

# مروری بر پدیده آلودگی هوا در ایران؛ علت‌ها، تأثیرات و راهکارهای قانونی

نگار عبدالحسینی<sup>۱</sup>، شقایق ذوالقدری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی محیط‌زیست، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

## چکیده

بزرگ مشخص‌کننده که بهتر است برای چه بخش‌هایی برنامه‌ریزی صورت بپذیرد و بررسی قوانین موجود در این زمینه در انتهای مقاله نیز در همین راستا می‌باشد. پس از بررسی‌ها مشخص شد، که عمده‌ترین آلاینده‌های هوا که تأثیرشان روی سلامتی بیشتر است عبارتند از: ذرات معلق، مونو اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و اوزون، که تحقیقات مختلف تأثیر منفی آن‌ها روی آسیب به بافت‌های مختلف بدن، به خصوص قلب و ریه، را ثابت کرده است. عوامل عمده آلودگی هوا در دو شهر تهران و

در سال‌های اخیر، آلودگی هوا در ایران افزایش یافته و علی‌رغم اجرای سیاست‌هایی نظیر تعطیلی مدارس و محدودیت‌های تردد، همچنان به قوت خود باقی است. این مطالعه با بررسی انواع آلاینده‌ها و تأثیر آن‌ها روی سلامت انسان، به واسطه مرور مقالات مرتبط در جهان و ایران تلاش کرده اهمیت این موضوع را بیش از پیش آشکار نماید. این مطالعه می‌خواهد در ادامه با بررسی عوامل آلودگی در سه شهر

اصفهان عمدتاً ناشی از منابع متحرک و وسایل نقلیه است، اما در شهر اهواز صنعت و به خصوص صنعت نفت یعنی منابع ثابت در آلودگی هوا نقش عمده را دارند. در ایران در قانون اساسی، مصوبات مجلس و شورایی محیطزیست، برنامه‌های توسعه و تعدادی از قوانین و آیین‌نامه‌ها به مبحث آلودگی هوا

پرداخته شده است؛ همچنین ایران در ۴ کنوانسیون بین‌المللی در این زمینه عضویت دارد. با توجه به تفاوت منابع آلاینده در شهرهای مختلف و تأثیرات متفاوتی که می‌توانند داشته باشند، خوب است که در هر منطقه اجرای قوانین مربوط به منابع عمده آلاینده همان منطقه در الویت قرار گیرند.

## کلمات کلیدی: هوا، محیطزیست، آلودگی هوا، بهداشت، ایران، آلاینده هوا

### مقدمه

امروزه در جهان از هر ۱۰ نفر، ۹ نفر در هوایی تنفس می‌کنند که حاوی مقادیر بیش از حد مجاز آلاینده‌ها است. در تحقیقات مشخص شده، که بین آلودگی هوا و تشدید انواعی از بیماری‌های قلبی و تنفسی ارتباط وجود دارد، به نحوی که طبق آخرین آمار سازمان جهانی بهداشت سالانه بیش از ۷ میلیون نفر جان خود را بر اثر این پدیده از دست می‌دهند (WHO, 2021). طبق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، خسارات وارد شده به ایران از این بابت بالغ بر ۷ میلیارد دلار بوده و آلودگی هوا سالانه ۲۶ میلیارد دلار به تهران خسارت وارد می‌کند (Heger & Sarraf, 2018). به همین دلایل، شناخت این پدیده بابت مضرات کوتاه مدت و بلند مدت فراوان آن و ظرفیت‌های موجود برای کاهش آن دارای اهمیت بسیاری است. آلودگی هوا با کشف آتش توسط انسان و در معرض مواد شیمیایی حاصل از سوزاندن زیست‌توده‌ها (چوب و گیاهان) قرار گرفتن وی در محیط‌هایی با تهویه ضعیف، که جمع شدن دود می‌توانست به درجانی برسد که برای سلامت انسان مضر باشد، آغاز شد (Seigneur, 2019). آلودگی هوا پیش از انقلاب صنعتی نیز در جهان وجود داشته، برخی شواهد این پدیده عبارتند از: آثار این پدیده روی بافت ریه مومیایی‌های مصر، پرو و بریتانیا، اشاره به آلودگی هوا در آثار کلاسیک رومی، برای مثال کتاب لوقیوس آنتوس سنکا، تجزیه و تحلیل هسته‌های یخ قطب شمال که نشان می‌دهد استخراج و ذوب فلزات در شبه جزیره ایبری، انگلستان، یونان و جاهای دیگر

در قرون وسطی مقدار سرب موجود در محیط را تا ۱۰ برابر افزایش داده است (Smithsonian-mag, 2016). بعد از انقلاب صنعتی نیز به سبب سوزاندن سوخت‌های فسیلی مقادیر زیادی آلاینده به هوا کره وارد گشت. در آن دوره لندن به یکی از آلوده‌ترین شهرها تبدیل شد، به نحوی که مه‌دودی که در سال ۱۹۵۲ به وجود آمد موجب مرگ هزاران نفر شد (Seigneur, 2019). در این مطالعه، در ابتدا تقسیم‌بندی‌هایی از آلاینده‌ها ارائه شده، سپس به اثرات این پدیده روی سلامتی و ظرفیت‌های قانونی مقابله با آن پرداخته شده است. در شهر تهران، مدارس ۱۲ روز در سال ۱۳۹۸ به علت آلودگی هوا تعطیل شده‌اند، که این افزایش چشمگیری به نسبت سال‌های گذشته را نشان می‌دهد؛ همچنین تعداد رویدادهای گرد و غبار در استان‌های مختلف کشور افزایش یافته است، در چنین شرایطی که وضعیت آلودگی هوا رو به بدتر شدن می‌رود مرور عوامل، آثاری که تا کنون داشته و ظرفیت‌هایی که برای حل آن وجود دارد لازم است. یکی از جامع‌ترین منابع داخلی موجود که به تأثیرات آلودگی هوا روی سلامتی پرداخته است، کتاب آلودگی هوا و سلامت می‌باشد، که در هر فصل به تأثیر آلودگی هوا روی انواعی از بیماری‌ها پرداخته و فصل آخر آن نیز روی مطالعات مروری سیستماتیک در زمینه عوارض آلودگی هوا بر سلامتی انجام شده است؛ این کتاب یکی از منابع اصلی این مقاله است. در زمینه منابع آلاینده منابع موجود اندک بودند و دسترسی به خیلی از طرح‌های منشأیابی آلاینده‌ها وجود نداشت و فقط نتایج آن‌ها در برخی منابع قابل مشاهده بود و

سعی شده که از آن‌ها استفاده شود. راهکارهایی که تابحال برای پدیده آلودگی هوا ارائه شده را می‌توان به دو دسته: داخلی و بین‌المللی تقسیم کرد، که بخش بین‌المللی شامل: چند کنوانسیون و بخش داخلی شامل: برخی قوانین عام درباره حق انسان برای بهره‌مندی از محیط‌زیست سالم و ممنوعیت تخریب محیط‌زیست و همچنین برخی قوانین مختص پدیده آلودگی هوا، مانند قانون هوای پاک، قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا و برخی مصوبات و آیین‌نامه‌های دیگر است.

### تقسیم بندی آلاینده‌ها

جنبه‌های گوناگونی از آشفتگی در اتمسفر قابل تشخیص هستند. برخی از آن‌ها به این علت که توسط مواد شیمیایی که عمر بالایی دارند (چندین سال و حتی دهه) ایجاد شده‌اند، ماهیتی جهانی دارند. دو مورد از این پدیده‌ها عبارتند از: ۱. تغییرات اقلیمی ناشی از خطر گازهای گلخانه‌ای؛ ۲. نابودی لایه اوزون استراتوسفری. از طرف دیگر، برخی از انواع آشفتگی‌ها، بیشتر در سطح پایین اتمسفر اتفاق می‌افتند و تأثیر آن‌ها محدود به همان سطح از زمین است. به این دسته از آشفتگی‌ها، عبارت کلی آلودگی هوا اطلاق می‌شود. آلودگی هوا می‌تواند در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی اتفاق بیفتد و برهه زمانی آن می‌تواند کوتاه مدت (یک ساعت) و یا بلند مدت (تا یک سال) باشد (Seigneur, 2019). آلاینده‌های هوا را می‌توان به گروه‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرد که هر کدام برای نوع خاصی از مطالعات کاربرد دارند.

### تقسیم‌بندی به صورت اولیه و ثانویه

آلاینده‌های هوا به صورت دو گروه: آلاینده‌های اولیه و آلاینده‌های ثانویه تقسیم‌بندی می‌شوند. آلاینده‌های اولیه از قبیل دی‌اکسید سولفورها ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_2$ ) و هیدروکربن‌ها (HC)، آن دسته از آلاینده‌هایی هستند که مستقیماً وارد اتمسفر شده‌اند و به همان شکل آزاد شده نیز در اتمسفر یافت می‌شوند، در نتیجه این آلاینده‌ها در اتمسفر دچار تغییر نمی‌شوند. آلاینده‌های ثانویه نظیر اوزون ( $O_3$ )، آن دسته از آلاینده‌ها را شامل می‌شود که در اتمسفر توسط یک واکنش فتوشیمیایی مثلاً در اثر هیدروکربن و یا اکسیداسیون

و بیشتر در حضور نور خورشید تشکیل می‌شوند (طبقه‌بندی آلاینده‌های هوا، ۱۴۰۰).

### تقسیم‌بندی آلودگی هوا از نظر منشأ آلودگی

منشأ آلاینده‌های موجود در هوا می‌تواند طبیعی و مصنوعی باشد. آلاینده‌های طبیعی، نظیر ذرات و خاکستر آتشفشان و گازهای ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی، فساد مواد آلی و اجساد حیوانات و بقایای تنه درختان که تحت تأثیر باکتری‌ها تولید آلودگی می‌کنند، را شامل می‌شود؛ آلاینده‌های مصنوعی نیز از طریق انسان، تولید و به فضا فرستاده می‌شوند که این آلاینده‌ها می‌تواند بسته به ناحیه‌ای که در آن تولید می‌شود، آلی یا صنعتی باشند (Wark, 1981).

### تقسیم‌بندی از نظر حالات فیزیکی آلاینده

در این تقسیم‌بندی، آلاینده‌ها در دو گروه گازها و بخارات و گروه آئروسول‌ها مجزا می‌شوند. آئروسول‌ها نیز به دو گروه ذرات جامد و ذرات مایع تقسیم‌بندی می‌شوند. آئروسول‌ها عبارت هستند از: پراکندگی ذرات میکروسکوپی جامد یا مایع در محیط گازی مانند دود، غبار جزو ذرات جامدی است که از مواد کلونید بزرگتر بوده و می‌تواند به صورت موقت در هوا و یا گاز دیگری به صورت معلق در آیند؛ این ذرات تمایلی به چسبندگی ندارند (آلودگی هوا و سلامت انسان، ۱۳۹۴).

### تقسیم‌بندی از نظر فیزیک بولوژیک

در این تقسیم‌بندی هفت گروه آلاینده، تحریک‌کننده‌ها، خفه‌کننده‌ها، سموم فلزی، مواد آلرژیک، مواد بیماری‌زای غیر فلزی، سموم سیستمیک مواد مخدر یا بی‌هوش‌کننده قرار می‌گیرند، که هر کدام آسیب‌هایی متفاوت به سلامت انسان می‌زنند (طبقه‌بندی آلاینده‌های هوا، ۱۴۰۰).

### شاخص AQI جهت تشخیص کیفیت هوا

شاخص‌های آلودگی هوا معمولاً جهت تعیین سطح شدت آلودگی برای عموم مردم استفاده می‌شوند. استانداردهای آلودگی هوا (PSI)، در ابتدا به منظور پاسخ به افزایش تعداد افرادی که به دلیل آلودگی هوا رنج می‌برند توسعه یافت سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) در تلاش بوده‌اند تا ترتیبی اتخاذ نمایند که

کیفیت هوا، همانند وضعیت آب و هوایی، را بتوان پیش‌بینی کرد؛ بنابراین، با توجه به غلظت پنج آلاینده‌ی مونوکسیدکربن، دی‌اکسید نیترون، ازن، ذرات معلق و دی‌اکسید گوگرد شاخص کیفیت هوا یا AQI را برای پیش‌بینی وضعیت روزانه هوا

تعیین نمودند. در این شاخص، غلظت آلاینده‌ها به یک شاخص عددی مرتبط می‌شود که میزان این رنج در جدول ۱ آورده شده است (U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

جدول ۱ فواصل AQI و تعبیر کلی آن‌ها از نظر کیفیت هوا (AQI, 1400)

مقدار شاخص کیفیت (AQI)	سطح سلامتی	بیانیه احتیاط
زمانی که شاخص کیفیت هوا در این رنج است:	شرایط کیفیت هوا عبارتند از:	اثرات مخرب بر روی سلامت:
۵۰-۰	خوب	کیفیت هوا رضایت‌بخش بوده و آلودگی هوا کم یا بی‌خطر است.
۵۱-۱۰۰	متوسط	کیفیت هوا قابل قبول است؛ با این حال، برخی از آلاینده‌ها ممکن است برای تعداد بسیار کمی از افراد که به طور غیر منتظره‌ای نسبت به آلودگی هوا حساس هستند اندکی مشکل‌ساز باشد.
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای افراد حساس	تشدید خفیف علائم در میان افراد مستعد. عموم مردم به احتمال زیاد تحت تأثیر قرار ندارند.
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	سلامتی همه مردم در معرض تهدید قرار دارد، گروه‌های حساس ممکن است با عوارض جدی‌تر مواجه شوند.
۲۰۱-۳۰۰	خیلی ناسالم	هشدار عموم مردم به احتمال زیاد با عوارض جانبی آلودگی هوا مواجه می‌شوند.
۳۰۱-۵۰۰	خطرناک	شرایط اضطراری برای سلامتی عموم مردم

### اثرات آلودگی هوا بر انسان

اثرات آلودگی هوا بر سلامت بشر نه تنها به صورت کاهش کیفیت زندگی، بلکه همچنین به صورت افزایش هزینه‌های سلامت بر جامعه تأثیر می‌گذارد. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه ۲.۵ میلیون نفر در جهان بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند (اکنون به ۷ میلیون نفر رسیده است) و از سوی دیگر باعث افزایش بیماری در شمار بسیار زیادی می‌گردد، که این امر باعث افزایش تقاضا برای مراقبت سلامت می‌شود و افزایش تقاضا هم افزایش هزینه‌های سلامت را به دنبال دارد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۴). آلودگی هوا قادر است سیستم اعصاب مرکزی را از طرق مختلف تحت تأثیر قرار دهد؛ همچنین می‌تواند منجر به التهاب نورونی و تخریب شریان‌های خونی شود و همچنین شواهد زیادی وجود دارد که افزایش غلظت‌های اتمسفری شماری از آلاینده‌های هوا در بروز اختلالات روحی روانی را موثر می‌دانند (کریمی و طالبی، ۱۳۹۸).

**مونوکسید کربن:** CO گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است، که میل ترکیبی آن با هموگلوبین خون ۳۳ برابر اکسیژن است. این گاز در زمان استنشاق به سرعت با هموگلوبین خون ترکیب شده و تشکیل کربوکسی هموگلوبین را می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام گرفته، زمانی که سطح کربوکسی هموگلوبین خون به حدود ۲۲٪ برسد، باعث آسیب به قلب و بافت می‌شود. غلظت بالای این گاز بسیار خطرناک است و حتی ممکن است منجر به مرگ شود. مشکلات و بیماری‌های قلبی و عروقی نیز به طور مستقیم با آلودگی‌های هوا و وجود گاز مونوکسید کربن ارتباط دارد، به طوری که در حال حاضر ۱۲ تا ۱۵ درصد جمعیت ایران، دچار بیماری‌های آلرژیک مرتبط با آلودگی هوا و بیماری‌های قلبی و عروقی ناشی از وجود گاز مونوکسید کربن هستند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). حساس‌ترین عضو در برابر مونوکسید کربن، مغز می‌باشد. کربن مونوکسید سبب کاهش اکسیژن خون می‌شود و در صورتیکه اکسیژن کافی به سلول‌های مغزی نرسد، سلول‌های مخچه

از بین رفته و با ادامه این روند مرگ سلول‌های مغزی، حتی اگر انسان زنده بماند، به صورت یک فرد نباتی به زندگی خود ادامه خواهد داد، زیرا تا به حال هیچ درمانی برای بهبود سلول‌های مغزی شناسایی نشده است (Pandya et al., 2012). از آنجایی که هموگلوبین جنینی نسبت به مادری تمایل بیش‌تری برای اتصال به CO دارد، این ماده می‌تواند روی جنین تأثیرات منفی بیشتری بگذارد و مثلاً باعث صدمات اکسیداتیو بر دیواره عروق، هیپوکسی بافتی و کاهش رشد داخل رحمی جنین شود (نوری و همکاران، ۱۳۸۴).

**ذرات معلق هوا:** PM بیش از هر نوع دیگر از آلاینده‌های هوا مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهند و اجزای اصلی تشکیل دهنده PM عبارتند از: سولفات‌ها، نیترات‌ها، آمونیوم، سدیم کلرید، کربن سیاه، ذرات معدنی و آب. به عبارت دیگر: ذرات معلق هوا مخلوط پیچیده‌ای از ذرات جامد و مایع هستند که در مواجهه با این آلاینده می‌تواند سبب بیماری‌های قلبی عروقی و همچنین سرطان ریه شود (حسنوند و ندافی، ۱۳۹۴). اندازه ذرات معلق ارتباط مستقیمی با ایجاد مشکلات بهداشتی و سلامتی دارد. این ذرات به راحتی از طریق دهان و بینی به عمق شش‌ها نفوذ می‌کند. ذرات معلق شامل تعداد زیادی از مواد ژئوتوکسیک است، که با یک بار استنشاق، می‌توانند روی قلب و شش‌ها اثر گذاشته و تأثیرات جدی بر سلامتی بگذارند. فلزات سنگین که جزئی از ذرات معلق شامل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل برای حیات بیولوژیکی بسیار مضر بوده و سمی هستند. این عناصر پس از ورود به بدن، دفع نمی‌شوند و در بافت‌هایی نظیر چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌کنند و موجب بروز بیماری‌های متعددی می‌گردند (Yong-ming et al., 2006).

**ازون O<sub>3</sub>:** در اتمسفر دو نوع از آن وجود دارد، که شامل ازون خوب و ازون بد می‌شود. ازون خوب، ازونی است که در لایه استراتوسفر وجود دارد و مانع ورود اشعه‌های مضر به زمین می‌شود؛ اما ازون بد به ازون موجود در لایه تروپوسفر اطلاق می‌شود که نزدیک‌ترین لایه به سطح زمین است. مواجهه با ازون سبب

مشکلات تنفسی متعددی نظیر حملات آسمی، کاهش عملکرد ریه و بیماری‌های ریوی می‌شود؛ بسیاری از مطالعات اروپایی نشان داده‌اند که به ازای افزایش هر ۱۰  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  میزان مرگ و میر روزانه و مرگ و میر بیماران قلبی به ترتیب ۰.۳ و ۰.۴ درصد افزایش می‌یابد. حدود ۴۰ درصد از ازون تنفسی در حین عبور از بینی و حنجره جذب می‌شود و ۶۰ درصد باقی‌مانده آن به عمق ریه می‌رسد. این اکسیدان بسیار قوی می‌تواند در هر قسمتی از بافت ریه نفوذ کند و این امر بستگی به غلظت اولیه آن در لایه تروپوسفر دارد؛ بنابراین، می‌تواند روی هر ماده بیولوژیکی اثر بگذارد و باعث اختلال در عملکرد بدن و ایجاد بیماری شود (حسنوند و ندافی، ۱۳۹۴).

**اکسیدهای نیتروژن:** هفت نوع اکسید نیتروژن در هوای آزاد حضور دارند، که شامل اکسید نیتریک (NO)، دی‌اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)، اکسید نیتروس (N<sub>2</sub>O) و NO<sub>3</sub>، N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>، N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> می‌شوند. اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن مجموعاً به NO<sub>x</sub> معروفند، به این دلیل که قابلیت تبدیل متقابل این دو در واکنش‌های اسماگ فتوشیمیایی قابل انتظار است. در واقع اکسید نیتروژن هم آلاینده اولیه هست هم ثانویه. از بین اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید نیتروژن بیشترین غلظت را در هوای آزاد دارد و به رنگ قرمز مایل به نارنجی و از نزدیک به قهوه‌ای مشاهده می‌شود. این گاز خورنده و اکسیدانی قوی است و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تحتانی تنفسی و گازی سمی می‌باشد. سمی بودن این گاز چند برابر اکسید نیتریک است. مطالعات اپیدمیولوژی نشان داده‌است که مواجهه با نیتروژن دی‌اکسید با علائم برونشیت در کودکان آسمی و کاهش عملکرد ریه در ارتباط مستقیم است و حتی اگر در دوره کوتاهی غلظت آن از  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشتر شود، این گاز به عنوان یک گاز سمی عمل کرده و سبب التهاب چشمگیری در مسیرهای هوایی در تمام سنین می‌شود. با توجه به غلظت‌های موجود در اتمسفر این گاز تنها به صورت بالقوه تحریک‌کننده است و با بیماری انسداد ریوی مزمن ارتباط دارد (حسنوند و ندافی، ۱۳۹۴) و همچنین این گازها در ترکیب با باران سبب ایجاد باران اسیدی خواهند شد که به طرق مختلفی ایجاد آسیب می‌کند (سودانی و همکاران، ۱۴۰۰).

## دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) و تری اکسید گوگرد ( $SO_3$ ):

اکسیدهای گازی غالباً گوگرد موجود در اتمسفر هستند. دی اکسید گوگرد گازی غیرقابل اشتعال و انفجار و گازی بی‌رنگ است که در غلظت‌های بین ۰/۳ تا ۱ ppm سبب ایجاد انسداد در راه‌های هوا می‌شود و اگر غلظت آن بالاتر رود، بوی تند و محرکی را نیز ایجاد می‌کند. تخمین زده می‌شود، گاز نیتروژن دی اکسید به طور متوسط بین ۲ تا ۴ روز در هوا باقی بماند. بیش از ۸۰ درصد اکسیدهای گوگرد به دست بشر در جریان احتراق سوخت‌های فسیلی از منابع ثابت آلوده‌کننده تولید می‌شود. تنگ شدن راه‌های هوایی، تنفس بی‌ثبات، برونش سرفه شدید سوزش چشم و مجاری تنفسی، کاهش کارایی تنفسی، تنگی نفس کم شدن عمق تنفس و در نهایت تشدید عوارض قلبی و عروقی و تنفسی از آثار بهداشتی منتسب به دی اکسید گوگرد به شمار می‌روند. اگرچه در این زمینه مطالعات زیادی صورت گرفته است، اما بسیاری از سؤالات هنوز بدون پاسخ مانده‌اند؛ زیرا اکسیدهای گوگرد تمایل دارند که در اتمسفر حاوی مواد معلق و مرطوب تشریح وجود داشته باشند و در نتیجه مطالعات اپیدمیولوژیکی بسیار کمی‌قادرند تا اثرات آلاینده‌های مجزا را به قدر کافی از هم متمایز کنند (حسنوند و ندافی، ۱۳۹۴).

## هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs: polycyclic Aromatic Hydrocarbons): گروه

بزرگی از ترکیبات آلی دارای دو تا هفت حلقه بنزنی هستند. این گروه طیف وسیعی از آلاینده‌های محیط‌زیستی را شامل می‌شوند، که ناشی از احتراق ناقص مواد آلی مانند سوخت‌های فسیلی هستند. برخی از PAHs دارای خاصیت سرطان‌زایی جهش‌زایی و ترانژنسی هستند و خطر جدی برای سلامت عمومی مردم جامعه دارند و بدین سبب نگرانی زیادی درباره وجود آن‌ها در هوای آزاد است. این آلاینده‌ها از هر دو منبع انسانی و طبیعی وارد محیط می‌شود اما حضور وسیع آن‌ها ناشی از فرآیندهای احتراق مواد آلی توسط انسان است (Kim et al., 2013). PAHs به طور وسیعی در اتمسفر پراکنده شده‌اند و به عنوان یکی از خواص این آلاینده‌های اتمسفری با احتمال سرطان‌زایی شناخته می‌شوند. اثرات وسیعی از سمی بودن PAHs در موجودات زنده، میکروارگانیسم‌ها،

گیاهان خاکزی، موجودات آبی، دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران گزارش شده است. اثر سمیت آن‌ها بر رشد متابولیسم و تشکیل تومور یعنی سمیت حاد و مزمن پلاسمینوزنی و خاصیت سرطان‌زایی نیز به اثبات رسیده و در عین حال توجه اولیه تحقیقات سمیت شناسی PAHs در خاصیت سمیت ژنی و سرطان‌زایی این ترکیب معطوف شده است (Kim et al., 2013). از اثرات بهداشتی کوتاه مدت آن می‌توان به تحریک پوست، چشم، تهوع، استفراغ و التهاب سیستمیک اشاره کرد. اثرات بلند مدت PAHs نیز شامل: سرطان‌های پوستی، ریوی، مثانه، گوارش آب مروارید آسیب به DNA، کلیه، جهش‌زایی و مرگ و میر قلبی عروقی می‌شوند.

## عوامل آلودگی هوا در برخی شهرهای ایران

طبق ماده ۶۲ برنامه سوم توسعه، دولت مکلف شده در طول برنامه چهارم آلودگی هوای شهرهای تهران، اهواز، اراک، تبریز، مشهد، شیراز و کرج و اصفهان را در حد استاندارد مصوب شورایی حفاظت از محیط‌زیست کاهش دهد. در این بخش دلایل عمده آلودگی هوا در تعدادی از این شهرها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این شهرها از پرجمعیت‌ترین شهرهای ایران هستند؛ طبق سرشماری سال ۹۵ تهران با ۸ میلیون و ۷۳۷ هزار نفر پرجمعیت‌ترین شهر ایران است، مشهد با ۳ میلیون و ۳۷۲ هزار نفر رتبه دوم، اصفهان با ۲ میلیون و ۲۴۳ هزار نفر رتبه سوم و کرج، شیراز و تبریز به ترتیب با ۱ میلیون و ۹۷۳ هزار، ۱ میلیون و ۸۶۰ هزار و ۱ میلیون و ۷۷۳ هزار نفر رتبه چهارم تا ششم را دارا هستند. جمعیت زیاد این کلانشهرها به معنای استفاده بیشتر از وسایل نقلیه و گرم‌کننده است که آلودگی هوا را به دنبال خواهد داشت. به جز جمعیت، صنعتی بودن یکی دیگر از عوامل آلودگی برخی استان‌ها و شهرهای ایران است؛ مثلاً طبق طرح آمارگیری نیروی کار سال ۱۳۹۷، سهم صنعت در اشتغال‌زایی استان‌های البرز، اصفهان، مرکزی و تهران به ترتیب ۴۲، ۴۰، ۴۰ و ۳۲ درصد بوده است.

**تهران:** تهران روزها ۱۲ میلیون و شب‌ها حدود ۸ میلیون جمعیت را پذیرا می‌باشد. ۱.۵ میلیون واحد مسکونی در شهر وجود دارد. این در حالی است که نرخ افزایش جمعیت با رشد فضای سبز هماهنگ



نیست و سرانه فضای سبز در این شهر بسیار پایین‌تر از استاندارد بین‌المللی است. بیش از ۷۰۰۰ واحد صنعتی در تهران وجود دارد که ۳۰ درصد در غرب و ۵۴ درصد در جنوب و ۱۶ درصد در شرق شهر تأسیس شده‌اند. با توجه به وزش بادهای غالب غربی و جنوب غربی بیشتر مواد زاید این کارخانه‌ها به داخل شهر هدایت می‌شوند. در حال حاضر ۴ میلیون خودرو و ۳ میلیون موتورسیکلت در شهر تردد می‌کنند (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). مهم‌ترین آلاینده شهر تهران در ۱۳ سال گذشته، از مونوکسید کربن به ذرات معلق تغییر یافته است (ارفعی و همکاران، ۱۳۹۲). خودروهای سواری، تاکسی‌ها، موتورسیکلت‌ها و وانت‌ها به ترتیب با ۵۳، ۱۳، ۲۱ و ۱۰ درصد بیشترین سهم را در انتشار CO در هوای شهر تهران دارند. خودروهای سواری در انتشار NOx سهم ۴۲ درصدی دارند، این سهم برای تاکسی‌ها ۲۰ درصد و برای سایر وسایل نقلیه ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد. خودروهای سنگین چون غالباً سوخت دیزلی مصرف می‌کنند، از جمله منابع انتشار ذرات معلق در هوای تهران هستند و سهم کامیون‌ها، مینی‌بوس‌ها و اتوبوس‌ها در انتشار ذرات معلق به ترتیب ۱۳، ۳۳ و ۱۷ درصد می‌باشد. موتورسیکلت‌ها نیز سهم ۲۹ درصدی دارند (شهسازی، ۱۳۹۳).

**اصفهان:** بنابر آمارهای رسمی، وجود ۱۰ هزار واحد صنعتی، ۱۵ هزار واحد صنفی، ۷۰۰ معدن فعال و ۲ هزار واحد سنگبری و همچنین ۷۵ درصد تولید آهن و فولاد کشور، ۴۵ درصد تولید آجر کشور، ۲۰ درصد بنزین کشور و رتبه دوم کشور در تولید فراورده‌های نفتی و تولید ۱۰ درصد برق کشور در اصفهان، در آلودگی این کلانشهر نقش بالایی دارند. با توجه به وجود ۱۶ شهرک صنعتی، داخل شعاع ۵۰ کیلومتری اصفهان که ۷۸ درصد واحدهای صنعتی این استان را تشکیل می‌دهند و استقرار تنها ۲۲ درصد واحدهای صنعتی، خارج از شعاع ۵۰ کیلومتری تمرکز بسیار سنگینی از صنایع در شعاع ۵۰ کیلومتری اصفهان وجود دارد، که این بر مشکل آلودگی هوای این شهر دامن می‌زند. براساس نتایج نهایی طرح منشأیابی و سهم‌بندی ذرات معلق هوای شهر اصفهان که از سوی دانشگاه صنعتی اصفهان منتشر شده است، حداکثر ۳۷ درصد از آلودگی هوای شهر اصفهان

متوجه صنایع است. حدود ۶۰۰ صنعت آلاینده در استان اصفهان شناسایی شده، که ۴۲۰ صنعت در محدوده منطقه مرکزی اصفهان است. طبق طرح منشأیابی و سهم‌بندی ذرات معلق هوای شهر اصفهان، ۵۳ درصد ذرات معلق هوا مربوط به حمل و نقل و ۷۰ درصد از سهم حمل و نقل نیز مربوط به اتوبوس‌ها و کامیون‌ها است (سلیمانی، ۱۳۹۶).

**اهواز:** خوزستان از سال ۸۰ تا کنون، به طور جدی با مشکل گرد و غبار مواجه است؛ به طوری‌که، تعداد رویدادهای گرد و غبار از ۱۰ نوبت در سال ۸۱، به ۵۵ نوبت در سال ۱۳۸۷ رسید. ۷۰ درصد آلودگی این شهر طبق طرح جامع آلودگی کلانشهر اهواز، مربوط به فعالیت‌های صنعتی است که ۹۰ درصد از این میزان مربوط به صنایع نفتی است. عمده آلودگی نفتی هم به شعله‌های گاز همراه نفت مربوط است که در اطراف شهر می‌سوزند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۵).

### مقررات مرتبط با آلودگی هوا در ایران

در قانون اساسی ایران بهره‌مندی از محیط‌زیست سالم، حق هر فردی دانسته شده و از آن می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌مندی از هوای پاک و سالم نیز حق هر فردی می‌باشد، برای دستیابی به این مهم در چندین مرجع مختلف قوانین و آیین‌نامه‌هایی برای فراهم آوردن هوای پاک و سالم به وسیله کنترل آلودگی هوای ناشی از صنعت، حمل و نقل و غیره تدوین شده‌اند. در حقوق ایران، اکثر ضمانت‌های کیفری مقابله با آلودگی هوا شامل کیفرهایی نظیر جزای نقدی، حبس، جلوگیری از تردد وسایل نقلیه و تعطیل واحد آلاینده است. در ادامه، به بررسی قوانین آیین‌نامه‌ها و مصوبات شورایی عالی محیط‌زیست و هیئت وزیران، پرداخته خواهد شد.

### قوانین

قانون اساسی: طبق اصل ۵۰ قانون اساسی، محیط‌زیست سالم یک حق شهروندی و حفاظت از محیط‌زیست وظیفه عمومی است و هرگونه فعالیتی که باعث تخریب یا آلودگی غیر قابل جبران آن شود ممنوع است، این قانون همچنین بیان می‌دارد که مسائل محیط‌زیستی فرابخشی هستند و تمام آحاد جامعه (سازمان‌ها و دستگاه‌ها) در قبال آن مسئولیت دارند (لطیفیان و فخر داور، ۱۳۹۷). بعضی حقوقدانان نیز پیش‌نیاز تحقق حقوق یاد شده در اصول ۲۲، ۲۹، ۴۳،

۴۵ و ۴۴ قانون اساسی را محیط‌زیست سالم دانسته‌اند (سودمندی، ۱۳۹۹).

سیاست‌های کلی برنامه چهارم توسعه: طبق ماده ۶۲ برنامه سوم توسعه، دولت مکلف است در طول برنامه چهارم آلودگی هوای شهرهای تهران، اهواز، اراک، تبریز، مشهد، شیراز و کرج و اصفهان را در حد استاندارد مصوب شورایی حفاظت از محیط‌زیست کاهش دهد. طبق بند ب ماده ۶۸، دولت اجازه دارد با رعایت اصل ۷۲ و ۸۵ قانون اساسی برای تقلیل ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست و تخریب آن صندوق ملی محیط‌زیست وابسته به سازمان محیط‌زیست را تأسیس کند (لطیفیان و فخر داور، ۱۳۹۷).

**قانون شهرداری مصوب ۱۳۳۴:** این قانون در کنار قواعد مربوط به حفظ و گسترش فضای سبز در شهرها بخشی از دفتر هفتم خود را به آلودگی هوا اختصاص داده‌است (خداکرمی و زاهدی، ۱۳۹۸).

**قانون حفاظت و بهسازی محیط‌زیست مصوب ۱۳۵۳/۳/۱۸ و اصلاحیه ۱۳۷۱/۸/۲۴:**

این قانون مبادرت به هر عملی که سبب آلودگی محیط‌زیست شود را ممنوع نموده است. این قانون بر انجام تحقیقات و بررسی‌های علمی و اقتصادی در زمینه حفاظت و بهبود محیط‌زیست و جلوگیری از آلودگی و بر هم خوردن تعادل محیط‌زیست تأکید می‌ورزد. در این قانون، آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد شده توسط کارخانجات و کارگاه‌ها مورد توجه قرار گرفته و در صورت اخطار به آن‌ها و عدم توجهشان از کار و فعالیتشان جلوگیری به عمل خواهد آمد (مجبایی و اسماعیلی فرد، ۱۳۹۵).

**قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه مصوب ۱۳۸۹:** در ماده ۱۳۴ در مورد حفاظت از محیط‌زیست راهکارهایی ارائه شده و در بخش محیط‌زیست نیز مواد قانونی دیگری برای کاهش آلودگی هوا، شناسایی کانون انتشار ریزگردها و مهار آن، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای آمده است (مجبایی و اسماعیلی فرد، ۱۳۹۵).

**قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب ۱۳۷۴/۲/۳:** در راستای تحقق اصل ۵۰ قانون اساسی ایجاد شده است و از ۶ فصل تشکیل شده است و منابع آلوده کننده را به سه دسته: ۱. وسایل نقلیه موتوری ۲. کارخانجات، کارگاه‌ها، نیروگاه‌ها،

منابع تجاری و خانگی ۳. منابع متفرقه تقسیم‌بندی نموده است. طبق این قانون، اقدام به هر عملی که موجب آلودگی هوا شود ممنوع بوده و مجازات برای خاطیان اعمال خواهد شد (مجبایی و اسماعیلی فرد، ۱۳۹۵).

**قانون هوای پاک مصوب ۱۳۹۶/۴/۲۵:**

این قانون دارای بیش از ۱۰ آیین‌نامه اجرایی است، در این قانون به تکالیف هر دستگاه در قبال منابع آلاینده ثابت و متحرک، از رده خارج کردن خودروهای فرسوده، توسعه ناوگان حمل و نقل عمومی، افزایش فضای سبز، انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، تولید و عرضه سوخت استاندارد، شرایط اضطرار آلودگی هوا، خود اظهاری و پایش صنایع، بیابان‌زدایی و مقابله با گرد و غبار، همکاری‌های بین‌المللی، تأمین حقابه زیست محیطی رودخانه‌ها و تالاب‌ها، ایجاد شعب تخصصی رسیدگی به تخلفات محیط‌زیست در مراجع قضایی و موارد دیگر پرداخته شده است (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۷).

#### آیین‌نامه‌ها

**آیین‌نامه اجرایی تبصره ماده ۱ قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب ۱۳۷۶/۲/۱۴:**

ساعات ممنوع تردد، مزایای گازسوز کردن وسایل نقلیه و استفاده از بنزین بدون سرب، استفاده از وسایل نقلیه عمومی با سوختی که دارای حداقل ترکیبات آلاینده باشد در این آیین‌نامه مورد تأکید قرار گرفته‌اند (خداکرمی و زاهدی، ۱۳۹۸).

**آیین‌نامه اجرایی قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب ۱۳۷۹/۶/۱۶:** ماده ۲ آن منابع آلوده‌کننده هوا غیر از موارد موضوع آیین‌نامه

اجرایی فصل سوم قانون را به سه دسته نقلیه موتوری، منابع تجاری-خانگی و منابع متفرقه تقسیم کرده است و در فصل دوم و سوم به آن‌ها پرداخته است (خداکرمی و زاهدی، ۱۳۹۸).

**آیین‌نامه اجرایی تبصره ماده ۱ آیین‌نامه نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب ۱۳۸۱/۴/۵:** این

آیین‌نامه به منظور کاهش آلودگی هوا بر نحوه اعمال محدودیت و صدور مجوز تردد و چگونگی نظارت بر اجرای محدودیت‌ها و ساماندهی حمل و نقل شهری اشاره دارد. به موجب ماده ۶۳ این آیین‌نامه، کلیه دستگاه‌ها موظف به گازسوز نمودن





گذاشت و گاهی خسارات جبران ناپذیری را به ما وارد خواهد کرد. آلودگی هوا به علت افزایش جمعیت، حمل و نقل و رشد صنعتی به وقوع می‌پیوندد و نمی‌توان آن را ریشه کن کرد، اما برای کم کردن آسیب و مدیریت آن می‌توان کارهایی انجام داد؛ به عنوان مثال، در اولین گام باید آلاینده‌ها و اثرات آن‌ها

را شناخت و سپس عوامل آلودگی هوا در هر منطقه را شناسایی کرد و قوانین و کیفی‌های مناسب جهت کنترل و در نهایت به حداقل رساندن آن را به تصویب رساند. در این مقاله آمار و اطلاعات خلاصه‌ای در هر مورد ارائه شده و امید است که خواننده درک خوبی از این پدیده و اثرات منفی و الزام مدیریت آن پیدا کند.

## منابع

۱. ارفعی نیا، حسین؛ مجید کرمانی، مینا آقائی، فرشاد بهرامی اصل و سیما کریم زاده. ۱۳۹۲. بررسی مقایسه‌ای کیفیت بهداشتی هوای کلانشهرهای تهران، اصفهان و شیراز در سال ۱۳۹۰. فصلنامه بهداشت در عرصه دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دوره ۱، شماره ۴ (زمستان) ۳۷-۴۴.
۲. حسونود، محمدصادق؛ کاظم ندافی. ۱۳۹۴. فصل یک کتاب آلودگی هوا و سلامت انسان. موسسه نشر شهر. تهران. ۲۲۳ص.
۳. خداکریمی، نبی و علیرضا زاهدی. ۱۳۹۸. تحلیل و بررسی جرم آلودگی هوا در شهرهای ایران از منظر حقوق کیفری و کنوانسیون‌های بین‌المللی. فصلنامه علمی- پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. سال یازدهم. شماره ۴ ( پاییز) : ۱۶۰-۱۸۳
۴. سایت مرکز آمار ایران
۵. سایت مرکز پژوهش‌های مجلس. ۱۳۹۷. آیین‌نامه اجرایی ماده (۱۷) قانون هوای پاک. قابل مشاهده در : <https://rc.majlis.ir/fa/law/> [۱۰۷۹۸۶۸/show ۱۴۰۰/۵/۲۵]
۶. سایت مرکز تحقیقات آلودگی هوا. ۱۳۹۸. طبقه‌بندی آلاینده‌های هوا. قابل مشاهده در: <https://aprc.iums.ac.ir> [ ۱۴۰۰/۰۵/۲۵ ]
۷. سلیمانی، محسن. ۱۳۹۶. طرح منشأیابی و سهم‌بندی ذرات معلق هوای شهر اصفهان و اولویت‌بندی کانون‌های مولد آن
۸. سودانی، علیرضا؛ محسن اسماعیلی‌فر و کاوه پور کرم سیدگان. ۱۳۹۹. مطالعه و بررسی اثرات آلودگی هوا ناشی از وسایل نقلیه. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست و منابع طبیعی، موسسه آموزشی عالی مهر اروند، تهران، ۲۵ دی ۱۳۹۸
۹. سودمندی، عبدالمجید. ۱۳۹۹. ظرفیت‌های قضایی ایران در مبارزه با آلودگی هوا. فصلنامه مطالعات حقوق عمومی، دوره ۵۰، شماره ۳ (پاییز): ۱۰۹۵-۱۱۱۶
۱۰. شهبازی، حسین؛ مهدی بابایی، وحید حسینی و حسین افشین. ۱۳۹۳. سیاهه انتشار مقدماتی منابع متحرک آلاینده‌های شهر تهران. سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۲۵ دی ۱۳۹۳
۱۱. صفوی، سید یحیی و بهلول علیجانی. ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران. پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۵۸ : ۹۹-۱۱۲
۱۲. طباطبایی، سید عباس؛ طیبه طباطبایی و محمد ساعد. ۱۳۹۵. عوامل مؤثر بر آلودگی کلانشهر اهواز. سومین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران
۱۳. فتاحی، مریم؛ عباس حساری، حسین صادقی، حسین اصغرپور. ۱۳۹۴. تحلیل تجربی رابطه بین آلودگی هوا و هزینه‌های عمومی سلامت: رویکرد داده‌های تابلویی پویا. فصل نامه مدل سازی اقتصادی، سال نهم شماره ۳، ۶۰-۴۳
۱۴. کریمی، سعید و احسان طالبی. ۱۳۹۸. مروری بر تاثیر آلودگی هوا در بروز بیماری‌های روحی و روانی، پنجمین کنفرانس ملی نوآوری‌های اخیر در روانشناسی، کاربردها و توانمندسازی با محوریت روان درمانی، تهران، دانشگاه شمس گنبد و با حمایت انجمن‌ها و گروه‌های آموزشی دانشگاه‌های کشور
۱۵. لطفیان، سعیده و صدیقه نصری فخر

Available at: [<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/air-pollution-goes-back-way-further-you-think-180957716/>]. Accessed : 2021-08-11

**25.** U.S. Environmental Protection Agency, 2011, National Ambient Air Quality Standards, See information in: [www.epa.gov/air/criteria.html](http://www.epa.gov/air/criteria.html)

**26.** Wark, k. and C. F. Warner, 1981. Air pollution: its origin and control.

**27.** World Health Organization, 2021, air pollution, see information in : <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>

**28.** Yongming H, Peixuan D, Junj C, Posmentier ES.)2006(Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban Dusts of Xi'an, Central China. The Science of the Total Environment.;355(1-3):176-186.

داود. ۱۳۹۷. سیاست گذاری محیط زیست در ایران: چالش ها و راه حل ها. فصلنامه سیاست، مجله دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دوره ۴۸، شماره ۱ (بهار): ۹۷-۱۲۱

**۱۶.** مجابی، سید محمد و مریم اسماعیلی فرد. ۱۳۹۵. جستاری بر سیاست گذاری محیط زیست در جمهوری اسلامی ایران. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی. سال پنجم. شماره ۲۱ ( زمستان): ۷-۲۰

**۱۷.** محمدی، پرویز؛ شهین چراغیان فرد، طهمینه محمدی و زهرا مرتضایی. ۱۳۹۴. مروری بر مقادیر و اثرات گاز مونوکسید کربن بر انسان و محیط زیست. اولین کنفرانس ملی علوم و مدیریت محیط زیست ایران. اردیبهشت ۱۳۹۴.

**۱۸.** نوری، کبری؛ سعیده ضیایی و انوشیروان کاظم نژاد. ۱۳۸۴. اثرات منواکسید کربن ناشی از آلودگی هوا در حاملگی بر جنین و آسیب شناسی بندناف. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی بابل، دوره ۷، شماره ۳ (تابستان): ۱۲-۱۹

**19.** Air Quality Index.2016. Air Quality Index Scale and Color Legend. Available at: [ <https://aqicn.org> ]

**20.** Heger M., M Sarraf. 2018. AIR POLLUTION IN TEHRAN: HEALTH COSTS, SOURCES, AND POLICIES. World Bank documents

**21.** Kim, K.H. et al. 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons ( PAHs) and their human health effects. Environment international, 71-80

**22.** Pandya, N. (2012) N.Gabas, E. Marsden, Sensitivity analysis of Phast's atmospheric dispersion model for three toxic materials (nitric oxide, ammonia, chlorine), Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25 20-32

**23.** Seigneur, Christian. 2019. Air Pollution - Concepts, Theory, and Applications. Cambridge University Press, 374 pp

**24.** Smithsonian magazine, 2016, Air Pollution Goes Back Way Further Than You Think.

