مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هجدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۵ تا ۳۸

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با ذرات کربن سیاه در هوای آزاد شهر تهران

سمیه علیزاده عطار[۱]، علیرضا پرداختی[۱،*]، خسرو اشرفی[۱]، محمدصادق حسنوند[۲،۳]

۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷

واژگان کلیدی: ارزیابی خطر بهداشتی، کربن سیاه، احتراق ناقص، آلودگی هوا، شهر تهران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
alirezap@ut.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: کربن سیاه از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی و سوخت‌های زیستی تولید می‌شود. مواجهه بلند مدت با کربن سیاه با افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه و بیماری‌های قلبی ـ عروقی مرتبط است. هدف این مطالعه ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه در هوای آزاد شهر تهران است.

روش بررسی: نمونه‌های ساعتی کربن سیاه از ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران به‌صورت آنلاین جمع‌آوری و پس از میانگین‌گیری، به میانگین‌های سالانه برای سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ تبدیل شدند. در نهایت، ارزیابی خطر مواجهه با ترکیب موردنظر برای کل شهر تهران بر اساس مدل US EPA صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد در شهر تهران به واسطه مواجهه با کربن سیاه در هوای آزاد، شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) در بزرگسالان بیشتر از کودکان است. ضریب خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) در هر دو گروه سنی زیر مقدار آستانه یک بوده که نشان‌دهنده خطر غیرسرطان‌زایی پایین و قابل چشم پوشی است. با این حال، کودکان HQ بالاتری نسبت به بزرگسالان دارند. خطر سرطان کل طول عمر ناشی از مواجهه با کربن سیاه برابر با $۱/۴ \times ۱۰^{-۳}$ محاسبه شده است. خطر سالانه ناشی از کربن سیاه برابر با $۰/۰۲ \times ۱۰^{-۳}$ برآورد شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می دهد که خطرات سرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه برای بزرگسالان و کودکان بیش از حد مجاز است. خطر سرطان در بزرگسالان شش برابر کودکان است، اما خطر غیرسرطان‌زایی پایین ارزیابی گردیده است. کاهش انتشار کربن سیاه برای بهبود سلامت عمومی در شهرهای پر ترافیک ضروری است و تحقیقات بیشتر در این زمینه اهمیت دارد.

Please cite this article as: Alizadeh Attar S, Pardakhti A, Ashrafi Kh, Hassanvand MS. Assessment of cancer and non-cancer health risks associated with exposure to black carbon particles in the ambient air of Tehran city. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):25-38.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

مقدمه

کربن سیاه ((Black Carbon (BC) یک ذره در هواست که نور را جذب کرده و با گرما، انرژی را به جو منتقل کرده و در تغییرات اقلیمی کوتاه‌مدت نقش دارد. کربن سیاه دومین و مهمترین عامل گرم شدن جهان است (۱). کربن سیاه بر اثر جذب مستقیم نور، کاهش بازتاب نور برف و یخ از طریق رسوب روی آن‌ها و تعامل با ابرها، بر اقلیم تاثیر می‌گذارد (۲, ۳). آلودگی هوا یکی از مشکلات اصلی در کلان شهر تهران است. $PM_{2.5}$ به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم در این شهر شناخته می‌شود و کربن سیاه نیز جزو اجزای کلیدی آن به حساب می‌آید. کربن سیاه به صورت ذرات ریز ($PM_{2.5}$) به طور مستقیم در جو انتشار می‌یابد. کربن سیاه به عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی خطرات سلامتی مرتبط با ذرات احتراقی اولیه مورد توجه قرار می‌گیرد. این ذرات می‌توانند به سلامت انسان‌ها آسیب برسانند و در مدیریت کیفیت هوا نقش مهمی ایفا کنند (۳). بسیاری از پژوهش‌ها نشانگر آن است که اثرات نامطلوب سلامتی کربن سیاه به مراتب بیشتر از ذرات معلق است. کربن سیاه طی فرایندهای ناقص احتراق ناشی از سوخت‌های فسیلی، بیوسوخت‌ها و سوخت‌های جامد منتشر می‌گردد. استنشاق کربن سیاه می‌تواند به مشکلات سلامتی مختلفی از جمله بیماری‌های تنفسی، قلبی-عروقی ((Cardiovascular Disease (CVD)، سرطان، زایمان زودرس و سقط جنین منجر شود (۱). مطالعات مربوط به آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)) نشان داده است کودکانی که انتشارات ناشی از اگزوز موتورهای دیزلی را تنفس کرده‌اند دچار بیماری آسم شده‌اند. همچنین تماس طولانی‌مدت با اگزوز موتور دیزل ممکن است خطر سرطان ریه را افزایش دهد (۴). طبق بررسی‌هایی که در سال‌های اخیر صورت گرفته است، ذرات کربن سیاه به‌عنوان یک آلودگی اصلی و خطرناک برای سلامتی که مناطق شهری و دورافتاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناخته شده است. تماس با ذرات کربن سیاه توسط کارگران کارخانه کشتی‌سازی با افزایش دو برابری خطر ابتلا به سرطان مثانه همراه بوده است (۵). مطالعه Farzad و همکاران نشان می‌دهد که حذف آلاینده کربن سیاه می‌تواند موجب کاهش تعداد مرگ و میر در شهر تهران شود (۶). Heinrich و همکاران (۱۹۹۵) مطالعه‌ای روی موش‌ها و رت‌ها انجام دادند که آن‌ها را به مدت ۲۴ ماه در معرض اگزوز دیزل، کربن سیاه و دی‌اکسید تیتانیوم قرار دادند. موش‌ها و رت‌ها علائمی مانند کاهش طول عمر، افزایش تومورهای ریه و عدم پاکسازی ریه را نشان دادند (۷). Saba و همکاران در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ در شهر تهران انجام دادند، بیان کردند که حدود ۶۰۹۶ مورد مرگ سالیانه به دلیل مواجهه بلندمدت با کربن سیاه در هوای آزاد وجود دارد (۸). مطالعه Roostaei و همکاران نشان داد که تماس طولانی‌مدت با کربن سیاه، تعداد قابل توجهی مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های مختلف مانند بیماری های قلبی - عروقی، سکته، بیماری مزمن انسدادی ریه و سرطان ریه در بزرگسالان را به همراه دارد. همچنین در این مطالعه بار مالی مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از کربن سیاه نیز ارزیابی شد و نشان داد که به دلیل مرگ‌ومیر زیان‌های اقتصادی قابل توجهی وجود دارد (۹). در مطالعه Nichols و همکاران انتشارات کربن سیاه و کربن قهوه‌ای ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ارزیابی خطرات سلامتی انجام گرفته نشان داد مواجهه طولانی مدت انسان با کربن سیاه سطوح بالایی از خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی که بیش از حد ایمنی تعیین شده توسط EPA است را بدنبال دارد (۱۰). مطالعات نشان می‌دهد که حضور کربن سیاه در جو و مواجهه با آن با خطر بیماری‌های قلبی- عروقی در ارتباط است. این ماده به‌عنوان یکی از اجزای ذرات معلق هوا شناخته می‌شود و مواد سمی را به ریه‌های انسان منتقل می‌کند؛ این مواد باعث اختلال در عملکرد ریه و بروز بیماری‌های قلبی-عروقی می‌شود. دلایل موجود در این مطالعات نشان داد که غلظت کربن سیاه محیطی با تغییرات در اثرات زیرکلینیکی سلامت قلبی-عروقی به ویژه در افراد مبتلا به دیابت و بیماری عروق کرونر قلب ((Coronary Artery Disease (CAD) مرتبط است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

به طور کلی، کربن سیاه عاملی مهم در بروز بیماری‌های قلبی-عروقی شناخته می‌شود و کاهش غلظت آن می‌تواند به حفظ جان بسیاری از افراد کمک کند (۱۱, ۱۲). مطالعه Rahmatinia و همکاران نشان داد که افزایش سطح کربن سیاه با مرگ و میر قلبی - عروقی، بیماری‌های ایسکمیک قلب و مرگ و میر عروق مغزی مرتبط بود (۱۳). Ostro و همکاران روابطی بین کربن سیاه و تمام شاخص‌های مرگ و میر مشاهده کردند. برای میانگین متحرک ۳ روزه، مرگ و میر قلبی-عروقی در آتن و بارسلونا به ترتیب به اندازه ۴/۵ درصد و ۲/۰ درصد افزایش یافته است. مرگ‌ومیر قابل توجهی در افراد بالای ۶۵ سال ناشی از بیماری های تنفسی مشاهده گردید. همچنین، کربن سیاه سمیت بسیار بیشتری در هر میکروگرم نسبت به $PM_{2.5}$ نشان داد (۱۴). Smith و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های جمعیت جامعه سرطان آمریکا، ارتباط بین مواجهه طولانی‌مدت با ذرات $PM_{2.5}$ و کربن عنصری (EC) را بررسی کردند و گزارش دادند که تأثیرات کربن عنصری بر سرطان تقریباً ۱۰ برابر بیشتر از $PM_{2.5}$ بر اساس واحد جرم است (۱۵).

مطالعات نشان داده است افرادی که از سال ۱۹۸۹ با بالاترین سطوح کربن سیاه مواجهه داشته‌اند، حدود ۲۰ درصد بیشتر از افرادی که کمتر در معرض این آلاینده قرار گرفته‌اند، در معرض خطر ابتلا به سرطان هستند. خطر ابتلا به سرطان ریه به طور خاص ممکن است حدود ۳۰ درصد افزایش یابد. کربن سیاه، یک جزء از مواد ذرات ریز در هوا ناشی از سوخت ناقص است که با افزایش خطر سرطان، به ویژه سرطان ریه، مرتبط است. این ارتباط بر اساس مطالعاتی است که نشان می‌دهد مواجهه بلندمدت با کربن سیاه می‌تواند تأثیرات سلامتی قابل توجهی داشته باشد (۱۶). Benbrahim-Tallaa و همکاران در مطالعه ای که برای ارزیابی سطوح سرطان‌زایی گازهای اگزوز دیزل و بنزینی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که اگزوز دیزل سرطان‌زای انسانی است (گروه ۱) و اگزوز بنزین ممکن است سرطان‌زا (گروه ۲ B) باشد. ارزیابی‌ها بر اساس مطالعات اپیدمیولوژیک مختلف، ارتباط قوی بین مواجهه با دیزل و افزایش خطر سرطان ریه را نشان دادند. علاوه بر این شواهد قابل توجهی از اثرات ژنوتوکسیک در هر دو نوع اگزوز دیزل و بنزین مورد توجه قرار گرفت و بر لزوم کنترل‌های سخت‌گیرانه‌تر انتشار آلاینده‌ها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، تأکید کرد (۱۷). Smith و همکاران در یک مرور نظام مند مبتنی بر مطالعات زمان‌سنجی موجود درباره کربن سیاه و مرگ و میر روزانه که بیشتر آنها در آمریکای شمالی و اروپا انجام شده بود، ارتباطات مثبت و معناداری را بین کربن سیاه و مرگ و میر قلبی-ریوی گزارش کردند (۱۵). Lequy و همکاران یک مطالعه بلندمدت در فرانسه در مورد اثرات سرطان‌زایی کربن سیاه انجام دادند ارتباط مثبت و معناداری را بین میزان کربن سیاه و بروز سرطان در تمامی نقاط بدن و همچنین سرطان ریه مشاهده کردند (۱۸). شواهد کافی در مطالعات اپیدمیولوژیک ارتباط بین مواجهه با کربن سیاه و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری های قلبی-ریوی را ارائه می‌دهند که شامل افزایش خطر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه طولانی مدت می‌شود. همچنین مطالعات سم‌شناسی نشان می‌دهد کربن سیاه ممکن است به‌عنوان یک حامل برای مواد شیمیایی مختلف با سمیت‌های مختلف برای بدن انسان عمل کند. این در حالی است که کربن سیاه مستقیماً سمی نیست و به سمیت کلی ذرات کمک می کند (۱۶). انسان‌ها عمدتاً از طریق هوایی که تنفس می‌کنند با کربن سیاه مواجه هستند، زیرا این ماده در آب حل نمی‌شود و در نتیجه مردم معمولاً آن را از آب‌های آلوده نمی‌نوشند. بر این اساس، این مطالعه به ارزیابی خطرات سلامتی ناشی از استنشاق کربن سیاه در هوای تنفسی افراد پرداخته است. ارزیابی این خطرات از دو جنبه خطر سرطان‌زایی (Cancer Risk) و ضریب خطر غیرسرطانزایی (Hazard Quotient) انجام می‌شود. هدف اصلی این مطالعه بررسی خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با کربن سیاه در هوای آزاد شهر تهران است. با تحلیل داده‌های ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در بازه زمانی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، سطوح خطر برای بزرگسالان و کودکان ارزیابی شد. نتایج این مطالعه می‌تواند به توسعه راهکارهای مدیریتی برای کاهش

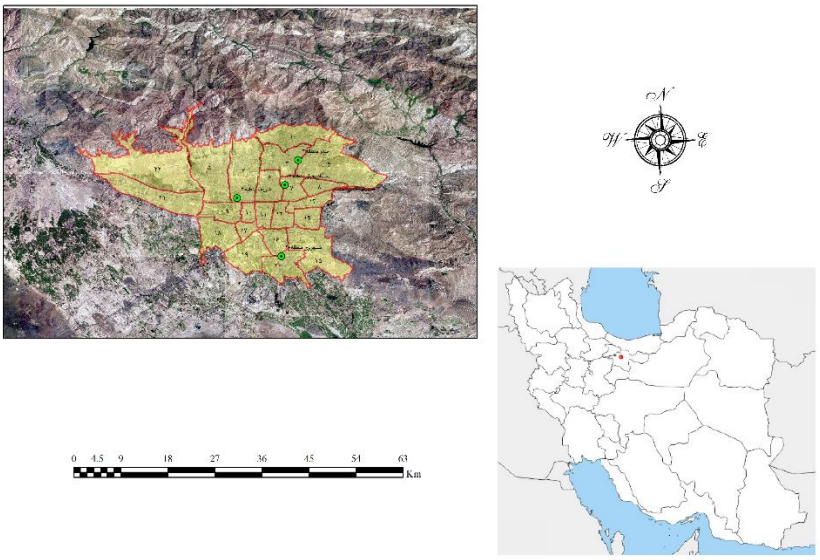
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

آلاینده‌های کربن سیاه و حفاظت از سلامت عمومی کمک کند. این مطالعه اولین تحلیل برای برآورد خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی کربن سیاه در ایران محسوب می‌شود. به دلیل کمبود داده‌های پایش، مطالعات اندکی در مورد اثرات منفی سلامتی کربن سیاه در ایران انجام شده است.

مواد و روش‌ها

جمع آوری و پردازش داده‌های کربن سیاه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهر تهران است که در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی واقع شده است. ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران وظیفه اندازه‌گیری و گزارش‌گیری از ذرات معلق و آلاینده‌های گازی را در سطح این کلان‌شهر بر عهده دارند. غلظت‌های جرمی کربن سیاه در تهران تنها در چهار ایستگاه آنلاین پایش کیفیت هوا، شامل ایستگاه‌های صدر، شهر ری، ستاد بحران و شریف، به‌صورت داده‌های میانگین ساعتی اندازه‌گیری و پایش می‌شود. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها نشان داده شده است. داده‌های کربن سیاه در سه ایستگاه شریف، صدر و شهر ری با استفاده از دستگاه آتالومتر مدل AE-33، که قادر به انتقال نور در طول موج‌های ۳۷۰، ۴۷۰، ۵۲۰، ۵۹۰، ۶۶۰، ۸۸۰ و ۹۵۰ nm است، اندازه‌گیری شده‌اند. در حالی که دستگاه اندازه گیری کربن سیاه در ایستگاه ستاد بحران توسط دستگاه آتالومتر مدل AE-31 با طول موج‌های ذکر شده، اندازه‌گیری شده‌اند. در این مطالعه، داده‌های مربوط به این ایستگاه‌ها برای بازه زمانی ۱ فروردین ۱۴۰۰ تا ۱۲ اسفند ۱۴۰۲ جمع‌آوری و سپس میانگین‌های ساعتی به میانگین‌های سالانه تبدیل شدند. داده‌های حاصل به عنوان پایگاه اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، از رویکرد Z-score استفاده شده و چهار ایستگاه مذکور به‌عنوان ایستگاه‌های مناسب برای بررسی شناسایی شدند، چرا که برای بیش از ۵۰ درصد از کل ساعات در طول دوره مطالعه، داده‌های ساعتی ثبت کرده بودند (۱۹, ۲۰). Z-score یک معیار آماری است که موقعیت یک مقدار خاص را نسبت به میانگین یک گروه از مقادیر مشخص می‌کند و فاصله آن از میانگین را معین می‌سازد. به عبارت دیگر، Z-score تعیین می‌کند که یک مقدار چند انحراف استاندارد از میانگین گروه فاصله دارد و می‌تواند به‌منظور شناسایی مقادیر پرت یا تحلیل توزیع داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱- نقشه مرزهای شهر تهران و ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای آزاد برای مراکز صدر، شهر ری، ستاد بحران و پیروزی که با رنگ قرمز نشان داده شده اند

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

ارزیابی خطر سلامتی کربن سیاه

ارزیابی خطر سلامتی برای کربن سیاه بر اساس مدل ارزیابی خطر سلامتی انسانی US EPA انجام گردید (۲۱). این روش شامل چهار مرحله اصلی به شرح زیر است:

_ شناسایی خطر

با توجه به شباهت در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی دوده و کربن سیاه، اصطلاحات آنها اغلب به جای هم استفاده می‌شوند. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان ((IARC) International Agency for Research on Cancer) کربن سیاه را سرطان‌زای گروه ۱ (سرطان‌زا برای انسان‌ها) شناسایی کرده است (۲۲, ۲۳). بنابراین، با بررسی آخرین تحقیقات علمی و شواهد موجود در مورد اثرات سلامتی کربن سیاه، مشخص گردید تماس با کربن سیاه منجر به ابتلا به بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی در انسان‌ها می‌شود (۲۴).

_ ارزیابی مواجهه – پیامد

در این مطالعه، برای ارزیابی خطرات تنفسی سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی کربن سیاه (کک)، از مقادیر فاکتور شیب سرطان (CSF) و ضریب غلظت مرجع (RfC) که مستقیماً از EPA US استخراج شده، استفاده گردید (۲۵). همچنین مقادیر سمیت سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ذرات خروجی اگزوز دیزل از داده‌های ارزیابی خطرات سلامت محیط زیست ((OEHHA) Assessment (Office of Environmental Health and Hazard) به دست آمد. به دلیل اینکه کربن سیاه جزء غیرقابل حل ذرات اگزوز موتور دیزل محسوب می‌شود، از این ذرات به عنوان جایگزینی برای ارزیابی خطرات سلامتی ناشی از سطوح مختلف کربن سیاه محیطی بهره برده شد. مقادیر CSF و RfC به ترتیب برابر با $1/1 (mg/kg.day)^{-1}$ و 5×10^{-3} (mg/m^3) هستند (۲۶).

_ ارزیابی میزان مواجهه

در این مرحله، هدف اصلی تخمین دوز پتانسیل میانگین روزانه از طریق آلودگی هوای تنفسی است. زمانی که پاسخ‌های بیولوژیکی مانند احتمال بروز سرطان تشریح می‌شوند، میانگین دریافت روزانه از یک آلاینده در طول عمر یا مدت زمان تماس (CDI) که به‌صورت $(mg/kg.day)^{-1}$ بیان می‌شود، معمولاً به عنوان تخمینی از میزان مواجهه روزانه با کربن سیاه در نظر گرفته می‌شود (۲۷).

این مطالعه به تخمین دوز بالقوه جمعیت در تماس با آلاینده‌های موجود در هوای آزاد از طریق غلظت‌های آنها در هوا پرداخته است. مقدار تماس روزانه در طول عمر (CDI) برای محاسبه خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی کربن سیاه با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$CDI = C \times I R \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (1)$$

C غلظت کربن سیاه بر حسب (mg/m^3) است و سایر پارامترها با مقادیر حد آستانه آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نظرسنجی‌های انجام شده در نقاط مختلف جهان، فرکانس تماس با آلاینده Exposure frequency (EF) به میزان ۳۵۰ روز در سال تعیین شد.

جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز برای مطالعه ارزیابی خطر سلامتی (۲۸-۳۱)

پارامتر	مقدار توصیه شده	
	کودکان	بزرگسالان
میانگین مصرف روزانه آلاینده (IR)	۷/۶ m^3/day	۲۰ m^3/day
فرکانس تماس با آلاینده (EF)	۳۵۰ days/year	۳۵۰ days/year
مدت زمان تماس با آلاینده (ED)	۰–۶ years	۶–۶۴ years
میانگین وزن بدن انسان (BW)	۱۵ kg	۷۰ kg
زمان میانگین تماس با آلاینده (AT) سرطان‌زایی	۳۶۵ days/year × ۷۰ years	۳۶۵ days/year × ۷۰ years
زمان میانگین تماس با آلاینده (AT) غیرسرطان‌زایی	۳۶۵ days/year × ED	۳۶۵ days/year × ED

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

_ شناسایی خطرات

در این مطالعه خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زای مواجهه با کربن سیاه با استفاده از روش علمی ارائه شده در US EPA ارزیابی گردید.

الف- خصوصیات خطر سرطان‌زایی

برای تعیین خطر سرطان، شاخص سرطان‌زایی طول عمر (CR) کربن سیاه با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید. خطر سرطان به‌عنوان احتمال ابتلا به سرطان در طول عمر تحت تماس مداوم با آلودگی (۷۰ سال) بیان می‌شود. مطابق پروتکل US EPA، سطوح قابل قبول برای خطرات سرطان‌زایی باید کمتر از 10^{-6} باشد (۲۹). فاکتور شیب سرطان (CSF) برای کربن سیاه $(mg/kg.day)^{-1}$ ۱/۱ است (۲۶، ۲۹).

$$CR = CDI \times CSF \quad (۲)$$

ب- خصوصیات خطر غیرسرطان‌زایی

برای ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه، نسبت مخاطره از طریق تنفس (HQ) با استفاده از مقادیر ضریب غلظت مرجع (RfC) برآورد گردید. جایی که مقادیر حد آستانه غلظت (RfC) برای کربن سیاه در این مطالعه (mg/m^3) 5×10^{-3} است (۲۶). نسبت خطر (HQ) به عنوان نسبت تماس پیش‌بینی شده با دوز مرجع سمیت برای آلودگی مورد نظر در معادله ۳ بیان گردید (۳۲).

$$HQ = CDI / RfC \quad (۳)$$

در اینجا، HQ نشان‌دهنده نسبت بین تماس پیش‌بینی شده با آلودگی است که انتظار نمی‌رود عوارض منفی رخ دهد. این مفهوم به عنوان یک ابزار در ارزیابی خطر شیمیایی استفاده می‌شود. اگر HQ کمتر یا مساوی با ۱ باشد، نشان‌دهنده این است که جمعیت تحت تماس احتمالاً تأثیرات غیرسرطانزایی منفی نخواهد داشت و به عنوان خطر قابل چشم‌پوشی در نظر گرفته می‌شود. اگر HQ بیشتر از ۱ باشد، این نشان‌دهنده این است که غلظت تماس بیش از مقادیر حد آستانه غلظت (RfC) است (۳۳).

یافته‌ها

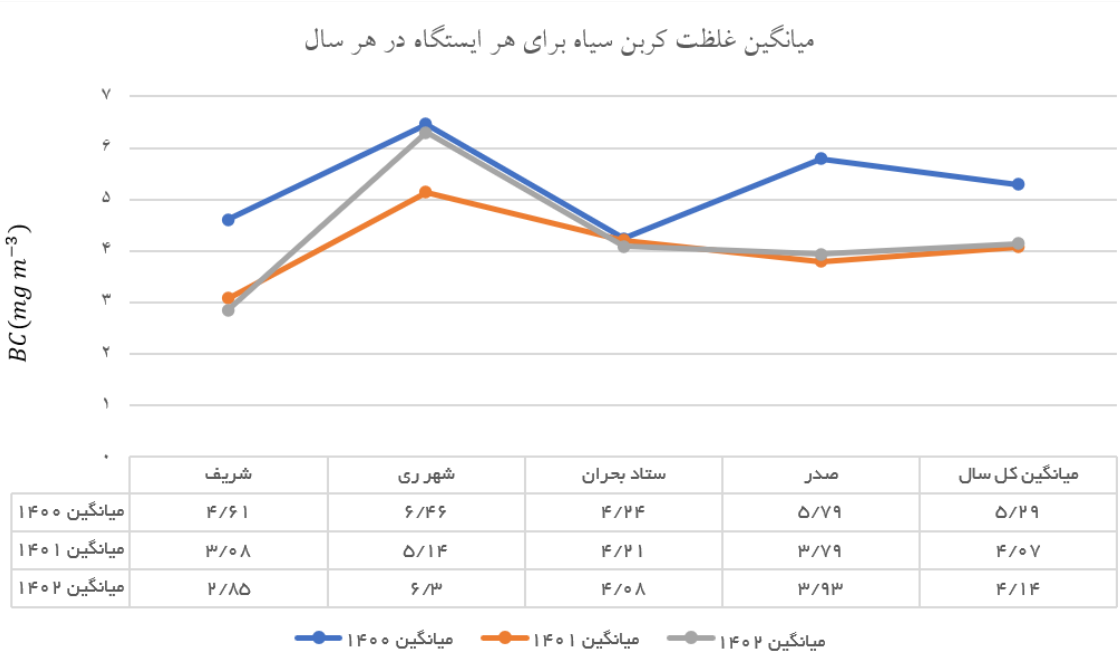
کربن سیاه یکی از شاخص‌هایی است که برای تعیین سلامتی افراد در محیط های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۲ تعداد داده‌های ساعتی برای کربن سیاه در هر سال (۱۴۰۰-۱۴۰۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- تعداد داده‌های ساعتی کربن سیاه در هر سال

ایستگاه	تعداد داده‌های ساعتی در هر سال		
	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۰
شریف	۸۴۴۷	۶۵۷۳	۵۹۹۱
شهر ری	۶۴۸۳	۶۸۵۰	۷۶۸۱
ستاد بحران	۸۴۵۰	۸۳۲۴	۸۱۰۵
صدر	۵۸۷۱	۷۴۴۳	۷۲۲۹

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

میانگین غلظت کربن سیاه برای هر ایستگاه و شهر تهران در هر سال در نمودار ۱ ارائه شده است.



	شریف	شهر ری	ستاد بحران	صدر	میانگین کل سال
میانگین ۱۴۰۰	۴/۶۱	۶/۴۶	۴/۲۴	۵/۷۹	۵/۲۹
میانگین ۱۴۰۱	۳/۰۸	۵/۱۴	۴/۲۱	۳/۷۹	۴/۰۷
میانگین ۱۴۰۲	۲/۸۵	۶/۳	۴/۰۸	۳/۹۳	۴/۱۴

نمودار ۱- میانگین غلظت کربن سیاه برای هر ایستگاه و شهر تهران در هر سال

ارزیابی خطر سلامت انسانی در یک جمعیت به دلیل آلودگی هوا برای توسعه سیاست‌ها و استراتژی‌های مدیریت موثر خطر بسیار حیاتی است. در مطالعه حاضر، خطر سرطان‌زایی (CR) و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) مرتبط با انتشار کربن سیاه در کودکان و بزرگسالان در شهر تهران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مطابق جدول ۳ مقادیر مربوط به شاخص سرطان‌زایی در گروه سنی بزرگسالان بیشتر از کودکان است. ضریب خطر غیرسرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه (HQ) زیر مقدار آستانه یک قرار داشت، که نشان‌دهنده خطر پایین غیرسرطان‌زایی است. علاوه بر این، کودکان مقادیر HQ بالاتری نسبت به بزرگسالان داشتند. خطر سرطان‌زایی کل طول عمر و خطر سالانه مواجهه با کربن سیاه به ترتیب $۱/۴ \times ۱۰^{-۳}$ و $۰/۰۲ \times ۱۰^{-۳}$ بود.

جدول ۳- ارزیابی خطر سرطان‌زایی (CR) و ضریب خطر غیرسرطان‌زایی(HQ) کربن سیاه

غلظت کربن سیاه در هوا(mg/m^3)	CDI^a $(mg/kg.day)^{-1}$		CDI^b $(mg/kg.day)^{-1}$		خطر سرطان‌زایی (CR)		ضریب خطر غیرسرطان‌زایی(HQ)	
	کودکان	بزرگسال	کودکان	بزرگسال	کودکان	بزرگسال	کودکان	بزرگسال
$٤/٤٦ \times ١٠^{-٣}$	$٠/١٨٥ \times ١٠^{-٣}$	$١/١ \times ١٠^{-٣}$	$٢/٢ \times ١٠^{-٣}$	$١/٢ \times ١٠^{-٣}$	$٠/٢ \times ١٠^{-٣}$	$١/٢ \times ١٠^{-٣}$	٠/٤	٠/٢

CDI^a، میانگین دریافت روزانه برای ارزیابی خطر سرطان‌زایی؛ CDI^b، میانگین دریافت روزانه برای ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

بحث

آلودگی هوا به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی بهداشت عمومی در جوامع شهری شناخته می‌شود و کربن سیاه یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوای شهری است که به واسطه منابع مختلفی از جمله احتراق مواد سوختی و صنایع تولید می‌شود. این آلاینده نه تنها بر کیفیت هوا تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند عواقب جدی برای سلامت انسان داشته باشد. این آلاینده توجه بسیاری از پژوهشگران و سازمان‌های بهداشتی در سطح جهانی را جلب کرده است. مطالعه حاضر به تحلیل خطرات مرتبط با کربن سیاه در دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان پرداخته است. ارزیابی خطر سرطان‌زایی (CR) و خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) به منظور سنجش تأثیرات احتمالی کربن سیاه بر سلامت افراد انجام شده است. سطوح قابل قبول خطر برای مواد سرطان‌زا توسط سازمان USEPA در محدوده 1×10^{-6} تا 1×10^{-4} گزارش شده است (۲۹). در این مطالعه خطر سرطان‌زایی (CR) در گروه سنی بزرگسالان بیشتر از کودکان است که به دلیل احتمال طولانی‌تر بودن زمان مواجهه افراد بزرگسال با آلودگی و وجود عوامل خطر دیگر در این گروه سنی است. ضریب خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) پایین و کمتر از آستانه ۱ در هر دو گروه سنی نشان‌دهنده این است که در حال حاضر خطرات غیرسرطان‌زایی ناشی از کربن سیاه پایین است. با این حال، توجه به این نکته ضروری است که HQ بالاتر در کودکان نسبت به بزرگسالان به‌ویژه در زمینه سلامت روان و فیزیولوژیکی کودکان هشداردهنده است. Lin و همکاران تخمین زده‌اند که خطر سرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه در منطقه‌ای در چین برای بزرگسالان $4/82\times10^{-4}$ و برای کودکان $1/97\times10^{-4}$ بوده است (۳۴). در مطالعه‌ای که Khan و همکاران در بنگلادش برای ارزیابی خطر سلامتی بر روی سوخت‌های مختلف انجام دادند، خطر سرطان‌زایی برای سوخت دیزل در بزرگسالان و کودکان به ترتیب $5/08\times10^{-1}$ و $2/08\times10^{-1}$ بود (۱۰). Rosenbaum و همکاران تخمین زده‌اند که خطر سرطان استنشاق ذرات دیزل در منطقه‌ای در نیویورک بین $0/2\times10^{-6}$ تا $3/66\times10^{-6}$ است (۳۵). این تخمین‌ها اطلاعات ارزشمندی را درباره خطرات سرطان‌زایی مرتبط با انتشار ذرات دیزل در مکان‌های مختلف فراهم می‌کنند که بر اهمیت درک و مدیریت خطرات سلامتی ناشی از انتشار کربن سیاه در مناطق شهری مختلف تاکید می‌کنند. در اروپا، سازمان‌های بهداشتی مانند آژانس محیط زیست اروپا (EEA) به‌طور مداوم بر کیفیت هوا نظارت می‌کند. گزارش‌های EEA نشان می‌دهد که کربن سیاه به‌عنوان عاملی مهم در بروز بیماری‌های تنفسی، سرطان و حتی مرگ زودهنگام شناخته شده است (۳۶). در برخی مطالعات بیان شده است که به دلیل قرار گرفتن تعداد زیادی از مردم در سراسر جهان در معرض آئروسل‌های کربن سیاه در سطوح بالاتر، مشکلات بهداشتی مختلفی از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان ریه، فشار خون بالا، بیماری‌های تنفسی، مشکلات رشد عصبی در نوزادان و کاهش نرخ زاد و ولد مشاهده شده است (۳۷-۳۹).

جدول ۲ تعداد داده‌های ساعتی مربوط به کربن سیاه در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ را نشان می‌دهد. گسترش این داده‌ها و وجود اطلاعات کافی از نقاط مختلف شهر، امکان تحلیل دقیق‌تر و کشف الگوهای تغییر کیفیت هوا را فراهم می‌آورد. به ویژه این داده‌ها می‌توانند در برنامه‌ریزی برای کنترل آلودگی هوا و اعلام هشدارهای لازم به شهروندان مؤثر باشند. مدیریت مؤثر آلودگی هوا به‌ویژه در کلان‌شهرها، نیازمند سیاست‌گذاری‌های منسجم و مبتنی بر داده‌ها است. افزایش آگاهی عمومی، بهبود حمل‌ونقل شهری، استفاده از فناوری‌های پاک و تشویق به تغییر رفتارهای زیستی می‌تواند به کاهش آلودگی هوا کمک کند. همچنین، با توجه به حساسیت بالای کودکان در برابر آلاینده‌ها، ضروری است که سیاست‌های ویژه‌ای برای حفاظت از این گروه سنی طراحی و اجرایی گردد.

مطالعه حاضر به بررسی اثرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه بلندمدت با ذرات کربن سیاه پرداخته است تا اثرات آن را در جمعیت‌های تحت مواجهه ارائه کند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

محدودیت‌های این مطالعه شامل عدم وجود اطلاعات مربوط به افرادی است که به‌طور مستقیم با کربن سیاه در تماس بودند، تعداد کم ایستگاه‌های پایش کربن سیاه در سطح شهر تهران و عدم دسترسی به داده‌های حداقل ده سال گذشته کربن سیاه است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای نخستین بار به منظور تعیین میزان مواجهه افراد با کربن سیاه از طریق استنشاق هوای محیط از روش ارزیابی مواجهه و محاسبه شاخص‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی استفاده گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که انتشار کربن سیاه از انواع خودروهایی که در خیابان‌های شهر تهران حرکت می‌کنند، باعث ایجاد اثرات محیط زیستی و سلامتی می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خطرات سرطان‌زایی به‌دلیل مواجهه با کربن سیاه در بزرگسالان و کودکان بیشتر از سطح خطر قابل قبولی است که توسط پروتکل US EPA پیشنهاد شده است. خطر کلی سرطان برای بزرگسالان شش برابر کودکان یافت شد. خطر غیرسرطان‌زایی مواجهه با کربن سیاه (HQ) زیر مقدار آستانه یک بود، که نشان‌دهنده خطر غیرسرطان‌زایی پایین است. با توجه به بزرگی اثرات گزارش شده در مطالعه صورت گرفته، کاهش انتشار کربن سیاه می‌تواند منجر به ایجاد بار قابل توجهی برای سلامت عمومی، به‌ویژه در شهرهای بزرگ با تراکم ترافیک بالا گردد. همچنین از آنجایی که کربن سیاه به‌عنوان یک شاخص کلیدی در سلامتی شهری شناسایی شده، انجام مطالعات بیشتر در این زمینه و ارزیابی مستمر شرایط محیط زیستی اهمیت ویژه‌ای دارد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

از شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران (وابسته به شهرداری تهران) به جهت در اختیار قرار دادن داده‌های ایستگاه‌های پایش کربن سیاه قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

References

1. Sasser E, Hemby J, Adler K, Anenberg S, Bailey C, Brockman L, et al. Report to Congress on Black Carbon. Department of the Interior, Environment, and Related Agencies Appropriations Act: United States Environmental Protection Agency (EPA); 2012.

2. Kutzner RD, von Schneidemesser E, Kuik F, Quedenau J, Weatherhead EC, Schmale J. Long-term monitoring of black carbon across Germany. Atmospheric Environment. 2018;185:41-52.

3. Talukdar S, Venkat Ratnam M, Ravikiran V, Chakraborty R. Influence of black carbon aerosol on the atmospheric instability. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2019;124(10):5539-54.

4. (EPA) USEPA. Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust. USEPA Office of Research and Development, Washington, DC EPA/600/8-90/057F.: U.S. Environmental Protection Agency (EPA); 2002.

5. Puntoni R, Ceppi M, Gennaro V, Ugolini D, Puntoni M, La Manna G, et al. Occupational exposure to carbon black and risk of cancer. Cancer Causes Control. 2004;15(5):511-6.

6. Farzad K, Taheri A, Khorsandi B. Health Impact Assessment Associated with Exposure to Black Carbon Using BenMAP in Tehran during the Second Half of 1396 and the First Half of 1397. The 7th National Conference on Air and Noise Pollution Management1397"(in Persian)".

7. Heinrich U, Fuhst R, Rittinghausen S, Creutzenberg O, Bellmann B, Koch W, et al. Chronic inhalation exposure of Wistar rats and two different strains of mice to diesel engine exhaust, carbon black, and titanium dioxide. Inhalation Toxicology. 1995;7(4):533-56.

8. Saba N. Health risk assessment of PM2.5, Black carbon, ozone, in Tehran in 2017-2018 according to using AIRQ+ software [dissertation]. Tehran: University of Tehran; 2018.

9. Roostaei V, Faridi S, Momeniha F, Yousefian F, Mokammel A, Niazi S, et al. Black carbon temporal trends and associated health and economic impacts in Tehran. Atmospheric Pollution Research. 2023;14(8):101815.

10. Khan MDH, Sarkar MS, Haque SS, Hossain MA. Health risk assessment of black carbon emission from fossil fuel. Journal of Engineering Science. 2021;12(2):23-28.

11. Nichols JL, Owens EO, Dutton SJ, Luben TJ. Systematic review of the effects of black carbon on cardiovascular disease among individuals with pre-existing disease. International Journal of Public Health. 2013;58:707-24.

12. Henning RJ. Particulate matter air pollution is a significant risk factor for cardiovascular disease. Current Problems in Cardiology. 2024;49(1):102094.

13. Rahmatinia M, Hadei M, Hopke PK, Querol X, Shahsavani A, Namvar Z, et al. Relationship between ambient black carbon and daily mortality in Tehran, Iran: a distributed lag nonlinear time series analysis. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2021;19(1):907-16.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

14. Ostro B, Tobias A, Karanasiou A, Samoli E, Querol X, Rodopoulou S, et al. The risks of acute exposure to black carbon in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. Occupational and Environmental Medicine. 2015;72(2):123-29.

15. Smith KR, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. The Lancet. 2009;374(9707):2091-103.

16. Janssen NAH, Gerlofs Nijland ME, Lanki T, Salonen RO, Cassee F, Hoek G, et al. Health effects of black carbon. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe, 2012. Report No.: 9789289002653.

17. Benbrahim Tallaa L, Baan RA, Grosse Y, Lauby Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, et al. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. Lancet Oncol. 2012;13(7):663-4.

18. Lequy E, Siemiatycki J, de Hoogh K, Vienneau D, Dupuy JF, Garès V, et al. Contribution of long-term exposure to outdoor black carbon to the carcinogenicity of air pollution: evidence regarding risk of cancer in the Gazel cohort. Environ Health Perspect. 2021;129(3):37005.

19. Taheri A, Aliasghari P, Hosseini V. Black carbon and PM2. 5 monitoring campaign on the roadside and residential urban background sites in the city of Tehran. Atmospheric Environment. 2019;218:116928.

20. Farzad K, Khorsandi B, Khorsandi M, Bouamra O, Maknoon R. A study of cardiorespiratory related mortality as a result of exposure to black carbon. Science of the Total Environment. 2020;725:138422.

21. U.S. Environmental Protection Agency (EPA): Risk assessment guidance for superfund volume I: Human health evaluation manual (Part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment). USEPA Office of Research and Development, Washington, DC: 2009. Report No.: EPA-540-R-070-002 0SWER 9285 7-82.

22. Long CM, Nascarella MA, Valberg PA. Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions. Environmental Pollution. 2013;181:271-86.

23. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Carbon black, titanium dioxide, and talc. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2010;93:1-413. PMID: 21449489; PMCID: PMC4781574.

24. Niranjan R, Thakur AK. The toxicological mechanisms of environmental soot (black carbon) and carbon black: focus on oxidative stress and inflammatory pathways. Frontiers in Immunology. 2017;8:276079.

25. U.S. EPA. Health assessment document for diesel engine exhaust (final 2002). Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC,2002. DC, EPA/600/8-90/057F.

26. Office of Environmental Health Hazard

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

Assessment (OEHHA), 1998. Diesel exhaust particulate. https://oehha.ca.gov/chemicals/diesel-exhaust-particulate.

27. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2009. Exposure Factors Handbook-Update (2009, External Review Draft). USEPA Office of Research and Development,Washington, DC EPA/600/R-09-052A.

28. Deng WJ, Zheng HL, Tsui AK, Chen XW. Measurement and health risk assessment of PM2. 5, flame retardants, carbonyls and black carbon in indoor and outdoor air in kindergartens in Hong Kong. Environment International. 2016;96:65-74.

29. U.S. Environmental Protection Agency (EPA): Risk Characterization Handbook. USEPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA-100-B-00-002, 2000.

30. U.S. Environmental Protection Agency (EPA): Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: Update of Standard Default Exposure Factors. USEPA Office of Research and Development, Washington, DC: 2014. OSWER Directive 9200.1-120..

31. Bui Huy T, Tuyet Hanh TT, Johnston R, Nguyen Viet H. Assessing health risk due to exposure to arsenic in drinking water in Hanam Province, Vietnam. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014;11(8):7575-91.

32. Feng Z, Cao SJ. A newly developed electrostatic enhanced pleated air filters towards the improvement of energy and filtration efficiency. Sustainable Cities and Society. 2019;49:101569.

33. Long E, Carlsten C. Controlled human exposure to diesel exhaust: results illuminate health effects of traffic-related air pollution and inform future directions. Particle and Fibre Toxicology. 2022;19(1):11.

34. Lin W, Dai J, Liu R, Zhai Y, Yue D, Hu Q. Integrated assessment of health risk and climate effects of black carbon in the Pearl River Delta region, China. Environmental Research. 2019;176:108522.

35. Rosenbaum A, Hartley S, Holder C. Analysis of diesel particulate matter health risk disparities in selected US harbor areas. American Journal of Public Health. 2011;101(S1):S217-S23.

36. Agency European Environment, González Ortiz A, Guerreiro C, Soares J. Air quality in Europe 2020 report. Report No.: 09/2020: Publications Office; 2020.https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report.

37. Baumgartner J, Zhang Y, Schauer JJ, Huang W, Wang Y, Ezzati M. Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014;111(36):13229-34.

38. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. The Lancet. 2017;389(10082):1907-18.

39. Paunescu AC, Casas M, Ferrero A, Panella P, Bougas N, Beydon N, et al. Associations of

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

black carbon with lung function and airway inflammation in schoolchildren. Environment International. 2019;131:104984.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Assessment of cancer and non-cancer health risks associated with exposure to black carbon particles in the ambient air of Tehran city

Somayeh Alizadeh Attar[1], Alireza Pardakhti[1,*], Khosrow Ashrafi[1], Mohammad Sadegh Hassanvand[2,3]

1- Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 08 October 2024
Revised: 31 December 2024
Accepted: 04 January 2025
Published: 28 May 2025

Keywords: Health risk assessment, Black carbon, Incomplete combustion, Air pollution, Tehran city

***Corresponding Author:**
alirezap@ut.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Black carbon is a byproduct of the incomplete combustion of fossil and biomass fuels. Long-term exposure to black carbon has been linked to an increased risk of lung cancer and cardiovascular diseases. This study aims to evaluate the carcinogenic and non-carcinogenic risks associated with black carbon exposure in the ambient air of Tehran.

Materials and Methods: Hourly black carbon concentrations were collected from the air quality monitoring stations operated by Tehran's Air Quality Control Company and averaged to calculate annual means for 2021, 2022, and 2023. The risk assessment for black carbon exposure in Tehran was conducted using the US EPA model.

Results: The findings reveal that in Tehran, the carcinogenic risk index (CR) due to black carbon exposure in ambient air is higher for adults than for children. The non-carcinogenic risk quotient (HQ) for both age groups remains below the threshold value of one, indicating a low and negligible non-carcinogenic risk. However, children demonstrate a higher HQ compared to adults. The lifetime cancer risk associated with black carbon exposure is calculated to be 1.4×10^{-3}, while the annual cancer risk is estimated at 0.02×10^{-3}.

Conclusion: The results indicate that the carcinogenic risks associated with black carbon exposure exceed acceptable levels for both adults and children. Adults face a cancer risk six times greater than children, though the non-carcinogenic risk is assessed as low. Reducing black carbon emissions is critical for improving public health in traffic-congested cities, and further research on this topic is strongly recommended.

Please cite this article as: Alizadeh Attar S, Pardakhti A, Ashrafi Kh, Hassanvand MS. Assessment of cancer and non-cancer health risks associated with exposure to black carbon particles in the ambient air of Tehran city. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):25-38.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-05-05]