

پیامدها و هزینه‌های آلودگی هوا در ایران



مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۲۰۶۷۶

کد موضوعی: ۲۵۰

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: پیامدها و هزینه‌های آلودگی هوا در ایران

نوع گزارش: طرح/ لایحه □، نظارتی ■، راهبردی □، پیش نویس قانونی □

نام دفتر: مطالعات زیربنایی (گروه محیط زیست)

تهیه و تدوین کنندگان: رضا بیات (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران)، مسعود رضایی، الهه

سلیمانی مورچه خورتی (گروه محیط زیست)

مدیر مطالعه: الهه سلیمانی مورچه خورتی

اظهار نظر کنندگان: محمد بختیاری، فاطمه قویدل (دفتر مطالعات اجتماعی)

ناظران علمی: محمدحسن معادی رودسری، حبیب‌اله ظفریان ریگی

ناظران علمی خارج از مرکز: محمدصادق حسونند (رئیس مرکز تحقیقات آلودگی هوا دانشگاه

علوم پزشکی تهران)، عباس شاهسونی (رئیس گروه سلامت هوا و تغییر اقلیم وزارت بهداشت، درمان

و آموزش پزشکی)

صفحه آرایشی: حمیده سادات وفایی

ویراستار ادبی: زهره عطاردی

واژه‌های کلیدی:

۱. آلودگی هوا

۲. پیامدهای بهداشتی و اقتصادی آلودگی هوا



تاریخ شروع مطالعه: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۲/۱۵

به نام خدا فهرست مطالب

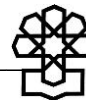
۱	چکیده
۱	خلاصه مدیریتی
۴	۱. مقدمه
۶	۲. پیشینه موضوع
۶	۱-۲. پیشینه مطالعاتی در مرکز
۷	۲-۲. پیشینه تقنینی
۷	۳. پیامدهای آلودگی هوا در ایران
۷	۱-۳. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت جامعه و هزینه‌های مرتبط
۱۹	۲-۳. سایر پیامدهای اقتصادی
۲۱	۳-۳. پیامدهای اجتماعی و فرهنگی
۲۴	۴-۳. پیامدهای محیط زیستی
۲۵	۴. جمع‌بندی و پیشنهادها
۲۹	منابع و مآخذ

فهرست جداول

۱۴	جدول ۱. برآورد پیامدهای بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به $PM_{2.5}$ کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۹
۱۵	جدول ۲. جزء مرگ منتسب به آلودگی هوا در شهرهای منتخب کشور در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲
۱۹	جدول ۳. مقایسه برآورد آثار بهداشتی و خسارات آلودگی هوا بر سلامت در ایران مستخرج از مطالعات مختلف

فهرست شکل‌ها

۶	شکل ۱. نمودار مقایسه میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ طی دهه اخیر در کشور و کلان‌شهر تهران با استاندارد ملی و رهنمود سازمان جهانی بهداشت
۸	شکل ۲. برخی پیامدهای بالقوه آلودگی هوا بر سلامت
۹	شکل ۳. تقسیم‌بندی هزینه‌ها در مطالعات بار اقتصادی بیماری‌ها
۱۲	شکل ۴. نمودار جزء مرگ منتسب به آلودگی هوا ناشی از بیماری‌های مختلف در جهان در سال ۲۰۱۹
۱۳	شکل ۵. نمودار خسارات سلامتی ناشی از مواجهه با $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۹ براساس منطقه
۱۶	شکل ۶. میانگین تعداد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در شهرهای منتخب کشور در ۱۴۰۲
۱۷	شکل ۷. میانگین تعداد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت
۱۷	شکل ۸. نرخ مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوای آزاد ایران
۲۲	شکل ۹. توزیع مکانی نرخ مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر برای گروه سنی بالای ۲۵ سال جمعیت در محلات تهران طی سال ۱۴۰۱
۲۶	شکل ۱۰. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی و بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی



پیامدها و هزینه‌های آلودگی هوا در ایران

چکیده

آلودگی هوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی عصر حاضر، آثار مخربی بر سلامت، اقتصاد و محیط زیست دارد. این پژوهش با هدف بررسی جامع پیامدهای سلامتی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آلودگی هوا انجام شده است. طبق ارزیابی وزارت بهداشت در سال ۱۴۰۲ برای ۵۷ شهر با مجموع جمعیت تقریبی ۴۸ میلیون نفر، تعداد ۳۰۶۹۲ مرگ زودرس منتسب به آلودگی هوا برآورد شده و خسارت مرتبط ۱۲ میلیارد دلار پیش‌بینی گردیده است که در برخی مطالعات دیگر با لحاظ کردن هزینه‌های بیماری‌ها تا ۲۳ میلیارد دلار (۵٪ تولید ناخالص داخلی) نیز تخمین زده شده است. علاوه‌براین، آلودگی هوا به‌طور مستقیم بر بهره‌وری اقتصادی، کیفیت زندگی و محیط زیست تأثیرگذار است. کاهش بهره‌وری نیروی کار، تعطیلی فعالیت‌های اقتصادی، تجاری، آموزشی، خدماتی و خسارت به زیرساخت‌ها و کاهش گردشگری تنها بخشی از هزینه‌های اقتصادی ناشی از آلودگی هوا هستند. ازسوی دیگر، آلودگی هوا به کیفیت زندگی مردم آسیب می‌زند، نابرابری‌های اجتماعی را تشدید می‌کند و تغییراتی در الگوی مهاجرت و نگرش مردم ایجاد خواهد کرد. همچنین، آلودگی هوا به اکوسیستم‌ها آسیب می‌رساند، تنوع زیستی را کاهش می‌دهد و موجب اختلالات در حیات وحش می‌شود. در پایان به‌منظور تقویت آگاهی مردم، سیاستگذاران و مجریان کشور از هزینه‌های متعدد آلودگی هوا بر بخش‌های مختلف کشور پیشنهادهایی نظیر گسترش دامنه جمعیتی و توجه به بیماری‌ها در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا، مستندسازی و کمی‌سازی پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا و توجه به هزینه‌های متعدد و پنهان آلودگی هوا در تصویب و تخصیص بودجه‌های مربوطه ارائه شده است.

خلاصه مدیریتی

بیان / شرح مسئله

محاسبه و آگاهی از آثار متعدد بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی آلودگی هوا، گامی مهم در جهت اتخاذ تصمیمات آگاهانه و مؤثر برای مقابله با این معضل است. طی سالیان اخیر به‌دلیل اهمیت پیامدهای بهداشتی آلودگی در ایران و جهان، مطالعات متعددی به‌منظور کمی‌سازی آثار آلودگی هوا بر سلامت صورت گرفته است. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و همچنین برخی از مراکز تحقیقاتی در کشور به استناد ماده (۲۲) [آیین‌نامه فنی در زمینه کنترل و کاهش آلودگی‌ها](#)، به‌طور سالیانه نسبت به کمی‌سازی آثار بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق در شهرهای کشور اقدام می‌کند. گزارش حاضر سعی دارد ضمن بررسی مطالعات پیشین، نگاهی جامع به پیامدهای اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و محیط زیستی آلودگی هوا داشته باشد.

نقطه نظرات / یافته‌های کلیدی

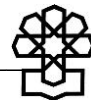
الف) پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت جامعه و هزینه‌های مرتبط: پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی به‌عنوان اصلی‌ترین پیامد وارده شناخته می‌شود که با توجه به رویکرد کشور نسبت به مسئله جوانی جمعیت اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند. در بخش سلامت انسان در مجموع می‌توان هزینه‌های مستقیم پزشکی و غیرپزشکی، هزینه‌های غیرمستقیم^۱ (هزینه‌های مربوط به تولید ازدست‌رفته^۲ و هزینه‌های نامحسوس^۳ را متصور بود. مطالعات در ایران و جهان اغلب بر هزینه‌های غیرمستقیم سلامت به‌ویژه مرگ‌ومیر متمرکز بوده‌اند. براساس ارزیابی وزارت بهداشت در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ برای جمعیت تقریبی ۳۹ میلیون نفر و ۴۸ میلیون نفر، کل موارد مرگ منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با آلاینده PM_{2.5} به‌ترتیب برابر ۲۶۳۰۷ و ۳۰۶۹۲ نفر بوده است. برخی مطالعات نیز با توجه به مواجهه کل جمعیت کشور با آلودگی هوا میزان مرگ‌ومیر منتسب را بیش از ۴۹۰۰۰ برآورد کرده‌اند. به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲ در شهرهای منتخب کشور به‌طور میانگین مرگ ۶۴ نفر، منتسب به PM_{2.5} است. در شهر تهران نیز به‌طور میانگین به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲، مرگ ۷۰ نفر منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با PM_{2.5} است. همچنین، بالاترین تعداد مرگ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲ مربوط به شهر زابل با ۱۴۱ بوده است. در مطالعه وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی خسارت مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از کل موارد مرگ منتسب به ذرات معلق اعم از سرطان ریه، سکته مغزی، بیماری‌های مزمن انسداد ریوی و بیماری‌های ایسکمیک قلبی ۱۲ میلیارد دلار برآورد شده است. البته بانک جهانی با لحاظ کردن هزینه‌های بیماری‌ها در کنار مرگ و میر، خسارات سلامتی در کشور ایران را بیش از ۲۳ میلیارد دلار معادل ۰.۵٪ تولید ناخالص داخلی پیش‌بینی کرده که پایین‌تر از میانگین جهانی (۰.۶/۱٪) و البته بالاتر از میانگین آمریکای شمالی (۰.۱/۷٪)، آمریکای لاتین و کارائیب (۰.۳/۴٪) و اروپا و آسیای مرکزی (۰.۴/۶٪) است.

ب) سایر پیامدهای اقتصادی آلودگی هوا: اگرچه در ارزیابی پیامدهای آلودگی هوا معمولاً بر آثار بهداشتی، به‌خصوص هزینه مرگ‌های زودرس منتسب به آلودگی هوا تمرکز می‌شود، اما آلودگی هوا پیامدهای اقتصادی گوناگونی نظیر کاهش بهره‌وری نیروی انسانی، تعطیلی ادارات و مشاغل، خسارات به بخش صنعت و کشاورزی، خسارات به زیرساخت‌ها و کاهش گردشگری را به‌همراه دارد.

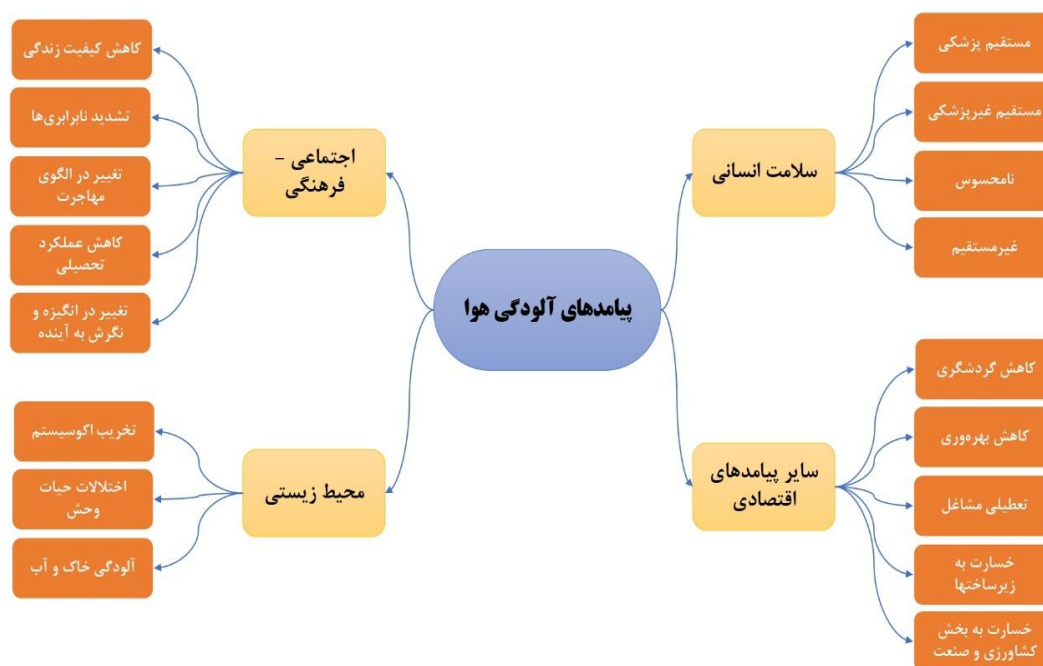
ج) پیامدهای اجتماعی و فرهنگی آلودگی هوا: برخی مطالعات طی سالیان اخیر علاوه بر بررسی پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی و وضعیت اقتصادی، پیامدهای اجتماعی و فرهنگی را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. کاهش کیفیت زندگی، تشدید نابرابری‌های اجتماعی و بهداشتی، تغییر در الگوی مهاجرت، کاهش عملکرد تحصیلی، کاهش کیفیت آموزش و تغییر در انگیزه و نگرش به آینده، از جمله اصلی‌ترین پیامدهای فرهنگی و اجتماعی هستند.

د) پیامدهای محیط زیستی آلودگی هوا: آلودگی هوا یکی از جدی‌ترین چالش‌های محیط زیستی در عصر حاضر

1. Indirect Costs
2. Productivity Lost
3. Intangible Costs



است که نه تنها بر سلامت انسان، بلکه بر تمام اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد. از جمله مهم‌ترین پیامدهای آلودگی هوا بر محیط زیست می‌توان به تخریب اکوسیستم به دلیل باران اسیدی، آلودگی خاک و گیاهان و اختلال در چرخه حیات وحش اشاره کرد.



پیشنهاد راهکارهای تقنینی، نظارتی یا سیاستی

به‌منظور تقویت آگاهی مردم و سیاستگذاران و مجریان کشور از هزینه‌های متعدد آلودگی هوا بر بخش‌های مختلف کشور پیشنهادهای ذیل ارائه می‌شود:

الف) گسترش دامنه جمعیتی در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا: همان‌گونه که وزارت بهداشت اقدام به گسترش جمعیت تحت پوشش مطالعه در سال ۱۴۰۲ کرده است؛ پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های معتبر موجود و همچنین ترمیم داده‌ها از طریق داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های علمی دیگر، این ارزیابی طی سال‌های آینده جمعیت تحت پوشش خود را به‌مرور برای تمام کشور افزایش دهد.

ب) به‌روز کردن سالیانه ارزش آماری زندگی در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا: مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوای مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی پس از تصویب قانون هوای پاک نشانگر آن است که ارزش آماری زندگی در همه مطالعات یکسان فرض شده است؛ درحالی‌که برمبنای روش استفاده شده در گزارش مذکور، ضروری است این متغیر براساس تولید ناخالص داخلی به‌طور سالیانه به‌روز شود.

ج) مدنظر قرار دادن هزینه‌های مرتبط با بیماری‌ها و نه صرفاً هزینه‌های منتسب به موارد مرگ در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا؛ همان‌گونه که مطالعات جهانی نشان می‌دهد، عوارض بیماری‌های منتسب به آلودگی معادل ۱۰٪ تا ۲۰٪ هزینه‌های مرگ‌ومیر است؛ لذا وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در مطالعات سالیانه خود باید به عوارض بیماری‌ها نیز توجه کند.

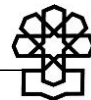
د) مستندسازی و کمی‌سازی جامع پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا؛ با توجه به پیامدهای متعدد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا پیشنهاد می‌شود سازمان حفاظت محیط زیست نسبت به بررسی و تخمین پیامدهای گوناگون اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا، با همکاری دستگاه‌های مرتبط و مراکز علمی و پژوهشی کشور اقدام کند.

ه) توجه به هزینه‌های متعدد و پنهان آلودگی هوا، در تصویب و تخصیص بودجه اقدامات کنترلی؛ با توجه به پیامدهای متعدد آلودگی هوا و خسارات مرتبط به آن، در تعیین هزینه به فایده اقدامات کنترلی و اولویت‌بندی آنها، هزینه‌های واقعی‌تر پیامدها لحاظ شده و منافع اختصاص بودجه جهت اقدامات کنترلی همچون بهبود تجهیزات کنترل آلودگی در منابع متحرک و ثابت، گسترش حمل‌ونقل عمومی کارآمد، از رده خارج کردن خودروهای فرسوده و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در محاسبات در نظر گرفته شود.

۱. مقدمه

آلودگی هوا مهم‌ترین خطر زیست‌محیطی در جهان برای سلامتی و عامل مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌هایی مانند بیماری ایسکمیک قلبی، سکته مغزی، سرطان ریه، بیماری انسدادی مزمن ریه، ذات‌الریه، دیابت نوع ۲ و اختلالات باروری، بارداری و نوزادی است [۱]. این بحران به‌گونه‌ای است که براساس گزارش‌هایی از سازمان جهانی بهداشت، میلیون‌ها نفر سالیانه به‌دلیل بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند و هزینه‌های درمانی ناشی از این بیماری‌ها به شدت بر نظام‌های بهداشتی فشار می‌آورد. علاوه بر پیامدهای سلامت، آلودگی هوا پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی، آموزشی و فرهنگی متعددی نیز دارد. کاهش تولید و بهره‌وری ناشی از بیماری‌ها، افزایش هزینه‌های بهداشت و درمان و خسارات ناشی از کاهش کیفیت زندگی، همگی نشان‌دهنده لزوم نگاهی جامع به پیامدهای منفی آلودگی هواست.

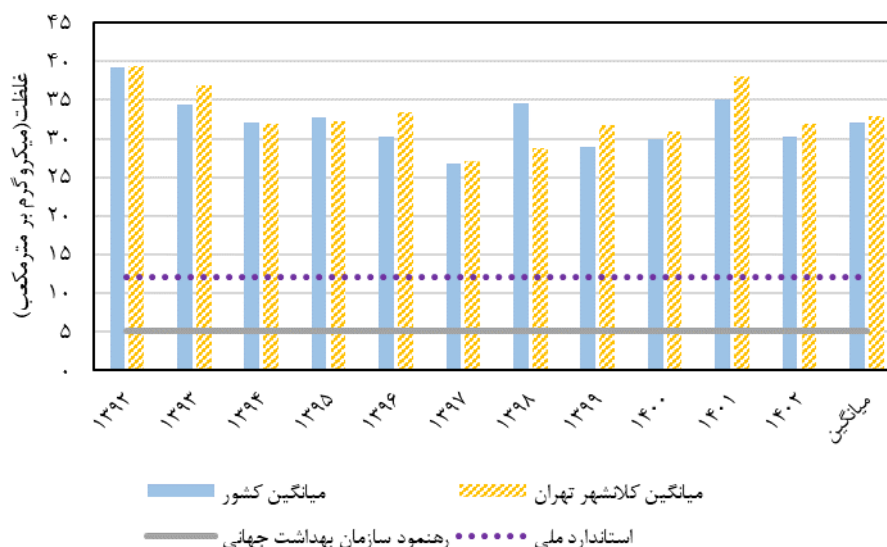
محاسبه و آگاهی از آثار متعدد بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی آلودگی هوا، گامی مهم در جهت اتخاذ تصمیمات آگاهانه و مؤثر برای مقابله با این معضل است. ارائه داده‌های قابل استناد درخصوص پیامدهای اقتصادی و اجتماعی آلودگی هوا، می‌تواند توجه سیاستگذاران را به این موضوع جلب کرده و آنها را برای اتخاذ اقدامات جدی‌تر ترغیب کند. با شناخت دقیق‌تر حوزه‌هایی که از آلودگی هوا متضرر می‌شوند، می‌توانیم اقدامات مقابله‌ای را اولویت‌بندی کرده و منابع را به‌نحو بهتر تخصیص دهیم. علاوه بر این، ارائه مستمر اطلاعات پیامدهای مختلف آلودگی هوا، می‌تواند آگاهی عمومی را در مورد این موضوع افزایش داده و مشارکت مردم را در مقابله با آن جلب کند. با مقایسه پیامدهای آلودگی هوا با هزینه‌های کاهش آلودگی هوا می‌توان دقیق‌تر اثربخشی سیاست‌های مختلف را ارزیابی کرده و آنها را بهبود داد.



براساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، ۹۹ درصد جمعیت جهان با غلظت میانگین سالیانه ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) بالاتر از مقدار رهنمود این سازمان (۵ میکروگرم در مترمکعب) مواجهه دارند؛ بنابراین آلودگی هوا یک مشکل جهانی است. تعداد مرگ زودرس منتسب به آلودگی هوا در سال ۲۰۲۱ بالغ بر ۸.۱ میلیون مرگ بوده که بیش از ۴.۷ میلیون از آن مربوط به ذرات معلق هوای آزاد^۱ است؛ یعنی بیش از یک مرگ از هر ۸ مرگ در جهان به واسطه آلودگی هوا، زودتر از موعد اتفاق افتاده است [۲]. علاوه بر مرگ‌های مورد اشاره، میلیون‌ها نفر دیگر نیز با بیماری‌های مزمن دست‌وپنجه نرم می‌کنند که فشارهای زیادی بر سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی، اقتصادها و جوامع وارد می‌کند. آلودگی هوا یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر سلامت بوده و بیشترین بار بیماری‌های منتسب به عوامل خطر محیطی را به خود اختصاص داده است [۳]. مرگ‌های منتسب به مهم‌ترین آلاینده هوا، $PM_{2.5}$ طی سه دهه گذشته در مقیاس جهانی و کشورهای منطقه مدیترانه شرقی (از قبیل ایران، قطر، عربستان سعودی) روند افزایشی داشته است که از دلایل آن می‌توان به مواردی نظیر افزایش توسعه ناپایدار، ادامه شهرنشینی و صنعتی شدن، افزایش انتشار آلاینده‌های منابع متحرک و همچنین رویدادهای طوفان شن و گردوغبار، در کنار پیری جمعیت و افزایش تعداد افرادی که با آلودگی هوا مواجهه دارند، اشاره کرد [۴]. آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است. مطالعات نشان داده‌اند که در بین همه عوامل خطر، آلودگی هوا رتبه دوم و ذرات معلق ریز هوای آزاد ($PM_{2.5}$) در دنیا، چهارمین عامل خطری است که بیشترین درصد موارد مرگ را به خود اختصاص داده است [۲].

در سال ۱۴۰۲ میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ در شهرهای مورد بررسی وزارت بهداشت ۳۰/۲۸ میکروگرم بر مترمکعب با انحراف معیار ۲۸/۵۳ میکروگرم بر مترمکعب است که بیش از ۶ برابر رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم در مترمکعب) و بیش از ۲/۵ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم در مترمکعب) است. بالاترین و پایین‌ترین میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۲ به ترتیب مربوط به شهر زابل با ۱۶۸ میکروگرم در مترمکعب (بیش از ۳۳ برابر رهنمود سازمان جهانی بهداشت) و شهر سنندج با میانگین غلظت سالیانه ۹/۱۳ میکروگرم در مترمکعب است. در شهر تهران ۳۵۳ روز میانگین غلظت روزانه $PM_{2.5}$ بالاتر از رهنمود روزانه سازمان جهانی بهداشت (۱۵ میکروگرم در مترمکعب) بوده است. به‌طور میانگین در سال ۱۴۰۲ در کشور فقط ۲۴/۶ درصد از روزهای سال غلظت $PM_{2.5}$ کمتر از ۱۵ میکروگرم در مترمکعب (رهنمود سازمان جهانی بهداشت) بوده است. بر این اساس، بیشترین تعداد روزهای با غلظت کمتر از رهنمود سازمان جهانی بهداشت مربوط به شهرهای سنندج (۹۴ درصد)، شاهرود (۸۲ درصد) و ارومیه (۷۷ درصد) بوده است. درخصوص کلان‌شهر تهران میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ در فاصله‌های سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ کاهش یافته است، اما در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ افزایش و در سال ۱۳۹۷ کاهش یافته و در سال ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۲ دوباره افزایش یافته است. غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۲ بیش از ۶ برابر رهنمود سازمان جهانی بهداشت و بیش از ۲/۶ برابر استاندارد ملی کشور است.

همچنین ۳۵۳ روز غلظت روزانه $PM_{2.5}$ بالاتر از رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۵ میکروگرم در مترمکعب) بوده که نشان‌دهنده فاصله زیاد با رهنمود سازمان جهانی بهداشت است [۵].



شکل ۱. نمودار مقایسه میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ طی دهه اخیر در کشور و کلان‌شهر تهران با استاندارد ملی و رهنمود سازمان جهانی بهداشت [۵]^۱

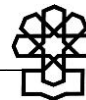
طی سالیان اخیر به دلیل اهمیت پیامدهای بهداشتی آلودگی در ایران و جهان، مطالعات متعددی به منظور کمی‌سازی آثار آلودگی هوا بر سلامت صورت گرفته است. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نیز به‌طور سالیانه نسبت به تهیه گزارشی با عنوان «کمی‌سازی آثار بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق $PM_{2.5}$ » در بسیاری شهرهای کشور اقدام می‌کند [۵]. همچنین برخی از مراکز تحقیقاتی در دانشگاه‌های کشور مطالعات و برآوردهایی در این خصوص ارائه کرده‌اند. به‌رغم اقدامات صورت گرفته در کشور درخصوص برآورد خسارات بهداشتی آلودگی هوا، به نظر می‌رسد همچنان خلأ یک رویکرد جامع به‌منظور لحاظ پیامدهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی فراتر از سلامت انسانی وجود دارد. گزارش حاضر سعی دارد ضمن بررسی مطالعات پیشین، نگاهی جامع به پیامدهای اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و محیط زیستی معضل آلودگی هوا داشته باشد.

۲. پیشینه موضوع

۲-۱. پیشینه مطالعاتی در مرکز

مرکز پژوهش‌های مجلس در گزارشی با عنوان «آلودگی هوا تهدیدی جدی برای سلامت» به شماره مسلسل ۱۹۱۵۴ ضمن بررسی گزارش وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی که در سال ۱۴۰۰ تهیه شده، تأکید کرده است آلودگی هوا نه تنها سلامت مردم را به خطر می‌اندازد، بر حوزه سلامت نیز هزینه‌های سربار بسیار بالایی تحمیل

۱. کیفیت داده‌های برخی ایستگاه‌های زمینی پایین و غیرقابل استفاده بوده؛ اما به‌نظر به دلیل فقدان داده‌های معتبر برای معدودی شهرها، در این مطالعه از آنها استفاده شده است.



می‌کند. همچنین، برگرفته از مطالعات، کل هزینه‌های مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از همه علل منتسب به $PM_{2.5}$ در کشور طی سال ۱۴۰۰ را برابر ۱۱.۳ میلیارد دلار برآورد کرده است [۶]. نکته کلیدی این میزان خسارت، آن است که در صورتی که این مبلغ به‌جای هزینه‌کرد برای درمان و خسارت‌های وارده، در جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها استفاده شود، علاوه‌بر کنترل پیامدهای مرگ و بیماری منتسب، منجر به بهبود کیفیت زندگی به شکل اصولی خواهد شد. با توجه به این ارقام و اهمیت مقوله جمعیت در اقتدار ملی و تأکید مقام معظم رهبری در سیاست‌های کلی جمعیت [۷]، پرداختن به موضوع تأثیر آلودگی هوا بر سلامت و مرگ‌ومیرهای ناشی از آن، در کشور ما بیش‌ازپیش ضرورت دارد.

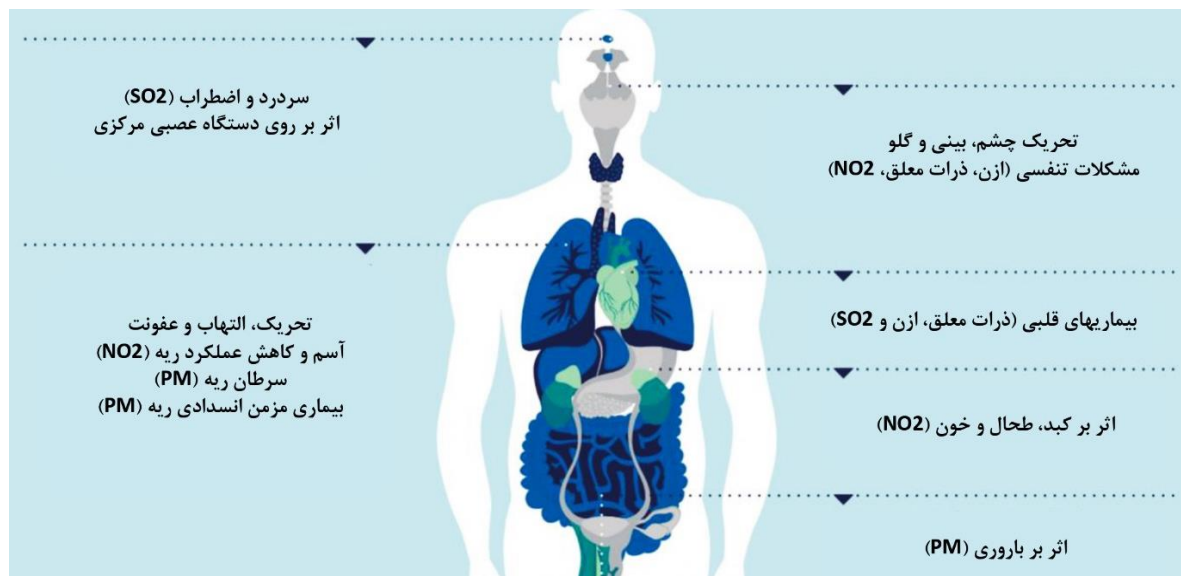
۲-۲. پیشینه تقنینی

ماده (۲۲) آیین‌نامه فنی در زمینه کنترل و کاهش آلودگی‌ها (موضوع ماده (۲) قانون هوای پاک): وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است برآورد سالیانه تخمین هزینه‌های مستقیم آلودگی هوا درخصوص بیماری‌ها و مرگ‌ومیرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده‌های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند [۸].

۳. پیامدهای آلودگی هوا در ایران

۳-۱. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت جامعه و هزینه‌های مرتبط

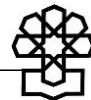
آلودگی هوا ارتباط مستقیم با سلامت جامعه دارد و می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به‌ویژه برای ساکنان شهرهای پرجمعیت ایجاد کند. آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است. براساس برآوردها پیش‌بینی می‌شود که مرگ‌های مرتبط با ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) در سطح جهان ممکن است تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود [۹]. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی به‌عنوان اصلی‌ترین پیامد وارده شناخته می‌شود که با توجه به رویکرد کشور نسبت به مسئله جوانی جمعیت اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند. بنا بر **ماده (۲۲) آیین‌نامه فنی ماده (۲) قانون هوای پاک**، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است، برآورد سالیانه تخمین هزینه‌های مستقیم آلودگی هوا درخصوص بیماری‌ها و مرگ‌ومیرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده‌های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند.



شکل ۲. برخی پیامدهای بالقوه آلودگی هوا بر سلامت [۱۰]

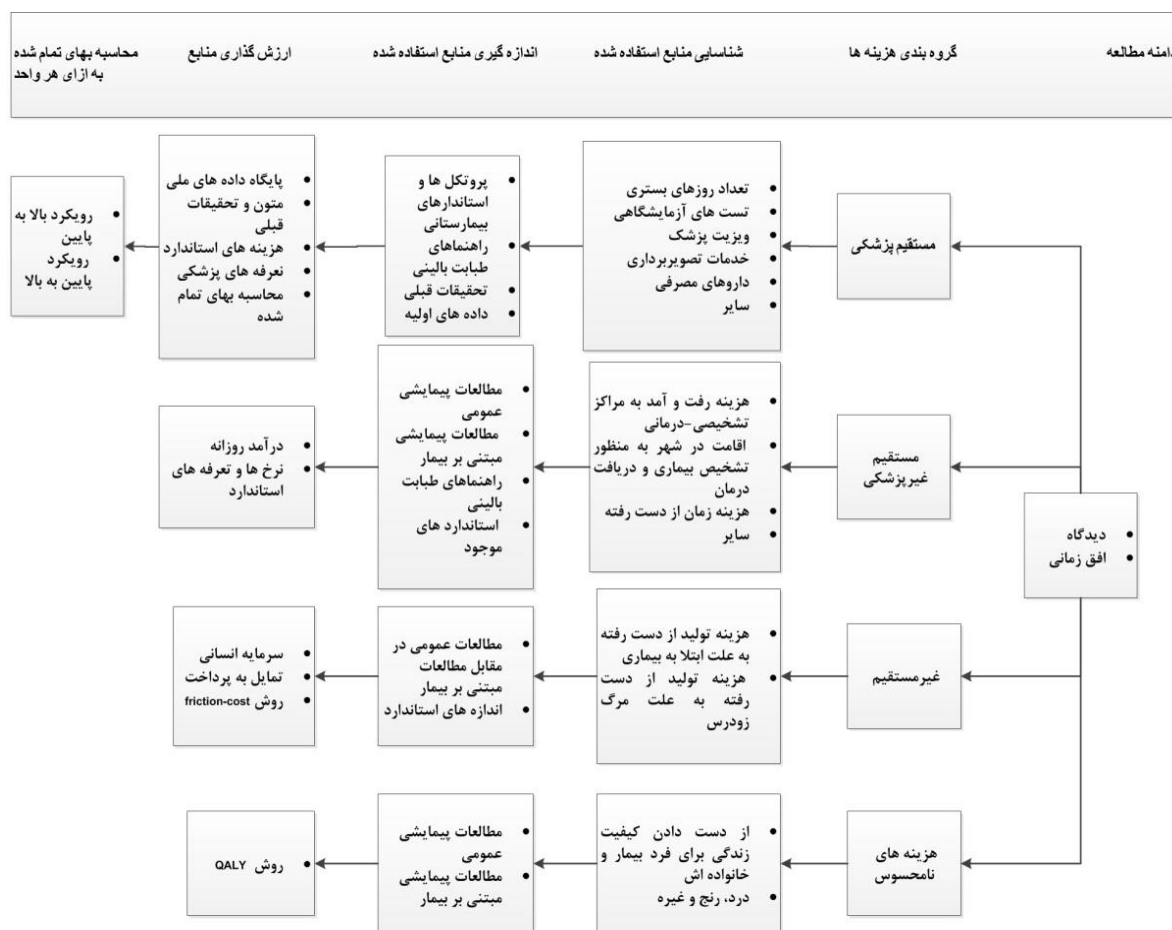
به‌طورکلی ذرات معلق، به‌خصوص ذرات معلق هوا با قطر آئرودینامیکی $2/5$ میکرومتر و کوچک‌تر ($PM_{2.5}$)، مشتمل بر ذرات کوچک میکروسکوپی یا قطرات مایع بوده که آن‌قدر کوچک هستند که می‌توانند وارد ریه‌ها شده و مشکلات جدی را به‌وجود آورند. برخی از این مشکلات عبارتند از: زندگی توأم با ناتوانی و یا مرگ زودرس در افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی و ریوی، افزایش فشار خون، نارسایی و حملات قلبی، نامنظم شدن ضربان قلب، تشدید سرطان ریه، بیماری آسم، عفونت‌های تنفسی، کاهش عملکرد ریه‌ها و افزایش علائم تنفسی مانند سوزش مجاری تنفسی، سرفه یا ایجاد مشکل در تنفس [۱۱]، مشکلات عصبی و اختلالات باروری، بارداری و نوزادی است [۱]. از سال ۲۰۱۳، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) وابسته به سازمان جهانی بهداشت، ذرات معلق هوای آزاد را از هراندازه یا ترکیبات شیمیایی، جزو گروه یک مواد سرطان‌زا برای انسان‌ها تقسیم‌بندی کرده‌اند [۱۲].

باید توجه داشت که آلودگی هوا تنها به بیماری‌های جسمی محدود نمی‌شود و آثار مخربی بر سلامت روان نیز دارد. این آثار به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر افراد تأثیر می‌گذارد و می‌تواند منجر به مشکلات روان‌شناختی جدی شوند. مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش عملکرد شناختی، ازجمله کاهش حافظه، کاهش توانایی تمرکز و کاهش سرعت پردازش اطلاعات توسط افراد شود. آلودگی هوا به‌عنوان یک عامل استرس‌زا عمل می‌کند و می‌تواند باعث افزایش سطح هورمون‌های استرس مانند کورتیزول شود. مواجهه طولانی‌مدت با چندین آلاینده هوا با افزایش خطر ابتلا به افسردگی و اضطراب همراه است [۱۳]. علاوه‌براین آلودگی هوا می‌تواند بر ساعت بیولوژیکی بدن تأثیر گذاشته و باعث اختلال در چرخه خواب و بیداری شود. مطالعات نشان داده‌اند که افرادی که در مناطق با آلودگی هوای بالا زندگی می‌کنند، بیشتر از دیگران از بی‌خوابی و اختلالات خواب رنج می‌برند [۱۴]. مطالعه‌ای در دانشگاه کمبریج که به بررسی تأثیر کیفیت هوا بر سلامت روان می‌پردازد، به آثار عمده‌ای بر بزرگسالان مانند افسردگی، اضطراب، اختلالات شخصیت و اسکیزوفرنی که ناشی از مواجهه با آلاینده‌های هوا در فضای باز است، تمرکز دارد [۱۵]. مقاله‌ای دیگر شامل مطالعه‌ای بر روی ۲۰۶۳ نوجوان است که نشان می‌دهد تجربیات سایکوتیک برای افرادی که با بالاترین سطوح آلاینده‌ها مانند $PM_{2.5}$ و دی‌اکسید نیتروژن مواجهه دارند،



شایع بوده است. در میان بزرگسالان، رابطه‌ای بین مواجهه طولانی‌مدت با PM_{2.5} و افسردگی، اختلال دوقطبی، یا خودکشی وجود داشت [۱۶].

هزینه‌های بیماری‌ها را از دیدگاه‌های مختلفی می‌توان بررسی کرد که عبارتند از: دیدگاه بیمار و خانواده‌اش، ارائه‌دهنده خدمت، پرداخت‌کنندگان (بیمه‌ها) و یا از دیدگاه اجتماعی. اگر هزینه‌ها از دیدگاه ارائه‌دهنده خدمت و یا پرداخت‌کننده شخص ثالث برآورد شود، فقط هزینه‌های مستقیم پزشکی اندازه‌گیری می‌شود. اما اگر از دیدگاه بیمار و یا جامعه هزینه‌ها اندازه‌گیری شود، هم هزینه‌های مستقیم و هم هزینه‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شوند. معمولاً دیدگاه اجتماعی به‌طور وسیع‌تر به برآورد هزینه‌ها می‌پردازد و نتایج آن برای سیاستگذاران نظام‌های سلامت مفیدتر است [۱۷، ۱۸]. در بخش سلامت انسانی در مجموع می‌توان هزینه‌های مستقیم پزشکی و غیرپزشکی، هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌های مربوط به تولید از دست‌رفته) و هزینه‌های نامحسوس را متصور بود (شکل ۳). لازم به ذکر است؛ برای برآورد کل هزینه‌های اقتصادی مرتبط با سلامت ناشی از مواجهه با PM_{2.5}، علاوه بر هزینه‌های ناشی از مرگ، باید سایر هزینه‌های ایجاد شده از قبیل هزینه‌های اقتصادی جهت اجتناب از بیماری‌های منتسب به آلودگی هوا یا درمان بیماری‌ها، هزینه‌های فرصت (مانند هزینه‌های غیرمستقیم از دست دادن وقت کار و اوقات فراغت (و هزینه‌های کاهش کیفیت زندگی) مانند هزینه درد، رنج و ناراحتی) نیز محاسبه شود.



شکل ۳. تقسیم‌بندی هزینه‌ها در مطالعات بار اقتصادی بیماری‌ها [۱۹]

الف) هزینه‌های مستقیم پزشکی^۱

هزینه‌های مستقیم پزشکی شامل هزینه‌های سازماندهی و ارائه برنامه‌های درمان می‌شود. کلیه هزینه‌های مراقبت‌های سرپایی و بستری از قبیل: آزمایش‌های تشخیصی و پاتولوژیکی، ویزیت‌های سرپایی، جراحی، داروها، هزینه‌های بستری، هزینه‌های مراقبت و پرستاری در منزل، غربالگری، رادیوتراپی، شیمی‌درمانی، هورمون درمانی، مراقبت‌های تسکین‌دهنده تخصصی و استفاده از پروتزها جزو هزینه‌های مستقیم پزشکی محسوب می‌شود. برآورد این هزینه‌ها معمولاً با اندازه‌گیری پرداخت‌های انجام شده به‌وسیله بیمه‌ها و پرداخت‌های مستقیم بیمار صورت می‌گیرد. البته در شرایطی که تعرفه‌ها واقعی نباشد و یا برخی پرداخت‌ها توسط دولت انجام شود، به‌عنوان مثال، در ایران، پرداخت‌های انجام شده به‌وسیله بیمه‌ها و بیماران ممکن است کل هزینه‌های مستقیم پزشکی را پوشش ندهد و هزینه‌ها فقط از منظر بیمار و بیمه‌گر اندازه‌گیری شود. هزینه‌های مستقیم پزشکی با توجه به نوع بیماری و مرحله آن به‌طور معنی‌داری متفاوت هستند [۱۷، ۲۰].

ب) هزینه‌های مستقیم غیرپزشکی^۲ (هزینه‌های بیمار و خانواده‌اش)

هزینه‌های مستقیم غیرپزشکی هم دربرگیرنده قسمتی از پرداخت‌های مستقیم از جیب بیمار و خانواده‌اش به‌منظور دریافت خدمت است. هزینه‌های مربوط به رفت‌وآمد بیمار و خانواده‌اش به مراکز تشخیصی، درمانی و داروخانه‌ها، اقامت در شهر به‌منظور تشخیص بیماری و دریافت درمان، درمان‌های مکمل یا غیررسمی (مانند درمان‌های سنتی، داروهای گیاهی و ...)، رژیم‌های غذایی خاص، مراقبت از فرد بیمار در منزل، ارتباطات، حمایت‌ها، تجهیزات و تغییر دکورهایی که لازم است تا فرد بیمار بتواند با بیماری سازگار شود، در این گروه قرار می‌گیرند. برخی بیماران مجبورند زمان خود را صرف مسافرت برای دریافت درمان، انتظار کشیدن در مراکز درمانی و دریافت درمان کنند؛ لذا از انجام فعالیت‌های روزانه خود بازمی‌مانند و یا اوقات فراغت خود را از دست می‌دهند. هزینه فرصت زمان صرف شده توسط بیماران و اعضای خانواده آنها برای دریافت درمان نیز در این گروه قرار دارد (به‌عنوان مثال، هزینه غیبت از کار به‌دلیل بستری شدن در بیمارستان) [۲۱].

ج) هزینه‌های نامحسوس

ابتلا به بیماری‌های مزمن و مرگ زودرس منتسب به آلودگی هوا، باعث درد، رنج و تألم‌خاطر فرد بیمار و خانواده‌اش شده و بر روی سلامت و رفاه آنها اثر می‌گذارد به هزینه‌های نامحسوس اطلاق می‌شود. هزینه‌های روانی و نامحسوس بیماری در اثر از دست دادن کیفیت زندگی برای فرد بیمار و خانواده‌اش ایجاد می‌شود. از دست دادن کیفیت زندگی ممکن است در اثر درد و رنج ناشی از بیماری، از دست دادن شغل و جایگاه اجتماعی، از دست دادن تناسب اندام و اعتمادبه‌نفس ایجاد شود. اگرچه برآورد این هزینه‌ها مشکل‌تر است، اما با این حال می‌توان از طریق برآورد سال‌های ازدست‌رفته زندگی سالم، هم از بعد کمی و هم از بعد کیفی، که به‌عنوان بار بیماری‌ها شناخته می‌شود، این هزینه‌ها

1. Medical Direct Costs

2. Non-Medical Direct Costs



را برآورد کرد [۱۷، ۲۲].

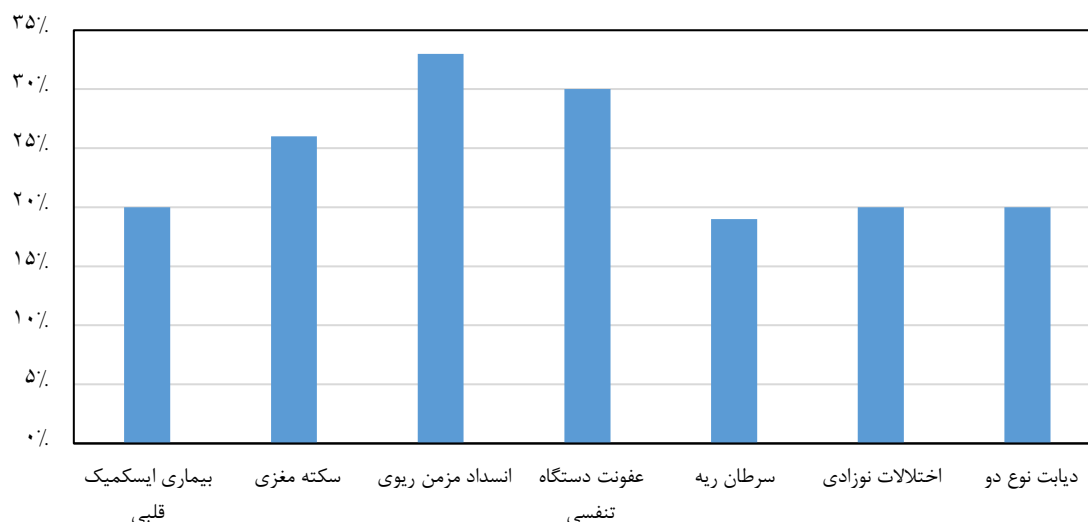
(د) هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌های مربوط به تولید ازدست‌رفته)

هزینه‌های غیرمستقیم در نتیجه از دست دادن فرصت‌ها و منابع اقتصادی در اثر ابتلا بیماری ایجاد می‌شود. این هزینه‌ها خود به دو بخش تقسیم می‌شوند: هزینه تولید ازدست‌رفته به علت ابتلا به بیماری^۱ و هزینه تولید ازدست‌رفته به علت مرگ زودرس^۲. برخی بیماران در خطر بالایی از ناتوانی زودرس هستند که باعث عدم توانایی انجام کار و یا انجام فعالیت‌های روزمره می‌شود. این وضعیت باعث از دست دادن کار و کاهش تولید افراد بیمار نیز می‌شود. هزینه‌های تولید ازدست‌رفته در اثر ابتلا به بیماری‌های منتسب به آلودگی هوا شامل هزینه‌های مربوط به از دست دادن تولید اقتصادی در اثر غیبت از کار به صورت موقت و یا دائم، از دست دادن زمان مربوط به اوقات فراغت و انجام فعالیت‌های روزمره زندگی می‌شود [۲۳]. هزینه‌های تولید ازدست‌رفته در اثر مرگ‌ومیر در واقع ارزش کالا و خدماتی است که می‌توانست به وسیله فردی که دچار مرگ زودرس شده، در سال‌های باقی‌مانده عمرش تولید شود. این هزینه‌ها با عنوان ارزش فعلی تولید ازدست‌رفته آینده در نتیجه مرگ زودرس بیان می‌شود [۲۴].

هزینه‌های غیرمستقیم بیماری به وسیله فرد بیمار، اعضای خانواده‌اش و یا فرد مراقبت‌کننده از بیمار ایجاد می‌شود. در کوتاه‌مدت افراد مبتلا، نیازمند غیبت از کار به منظور جستجوی درمان، دریافت درمان در بیمارستان و یا به طور ساده بهبود علائم در خانه هستند. افرادی که از این بیماران مراقبت می‌کنند یا خانواده این افراد نیز نیازمند غیبت از کار به منظور همراهی کردن بیمار در گرفتن درمان، ماندن در بیمارستان و یا مراقبت از او در خانه هستند. اعضای خانواده ممکن است همچنین نیازمند غیبت از کار به منظور انجام کارهای بدون پرداختی باشند که قبلاً توسط فرد بیمار انجام می‌شده است؛ به عنوان مثال، مراقبت از کودکان، خرید و ... در بلندمدت اگر بیماری به مرحله پایانی خود برسد، عرضه نیروی کار کاهش می‌یابد و بنابراین باعث کاهش ظرفیت تولید اقتصاد در هر سطح معینی از نرخ بیکاری می‌شود. بیمار ممکن است زودتر بازنشسته شود و برای همیشه از بازار کار خارج شوند و یا اینکه با بهره‌وری کمتری به کار خود بازگردند (بهره‌وری کمتر شامل، کاهش ساعات کار، کاهش کارایی، تغییر مسئولیت و تغییر شغل) [۲۱].

در برآورد آثار آلاینده‌های هوا بر سلامت، هریک از آلاینده‌ها به طور مجزا بررسی می‌شوند و تاکنون محققان قادر به ارائه مدلی جهت برآورد دقیق هم‌افزایی آثار آلاینده‌ها نبوده‌اند. بنابراین تعداد مرگ‌ومیرها و سایر آثار هر آلاینده بر سلامت جامعه، قابل جمع جبری نیست و معمولاً آثار مهم‌ترین آلاینده که غالباً PM_{2.5} است بررسی و ارائه می‌شود. تعداد مرگ زودرس منتسب به آلودگی هوا در سال ۲۰۲۱ حدود ۸.۱ میلیون مرگ بوده که بیش از ۴.۷ میلیون از آن مربوط به ذرات معلق هوای آزاد است؛ یعنی بیش از یک مرگ از هر هشت مرگ در جهان به واسطه آلودگی هوا، زودتر از موعد اتفاق افتاده است [۲]. مواجهه با PM_{2.5} به ترتیب باعث ۰.۳۳٪، ۰.۳۰٪ و ۰.۲۶٪ مرگ‌ومیرهای جهانی ناشی از انسداد مزمن ریه، عفونت تنفسی و سکته مغزی است (شکل ۴). مقایسه خطرات در نظر گرفته شده در مطالعه ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که مرگ‌ومیر ناشی از مواجهه با آلودگی هوای محیطی با نرخ رشد سالیانه ۱.۴۷ بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ افزایش یافته که بالاترین نرخ پس از شاخص توده بدنی بالاست [۲۵]. بیماری‌های ایسکمیک قلبی با

۲۹٪، سکته مغزی با ۲۶٪ و انسداد مزمن ریه با ۱۷٪ بیشترین درصد علل را در خصوص مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوا به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۴. نمودار جزء مرگ منتسب به آلودگی هوا از کل مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های مختلف در جهان در سال ۲۰۱۹ [۲۵]

بانک جهانی در گزارشی در سال ۲۰۲۲، هزینه‌های جهانی آلودگی هوای ناشی از آلاینده PM_{2.5} را برای کشورهای جهان محاسبه کرده است. در این مطالعه هزینه مرگ‌های زودرس از ارزش آماری زندگی (VSL) برآورد شده و برای هر کشور منحصر به فرد است. VSL معیاری است که نشان می‌دهد افراد چقدر حاضرند برای کاهش خطر یا احتمال مرگ زودرس بپردازند. هزینه عوارض بیماری‌ها نیز براساس سال‌های زندگی با ناتوانی (YLDs) برآورد شده است. YLD معیاری از بار بیماری است که مدت و شدت بیماری‌ها را منعکس می‌کند. YLDهای ناشی از مواجهه با PM_{2.5} به روزهای زندگی با بیماری تبدیل می‌شوند و هزینه یک روز بیماری معادل کسری از متوسط نرخ دستمزد روزانه در هر کشور است.

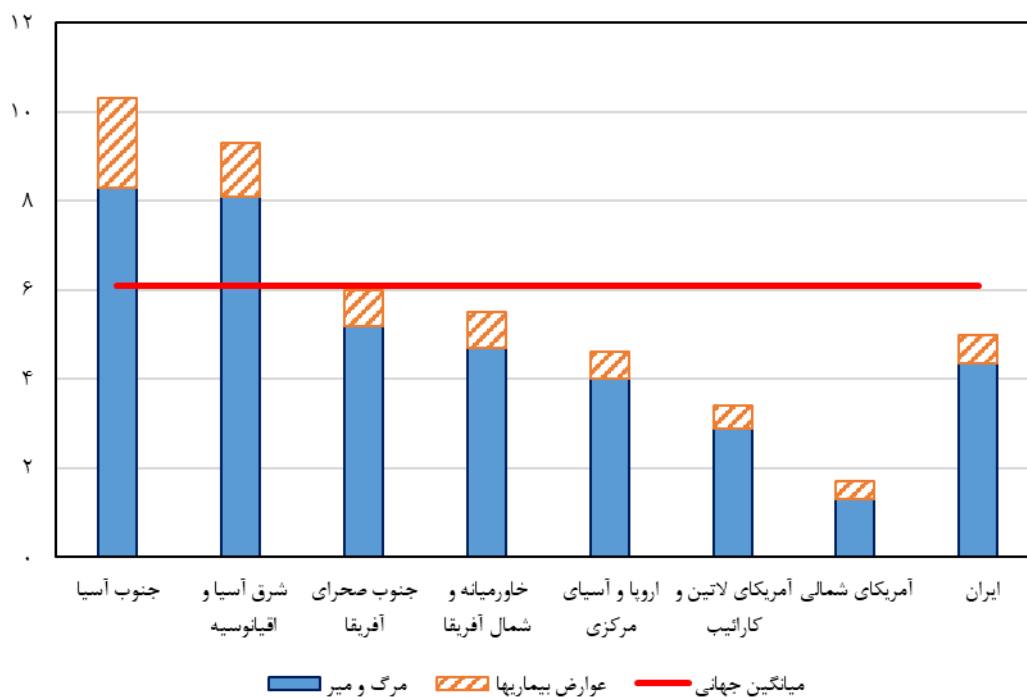
براساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۲۲، هزینه جهانی مرگ‌ومیر و عوارض بیماری ناشی از مواجهه با آلودگی هوای PM_{2.5} در سال ۲۰۱۹، ۸.۱ تریلیون دلار برآورد شده که معادل ۶.۱ درصد تولید ناخالص داخلی جهانی است [۱]. البته برخی برآوردهای دیگر نیز حاکی از روند صعودی خسارات آلودگی هواست؛ به‌عنوان مثال، سازمان همکاری اقتصادی و توسعه^۱ تخمین می‌زند که هزینه آسیب‌های بهداشتی ناشی از آلودگی هوای آزاد می‌تواند تا سال ۲۰۶۰ به ۲۰.۵ تا ۲۷.۶ تریلیون دلار (۹ تا ۱۲ درصد تولید ناخالص داخلی) افزایش یابد [۲۶].

در گزارش بانک جهانی نسبت هزینه‌های آلودگی هوا به تولید ناخالص داخلی از ۱/۷٪ در آمریکای شمالی تا ۹/۳٪ در شرق آسیا و ۱۰/۳٪ در جنوب آسیا متغیر بوده است. در سطح جهانی، ۶۴ درصد از کل مرگ‌ومیر ناشی از

1. The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)



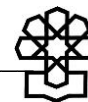
PM_{2.5} به دلیل آلودگی هوای محیط بیرونی و ۳۶ درصد به دلیل آلودگی هوای خانگی ناشی از استفاده سوخت جامد بوده است. طبق جدول ۱ میزان مرگومیر زودرس منتسب به PM_{2.5} در سال ۲۰۱۹ در کشور ایران ۴۱,۸۳۹ نفر برآورد شده که به معنای مرگومیر ۵۰ نفر در ۱۰۰ هزار نفر جمعیت بوده که از میانگین جهانی پایین تر است. علاوه بر این، خسارات تجمیعی مرگومیر و بیماری برای کشور ایران ۲۳/۶ میلیارد دلار برآورد شده که ۱۳٪ آن به عوارض بیماری‌ها مربوط بوده و کل خسارات حدود ۵٪ تولید ناخالص داخلی کشور بوده است که پایین تر از میانگین جهانی (۱/۶٪) و بالاتر از میانگین آمریکای شمالی (۱/۱٪)، آمریکای لاتین و کارائیب (۳/۴٪) و اروپا و آسیای مرکزی (۴/۶٪) است.



شکل ۵. نمودار خسارات سلامتی ناشی از مواجهه با PM_{2.5} در سال ۲۰۱۹ براساس منطقه (درصد معادل تولید ناخالص داخلی) [۱]

جدول ۱. برآورد پیامدهای بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به PM_{2.5} کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۹ [۱]

نام کشور	میانگین سالیانه PM _{2.5} (µg/m ³)	پیامدهای بهداشتی منتسب				خسارات اقتصادی منتسب			
		تعداد موارد مرگ	سال‌های زندگی با ناتوانی	نرخ موارد مرگ خام (در ۱۰۰ هزار نفر)	سال‌های زندگی با ناتوانی (در ۱۰۰ هزار نفر)	هزینه آسیب‌های سلامت (میلیون دلار)	هزینه آسیب‌های سلامت (میلیون دلار)	نسبت هزینه به تولید ناخالص داخلی (%)	سهم عوارض بیماری‌ها در کل هزینه
چین	۴۷/۷	۱,۷۸۶,۶۶۲	۶,۰۸۴,۳۷۳	۱۲۶	۴۲۸	۱,۸۵۱,۶۴۰	۳,۰۲۸,۶۶۲	۱۲/۹	۱۲
هند	۸۳/۲	۱,۵۸۶,۵۷۱	۵,۴۹۰,۵۶۱	۱۱۴	۳۹۵	۳۰۵,۶۸۹	۱,۰۲۱,۹۲۶	۱۰/۶	۱۹
مصر	۶۷/۹	۹۰,۶۳۲	۲۴۰,۹۰۱	۹۱	۲۴۳	۲۵,۹۸۱	۱۰۵,۳۹۱	۸/۶	۱۳
روسیه	۱۱/۶	۷۶,۳۰۷	۱۵۳,۲۹۰	۵۲	۱۰۴	۹۵,۶۸۶	۲۴۱,۰۲۴	۵/۷	۹
برزیل	۱۱/۷	۵۷,۵۹۱	۲۳۲,۸۸۳	۲۷	۱۰۷	۵۱,۷۱۹	۹۰,۵۳۰	۲/۸	۱۶
آمریکا	۷/۷	۴۷,۹۳۷	۲۹۳,۱۳۳	۱۵	۸۹	۳۷۲,۵۷۶	۳۷۲,۵۷۶	۱/۷	۲۲
مکزیک	۲۰/۱	۴۶,۴۳۶	۲۶۷,۳۸۴	۳۷	۲۱۴	۵۰,۳۸۸	۱۰۴,۲۷۳	۴/۰	۱۶
ایران	۳۸/۰	۴۱,۸۳۹	۱۸۸,۶۹۶	۵۰	۲۲۴	۲۳,۶۶۷	۶۲,۱۳۲	۵/۰	۱۳
ترکیه	۲۶/۰	۴۱,۷۶۰	۱۸۰,۱۵۶	۵۱	۲۲۱	۴۳,۴۳۵	۱۳۳,۸۹۶	۵/۸	۱۵
ژاپن	۱۳/۵	۳۹,۷۸۷	۲۱۱,۶۷۷	۳۱	۱۶۶	۱۹۵,۴۰۶	۲۰۹,۹۱۷	۳/۸	۱۸
آفریقای جنوبی	۲۸/۷	۲۹,۳۷۰	۱۱۳,۴۷۸	۵۳	۲۰۴	۱۸,۲۵۱	۳۹,۵۳۲	۵/۲	۱۹
آلمان	۱۱/۸	۲۷,۰۷۰	۱۳۵,۹۶۳	۳۲	۱۶۰	۱۴۶,۵۶۱	۱۷۷,۵۹۰	۳/۸	۱۹
عراق	۴۸/۵	۲۵,۴۴۲	۸۲,۳۹۰	۶۰	۱۹۶	۱۴,۳۶۹	۲۷,۳۴۴	۶/۱	۱۴
عربستان سعودی	۶۱/۵	۱۷,۸۳۲	۸۷,۶۹۵	۵۰	۲۴۵	۴۵,۳۲۷	۹۵,۸۰۳	۵/۷	۱۱
انگلستان	۱۰/۱	۱۴,۴۶۱	۷۴,۶۳۰	۲۲	۱۱۱	۷۳,۵۹۳	۸۴,۷۴۴	۲/۶	۱۹
فرانسه	۱۱/۴	۱۳,۲۸۲	۴۳,۴۳۱	۲۰	۶۶	۶۱,۴۶۴	۷۵,۰۳۶	۲/۳	۱۵
نروژ	۶/۶	۳۹۴	۲,۳۶۳	۷	۴۴	۳,۳۹۳	۳,۰۰۶	۰/۸	۱۹



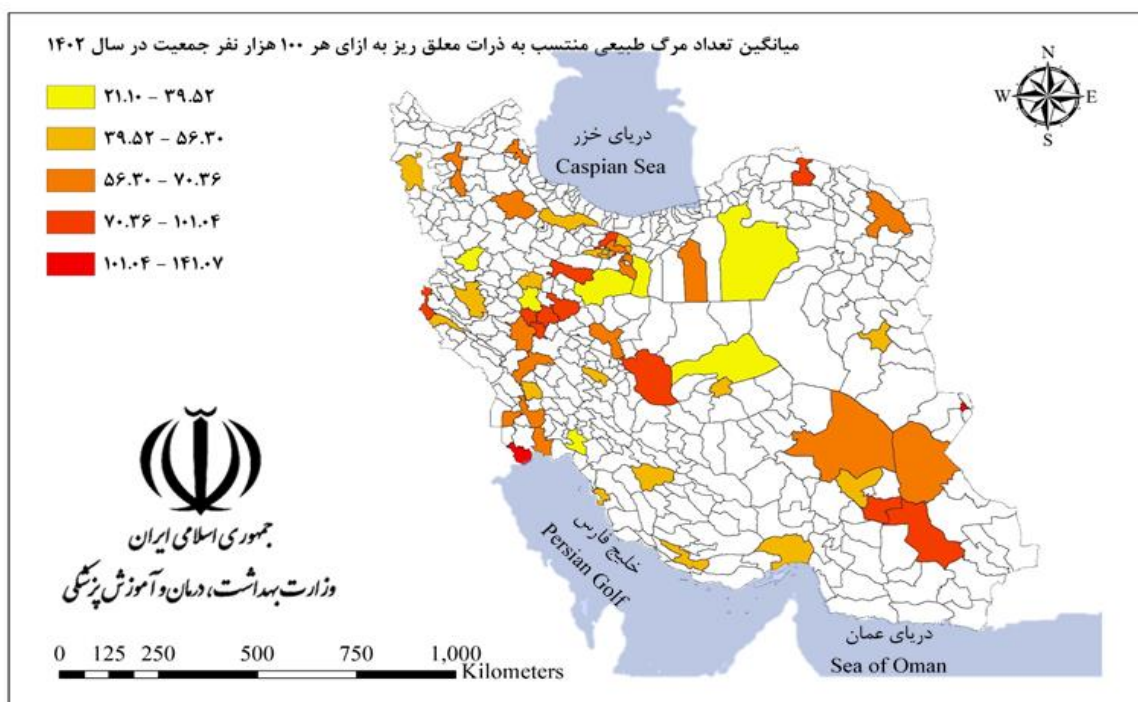
در ایران پس از تصویب قانون هوای پاک، گروه سلامت هوا و تغییر اقلیم مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به‌طور سالیانه نسبت به برآورد هزینه‌های غیرمستقیم مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوا در شهرهای کشور اقدام می‌کند. براساس این مطالعات در کشور طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به‌ترتیب ۱۳.۹٪ و ۱۲.۸٪ از مرگ‌های کل کشور منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ بوده است. در جدول ۲ درصد مرگ منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ به تفکیک درخصوص بیماری‌های مزمن انسداد ریوی، سرطان ریه، بیماری‌های ایسکمیک قلبی و سکته مغزی ارائه شده است. براساس ارزیابی وزارت بهداشت در سال ۱۴۰۱ درخصوص ۳۳ شهر با جمعیت تقریبی ۳۹ میلیون نفر، کل موارد مرگ منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با آلاینده $PM_{2.5}$ تعداد ۲۶۳۰۷ نفر بوده که در سال ۱۴۰۲ برای ۵۷ شهر با جمعیت تقریبی ۴۸ میلیون نفر تعدا ۳۰۶۹۲ نفر برآورد شده است. درخصوص شهر تهران، تعداد کل موارد مرگ منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با آلاینده $PM_{2.5}$ در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به‌طور میانگین به‌ترتیب ۷۱۲۵ و ۶۹۳۹ نفر برآورد شده است. در مجموع، خسارت مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از کل موارد مرگ منتسب به ذرات معلق اعم از سرطان ریه، سکته مغزی، بیماری‌های مزمن انسداد ریوی و بیماری‌های ایسکمیک قلبی ۱۲ میلیارد دلار معادل با ۵۹۷ هزار میلیارد تومان (همت) برآورد گردیده است [۵، ۲۷].

جدول ۲. جزء مرگ منتسب به آلودگی هوا از کل مرگ‌ومیر در شهرهای منتخب کشور

در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ (%) [۵، ۲۷]

نوع بیماری	۱۴۰۱	۱۴۰۲
کل مرگ‌های منتسب	۱۳/۹	۱۲/۸
مرگ به علت بیماری‌های مزمن انسداد ریوی	۱۲/۷	۱۱/۴
مرگ به علت سرطان ریه	۱۶/۴	۱۴/۴
مرگ به علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی	۱۵/۷	۱۴/۷
مرگ به علت سکته مغزی	۱۵/۸	۱۴/۹

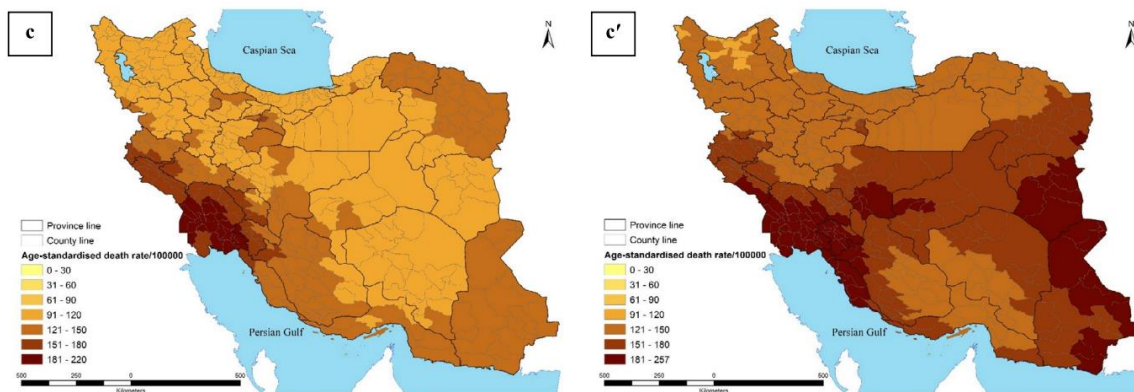
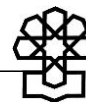
مطابق مطالعات فوق، به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲ در شهرهای منتخب کشور به‌طور میانگین مرگ ۶۴ نفر منتسب به $PM_{2.5}$ است. در شهر تهران نیز به‌طور میانگین به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲، مرگ ۷۰ نفر منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با $PM_{2.5}$ می‌باشد. بالاترین و پایین‌ترین تعداد مرگ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۲ به‌ترتیب مربوط به شهر زابل با ۱۴۱ مرگ و شهرهای شاهرود و سنندج با ۳۰ مرگ به‌ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت است.



شکل ۶. میانگین تعداد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در شهرهای منتخب کشور در ۱۴۰۲ [۵]

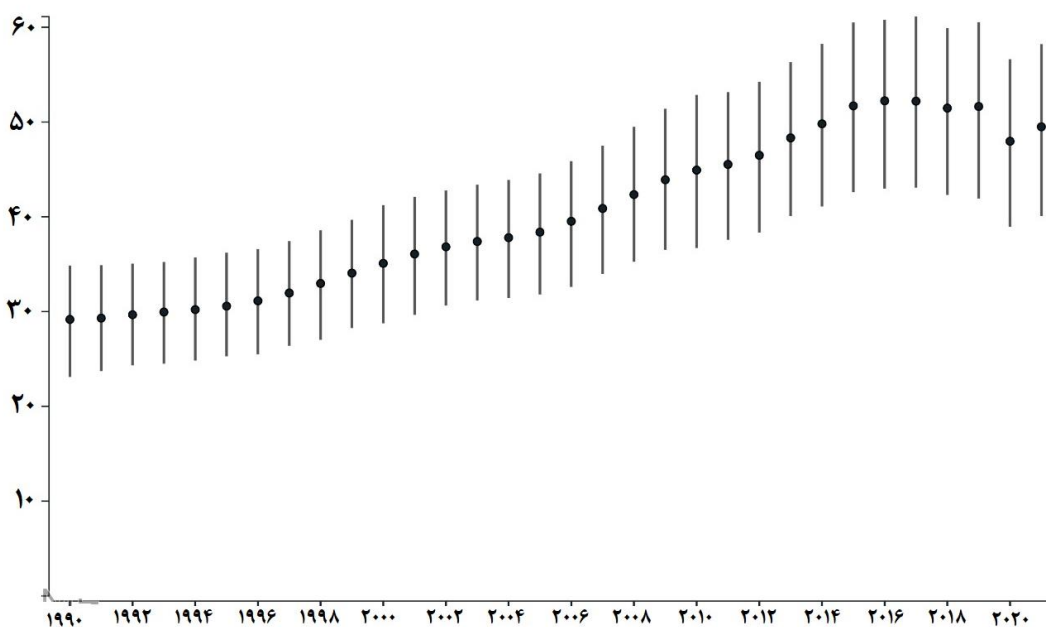
مطابق مطالعات فوق، میانگین جزء مرگ طبیعی منتسب به $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۲ در کشور ۱۲/۸ درصد است. در شهر تهران جزء مرگ طبیعی منتسب به ذرات معلق در سال ۱۴۰۲ برابر با ۱۴/۶ درصد می‌باشد. بالاترین و پایین‌ترین جزء مرگ طبیعی منتسب به ذرات معلق در سال ۱۴۰۲ به ترتیب مربوط به شهر زابل با ۲۶/۷ درصد و شهر سنندج با ۴/۳ درصد است.

علاوه بر مطالعه فوق، پژوهش‌های متعدد دیگری نیز برای برآورد خسارات اقتصادی ناشی از موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ طی سالیان اخیر در ایران صورت گرفته است. فریدی و همکاران، در مطالعه‌ای با عنوان «بار بیماری و زیان اقتصادی ناشی از ذرات معلق ریز محیطی ($PM_{2.5}$) در ایران، براساس داده‌های زمینی و ماهواره‌ای»، مرگ‌ومیر و خسارات اقتصادی مربوط به مواجهه با آلودگی هوای $PM_{2.5}$ را در ۴۲۹ شهرستان ایران با استفاده از مدل مرگ‌ومیر مواجهه جهانی در سال ۱۳۹۷ برآورد کردند. بر مبنای محاسبات ایستگاه‌های زمینی این مطالعه، غلظت وزن‌دهی شده با جمعیت $PM_{2.5}$ در ایران در این سال $30.1 \mu g/m^3$ و تعداد مرگ زودرس منتسب به آن حدود ۵۰ هزار مورد و هزینه‌های آن ۱۰.۷ میلیارد دلار، معادل حدود ۳.۷٪ تولید ناخالص داخلی برآورد شده و محاسبات بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای، نتایجی حدود ۲۰٪ بالاتر را نشان داده است [۲۸].



شکل ۷. میانگین تعداد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت (براساس داده‌های ماهواره‌ای و زمینی) [۲۸]

نرخ مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوای آزاد ایران از وبسایت «مؤسسه معیارها و ارزیابی سلامت»^۱ نیز اخذ و در شکل ۸ ارائه گردیده که در سال ۲۰۲۱ به‌طور میانگین ۴۹۴۹۵ مرگ برآورد شده است که معادل ۵۸ مرگ در هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت بوده است. علاوه‌براین، گزارش شده که آلودگی هوا امید به زندگی در هنگام تولد را کاهش می‌دهد که این رقم برای کشور ایران تقریباً یک سال گزارش شده است [۲۹].



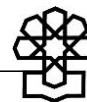
شکل ۸. نرخ مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوای آزاد ایران (هزار نفر) [۲]

1. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>.

مرکز تحقیقات آلودگی هوا پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران نیز در گزارشی با عنوان «گزارش ۱۲ ساله (۱۴۰۱-۱۳۹۰) کیفیت هوای شهر تهران: تغییرات زمانی- مکانی غلظت‌ها، آثار بهداشتی و اقتصادی»، خسارات سلامت منتسب به آلودگی هوا، به تفکیک ۳۴۹ محله تهران را برآورد کرده است. در این پژوهش خسارات اقتصادی ناشی از موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ براساس رویکرد ارزش آماری زندگی ۲/۳ میلیارد دلار برآورد شده است [۳۰]. یافته‌های به دست آمده بیانگر آن است که کل جمعیت شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۱ با غلظت $PM_{2.5}$ بالاتر از $15 \mu g/m^3$ مواجهه داشته‌اند و همواره میانگین سالیانه غلظت این آلاینده در تمامی ۳۴۹ محله شهر تهران فراتر از رهنمود سازمان جهانی بهداشت ($5 \mu g/m^3$) و استاندارد ملی ($12 \mu g/m^3$) بوده است.

در جدول ۳، خلاصه‌ای از مطالعات پیشین درخصوص خسارات آلودگی هوا در ایران و شهر تهران ارائه شده است. خسارات سالیانه سلامتی آلودگی هوا در مطالعات پیشین از ۱۰،۷۰۰ میلیون دلار در مطالعه فریدی و همکاران ۲۰۲۲ تا ۲۳،۶۶۷ میلیون دلار در مطالعه بانک جهانی متغیر بوده است. علت تفاوت در نتایج حاصله را می‌توان به مواردی نظیر جمعیت مورد مطالعه، نحوه محاسبه ارزش آماری زندگی و نحوه مواجهه غلظت آلودگی هوا با جمعیت مدنظر نسبت داد.

به‌طورمثال، مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال ۱۴۰۲ جمعیت تحت پوشش را از ۳۹ میلیون نفر به ۴۸ میلیون نفر ارتقا داده که همین موضوع موجب شده به‌رغم کاهش ۱۴٪ غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ خسارات کمی‌سازی شده بیش از ۱۶٪ افزایش یافته است. با توجه به اینکه بیشتر قریب به اتفاق مردم ایران تحت مراتبی از آلودگی هستند؛ به‌نظر می‌رسد، نمی‌توان مطالعه و تخمین تعداد مرگ‌ومیر را به بخشی از جمعیت محدود کرد. با توجه به اینکه در مطالعات وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی طی سالیان مختلف جمعیت تحت پوشش تغییر یافته است، لذا مقایسه روند میزان مرگ‌ومیر منتسب و مجموع خسارات منطقی نیست و بهتر است در مطالعات سالیانه تا زمانی که کل جمعیت کشور را دربرنگیرد نرخ مرگ‌ومیر در صد هزار نفر معیار مورد مقایسه قرار گیرد. علاوه‌براین، محاسبات مرکز سلامت و محیط کار برای جمعیت بالای ۳۰ سال و محاسبات مرکز تحقیقات آلودگی هوا برای جمعیت بالای ۲۵ سال انجام شده است. نرم‌افزار مورد استفاده مرکز سلامت و محیط کار $AirQ+$ است که شهر مورد نظر را به‌صورت یک نقطه با تمرکز جمعیتی که همگی تحت مواجهه با غلظت میانگین سالیانه هستند فرض می‌کند و بنابراین برای هر شهر یک اجرای مجزا از نرم‌افزار مورد نیاز است؛ اما مرکز تحقیقات آلودگی هوا علاوه بر $AirQ+$ ، با استفاده از نرم‌افزار BenMAP داده‌های جمعیت مکان مورد مطالعه و ایستگاه‌ها را به‌صورت شیپ‌فایل GIS دریافت کرده و بنابراین جمعیت هر پُلّی‌گون را با غلظت درونیابی شده از اعداد ایستگاه‌های اطرافش (در مرکز هندسی پُلّی‌گون) مواجهه داده و برای کل کشور یک اجرای نرم‌افزار برای هر سناریو کافی است. همان‌گونه که در جدول مشخص است؛ مرکز سلامت و محیط کار برای سال‌های مختلف ارزش آماری زندگی یکسانی را لحاظ کرده است. این درحالی است که با توجه به عوض شدن سالیانه تولید ناخالص داخلی، باید این عدد به‌روز و اصلاح شود. از دیگر تفاوت‌های دو گزارش، داده‌های بُروز پایه مرگ است که در گزارش مرکز سلامت



و محیط کار، بروز پایه مرگ هر شهر، با توجه به مرگ‌های ثبت شده در سامانه مرگ وزارت بهداشت است؛ اما در گزارش‌های سایر مراکز تحقیقاتی، عمدتاً از داده‌های مطالعه بار بیماری‌ها (GBD) استفاده می‌شود که در بعضی از موارد با وضعیت موجود کشور تفاوت دارد.

جدول ۳. مقایسه برآورد آثار بهداشتی و خسارات آلودگی هوا بر سلامت در ایران مستخرج از مطالعات مختلف

گستره مکانی	سال	PM _{2.5} (µg/m ³)	جمعیت مورد بررسی (میلیون نفر)	تعداد موارد مرگ منتسب (نفر)	نرخ مرگ و میر منتسب (در ۱۰۰ هزار نفر)	ارزش آماری زندگی (دلار)	هزینه آسیب‌های سلامتی منتسب (میلیون دلار)	نهاد مرجع
ایران	۱۴۰۲	۳۰/۳	۴۸	۳۰،۶۹۲	۶۴	۳۹۲،۳۷۰	۱۲،۰۴۲	مرکز سلامت و محیط کار
	۱۴۰۱	۳۵/۱۲	۳۹	۲۶،۳۰۷	۶۷	۳۹۲،۳۷۰	۱۰،۳۲۰	مرکز سلامت و محیط کار
	۱۳۹۸	۳۸/۰	۸۳/۶	۴۱،۸۳۹	۵۰	۴۹۲،۱۳۱	۲۳،۶۶۷	بانک جهانی
	۱۳۹۷	۳۰/۱	۸۲/۱	۴۹،۳۰۳	۶۰	۲۱۷،۰۶۸	۱۰،۷۰۰	مطالعه فریدی و همکاران ۲۰۲۲
تهران	۱۴۰۲	۳۱/۹۱	۹/۹	۶،۹۳۹	۷۰	۳۹۲،۳۷۰	۲،۷۲۳	مرکز سلامت و محیط کار
	۱۴۰۱	۳۸/۰۳	۹/۸	۷،۱۲۵	۷۳	۳۹۲،۳۷۰	۲،۷۹۶	مرکز سلامت و محیط کار
	۱۴۰۱	۳۸/۶	۹/۶	۹،۲۴۱	۹۶	۲۶۸،۱۹۱	۲،۳۵۰	مرکز تحقیقات آلودگی هوا دانشگاه علوم پزشکی تهران

مأخذ: نگارندگان.

۳-۲. سایر پیامدهای اقتصادی

اگرچه در ارزیابی پیامدهای آلودگی هوا معمولاً بر آثار بهداشتی، به‌خصوص هزینه مرگ‌های زودرس منتسب به آلودگی هوا تمرکز می‌شود و در بخش قبل به تفصیل بیان شد، اما باید تأکید کرد که آلودگی هوا در جوامع از طریق بسیاری از راه‌های دیگر مانند کاهش بهره‌وری کشاورزی، کاهش دید افقی، آسیب‌های جدی درازمدت به مکان‌های فرهنگی و زیرساخت‌ها و به‌طور کلی تأثیر بر کیفیت زندگی آثار منفی به‌همراه دارد. به‌عنوان مثال، دولت سوئیس ارزیابی جامعی از پیامدهای آلودگی هوا را با تمرکز بر منبع کلیدی آن یعنی ترافیک، در دهه ۱۹۹۰ آغاز کرد که هزینه‌های مربوط به آلودگی هوا با توجه به آسیب‌های ساختمان‌ها، کمبود زراعی، تخریب جنگل و از دست دادن تنوع زیستی، ۱۵ درصد خسارات ناشی از مرگ و بیماری‌های منتسب به آلودگی هوا برآورد شده است [۳۱]. در ادامه برخی از پیامدهای محتمل اقتصادی آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته است.

الف) کاهش بهره‌وری نیروی انسانی

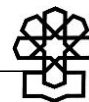
آلودگی هوا باعث آسیب قابل توجهی به بهره‌وری سرمایه انسانی و تصمیم‌گیری و طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها از طریق آثار فیزیکی و شناختی می‌شود [۳۲]. مطالعات نشان داده‌اند که در مناطقی با آلودگی هوای بالا، کارگران به دلیل مشکلات تنفسی، کاهش توانایی شناختی، کاهش تمرکز، بار روان‌شناختی و افزایش روزهای غیبت بهره‌وری کمتری خواهند داشت که این امر منجر به کاهش تولید و در نتیجه، کاهش رشد اقتصادی می‌شود [۳۳]. نکته جالب توجه آن است که این تأثیرات در هر دو رده کارهای فیزیکی و ذهنی گزارش شده است و در مشاغلی که نیاز به تمرکز و دقت بالا دارند، مانند کارهای صنعتی و اداری، اهمیت بیشتری دارد. علاوه بر تأثیرات انکارناپذیر آلودگی بر عملکرد فردی نظیر تمرکز و توانایی شناختی، اما برخی مطالعات هم اشاره داشته‌اند که جنبه روان‌شناختی معضل آلودگی هوا فارغ از مواجهه فیزیکی، بر عملکرد نیروی انسانی مؤثر بوده است. در واقع نمی‌توان انکار کرد مسائل روان‌شناختی ممکن است به خودی خود واکنش‌های فیزیکی، مانند تغییر در ضربان قلب یا الگوهای تنفسی را القا کند که می‌تواند بر عملکرد کار تأثیر بگذارد. این موضوع در واقع بدین معناست که حتی محافظت از کارگران در برابر مواجهه فیزیکی با آلودگی از طریق فیلتر کردن هوا هم ممکن است به‌طور کامل کاهش بهره‌وری ناشی از آلودگی هوا را از بین نبرد [۳۴].

ب) تعطیلی ادارات و مشاغل

تعطیلی‌های اجباری ادارات و مشاغل، از دیگر زیان‌های ناشی از آلودگی هواست. پیامد این توقف‌ها این است که بسیاری از صنایع که به زنجیره تأمین وابسته‌اند، گرفتار می‌شوند و خط تولید آنها دچار مشکل می‌شود. در چنین شرایطی، کارخانجات برای جبران ضررهای مالی ممکن است مجبور به تعدیل نیرو شوند. این مسئله به‌ویژه در مورد کارخانه‌های کوچک و متوسط که حاشیه سود کمتری دارند، شدیدتر است. تعطیلی‌های ناگهانی می‌تواند باعث ایجاد استرس، اضطراب و حتی افسردگی شود و مردم نگران آینده شغلی، تحصیلی و اقتصادی خود شوند. این وضعیت به‌ویژه برای خانواده‌هایی که منابع درآمدی محدود دارند یا کسب‌وکارهای کوچک را مدیریت می‌کنند، بسیار نگران‌کننده است [۳۵].

ج) خسارات وارده به بخش کشاورزی و صنعت

آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش رشد گیاهان، کاهش کیفیت محصولات کشاورزی و افزایش حساسیت آنها به آفات و بیماری‌ها شود. در این شرایط کشاورزان مجبورند برای محافظت از محصولات خود در برابر آلودگی هوا، هزینه‌های بیشتری را صرف کنند. آلودگی ذرات به‌طور مستقیم با توانایی محصولات در فتوسنتز نور خورشید تداخل می‌کند و عملکرد را کاهش می‌دهد، در حالی که سایر آلاینده‌ها مانند ازن برای محصولات سمی هستند. در سال ۲۰۱۹، خسارات اقتصادی ناشی از تأثیرات ازن در سطح زمین بر تولید گندم در ۳۵ کشور اروپایی به ۱،۴۱۸ میلیون یورو رسید [۳۶]. نتایج یک بررسی در ۱۴۶ کشور جهان نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، افزایش یک درصدی در غلظت ذرات ریز (PM_{2.5}) و ازن تروپوسفر (O₃) باعث می‌شود که بهره‌وری کل عوامل کشاورزی به ترتیب ۰.۱۰۴ و ۰.۲۰۷ درصد کاهش یابد [۳۷]. علاوه بر این، آلودگی هوا می‌تواند به تجهیزات صنعتی آسیب برساند و باعث کاهش بهره‌وری



آنها شود و صنایع مجبور هستند هزینه‌های بیشتری را برای تعمیر و نگهداری تجهیزات صرف کنند.

د) خسارات وارده به زیرساخت‌ها

آلودگی هوا باعث خوردگی ساختمان‌ها، پل‌ها و سایر زیرساخت‌ها می‌شود که هزینه‌های تعمیر و نگهداری را افزایش می‌دهد. آلاینده‌های هوا، به‌ویژه اسیدهای حاصل از باران اسیدی، به ساختمان‌ها، پل‌ها، مجسمه‌ها و سایر سازه‌های فلزی و سنگی آسیب می‌رسانند. این آسیب‌ها نیازمند صرف هزینه‌های هنگفت برای تعمیر و نگهداری هستند. برای مثال، بسیاری از بناهای تاریخی در شهرهای آلوده به‌دلیل مواجهه با آلاینده‌ها دچار فرسایش شده‌اند. به‌عنوان نمونه، افزایش آلودگی هوا و مواد شیمیایی معمولاً باعث افزایش میزان قطعی در شبکه برق خوزستان می‌شود [۳۸].

ه) کاهش گردشگری

آلودگی هوا، به‌دلایلی نظیر نگرانی‌های سلامتی گردشگران و بوی نامطبوع و کاهش دید، از جذابیت‌های گردشگری شهرها می‌کاهد. علاوه‌براین، آلودگی هوا می‌تواند به جاذبه‌های گردشگری مانند جنگل‌ها، دریاچه‌ها و بناهای تاریخی آسیب برساند و از این طریق، صنعت گردشگری را تحت تأثیر قرار دهد. بر این اساس، آلودگی هوا می‌تواند بر صنعت گردشگری تأثیر منفی بگذارد و باعث کاهش تعداد گردشگران و درآمد حاصل از این صنعت شود. این موضوع به کاهش درآمدهای حاصل از گردشگری و در نتیجه، کاهش رشد اقتصادی منجر می‌شود.

براساس مطالعات پیشین جهانی که غالباً در کشور چین انجام شده است؛ آثار آلودگی هوا بر گردشگری را می‌توان در دو دسته کلی اثر بر روی بازدیدکنندگان و بر تقاضای گردشگری جهانی طبقه‌بندی کرد. مطالعات گوناگونی انجام شده است که نشان می‌دهد کیفیت هوای مطلوب احتمالاً تأثیر مثبتی بر رفتار سفر و انتخاب مقصد گردشگران دارد. علاوه‌براین، واضح است که آلودگی هوا می‌تواند بر کیفیت و سلامت زندگی مسافران به‌ویژه در طول سفر مؤثر باشد و موجب سرفه‌های مزمن و مشکلات ریوی در آلودگی شدید هوا شود و همین پیامدهای رضایت گردشگران را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد. نکته مهم‌تر که در طولانی‌مدت صنعت گردشگری را در یک منطقه و شهر متأثر می‌کند؛ تصویر کلان مثبت یا منفی است که در ذهن بازدیدکنندگان نقش می‌بندد [۳۹].

۳-۳. پیامدهای اجتماعی و فرهنگی

برخی مطالعات طی سالیان اخیر علاوه‌بر بررسی پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی و وضعیت اقتصادی، پیامدهای اجتماعی و فرهنگی را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. بر این اساس اصلی‌ترین پیامدهای اجتماعی آلودگی هوا شامل موارد زیر است:

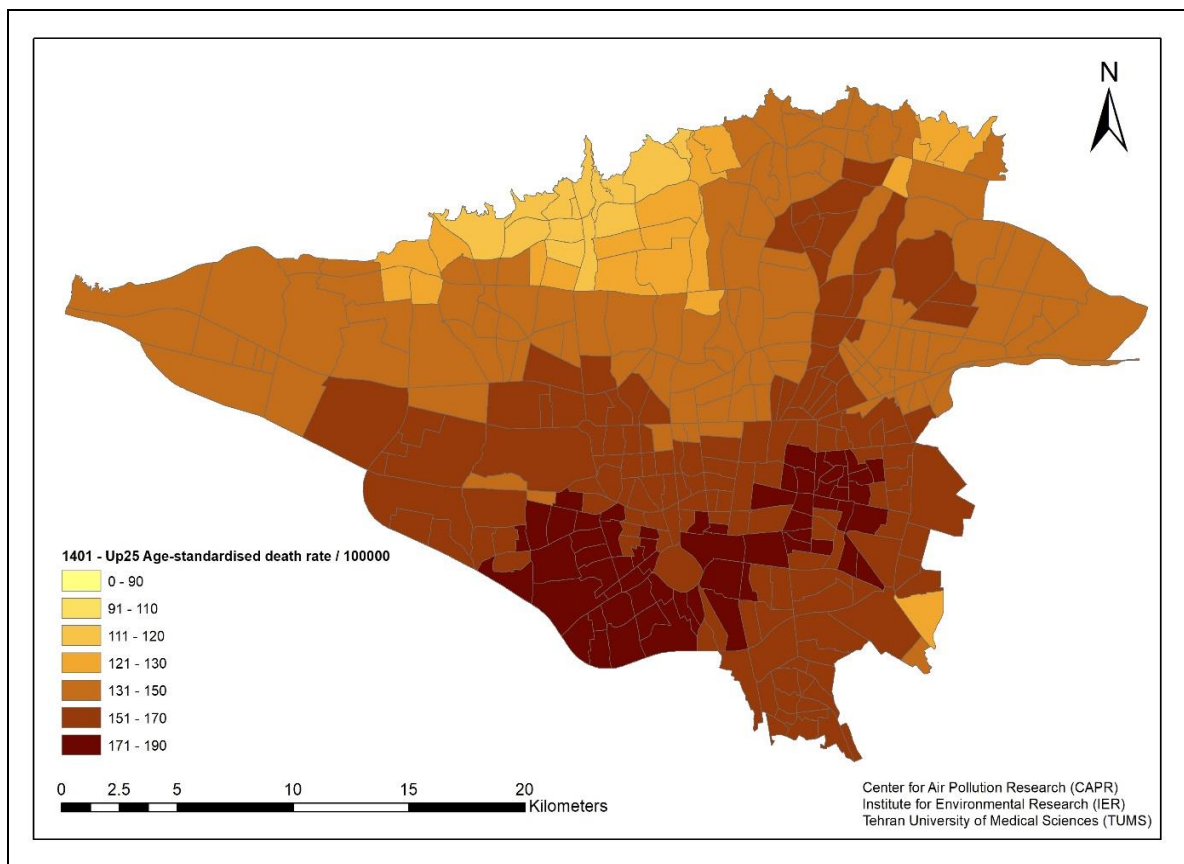
الف) کاهش کیفیت زندگی

آلودگی هوا با کاهش دید افقی، افزایش آلودگی صوتی و بوی نامطبوع، بر کیفیت زندگی شهری تأثیر منفی می‌گذارد و کاهش رضایت شهروندان از زندگی در شهر را به‌همراه دارد. علاوه‌براین، رشد بیماری‌های تنفسی، قلبی و عروقی و همچنین برخی از سرطان‌ها در پی آلودگی هوا می‌تواند بر کیفیت زندگی افراد تأثیر منفی بگذارد و احساس ناراضی‌تی و ناامیدی را در بین جامعه گسترش دهد. آلودگی هوا باعث می‌شود افراد از فعالیت‌های خارج از منزل مانند

ورزش، پیاده‌روی و گذراندن وقت در پارک‌ها خودداری کنند که این امر می‌تواند بر تعاملات اجتماعی و الگوهای سرگرمی اثر منفی بگذارد [۴۰].

ب) تشدید نابرابری‌های اجتماعی و بهداشتی

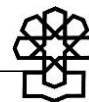
گروه‌های کم‌درآمد معمولاً در مناطق آلوده‌تر زندگی می‌کنند و به دلیل دسترسی کمتر به امکانات بهداشتی و درمانی، بیشتر در معرض خطرات ناشی از آلودگی هوا قرار دارند که این وضعیت می‌تواند منجر به تشدید نابرابری‌های اجتماعی شود. توزیع مکانی نرخ مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به ازای صد هزار نفر جمعیت در محلات تهران طی سال ۱۴۰۱ بیانگر نابرابری آثار در مناطق مختلف شهر تهران است؛ به عبارت دیگر، نرخ مرگ منتسب به آلودگی هوا در محله‌های جنوبی و جنوب غربی شهر تهران تقریباً دو برابر بیشتر از برخی محله‌های نواحی شمالی شهر است [۳۰].



شکل ۹. توزیع مکانی نرخ مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ به ازای ۱۰۰ هزار نفر برای گروه سنی بالای ۲۵ سال جمعیت در محلات تهران طی سال ۱۴۰۱ [۳۰]

ج) تغییر در الگوی مهاجرت

آلودگی هوا می‌تواند باعث مهاجرت افراد از مناطق آلوده به مناطق پاک‌تر شود. این امر می‌تواند بر ترکیب جمعیتی مناطق و ساختار اجتماعی آنها تأثیر بگذارد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که آلودگی هوا تأثیر قابل توجهی بر تصمیمات مهاجرتی افراد دارد. به طور واضحی افزایش آلودگی هوا حتی در کوتاه‌مدت باعث افزایش تمایل افراد به مهاجرت از مناطقی با کیفیت



هوای پایین به مناطقی با کیفیت هوای بهتر می‌شود. پژوهشی در چین نشان داد که اگر سطح $PM_{2.5}$ یک شهر به میزان ۱۰ میکروگرم در مترمکعب افزایش یابد، احتمال ورودی مهاجران به آن شهر به‌طور قابل‌توجهی ۲۱٪ کاهش می‌یابد. آلودگی هوا نه‌تنها بر تصمیمات مهاجرت افراد ساکن در مناطق آلوده تأثیر می‌گذارد، بلکه بر تصمیمات مهاجران برای انتخاب مقصد نیز مؤثر است و مهاجران تمایل دارند به شهرهایی با کیفیت هوای بهتر نقل مکان کنند [۴۱]. مهاجرت به‌دلیل آلودگی هوا در مورد افراد با تحصیلات بالاتر، درآمد بیشتر و حساسیت بیشتر به کیفیت هوا شدیدتر است و می‌تواند موجب مهاجرت نخبگان شود. درواقع مهاجرت ناشی از آلودگی هوا می‌تواند منجر به خروج سرمایه انسانی از مناطق آلوده شده و به اقتصاد این مناطق نیز آسیب برساند [۴۲].

د) کاهش عملکرد تحصیلی

مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش تمرکز، حافظه و توانایی یادگیری شود و از این طریق بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان تأثیر بگذارد. مطالعات گسترده‌ای در جهان در زمینه تأثیرات آلودگی هوا بر عملکرد تحصیلی و سلامت روانی دانش‌آموزان انجام شده است. یکی از مطالعات کلیدی، توسط لو و همکاران (۲۰۲۱) منتشر شده که ارتباط میان آلودگی هوای محیط و کاهش نمرات آزمون‌های ریاضی و زبان انگلیسی را مورد بررسی قرار داد. این مطالعه در ایالات متحده، بر بیش از ۲۵۰ میلیون آزمون تحصیلی از ۱۰,۹۲۱ مدرسه در طی ۷ سال انجام شد. این مطالعه تأکید می‌کند که آلودگی هوا با افزایش التهاب عصبی و زوال شناختی در دانش‌آموزان مرتبط است، که درنهایت بر میزان توجه آنها تأثیر می‌گذارد [۴۳]. یکی از مطالعات گسترده کوهورت در دانمارک نیز نشان داد که مواجهه طولانی‌مدت با $PM_{2.5}$ و PM_{10} با کاهش نمرات تحصیلی در کلاس نهم مرتبط است. این مطالعه نشان داد که افزایش ۵ میکروگرم بر مترمکعب در $PM_{2.5}$ و PM_{10} به‌ترتیب باعث کاهش ۰/۹۹ و ۰/۴۶ در نمرات دانش‌آموزان شده است [۴۴].

ه) کاهش فعالیت‌های خارج از کلاس

آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش فعالیت‌های ورزشی و تفریحی دانش‌آموزان در فضای باز شود که این امر می‌تواند بر رشد جسمی و اجتماعی آنها تأثیر منفی بگذارد.

و) کاهش کیفیت آموزش

آلودگی هوا می‌تواند بر کیفیت آموزش در مدارس تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، آلودگی هوا می‌تواند باعث کاهش تهویه مناسب در کلاس‌های درس شود که این امر می‌تواند بر سلامت دانش‌آموزان و معلمان تأثیر گذاشته و بر کیفیت آموزش نیز تأثیر بگذارد. آلودگی هوا با تعطیلی مدارس و افزایش تقاضا برای آموزش مجازی، باعث توسعه سریع این حوزه شده است. هرچند آموزش مجازی مزایایی همچون ادامه آموزش بدون وقفه، کاهش تردد و آلودگی، امکان دسترسی همه به آموزش و تنوع در روش‌های یادگیری را به‌همراه دارد، اما چالش‌هایی مانند عدم دسترسی واقعی همه به ابزارهای لازم، کاهش تعاملات اجتماعی، مشکلات فنی و نیاز به آموزش معلمان را نیز ایجاد می‌کند. در سنوات اخیر به‌طور متوسط، سالیانه ۲۰ روز، کلاس‌های مدارس شهر تهران تعطیل یا به‌صورت غیرحضوری برگزار شده‌اند. برای بهبود وضعیت، توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، آموزش معلمان، توجه به عدالت آموزشی و تولید

محتوای باکیفیت ضروری است.

شواهد فراوانی در مطالعات مختلف حاکی از آن است که آلودگی هوا تأثیرات معناداری بر کیفیت آموزش و یادگیری دانش‌آموزان دارد. این تأثیرات نه تنها به نتیجه‌های تحصیلی بلافاصله منتهی می‌شود، بلکه می‌تواند پیامدهای بلندمدتی بر سلامت و موفقیت تحصیلی آنها در زندگی آینده داشته باشد. البته شناخت دقیق سازوکارهای مؤثر بر افت تحصیلی دانش‌آموزان هنوز در گام‌های ابتدایی بوده و نیازمند مطالعات گسترده‌تری است.

ز) افزایش غیبت از مدرسه

آلودگی هوا می‌تواند باعث افزایش بیماری‌های تنفسی در کودکان شود و در نتیجه، باعث افزایش غیبت از مدرسه و در نتیجه به کاهش سرمایه انسانی یک جامعه منجر شود.

ح) تغییر در انگیزه و نگرش به آینده

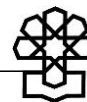
آلودگی هوا می‌تواند باعث ایجاد نگرانی در مورد آینده و کاهش امید به آینده و کاهش تعلق به جامعه در میان جوانان شود. گروهی از محققان ژاپنی نیز به بررسی تأثیر آلودگی هوا بر انگیزه و عملکرد دانش‌آموزان پرداختند. آنها با طراحی یک آزمایش کنترل شده و جمع‌آوری داده‌ها از وضعیت هوای محیط، دریافتند که کیفیت پایین هوا به طور قابل توجهی انگیزه و تمایل به یادگیری دانش‌آموزان را کاهش می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که در کلاس‌های دارای کیفیت هوای بهتر، انگیزه برای یادگیری بین ۳/۷٪ تا ۱۱/۷٪ بیشتر از کلاس‌های با کیفیت هوای ضعیف است [۴۵]. پژوهش دیگری نشان داد که کیفیت بد هوا با کاهش بهره‌وری، سطوح انگیزه، و سلامت روانی مرتبط است و بهبود کیفیت هوای محیط می‌تواند موجب افزایش تحریکات و موفقیت‌های تحصیلی دانش‌آموزان شود و در نهایت به بهبود سلامت روانی آنها کمک کند. در مقابل تأثیرات منفی آلودگی هوا بر دانش‌آموزان ممکن است عواقب طولانی‌مدتی در زندگی حرفه‌ای آنها به همراه داشته باشد [۴۶].

۳-۴. پیامدهای محیط زیستی

آلودگی هوا یکی از جدی‌ترین چالش‌های محیط زیستی در عصر حاضر است که نه تنها بر سلامت انسان، بلکه بر تمام اکوسیستم‌ها نیز تأثیر می‌گذارد. این آلودگی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل و سوزاندن سوخت‌های فسیلی است، طیف گسترده‌ای از آثار مخرب را بر محیط زیست به دنبال دارد. آلودگی هوا می‌تواند به اکوسیستم‌ها آسیب جدی وارد کند که در ادامه پیامدهای اصلی مورد بررسی قرار گرفته است.

الف) باران اسیدی و تخریب اکوسیستم

باران اسیدی باعث تخریب برگ‌ها، آسیب به ریشه‌ها و کاهش رشد گیاهان می‌شود. این پدیده به‌ویژه برای جنگل‌های سوزنی برگ و خاک‌های اسیدی بسیار مخرب است. باران اسیدی همچنین باعث خوردگی سنگ‌ها و فلزات می‌شود و به بناهای تاریخی و ساختمان‌ها آسیب می‌رساند. باران اسیدی باعث کاهش pH آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌شود که این امر به مرگ ماهی‌ها و سایر موجودات آبی منجر شده و تخریب اکوسیستم‌های آبی را به دنبال دارد. رسوب دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و آمونیاک (NH_3) منجر به تغییراتی در ترکیب شیمیایی خاک، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های دریاها از طریق فرایندی به نام اسیدی شدن می‌شود که



اکوسیستم‌ها را مختل می‌کند و منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود. از آنجایی که انتشار SO_2 به‌طور قابل توجهی در دهه‌های اخیر کاهش یافته، سهم نسبی NH_3 و NO_x در اسیدی شدن آب‌های سطحی و خاک روندی افزایشی داشته است [۳۶].

در محیط طبیعی، ازن در سطح زمین می‌تواند تأثیرات معناداری بر روی پوشش گیاهی و اکوسیستم‌ها داشته باشد. این ماده با کاهش سطح فتوسنتز، کند کردن رشد و توسعه، افزایش ریسک بیماری، آفات، شرایط جوی شدید و سایر استرس‌ها، و ایجاد آسیب‌های فیزیکی به سطح برگ‌ها بر پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه گیاهان و پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرند، تأثیرات متقابلی بر اکوسیستم‌ها ایجاد می‌شود، مانند کاهش تنوع زیستی، کاهش تولید محصولات زراعی، تغییرات در فلورا و فاونا، کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و مشارکت در تشدید آثار سایر چالش‌های اکوسیستم مانند اسیدزایی و تغذیه‌گرایی بیش از حد [۴۷].

ب) آلودگی خاک و گیاهان

آلودگی هوا می‌تواند باعث آلودگی خاک شود و مواد شیمیایی مضر را وارد خاک کند. این امر باعث کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شود. مطابق پژوهشی که در سال ۱۳۹۷ در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شد، در دو منطقه مطالعاتی تهران که از نظر اقلیم یکسان و از نظر آلودگی تفاوت معنادار داشتند، پارامترهای فنولوژی (زمان باز شدن جوانه‌های زمستانه، مراحل رویش برگ، گل‌دهی، رسیدن بذر و در نهایت تاریخ خزان بر روی گونه چنار در مراحل رویشی و زایشی بررسی قرار گرفت و نتایج نشان از تأثیرات آلودگی بر روی این پدیده‌ها دارد [۴۸]. همچنین مواد شیمیایی موجود در خاک آلوده می‌توانند به آب‌های زیرزمینی نفوذ کرده و منابع آب آشامیدنی را آلوده کنند.

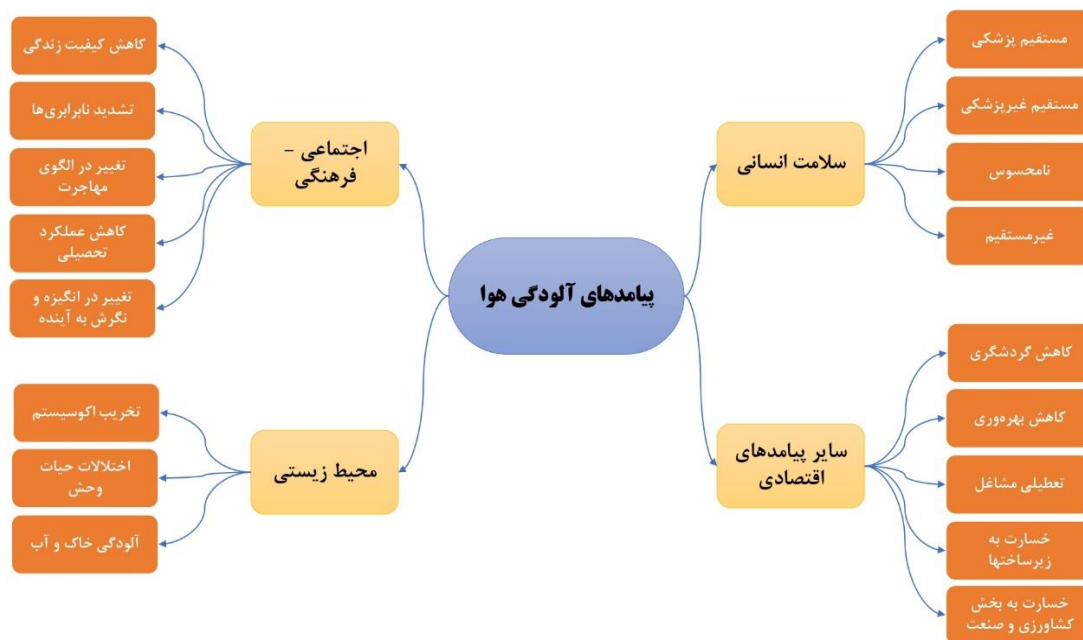
ج) تأثیرات بر حیات وحش

آلاینده‌های سمی موجود در جو، یا رسوب کرده بر روی خاک‌ها یا آب‌های سطحی، می‌توانند به روش‌های مختلف بر حیات وحش تأثیر بگذارند. حیوانات نیز همانند انسان‌ها، ممکن است در صورت مواجهه با غلظت‌های بالا از سموم هوا در طول زمان، با مشکلات سلامتی مواجه شوند. مطالعات نشان می‌دهند که سموم هوایی به نقایص مادرزادی، نارسایی تولیدمثل و بیماری در حیوانات کمک می‌کنند. تأثیر آلاینده‌های سمی هوای پایدار (آن‌هایی که به کندی در محیط پخش و تعدیل می‌شوند) بر اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه نگران‌کننده هستند. این آلاینده‌ها در رسوبات جمع می‌شوند و ممکن است در بافت‌های حیوانات در بالای زنجیره غذایی به غلظت‌هایی بسیار بالاتر از آب یا هوا بیفزایند [۴۹].

۴. جمع‌بندی و پیشنهادها

محاسبه و آگاهی از آثار متعدد بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی آلودگی هوا، گامی مهم در جهت اتخاذ تصمیمات آگاهانه و مؤثر برای مقابله با این معضل است. ارائه داده‌های قابل استناد در خصوص پیامدهای اقتصادی و اجتماعی آلودگی هوا، می‌تواند توجه سیاستگذاران را به این موضوع جلب کرده و آنها را برای اتخاذ اقدامات جدی‌تر ترغیب

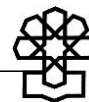
کند. با شناخت دقیق‌تر حوزه‌هایی که از آلودگی هوا متضرر می‌شوند، می‌توانیم اقدامات مقابله‌ای را اولویت‌بندی کرده و منابع را به‌نحو بهتر تخصیص دهیم. طی سالیان اخیر به‌دلیل اهمیت پیامدهای بهداشتی آلودگی در ایران و جهان، مطالعات متعددی به‌منظور محاسبه کمی‌سازی آثار آلودگی هوا بر سلامت صورت گرفته است. وزارت بهداشت ایران نیز به استناد ماده (۲۲) [آیین‌نامه فنی در زمینه کنترل و کاهش آلودگی‌ها](#) و همچنین برخی از مراکز تحقیقاتی دانشگاه‌ها در کشور، به‌طور سالیانه نسبت به کمی‌سازی آثار بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق در شهرهای کشور اقدام می‌کند. به‌رغم اقدامات صورت گرفته در کشور در خصوص برآورد خسارات بهداشتی آلودگی هوا، به‌نظر می‌رسد؛ همچنان خلأ یک رویکرد جامع به‌منظور لحاظ پیامدهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی فراتر از سلامت انسانی وجود دارد. گزارش حاضر سعی کرده است که ضمن بررسی مطالعات پیشین، نگاهی جامع به پیامدهای اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و محیط زیستی معضل آلودگی هوا داشته باشد.



شکل ۱۰. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی و بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی
مأخذ: نگارندگان.

در پایان گزارش به‌منظور تقویت آگاهی مردم و سیاستگذاران و مجریان کشور از هزینه‌های متعدد آلودگی هوا بر بخش‌های مختلف کشور پیشنهادهای ذیل ارائه می‌شود:

الف) گسترش دامنه جمعیتی در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا: با توجه به اینکه بیشتر قریب به اتفاق مردم ایران تحت مراتبی از آلودگی هستند؛ به‌نظر می‌رسد، نمی‌توان مطالعه و تخمین تعداد مرگ‌ومیر را به بخشی از جمعیت محدود کرد؛ لذا همان‌گونه که وزارت بهداشت اقدام به گسترش جمعیت تحت پوشش مطالعه در سال ۱۴۰۲ کرده است پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های معتبر موجود و همچنین ترمیم داده‌ها از



طریق داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های علمی دیگر، این ارزیابی طی سال‌های آینده جمعیت تحت پوشش خود را به‌مرور برای تمام کشور افزایش دهد.

ب) به‌روز کردن سالیانه ارزش آماری زندگی در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا: مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوای مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی پس از تصویب قانون هوای پاک نشانگر آن است که ارزش آماری زندگی در همه مطالعات یکسان فرض شده است؛ درحالی‌که برمبنای روش استفاده شده در گزارش مذکور، ضروری است این متغیر براساس تولید ناخالص داخلی به‌طور سالیانه به‌روز شود.

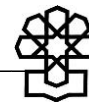
ج) مدنظر قرار دادن هزینه‌های مرتبط با بیماری‌ها و نه صرفاً هزینه‌های منتسب به موارد مرگ در مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا: همان‌گونه که مطالعات جهانی نشان می‌دهد، عوارض بیماری‌های منتسب به آلودگی معادل ۱۰٪ تا ۲۰٪ هزینه‌های مرگ‌ومیر است؛ لذا وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در مطالعات سالیانه خود باید به عوارض بیماری‌ها نیز توجه کند.

د) مستندسازی و کمی‌سازی جامع پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا: هرچند در کشور بیشتر مطالعات کمی‌سازی خسارات آلودگی هوا بر هزینه‌های غیرمستقیم سلامت انسان متمرکز شده است، اما گزارش حاضر نشان می‌دهد که پیامدهای آلودگی هوا منحصر به این بخش نیست و پیامدهای متعدد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی را به‌همراه دارد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود سازمان حفاظت محیط زیست نسبت به بررسی و تخمین پیامدهای گوناگون اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا، با همکاری دستگاه‌های مرتبط و مراکز علمی و پژوهشی کشور اقدام کند.

ه) توجه به هزینه‌های متعدد و پنهان آلودگی هوا، در تصویب و تخصیص بودجه اقدامات کنترلی: با توجه به پیامدهای متعدد آلودگی هوا و خسارات مرتبط به آن، در تعیین هزینه به فایده اقدامات کنترلی و اولویت‌بندی آنها، هزینه‌های واقعی‌تر پیامدها لحاظ شده و منافع اختصاص بودجه جهت اقدامات کنترلی همچون بهبود تجهیزات کنترل آلودگی در منابع ثابت و متحرک، گسترش حمل‌ونقل عمومی کارآمد، از رده خارج کردن خودروهای فرسوده و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در محاسبات در نظر گرفته شود.

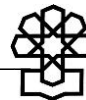
جدول ۴. پیشنهاد توصیه سیاستی

ردیف	نوع توصیه		توصیه سیاستی	الزامات و قیود اجرایی	دستگاه متولی	دستگاه معین	زمان بندی اجرا (کوتاه مدت، میان مدت، بلندمدت)
	تداوم*	اصلاح**					
۱	**	**	گسترش دامنه جمعیتی در مطالعات کمی سازی خسارات آلودگی هوا	استفاده از داده‌های ایستگاه‌های معتبر موجود و همچنین ترمیم داده‌ها از طریق داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های علمی دیگر	وزارت بهداشت	-	کوتاه مدت
۲	**	**	به روز کردن سالیانه ارزش آماری زندگی در مطالعات کمی سازی خسارات آلودگی هوا	-	وزارت بهداشت	-	کوتاه مدت
۳	**	**	مدنظر قرار دادن هزینه‌های مرتبط با بیماری‌ها و نه صرفاً هزینه‌های منتسب به موارد مرگ در مطالعات کمی سازی خسارات آلودگی هوا	-	وزارت بهداشت	-	کوتاه مدت
۴	**	**	مستندسازی و کمی سازی جامع پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آلودگی هوا	همکاری بین بخشی دستگاه‌های مرتبط و مراکز علمی و پژوهشی کشور	سازمان حفاظت محیط زیست	-	میان مدت
۵	*	**	توجه به هزینه‌های متعدد و پنهان آلودگی هوا، در تصویب و تخصیص بودجه اقدامات کنترلی	سازمان برنامه و بودجه	سازمان حفاظت محیط زیست	-	میان مدت



- [1] Bank, W., The global health cost of PM_{2.5} air pollution: a case for action beyond 2021. 2022: The World Bank.
- [2] (IHME), I.f.H.M.a.E., GBD Compare Data Visualization. Global Burden of Disease (GBD) Study 2021. 2023.
- [3] Landrigan, P.J., et al., The Lancet Commission on pollution and health. The lancet, 2018. 391(10119): p. 462-512.
- [4] Fuller, R., et al., Pollution and health: a progress update. The Lancet Planetary Health, 2022. 6(6): p. e535-e547.
- [۵] شاهسونی، عباس. جندقی، جعفر. کمی‌سازی آثار بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق (PM_{2.5}) در پنجاه‌وهفت شهر ایران در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳، گروه سلامت هوا و تغییر اقلیم مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی.
- [۶] سلیمانی، الهه. چراغی، میترا. آلودگی هوا تهدیدی جدی برای سلامت (۱۹۱۵۴). ۱۴۰۲، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
- [۷] سیاست‌های کلی جمعیت ابلاغی مقام معظم رهبری. ۱۳۹۳: تهران.
- [۸] هیئت‌وزیران. آیین‌نامه فنی در زمینه کنترل و کاهش آلودگی‌ها. ۱۳۹۷.
- [9] Lelieveld, J., et al. „The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. Nature, 2015. 525(7569): p. 367-371.
- [10] Agency, E.E., Healthy Environment, Healthy Lives: How the Environment Influences Health and Well-Being in Europe. 2020, European Environment Agency Copenhagen, Denmark.
- [11] EPA, Particulate Matter (PM). 2014.
- [12] Loomis D, G.Y., Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Baan R, Mattock H, Straif K, The carcinogenicity of outdoor air pollution .The Lancet Oncology, 2013. 14(13): p. 1262-63.
- [13] Yang, T., et al., Long-term exposure to multiple ambient air pollutants and association with incident depression and anxiety. JAMA psychiatry, 2023. 80(4): p. 305-313.
- [14] Liu, F., et al., Effects of air pollution and residential greenness on sleep disorder: a 8-year nationwide cohort study. Environmental Research, 2023. 220: p. 115-177.
- [15] Bhui, K., et al., Air quality and mental health: evidence, challenges and future directions. BJPsych Open, 9 (4), e120. 2023.
- [16] Newbury, J.B., et al., Association of air pollution exposure with psychotic experiences during adolescence. JAMA psychiatry, 2019. 76(6): p. 614-623.
- [17] Brown, M.L. and K.R. Yabroff, 12, Economic impact of cancer in the United States. Cancer Epidemiol. Prev, 2006. 202: p. 202-214.
- [18] Barron, J.J., et al., Assessing the economic burden of breast cancer in a US managed care population. Breast cancer research and treatment, 2008. 109: p. 367-377.
- [19] Oostenbrink, J.B., M.A. Koopmanschap, and F.F. Rutten, Standardisation of costs: the Dutch Manual for Costing in economic evaluations. Pharmacoeconomics, 2002. 20: p. 443-454.
- [20] Grover, S.A., et al., The economic burden of prostate cancer in Canada: forecasts from the Montreal Prostate Cancer Model. Cmaj, 2000. 162(7): p. 987-992.
- [21] Max, W., H.-Y. Sung, and B. Stark, The economic burden of breast cancer in California. Breast cancer research and treatment, 2009. 116: p. 201-207.
- [22] Kim, S.G., et al., The economic burden of cancer in Korea in 2002. European journal of cancer care, 2008. 17(2): p. 136-144.
- [23] Yabroff, K.R., et al., Patient time costs associated with cancer care. Journal of the National

- Cancer Institute, 2007. 99(1): p. 14-23.
- [24] Yabroff, K.R., et al., Economic burden of cancer in the United States: estimates, projections, and future research. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention*, 2011. 20(10): p. 2006-2014.
- [25] Collaborators, G. and J. Ärnlöv, Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 2020. 396(10258): p. 1223-1249.
- [26] OECD, *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*. 2016, OECD Paris.
- [۲۷] شاهشونی، عباس. کمی‌سازی آثار بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق (PM_{2.5}) در سی‌وسه شهر ایران در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، گروه سلامت هوا و تغییر اقلیم مرکز سلامت و محیط کار؛ مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی.
- [28] Faridi, S., et al., Health burden and economic loss attributable to ambient PM_{2.5} in Iran based on the ground and satellite data. *Scientific Reports*, 2022. 12(1): p. 14386.
- [29] 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.
- [۳۰] حسونند، محمدصادق. فریدی، ساسان. بیات، رضا. گزارش ۱۲ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۱) کیفیت هوای شهر تهران: تغییرات زمانی مکانی غلظت‌ها، آثار بهداشتی و اقتصادی. ۱۴۰۲، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، پژوهشکده محیط زیست، مرکز تحقیقات آلودگی هوا.
- [31] Bieler, C., et al., Externe Effekte des Verkehrs 2015. *Ecoplan/Infras Studie im Auftrag des Bundesamt für Raumentwicklung*, 2019.
- [32] Aguilar-Gomez, S., et al., This is air: The “nonhealth” effects of air pollution. *Annual Review of Resource Economics*, 2022. 14(1): p. 403-425.
- [33] Organization, W.H., Annual report 2021: WHO Asia-Pacific Centre for Environment and Health in the Western Pacific Region. 2022, WHO Regional Office for the Western Pacific.
- [34] Cook, N and A. Heyes, Pollution pictures: Psychological exposure to pollution impacts worker productivity in a large-scale field experiment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2022. 114: p. 102691.
- [۳۵] ایرنا، تبعات تعطیلی‌های اجباری بر اقتصاد ایران؛ از کاهش بهره‌وری تا آفت تولید. ۱۴۰۳.
- [36] Agency, E.E. Air quality in Europe 2022. Impacts of air pollution on ecosystems 2022; Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/impacts-of-air-pollution-on-ecosystems>.
- [37] Dong, D. and J. Wang, Air pollution as a substantial threat to the improvement of agricultural total factor productivity: Global evidence. *Environment International*, 2023. 173: p. 107842.
- [۳۸] امامی، حسین. جولانژاد، رضا. بررسی و مطالعه آثار آلودگی هوا و مواد شیمیایی بر قطعی برق شبکه توزیع شهرستان بندر ماهشهر، کنفرانس ملی دانش و فناوری نوین در علوم و مهندسی در عصر تکنولوژی. ۱۳۹۶.
- [۳۹] Eusebio, C., et al., The impact of air quality on tourism: a systematic literature review. *Journal of Tourism Futures*, 2021. 7(1): p. 111-130.
- [40] Environment, U., *Global Environment Outlook 6*. 2019, United Nations Environment Programme (UNEP).
- [41] Shen, F., et al., Air pollution and migration decision of migrants in low-carbon society. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023. 20(1): p. 870.
- [42] Ma, S., et al., Does air pollution induce international migration? New evidence from Chinese residents. *Economic Modelling*, 2023. 120: p. 106176.
- [43] Lu, W., D.A. Hackman, and J. Schwartz, Ambient air pollution associated with lower academic achievement among US children: a nationwide panel study of school districts. *Environmental epidemiology*, 2021. 5(6): p. e174.



- [44] Lim, Y.-H., et al., Lifetime exposure to air pollution and academic achievement: A nationwide cohort study in Denmark. *Environment International*, 2024. 185: p. 108500.
- [45] Kameda, K.-i., et al., Study on the Productivity in Classroom (Part 4) Effects of Indoor Environmental Quality on Motivation and Performance for Learning. *IAQVEC 2007*, 2007:p. 89.
- [46] Raval, T., The Impact of Air Quality on Students Academics, Motivation and Mental Health.
- [47] István, P., The European environment-state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. European Environment Agency, 2020.
- [۴۸] رشیدی، فرحناز. جلیلی، عادل. تغییرات پدیده‌های فنولوژی گونه چنار تحت تأثیر آلودگی هوا. ۱۳۹۷.
- [49] Gilmour, M.I., et al., Air pollutant-enhanced respiratory disease in experimental animals. *Environmental health perspectives*, 2001. 109(suppl 4): p. 619-622.

گذاشته سیاستی

معضل آلودگی هوا هزینه‌های پیدا و پنهانی را بر بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به‌ویژه سلامت انسانی به‌همراه دارد که ضروری است سیاستگذاران و مجریان کشور این امر را در تصویب و تخصیص بودجه‌ها و هزینه-فایده طرح‌های مربوطه مورد توجه قرار دهند.



مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

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

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وبسایت: rc.majles.ir