



Health risk assessment of air particulate pollutants (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Tehran,

A case study of Poonak

Seyed Reza Miralizadeh Fard¹ | Shahrzad Khoram Nejadian² | Yousef Rashidi³

1. Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. E-mail: mirzreza814@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. E-mail: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

3. Department of Environmental Science, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: y_rashidi@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 07 March 2023

Received in revised form 23

May 2023

Accepted 14 June 2023

Published online 10 March

2024

Keywords:

Carcinogenic risk,

Health risk assessment,

Non-carcinogenic risk,

Particulate pollutants.

ABSTRACT

Air pollution has harmful effects on the environment and human health and can cause chronic and acute diseases in different age groups. Several studies have evaluated the health risk of air pollutants to determine carcinogenic and non-carcinogenic risk. The aim of the present study is to evaluate the health risk of PM₁₀ and PM_{2.5} pollutants in Poonak area of Tehran in 2017. In this research, the data of air pollutants were obtained from the archive section of the Tehran air quality control website. The resulting data were analyzed by SPSS version 26 software. Then, the carcinogenic and non-carcinogenic risk for PM₁₀ and PM_{2.5} was calculated from the guidelines of the US Environmental Protection Agency. The 98th percentile of 24-hour PM_{2.5} concentration was 52 µg/m³, which exceeded the EPA standard. Also, the 24-hour concentration of PM₁₀ exceeded the recommended value of EPA on only one day a year and was equal to 230 µg/m³, which indicated that the 24-hour concentration of PM₁₀ did not exceed the EPA standard in Poonak. The lowest concentration of PM_{2.5} particles in 2017 was carcinogenic for all age groups. Non-carcinogenic risk for PM_{2.5} varied from 0.2 to 17.8. Also, for PM₁₀, it was from 0.12 to 11.1 in the lowest and highest pollutant concentration, respectively. The results of this study showed that air pollution by suspended particles in the Poonak region of Tehran is a very important and serious issue because in average and maximum concentrations it can cause cancer risk for children and adults.

Cite this article: Miralizadeh Fard, S.R., Khoram Nejadian, S., & Rashidi, Y. (2024). I Health risk assessment of air particulate pollutants (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Tehran, A case study of Poonak. *Journal Natural Environment*, 76 (4), 675-687. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.356444.2536>



ارزیابی ریسک بهداشتی آلاینده‌های ذره‌ای هوا (PM_{2.5} و PM₁₀) در تهران، مطالعه منطقه پونک

سید رضا میرعلیزاده فرد^۱ | شهرزاد خرم نژادیان^۲ | یوسف رشیدی^۳

۱. گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران. رایانامه: mirzreza814@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران. رایانامه: khoramnejad@damavandiau.ac.ir
۳. گروه علوم محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: y_rashidi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آلودگی هوا اثرات مضر بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها دارد و می‌تواند باعث بیماری‌های مزمن و حاد در گروه‌های سنی مختلف گردد. مطالعات متعددی به ارزیابی ریسک بهداشتی آلاینده‌های هوا برای تعیین ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی پرداخته‌اند. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی ریسک بهداشتی آلاینده‌های PM ₁₀ و PM _{2.5} در منطقه پونک شهر تهران در سال ۱۳۹۷ بود. برای انجام این پژوهش داده‌های آلاینده‌های هوا از بخش آرشو سایت اینترنتی کنترل کیفیت هوای تهران اخذ شد. داده‌های حاصل توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تجزیه و تحلیل شدند. سپس از دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای PM ₁₀ و PM _{2.5} محاسبه گردید. صدک ۹۸ غلظت ۲۴ ساعته PM _{2.5} ۵۲ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ به دست آمد که نشان‌دهنده تجاوز از استاندارد EPA بود. همچنین غلظت ۲۴ ساعته PM ₁₀ تنها در یک روز در سال از مقدار توصیه‌شده EPA فراتر رفته و برابر با ۲۳۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ بود، که بیانگر عدم تجاوز غلظت ۲۴ ساعته PM ₁₀ از استاندارد EPA در منطقه پونک بود. غلظت ذرات PM _{2.5} برای همه گروه‌های سنی خطر سرطان‌زایی داشت. خطر غیرسرطان‌زایی برای PM _{2.5} از ۰/۳ تا ۱۷/۸ متغیر بود. همچنین برای PM ₁₀ از ۰/۱۲ تا ۱۱/۱ به ترتیب در کمترین و بیشترین غلظت آلاینده بود. نتایج این مطالعه نشان داد آلودگی هوا به ذرات معلق در منطقه پونک تهران موضوع بسیار مهم و جدی است چرا که در غلظت‌های میانگین و بیشینه می‌تواند خطر سرطان‌زایی بسیار جدی برای کودکان و بزرگسالان ایجاد کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰	
کلیدواژه‌ها: آلاینده‌های ذره‌ای، ارزیابی ریسک بهداشتی، ریسک خطر سرطان‌زایی، ریسک خطر غیر سرطان‌زایی.	

استناد: میرعلیزاده فرد، سید رضا؛ خرم نژادیان، شهرزاد؛ و رشیدی، یوسف (۱۴۰۲). ارزیابی ریسک بهداشتی آلاینده‌های ذره‌ای هوا (PM_{2.5} و PM₁₀) در تهران،

مطالعه منطقه پونک. محیط زیست طبیعی، ۷۶ (۴)، ۶۸۷-۶۷۵

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.356444.2536>

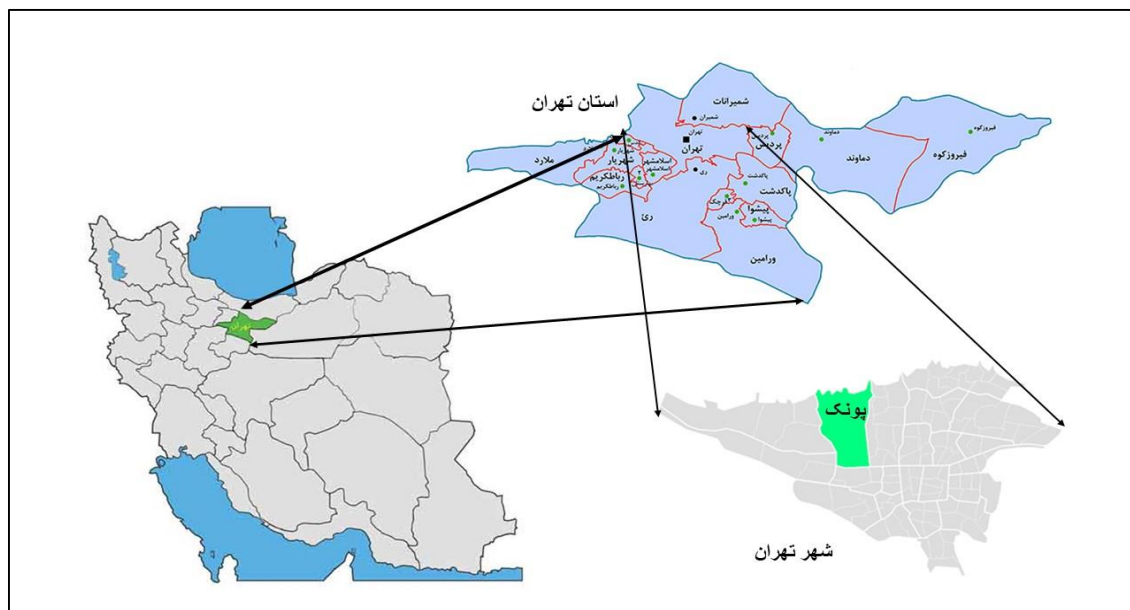


مقدمه

در دهه اخیر آلودگی هوا به یک نگرانی جهانی به خصوص در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است (So et al., 2021). آلودگی هوا با اثرات مضر بر محیط‌زیست و سلامت افراد، باعث مرگ و میر ۷ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ شد (Ritchie et al., 2018). قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های عروق مغزی و قلبی عروقی و بیماری‌های چشمی را افزایش می‌دهد (Sanidas et al., 2017; Tiotiu et al., 2020; Bhatnagar, 2022; Lin et al., 2022; Murata et al., 2022). منابع مهم آلودگی هوای شهرها، وسایل نقلیه موتوری و مراکز صنعتی هستند که گازهای مونوکسید کربن (CO)، نیتروژن دی اکسید (NO₂)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، تری اکسید گوگرد (SO₃)، ازن (O₃)، هیدروکربن‌ها و گرد و غبار را وارد محیط می‌کنند (Gusti, 2017). مطالعات نشان دادند سطوح آلاینده‌های هوا با تراکم جمعیت، افزایش ترافیک، کشاورزی، افزایش صنایع، نیروگاه‌ها و احتراق سوخت‌های فسیلی همبستگی بالا و مثبت دارد (Forsberg et al., 1997; Liu et al., 2016; Tsai et al., 2021). ایران یک کشور در حال توسعه می‌باشد که مناطقی از آن تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبارهای خاورمیانه قرار دارد (Khaniabadi et al., 2017). ذرات معلق (PM) اصلی‌ترین و مضرترین آلاینده در این طوفان‌ها می‌باشد که از منابع بیوژنیک و انسانی ساطع می‌شود و یا به‌طور ثانویه از واکنش‌های جوی ایجاد می‌شود (Daryanoosh et al., 2018). کلان‌شهر تهران به‌عنوان یکی از بزرگترین شهرهای غرب آسیا و شانزدهمین کلان‌شهر در کل جهان است و مانند سایر شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی هوا مواجه است (Hosseinpoor et al., 2005). تهران از شمال، شمال غرب، شرق و جنوب شرقی با ارتفاعات متوسط تا متوسط احاطه شده است (رشته کوه‌های بلند ۳۸۰۰-۱۰۰۰ متر). این رشته کوه‌ها جریان باد را کاهش می‌دهند و مانع از خروج هوای آلوده می‌شوند. بنابراین فقدان باد و هوای سرد در فصل زمستان باعث می‌شود که هوای آلوده در داخل شهر محبوس شود (Hosseinpoor et al., 2005). از طرفی جمعیت زیاد، ترافیک شدید وسایل نقلیه و کارخانه‌ها و مراکز صنعتی که در اطراف آن قرار دارند به‌خصوص در غرب و جنوب غرب به‌شدت این عوامل می‌افزایند. به‌همین دلیل شهر تهران در لیست ۷ شهر آلوده جهان قرار گرفته است (Soleimani, 2021). نتایج مطالعه‌ای که در تهران با استفاده از نرم‌افزار AirQ و رویکرد پیشنهادی WHO برای ارائه داده‌های کمی، به بررسی تأثیر PM₁₀، SO₂، NO₂ و O₃ بر سلامت افراد ساکن در یک منطقه خاص پرداخته بود، نشان داد که اثرات کوتاه مدت PM₁₀ بیشترین تأثیر را نسبت به سایر آلاینده‌های هوا بر سلامت افراد داشته و باعث مرگ و میر ۲۱۹۴ نفر از ۴۷۲۸۴ نفر در یک سال شده است (Naddafi et al., 2012). نتایج این مطالعات حاکی از آن است که باید مطالعات در این زمینه برای ارزیابی بیشتر و ارائه راهکار و اقدام فوری جهت کاهش بار بهداشتی آلاینده‌های هوا مورد توجه قرار گرفته است (Barzeghar et al., 2020; Mirrezaei et al., 2020; Malakan et al., 2022). در علم همه‌گیرشناسی "ریسک" به‌عنوان معیاری برای احتمال آماری شدت عوارض جانبی (مانند بیماری یا مرگ) به‌دلیل قرار گرفتن در معرض برخی عوامل (مانند مواد شیمیایی سمی) تعریف می‌شود (Lowrance, 1976). دستیابی به دانش و اطلاعات کافی در مورد تماس با آلاینده‌های هوا و بروز بیماری‌های مختلف و مرگ و میر، کمک می‌کند تا جهت بهبود عملکرد منابع آلاینده هوا اقدامات مؤثرتری صورت گیرد و از این طریق عوارض بهداشتی این آلاینده‌ها برای سلامت افراد کاهش یابد (Maji et al., 2016). بنابراین هدف این مطالعه ارزیابی ریسک بهداشتی آلاینده‌های PM_{2.5} و PM₁₀ در شهر تهران و به‌صورت موردی در منطقه پونک می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مطالعه: شهر تهران با موقعیت ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی - ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد (Hosseinpoor et al., 2005). طبق آخرین سرشماری بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت دارد تهران به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه شهری تقسیم شده است و شهرهای تجریش و ری را در بر گرفته است (Ezimand et al., 2019). محدوده مورد مطالعه محله پونک در ناحیه سه، منطقه پنج شهرداری تهران است که به دو محله پونک شمالی و پونک جنوبی تقسیم می‌شود (Ashrafi, 2021). جمعیت این منطقه طبق آمار در دسترس از سال ۱۳۹۰ حدود ۲۹۰۰۰ نفر می‌باشد (Statistics and information of Tehran province). شکل ۱ موقعیت مکانی منطقه پونک را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه پونک

جدول ۱- استانداردهای آلاینده‌های ذره‌ای برای مواجهه ۲۴ ساعته (Naddafi et al., 2012; Zhang et al., 2021)

آلاینده	WHO	EPA	ایران
PM ₁₀	۵۰ (۲۴ ساعته)، ۲۰ (سالانه)	۱۵۰ (۲۴ ساعته)	۱۵۰ (۲۴ ساعته)
PM _{2.5}	۲۵ (۲۴ ساعته)، ۱۰ (سالانه)	۳۵ (۲۴ ساعته)، ۱۲ (سالانه)	۳۵ (۲۴ ساعته) و ۱۲ (سالانه)

جمع‌آوری داده‌ها: این مطالعه به صورت تحلیلی-مقطعی در سال ۱۳۹۷ انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها از طریق مراجعه به سایت اینترنتی کنترل کیفیت هوای شهر تهران صورت گرفت. شهر تهران دارای ۲۳ ایستگاه پایش کیفیت هوا می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه پونک در محل میدان پونک، خیابان عدل، پارک ترافیک استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه در محل ۳۵/۷۶۲۳ و ۵۱/۳۳۱۶۸ می‌باشد. داده‌ها به صورت میانگین روزانه از ۱۳۹۷/۱/۱ الی ۱۳۹۷/۱۲/۲۹ برای آلاینده‌های PM_{2.5} و PM₁₀ جمع‌آوری شد.

روش‌های آماری: نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ برای آنالیزهای آماری استفاده شد. آزمون ANOVA جهت مقایسه مقادیر آلاینده‌های هوا در فصل‌های سال با هم استفاده شد. از داده‌های جدول ۱ برای مقایسه داده‌های حاصل از این مطالعه با استانداردها استفاده شد. همچنین برای اعتبارسنجی داده‌ها ابتدا مقادیر Z-Score با استفاده از رابطه ۱ برای داده‌ها به دست آمد. که در این فرمول x: غلظت آلاینده، mean: میانگین مجموعه داده‌های مربوط به غلظت آلاینده و stdev: انحراف استاندارد مجموع داده‌ها است.

رابطه ۱

$$z\text{-score} = \frac{x - \text{mean}}{\text{stdev}}$$

سپس آن‌هایی که هر سه شرط زیر را داشتند از مطالعه حذف شدند.

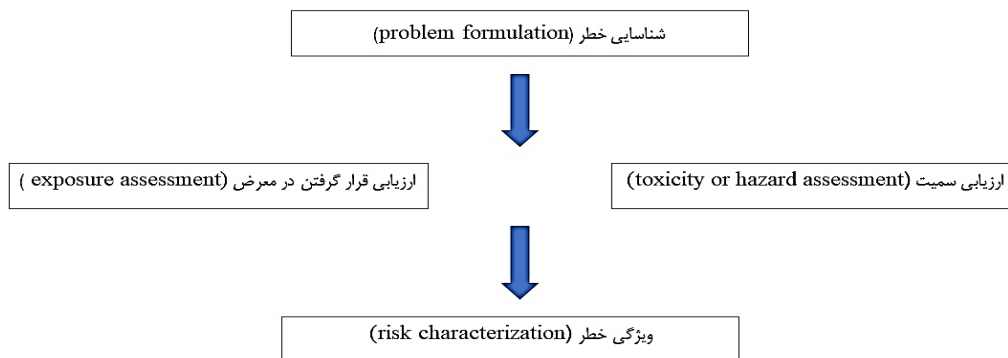
۱. قدر مطلق Z بزرگتر از ۴ باشد ($|Z_t| > 4$)

۲. تفاضل Z یک داده از Z مربوط به داده قبلی بیشتر از ۶ باشد ($Z_t - Z_{t-1} > 6$)

۳. حاصل نسبت Z به میانگین متحرک در مرکز آن به توان ۳، بزرگتر از ۲ باشد. ($z_t/MA3(z_t) > 2$)

پس از اعمال معیارها خروج داده‌های پرت تقریباً ۷۵ درصد داده‌ها معتبر در نظر گرفته شدند و برای آنالیزهای بعدی از آن‌ها استفاده شد (Faridi et al., 2018).

ارزیابی ریسک بهداشتی: ارزیابی ریسک بهداشتی شامل چهار مرحله اصلی به شرح ذیل می‌باشد: ۱- شناسایی خطر: آلاینده‌ها با سمیت شناخته شده (مانند PM₁₀، SO₂ و NO₂) اثرات مختلفی بر سلامت دارند، از قبیل مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی



شکل ۲- چهارچوب ارزیابی ریسک بهداشتی (Hopkins)

عروقی و مرگ و میر ناشی از نارسایی‌های تنفسی، ۲- ارزیابی مواجهه آلاینده: شامل تخمین مقدار آلاینده خطرناک استنشاق شده توسط یک جمعیت خاص. اطلاعات در معرض آلاینده بودن از دو طریق به دست می‌آید: (الف) نظارت بر غلظت ماده در مکان‌های مختلف در جامعه انسانی، (ب) از مدل‌های پراکندگی که قرار گرفتن در معرض را براساس مقدار آزاد شده ماده خطرناک از منابع مختلف محاسبه می‌کند، ۳- ارزیابی غلظت-پاسخ: احتمال اثرات سلامتی را براساس دوز آلاینده‌های هوای استنشاقی منعکس می‌کند و ۴- ارزیابی توسط مدل ریاضی که براساس ارزیابی‌های مواجهه و دوز-پاسخ محاسبه می‌شود (NRC, 1983) (شکل ۲). در این مطالعه از روش ارزیابی ریسک ارائه شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) استفاده شد و خطر سرطان‌زایی^۲ (ELCR) و غیر سرطان‌زایی^۳ از طریق مسیر استنشاقی برای گروه‌های سنی کودک تا بزرگسال محاسبه شد. مقادیر ELCR برای غلظت‌های حداکثر و حداقل و میانگین در سال ۱۳۹۷ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه ۲

$$ELCR = LADD (\text{lifetime average daily dose } (\mu\text{g/kg day})) \times SF (\text{slope factor } (\text{kg day}/\mu\text{g}))$$

علاوه بر این، دوز متوسط روزانه‌ای که فرد در طول عمر با آن مواجهه دارد (LADD)^۴ با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

رابطه ۳

$$LADD = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{AT \times BW}$$

C: غلظت آلاینده ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ ، IR: نرخ استنشاق (m^3/day)، ED: مدت زمان مواجهه (سال)، EF: فرکانس مواجهه (روز در سال)، BW: وزن بدن (Kg) و AT: میانگین زمان مواجهه (روز) برای ریسک‌های سرطانی برابر 70×365 روز و برای ریسک‌های غیر سرطانی $EF \times ED$ روز (Greene *et al.*, 2006).

برای محاسبه LADD در این مطالعه از غلظت متوسط ساعتی آلاینده‌ها برحسب $\mu\text{g}/\text{m}^3$ استفاده شد.

ضریب شیب (SF) برای هر آلاینده توسط USEPA ارائه شده است. می‌توان در غیاب مقدار دقیق آن، از رابطه ۴ استفاده کرد:

رابطه ۴

$$SF = \frac{BW \times UR}{IR}$$

UR: واحد ریسک ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)، BW: وزن بدن (kg) و IR: نرخ استنشاق (m^3/day).

برای تعیین مقدار SF، داشتن مقدار ریسک واحد برای $\text{PM}_{2.5}$ ضروری است. در این مطالعه با توجه به اینکه اطلاعاتی در مورد $\text{PM}_{2.5}$ در ایران وجود ندارد (Heydari *et al.*, 2019)، برای مقدار واحد ریسک $\text{PM}_{2.5}$ (۰/۰۰۸) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) استفاده شد (Greene *et al.*, 2006). با توجه به اینکه ریسک واحد و فاکتورهای شیب PM_{10} هنوز توسط هیچ تحقیقی ارائه نشده است، در این مطالعه ارزیابی خطر سرطان‌زایی صرفاً برای قرار گرفتن در معرض $\text{PM}_{2.5}$ در نظر گرفته شد.

پس از محاسبه LADD، ضریب ریسک (HQ) تعیین شد. خطر غیر سرطان‌زایی $\text{PM}_{2.5}$ بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد:

¹US Environmental Protection Agency

²Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR)

³non-carcinogenic risk

⁴Lifetime Average Daily Dose

جدول ۲- پارامترهای ریسک مورد استفاده برای محاسبه‌ها

منبع	گروه‌های سنی (سال)										فاکتورها
	>۷۱	-۷۱	-۶۱	-۲۱	-۱۶	-۱۱	۳-۶	۲-۳	۱-۲	۱<	
(EPA)	۸۰	۸۰	۸۰	۷۱/۶	۵۶/۸	۳۱/۸	۱۸/۶	۱۳/۸	۱۱/۴	۹/۲	(Kg) BW
(EPA)	۱۲/۹	۱۴/۲	۱۶	۱۵/۷	۱۶/۳	۱۵/۲	۱۲	۱۰/۱	۸/۹	۸	(m ³ /day) IR
(EPA)	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	(m ³ /day) EF
(EPA)	۴۹	۴۹	۴۹	۵	۵	۵	۳	۱	۱	۱	(Days/year) ED
(EPA)	۱۷۸۸۵	۱۷۸۸۵	۱۷۸۸۵	۱۸۲۵	۱۸۲۵	۱۸۲۵	۱۰۹۵	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	(day) AT
Yunesian <i>et al.</i> ,) (2019	برای PM _{2.5} ۰/۰۰۸										(µg/m ³) UR
de Oliveira <i>et al.</i> ,) (2012a	PM ₁₀ برای ۵۰ و PM _{2.5} برای ۵										(µg/m ³) RfC

رابطه ۵

$$HQ = \frac{LADD}{RfD}$$

مقادیر HQ بالاتر از ۱ بیانگر احتمال وقوع ریسک‌های غیرسرطان‌زایی است. مقادیر کمتر از ۱ نیز نشان می‌دهد که ریسک معنی‌داری برای ایجاد خطرات غیرسرطان‌زایی وجود ندارد (Rostami *et al.*, 2019).

RfD^۵ یا همان دوز مرجع براساس رابطه ۶ به‌دست آمد (USEPA).
رابطه ۶

$$RfD = RfC \text{ (mg/m}^3\text{)} \times IR \text{ (m}^3\text{/day)} \times BW^{-1} \text{ (kg)}$$

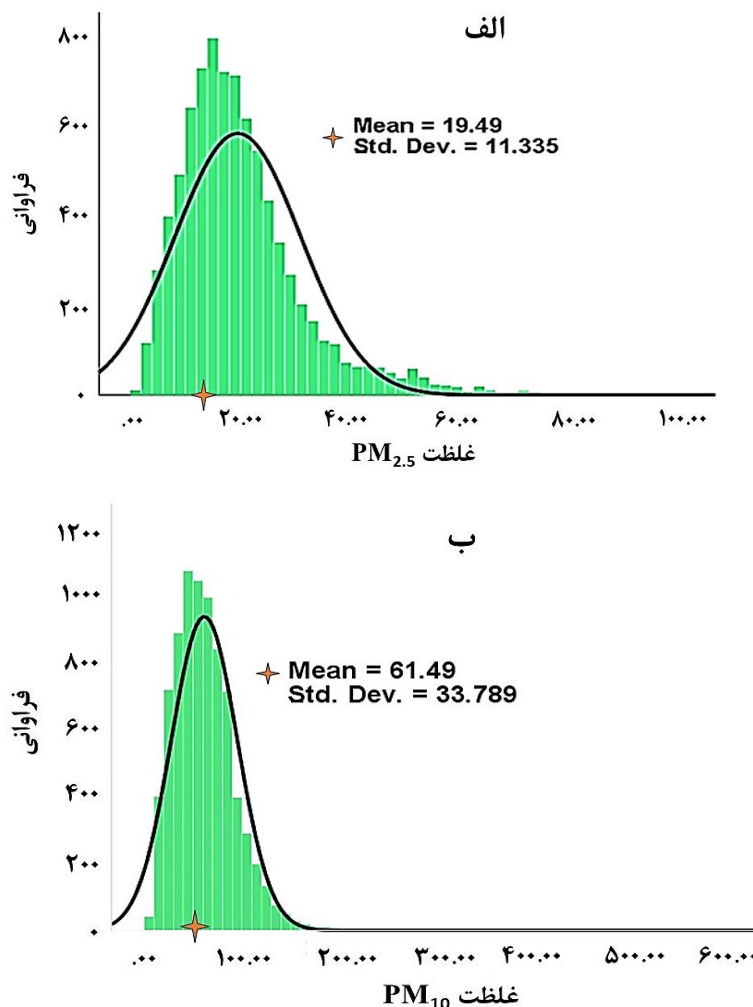
به‌دلیل نبود اطلاعات RfC برای PM_{2.5} و PM₁₀، از مقدار ۵ (µg/m³) و ۵۰ (µg/m³) به‌ترتیب برای محاسبه دوز مرجع (RfD) PM_{2.5} و PM₁₀ استفاده شد (de Oliveira *et al.*, 2012a). به‌منظور ارزیابی احتمال اثرات نامطلوب فاکتورهای آلاینده هوا، پارامترهای مورد استفاده برای محاسبه HQ و ELCR برای PM_{2.5} و PM₁₀ در هوای آزاد در جدول ۲ ارائه شده است.

یافته‌های پژوهش

داده‌های مربوط به غلظت ساعتی PM_{2.5} و PM₁₀ برای ۸۵۴۷ ساعت در سال ۱۳۹۷ از سایت اینترنتی کنترل کیفیت هوای تهران به‌دست آمد. برای PM_{2.5} ۸۱۷۶ داده و برای PM₁₀ ۷۸۷۲ داده یافت شد. لازم بذکر است که غلظت آلاینده‌ها در برخی ساعات یافت نشد. تمامی غلظت‌ها بر حسب میکروگرم بر متر مکعب (µg/m³) ثبت شده بود.

تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی: شکل ۳ غلظت روزانه PM_{2.5} و PM₁₀ را در طول سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. میانگین غلظت روزانه PM_{2.5}، ۱۹/۴۹ و برای PM₁₀، ۷۸/۳۳ بود. که این مقدار برای PM_{2.5} کمتر از استاندارد ۲۴ ساعته WHO (۲۵ µg/m³) بود. همچنین میانگین ۲۴ ساعته PM₁₀ بیشتر از استاندارد ۲۴ ساعته WHO (۵۰ µg/m³) بود. براساس استاندارد کیفیت هوای USEPA، اگر صدک ۹۸ غلظت ۲۴ ساعته PM_{2.5} در یک سال، به‌طور متوسط در طول سه سال، کمتر یا برابر با ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب باشد، یک منطقه استاندارد ۲۴ ساعته را برآورده می‌کند. همچنین طبق این استاندارد اگر منطقه‌ای به‌طور متوسط در یک دوره سه ساله بیش از یک بار در سال از سطح ۱۵۰ µg/m³ تجاوز نکند، استاندارد ۲۴ ساعته PM₁₀ را برآورده می‌کند (EPA).

⁵Reference dose



شکل ۳- الف و ب به ترتیب غلظت روزانه $PM_{2.5}$ و PM_{10} ($\mu g/m^3$) در طول سال ۱۳۹۷

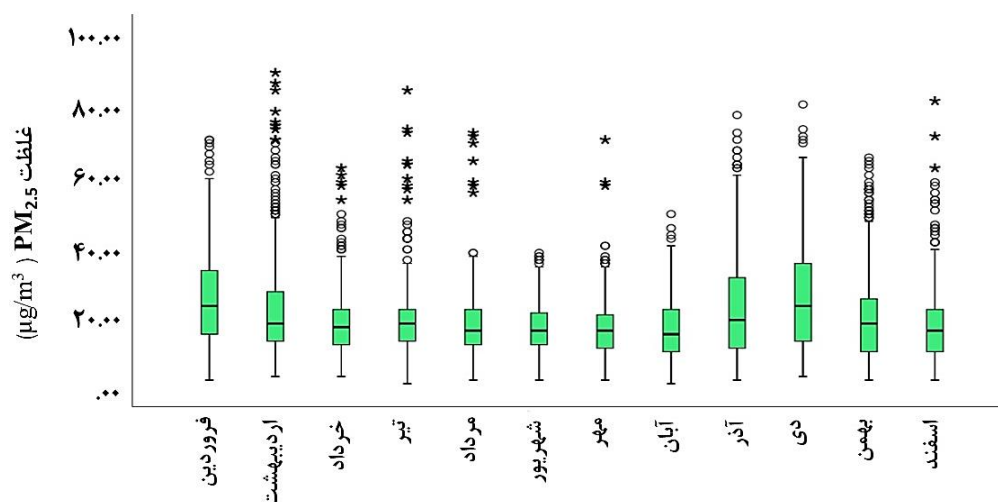
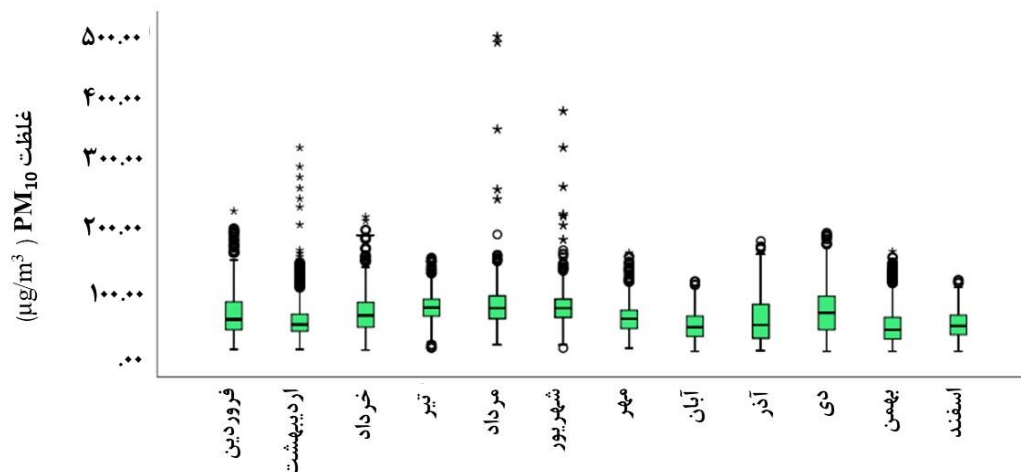
در مطالعه حاضر صدک ۹۸ غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ $52 \mu g/m^3$ به دست آمد که نشان دهنده تجاوز از استاندارد EPA می باشد. همچنین غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} در طول سال ۱۳۹۷ تنها در یک روز در مرداد ماه از استاندارد EPA فراتر رفته و برابر با $100 \mu g/m^3$ بود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که از استانداردهای EPA تجاوز نکرده است.

شکل های ۴ و ۵ میانگین غلظت ماهانه را برای $PM_{2.5}$ و PM_{10} در طول سال ۱۳۹۷ نشان می دهد. تغییرات ماهانه غلظت برای هر دو آلاینده نوسان داشت. میانگین غلظت ماهانه $PM_{2.5}$ در دی ماه بیشترین و در مهرماه کمترین بود. همچنین میانگین غلظت ماهانه PM_{10} در ماه های دی و اردیبهشت به ترتیب بیشترین و کمترین بود.

جدول ۴ مقادیر میانگین و انحراف معیار و همچنین کمترین و بیشترین غلظت ساعتی آلاینده های $PM_{2.5}$ و PM_{10} را برای هر فصل از سال ۱۳۹۷ به تفکیک نشان می دهند. میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل های بهار و تابستان تقریباً برابر و بیشتر از پاییز و تابستان بود. همچنین میانگین غلظت PM_{10} در تابستان بیشتر از سایر فصل ها بود و در فصل پاییز از بقیه کمتر بود.

جدول ۵ نتایج آزمون ANOVA را نشان می دهد که غلظت های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در بین فصول سال ۱۳۹۷ با یکدیگر مقایسه شدند. تفاوت معنی داری بین فصل بهار و تابستان، بهار و پاییز، تابستان و زمستان و زمستان و پاییز مشاهده شد. اما تفاوت معنی داری برای $PM_{2.5}$ بین بهار و زمستان مشاهده نشد ($P=0/99$). همچنین تابستان و پاییز هم اختلاف معنی داری را نشان ندادند ($P=0/58$). برای ذرات PM_{10} بین فصل پاییز و زمستان تفاوت معنی داری یافت نشد ($P=0/075$).

میانگین سالانه $PM_{2.5}$ و PM_{10} در سال ۱۳۹۷ به ترتیب 31 و $81/5$ ($\mu g/m^3$)، به دست آمد که هر دو از استاندارد سالانه WHO بیشتر بودند.

شکل ۴- غلظت $PM_{2.5}$ به تفکیک ماه در طول سال ۱۳۹۷شکل ۵- نمودار غلظت PM_{10} به تفکیک ماه در طول سال ۱۳۹۷

ارزیابی خطر سلامت: طبق دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت (WHO)، مقادیر ELCR به عنوان "محدودیت قابل قبول برای انسان" در محدوده 1×10^{-5} - 1×10^{-6} در نظر گرفته می‌شود. اما USEPA مقادیر ELCR کمتر از 1×10^{-6} را توصیه می‌کند (Delikhoon et al., 2018). در جدول ۵ مقادیر ELCR محاسبه شده برای $PM_{2.5}$ در منطقه پونک در غرب تهران برای گروه های سنی کودک تا بزرگسال نشان داده شده است. مقادیر ELCR بالاتر از استاندارد توصیه شده توسط EPA برای همه گروه های مورد مطالعه بود. اما با توجه به دستورالعمل WHO، مقادیر ELCR برای گروه های سنی کمتر از ۱، ۲-۱، ۳-۲، ۶-۳ و ۱۱-۶ سال بالاتر از استاندارد و برای ۱۱ سال و بالاتر کمتر از استانداردها بود.

به منظور ارزیابی خطر غیر سرطان زایی (HQ) برای $PM_{2.5}$ و PM_{10} در هوای آزاد شهر تهران در سال ۱۳۹۷، مقادیر HQ برای گروه های سنی کودک تا بزرگسال برآورد شد (جدول ۴). هر دو آلاینده خطر غیرسرطان زایی در مقادیر میانگین و حداکثر غلظت داشتند. اما مقادیر حداقل آلاینده ها خطر غیر سرطان زایی نداشت.

جدول ۳- میانگین، انحراف معیار، کمترین و بیشترین مقدار غلظت ۲۴ ساعته PM_{2.5} و PM₁₀ برای هر فصل از سال ۱۳۹۷

فصل	میانگین (انحراف معیار)	کمترین	بیشترین
بهار	۲۱/۲۱(۱۲/۲۱)	۲	۸۹
تابستان	۱۷/۵۲(۷/۸۰)	۱	۸۴
پاییز	۱۷/۹۶(۱۰/۵۸)	۱	۷۲
زمستان	۲۱/۳۲(۱۳/۴۷)	۲	۸۱
بهار	۶۱/۶۰(۳۳/۵۵)	۸	۳۱۸
تابستان	۷۵/۸۷(۳۵/۶۸)	۱۲	۴۱۰
پاییز	۵۲/۱۸(۳۷/۰۱)	۶	۱۷۵
زمستان	۵۴/۷۱(۳۲/۳۱)	۶	۱۸۷

جدول ۴- مقادیر P-value برای ارتباط غلظت آلاینده‌های PM_{2.5} و PM₁₀ بین فصول سال

PM _{2.5}	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بهار	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تابستان	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
پاییز	۰/۰۰۰	۰/۵۸	-	۰/۰۷۵
زمستان	۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	PM ₁₀

جدول ۵- (ELCR) مرتبط با غلظت PM_{2.5} در هوای آزاد تهران در سال ۱۳۹۷ (۱۰-۶)

ELCR	گروه‌های سنی (سال)								
	<۷	۷-۱۱	۱۱-۱۶	۱۶-۲۱	۲۱-۲۶	۲۶-۳۱	۳۱-۳۶	۳۶-۴۱	۴۱-۴۶
کمترین	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۸	۱/۴	۴/۹	۸/۷	۱۲۴/۴	۱۷۷/۲
میانگین	۳/۷	۳/۷	۳/۷	۴/۷	۹/۰	۳۳/۱	۸۱/۹	۱۸/۶	۲۹/۴
بیشترین	۱۵/۱	۱۵/۱	۱۵/۱	۲۰/۶	۳۵/۲	۸۱/۵	۲۱۰/۷	۴۲۰/۵	۴۵۲/۳

جدول ۶- (HQ) مرتبط با PM_{2.5} و PM₁₀ در هوای آزاد تهران در سال ۱۳۹۷

غلظت آلاینده	PM ₁₀	PM _{2.5}
میانگین	۱/۲۲	۳/۸۹
کمترین	۰/۱۲	۰/۲
بیشترین	۱۱/۱	۱۷/۸

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک بهداشتی PM_{2.5} و PM₁₀ برای گروه کودک تا بزرگسال در منطقه پونک شهر تهران در سال ۱۳۹۷ انجام شد. ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی برای گروه‌های سنی به تفکیک به‌دست آمد. میانگین غلظت PM_{2.5} و PM₁₀ به ترتیب در فصل زمستان و تابستان بیشتر از سایر فصول سال بود. در ماه‌های سرد، ذرات معلق معمولاً از منابعی مانند سوخت‌های فسیلی و احتراق زغال‌سنگ منتشر می‌شوند (He et al., 2017). علاوه بر این، در فصول سرد، وارونگی دما رخ می‌دهد، پراکندگی آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه آلودگی هوا را تشدید می‌کند (Bao et al., 2015). یکی از دلایل اصلی بالا رفتن غلظت ذرات در فصل تابستان می‌تواند وقوع طوفان‌های گرد و غبار در خاورمیانه باشد که سطوح بالایی از گرد و غبار را وارد ایران می‌کند. البته منابع داخلی تولید گرد و غبار از جمله دشت لوت و دشت‌های دجله و فرات نیز اثرات طوفان‌ها را تشدید می‌کنند (Shahsavani et al., 2012). طی مطالعه‌ای در تهران مشخص شد در طوفان گرد و غبار میانگین غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق از مناطق شهری و روستایی به ترتیب حدود ۵ و ۲ برابر بیشتر بوده‌است (Jaafari et al., 2018). در مطالعه حاضر صدک ۹۸ غلظت ۲۴ ساعته PM_{2.5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۵۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده تجاوز از استاندارد EPA بود. همچنین غلظت ۲۴

ساعته PM_{10} تنها در یک روز در سال از مقدار توصیه شده EPA فراتر رفته و برابر با $230 \mu g/m^3$ بود، که بیانگر عدم تجاوز غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} از استاندارد EPA در منطقه پونک بود. میانگین سالانه $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب ۳۱ و $81/5 (\mu g/m^3)$ ، به دست آمد که از استاندارد سالانه WHO بیشتر بودند. نتایج مطالعه حاضر مشابه است با مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ در شهر مکه بر روی ذرات PM_{10} انجام شد. آن‌ها دریافتند که میانگین غلظت‌ها کمتر از حد استاندارد EPA می‌باشد (Mohammed, 2017). در خرم‌آباد میانگین سالانه PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و SO_2 ۱/۳۱، ۲/۶۹ و ۲/۷۸ برابر بیشتر از معیارهای NAAQS^۶ برای این آلاینده‌ها بود (Omid Khaniabadi et al., 2019). در کره جنوبی میانگین غلظت $PM_{2.5}$ از ۲۱/۶۶ میکروگرم بر متر مکعب تا ۳۵/۳۴ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد که بالاتر از استاندارد کیفیت هوای کره برای ۲۴ ساعت (۳۵ میکروگرم بر متر مکعب) و استاندارد سالانه (۱۵ میکروگرم بر متر مکعب) بود (Kim et al., 2019). همچنین مطالعه‌ای در فیلیپین گزارش داد میانگین غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در سه مکان مختلف در مترو این شهر، بالاتر از استاندارد WHO بوده است (Pabroa et al., 2022).

یافته‌های این مطالعه نشان داد مقادیر ELCR بالاتر از استاندارد توصیه شده توسط USEPA برای همه گروه‌های سنی مورد مطالعه بود. مقادیر خطر ابتلا به سرطان برای همه گروه‌های سنی بالا بود. این سطوح برای کودکان زیر ۳ سال بسیار بالاتر بود که نشان می‌دهد این گروه‌های سنی در معرض خطر $PM_{2.5}$ در تهران هستند. وسایل نقلیه موتوری، استفاده از سوخت‌های با کیفیت پایین، استفاده از وسایل نقلیه قدیمی و ضعیف، عدم کنترل کافی و مناسب بر آلاینده‌های آگروز خودرو از دلایل بالا بودن غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ می‌باشد. برای کاهش آلودگی خودروها، دولت ایران باید مقررات سختگیرانه‌ای را وضع کند. همچنین بهبود کیفیت سوخت مورد استفاده برای وسایل نقلیه ضروری از الزامات می‌باشد. نتایج مشابهی در هوای داخلی آشپزخانه‌ها و اتاق‌های نشیمن خانه‌های آپارتمانی کره جنوبی به دست آمده است (Kim et al., 2018). همچنین، در مطالعه‌ای برای هوای آزاد در واشنگتن (ایالات متحده آمریکا) به نتایج مشابهی دست یافتند (Greene et al., 2006). مطالعه‌ای در شهر تهران نشان داد که مقادیر ELCR برای PM_{10} و $PM_{2.5}$ در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ برای تمامی گروه‌های سنی بالاتر از استانداردها بود (Yunesian et al., 2019). در روسیه نیز طی مطالعه‌ای که در یک شهر صنعتی صورت گرفت، مشخص شد خطر سرطان‌زایی برای As، Cr، Co، Ni و Pb بالاتر از استاندارد WHO بوده است (Krupnova et al., 2021). طی مطالعه‌ای دیگر در تهران برای تعیین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} ، از هوای داخل و خارج کافه‌های قلیان، کافه‌های سیگار نمونه‌برداری کردند. میانگین ELCR برای $PM_{2.5}$ در هوای داخل کافه‌ها در محدوده 10^{-5} تا $14/98 \times 10^{-5}$ بود و بالاتر از استاندارد بود (Heydari et al., 2019). در کره جنوبی مقادیر ELCR برای As، Cr(VI) و در محدوده 10^{-6} تا $3/44-1/33$ گزارش شد که فراتر از استاندارد بود (Kim et al., 2019). در فیلیپین و چین نیز خطر سرطان‌زایی برای بزرگسالان در همه مکان‌ها مشاهده شد ($10^{-5} >$) (Wu et al., 2019; Pabroa et al., 2022).

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شد، میانگین HQ در مطالعه حاضر طی سال ۱۳۹۷ برای $PM_{2.5}$ ، در بزرگسالان ۰/۴۷ و در کودکان ۰/۴۳ بود که کمتر از ۱ بود که نشان‌دهنده ریسک قابل قبول برای سلامت انسان است. همچنین HQ محاسبه شده برای PM_{10} در بزرگسالان بزرگتر از ۱ بود که بیانگر احتمال وقوع ریسک‌های غیرسرطان‌زایی برای این گروه سنی می‌باشد. نتایج مشابهی طی مطالعه‌ای در منطقه آمازون برزیل با میانگین HQ برابر با ۲/۰۷ برای $PM_{2.5}$ یافت شد که نشان‌دهنده وقوع ریسک‌های غیرسرطان‌زایی است (De Oliveira et al., 2012b). میانگین HQ برای PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب در محدوده ۰/۸۲-۱۸/۴ و ۰/۱۶-۳/۲۸ محاسبه شد که با خطر غیرقابل قبولی برای سلامت انسان مطابقت دارد (Heydari et al., 2019). در کره جنوبی میانگین HQ برای As، Pb، BaP، Mn و Cd کمتر از یک بود (Kim et al., 2019). در فیلیپین عناصر مورد مطالعه پتانسیل ناچیز ($HQ < 1$) را برای ایجاد اثرات بهداشتی غیر سرطان‌زا نشان داد (Pabroa et al., 2022).

نتایج این مطالعه نشان داد که آلودگی هوا به ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در منطقه پونک تهران موضوع بسیار مهم و جدی است چرا که در غلظت‌های میانگین و بیشینه می‌تواند خطر سرطان‌زایی برای کودکان و بزرگسالان ایجاد کند. همچنین هر دو آلاینده خطر غیرسرطان‌زایی در مقادیر میانگین و حداکثر غلظت داشتند. با توجه به اینکه تهران یک کلان‌شهر است و مناطق

^۶National Ambient Air Quality Standards

صنعتی زیادی درون و اطراف خود دارد و روزانه ترافیک سنگینی در خیابان‌های آن ایجاد می‌شود و از طرفی به دلیل موقعیت توپوگرافی خاصی که دارد با مشکل جدی آلودگی هوا مواجه است. ذرات معلق ناشی از منابع ذکر شده حاوی ترکیبات سمی و خطرناک از جمله فلزات سنگین می‌باشند و در صورت مواجهه‌های طولانی‌مدت افراد در گروه‌های مختلف سنی می‌تواند اثرات زیان‌باری بر سلامت شهرنشینان ایجاد کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری با هدف ارزیابی خطر آلودگی هوا روی افراد حساس جامعه صورت گیرد. همچنین مقررات و دستورالعمل‌های سختگیرانه‌تر و هدفمند برای کنترل منابع اصلی پخش آلاینده‌های هوا وضع گردد. آموزش به شهروندان برای استفاده از وسایل نقلیه عمومی نیز می‌تواند تا حد زیادی به کاهش آلودگی هوای شهر کمک کند.

References

- Ashrafi, M., Ebadi, S., 2021. Locating the optimal home-to-school routes for students and the walking bus model, a case study: two elementary schools in Ponk neighborhood of Tehran. *Andishnama Shahr*. 1, 63-68. (In Persian)
- Bao, J., Yang, X., Zhao, Z., Wang, Z., Yu, C., Li, X., 2015. The Spatial-Temporal Characteristics of Air Pollution in China from 2001–2014. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, 15875-15887.
- Barzeghar, V., Sarbakhsh, P., Hassanvand, M. S., Faridi, S & , Gholampour, A., 2020. Long-term trend of ambient air PM10, PM2.5, and O3 and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Sustainable Cities and Society* 54, 101988.
- Bhatnagar, A., 2022. Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution. *Annual Review of Medicine* 73, 393-406.
- Daryanoosh, M., Goudarzi, G., Rashidi, R., Keishams, F., Hopke, P.K., Mohammadi, M.J., Nourmoradi, H., Sicard, P., Takdastan, A., Vosoughi, M., 2018. Risk of morbidity attributed to ambient PM10 in the western cities of Iran. *Toxin Reviews* 37, 313-318.
- de Oliveira, B. F. A., Ignotti, E., Artaxo, P., do Nascimento Saldiva, P. H., Junger, W. L., Hacon, S., 2012a. Risk assessment of PM2.5 to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production. *Environmental Health* 11, 64.
- De Oliveira, B. F. A., Ignotti, E., Artaxo, P., do Nascimento Saldiva, P. H., Junger, W. L., Hacon, S., 2012b. Risk assessment of PM2.5 to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production. *Environmental Health* 11, 1-11.
- Delikhoon, M., Fazlzadeh, M., Sorooshian, A., Baghani, A. N., Golaki, M., Ashournejad, Q., Barkhordari, A., 2018. Characteristics and health effects of formaldehyde and acetaldehyde in an urban area in Iran. *Environmental Pollution* 242, 938-951.
- EPA, U. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final), in, US Environmental Protection Agency Washington, DC, 2011.
- Ezimand, K., Kakroodi, A., 2019. Prediction and spatio-temporal analysis of ozone concentration in a metropolitan area. *Ecological Indicators* 103, 589-598.
- Faridi, S., Shamsipour, M., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Amini, H., Azimi, F., Malkawi, M., Momeniha, F., Gholampour, A., Hassanvand, M.S., Naddafi, K., 2018. Long-term trends and health impact of PM_{2.5} and O₃ in Tehran, Iran, 2006. *Environment International* 114, 37-49.
- Forsberg, B., Stjernberg, N., Wall, S., 1997. People can detect poor air quality well below guideline concentrations: a prevalence study of annoyance reactions and air pollution from traffic. *Occupational and Environmental Medicine* 54, 44-48.
- Greene, N.A., Morris, V.R., 2006. Assessment of public health risks associated with atmospheric exposure to PM_{2.5} in Washington, DC, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 3, 86-97.
- Gusti, A., 2017. Comparison of Risk Level of Exposure to PM10 on Students at Vegetated and Non Vegetated Elementary School in Padang City. *International Journal of Applied Engineering Research* 12, 9434-9437.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Song, C., Zhao, S., Liu, H., Li, X., Li, R., 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. *Environmental Pollution* 223, 484-496.

- Heydari, G., Taghizadeh, F., Fazlzadeh, M., Jafari, A. J., Asadgol, Z., Mehrizi, E. A., Moradi, M., Arfaeina, H., 2019. Levels and health risk assessments of particulate matters (PM_{2.5} and PM₁₀) in indoor/outdoor air of waterpipe cafés in Tehran, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 7215-7205.
- Hopkins, D., Williams, D. 2011. *Guidance on Human Health Risk Assessment for Environmental Impact Assessment in Alberta*. Edmonton, Alberta: Health Protection Branch, Alberta Health & Wellness.
- Hosseinpoor, A.R., Forouzanfar, M. H., Yunesian, M., Asghari, F., Naieni, K.H., Farhood, D., 2005. Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Tehran, Iran: a time-series study. *Environmental Research* 99, 126-131.
- Jaafari, J., Naddafi, K., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Hassanvand, M.S., Ghozikali, M.G., Nazmara, S., Shamsollahi, H.R., Yaghmaeian, K., 2018. Study of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ levels in during dust storms and local air pollution events in urban and rural sites in Tehran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 24, 482-493.
- Khaniabadi, Y.O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S.M., Borgini, A., Tittarelli, A., De Marco, A., 2017. Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health. *Environmental science and pollution Research* 24, 2781-2789.
- Kim, H., Kang, K., Kim, T., 2018. Measurement of particulate matter (PM_{2.5}) and health risk assessment of cooking-generated particles in the kitchen and living rooms of apartment houses. *Sustainability* 10, 843.
- Kim, I., Lee, K., Lee, S., Kim, S.D., 2019. Characteristics and health effects of PM_{2.5} emissions from various sources in Gwangju, South Korea. *Science of The Total Environment* 696, 133890.
- Krupnova, T.G., Rakova, O.V., Bondarenko, K.A., Saifullin, A.F., Popova, D.A., Potgieter-Vermaak, S., Godoi, R.H.M., 2021. Elemental Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ and Health Risks Assessment in the Industrial Districts of Chelyabinsk, South Ural Region, Russia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 12354.
- Kumar, A., Ambade, B., Sankar, T.K., Sethi, S.S., & Kurwadkar, S., 2020. Source identification and health risk assessment of atmospheric PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Jamshedpur, India. *Sustainable Cities and Society* 52, 101801.
- Lin, C.-C., Chiu, C.-C., Lee, P.-Y., Chen, K.-J., He, C.-X., Hsu, S.-K., Cheng, K.-C., 2022. The Adverse Effects of Air Pollution on the Eye: A Review. *International journal of environmental research and Public Health* 19, 1186.
- Liu, J., Mauzerall, D. L., Chen, Q., Zhang, Q., Song, Y., Peng, W., Klimont, Z., Qiu, X., Zhang, S., Hu, M., 2016. Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, 7756-7761.
- Lowrance, W. W., Of acceptable risk: Science and the determination of safety.
- Maji, K.J., Dikshit, A.K., Deshpande, A., 2016. Human health risk assessment due to air pollution in 10 urban cities in Maharashtra, India. *Cogent Environmental Science* 2, 1193110.
- Malakan, W., Thepanondh, S., Kondo, A., 2022. Modeling of Inhalation Health Risk of Volatile Organic Compounds in the Vicinity of Maptaphut Petroleum and Petrochemical Industrial Estate, Thailand. *Sustainability* 14, 12073.
- Mirrezaei, M.A., Orkomi, A.A., 2020. Gas flares contribution in total health risk assessment of BTEX in Asalouyeh, Iran. *Process Safety and Environmental Protection* 137, 223-237.
- Mohammed, A.M., 2017. Estimation of PM₁₀ Health Impacts on Human within Urban Areas of Makkah city, KSA.
- Murata, H., Barnhill, L.M., Bronstein, J.M., 2022. Air Pollution and the Risk of Parkinson's Disease: A Review. *Mov Disord* 37, 894-904.
- Naddafi, K., Hassanvand, M.S., Yunesian, M., Momeniha, F., Nabizadeh, R., Faridi, S., Gholampour, A., 2012. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. *Iranian Journal of environmental Health Science & Engineering* 9, 1-7.
- NRC, U., 1983. *Risk assessment in the federal government: managing the process*. National Research Council, Washington DC 11.
- Omidi Khaniabadi, Y., Sicard, P., Omidi Khaniabadi, A., Mohammadinejad, S., Keishams, F., Takdastan, A., Najafi, A., De Marco, A., Daryanoosh, M., 2019. Air quality modeling for health risk

- assessment of ambient PM₁₀, PM_{2.5} and SO₂ in Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 25, 1298-1310.
- Pabroa, P.C.B., Racho, J.M.D., Jagonoy, A.M., Valdez, J.D.G., Bautista Vii, A.T., Yee, J.R., Pineda, R., Manlapaz, J., Atanacio, A.J., Coronel, I.C.V., Salvador, C.M.G., Cohen, D.D., 2022. Characterization, source apportionment and associated health risk assessment of respirable air particulates in Metro Manila, Philippines. *Atmospheric Pollution Research* 13, 101379.
- Ritchie, H., Spooner, F., Roser, M., 2018. Causes of death. *Our world in data*.
- Rostami, R., Zarei, A., Saranjam, B., Ghaffari, H.R., Hazrati, S., Poureshg, Y., Fazlzadeh, M., 2019. Exposure and risk assessment of PAHs in indoor air of waterpipe cafés in Ardebil, Iran. *Building and Environment* 155, 47-57.
- Sanidas, E., Papadopoulos, D.P., Grassos, H., Velliou, M., Tsioufis, K., Barbetseas, J., Papademetriou, V., 2017. Air pollution and arterial hypertension. A new risk factor is in the air. *Journal of the American Society of Hypertension* 11, 709-715.
- Shahsavani, A., Naddafi, K., Jafarzade Haghhighifard, N., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Arahami, M., Sowlat, M. H., Yarahmadi, M., Saki, H., Alimohamadi, M., Nazmara, S., Motevalian, S.A., Goudarzi, G., 2012. The evaluation of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of Arid Environments* 77, 72-83.
- So, R., Chen, J., Mehta, A.J., Liu, S., Strak, M., Wolf, K., Hvidtfeldt, U.A., Rodopoulou, S., Stafoggia, M., Klompmaker, J.O., 2021. Long-term exposure to air pollution and liver cancer incidence in six European cohorts. *International Journal of Cancer* 149, 1887-1897.
- Soleimani, F., Malek-Hosseini, A. 2021. Investigating pollutants affecting Tehran's air pollution and control strategies according to AQI quality index. *New Attitudes in Human Geography (Human Geography)* 10, 73-55.
- Tiotiu, A. I., Novakova, P., Nedeva, D., Chong-Neto, H. J., Novakova, S., Steiroopoulos, P., & Kowal, K., 2020. Impact of air pollution on asthma outcomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, 6212.
- Tsai, S. C.-S., Hsu, Y.-C., Lai, J.-N., Chou, R.-H., Fan, H.-C., Lin, F. C.-F., Zhang, R., Lin, C.-L., Chang, K.-H., 2021. Long-term exposure to air pollution and the risk of developing sudden sensorineural hearing loss. *Journal of Translational Medicine* 19, 1-7.
- USEPA, I. Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure (RfC), in: IRIS Summary, Integrated Risk Information System, 2007 .
- Wu, Y., Li, G., Yang, Y., An, T., 2019. Pollution evaluation and health risk assessment of airborne toxic metals in both indoors and outdoors of the Pearl River Delta, China. *Environmental Research* 179, 108793.
- Yunesian, M., Rostami, R., Zarei, A., Fazlzadeh, M., & Janjani ,H., 2019. Exposure to high levels of PM_{2.5} and PM₁₀ in the metropolis of Tehran and the associated health risks during 2016–2017. *Microchemical Journal* 150, 104174.
- Zhang, L., Ou, C., Magana-Arachchi, D., Vithanage, M., Vanka, K. S., Palanisami, T., Masakorala, K., Wijesekara, H., Yan, Y., & Bolan, N., 2021. Indoor particulate matter in urban households: Sources, pathways, characteristics, health effects, and exposure mitigation. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 11055.
- Zoz, F., Iaconelli, C., Lang, E., Iddir, H., Guyot, S., Grandvalet, C., Gervais, P., Beney, L., 2016. Control of relative air humidity as a potential means to improve hygiene on surfaces: a preliminary approach with *Listeria monocytogenes*. *PLoS One* 11, e0148418.