۰ میلادی، کاهش انتشار آلاینده‌های سمی هوا اولویت سازمان محیط زیست این کشور بوده است. در دو دهه گذشته در نتیجه اقدامات این سازمان انتشار آلاینده‌های سمی هوا کاهش چشم‌گیری پیدا کرده است. به عنوان نمونه میزان انتشار ترکیبات آلی فرار از ۲۳/۱ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۱۳/۸ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، کنترل انتشار ترکیبات آلی فرار از خودروها نقش موثری در کاهش انتشار این آلاینده در جو ایفا کرده است.

یکی از عوامل مهم موفقیت ایالات متحده آمریکا در کنترل انتشار آلاینده‌های سمی مثل ترکیبات آلی فرار، انجام اقدامات ایالتی و محلی برای شناسایی این آلاینده‌ها، منشأیابی و نحوه توزیع آنها در جو بوده است. آلاینده‌های سمی هوا از طریق منابع ساکن مثل صنایع، نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها، منابع متحرک مثل خودروها، و برخی عوامل طبیعی مثل آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتش‌فشان‌ها منتشر می‌شوند. سازمان محیط زیست آمریکا از فهرست ۱۸۷ آلاینده سمی، ۳۰ آلاینده که بیشترین خطر را برای سلامت جامعه در محدوده‌های شهری به‌وجود آورده‌اند، شناسایی کرده است. فهرست این ۳۰ آلاینده در جدول ۳ موجود است. همچنین سازمان محیط زیست آمریکا توانسته ۶۸ منبع کوچک محلی را که به‌صورت تجمعی بیش از ۹۰درصد این ۳۰ آلاینده را منتشر می‌کنند، شناسایی کند. در دسته‌بندی منابع منتشرکننده آلاینده‌های سمی، منبع کوچک محلی منبعی است که سالانه زیر ۱۰ تن از یک نوع آلاینده خاص را منتشر می‌کند یا به‌صورت تجمعی در سال سبب انتشار کمتر از ۲۵ تن، از چند نوع آلاینده سمی می‌شود. این ۶۸ منبع شامل صنایع آلومینیوم، مس، فولاد، سیمان، نفت و گاز، کارخانجات تولید محصولات شیمیایی کشاورزی و آفت‌کش‌ها، تولید رنگ و... می‌شود. منابع کوچک مثل پایانه‌های سوخت و خشک‌شویی‌ها نسبت به صنایع بزرگ در سال میزان بسیار کمتری آلاینده سمی منتشر می‌کنند. اما تعداد و پراکندگی آنها در محدوده‌های شهری بیشتر است، در حدی که بیش از ۹۰درصد غلظت آلاینده‌های سمی در جو شهر، مربوط به این منابع است.

در مورد صنایع بزرگ، سازمان محیط زیست آمریکا برای کنترل انتشار آلاینده‌های سمی در دو فاز قانون‌گذاری می‌کند. در فاز اول استاندارد بر اساس فناوری روز مشخص می‌شود. به این ترتیب که کمترین میزان



شکل ۲: روند کاهش میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در آمریکا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ میلادی

جدول۳: لیست۳۰ آلاینده سمی با اهمیت در محدوده‌های شهری

Acetaldehyde	Dioxin	Mercury compounds
Acrolein	Propylene dichloride	Methylene chloride (dichloromethane)
Acrylonitrile	1,3-dichloropropene	Nickel compounds
Arsenic compounds	Ethylene dichloride (1,2-dichloroethane)	Polychlorinated biphenyls (PCBs)
Benzene	Ethylene oxide	Polycyclic organic matter (POM)
Beryllium compounds	Formaldehyde	Quinoline
1,3-butadiene	Hexachlorobenzene	1,1,2,2-tetrachloroethane
Cadmium compounds	Hydrazine	Tetrachloroethylene (perchloroethylene)
Chloroform	Lead compounds	Trichloroethylene
Chromium compounds	Manganese compounds	Vinyl chloride

انتشـار یک آلاینده خاص در هر صنعت که با فناوری روز قابل دسـتیابی است، به عنوان اسـتاندارد MACT در نظـر گرفته می‌شـود. در طول ۸ سـال بازه اجرایی این اسـتاندارد، سازمان محیط زیسـت موظف است ارزیابی کند که اسـتانداردهای موجود برای تضمین سـلامت جامعـه و محیـط زیسـت کفایت می‌کنند یا اسـتانداردهای سخت‌گیرانه‌تری لازم اسـت. پس از هر دوره ۸ سـاله سازمان محیط زیسـت موظف است این استانداردها را بازنگـری کرده و در صـورت لزوم اصلاح کند. از سـال ۱۹۹۰ سـازمان محیط زیست آمریـکا برای بیـش از ۱۷۴ دسـته از صنایع بزرگ شـامل صنایـع تولید مواد شـیمیایی، پالایشـگاه‌های نفـت و صنایـع هوافضـا قانون‌گذاری کرده اسـت. از سـال ۱۹۹۹ تا سـال ۲۰۱۱ اعمال این اسـتانداردها منجر به کاهش سـالانه ۱/۷ میلیون تنی انتشـار آلاینده‌هـای سـمی از طریـق صنایع بزرگ شده است.

خودروهـا یکـی از منابـع منتشـرکننده آلاینده‌های سـمی در هوا هستند. در نتیجه اعمال قوانین و اسـتانداردها، میزان انتشـار آلاینده‌هـای سـمی از خودروهـا در آمریکا نسـبت به سـال ۱۹۹۰ به میـزان ۵۰درصد معادل با ۱/۵ میلیون تن در سال کاهش پیدا کرده است. پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۳۰ این میـزان کاهش به ۸۰درصد برسـد. علاوه بر آن میزان انتشار ذرات از منابع دیزل جاده‌ای و غیرجاده‌ای در نتیجه اعمال قوانین مربوط به موتورهای دیزل از سـال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ حـدودا ۲۷درصـد کمتـر شـده و پیش‌بینی می‌شود تا سـال ۲۰۳۰ تا بیشتر از ۹۰درصد کاهش پیدا کند. جدیدترین قانون در ایالات متحده برای کنترل انتشار آلاینده‌های سمی از منابـع متحرک، اسـتاندارد فـدرال درجه سوم و استاندارد سـوخت هستند که از سال ۲۰۱۴ اجرایی شـده‌اند. در پایان بازه اجرایی این استانداردها، انتشار آلاینده‌های سمی از منابـع متحرک ۱۰ تا ۳۰درصد بسـته به نوع آلاینده کاهش پیـدا خواهد کرد. قانون‌های دیگـری کـه در کاهش انتشـار آلاینده‌های سـمی از خودروها در آمریکا موثر واقع شـده اسـت، قانون سـال ۲۰۰۷ در مـورد کنترل محتوای بنزن سـوخت، آلایندگی خودروها در دمای پاییـن و آلایندگی مخازن متحرک سـوخت است. ارزیابی‌ها نشـان می‌دهد که کنتـرل محتوای بنزن سـوخت به تنهایی در برخـی مناطق باعـث کاهـش ۵۰درصدی تجمع بنزن در هوا شده است.

همان‌گونه که اشـاره شـد، ترکیبات آلی فرّار دسـته‌ای از آلاینده‌های اصلی هوا هستند. ایـن ترکیبات علاوه بـر اینکه به خودی خود آثار زیان‌بـاری برای سـلامت جامعه دارند، در تشـکیل آلاینده‌های دیگـر مثل اوزون و ذرات معلـق در جـو نیز مشـارکت می‌کنند. یکی از منابع عمده انتشـار ترکیبات آلی فرّار تبخیر سـطحی از مخازن ذخیره سـوخت و مایعات آلی اسـت. این مسـأله در منطقه‌ای مثل عسـلویه با تجمع پالایشـگاه‌ها در آن، می‌تواند بسـیار با اهمیت باشد. سال ۱۳۹۰ درباره بررسی میزان انتشار ترکیبات آلی فرّار ناشـی از تبخیر سطحی از ۱۶ مخزن یکی از پالایشـگاه‌های میادیـن گازی پارس جنوبی که حاوی ۱۳ نوع مایع آلی هسـتند، تحقیقی منتشـر شـده که نتایـج آن نشـان می‌دهد سـالانه از مخازن این پالایشگاه تقریبا ۲۳۳ تن ترکیبات آلی فرّار در هوا منتشـر می‌شود. در تحقیقی دیگر میزان انتشـار ترکیبات آلی فـرّار از یک انبار نفت بررسـی شـده اسـت. نتایـج این تحقیق نشـان می‌دهد که سـال ۱۳۹۳ از ۲۲ مخـزن ایـن انبـار که حاوی ۹ ماده آلـی بوده‌اند، حـدودا ۱/۵ میلیون تن ترکیبات آلی فرّار در هوا منتشـر شـده است. در تحقیقی دیگر میزان انتشـار ترکیبات آلی فرّار در صنایع شـیمیایی وابسته به نفت مورد بررسـی قرار گرفته اسـت. در این تحقیق از ۱۸ مجتمـع صنعتی مسـتقر در یک منطقه صنعتی طی زمسـتان سـال ۹۱ و تابسـتان سال ۹۲ حدود ۷۰۰ نمونه جمع‌آوری گردیده اسـت. حدودا ۴۰ نـوع ترکیب آلی فـرّار در نمونه‌هـای هـوا یافت شـده که بیشـترین غلظت، مربوط به تولوئـن و تتراهیدروفوران بوده است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد میـزان غلظت بنـزن در بیـن مجتمع‌ها در تابسـتان ۱۶ برابر و در زمسـتان ۹ برابر حد مجاز مواجهه شغلی بوده است. مجموعه این

مشاهدات نشان‌دهنده لزوم سنجش و پایش غلظت و میـزان انتشـار ترکیبات آلـی فرّار علی‌الخصـوص در منطقه‌ای مثل عسـلویه است.

در محدوده‌های شـهری منشأ عمده انتشار ترکیبـات آلی فـرّار خودروها هسـتند. طبق مطالعات انجام‌شـده، در شـهر تهران سهم منابع متحرک در انتشـار ترکیبـات آلی فرّار بیش از ۷۰درصد و سهم صنایع، پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها حدود ۲۷درصد اسـت. ۳ درصد باقی‌مانده سـهم منابع خانگـی و پایانه‌های سـوخت اسـت. در تحقیقی غلظت ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیـل بنزن و زایلین (BTEX) در شهر تهران با انجام مطالعات آزمایشگاهی روی نمونه‌هـای جمـع‌آوری شـده از ۴۶ نقطه بررسـی شده اسـت. BTEX دسته‌ای از ترکیبـات آلـی فرّار غیر متانی هسـتند که بنا بر مطالعات، احتمـالا مهم‌ترین ترکیبات آلـی فرّار در آلودگی هوای تهران باشـند. در این تحقیق وضعیت غلظت BTEX در سـال ۱۳۹۴ و ۱۳۸۲ مقایسـه شـده اسـت. نتایج این مقایسـه حاکی از بهبود وضعیت نسـبت به گذشـته اسـت که علت اصلـی آن بهبود کیفیت سوخت و بهبود وضعیت ناوگان حمل و نقل عنوان شـده است. در این تحقیق ادعا شـده که غلظت ایـن دسـته از ترکیبات آلی فرّار، سال ۱۳۹۴ در هوای تهران کمتر از حد مجاز بوده است.

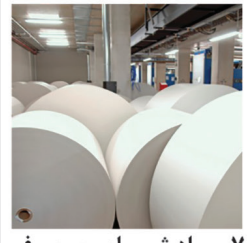
در دو پاراگـراف قبـل نتایج برخـی مطالعات پژوهشـی در مـورد ترکیبـات آلـی فـرّار در محیط‌های صنعتی و شهری ارائه شد. برخی از ایـن مطالعات با اسـتفاده از مدل‌سـازی و برخـی دیگر بـا نمونه‌بـرداری و مطالعات آزمایشگاهی میزان انتشار ترکیبات آلی فرّار، غلظت و پراکندگی آنها را بررسـی کرده‌اند. از مجموعه این تحقیقات می‌توان نتیجه گرفت که سـنجش و پایش میزان انتشـار و غلظت ترکیبـات آلی فـرّار در محیط‌های صنعتی و شـهری حائز اهمیت فراوان است و اهیمت آن در نقاطی مثل آبادان که مناطق مسکونی در مجاورت پالایشـگاه نفت قرار گرفته‌اند دو چندان می‌شـود. در این مناطق نمی‌توان به اندازه‌گیـری آلاینده‌هـای معیـار اکتفا کرد. بـا اینکه ادعا شـده در سـال ۱۳۹۴ غلظت ترکیبـات آلی فـرّار در تهـران کمتـر از حد مجـاز بوده، از اندازه‌گیری آن در محیط‌های شـهری نمی‌تـوان غافل بـود. مسـأله این اسـت که تکلیف ترکیبات آلی فـرّار در ایران هنوز مشـخص نیسـت. اکتفا به مقاله‌های پژوهشـی در این رابطه ابدا کفایت نمی‌کند. طی یـک طـرح ملـی، ضمـن شناسـایی آلاینده‌های مهم باید منابع و میزان انتشـار آنها در محیط‌های مختلف به‌دقت مشخص شـده و روند تغییرات آن مرتب پایش شـود. ایـن امر نیازمنـد تجهیزات آزمایشـگاهی و گروه‌های متخصص است.

دسـته‌ای دیگـر از آلاینده‌هـای خـاص، آلاینده‌هـای آلی پایدار یا بـه اختصار POP ها هسـتند. این نوع آلاینده‌هـا به این دلیل پایدار نامیده شـده‌اند که در برابر فرایندهای محیطی شـیمیایی، بایولوژیکی و فوتولیتیک مقاومند و به سختی تجزیه می‌شوند. از این رو در صورت تماس انسـان با این آلاینده‌ها، در بافت‌ها و اندام‌های بدن تجمع پیدا می‌کنند و با توجه به سمیت آنها، برای سلامت انسان مشـکلات عدیده‌ای را پدید می‌آورند. انسان معمـولا از طریق زنجیره غذایـی و تنفس با این نـوع آلاینده‌ها در تماس اسـت. یکی از ویژگی‌هـای این نوع آلاینده‌هـا، انتقال آنها در فواصـل طولانی اسـت. به‌صورتی که در نقاطی دور از محل انتشار مشاهده می‌شوند. از جملـه آلاینده‌های آلی پایـدار می‌توان به بازدارنده‌های اشـتعال، مواد فعال سـطحی و آفت‌کش‌هـای ارگانوکلرایـن اشـاره کرد. دسـته‌ای از آلاینده‌هـای آلی پایـدار، مواد ناخواسـته هسـتند کـه به اختصـار uPOP نامیده می‌شـوند. به این معنـی که به‌عنوان محصول تجاری تولید نمی‌شوند. این مواد با هدفی غیر از مطالعات آزمایشـگاهی ساخته نمی‌شوند. انتشـار این نوع آلاینده‌ها حاصل فرایندهای صنعتی و بعضا طبیعی اسـت. در کنوانسیون استکهلم ۵ دسته از آلاینده‌های آلـی پایدار ناخواسـته شناسـایی شـده‌اند و اعضای کنوانسیون ملزم به شناسایی دقیق، کمی‌سـازی و کنترل این آلاینده‌ها هستند. این ۵ آلاینده عبارتند از:

- Polychlorinated dibenzo p dioxins (PCDD)
- Polychlorinated dibenzofurans (PCDF)
- Polychlorinated biphenyls (PCB)
- Hexachlorobenzene (HCB)
- Pentachlorobenzene (PeCBz)

از بیـن ۵ آلاینـده فـوق، دی‌اکسـین‌ها (PCDD) و فوران‌هـا (PCDF) هیـچ‌گاه به‌عنوان محصـول نهایی تولید نمی‌شـوند. آلاینده‌های HCB، PCB و PeCBz معمولا از منابـع انتشـار PCDD و PCDF منتشـر می‌شـوند، اما بر خلاف دو آلاینده ذکرشـده به‌عنوان محصول تجـاری برای کاربردهای مختلف نیز تولید می‌شـوند. میزان تولید این سـه ماده از تشکیل و انتشـار ناخواسته آنها طی فرایندهای صنعتی بسـیار بیشتر است. از میـان پنج آلاینده آلی پایدار معرفی‌شـده، اهمیـت شناسـایی منابـع و میزان انتشـار آلاینده‌های PCDD و PCDF بیشـتر است، زیـرا در صورت محاسـبه میزان انتشـار این دو آلاینـده، منابـع و میـزان انتشـار سـایر آلاینده‌های آلی پایـدار نیز قابل تحمین‌زدن اسـت. منابع انتشـار آلاینده‌های آلی پایدار در شـکل ۳ نشـان داده شده اسـت. در این شـکل در دسـته دهم تعدادی از مهم‌ترین فعالیت‌ها که باعث انتشـار آلاینده‌های آلی پایدار می‌شوند، ذکر شده است. همچنین به محل‌هایـی که احتمال تماس انسـان با این آلاینده‌ها بیشتر است، اشاره شده.

۱- زباله سوزها	۲- تولید فلزات	۳- تولید نیرو و حرارت	۴- تولید محصول معدنی	۵- حمل و نقل
◄ زباله‌های جامد شهری ◄ زباله‌های سمی (زباله‌های تولید شده در واحدهای تولید دارو، حشره‌کش و...) ◄ زباله‌های بیمارستانی ◄ ضایعات دستگاه‌های پاره پاره کننده (برای اسقاط خودروهای فرسوده و...) ◄ لجن فاضلاب ◄ بایومس و چوب زائد ◄ لاشه حیوانات	◄ ذوب آهن ◄ تولد کک ◄ صنایع آهن و فولاد ◄ آلومینیوم ◄ مس ◄ سرب ◄ روی ◄ برنج و برنز ◄ منیزیوم ◄ سایر فلزات غیرآهنی ◄ بازیافت حرارتی کابل‌ها	◄ نیروگاه‌های سوخت فسیلی ◄ نیروگاه‌های سوخت بیومس ◄ سوزاندن زیست‌گاز و گاز ناشی از دفن زباله‌ها ◄ گرمایش و پخت‌وپز خانگی با استفاده از بیومس ◄ گرمایش خانگی با استفاده از سوخت‌های فسیلی	◄ تولید سیمان ◄ تولید آهک ◄ تولید آجر ◄ تولید شیشه ◄ تولید سرامیک ◄ اختلاط آسفالت ◄ فرایند استحصال سوخت از شیل نفتی	◄ خودروهای دو زمانه ◄ خودروهای چهار زمانه ◄ خودروهای دیزل ◄ موتورهای احتراقی سنگین (کشتی، تانک، ژنراتورها و...)

۶- احتراق در فضای باز	۷- مواد شیمیایی و مصرفی	۸- منابع متفرقه	۹- دفع پسماند	۱۰- نقاط و فعالیت‌های مهم
				
◄ احتراق بیومس ◄ سوزاندن پسماند و آتش-سوزی‌های تصادفی	◄ تولید کاغذ ◄ تولید مواد غیرآلی کلره ◄ تولید ترکیبات آلیفاتیک کلره ◄ تولید ترکیبات آروماتیک کلره ◄ تولید سایر ترکیبات شیمیایی کلره و غیرکلره ◄ صنعت نفت ◄ نساجی ◄ صنعت چرم	◄ خشک کردن بیومس ◄ سوزاندن اجساد ◄ دودی کردن مواد غذایی ◄ خشک‌شویی‌ها ◄ مصرف دخانیات	◄ دفن و پخش زباله‌ها و فرایند بازیافت زباله‌های دفن شده ◄ فاضلاب و سیستم‌های تصفیه فاضلاب ◄ تخلیه پساب تصفیه نشده به آب‌های سطحی ◄ تهیه کمپوست ◄ تصفیه غیرحرارتی پسماندهای روغنی	◄ محل تولید کلر ◄ واحدهای تولید ترکیبات آلی کلره ◄ محل استفاده از ترکیبات شیمیایی و حشره‌کش‌های حاوی دی‌اکسین و فوران ◄ کارخانجات نساجی و چرم ◄ استفاده از PCB ◄ استفاده از کلر برای تولید فلزات و ترکیبات غیرآلی ◄ زباله‌سوزها

شکل ۳: منابع انتشار آلاینده‌های آلی پایدار

ایران نیز عضو کنوانسیون استکهلم است. بنابراین باید منابع مهم آلاینده‌های آلی پایدار را شناسایی و میزان انتشار این آلاینده‌ها را محاسبه کند. در همین راستا طی مصوبه مورخ ۲۲ فروردین سال ۱۳۹۵ هیأت دولت، حدود مجاز دی‌اکسین و فوران خروجی از دودکش صنایع و کارخانجات تعیین و ابلاغ شد. سازمان محیط زیست به عنوان مرجع ذی‌صلاح ملی کنوانسیون در جهت ارتقای نظارت بر صنایع بالقوه انتشاردهنده این آلاینده ها از جمله پسماندسوزها و صنایع معدنی باید برنامه نمونه‌برداری، پایش و سیاهه‌برداری انتشار و متعاقب آن برنامه‌های کنترلی، کاهش و کمینه‌سازی انتشار را اجرا کند. خوشبختانه دستگاه کروماتوگراف گازی طیف‌سنج جرمی با قدرت تفکیک بالا به عنوان دستگاهی منحصربه‌فرد با دقت و حساسیت بسیار بالا برای اندازه‌گیری مشتقات گازهای دی‌اکسین و فوران در نمونه‌های هوا در آزمایشگاه مرکزی سازمان محیط زیست راه‌اندازی شده است.

پایش آنلاین صنایع

صنایع و منابع ایستا نقش مهمی در آلایندگی هوا دارند. به منظور مدیریت و کنترل انتشار آلاینده‌ها از صنایع، باید شناخت نسبتا دقیقی از وضعیت آلایندگی صنایع در سراسر کشور، اعم از واحدهای تولیدی، صنعتی، خدماتی، عمرانی و زیربنایی داشت. پایش آنلاین صنایع ابزاری است که می‌تواند در این زمینه بسیار موثر باشد. آلایندگی صنایع از دو جنبه اهمیت دارد: آلایندگی دودکش‌ها و پساب کارخانجات. طبق تبصره ۳ ماده ۱۱ قانون هوای پاک (مصوب مرداد ماه سال ۱۳۹۶) که سند بالادستی کنترل آلودگی هوا است، واحدها و پروژه‌های بزرگ و متوسط در حال فعالیت یا جدید که بر حسب قوانین و مقررات مشمول ارزیابی زیست‌محیطی می‌باشند، موظف به نصب و راه‌اندازی سامانه‌های پایش برخط لحظه‌ای (آنلاین) و ارسال اطلاعات روزآمد به مرکز پایش سازمان محیط زیست هستند. صدور و تمدید پروانه بهره‌برداری واحدهای مشمول منوط به اجرای این تبصره است. پایش آنلاین صنایع از سال‌های گذشته در کشور انجام می‌شده است. در سال ۱۳۹۳ تعداد کل پارامترهای تحت پایش آنلاین و آمار تجمعی در خروجی دودکش ۴۷۸ مورد و در خروجی پساب و فاضلاب ۵۶۹ مورد پارامتر شاخص زیست‌محیطی بوده است. در سال ۱۳۹۶ تعداد ۳۶۸ واحد صنایع بزرگ مجهز به سیستم آنلاین پایش شده‌اند که استان‌های تهران، بوشهر، اصفهان و خوزستان به ترتیب حائز بیشترین تعداد صنایع مجهز به سیستم پایش در آن سال بوده‌اند.

پارامترهای مورد اندازه‌گیری در برنامه پایش آنلاین صنایع شامل پارامترهای مربوط به کیفیت آب سطحی، زیرزمینی و دریایی از جمله آمونیاک، فسفات، نیترات، دما، کدورت، COD. BOD. pH. EC. ORP. DO. TSS و O&G و همچنین شامل پارامترهای مربوط به کیفیت هوا از جمله ذرات معلق، گوگرد دی‌اکسید، اکسیدهای نیتروژن، کربن مونواکسید، اوزون و ترکیبات آلی فرار به‌ویژه BTEX می‌شود. هر سامانه پایش آنلاین خروجی دودکش شامل سه بخش نمونه‌گیری، آنالایزر و جمع‌آوری داده‌ها می‌شود. در برخی از این سامانه‌های آنالایزر در محیطی جداگانه و محافظت‌شده قرار دارد و نمونه‌ها با پراب یا شلنگ نمونه‌گیری از دودکش گرفته شده و قبل از ورود به آنالایزر آماده‌سازی می‌شود. فرایند آماده‌سازی شامل رقیق کردن نمونه، کنترل دما و رطوبت است. این نوع سامانه‌ها دقت بیشتری دارند. در برخی دیگر از سامانه‌های پایش، آنالایزر مستقیما در داخل دودکش نصب می‌شود. مهم‌ترین مواردی که در انتخاب نوع سامانه پایش آنلاین خروجی دودکش‌ها باید لحاظ شوند عبارتند از: نوع و دامنه آلاینده‌های خروجی از دودکش، دما و رطوبت دودکش، وجود گازهای خورنده، ایمن‌بودن محل نصب با توجه به احتمال انفجار و نحوه جمع‌آوری اطلاعات. بنابراین برای اندازه‌گیری صحیح آلاینده‌ها ملاحظات فنی دقیقی وجود دارد. برای مثال طول، جنس و میزان تحمل دمای پراب نمونه‌برداری باید متناسب با ساختار دودکش بوده و در شرایطی برای جلوگیری از میعان گاز باید مجهز به هیتر باشد. همچنین در صورت وجود ذرات بیش از یک غلظت مشخص پراب باید مجهز به فیلترهای مناسب باشد و مرتبا از طریق هوای فشرده به‌صورت خودکار تمیز شود. همچنین تعیین صحیح محل نمونه‌برداری اهمیت بسیار بالایی دارد. عوامل بسیاری در انتخاب این نقطه دخیل‌اند؛ از جمله الگوی جریان خروجی دودکش، پروفیل غلظت پارامترهای مورد اندازه‌گیری در مقطع مورد نظر، عدم تغییر سطح مقطع در محل اندازه‌گیری و غیره. ملاحظاتی نیز در فرایند خنک‌سازی نمونه وجود دارد، از جمله نوع کولر خنک‌کن، نوع کمپرسور، تعداد مراحل خنک‌کن و تعداد مسیرهای آن با توجه به نوع فرایندهای کاری مختلف در دودکش. در صورت عدم اطمینان کامل از در نظر گرفته‌شدن دقیق همه ملاحظات فنی، می‌توان گفت داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غیر قابل استناد هستند و ارزش چندانی ندارند. این موضوع نشان می‌دهد گردآوری یک پایگاه داده سودمند و قابل تحلیل از وضعیت آلایندگی صنایع نیاز به کار گسترده‌ای دارد و هزینه قابل توجهی را تحمیل خواهد کرد. اما در نهایت لازم است نیازمندی‌ها در این زمینه برآورده شود.

به منظور اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌ها، در آذر ماه سال گذشته از استاندارد ملی سامانه‌های پایش لحظه‌ای و برخط منابع آلاینده محیط زیست رونمایی شد. این استاندارد راهنمای مناسب برای رفع ابهامات

فنی و تسریع و تسهیل روند ارزیابی فنی، جانمایی، نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری تجهیزات پایش آلودگی صنایع و سایر واحدهای مشمول است و باعث جلوگیری از اتلاف سرمایه و زمان حاصل از به‌کارگیری تجهیزات ناکارآمد و غیراستاندارد شده و امکان جلوگیری از مخدوش شدن اطلاعات پایش را فراهم می‌سازد. این اقدام درنهایت باعث مدیریت بهینه و بهنگام آلودگی منتشرشده از صنایع، و حفظ و صیانت محیط زیست کشور می‌شود.

پایش کیفیت سوخت

کیفیت سوخت نقش مهمی در عملکرد موتور خودروها و میزان انتشار آلایندگی آنها دارد. خواص فیزیکی و ساختار شیمیایی بنزین باید به گونه‌ای مهندسی شود تا مواردی نظیر خوردگی سامانه‌های نگهداری و انتقال سوخت، میزان تبخیر و انتشار در محیط در مراحل گوناگون، روان‌کاری سیستم سوخت‌رسانی خودرو، محافظت از آب‌بندها و تجهیزات پلاستیکی و لاستیکی، رسوب‌زدایی سیستم سوخت‌رسانی، حفاظت از تجهیزات کنترل آلایندگی، احتراق مناسب و همچنین محصولات ناشی از احتراق کنترل شوند.

هر محصول نفتی از تعداد فراوانی ترکیبات هیدروکربنی تشکیل می‌شود که در ۵ دسته جای می‌گیرند: پارافین‌ها، اولفین‌ها، نفتن‌ها، و آروماتیک‌ها. سوخت‌ها طی فرایند پالایش نفت خام شامل مراحل تفکیک، تبدیل و تصفیه شیمیایی با خواص فیزیکی مختلف تولید می‌شوند. مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی کیفیت بنزین عبارتند از: عدد اکتان، محتوای گوگرد، میزان آروماتیک‌ها، اولفین‌ها، بنزن، ترکیبات اکسیژن‌دار و همچنین میزان فژاریت که با پارامترهای فشار بخار و تقطیر سنجیده می‌شود. در جدول ۴ استاندارد یورو۴ برای سوخت ارائه شده است.

عدد اکتان معیاری از میزان تحمل سوخت در برابر فشرده‌شدن قبل از احتراق خودبه‌خودی است. هرچه عدد اکتان بنزین بالاتر باشد، در برابر احتراق خودبه‌خودی مقاوم‌تر است. اشتعال خودبه‌خودی منجر به پدیده کوبش شده و افزایش انتشار آلاینده‌ها، افزایش مصرف سوخت و کاهش عمر مفید موتور را در پی دارد. موتورهای احتراق داخلی برای یک عدد اکتان مشخص طراحی می‌شوند. البته برخی موتورها مجهز به سنسور ضربه‌اند و با تنظیم زمان جرقه قابلیت عملکرد با سوختی با عدد اکتان پایین‌تر را نیز دارند. با این حال عملکرد موتور از نظر قدرت و راندمان تحت تاثیر کیفیت سوخت قرار می‌گیرد. عدد اکتان بنزین به ساختار شیمیایی و ترکیبات هیدروکربنی موجود در آن بستگی دارد. پارافین‌های نرمال (با شاخه مستقیم) دارای عدد اکتان پایین و پارافین‌های شاخه‌دار عدد اکتان بالا دارند. پایین‌ترین عدد اکتان مربوط به هپتان نرمال (C7H16) با ساختار خطی است که طبق استاندارد مقدار صفر برای آن در نظر گرفته می‌شود. در این استاندارد عدد اکتان ۲-۲-۴- تری‌متیل‌پنتال (C8H18) که دارای سه شاخه متیل است معادل ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود. عدد اکتان مابقی

جدول۴: استاندارد بنزین یورو۳

پارامتر	واحد	حدود استاندارد		تست	
		حداقل	حداکثر	روش	تاریخ انتشار
عدد اکتان تحقیقی (RON)	-	۹۵	-	EN 25164	۱۹۹۳
عدد اکتان موتور (MON)	-	۸۵	-	EN 25163	۱۹۹۳
فشار بخار تابستانی (RVP)	kPa	-	۶۰	EN 12	۱۹۹۳
تقطیر (میزان تبخیر در ۱۰۰ درجه)	% v/v	۴۶	-	EN-ISO 3405	۱۹۸۸
تقطیر (میزان تبخیر در ۱۵۰ درجه)	% v/v	۷۵	-	EN-ISO 3405	۱۹۸۸
تحلیل هیدروکربنی:					
اولفین	% v/v	-	۱۸	ASTM D1319	۱۹۹۵
آروماتیک	% v/v	-	۴۲	ASTM D1319	۱۹۹۵
بنزن	% v/v	-	۱	Pr.EN 12177	۱۹۹۵
محتوی اکسیژن	% m/m	-	۲/۷	EN 1601	۱۹۹۶
ترکیبات اکسیژن‌دار:					
متانول	% v/v	-	۳	EN 1601	۱۹۹۶
اتانول	% v/v	-	۵	EN 1601	۱۹۹۶
ایزوپروپیل الکل	% v/v	-	۱۰	EN 1601	۱۹۹۶
ترت بوتیل الکل	% v/v	-	۷	EN 1601	۱۹۹۶
ایزوبوتیل الکل	% v/v	-	۱۰	EN 1601	۱۹۹۶
اتر حاوی حداقل ۵ اتم کربن	% v/v	-	۱۵	EN 1601	۱۹۹۶
دیگر ترکیبات اکسیژن‌دار	% v/v	-	۱۰	EN 1601	۱۹۹۶
محتوی گوگرد	mg/kg	-	۱۵۰	Pr.EN ISO/DIS 14596	۱۹۹۶
میزان سرب	g/l	-	۰/۰۰۵	EN 237	۱۹۹۶

سـوخت‌ها با مقایسه این دو سـوخت مرجع مشـخص می‌شـود. وجود هیدروکربن‌های شـاخه‌دار اشباع‌شـده باعـث افزایش عدد اکتان بنزین می‌شـود. این ترکیبات از طریق فرایندهای پتروشـیمی گران‌قیمت و پیچیده تولیـد می‌شـوند. افـزودن برخـی ترکیبات آروماتیکـی مثل بنـزن هم منجر بـه بهبود عـدد اکتـان بنزین می‌شـود. امـا از طرفی افزایش آلایندگی را به دنبـال دارد. افزایش محتوای اکسیژن سوخت با افزودن ترکیبات اکسـیژن‌داری همچـون MTBE، ETBE و اتانول نیز سـبب افزایش عدد اکتان سوخت می‌شـود. مقادیـر مجـاز اضافه‌کـردن این ترکیبات در استانداردها مشخص شده است. هماننـد عدد اکتان، میزان فرّاریت سـوخت، هم بر عملکرد خودرو و هم بر میزان آلایندگی آن اثرگذار اسـت. در دمای نسبتا پایین، برای استارت مناسب و گرم‌شـدن بهتر موتور بهتر است فشار بخار بالا باشـد. در دمای بالا اگر فرّاریت سوخت زیاد باشد، بخار بیش از اندازه در سیسـتم سوخت ایجاد می‌شـود و موجب کاهش جریان سوخت به موتور و به دنبال آن موجب اتلاف توان و عملکرد نامطلوب خودرو می‌شود. به این پدیده قفل بخار گفته می‌شود. فشار بخار رید (RVP) معیاری از میزان فرّاریت سوخت اسـت که بر حسـب کیلوپاسکال در دمای ۱۰۰ درجه فارنهایت بیان می‌شود. مقدار RVP به محتوای بوتان سـوخت که متوسـط RVP آن ۳۵۰ کیلوپاسـکال اسـت بسـتگی دارد. پنتان با فشار بخار ۱۷ کیلوپاسکال سبب فرّاریت کمتر سوخت می‌شود. محتوای بوتان سـوخت به کیفیت نفـت خام اولیه بسـتگی دارد. فشار بخار بالای سوخت منجر به انتشار بیشـتر هیدروکربن‌های آلاینده در محیط در مراحل مختلف ذخیره، حمل، سوخت‌گیری و عملکرد خودرو می‌شـود. میزان مناسب فشار بخار رید سـوخت بستگی به شـرایط اقلیمی دارد. در کشـورهایی که اقلیمشان گرم است، کنترل فشـار بخار رید سوخت در مقادیر پایین بسیار حیاتی است.

همان‌طور که گفته شـد، یکـی از معیارهای کیفیـت سـوخت میـزان غلظـت اولفین‌ها در بنزین اسـت. اولفین‌هـا هیدروکربن‌های اشباع‌نشـده بـا پیوندهـای کربن-کربـن دوگانه‌انـد که غالبا عدد اکتـان بالایی دارند. این دسـته از هیدروکربن‌ها عـلاوه بر اینکه بـه خودی خـود یکی از آلاینده‌های سـمی هستند و برای سلامت انسان مضرند، به دو طریق باعث افزایش آلودگی هوا می‌شـوند. اولفین‌ها نسـبت بـه هیدروکربن‌های دیگر واکنش‌پذیـری بیشـتری دارنـد و در فعـل و انفعـالات شـیمیایی در جـو مشـارکت کـرده و باعث تشـکیل اوزون سـطحی (ابر فوتوشـیمیایی) و ترکیبـات سـمی دیگـر می‌شوند. از طرفی از آنجا که بسیار ناپایدارند، می‌توانند باعث ایجاد رسوب و لایه چسبناک بـر روی انژکتور و سیسـتم مکش سـوخت و محفظه احتراق شـوند. رسـوبات محفظه احتراق که از هیدروکربن‌های سنگین الفینی تشـکیل می‌شـوند، می‌توانند باعث افزایش انتشـار آلاینده‌هایی مثل مونواکسـیدکربن، هیدروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن شوند.

یکـی دیگـر از معیارهـای کیفیـت بنزین، میـزان آروماتیک‌های موجود در آن اسـت. آروماتیک‌هـا دسـته‌ای از هیدروکربن‌هـا با آرایـش حلقـوی شـش‌کربنی هسـتند. این هیدروکربن‌ها حداقل شامل یک حلقه بنزن می‌شـوند. مهم‌تریـن ترکیبـات آروماتیک، تولوئـن و اتیل بنـزن هسـتند. آروماتیک‌ها به سـه طریـق باعـث افزایـش آلودگی هوا می‌شـوند. اولا سـطح بـالای آروماتیک در سـوخت از عمر کاتالیسـت خودرو می‌کاهد. ثانیا بخشـی از رسـوبات محفظـه احتراق را مولکول‌هـای سـنگین ترکیبـات آروماتیک تشـکیل می‌دهد. این رسوبات باعث افزایش انتشـار آلاینده‌های اگزوز مثل مونواکسـید کربن و اکسـیدهای نیروژن می‌شـوند. ثالثا احتـراق آروماتیک‌ها سـبب تشـکیل بنزن در خروجی اگزوز می‌شـود. تحقیقات نشان می‌دهـد که حدود ۵۰درصد بنزن خروجی از اگزوز حاصل تجزیـه آروماتیک‌های موجود در سوخت است.

میزان ترکیبات اکسـیژن‌دار نیـز یکی دیگر از معیارهای کیفیت سـوخت است. ترکیبات اکسـیژن‌دار مثل MTBE و اتانـول با هدف بهبود کیفیت احتـراق و افزایش عدد اکتان به سوخت اضافه می‌شـوند. طبق تحقیقات افزودن ایـن ترکیبات باعث کاهش انتشـار ذرات و مونواکسـید کربـن از اگـزوز خودرو می‌شـود. اما افـزودن این ترکیبـات ممکن اسـت اثرات نامطلوبی نیز داشته باشد. برای مثال ممکن اسـت افزودن اتانول به سوخت در شـرایطی باعـث افزایش فشـار بخار رید سـوخت (RVP) شـود کـه افزایش انتشـار ترکیبات آلی فـرّار را به دنبال دارد. همچنین اگر میزان محتوای اکسیژن از ۲درصد وزنی سـوخت فراتـر رود، می‌تواند سـبب افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن از اگزوز شود.

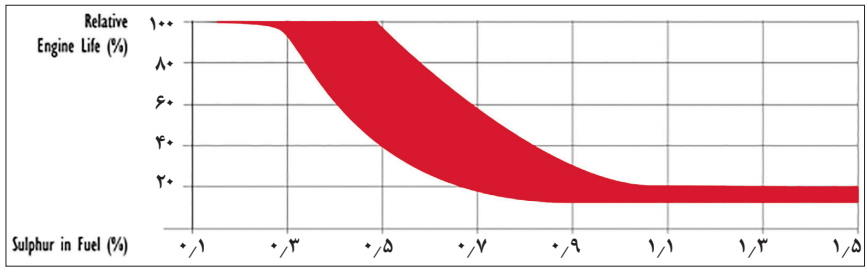
یکی از مهم‌ترین معیارهای کیفیت سوخت، محتـوای گوگـرد آن اسـت. گوگـرد یـا بـه صـورت هیدروژن سـولفید در حالـت گاز در سـوخت موجود اسـت یا با پیوند شیمیایی به مولکول‌هـای بزرگ متصل اسـت. گوگرد به صـورت طبیعی در نفت خـام وجود دارد. هر چـه چگالی نفت خام بیشـتر باشـد، زدودن گوگـرد از آن در فراینـد پالایـش مشـکل‌تر می‌شود. میزان بالای محتوای گوگرد باعث افزایش انتشار آلاینده‌های گوگرد دی‌اکسید و ذرات معلـق (از نوع سـولفات‌ها) از اگزوز می‌شـود. میزان انتشـار گوگرد دی‌اکسید و ذارت معلـق در خودروهـای دیزلی و بنزینی با محتوای گوگرد سـوخت نسـبت مسـتقیم دارد. از طـرف دیگر محتوای بـالای گوگرد موجـود در سـوخت عملکرد سیسـتم‌های کنترل آلایندگی خودرو از جمله کاتالیست‌ها را مختل می‌کند و در شـرایطی سیستم‌های نویـن کنتـرل آلایندگـی خـودرو را از کار

می‌انـدازد. این امـر موجب افزایش انتشـار کربـن مونواکسـید، اکسـیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته می‌شود.

ارزیابـی کیفیـت گازوئیل نیاز بـه اندازه‌گیری ۷ پارامتـر دارد کـه عبارتنـد از: عدد سـتان، چگالی در دمای ۱۵ درجه سلسـیوس، نقطه تقطیر ۹۵درصد، محتـوای هیدروکربن‌های آروماتیـک پلی‌سـیکلیک، محتـوای گوگرد، محتوای FAME و محتـوای منگنز. FAME ترکیبـی اسـت که در سـوخت‌های زیسـتی بـه گازوئیل بـرای بهبود عملکـرد و کاهش آلایندگی آن اضافه می‌شـود. افزودن بیش از حد این ترکیب به سوخت اثرات نامطلوبی دارد.

عدد سـتان معیاری از کیفیت احتراق سوخت در موتورهای دیزل اسـت و بیانگر تاخیر بین زمان تزریق و احتراق می‌باشـد. عدد سـتان سوخت بر عملکرد موتور مثل کیفیت استارت سـرد و نویز کـم و همچنین بـر آلایندگی آن تاثیرگذار است. سوخت‌ها با عدد ستان بیشتر از ۵۰، سریع‌تر مشتعل می‌شوند و سوخت‌ها با عدد ستان کمتر از ۴۰، سرعت احتراق پایینی دارند. عدد ستان سوخت به ساختار شیمیایی و هیدروکربن‌های موجود در آن بستگی دارد. هیدروکربن‌های آروماتیک عدد سـتان پایین، و پارافین‌ها عدد ستان بالایی دارند. مطالعات نشـان می‌دهد که افزایش عدد سـتان باعث کاهش انتشـار آلاینده‌های مونواکسید کربن و هیدروکربن‌ها (به‌ویژه در خودروهای سبک) و همچنین کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن (به‌ویـژه در خودروهـای سـنگین) از اگـزوز می‌شـود. البته عدد سـتان بر میزان مصرف سوخت نیز اثر دارد. افزایش عدد ستان باعث کاهش مصرف سوخت می‌شود.

همان‌گونـه که ذکر شـد یکـی از معیارهای کیفیـت گازوئیـل چگالـی آن اسـت که به محتـوای آروماتیک سـوخت بسـتگی دارد. تحقیقـات نشـان می‌دهـد کـه در مـورد خودروهای سـبک کاهش چگالـی گازوئیل باعـث کاهـش انتشـار ذرات، مونواکسـید



شکل ۴: تاثیر محتوای گوگرد سوخت بر عمر موتور

کربـن و هیدروکربن‌هـا و افزایـش انتشـار اکسیدهای نیتروژن می‌شود. در خودروهای سنگین کاهش چگالی سوخت میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن را کاهش می‌دهد، ولی سـبب افزایش انتشـار مونواکسـید کربن و هیدروکربن‌ها می‌شود و تاثیر قابل توجهی بر انتشار ذرات ندارد.

یکی دیگر از معیارهای مهم کیفیت گازوئیل میـزان فرّاریت آن اسـت که هم بـر میزان انتشـار آلاینده‌هـا و هـم بر عملکـرد موتور تاثیـر دارد. نقطـه تقطیر ۹۵درصـد (T95) معیاری برای سنجش میزان فرّاریت سوخت اسـت. فرّاریـت گازوئیل به تعـادل ترکیبات هیدروکربنی سـبک و سنگین در آن بستگی دارد. اگر فرّاریت سـوخت مناسـب نباشـد، باعث تشـکیل رسوبات سـنگین در محفظه احتراق می‌شـود که افزایش انتشـار دوده و ذرات از اگزوز را به دنبال دارد. در خودروهای دیـزل سـبک کاهـش T95 باعـث کاهش انتشار ذارت و اکسیدهای نیتروژن می‌شود.

وجـود مقادیر بیـش از حـد هیدروکربن‌های آروماتیک پلی‌سـیکلیک (PAH) در سـوخت دیـزل هم بر کیفیت احتراق و هم بر انتشـار آلاینده‌هـا اثرگـذار اسـت. مطالعات نشـان می‌دهـد کاهـش محتـوای PAH سـوخت دیـزل منجر بـه کاهش انتشـار ذرات PM و اکسیدهای نیتروژن می‌شـود. البته در مورد خودروهای سبک ممکن است افزایش انتشار هیدروکربن‌ها و مونواکسـید کربن را به دنبال داشـته باشـد. از طرفی ترکیبات PAH برای سـلامت انسان مضرند و سـرطان‌زا به شمار می‌رونـد. تحقیقـات نشـان می‌دهد کاهش محتوای PAH سوخت دیزل با کاهش انتشار این آلاینده از اگزوز رابطه مستقیم دارد.

محتـوای گوگـرد یک شـاخص مهـم برای ارزیابی کیفیت سـوخت دیزل اسـت. میزان بالای گوگرد در سـوخت دیزل باعث کاهش عمر مفید موتور (شـکل ۴)، افزایش انتشار ذرات PM و اختلال در عملکرد سیستم‌های کنتـرل آلایندگـی مثـل کاتالیسـت‌ها و جاذب‌هـای NOx می‌شـود و از ایـن طریق افزایش انتشـار اکسیدهای نیتروژن را سبب می‌شـود. فیلتـر دوده خودروهـای دیـزل بسـیار به محتـوای گوگرد گازوئیل حسـاس اسـت. محتوای گوگرد بالای سوخت باعث از کار افتادن فیلتر دوده می‌شـود. در شکل ۵ تاثیـر محتوای گوگرد سـوخت بر عملکرد سـامانه‌های جاذب NOx نشـان داده شده اسـت. همان‌طـور کـه مشـاهده می‌شـود افزایـش محتـوای گوگـرد سـوخت از ۳ به ۳۰ ppm بـازده جـاذب NOx را بـه شـدت کاهش می‌دهد.

شکل ۵: تاثیر محتوای گوگرد سوخت بر عملکرد جاذب NOx

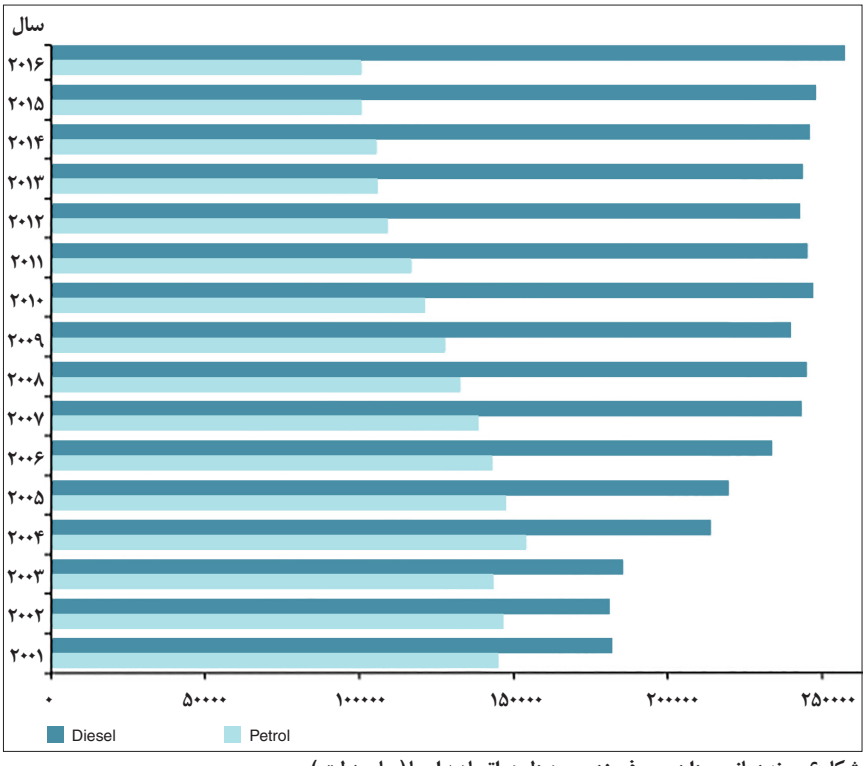
جدول۵: استاندارد یورو ۵ برای سوخت دیزل

پارامتر	واحد	حدود استاندارد		تست	
		حداقل	حداکثر	روش	تاریخ انتشار
عدد ستان	-	۵۱	-	EN-ISO 5165	۱۹۹۲
تقطیر نقطه ۹۵ ٪	°C	-	۳۶۰	EN-ISO 3675	۱۹۹۵
چگالی در ۱۵ درجه	kg/m3	۸۴۵	-	ASTM D1319	۱۹۹۵
آروماتیک‌های پلی‌سیکلیک	% m/m	۱۱	-	IP 391	۱۹۹۵
محتوی گوگرد	mg/kg	۱۰	-	Pr.EN ISO/DIS 14596	۱۹۹۶

در جدول ۵ استاندار یورو ۵ برای سوخت دیزل ارائه شده است. در حال حاضر در ایران کیفیت سوخت دیزل بر مبنای استاندار یورو۴ سنجیده می‌شود. تا این قسمت به منظور آشنایی مخاطبان با اهمیت کیفیت سوخت، نقش آن در آلودگی هوا و معیارهای ارزیابی آن مطالبی ذکر شد. این موضوع اهمیت پایش و تحلیل دقیق وضعیت سوخت در کشور را روشن می‌سازد.

در این بخش از مقاله حاضر نگاهی اجمالی به گزارش‌های منتشرشده از پایش سالانه کیفیت سوخت در اتحادیه اروپا خواهیم داشت. در ادامه وضعیت پایش کیفیت سوخت در ایران بر اساس گزارش‌های سازمان محیط زیست و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران تشریح خواهد شد. هدف از این کار مقایسه کلی وضعیت پایش سوخت در ایران و اروپا است. مسلما کیفیت نتایج ارائه‌شده و ساختار گزارش‌های منتشرشده به نوعی بیانگر کیفیت کلی اجرای طرح‌های پایش سوخت است.

در سال ۲۰۱۶ در اتحادیه اروپا ۷۱/۸درصد کل سوخت فروخته‌شده (معادل ۲۵۷ هزار میلیون لیتر) دیزل و ۲۸/۲درصد (معادل ۱۰۰ هزار میلیون لیتر) بنزین بوده است. نسبت سوخت دیزل به کل سوخت فروخته‌شده از ۵۵/۶درصد در سال ۲۰۰۱ به ۷۱/۸درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است (شکل ۶) که حاکی از افزایش تعداد خودروهای دیزلی در اتحادیه اروپا است. مصرف سوخت دیزل بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ در اتحادیه اروپا ۱۰درصد افزایش داشته، در صورتی که مصرف بنزین در بازه زمانی مشابه ۳۰درصد کاهش پیدا کرده است.

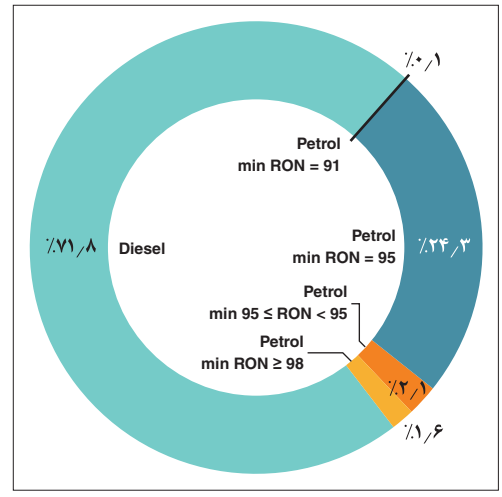


شکل ۶: روند زمانی میزان مصرف بنزین و دیزل در اتحادیه اروپا (میلیون لیتر)

در سال ۲۰۱۶ عمده بنزین فروخته‌شده در اتحادیه اروپا را بنزین با عدد اکتان تحقیقی ۹۵ تشکیل داده که معادل ۸۶/۳درصد کل فروش بنزین است (شکل ۷). در آن سال ۷/۶درصد فروش کل، بنزین با عدد اکتان بین ۹۵ و ۹۸ و ۵/۸درصد فروش بنزین با عدد اکتان بیشتر از ۹۸ بوده است. حدود ۰/۱درصد نیز سهم بنزین با عدد اکتان ۹۱ بوده است.

عمده سوخت مصرفی در اتحادیه اروپا شامل اجزای زیستی است. کل سوخت دیزل فروخته‌شده حاوی بایودیزل و ۸۵درصد بنزین فروخته‌شده حاوی اتانول است. در سال ۲۰۱۶ از کل بنزین فروخته‌شده ۷۵درصد بنزین E5 (حاوی حداکثر ۵درصد حجمی بایواتانول)، ۹/۵درصد بنزین E10 (حاوی حداکثر ۱۰درصد حجمی بایواتانول) و ۱۵/۴درصد بنزین E0 (بدون اتانول) بوده است. سهم بنزین +E (حاوی بیش از ۱۰درصد حجمی اتانول) تنها ۰/۱درصد بوده است. از کل سوخت دیزل فروخته‌شده، ۸۳/۴درصد دیزل B7 (حاوی حداکثر ۷درصد FAME) و ۱۶/۶درصد دیزل +B (حاوی بیش از ۷درصد FAME) بوده است (شکل ۸).

در جدول ۶ نتیجه پایش کیفیت سوخت در اتحادیه اروپا بر مبنای استاندارد یورو ۵ در سال ۲۰۱۶ ارائه شده است. در این جدول

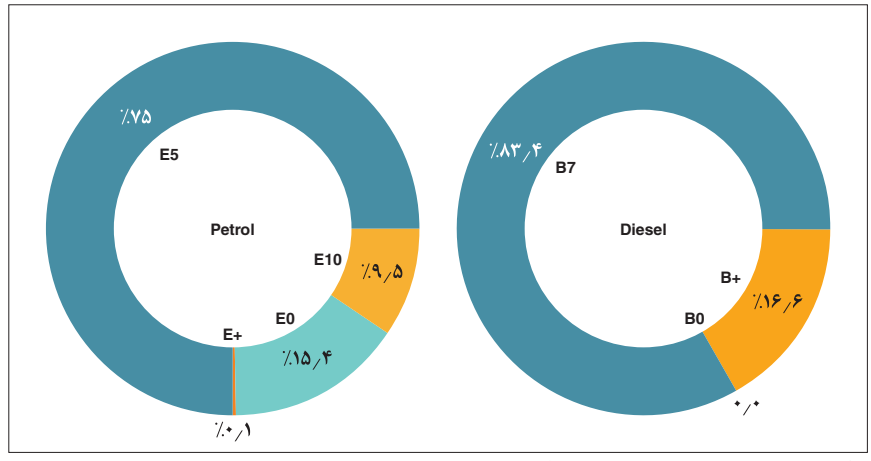


شکل ۷: بنزین و دیزل فروخته‌شده در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶

تعداد نمونه‌هایی که برخی پارامترهای مربوط به آن از حدود مجاز فراتر بوده‌اند، نشان داده شده. در این جدول تعداد نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در سال و همچنین تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای هر کشور عضو ذکر شده است. تعداد نمونه‌های مورد نیاز بر اساس دستورالعمل‌های اتحادیه اروپا بر پایه میزان مصرف سوخت و موارد دیگر برای هر کشور مشخص شده است. برخی از کشورها مثل بلژیک مدل آماری مختص به خود را برای نمونه‌گیری در پیش گرفته‌اند. همچنین در این جدول تعداد نمونه‌هایی که برخی از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در مورد آنها از حدود مجاز فراتر رفته نشان داده شده است. همچنین در این جدول پارامترهایی که در نمونه‌های مردود فراتر از حد مجاز بوده، برای هر کشور عضو ارائه شده است. در مورد بنزین حداکثر تعداد نمونه‌های مردود ۱۶درصد کل نمونه‌ها بوده که مربوط به دانمارک است. در سال ۲۰۱۶ تنها در ۴ کشور عضو بیشتر از ۱۰درصد نمونه‌ها مردود بوده است. در ۲۱ کشور عضو تعداد نمونه‌های مردود کمتر از ۵درصد کل نمونه‌ها بوده است. در کشورهای یونان، لیتوانی، هلند، اسلوونی و سوئد هیچ‌یک از نمونه‌های بنزین مردود نبوده‌اند. در مورد سوخت دیزل بیشترین تعداد نمونه‌های مردود مربوط به یونان و لوکزامبورگ بوده که به ترتیب ۷ و ۶/۴درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد. در سایر کشورهای عضو تعداد نمونه‌های مردود کمتر از ۳درصد کل نمونه‌ها بوده است. در کشورهای بلغارستان، کرواسی، فنلاند، آلمان، ایرلند، لیتوانی، مالت، اسلوونی و سوئد هیچ‌یک از نمونه‌های سوخت دیزل مردود نبوده‌اند. کشورهای اسلوونی، سوئد و لیتوانی هیچ نمونه مردود بنزین و دیزلی در سال ۲۰۱۶ گزارش نکرده‌اند.

در نمونه‌های مردود بنزین، فشار بخار تابستانی در ۱۴ کشور عضو، عدد اکتان تحقیقی (RON) در ۱۱ کشور، عدد اکتان موتور (MON) در ۷ کشور و محتوای آروماتیک، اکسیژن و پارامترهای تقطیر در ۱۴ کشور مشکل‌ساز بوده‌اند. از بین ۷ پارامتر مربوط به کیفیت سوخت دیزل، محتوای گوگرد و محتوای FAME مهم‌ترین پارامترها بوده‌اند که در ۷ کشور در برخی از نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار نداشته‌اند. البته باید به درصد نمونه‌های مردود (جدول ۶) نیز توجه داشت.

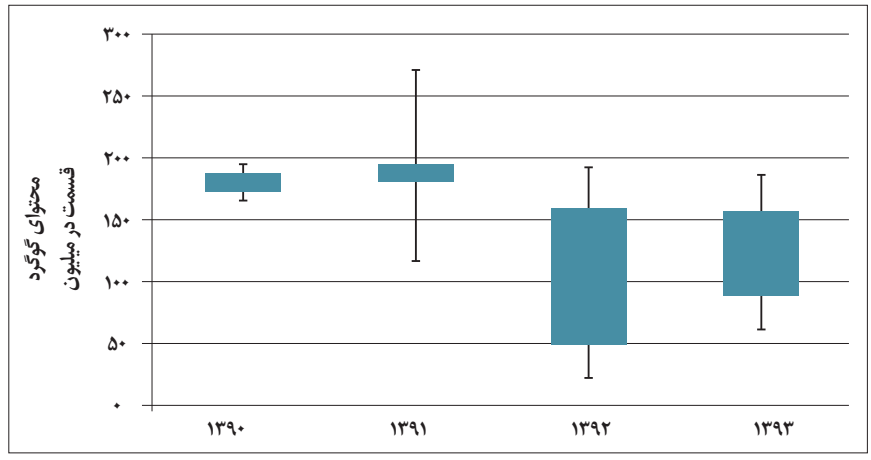
حال نگاهی می‌اندازیم به نتایج پایش کیفیت سوخت در ایران که تا کنون منتشر شده است. قدیمی‌ترین نتایج موجود مربوط به پایش کیفیت سوخت در سال ۱۳۹۰ در تهران است. در شکل ۹ محتوای گوگرد نمونه‌های بنزین در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ نشان داده شده. این نمودار حاصل اندازه‌گیری نمونه‌های بنزین معمولی، سوپر و یورو۴ جمع‌آوری‌شده از پایانه‌های شهر تهران در تاریخ‌های دی ۱۳۹۰، شهریور و بهمن ۱۳۹۱، خرداد و دی و اسفند ۹۲ و اردیبهشت، مرداد، آبان و بهمن ۱۳۹۳ می‌باشد. این داده‌ها در یک آزمایشگاه در آلمان و یک آزمایشگاه ایرانی آنالیز شده‌اند. از آنجا که در ایران استاندارد داخلی برای کیفیت سوخت وجود ندارد، مشخص نیست نتایج را باید با کدام استاندارد سنجید. اگر ملاک را استاندارد یورو۴ قرار دهیم، حداکثر محتوای گوگرد باید ppm ۵۰ باشد. شکل ۹ نشان می‌دهد که در سال‌های ۹۰ تا ۹۳ محتوای گوگرد بنزین توزیعی در شهر تهران بر مبنای استاندارد یورو۴ در حد قابل قبولی نبوده است. البته مقایسه صورت‌گرفته در شکل ۹، مقایسه دقیقی نیست و نمی‌توان بر اساس اطلاعات این شکل در مورد روند تغییر کیفیت سوخت بحث چندانی کرد زیرا مدل‌های آماری که در سال‌های مختلف در نظر گرفته شده، یکسان نیست. تنها نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که محتوای گوگرد سوخت در شهر تهران در بازه زمانی ۹۰ تا ۹۳ اصلا مناسب نبوده است. در شکل ۱۰ محتوای گوگرد در فصول مختلف سال ۱۳۹۳ در ایستگاه‌های مختلف نشان



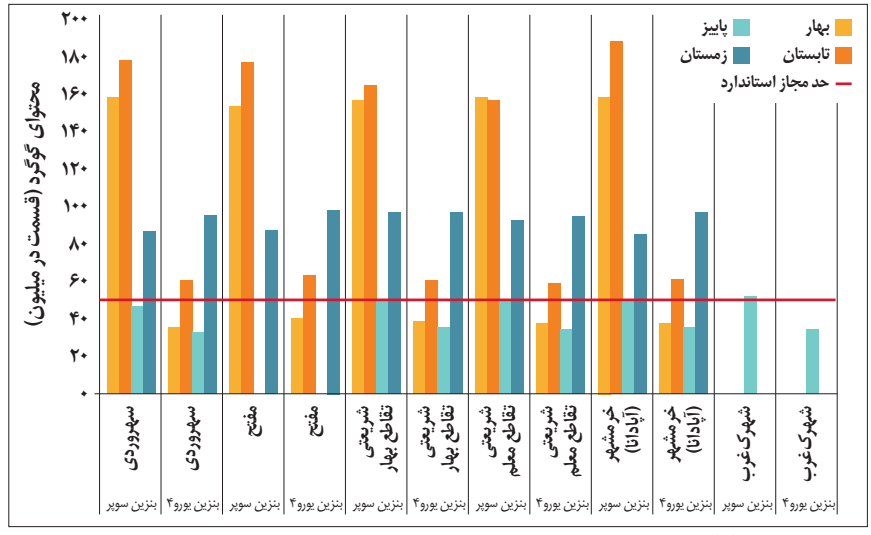
شکل ۸: محتوای اجزای زیستی در سوخت فروخته‌شده در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶

جدول۶: نتایج پایش کیفیت سوخت در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶

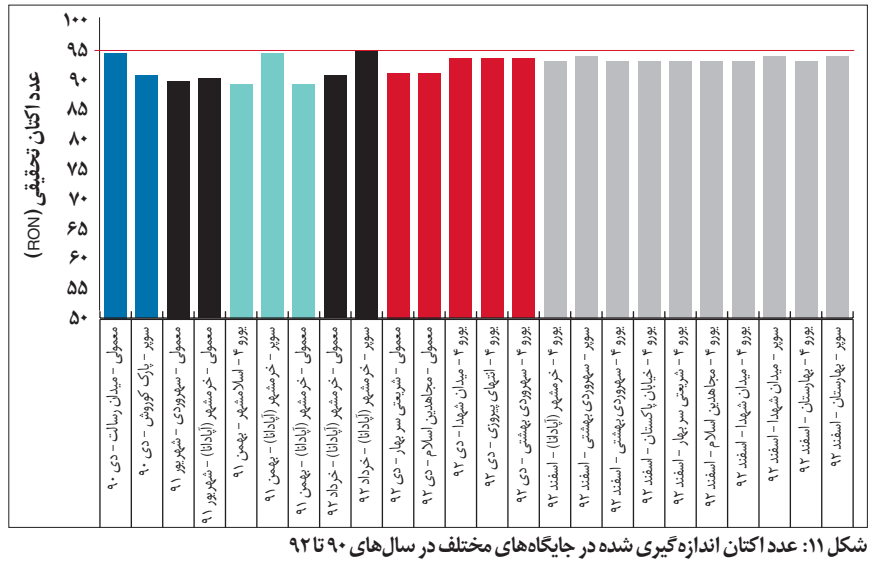
کشور عضو	تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده (تعداد نمونه‌های مورد نیاز)		تعداد نمونه‌های مردود (درصد نمونه‌های مردود به کل نمونه‌ها)		پارامترهایی که در نمونه‌های مردود، خارج از محدوده مجاز بوده‌اند
	بنزین	دیزل	بنزین	دیزل	
اتریش	۱۰۶ (۱۰۰)	۱۰۰ (۱۰۰)	۲ (۱/۹)	۱ (۱)	vapour pressure, diesel sulphur content
بلژیک	۲۱۸۵ (ملی)	۴۱۳۲ (ملی)	۲۵۶ (۱۱/۷)	۵۰ (۱/۲)	RON, MON, vapour pressure, aromatics, oxygen content, sulphur content, diesel density, diesel sulphur content, FAME content, distillation values
بلغارستان	۱۲۹ (۱۱۶)	۱۲۸ (۱۰۰)	۱ (۰/۸)	۰ (۰)	Sulphur content
کرواسی	۱۶۸ (۱۰۰)	۱۹۷ (۱۰۰)	۳ (۱/۸)	۰ (۰)	Vapour pressure, aromatics
قبرس	۲۶۲ (۱۰۶)	۱۳۷ (۱۰۰)	۱ (۰/۴)	۱ (۰/۷)	Vapour pressure, diesel sulphur content
جمهوری چک	۹۹۲ (۱۱۰)	۱۱۲۳ (۱۰۴)	۸ (۰/۸)	۳ (۰/۲)	RON, MON, sulphur content, vapour pressure, distillation point, FAME content
دانمارک	۲۰۳ (۲۰۰)	۱۰۰ (۱۰۰)	۳۳ (۱۶)	۳ (۳)	Vapour pressure, aromatics, diesel sulphur content
استونی	۳۲۰ (۱۱۲)	۱۵۰ (۱۰۰)	۹ (۲/۸)	۱ (۰/۷)	RON, MON, vapour pressure, diesel sulphur content
فنلاند	۲۳۵ (۲۰۰)	۱۰۰ (۱۲۱)	۱۸ (۷/۶)	۰ (۰)	RON, aromatics
فرانسه	۴۰۹ (۴۱۵)	۲۰۰ (۲۱۵)	۱۴ (۳/۴)	۲ (۰/۹)	Vapour pressure, sulphur content, RON, oxygen content, FAME content
آلمان	۸۴۵ (۴۲۱)	۴۰۱ (۴۰۰)	۱۹ (۲/۲)	۰ (۰)	Vapour pressure, oxygen content, ethanol, RON, MON, sulphur content
یونان	۱۱۴ (۱۰۸)	۱۰۰ (۱۰۰)	۰ (۰)	۷ (۷)	Density at 15°C, FAME content
مجارستان	۱۲۰ (۱۲۰)	۱۲۰ (۱۲۰)	۳ (۰/۲۵)	۱ (۰/۸)	Vapour pressure, aromatics, FAME content
ایرلند	۱۰۰ (۱۰۰)	۱۰۰ (۱۰۰)	۲ (۲)	۰ (۰)	Vapour pressure
ایتالیا	۲۰۰ (۲۰۰)	۲۰۰ (۲۰۰)	۳ (۱/۵)	۴ (۲)	RON, MON, distillation point
لاتویا	۱۰۱ (ملی)	۱۵۸ (ملی)	۱۱ (۱۰/۹)	۱ (۰/۶)	RON, diesel sulphur content
لیتوانی	۱۰۰ (۱۰۰)	۱۰۰ (۱۰۰)	(۰)	(۰)	-
لوکزامبورگ	۱۲۴ (۱۲۴)	۶۲ (۶۲)	۱۵ (۱۲)	۴ (۶/۴)	Distillation, olefins, aromatics, ether, diesel density
مالت	۱۰۴ (۱۰۰)	۱۰۴ (۱۰۰)	۱ (۰/۹)	۰ (۰)	Vapour pressure
هلند	۱۰۰ (۱۰۰)	۱۰۰ (۱۰۰)	۰ (۰)	۳ (۳)	Distillation point
لهستان	۵۳۰ (۴۴۲)	۴۰۳ (۴۰۰)	۱۲ (۲/۲)	۲ (۰/۵)	RON, MON, vapour pressure, aromatics, sulphur content, distillation point
پرتغال	۶۵۷ (۱۰۰)	۶۶۷ (۱۰۰)	۶۴ (۹/۷)	۵ (۰/۷)	RON, MON, vapour pressure, aromatics, oxygen content, diesel sulphur content, FAME content
رومانی	–	–	–	–	-
اسلواکی	۲۰۹ (۱۰۶)	۲۰۰ (۱۰۰)	۶ (۲/۸)	۵ (۲/۵)	RON, MON, evaporation point, benzene, diesel density, FAME content
اسلوونی	۱۲۵ (۱۱۰)	۱۳۲ (۱۰۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	-
اسپانیا	۴۰۰ (۲۱۸)	۲۰۰ (۲۰۰)	۵ (۱/۲)	۳ (۱/۵)	Vapour pressure, aromatics, ROM, diesel sulphur content
سوئد	۸۲۷ (ملی)	۸۵۶ (ملی)	۰ (۰)	۰ (۰)	-
بریتانیا	۱۳۹۹ (ملی)	۲۶۶۸ (ملی)	۲۱ (۱/۵)	۵ (۰/۲)	RON, vapour pressure, aromatics, oxygen content, sulphur content, diesel density, diesel sulphur content



شکل ۹: مقایسه محتوای بنزین سوخت توزیعی در تهران در سال‌های ۹۰ تا ۹۳



شکل ۱۰: محتوای گوگرد سوخت در فصول مختلف سال ۱۳۹۳



شکل ۱۱: عدد اکتان اندازه‌گیری شده در جایگاه‌های مختلف در سال‌های ۹۰ تا ۹۲

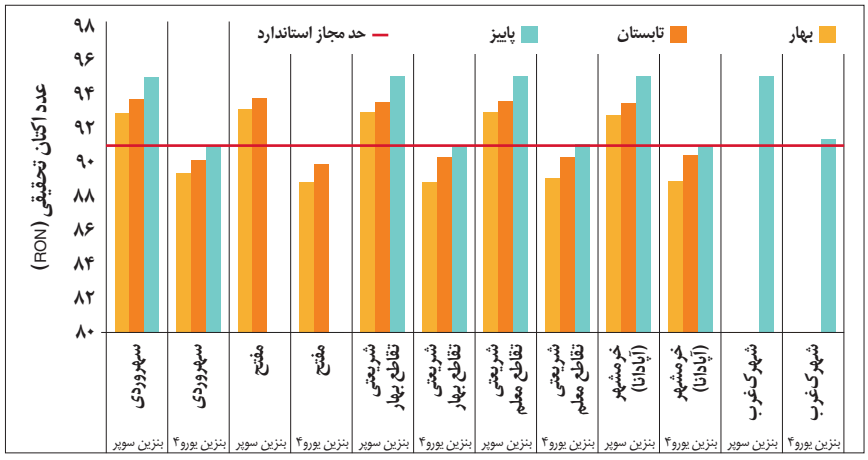
داده شـده. همان‌گونـه که دیده می‌شـود، محتـوای گوگـرد بنزین در فصـول مختلف بسیار متغیر است.

در شـکل ۱۱ وضعیـت عدد اکتان سـوخت توزیعـی در تهران در سـال‌های ۹۰ تا ۹۲ با حد اسـتاندارد یورو۴ مقایسـه شـده است. با استفاده از این شکل نمی‌توان تحلیل دقیقی از وضعیـت عدد اکتان سـوخت تهران ارائه داد. اما به هرحال این شـکل نشان می‌دهد که در طول بازه زمانی سه‌سـاله، عدد اکتان در جایگاه‌هایی که از آنها نمونه‌برداری شده، کمتر از حد مجاز بوده است.

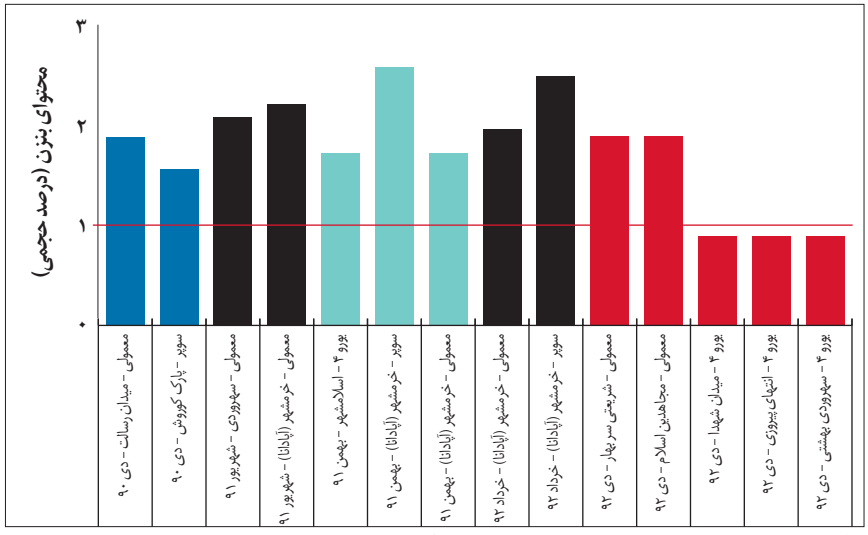
در شکل ۱۲ وضعیت عدد اکتان در تعدادی از جایگاه‌هـای تهـران در فصـول مختلف سال ۱۳۹۳ نشـان داده شده. همان‌طور که مشـاهده می‌شود، در سـال ۹۳ عدد اکتان سـوخت توزیعی در این جایگاه‌ها با استاندارد یورو۴ سـازگار نبوده اسـت. در شـکل‌های ۱۳ و ۱۴ محتـوای بنزن سـوخت تهران در سال‌های ۹۰ تا ۹۲ و در فصول مختلف سال ۹۳ نشان داده شده. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در بازه سـال ۹۰ تـا ۹۲ محتوای بنزن از حد مجاز بسـیار فراتر بوده. طبق شـکل ۱۳ در فصول بهار و تابسـتان سال ۹۳ محتوای بنزن سوخت بیشتر از حد مجاز بوده است.

بر اسـاس گـزارش شـرکت کنتـرل کیفیت هوای تهـران، ظاهرا غیر از محتوای گوگرد، محتوای بنزن و عدد اکتان سایر پارامترهای مرتبط بـا کیفیت بنزین در سـال‌های ۹۰ تا ۹۳ در محدوده مجاز قرار داشـته‌اند. شـکل ۱۵ محتوای گوگرد سـوخت تهران در سـال ۹۷ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شـود، در سـال گذشـته محتوای گوگرد بنزیـن تهران بسـیار از حد مجـاز فراتر بوده است.

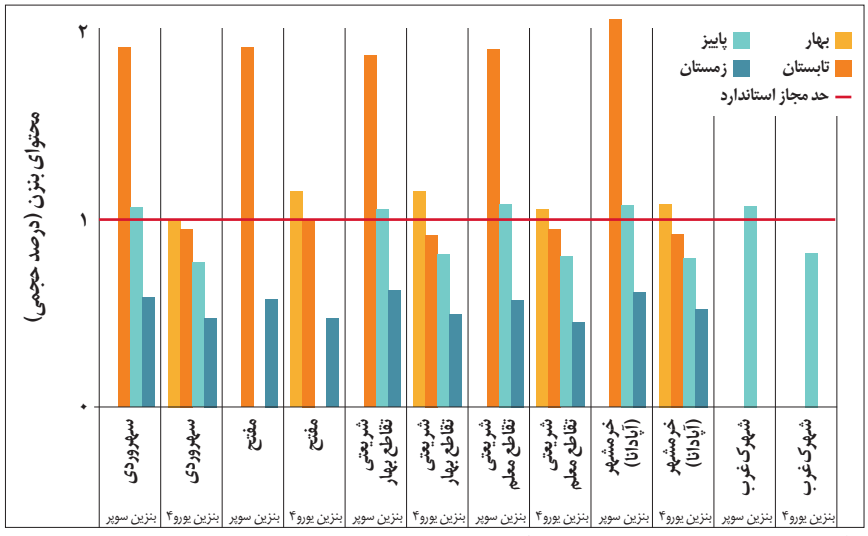
در شـکل ۱۶ عدد اکتان بنزیـن تهران را که در یک ایستگاه در طول سال ۹۷ اندازه‌گیری شده می‌بینیم. همانطور که مشاهده می‌شود، عـدد اکتـان بنزیـن در ایـن جایـگاه از حد



شکل ۱۲: عدد اکتان تحقیقی (RON) در تعدادی از جایگاه‌های تهران در فصول مختلف سال ۹۳



شکل ۱۳: محتوای بنزن سوخت در سال‌های ۹۰ تا ۹۲ در جایگاه‌های مختلف

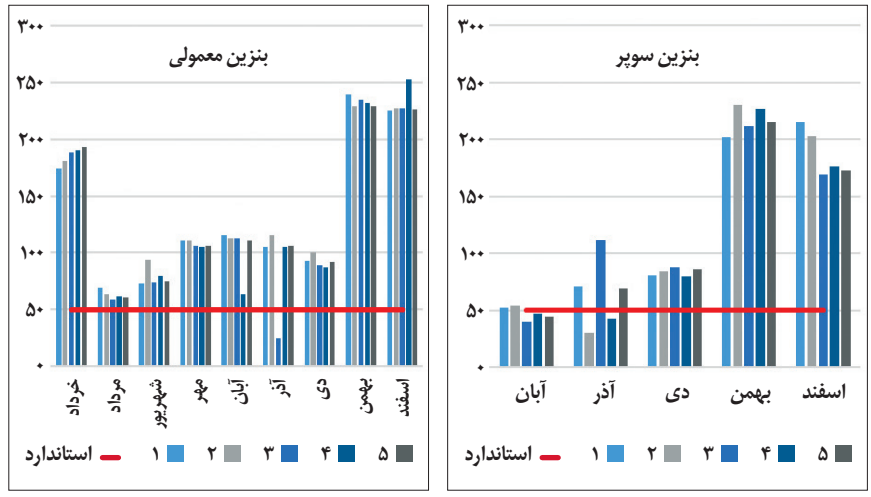


شکل ۱۴: محتوای بنزن سوخت توزیعی در جایگاه‌های مختلف تهران در سال ۹۳

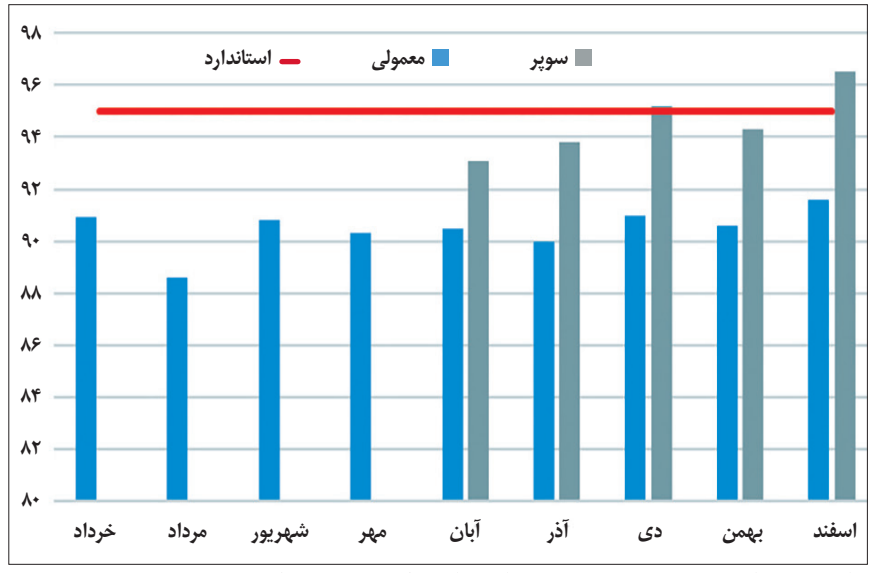
استاندارد یورو۴ کمتر بوده است. محتوای بنزن نیز در سال گذشته برای یک ایستگاه در شهر تهران اندازه‌گیری شده که مقدار آن تنها در ماه مرداد از حد مجاز فراتر بوده است. نتایج مربوط به پایش سوخت دیزل نیز از سال ۱۳۹۰ موجود است. در شکل ۱۷ میزان محتوای گوگرد سوخت دیزل توزیعی در شهر تهران نشان داده شده. این نمودار حاصل نمونه‌برداری از سوخت‌های دیزل عمومی، شرکت واحد اتوبوسرانی و دیزل یورو۴ در تاریخ‌های دی ۹۰، شهریور و بهمن ۹۱، خرداد، دی، بهمن و اسفند ۹۲ و سه فصل ۹۳ است. نمونه‌ها در سه آزمایشگاه در آلمان، سوئیس و ایران آنالیز شده‌اند. شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در سال‌های ۹۰ تا ۹۲ محتوای گوگرد گازوئیل بسیار از حد استاندارد (۵۰ ppm) فراتر بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در طول این بازه زمانی عدد ستان سوخت در مجموع قابل قبول بوده است.

محتوای گوگرد گازوئیل توزیع‌شده در تهران در سال ۱۳۹۷ در شکل ۱۸ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود محتوای گوگرد سوخت در ماه‌های خرداد، آذر، دی، بهمن و اسفند در هر ۵ جایگاه از مقدار استاندارد بیشتر بوده، اما وضعیت در سال ۹۷ به‌مراتب از سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ بهتر شده است.

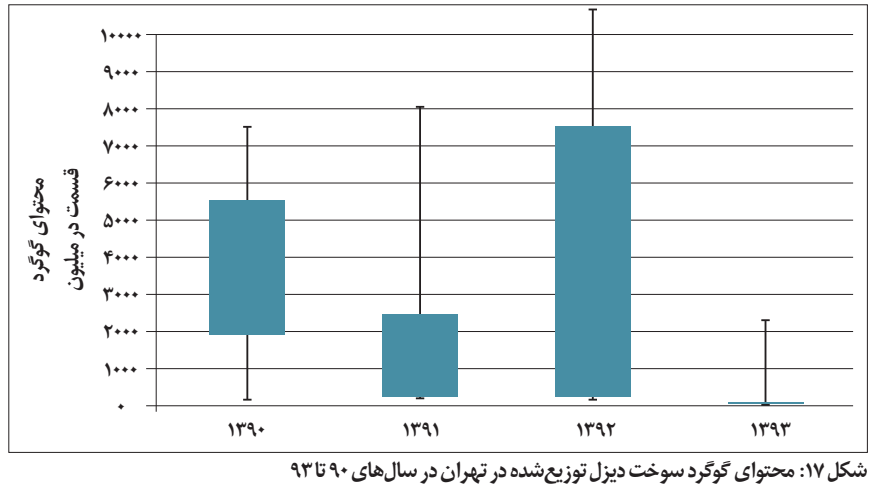
غیر از گزارش مربوط به پایش کیفیت سوخت شهر تهران در سال‌های ۹۰ تا ۹۳ که نتایج آن در مقاله حاضر ارائه گردید، هیچ‌گونه گزارش رسمی از کیفیت سوخت کشور تاکنون منتشر نشده است. این در حالی است که کیفیت سوخت در آلودگی هوا بسیار موثر است و باید از وضعیت سوخت در کشور تحلیل دقیقی صورت بگیرد. تنها مواردی که در رسانه‌های خبری از زبان مسئولان ذکر شده، آمارهایی مربوط به محتوای گوگرد گازوئیل است.



شکل ۱۵: محتوای گوگرد (ppm) سوخت تهران در سال ۱۳۹۷ که در ۵ جایگاه سوخت اندازه‌گیری شده است



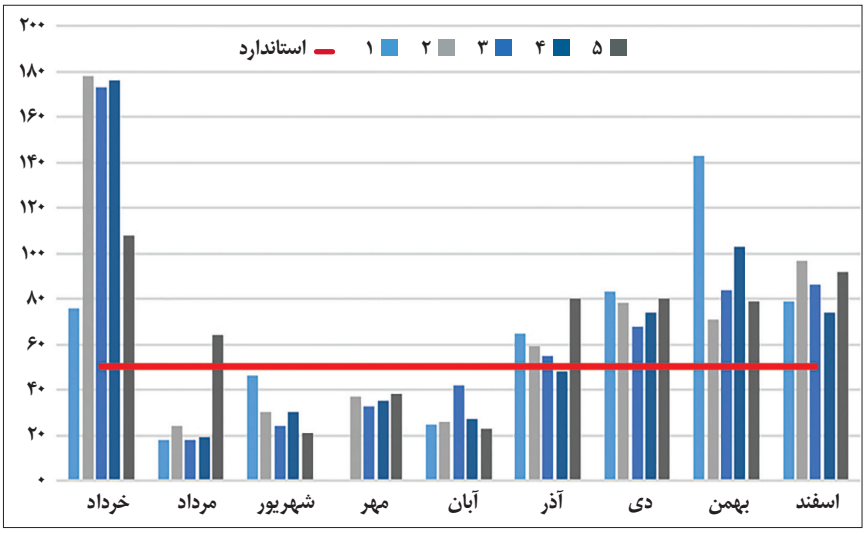
شکل ۱۶: عدد اکتان سوخت تهران در سال ۱۳۹۷ که در یک جایگاه سوخت اندازه‌گیری شده است



شکل ۱۷: محتوای گوگرد سوخت دیزل توزیع‌شده در تهران در سال‌های ۹۰ تا ۹۳

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد کیفیت سوخت، شاخص‌ها و پارامترهای متعددی دارد. تنها پارامترهایی که سازمان محیط زیست اندازه‌گیری می‌کند عبارتند از محتوای آروماتیک، اولفین، بنزن و گوگرد. اندازه‌گیری محتوای گوگرد از اواخر سال ۹۶ در دستور کار سازمان قرار گرفته است. گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که شرکت کنترل کیفیت هوای تهران در سال‌های ۹۰ و ۹۱ تمام پارامترهای مرتبط با کیفیت بنزین و دیزل را به کمک آزمایشگاه ASG آلمان اندازه‌گیری کرده است. اما در سال ۹۷ برای بنزین تنها پارامترهای عدد اکتان تحقیقی (RON)، محتوای بنزن و محتوای گوگرد و برای سوخت دیزل تنها محتوای گوگرد اندازه‌گیری و گزارش شده است. ظاهرا به دلیل اینکه در اندازه‌گیری‌های پیشین پارامترهایی مثل محتوای PAH دیزل، عدد اکتان موتور (MON)، محتوای اولفین‌ها، آروماتیک‌ها و همچنین پارامترهای مربوط به فزاریت سوخت در محدوده مجاز قرار داشته‌اند، اندازه‌گیری این پارامترها از اولویت خارج شده است. برای ارزیابی این رویّه اندازه‌گیری، بهتر است نگاهی به الگوهای جهانی داشته باشیم. به همین منظور در این قسمت رویّه پایش سوخت در کشور آلمان بررسی می‌شود.

در جدول ۷ نتایج اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به انواع بنزین‌های فروخته‌شده در آلمان از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ ارائه شده است. در طول این شش سال، ۵ نوع بنزین در آلمان فروخته شده که عبارتند از: بنزین معمولی، سوپر، سوپر E۱۰ و سوپر پلاس. بنزین معمولی در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ فروش ناچیزی داشته و از سال ۲۰۱۵ عملا از بازار بنزین آلمان حذف شده است. عمده سوخت فروخته‌شده در این بازه شش‌ساله در آلمان بنزین سوپر بوده است.



شکل ۱۸: محتوای گوگرد گازوئیل تهران، اندازه‌گیری‌شده در ۵ جایگاه در طول سال ۹۷

با اینکه سهم بنزین معمولی از بازار کل در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ به ترتیب تنها ۰/۶۷ و ۰/۰۲درصد بوده، اما ملاحظه می‌شود که آلمان از کیفیت این نوع بنزین غافل نبوده و اندازه‌گیری‌های لازم را به عمل آورده است. در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶، فشار بخار، محتوای اکسیژن و میزان اکتان‌افزا مهم‌ترین پارامترهایی هستند که در نمونه‌های تست‌شده خارج از محدوده مجاز بوده‌اند البته باید به درصد نمونه‌های مردود که به‌ندرت از ۳درصد فراتر رفته نیز توجه داشت. در طول این شش‌سال، محتوای گوگرد تنها در یک نمونه از ۳۱۱ نمونه تست‌شده در سال ۲۰۱۴ و در یک نمونه از ۳۷۴ نمونه در سال ۲۰۱۶ فراتر از حد مجاز بوده است. عدد اکتان نیز تنها در یک نمونه در سال ۲۰۱۶ کمتر از حد مجاز بوده است. محتوای آروماتیک تنها در ۲ نمونه در سال ۲۰۱۱ بیشتر از حد استاندارد بوده است. اما با این وجود ملاحظه می‌شود که آلمان به‌صورت منظم و پیوسته هر ۱۹ پارامتر مورد نیاز را اندازه‌گیری کرده است. البته در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ از ۱۹ پارامتر مورد نیاز ۱۸ پارامتر برای انواع بنزین سوپر اندازه‌گیری شده است. تنها پارامتری که اندازه‌گیری نشده، احتمالا میزان منگنز بوده است، زیرا در آن دو سال آلمان در بنزین سوپر خود از MMT استفاده نکرده است.

در جدول ۸ نتایج پایش کیفیت سوخت دیزل در آلمان طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ ارائه شده است. سوخت دیزل آلمان از سال ۲۰۱۲ به بعد کاملا از نوع B7 بوده است. مهم‌ترین پارامتر مربوط به سوخت دیزل در آلمان محتوای FAME است، که البته از سال ۲۰۱۲ به بعد تعداد نمونه‌های مردود از نظر این پارامتر کمتر از ۰/۵درصد کل نمونه‌ها بوده است. محتوای گوگرد سوخت دیزل تنها در ۲ نمونه در سال ۲۰۱۱ فراتر از حد استاندارد بوده است. این نتایج حاکی از کیفیت عالی سوخت دیزل در آلمان است. با این حال مشاهده می‌شود که آلمان به‌طور منظم و پیوسته همه پارامترهای مرتبط با کیفیت سوخت دیزل را اندازه‌گیری می‌کند، اما در ایران تنها پارامتری که در چند سال اخیر گزارش شده، محتوای گوگرد است.

هدف از ارائه این مطالب در گزارش حاضر بیشتر مقایسه و ارزیابی فرایند پایش کیفیت سوخت است. هدف بحث در مورد کیفیت سوخت ایران نیست. با این حال به‌عنوان یک مقایسه کلی بد نیست به نتایج پایش سوخت دیزل در ایران در تابستان گذشته اشاره‌ای شود. به گفته رئیس مرکز پایش فراگیر آلودگی محیط زیست، در تیر و شهریور سال گذشته محتوای گوگرد به ترتیب در ۶۰ و ۵۵درصد نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد یورو۴ (۵۰ ppm) بوده است. بالاترین میزان محتوای گوگرد در نمونه‌های تست‌شده ۲۲۷۰ ppm بوده است. این در حالی است که حداکثر محتوای گوگرد در دو نمونه مردود در سال ۲۰۱۱ در آلمان ۱۴/۶ ppm بوده است.

مقایسه رویّه پایش کیفیت سوخت در آلمان و ایران بر اساس گزارش‌های منتشرشده نشان می‌دهد که تاکنون کیفیت سوخت در ایران به صورت کارآمد و دقیق تحلیل نشده است. اتحادیه اروپا سالانه گزارش کیفیت

سـوخت را با سـاختاری منظم و مشخص و بر اسـاس مدل‌هـای آماری دقیق منتشـر می‌کند. نتایج ارائه‌شـده در ایـن گزارش‌ها به‌خوبی قابل تحلیل و قابل درک اسـت، در حالی که تاکنون گـزارش منظمی از کیفیت سوخت در ایران منتشر نشده است، که خود دلیلی بر عدم پایش مناسـب کیفیت سوخت اسـت. به هر حـال بر اسـاس نتایج موجود می‌تـوان گفـت کیفیـت سـوخت در ایران مطلوب نیست.

سیاهه انتشار

سـیاهه انتشـار تخمینـی از میزان انتشـار انـواع آلاینده‌هـای هوا از منابـع گوناگون و مهم‌ترین ابزار مدیریتی برای سیاست‌گذاری جهت کنترل انتشـار آلاینده‌ها اسـت. بدون

جدول ۷: نتایج پایش کیفیت بنزین در کشور آلمان در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶

	بنزین معمولی regular unleaded petrol (minimum RON=91) E5					
سال	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
سهم از کل بازار بنزین	٪ ۰/۶۷	٪ ۰/۲	٪ ۰/۰۲	٪ ۰/۰۰	–	–
تعداد کل نمونه‌ها	۱۲	۰	۱	۰	–	–
تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده	۱۹ از ۱۹	–	۱۰ از ۱۹	–	–	–
تعداد نمونه مردود (درصد)	۰ (٪ ۰)	–	۰ (٪ ۰)	–	–	–
پارامتر مهم	–	–	–	–	–	–
	بنزین سوپر unleaded petrol (minimum 95 RON<98) E5					
سال	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
سهم از کل بازار بنزین	٪ ۸۷/۰۴	٪ ۷۹/۶۳	٪ ۷۹/۲۱	٪ ۷۹/۱۱	٪ ۸۲/۰۴	٪ ۸۲/۷۸
تعداد کل نمونه‌ها	۳۴۴	۴۰۵	۳۷۷	۳۸۴	۴۰۸	۴۰۵
تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹
تعداد نمونه مردود (درصد)	۰	۲ (٪ ۰/۵)	۳ (٪ ۰/۸)	۱۱ (٪ ۳)	۱۴ (٪ ۳/۴)	۷ (٪ ۱/۷)
پارامتر مهم	–	فشار بخار	RON / فشار بخار / محتوی اکسیژن	فشار بخار / محتوی اکسیژن / اتانول	فشار بخار / محتوی اکسیژن / اتانول	فشار بخار / محتوی اکسیژن / اتانول
	بنزین سوپر E۱۰ unleaded petrol (minimum RON=95) E10					
سال	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
سهم از کل بازار بنزین	٪ ۰/۰۰	٪ ۱۴/۱۶	٪ ۱۴/۹۹	٪ ۱۵/۱۶	٪ ۱۳/۵۷	٪ ۱۲/۶۲
تعداد کل نمونه‌ها	۸۶	۱۳۹	۳۰۱	۳۱۱	۳۹۱	۳۸۶
تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹
تعداد نمونه مردود (درصد)	۱ (٪ ۱/۷۹)	۲ (٪ ۱/۴)	۲ (٪ ۰/۶)	۱۱ (٪ ۳/۵)	۶ (٪ ۱/۵)	۱۲ (٪ ۳)
پارامتر مهم	فشار بخار	محتوی اکسیژن / متانول	فشار بخار / اتانول	فشار بخار / محتوی اکسیژن / اتانول / محتوی گوگرد	فشار بخار / محتوی اکسیژن / اتانول	فشار بخار / RON, MON / بخار / محتوی گوگرد
	بنزین سوپر پلاس unleaded petrol (minimum RON 98) E5					
سال	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
سهم از کل بازار بنزین	٪ ۱۲/۲۹	٪ ۶	٪ ۵/۷۷	٪ ۵/۷۰	٪ ۴/۳۸	٪ ۴/۵۸
تعداد کل نمونه‌ها	۷۸	۵۸	۶۲	۳۱	۴۹	۵۴
تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۹ از ۱۹	۱۸ از ۱۹	۱۹ از ۱۹
تعداد نمونه مردود (درصد)	۲ (٪ ۲/۶)	۱ (٪ ۳/۷)	۱ (٪ ۳/۱)	۰ (٪ ۰)	۲ (٪ ۴)	۰ (٪ ۰)
پارامتر مهم	آروماتیک	فشار بخار	فشار بخار	–	فشار بخار	–

جدول ۸: نتایج پایش کیفیت سوخت دیزل در کشور آلمان در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶

	دیزل B7					
سال	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
تعداد کل نمونه‌ها	۳۹۴	۴۰۵	۳۹۹	۳۹۴	۴۰۰	۴۰۱
تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده	۶ از ۶	۶ از ۶	۶ از ۶	۶ از ۶	۶ از ۷	۶ از ۷
تعداد نمونه مردود (درصد)	۷ (٪ ۱/۸)	۱ (٪ ۰/۲۶)	۱ (٪ ۰/۲۷)	۱ (٪ ۰/۲۵)	۱ (٪ ۰/۲۵)	۰ (٪ ۰)
پارامتر مهم	محتوای گوگرد FAME	FAME	FAME	FAME	FAME	–

سیاهه انتشـار عملا برنامه‌ریزی برای بهبود کیفیت هوا ممکن نیسـت. سـیاهه انتشـار ورودی مدل‌های ریاضی تخمین کیفیت هوا می‌باشـد و به کمک آن می‌توان اثربخشـی اقدامات را پیش‌بینی کرد.

بـرای محاسـبه سـیاهه انتشـار روش‌های گوناگونی وجود دارد. از جمله پایش پیوسـته یک منبـع آلاینده، اندازه‌گیـری در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و برون‌یابی نتایج و استفاده از ضرایب انتشار. ضریب انتشار مقداری است که میزان انتشـار یک آلاینده از یک منبع را به میـزان فعالیت آن مرتبط می‌سـازد. مثلا ضریب انتشـار برای ذرات معلـق به صورت کیلوگـرم بـر مگاگرم سـوخت مصرف‌شـده بیان می‌شـود. معمولا برای خودورها میزان پیمایش در سـطح شـهر و بـرای نیروگاه‌ها، صنایع و منابع خانگی میزان مصرف سوخت معیار فعالیت منبع به شـمار می‌رود. در مورد خودروها ضریب انتشـار بر اساس تکنولوژی تولید، سیسـتم سوخت‌رسـانی، اسـتاندارد آلایندگـی خودرو، سیسـتم تهویـه، الگوی رانندگی، شـیب جاده، شتاب خودرو، کیفیت سوخت، شرایط اقلیمی و عوامل دیگر تعیین می‌شـود. اولیـن گام بـرای تدوین سـیاهه انتشار، شناسـایی و طبقه‌بندی منابع آلاینده اسـت. منابع آلاینده شـامل منابع احتراقی، کشـاورزی، پسـماند، فرایندهـای صنعتی، پدیده‌های طبیعی و غیره می‌شوند. در خلال بحثی که در ادامه ارائه می‌شـود، مخاطب با جزئیات سیاهه انتشار بیشتر آشنا خواهد شد.

در این بخش به‌منظور ارزیابی وضعیت تحلیل آلودگـی هوا در ایـران، نگاهی به نتایجی که الگوهای موفق جهانی مثـل اتحادیه اروپا و ایالات متحده منتشـر کرده‌انـد می‌اندازیم. همان‌طور که پیشـتر نیز اشـاره شد، کیفیت نتایج ارائه‌شده، سـاختار کلی و انتشار منظم گزارش‌ها، بـه نوعی نمایانگـر کیفیت کلی پروژه‌های تحلیل آلودگی هواسـت. در ایران نخستین سـیاهه انشار شـهر تهران را سال ۱۳۷۶ شـرکت ژاپنی جایـکا (JICA) تدوین کرد. ۱۸ سـال پس از آن، سـال ۹۴ گزارش سیاهه انتشار شهر تهران بر مبنای داده‌های سـال ۹۲ از سـوی شـرکت کنتـرل کیفیت هوای تهران منتشـر گردید که مبنای تدوین برنامه چهارسـاله برای کاهش آلودگی هوای تهران قرار گرفت. غیر از این دو مورد تاکنون گزارشـی در رابطه با سـیاهه انتشار در ایران منتشـر نشـده اسـت. در ایالات متحده، از سال ۱۹۷۰ داده‌های سـیاهه انتشار مربوط بـه آلاینده‌هـای CO، NOx، PM10، SO2 و ترکیبات آلی فرّار (VOCs) در سـطح ملی به تفکیک انواع منابع آلاینده موجود اسـت. در مـورد آلاینده‌هـای PM۲/۵ و NH3 بـه ترتیـب از سـال ۱۹۹۰ و ۱۹۹۳ داده موجود است. سیاهه انتشار در ایالات متحده از سال ۱۹۹۰ سالانه به‌طور منظم به‌روز شده است. در مقاله «آلودگی هوا» که در همین شـماره فناورد منتشر شـده، برخی از نتایج مربوط به سـیاهه انتشـار در ایالات متحده ارائه شده اسـت. در این بخش از مقالـه حاضر نگاهی به سـیاهه انتشـار اتحادیه اروپا می‌اندازیم. در اتحادیـه اروپـا اعضـا موظفنـد سـالانه گزارش سیاهه انتشار مربوط به آلاینده‌های اصلـی هـوا، ذرات معلق، فلزات سـنگین و آلاینده‌های آلـی پایدار (POPs) را منتشـر کنند. فهرست آلاینده‌هایی که میزان انتشار آنها از منابع مختلف در اتحادیه اروپا به‌صورت منظم پایش می‌شـود در جدول ۹ آورده شده اسـت. در این جدول منظـور از TSP ذرات معلقی است که قطر آیرودینامیکی آنها کمتر از ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر است.

در شـکل ۱۹ روند میزان انتشار آلاینده‌های اصلی و ذرات معلق در اتحادیه اروپا از سـال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ نشـان داده شـده اسـت. در سـال ۲۰۱۶ میزان انتشار اکسیدهای گوگرد نسبت به سال ۱۹۹۰ حدودا ۹۱درصد کاهش داشته اسـت. علل اصلی این میزان کاهش عبارتند از: اسـتفاده از سوخت‌ها با محتوای گوگرد پایین مثل گاز طبیعی به جای استفاده از سـوخت‌های مایـع و جامد بـا گوگرد بالا، اسـتفاده از روش‌هـای گوگردزدایـی از گاز دودکـش واحدهای صنعتی و قوانین اتحادیه اروپـا در مـورد محتوای گوگرد سـوخت‌های مایـع. در بازه زمانـی مذکـور در کل تحادیه اروپا میزان انتشار کربن مونواکسید، ترکیبات آلی فرّار غیر متانی و اکسـیدهای نیتروژن به ترتیب ۶۹، ۶۲ و ۵۸درصد کاهش یافته است. میزان انتشـار آمونیـاک ۲۳درصـد کاهش داشته که نسبت به سایر آلاینده‌ها کمتر بوده اسـت. کنتـرل آلایندگی وسـایل حمل‌ونقل جـاده‌ای نقـش مهمـی در کاهش انتشـار آلاینده‌های CO، NMVOC و NOx ایفا کرده اسـت. کاهش انتشار اکسـیدهای نیتروژن در واحدهـای تولیـد انـرژی عمدتـا به دلیل اسـتفاده از فناوری‌های احتراق بهبودیافته، سیستم‌های تصفیه گاز خروجی از دودکش‌ها مثـل جاذب‌هـای NOx و کاتالیسـت‌ها و اسـتفاده از گاز به جای سـوخت‌های فسیلی دیگر بوده اسـت. کاهش انتشار ترکیبات آلی

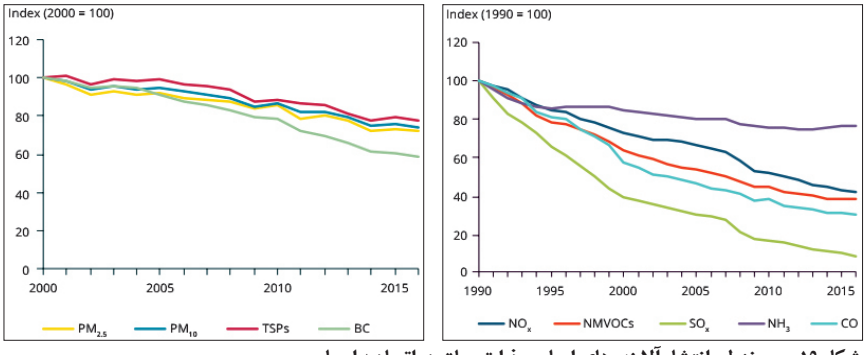
جدول۹: لیست آلاینده‌هایی که میزان انتشار آن‌ها در اتحادیه اروپا پایش می‌شود

آلاینده‌های اصلی	ذرات	فلزات سنگین اصلی	فلزات سنگین دیگر	آلاینده‌های آلی پایدار	آروماتیک‌های پلی-سیکلیک خاص
اکسیدهای نیتروژن	PM۱۰	سرب (Pb)	آرسنیک (As)	دی‌اکسین و فوران‌ها (PCDD/Fs)	Benzo(a)pyrene (B(a)P)
ترکیبات آلی فرار غیر متانی (NMVOCs)	PM۲٫۵	کادمیوم (Cd)	کروم (Cr)	هیدروکربن‌های آروماتیک پلی-سیکلیک (PAHs)	benzo(b)fluoranthene (B(b)F)
	کربن سیاه (BC)	جیوه (Hg)	مس (Cu)		benzo(k)fluoranthene (B(k)F)
اکسیدهای گوگرد	TSPs		نیکل (Ni)	هگزاکلروبنزن (HCB)	indeno(1,2,3-cd)pyrene (IP)
آمونیاک (NH۳)			سلنیوم (Se)		
کربن مونو اکسید			روی (Zn)	پلی‌کلروبایفنیل‌ها (PCBs)	

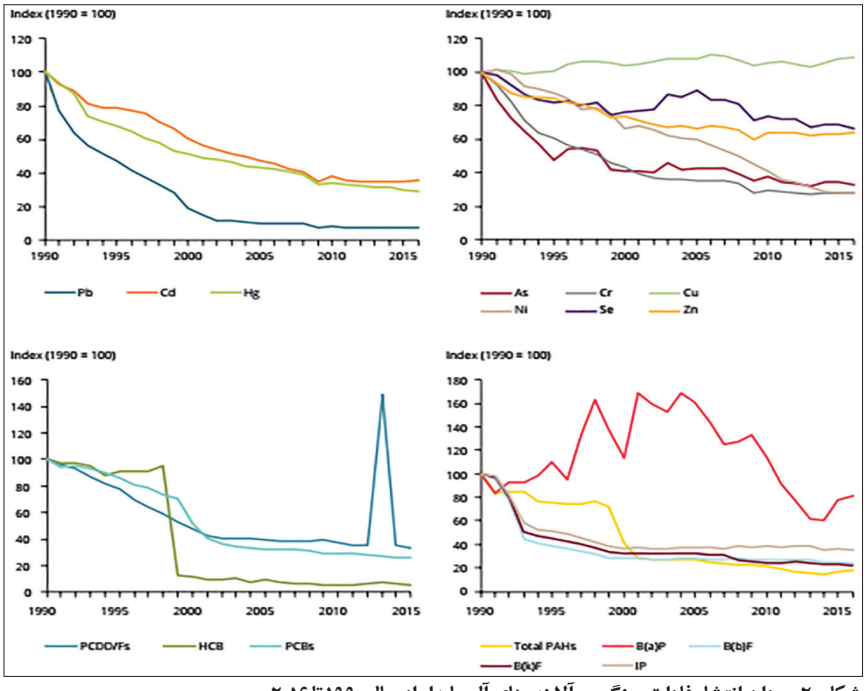
فـرّار و اکسـیدهای نیتروژن قطعـا منجر به کاهش غلظت آلاینده اوزون سـطحی در بازه زمانی مذکور شده است.

طبـق شـکل ۱۹ در سـال ۲۰۱۶ میانگین میزان انتشـار TSP نسـبت به سـال ۲۰۰۰ تقریبـا ۲۲درصـد و نسـبت به سـال ۱۹۹۰ تقریبا ۵۴درصد کاهش یافته است. همچنین در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ میزان انتشـار مسـتقیم PM۱۰، PM۲٫۵ و کربـن سـیاه (BC) به ترتیـب ۲۶، ۲۸ و ۴۱درصد کاهش پیدا کرده اسـت. علت کاهش انتشـار ذرات معلـق اسـتفاده از فناوری‌هـای بهبودیافته در بخـش انـرژی، حمل‌ونقـل و صنعـت و همچنین بهبود کیفیت سـوخت بوده است. البتـه کاهـش انتشـار اکسـیدهای گوگرد، اکسـیدهای نیتـروژن و آمونیـاک نیز بدون شـک در کاهش غلظـت ذرات معلق در جو نقش موثری ایفا کرده است.

در شـکل ۲۰ روند کاهشـی میزان انتشـار فلزات سـنگین و آلاینده‌های آلی پایدار طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ مشاهده می‌شود. تنهـا انتشـار مـس در ایـن مـدت ۸ درصد افزایش داشته اسـت. میزان انتشار تجمعی آلاینده‌هـای آلی پایـدار در این بـازه زمانی ۸۳درصد کاهـش پیدا کرده اسـت. کاهش انتشـار فلـزات سـنگین و آلاینده‌های آلی پایدار از سـال ۱۹۹۰ در نتیجه کنترل منابع



شکل ۱۹: سیر نزولی انتشار آلاینده‌های اصلی و ذرات معلق در اتحادیه اروپا



شکل ۲۰: میزان انتشار فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی پایدار از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶

نقطـه‌ای به‌ویـژه واحدهای صنعتـی اتفاق افتـاد. اسـتفاده از فناوری‌هـای بهبودیافته کاهـش آلایندگـی در فرایندهـای تصفیـه آب و ذوب و پالایـش فلـزات و همچنیـن تعطیلی صنایع قدیمی نیز در کاهش انتشـار این آلاینده‌ها موثر بوده اسـت. روند کاهشی انتشـار این آلاینده‌ها در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ شدیدتر بوده است.

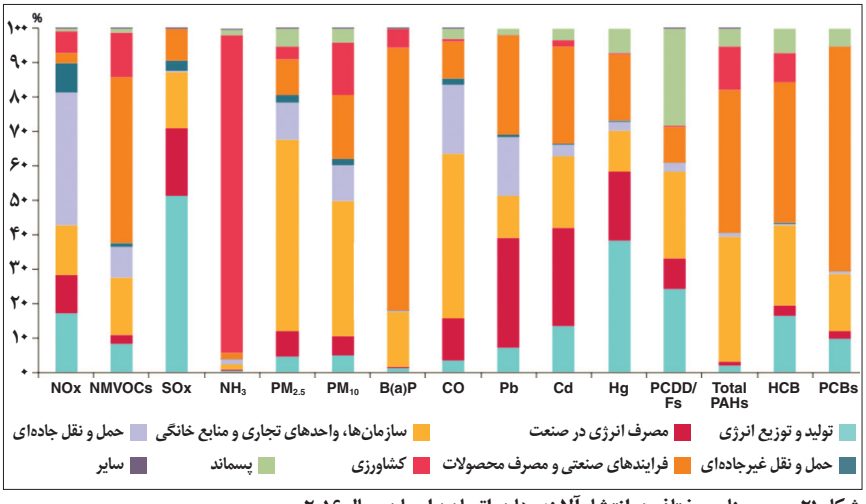
در شـکل ۲۱ منابع آلاینده و سهم هریک در انتشـار آلاینده‌های هـوا در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶ نشان داده شده است. مجموعه نتایج ارائه‌شده نشان می‌دهد که اتحادیه اروپا به‌خوبی توانسـته آلاینده‌های اصلی و منابع انتشار آنها را شناسایی کند و به‌صورت منظم و پیوسته وضعیت را پایش می‌کند.

در شکل ۲۲ سـیاهه انتشار مربوط به گوگرد دی‌اکسـید و کربـن مونواکسـید در ایالات متحده در کنار غلظت اندازه‌گیری‌شـده این دو آلاینده در سطح این کشور از سال ۱۹۹۰ تا سـال ۲۰۱۶ نشـان داده شـده است. دو شـکل بالا داده‌های مربوط به ایستگاه‌های اندازه‌گیری در کل کشـور و دو شـکل پایین داده‌های مربوط به سـیاهه انتشـار هستند. همان‌طور کـه ملاحظه می‌شـود داده‌های حاصل از اندازه‌گیـری و داده‌های مربوط به سیاهه انتشار همخوانی جالبی دارند.

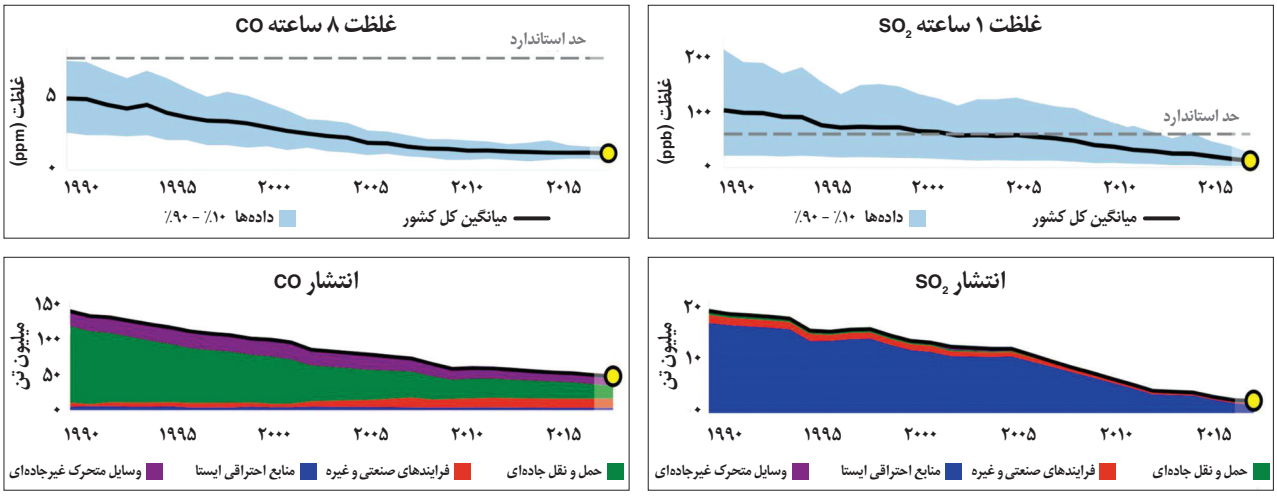
در ایـن بخش از گـزارش نتایـج موجود در مورد سـیاهه انتشـار ایران ارائه می‌شود. در شـکل ۲۳ سـهم منابـع مختلف در انتشـار آلاینده‌هـای اصلی هوا بـر مبنای داده‌های سـال ۹۲ در شـهر تهران نشـان داده شده. همان‌طور که مشخص است، منابع متحرک نقش پررنگی در انتشار آلاینده‌های هوا دارند. منابع متحرک شـامل خودروهای شخصی، تاکسـی‌ها، اتوبوس‌هـا، مینی‌بوس‌هـا و خودروهای باری سـبک و سنگین می‌شود. ۸۵درصد انتشـار کل آلاینده‌ها سـهم منابع متحرک و سـهم منابع ثابت ۱۵درصد است. در مورد ذرات معلق باید اشـاره کرد که آنچه در سـیاهه انتشـار گزارش می‌شـود، میزان انتشـار مسـتقیم ذرات معلـق اسـت. نتایج نشـان می‌دهد که در سال ۹۲ میزان انتشار ذرات معلـق ۸/۶ هـزار تـن بوده اسـت که ۷۰درصد آن سـهم منابع متحرک، ۲۰درصد سهم پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، ۷درصد سهم صنایع، ۲درصد سهم منابع خانگی و تجاری و یک درصد سـهم پایانه‌های گاز بوده است. ۸۵درصد کل انتشـار ذرات از منابع متحرک مربوط بـه خودروهای سـنگین و ۱۲درصد سـهم موتورسـیکلت‌ها می‌شـود و سـهم خودروهای سـبک تنها ۳درصد است. علت اصلی آلایندگی خودروهای سنگین در تهران فرسـودگی آنها اسـت. به‌طور متوسـط عمر ۳۰درصد وسـایل نقلیه سـنگین و ۶۰درصد مینی‌بوس‌ها بیش از ۲۰ سال است.

نتایـج پروژه سـیاهه انتشـار شـهر تهران با تعمیـم دادن به سـایر کلان‌شـهرها مبنای تدویـن «برنامـه کاهـش آلودگـی هـوای کلان‌شـهرها» قـرار گرفت کـه در خرداد سـال ۹۵ بـه تصویـب هیأت دولت رسـید. همچنین بـا بهره‌گیری از نتایج این تحقیق، یک برنامه چهارسـاله بـرای کاهش آلودگی هوا در پایتخت تدویـن گردید که طبق آن با صـرف ۷۵۰۰۰ میلیارد ریال، انتشـار ذرات معلق به میزان ۵۵درصد و سایر آلاینده‌های گازی به میزان ۴۵درصد کاهش پیدا خواهد کرد. عمـده اقدامات در ایـن برنامه مربوط به نوسـازی و بهسـازی نـاوگان حمل‌ونقل می‌شـود. این موضـوع نشـان می‌دهد که وجود سیاهه انتشـار برای سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها بسیار ضروری است. سیاهه انتشار به تحلیل هزینه‌ها و بررسی اثربخشی اقدامات کمک می‌کند.

در اتحادیه اروپا طیف وسیع‌تری از آلاینده‌ها پایش می‌شـود، حال آنکه در ایران تخمینی از میزان انتشـار برخـی آلاینده‌های خاص مثل فلزات سـنگین، آلاینده‌های آلی پایدار و آمونیـاک وجود نـدارد. همچنین گسـتره وسـیع‌تری از منابع آلاینـده در اتحادیه اروپا مـورد بررسـی قـرار می‌گیـرد. نتایج نشـان می‌دهد که در اروپا بخش کشاورزی و پسماند سـهم قابـل توجهـی در انتشـار آلاینده‌ها، به‌ویـژه ذرات معلـق PM۲/۵ و PM۱۰ و ترکیبات آلی فـزار دارند. این درحالی اسـت کـه نقش ایـن دو منبـع آلاینـده در آلودگی هـوای ایران هنوز مطالعه نشـده اسـت. در اتحادیـه اروپا و ایالات متحـده روند تغییرات میزان انتشـار آلاینده‌ها از سال ۱۹۹۰ قابل مشـاهده اسـت. در حالی که در ایران حتی یک روند دو سـاله نیز موجود نیست. بنابراین به‌سـختی می‌توان در مـورد روند بهتر یا بدتر شـدن کیفیت هـوا در ایران، در سـطح ملی اظهار نظر کرد. تنها ملاکی که در دسـترس



شکل ۲۱: سهم منابع مختلف در انتشار آلاینده‌ها در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶



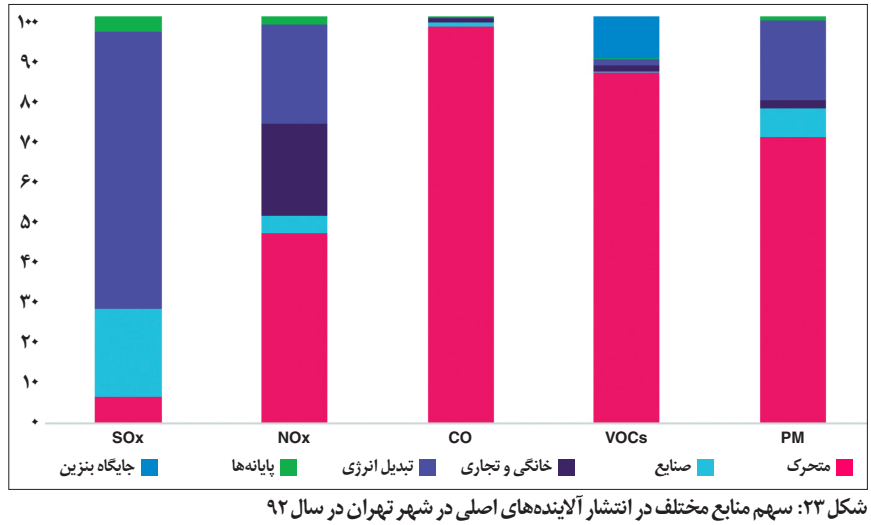
شکل ۲۲: تطابق سیاهه انتشار با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت گوگرد دی‌اکسید و کربن مونواکسید در ایالات متحده

است، شمارش تعداد روزهای پاک، سالم و یا ناسالم بر مبنای اندازه‌گیری‌ها است که آن هم با وضعیتی مشابه شهر اصفهان که در این گزارش در مورد آن بحث شد نمی‌تواند چندان قابل استناد باشد.

آنالیز شیمیایی ذرات معلق

یکی از مهم‌ترین معضلات آلودگی هوا در ایران، غلظت بیش از حد ذرات معلق در جو است. تحلیل دقیق و شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهنده ذرات معلق در جو و همچنین تخمین سهم منابع در انتشار این آلاینده‌ها به منظور کنترل و مدیریت آن ضروری است. تنها گزارش رسمی که از مطالعه ذرات معلق در ایران تاکنون منتشر شده، نتیجه تحقیقی است که به سفارش شرکت کنترل کیفیت هوای تهران انجام شده است. نتایج این تحقیق که در آذر ماه سال ۹۵ منتشر شده، در این بخش ارائه می‌گردد.

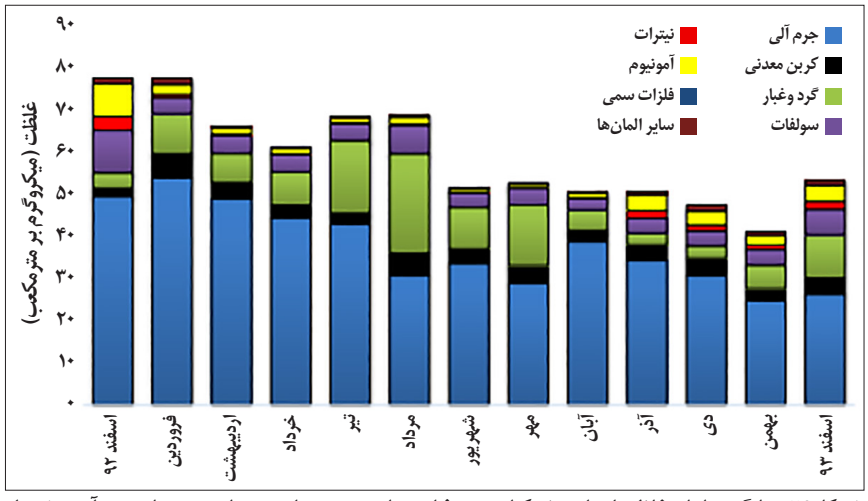
در پروژه مذکور از اسفند ۹۲ تا اسفند ۹۳ به‌صورت هر شش روز یک‌بار، مجموعا ۵۱ روز از ایستگاه پایش کیفیت هوای دانشگاه صنعتی شریف نمونه‌برداری صورت گرفت و نمونه‌ها برای انجام مطالعات آزمایشگاهی به دانشگاه ویسکانسین آمریکا ارسال گردید. نمونه‌ها از فیلترهای کوارتز و تفلون جمع‌آوری شده است. پس از شناسایی ترکیبات نمونه‌ها، به کمک مدل‌های آماری سهم منابع مختلف در تولید ذرات معلق در طول دوره نمونه‌برداری تعیین گردید.



شکل ۲۳: سهم منابع مختلف در انتشار آلاینده‌های اصلی در شهر تهران در سال ۹۲

نتایج مطالعات آزمایشگاه نشان می‌دهد که بخش عمده ذرات معلق در جو تهران را جرم آلی، کربن معدنی، ذرات گرد و غبار و یون‌های غیر آلی محلول در آب مثل نیترات، سولفات، کلرید و آمونیوم تشکیل می‌دهند. البته سهم هر یک از موارد ذکرشده در غلظت ذرات معلق در جو در فصول مختلف سال متفاوت است. در شکل ۲۴ ترکیب ذرات معلق در ماه‌های مختلف سال، و در شکل ۲۵ میانگین سالانه ترکیبات ذرات معلق نشان داده شده است. طبق این شکل ترکیبات آلی، ذرات گرد و غبار و سولفات‌ها مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق در تهران هستند. در فصل‌های گرم و خشک ذرات گرد و غبار با بیشینه ۵۶درصد و میانگین ۳۵درصد سهم بیشتری در ذارت معلق موجود در جو دارند.

نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که سهم منابع انسانی در انتشار ذرات معلق ۷۶درصد و سهم منابع طبیعی ۲۴درصد است. ۶ منبع شامل وسایل نقلیه بنزینی، دیزلی، خودروهای دودزا، احتراق نفت کوره، احتراق بیومس و ذرات ناشی از تجزیه گیاهان به‌عنوان منابع اصلی انتشار ذرات معلق در تهران شناخته شده‌اند (شکل ۲۶). در مجموع ۷۲درصد غلظت کربن آلی و



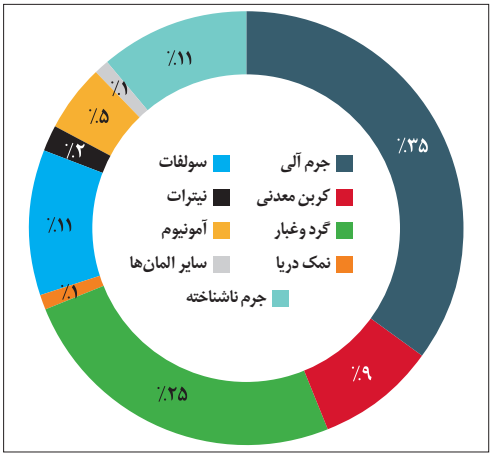
شکل ۲۴: میانگین ماهانه غلظت اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق در جو تهران بر مبنای نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف

۲۹درصد کل PM۲٫۵ منتشرشده مربوط به منابع متحرک است. البته باید اشاره کرد که میزان مشارکت منابع در انتشار ذرات معلق در فصول مختلف متفاوت است.

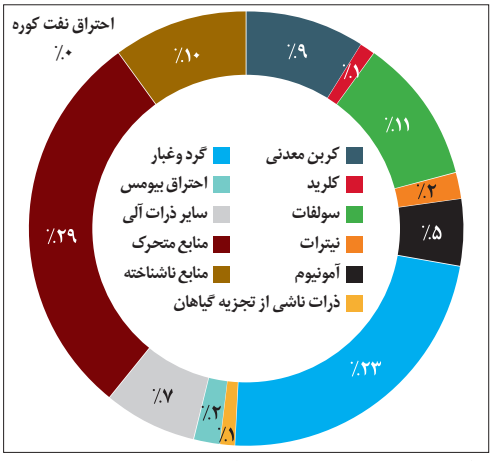
درحالی‌که آنالیز شیمیایی ذرات معلق در ایران تنها در یک سال و تنها برای یک ایستگاه انجام شده است، در ایالات متحده از سال ۲۰۰۰ میلادی داده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی ذرات معلق برای بسیاری از ایستگاه‌های سطح کشور موجود است. در شکل ۲۷ سهم اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق در چهار ایستگاه در ایالات متحده نشان داده شده است. باید اشاره کرد که در هر چهار ایستگاه نشان داده شده در طول ۱۶ سال غلظت ذرات معلق از حد استاندارد (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) کمتر بوده است. در دو ایستگاه مشاهده می‌شود که در طول این بازه زمانی غلظت ذرات معلق کمتر از ۳ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. با این حال ایالات متحده به‌صورت پیوسته و منظم ذرات معلق را در این ۴ ایستگاه آنالیز کرده است.

نتیجه‌گیری

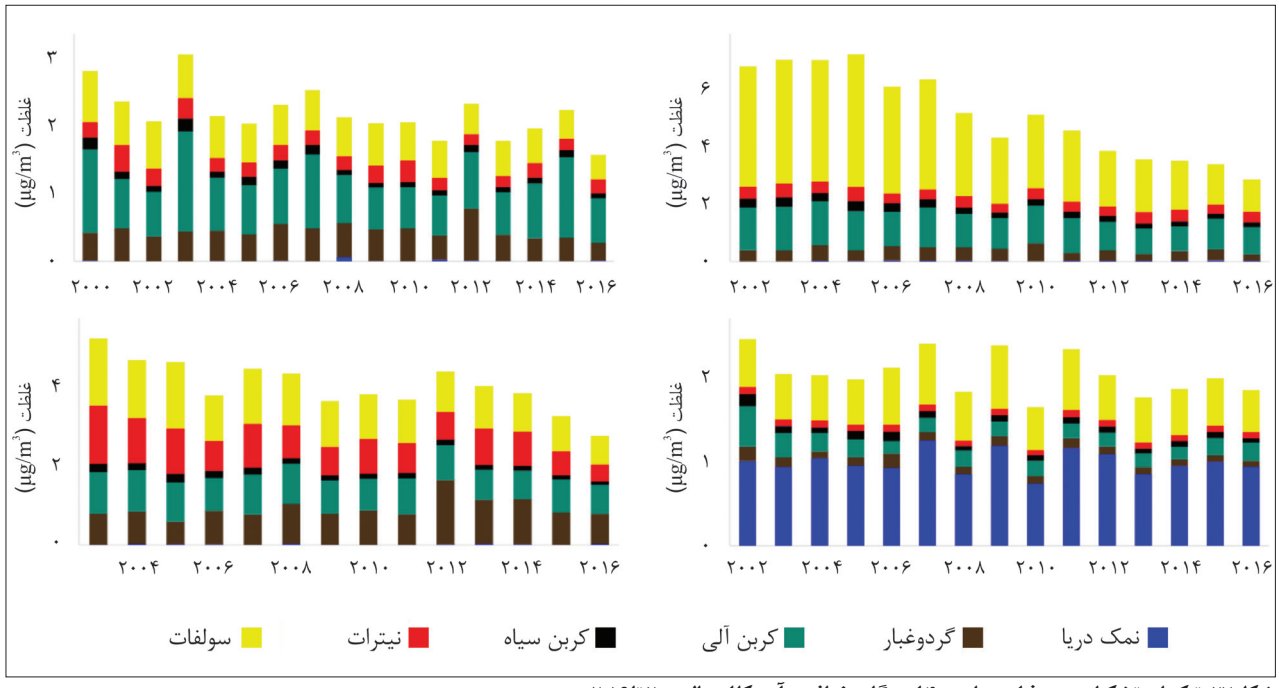
هدف اصلی مقاله حاضر بررسی وضعیت آلودگی هوا در ایران نیست. بلکه هدفش روشن‌کردن این مطلب است که مسأله آلودگی هوا هنوز در ایران به‌صورت دقیق و کارآمد تحلیل نشده است. مسلما اولین گام در حل یک مسأله، تحلیل و فهم دقیق صورت‌مسأله است. بهترین راه برای نشان‌دادن این موضوع، مقایسه گزارش‌ها و نتایج ارائه‌شده در مورد ابعاد مختلف آلودگی هوا در ایران و الگوهای جهانی است. به استناد نتایج ارائه‌شده، اتحادیه اروپا و ایالات متحده تاکنون در زمینه کنترل کیفیت هوا بسیار موفق عمل کرده‌اند. در کنار استفاده از فناوری‌های بهبودیافته و نظم و انضباط قانونی، مهم‌ترین عامل موفقیت این کشورها تحلیل دقیق آلودگی هواست. اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا و سیاهه انتشار دو ابزار بسیار کلیدی تحلیل آلودگی هوا هستند. مقایسه گزارش‌های منتشرشده از کیفیت سوخت و سیاهه انتشار در ایران و اتحادیه اروپا نشان می‌دهد که لازم است وقت و هزینه بسیار بیشتری برای تحلیل آلودگی هوا در ایران صرف شود و باید اهمیت بیشتری برای آن قائل شد. از دقت و به‌نوعی وسواس آلمان و آمریکا در اندازه‌گیری‌ها باید الگو گرفت. کشور آلمان علی‌رغم اینکه از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۱۶ حداکثر ۱/۸ درصد نمونه‌های سوخت دیزلش در هر سال مردود بوده، کماکان به‌صورت پیوسته و منظم همه پارامترهای مربوط به کیفیت دیزل را اندازه‌گیری می‌کند. آمریکا در حالی که در طول ۱۷ سال غلظت ذرات معلق در برخی از ایستگاه‌هایش از حد استاندارد کمتر بوده، از آنالیز شیمیایی ذرات در آن ایستگاه‌ها غافل نبوده است. احتمالا در چنین شرایطی در ایران از آنالیز ذرات در آن ایستگاه‌ها صرف نظر می‌شد. کما اینکه این اتفاق در مورد سنجش کیفیت سوخت افتاده و اندازه‌گیری برخی پارامترها از اولویت



شکل ۲۵: میانگین سالانه غلظت اجزای تشکیل‌دهنده ذرات معلق در نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۲۶: سهم‌بندی منابع انتشار ذرات معلق



شکل ۲۷: ترکیبات تشکیل‌دهنده ذرات معلق در ۴ ایستگاه مختلف در آمریکا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶

خارج شده است. با توجه به اینکه ذرات معلق یکی از آلاینده‌های مهم هستند و به سلامت جامعه و محیط زیست آسیب‌های جدی وارد می‌کنند، لازم است دقیقا تحلیل شوند. مقایسه آنچه از آنالیز شیمیایی ذرات معلق در ایران و آنچه در آمریکا وجود دارد، نشان می‌دهد که در این زمینه باید بیشتر همت شود. یکی دیگر از مواردی که باید به آن توجه ویژه کرد، آلاینده‌های خاص هستند. ایالات متحده توانسته ۳۰ آلاینده سمی مهم و ۶۸ منبعی که بیش از ۹۰درصد این آلاینده‌ها را در فضای شهری منتشر می‌کنند، شناسایی کند. در اتحادیه اروپا نیز روند تغییرات میزان انتشار آلاینده‌های سمی از سال ۱۹۹۰ قابل مشاهده است. در حالی که در ایران هیچ‌گونه تخمینی در این زمینه وجود ندارد. مسأله مهم دیگر این است که قاعدتا در مورد مسائل مهم مربوط به آلودگی هوا مثل کیفیت سوخت و وضعیت آلاینده‌های مهم از جمله ترکیبات آلی فرّار، BTEX و فلزات سنگین نباید در مقالات علمی‌پژوهشی، کنفرانس‌ها و مصاحبه‌های مسئولان به دنبال بررسی موضوع بود. بلکه گزارش‌های رسمی باید از جانب سازمان‌های ذی‌ربط به‌صورت منظم منتشر شود و در دسترس عموم قرار بگیرد.

اصولا موجودنبودن یک گزارش رسمی از کیفیت هوا یا کیفیت سوخت در ایران خود حاکی از آن است که تحلیل آلودگی هوا در ایران به‌خوبی انجام نشده است.

مراجع

- احمد طاهری، وحید حسینی؛ بررسی کیفیت سه‌ساله هوای شهر تهران بر اساس استانداردهای رایج جهانی، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، تیر ماه ۱۳۹۷
- حسین شهبازی، سینا تقوایی، وحید حسینی، حسین افشین؛ سیاهه انتشار آلایندگی مقدماتی شهر تهران برای سال مبنا ۱۳۹۲، چهارمین همایش ملی آلودگی هوا و صدا، دی ماه ۱۳۹۴
- فائزه برهانی، محسن میرمحمدی، علیرضا اصلمند؛ مطالعه تجربی غلظت آلاینده‌های بنزن، اتیل بنزن، تولوئن و زایلین در آلودگی هوای تهران، فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره سوم، شماره دوم، تابستان ۹۶
- محمد ارحامی، مریم زارع شحنه، نوید روفیگر، حسین حسنخانی، محمدعلی نجفی، وحید حسینی، جیمز شاور، الکس لی؛ آنالیز شیمیایی ذرات معلق هوای شهر تهران به منظور مطالعات منشأیابی، شرکت کنترل کیفیت هوا، آذر ماه ۱۳۹۵
- مریم نادری، مهسا رهرو مستقیم، وحید حسینی؛ بررسی اثرات کیفیت بنزین و دیزل بر انتشار آلاینده‌ها از خودروهای سواری و سنگین، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، خرداد ۱۳۹۲
- مریم نادری، وحید حسینی؛ پایش کیفیت بنزین و دیزل شهر تهران - سال‌های ۹۰ تا ۹۳، گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، تیر ۱۳۹۴
- Air quality in europ - 2018 report
- European Union emission inventory report 1990-2016
- European union fuel quality monitoring reports 2011-2016
- Toolkit for identification and quantification of release of dioxins, furans and other unintentional POPs, under artcle 5 of Stockholm convention, January 2013
- www.epa.org

سایه سنگین آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان

گزارش آماری از اثرات آلاینده‌های هوا بر بروز بیماری‌ها و مرگ و میر در دنیا

هـوا، آب و غـذا نیازهـای اساسـی هر فرد بـرای زندگـی اسـت. هرگونـه کاهـش در کیفیـت و کمیـت ایـن عناصر یـک تهدید جدی برای سلامت بشر خواهد بود. معمولا انسـان می‌تواند به مـدت ۵ هفته بدون غذا و بـه مـدت ۵ روز بدون آب زنـده بماند، اما نمی‌تواند بدون هوا حتی ۵ دقیقه زنده بماند. اگرچـه هوا یک عنصر ضروری اسـت، ولی استنشـاق هوای آلوده می‌تواند فرد را به کام مرگ بکشد. در یک بیان کلی، آلودگی هوا را می‌توان وجود هر نوع ماده‌ای در هوا دانست کـه ممکن اسـت بـه انسـان‌ها، حیوانات، پوشش گیاهی یا سایر موارد آسیب برساند.

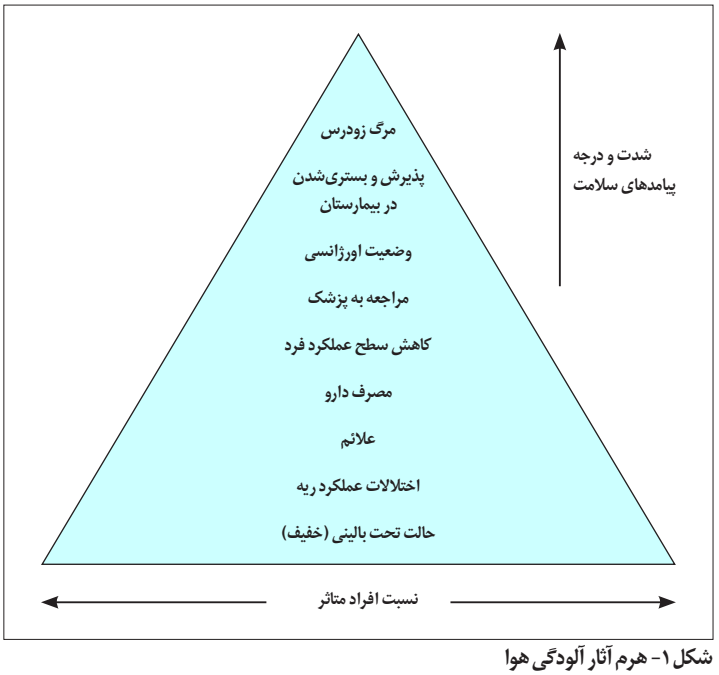
امروزه سـازمان بهداشـت جهانی (WHO) آلودگـی هـوا را خطرناک‌تریـن تهدیـد زیسـت‌محیطی برای سلامت بشـر معرفی کرده است. بر اساس برآوردهای انجام‌شده، هوای آلوده منجر بـه مرگ حدود ۷ میلیون نفر در سـال ۲۰۱۶ شده (۴/۳ میلیون مرگ ناشی از آلودگی در فضای باز و ۲/۶ میلیون ناشی از مرگ در فضای بسته) که بیش از دو برابر مرگ ناشـی از ایدز، سل و مالاریا بوده اسـت! قرار گرفتن در معـرض آلودگی هوا در فضـای باز با طیف گسـترده‌ای از اثرات حـاد و مزمن سـلامت از ایجاد حساسـیت گرفته تا حتی مرگ همراه اسـت. با توجه به تعریـف WHO از سـلامت، تمـام این نتایج به‌طـور بالقوه بـه ارزیابی تاثیرات سـلامت مربوط اسـت. به‌طـور کلی فراوانـی رخداد پیامدهـای سـلامت ناشـی از آلودگـی هوا ارتباط معکوسـی با شـدت این پیامدها دارد (شکل ۱).

در واقـع باید گفـت آثار آلودگی هـوا صرفا محدود به بروز سـریع علائمی مانند سرفه، سـوزش، تنگـی نفـس و ایجاد حساسـیت نیسـت و می‌توانـد بـا آثـار زیان‌بـاری کـه در بلندمـدت دارد، آسـیب‌های جـدی بـه ارگان‌هـای بـدن از جمله مغز، قلـب و ریه وارد کند.

در زمینـه ارزیابی میزان مرگ‌ومیر ناشـی از آلودگی هوا ابهاماتـی وجود دارد؛ اول اینکه از کجا می‌توان پی برد شخص بر اثر آلودگی هـوا فوت شـده اسـت. در بسـیاری موارد، بیمـاران قلبی‌عروقـی، افراد مبتلا به آسـم و افـراد آسـیب‌پذیر در اولویـت قـرار دارند. محققان در مجموع به خطر افتادن سلامت انسـان بر اثر آلودگی هوا را که به مرگ ختم شود، معیار مرگ‌ومیر ناشـی از آلودگی قرار می‌دهند.

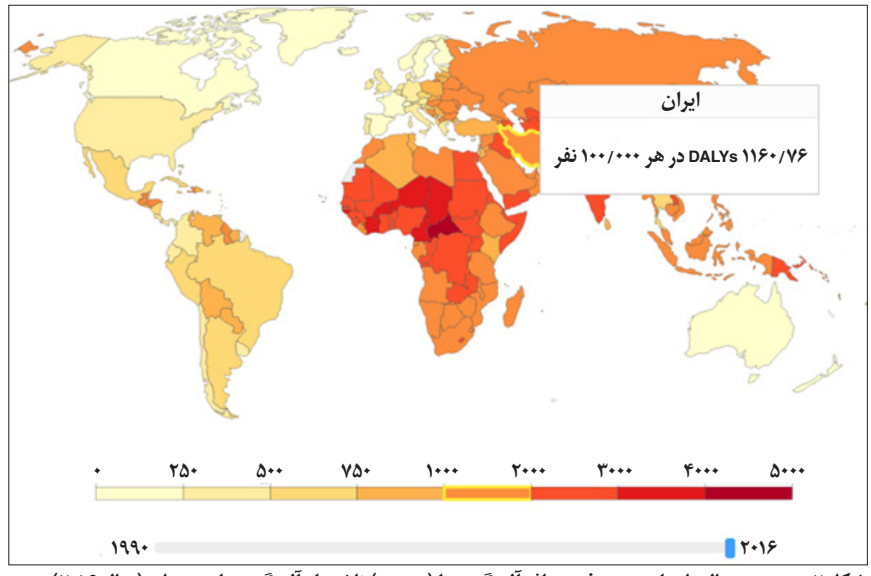
حـال به ایـن اندازه‌گیـری اشـکالاتی وارد اسـت؛ اول اینکه جمعیت کشـورها در این اندازه‌گیری دخیل اسـت. منطقی اسـت که انتظـار داشـته باشـیم تعـداد مرگ‌ومیر در کشـورهایی بـا جمعیت‌های بیشـتر، بالاتر باشـد و با رشـد جمعیت هماهنگ شود. به همیـن ترتیب، ممکن اسـت انتظار داشـته باشـیم تعداد مرگ‌ومیر در کشورهای دارای جمعیتـی مسـن بیشـتر باشـد. به‌منظـور اسـتانداردکردن میـزان مرگ‌ومیـر، بایـد شـاخصی بـرای اندازه‌گیری تعریف شـود. یک شـاخص متـداول، اندازه‌گیـری تعداد مرگ‌ومیـر ناشـی از آلودگـی هـوا در هـر ۱۰۰هزار نفر اسـت که بر اسـاس سـاختار سالانه جمعیت استانداردسازی می‌شود.

از دیگر مشـکلات در اعـلام آمار مرگ‌ومیر در کشـورهای مختلـف آن اسـت که هیچ نشانه‌ای از سن افراد در این آمار وجود ندارد؛ مثـلا تعداد کودکانی کـه از بیماری مرتبط با آلودگـی هوا می‌میرند، دقیقـا مانند یک فرد مسن محاسـبه می‌شوند. برای محاسبه این



شکل ۱- هرم آثار آلودگی هوا

1. disability adjusted life years



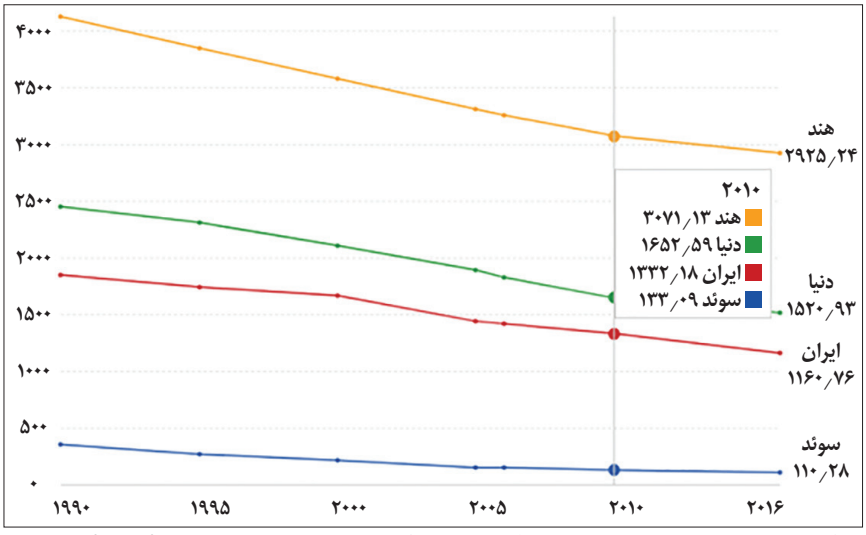
شکل ۲- مجموع سال‌های از دست‌رفته بر اثر آلودگی هوا (DALYs) ناشی از آلودگی هوا در جهان (سال ۲۰۱۶)

تفاوت‌ها، ما همچنین میزان مرگ‌ومیر را با استفاده از شاخص «DALYs[1]» یعنی «سال‌های زندگی با ناتوانی تعدیل‌شده» نشان می‌دهیم. DALY از محاسبه مجموع کل سال‌های زندگی از دست‌رفته در مرگ‌ومیر زودرس و سال‌های از دست‌رفته ناشی از معلولیت ناشی از آلودگی هوا تعیین می‌گردد. بنابراین کودکانی که از بیماری مرتبط با آلودگی می‌میرند، تعداد بیشتری از DALY را از دست می‌دهند تا یک فرد مسن. شاخص DALYs برای اولین‌بار به‌منظور محاسبه بار جهانی بیماری‌ها مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص از دو جزء تشکیل شده است: سال‌های ازدست‌رفته به‌واسطه مرگ زودهنگام (YLL[2]) و سال‌های ازدست‌رفته به‌واسطه زندگی توأم با ناتوانی (YLD[3]).

برای محاسبه جزء اول (YLL)، تعداد مرگ رخداده در مقطع زمانی مورد نظر در جامعه بر حسب جنس، سن و علت باید مشخص باشد. علاوه بر این اطلاعات باید سال‌های ازدست‌رفته بر اثر وقوع مرگ در هر سن را نیز بدانیم. یکی از روش‌های محاسبه سال‌های ازدست‌رفته، حاصل ضرب امید به زندگی و تعداد مرگ در هر گروه سنی است. امید به زندگی و تعداد مرگ را از جدول عمر استاندارد هر کشور می‌توان به دست آورد.

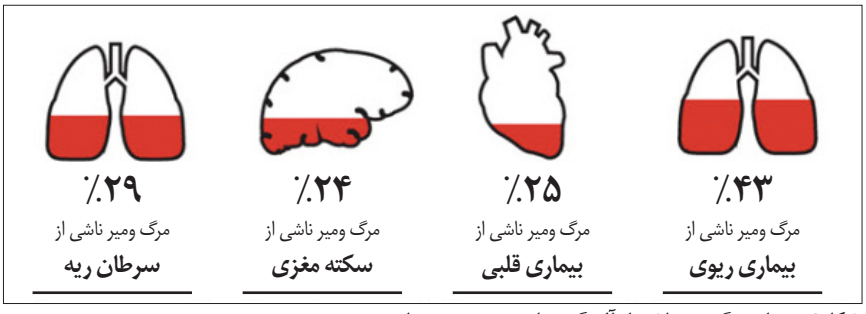
برای محاسبه جزء دوم (YLD) نیازمند موارد وقوع پیامدهای غیر کشنده یک بیماری، میانگین دوره ابتلا به هر پیامد و وزن ناتوانی ناشی از یک پیامد هستیم. سال‌های ازدست‌رفته ناشی از هر پیامد از ضرب این سه متغیر در یکدیگر به دست می‌آید. وزن ناتوانی نشان‌دهنده ارزش زمان به‌سربرده‌شده در یک ناتوانی خاص است و با افزایش آن بخشی از دوره پیامد که باید ازدست‌رفته تلقی شود، افزایش می‌یابد. شکل ۲ مجموع سال‌های ازدست‌رفته (DALYs) بر اثر آلودگی هوا را در کشورها نشان می‌دهد. رنگ زرد علامت کمترین تلفات است، هرچه به رنگ قرمز نزدیک‌تر می‌شویم مقدار این شاخص افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سال ۲۰۱۶ آلودگی هوا باعث از دست‌رفتن بیش از ۱۱۰۰ سال عمر تعدیل‌شده بر اساس ناتوانی (دالی) در هر ۱۰۰هزار نفر در کشور شده است. اگرچه باید توجه داشت میزان سال‌های عمر تعدیل‌شده بر اساس ناتوانی در ایران با یک روند کاهشی طی سال‌های اخیر همراه بوده است. شکل ۳ نمودار کاهشی میانگین DALYs را در ایران و جهان طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ نشان می‌دهد.

آلودگی هوا یک عامل اصلی در بیماری‌های غیر واگیر (NCD[4]) است. بر اساس آخرین مطالعه‌های بار جهانی بیماری‌ها و آسیب‌ها (GBD[5])، حدود ۷/۵درصد مرگ‌ومیر جهانی در سال ۲۰۱۶ ناشی از آلودگی هوا بوده است. همچنین در همان سال بیش از ۲۷/۵درصد مرگ ناشی از عفونت‌های دستگاه تنفسی و حدود ۲۶/۸درصد



شکل ۳- نمودار مجموع سال‌های ازدست‌رفته در نتیجه مرگ زودرس یا سپری‌شده با ناتوانی (DALYs) بر اثر عامل آلودگی هوا

2. years of life lost
3. years lived with disability
4. Noncommunicable diseases
5. Global Burden of Disease



شکل ۴- میزان مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا بر حسب نوع بیماری

مرگ‌ومیر حاصل از بیماری‌های مزمن ریوی، منسوب به آلودگی هوا بوده است. شکل ۴، درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا را با توجه به نوع بیماری نشان می‌دهد. حدود ۹۴درصد از این میزان مرگ‌ومیر عمدتا در کشورهایی با درآمد کم و متوسط رخ می‌دهد؛ بخش‌های جنوب شرقی آسیا و غرب منطقه اقیانوسیه به ترتیب با ۲٫۴ و ۲٫۲میلیون نفر، بیشترین میزان مرگ ناشی از آلودگی هوا را به دوش کشیده‌اند. حدود ۹۸۰هزار مرگ در آفریقا، ۴۷۵هزار در منطقه مدیترانه شرقی، ۳۴۸هزار مورد در اروپا و ۲۳۳هزار نفر نیز در آمریکا بوده است. سایر مرگ‌ومیرها در کشورهایی با درآمد بالا در اروپا، آمریکا و مدیترانه شرقی بوده است. در این میان کودکان به دلیل تنفس سریع‌تر و جذب آلاینده بیشتر، در برابر آلودگی هوا بسیار آسیب‌پذیرترند. گفته می‌شود بیش از یک مورد از هر چهار مرگ کودکان زیر ۵ سال به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم ناشی از عوامل زیست‌محیطی است. بر اساس برآوردهای WHO، در سال ۲۰۱۶، ۶۰۰ هزار کودک در جهان به دلیل عفونت‌های شدید دستگاه تنفس تحتانی ناشی از آلودگی هوا عمر خود را از دست داده‌اند. بخش عمده این تعداد مرگ‌ومیر نیز در کشورهای کم‌درآمد رخ می‌دهد؛ کودکان زیر ۵ سال در کشورهای کم‌درآمد بیش از ۶۰ برابر کودکان در کشورهای با درآمد بالا، بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند.

شایان ذکر است از میان انواع مختلف آلاینده‌ها، ذرات معلق (PM)، ازن (O3)، نیتروژن اکسید (NOx) و گوگرد دی‌اکسید (SO2)، خطرناک‌ترین نوع آلودگی برای سلامت بشر هستند که در ادامه به بررسی هریک می‌پردازیم:

ذرات معلق (PM)

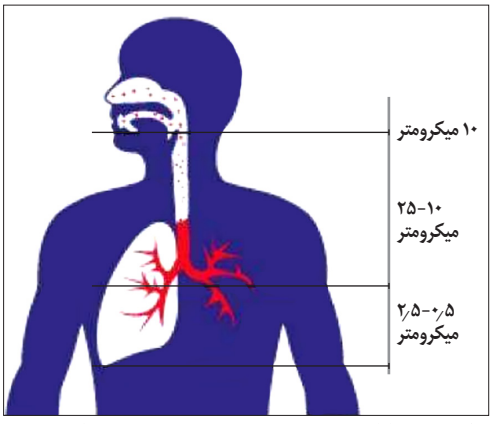
PMها با توجه به اندازه بسیار کوچکشان، می‌توانند به‌طور عمیق به دیواره هوا- خون در کیسه‌های هوایی نفوذ کرده و منجر به بروز بیماری‌های قلبی- عروقی و تنفسی شوند. به‌طوری‌که گفته می‌شود ذرات بسیار ریز (PM۰٫۱) می‌توانند به‌راحتی از غشای مویرگی آلوئول‌ها عبور کرده و از طریق جریان خون تمام سلول‌ها را در معرض مخاطره قرار دهند (شکل ۵). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC[6]) سازمان بهداشت جهانی، در سال ۲۰۱۳، PM را به‌عنوان یکی از علل سرطان ریه معرفی کرده است.

علاوه بر ابعاد کوچک PMها، نوع ساختار و ترکیب آنها به‌گونه‌ای است که ممکن است اجزای سمی روی سطح ذرات قرار گرفته و به بافت‌های بدن آسیب برساند. برای مثال عناصری مانند آرسنیک، سرب یا کادمیوم یا ترکیباتی مانند اسید سولفوریک یا هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای با نشست بر روی سطح ذرات فوق ریز، وارد ریه شده و تهدید جدی برای سلامت فرد محسوب می‌شوند.

به‌طور کلی PMها عمدتا ناشی از فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل و کشاورزی هستند و به دلیل وزن سبکشان می‌توانند از یک کشور به کشور دیگر منتقل شوند. برای مثال بیش از دو سوم PM۱۰ موجود در هلند از سایر کشورها منتقل شده است.

PM۲٫۵ به‌عنوان هفتمین عامل تهدیدکننده زندگی در سال ۲۰۱۳ معرفی شده است. بیش از ۵٫۳درصد مرگ‌ومیر در سال ۲۰۱۳ ناشی از PM۲٫۵ بوده است. خطرناک‌ترین پیامد PM۲٫۵ شامل بیماری قلبی‌عروقی، از جمله IHD[7]، سکته مغزی و سرطان است؛ دو میلیون مورد مرگ‌ومیر ناشی از بیماری قلبی‌عروقی (۳٫۷درصد مرگ‌ومیر جهانی) و ۳۸۷ هزار مورد مرگ‌ومیر ناشی از سرطان (۰٫۷درصد مرگ‌ومیر جهانی) مربوط به ذرات PM۲٫۵ در سال ۲۰۱۳ بوده است. به‌طور کلی در سال ۲۰۱۳، PM۲٫۵ منجر به ۱۳٫۶درصد مرگ ناشی از IHD، ۱۴٫۵درصد مرگ ناشی از سکته مغزی، ۲۳٫۶درصد مرگ ناشی از سرطان ریه و۵٫۷درصد مرگ ناشی از بیماری مزمن ریوی (COPD) و ۱۲٫۴درصد مرگ ناشی از پنومونی شده است.

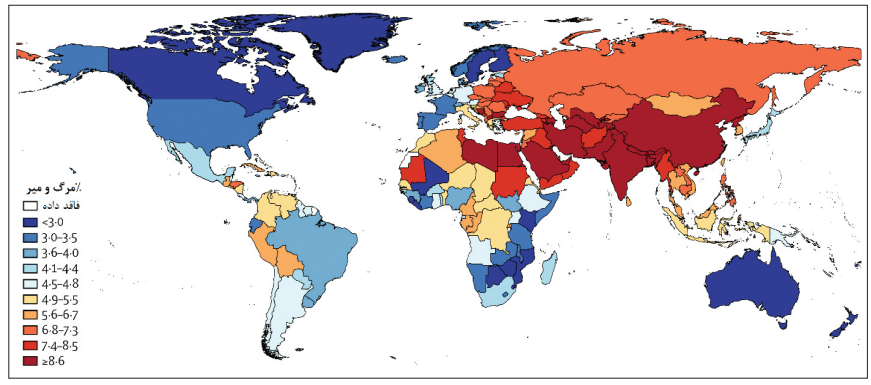
گفتنی است میزان مرگ‌ومیر ناشی از ذرات PM۲٫۵ از ۳٫۵ میلیون نفر در سال ۱۹۹۰ به ۳٫۸ میلیون نفر در سال ۲۰۰۰ رسیده و طی یک روند افزایشی در سال ۲۰۱۵، PM۲٫۵ منجر به مرگ ۴٫۲ میلیون نفر در جهان شده است. شکل ۶ میزان مرگ‌ومیر ناشی از ذرات PM را در نقاط مختلف جهان



شکل ۵- نفوذ ذرات معلق به مجاری ریه با توجه به ابعاد ذرات

6. International Agency for Research on Cancer

۷. بیماری ایسکمیک قلب



شکل ۶- میزان مرگ ومیر ناشی از PM در جهان (۲۰۱۵)

در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در اغلب کشورهای آسیایی از جمله ایران، درصد مرگ‌ومیر ناشی از ذرات معلق، در محدوده قرمز رنگ بوده که نشان از بحرانی بودن وضعیت ذرات معلق در این مناطق است.

متاسفانه در حال حاضر سطح PM در بسیاری از مناطق جهان فراتر از حد مجاز اعلام‌شده WHO است. در این زمینه، شاخص کیفیت هوای زندگی (AQLI[8])، یک ابزار تعاملی است که نشان می‌دهد با تنفس هوای تمیز، چقدر می‌توان طولانی‌تر زندگی کرد. در واقع این شاخص به نوعی به بررسی آثار بلندمدت آلودگی هوا بر سلامت افراد می‌پردازد. به‌عنوان مثال در کشور هند چنانچه سطح غلظت PM تا حد مجاز جهانی کاهش پیدا کند، بر اساس شاخص AQLI، مردم می‌توانند حداقل چهارسال طولانی‌تر زندگی کنند. گفتنی است در برخی شهرها از جمله دهلی چنانچه میزان PM تا حد مجاز WHO کاهش یابد، ساکنان ۹ سال طولانی‌تر قادر به زندگی خواهند بود!

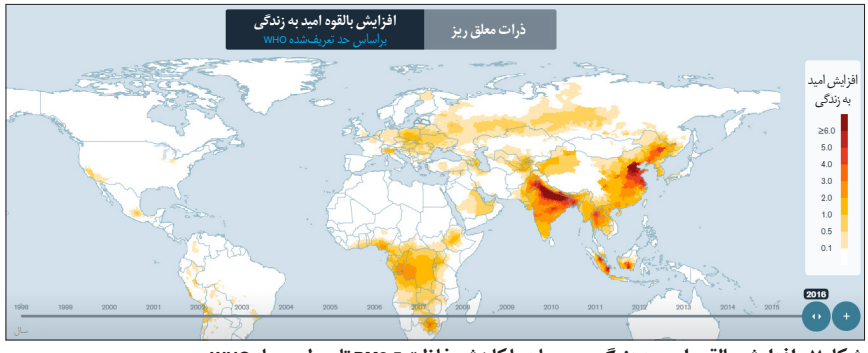
مدیر اجرایی موسسه انرژی دانشگاه شیکاگو (EPIC[9]) گفته است که «تاثیر PM بر سلامت بدن یک فرد مشابه سیگارکشیدن فرد طی سال‌های متوالی است!» بنابراین آگاهی از افزایش میزان طول عمر ناشی از کاهش PM، می‌تواند انگیزه جدی برای اتخاذ سیاست‌هایی در جهت کاهش سطح آلودگی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه باشد. در شکل ۷ و ۸ به ترتیب میزان افزایش بالقوه امید به زندگی با کاهش میزان PM تا حد اعلام‌شده WHO در نقاط مختلف جهان و ایران نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های فوق در کشور ایران نیز چنانچه غلظت PM به اندازه ۱ ($\mu g/m^3$) کاهش یابد، منجر به افزایش ۰/۲ سال در طول عمر مردم می‌گردد. در تهران نیز با کاهش غلظت PM به میزان ۴ ($\mu g/m^3$)، می‌توان شاهد افزایش بالقوه ۰/۴ سال در طول عمر زندگی افراد بود.

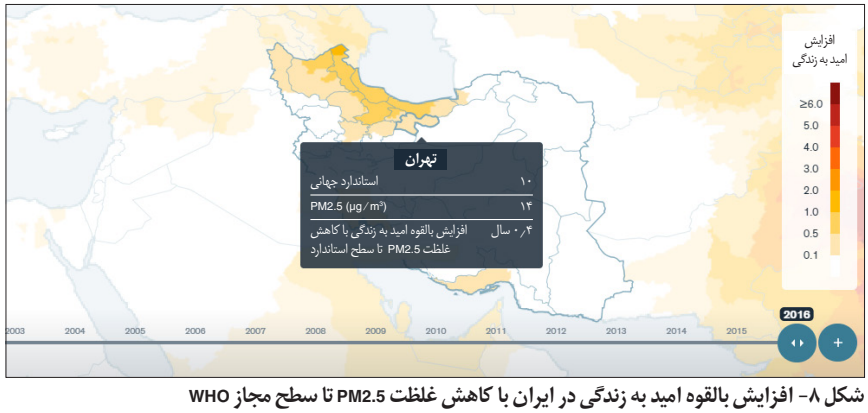
ازن (O3)

ازن که سپر حفاظتی زمین شناخته می‌شود، از ورود اشعه خطرناک ماوراء بنفش خورشید به سطح زمین جلوگیری می‌کند. ولی در ارتفاعات پایین‌تر، ازن یک آلاینده ثانویه است که در نتیجه واکنش بین نیتریک اکسید و ترکیبات آلی فرار (به‌عنوان هیدروکربن‌های موجود در بنزین) ایجاد می‌شود. این فرآیند فتوشیمیایی تنها می‌تواند تحت تابش خورشید رخ دهد؛ از این رو معمولا در تابستان با تابش خورشید و افزایش دما، غلظت آلاینده ازن افزایش می‌یابد.

ازن عمدتا با تاثیر بر ریه و دستگاه تنفسی، سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند.

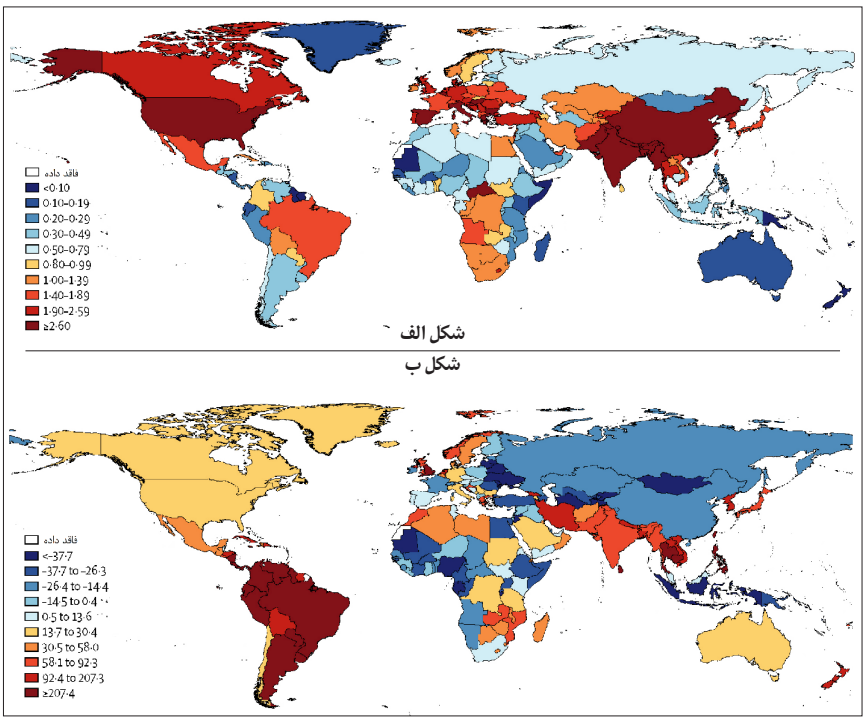


شکل ۷- افزایش بالقوه امید به زندگی در جهان با کاهش غلظت PM2.5 تا سطح مجاز WHO



شکل ۸- افزایش بالقوه امید به زندگی در ایران با کاهش غلظت PM2.5 تا سطح مجاز WHO

8. Air Quality-Life Index
9. Energy Policy Institute at the University of Chicago



شکل ۹- (الف): درصد مرگ‌ومیر ناشی از ازن (۲۰۱۵)، (ب): درصد تغییر تعداد مرگ‌ومیر ناشی از ازن (۱۹۹۰-۲۰۱۵)

به‌طوری‌که استنشاق ازن در سال ۲۰۱۵ منجر به مرگ ۲۵۴هزار نفر در جهان شده است. در سال ۲۰۱۵ ، ازن به‌عنوان سی‌وچهارمین عامل جهانی مرگ‌ومیر از میان ۷۹ عامل تهدیدکننده زندگی معرفی شده است. شکل ۹ (الف)، درصد مرگ‌ومیر ناشی از ازن را در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد. شکل (ب) نیز بیانگر درصد تغییر مرگ‌ومیر ناشی از ازن طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ است. همانطور که مشاهده می‌شود، میزان مرگ‌ومیر ناشی از ازن نیز در این بازه زمانی با افزایش روبرو بوده است؛ چنانچه در کشورهایی از جمله ایران درصد افزایش مرگ‌ومیر ناشی از ازن بیش از ۱۰۰ برابر بوده است!

نیتروژن اکسید (NOx)

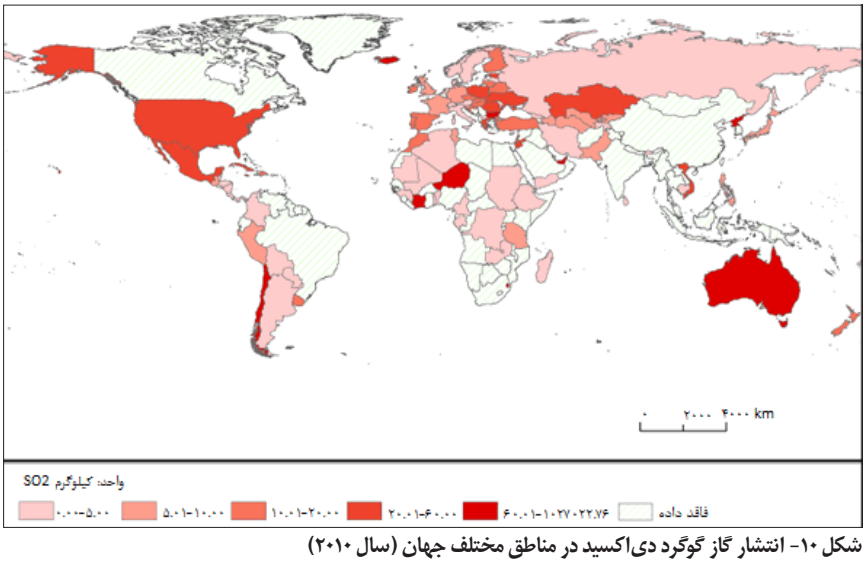
نیتریک اکسید و نیتروژن دی‌اکسید جمعا به NOx معروفند که نتیجه اکسیده‌شدن نیتروژن اکسید توسط ازن است. نیتروژن دی‌اکسید حاصل از واکنش‌های احتراق است و معمولا از سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها و اگزوز موتور وسایط نقلیه ظاهر می‌شود. قرار گرفتن در معرض نیتروژن دی‌اکسید می‌تواند عملکرد ریه را کاهش داده و منجر به بروز بیماری‌های تنفسی شود.

گوگرد دی اکسید (SO2)

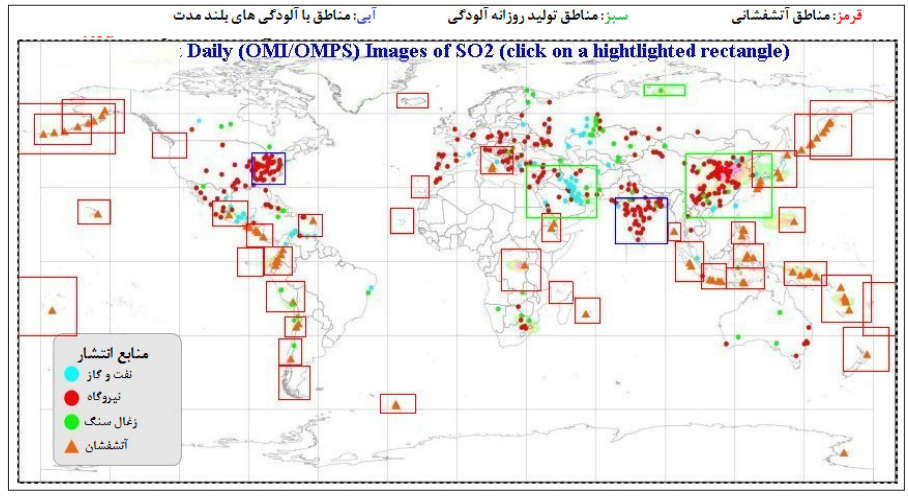
گوگرد دی‌اکسید (SO2) یک گاز خورنده تولیدشده از طریق مصرف سوخت حاوی گوگرد، مانند زغال سنگ و روغن است. گوگرد دی‌اکسید، منجر به تحریک پوست و غشاهای مخاطی (چشم‌ها، بینی، گلو و ریه‌ها) شده و می‌تواند بر سیستم تنفسی تاثیر بگذارد. گوگرد دی‌اکسید با آب موجود در هوا واکنش داده و منجر به تشکیل اسید سولفوریک می‌شود که جزء مهمی از باران‌های اسیدی است. شکل ۱۰ و ۱۱ به ترتیب میزان انتشار و منابع انتشار گاز SO2 را در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد.

بررسی روند میزان آلاینده‌ها در آینده

در غیاب اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه، تغییرات تکنولوژیکی مخرب، افزایش فعالیت‌های اقتصادی و تقاضای انرژی، باید شاهد افزایش میزان آلاینده‌ها در سطح جهان طی دهه‌های آتی بود. در این زمینه OECD به پیش‌بینی انتشار آلاینده‌ها در طول زمان بر اساس مدل‌های محیط زیستی (مدل ارتباطی ENV) پرداخته است که در آن برخی از آلاینده‌ها، بویژه نیتروژن اکسید، تا سال ۲۰۶۰ تقریبا دو برابر خواهد شد! در شکل ۱۲ پیش‌بینی میزان انتشار آلاینده‌های رایج نظیر کربن سیاه خاص (جزیی از ذرات معلق PM۲٫۵)، کربن مونوکسید، نیتروژن اکسید و گوگرد دی‌اکسید نشان داه شده است.



شکل ۱۰- انتشار گاز گوگرد دی‌اکسید در مناطق مختلف جهان (سال ۲۰۱۰)

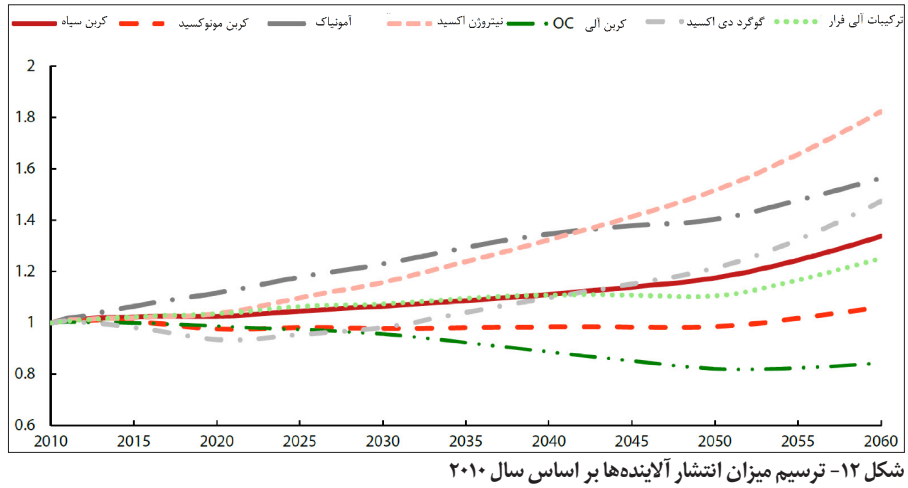


شکل ۱۱- منابع انتشار گاز گوگرد دی‌اکسید در مناطق مختلف جهان

همانطور که مشاهده می‌گردد، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۶۰ میزان انتشار اکثر آلاینده‌ها رو به رشد باشد. بنابراین ضروری است در وهله اول منابع انتشار هریک از آلاینده‌ها به درستی شناسایی شده و سپس طی یک رویکرد جامع جهت کاهش میزان آلودگی هوا گام برداشت.

جمع‌بندی

در دهه‌های اخیر آلودگی هوا یک تهدید جدی برای سلامت بشر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران محسوب می‌شود. به‌طوری‌که گفته می‌شود آلودگی هوا چهارمین خطر بزرگ برای سلامت انسان، بعد از فشار خون بالا، خطرات رژیم غذایی و سیگارکشیدن است. استنشاق هوای آلوده عمدتا با تاثیر بر سیستم‌های تنفسی، قلب و عروق، چشم، پوست، دستگاه عصبی، هماتولوژیک[۱۰]، ایمونولوژیک و دستگاه تولید مثل، منجر به بروز انواع بیماری‌ها و در نهایت افزایش میزان مرگ‌ومیر در جوامع می‌گردد. از این رو کنترل و مدیریت آلودگی هوا باید در اولویت اول دولت‌ها قرار گیرد. این امر نیازمند اتخاذ یک رویکرد همه‌جانبه و همکاری بخش‌های مختلف از قبیل حمل‌ونقل، انرژی و صنعت برای کاهش خطر آلودگی هوا است. به‌وضوح با کاهش آلودگی هوا، میزان بیماری و هزینه‌های مرتبط با سلامت کاهش یافته و بدین ترتیب بهره‌وری و امید به زندگی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- ترسیم میزان انتشار آلاینده‌ها بر اساس سال ۲۰۱۰

۱۰. هماتولوژیک: خون و ارگان‌های تولیدکننده

منابع :

- Air pollution and child health: prescribing clean air. World Health Organization 2018
- Burden of disease from the joint effects of household and ambient Air pollution for 2016, World Health Organization, May 2018.
- Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015.
- http://geoawesomeness.com/air-pollution-map-life-expectancy-ishveena-singh/
- https://aqli.epic.uchicago.edu/the-index/ https://www.who.int/airpollution/en/
- https://ourworldindata.org/air-pollution
- https://ourworldindata.org/grapher/death-rate-from-pm25-vs-pm25-concentration?country=AFG+ARM+AZE+BHR+BGD+BTN+BRN+KHM+CHN+GEO+IND+IDN+IRN+IRQ+ISR+JPN+JOR+KAZ+KWT+KGZ+LAO+LBN+MYS+MDV+MNG+MMR+NPL+PRK+OMN+PAK+PSE+PHL+QAT+-SAU+SGP+KOR+LKA+SYR+TJK+THA+TLS+TUR+TKM+ARE+UZB+VNM+YEM
- https://so2.gsfc.nasa.gov/
- Mark LI, Lé o MALLAT. Health impacts of air pollution. 2018
- Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. WHO Working Group.2000
- Schraufnagel DE, Balmes J, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, Perez-Padilla R, Rice MB, Riojas-Rodroguez H, Sood A, Thurston GD. Air Pollution and Non-Communicable Diseases: A review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee. Part 2: Air pollution and organ systems. Chest. 2018 Nov 9.
- www.isna.ir

شهرام سپهرنیا
رئیس گروه پایش آلودگی هوا و صدای محیط، سازمان محیط‌زیست
فرشید آقا کوچک زاده
کارشناس مکانیک - طراحی جامدات

روش‌ها و استانداردهای تحلیل آلاینده‌های خروجی از صنایع

با توجه به افزایش روزافزون منابع نشر آلاینده‌ها و توسعه صنایع بزرگ از جمله پالایشگاه، پتروشیمی، فولاد، نیروگاه و... میزان آلاینده‌هایی که به اتمسفر وارد می‌گردند رو به افزایش است و به تبع آن انسان، جانوران، گیاهان، خاک و... آسیب جدی خواهند دید. اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی از صنایع با توجه به شناخت فرایندی و ارائه طرح جامع پایش لحظه‌ای آلاینده‌ها از مهم‌ترین راهبردهای کاهش و کنترل آلاینده‌ها است. بررسی روش‌های اندازه‌گیری، محدودیت‌ها، مزایا و معایب و رعایت استانداردها و قوانین بین‌المللی از اهداف این مقاله است تا بتوان بهترین روش را برای آنالیز آلاینده‌ها برگزید.

بر اساس بند ب ماده ۱۹۰ قانون برنامه پنجم توسعه به‌منظور کاهش عوامل آلوده‌کننده و مخرب محیط زیست، کلیه واحدهای بزرگ صنعتی و غیر صنعتی مشمول، موظفند نسبت به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آلودگی و تخریب زیست‌محیطی خود اقدام و نتیجه را در چارچوب خوداظهاری به سازمان حفاظت محیط زیست ارائه دهند. به موجب این مصوبه واحدهایی که قابلیت و ضرورت نصب و راه‌اندازی سیستم‌های پایش لحظه‌ای و مداوم (آنلاین) را دارند باید تا پایان سال سوم برنامه، نسبت به نصب و راه‌اندازی سامانه سیستم‌های مذکور اقدام کنند. متخلفان مشمول ماده ۳۱ قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا می‌شوند. واحدها باید گزارش پیشرفت کار را هر سه ماه یکبار به ادارات کل و دفتر پایش ارسال نمایند.

روش‌های مختلف آنالیز گازها بسته به شرایط فرایندی متفاوت است و محدودیت‌هایی نیز به همراه خواهد داشت. وجود گازهای خورنده، دمای خروجی، میزان رطوبت، میزان فشار و تعدادی از پارامترهای دیگر در انتخاب روش اندازه‌گیری آلاینده‌ها تاثیر دارد. با توجه به اینکه سیستم‌های پایش لحظه‌ای باید به‌صورت طولانی‌مدت استفاده گردند، دانش روش‌های اندازه‌گیری آلاینده‌ها کمک شایانی به صنایع می‌کند.

استراتژی پایش مشخص می‌کند چه کسی، کجا و چه موقع نمونه‌برداری را انجام دهد. چه مدت نمونه‌برداری انجام شود چند نمونه و با کدام روش گرفته شود. (شکل ۱)

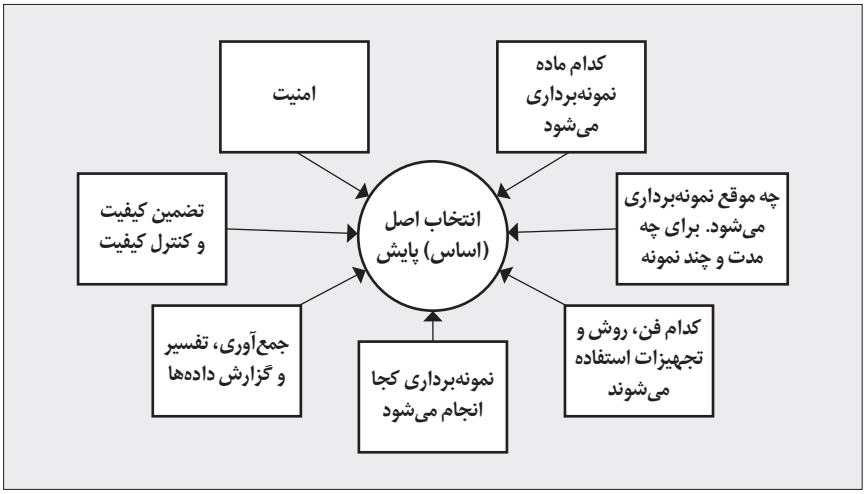
مطابق قوانین سازمان‌های محیط زیست بین‌المللی و محیط زیست کشور، ترکیبات گوگردی از جمله SO2، اکسیدهای نیتروژنی (NOx) و ترکیبات کربنی از جمله CO آلاینده‌های زیست‌محیطی به شمار می‌روند. سایر گازها همچون H2S, HCL, NH3 و... بسته به شرایط فرایند و میزان نشر آن به محیط به‌عنوان آلاینده مشخص می‌شوند. روش‌های نصب تجهیزات اندازه‌گیری گازها و ذرات خروجی از دودکش به دو حالت در محل[1] و استخراجی یا نمونه‌برداری[2] تقسیم می‌گردند. روش‌ها و تکنیک‌های اندازه‌گیری گازها در هر دو روش نصب مشترک است.

۱- روش‌های نصب تجهیزات پایش لحظه‌ای

۱-۱- روش نمونه‌برداری:

با توجه به استانداردهای تعریف‌شده و شرایط استفاده از تجهیزات، اکثر صنایع آلاینده برای نصب سیستم‌های پایش لحظه‌ای در دنیا این روش را به کار می‌برند. این آنالایزرها از پمپ مکش برخوردارند که نمونه‌ای از گاز را از دودکش استخراج می‌نماید (شکل ۲). نمونه گاز از پراب فیلتردار عبور نموده و سپس از طریق sample line مجهز به هیتر به کابینت آنالایزر گاز هدایت شده و پس از آماده‌سازی نمونه گاز، آنالیز گاز از طریق آنالایزر انجام می‌شود.

شلنگ نمونه‌برداری که دارای هیتر می‌باشد جهت جلوگیری از ایجاد آب در مسیر است. پس از شلنگ نمونه‌برداری گاز وارد کولر شده تا رطوبت آن گرفته شود



شکل ۱- عناصر اصلی یک استراتژی پایش

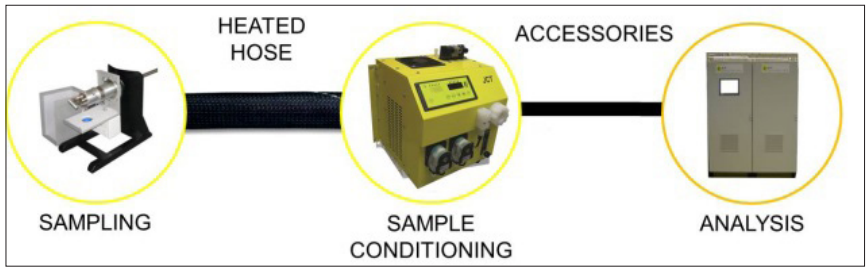
1. In-Situ
2. Extractive

و دمـای آن نیـز کاهـش یابد. سـپس وارد یونیت آنالایزر خواهد شـد. در صورت وجود گازهای خورنده از جمله H2S, SO2, HCL و... کولر گاز از مسـیر حذف شـده و تمامی قطعات در دمای بالای نقطه شـبنم اسـید قـرار گرفتـه و آنالایزر انجام خواهد شـد. از مزیت‌هـای این روش می‌توان بـه موارد زیر اشاره نمود:

- سیسـتم خـودکار کالیبراسـیون نقطـه صفر[3] و حد بالا[4]؛
- هزینه پایین سیستم؛
- هزینه قطعات یدکی بسیار پایین؛
- عدم تماس سنسـور اندازه‌گیـری با گاز درون دودکش؛
- قابلیت اسـتفاده از یـک آنالایزر برای ۴ دودکش؛
- تاثیرنداشـتن تغییرات فشار و دما بر روی دقت اندازه‌گیری؛
- امکان افزودن گاز و سنسـور به آنالایزر بعد از نصب سیستم؛
- کالیبراسـیون راحت دسـتگاه، به دلیل نصب دسـتگاه در اتاقکی با شرایط محیطی مناسب؛
- امـکان تامین بعضی از قطعات یدکی در داخل کشور؛
- تاثیرنداشـتن لـرزش و تغییـر شـرایط دودکش بر اندازه‌گیری میزان گازها؛
- امـکان خاموش‌شـدن سیسـتم از طریـق سنسـورهای حفاظتـی در صـورت تغییر سـوخت و افزایـش میزان ذرات بدون آسیب‌دیدن آنالایزر؛
- امـکان اسـتفاده در تمامـی صنایـع و فرایندها (بدون محدودیت شـرایط محیطی و گازهای فرایندی)؛
- امکان اندازه‌گیری هر نوع گاز.

از معایـب روش نمونه‌بـرداری می‌تـوان به موارد زیر اشاره کرد:

- تعدد تجهیزات و قطعات جانبی؛
- در صـورت فاصلـه زیـاد محـل نصب کابینـت تا نقطـه نمونه‌برداری، به شـلنگ نمونه‌برداری با طول زیاد نیاز است که هزینه سیستم را افزایش خواهد داد؛
- امکان وجود نشـتی گاز در مسیر قبل از سنسور.



شکل ۲- عناصر اصلی یک سیستم نمونه‌برداری

۲-۱- روش در محل:

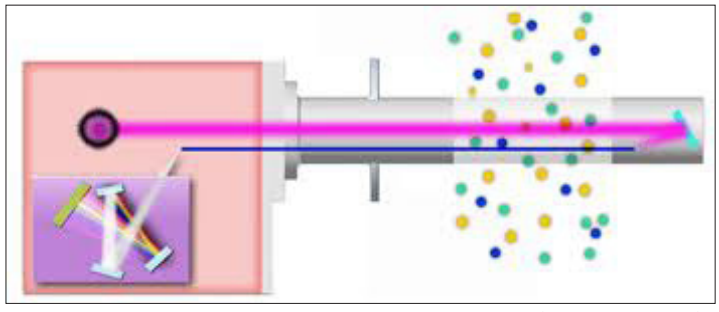
اگر امـکان اسـتفاده از روش نمونه‌برداری بـرای اندازه‌گیـری گازهای خروجی میسـر نباشـد، روش در محل گزینه مناسبی برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها خواهد بود. با توجه به شـرایط کالیبراسیون، سرویس و اندازه‌گیری در شـرایط مرطـوب[5] دودکـش، این روش در اولویـت دوم قرار می‌گیـرد. در این روش نصـب، اندازه‌گیـری گاز در درون دودکـش انجام شـده و نیازی به نمونه‌برداری نیسـت (شکل ۳).

از مزیت‌هـای این روش می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- عدم نیاز به تجهیزات سمپلینگ؛
- نصب ساده و آسان؛
- نشتی گاز وجود ندارد؛
- زمان پاسـخ یک ثانیه در دسـتگاه‌های لیزری؛
- در سیسـتم‌های دو طرفـه عدم تماس مسـتقیم گاز با سنسـور و عمر بسیار بالای دستگاه.

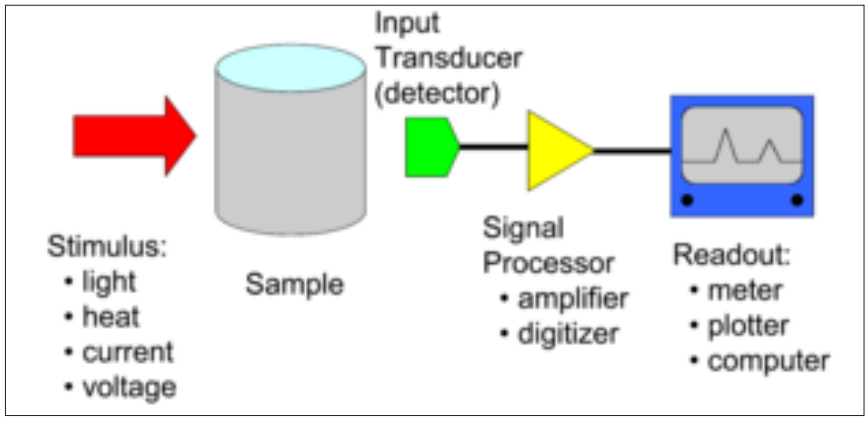
از معایب روش در محل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- هزینه بالای دستگاه‌ها؛
- چک‌آپ دسـتگاه و کالیبراسیون آن نیاز به بـالا رفتن از دودکش دارد که در شـرایط سخت محیطی دشوار است؛
- تاثیر تغییرات دما، فشار و لرزش دودکش بر آنالایزر (دما و فشـار باید به‌صورت آنلاین اندازه‌گیری شود)؛
- محدودیـت اسـتفاده در صـورت وجود رطوبت (به جز دستگاه‌های لیزری)؛
- امـکان افزودن یک یا چند ترکیب گازی پس از نصب دستگاه وجود ندارد؛
- هزینه قطعات یدکی بسیار بالا؛
- در صورت وجود ذرات دستگاه از کارایی لازم برخوردار نخواهد بود؛
- در صورت تغییر سـوخت و میزان ذرات، سنسور آسیب‌پذیر خواهد بود؛
- در نمونه‌هـای پرابی، آینه دسـتگاه که درون دودکـش قرار می‌گیرد پـس از مدتی کدر شـده و کارایی لازم را از دسـت خواهد داد؛
- سیسـتم پیچیـده و عدم امـکان تعمیر قطعات آن در داخل از کشور؛
- محدودیت اندازه‌گیری در تعداد گازها.



شکل ۳- عناصر اصلی یک سیستم در محل

3. Zero
4. Span
5. Wet Basis



شکل ۴- نمای شماتیک جذب نور توسط ماده یا گاز

۲- روش‌های اندازه‌گیری گازها:

۲-۱- روش ماوراء بنفش[۶]:

طیف‌سنجی اشعه ماوراء بنفش با دستگاه‌های اسپکتروفتومتر[۷] (UV-VIS و UV) انجام می‌پذیرد که جذب طیف‌سنجی یا طیف‌سنجی بازتابش در منطقه طیفی اشعه ماوراء بنفش صورت می‌پذیرد.

مولکول‌های گازها و پیوندهای بین مولکولی اشعه نور ماوراء بنفش را جذب کرده و باعث برانگیخته‌شدن الکترون‌ها و حرکت به سمت لایه‌های الکترونیکی بالاتر می‌شود.

مقدار جذب و یا ضریب جذب بر اساس فرمول $A = -Log^{I}/_{I_0}$ که I شدت نور دریافتی و I_0 شدت نور ارسالی به دست می‌آید. (شکل ۴)

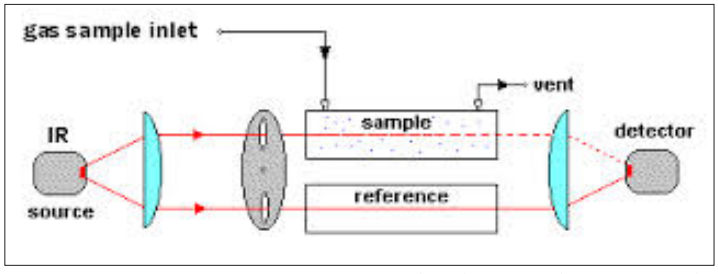
برای اندازه‌گیری گازهایی همچون دی‌اکسید گوگرد، مونواکسید نیتروژن و... که در طیف اینفرارد[۸] دارای جذب کم بوده و نیاز به اندازه‌گیری آنها در رنج‌های پایین باشد، باید از منبع ماوراء بنفش استفاده نمود.

۲-۲- روش اینفرارد یا اینفرارد متمرکز[۹]:

این روش مشابه با روش ماوراء بنفش است ولی طیف‌سنجی در محدوده طول موج نور مادون قرمز صورت می‌پذیرد که با توجه به ارزان‌تر بودن منبع اینفرارد و جذب اکثر گازها در این طیف، استفاده از این روش رایج‌تر است.

در دستگاه‌های اینفرارد متمرکز معمولا دو سل گاز به کار می‌رود که یکی به‌عنوان رفرنس و یکی اندازه‌گیر[۱۰] نام‌گذاری می‌شود.

گاز نمونه وارد سل اندازه‌گیر شده و شدت نور اینفرارد به علت جذب گازها کاهش می‌یابد. I۰ و یا شدت نور ارسالی، با گذر از سل رفرنس و بدون هیچ‌گونه جذبی به دتکتور دستگاه برخورد می‌کند. از طریق اختلاف این دو، غلظت گاز به دست می‌آید. (شکل ۵)

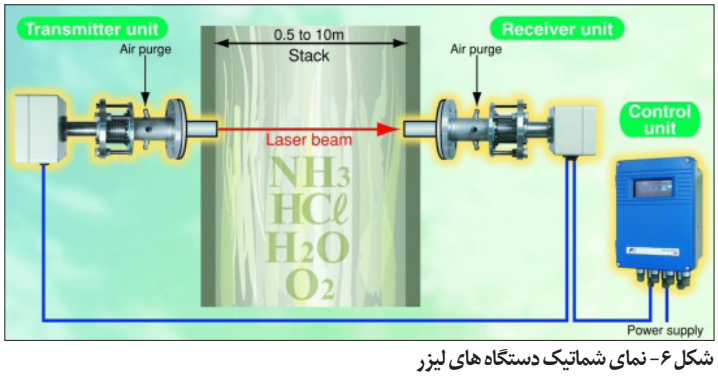


شکل ۵- نمای شماتیک سل اندازه‌گیری گاز

۲-۳- روش لیزر تنظیم‌شده[۱۱]:

در این روش منبع نوری لیزر است و در طیف بسیار باریکی نور تابیده می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری یک گاز است و قابلیت اندازه‌گیری چندین گاز را به‌صورت همزمان ندارد. روش مذکور بیشتر برای اندازه‌گیری گازهای خاص از جمله HCL، HF، NH3، H2S و... که با روش‌های مادون قرمز و ماوراء بنفش قابل اندازه‌گیری نیستند استفاده می‌شود. دقت اندازه‌گیری روش لیزر بسیار بالا است و تا حد تغییرات پارت در میلیون[۱۲] را به راحتی اندازه‌گیری می‌کند.

نور لیزر ارسالی دقیقا در طیف مخصوص گازی که اندازه‌گیری می‌شود تنظیم شده و از دودکش یا سل مخصوص عبور می‌کند. دتکتور دستگاه که دیود است تغییرات نور را تشخیص داده و مقدار غلظت گاز را بر اساس قانون بیر-لامبرت[۱۳] محاسبه می‌کند. (شکل ۶)



شکل ۶- نمای شماتیک دستگاه های لیزر

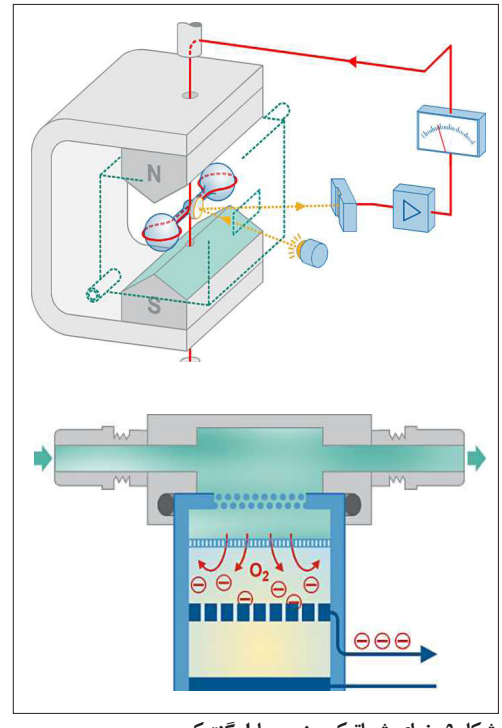
۲-۴- روش استفاده از محاسبات فوریه در طیف اینفرارد[۱۴]:

روش فوق با توجه به محاسبات پیچیده

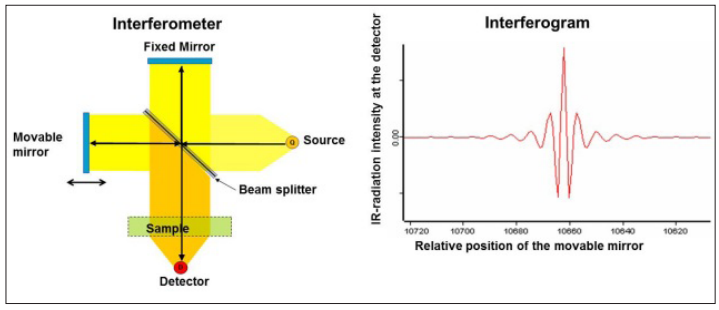
6. Ultra Violet
7. Spectrophotometer
8. Inferred
9. NDIR
10. Measure
11. Tunable Diode Laser Spectroscopy
12. PPM
13. Beer-Lambert
14. FTIR

بسـط فوریه امکان اندازه‌گیـری تا ۶۰ گاز را به‌طور همزمان دارد. دستگاه‌هایی که با این روش کار می‌کنند به دلیل هزینه بسیار بالا، برای مصارف زیسـت‌محیطی و اندازه‌گیری گازهایی همچـون CO، CO2، NO، SO2 و... اسـتفاده نمی‌شـوند. این دستگاه صرفا برای پروسس و یا اندازه‌گیری گازهایی به کار می‌رود کـه با روش اینفـرارد و ماوراء بنفش قابل اندازه‌گیری نیسـتند؛ گازهایی همچون SF6, HCL, NH3, HF, CH4, C2H6, C2H2, C2H4, NF3, HCN و... به‌راحتـی با روش مذکور قابل محاسبه با دقت مطلوب هستند.

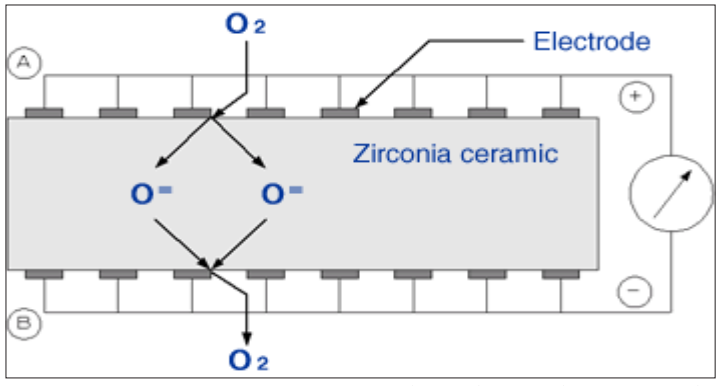
آینه‌هـای کارگذاشـته در روش بـالا کار اصلـی جداکـردن فرکانس‌هـای مختلف و طـول موج‌های مختلـف طیف اینفـرارد را ایفا می‌کنـد که دتکتور و کامپیوتر دسـتگاه اطلاعـات لازم را ثبـت می‌نمایـد. در ایـن روش با اسـتفاده از آینه‌هـا، طول موج‌های مختلـف در رنـج اینفرارد مورد بررسـی قرار می‌گیـرد و جذب آنها اندازه‌گیری می‌شـود.



شکل ۹- نمای شماتیک سنسور پارامگنتیک



شکل ۷- نمای شماتیک دستگاه‌های اینفرارد با بسط فوریه



شکل ۸- نمای شماتیک سنسور اکسید زیرکونیا

(شکل ۷)

۲-۵- روش اسـتفاده از محاسـبات فوریه در طیف ماوراء بنفش[15]:

روش فوق مشـابه با روش قبل اسـت با این تفاوت که نور ارسـالی در طیف ماوراء بنفش قرار می‌گیرد.

۲-۶ روش اکسید زیرکونیم[16]:

ایـن روش بـرای اندازه‌گیری گاز اکسـیژن کاربرد دارد که مقدار اکسیژن را در رنج‌های مختلف درصد و پارت در میلیون اندازه‌گیری می‌کند. دقـت روش بـرای اندازه‌گیری گاز اکسیژن بسیار بالا است و در تمامی بویلرها بـرای کنترل احتراق بـه کار می‌رود. در این روش گاز شـامل اکسیژن از درون سل عبور کـرده و گاز رفرنـس از بیرون سـل، با توجه بـه خاصیت فلـز زیرکونیـا مقدار اکسـیژن درون هوا به سـمت کاتد حرکت می‌کند تا با گاز درون سـل بالانس شـود. مقدار حرکت اکسیژن از طریق جریان‌سنج و تقویت‌کننده اندازه‌گیری می‌شود. (شکل ۸)

۲-۷ روش پارامگنتیک[17]:

روش فوق بـرای اندازه‌گیری گاز اکسـیژن استفاده می‌شـود. این سنسور هزینه بالایی دارد ولی عـدم محدودیت طول عمر و دقت بالای اندازه‌گیری از شاخص‌های آن است. سـل دسـتگاه یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند و گاز اکسـیژن وارد سـل می‌شـود. قطعـه دمبـل شـکلی کـه در زیر آمـده در حالتی که هیچ گاز اکسـیژنی وجود نداشته باشـد به‌صورت مـوازی در جهت جریان گاز می‌ایسـتد. در صورت نفوذ گاز اکسـیژن به درون سـل میدان مغناطیسـی تغییر نموده و دمبـل حول محـور خـود دوران می‌کند. دتکتـور میـزان ایـن دوران را اندازه‌گیـری نمـوده و بـر اسـاس آن مقدار اکسـیژن به دست می‌آید. (شکل ۹)

۲-۸- روش الکتروشیمیایی[18]:

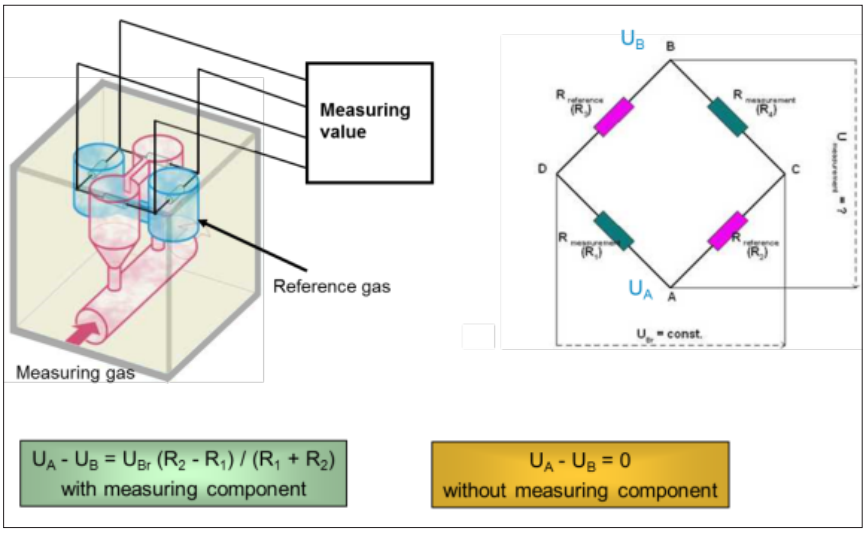
سنسـور االکتروشـیمیایی از نوع قدیم‌ترین

15. FTIR
16. Zirconium Oxide
17. Paramagnetic
18. Electrochemical

سنسورهای اندازه‌گیری گازها است. گازهایی همچون NO, O2, H2S و... با این نوع سنسورها اندازه‌گیری می‌شوند. هزینه سنسور الکتروشیمیایی بسیار پایین است و به علت مصرفی بودن آن طول عمر محدودی نیز دارند. در حال حاضر برای اندازه‌گیری اکسیژن جزو متداول‌ترین روش‌ها است و در آنالایزرهای اکسترکتیو کاربرد دارد.

۲-۹-روش ترمال کانداکتیویتی[19]:

روش انتقال حرارتی برای گازهایی که از طریق طیف‌سنجی و جذب نور نمی‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد به کار می‌رود. از جمله این گازها می‌توان به H2, Ar, Ne و... اشاره نمود. با عبور این گازها از روی مقاومت‌های از پیش تعریف‌شده عبور نموده و با تغییر دمای مقاومت مقدار آن تغییر می‌نماید. با استفاده از پل وتسون که یک طرف آن رفرنس است و مقدار تغییرات محاسبه‌شده و متناسب با مقدار گاز قرار می‌گیرد. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰- نمای شماتیک سنسور ترمال کانداکتیویتی

۳- استانداردها و الزامات سیستم‌های پایش لحظه‌ای:

سازمان‌هایی از جمله TUVو-Sira Environment (MCERTS)، طبق استانداردهای اروپا CEN[20] تجهیزات و سیستم‌های پایش لحظه‌ای را تست نموده و گزارشی مبنی بر نحوه عملکرد دستگاه‌ها طبق شرایط معین ارائه می‌دهند.

جمع‌بندی:

در وهله اول اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی همیشه از دو منظر باید مورد بررسی قرار گیرد: ۱- روش اندازه‌گیری، ۲- روش نصب. روش‌های متعددی برای نصب و اندازه‌گیری گازهای خروجی وجود دارد که انتخاب درست و صحیح آنها منوط به ارزیابی دقیق فرایند و شناخت روش‌های اندازه‌گیری و فرایندهای صنعتی است.

همیشه در بحث آلاینده‌های خروجی موضوع اندازه‌گیری چند گاز (آلاینده‌های خروجی) به‌طور همزمان تحت عنوان گازهای باقی‌مانده مطرح است که این امر سبب می‌شود در خیلی از موارد ترکیبی از روش‌های آنالیز مختلف در تجهیزات اندازه‌گیری گازها مورد استفاده قرار گیرد.

توجه به استانداردها و گواهینامه‌های بین‌المللی در تخصیص تجهیزات پایش لحظه‌ای بسیار حائز اهمیت است و قطعا رعایت موارد مندرج در این گواهینامه‌ها پیچیدگی انتخاب روش مناسب را کاهش می‌دهد.

مراجع:

- استاندارد ملی سامانه‌های پایش لحظه‌ای و برخط منابع آلاینده محیط زیست، ۱۳۹۸
- ENVIRONMENTAL RESEARCH OF THE FEDERAL MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, Air Pollution Prevention Manual on Emission Monitoring, T V Sü d Industrie Service GmbH, Mü nchen
- Richard Gould, Technical Advisor, Environment Agency, Lutra House, Dodd Way, Walton Summit Industrial Estate, Preston, PR5 8BX, Great Britain.
- Title 40 -- Protection of Environment; Revised as of July 1, 1991, CHAPTER I -- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SUBCHAPTER C -- AIR PROGRAMS, PART 60 STANDARDS OF PERFORMANCE FOR NEW STATIONARY SOURCES, 40 CFR 60. Appendix B to Part 60

19. Thermal Conductivity
20. Committee for European Normalization

شورای نویسندگان

استارتاپ‌های برتر در حوزه مدیریت آلودگی هوا

امروزه آلودگی هوا به یک معضل جدی جهانی تبدیل شده است، به‌طوری‌که بیش از ۹۰درصد مردم جهان در مناطقی با سطح آلودگی فراتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) زندگی می‌کنند. البته باید اظهار داشت هر مشکلی اغلب با راه‌حل‌ها، نوآوری‌ها و فرصت‌هایی جهت بهبود همراه است. در این زمینه برخی از دولت‌های اروپایی نظیر انگلستان، آلمان، فرانسه، ایتالیا و اسپانیا به دلیل عدم رعایت قوانین مرتبط با آلودگی هوا با جریمه‌هایی روبرو هستند. برای مثال انگلیس به پرداخت جریمه ۴۰۰میلیون دلاری تهدید شده و شهرهایی از جمله لندن، برلین، لیون و بارسلونا به دلیل نرخ بالای آلودگی هوا با هشدار نهادهای تنظیم‌گر مواجه شده‌اند.

بسیاری از دولت‌ها، با توجه به خسارات مالی و اجتماعی آلودگی هوا، به سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زمینه بهبود سیاست‌ها و ارائه راه‌حل‌هایی برای بالابردن کیفیت هوا پرداخته‌اند؛ دولت چین متعهد به صرف ۲۷۷میلیارد دلار برای کاهش آلودگی هوا شده است. شهردار لندن هم با تخصیص بودجه ۱ میلیارد دلاری به مقابله با آلودگی هوا پرداخته است. ایالات متحده آمریکا نیز به تصویب سیاست‌هایی برای کاهش میزان آلودگی هوا دست زده است. بررسی‌های صورت‌گرفته در کالیفرنیا نشان می‌دهد مقررات تعیین‌شده تا چه حد تاثیرگذار بوده‌اند؛ هر دلار سرمایه‌گذاری‌شده در کنترل آلودگی هوا از سال ۱۹۷۰ منجر به افزایش درآمد ۳۰دلاری شده است. در واقع سرمایه‌گذاری مبلغ ۶۵ میلیارد دلار در کالیفرنیا در نهایت منجر به بازگشت ۱٫۵تریلیون دلار شده است!

علاوه بر تعیین سیاست‌ها و اعمال جریمه‌های عملکردی، استارتآپ‌های گوناگونی به ارائه راهکارهایی نوآورانه جهت مقابله با معضل آلودگی هوا پرداخته‌اند. میزان سرمایه‌گذاری و جریان‌های معاملاتی شرکت‌های فعال در حوزه هوا (شامل تکنولوژی‌ها، سرویس‌ها و طرح‌های تجاری مرتبط با حذف آلاینده‌ها از هوا) در شکل ۱ نشان داده شده است.

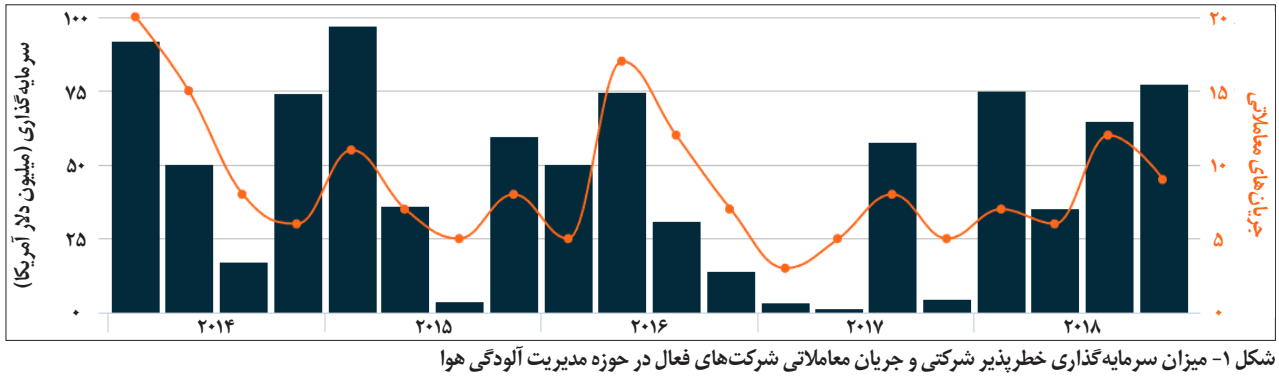
استارتآپ‌های فعال در حوزه پایش کیفیت هوا، حدود ۸۵درصد (۶۰ میلیون دلار) میزان سرمایه و ۶۹درصد جریان معاملاتی را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). بر اساس بررسی‌های استارتآپ clarity، تعداد شهرهایی که به پایش کیفیت هوا می‌پردازند، در بازه زمانی ۶ ساله، با افزایش حدود سه برابری از ۱۱۰۰ شهر به ۳۰۰۰ شهر افزایش یافته است. از لحاظ جغرافیایی نیز مناطق آمریکای شمالی و اروپایی، نسبت به کشورهای آسیایی که با سطح بالاتری از آلودگی هوا مواجهند سرمایه بیشتری را جذب کرده‌اند.

در شکل ۳ نیز درصد شرکت‌های فعال در این حوزه برحسب میزان درآمد حاصله نشان داده شده است. مشاهده می‌شود حدود یک‌چهارم استارتآپ‌های حوزه مدیریت آلودگی هوا در مرحله قبل از درآمدزایی به سر می‌برند.

عمده عملکرد استارتآپ‌های فعال در این بخش به دو حوزه قابل تفکیک است: استارتآپ‌های مرتبط با پایش و اندازه‌گیری کیفیت هوا و استارتآپ‌های متمرکز بر پالایش کیفیت هوا. در ادامه به معرفی برخی از استارتآپ‌های موفق در دو حوزه نام‌برده می‌پردازیم.

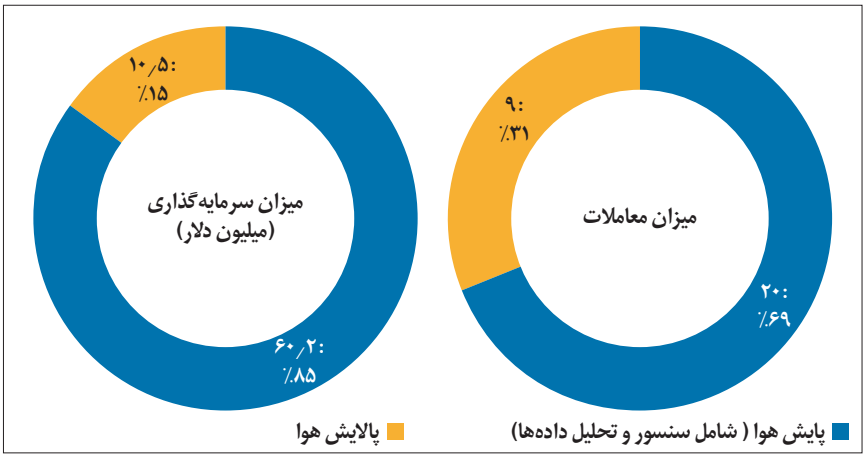
استارتآپ‌های حوزه پایش کیفیت هوا

متاسفانه امروزه در بسیاری از شهرهای دنیا، شهروندان از سطح آلودگی هوا که در زندگی روزمره خود با آن مواجهند، درک کاملی ندارند. اطلاعات موجود از شبکه‌های پایش سطح کیفیت هوا در زمان واقعی منتشر نشده و مکان جغرافیایی آنها به دلیل هزینه‌های بالا ایستگاه‌های ثابت مانیتورینگ بسیار پراکنده است. به‌تازگی نسل جدیدی از سنسورهای مانیتورینگ ارزان‌قیمت مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT[1]) ظاهر شده‌اند که

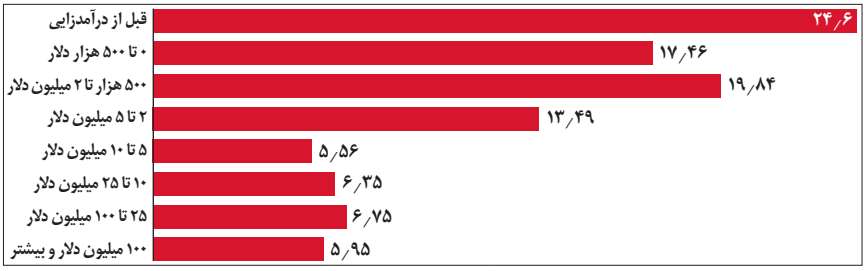


شکل ۱- میزان سرمایه‌گذاری خطرپذیر شرکتی و جریان معاملاتی شرکت‌های فعال در حوزه مدیریت آلودگی هوا

1. Internet of Things



شکل ۲- مقایسه فعالیت‌های سرمایه‌گذاری در شرکت‌های فعال حوزه آلودگی هوا



شکل ۳- درصد توزیع شرکت‌ها برحسب میزان درآمد در حوزه مدیریت آلودگی هوا

قادرند کیفیت هوا را چندین مرتبه در یک دقیقه اندازه‌گیری کرده و مقادیر متوسط اندازه‌گیری‌شده را هر دقیقه گزارش کنند. این تجهیزات شهروندان و دولت‌ها را قادر می‌سازد با استفاده از زیرساخت‌های ارتباطی از وضعیت کیفی هوا مطلع شده و بدین ترتیب از تردد در مکان‌هایی با سطح بالای آلودگی اجتناب کنند. در ادامه برخی از استارت‌آپ‌های موفق در این عرصه معرفی می‌شوند.

استارت‌آپ Air Quality Egg

این استارت‌آپ که در سال ۲۰۱۲ در ایالات متحده تاسیس شد، با ساخت دستگاهی شبیه تخم‌مرغ به کاربران خود این امکان را می‌دهد که سطح آلودگی هوا را اندازه‌گیری کرده و با اشتراک‌گذاری اطلاعات با سایر کاربران یک شبکه اطلاعاتی یکپارچه ایجاد نمایند. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری ۷ نوع مختلف آلودگی هوا از جمله PM، کربن مونواکسید و ترکیبات آلی فرّار است. محصول این شرکت شامل سنسورهای ارزیابی آلودگی، برنامه قابل نصب روی تلفن همراه و داشبورد تحت وب است. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها روی نمودارها رسم می‌شود و با تلفن همراه قابل مشاهده است. شایان ذکر است که دستگاه Air Quality Egg با جذب ۱۴۴۰۰۰$، برنده «بهترین جایزه kickstar در سال ۲۰۱۲» شده است. این استارت‌آپ در سال ۲۰۱۸ نیز موفق به جذب حمایت مالی ۷۴۲۰۰۰$ از بنیاد ملی علوم (NSF[۲]) شد.

استارت‌آپ Aclima

استارت‌آپ تکنولوژی محیط‌زیستی اکلیما که در سال ۲۰۱۰ در سانفرانسیسکو تاسیس شد، به ساخت سنسورهای پایش کیفیت هوا مبتنی بر اینترنت و همچنین توسعه پلتفرم نرم‌افزاری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با هوش مصنوعی می‌پردازد. گفتنی است کمپانی گوگل با بهره‌گیری از فناوری «استریت ویو (street view) » و با کمک Aclima، میزان آلودگی هوا را در کالیفرنیا اندازه‌گیری کرده و یافته‌ها را در پلتفرم گوگل ارث به نمایش گذاشته است.

گوگل استریت ویو نخستین‌بار در ۲۵ می ۲۰۰۷ تنها در چند شهر ایالات متحده آمریکا به بررسی میزان آلودگی هوا پرداخت که به‌تدریج توسعه پیدا کرد و شهرهای زیادی از تمامی جهان را در بر گرفت. گوگل به همین منظور خودروهای ویژه استریت ویو را به حسگرهای مخصوص کمپانی Aclima مجهز کرده که قادر است آلاینده‌های خطرناک نظیر ذرات معلق (PM)، کربن دی‌اکسید، کربن مونواکسید، متان، کربن سیاه، ازن و غیره را شناسایی کند (شکل ۴). گوگل و اکلیما برای جمع‌آوری این اطلاعات، به مدت ۴۰۰۰ ساعت با ماشین‌های Google Street View، مسیر ۱۶۱ هزار کیلومتری را پوشش داده‌اند. این مطالعات نشان داده است که تا چه حد کیفیت هوا از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت بوده که این امر بیانگر ضرورت ارزیابی وضعیت هوا در مقیاس محلی است.

شکل ۴- خودروهای ویژه استریت ویو با حسگرهای مخصوص Aclima

2. National Science Foundation

گفتنی است میزان جذب کمک مالی استارت‌آپ Aclima برابر با ۲۴ میلیون دلار بوده و میزان درآمد سالانه آن حدود ۵ میلیون دلار برآورد شده است.

استارت‌آپ Oizom

استارت‌آپ هندی Oizom پایشگرهای Polludrone را که یک سیستم پایش کیفیت هوا مبتنی بر انرژی خورشیدی است طراحی کرده است. Polludrone با استفاده از انرژی خورشیدی و طراحی مدرن خود، به‌راحتی به زیرساخت‌های هوشمند شهری متصل شده و پارامترهای مختلف محیطی مانند ذرات جامد، ازن، سولفور، گرد و غبار و گازهای سمی را اندازگیری می‌کند و اطلاعات را به مرکز پردازش و آنالیز ابری جهت تولید انواع مختلف گزارش مخابره می‌نماید. این استارت‌آپ، تنها استارت‌آپ هندی است که موفق به جذب سرمایه از SparkLabs[۳] شده و همچنین تنها استارت‌آپ هندی برگزیده از سوی Hello Tomorrow[۴] در پاریس است.

استارت‌آپ BreezoMeter

این استارت‌آپ که در سال ۲۰۱۴ تاسیس شد، با طراحی اپلیکیشن بریزومتر که یک پایشگر کنترل کیفیت هوای شهری است، آلاینده‌های هوا را رصد کرده و کیفیت هوای پاک را در سراسر جهان در دسترس قرار می‌دهد. درواقع این پلتفرم اطلاعات سنسورهای پالایش هوا را در هر مکانی جمع‌آوری کرده و با استفاده از روش پردازش کلان داده، اطلاعات واقعی کیفیت هوا را اعلام می‌کند. در حال حاضر بیش از ۵۰ میلیون نفر در دنیا این برنامه را روی تلفن‌های همراه خود به کار می‌برند تا در تصمیم‌گیری برای زمان و مکان خروج از خانه، آگاهانه‌تر و بهینه‌تر عمل کنند. مؤسس و مدیرعامل شرکت بریزومتر معتقد است اگر مردم از میزان آلاینده‌های موجود در هوای محل سکونت و مقصد خود آگاهی داشته باشند، خیلی راحت‌تر می‌توانند از آسیب‌های آن بپرهیزند. استارت‌آپ Breezometer طی سه و نیم سال پس از تاسیس موفق به جذب حدود ۴٫۸ میلیون دلار سرمایه شده است. میزان کل سرمایه دریافتی و میزان درآمد سالانه شرکت Breezometer به ترتیب برابر ۱۲٫۶ میلیون دلار و ۳۶۰٫۹ هزار دلار تخمین زده شده است.

استارت‌آپ‌های یادشده تنها بخشی از استارت‌آپ‌های موفق در عرصه پایش کیفیت هوا هستند. همان‌طور که اشاره شد، حدود ۸۵درصد میزان سرمایه‌گذاری، در استارت‌آپ‌های حوزه پایش کیفیت هوا صورت گرفته است. در سال ۲۰۱۵ میزان فروش جهانی سنسورهای پایش کیفیت هوا، ۳٫۴ میلیارد دلار بوده و پیش‌بینی می‌شود با رشد سریع این تجهیزات، تا سال ۲۰۲۱ میزان فروش آنها به ۵٫۶۴ میلیارد دلار برسد. بررسی‌های انجام‌شده حاکی از افزایش بازار جهانی تجهیزات کنترل کیفیت هوا از ۱۴ میلیارد دلار به بیش از ۲۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۱ است.

استارت‌آپ‌های حوزه پالایش کیفیت هوا

اگرچه بهبود کیفیت هوا در مقیاس بزرگ نیازمند اتخاذ سیاست‌های بلندمدت تاثیرگذار است، به‌منظور دستیابی به یک راهکار سریع موثر حتی در ابعاد کوچک منطقه‌ای، استارت‌آپ‌های مختلفی به ارائه رویکردهای گوناگون جهت پالایش کیفیت هوا پرداخته‌اند که در ادامه به چند مورد از آنها اشاره می‌کنیم.

استارت‌آپ Graviky Labs

استارت‌آپ Graviky Labs موسسه فناوری ماساچوست (MIT)که در سال ۲۰۱۵ تاسیس شد، طی ایده‌ای کاملا نوآورانه با تولید محصولی با نام «Kaalink» به ساخت جوهر و رنگ از دوده‌های خروجی دودکش‌ها و اگزوز موتورها، پرداخته است. بر اساس اظهارات محققان استارت‌آپ Graviky Labs، هر فیلتر می‌تواند حدود ۸۵ الی ۹۵درصد از دوده‌های کربنی را جذب کند. البته محصول مورد اشاره قادر نیست از ورود گاز کربن دی‌اکسید به هوا جلوگیری کند.

محققان این استارت‌آپ در فاز دوم توسعه به تبدیل ذرات معلق آلاینده به جوهر و رنگ صنعتی (با نام AIR-INK) پرداخته‌اند (شکل ۵). گفتنی است هر ۳۰ میلی‌لیتر AIR-INK شامل آلاینده‌های حاصل از حرکت ۴۰-۵۰ دقیقه خودروی دیزلی است.

این شرکت در ماه اکتبر سال ۲۰۱۷ موفق به جذب سرمایه ۱۲۰هزار دلاری از Mohit Goel شد بوده و هم‌اکنون آن را برای رسیدن به هدف ۱۰هزار دلاری در Kickstarter ثبت کرده است.

محصول AIRINK - Kaalink مرحله تجاری‌سازی را پشت سر گذاشته و با ارسال محصول به بیش از ۷۰۰ مکان در ۵۰ کشور دنیا، موفق به کسب درآمد ۱٫۱میلیون دلاری شده است.

استارت‌آپ Green City Solutions

این استارت‌آپ که در سال ۲۰۱۴ در برلین راه‌اندازی شد، به طراحی محصولی به نام «درخت شهر[۵]» پرداخته است که می‌تواند در

شکل ۵- ساخت جوهر از دوده اگزوز خودروها

۳. اسپارک-لبز شتاب‌دهنده‌ای مبتنی بر اینترنت اشیا در کره جنوبی است که روابط خاصی با شهر سوندگدو دارد که شهر هوشمند ۳۵ میلیاردی در کره است.

۴. کمپانی Hello Tomorrow یک موسسه غیر انتفاعی جهانی جهت شناسایی تکنولوژیهای برتر در حل سخت‌ترین چالشهای جهانی و همچنین معرف و حامی استارت‌آپ‌های برتر در حل مشکلات جهانی است.

5. City Tree

روز حـدود ۲۵۰ گرم آلاینـده را از هوا جذب کنـد. این محصول هوشـمند که به شـکل یک دیوار پوشـیده از خزه و جلبک اسـت، با استفاده از قابلیت تصفیه‌کنندگی خزه در این دسـتگاه که معادل با اثر ۲۷۵ درخت شهری است، در خیابان‌های شلوغ شهر نصب شده و ذرات معلق در هوا و انواع آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسـید کربن، اکسیدهای نیتروژن، ازن و گـرد و خاک را به سـطح برگ‌ها رسـانده و سـپس آنها را به‌طـور دائمی به زیسـت‌توده تبدیل می‌نمایند (شـکل ۶). علاوه بر اینها، حسگرهای آلودگی نیز که درون دستگاه قرار دارنـد، مرتبا کیفیت هـوای محیط را ارزیابی کـرده و میزان اثربخشـی دسـتگاه را اعلام می‌کنند.

قیمت فعلی «درخت شهر» حدود ۲۵۰ هزار دلار اسـت و قرار شـده در برخی کشورهای پرجمعیت و در حال توسعه نظیر هند یا چین نیز نصب شـود. میزان کل سرمایه دریافتی شـرکت Green City Solutions، ۸۱/۱ هزار دلار بوده است.

استارت‌آپ Studio Roosegaarde

استارت‌آپ Studio Roosegaarde که سال ۲۰۰۷ در روتردام هلند تاسـیس شد، سازنده نخستین جارو برقی دود در جهان است که از فناوری یونیزاسـیون مثبت برای تولید هوای پاک در محیط‌های عمومی استفاده می‌کند (شـکل ۷). این بـرج ۷متری با اسـتفاده از برق تولیدشـده از انرژی‌های سبز در فضای شـهری نصب شده و قادر به تصفیه ۳۰ هزار مترمکعب هوا در هر ساعت است. نکته قابل توجه آن است که میزان مصرف الکتریسیته این دسـتگاه مکش هوا بسیار کم و به اندازه یک کتری برقی است!

بایـد اظهار کـرد این دسـتگاه تصفیه هوا نه تنها می‌تواند به پالایش و تصفیه هوای آلوده بپردازد، بلکه قادر است از آنها استفاده بهینه کـرده و انگشـتر جواهـر از آلاینده‌هـا تولید نماید. دستگاه یادشـده ذرات کربنی موجود در ۱۰۰۰ متـر مکعب هـوا را به‌صورت یک سـنگ مکعبی شـکل جواهر در می‌آورد که تصویری از آن در شـکل ۸ نشـان داده شده است.

استارت‌آپ Artveoli, Inc

Artveoli, Inc یـک اسـتارت‌آپ سـیلیکون ولی است که سـال ۲۰۱۵ در ایالات متحده تاسـیس شـده و با فعالیت در حـوزه پالایش کیفیت هوای محیط‌های بسته، به سـاخت تابلوهای دیواری تصفیه‌کننده هوا می‌پردازد. بـا توجه به اینکه اکثر افراد بیش از ۹۰درصد زمـان خود را در محیط‌های بسـته سـپری می‌کنند، کیفیـت هوای داخلـی از اهمیت بالایی برخـوردار اسـت. یکـی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در محیط بسـته، کربن دی‌اکسید (CO_2) اسـت کـه می‌توانـد منجر بـه بروز سـردرد، سـرگیجه، تنگی نفس، خستگی و نارسایی شناختی گردد.

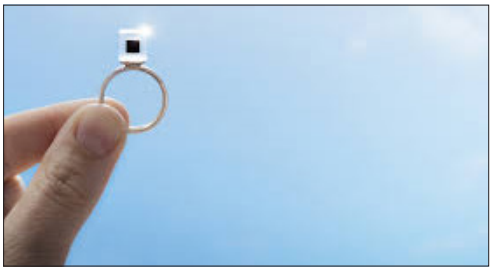
پنل‌هـای مسـطح طراحی‌شـده هوشـمند Artveoli، بـا حـذف کربن دی‌اکسـید زائد و تبدیـل آن بـه اکسـیژن (O_2)، بـه بهبود کیفیت منازل، ادارات، بیمارسـتان‌ها و سایر محیط‌های بسـته می‌پردازد. تصویری از این نوع تابلوها در شکل ۹ نشان داده شده است. پیـش از ایـن اختـراع، تنها راه‌حـل ممکن برای کاهش کربن دی‌اکسـید، ورود هوای تـازه از محیـط بیرونـی بـوده اسـت. ولـی پنل‌هـای Artveoli با تولید هوای سـالم در محیـط داخلی بـه تصفیـه هوا می‌پـردازد. در ایـن راسـتا مؤسسـان Artveoli, Inc به توسـعه راهـکاری مشـابه فرایند فتوسـنتز گیاهـان پرداخته‌اند که قـادر به تبدیل CO_2 به O_2 است.

استارت‌آپ Kurin Systems

به‌تازگـی سـازمان جهانی مالکیـت معنوی (WIPO[6]) اختراعـی از اسـتارت‌آپ هنـدی Kurin Systems را بـه ثبت رسـانده اسـت که نشـان می‌دهد «بزرگ‌ترین تصفیه‌کننده هوا در جهان» است. این برج بلند که «City Cleaner» نامیده می‌شود با ابعادی با ارتفاع حدود ۱۲.۹ متـر و پهنای ۶.۱ متر، می‌تواند هـوا را در یـک شـعاع ۳ کیلومتـری بـرای نزدیک به ۷۵هزار نفـر پاکیزه و تصفیه کند. برج‌هـای«City Cleaner» از روش‌هـای یونیزاسـیون برای حـذف ذرات معلق و قابل مشـاهده در هـوا (مانند PM۱۰) اسـتفاده می‌کنند و با به‌کارگیری یک فیلتر ۹ مرحله‌ای تـا ۹۹.۹۹درصـد ذرات کوچک‌تـر ماننـد

شـکل ۶- محصول هوشند درخت شهر با قابلیت پالایش هوا معادل با ۲۷۵ درخت شهری

شکل ۷- برج مکش آلودگی هوا در هلند



شـکل ۸- انگشـتر تولیدشـده از ذرات کربـن توسـط Studio Roosegaarde

6. World Intellectual Property Organization

PM۲٫۵ از هوای آلوده حذف می‌شوند. گفته می‌شود این برج قادر به تولید ۱۳میلیون مترمکعب هوای تازه در هر ساعت است. ضمن آنکه این برج دوست‌دار محیط‌زیست است و می‌تواند با انرژی خورشیدی نیز کار کند.

استارت‌آپ

Plasmacat Development Venture

استارت‌آپ Plasmacat Development Venture که از سال ۲۰۰۹ در ایالات متحده در حوزه پالایش هوا فعالیت دارد، با ایجاد میدان الکتریکی به بهبود احتراق سوخت‌های دیزلی و بنزینی می‌پردازد. کربن سیاه ناشی از احتراق سوخت دیزل یکی از اجزای اصلی ذرات معلق ریز (PM۲٫۵) است که آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC[۷]، ۲۰۱۲) آن را به‌عنوان ماده سرطان‌زای کلاس ۱ برای انسان طبقه‌بندی کرده است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده حدود یک‌پنجم از انتشارات کربن سیاه، ناشی از صنعت حمل‌ونقل و بیش از ۹۰درصد وسایل نقلیه دیزلی است.

فناوری بهبود احتراق سوخت این استارت‌آپ به‌وسیله میدان الکتریکی، منجر به افزایش واکنش‌پذیری مجدد، کاهش مصرف سوخت و در نهایت کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌شود. این رویکرد قابل انطباق بر موتورهای وسایط نقلیه، کوره، دیگ‌های بخار و... است. میزان درآمد سالانه این شرکت حدود ۲۳۵,۴۰۵ دلار تخمین زده شده است.

تولید سوخت از آلودگی هوا

به‌تازگی محققان دانشگاه‌های Universi-ty of Antwerp و KU Leuven در بلژیک، موفق به ساخت دستگاهی شده‌اند که ضمن تصفیه هوا، قادر به تولید سوخت هیدروژنی از آلاینده‌های هوا است. دستگاه توسعه‌یافته شامل دو اتاقک است که به وسیله یک غشا از یکدیگر جدا شده‌اند؛ در یک طرف آن هوا تصفیه شده و در اتاقک دیگر آن هیدروژن آزاد می‌شود!

شکل ۹- تولید سوخت هیدروژنی از آلاینده‌های هوا

لازم به توضیح است که پیش از این فرایند فوتوکاتالیست ناهمسان برای جداسازی هیدروژن از آب و تفکیک آلاینده‌های گازی از هوا به صورت جداگانه صورت می‌گرفت. اما محققان مذکور توانسته‌اند این مشکل را با یک «سلول فوتوالکتروشیمیایی» حل کنند که از سلول خورشیدی برای تولید هیدروژن به شکلی مشابه با الکترلیز آب استفاده می‌کند و کاملا مبتنی بر انرژی خورشیدی است. اگرچه باید اظهار کرد دستگاه مذکور در حال حاضر تنها در حدود چند سانتی‌متر مکعب حجم دارد و مراحل تکامل را پشت سر می‌گذارد. نمایی از این دستگاه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جمع‌بندی

امروزه آلودگی هوا که به‌عنوان «دخانیات جدید» عصر ما نام گرفته است، زندگی مردمان بی‌شماری را در نقاط مختلف جهان در معرض مخاطره قرار داده است. به‌منظور مقابله با این معضل، استارت‌آپ‌های فراوانی به ارائه طرح‌ها و ایده‌های گوناگون برای کاهش سطح آلودگی و بهبود فضای زندگی پرداخته‌اند. همان‌طور که بیان شد، عمده فعالیت‌های این استارت‌آپ‌ها بر پایش و پالایش آلودگی هوا متمرکز است. ولی باید توجه داشت استارت‌آپ‌های فعال در زمینه مدیریت و کنترل آلودگی هوا تنها محدود به حوزه‌های پایش و پالایش آلودگی هوا نیستند و بسیاری از این استارت‌آپ‌ها با اتخاذ رویکردهایی نظیر پلتفرم آنلاین کارپولینگ[۸]، اشتراک‌گذاری دوچرخه‌های الکتریکی خورشیدی و تعبیه شارژر هوشمند الکتریکی خودرو در آپارتمان‌ها به فرهنگ‌سازی و اصلاح سبک زندگی در جهت کاهش میزان

7. International Centre for Research on Cancer

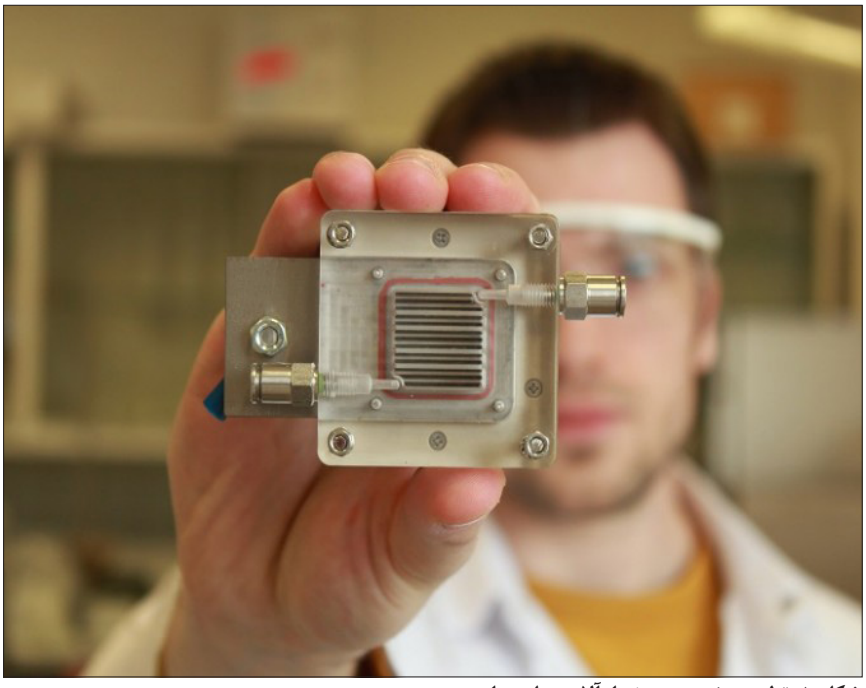
۸. به نوعی اشتراک خودروی سواری شخصی گفته می‌شود، به‌طوری که بیش از یک نفر بتواند در یک زمان از آن خودرو استفاده کند و یک رویکرد کارا برای کاهش تعداد خودروهای تک‌سرنشین در سطح شهر است.

آلودگی هوا می‌پردازند.

برخی از رویکردهای به‌کار رفته در این استارت‌آپ‌ها، بسته به نوع فعالیت آنها در زمینه‌های پایش و پالایش آلودگی هوا و همچنین فرهنگ‌سازی و اصلاح سبک زندگی، به‌صورت ذیل قابل بیان است:

- حوزه پایش کیفیت هوا: سنسورها، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و داده‌کاوی و پلتفرم آنلاین؛
- حوزه پالایش کیفیت هوا: سنسورها، اینترنت اشیا، فرآیند شیمیایی (نظیر بایو، نانو وکاتالیست)، فیلتر (گیاهی، کربنی، بایو)، هوش مصنوعی و داده‌کاوی و پلتفرم آنلاین؛
- فرهنگ‌سازی و اصلاح سبک زندگی: اینترنت اشیا، پلتفرم آنلاین.

علاوه بر تاسیس استارت‌آپ‌ها، مسابقات مختلفی در سراسر جهان برای مقابله با آلودگی هوا برگزار می‌شود. از جمله آنها مسابقه smogathon است که هرساله با جذب ایده‌های خلاقانه از نقاط مختلف جهان به معرفی بهترین استارت‌آپ‌ها در حوزه کنترل و مدیریت آلودگی هوا می‌پردازد و همچنین با حمایت از پروژه‌های برتر امکان پیاده‌سازی و اجرای آنها را نیز فراهم می‌آورد.



شکل ۱۰- تولید سوخت هیدروژنی از آلاینده‌های هوا

منابع:

- مهدی الیاسی، مهدی محمدی، مائده شریفی، پرویز کرمی، "بررسی تجربیات جهانی شرکت های استارت آپ در حوزه مدیریت آلودگی هوا، حوزه های فعالیت، فناوری ها و مدل های کسب وکار"، سال ۱۳۹۷
- Air Quality Monitoring Using IoT and Big Data A Value Generation Guide for Mobile Operators, 2018 GSMA.
- http://geoawesomeness.com/aclima-to-scale-intelligent-air-pollution-mapping-platform-with-24m-funding/
- http://www.luxresearchinc.com/
- https://atelier.bnpparibas/en/health/article/startups-working-ensure-smart-city-air-breathable
- https://cleantechnica.com/2017/08/11/best-air-pollution-startups/
- https://digiato.com/article/2017/02/15/%D8%AA%D9%88%D8%B3%D8%B9%D9%87-%D8%AF%D8%B3%D8%AA%DA%AF%D8%A7%D9%87%DB%8C-%DA%A9%D9%87-%D9%85%D-B%8C-%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86%D8%AF-%D8%A2%D9%84%D9%88%D8%AF%DA%AF%DB%8C-%D9%87%D9%88%D8%A7-%D8%B1%D8%A7/
- https://ecomotive.ir
- https://i3connect.com/tag/air#
- https://interestingengineering.com/15-projects-that-could-quash-air-pollution-
- https://investinholland.com/studio-roosegaarde-opens-worlds-first-smog-free-tower-in-rotterdam/
- https://smogathon.com
- https://www.crunchbase.com/organization
- https://www.thebetterindia.com/163770/delhi-air-pollution-solution-kurin-smog-tower-news/

گفت‌وگو با دکتر وحید حسینی؛ دبیر کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا

تجربیات موفق و کیفیت اجرای مصوبات مربوط به کاهش آلودگی هوا

یکی از آسیب‌هایی که در حوزه معضلات زیست‌محیطی در کشور وجود دارد، عدم اجرای مناسب مصوبات و قوانین مربوطه است. برای نمونه می‌توان به مسأله دریاچه ارومیه اشاره کرد که دغدغه همه ایرانیان و اولویت اصلی رئیس‌جمهور است. به لحاظ فنی ثابت شده که دریاچه ارومیه قابلیت احیا دارد و آب به اندازه کافی در حوضه آبریز برای دریاچه هست. مسأله اصلی مدیریت مصرف آب کشاورزی است که برای آن برنامه‌ریزی بلندمدت شده است. سال ۱۳۹۳ در جلسه هیأت وزیران مصوب شد هیچ‌گونه توسعه کشاورزی که منجر به افزایش مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شود، نباید اتفاق بیفتد. علی‌رغم این مصوبه، در طول سال‌های ۹۳ تا ۹۶ شاهد اجرای طرح‌های توسعه کشاورزی از محل منابع دولتی توسط وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی در سطح حوضه آبریز دریاچه بوده‌ایم. برای مثال در طول بازه زمانی ذکرشده سطح زیر کشت اطراف سد حسنلو ۳۵درصد افزایش داشته است. همچنین کشت چغندر قند که بسیار آب‌بر است توسعه قابل توجهی پیدا کرده است. در زمینه آلودگی هوا نیز مصوبه‌های سال ۹۳ و ۹۵ هیأت دولت دو مورد از مهم‌ترین مصوبات هستند. از آنجا که وظیفه اصلی دبیرخانه کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا پیگیری نحوه اجرای مصوبات است، در گفت‌وگویی که با آقای دکتر وحید حسینی داشتیم، از کیفیت اجرای این مصوبات جویا شدیم. همانند مسأله دریاچه ارومیه، دستگاه‌های مسئول همکاری موثری در اجرای مصوبات مربوط به آلودگی هوا ندارند و برنامه‌های خوبی که تدوین شده، مثل برنامه چهارساله کاهش آلودگی هوای تهران، عملا پیشرفتی نداشته‌اند. آلودگی هوای تهران سال‌ها است به‌عنوان یک دغدغه جدی مطرح است، اما زمانی که یک برنامه علمی دقیق مثل برنامه چهارساله کاهش آلودگی هوای تهران به مجلس ارائه می‌شود، حمایت‌های لازم از آن به عمل نمی‌آید و ردیف بودجه‌ای به آن اختصاص داده نمی‌شود. ظاهرا معضلات زیست‌محیطی و سلامت جامعه هنوز در زمره اولویت‌های اصلی مسئولان قرار نگرفته است. نبود انسجام سازمانی و وحدت رویّه در اجرای موثر مصوبات زیست‌محیطی و طرح‌هایی مثل برنامه احیای دریاچه ارومیه و برنامه چهارساله کاهش آلودگی هوای تهران یک آسیب جدی است و باید برای حل آن چاره‌ای اندیشید. دکتر حسینی به مدت چند سال ریاست شرکت کنترل کیفیت هوای تهران را نیز بر عهده داشته‌اند. در این گفت‌وگو در مورد اقدامات شاخص و تجربیات ایشان در زمان مدیریت این شرکت نیز پرسیدیم.

فناورد | یکی از مهم‌ترین اقدامات شما در زمان مدیریت شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، سامان‌دهی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در سطح شهر تهران است. لطفا از تجربیات خود در این رابطه بگویید.

اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در هوای محیط از طریق ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در ایران سابقه‌ای طولانی دارد. در حال حاضر بالغ بر ۲۰۰ ایستگاه پایش هوا در سطح کشور موجود است که در مناطق مرزی، کلان‌شهرها و بخش‌های صنعتی مثل عسلویه و پارس جنوبی غلظت آلاینده‌ها را در هوا اندازه‌گیری می‌کنند. در تهران هم حدود ۴۰ ایستگاه پایش کیفیت هوا وجود دارد که نیمی از آنها متعلق به شهرداری و نیمی دیگر متعلق به اداره محیط زیست تهران است. من متوجه شدم که متاسفانه اندازه‌گیری‌ها در این ایستگاه‌ها مطابق با استانداردها و رویّه‌های معمول دنیا اتفاق نمی‌افتد. ما در ایران به‌شدت به خرید تجهیزات گران‌قیمت علاقه داریم. تجهیزات را خریداری می‌کنیم، اما بعدا در راهبری و نگهداری و بعضا در راه‌اندازی آنها با مشکل جدی مواجه می‌شویم. ایجاد یک ساختار کارآمد و پویا برای راهبری و نگهداری اصولی ایستگاه‌های شهرداری تهران بیش از سه سال وقت مرا در شرکت کنترل کیفیت هوا گرفت. زمانی که مدیریت شرکت را به عهده گرفتم میزان داده در دسترس ایستگاه‌ها حدود ۳۰درصد زمان کاری بود که البته آن میزان داده هم به دلیل راهبری نامناسب از کیفیت لازم برخوردار نبود. مسأله راهبری ایستگاه‌های پایش هوا به قدری برای ما مهم بود که منجر به تعدیل نیرو در شرکت کنترل کیفیت هوا شد. ما تعدادی از کارشناسانی را که تخصص کافی و همکاری مساعد نداشتند از شرکت کنار گذاشتیم. بعدا متوجه شدم که تعدادی از شرکت‌ها داخلی هستند که عملا به‌عنوان دلال تجهیزات فعالیت می‌کنند. تجهیزات گران‌قیمت پایش کیفیت هوا را در کشور می‌فروشند، اما خدمات فنی و آموزشی درستی ارائه نمی‌کنند. در طول این مدت همه شرکت‌های داخلی را ارزیابی کردم و ملاحظه کردم هیچ‌یک توانمندی‌های فنی لازم را ندارند. یک شرکت فرانسوی تا کنون از فروش انبوه ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در کشور میلیون‌ها یورو سود کرده است، اما شرکت مذکور ظاهرا به سود کلان فروش تجهیزات اکتفا کرده و از ایجاد یک مرکز فنی مناسب برای خدمات‌دهی به انبوه ایستگاه‌هایش در کشور دریغ کرده است. نماینده داخلی آن شرکت هم از حداقل دانش فنی برخوردار نیست. بنابراین همت کردیم، تعدادی

از فارغ‌التحصیلان رشته‌های مربوط را شناسایی کردیم، آموزش‌های عمومی را به آنها ارائه دادیم و از شرکت‌های سازنده خارجی دعوت کردیم آموزش‌های تخصصی‌تر به آنها را بر عهده بگیرند. با حمایت ما شرکت‌های خصوصی شکل گرفتند و ما راهبری و نگهداری ایستگاه‌های شهرداری تهران را به این شرکت‌ها واگذار کردیم. قراردادی که با این شرکت‌ها منعقد می‌شود به این صورت است که پول بر اساس میزان داده در دسترس ایستگاه‌ها پرداخت می‌شود. اگر یک ایستگاه کمتر از میزان مشخص‌شده در قرارداد، دیتای در دسترس داده باشد پیمانکار هر چقدر هم که هزینه کرده باشد، پولی دریافت نمی‌کند. البته داده‌های گزارش‌شده را کارشناسان شرکت به‌صورت چشمی کنترل می‌کنند. الگوریتم‌هایی هم برای تایید داده‌ها وجود دارد. به میزان داده‌های نادرست گزارش‌شده، از مبلغ پرداختی به شرکت‌ها کاسته می‌شود. ایجاد این شرکت‌های خصوصی و فعالیت آنها در قالب مدل تجاری یادشده، باعث شد پس از گذشت ۴ سال میزان داده در دسترس ایستگاه‌های شهرداری تهران به بالای ۹۰درصد برسد. این ساختار بسیار پویا است. ما می‌توانستیم افراد را در شرکت استخدام کنیم. اما استخدام یعنی درآمد مستقل از کیفیت کار. ترجیح ما این بود که شرکت‌های مستقل برای راهبری ایستگاه‌ها شکل بگیرند، خدمات ارائه بدهند و البته درآمد و اشتغال‌زایی خوبی هم داشته باشند.

مسأله ایستگاه‌های پایش در سطح کشور یک معضل بسیار جدی است. شاید بتوان گفت تنها ایستگاه‌های موجود در کشور که داده معتبر گزارش می‌کنند، ایستگاه‌های شهر تهران هستند. وضعیت در سایر مناطق کشور اصلا مناسب نیست. گمان نمی‌کنم بیش از نیمی از کل ایستگاه‌های کشور داده داشته باشند. البته داده‌ای هم که گزارش می‌شود چندان قابل استناد نیست، زیرا راهبری و کالیبراسیون تجهیزات طبق اصول انجام نمی‌گیرد. عملا پولی برای این ایستگاه‌ها هزینه نمی‌شود. تجهیزات اندازه‌گیری ایستگاه‌های پایش بسیار حساسند و نیاز به کالیبراسیون روزانه و هفتگی دارند. راهبری نادرست باعث شده میزان داده در دسترس ایستگاه‌ها تا ۲۰ یا ۳۰درصد کاهش پیدا کند. این در حالی است که مطابق استاندارد، برای میانگین‌گیری، میزان داده در دسترس باید بالای ۹۰درصد باشد. این بدین معنی است که عددی که به‌عنوان شاخص کیفیت هوا در شهرها گزارش می‌شود، مبتنی بر داده نامعتبر است و معیار دقیقی از کیفیت هوا نیست.

بعضی دستگاه‌های دیگر نیز به این معضل دچار شده‌اند. برخی از سازمان‌های دولتی مثل وزارت بهداشت، سازمان هواشناسی و مجتمع‌های پتروشیمی در عسلویه که نیاز به اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها دارند، به موازات سازمان‌های مسئول دیگر اقدام به خرید تجهیزات کرده‌اند. اما بعدا در راهبری ایستگاه‌ها با مشکل مواجه شده‌اند و ایستگاه‌ها معمولا خراب و غیرفعال هستند. وضعیت در کشور به این صورت است. ما تجربیات خوبی در این زمینه داریم. این تجربیات را در اختیار سایر سازمان‌ها هم قرار داده‌ایم. البته از کمک دانشگاه صنعتی شریف هم استفاده کردیم. تجهیزات مورد نیاز در اختیار آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف قرار داده شد و یک آزمایشگاه کالیبراسیون راه‌اندازی گردید. این آزمایشگاه موفق به اخذ استاندارد ISO ۱۷۰۲۵ از نهادهای بین‌المللی شده است. تجهیزات ایستگاه‌های شهرداری تهران در محل این آزمایشگاه از نظر دبی جرمی، فشار، دما و غلظت کالیبره می‌شوند.

فناورد | از دیگر اقدامات شاخص شرکت کنترل کیفیت هوای تهران در زمان مدیریت شما، انجام پروژه آنالیز شیمیایی ذرات معلق است. ظاهرا این طرح در مقیاس ملی تحت عنوان پروژه منشأیابی ذرات ایران در دستور کار قرار گرفته. لطفا در این رابطه توضیح دهید.

برای تدوین یک برنامه کاهش آلودگی هوا ابتدا باید بتوانیم غلظت آلاینده‌ها در هوای محیط را اندازه‌گیری کنیم تا بتوانیم ارزیابی اولیه‌ای از وضعیت هوای منطقه داشته باشیم. بنابراین تا وضعیت ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا را سامان نبخشیم، تصویر درستی از آلودگی هوا نداریم. برای کاهش آلودگی هوا ابتدا باید منابع عمده آلاینده را بشناسیم. شناسایی منابع دو وجه دارد؛ یکی سیاهه انتشار است که در شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای اولین بار تولید و در قالب یک سامانه راه‌اندازی شد. همین الگو باعث شد تا دولت تصمیم بگیرد سامانه سیاهه انتشار را در سطح ملی برای ۸ کلان‌شهر راه‌اندازی کند که در دست اقدام است و احتمالا تا تابستان پیش رو به نتیجه می‌رسد. سیاهه انتشار یک ابزار اساسی برای کنترل آلودگی هواست. اما تا پیش از این کسی به فکر آن نبوده است. زمانی که من مدیریت شرکت کنترل کیفیت هوای تهران را به عهده گرفتم، از من خواسته شد یک برنامه پیشنهادی برای کاهش آلودگی هوای

تهران به شهرداری و شورای شهر تحویل بدهم. اولین سوال من در مورد سیاهه انتشـار بود. اما کسـی در این رابطه اطلاعی نداشت. در حالی که تدوین سیاهه انتشـار کار پیچیده‌ای نیسـت. تعجب مـن از این بود که تا پیش از این سـیاهه انتشار در کشور تدوین نشده بود.

وجه دیگر شناسـایی منابع آلاینده، منشـأیابی ذرات معلق است. سیاهه انتشار مشـخص می‌کند که یک منبع در یک بازه زمانی چند تن آلاینده در هوا منتشر می‌کند. اما مردم آلاینده‌ها را مسـتقیما از منابع تنفس نمی‌کنند. این آلاینده‌ها در جو طی فعل و انفعالات شـیمیایی مختلف تغییـر و تبدیل پیدا می‌کنند. این پدیده را می‌توان با آنالیز شیمیایی و منشأیابی ذرات معلق بررسی کرد. این کار را برای اولین بار شـرکت کنترل کیفیت هوای تهران انجام داد. با اندازه‌گیری‌های دقیق ایسـتگاه‌های پایش، تدوین سیاهه انتشار و منشـأیابی ذرات معلق عملا تصویر آلودگی هوای تهران کامل شـد. پروژه منشأیابی ذرات تهران را آقای دکتر ارحامی، عضو هیأت علمی دانشـکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف با همکاری یکی از اسـتادان دانشـگاه ویسکانسـین انجام داد. این الگو باعث شد پروژه منشـأیابی ذرات در مقیاس ملی مطرح شود و مصوبه هیأت وزیران را بگیرد. در حال حاضر سـازمان محیط زیسـت به جد پیگیر تامین اعتبارات لازم برای انجام این طرح ملی است.

از آنجا که داده‌های شهر تهران، داده‌های دقیق و معتبری هستند، بانک جهانی چند بار در گزارش‌های خود از این داده‌ها استفاده کرده و حالا حاضر به حمایت مالی از پروژه منشـأیابی ذرات ایران شـده اسـت. کار با همکاری بانک جهانی فعلا برای دو شـهر، احتمالا اصفهان و اهواز قرار است شروع شود. البته زمانی که در شـرکت کنترل کیفیت هوا مشغول بودم، قراردادی با جایکای ژاپن منعقد کردم تا آزمایشـگاه‌های آنالیز شـیمیایی ذارت را به‌صورت رایگان برای ما در کشور راه‌اندازی کنند. دولت ژاپـن، بالغ بر ۱۲ میلیـون دلار برای تامین تجهیـزات ایـن کار اختصـاص داد. این موضوع کماکان در دسـت پیگیری اسـت، اما با توجه به شرایط تحریم، مشکلاتی دارد.

آنالیز شیمیایی ذرات معلق فرایند پیچیده و سختی اسـت و نیاز به امکانات خاص دارد. البته نه اینکه در کشـور امکانات لازم را در اختیار نداشته باشیم، بلکه تجربه اندازه‌گیری در غلظت‌های بسـیار کم را فعلا نداریم و در کالیبراسیون تجهیزات مربوطه مشـکل جـدی داریم. بنابرایـن برای انجـام پروژه‌هایی مثل منشـأیابی ذرات که برای کشـور حیاتی هستند، سـعی می‌کنیم فعلا از ظرفیت آزمایشـگاه‌های خارج از کشور استفاده کنیم. البته حتما به فکر ظرفیت‌سازی در داخل کشور هم هستیم. با وزارت علوم هماهنگ کرده‌ایم که دانشجویان دکتری رشته‌های مربوط را اعزام کنیم تا در آزمایشگاه‌های خارج از کشور مشغول به کار شوند و آموزش ببینند.

منشـأیابی ذرات معلق بسـیار مهم اسـت. از این جهت که پروفیل آلودگی هوا در اهواز، اراک، اصفهان و... متفاوت اسـت. بنابراین این طرح لازم اسـت در سطح ملی انجام بگیرد و به‌طور مستمر، هر چند سال یکبار برای ارزیابی میزان اثربخشی اقدامات به‌روز شود. ما برای بار اول به سختی توانستیم شهرداری تهران را مجاب کنیم کـه انجام این طرح ضروری اسـت. همچنین بـرای متقاعدکردن دولت و تصویب این طرح در هیأت وزیران بسیار تلاش کردیم. همیشه شروع این اقدامات سـخت اسـت. تاکنون تجربه انجام این طرح از سوی سـازمان محیط زیست در سطح ملی در کشور وجود نداشته، اما تلقی من این است که پس از انجام آن برای دو شهر، این کار رایج می‌شود و ادامه پیدا می‌کند.

فـناورد | لطفـا در مورد میزان پیشـرفت برنامه چهارسـاله کاهش آلودگی هوای تهران تا به امروز توضیح دهید.

می‌توانم بگویم این برنامه عملا هیچ پیشرفتی نداشته است. ما برنامه چهارساله کاهش آلودگی هوای تهران را بر مبنای سـیاهه انتشـار، منشأیابی ذرات معلق و یـک مدل پخش آلودگی هوا تدوین کردیم. یعنی از چند ابزار ریاضی اسـتفاده کردیـم و چنـد سـناریو را در نظر گرفتیـم. محاسـبه کردیم که بـرای کاهش ۵۰درصـدی انتشـار ذرات معلق در تهران چه اقداماتی بایـد انجام بدهیم. چند پـروژه در دل این برنامـه تعریف کردیم و یک نظام مالی هم بـرای این پروژه‌ها تدویـن کردیم. این برنامه با نرخ ارز ۳۸۰۰ تومانی، ۷۵۰۰ میلیارد تومان در طول چهار سال نیاز داشت تا میزان انتشار ذرات معلق در تهران ۵۰درصد کاهش پیدا کند. محاسبات مربوط به کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها در این برنامه دقیق و بر مبنای سناریوهای مختلف و سیاهه انتشار است. محاسبات مالی آن هم دقیق بود، اما با تغییرات شـدید نرخ ارز در این بازه زمانی، کل برنامه از پشـتوانه مالی و اعتباری سـاقط شد. در شرایط فعلی با توجه به نوسانات بازار ارز نمی‌توان یک نظام مالی دقیق برای سـرمایه‌گذاری در ایـن طرح ارائه داد. بنابراین این برنامه مطلقا به جایی نرسـید. حتی یک قدم هم پیش نرفت. شهرداری این برنامه را به مجلـس ارائـه داد، اما هیچ ردیف بودجه‌ای به این برنامه تخصیص داده نشـد. بودجه‌هـای محدودی هم که برنامه‌های کاهش آلودگی هوا داشـت، شـورای شهر آنها را حذف کرد.

از آنجا که داده‌های شهر تهران، داده‌های دقیق و معتبری هستند، بانک جهانی چند بار در گزارش‌های خود از این داده‌ها استفاده کرده و حالا حاضر به حمایت مالی از پروژه منشا یابی ذرات ایران شده است. کار با همکاری بانک جهانی فعلا برای دو شهر، احتمالا اصفهان و اهواز قرار است شروع شود.

فـناورد | در مصوبـه تیرمـاه سـال ۹۵ هیأت وزیـران مقرر شـد مبلغ ۲۲ هزار میلیارد ریال برای اجرای برنامه یک‌ساله جایگزینـی خودروهای فرسـوده در برنامـه کاهش آلودگی

کلان‌شهرها از طرف بانک مرکزی اختصاص داده شود. لطفا در مورد این برنامه یک‌ساله توضیح دهید. آیا پس از گذشت تقریبا سه سال از تصویب، این مصوبه کاملا اجرا شده است؟

این بند مربوط به نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی شامل اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها، خودروهـای سـنگین بـاری و همچنین خودروهای شـخصی می‌شـود. طبق محاسـبات این طرح به ۲۲ هزار میلیارد ریال سرمایه از منابع دولتی نیاز داشت. تقریبـا هیچ‌کدام از منابع مالی مورد نیاز آن تامین نشـد و در نتیجه اقدام خاصی هـم در زمینه این مصوبه صورت نگرفـت. تنها پروژه‌ای که خوب پیش می‌رفت، نوسازی تاکسی‌های فرسوده بود که آن هم با کارشکنی خودروساز متوقف شد. در سال ۹۶ در قالب همین طرح بالغ بر ۶۰ یا ۷۰ هزار تاکسی نوسازی شد و تاکسی سـمند دوگانه‌سوز تحویل داده شـد، اما پس از آن خودروساز حتی یک مورد هم تحویل نداد. تاکسی قیمت مصوب دارد و خودروساز نمی‌تواند به هر قیمتی آن را بفروشـد. بنابراین در شرایط فعلی بازار، ترجیح می‌دهد خودروهای تولیدی خود را در بازار آزاد به فروش برساند تا پاسخگوی ثبت‌نام‌های زودهنگام باشد. این مسأله به یک کلاف سر در گم تبدیل شده است. در مجموع می‌توانم بگویم که بعد از سه سال تقریبا این بند از مصوبه سال ۹۵ هیچ پیشرفتی نداشته است.

فـناورد | لطفا در مورد طرح جایگزینی موتورسـیکلت‌های فرسـوده، اهمیـت و نقـش آن در کاهش آلودگـی هوا و چالش‌های پیش روی آن توضیح دهید.

موتورسـیکلت‌ها در کشـور تا قبل از آنکه ما پیگیر ممنوعیت تولید آنها بشـویم، کاربراتوری تولید می‌شدند. موتورسیکلت‌های کاربراتوری نقش مهمی در آلودگی هـوای تهران دارند. ما تحقیقی در این زمینه انجام دادیـم و نتایج آن را در قالب یک مقاله منتشر کردیم. موتورسـیکلت‌های کاربراتوری به طور متوسط ۱۵ گرم بر کیلومتر آلاینده منتشـر می‌کنند. در حالی که موتورسـیکلت‌های انژکتوری با تکنولـوژی بالاتر، کمتـر از ۲ گرم بر کیلومتر ذرات منتشـر می‌کنند. ما موضوع منع پلاک‌گذاری موتورسـیکلت‌های کاربراتوری را در هیأت دولت مطرح کردیم. مدت زمان زیادی طول کشید تا این طرح به تصویب برسد. وقتی هم که تصویب شد، یک مهلت ۵ ماهه به سازندگان داده شد تا به تولید ادامه بدهند. در آن سال تولید سالانه از ۳۰۰ هزار دستگاه موتورسیکلت کاربراتوری به ۷۰۰ هزار دستگاه رسید. صنعت تولید موتورسیکلت کاربراتوری صنعت پیشرفته‌ای نیست، اما سود سرشاری دارد. بدیهی است که بهبود تکنولوژی باعث می‌شود حاشیه سود پایین‌تر بیاید. به همین دلیل تولیدکننـدگان در برابر این طرح مقاومت زیادی می‌کردند. به هر ترتیب این طرح عملیاتی شد و از ابتدای سال ۹۶ با پیگیری دولت و پلیس موتورسـیکلت کاربراتوری دیگر در کشـور تولید نشد، اما مسـأله این است که تا پایان سـال ۹۵ یازده میلیون از این موتورسـیکلت‌های کاربراتوری پلاک‌گذاری و وارد خیابان‌های کشـور شده است. ما نمی‌توانیم صبر کنیم تا این یازده میلیون دستگاه به‌تدریج از چرخه حمل‌ونقل خارج شوند، زیرا بخش مهمی از آلودگی هوا و آلودگی صوتی شـهر تهران مربوط به همین موتورسـیکلت‌های فرسوده است. دولت باید اعمال فشـار کند تا این موتورسیکلت‌ها زودتر از خیابان‌ها جمع شوند.

هم اقدامات سـلبی نیاز اسـت و هم اقدامات ایجابی. دولت هم باید از تردد این موتورسیکلت‌ها جلوگیری کند و هم به افراد وام بدهد. الان موتورسیکلت در بازار خیلی گران شـده و افراد توانایی خرید دسـتگاه جدید را ندارند. اگر دولت در این زمینـه کمک کند، هم به کاهـش آلودگی هوا کمک کرده و هـم به تولید. البته تولیدکنندگان بهانه می‌آورند که اعمال سـخت‌گیری‌ها باعث کاهش فروششان شده، اما حقیقت این است که وسیله ۸ میلیون تومانی در شرایط اقتصادی فعلی خریدار زیادی ندارد. ما پیشنهادمان را به دولت ارائه کرده‌ایم تا از بودجه سال قبل بخشـی را به نوسازی موتورسیکلت‌های تهران اختصاص بدهد تا حداقل بتوانیم حدود ۱۰۰ هزار دستگاه موتورسیکلت فرسوده را از خیابان‌ها جمع‌آوری کنیم.

فـناورد | میزان مشـارکت دستگاه‌های مسـئول در اجرای مصوبات مربوط به آلودگی هوا را چگونه ارزیابی می کنید؟

میزان مشارکت‌ها در کل قابل قبول نیست. مهم‌ترین دلیلش این است که کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا و سازمان محیط زیست به عنوان دستگاه ناظر بر اجرای قانون هوای پاک، ابزار نظارتی کارآمدی در اختیار ندارد. حداکثر کاری که می‌توانیم برای پیگیری اجرای مصوبات انجام بدهیم این است که به دستگاه‌ها نامه بزنیم، جلسه تشکیل بدهیم و یادآوری کنیم. اما اگر باز هم مصوبه‌ای اجرا نشد، دیگر کار خاصی از دستمان برنمی‌آید. این ساز و کار نظارتی باید اصلاح بشود. به نحوی که اگر مصوبه‌ای به درستی در موعد مقرر اجرا نشد، قابل پیگیری باشد. مثلا جلوی بودجه دستگاه مسئول گرفته شود یا مدیری عزل شود. در غیر این صورت مشکل حل نمی‌شـود. از آنجا که اقتصاد ما به شـدت دولتی اسـت و دولت تصدی‌گری زیادی در اقتصاد دارد، مسـئول اصلی آلودگی هوا دولت اسـت. بخش خصوصی سهم زیادی در آلودگی هوا ندارد. بنابراین در عمل نظارت سازمان محیط زیست در موضوع آلودگی هوا، نظارت دولت بر دولت است. این نظارت ابزار ضمانت اجرایی لازم دارد که در حال حاضر ما این ابزار را نداریم. البته ایده‌هایی برای سامان‌دادن به این سازوکار نظارتی داریم. اما در مجموع به دلیل نداشتن ابزار نظارتی مناسب، همکاری دستگاه‌ها در زمینه آلودگی هوا تاکنون جدی نبوده است.

بـه عقیده من تا حالا وزارت نفت در این زمینه خوب عمل کرده اسـت. الان در شـهرها بنزین یورو۴ توزیع می‌شود. همچنین سـوخت دیزل با محتوای گوگرد پایین در شـهرها و محورهای مواصلاتی توزیع می‌شود. وزارت کشور به سختی نمـره قبولی می‌گیـرد. برخی از مصوبـات را اجرا کرده، اما بعضـی از مصوبات مهم را اصلا اجرا نکرده اسـت. ما در مـورد موضوعات معاینه فنی، نصب فیلتر دوده روی اتوبوس‌های شـهری و نوسـازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی با وزارت کشـور مشکل اساسی داریم. وزارت صنعت، معدن و تجارت هم اصلا همکاری نمی‌کنـد. تقریبا هیچ یک از مصوباتی را که دولـت موظفش کرده، انجام نداده اسـت. پلیس هم همکاری درخشـانی ندارد. برخی از مصوبات را اجرا می‌کند و برخی دیگـر را نه. پلیس یک مقدار با مصوبات سـلیقه‌ای برخورد می‌کند. مثلا عنـوان می‌کند که فلان مصوبـه تبعات اجتماعی دارد و به نفع جامعه نیسـت. نگرانـی در مورد این مسـائل وظیفه ما نیسـت. وقتی مصوبه‌ای بـرای اجرا به دستگاهی محول می‌شود، باید کاملا در موعد مقرر اجرا شود.

گفت‌وگو با دکتر شینا انصاری؛ مدیر کل دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست

اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوای ایران

وضعیت کنونی، چالش‌ها و برنامه‌ها

اولین گام در کنترل و مدیریت موثر آلودگی هوا، تحلیل دقیق آن است. اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا یکی از ابزارهای کلیدی برای تحلیل آلودگی هوا به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت موضوع بر آن شدیم طی گفت‌وگویی با خانم دکتر شینا انصاری، مدیر کل دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست، از وضعیت فعلی اندازه‌گیری آلاینده‌های معیار، مشکلات و راهکارهای راهبری ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و وضعیت پایش کیفیت سوخت جویا شویم. همچنین از ایشان در مورد برنامه‌های آتی سازمان محیط زیست در خصوص سنجش آلاینده‌های خاص و سنجش آلودگی بو پرسیدیم. از دیگر مسائل مهم مطرح‌شده در این گفت‌وگو، موضوع پایش آنلاین صنایع بود. ایشان در مورد مکانیزم‌هایی که برای صحت‌سنجی اندازه‌گیری‌ها اندیشیده شده، توضیح دادند.

فناورد | وضعیت اندازه‌گیری آلاینده‌های معیار و راهبری ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در کشور را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ چه محدودیت‌ها و موانعی در این رابطه وجود دارد؟

در بحث اندازه‌گیری ما با شرایط ایده‌آل و با کشورهای توسعه‌یافته فاصله زیادی داریم. اما وضعیت در اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به آلودگی هوا نسبت به سایر آلودگی‌های زیست‌محیطی مثل آلودگی خاک و آب، چه از نظر تخصص و تجربه و چه از نظر تجهیزات و امکانات سخت‌افزاری، به‌مراتب بهتر است. بالغ بر ۲۰ سال است که آلودگی هوا در کشور اندازه‌گیری می‌شود و در حال حاضر بالغ بر ۲۰۰ ایستگاه پایش کیفیت هوا در ۳۱ استان کشور در حال کار هستند. این ایستگاه‌ها استانداردهای معتبر بین‌المللی دارند. ابزارهای اندازه‌گیری کیفیت هوا در زمره ابزار دقیق به شمار می‌روند. بنابراین صحت، دقت و ملاحظات اندازه‌گیری بسیار حائز اهمیت است. در فرایند اندازه‌گیری آلودگی هوا برای اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌ها سه مولفه مهم را باید در نظر داشت. اول، جانمایی و مکان‌یابی ایستگاه‌ها است. مکان‌یابی ایستگاه‌ها ضوابط مشخصی دارد. ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا باید با توجه به نوع ایستگاه (شهری، ترافیکی و...) در نقاط مناسب مستقر شوند. در گذشته بنا به ملاحظات مالی، امنیتی و... ایستگاه‌ها در نقاط نامناسبی نصب می‌شدند. مورد دوم این است که تجهیزات اندازه‌گیری باید از نظر فنی مورد تایید باشند. در خرید تجهیزات همواره تاکید می‌شود که تجهیزات باید استانداردهای معتبر بین‌المللی مثل استاندارد اتحادیه اروپا و یا آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا را داشته باشند. برخی سازمان‌های دیگر در کشور مثل سازمان هواشناسی و شهرداری‌ها نیز اقدام به خرید تجهیزات پایش کیفی هوا می‌کنند. سازمان حفاظت محیط زیست از این موضوع استقبال

می‌کند، اما بعضا تجهیزات خریداری‌شده فاقد استانداردهای لازم هستند. این باعث می‌شود آمارهای ارائه‌شده همخوانی نداشته باشند. برای حل این مشکل به دنبال تدوین یک استاندارد ملی هستیم. طبق ماده ۲۰ آیین‌نامه ماده ۲ قانون هوای پاک، سازمان ملی استاندارد موظف شده است با همکاری سازمان‌های ذی‌ربط از جمله سازمان محیط زیست تجهیزات مورد تایید برای پایش آلودگی هوا را احصا کرده و فهرست آنها را اعلام کند. بدین ترتیب از خرید تجهیزات فاقد کیفیت لازم ممانعت به عمل خواهد آمد.

مورد سوم راهبری و نگهداری نظام‌مند ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا است. تامین لوازم مصرفی، تامین قطعات و کالیبراسیون تجهیزات باید به‌طور منظم و طبق اصول انجام شود. در غیر این صورت نمی‌توان به صحت داده‌های اندازه‌گیری‌شده اطمینان کرد. راهبری صحیح و اصولی ایستگاه‌ها مهم‌ترین رکن اندازه‌گیری آلودگی هوا است. ما از نظر منابع اعتباری برای راهبری مستمر ۲۰۰ ایستگاه فعال در کشور محدودیت داریم. گاهی برای مدیریت هزینه‌ها به ناچار در برخی از مراکز استان‌ها تنها آنالایزرهای ذرات PM۲٫۵ و PM۱۰ را فعال نگاه داشته‌ایم ولی از این مسأله غافل نبوده‌ایم. تمهیدات لازم برای حل مشکلات راهبری ایستگاه‌ها اندیشیده شده است. یکی از مصادیق مهم بهره‌گیری از ظرفیت سایر دستگاه‌ها و سازمان‌ها از جمله شهرداری‌ها، در راهبری ایستگاه‌ها دیده می‌شود، این کار در کشور آغاز شده و هم‌اکنون در شهرهای مشهد، اصفهان و ارومیه شهرداری‌ها در این زمینه همکاری می‌کنند. در کنار محدودیت منابع اعتباری، یکی از مهم‌ترین موانع تحریم‌های اقتصادی است که باعث شده در تامین قطعات با مشکل مواجه باشیم. در شرایط فعلی تامین قطعات برای ایستگاه‌های پایش به آسانی انجام نمی‌شود و به زمان طولانی نیاز دارد.

مسأله دیگر این است که در سنوات گذشته مراکز دارای صلاحیت برای کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری آلودگی هوا در کشور موجود نبود. در گذشته تجهیزات برای کالیبراسیون یا باید به خارج کشور منتقل می‌شدند و یا نمایندگی شرکت‌های سازنده ژاپنی و فرانسوی باید در کشور حضور پیدا می‌کردند. خوشبختانه اخیرا توانمندی‌های لازم در زمینه کالیبراسیون گاز در مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف فراهم شده است. ما این مرکز را تایید صلاحیت و به استان‌ها معرفی کرده‌ایم. در حال حاضر مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه شریف تنها مرکز دارای صلاحیت در کشور است که می‌تواند کالیبراسیون تجهیزات پایش آلودگی هوا را انجام دهد. امیدواریم در آینده بتوانیم بیشتر از ظرفیت داخلی کشور در این زمینه استفاده کنیم.

در ماده ۱۸ آیین‌نامه ماده ۲ قانون هوای پاک، راهبری اصولی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا مورد تاکید قرار گرفته. قانون هوای پاک در سال ۱۳۹۶ در مجلس شورای اسلامی تصویب شده است. در حال حاضر در کشور یک چارچوب مشخص و منسجم برای راهبری ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا وجود ندارد. در صورتی که مفاد این ماده اجرایی و عملیاتی شود، عدم انسجام و عدم وحدت رویّه موجود در راهبری ایستگاه‌ها مرتفع خواهد شد. بر اساس این ماده، سازمان ملی استاندارد موظف شده است با همکاری سازمان‌های ذی‌ربط نسبت به تدوین استاندارد ملی راهبری و نگهداری ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا اقدام کند. این استاندارد ملاحظات فنی مربوط به تجهیزات اندازه‌گیری کلیه آلاینده‌های معیار و آزمایشگاه‌های مرجع برای صحت‌سنجی و کالیبراسیون گازهای مرجع را نیز در بر می‌گیرد. مراحل اجباری‌شدن این استاندارد از طریق شورای عالی استاندارد پیگیری می‌شود. با پیگیری سازمان محیط زیست، مراحل تهیه و تدوین این استاندارد را سازمان ملی استاندارد در دست اقدام دارد و ان‌شاءالله با قید زمانی که در آیین‌نامه آمده، تا پایان امسال عملیاتی خواهد شد.

فناورد | در مورد اندازه‌گیری و سنجش آلاینده‌های خاص که عمدتا شامل ترکیبات آلی و فلزات سنگین می‌شوند چه برنامه‌هایی در دستور کار سازمان محیط زیست قرار دارد؟ لطفا به نیازمندی‌های فنی در این رابطه اشاره بفرمایید. آیا دستورالعمل، قانون یا استانداردی در مورد این آلاینده‌ها در کشور وجود دارد؟

ما از سنجش آلاینده‌های خاص غافل نبوده‌ایم و برای آن برنامه داریم. آلاینده‌های خاص گروهی از آلاینده‌ها هستند که بر سلامت انسان و محیط زیست آثار زیان‌باری می‌گذارند. سازمان محیط زیست آمریکا ۱۸۸ مورد را تحت عنوان آلاینده‌های خاص فهرست کرده و آنها را از نظر پتانسیل سرطان‌زایی در پنج گروه دسته‌بندی کرده است. به عنوان نمونه آلاینده‌های بنزن، آرسنیک و آزبست در گروه A قرار دارند و آلاینده‌های سرب، تولوئن و دی‌اکسین‌ها در گروه B قرار گرفته‌اند. با توجه به محدودیت‌های موجود، امکان اینکه کل این آلاینده‌های سمی تحت پوشش قرار بگیرند وجود ندارد، اما سنجش تعدادی از آلاینده‌های مهم از جمله بنزن، آزبست، دی‌اکسین و فوران‌ها و فلزات سنگین که در دسته‌بندی سازمان محیط زیست آمریکا ذیل گروه A و B قرار دارند، در برنامه سازمان محیط زیست قرار گرفته که در ادامه در مورد هر یک توضیح خواهم داد.

از سال ۱۳۸۹ که بحث بنزین پتروشیمی‌ها مطرح شد، سازمان محیط زیست اندازه‌گیری غلظت ترکیبات BTEX در هوای محیط در میادین پرتردد شهر تهران، تونل‌ها و اطراف جایگاه‌های سوخت را آغاز کرد. نتایج نشان می‌داد که غلظت این ترکیبات در هوای محیط از حد مجاز بسیار بالاتر است. در آن سال از سوخت هم نمونه‌برداری شد. نتایج نشان می‌داد که محتوای بنزن سوخت بیش از ۶ برابر حد مجاز و میزان ترکیبات آروماتیک بیش از ۲ برابر حد مجاز است. مطابق استاندارد ملی حداکثر محتوای بنزن و آروماتیک‌ها به ترتیب باید ۱ و ۳۵ درصد حجمی باشد. از سال ۱۳۸۹ به صورت مستمر غلظت ترکیبات آلی فرّار در هوای شهر تهران اندازه‌گیری می‌شود. به‌تدریج اندازه‌گیری این ترکیبات در ۷ کلان‌شهر دیگر نیز آغاز شد. اندازه‌گیری BTEXها دشوار است. باید نمونه‌برداری با پمپ در محل انجام شود و نمونه‌ها در آزمایشگاه از طریق دستگاه GC FID آنالیز شوند. در حال حاضر این امکان در هر ۷ کلان‌شهر وجود ندارد. تنها برای

تعدادی از کلان‌شـهرها دسـتگاه‌های گاز کروماتوگرافی خریداری شده است. در مجمـوع سـنجش ترکیبات آلی فزار با توجه به مخاطراتی که برای سـلامت جامعه ایجـاد می‌کنند، یکی از اولویت‌های مهم ما اسـت. غلظت این ترکیبات در گذشـته خیلی بالا بوده است، اما اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که به‌تدریج از غلظت این آلاینده‌ها در هوای محیط شـهرهای بزرگ کاسته شده است. طبق اسـتاندارد ملی غلظت سـالانه بنزن باید کمتر از ۵ میکروگرم بـر مترمکعب باشـد. درحالی‌که حد استاندارد سازمان بهداشـت جهانی برای BTEX ها ۷ میکروگرم بر مترمکعب است.

آلاینده‌های سـمی مهم دیگری که در دستور کار قرار گرفته‌اند، دی‌اکسین و فوران‌ها هستند. این آلاینده‌ها بسیار سمی‌اند و کارکرد سیستم ایمنی و بسـیاری از هورمون‌ها را مختل می‌کنند. مشکل اساسی آنها این است که در محیط بسیار پایدارند.

۱۷ نـوع مشـتقات اصلی ایـن آلاینده‌ها وجـود دارد و منابع اصلی تولیدشـان زباله‌سـوزها، کارخانجات سـیمان و صنایع دیگر اسـت. فراینـد اندازه‌گیری و سنجش این آلاینده‌ها هم از نظر نمونه‌برداری و هم از نظر مطالعات آزمایشگاهی بسـیار پیچیده است و به تجهیزات خاص نیاز دارد. در حال حاضر در خاورمیانه امکان سنجش دی‌اکسین و فوران‌ها وجود ندارد. در شرق آسیا کشورهای چین و کره جنوبی توانایی اندازه‌گیری این آلاینده‌ها را دارند. حتی بعضی از کشورهای توسـعه‌یافته هم قابلیت اندازه‌گیری آنها را ندارند. در بازدیدی که از کشور اتریش داشـتیم، ملاحظه کردیم کـه کار اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسـین و فوران‌ها از خروجی دودکش زباله‌سوز شهر وین را کره‌ای‌ها انجام می‌دهند.

در سـال ۱۳۸۴ سازمان محیط زیست یک دستگاه کروماتوگرافی خاص به اسم GC HR را خریداری کرد، اما نتوانست آن را راه‌اندازی کند و چند سال بلااستفاده مانده بود. این دسـتگاه که سـاخت آلمان اسـت، یک دسـتگاه منحصربه‌فرد اسـت و در خاورمیانه نمونه آن وجود ندارد. ما از سال ۱۳۹۲ اقدام به راه‌اندازی این دسـتگاه کردیم. برخی از سـازمان‌های دیگر کشـور نیز به این دستگاه نیاز داشتند، اما به دلیل شرایط تحریم اقتصادی نمی‌توانستند آن را خریداری کنند. لذا درخواسـت داشـتند در قبال خدمات متقابل، طی تفاهم‌نامه‌ای این دستگاه را راه‌اندازی کنند. نهایتا تفاهم‌نامه‌ای بین وزارت دفاع و سـازمان محیط زیست منعقد شد و با همکاری وزارت دفاع، این دستگاه راه‌اندازی شد. بنابراین در حال حاضر تجهیزات آزمایشـگاهی لازم برای برای آنالیز دی‌اکسـین و فوران‌ها در کشور موجود اسـت. برای نمونه‌برداری هم دو آزمایشگاه معتمد اخیرا به‌صورت مشـروط و موقت برای زمانی ۶ ماهه تایید صلاحیت شـده‌اند و خوشبختانه کار نمونه‌برداری از دودکش زباله‌سـوزها را می‌توانند انجام دهند. امیدواریم در آینده بتوانیـم تجهیزات لازم برای نمونه‌برداری را تامین کرده و کار نمونه‌برداری را نیز خودمان هم انجام دهیم.

بـا توجه بـه مطرح‌شـدن بحـث زباله‌سـوزها در شـمال کشـور، اندازه‌گیری دی‌اکسـین‌ها و فوران‌ها در این مناطق اهمیت ویـژه‌ای دارد. ما همواره تاکید کرده‌ایم که دسـتگاه‌های زباله‌سـوز بـا تکنولوژی بالا باید خریداری شـود، اما مشـکلی که در کشور ما وجود دارد، عدم تفکیک زباله‌ها از مبدأ است. اختلاط زباله‌هـا باعث افزایـش غلظت دی‌اکسـین و فوران‌ها از خروجی زباله‌سـوزها می‌شود. بنابراین حتی اگر زباله‌سوزها پیشـرفته باشند، نمی‌توان از اندازه‌گیری

اخیرا توانمندی‌های لازم در زمینه کالیبراسیون گاز در مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف فراهم شده است. ما این مرکز را تایید صلاحیت و به استان‌ها معرفی کرده‌ایم. در حال حاضر مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه شریف تنها مرکز دارای صلاحیت در کشور است که می‌تواند کالیبراسیون تجهیزات پایش آلودگی هوا را انجام دهد

دی‌اکسین و فوران‌ها در خروجی دودکش آنها غافل بود. در نتیجه، اندازه‌گیری این آلاینده‌ها به‌ویژه در مورد زباله‌سـوزها اهمیت فراوانی دارد که تا پیش از این در کشـور انجام نمی‌شده است. البته در مورد زباله‌سـوز کهریزک، چینی‌ها کار اندازه‌گیری را انجام می‌دهند، اما از آنجا که خود دسـتگاه زباله‌سوز هم ساخت کشـور چین اسـت، این اندازه‌گیری‌ها مورد تایید ما نبوده اسـت. ما از سال ۹۲ در ایـن زمینه اقدام کرده‌ایم و سـال گذشـته هـم یک دوره آموزشـی در مورد اندازه‌گیری دی‌اکسـین و فوران‌ها برای همکاران سازمان محیط زیست و سایر کارشناسان برگزار کردیم.

آلاینده سـمی مهم دیگری که سـنجش آن در دسـتور کار ما قرار دارد، آزبست اسـت. آزبسـت‌ها گروهی از سـیلیکات‌های معدنی با ترکیبات پیچیده الیافی و کریسـتالی هستند. تماس مستقیم و غیرمستقیم با این آلاینده اثرات مخربی بر سـلامت جامعه دارد و باعث بروز سرطان ریه، مزوتلیوما و آزبستوزیس می‌شود. اتحادیه اروپا از سـال ۲۰۰۵ مصرف آزبست را ممنوع اعلام کرده است. هر چند برخی کشـورهای عضو از سال ۱۹۸۰ حذف آزبست را در دستور کار داشتند. در کشور ما از سال ۱۳۷۸ طبق مصوبه شورای عالی محیط زیست، حذف تدریجی آزبسـت از تولید کارخانجات طی ۷ سـال مطرح شـد، اما متاسفانه عملی نشد. مجددا این موضوع پیگیری شـد و در مصوبه سال ۹۰ هیأت دولت، به‌کارگیری هرگونه آزبسـت در فرایند تولید محصولات و کارگاه‌های تولیدی از جمله قطعات خودرو مثل لنت ترمز و مصالح سـاختمانی ممنوع شـد. وزارت صنعت، معدن و تجارت نیز مکلف شد که از ثبت سفارش برای واردات هرگونه آزبست خودداری کند.

با توجه به اهمیت آن، اندازه‌گیری آزبسـت از گذشـته در کشـور انجام می‌شده اسـت. در حـال حاضر سـازمان محیط زیسـت تجهیزات لازم برای سـنجش آزبسـت‌ها را در اختیـار ندارد. این کار به میکروسـکوپ الکترونی نیاز دارد. تنها آزمایشـگاه معتمـدی که می‌توانـد کار اندازه‌گیری آزبسـت‌ها را انجـام بدهد،

آزمایشـگاه دانشـگاه علوم پزشـکی تهران است. سنجش آزبسـت در تهران و برخی کلان‌شـهرها مثل شـیراز در سال‌های اخیر توسـط این آزمایشگاه انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها نشـان می‌دهد که بعد از سال ۹۰، علی‌رغم اینکه در قطعات خودروهای قدیمی همچنان آزبست موجود بوده، غلظت این آلاینده در هوای محیط روندی کاهشی داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که مصوبه سال ۹۰ موثر واقع شده است.

مشکلی که در کشور ما وجود دارد، عدم تفکیک زباله‌ها از مبدأ است. اختلاط زباله‌ها باعث افزایش غلظت دی‌اکسین و فوران‌ها از خروجی زباله‌سوزها می‌شود. بنابراین حتی اگر زباله‌سوزها پیشرفته باشند، نمی‌توان از اندازه‌گیری دی‌اکسین و فوران‌ها در خروجی دودکش آنها غافل بود.

در مورد فلزات سـنگین، مطالعاتی را روی نمونه‌های گردوغبار جمع‌آوری‌شده از روی فیلترهای فایبرگلاس و تفلونی ایستگاه‌های پایش هوا به کمک آزمایشگاه فلزات سـنگین سازمان محیط زیسـت انجام داده‌ایم. این تحقیق در مورد چند استان غربی کشور انجام گرفت. چند نوع فلز سنگین در نمونه‌ها شناسایی شد. نهایتا نتیجه این تحقیق نشان می‌داد که غلظت فلزات سنگین در هوای محیط اسـتان‌های مورد مطالعه در حد استاندارد است. ما این تحقیق را به‌عنوان نمونه انجام دادیم. ولی وظیفه اصلی سـازمان محیط زیست انجام مطالعات پژوهشی نیسـت. پژوهشـگران و دانشـگاه‌ها می‌تواننـد در قالب طرح‌های پژوهشـی، مطالعاتـی را در ایـن زمینـه انجام بدهند. مـا در مورد BTEXهـا در چند نقطه مشخص به‌صورت مستمر اندازه‌گیری‌های لازم را طبق برنامه انجام می‌دهیم، اما برنامه مشـخصی برای اندازه‌گیری فلزات سـنگین نداریـم. به این دلیل که اندازه‌گیـری فلزات سـنگین پیچیده و هزینه‌بر اسـت و به مـواد مصرفی مثل جاذب، حلال و غیره نیاز دارد. از طرفی در حال حاضر آزمایشگاه فلزات سنگین ما بیشـتر در حـوزه آلودگی‌های آب و خاک متمرکز اسـت. بـا توجه به مصرف روزافـزون کودها، اهمیت موضوع امنیت غذایی و سـلامت بسـتر محصولات کشاورزی، سنجش آلاینده‌های خاک بسـیار مهم است. لذا در شرایط فعلی به دلیل محدودیت امکانات آزمایشـگاهی و کمبود نیروی کارشـناس و با توجه به اولویت‌ها، سـنجش فلزات سـنگین در هوای محیط به‌صورت مستمر برای ما مقدور نیست.

در مجموع سـنجش مسـتمر آلاینده‌های خـاص از جمله ترکیبـات آلی فرّار و فلزات سـنگین به‌ویژه در مناطقی مثل عسلویه و سایر استان‌های صنعتی مثل خوزستان و کرمان یکی از اولویت‌های مهم ما است. در دنیا ایستگاه‌های پایش پیشرفته‌ای وجود دارند که می‌توانند به‌صورت آنلاین، همانند آلاینده‌های معیار، سـنجش ترکیبات آلی فرّار و فلزات سنگین را انجام بدهند. برای نمونه ایستگاه جدید هوریبا سـاخت کشـور ژاپن قابلیت اندازه‌گیری تعدادی از فلزات سنگین را دارد. اما این دسـتگاه‌ها بسـیار گران‌قیمت هسـتند و راهبری آنها هم بسیار هزینه‌بر اسـت. البته بد نیسـت در مورد یک نمونه ایستگاه پایش ساخت کشور فرانسـه هم اشاره کرد؛ این دسـتگاه قابلیت اندازه‌گیری آنلاین غلظت ترکیبات آلی فرّار را دارد، اما کارشناسـان ما با مقایسـه نتایج به‌دسـت آمده از آنالیزهای آزمایشـگاهی متوجه شـدند عملکرد این ایسـتگاه در مورد اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرّار قابل تایید نیسـت. بنابراین فعلا برنامه ما در مورد آلاینده‌ها خاص این اسـت که به شـیوه کلاسـیک، از طریـق نمونه‌بـرداری و مطالعات آزمایشگاهی کار اندازه‌گیری را انجام بدهیم.

فـناورد | لطفـا توضیح دهید برنامه پایش آنلایـن صنایـع از چـه زمانـی در ایـران آغاز شـده و در حال حاضر با چه کمیت و کیفیتی در کشور اجرا می‌شود؟ آیا صنایع و واحدهـای تولیدی و صنعتی در سـطح کشـور که نیـاز به پایـش آلایندگی دارند کاملا شناسـایی شـده‌اند؟ چه تعـداد از این صنایع تاکنون تحت پوشـش طرح پایش آنلاین صنایع قرار گرفته‌اند؟

موضوع پایش پیوسـته و برخط صنایع اولینبار در قانون پنجم توسعه که در سال ۸۸ ابلاغ و از سـال ۸۹ عملیاتی شـد، مطـرح گردید. با هـدف کاهش عوامل آلوده‌کننـده و مخـرب محیط زیسـت، در بند ب ماده ۱۹۲ قانـون برنامه پنجم توسعه آورده شـده که کلیه واحدهای بزرگ تولیدی، صنعتی، عمرانی، خدماتی و زیربنایـی موظفند نسـبت بـه نمونه‌بـرداری و اندازه‌گیری آلودگـی و تخریب زیسـت‌محیطی خود اقدام کنند. این قسـمت در رابطه با خوداظهاری صنایع در پایش آلایندگی است. همچنین ذیل آن آورده شده که کلیه واحدهایی که قابلیت و ضرورت نصب و راه‌اندازی سیسـتم پایـش لحظه‌ای و مداوم را دارند، موظفند تا پایان سـال سوم این برنامه نسـبت به نصب و راه‌اندازی سـامانه‌های مذکور اقدام کنند. متخلفان هم مشـمول ماده ۳۰ قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا می‌شـوند. البته قانون هوای پاک در سال ۹۶ جایگزین قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا شده است.

از همان سـال ۸۹ طرح پایش آنلاین صنایع را دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیسـت کلید زد. در گام نخست یک شیوه‌نامه تدوین شد که در آن فهرست اهم واحدهایی که مشـمول پایش آنلاین آلایندگی هسـتند، احصا شد. این فهرست عمدتا شامل صنایع بزرگ‌مقیاس می‌شود. به این دلیل که طبق قانون واحدهایی مشمول پایش آنلاین هستند که قابلیت نصب و راه‌اندازی سامانه‌های مورد نیاز را داشته باشند و این کار معمولا برای واحدهای کوچک‌مقیاس صرفه اقتصادی نـدارد، زیرا تجهیـزات پایش آنلاین بسـیار گران‌قیمت هسـتند و راهبری آنها هزینه‌بر است، اما بحث خود اظهاری مربوط به کلیه صنایع است.

از زمان عملیاتی‌شـدن طرح پایش آنلاین صنایع، در بازرسی‌هایی که از واحدها

داشتیم شاهد مشکلات متعددی بودیم. در گذشته مرسوم بود که برخی از صنایع ادعا می‌کردند به مناسبت‌های مختلف مثل هفته هوای پاک، سامانه پایش آنلاین آلایندگی را راه‌اندازی کرده‌اند، اما وقتی کارشناسان ما مراجعه می‌کردند، می‌دیدند پارامتری که اندازه‌گیری می‌شود، اصلا پارامتر شاخص آن صنعت نیست. یا مثلا واحدهای داروسازی تجهیزات پایش pH را که ارزان‌ترین تجهیزات هستند، نصب می‌کردند و ادعا می‌کردند که واحدشان مجهز به سامانه پایش آنلاین است. در صورتی که برای واحدهای داروسازی تنها اندازه‌گیری pH کفایت نمی‌کند، بلکه سایر پارامترهای فیزیکو شیمیایی مثل COD نیز باید اندازه‌گیری شود. مواردی هم دیده می‌شد که سنسورها به‌درستی نصب نشده‌اند و در نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها اشتباهاتی وجود دارد. بنابراین در طول قریب به ۱۰ سال گذشته، با توجه به این مشاهدات، شیوه‌نامه اولیه به‌تدریج کامل‌تر شد و جزئیات فنی دقیق‌تری در آن گنجانده شد؛ از جمله در مورد معیارهای فنی انتخاب سامانه‌های پایش آنلاین، محل نصب سنسورها و روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز. به‌منظور ایجاد پشتوانه‌های اجرایی لازم، پیشنهاد شد که این شیوه‌نامه به یک استاندارد ملی تبدیل شود. لذا در یک فرایند دوساله با تلاش همکاران ما و کمک سازمان ملی استاندارد، استاندارد ملی سامانه‌های پایش آنلاین منابع آلاینده محیط زیست تدوین و تصویب شد. در این استاندارد فهرست واحدهای مشمول و پارامترهایی که باید به‌صورت آنلاین اندازه‌گیری کنند، آورده شده است.

هم‌اکنون ارزیابی آلایندگی صنایع موضوع تبصره یک ماده ۳۸ قانون مالیات بر ارزش افزوده به‌صورت کلاسیک انجام می‌شود. به این ترتیب که کارشناسان در محل حضور پیدا می‌کنند و از خروجی سیستم‌های تصفیه فاضلاب و دودکش‌ها و در مورد واحدهایی که آلودگی محیطی ایجاد می‌کنند، از هوای محیط نمونه‌برداری می‌کنند و نمونه‌ها در آزمایشگاه آنالیز می‌شوند. بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌ها، صنایع آلاینده به سازمان امور مالیاتی معرفی می‌شوند. این صنایع موظفند یک‌درصد فروش خود را تحت عنوان عوارض آلایندگی پرداخت کنند. علاوه بر مشکلاتی مثل خطاهای انسانی در نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی و عدم قطعیت‌هایی که در این رویّه اندازه‌گیری وجود دارد، معمولا صنایع ادعا می‌کنند یک نوبت پایش در یک فصل نمی‌تواند ملاک عادلانه‌ای برای ارزیابی آلایندگی صنایع باشد. امروزه در کشورهای توسعه‌یافته پایش آنلاین صنایع مطرح شده که کمک می‌کند ارزیابی دقیق‌تری از وضعیت آلایندگی صنایع داشته باشیم. البته باید اشاره کرد که همه پارامترهای مهم را نمی‌توان به‌صورت آنلاین پایش کرد. مثلا در مورد کیفیت آب می‌توان پارامترهای فیزیکو شیمیایی را به‌طور آنلاین رصد کرد، اما برای بررسی غلظت فلزات سنگین و آلودگی‌های نفتی باید حتما نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی انجام شود. تلاش ما این است که با وجود همه محدودیت‌ها و مشکلات در آینده نزدیک بتوانیم سیستم پایش آنلاین را برای پارامترهایی را که می‌توان آنها را به‌صورت لحظه‌ای و برخط اندازه‌گیری کرد در کشور اجرا کنیم. در همین زمینه در تبصره ذیل ماده ۱۱ قانون هوای پاک که یک قانون دائمی است، آمده است که صدور پروانه بهره‌برداری واحدها منوط به نصب سیستم‌های پایش آنلاین است. در حال حاضر ۲۷۰ صنعت بزرگ‌مقیاس کشور مثل صنایع سیمان، پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها مجهز به سامانه‌های پایش آنلاین پساب و ۲۳۰ مورد هم مجهز به سامانه‌های پایش خروجی دودکش هستند.

فناورد | از آنجا که بر اساس استاندارد ملی پایش آنلاین صنایع، اندازه‌گیری آلایندگی صنایع ملاحظات فنی دقیقی دارد، گردآوری یک پایگاه داده صحیح و قابل تحلیل از وضعیت آلایندگی صنایع نیازمند کار گسترده‌ای است. لطفا در خصوص سازوکارهای اجرایی این طرح و الزامات آن توضیحات لازم را ارائه بفرمایید.

در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی ما صحه‌گذاری اندازه‌گیری‌های آنلاین صنایع است. علی‌رغم رشد نسبی تعداد صنایعی که مجهز به سامانه‌های پایش آنلاین هستند، به دلیل عدم اطمینان از صحت داده‌ها، کماکان ملاک تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مورد صنایع آلاینده، داده‌های پایش کلاسیک است. در شرایط فعلی صنایعی که مجهز به سامانه‌های پایش آنلاین هستند، باز هم موظفند پایش‌های کلاسیک سه‌ماهه را در چارچوب خوداظهاری به کمک آزمایشگاه‌های معتمد سازمان محیط زیست انجام بدهند.

در ماده ۱۸ قانون هوای پاک، مصوب مردادماه سال ۹۶، وزارت نفت مکلف شده حداکثر سه سال پس از ابلاغ این قانون سوخت تولیدی کشور را مطابق با استاندارد ملی عرضه کند. پس از مهلت یادشده سازمان محیط زیست و سازمان ملی استاندارد موظف هستند از تولید و واردات سوخت غیراستاندارد جلوگیری به عمل آورند

از منظر جایگاه حاکمیتی سازمان محیط زیست در دسترسی به داده‌های صحیح، پایش آنلاین صنایع نسبت به پایش آنلاین کیفیت هوا پیچیدگی‌های به‌مراتب بیشتری دارد. از این جهت که متولی ایستگاه‌های پایش هوا خود سازمان است. بنابراین به یک ساختار نظارتی مناسب برای صحت‌سنجی داده‌های گزارش‌شده نیاز داریم. همانند سامانه‌های پایش کیفیت هوا، صحت و اعتبار داده‌های پایش آنلاین صنایع در گرو جانمایی صحیح سامانه‌ها، پارامترهای مورد سنجش، کارکرد مطلوب دستگاه‌ها، کالیبراسیون منظم و سرویس و راهبری اصولی است. اما مهم‌ترین مسأله ایمنی مسیر انتقال داده‌ها از آنالایزر به دیتالاگر و از دیتالاگر به سرور مرکز پایش محیط زیست است.

در بازرسی‌ها و گزارش‌های استانی به کرات مشاهده شده که داده‌ها در مبدأ دستکاری می‌شوند. یا به‌عنوان نمونه در یکی از بازرسی‌های سرزده از یکی از واحدها، همکاران ما متوجه شدند که حسگر پایش فاضلاب، در آب قرار داده

شده است. مجموعه این عوامل باعث می‌شود داده‌ای که در نهایت به دست ما می‌رسد مخدوش و غیر قابل استناد باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین برنامه‌های جاری ما حفاظت از بستر انتقال داده است که به کمک دفتر فناوری اطلاعات سازمان در حال پیگیری آن هستیم. از چند شرکت در این رابطه پروپوزال دریافت کرده‌ایم و به‌زودی به جمع‌بندی خواهیم رسید. یکی از نقاط ضعف ما در این زمینه، نبود ابزارهای بازدارنده است. در کشورهای دیگر در صورت مشاهده این‌گونه دستکاری‌ها، صنایع با مجازات‌های سنگین مواجه می‌شوند. بنابراین لازم است ابزارهای بازدارنده در این رابطه تقویت شوند.

تدوین استاندارد ملی پایش آنلاین صنایع یک اقدام راهگشا بود، اما مسأله اصلی حصول اطمینان از رعایت همه نکات فنی دقیق ذکرشده در این استاندارد است. در حال حاضر همکاران ما در استان‌ها به‌صورت دوره‌ای کار نظارت بر صنایع را انجام می‌دهند، اما با توجه به محدودیت‌های موجود، بازرسی از کلیه صنایع تحت پوشش نه برای سازمان محیط زیست مقدور است و نه اصولا رسالت اصلی سازمان است. سازمان محیط زیست یک سازمان اجرایی نیست، بلکه یک سازمان حاکمیتی است. برنامه ما این است که از همان الگویی که در مورد پایش کلاسیک صنایع استفاده می‌کنیم یعنی بهره‌گیری از ظرفیت آزمایشگاه‌های معتمد، در مورد پایش آنلاین هم استفاده کنیم و کار را به شرکت‌های خصوصی واگذار کنیم. از این رو ایجاد شرکت‌های بازرسی به‌منظور صحه‌گذاری سیستم‌های پایش آنلاین و انطباق آنها با استاندارد ملی را در دستور کار داریم.

از دیگر اقدامات مهمی که در برنامه داریم ایجاد سامانه تجمیع پایش آنلاین صنایع، مشابه سامانه پایش کیفی هوای کشور است. همچنین برای احراز صنایع آلاینده نیاز به یک دستورالعمل داریم که مثلا چه تعداد داده مربوط به هر آلاینده در چه بازه زمانی باید از حد استاندارد فراتر باشد تا آن صنعت به‌عنوان آلاینده شناخته شود. تدوین این دستورالعمل نیز در دست اقدام است. اما در مجموع با توجه به مطالب مطرح‌شده، فعلا ملاک ما برای ارزیابی آلایندگی صنایع نمونه‌برداری و پایش کلاسیک است. ما در سال گذشته ۳۱۷۰ مورد را بر مبنای داده‌های پایش کلاسیک به‌عنوان صنایع آلاینده به سازمان امور مالیاتی معرفی کردیم.

فناورد | تاریخچه‌ای از برنامه پایش کیفیت سوخت توسط سازمان محیط زیست ایران ارائه بفرمایید. چه قوانین و مصوباتی در این رابطه وجود دارد؟ در حال حاضر این طرح با چه کمیت و کیفیتی در کشور در حال اجراست؟

همان‌طور که پیشتر هم اشاره کردم، سازمان حفاظت محیط زیست اندازه‌گیری کیفیت سوخت را از سال ۱۳۸۹، زمانی که بحث آلاینده‌بودن بنزین پتروشیمی‌ها مطرح شد، آغاز کرد. ابتدا همکاران ما میزان غلظت VOCها در نمونه‌های هوای محیط را اندازه‌گیری کردند و سپس روی یک نمونه سوخت مطالعات آزمایشگاهی انجام دادند. از آن زمان به‌صورت محدود و موردی نمونه‌های بنزین اندازه‌گیری می‌شدند، اما پایش سوخت به‌طور نظام‌مند انجام نمی‌شد، تا اینکه در مصوبه اردیبهشت سال ۹۳ هیأت دولت، وزارت نفت مکلف شد بنزین پتروشیمی‌ها را حذف کند. سازمان محیط زیست هم به عنوان سازمان نظارتی مکلف شد در بازه‌های زمانی سه‌ماهه کیفیت سوخت توزیعی در ۸ کلان‌شهر را رصد کند. در ابتدا ما از ظرفیت پژوهشگاه صنعت نفت استفاده می‌کردیم. اما از آنجا که این پژوهشگاه خود زیرمجموعه وزارت نفت است، تصمیم گرفتیم متکی به ظرفیت خودمان باشیم. آزمایشگاه سازمان محیط زیست علاوه بر سنجش سموم کلره، فسفره و PCBها، قابلیت اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی را نیز داشت، اما تا پیش از آن روی نمونه‌های پساب و پسماند کار می‌کرد. بنابراین نیاز بود دستورالعمل‌های لازم برای اندازه‌گیری نمونه‌های سوخت تدوین

شـود. به‌مرور ظرفیت‌سازی شـد. تامین منابع مالی صورت گرفت و دو دستگاه کروماتوگرافی GC-MS برای کلان‌شـهرها خریداری شـد. دوره‌های آموزشی برگزار کردیم و یک برنامه برای پایش فصلی سـوخت بنزین ۸ کلان‌شهر تدوین کردیم. در ایـن برنامه محتوای بنزن، اولفیـن و آروماتیک‌های بنزین به‌صورت منظـم اندازه‌گیری و رصد می‌شـود. البتـه برخی از کلان‌شـهرها مثل اراک و مشهد تجهیزات اندازه‌گیری را در اختیار ندارند و نمونه‌ها را به آزمایشگاه مرکزی سـازمان محیط زیست ارسـال می‌کنند. میزان محتوای بنزن و آورماتیک‌ها در سال‌های ۸۹ و ۹۰ از حد مجاز بسیار بالاتر بود، اما اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که به‌مرور سـه پارامتر مذکور به حد اسـتاندارد نزدیک‌تر شده‌اند. البته در برخی فصول ممکن اسـت در تعدادی از نمونه‌ها اعداد از حد مجاز بیشـتر باشـد، اما وضعیت به‌مراتب از سال‌های ۸۹ و ۹۰ بهتر شده است.

یکی از مسـائلی که همچنان در رسـانه‌ها مطرح می‌شـود، موضوع سـرب در بنزین اسـت. از ابتدای دهه ۸۰ سـرب از بنزین ایران حذف شـده است. با این حال در سـال‌های ۹۴ و ۹۵ گزارش‌هایی از احتمال وجود سرب در بنزین برخی جایگاه‌ها به دست ما رسـید. ما در آزمایشگاه فلزات سنگین سازمان نمونه‌ها را آنالیز کردیم، اما سـرب در نمونه‌ها مشاهده نشـد. طی سه سال به‌طور موردی چند نمونه بنزین از نظر وجود سـرب بررسـی شد. بر اساس اندازه‌گیری‌ها وجود سرب در سوخت منتفی اعلام شده است.

در مـاده ۱۸ قانون هوای پاک، مصوب مردادماه سـال ۹۶، وزارت نفت مکلف شـده حداکثر سه سال پس از ابلاغ این قانون سوخت تولیدی کشور را مطابق با استاندارد ملی عرضه کند. پس از مهلت یادشده سازمان محیط زیست و سازمان ملی استاندارد موظف هسـتند از تولید و واردات سوخت غیراستاندارد جلوگیری به عمل آورند. طبق اسـتاندارد ملی که همان اسـتاندارد یورو۴ اسـت، حداکثر محتـوای گوگـرد بنزین و نفت-گاز بایـد ppm ۵۰ باشـد. اندازه‌گیری محتوای گوگرد سـوخت بر اساس دستور ریاست سازمان محیط زیست از زمستان ۹۶ در کلان‌شهرها در برنامه دفتر پایش قرار گرفت.

در آیین‌نامه ماده ۲ قانون هوای پاک، مصوب ۳۰ مهر ۹۷، فهرست ۱۶۳ جایگاه عرضه نفت-گاز در محورهای مواصلاتی ضمیمه شده است. وزارت موظف شده از تاریـخ ابلاغ ایـن آیین‌نامه در جایگاه‌های مذکور نفـت-گاز یورو۴ توزیع کند. اهمیت توزیع سوخت اسـتاندارد در محورهای مواصلاتی به این خاطر است که خودروهای سـنگین معمولا خارج از شهر سـوخت‌گیری می‌کنند و سپس وارد محدوده شـهر شـده و باعث آلودگی محیط می‌شـوند. بنابراین از آبان‌ماه سال گذشـته علاوه بر پایش سوخت کلان‌شـهرها، پایش محتوای گوگرد نفت-گاز محورهای مواصلاتی نیز در دسـتور کار سـازمان قرار گرفـت. این کار در حال حاضـر به‌صورت هفتگی انجام می‌شـود، اما در هر نوبـت از همه جایگاه‌های مشخص‌شده نمونه‌برداری نمی‌شود. برنامه‌ریزی ما به صورتی است که در طول یک فصل کل ۱۶۳ جایگاه را تحت پوشش قرار دهیم. البته در مورد جایگاه‌هایی که محتوای گوگرد در نمونه‌های مربوط به آنها بسیار بالاست، حساسیت بیشتری داریم و آنها را به‌صورت مرتب در برنامه پایش قرار می‌دهیم. البته مشکلاتی نیز در این رابطه وجـود دارد. بعضا پیش آمده با اینکه یک جایگاه جزء ۱۶۳ جایگاه مشخص‌شـده است، سـوخت یورو۴ در آن جایگاه توزیع نشده. گاهی نفت-گاز معمولی و یورو۴ در مخازن مشـترک تخلیه می‌شوند. جایگاه‌های عرضه نفت-گاز یورو۴ تغییـر می‌کنند و توزیع نامنظم و ناکافی اسـت. البته محدودیت‌های وزارت نفت را نیز باید در نظر بگیریم.

بنابرین ما در کلان‌شـهرها به‌طور فصلی سـه پارامتر ذکرشـده مربوط به بنزین را اندازه‌گیری می‌کنیم و محتوای گوگرد سـوخت نفت-گاز را در کلان‌شـهرها و محورهـای مواصلاتی، هفتگی رصد می‌کنیم. ما در حال حاضر در سـازمان امـکان اندازه‌گیری محتوای گوگرد سـوخت را نداریم. در کشـور چند مرکز این قابلیت را دارند، از جمله پژوهشگاه صنعت نفت. ما با یکی از شرکت‌ها که دارای استاندارد ISO 17025 است قراردادی منعقد کرده‌ایم. نمونه‌ها را از سطح کشور جمـع‌آوری می‌کنیم و برای آنالیز به شـرکت یادشـده تحویـل می‌دهیم و نتایج حاصل را در کارگروه ملی کاهش آلودگی هوا مطرح و به‌صورت مکتوب به وزارت نفت منعکس می‌کنیم.

فـناورد | در مورد سـنجش آلودگی بو چـه برنامه‌هایی در دستور کار سازمان محیط زیست قرار دارد؟

آلودگـی بو یکی از آلودگی‌های جدید زیسـت‌محیطی اسـت که در سـطح دنیا مطرح شـده. سـنجش آلودگی بو جزء تکنولوژی‌های روز دنیا و بسیار پیچیده اسـت. موضوع نشر بو در سطح تهران در سـال گذشته بسیار چالش‌انگیز بود، ولـی در نهایت با قطعیت نتوانسـتیم علت را اعلام کنیـم و فقط احتمالات در این رابطه مطرح شـد. سـنجش آلودگی بو در دستور کار دفتر پایش قرار دارد و تجهیزاتـی نیز برای این کار خریداری کرده‌ایم. مشـکل اصلی ما در این زمینه این اسـت که هنوز در رابطه با آلودگی بو اسـتانداردی در کشـور نداریم. برخی واحدهای صنعتی مثل واحدهای تولید روغن نباتی، کشـتارگاه‌های دام و طیور و واحدهای دفن زباله مولد بو هستند و در مجاورت مناطق مسکونی قرار دارند. در سـنوات گذشته ساکنان شکایت می‌کردند. ما مراجعه می‌کردیم و از سیستم فاضـلاب و هـوای محیط نمونه‌بـرداری می‌کردیـم. اما مورد خاصـی ردیابی نمی‌شـد. در نهایت ادلـه کافی برای اعلام جرم علیه واحـد تولیدی نزد مراجع قضایی نداشـتیم. وجود اسـتاندارد ملی در این رابطه می‌تواند بسـیار راهگشـا باشـد. خوشـبختانه مرکز ملی هوا و تغییر اقلیم، تدوین استاندارد ملی در رابطه با آلودگی بو را در دسـت اقدام دارد. در اروپا برای نخسـتین‌بار در سـال ۲۰۰۳ اسـتاندارد آلودگی بو منتشر شـد. مسأله مهم دیگر تعیین سـهم منابع مولد بو در مناطقی مثل مسـیر فرودگاه امام و زون‌های صنعتی عسـلویه است. در این مناطـق تجمع منابـع آلاینده وجود دارد. در این موارد برای تعیین سـهم منابع مولد نیازمند مدل‌سـازی نحوه توزیع و پراکنش بو هستیم. در سال ۹۶ سازمان محیط زیسـت برای اولین‌بار دسـتگاه سـنجش بو خرید. این دسـتگاه شدت بـو (odor unit) را اندازه‌گیـری می‌کنـد. ولی نوع پارامتر مولد بو را مشـخص نمی‌کنـد. بـرای اینکه نـوع پارامترهای مولد بو را تشـخیص بدهیـم، نیازمند مطالعات آزمایشگاهی هستیم.

نادر رزم آرا
مشاور استاندارد مرکز خدمات آزمایشگاهی
علیرضا امیرآبادی
مدیر اجرایی مرکز خدمات آزمایشگاهی

آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون گازها در مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه شریف

«مرکز خدمات آزمایشگاهی» با هدف متمرکزسازی ارائه خدمات آزمایشگاهی در دانشگاه صنعتی شریف پایه‌گذاری شده و زیرمجموعه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه است. عمده فعالیت‌های این مرکز بر تسهیل در دسترسی به خدمات آزمایشگاه‌های پیشرفته و استفاده از توان مشاوره‌ای افراد متخصص در زمینه نیازهای توسعه علم و فناوری متمرکز است. این مرکز امیدوار است با اشتراک‌گذاری ظرفیت‌های آزمایشگاهی دانشگاه در حوزه‌های مختلف اعم از تجهیزات آزمایشگاهی، تخصص و دانش فنی و استفاده بهینه از این ظرفیت‌ها بتواند شرایط دسترسی آسان به این خدمات را برای متقاضیان چه در داخل دانشگاه و چه در دانشگاه‌های دیگر، مراکز پژوهشی و صنایع کشور فراهم آورد.

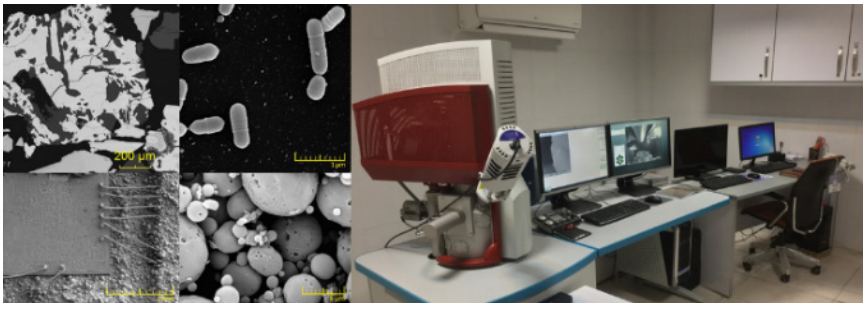
اهداف

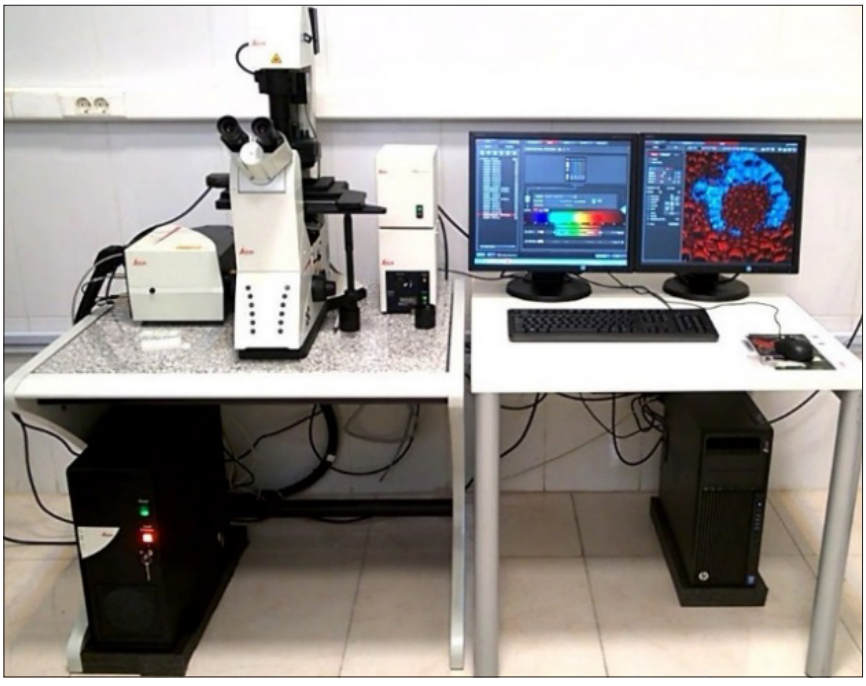
- متمرکزسازی و ساماندهی امکانات و تجهیزات پیشرفته آزمایشگاهی مورد نیاز رشته‌های مختلف؛
- تسهیل فرایند خدمات میان‌آزمایشگاهی
- یکسان‌سازی فرایند خدمات آزمایشگاهی مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی؛
- حمایت از آزمایشگاه‌های دانشگاه با کمک در تأمین و تربیت نیروی متخصص و نیز گسترش، به‌روزسازی و نگهداری تجهیزات؛
- تسهیل ارتباط با مراکز آزمایشگاهی خارج از دانشگاه؛
- استفاده بهینه و غیر انحصاری از تجهیزات آزمایشگاهی ارزشمند کشور؛
- انعقاد قرارداد با مراکز مختلف علمی و تحقیقاتی.

حوزه‌های کاری و توانمندی‌ها

این آزمایشگاه با اخذ «گواهینامه ISO/IEC ۱۷۰۲۵» هم‌اکنون محدوده قابل قبولی از آزمون‌های مورد نیاز صنعت و دانشگاه را پوشش میدهد. بخشی از خدمات قابل ارائه در مرکز شامل موارد ذیل است:

۱. آزمایشگاه‌های میکروسکوپی
۱.۱. میکروسکوپ‌های الکترونی FE-SEM و TEM
۲.۱. میکروسکوپ‌های نیروی اتمی AFM و SPM
۳.۱. میکروسکوپ‌های نوری و کانفوکال
۲. آنالیز، شناسایی و مشخصه‌یابی
۱.۲. کمومتریکس و کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنجی جرمی/ جرمی (GC-MASS-MASS)
۲.۲. تشدید مغناطیس هسته‌ای NMR
۳.۲. آزمایشگاه‌های پراش اشعه ایکس XRD, , SAXS, XPS
۴.۲. آنالیزی اتمی ICP-OES
۵.۲. آنالیزی‌های شیمی معدنی
۳. مشخصه‌یابی حوزه مکانیک مواد
۱.۳. خواص مکانیکی، خستگی و مقاومت مصالح
۲.۳. تحقیقاتی اسپاترینگ
۳.۳. کارگاه ماشین‌کاری
۴. آزمایشگاه‌های حوزه نانو
۱.۴. تفرق نور پویا (DLS)
۲.۴. نانوذرات و پوشش‌های نانومتری
۳.۴. آزمایشگاه تحقیقاتی لایه‌های نازک و فیزیک سطح
۴.۴. آزمایشگاه نانوالکترونیک
۵. آکوستیک و الکترواکوستیک
۶. آزمایشگاه‌های حوزه برق
۱.۶. مخابرات سیار
۲.۶. مشخصه‌یابی و تجهیزات تست مربوط به پروژه‌های ماهواره
۷. آزمایشگاه‌های حوزه کامپیوتر
۱.۷. آزمایشگاه آزمون و ارزیابی تجهیزات شبکه
۸. خدمات رایانش سریع HPC
۹. محیط زیست و سلامت
۱.۹. آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون گازهای آلاینده محیطی و آنالیزورها
۲.۹. آزمون‌های آنالیز آلودگی و سلامت آب و فاضلاب
۳.۹. زیست‌فناوری





معرفی آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون گازها

اندازه‌گیری در زمینه گازها یکی از اندازه‌گیری‌های مهم در صنعت و مراکز تحقیقاتی است. از آنجا که این اندازه‌گیری‌ها در محدوده‌های خیلی کوچک مانند ppm صورت می‌گیرد، نیازمند تجهیزات خاص و دانش فنی مرتبط است. در این زمینه سال ۹۴ دانشگاه شریف طی تفاهم‌نامه‌ای بین دانشگاه صنعتی شریف و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، تجهیز و راه‌اندازی یک آزمایشگاه استاندارد مرجع کالیبراسیون گازها را برعهده گرفت.

به پشتوانه تخصص و تجربه دانشگاه، این مرکز موفق به تجهیز، راه‌اندازی، تست‌های اولیه، صحه‌گذاری فرایندها، استانداردکردن فرایندهای آزمایشگاهی گاز و نهایتا اخذ گواهینامه ISO/IEC ۱۷۰۲۵ از مرکز ملی تأیید صلاحیت ایران در زمینه کالیبراسیون آنالیزورهای گازهای آلاینده (NO, NOx, NO ,SO ,CO, O) گردید.

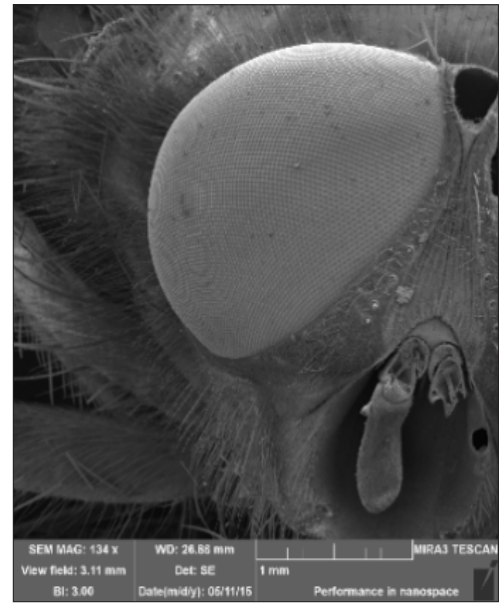
این آزمایشگاه به‌عنوان اولین مرجع کالیبراسیون گازهای آلاینده محیطی در کشور و در حال حاضر تنها آزمایشگاه در این زمینه، علاوه بر کالیبراسیون آنالیزورها، توانایی کالیبراسیون کپسول‌های گاز با دقت ۰/۱ ٪ ppb را دارد.

با توجه به نیاز صنعت کشور خصوصا صنایع پتروشیمی و گاز، محیط زیست، مراکز کنترل کیفیت هوا، همچنین سازندگان تجهیزات اندازه‌گیری گازها، آلاینده‌های هوا، مراکز و کارخانجات تولید گازها، این آزمایشگاه نقش بسیار مهمی در ارتقای کیفی این صنایع خواهد داشت.

با انجام کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری، اینک صنعتگران و تولیدکنندگان می‌توانند تجهیزات با کیفیت بالا و حتی قابل رقابت با بازارهای منطقه‌ای و بین‌المللی تهیه و تولید نمایند. همچنین فرایند کالیبراسیون تجهیزات گاز می‌تواند کشور را در عرصه خرید و ارزیابی تجهیزات وارداتی توانمند کرده و از ورود تجهیزات غیر استاندارد و فاقد کیفیت جلوگیری به عمل آورد.

این آزمایشگاه همکار و مورد اعتماد شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و سازمان حفاظت محیط زیست است و توانایی ارائه خدمات در زمینه کالیبراسیون تجهیزات ایستگاه‌های پایش کنترل کیفیت سازمان محیط زیست و شهرداری‌های سراسر کشور را بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی دارد.

جهت کسب اطلاعات بیشتر در خصوص فهرست و تعرفه خدمات، جزئیات آزمون، نحوه ارتباط با کارشناسان، نحوه استفاده از تخفیف، گرنت و پرداخت هزینه آزمون و سایر راهنمایی‌های مربوطه از طریق اطلاعات زیر تماس حاصل فرمایید.



مرجع:

• http://centrallab.sharif.ir/

ژنوس برزگران
مدیر عامل شرکت تحقیق گستران
احسان و مدرس دانشگاه

بومی‌سازی فیلترهای دوده دیزل (DPF)

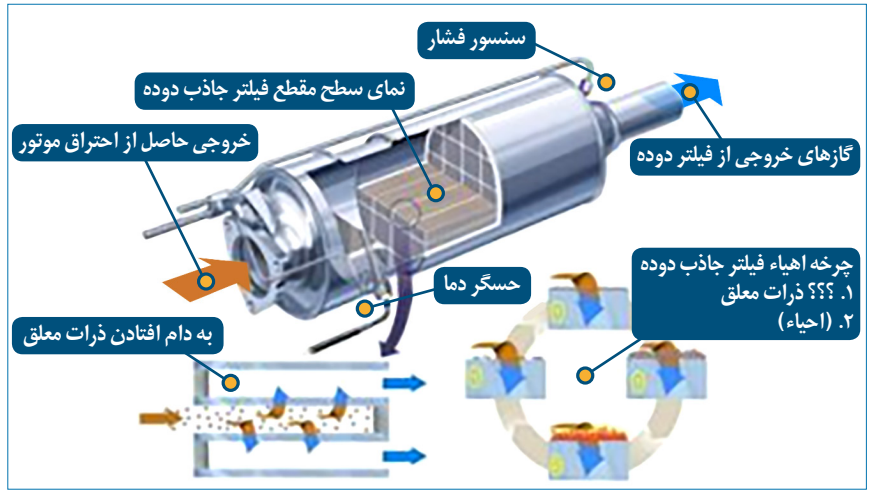
مهم‌ترین آلاینده هوا در کلان‌شهرها ذرات معلق هستند. یکی از مهم‌ترین منابع انتشار ذرات معلق در جو شهر تهران، خودروهای دیزلی‌اند. در شهر تهران حدود ۴/۲۴میلیون وسیله نقلیه در حال تردد است. از این تعداد ۳/۳۷میلیون (معادل ۸۰درصد) خودروهای سواری هستند که ۹۰درصد آنها خودروهای شخصی، ۸درصد پیک‌آپ‌ها و تنها ۲درصد تاکسی‌ها هستند. بعد از خودروهای سواری، موتورسیکلت‌ها ۷۶۰هزار دستگاه (معادل ۱۸درصد) بیشترین سهم را در وسایل نقلیه تهران دارند. کمترین سهم از وسایل نقلیه مربوط به خودروهای سنگین است که ۲درصد کل وسایل نقلیه (معادل ۱۰۰هزار دستگاه) را شامل می‌شوند. با این حال بیش از ۸۵درصد انتشار مستقیم ذرات معلق با ابعاد کمتر از ۲/۵ میکرون (PM۲/۵) سهم خودروهای سنگین است. سهم خودروهای سبک و موتورسیکلت‌ها در انتشار مستقیم ذرات به ترتیب ۳ و ۱۲درصد است. اتوبوس‌های بخش خصوصی (۳۵درصد)، اتوبوس‌های شهری (۲۸درصد) و خودروهای باری (۲۸درصد) ناوگان حمل‌ونقل سنگین تهران را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین علت آلایندگی خودروهای سنگین علاوه بر فرسودگی، کیفیت پایین سوخت دیزل مورد استفاده در آنهاست. ۳۰درصد خودروهای سنگین در تهران و ۶۰درصد مینی‌بوس‌ها بیش از ۱۵ سال عمر دارند. در نتیجه خودروهای سنگین دیزلی نقش مهمی در انتشار ذارت معلق و آلودگی هوای تهران دارند. در سال‌های گذشته با توجه به وضع قوانین سخت‌گیرانه روش‌های مختلفی برای کاهش آلایندگی خودروها پیشنهاد شده است، از جمله بهبود کیفیت روغن موتور، ارتقای طراحی و کیفیت عملکرد موتور، ارتقای کیفیت سوخت، استفاده از کاتالیست‌ها و غیره. تحقیقات نشان می‌دهد روش‌های مذکور بر کاهش جرم ذرات منتشرشده از اگزوز اثر می‌گذارند، اما در کاهش انتشار ذارت جامد بسیار کوچک تاثیر قابل توجهی ندارند. این ذرات بیش از ۹۰درصد ذرات خروجی از اگزوز خودروهای دیزل را تشکیل می‌دهند. فیلتر جاذب دوده ((Diesel Particulate Filter (DPF) به‌عنوان موثرترین فناوری در کاهش جرمی و تعدادی ذرات معلق در سطح دنیا معرفی و از سال ۱۹۸۹ تجاری شده است. استفاده از فیلتر دوده در استانداردهای جدید آلایندگی اجباری شده است.

در برنامه ۴ساله کاهش آلودگی هوای تهران که شرکت کنترل کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۶ منتشر کرده، نوسازی و بهسازی خودروهای دیزلی سنگین از جمله اتوبوس‌های شهری (شامل حمل‌ونقل عمومی و بخش خصوصی) و ناوگان کامیون باری در دستور کار قرار گرفته است. در این برنامه مقرر شده که در سال اول ۲هزار دستگاه اتوبوس به فیلتر دوده مجهز شوند. همچنین مقرر شده طی سه سال، سالانه روی ۱۰هزار کامیون باری فیلتر دوده نصب شود. در حال حاضر تنها ۳۰ دستگاه اتوبوس شهری در تهران به فیلتر دوده مجهزند. این مسأله بیانگر اهمیت اقدام در زمینه بومی‌سازی فیلتر دوده دیزل جهت تامین نیاز کشور است. در شرایط تحریم اقتصادی، تامین نیاز کشور از خارج به صرف هزینه بسیار بالا و مدت‌زمان طولانی نیاز دارد و منجر به خروج ارز از کشور می‌شود.

ضرورت نصب فیلترهای جاذب دوده دیزل

منابع آلاینده هوا را می‌توان به دو گروه منابع ثابت و منابع متحرک دسته‌بندی کرد. منابع ثابت عبارتند از نیروگاه‌های حرارتی، سیستم‌های گرمایش خانگی، صنایع، کارخانجات و پالایشگاه‌ها. بخش عمده انتشار آلاینده‌ها در جو کلان‌شهرها مربوط به منابع متحرک است. مهم‌ترین منابع متحرکی که باعث آلودگی هوا در محیط کلان‌شهرها می‌شوند خودروهای سواری بنزینی، موتورسیکلت‌ها و خودروهای سنگین دیزلی هستند. مهم‌ترین عامل در کنترل آلایندگی

نمونه اولیه فیلتر ساخته‌شده در ایران



شکل ۱: ساختار فیلتر دوده دیزل

خودروهای سبک سواری اجرای معاینه فنی و نصب کاتالیست‌ها است که از چند سال قبل با جدیت در کشور پیگیری شده است. این دو عامل تاکنون نقش مهمی در کنترل آلایندگی این خودروها ایفا کرده‌اند. موتورسیکلت‌های فرسوده نیز نقش قابل توجهی در انتشار ذرات معلق در جو کلان‌شهرها دارند. جایگزینی موتورسیکلت‌های فرسوده کاربراتوری با موتورسیکلت‌های انژکتوری و توسعه موتورسیکلت‌های برقی مهم‌ترین برنامه‌هایی هستند که جهت کنترل آلایندگی این وسایل نقلیه در دستور کار قرار گرفته‌اند.

موثرترین اقدام برای کنترل آلایندگی خودروهای دیزل، نصب فیلترهای جاذب دوده است که از چند سال قبل برای آن برنامه‌ریزی شده است. منابع متحرک دیزلی عبارتند از لودرها، ماشین‌های خاک‌برداری، کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و لوکوموتیوها. البته برخی منابع دیزل ثابت نیز در اطراف شهر فعال هستند که باعث انتشار آلاینده‌ها می‌شوند. برای نمونه می‌توان ژنراتورهای دیزلی را نام برد که در کارخانجات شن و ماسه اطراف شهر تهران برای تامین انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه استفاده از فناوری فیلتر دوده دیزل (DPF) به دلیل کارایی مناسب در سراسر دنیا مرسوم است و بیش از ۹۹درصد ذرات خروجی از اگزوز را جذب می‌کند. بنابراین نصب فیلترهای دوده می‌تواند نقش بسیار موثری در کاهش غلظت ذرات معلق در جو کلان‌شهرها، بهبود کیفیت هوا و ارتقای سلامت جامعه ایفا کند.

در حال حاضر اولویت با نصب فیلترهای دوده دیزل روی اتوبوس‌های شهری، بین شهری و کامیون‌های باری است. برنامه تجهیز ناوگان حمل و نقل دیزلی به فیلتر دوده از سوی شهرداری تهران (معاونت حمل‌ونقل و ترافیک، شرکت کنترل کیفیت هوای تهران) و مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت ریاست جمهوری در دست پیگیری است. البته اجرای موثر این طرح نیاز به بسترسازی فرهنگی و زیرساخت‌های فنی دارد که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

زیرساخت‌های مورد نیاز

اولین و مهم‌ترین عامل در عملکرد مناسب فیلترهای دوده دیزل، کیفیت سوخت است. عملکرد فیلتر به‌شدت به محتوای گوگرد سوخت دیزل بستگی دارد. محتوای بالای گوگرد سوخت باعث کاهش راندمان فیلتر در جذب ذرات و کاهش عمر آن می‌شود. در گذشته نه‌چندان دور، محتوای گوگرد سوخت دیزل کشور بسیار بالا بود. اما در سال‌های اخیر به همت پیگیری‌های کارگروه ملی کاهش آلودگی هوای کلان‌شهرها و وزارت نفت کیفیت سوخت بهبود یافته است. در حال حاضر محتوای گوگرد سوخت دیزلی که برای ناوگان اتوبوسرانی شهرداری تهران استفاده می‌شود دارای میانگین غلظت ۸۰ ppm است. مسأله مهم دیگر توسعه زیرساخت‌های مناسب برای توزیع شهری و بین شهری سوخت دیزل با محتوای گوگرد پایین است. سوخت با کیفیت در کشور تولید می‌شود، اما هنوز در توزیع آن مشکل وجود دارد. راننده خودروی مجهز به فیلتر دوده نباید در دسترسی به سوخت دیزل با کیفیت مشکلی داشته باشد. نکته دیگر اصلاح فنی خودروها و معاینه فنی است. برای عملکرد مناسب فیلتر دوده تنظیم موتور، عدم روغن‌سوزی و تنظیم میزان اکسیژن ورودی به موتور بسیار حائز اهمیت است. بنابراین برای اینکه طرح تجهیز ناوگان خودروهای دیزلی به فیلتر دوده در کاهش آلودگی هوا مفید واقع شود، ابتدا باید زیرساخت‌های لازم از جمله تولید و توزیع سوخت با کیفیت و همچنین معاینه فنی را فراهم کرد. در غیر این صورت حتی اگر از بهترین برندهای موجود در دنیا هم استفاده شود، کارایی لازم را نخواهد داشت.

امکان‌سنجی ساخت فیلتر دوده دیزل در داخل کشور

مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده فیلتر دوده دیزل عبارتند از: پوسته، هسته، حسگرهای دما و فشار و لوازم جانبی (شکل ۱). در کشور همه مواد اولیه لازم برای ساخت فیلتر دوده دیزل از جمله سرامیک‌هایی که برای ساخت هسته فیلتر استفاده می‌شوند مثل سیلیسیم کاربید (SiC)، در دسترس است. هسته فیلتر دوده ساختاری متخلخل با کانال‌هایی با دقت ابعادی بالا دارد. در حال حاضر امکان تولید انبوه هسته سرامیکی فیلتر در داخل کشور فراهم نیست. هرچند تجربه ساخت نمونه داخلی در ابعاد کوچک‌تر در شرکت تحقیق‌گستران احسان وجود دارد. در

شـرایط فعلی اولویت با واردات هسـته است. البتـه با همراهی مرکـز همکاری‌های تحول و پیشـرفت ریاست جمهوری، موضوع انتقال دانش فنی سـاخت هسـته فیلتر به کشور با همکاری شرکت تحقیق‌گسـتران احسان در دستور کار قرار دارد. سامانه‌های داده‌برداری و سنسورهای دما و فشار مورد نیاز هم در بازار داخل کشـور موجود است. اما مسأله اساسی ساخت پوسته فیلتر است که ملاحظات فنی دقیقـی دارد. طراحی پوسـته باید متناسـب با ابعاد هسـته باشـد و حجم انبـاره ورودی، سـامانه توزیـع گاز خروجی از اگـزوز و مافل ورودی باید به گونه‌ای طراحی شـود تا فشـار برگشـتی با عملکرد موتور، متناسب و الگوی جریان گاز در فیلتر مناسب باشد. توزیع دما و آب‌بندی مناسب نیز از جمله مواردی هستند که در طراحی پوسته باید لحاظ شوند. طراحی و ساخت پوسـته فیلتر با رعایت تمام جزئیات دقیـق فنـی در داخـل کشـور و در شـرکت تحقیق‌گستران احسان انجام می‌شود.

نقشه راه

ساختار و طراحی مناسب هسته، نقش مهمی در میزان جـذب ذرات دارد. هسـته فیلتر با تکنولوژی‌هـای مختلفی سـاخته می‌شـود. ساختار کلی هسـته به‌صورت wall-flow و یا flow-through طراحی می‌شـود. در ساخت هسـته عمدتـا سـرامیک‌ها (کوردوریـت و سـیلیکون کاربید) یـا فیبرهای سـرامیکی و فلـزی بـه کار می‌رود. برای سـاخت فیلتر دوده در داخل کشـور از فناوری هسته‌های سرامیکی با ساختار wall-flow استفاده شده است.

بعد از جذب مناسـب ذرات دوده، کلیدی‌ترین مولفه عملکردی فیلترهای دوده دیزل فرایند احیا (Regeneration) اسـت. در فرایند احیا ذرات دوده جمع‌شـده در هسته فیلتر سوزانده می‌شـوند. اگر احیا به خوبـی در فیلتر انجام نشـود، از عمر آن کاسته می‌شـود و عملکرد موتور را با افزایش فشـار برگشـتی بـه موتور مختل می‌کند. از سال‌ها قبل تکنولوژی‌های مختلفی در دنیا برای احیای مناسـب فیلترها توسعه داده شده است. در برخی از خودروهای دیزلـی پـس از اشباع‌شـدن فیلتـر دوده، به کمک سیستم کنترل هوشمند خودرو سوخت بیشـتری به محفظه احتراق تزریق می‌شـود تا دمـای گاز خروجـی بالاتر بـرود. در برخی سیستم‌های قدیمی‌تر از مشعل برای بالابردن دما استفاده می‌شود و در بعضی سیستم‌های دیگر از گرم‌کن‌های الکتریکی.

با توجه به ملاحظات اقتصادی و فنی، فناوری که در کشور برای سـاخت فیلترهای دوده در دسـت توسـعه قرار گرفته است، اسـتفاده از هسته‌های سرامیکی با پوشش فلزات کمیاب به‌عنـوان کاتالیسـت فرایند احیـا (CDPF) است. پوشش فلزی هسته سرامیکی در نقش کاتالیست عمل می‌کند و کمک می‌کند دمای احتراق دوده کاهش یابد. البته در موارد خاص مثل لودرها کـه دمای گاز خروجی از اگزوز به اندازه کافی بالا اسـت، می‌توان از فیلترهای بدون پوشش هم استفاده کرد. این نوع فیلترها را با هزینه به‌مراتب کمتـر می‌توان تولید کرد. از آلایندگی لودرها و ماشین‌های خاک‌برداری که عمده فعالیت‌شـان در طول شـب صورت می‌گیرد، نباید غافل بود. قابلیت تولید انبوه این نوع فیلترها برای لودرها در کشور وجود دارد.

نمونه‌های فیلتر CDPF در کشور ساخته شده و آزمون‌هـای عملکردی را بـا موفقیت طی کرده اسـت. اولین نهادی که در کشـور برای فیلترهـای دوده گواهی‌نامه صـادر می‌کند، شـرکت کنترل کیفیت هوای تهران است که آزمون‌هـا را با همکاری یک شـرکت مشـاور انجام می‌دهد. فیلترهای ساخته‌شده، آزمون اتاق تست در شرکت ایدم نبریز و آزمون بدون مسـافر اتوبوس‌های شـهری را با موفقیت به اتمام رسانده و گواهی‌نامه دریافت کرده است. تنها آزمونـی که برای اخذ گواهی‌نامه نصب و اسـتاندارد باقی مانده، آزمون اتوبوس شهری به همراه مسـافر اسـت که زیر نظر شـرکت کنترل کیفیت هوا و با همکاری شـرکت واحد اتوبوسـرانی شـهرداری تهران در حال انجام اسـت. پس از اخذ این اسـتاندارد، فیلتر دوده دیزل سـاخت داخل در صورت تداوم حمایت وارد مرحله تولید انبوه در کشور خواهد شد.

یکی از فناوری‌هایی که عملکرد بسـیار پایدار و مناسـبی دارد، فیلترهـای DOC-CDPF هسـتند. DOC یک کاتالیسـت اکسیدکننده اسـت که قبل از فیلتر DPF قـرار می‌گیرد و اکسـیدهای نیتروژن خروجی از اگـزوز را در بالادسـت به نیتروژن دی‌اکسـید تبدیل و به این ترتیب دی‌اکسید نیتروژن به فرایند احتراق دوده در فیلتر کمک می‌کند. فشار برگشتی در طول زمـان در این فیلترهـا وضعیت پایداری دارد. توسعه این فناوری یکی از برنامه‌های آتی کشور اسـت. امکان ساخت کاتالیست DOC نیز در داخل کشـور وجود دارد. در حال حاضر برخی شرکت‌ها کاتالیست‌ها را وارد می‌کنند و پوشـش‌دهی آن در داخل انجام می‌شود. اما دانش فنی سـاخت این کاتالیسـت در داخل کشور با استفاده از توان متخصصان داخلی در حال تامین است.

جمع‌بندی

آلایندگی خودروهای سـنگین دیزلی در کشـور ما یک مشـکل بسـیار جدی اسـت که باید در زمینه کنترل آن اقـدام کرد، زیرا سـلامت جامعه را با خطر مواجه می‌کنـد. برای کنترل آلایندگی خودروهای سـنگین سـه اقدام را باید به مـوازات هم پیش برد: ارتقای کیفیت سـوخت، معاینـه فنی منظم نـاوگان حمل‌ونقل سـنگین و مجهزنمـودن خودروهـا بـه فیلتـر دوده دیـزل. در صورتی که یکی از این سـه مورد به خوبی اجرا نشـود، کل طرح اثربخشی چندانی نخواهد داشـت. بومی‌سازی فیلتر دوده دیزل جهت تامین نیاز کشـور بسـیار ضروری است. تولید داخل کمک می‌کند تا فیلتر دوده تقریبا با نصف هزینه نمونه خارجی به دست مصرف‌کننده برسـد. البته نباید از آگاهی‌بخشی به عموم مردم و مصرف‌کنندگان در مـورد اهمیت این طرح و نقش آن در ارتقای سلامت جامعه غافل بود.

شهرداری تهران (شرکت کنترل کیفیت هوا و معاونت حمل‌ونقل و ترافیـک)، معاونـت علمی و فناوری ریاسـت جمهوری و مرکز همکاری‌هـای تحـول و پیشـرفت ریاسـت جمهـوری و به‌ویژه دبیر محتـرم کارگروه ملـی کاهش آلودگی هوای کلان‌شـهرها جناب آقای دکتر سـید وحید حسـینی تاکنون بـه خوبی از طرح بومی‌سازی فیلتر دوده دیزل حمایت کرده‌اند که در همین فرصت لازم می‌دانم از همـه آن نهادهای تاثیرگذار و عزیزانی که یاریگر ما در این مسیر بوده‌اند به‌ویژه همکاران و مهندسان شرکت تشکر و قدردانی نمایم و همچنین از سـردبیر محترم و دست‌اندرکاران نشریه فناورد (نشریه فناوری‌های نوین) دانشگاه صنعتی شریف که از اینجانب برای ارائه توانمندی داخلی شرکت تحقیق‌گستران احسـان برای بومی‌سـازی فیلتر دوده دیزل در سال رونق تولید ملی دعوت کردند صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.