



# آلودگی هوا

## تهدیدی جدی برای سلامت





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شماره مسلسل: ۱۹۱۵۴  
کد موضوعی: ۲۵۰



مرکز پژوهش‌های  
مجلس شورای اسلامی

تاریخ انتشار:  
۱۴۰۲/۴/۳۱

## عنوان گزارش: آلودگی هوا، تهدیدی جدی برای سلامت

نام دفتر:  
مطالعات زیربنایی

تهیه و تدوین کنندگان:  
الهه سلیمانی، مبترا چراغی

مدیر مطالعه:  
الهه سلیمانی

ناظر علمی:  
محمدحسن معادی رودسری

اظهار نظر کننده:  
سمیه صدیقی (دفتر مطالعات اجتماعی)

ویراستار ادبی:  
شیوا امین اسکندری

تاریخ شروع:  
۱۴۰۲/۲/۱

تاریخ خاتمه:  
۱۴۰۲/۳/۱۶

صفحه آرا  
آذر مهمان نواز

واژه‌های کلیدی:

۱. آلودگی
۲. هوا
۳. سلامت
۴. آثار بهداشتی
۵. خسارات اقتصادی
۶. پیامدها



## فهرست مطالب

۶.....	چکیده.....
۷.....	خلاصه مدیریتی.....
۹.....	مقدمه.....
۱۰.....	پیشینه پژوهش.....
۱۱.....	بیان مسئله و اهمیت موضوع.....
۱۲.....	آلودگی هوا و پیامدهای آن بر سلامت انسان.....
۱۶.....	برآوردهای سازمان بهداشت جهانی در خصوص پیامدهای آلودگی هوا.....
۱۷.....	تأثیرات بهداشتی- اقتصادی آلودگی هوا در جهان.....
۱۸.....	تأثیرات آلودگی هوا بر سلامت جامعه در ایران.....
۲۰.....	تأثیرات بهداشتی آلودگی هوا در ایران.....
۲۲.....	خسارات اقتصادی ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ایران.....
۲۳.....	نتیجه‌گیری.....
۲۶.....	منابع و مآخذ.....

## فهرست جداول و نمودار

۱۵.....	جدول ۱. پیامدها و منابع انتشار آلاینده‌ها بر سلامت انسان.....
۱۹.....	جدول ۲. میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ و رتبه ایران براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی.....
۲۰.....	جدول ۳. برآورد تعداد مرگ کل، مرگ به‌علت بیماری‌های انسداد ریوی، سرطان ریه، بیماری‌های ایسکمیک قلبی و مرگ به‌علت سکته مغزی منتسب به $PM_{2.5}$ شهر تهران در سال ۱۴۰۰.....
۲۲.....	جدول ۴. درصد مرگ کل، مرگ به‌علت بیماری‌های انسداد ریوی، سرطان ریه، بیماری‌های ایسکمیک قلبی و مرگ به‌علت سکته مغزی منتسب به $PM_{2.5}$ در شهرهای مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰.....
۱۷.....	نمودار تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در تمام دنیا به تفکیک علت مرگ و گروه‌های سنی.....



## آلودگی هوا، تهدیدی جدی برای سلامت

### چکیده



آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های حاد، مزمن و مرگ در ارتباط است. در گزارش سازمان بهداشت جهانی در خصوص کیفیت هوای جهان در سال ۲۰۲۲، در بین ۱۳۱ کشور که مجهز به ایستگاه سنجش این آلاینده هستند، ایران از منظر آلاینده  $PM_{2.5}$  در رتبه ۲۱ آلودگی قرار دارد. در گزارشی که وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال ۱۴۰۰ تهیه کرد، میانگین جزء «مرگ کل منتسب به ذرات معلق»<sup>۲</sup> در کشور برابر با ۱۲/۵۹ درصد است. برآورد می‌شود که با احتساب پدیده ریزگردها، نیمی از جمعیت کل کشور (۳۵ میلیون نفر) در معرض درجاتی از آلودگی هوا قرار دارند. این مشکل نه تنها سلامت مردم را به خطر می‌اندازد، بر حوزه سلامت نیز هزینه‌هایی سربار می‌شود. همچنین کل هزینه‌های مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از همه علل منتسب به  $PM_{2.5}$  در کشور طی سال ۱۴۰۰ برابر ۱/۳ میلیارد دلار برآورد شده است. نکته کلیدی این میزان خسارت، آن است که در صورتی که این مبلغ به جای هزینه کرد برای درمان و خسارت‌های وارده، در جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها استفاده شود، علاوه بر کنترل پیامدهای مرگ و بیماری منتسب، به بهبود کیفیت زندگی به شکل اصولی منجر خواهد شد. با توجه به این ارقام و اهمیت مقوله جمعیت در اقتدار ملی و تأکید مقام معظم رهبری در سیاست‌های کلی جمعیت، پرداختن به موضوع تأثیر آلودگی هوا بر سلامت و مرگ‌ومیرهای ناشی از آن، در کشور ما بیش از پیش ضرورت دارد.

1. Particulate Matter 2.5

2. Mortality Attributable to  $PM_{2.5}$

## خلاصه مدیریتی



### ■ بیان/شرح مسئله

در چند دهه گذشته آلودگی هوا به عنوان یک مشکل اساسی، سلامتی افراد را تحت تأثیر قرار داده است. اثرات آلودگی هوا بر سلامت بشر نه تنها به صورت کاهش کیفیت زندگی، بلکه به صورت افزایش هزینه های سلامت بر جامعه نیز تأثیر می گذارد. آلودگی هوا از مهم ترین مشکلات کلان زیست محیطی شهرهای ایران است. اکنون بحران آلودگی هوا نه تنها، کلانشهرها بلکه شهرهای کوچک را هم تهدید می کند که این پدیده سهم عمده ای در به خطر انداختن سلامت جسم و روان شهروندان دارد. آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ های ناشی از بیماری های غیر واگیر محسوب می شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری های حاد، مزمن و مرگ در ارتباط است. مطالعات متعددی نشان داده اند که ارتباط معناداری بین میزان آلودگی هوا و مرگ و میر ناشی از بیماری های قلبی و تنفسی ناشی از سرطان ریه وجود دارد. همچنین نتایج این مطالعات نشان داده است که آلودگی هوا با افزایش تعداد بیماری ها و مراجعات به بیمارستان و اورژانس و همچنین تعطیلی مشاغل و مدارس همراه است. مطالعات سازمان بهداشت نشان می دهد با کاهش آلاینده های هوا، کشورها می توانند بخش قابل توجهی از بار بیماری های مرتبط با سکته مغزی، بیماری های قلبی، سرطان ریه و بیماری های حاد و مزمن تنفسی از جمله آسم را کاهش دهند. در ایران نیز کیفیت هوای کلان شهرها، سلامت جامعه به ویژه گروه های آسیب پذیر از جمله کودکان و سالمندان را تهدید می کند.

### ■ نقطه نظرات/یافته های کلیدی

بنابر ماده (۲۲) آیین نامه فنی موضوع ماده (۲) قانون هوای پاک، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است بر آورد سالیانه تخمین هزینه های مستقیم آلودگی هوا در خصوص بیماری ها و مرگ و میرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند. در این راستا، در گزارشی که توسط وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در سال ۱۴۰۰ تهیه شده میانگین تعداد مرگ



کل منتسب به مواجهه طولانی مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال در شهرهای مورد مطالعه در کشور (طی سال ۱۴۰۰)، ۲۰۸۳۷ نفر است. نتایج نشان می‌دهد، در سال ۱۴۰۰ به طور میانگین جزء مرگ کل منتسب به ذرات معلق در کشور برابر با ۱۲/۵۹ درصد است. همچنین برآوردی از کل هزینه‌های مرتبط با مرگ و میر ناشی از عوامل مختلف منتسب به  $PM_{2.5}$  در کشور طی سال ۱۴۰۰ برابر ۱۱/۳ میلیارد دلار نشان داده شده است. این آمارها به وضوح از گستردگی ابعاد فاجعه حکایت دارد، آمارهایی که صرفاً در حوزه بهداشت ارائه شده و اگر خسارت بخش اقتصاد مانند تعطیلی کارخانجات، اختلال در پروازها، تعطیلی مراکز آموزشی و شهرها هم لحاظ شود، ابعاد این مسئله گسترده تر خواهد بود. نکته کلیدی این میزان خسارت بالا، آن است که در صورتی که این مبلغ به جای هزینه کرد برای درمان و خسارت‌های وارده، در جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها استفاده شود، علاوه بر کنترل پیامدهای مرگ و بیماری منتسب، منجر به بهبود کیفیت زندگی به شکل پایدار و اصولی خواهد شد.

## ■ پیشنهاد راهکارهای تقنینی و یاراهکارهای سیاستی به همراه تجزیه و تحلیل استدلال‌ها

بنابراین برای دستیابی به نتیجه مطلوب و روند سریع‌تر در این زمینه، برخی از مهم‌ترین پیشنهادها عبارتند از: تعیین اهداف کمی برای برنامه‌های جامع کاهش آلودگی هوا، لزوم تهیه شواهدی مرتبط با سهم‌بندی منابع انتشار و فهرست انتشار آلاینده‌های هوا، بازنگری استاندارد ملی هوای پاک با توجه به رویکرد استانداردهای جهانی کیفیت هوای سازمان بهداشت در سال ۲۰۲۱، اطلاع‌رسانی وضعیت شاخص کیفیت هوا (AQI) با مسئولیت و زیر نظر وزارت بهداشت، همکاری دستگاه‌های اجرایی درباره اجرای مصوبات کمیته اضطرار در زمینه‌هایی همچون تعطیلی ادارات و مدارس برای کاهش مواجهه با آلودگی هوا، ایجاد نظام شناسایی، مراقبت، پایش و گزارش‌دهی بیماری‌های مرتبط با کیفیت هوای استنشاقی در کشور و ایجاد نظام اطلاعات یکپارچه بیماری‌های مرتبط با کیفیت هوای استنشاقی در کشور همچون سامانه خدمات سلامت ایرانیان، پرونده الکترونیک و کارت سلامت ایرانیان.

## مقدمه

یکی از مسائلی که در قرن حاضر به شدت مورد توجه قرار گرفته و زندگی افراد را تحت تأثیر قرار داده، مسئله آلودگی هواست. به عبارت دیگر، آلودگی هوا به بخش جدایی ناپذیر جامعه کنونی بشری تبدیل شده است. آلودگی هوا ارتباط مستقیم با سلامت جامعه دارد و می تواند آسیب های جبران ناپذیر به ویژه برای ساکنان شهرهای پرجمعیت ایجاد کند. **آلودگی هوا** پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ های ناشی از بیماری های غیر واگیر محسوب می شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری های حاد، مزمن و مرگ در ارتباط است [۱]. براساس داده های کیفیت هوا که سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۸ منتشر کرده است، حدود ۹۷ درصد از شهرهای با جمعیت بیش از ۱۰۰ هزار نفر در کشورهای با درآمد کم و متوسط مقادیر غلظت آلاینده های هوای آزاد<sup>۲</sup> در آنها از حدود استاندارد دی سازمان بهداشت جهانی بالاتر است [۲]. هم زمان با کاهش کیفیت هوا، ریسک ابتلا به سکنه، بیماری های قلبی عروقی، سرطان ریه و بیماری های حاد و مزمن تنفسی افراد افزایش می یابد. اهمیت این موضوع آن قدر زیاد است که در سال های اخیر، بسیاری از مطالعات مرتبط با آلودگی هوا، به بررسی آثار آلاینده های موجود در هوا بر سلامت انسان پرداخته اند [۳]. براساس شواهد، نوسانات کوتاه مدت آلودگی هوا تأثیری منفی بر سلامت همه افراد جامعه دارد [۴]. این تأثیر و شدت ارتباط آن با بیماری های قلبی تنفسی و سکنه مغزی نگران کننده است، به طوری که افزایش نرخ شیوع مرگ و میر افراد را در پی داشته است [۵، ۶] و هر ساله، ده ها هزار مرگ ناگهانی قلبی، مرتبط با آلودگی هوا گزارش شده است. [۷] علاوه بر اینها مطالعات انجام شده نشان داده اند که آلاینده های هوا مانند ذرات معلق هوا (PM)، منواکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO<sub>۲</sub>)، اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>) و ازن (O<sub>۳</sub>) در کنار ترکیبات آلی فرّار (VOCs) و فلزات سنگین موجود در ذرات معلق از

1. World Health Organization (WHO)

2. Ambient Air Pollution



طریق مکانیزم‌های مختلف باعث ناباروری می‌شوند [۸، ۹، ۱۰]. پیامدهای ناشی از آلودگی هوا نه تنها سلامت مردم را به خطر می‌اندازند، بلکه به علت افزایش نیاز به خدمات مراقبتی، بهداشتی و فوریت‌های پزشکی که برای جمعیت تحت تأثیر انجام می‌شود، هزینه‌های سرباری را نیز بر حوزه سلامت تحمیل می‌کند. از این رو با توجه به اهمیت موضوع آلودگی هوا در کشور و نبود مطالعات جامعی در زمینه آثار آلودگی هوا بر سلامت در کشور، گزارش حاضر به منظور تبیین آثار آلودگی هوا بر سلامت و بیان چالش‌ها و راهکارهای مؤثر بر رفع آن تهیه شده است.

## پیشینه پژوهش



### ۱. پیشینه مطالعات پژوهشی مرتبط

Cao و همکاران در چین در طول سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ به روش مطالعه کوهورتی و با استفاده از مدل مخاطره متناسب که بر روی ۷۰۹۴۷ مرد و زن میانسال انجام داده است، ارتباط معناداری بین میزان آلودگی هوا و مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و تنفسی ناشی از سرطان ریه بدست آورد. Sousa و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ در مطالعه‌ای به بررسی اثر آلودگی هوا بر ابتلا به بیماری‌های تنفسی در پرتغال پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ارتباط معناداری بین میزان آلودگی هوا و تعداد بستری شدن افراد ناشی از بیماری آسم وجود دارد و این ارتباط در روزها با آلودگی بیشتر هوا تقویت می‌شود.

مطالعه ناصری و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز نشان داد که آلودگی هوا به عنوان یک تهدید بزرگ برای سلامت جامعه شناخته شده است. آلودگی هوا با افزایش تعداد بیماری‌ها و مراجعات به بیمارستان و اورژانس و همچنین تعطیلی مشاغل و مدارس همراه است.

ندافی و همکاران نیز در مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۱ نشان دادند در روزهایی که آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق بالا بوده است موارد پذیرش افرادی که دچار مشکلات قلبی - عروقی و تنفسی بوده‌اند، افزایش یافته است.

نتایج مطالعه رضایی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۴ نشان داد که ارتباط معناداری بین سطح ازن و دی اکسید گوگرد در هوای کرمان و نیز تعداد مراجعات بیماران تنفسی به بیمارستان وجود داشته است.

## ۲. سوابق تقنینی

بر اساس ماده (۲۲) آیین نامه فنی موضوع ماده (۲) قانون هوای پاک، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است بر آورد سالانه تخمین هزینه‌های مستقیم آلودگی هوا در خصوص بیماری‌ها و مرگ و میرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده‌های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند.

### بیان مسئله و اهمیت موضوع



هوا یکی از اساسی‌ترین نیازهای فیزیولوژیک انسان است به طوری که تصور ادامه حیات بدون هوا حتی برای چند دقیقه غیر ممکن است. آلودگی هوا بر اساس آخرین گزارش بار بیماری‌ها در سال ۲۰۲۱، چهارمین عامل خطر مرگ در جهان و مهم‌ترین تهدید زیست‌محیطی برای سلامت انسان است [۱۱]. بر اساس آخرین گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۲۲، آلودگی هوای آزاد و هوای داخل، سالیانه به بیش از ۷ میلیون مرگ زودرس در جهان منجر می‌شود (از هر ۹ مرگ یک مرگ منتسب به آلودگی هواست) [۱۲]. مطابق آمار و اطلاعات سازمان بهداشت جهانی، در حال حاضر ۹۹ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که در آن سطح آلودگی هوا (غلظت سالیانه ذرات معلق)  $PM_{2.5}$  بالاتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۵ میکروگرم بر مترمکعب) است. در کشورهایی با سطح درآمد متوسط و پایین خطر بیشتری وجود دارد و مردم این کشورها با سطوح خطرناک آلودگی هوا مواجه‌اند. در کشور ما نیز آلودگی هوا به عنوان یکی از چالش‌های مهم حوزه سلامت و مشکلی پیشرو در حوزه بهداشت مطرح شده است؛ باید توجه داشت که در بسیاری از شهرهای بزرگ کشور از جمله تهران، کرج، اصفهان، مشهد، تبریز، اراک، اهواز و شیراز غلظت بعضی از آلاینده‌های هوا از استانداردهای ملی به مراتب بالاتر است. بر آورد می‌شود که با احتساب پدیده ریزگردها، جمعیتی بالغ بر ۳۵ میلیون نفر، یعنی حدود نیمی از جمعیت کل کشور در معرض درجاتی از آلودگی هوا قرار دارند. این مشکل نه تنها سلامت مردم را به خطر می‌اندازد، بلکه به علت افزایش نیاز به خدمات مراقبتی، بهداشتی و فوریت‌های پزشکی (که برای جمعیت تحت تأثیر انجام می‌شود) بر حوزه سلامت هزینه‌هایی تحمیل می‌کند. از این رو انجام مطالعات گسترده در این زمینه بسیار حائز اهمیت است. همچنین بنا بر ماده (۲۲) آیین نامه فنی در زمینه کنترل و کاهش آلودگی‌ها (موضوع ماده (۲) قانون هوای پاک)، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است بر آورد سالیانه تخمین هزینه‌های مستقیم آلودگی هوا در خصوص بیماری‌ها و مرگ و میرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده‌های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند.



## آلودگی هوا و پیامدهای آن بر سلامت انسان



آلودگی هوا، عبارت است از انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز، بو و صدا در هوای آزاد، به صورت طبیعی یا انسان ساخت، به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرایندهای بوم‌شناختی (اکولوژیکی) یا آثار و ابنیه زیان آور بوده و یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی شود [۱۳].

در تعریفی دیگر آلودگی هوا چنین بیان شده است: حضور مواد نامطلوب در هوا به مقداری که بتواند آثار مضر ایجاد کند.

آلودگی هوا در عباراتی دیگر این گونه تعریف شده است: وجود هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز یا تشعشع پرتوزا و غیر پرتوزا در هوا به مقدار و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر جانداران به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد کند.

تأثیر آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها شامل طیف وسیعی از آثاری است که از نبود علائم بالینی تا مرگ را شامل می‌شود. [۱۴] پیامدهای آلودگی هوا برای سلامت از پیامدهای برگشت پذیر مانند سوزش چشم، خارش گلو، سردرد و سرگیجه تا آسیب‌های بازگشت ناپذیر و تهدید کننده سلامت نظیر سرطان، آسیب به دستگاه عصبی و مرگ متفاوت است.<sup>۱</sup> براساس گزارش مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۳، آلودگی هوا و ذرات معلق در هوا، به‌عنوان ترکیبات سرطان‌زا برای انسان (گروه یک) طبقه‌بندی شده است. چهار گروه آسیب‌پذیر در مواجهه با آلودگی هوا وجود دارند که عبارتند از: زنان باردار، کودکان، سالمندان و ورزشکاران. براساس مطالعات انجام شده، مشخص می‌شود که آلودگی و آلاینده‌ها از دوران جنینی تا سالمندی تهدیدی جدی برای سلامتی محسوب می‌شوند.

عوارض آلاینده‌ها بر دستگاه‌های مختلف بدن به‌اختصار به شرح ذیل است [۱۵]:

**۱ بیماری‌های دستگاه تنفس:** شواهد بسیاری درباره تشدید آسم، بیماری انسدادی مزمن تنفسی (COPD)<sup>۳</sup>، سرطان ریه و کاهش عملکرد ریوی با آلودگی هوا وجود دارد؛ ولی شواهد در زمینه ارتباط آلودگی هوا و بروز آسم و بیماری انسدادی مزمن تنفسی کم و ناپایدار است.

۱. مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) مواد سرطان‌زا را از جهت قطعی بودن سرطان‌زایی به چهار گروه تقسیم می‌کند: گروه یک: ماده قطعاً برای انسان سرطان‌زاست مانند آلودگی هوا و ذرات معلق در هوا. گروه دو (۲A): ماده به احتمال زیاد برای انسان سرطان‌زاست. گروه دو (۲B): ماده احتمالاً برای انسان سرطان‌زاست. گروه سه: ماده اصولاً برای انسان سرطان‌زانیست.

2. International Agency for Research on Cancer (IARC)

3. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)

**۲ بیماری‌های قلبی عروقی:** مواجهه با آلودگی هوا را می‌توان به‌عنوان یک عامل خطر نوظهور جدی برای ایجاد و توسعه بیماری‌های قلبی عروقی دانست. مواجهه کوتاه‌مدت با آلاینده‌های هوا باعث بیماری‌های حاد قلبی و فشار خون می‌شود.

**۳ بیماری‌های دستگاه عصبی:** آلودگی هوا موجب افزایش شیوع بیماری‌های نورودژنراتیو<sup>۱</sup> (زوال عصبی) مثل آلزایمر، پارکینسون و افزایش احتمال ابتلا به ام‌اس می‌شود. مرگ ناگهانی در بیماران مبتلا به صرع افزایش می‌یابد، همچنین باعث اختلالات تکاملی و افزایش احتمال ابتلا به اوتیسم بر اثر مواجهه مادران باردار و کودکان با آلودگی هوا می‌شود.

**۴ بیماری‌های پوستی:** آلودگی هوا می‌تواند باعث پیری زودرس پوست، کاهش میکروفلور<sup>۲</sup> نرمال پوست، افزایش شیوع بیماری در ماتیت اتوپیک<sup>۳</sup> و شدت یافتن کهیر شود.

**۵ بیماری‌های دستگاه گوارش:** آلودگی هوا و آلاینده‌های مرتبط با آن مانند PM، ازن، اکسیدهای نیتروژن و فلزات سنگین و برخی از آلاینده‌های آلی در بروز بیماری‌ها و به‌ویژه بیماری‌های التهابی مرتبط با دستگاه گوارش مانند فیبروز کبدی<sup>۴</sup>، آپاندیسیت و سرطان‌های دستگاه گوارش نقش دارند.

**۶ بیماری‌های چشم و بینی:** آلودگی هوا التهاب مخاط بینی و سینوس‌ها را تشدید می‌کند و در مزمن شدن عفونت سینوس‌ها و بینی نقش دارد. شیوع رینیت<sup>۵</sup> آلرژیک به‌طور چشمگیری با سطوح غلظت‌های NO و SO<sub>2</sub> و CO با هوای تنفسی ارتباط دارد.

**۷ بیماری‌های دستگاه تولید مثل:** مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که آلاینده‌های هوا مانند ذرات معلق هوا (PM)، منواکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ازن (O<sub>3</sub>) در کنار ترکیبات آلی فرّاز (VOCs) و فلزات سنگین موجود در ذرات معلق از طریق مکانیزم‌های مختلف باعث ناباروری می‌شوند. در دهه گذشته در جهان موارد ناباروری در بین مردان و زنان در سنین باروری رو به افزایش بوده است. در حال حاضر سازمان بهداشت جهانی بیماری ناباروری را به رسمیت شناخته و به‌عنوان یک موضوع بهداشت عمومی قابل توجه در سراسر جهان و به یک چالش جدی در حوزه سلامت تبدیل شده است. اعتقاد بر این است که تقریباً ۱۵ تا ۳۰ درصد زوج‌ها با مشکل ناباروری غیر قابل توضیح مواجه‌اند [۱۶]، بدون شک سبک زندگی و کیفیت محیط و آلاینده‌های محیط می‌تواند

۱. مرگ زورون‌ها مهم‌ترین مشخصه این بیماری است.

۲. میکروفلور اشاره به اجتماع باکتری‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها در اکوسیستم دارد.

۳. در ماتیت (التهاب پوست) اتوپیک یک بیماری مزمن پوستی است. اتوپیک بیان‌کننده تمایل ارثی برای ایجاد در ماتیت، آسم و تب یونجه (یک بیماری حساسیتی) است. در ماتیت به معنی قرمزی و خارش پوست است.

#### 4. Liver Fibrosis

۵. رینیت به انگلیسی: Rhinitis یا التهاب مخاط بینی اصطلاحی در پزشکی به مفهوم تحریک‌شدگی و در نهایت، التهاب غشای مخاطی داخل بینی است. علائم این بیماری، گرفتگی بینی، آبریزش بینی و ترشحات بعد از آن است.



نقش مهمی در این زمینه داشته باشد. برخی از موارد ناباروری ماهیت ناشناخته (ایدیوپاتیک)<sup>۱</sup> دارند و ممکن است ناشی از قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های شیمیایی در محیط‌های آزاد، خانگی و شغلی باشند. همچنین نتایج مطالعه بین‌المللی درباره بررسی خطر آلودگی هوا بر جمعیت نشان داد که زنانی که یک سال در معرض آلودگی ذرات کوچک با غلظت بیش از ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده‌اند دارای ۲۰ درصد خطر ناباروری بیشتری هستند. گرچه ناباروری، میلیون‌ها انسان را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما تحقیقات نسبتاً اندکی در مورد تأثیر آلودگی هوا روی ناباروری انجام شده است.

هوای آلوده در حال حاضر به‌عنوان یکی از عوامل تولد زودرس و وزن کم نوزاد در هنگام تولد شناخته می‌شود. مکانیزم‌هایی که این آلاینده‌ها بر ناباروری مؤثر بوده است (به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم) مثل اثر بر غدد درون‌ریز، سقط جنین، ناباروری اولیه و ثانویه، اثر بر سیستم ایمنی و تخریب و شکست DNA و سایر موارد دیگر معرفی شده است [۱۷]. در مطالعات مشخص شده است که ذرات معلق به‌صورت چشمگیری بر ناباروری، کاهش نرخ تولد زنده، سقط جنین و شکست در روش‌های القای بارداری (IVF) مؤثر است. کاهش نرخ باروری در خصوص مواجهه با آلودگی هوا و ذرات معلق هوا از طریق مکانیزم‌های مختلفی اتفاق می‌افتد. همچنین ذرات می‌توانند بر سیستم ایمنی اثر گذاشته و در جایی که آلاینده‌ها از طریق جفت به جنین منتقل می‌شوند منجر به آسیب جبران‌ناپذیر به جنین شده و یا باعث سقط شوند. مونوکسید کربن (CO) نیز در کاهش انتقال اکسیژن در عروق رحمی مشکل ایجاد کرده و باعث سقط می‌شود. در چندین مطالعه، ارتباط آماری معناداری بین CO و افزایش نرخ سقط جنین گزارش شده است. NO<sub>2</sub> نیز همانند سایر آلاینده‌های هوای آلوده می‌تواند در میزان سقط مؤثر باشد. سطح معمولی دی‌اکسید نیتروژن به همان اندازه که سیگار کشیدن باعث افزایش سقط جنین می‌شود، مضر است و ذرات آلودگی در جفت جنین‌ها مشاهده شده است. دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) نیز باعث کاهش سنتز DNA و ایجاد مشکلات کروموزومی می‌شود که در نتیجه می‌تواند با افزایش سقط جنین و ناباروری در ارتباط باشد. در مطالعه‌ای نشان داده شده است که خطر سقط جنین در جمعیت عمومی که در مواجهه با غلظت بالای NO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> و محصولات حاصل از احتراق زغال‌سنگ قرار داشتند به‌صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است [۱۸].

به‌طور کلی جوامع از طریق کاهش سطح آلاینده‌های هوای آلوده می‌توانند بار بیماری‌های مربوط به سکنه، بیماری‌های قلبی، سرطان ریه و تنفسی حاد و مزمن را کاهش دهند. پیامدها و منابع انتشار آلاینده‌های هوا بر سلامت به‌اختصار در جدول ۱ به تفکیک هر آلاینده بیان شده است.

۱. بیماری ایدیوپاتیک (Idiopathic)، نوعی بیماری است که بدون وابستگی به بیماری دیگر و بدون علت معلوم تولید می‌شود.

جدول ۱. پیامدها و منابع انتشار آلاینده‌ها بر سلامت انسان [۱۹]

منبع انتشار	تأثیر بهداشتی	بازه زمانی	استاندارد ملی*	آلاینده
این آلاینده ثانویه در اثر واکنش شیمیایی ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید تولید می‌شود.	کاهش عملکردیه و افزایش علائم تنفسی مانند سرفه، تنگی نفس، تشدید آسم و سایر بیماری‌های ریوی، افزایش استفاده از دارو، مراجعات و پذیرش بیمارستانی اورژانس و مرگ و میر زودرس	هشت ساعت		ازن ( $O_3$ )
		یک ساعت		۷۰ (ppb) ۱۳۴ (ppb)
ذرات معلق در اثر انتشار مستقیم و یا واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شوند. عمده‌ترین منابع انتشار این آلاینده شامل احتراق سوخت (مانند سوزاندن زغال سنگ و چوب) خودروها و ماشین‌آلات عمرانی دیزلی فاقد فیلتر دوده، فرایندهای صنعتی، کشاورزی و انتشار از جاده، خودروها، آگروز، لنت، لاستیک و... هستند.	مواجهه کوتاه مدت با این آلاینده می‌تواند به تشدید علائم بیماری‌های قلبی-ریوی و علائم تنفسی، افزایش نیاز به استفاده از دارو و پذیرش بیمارستانی منجر شود. مواجهه بلندمدت عامل مرگ و میر زودرس و تشدید بیماری‌های قلبی ریوی است.	روزانه سالانه	$35 (\mu g/m^3)$ $12 (\mu g/m^3)$	ذرات معلق (PM)
		روزانه سالانه <sup>۱</sup>	$150 (\mu g/m^3)$ -	
		تشدید بیماری‌های ریوی، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی، اورژانس و افزایش آسیب‌پذیری و استعداد ابتلا به عفونت‌های ریوی	روزانه (ماکزیمم ساعتی) سالانه	۱۰۰ (ppb) ۵۳ (ppb)

\*. حدود استاندارد مورد استفاده  
۱. آخرین استاندارد ( $m^3/\mu g$ ) ۲۰ بوده است.



منبع انتشار	تأثیر بهداشتی	بازه زمانی	استاندارد ملی*	آلاینده
احتراق سوخت (به خصوص در وسایل نقلیه موتوری فرسوده و فاقد فناوری حذف آلاینده‌ها)	کاهش اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها و اندام‌های مختلف بدن، تشدید بیماری‌های قلبی و درد قفسه سینه، افزایش مراجعات و پذیرش بیمارستانی	هشت ساعت یک ساعت	ppm (۹/۴) ppm (۳۵)	منواکسید کربن (CO)
احتراق سوخت (به ویژه سوخت‌های با گوگرد بالا) فرایندهای تولید برق و صنایع، منابع طبیعی مانند آتش فشان	تشدید آسم و افزایش علائم تنفسی، کمک به شکل‌گیری و تشدید علائم و آثار بیماری‌های ریوی	روزانه (ماکزیمم ساعتی) سالانه	۷۵ (ppb) -	دی‌اکسید گوگرد (SO <sub>2</sub> )

۱. آخرین استاندارد (ppb) ۷ بوده است.

\* حدود استاندارد مورد استفاده برای آلاینده‌های معیار در سال ۱۴۰۰.

## برآوردهای سازمان بهداشت جهانی در خصوص پیامدهای آلودگی هوا

سازمان بهداشت جهانی اعلام می‌دارد که بیش از ۳ میلیون نفر در اثر تنفس در فضای شهری سالیانه جان خود را از دست می‌دهند، تا جایی که اگر اقدامی نشود، این رقم تا ۲۰۵۰ میلادی دوبرابر می‌شود [۲۰] که اهمیت این موضوع در خصوص شهرهای بزرگی که در کشورهای در حال توسعه‌اند و همچنین در حال نقض کردن راهبردهای آلودگی هوا هستند، بیشتر خواهد بود.

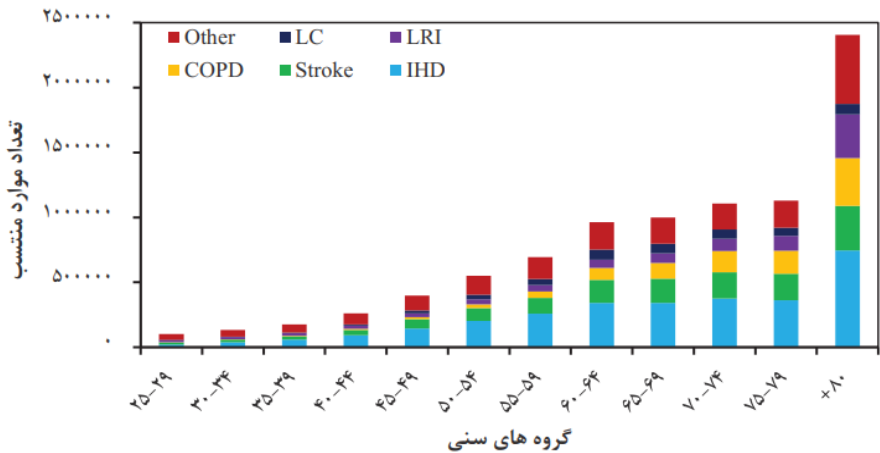
در پنج سال اخیر، آلودگی هوا ۸ درصد افزایش یافته است. براساس تخمین‌های سازمان بهداشت جهانی این آلودگی ۳ میلیون مرگ (نابالغ) را سالیانه رقم می‌زند که باعث شده آلودگی هوا یکی از بزرگ‌ترین خطرات برای سلامتی انسان‌ها به‌شمار آید. آمار آلودگی هوای شهری که از سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ سازمان بهداشت جهانی جمع‌آوری کرده، نشان می‌دهد ۹۸ درصد شهرهای با بیش از ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در کشورهایی با درآمد متوسط و پایین، راهبردهای سازمان بهداشت جهانی را رعایت نمی‌کنند. شهرهایی که بدترین کیفیت هوا را به‌لحاظ ذرات معلق ۱۰ میکرونی دارند، از میان سه‌هزار شهری که سازمان بهداشت جهانی آنها را بررسی کرده، آلوده‌ترین شهر «او نیوشا» در نیجریه است که ۳۰ برابر بیشتر از استاندارد، ذرات معلق ۱۰ میکرونی دارد. «پیشاور» پاکستان در رتبه دوم قرار گرفته و بعد از آن

«زابل» ایران به چشم می خورد<sup>۱</sup> [۲۱].

## تأثیرات بهداشتی - اقتصادی آلودگی هوا در جهان

مهم ترین آلاینده هوای آزاد که در تمام دنیا به منظور بیان کیفیت هوا به کار گرفته می شود ذرات معلق ریز ( $PM_{2.5}$ ) هستند که به عنوان شاخص مناسبی از وضعیت کیفیت هوا شناخته می شود. براساس مطالعه معتبر بین المللی منتشر شده در این زمینه توسط Burnett و همکاران در سال ۲۰۱۸، از بین علل مرگ های منتسب به آلودگی هوا، بیماری ایسکمیک قلبی (IHD)،<sup>۲</sup> سکته های مغزی (Stroke)،<sup>۳</sup> بیماری انسدادی مزمن ریه،<sup>۴</sup> سرطان ریه<sup>۴</sup> و عفونت دستگاه تنفسی تحتانی<sup>۵</sup> بیشترین میزان را به خود اختصاص داده اند. تعداد موارد مرگ منتسب به مواجهه بلندمدت با  $PM_{2.5}$  هوای آزاد در دنیا به تفکیک گروه های سنی و علت مرگ در نمودار ۱ آورده شده است [۱۵].

نمودار تعداد موارد مرگ منتسب به  $PM_{2.5}$  هوای آزاد در تمام دنیا به تفکیک علت مرگ و گروه های سنی [۱۵]



۱. این شهرها بیشتر در میان کشورهای آسیای شرقی و جنوب شرقی آسیا واقع شده اند. از میان این بیست شهر، چهار شهر در نیجریه، سه شهر در عربستان سعودی، سه شهر در هندوستان و دو شهر در ایران هستند.

2. Ischemic Heart Disease (IHD)

3. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)

4. Lung Cancer (LC)

5. Lower Respiratory Infection (LRI)



همچنین آلودگی هوا به دلیل ایجاد بیماری در انسان ممکن است پیامدهای زیان‌باری برای اقتصاد جهان داشته باشد. سازمان بهداشت جهانی هشدار داده است که افزایش بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا پیامدهای مالی و زیان‌های اقتصادی فراوانی را بر سازمان‌ها، برنامه‌های سلامتی دولت‌ها و خود افراد تحمیل می‌کند. غیبت از مدرسه یا تعطیلی مدارس به علت آلودگی هوا افراد را از فرصت‌های آموزشی محروم می‌کند. آلودگی هوا هزینه‌هایی را بر زندگی مردم تحمیل می‌کند که از جمله آن به کاهش سلامتی و طول عمر افراد، کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌های بهداشتی درمانی، عدم استفاده کامل از منابع و امکانات اقتصادی ایجاد شده، افزایش هزینه‌های دولت جهت کنترل آلودگی می‌توان اشاره کرد. مطالعات پژوهشگران در شهر بارسلون نشان داده است که در صورت رسیدن غلظت PM-10 سالیانه به مقدار استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، حدود ۱۶۰۰ یورو به‌ازای هر نفر صرفه‌جویی اقتصادی خواهد داشت [۲۲]. سازمان بهداشت جهانی برآورد کرده که هزینه سالیانه صرف شده برای بخش سلامت و بهداشت بر اثر آلودگی هوا در اتریش، فرانسه و سوئیس حدود ۳۰ میلیارد پوند است [۲۳]. همچنین با استفاده از اطلاعات مربوط به مراقبت‌های سرپایی برای بیماری‌های تنفسی از داده‌های بیمه سلامت جهانی در تایوان طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲، برآورد‌ها نشان می‌دهد که کاهش یک واحدی در شاخص کیفیت هوا (AQI) به ۲/۳ میلیارد دلار صرفه‌جویی در هزینه‌های سرپایی مربوط به تنفس در سال منجر می‌شود. با توجه به اینکه میانگین شاخص کیفیت هوا در طول دوره مطالعه برابر با ۳۲ بود، حذف کامل آلودگی هوا باعث کاهش تقریباً ۸ درصدی هزینه بهداشت ملی در سال می‌شود. نتایج مطالعه، این مفهوم مهم را ارائه می‌دهد که هزینه کنترل انتشار آلاینده‌های هوا را می‌توان با کاهش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی جبران کرد [۲۴]. علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که آلودگی هوا به‌طور تصاعدی بر هزینه‌های بهداشتی تأثیر می‌گذارد [۲۵].

## تأثیرات آلودگی هوا بر سلامت جامعه در ایران

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی در خصوص کیفیت هوا در سال ۲۰۲۲ [۲۶] در بین ۱۳۱ کشور جهان که به ایستگاه سنجش این آلاینده مجهز هستند، ایران از منظر آلاینده  $PM_{2.5}$  با میانگین غلظت سالیانه ۳۲/۵ میکروگرم بر مترمکعب در رتبه ۲۱ آلودگی قرار دارد. این در حالی است که براساس گزارش کیفیت هوای جهانی سال ۲۰۲۰ در بین ۱۰۶ کشور جهان (که مجهز به ایستگاه سنجش این آلاینده هستند)، کشورمان از منظر آلاینده  $PM_{2.5}$  با میانگین غلظت سالیانه ۲۷/۲ میکروگرم بر مترمکعب در رتبه ۲۳ آلودگی قرار دارد و در نسخه ۲۰۱۹ این گزارش، ایران با میانگین غلظت ۲۴/۳ میکروگرم بر مترمکعب در رتبه ۲۷ قرار داشت. از بین ۹۲ پایتخت جهان که به سیستم پایش آلاینده  $PM_{2.5}$  مجهز

هستند، شهر تهران با میانگین غلظت سالیانه ۲۹ میکروگرم بر مترمکعب جایگاه نوزدهم آلودگی را کسب کرده است. سه کلان شهر دهلی در هند، داکا در بنگلادش و اولان باتور در مغولستان در رتبه اول تا سوم آلوده ترین پایتخت های جهان قرار دارند.

جدول ۲. میانگین غلظت سالیانه  $PM_{2.5}$  و رتبه ایران براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی [۲۶]

رتبه	غلظت سالیانه (میکروگرم بر مترمکعب)	سال
۲۷	۲۴/۳	۲۰۱۹
۲۳	۲۷/۲	۲۰۲۰
۲۱	۲۳/۵	۲۰۲۲

در گزارشی که وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در سال ۱۴۰۰ تهیه کرد، میانگین تعداد مرگ کل منتسب به مواجهه طولانی مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  صرفاً در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال در شهرهای مورد مطالعه همان سال، ۲۰۸۳۷ نفر است.

نتایج نشان می دهد، در سال ۱۴۰۰ به طور میانگین جزء مرگ کل منتسب به ذرات معلق در کشور برابر با ۱۲/۵۹ درصد است. براساس این گزارش تعداد مرگ و میر کل (همه علل) در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال منتسب به آلاینده  $PM_{2.5}$  طی سال ۱۴۰۰ در شهر تهران به طور میانگین ۶۳۹۸ نفر است. برآورد می شود که با احتساب پدیده ریزگردها، جمعیتی بالغ بر ۳۵ میلیون نفر، یعنی حدود نیمی از جمعیت کل کشور در معرض در جاتی از آلودگی هوا قرار دارند. این مشکل نه تنها سلامت مردم را به خطر می اندازد، بلکه به علت افزایش نیاز به خدمات مراقبتی، بهداشتی و فوریت های پزشکی که برای جمعیت تحت تأثیر انجام می شود، هزینه های زیادی را بر حوزه سلامت تحمیل خواهد کرد.

براساس گزارش وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در سال ۱۴۰۰، کل هزینه های مرتبط با مرگ و میر ناشی از همه علل منتسب به  $PM_{2.5}$  در کشور طی سال ۱۴۰۰ برابر ۱/۳ میلیارد دلار برآورد شده است. کل هزینه های مرتبط با مرگ و میر ناشی از همه علل منتسب به  $PM_{2.5}$  در سال ۱۴۰۰ در شهر تهران به طور میانگین برابر با ۳۴۰۰/۶۷ میلیون دلار (سه میلیارد و چهارصد میلیون دلار) است.

نکته کلیدی این میزان خسارت بالا، آن است که در صورتی که این مبلغ به جای هزینه کرد برای درمان و

خسارت‌های وارده، در جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها استفاده شود، علاوه بر کنترل پیامدهای مرگ و بیماری منتسب، به بهبود کیفیت زندگی به شکل پایدار و اصولی منجر خواهد شد.

جدول ۳. برآورد تعداد مرگ کل، مرگ به علت بیماری‌های انسداد ریوی، سرطان ریه، بیماری‌های ایسکمیک قلبی و مرگ به علت سکته مغزی منتسب به  $PM_{2.5}$  شهر تهران در سال ۱۴۰۰ [۲۷]

تعداد میانگین (نفر)	میانگین غلظت سالیانه (میکروگرم بر مترمکعب)	جمعیت	پیامد بهداشتی
۶۳۹۸	۳۰/۹۹	۷۲۵,۲۸۰,۹	مرگ کل (همه علل)
۱۲۰			مرگ به علت بیماری‌های انسداد ریوی
۱۶۱			مرگ به علت سرطان
۱۳۲۲			مرگ به علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی
۶۶۶			مرگ به علت سکته مغزی

## تأثیرات بهداشتی آلودگی هوا در ایران

در سال ۱۴۰۰ میانگین سالیانه غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در شهرهای مورد مطالعه (تهران، اهواز، مشهد، تبریز، شیراز، اصفهان، ایلام، سنندج، همدان، خرم‌آباد، اراک، کرج، کرمانشاه، آبادان، شهرکرد، یزد، ارومیه، کرمان، قزوین، بیرجند، قم، زابل، بجنورد، زنجان، بوشهر، اردبیل و زاهدان) بیش از ۶ برابر استاندارد سازمان جهانی بهداشت و بیش از ۲/۵ برابر استاندارد ملی بوده است. بالاترین و پایین‌ترین میانگین غلظت سالیانه ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در سال ۱۴۰۰ به ترتیب مربوط به شهرهای زابل و اردبیل است و در شهر تهران ( $30/99 \pm 13/16$ ) میکروگرم بر مترمکعب است. در سال ۱۴۰۰ به‌طور میانگین ۲۴۲ روز میانگین غلظت روزانه ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در شهرهای مذکور بالاتر از استاندارد روزانه سازمان جهانی بهداشت بوده است که بالاترین تعداد روزها مربوط به مشهد با ۳۵۷ روز طی سال ۱۴۰۰ است. در تهران در سال ۱۴۰۰، ۳۵۵ روز میانگین غلظت روزانه ذرات معلق  $PM_{2.5}$  بالاتر از استاندارد روزانه سازمان جهانی بهداشت بوده است.

طی سال ۱۴۰۰ در شهرهای مورد مطالعه ایران تقریباً ۱۶/۷ درصد از روزهای سال شاخص کیفیت هوا

ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در محدوده هوای خوب (پاک)،  $62/6$  درصد در محدوده هوای قابل قبول،  $16/5$  درصد در محدوده هوای ناسالم برای گروه‌های حساس،  $3/4$  درصد در محدوده هوای ناسالم برای همه گروه‌ها،  $0/4$  درصد در محدوده هوای خیلی ناسالم،  $0/4$  درصد در محدوده هوای خطرناک است که نسبت به سال  $1399$  تعداد روزهای دارای هوای خوب حدود  $5$  درصد کاهش یافته است. بیشترین تعداد روز هوای خوب مربوط به شهر اردبیل ( $297$  روز) است. شهرهای تهران، مشهد، اهواز، اصفهان و کرج دارای کمترین  $10$  روز هوای خوب در سال  $1400$  بوده‌اند. بیشترین تعداد روزهای هوای خطرناک در سال  $1400$  مربوط به شهر زابل ( $15$  روز) بوده است.

با توجه به نتایج گزارش‌های کمی‌سازی منتشر شده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی طی سال‌های  $1395$ ،  $1396$ ،  $1397$ ،  $1398$ ،  $1399$  و  $1400$  به ترتیب به‌طور میانگین  $7/67$ ،  $7/0$ ،  $8/0$  و  $12/59$  درصد از مرگ‌های طبیعی منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در شهرهای مورد مطالعه با جمعیت تقریبی  $35$  میلیون نفر است. با توجه به کاهش غلظت ذرات معلق طی سال‌های  $1395$  تا  $1398$ ، درصد مرگ‌های منتسب نیز به مقدار جزئی کاهش یافته است. اما این روند در سال  $1399$  و  $1400$  متوقف و افزایشی شده است. طی سال‌های  $1395$ ،  $1396$ ،  $1397$ ،  $1398$ ،  $1399$  و  $1400$  به ترتیب به‌طور میانگین  $16/3$ ،  $15/8$ ،  $14/7$ ،  $13/97$ ،  $14/28$  و  $14/93$  درصد از مرگ‌ها به‌علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی (سکته قلبی) منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در شهرهای مورد مطالعه است. در سال‌های  $1395$  تا  $1400$  به ترتیب به‌طور میانگین  $16/05$ ،  $15/37$ ،  $14/85$ ،  $13/87$ ،  $14/34$  و  $14/6$  درصد از مرگ‌ها به‌علت سکته مغزی منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  است. طی سال‌های  $1395$ ،  $1396$ ،  $1397$ ،  $1398$ ،  $1399$  و  $1400$  به ترتیب به‌طور میانگین  $10/97$ ،  $9/19$ ،  $7/99$ ،  $9/39$  و  $14/89$  درصد از مرگ‌ها به‌علت سرطان ریه منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  است. طی سال‌های  $1395$ ،  $1396$ ،  $1397$ ،  $1398$ ،  $1399$  و  $1400$  به ترتیب به‌طور میانگین  $13/09$ ،  $11/12$ ،  $9/99$ ،  $11/9$  و  $11/49$  درصد از مرگ‌ها به‌علت بیماری‌های مزمن انسداد ریوی منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق  $PM_{2.5}$  است.



جدول ۴. درصد مرگ کل، مرگ به علت بیماری‌های انسداد ریوی، سرطان ریه، بیماری‌های ایسکمیک قلبی و مرگ به علت سکته مغزی منتسب به  $PM_{2.5}$  در شهرهای مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰ [۲۷]

سال	مرگ کل	مرگ به علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی	مرگ به علت سکته مغزی	مرگ به علت سرطان ریه	مرگ به علت بیماری‌های انسداد ریوی
۱۳۹۵	۹/۳۶	۱۶/۳	۱۶/۰۵	۱۱/۹	۱۴/۱۲
۱۳۹۶	۸/۸۹	۱۵/۸	۱۵/۳۷	۱۰/۹۷	۱۳/۰۹
۱۳۹۷	۷/۶۷	۱۴/۷	۱۴/۸۵	۹/۱۹	۱۱/۱۲
۱۳۹۸	۷	۱۳/۹۷	۱۳/۸۷	۷/۹۹	۹/۹۹
۱۳۹۹	۸	۱۴/۲۸	۱۴/۳۴	۹/۳۹	۱۱/۹
۱۴۰۰	۱۲/۵۹	۱۴/۹۳	۱۴/۶	۱۴/۸۹	۱۱/۴۹

## خسارات اقتصادی ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ایران

در سال ۱۴۰۰ در مجموع هزینه مرتبط با مرگ و میر ناشی از همه علل منتسب به ذرات معلق  $PM_{2.5}$  برابر با ۱۱/۳ میلیارد دلار (معادل ۳۱۳ هزار میلیارد تومان) برآورد شد. این مقدار نسبت به سال ۱۳۹۹ بیش از ۹۰ درصد افزایش یافته است. طی سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ هزینه‌های فوق به ترتیب برابر با ۵/۲، ۴/۴، ۴/۰، ۳/۸، ۴/۳ و ۸/۱۷ میلیارد دلار برآورد شده بود.

در مطالعه‌ای که بانک جهانی انجام داده است، مجموع هزینه‌های رفاه و مجموع هزینه‌های کار ترک شده منتسب به آلودگی هوا در ایران به ترتیب ۵۹۹، ۳۰ و ۱۴۷۱ میلیون دلار برآورد شده است [۲۸]. منطق محاسباتی خسارات اقتصادی محاسبه شده در این مطالعه با منطق مجموع هزینه‌های رفاه و مجموع هزینه‌های کار ترک شده که بانک جهانی ارائه داده متفاوت است، بنابراین این اعداد رانمی‌توان با یکدیگر مقایسه کرد اما در مجموع چنانکه مشاهده می‌شود هزینه بسیار بالایی بر اثر مواجهه با آلودگی هوا بر جامعه ایران تحمیل می‌شود. این میزان هزینه در سال ۱۴۰۰ (۸/۱۷ میلیارد دلار) را می‌توان با کاهش غلظت‌های آلاینده‌ها به خصوص ذرات  $PM_{2.5}$  کاهش داد. اگر چه طرح‌ها و اقدام‌های مرتبط با کاهش غلظت آلودگی هوا هزینه‌بر هستند اما هزینه کوتاه‌مدت از طریق پیشگیری از مرگ‌های زودرس و هزینه‌های مرتبط با آن قابل جبران شدن است.

آلودگی هوا علاوه بر تأثیر مستقیم بر سلامت انسان، به صورت غیر مستقیم نیز بر سلامت افراد و اقتصاد کشورها اثر منفی می گذارد. از تخریب عملکرد اکوسیستم های طبیعی و کاهش محصولات کشاورزی و باران های اسیدی گرفته تا آسیب بر رقابت اقتصادی و توانایی رشد شهرها برای جذب و حفظ استعدادهای برتر. پیامدهای غیرمرگبار آلودگی هوا، کمتر از ۱۰ درصد هزینه های مرگ زودرس تخمین زده می شود. مطابق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۶ مرگومیر ناشی از آلودگی هوا و تبعات آن در ایران طی دو دهه گذشته از میزان ۱۷ هزار نفر در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲۱ هزار نفر در سال ۲۰۱۳ رسیده است. تبعات اقتصادی این معضل نیز در سال ۲۰۱۳ از روش تمایل به پرداخت معادل ۵۹۹،۳۰ میلیارد دلار (۲/۴۸ درصد تولید ناخالص داخلی) و از روش درآمد دست رفته برابر ۱/۴۷۱ میلیارد دلار (۰/۱۲ درصد تولید ناخالص داخلی) به کشور خسارت وارد کرده است [۲۸].

## نتیجه گیری



نتایج بررسی مطالعات مرتبط با کیفیت هوا و آثار آلودگی هوا بر سلامت در ایران و سایر کشورها بیانگر نقش بسیار قابل ملاحظه این عامل خطر در ایجاد و بار بیماری های غیرواگیر است. براساس شواهد، نوسانات کوتاه مدت آلودگی هوا تأثیری منفی بر سلامت همه افراد جامعه دارد. این تأثیر و شدت ارتباط آن با بیماری های قلبی-تنفسی و سکنه مغزی نگران کننده است، به طوری که افزایش نرخ شیوع مرگومیر افراد را در پی داشته است و هر ساله، ده ها هزار مرگ ناگهانی قلبی، مرتبط با آلودگی هوا گزارش شده است. علاوه بر اینها مطالعات انجام شده نشان داده اند که آلاینده های هوا مانند ذرات معلق هوا (PM)، منواکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ازن (O<sub>3</sub>) از طریق مکانیزم های مختلفی باعث ناباروری می شوند. همچنین آلاینده های آلی فرار (VOCs) و فلزات سنگین موجود در ذرات معلق نیز باعث ناباروری می شود. پیامدهای ناشی از آلودگی هوا نه تنها سلامت مردم را به خطر می اندازد، بلکه به علت افزایش نیاز به خدمات مراقبتی، بهداشتی و فوریت های پزشکی که برای جمعیت تحت تأثیر انجام می شود، هزینه های سرباری را نیز بر حوزه سلامت تحمیل می کند. همان گونه که مشاهده شد در گزارش منتشر شده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در راستای ماده (۲۲) آیین نامه فنی ماده (۲) قانون هوای پاک، در سال ۱۴۰۰ در مجموع هزینه مرتبط با مرگومیر ناشی از همه علل منتسب به ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> برابر با ۸/۱۷ میلیارد دلار (معادل ۲۲۷ هزار میلیارد تومان) برآورد شد. این مقدار نسبت به سال ۱۳۹۹ بیش از ۹۰ درصد افزایش یافته است. طی سال های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ هزینه های فوق به ترتیب برابر با ۵/۲، ۴/۴، ۳/۸، ۴/۳ و ۸/۱۷



میلیارد دلار برآورد شده بود. با توجه به این ارقام و اهمیت مقوله جمعیت در اقتدار ملی و تأکید مقام معظم رهبری (مدظله العالی) در سیاست‌های کلی جمعیت، از این رو برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های علمی و عملی در این باره یک نیاز حیاتی در ایران و بسیاری از کشورهای 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 به زندگی و کیفیت زندگی را در کشور افزایش داد. به‌طور کلی جوامع از طریق کاهش سطح آلاینده‌های هوا می‌توانند بار بیماری‌های مربوط به سکنه، قلبی، سرطان ریه و بیماری‌های تنفسی حاد و مزمن را کاهش دهند. اگرچه در این راستا اقدام‌هایی در کشور انجام شده ولی موفقیت‌های اندکی به‌دست آمده است. برای مثال از قانون برنامه دوم توسعه به این طرف کاهش آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی کشور مورد توجه دولت و مجلس بوده است. در این دوره حدوداً سی ساله، دولت برنامه‌های متعددی تحت عناوین مختلف طراحی و به اجرا گذاشته است که تاکنون به همه راهکارهای نظری این برنامه‌ها (که در کاهش آلودگی هوا مؤثرند) به یک اندازه پرداخته شده و راهکارهای ارائه شده در برنامه‌ها در حقیقت فاقد اولویت‌بندی براساس هزینه‌اثربخشی<sup>۱</sup> بوده است. اکنون زمان آن فرارسیده است که به جای پرداختن به همه مؤلفه‌ها و محورهایی که به‌طور نظری بر کاهش آلودگی هوا مؤثرند براساس مطالعه هزینه‌اثربخشی توان اقتصادی کشور بر محورهایی متمرکز شود که اثربخشی بیشتری دارند (برای مثال توسعه حمل‌ونقل عمومی پاک و خارج کردن خودروهای فرسوده از چرخه استفاده شاید محورهایی باشند که سرمایه‌گذاری روی آنها نتیجه‌بخش و مؤثر باشد)، البته انتخاب محورهای دارای اولویت باید براساس مطالعه و بررسی انجام شود. بنابراین برای دستیابی به نتیجه مطلوب و روند سریع‌تر، برخی از مهم‌ترین پیشنهادها به شرح زیر است: گزارش ارائه شده وزارت بهداشت صرفاً به  $PM_{2.5}$  پرداخته است. اگرچه مهم‌ترین آلاینده هوای آزاد که در تمام دنیا به‌منظور بیان کیفیت هوا به کار گرفته می‌شود ذرات معلق ریز ( $PM_{2.5}$ ) هستند اما با توجه به فعالیت صنایع مختلف در کشور و غلظت بالای سایر آلاینده‌ها، آلاینده‌های بسیار خطرناک دیگر هم می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. از این رو نصب تجهیزات پایش و تهیه گزارش‌هایی در زمینه‌های مرتبط می‌تواند مفید باشد.

در خصوص میزان خسارات ناشی از تعطیلی مدارس و ادارات به‌دلیل آلودگی هوا و تأثیرات آن بر سلامت دانش‌آموزان به‌عنوان سرمایه‌های کشور تاکنون گزارش مستدل و جامعی در کشور تهیه نشده است و برای این منظور نیاز به انجام یک مطالعه پژوهشی همه‌جانبه‌نگر وجود دارد.

آلودگی هوا علاوه بر آثار منفی بر سلامت جسم انسان می‌تواند باعث ایجاد آثار روانی و به‌دنبال آن آسیب‌های اجتماعی شود. بنابراین با توجه به اهمیت بالای این موضوع، این آسیب نیز باید مورد توجه

1. Cost/Effectiveness

و بررسی وزارت بهداشت قرار گیرد و بر آوردی از آثار روانی و آسیب‌های اجتماعی ناشی از آلودگی هوا داشته باشند.

پیشنهاد‌های اجرایی در راستای کنترل آلودگی هوا و کاهش پیامدهای آن برای سلامت اهداف کمی برای برنامه‌های جامع کاهش آلودگی هوا تعیین گردد.

برای همه برنامه‌های جامع کاهش آلودگی هوا و نیز برنامه‌های اجرایی مرتبط، اهداف کمی مشخص و سنجش پذیر تعیین شود تا بتوان میزان اجرای برنامه‌ها و میزان دستیابی به اهداف را به دقت پایش کرد. این اهداف باید به گونه‌ای تعیین و تعریف شود که با مسئولیت‌ها، اهداف سازمانی و اولویت‌های سازمان متولی و درگیر همخوان و همسو باشد.

لازم است شواهدی مرتبط با سهم‌بندی منابع انتشار و فهرست انتشار آلاینده‌های هوا تهیه شود.

ضروری است که سهم‌بندی منابع انتشار و فهرست انتشار آلاینده‌های هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی کشور بر اساس اصول معتبر علمی همچون تکنیک‌های انگشت‌نگاری شیمیایی، مدل‌های (CMB، PCA و PMF)، تهیه و مبنای تدوین برنامه و اولویت‌بندی محورهای آن قرار گیرد. مطالعات سهم‌بندی منابع انتشار و تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های هوا نباید جزئی از برنامه جامع کاهش آلودگی هوا باشد، بلکه برنامه جامع کاهش آلودگی هوا باید بر مبنای شواهد علمی منتج از آنها تدوین شود.

دولت مکلف است با همکاری وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نسبت به بازنگری استانداردهای ملی هوای پاک اقدام کند.

استانداردهای هوای پاک در سال ۱۳۸۸ بر پایه راهنمای سازمان بهداشت جهانی، با تصویب هیئت وزیران برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ تعیین و ابلاغ شد، اما ابقا یا تغییر این استانداردها برای سال‌های بعد از آن به نوعی با عدم توافق سازمان‌های دولتی مرتبط مواجه شد. بنابراین فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران توصیه می‌کند که استانداردهای کیفیت هوا با هدف ارتقای سلامت مردم و با توجه به رویکرد استانداردهای جهانی کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۲۱ در نظر گرفته شود. اطلاع‌رسانی در خصوص شاخص کیفیت هوا<sup>۱</sup> باید با مسئولیت و زیر نظر وزارت بهداشت انجام شود و سازمان‌های دیگر نباید دخالت کنند.

در بسیاری از روزهای سال کیفیت هوای شهرهای بزرگ کشور در وضعیت ناسالم قرار می‌گیرد و اطلاع‌رسانی درباره کیفیت هوا از طریق سازمان‌های مختلف با تعابیر نادرست انجام می‌شود و این گونه اطلاع‌رسانی، مردم را دچار نوعی سردرگمی و بلا تکلیفی می‌کند. بنابراین، اطلاع‌رسانی در این زمینه باید با مسئولیت و زیر نظر وزارت بهداشت انجام شود و سازمان‌های دیگر نباید دخالت کنند.

## 1. Air Quality Index



نظام شناسایی، مراقبت، پایش و گزارش دهی بیماری‌های مرتبط با کیفیت هوای استنشاقی در کشور ایجاد شود.

بیماری‌های منتسب با کیفیت هوای استنشاقی در کشور در سامانه‌های اطلاعاتی یکپارچه مرتبط با نظام سلامت نشان‌دار شوند.

## منابع و مأخذ



1. Neira M ,Prüss-Ustün A ,Mudu P .Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action .TheLancet.1178-79 :(10154)392 ;2018 .
2. WHO .Ambient) outdoor (air Quality and Health .World Health Organization] 2018 ;cited 2019 Feb9 .[Available from :https://:www.who.int/news-room /fact-sheets/detail/ambient)-outdoor-(air-quality-andhealth.
3. Smith RL ,Davis JM ,Sacks J ,Speckman P ,Styer P .Regression Models for Air Pollution and Daily Mortality :Analysis of Data from Birmingham, Alabama .Environmetrics.719-743 :(6)11 ;2000
4. Anderson ML .As the Wind Blows :The Effects of Long-Term Exposure to Air Pollution on Mortality .Cambridge ,NBER Working Paper No.21578 . .2015
5. Samet JM ,Dominici F ,Curriero FC ,Coursac I ,Zeger SL .Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities .1994–1987 ,N Engl J Med;2000 . .1742-1749 :(24)343
6. Brook RD ,Franklin B ,Cascio W ,Hong Y ,Howard G ,Lipsett M ,et al .Air Pollution and Cardiovascular Disease a Statement for Healthcare Professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association .Circulation.2655-26571 :(21)109 ;2004
7. Schwartz J .Air Pollution and Blood Markers of Cardiovascular Risk. Environmental Health Perspectives) 109 ;2001 Suppl.405-409 :(3
8. FrutosV ,M .González-Comadrán ,I .Solà ,B .Jacquemin ,R .Carreras, M.A .Checa Vizcaíno Impact of Air Pollution on Fertility :A Systematic Review Gynecol Endocrinol ,(2015) 31 ,pp.7-13 .

8. Mahalingaiah S ,J.E .Hart ,F .Laden ,L.V .Farland ,M.M .Hewlett ,J. Chavarro ,et al .Adult Air Pollution Exposure and Risk of Infertility in the Nurses ‘Health Study II Hum Reprod ,(2016) 31 ,pp.638-647
10. Nieuwenhuijsen M.J ,X .Basagaña ,P .Dadvand ,D .Martinez ,M .Cirach, R .Beelen ,et al .Air pollution and human fertility rates Environ Int70 , ,(2014)pp.9-14 .
11. <https://www.healthdata.org/gbd/publications>.
12. <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>.
۱۳. مجلس شورای اسلامی، قانون هوای پاک، ۱۳۹۶.
14. Direkvand-Moghadam A ,Khosravi A ,Sayehmiri K.Predictive factors for Preeclampsia in Pregnant Women :A Receiver Operation Character.
15. Burnett R ,Chen H ,Szyszkowicz M ,Fann N ,Hubbell B ,Pope CA ,et al .Global Estimates of Mortality Associated With Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter .Proceedings of the National Academy of Sciences.9592-9597 :(38)115;2018 .
16. Glinianaia SV ,Rankin J ,Bell R ,Pless-Mulloli T ,Howel D .Particulate Air Pollution and Fetal Health :A Systematic Review of the Epidemiologic Evidence .Epidemiology 2004 Jan.36-45 :(1)15;
17. Suh YJ ,Kim H ,Seo JH ,Park H ,Kim YJ ,Hong YC ,et al .Different Effects of PM10 Exposure on Preterm Birth by Gestational Period Estimated from Time-Dependent Survival Analyses .Int Arch Occup Environ Health 2009Apr.613-621 :(5)82;
18. Wilhelm M ,Ritz B .Local Variations in CO and Particulate Air Pollution and Adverse Birth Outcomes in Los Angeles County ,California ,USA. Environ Health Perspect 2005 Sep.1212-1221:(9)113;
۱۹. شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۴۰۰.
20. <https://www.who.int/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>. approach. Arch Med Sci. 2013: 30;9(4):684-9.
21. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database/2022>.
22. In’t Veld, M., Alastuey, A., Pandolfi, M., Amato, F., Perez, N., Reche, C.,... & Querol, X. Compositional Changes of PM2. 5 in NE Spain During

- 2009–2018: A Trend Analysis of the Chemical Composition and Source Apportionment. *Science of the Total Environment*, 2021, 795, 148728.
23. <https://www.who.int/europe/news/item/28-04-2015-air-pollution-costs-european-economies-us-1-6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths-new-who-study-says>
24. Liu, Y. M., & Ao, C. K. Effect of Air Pollution on Health Care Expenditure: Evidence from Respiratory Diseases. *Health Economics*, 2021, 30(4), 858-875.
25. Chen, F., & Chen, Z. Cost of Economic Growth: Air Pollution and Health Expenditure. *Science of the Total Environment*, 2021, 755, 142543.
26. <https://www.who.int/publications/m/item/who-air-quality-database-2022>.
۲۷. وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، ۱۴۰۰.
28. World Bank .Iran—Energy :Environment Review Policy Note. Washington ,DC.2016 .





مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، روبروی بازار نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۵۵۵ پست الکترونیک: [mrc@majles.ir](mailto:mrc@majles.ir)

وبسایت: [rc@majles.ir](http://rc@majles.ir)