



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی



پژوهشکده محیط زیست
دانشگاه علوم پزشکی تهران



دانشگاه علوم پزشکی تهران



مؤسسه ملی تحقیقات سلامت
جمهوری اسلامی ایران

بررسی کیفیت هوا و اثرات آن بر سلامت در ایران در سال ۱۳۹۶



زمستان ۱۳۹۷



<http://ier.tums.ac.ir>

پژوهشکده محیط زیست
دانشگاه علوم پزشکی تهران



<http://nihr.tums.ac.ir>

مؤسسه ملی تحقیقات سلامت
جمهوری اسلامی ایران



از این کتاب تنها ۵۰ نسخه چاپ شده است و نسخه الکترونیک آن بر روی
وبسایت مؤسسه ملی تحقیقات سلامت جمهوری اسلامی ایران و وبسایت
پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران در دسترس است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی



پژوهشکده محیط زیست
دانشگاه علوم پزشکی تهران



دانشگاه علوم پزشکی تهران



مؤسسه ملی تحقیقات سلامت
جمهوری اسلامی ایران
دبیرخانه دیده‌بانی سلامت

درباره محتوی

این گزارش توسط مؤسسه ملی تحقیقات سلامت جمهوری اسلامی ایران و پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران تهیه شده است و به بررسی مروری کیفیت هوا و اثرات آن بر سلامت در ایران و مقایسه آن با سایر کشورها می‌پردازد. لازم به ذکر است علاوه بر گزارش کشوری، گزارش وضعیت کیفیت هوا و اثرات آن بر سلامت در شهر تهران نیز ارائه شده است. در این بررسی، از آخرین اطلاعات مراکز علمی ملی و بین‌المللی استفاده شده است. برای استناد به این گزارش از آدرس استنادی زیر استفاده شود:

● بررسی کیفیت هوا و اثرات آن بر سلامت در ایران در سال ۱۳۹۶. گزارش جامع، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران و مؤسسه ملی تحقیقات سلامت جمهوری اسلامی ایران. زمستان ۱۳۹۷.

● Air quality status and its health effects in Iran in 2017. Comprehensive Report, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences and National Institute of Health Research, (I.R. Iran) - Winter 2019.



فهرست اختصارات

AQI	Air Quality Index
CO	Carbon Monoxide
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
GBD	Global Burden of Disease
GEMM	Global Exposure Mortality Model
IER	Integrated Exposure Response
IHD	Ischemic Heart Disease
LC	Lung Cancer
LRI	Lower Respiratory Infections
NCDs	Non-Communicable Diseases
PAF	Population Attributable Fraction
PM	Particulate Matter
ppm	Part Per Million
SO₂	Sulfur Dioxide
WHO	World Health Organization



فهرست مطالب

۱	خلاصه
۲	مقدمه
۳	نتایج
۳	کیفیت هوای آزاد در ایران و سایر کشورها
۵	اثرات آلودگی هوا بر سلامت در دنیا
۸	تخمین اثرات آلودگی هوا بر سلامت در ایران
۱۲	تغییرات غلظت ذرات معلق ریز هوا در سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰
۱۳	کاهش غلظت ذرات معلق ریز هوا و افزایش امید زندگی
۱۴	کیفیت هوای شهر تهران و اثرات آن بر سلامت
۱۵	روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوای آزاد شهر تهران
۱۸	روند تغییرات شاخص کیفیت هوای شهر تهران طی ۱۲ سال منتهی به ۱۳۹۷
۱۸	توزیع مکانی غلظت ذرات معلق هوای آزاد شهر تهران
۲۰	کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامت در شهر تهران
۲۳	نتیجه‌گیری
۲۳	پیشنهادها
۲۴	منابع
۲۵	پیوست - ۱

فهرست جداول

۶	جدول ۱. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا به تفکیک علل مرگ و گروه‌های سنی مختلف
۸	جدول ۲. جزء منتسب (PAF) علل مرگ منتسب به مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا برای افراد بالای ۲۵ سال
۸	جدول ۳. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایران به تفکیک علل مرگ و گروه‌های سنی مختلف
۱۰	جدول ۴. جزء منتسب (PAF) علل مرگ منتسب به مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایران برای افراد بالای ۲۵ سال
۱۲	جدول ۵. درصد تغییر غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰
۱۳	جدول ۶. میزان افزایش امید زندگی (سال) در صورت کاهش غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در کشورهای مختلف
۲۰	جدول ۷. اثرات سلامتی منتسب به آلودگی هوا در اثر مواجهه بلند-مدت در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ به تفکیک علت مرگ

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱. میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشورهای مختلف..... ۳
- شکل ۲. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در تمام دنیا به تفکیک علت مرگ و گروه‌های سنی..... ۶
- شکل ۳. سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا..... ۷
- شکل ۴. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایران به تفکیک علت مرگ و گروه‌های سنی..... ۹
- شکل ۵. سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در کشور ایران..... ۹
- شکل ۶. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد برحسب صد هزار نفر استاندارد شده سنی..... ۱۱
- شکل ۷. روند تغییرات غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶..... ۱۵
- شکل ۸. روند تغییرات غلظت سالیانه SO_2 هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶..... ۱۶
- شکل ۹. روند تغییرات غلظت سالیانه CO هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶..... ۱۷
- شکل ۱۰. روند تغییرات شاخص کیفیت هوای روزانه شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶..... ۱۸
- شکل ۱۱. توزیع مکانی غلظت میانگین سالیانه $PM_{2.5}$ ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۶..... ۱۹
- شکل ۱۲. تعداد موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ به تفکیک علت مرگ و گروه سنی..... ۲۱
- شکل ۱۳. درصد موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهر تهران به تفکیک گروه سنی..... ۲۲

خلاصه

و عفونت دستگاه تنفسی تحتانی و حدود ۳۶ درصد از موارد مرگ ناشی از سرطان ریه در کشور، منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوا بوده است. نتایج مطالعه روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوای سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶ و کمی‌سازی اثرات آن‌ها بر سلامت در شهر تهران که توسط پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران صورت گرفته است نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق هوا در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ روند افزایشی داشته است و حداکثر میانگین غلظت $PM_{2.5}$ طی ۱۲ سال گذشته در سال ۱۳۹۰ معادل $38 \mu g/m^3$ مشاهده شده است. سپس روند تغییرات غلظت ذرات معلق ریز هوا در فاصله سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ روند کاهشی داشته است و به حدود $30 \mu g/m^3$ رسیده است اما طی دو سال اخیر (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران نسبت به مقدار مشابه سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. این امر گویای این واقعیت است که سیاست‌ها و برنامه‌های کاهش آلودگی هوا شهر تهران موفق نبوده است.

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که در شهر تهران براساس وضعیت شاخص کیفیت هوا (AQI: Air Quality Index)، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ حتی یک روز شاخص کیفیت هوا در طبقه «خوب» (AQI=0-50) قرار نگرفته است اما تعداد روزهایی که AQI «متوسط» (AQI=51-100) بوده است از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ افزایش یافته و در سال ۱۳۹۴ تعداد روزهایی که AQI در وضعیت «متوسط» بوده است به ۸۰ روز رسیده است و مابقی روزهای سال دارای کیفیت هوا ناسالم بوده است. در سال ۱۳۹۶ تنها ۲۰ روز شاخص کیفیت هوا متوسط بوده است و در ۲۳۷ روز «ناسالم» برای گروه‌های حساس، ۱۰۷ روز «ناسالم» و ۱ روز «خیلی ناسالم» بوده است.

بررسی نتایج مطالعات انجام شده بیانگر این است که آلودگی هوا سهم بسیار چشمگیری در تعداد موارد مرگ منتسب دارد و در صورتی که کیفیت هوا در کشور بهبود نیابد با توجه به افزایش سهم افراد مسن از جمعیت کل کشور در آینده، سهم موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا به مراتب افزایش خواهد یافت. همچنین با عنایت به اینکه آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات دومین عامل مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر است ضروری است که آلودگی هوا به عنوان یک بخش مهم در برنامه‌های بیماری‌های غیرواگیر مدنظر قرار گیرد.

آلودگی هوا یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر سلامت بوده و سهم قابل توجهی در بار بیماری‌های غیرواگیر (NCDs: non-communicable diseases) دارد؛ آلودگی هوا یکی از عوامل اصلی ایجاد مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است. آلاینده‌های متعددی در هوا وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها ذرات معلق هوا (PM: Particulate Matter) هستند. ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی ۱۰ میکرومتر و کمتر می‌توانند به داخل قسمت‌های تحتانی ریه نفوذ کنند و ذرات با قطر آئرودینامیکی ۲/۵ میکرومتر و کمتری می‌توانند از موانع ریه عبور کرده و وارد جریان خون شوند. به همین دلیل مهم‌ترین آلاینده هوای آزاد که به منظور بیان کیفیت هوا بکار گرفته می‌شود غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی ۲/۵ میکرومتر و کمتر ($PM_{2.5}$) می‌باشند.

میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشور ایران برابر ۴۸ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد که تقریباً کمی پایین‌تر از متوسط غلظت جهانی آن (۵۱ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد و این مقدار حدود ۴/۸ برابر مقدار توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) بوده و تقریباً ۴ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد. ایران از نظر میانگین غلظت ذرات معلق ریز در بین ۱۹۵ کشور در جایگاه ۱۵۲ قرار دارد. متوسط جهانی غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۶ نسبت به مقدار آن در سال ۲۰۱۰ به میزان ۱۷ درصد افزایش یافته است و این روند در ایران همانند متوسط دنیا افزایشی بوده است و متوسط سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ در ایران نسبت به میزان آن در سال ۲۰۱۰ حدود ۸ درصد افزایش یافته است.

براساس آخرین برآورد انجام شده در سال ۲۰۱۸ در دنیا حدود (۱۰/۳-۷/۵) ۸/۹ میلیون مورد مرگ در افراد بالای ۲۵ منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد بوده است که از این بین حدود ۷۷ درصد از آن (۶/۹ میلیون مورد) ناشی از پنج علت شامل بیماری ایسکمیک قلبی (IHD)، سکته‌های مغزی (stroke)، بیماری انسداد مزمن ریوی (COPD)، سرطان ریه (LC) و عفونت دستگاه تنفسی تحتانی (LRI) بوده است.

مطالعات انجام شده برآورد کرده‌اند که در ایران هر ساله حدود (۸۶-۶۲) ۷۵ هزار مورد مرگ منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد می‌باشد. در واقع حدود ۲۴ درصد از کل موارد مرگ طبیعی افراد بالای ۲۵ سال در ایران منتسب به مواجهه با ذرات معلق ریز هوا بوده است که به عبارت دیگر تقریباً از هر ۴ مرگ در ایران یک مورد ناشی از مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد می‌باشد. همچنین ۳۹، ۳۲ و ۵۸ درصد از موارد مرگ ناشی از بیماری‌های ایسکمیک قلبی، بیماری انسداد مزمن ریوی



مقدمه

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی هوا محسوب می‌شوند. اجزای اصلی ذرات معلق هوا عبارتند از سولفات، نیترات‌ها، آمونیوم، کلرید سدیم، کربن‌سیاه، ذرات معدنی و آب. به عبارت دیگر ذرات معلق هوا شامل ترکیب پیچیده‌ای از ذرات جامد و مایع آلی و معدنی معلق در هوا می‌باشند [۸]. گرچه ذرات معلق هوا با قطر آئروپنایمیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM_{10}) می‌توانند به داخل قسمت‌های تحتانی ریه‌ها نفوذ کنند اما ذرات با قطر آئروپنایمیکی $2/5$ میکرومتر و کمتر ($PM_{2.5}$) اثرات سلامتی بسیار بیشتری نسبت به PM_{10} دارند و می‌توانند از موانع ریه عبور کرده و وارد جریان خون شوند. مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با ذرات معلق هوا می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی و همچنین سرطان ریه را افزایش دهد. شواهدی متعددی نشان داده‌اند که بین افزایش غلظت ذرات معلق هوا و افزایش مرگ و میر رابطه‌ی نزدیکی وجود دارد و در شرایطی که غلظت ذرات معلق هوا کاهش یافته است موارد مرگ و میر مرتبط با آن هم کاهش یافته است و این امر بیانگر این است که بخش اعظمی از سلامت افراد جامعه در صورت کاهش آلودگی هوا بهبود می‌یابد [۷].

آلودگی هوا مهم‌ترین عامل خطر محیطی برای سلامت محسوب می‌شود [۳-۱] و در بین همه عوامل خطر به عنوان هشتمین عامل خطر در دنیا و به عنوان هفتمین عامل خطر در ایران است که بیشترین تعداد موارد مرگ را به خود اختصاص داده است [۱، ۲]. گرچه آلودگی هوا همه‌ی مناطق دنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما افراد ساکن کشورهای با درآمد پایین را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. مطالعات نشان داده‌اند آلودگی هوا سهم قابل توجهی در بار بیماری‌های غیرواگیر ($NCDs$: non-communicable diseases) دارد؛ آلودگی هوا یکی از عوامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است [۴]. براساس آخرین داده‌های کیفیت هوا که توسط سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است، حدود ۹۷ درصد از شهرهای با جمعیت بیش از ۱۰۰ هزار نفر در کشورهای با درآمد کم و متوسط مقادیر غلظت آلاینده‌های هوای آزاد در آن‌ها از حدود رهنمودی سازمان جهانی بهداشت بالاتر است. همچنین این درصد در کشورهای با درآمد بالا حدود ۴۹ درصد است [۵-۷]. همزمان با کاهش کیفیت هوا، خطر سکته، بیماری‌های قلبی، سرطان ریه و بیماری‌های حاد و مزمن تنفسی افراد افزایش می‌یابد. علاوه بر هوای آزاد، آلاینده‌های هوای داخل هم به‌عنوان یک عامل خطر جدی برای سلامت حدود ۳ میلیارد نفر در دنیا است که برای پخت و پز و گرمایش منازل‌شان از سوخت‌های جامد استفاده می‌کنند.

آلاینده‌های متعددی در هوا وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها ذرات معلق هوا (PM : Particulate Matter) هستند. در حقیقت ذرات معلق



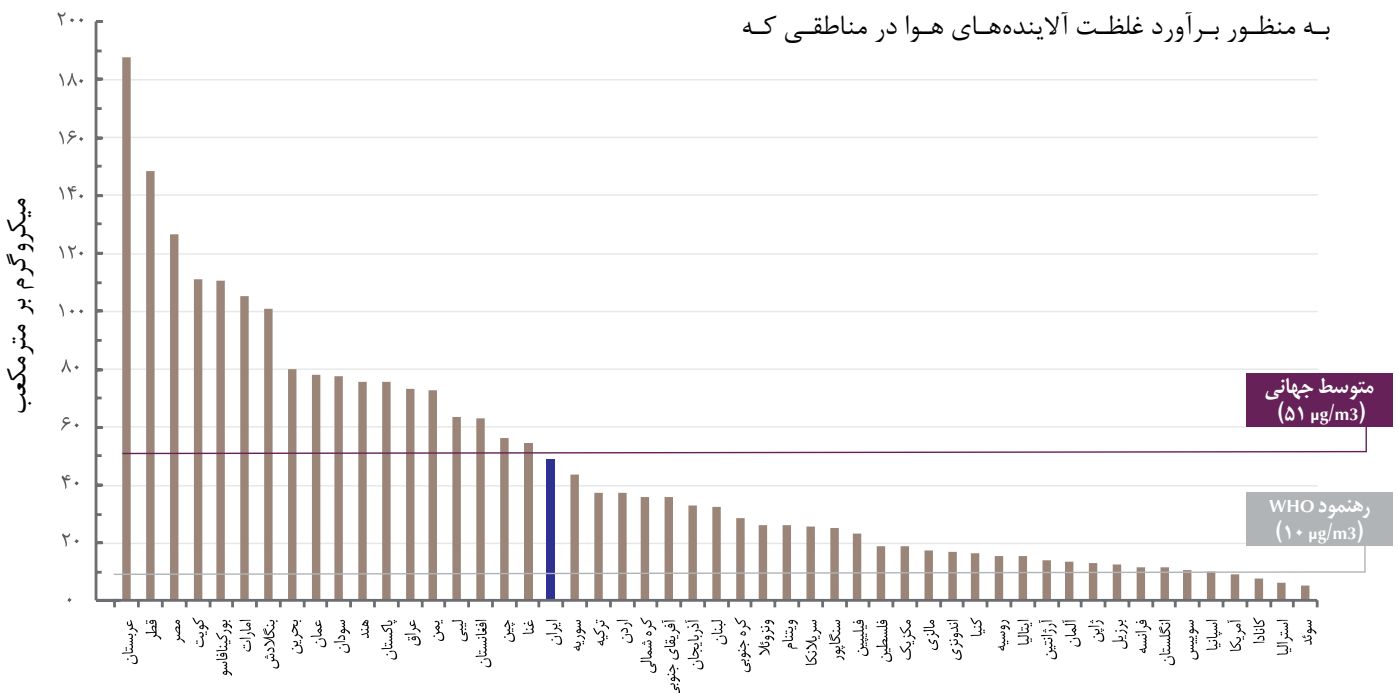
آلودگی هوا پس از
استعمال دخانیات دومین
عامل اصلی مرگ‌های ناشی از
بیماری‌های غیرواگیر محسوب
می‌شود و با افزایش خطر ابتلا به
بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در
ارتباط است

نتایج

کیفیت هوای آزاد در ایران و سایر کشورها

همانطور که پیشتر ذکر شد، مهم‌ترین آلاینده هوای آزاد که در تمام دنیا به‌منظور بیان کیفیت هوا بکار گرفته می‌شود ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) می‌باشند که به‌عنوان شاخص مناسبی از وضعیت کیفیت هوا شناخته می‌شود. در این بخش، اطلاعاتی در زمینه غلظت $PM_{2.5}$ هوا در ایران و سایر کشورهای دنیا از منظر مستندات معتبر ملی و بین‌المللی ارائه می‌شود. در حال حاضر به‌روزترین مطالعه معتبر بین‌المللی در زمینه وضعیت غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۸ توسط Shaddick و همکاران منتشر شده است [۹] که نتایج آن در ذیل ارائه شده است. لازم به ذکر است که داده‌های حاصل از مطالعه این گروه از محققین مورد استفاده گروه بار بیماری‌های جهانی (GBD: Global Burden of Disease) و سازمان جهانی بهداشت (WHO: World Health Organization) نیز می‌باشد. به‌منظور آگاهی از میزان غلظت آلاینده‌های هوای آزاد در شهرها از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا استفاده می‌شود. به منظور برآورد غلظت آلاینده‌های هوا در مناطقی که

ایستگاه پایش وجود ندارد و یا حتی در فواصل بین ایستگاه‌های پایش از مدل‌های ماهواره‌ای به‌همراه نتایج ایستگاه‌های پایش استفاده می‌شود. بر همین اساس نتایج آخرین مطالعات انجام شده در زمینه برآورد غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ۱۹۵ کشور در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است که برای هر کشور میانگین غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ وزن‌دهی شده با جمعیت ($PM_{2.5}$ population-weighted) برآورد شده است و در حقیقت این مقادیر وزن‌دهی شده غلظت ذرات معلق از طریق مقادیر غلظت هوای آزاد و در نظر گرفتن تعداد جمعیت هر منطقه از کشور محاسبه شده است. در شکل ۱ نتایج میانگین غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ وزن‌دهی شده با جمعیت در ایران و برخی از کشورهای دنیا نمایش داده شده است.



شکل ۱. میانگین سالانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشورهای مختلف

مهم‌ترین آلاینده هوای آزاد که در تمام دنیا به‌منظور بیان کیفیت هوا بکار گرفته می‌شود ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) می‌باشند که به‌عنوان شاخص مناسبی از وضعیت کیفیت هوا شناخته می‌شود.

در شکل ۱ میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشورهای مختلف نشان داده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که افراد ساکن تقریباً در تمامی کشورهای مختلف، به استثنای کانادا، ایالات متحده آمریکا، سوئد، استرالیا، فنلاند، نروژ، ایسلند و گرینلند با مقادیری از غلظت ذرات معلق ریز هوا مواجهه داشته‌اند که میزان آن بالاتر از مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) بوده است و این امر بیانگر این است که آلودگی هوا یک مشکل جهانی است که کشورهای مختلف با آن مواجهه دارند. براساس آخرین اطلاعات منتشر شده در سطح جهانی در سال ۲۰۱۸، میانگین جهانی غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ معادل ۵۱ میکروگرم بر مترمکعب بوده است و بالاترین میانگین غلظت ذرات معلق ریز در کشورهای عربستان و قطر به ترتیب به میزان ۱۸۸ و ۱۴۸ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شده است. میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشور ایران با ۴۸ میکروگرم بر مترمکعب تقریباً کمی پایین‌تر از متوسط غلظت جهانی آن (۵۱ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد و ایران از نظر میانگین غلظت ذرات معلق ریز در بین ۱۹۵ کشور در جایگاه ۱۵۲ قرار دارد. وضعیت هوای آزاد در ایران در مقایسه با کشورهای از قبیل چین، هند و میانگین منطقه خاورمیانه (۶۲ میکروگرم بر مترمکعب) دارای کیفیت بهتری است. مقایسه میانگین غلظت مواجهه $PM_{2.5}$ در ایران با مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت بیانگر این است که افراد در کشور ما به‌طور متوسط با حدود ۴/۸ برابر حد رهنمود WHO مواجهه دارند و این میزان تقریباً ۴ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر مترمکعب) است.

میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشورهای مختلف نشان داده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که افراد ساکن تقریباً در تمامی کشورهای مختلف، به استثنای کانادا، ایالات متحده آمریکا، سوئد، استرالیا، فنلاند، نروژ، ایسلند و گرینلند با مقادیری از غلظت ذرات معلق ریز هوا مواجهه داشته‌اند که میزان آن بالاتر از مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) بوده است و این امر بیانگر این است که آلودگی هوا یک مشکل جهانی است که کشورهای مختلف با آن مواجهه دارند. براساس آخرین اطلاعات منتشر شده در سطح جهانی در سال ۲۰۱۸، میانگین جهانی غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ معادل ۵۱ میکروگرم بر مترمکعب بوده است و بالاترین میانگین غلظت ذرات معلق ریز در کشورهای عربستان و قطر به ترتیب به میزان ۱۸۸ و ۱۴۸ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شده است. میانگین سالیانه غلظت مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد وزن‌دهی شده با جمعیت در کشور ایران با ۴۸ میکروگرم بر مترمکعب تقریباً کمی پایین‌تر از متوسط غلظت جهانی آن (۵۱ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد و ایران از نظر میانگین غلظت ذرات معلق ریز در بین ۱۹۵ کشور در جایگاه ۱۵۲ قرار دارد. وضعیت هوای آزاد در ایران در مقایسه با کشورهای از قبیل چین، هند و میانگین منطقه خاورمیانه (۶۲ میکروگرم بر مترمکعب) دارای کیفیت بهتری است. مقایسه میانگین غلظت مواجهه $PM_{2.5}$ در ایران با مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت بیانگر این است که افراد در کشور ما به‌طور متوسط با حدود ۴/۸ برابر حد رهنمود WHO مواجهه دارند و این میزان تقریباً ۴ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر مترمکعب) است.



مقایسه میانگین غلظت مواجهه $PM_{2.5}$ در ایران با مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت بیانگر این است که افراد در کشور ما به‌طور متوسط با حدود ۴/۸ برابر حد رهنمود WHO مواجهه دارند و این میزان تقریباً ۴ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر مترمکعب) است.

اثرات آلودگی هوا بر سلامت در دنیا

مورد و برای ایران این میزان حدود ۷۵ هزار مورد مرگ برآورد شده است. در ادامه نتایج میزان موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا و ایران به تفکیک گروه‌های سنی و علل مرگ ارائه شده است. لازم به ذکر است براساس مطالعات انجام شده از بین علل مرگ‌های منتسب به آلودگی هوا پنج علت تاکنون شناخته شده‌اند که عبارتند از بیماری ایسکمیک قلبی (IHD: Ischemic Heart Disease)، سکته‌های مغزی (stroke)، بیماری انسداد مزمن ریوی (COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease)، سرطان ریه (LC: Lung Cancer) و عفونت دستگاه تنفسی تحتانی (LRI: Lower Respiratory Infections). تعداد موارد مرگ منتسب به مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا به تفکیک گروه‌های سنی و علت مرگ در جدول ۱ و شکل ۲ آورده شده است.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است براساس آخرین برآورد انجام شده در سال ۲۰۱۸ برای کل دنیا حدود (۷/۵-۱۰/۳) $PM_{2.5}$ ۸/۹ میلیون مورد مرگ منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد برای افراد بالای ۲۵ سال برآورد شده است که از این بین حدود ۶/۹ میلیون مورد مرگ ناشی از پنج علت فوق‌الذکر بوده است که معادل ۷۷ درصد کل موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز می‌باشد [۵]. لازم به ذکر است که حدود ۵۰ درصد از موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی و سکته‌ها بوده است و حدود ۲۲ درصد از موارد مرگ ناشی از بیماری انسداد مزمن ریوی و عفونت‌های حاد دستگاه تنفسی و ۶ درصد نیز ناشی از سرطان ریه بوده است. نتایج مطالعات جهانی نشان داده است در صورتی که غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد به میزان ۲۰ درصد کاهش یابد می‌توان از حدود ۱/۴ میلیون مورد مرگ منتسب به آلودگی هوا جلوگیری کرد [۵].

در این بخش، اطلاعاتی در زمینه میزان اثرات سلامتی منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوا در ایران و سایر کشورهای دنیا از منظر مستندات معتبر بین‌المللی ارائه می‌شود. در حال حاضر به‌روزترین مطالعه معتبر بین‌المللی در این زمینه در سال ۲۰۱۸ توسط Burnett و همکاران منتشر شده است [۵] که نتایج آن در ذیل ارائه شده است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مواجهه به آلودگی هوا حتی در غلظت‌های بسیار پایین می‌تواند سبب اثرات سوء زیادی بر سلامت از قبیل تشدید حملات آسمی، بستری شدن در بیمارستان، سرطان ریه و مرگ شود. محققین برآورد اثرات سلامتی آلودگی هوا در دنیا بواسطه نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک انجام شده مدل‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی را به منظور کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامت مورد استفاده قرار می‌دهند. یکی از روش‌های معتبر مورد استفاده در سطح دنیا که توسط گروه بار بیماری‌های جهانی (GBD) و سازمان جهانی بهداشت نیز برای برآورد اثرات بهداشتی منتسب به آلودگی هوا به کار گرفته شده است تحت عنوان IER (Integrated Exposure-Response) می‌باشد که براساس آخرین گزارش ارائه شده با استفاده از این روش تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا معادل ۴/۲ میلیون مرگ و این میزان برای ایران معادل ۳۳ هزار مورد مرگ گزارش شده است [۶، ۱۰]. اما با توجه به برخی محدودیت‌های موجود در مدل IER، محققین در سال ۲۰۱۸ و با کمک نتایج مطالعات کوهورت جدید منتشر شده در این زمینه به‌روزترین مدل برآورد کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا را تحت عنوان GEMM (Global Exposure Mortality Model) توسعه دادند و میزان موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در تمام دنیا را محاسبه و منتشر کرده‌اند که براساس این روش که معتبرترین مدل شناخته شده است میزان موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا معادل ۸/۹ میلیون

تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد

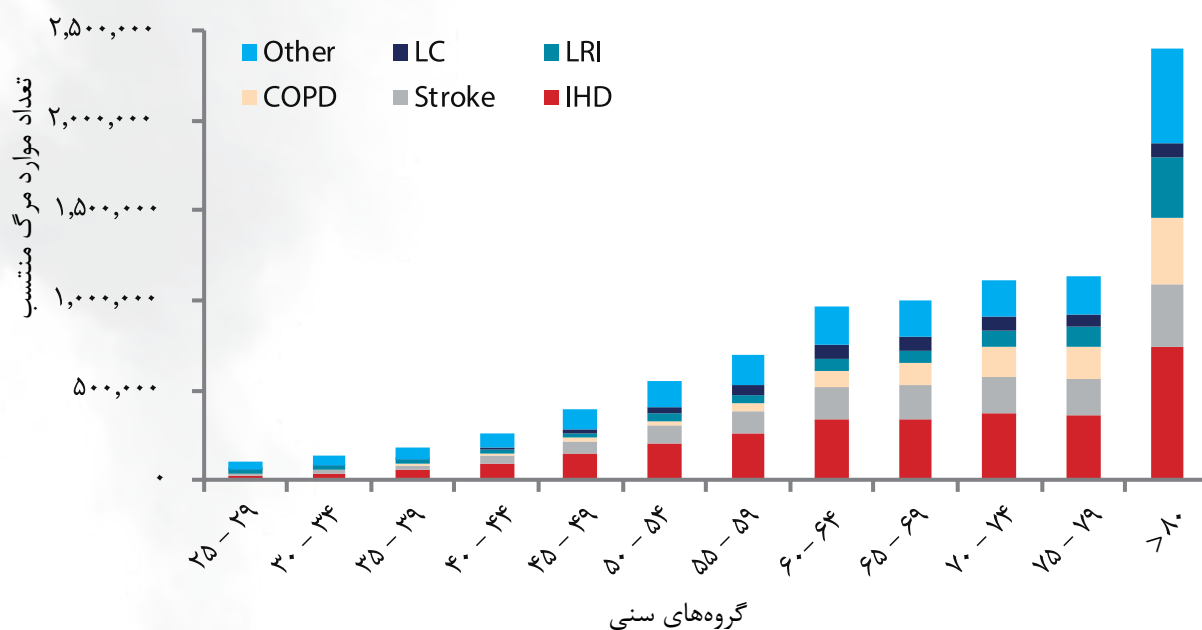
در دنیا معادل ۸/۹ میلیون مرگ

و در ایران معادل ۷۵ هزار مرگ

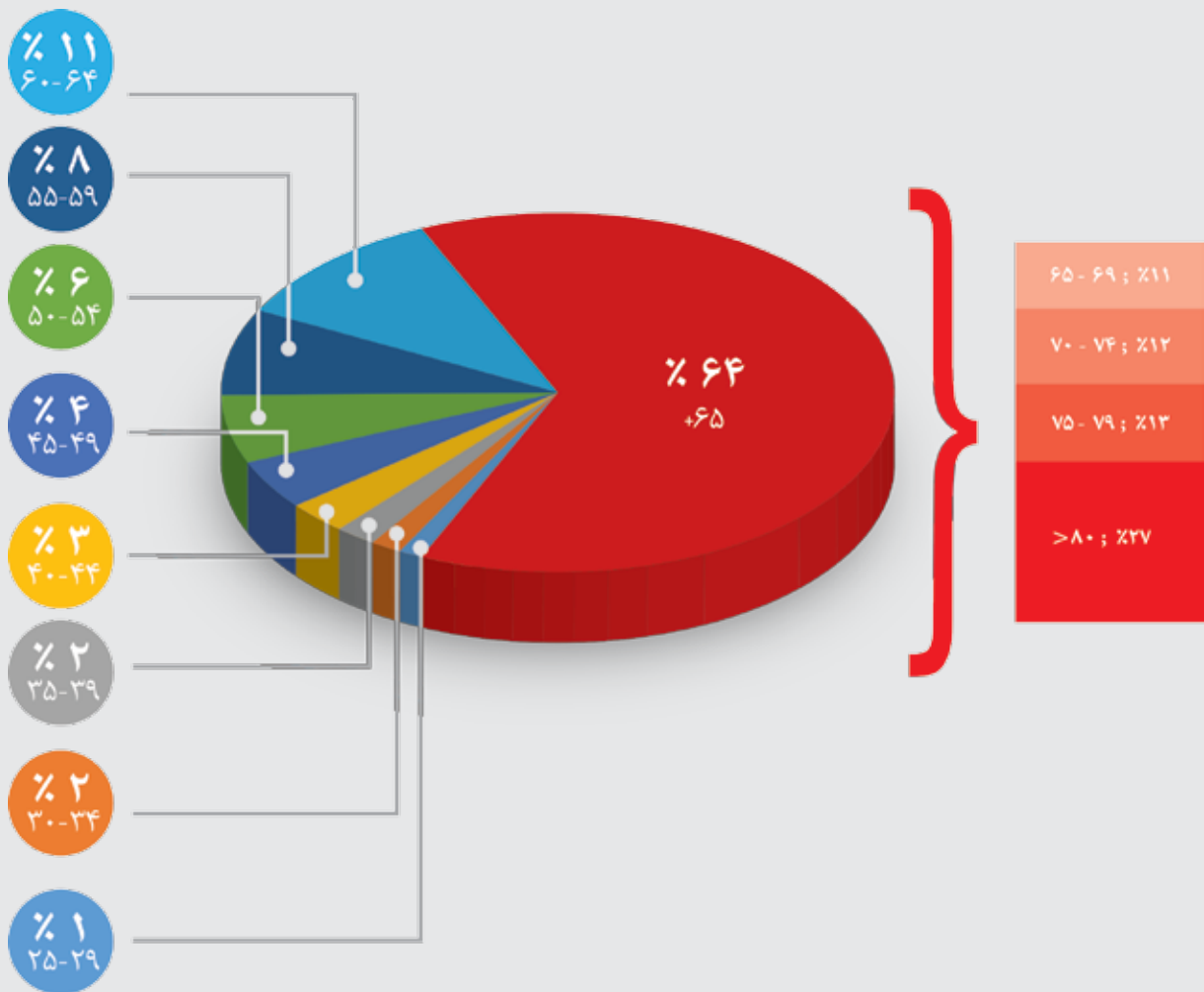


جدول ۱. تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا به تفکیک علل مرگ و گروه‌های سنی مختلف

مجموع همه علل	تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ ناشی از هر علت						گروه‌های سنی
	سایر علل	LC	LRI	COPD	Stroke	IHD	
۱۰۲,۴۴۲	۴۵,۰۷۷	۱,۳۶۹	۱۶,۹۶۴	۲,۸۷۴	۱۴,۴۰۲	۲۱,۷۵۶	۲۵-۲۹
۱۳۲,۳۶۲	۵۰,۰۹۷	۲,۴۶۹	۱۷,۸۹۳	۳,۷۵۹	۱۸,۹۶۴	۳۹,۱۷۹	۳۰-۳۴
۱۷۶,۴۳۰	۶۳,۸۷۰	۳,۸۹۸	۲۰,۴۶۲	۵,۵۱۰	۲۴,۸۳۵	۵۷,۸۵۵	۳۵-۳۹
۲۶۰,۷۶۶	۸۵,۷۰۰	۹,۳۴۸	۲۳,۰۲۷	۸,۹۸۸	۴۱,۳۳۳	۹۲,۳۷۰	۴۰-۴۴
۳۹۷,۲۳۹	۱۱۴,۹۰۸	۲۰,۶۵۹	۲۸,۹۰۶	۱۶,۸۴۹	۷۱,۶۴۴	۱۴۴,۲۷۲	۴۵-۴۹
۵۴۹,۷۶۲	۱۴۵,۸۹۷	۳۴,۹۳۳	۳۷,۸۹۴	۲۹,۹۳۶	۹۹,۶۷۱	۲۰۱,۴۳۲	۵۰-۵۴
۶۹۳,۲۳۱	۱۶۷,۳۹۸	۴۸,۳۱۸	۴۷,۴۸۵	۴۹,۸۹۸	۱۲۲,۵۳۴	۲۵۷,۵۹۷	۵۵-۵۹
۹۶۳,۰۰۳	۲۱۱,۷۱۱	۷۶,۹۱۱	۶۴,۱۱۱	۹۱,۶۶۸	۱۷۶,۶۸۵	۳۴۱,۹۱۸	۶۰-۶۴
۹۹۹,۱۷۵	۲۰۱,۸۵۰	۷۴,۱۴۲	۷۳,۸۰۴	۱۲۱,۴۷۶	۱۸۶,۶۷۷	۳۴۱,۲۲۶	۶۵-۶۹
۱,۱۰۶,۴۲۸	۱۹۹,۳۹۷	۷۱,۷۹۰	۹۴,۷۴۹	۱۶۲,۹۹۳	۲۰۱,۵۰۶	۳۷۵,۹۹۲	۷۰-۷۴
۱,۱۲۹,۴۰۱	۲۰۸,۴۸۱	۶۳,۶۲۶	۱۱۳,۴۹۴	۱۷۸,۳۸۴	۲۰۳,۲۵۵	۳۶۲,۱۶۱	۷۵-۷۹
۲,۴۰۴,۴۳۶	۵۳۰,۷۹۶	۸۰,۰۰۲	۳۳۸,۰۳۰	۳۶۷,۸۱۸	۳۴۳,۱۸۲	۷۴۴,۶۰۸	۸۰ و بالاتر
۸,۹۱۴,۶۷۵	۲,۰۲۵,۱۸۳	۴۸۷,۴۶۶	۸۷۶,۸۱۸	۱,۰۴۰,۱۵۴	۱,۵۰۴,۶۸۸	۲,۹۸۰,۳۶۵	مجموع همه گروه‌های سنی



شکل ۲. تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در تمام دنیا به تفکیک علت مرگ و گروه‌های سنی



شکل ۳. سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا

آن منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد است یا به بیان دیگر در صورت کنترل/حذف $PM_{2.5}$ چقدر از هر کدام از پیامدهای سلامتی قابل پیشگیری است. همان طوری که در جدول زیر آورده شده است حدود ۲۰ درصد از کل موارد مرگ طبیعی در افراد بالای ۲۵ سال در دنیا منتسب به ذرات معلق ریز هوا بوده است که به عبارت دیگر از هر ۵ مرگ در دنیا یک مورد ناشی از مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد می‌باشد. همچنین حدود یک سوم از موارد مرگ ناشی از سکته‌ها و بیماری انسداد مزمن ریوی منتسب به ذرات معلق ریز هوا می‌باشد و این میزان برای عفونت دستگاه تنفسی تحتانی ۴۶ درصد برآورد شده است. لازم به ذکر است براساس برآورد انجام شده در دنیا حدود ۲۸ درصد از موارد مرگ ناشی از سرطان ریه، منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد بوده است.

شکل ۳ سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا را نشان می‌دهد. همانگونه که شکل ۳ نشان داده است با افزایش سن، سهم موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر تنها ۱۲ درصد از موارد مرگ منتسب به ذرات معلق هوا در افراد ۲۵ تا ۵۰ سال گزارش شده است در حالی که این میزان در افراد ۷۰ سال و بالاتر معادل ۵۲ درصد بوده است. همچنین گروه سنی ۸۰ سال و بالاتر بیشترین سهم را با ۲۷ درصد از کل موارد مرگ به خود اختصاص داده است.

در جدول ۲، جزء منتسب (PAF: Population Attributable Fraction) کل موارد مرگ و مرگ ناشی از پنج علت شناخته شده منتسب به آلودگی هوا در دنیا ارائه شده است. به عبارت دیگر جزء منتسب به این معناست که با توجه به هر پیامد چند درصد از

جدول ۲. جزء متناسب (PAF) علل مرگ متناسب به مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در دنیا برای افراد بالای ۲۵ سال

علت مرگ	جزء متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد (%)
کل موارد مرگ طبیعی	۲۰
بیماری ایسکمیک قلبی	۳۴
بیماری‌های عروق مغزی (سکته‌های مغزی)	۲۴
بیماری انسداد مزمن ریوی	۳۳
عفونت دستگاه تنفسی تحتانی	۴۶
سرطان ریه	۲۸

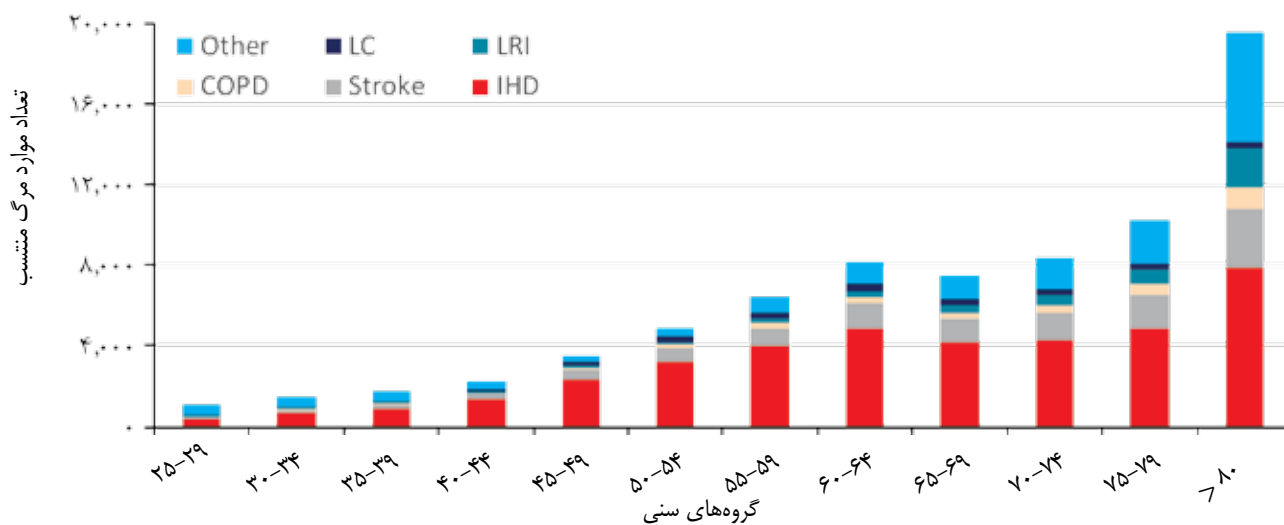
تخمین اثرات آلودگی هوا بر سلامت در ایران

هوای با کیفیت مطلوب می‌توان از بروز تعداد زیادی از موارد مرگ در کشور جلوگیری نمود. نتایج مرتبط با کشور ایران بیانگر این است که مرگ ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی (IHD) و سرطان ریه (LC) به ترتیب با ۵۲ و ۳ درصد از کل موارد مرگ متناسب به آلودگی هوا دارای بیش‌ترین و کم‌ترین سهم بوده‌اند که این روند مشابه الگوی جهانی است. به عبارت دیگر بیش‌ترین موارد مرگ متناسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ در دنیا و ایران ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی بوده است.

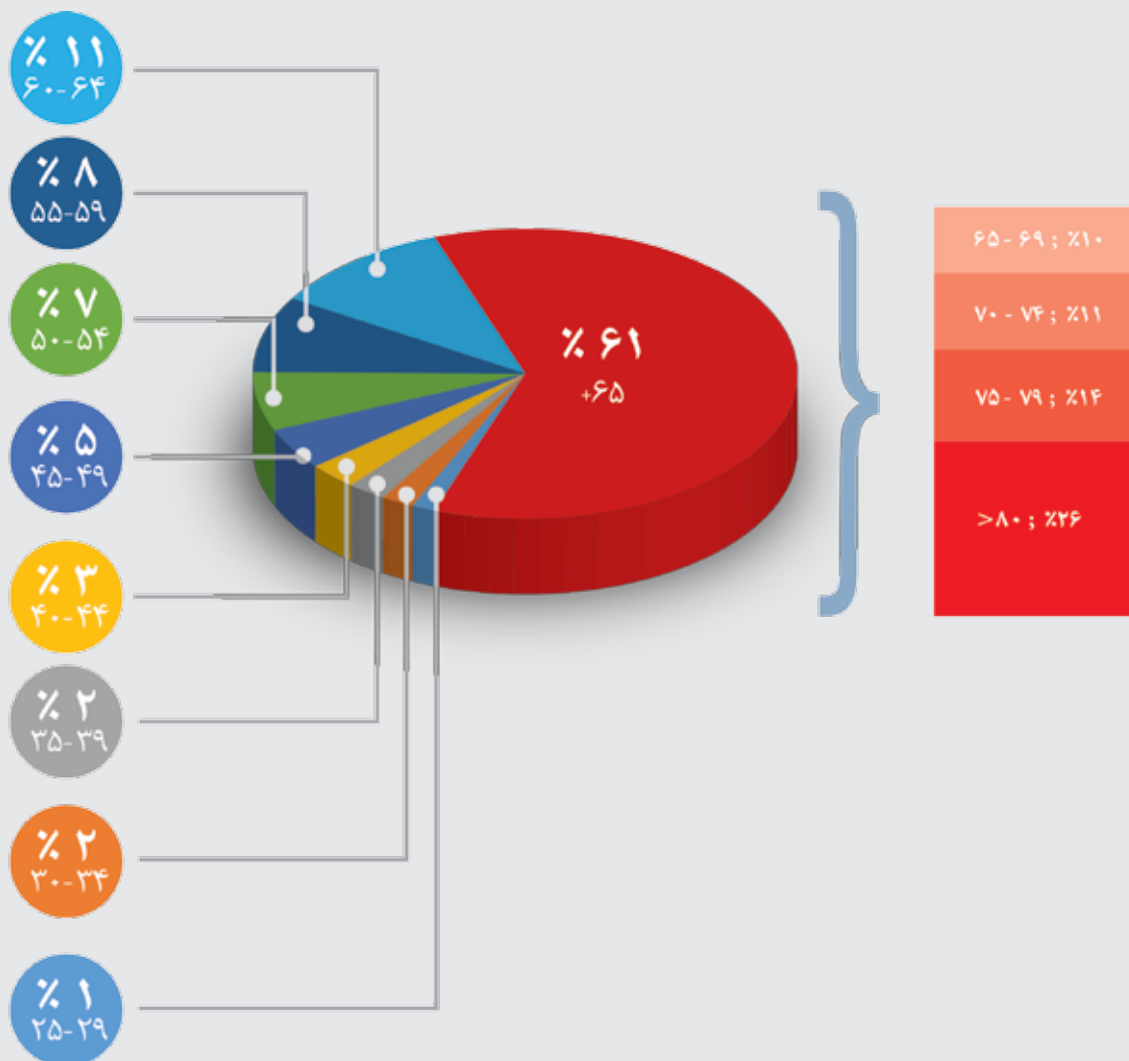
نتایج حاصل از برآورد اثرات بهداشتی آلودگی هوا بر سلامت در ایران در جدول ۳ و شکل ۴ ارائه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر این است براساس آخرین برآورد انجام شده در سال ۲۰۱۸ تعداد موارد مرگ متناسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد در ایران حدود (۶۲-۸۶) ۷۵ هزار مورد بوده است که از این بین حدود ۶۰ هزار مورد مرگ ناشی از پنج علت فوق‌الذکر بوده است که معادل ۸۰ درصد کل موارد مرگ متناسب به ذرات معلق ریز می‌باشد [۵]. به عبارت دیگر در صورت دستیابی به

جدول ۳. تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایران به تفکیک علل مرگ و گروه‌های سنی مختلف

مجموع همه علل	تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ ناشی از هر علت						گروه‌های سنی
	سایر علل	LC	LRI	COPD	Stroke	IHD	
۱,۰۳۶	۴۳۷	۱۷	۹۴	۲۳	۱۰۵	۳۶۰	۲۵-۲۹
۱,۴۵۲	۴۷۳	۳۳	۱۱۱	۳۵	۱۴۶	۶۵۴	۳۰-۳۴
۱,۷۳۲	۴۴۵	۴۷	۱۰۶	۴۳	۱۹۶	۸۹۵	۳۵-۳۹
۲,۲۱۵	۳۴۷	۶۹	۱۰۸	۵۶	۲۷۴	۱,۳۶۰	۴۰-۴۴
۳,۴۷۴	۳۰۵	۱۳۲	۱۳۶	۹۸	۴۲۶	۲,۳۷۶	۴۵-۴۹
۴,۹۱۲	۴۸۰	۱۹۸	۱۹۱	۱۵۸	۶۳۹	۳,۲۴۵	۵۰-۵۴
۶,۳۸۳	۷۲۶	۲۷۲	۲۴۲	۲۲۶	۸۸۸	۴,۰۲۸	۵۵-۵۹
۸,۲۱۲	۱,۱۰۳	۳۴۷	۳۳۷	۳۲۷	۱,۲۲۰	۴,۸۷۸	۶۰-۶۴
۷,۵۰۵	۱,۲۰۲	۲۹۴	۳۴۵	۳۲۷	۱,۱۵۱	۴,۱۸۶	۶۵-۶۹
۸,۳۳۲	۱,۵۵۵	۲۹۷	۴۷۵	۳۹۵	۱,۳۴۰	۴,۲۷۱	۷۰-۷۴
۱۰,۲۶۱	۲,۲۱۱	۲۹۴	۶۹۸	۵۳۰	۱,۶۹۶	۴,۸۳۳	۷۵-۷۹
۱۹,۵۹۳	۵,۴۷۷	۳۳۶	۱,۹۵۵	۱,۰۶۹	۲,۸۹۱	۷,۸۶۶	۸۰ و بالاتر
۷۵,۱۰۶	۱۴,۷۶۱	۲,۳۳۶	۴,۷۹۹	۳,۲۸۷	۱۰,۹۷۲	۳۸,۹۵۱	مجموع همه گروه‌های سنی



شکل ۴. تعداد موارد مرگ متناسب به PM_{2.5} هوای آزاد در ایران به تفکیک علت مرگ و گروه‌های سنی



شکل ۵. سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل تعداد موارد مرگ متناسب به PM_{2.5} هوای آزاد در کشور ایران

علت شناخته شده مرتبط با آلودگی هوا در ایران آورده شده است. همان‌طوری‌که در جدول زیر بیان گردیده حدود ۲۴ درصد از کل موارد مرگ طبیعی افراد بالای ۲۵ سال در ایران منتسب به ذرات معلق ریز هوا بوده است که به‌عبارت دیگر تقریباً از هر ۴ مرگ در ایران یک مورد ناشی از مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد می‌باشد. همچنین ۳۹، ۳۲ و ۵۸ درصد از موارد مرگ ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی، بیماری انسداد مزمن ریوی و عفونت دستگاه تنفسی تحتانی منتسب به ذرات معلق ریز هوا برآورد شده است. برآوردهای صورت گرفته برای ایران نشان‌دهنده این است که حدود ۳۶ درصد از موارد مرگ ناشی از سرطان‌ریه، منتسب به‌مواجهه با $PM_{2.5}$ هوای آزاد بوده است.

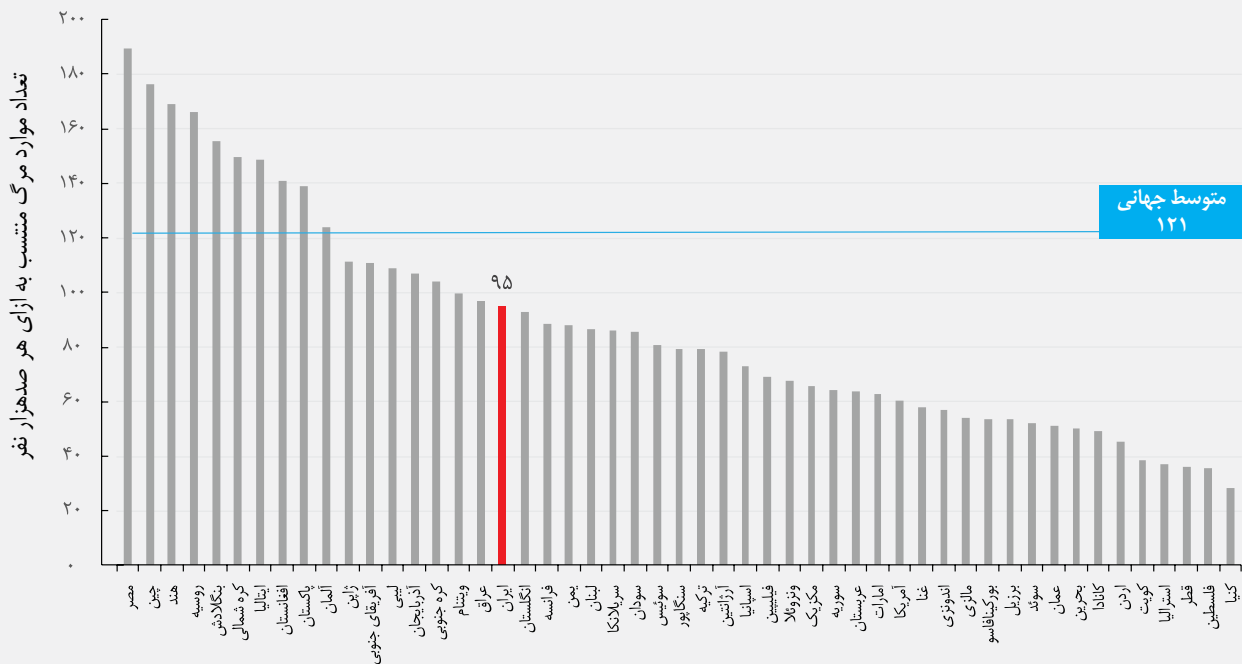
در شکل ۵ سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در کشور ایران نمایش داده شده است. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که با افزایش سن سهم موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر تنها ۱۳ درصد از کل موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در ایران مربوط به افراد بین ۲۵ تا ۵۰ سال است. در حالی‌که سهم افراد ۷۰ سال و بالاتر حدود ۵۱ درصد بوده است؛ همچنین سهم موارد مرگ منتسب به آلودگی در ایران در افراد ۲۵ تا ۶۰ سال معادل ۲۸ درصد و این میزان در افراد ۸۰ سال و بالاتر ۲۶ درصد می‌باشد. در جدول ۴، جزء منتسب (PAF) کل موارد مرگ و مرگ ناشی از پنج

جدول ۴. جزء منتسب (PAF) علل مرگ منتسب به‌مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایران برای افراد بالای ۲۵ سال

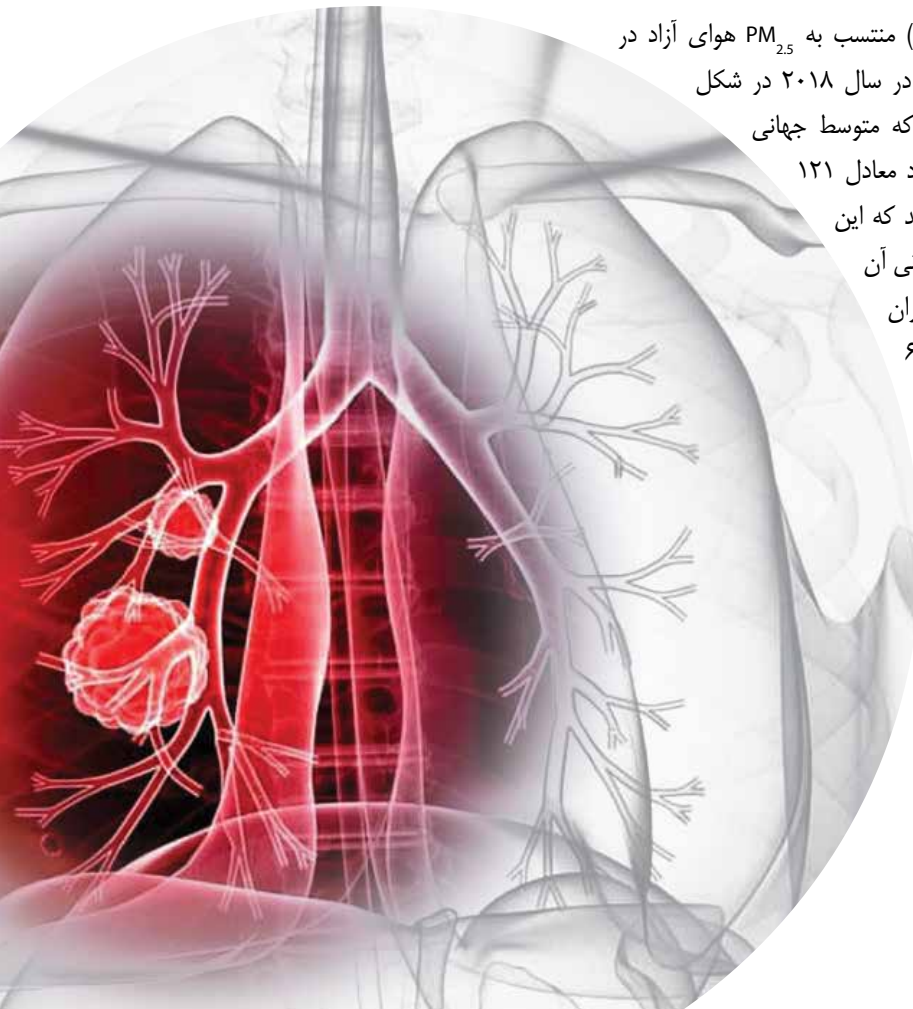
علت مرگ	جزء منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد (%)
کل موارد مرگ طبیعی	۲۴
بیماری ایسکمیک قلبی	۳۹
بیماری‌های عروق مغزی (سکته‌های مغزی)	۲۶
بیماری انسداد مزمن ریوی	۳۲
عفونت دستگاه تنفسی تحتانی	۵۸
سرطان‌ریه	۳۶

در ایران نسبت به‌متوسط جهانی است. همان‌طوری‌که در شکل ۶ نشان داده شده است تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر استاندارد شده سنی عمدتاً وابسته به هرم سنی کشورها است و در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته نظیر آلمان (۱۲۴) و ژاپن (۱۱۱) تعداد موارد نسبت به کشور ایران بالاتر بوده است درحالی‌که غلظت $PM_{2.5}$ در آن‌ها تقریباً یک سوم غلظت ذرات معلق ریز هوا در ایران بوده است.

تعداد موارد مرگ استاندارد شده سنی (در هر ۱۰^۵ نفر) منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در کشورهای مختلف براساس آخرین مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۸ در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج این مطالعه بیانگر این است که متوسط جهانی تعداد موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد معادل ۱۲۱ در هر صد هزار نفر جمعیت استاندارد شده سنی می‌باشد که این میزان در ایران ۹۵ مورد می‌باشد که کمتر از متوسط جهانی آن است و علت اصلی آن وجود جمعیت جوان بیشتر



شکل ۶. تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد بر حسب صد هزار نفر استاندارد شده سنی



تعداد موارد مرگ استاندارد شده سنی (در هر ۱۰^۵ نفر) متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در کشورهای مختلف براساس آخرین مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۸ در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج این مطالعه بیانگر این است که متوسط جهانی تعداد موارد مرگ متناسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد معادل ۱۲۱ در هر صد هزار نفر جمعیت استاندارد شده سنی می‌باشد که این میزان در ایران ۹۵ مورد می‌باشد که کمتر از متوسط جهانی آن است و علت اصلی آن وجود جمعیت جوان بیشتر در ایران نسبت به متوسط جهانی است. همان طوری که در شکل ۶ نشان داده شده است تعداد موارد مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر استاندارد شده سنی عمدتاً وابسته به هرم سنی کشورها است و در بسیاری از کشورهای توسعه یافته نظیر آلمان (۱۲۴) و ژاپن (۱۱۱) تعداد موارد نسبت به کشور ایران بالاتر بوده است در حالی که غلظت $PM_{2.5}$ در آن‌ها تقریباً یک سوم غلظت ذرات معلق ریز هوا در ایران بوده است.

تغییرات غلظت ذرات معلق ریز هوا در سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰

در جدول ۵ درصد میزان تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۶ (۱۳۹۵ شمسی) نسبت به سال ۲۰۱۲ در ایران و سایر کشورها ارائه شده است. همان طوری که نتایج این جدول نشان می‌دهد متوسط جهانی غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۶ نسبت به مقدار آن در سال ۲۰۱۰ به میزان ۱۷ درصد افزایش یافته است و این روند در ایران هم همانند بسیاری از کشورهای دنیا افزایشی بوده است و متوسط سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ در ایران نسبت به میزان آن در سال ۲۰۱۰ حدود ۸ درصد افزایش یافته است [۹].

جدول ۵. درصد تغییر غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰

کشور	درصد تغییر غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰	کشور	درصد تغییر غلظت $PM_{2.5}$ سال ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۰
افغانستان	۲۴/۱	مکزیک	-۱۲/۸
آرژانتین	۰/۵	کره شمالی	۱۹
استرالیا	۲/۴	عمان	۲۹/۷
آذربایجان	۳۳/۷	پاکستان	۱۹/۷
بحرین	۱۹/۵	فلسطین	۵/۸
بنگلادش	۲۱/۸	فیلیپین	-۰/۳
برزیل	۱۲/۹	قطر	۲۲/۶
بورکینافاسو	۱۰۱/۵	روسیه	۰/۲
کانادا	۳	عربستان	۳۸/۲
چین	-۱/۸	سنگاپور	۳۷/۷
مصر	۴۲/۹	آفریقای جنوبی	۲۳/۱
فرانسه	-۳/۲	کره جنوبی	۱۵/۲
آلمان	۱/۱	اسپانیا	۲
غنا	۷۴/۱	سريلانکا	-۶
هند	۱۴/۷	سودان	۳۲/۱
اندونزی	۱۴	سوئد	۰/۶
ایران	۷/۸	سوئیس	-۶
عراق	-۶/۸	سوریه	۱۵/۸
ایتالیا	۶/۳	ترکیه	۲۲/۹
ژاپن	۹/۹	امارات	۴۳
اردن	۷/۵	انگلستان	-۴/۵
کنیا	-۲/۱	آمریکا	۶
کویت	۷	ونزوئلا	۱۰/۷
لبنان	۲۰	ویتنام	-۴
لیبی	۹/۱	یمن	۱۶/۲
مالزی	۱۲/۸	متوسط جهانی	۱۷

کاهش غلظت ذرات معلق ریز هوا و افزایش امید زندگی

WHO PM_{2.5} هوای آزاد در تمام کشورهای دنیا تا حد رهنمود WHO ۱۰ µg/m³، متوسط جهانی امید زندگی می‌تواند به میزان ۰/۶ سال (۱/۰ - ۰/۲ سال) افزایش یابد. در واقع این میزان افزایش در امید زندگی به واسطه کاهش ذرات معلق ریز هوای آزاد تا حد رهنمود WHO معادل میزان افزایشی در امید زندگی است که از طریق ریشه‌کنی سرطان ریه و پستان بدست می‌آید [۱۱]. در جدول ۶، میزان افزایش امید زندگی در کشورهای مختلف در صورت کاهش غلظت PM_{2.5} هوای آزاد در کشورهای مختلف تا میزان رهنمود سالیانه WHO ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در صورتی که غلظت PM_{2.5} هوای آزاد در ایران به ۱۰ µg/m³ کاهش یابد میزان امید زندگی در بدو تولد به میزان ۰/۵ سال افزایش می‌یابد.

در این بخش، اطلاعاتی در زمینه ارتباط بین میزان کاهش مواجهه با PM_{2.5} هوا و افزایش امید زندگی در ایران و سایر کشورهای دنیا از منظر مستندات معتبر بین‌المللی ارائه می‌شود. در حال حاضر به‌روزترین مطالعه معتبر بین‌المللی در این زمینه در سال ۲۰۱۸ توسط Apte و همکاران منتشر شده است [۱۱] که نتایج آن در ذیل ارائه شده است.

همانگونه که اشاره شد، مواجهه با ذرات معلق ریز یک عامل خطر جدی برای مرگ‌های زودرس می‌باشد. علاوه بر این، منجر به کاهش امید زندگی می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، در سال ۲۰۱۶ مواجهه با PM_{2.5} هوای آزاد منجر به کاهش میانگین جهانی امید زندگی از بدو تولد به میزان یک سال شده است. همچنین برآورد شده است که در صورت کاهش غلظت

جدول ۶. میزان افزایش امید زندگی (سال) در صورت کاهش غلظت PM_{2.5} هوای آزاد در کشورهای مختلف تا میزان رهنمود سالیانه WHO (۱۰ µg/m³)

کشور	میزان افزایش امید زندگی (سال) در صورت دستیابی به رهنمود WHO	کشور	میزان افزایش امید زندگی (سال) در صورت دستیابی به رهنمود WHO
مالزی	۰/۲۲	افغانستان	۱/۰۳
مکزیک	۰/۱۵	آرژانتین	۰/۱۱
کره شمالی	۰/۶۰	استرالیا	۰/۰۰
عمان	۰/۷۲	آذربایجان	۰/۵۶
پاکستان	۰/۹۹	بحرین	۰/۵۸
فلسطین	۰/۲۳	بنگلادش	۱/۳۳
فیلیپین	۰/۳۷	برزیل	۰/۰۹
قطر	۰/۷۳	برکینافاسو	۱/۰۱
روسیه	۰/۱۶	کانادا	۰/۰۰
عربستان	۱/۰۸	چین	۰/۷۶
سنگاپور	۰/۳۵	مصر	۱/۲۷
آفریقای جنوبی	۰/۴۲	فرانسه	۰/۰۳
کره جنوبی	۰/۲۴	آلمان	۰/۰۷
اسپانیا	۰/۰۱	غنا	۰/۷۰
سریلانکا	۰/۲۸	هند	۱/۰۲
سودان	۰/۹۳	اندونزی	۰/۱۶
سوئد	۰/۰۰	ایران	۰/۵۱
سوئیس	۰/۰۱	عراق	۰/۸۰
سوریه	۰/۴۸	ایتالیا	۰/۰۸
ترکیه	۰/۴۵	ژاپن	۰/۰۶
امارات	۱/۰۱	اردن	۰/۴۱
انگلستان	۰/۰۵	کنیا	۰/۱۲
آمریکا	۰/۰۱	کویت	۰/۹۶
ونزولا	۰/۳۰	لبنان	۰/۳۳
ویتنام	۰/۳۳	لیبی	۰/۶۴
یمن	۰/۸۵		

کیفیت هوای شهر تهران و اثرات آن بر سلامت

استفاده از نرم‌افزار ارائه‌شده توسط WHO تحت عنوان AirQ+ به‌منظور بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوای آزاد شهر تهران داده‌های خام غلظت آلاینده‌های هوا از ۲۱ ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوا تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ از وبسایت شرکت کنترل أخذ شد و پس از پردازش داده‌های خام توسط روش‌های معتبر و حذف داده‌های پرت (outlier data)، داده‌های به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۱۳، ۱۴].

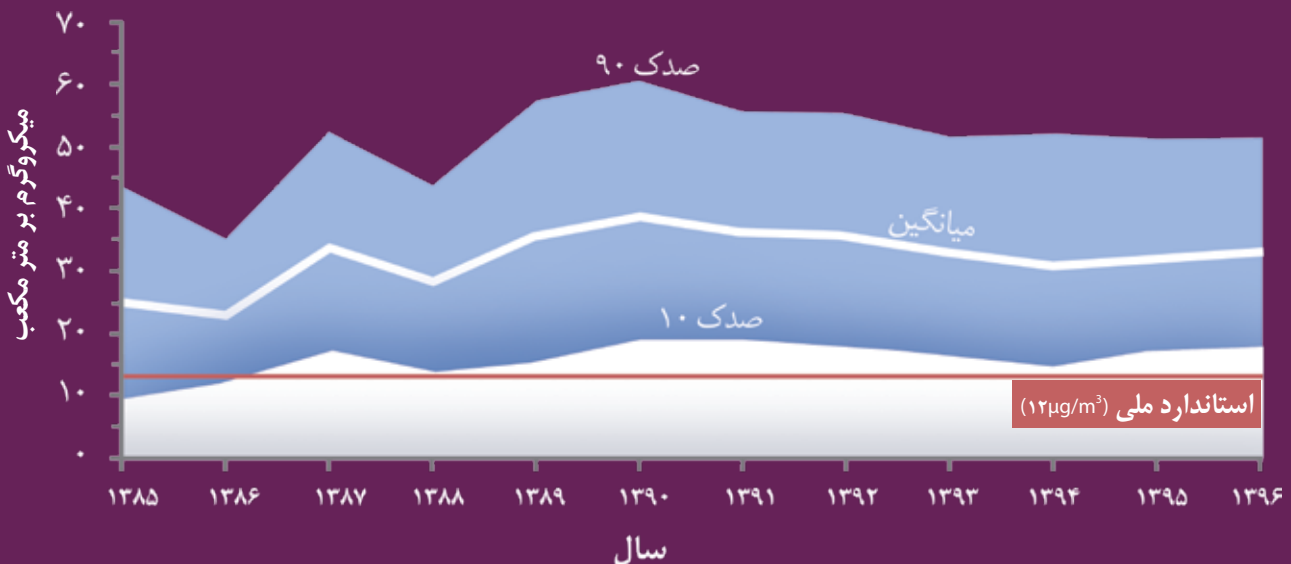
یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی مسئولین کشور مشکل آلودگی هوای کلان‌شهرها است. شهر تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر کشور با جمعیت بیش از ۸ میلیون نفر، سال‌هاست که از کیفیت هوای ناسالمی رنج می‌برد. در این بخش نتایج مطالعه کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامت در شهر تهران که به‌صورت سالانه توسط پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران منتشر می‌شود، ارائه می‌گردد [۱۲]. نتایج این مطالعه شامل دو بخش اصلی (۱) روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا و (۲) برآورد اثرات آلودگی هوا بر سلامت با



روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوای آزاد شهر تهران

بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا همواره به‌عنوان مهم‌ترین شاخص ارزیابی سیاست‌ها و برنامه‌های کاهش آلودگی هوا در سراسر دنیا بوده است. نتایج روند تغییرات غلظت SO_2 ، $PM_{2.5}$ و CO هوای آزاد شهر تهران در شکل‌های ۷ تا ۹ ارائه شده است. با توجه به اینکه غلظت $PM_{2.5}$ در شهر تهران از سال ۱۳۹۰ به بعد اندازه‌گیری شده است مقادیر غلظت $PM_{2.5}$ طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ براساس نسبت $PM_{10}/PM_{2.5}$ به‌دست آمده از داده‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ که معادل ۰/۳۸ بوده است برآورد شده است [۱۳]. همان‌طوری‌که در شکل ۷ نشان داده شده است روند تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران طی ۱۲ سال گذشته دارای روندهای کاهشی و افزایشی بوده است. به‌طوری‌که غلظت ذرات معلق هوا در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ روند افزایشی داشته است و حداکثر میانگین غلظت $PM_{2.5}$ طی ۱۲ سال گذشته در سال ۱۳۹۰ معادل $38 \mu g/m^3$ مشاهده شده است. پس از این روند، میانگین غلظت ذرات معلق هوای آزاد شهر تهران تا ۱۳۹۴ روند کاهشی داشته است و به حدود $30 \mu g/m^3$ رسیده است. نتایج بدست آمده بیانگر این است که طی دو سال اخیر (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران نسبت به مقدار مشابه سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۶ ($32/9 \mu g/m^3$) به میزان ۷/۵ و ۴/۵ درصد به ترتیب نسبت به میانگین غلظت $PM_{2.5}$ سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ افزایش یافته است و این امر گویای این واقعیت است که سیاست‌ها و برنامه‌های کاهش آلودگی هوا شهر تهران موفق نبوده است.

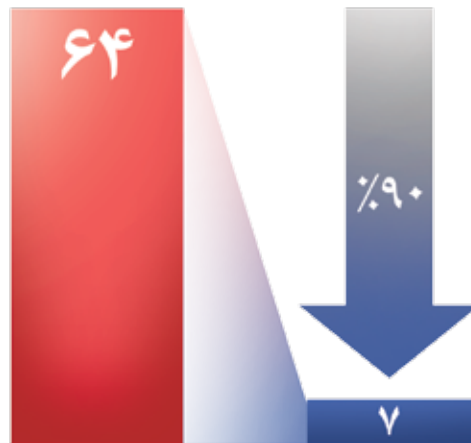
براساس حدود رهنمودی WHO و استاندارد ملی، مقدار میانگین سالیانه $PM_{2.5}$ می‌بایست به ترتیب پایین‌تر از $10 \mu g/m^3$ و $12 \mu g/m^3$ باشد و این درحالی است که نه تنها میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران طی ۱۲ سال گذشته همواره بالاتر از مقادیر رهنمود WHO و استاندارد ملی بوده است بلکه صدک ۱۰ غلظت‌های سالیانه هم بالاتر از این مقادیر بوده است و ساکنین شهر تهران همواره با مقادیر بالای از غلظت ذرات معلق هوا که یک عامل خطر سرطانزای قطعی است مواجهه داشته‌اند.



شکل ۷. روند تغییرات غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶

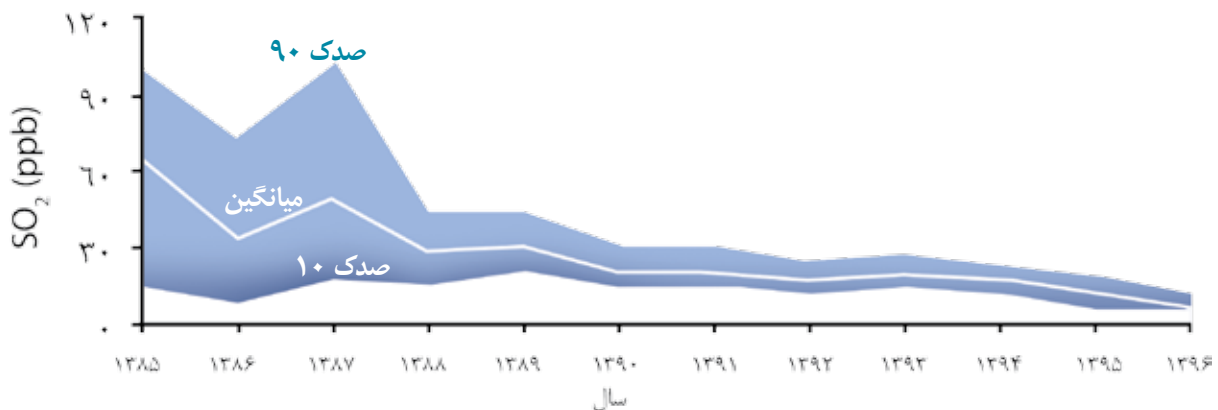
روند تغییرات غلظت SO_2 هوای آزاد شهر تهران طی ۱۲ سال منتهی به ۱۳۹۶ در شکل ۸ نمایش داده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که تغییرات غلظت سالیانه SO_2 از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶، به استثنای سال ۱۳۸۷، دارای روندی کاهشی قابل ملاحظه‌ای بوده است به طوری که میانگین غلظت سالیانه SO_2 از ۶۴ ppb در سال ۱۳۸۵ به حدود ۷ ppb در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته (۹۰ درصد) است که از مهم‌ترین علل کاهش غلظت این آلاینده، کاهش گوگرد سوخت مصرفی وسایل نقلیه می‌باشد. به عبارت دیگر روند کاهشی غلظت سالیانه SO_2 هوای آزاد شهر تهران نشان‌دهنده اجرای یک برنامه موفق جهت کاهش میزان گوگرد سوخت در کشور بوده است.

روند تغییرات غلظت SO_2 هوای آزاد شهر تهران طی ۱۲ سال منتهی به ۱۳۹۶ در شکل ۸ نمایش داده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که تغییرات غلظت سالیانه SO_2 از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶، به استثنای سال ۱۳۸۷، دارای روندی کاهشی قابل ملاحظه‌ای بوده است به طوری که میانگین غلظت سالیانه SO_2 از ۶۴ ppb در سال ۱۳۸۵ به حدود ۷ ppb در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته (۹۰ درصد) است که از مهم‌ترین علل کاهش غلظت این آلاینده، کاهش گوگرد سوخت مصرفی وسایل نقلیه می‌باشد. به عبارت دیگر روند کاهشی غلظت سالیانه SO_2 هوای آزاد شهر تهران نشان‌دهنده اجرای یک برنامه موفق جهت کاهش میزان گوگرد سوخت در کشور بوده است.

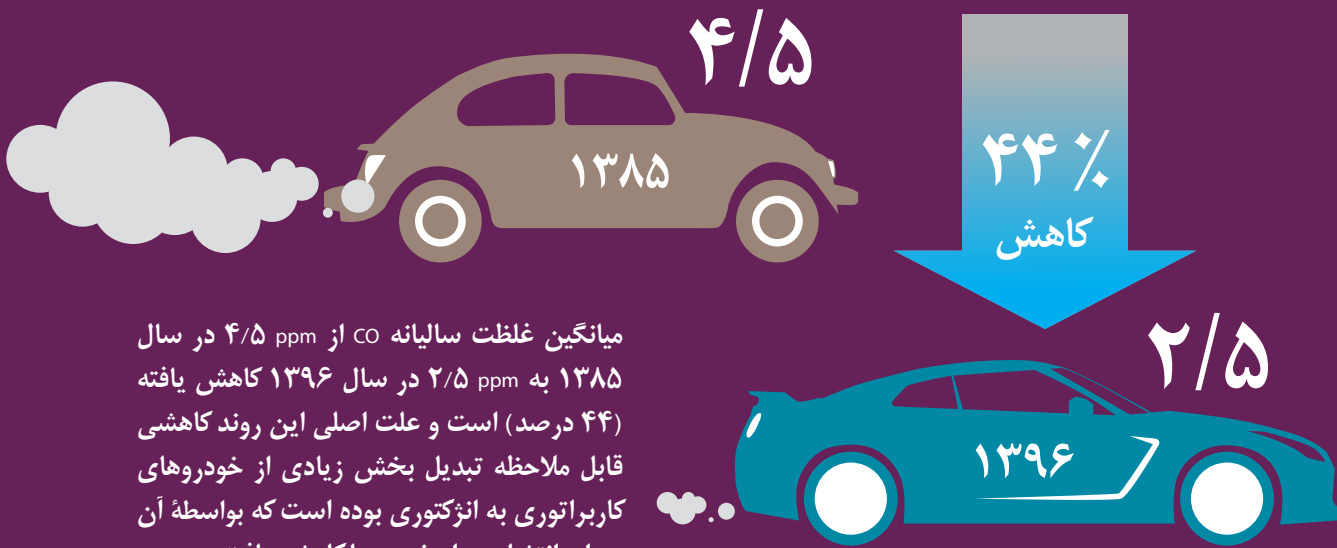


میانگین غلظت سالیانه SO_2

از ۶۴ ppb در سال ۱۳۸۵ به حدود ۷ ppb در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته

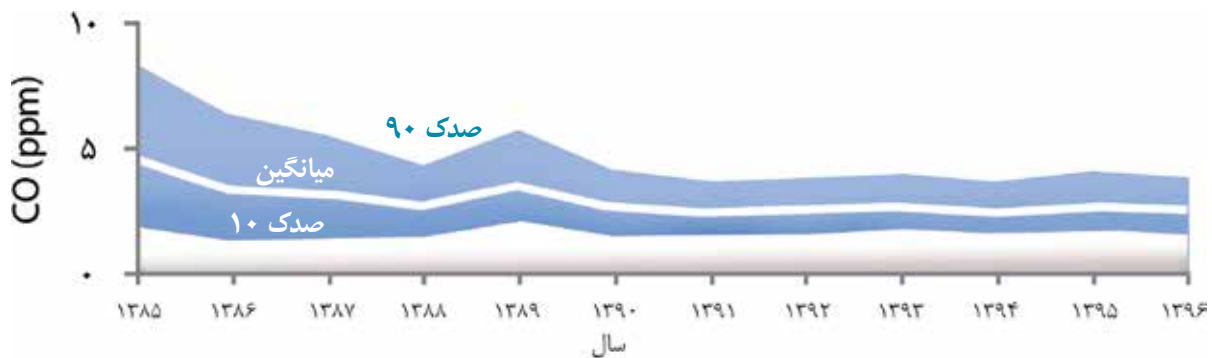


شکل ۸. روند تغییرات غلظت سالیانه SO_2 هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶



میانگین غلظت سالیانه CO از ۴/۵ ppm در سال ۱۳۸۵ به ۲/۵ ppm در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته (۴۴ درصد) است و علت اصلی این روند کاهشی قابل ملاحظه تبدیل بخش زیادی از خودروهای کاربراتوری به انژکتوری بوده است که بواسطه آن میزان انتشار CO از خودروها کاهش یافت.

روند تغییرات غلظت سالیانه CO هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های مورد بررسی در شکل ۹ نمایش داده شده است. براساس نتایج بدست آمده، روند تغییرات زمانی غلظت سالیانه CO از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶، تقریباً دارای روندی کاهشی بوده است. میانگین غلظت سالیانه CO از ۴/۵ ppm در سال ۱۳۸۵ به ۲/۵ ppm در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته (۴۴ درصد) است و علت اصلی این روند کاهشی قابل ملاحظه تبدیل بخش زیادی از خودروهای کاربراتوری به انژکتوری بوده است که بواسطه آن میزان انتشار CO از خودروها کاهش یافت.

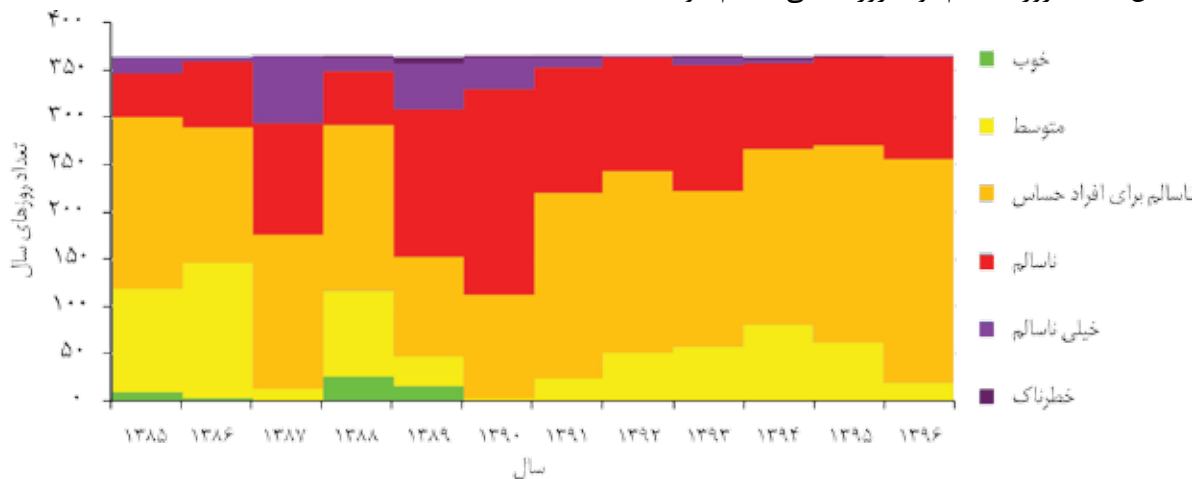


شکل ۹. روند تغییرات غلظت سالیانه CO هوای آزاد شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶

روند تغییرات شاخص کیفیت هوای شهر تهران طی ۱۲ سال منتهی به ۱۳۹۷

مدیریت پایش و نظارت بر کیفیت هوا در شهرهای بزرگ داده‌های مربوط به کیفیت هوا را به شاخص کیفیت هوا (AQI) تبدیل می‌کند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار عموم مردم قرار می‌دهد. بنابراین شاخص کیفیت هوا یک ابزار کلیدی جهت آگاهی از کیفیت هوا، نحوه اثر آلودگی هوا بر سلامت و روش‌های محافظتی در برابر آلودگی هوا است. به طور کلی AQI، شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند. به عبارت دیگر AQI به اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با هوای آلوده (ناسالم) می‌پردازد. به منظور درک آسان، شاخص کیفیت هوا به شش دسته "خوب"، "متوسط"، "ناسالم برای گروه‌های حساس"، "ناسالم"، "خیلی ناسالم" و "خطرناک" طبقه‌بندی شده است [۱۵].

روند تغییرات شاخص کیفیت هوا شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶ در شکل ۱۰ ارائه شده است. در این شکل وضعیت شاخص کیفیت هوای روزانه در هر سال براساس روش‌های معتبر محاسبه AQI نمایش شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ در شهر تهران حتی یک روز شاخص کیفیت هوا در طبقه "خوب" (AQI=0-50) قرار نگرفته است اما تعداد روزهایی که AQI "متوسط" (AQI=51-100) بوده است از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ افزایش یافته و در سال ۱۳۹۴ تعداد روزهایی که AQI در وضعیت "متوسط" بوده است به ۸۰ روز رسیده است و مابقی روزهای سال دارای کیفیت هوا ناسالم بوده است. لازم به ذکر است در سال ۱۳۹۶ تنها ۲۰ روز شاخص کیفیت هوا متوسط بوده است و در ۳۴۵ روز دیگر سال شاخص کیفیت هوای شهر تهران در وضعیت ناسالم بوده است. به عبارت دیگر در سال ۱۳۹۶ شاخص کیفیت هوا در ۲۳۷ روز "ناسالم برای گروه‌های حساس"، ۱۰۷ روز "ناسالم" و ۱ روز "خیلی ناسالم" بوده است [۱۲].

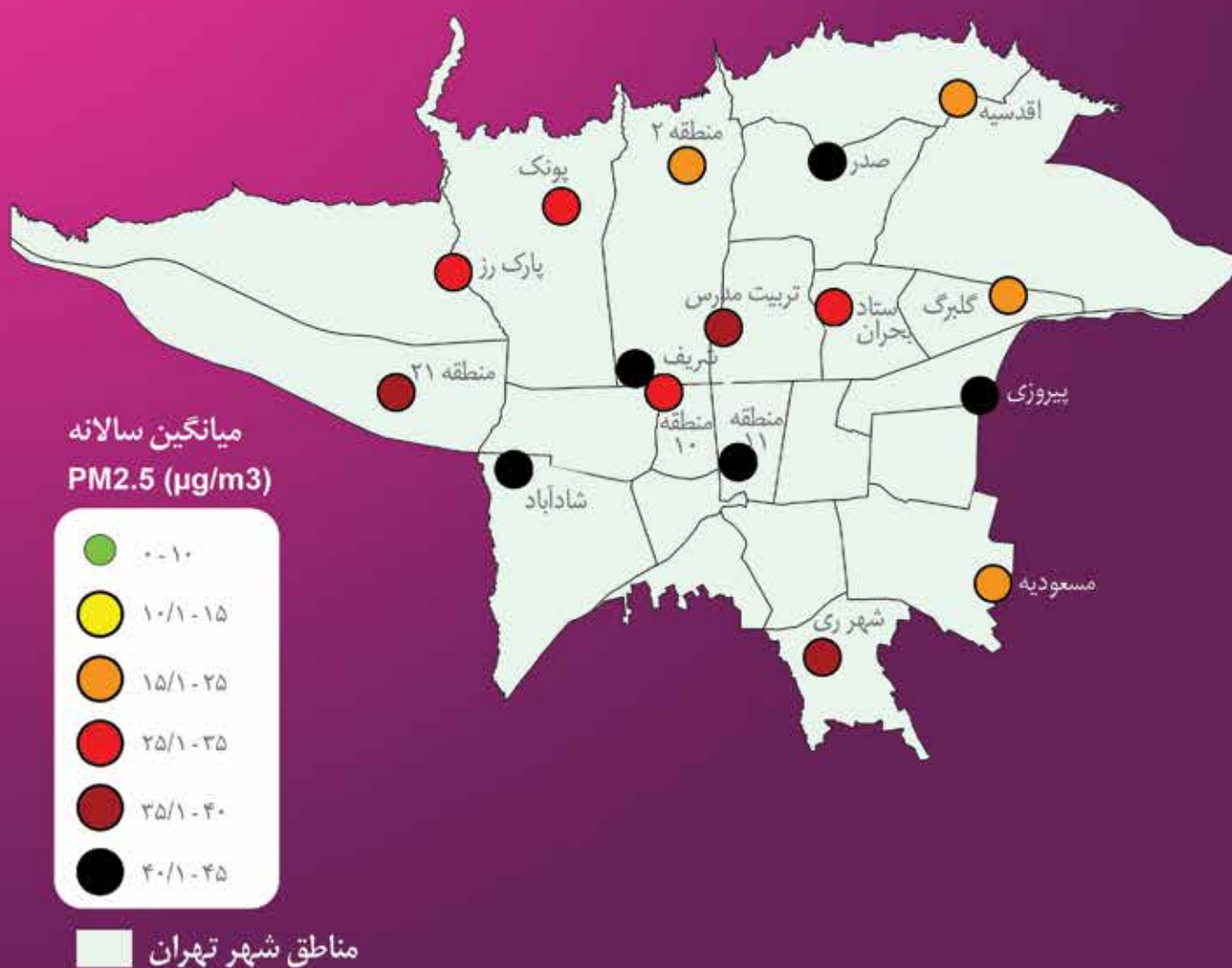


شکل ۱۰. روند تغییرات شاخص کیفیت هوای روزانه شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶

توزیع مکانی غلظت ذرات معلق هوای آزاد شهر تهران

مقادیر میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ شهر تهران به ترتیب در منطقه ۲ شهرداری (سعادت‌آباد)، منطقه ۱۵ (مسعودیه)، منطقه ۸ (گلبرگ) و منطقه ۱ (اقدسیه) و بیشترین مقادیر میانگین غلظت سالیانه در منطقه ۱۳ شهرداری (پیروزی)، منطقه ۱۱ و حوالی دانشگاه شریف بوده است. به عبارت دیگر میانگین غلظت سالیانه در منطقه پیروزی بیش از دو برابر مقدار مشابه منطقه سعادت‌آباد بوده است [۱۲].

در شکل ۱۱ توزیع مکانی میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران در سال ۱۳۹۶ نمایش داده شده است. همان‌طوری‌که در شکل ۱۱ نشان داده شده است میانگین سالیانه این عامل خطر سرطانزا در تمامی ایستگاه‌های معتبر شهر تهران که در مناطق مختلف شهر وجود دارند بالاتر از مقادیر رهنمودی WHO و استاندارد کیفیت هوای آزاد ایران بوده است. نتایج توزیع مکانی غلظت $PM_{2.5}$ شهر تهران بیانگر این است که کمترین



شکل ۱۱. توزیع مکانی غلظت میانگین سالانه PM_{2.5} ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۶

کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامت در شهر تهران

تهران از شرایط موجود به غلظت $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (رهنمود WHO) می‌رسید، از 4878 مورد مرگ جلوگیری می‌شد. به عبارت دیگر حدود (۶-۱۳) درصد از کل مرگ‌های افراد بالای ۲۵ سال شهر تهران منتسب به مواجهه با آلاینده $\text{PM}_{2.5}$ هوای آزاد در غلظت‌های بالای $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا به علت بیماری ایسکمیک قلبی در افراد بالای ۲۵ سال بوده است (شکل ۱۲).

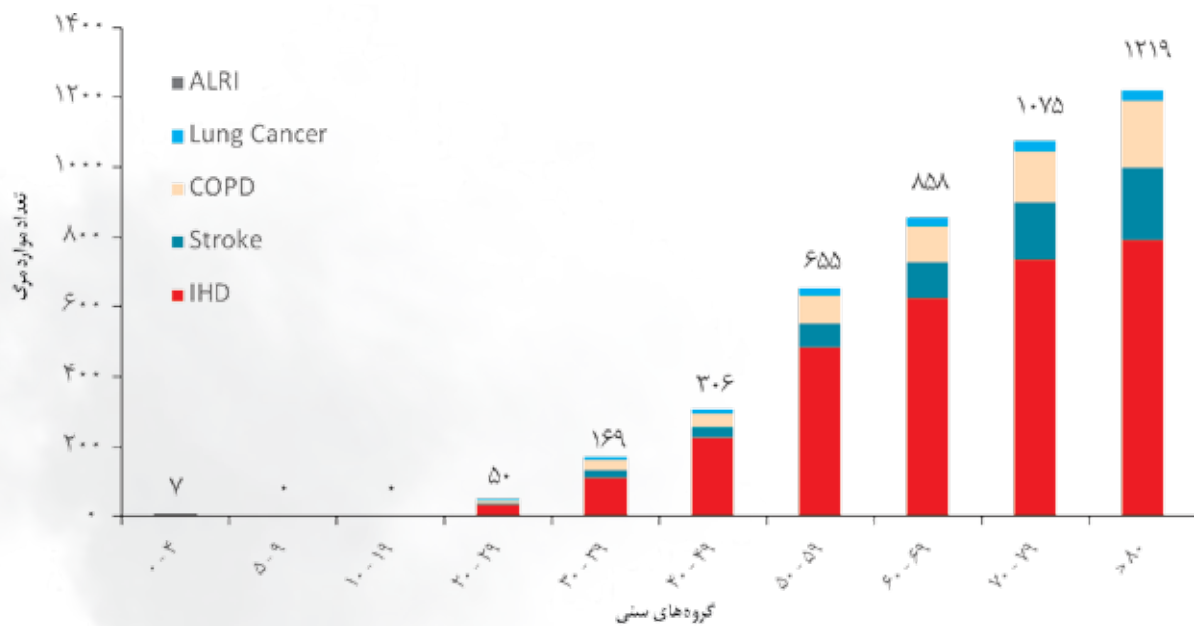
اثرات سلامتی منتسب به آلاینده‌های هوای آزاد شهر تهران در سال ۱۳۹۶ توسط جدیدترین نسخه نرم‌افزار AirQ+ v1.3 که توسط WHO طراحی شده است، برآورد گردید. نتایج کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا شهر تهران بر سلامت در سال ۱۳۹۶ در جدول ۱۰ ارائه شده است. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۶ تعداد موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز ($\text{PM}_{2.5}$) در افراد بالغ (بالای ۲۵ سال) در شهر تهران معادل 4878 ($95\% \text{CI} = 3238-6359$) بوده است؛ به معنای دیگر در صورتی که غلظت $\text{PM}_{2.5}$ در شهر

جدول ۷. اثرات سلامتی منتسب به آلودگی هوا در اثر مواجهه بلند-مدت در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ به تفکیک علت مرگ

تعداد موارد مرگ			گروه سنی	پیامد سلامتی
حد بالا	حد پایین	حد وسط		
۶۳۵۹	۳۲۳۸	۴۸۷۸	۲۵ سال و بالاتر	مرگ ناشی از همه عوامل
۸۹۶	۳۳۰	۶۰۲	۲۵ سال و بالاتر	مرگ ناشی از COPD
۴۵۲۸	۱۵۴۲	۳۰۰۲	۲۵ سال و بالاتر	مرگ ناشی از IHD
۱۰۰۶	۲۵۹	۵۹۵	۲۵ سال و بالاتر	مرگ ناشی از Stroke
۱۹۰	۷۸	۱۳۳	۲۵ سال و بالاتر	مرگ ناشی از LC
۹	۵	۷	کمتر از ۵ سال	مرگ ناشی از ALRI

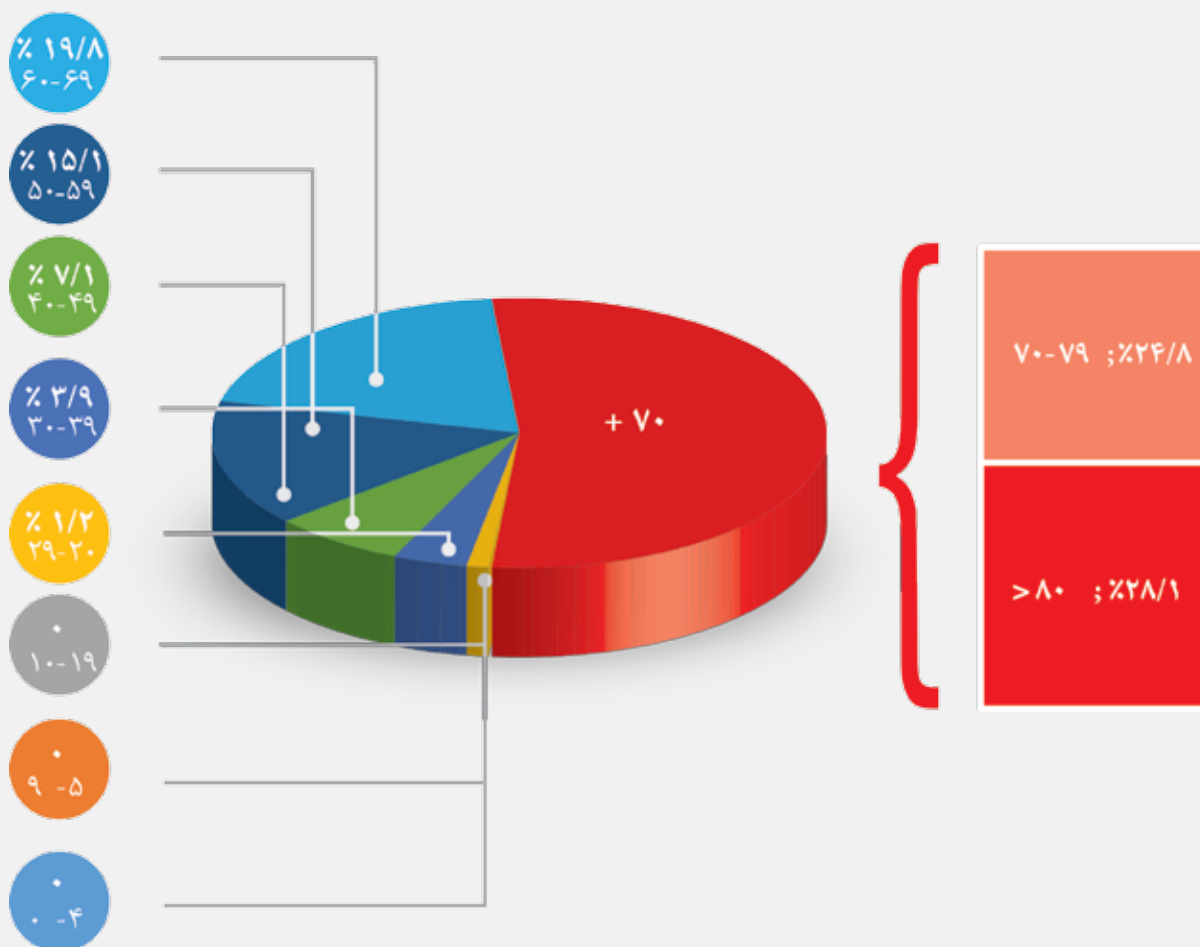
براساس مطالعه انجام شده نسبت تعداد موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد در روش IER به مقادیر برآورد شده توسط روش GEMM معادل ۰/۴۵ است [۵]. بنابراین انتظار می‌رود در صورت استفاده از روش GEMM تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد شهر تهران حدود ۷ تا ۸ هزار مورد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ برآورد شود که این میزان تقریباً معادل ۲۰ درصد از کل موارد مرگ ناشی از همه علل در شهر تهران است.

لازم به ذکر است که نرم افزار AirQ v1.3 به منظور کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا از روابط ارائه شده IER استفاده کرده است و از روابط GEMM که در سپتامبر ۲۰۱۸ به منظور برآورد اثرات جهانی آلودگی هوا در سطح ملی در کشورهای مختلف ارائه شده است استفاده نکرده است. علاوه بر آن تعداد موارد مرگ برآورد شده ناشی از آلودگی هوا در روش GEMM در تمام کشورهای دنیا به مراتب بیش از تعداد موارد برآورد شده توسط روابط IER است.



شکل ۱۲. تعداد موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ به تفکیک علت مرگ و گروه سنی

در شکل ۱۳ سهم هر کدام از گروه‌های سنی در کل موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ نمایش داده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از این است که با افزایش سن سهم موارد مرگ منتسب به ذرات معلق ریز هوای آزاد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر تنها حدود ۱۲ درصد از کل موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهر تهران مربوط به افراد کمتر از ۵۰ سال است. در حالی که سهم افراد ۷۰ سال و بالاتر حدود ۵۲ درصد بوده است؛ همچنین سهم موارد مرگ منتسب به آلودگی در شهر تهران در سال ۱۳۹۶ در افراد ۸۰ سال و بالاتر ۲۸ درصد می‌باشد.



شکل ۱۳. درصد موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهر تهران به تفکیک گروه سنی

نتیجه گیری

نتایج بررسی مطالعات مرتبط با کیفیت هوا و اثرات آلودگی هوا بر سلامت در ایران و سایر کشورها بیانگر نقش بسیار قابل ملاحظه این عامل خطر در ایجاد و بار بیماری‌های غیرواگیر است. همچنین به علت افزایش غلظت آلاینده‌های هوا آزاد و متعاقباً اثرات آن‌ها بر سلامت در ایران و بسیاری از کشورها، برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های علمی و عملی در این زمینه یک نیاز حیاتی محسوب می‌شود. در صورت ارائه و اجرای برنامه‌های مبتنی بر شواهد علمی معتبر می‌توان به صورت تدریجی غلظت آلاینده‌های هوا را کاهش و به واسطه آن بسیاری از بیماری‌های غیرواگیر را در جامعه کاهش و امید زندگی و کیفیت زندگی را در کشور افزایش داد.

پیشنهادها

پیشنهاد اول

براساس داده‌هایی که در این گزارش ارائه گردید آلودگی هوا به‌عنوان هشتمین عامل خطر در دنیا و هفتمین عامل خطر در ایران در بین همه عوامل خطر است که بیشترین تعداد موارد مرگ را به‌خود اختصاص داده است و همانطور که مطالعات نشان داده‌اند این عامل در منطقه ما با توجه به شرایط موجود و وقوع طوفان‌های گردوغبار رتبه بالاتری در مقایسه با متوسط جهانی به‌خود اختصاص داده است. شاید زمان آن باشد که این پیشنهاد توسط سازمان جهانی بهداشت و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی جمهوری اسلامی ایران مورد بررسی و توجه جدی قرار گیرد که کنترل آلودگی هوا به‌عنوان یکی از عوامل خطر اصلی بیماری‌های غیرواگیر در دستور کار قرار گیرد و اقدامات مربوط به کاهش آلودگی هوا به‌طور جدی در سطح جهانی و کشوری رصد و پایش شود و برنامه کنترل بیماری‌های غیرواگیر سازمان جهانی بهداشت جایگاه ویژه‌ای را به این موضوع اختصاص دهند.

پیشنهاد دوم

از قانون برنامه دوم توسعه به این طرف کاهش آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی کشور مورد توجه دولت و مجلس بوده است ولی موفقیت‌های اندکی در این زمینه به‌دست آمده است در این دوره حدوداً ۲۰ ساله برنامه‌های متعددی تحت عناوین مختلف توسط دولت طراحی و به مورد اجرا گذاشته شده است که در تمامی برنامه‌ها تاکنون به همه راهکارهای نظری ممکن که در کاهش آلودگی هوا مؤثرند به یک اندازه پرداخته شده است و راهکارهای ارائه شده در برنامه‌ها در حقیقت فاقد اولویت‌بندی براساس هزینه اثر-بخشی (Cost/Effectiveness) بوده است. بنابراین با وجود صرف هزینه‌های قابل توجه، میزان پیشرفت در محورهای برنامه‌های جامع کاهش آلودگی هوا اندک بوده است چون توان اقتصادی کشور در این زمینه دارای محدودیت‌های جدی است و رقابت بر سر بودجه در بخش‌های مختلف توسعه همواره مطرح بوده است. اکنون زمان آن فرا رسیده است که به‌جای پرداختن به همه مؤلف‌ها و محورهایی که به‌طور نظری بر کاهش آلودگی هوا مؤثرند براساس مطالعه هزینه اثر-بخشی توان اقتصادی کشور بر محورهایی متمرکز شود که اثر بخشی بیشتری دارند. به‌عنوان مثال توسعه حمل و نقل عمومی پاک و خارج کردن خودروهای فرسوده از چرخه استفاده شاید محورهایی باشند که سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها نتیجه‌بخش و مؤثر باشد که البته انتخاب محورهای دارای اولویت باید براساس مطالعه و بررسی صورت گیرد.

منابع

1. GBD. 2019; Available from: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/arrow>.
2. Stanaway, J.D., et al., Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 2018. 392(10159): p. 1923-1994.
3. Landrigan, P.J., et al., The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 2018. 391(10119): (p. 462-512).
4. Neira, M., A. Prüss-Ustün, and P. Mudu, Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action. *The Lancet*, 2018. 392(10154): p. 1178-1179.
5. Burnett, R., et al., Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018. 115(38): p. 9592-9597.
6. Cohen, A.J., et al., 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. *The Lancet*, 2017. 389(10082): p. 1907-1918.
7. WHO. Ambient (outdoor) air quality and health. 2018; Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
8. Hassanvand, M.S., et al., Indoor/outdoor relationships of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. *Atmospheric Environment*, 2014. 82: p. 375-382.
9. Shaddick, G., et al., Data integration for the assessment of population exposure to ambient air pollution for global burden of disease assessment. *Environmental science & technology*, 2018. 52(16): p. 9069-9078.
10. Burnett, R.T., et al., An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental health perspectives*, 2014. 122(4): p. 397.
11. Apte, J.S., et al., Ambient PM_{2.5} reduces global and regional life expectancy. *Environmental Science & Technology Letters*, 2018. 5(9): p. 546-551.
۱۲. حسونود، محمدصادق و ندافی، کاظم. کمی‌سازی اثرات بهداشتی آلودگی هوا شهر تهران بر سلامت طی سالهای ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۶. پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران. ۲۰۱۸.
13. Faridi, S., et al., Long-term trends and health impact of PM_{2.5} and O₃ in Tehran, Iran, 2006–2015. *Environment international*, 2018. 114: p. 37-49.
14. Naddafi, K., et al., Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 2012. 9(1): p. 28.
۱۵. راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا. ۲۰۱۵، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران.

پیوست- ۱

تعاریف

۱. PM_{10} : ذرات معلق هوا با قطر ائرودینامیکی ۱۰ میکرومتر و کمتر
۲. $PM_{2.5}$: ذرات معلق هوا با قطر ائرودینامیکی ۲/۵ میکرومتر و کمتر
۳. **population-weighted $PM_{2.5}$** : میانگین غلظت $PM_{2.5}$ وزن‌دهی شده با جمعیت افراد ساکن در هر منطقه
۴. **IER (Integrated Exposure-Response)**: رابطه مواجهه - پاسخ مورد استفاده برای برآورد اثرات آلودگی هوا بر سلامت.
۵. **GEMM (Global Exposure Mortality Model)**: مدل جهانی مواجهه- مرگ برای برآورد اثرات آلودگی هوا بر سلامت.
۶. **جزء منتسب (PAF)**: درصدی از پیامد سلامتی که در صورت حذف عامل خطر می‌توان آن میزان از پیامد سلامتی را نداشته باشیم (جلوگیری کرد).
۷. **شاخص کیفیت هوا (AQI)**: شاخصی جهت گزارش روزانه وضعیت کیفیت هوا است که در آن غلظت‌های آلاینده‌های معیار هوا به شاخص کیفیت هوا تبدیل می‌شوند که قابل فهم برای عموم مردم باشد.

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه
علوم پزشکی تهران



تهران، خیابان انقلاب، خیابان کارگر شمالی، نرسیده
به بلوار کشاورز، پلاک ۱۵۴۷، مجتمع مراکز
تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی تهران، طبقه ۸

ier.tums.ac.ir

مؤسسه ملی تحقیقات سلامت
جمهوری اسلامی ایران



تهران، بلوار کشاورز، خیابان وصال شیرازی، خیابان
بزرگمهر شرقی، پلاک ۷۰

nihr.tums.ac.ir