

Seasonal Variations in Pollutant Concentrations and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Dust of Yazd City

Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi^{1*} 

1. Corresponding Author, Associate Professor of Water Sciences and Engendering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 05 August 2024 Revised: 25 August 2024 Accepted: 17 September 2024 Keywords: Pollution index, Geo-accumulation, Ecological risk, Heavy metals.	Dust deposition is widespread in arid and semi-arid regions worldwide. Because of Yazd is one of the industrial cities of Iran, where there are various steel, tile, and ceramic factories and industries around it. This study was conducted to investigate heavy element pollution in the atmospheric dust of Yazd city. Dust samples were collected seasonally from the fall of 2017 to the summer of 2018 at 30 locations, using sediment traps placed on the roofs of single-story buildings. Determination of the concentration of heavy elements and evaluation of indicators of heavy metal pollution, including the Geo-Accumulation Index (Igeo), the Integrated Nemerow Pollution Index (INPI), the Integrated Pollution Index (IPI), and the Modified Ecological Risk Index (MRI), to assess the level and extent of environmental pollution and dust were calculated in the area. According to the cumulative pollution index results, the fall and winter seasons had a high pollution index, and the spring and summer seasons had an average amount of pollution. According to the Nimru comprehensive pollution index, arsenic, cadmium, and zinc are in the heavy pollution class, with average values of 7.8, 3.7, and 6.9, respectively. The average values of the accumulation indices were Zn>Cr>Cu>Pb>As>Co>Fe>Ni>Mn>Cd. The modified ecological risk index results were between 300 and 600 in all seasons; therefore, the region was placed in the category of considerable ecological risk.
Cite this article: Soltani-Gerdefaramarzi, S. (2025). Seasonal Variations in Pollutant Concentrations and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Dust of Yazd City. <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i>, 14(43), 133-154. DOI: 10.22111/jneh.2024.49494.2061	
 © Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi DOI: 10.22111/jneh.2024.49494.2061 Publisher: University of Sistan and Baluchestan	

* Corresponding Author Email: ssoltani@ardakan.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۳، پیاپی ۱، بهار ۱۴۰۴

تغییرات فصلی غلظت آلودگی و ارزیابی ریسک اکولوژیک عناصر سنگین در

گردوغبار اتمسفری شهر یزد

سمیه سلطانی گردفرامرزى^{*۱}

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	فرونشست گردوغبار به طور گسترده در مناطق خشک و نیمه خشک جهان اتفاق می افتد. به دلیل ریز بودن و بالا بودن جذب سطحی ذرات گردوغبار، امکان انتقال آلودگی بالا با اتصال فلزات سنگین به آنها وجود دارد. یزد از جمله شهرهای صنعتی ایران است که کارخانجات و صنایع مختلف فولاد و کاشی و سرامیک در اطراف آن وجود دارد. این مطالعه به منظور بررسی آلودگی عناصر سنگین در گردوغبار اتمسفری شهر یزد انجام شد. نمونه های گردوغبار به صورت فصلی از پائیز ۱۳۹۷ تا تابستان ۱۳۹۸ و از ۳۰ نقطه با استفاده از تله های رسوب گیر نصب شده در بام ساختمان های یک طبقه جمع آوری شد. غلظت عناصر سنگین تعیین و شاخص های ارزیابی آلودگی فلزات سنگین شامل شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، شاخص جامع آلودگی نمره (INPI)، شاخص آلودگی تجمعی (IPI) و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI) برای ارزیابی سطح و میزان آلودگی گردوغبار در منطقه محاسبه شدند. بر اساس نتایج شاخص آلودگی تجمعی دو فصل پاییز و زمستان دارای شاخص آلودگی زیاد و فصل بهار و تابستان دارای مقدار آلودگی متوسط است. بر اساس شاخص جامع آلودگی نمره عناصر آرسنیک، کادمیوم و روی به ترتیب با میانگین ۷/۸، ۳/۷ و ۶/۹ در کلاس آلودگی شدید قرار دارند. مقادیر متوسط شاخص انباشتگی به ترتیب از بیشتر به کمتر روی <کروم> <مس> <سرب> <آرسنیک> <کبالت> <آهن> <نیکل> <منگنز> <کادمیوم> می باشد. نتایج شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده نیز در همه فصول بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ بوده است و به همین دلیل منطقه در طبقه ریسک اکولوژیک قابل توجه قرار می گیرد.

استناد: سلطانی گردفرامرزى، سمیه. (۱۴۰۴). تغییرات فصلی غلظت آلودگی و ارزیابی ریسک اکولوژیک عناصر سنگین در گرد و غبار اتمسفری شهر

یزد. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۳)، ۱۳۳-۱۵۴. DOI: 10.22111/jneh.2024.49494.2061



© سمیه سلطانی گردفرامرزى.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گردوغبار می‌باشد که ازجمله مهم‌ترین مسائل زیست-محیطی در این مناطق محسوب می‌شود. بیش از دو سوم مساحت کشور ایران به دلایل مختلف ازجمله موقعیت جغرافیایی و دوری از پهنه‌های وسیع آبی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. محدودیت بارندگی در این منطقه تا حدودی از وقوع فرسایش آبی کاسته است. درحالی‌که کمبود پوشش گیاهی و سایر عوامل مساعدکننده فرسایش‌پذیری خاک زمینه را برای توسعه فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوغبار فراهم کرده است (Haghnazar et al., 2023; Soltani-Gerdefaramarzi et al., 2021a). امروزه آلودگی اتمسفری از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها می‌باشد و گردوغبار اتمسفری با دارا بودن دامنه وسیعی از مواد شیمیایی و ترکیبات آلی و معدنی ازجمله مهم‌ترین عوامل آلاینده اتمسفر محسوب می‌شود (Vaezi et al., 2024). از طرف دیگر، عناصر سنگین جزو ترکیب‌های طبیعی پوسته زمین هستند (Al-Khashman, 2004) و در تمامی اکوسیستم‌ها در غلظت‌های مختلف وجود دارند. فعالیت انسان‌ها و چرخه بیوشیمیایی، تعادل برخی از آنها را به‌شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ginoux et al., 2012). عناصر سنگین با اتصال به ذرات گردوغبار در مقیاس وسیعی منتشر شده و به همین دلیل گردوغبار یکی از منابع مهم عناصر سنگین می‌باشد (Modaihsh, 1997). روش‌های متعددی برای تعیین و ارزیابی درجه آلودگی عناصر سنگین در خاک، رسوبات و گردوغبار وجود دارد. محققین شاخص‌های برآورد آلودگی عناصر سنگین را در دو گروه اصلی شاخص‌های منفرد و شاخص یکپارچه تقسیم‌بندی می‌کنند (Qingjie et al., 2008). پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری با استفاده از شاخص‌های مختلف انجام شده است. برای مثال، شجاعی برجویی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که بر اساس شاخص آلودگی منفرد عناصر سرب، روی و آرسنیک در کلاس آلودگی شدید و بر اساس شاخص منفرد، فاکتور آلودگی دو عنصر روی و آلومینیوم در کلاس بسیار بالا آلودگی قرار دارند و بر اساس شاخص تلفیقی بار آلودگی، کلیه نمونه‌ها در کلاس آلوده قرار گرفتند. مولایی و اسماعیلی (۱۳۹۹) ریسک اکولوژیک آلاینده‌های سرب و کادمیوم در گردوغبار حیات مدارس مناطق منتخب شهر تهران را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد بین میزان غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی از لحاظ شاخص میزان خطر اکولوژیک برای موجودات زنده در سطح خیلی بالا هستند. سامانی و همکاران (۱۴۰۰) غلظت فلز روی موجود در گردوغبارهای اتمسفری شهر تهران و ریسک سلامت آن را به‌صورت فصلی مطالعه کردند. نتایج نشان داد کمترین و بیشترین غلظت فلز روی در فصل زمستان و فصل پاییز بود. غلظت روی و مقدار گردوغبارهای اتمسفری از غرب به شرق و با عبور از زمستان به سمت پاییز افزایش یافت. مخفی و همکاران (۱۴۰۱) ریسک اکولوژیک سرب، روی و کادمیوم در گردوغبار اتمسفری شهر اصفهان را تعیین و ارزیابی کردند. نتایج بررسی شاخص درجه آلودگی نشان داد کادمیوم و سرب در درجه بسیار پایین آلودگی و روی در طبقه پایین آلودگی قرار دارند. همچنین شاخص خطر اکولوژیک برای کادمیوم و سرب و مس در محدوده ریسک کم قرار دارد که نشان‌دهنده پتانسیل ریسک کم می‌باشد. اکبری و خادمی (۱۴۰۲) تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گردوغبار خیابانی اصفهان و تعدادی از شهرهای اطراف آن را بررسی کردند. میانگین غلظت عناصر مس، روی و سرب در گردوغبار خیابانی بیشترین مقدار را در همه شهرها در مقایسه با نطنز نشان داد. میزان آلودگی در نمونه‌های گردوغبار شهر مآن در کشور اردن با

محاسبه پارامترهای Igeo، PI و IPI بررسی شد. نتایج IPI حاکی از این بود که میزان آلودگی تمام عناصر در سطح کم و یا متوسط می‌باشد (Al-Khashman, 2004). واعظی و همکاران (۲۰۲۳) غلظت، منابع و ارزیابی خطر سلامت انسان برخی فلزات سنگین را در ۸۸ نمونه غبار جوی ماهانه جمع‌آوری شده بین دسامبر ۲۰۲۰ و اکتبر ۲۰۲۱ در شهر زاهدان بررسی کردند. استفاده گسترده از آفت‌کش‌های مبتنی بر آرسنیک در زمین‌های کشاورزی اطراف، عامل مهمی در آلودگی شدید آرسنیک در منطقه و فصل زمستان بالاترین میانگین ماهانه غلظت روی و سرب را به دلیل وارونگی دما و به دام انداختن آلاینده‌های انسانی محلی در نزدیکی سطح زمین گزارش شد. شیوو و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات فصلی و مکانی غلظت جیوه در گردوغبار در مدارس ابتدایی شهر سونورا در مکزیک در طول دوره قبل و بعد از فرآیندهای موسمی را مورد بررسی قرار دادند و منابع بالقوه و خطرات سلامت مرتبط را ارزیابی کردند. نمونه‌های گردوغبار مدارس آلودگی متوسط تا شدید جیوه در زمان پیش از جریان‌های موسمی را در ناحیه شمالی منطقه مطالعاتی شناسایی کرد که با فعالیت‌های آجرپزی مرتبط دانستند و نگرانی‌های بهداشتی را برای کودکان و بزرگسالان نشان داد. سیف و همکاران (۲۰۲۳) به منظور ارزیابی اکولوژیکی بالقوه از داده‌های غلظت فلزات سنگین در اتمسفر مناطق شهری، صنعتی و بندری در شهری در آرژانتین استفاده کردند. شاخص زمین‌انباشتی برای عنصر سرب در همه نقاط بسیار قابل‌توجه و افزایش خطر زیست‌محیطی بالقوه گزارش شد. یانگ و همکاران (۲۰۲۴) برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی و عوامل مؤثری که شهر داتونگ در چین با آن مواجه است، شاخص انباشتی زمین و شاخص بهبودیافته نمورو نیز برای ارزیابی سطوح آلودگی مورد استفاده قرار گرفت. آلودگی کلی و خطر زیست-محیطی فلزات سنگین به‌ترتیب به‌عنوان متوسط و زیاد در فصل زمستان که شدیدترین شرایط را نشان می‌داد، طبقه‌بندی شدند که بیشتر ناشی از انتشار جیوه از صنایع مرتبط با زغال‌سنگ است. امروزه گردوغبار جز مسائل و مشکلات جدی زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح شده است. از طرفی شهر یزد یکی از شهرهای مهم و صنعتی ایران است که اطراف آن کارخانجات فولاد و کاشی و سرامیک قرار دارد که اتمسفر آن در بیشتر مواقع سال تحت تاثیر پدیده گردوغبار قرار می‌گیرد. این پژوهش، بنا به موقعیت جغرافیایی شهر یزد از نظر دارا بودن مناطق خشک و نمک‌زار اطراف آن و مستعد بودن از نظر ایجاد طوفان‌های گردوغبار در این منطقه و با توجه به وضعیت صنعتی و ترافیکی شهر یزد، قرار گرفتن در شاهراه شمال به جنوب کشور و پیش‌بینی غلظت بالای فلزات سنگین در اتمسفر منطقه انجام شده است. بنابراین، تعیین آلودگی غلظت عناصر سنگین در گردوغبار اتمسفری این شهر، ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند مینا و گام مهمی در جهت کنترل عوامل آلوده‌کننده اتمسفر و در نهایت سلامت عمومی جمعیت انسانی منطقه باشد.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

این مطالعه در شهر یزد، پرجمعیت‌ترین شهرستان و مرکز استان یزد با وسعتی بالغ بر ۱۳۶/۳۷ کیلومتر مربع با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی انجام گرفت. جهت باد غالب در شش ماه از سال (بهار و تابستان) شمال غربی و در چهار ماه

(آبان تا بهمن) جنوب شرقی و در اسفند و مهر غربی است. طبق اطلاعات هواشناسی، میانگین دمای سالیانه ۱۹/۱ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۳۱٪، مجموع بارندگی سالیانه ۶۰/۸ میلی‌متر، تعداد روزهای با طوفان تندری ۳/۷، تعداد روزهای با طوفان گردوخاک ۶۲/۵، سرعت باد غالب ۸/۸ کیلومتر و درصد باد غالب ۱۵/۲ می‌باشد (سلطانی گردفرامری و همکاران، ۱۳۹۹). بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهرستان ۶۵۶۴۷۴ نفر می‌باشد. با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی، رشد شهرنشینی و گرایش به صنعت این شهر از لحاظ بررسی وضعیت گردوغبار حائز اهمیت می‌باشد.

به منظور نمونه‌برداری گردوغبار، ۳۰ محل نمونه‌برداری به نحوی که پوشش مناسبی در کل منطقه حاصل شود، به صورت تصادفی انتخاب شدند. مختصات جغرافیایی با استفاده از دستگاه GPS مشخص و با استفاده از نرم‌افزار GIS روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تعیین شد. شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه‌برداری گردوغبار در شهر یزد را نشان می‌دهد. جهت نمونه‌برداری از غبارات اتمسفری، از رسوب‌گیر غبار تیل‌های که از یک سینی پلاستیکی با چند ردیف تیل (حداقل ۲ ردیف) با قطر سینی ۳۱/۵ سانتی‌متری و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و قطر تیل‌های شیشه‌ای ۱/۶ سانتی‌متر استفاده شد. نمونه‌برداری از غبارات اتمسفری در چهار فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۷، بهار و تابستان ۱۳۹۸ در شهر یزد در ارتفاع سه متری سطح زمین (پشت بام منازل یک طبقه) انجام گرفت. ارتفاع یک طبقه این امکان را فراهم می‌کند که غبار فرونشسته تحت تاثیر سایر فرایندهای بادی نزدیک به سطح زمین قرار نگرفته و در عین حال نسبت به ساختمان‌های مرتفع این امکان را مهیا می‌سازد که غلظت غبار جمع‌آوری شده تقریباً به مقدار قابل‌استنشاق توسط افراد نزدیک‌تر باشد. در هر پشت بام دو نوع تله رسوب‌گیر به کار رفت. نمونه‌های رسوب در انتهای هر فصل به دقت جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از هر بار نمونه‌برداری با آب شستشو و دوباره استفاده شد. تا حد امکان تلاش شد که در طول یک سال نمونه‌برداری رسوب، نمونه‌های گردوغبار تحت تاثیر بارندگی‌های پیش‌بینی‌شده سازمان هواشناسی قرار نگیرند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ابتدا تمام نمونه‌ها به منظور جداسازی ذرات خار و خاشاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و سپس وزن گردید و سپس با روش چهار اسید نمونه‌های گردوغبار هضم و توسط دستگاه ICP-MS مدل Perkin elmer ساخت کشور آمریکا (Standard method by code number of D) (Amr et al., 2016, 4698-92) غلظت عناصر آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و روی (Zn) اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های گردوغبار با استفاده از نرم‌افزار SPSS. 16 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین پارامترهای مورد مطالعه و معنی‌داری اختلاف آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گردید. نقشه‌های توزیع مکانی پارامترها در مطالعه با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 ترسیم شدند. این روش بر اساس عکس فاصله تا نقطه‌ی تخمین است. به عبارت دیگر، وزن‌دهی بیشتر به نزدیک‌ترین نمونه‌ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه‌هایی است که در فاصله‌ی بیشتر قرار دارند.



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه‌برداری گردوغبار اتمسفری در شهر یزد. منبع: نگارندگان

معرفی شاخص‌های مورد استفاده

شاخص آلودگی تجمعی (IPI)

شاخص آلودگی تجمعی^۱ مقدار متوسط شاخص آلودگی چند فلز سنگین تعریف می‌شود و به سه کلاس طبقه‌بندی می‌گردد. کلاس‌های آلودگی شامل کم ($IPI < 1$)، متوسط ($1 < IPI < 2$) و زیاد ($IPI > 2$) تعریف می‌گردد (Chen et al., 2010). شاخص آلودگی (PI)، طبق تعریف نسبت غلظت عنصر مربوطه در نمونه گردوغبار به غلظت آن در زمینه می‌باشد. با توجه به ارائه نتایج محاسبه این شاخص در مقاله سلطانی گردفرامری (۱۴۰۳) از نتایج این شاخص برای محاسبه شاخص‌های دیگر در اینجا استفاده شده است و مجدداً تکرار نشده است.

شاخص جامع آلودگی نمره (INPI)

شاخص جامع آلودگی نمره^۲ بر اساس معادله (۱) و برای هر ایستگاه نمونه‌برداری محاسبه می‌گردد (Yang et al., 2010):

$$INPI = \sqrt{\frac{(PI_{ave})^2 + (PI_{max})^2}{2}} \quad (1)$$

در این معادله NIPI شاخص آلودگی نمره، PI_{ave} میانگین شاخص آلودگی عنصر، PI_{max} بیشترین میزان شاخص آلودگی عنصر i است. میزان آلودگی نیز بر اساس مقدار شاخص محاسبه‌شده در ۵ کلاس آلودگی به صورت جدول (۱) قرار می‌گیرد.

1 Integrated pollution index (IPI)

2 Integrated Nemerow Pollution Index (INPI)

جدول ۱: سطوح آلودگی بر شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)

سطح آلودگی	NIPI
غیر آلوده	$NIPI < 0.7$
نسبتاً غیر آلوده	$0.7 \leq NIPI < 1$
کمی آلوده	$1 \leq NIPI < 2$
متوسط	$2 \leq NIPI < 3$
شدید	$3 \leq NIPI$

شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI)^۱

شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده فلزات سنگین اخیراً در مطالعات آلودگی خاک و گردوغبار به خصوص در مناطق خشک (Kamani et al., 2017) استفاده می شود. شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده با استفاده از معادلات زیر محاسبه می شود:

$$mEr_i = Tr \times EF_i \quad (2)$$

$$MRI = \sum_{i=1}^n mEr_i \quad (3)$$

در این معادلات mEr فاکتور ریسک اکولوژیک هر عنصر، MRI ریسک اکولوژیک اصلاح شده، EF فاکتور غنی شدگی هر عنصر و Tr فاکتور سمیت برای یک ماده است که مقدار آن برای کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، نیکل، کروم، منگنز و روی به ترتیب ۳۰، ۱۰، ۵، ۵، ۲، ۱ و ۱ تعیین شده است (Hakanson, 1980). ریسک اکولوژیک اصلاح شده بر اساس مقدار mEr و MRI به صورت جدول (۲) طبقه بندی می شود (Duodu et al., 2016).

جدول ۲: سطوح ریسک اکولوژیک بر اساس فاکتور ریسک اکولوژیک (mEr) و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI)

سطح ریسک اکولوژیک	MRI	mEr
کم	$MRI < 150$	$mEr < 40$
متوسط	$150 \leq MRI < 300$	$40 \leq mEr < 80$
قابل توجه	$300 \leq MRI < 600$	$80 \leq mEr < 160$
زیاد	$600 \leq MRI$	$160 \leq mEr < 320$
خیلی زیاد		$320 \leq mEr$

شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})^۲

برای اولین بار شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) توسط مولر (۱۹۶۹) معرفی شد و از آن به بعد به طور گسترده در مطالعات عناصر سنگین در اروپا مورد استفاده قرار گرفت (Muller, 1969). شاخص زمین انباشتگی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad (4)$$

¹ Modified Ecological Risk Index (MRI)² Geoaccumulation Index

که در آن C_n غلظت اندازه‌گیری‌شده عنصر در نمونه مورد بررسی و B_n غلظت زمینه (خاک یا پوسته زمین) همان عنصر است. به منظور تصحیح و کاستن اثرات مادری خاک و نوسانات طبیعی و همچنین برای تعیین اثرات انسان‌زاد بسیار کوچک از ضریب $1/5$ در معادله استفاده می‌شود (Muller, 1969). بر اساس این شاخص ۷ کلاس آلودگی تعریف می‌شود. مقادیر کمتر از صفر، غیر آلوده، ۱-۰ غیر آلوده تا نسبتاً آلوده، ۲-۱ نسبتاً آلوده، ۳-۲ نسبتاً تا خیلی آلوده، ۴-۳ خیلی آلوده، ۵-۴ خیلی تا فوق‌العاده آلوده و بیشتر از ۵ فوق‌العاده آلوده (Qiang et al., Lu et al., 2009, 2015, Tang et al., 2013).

نتایج و بحث

پراکنش مکانی میانگین عناصر سنگین در گردوغبار طی چهار فصل مورد مطالعه

نقشه‌های توزیع مکانی میانگین غلظت عناصر سنگین در گردوغبار طی چهار فصل مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند به‌جز عنصر آرسنیک و سرب، توزیع مکانی غلظت بقیه عناصر تقریباً الگوی مشابهی در منطقه دارد. بیشترین غلظت این عناصر در شمال غرب شهر و مرکز شهر مشاهده می‌شود و با حرکت به سمت شرق و جنوب از غلظت این عناصر کاسته می‌شود. از بین عناصر یادشده شباهت بیشتری بین الگوی توزیع مکانی روی، مس، کبالت، آرسنیک و کادمیوم وجود دارد که بیشترین غلظت این عناصر در شمال غرب دیده می‌شود. دامنه تغییرات سرب با بقیه عناصر متفاوت بوده است و بیشترین غلظت این عنصر در شرق شهر دیده می‌شود. عناصر نیکل، آهن و کروم نیز تقریباً از یک الگوی مشابه پیروی کرده و بیشترین غلظت این عناصر در شمال غرب و مرکز منطقه مورد مطالعه گزارش می‌شود. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برخی عوامل انسان‌زاد از جمله جمعیت، ترافیک، مناطق صنعتی، عملیات عمرانی، قرار گرفتن در نزدیکی شاهراه اصلی شمال به جنوب کشور، مجاورت به صنایع قرارگرفته در غرب و شمال غرب منطقه و جهت بادهای غالب در منطقه جزو اصلی‌ترین عوامل موثر بر غلظت عناصر سنگین در گردوغبار در بخش‌های شمال غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (سلطانی گردفرامری و مروتی، ۱۴۰۰؛ Haghazadeh et al., 2023; Doabi et al., 2018; Pan et al., 2017). لیانگ و همکاران (۲۰۲۰) منشا افزایش غلظت عناصر سنگین سرب، مس، روی، نیکل، کادمیوم و منگنز را خروجی وسایل نقلیه، غلظت روی، منگنز، آرسنیک، کروم، مس و جیوه را ناشی از فعالیت‌های صنعتی، غلظت روی ناشی از پوشش تایلر وسایل نقلیه، غلظت سرب، مس، کروم، نیکل، روی، منگنز و کبالت را ناشی از سوخت بنزین و گازوئیل می‌دانند (Liang et al., 2020).

نتایج شاخص‌های مورد استفاده

بر اساس نتایج شاخص آلودگی تجمعی (IPI) در شکل (۳)، دو فصل پاییز و زمستان در کلاس سوم قرار گرفته و دارای شاخص آلودگی زیاد هستند؛ چراکه مقدار این شاخص در این دو فصل بیش از ۲ به‌دست آمد. فصل بهار با میانگین شاخص آلودگی ۲ و فصل تابستان با میزان شاخص کمتر از ۲ نیز در مرتبه دوم با مقدار آلودگی متوسط قرار

گرفت. توزیع مکانی این شاخص نیز نشان می‌دهد بیشترین میزان این شاخص در شمال غرب و جنوب منطقه به-دست آمده است. با توجه به توزیع غلظت فلزات سنگین در منطقه، توزیع مکانی این شاخص نیز مطابق با نتایج قبلی مورد انتظار بود.

مقدار شاخص جامع آلودگی نمره (INPI) در شکل (۴) و (۵) نشان می‌دهد که عنصر کبالت با میانگین فصلی ۰/۴۶ در کلاس غیرآلوده، عناصر منگنز، نیکل و کروم با داشتن میانگین کمتر از یک در طبقه نسبتاً غیرآلوده قرار دارند. همچنین عنصر آهن با داشتن میانگین ۱/۶ دارای کلاس آلودگی کمی آلوده، عنصر مس و سرب به ترتیب با میانگین ۲/۹ و ۲/۴۳ در طبقه آلودگی متوسط قرار گرفت و عناصر آرسنیک، کادمیوم و روی به ترتیب با میانگین ۷/۸، ۳/۷ و ۶/۹ در کلاس آلودگی شدید قرار دارند. محققین زیادی غلظت بالای سرب در گردوغبار اتمسفری شهرها را تردد وسایل نقلیه و آلودگی ناشی از آنها می‌دانند (Chen et al., 2010; Duodu et al., 2016; Patel et al., 2018; Zeng et al., 2019; Haghazadeh et al., 2023). عده‌ای دیگر از محققین نیز غلظت سرب را ناشی از باتری‌های اسیدی استفاده‌شده در اتومبیل‌ها و فرسودگی تایلر خودروها می‌دانند (Li et al., 2020; Taylor and Kruger 2020). علاوه بر این، ۷۵ درصد سرب موجود در بنزین از دود اگزوز خارج می‌شود که به دلیل ماهیت بسیار واکنش‌پذیر سرب می‌تواند به گردوغبار بچسبد (Ogundele et al., 2015; Soltani-Gerdefaramarzi et al., 2021b).

نتایج شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده (MRI) به تفکیک چهار فصل و مجموع سالانه در شکل (۶) نشان داده شده است. طبق نتایج این شاخص، ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده در همه فصول بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ بوده است و به همین دلیل در طبقه ریسک اکولوژیک قابل توجه قرار می‌گیرد. مقدار متوسط این شاخص به ترتیب برای فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان ۴۰۵/۷۰، ۴۸۰/۴۴، ۳۹۵/۷۱ و ۳۷۷/۷۱ بوده است. با توجه به نتایج فصل زمستان و تابستان به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده بوده‌اند. پهنه‌بندی این شاخص نیز در سطح منطقه نشان داد که مناطق غرب و جنوب منطقه مطالعاتی دارای ریسک اکولوژیک بالاتر نسبت به بقیه مناطق می‌باشند.

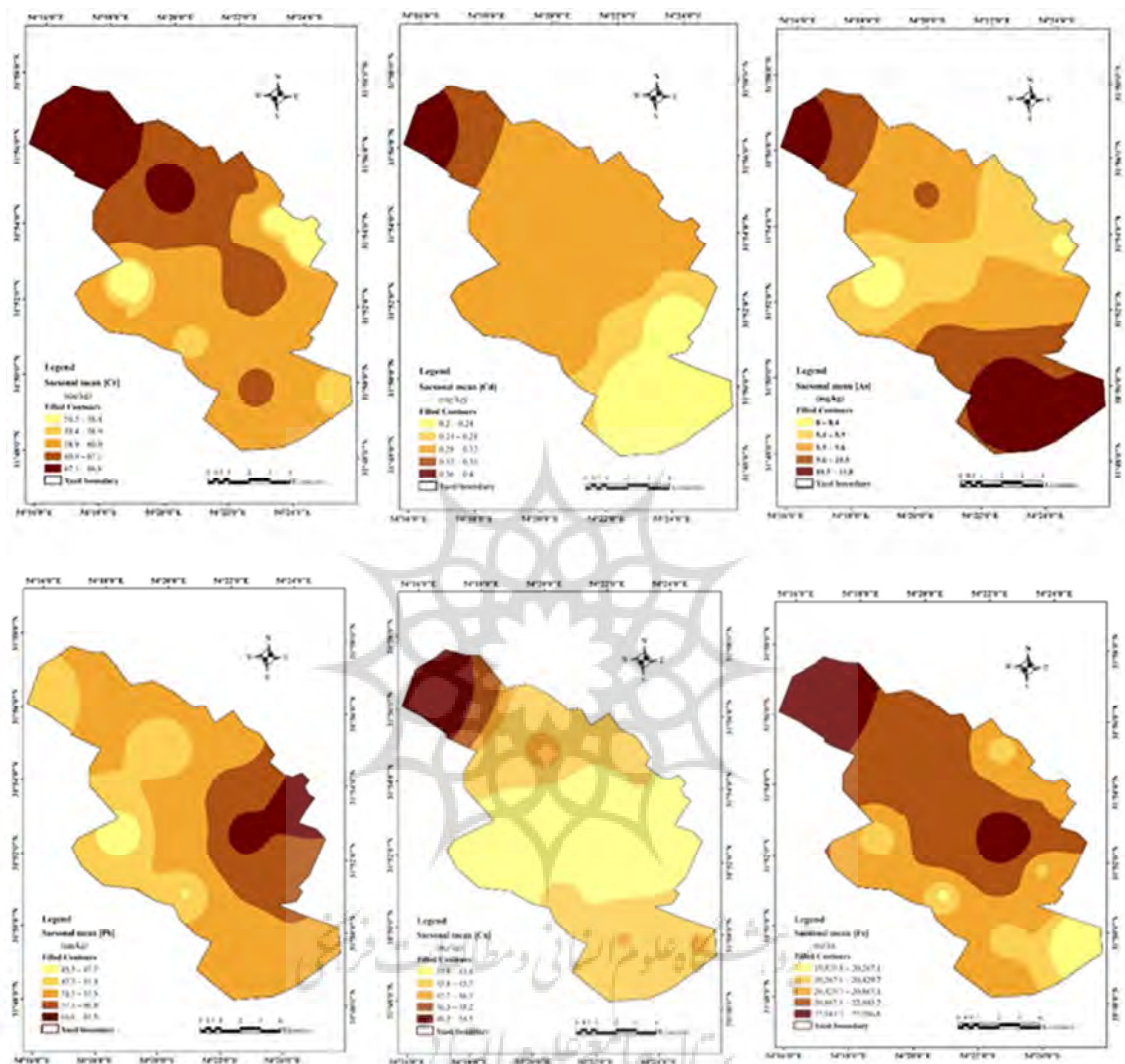
نمودار جعبه‌ای فاکتور ریسک اکولوژیک (mEr) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل نیز در شکل (۷) نمایش داده شده است. بر اساس نتایج این فاکتور، عناصر منگنز، نیکل، کروم و مس مقادیر کمتر از ۴۰ کسب کرده و در کلاس اول یا به عبارتی در سطح ریسک اکولوژیک پایین قرار دارند. عنصر سرب در دو فصل بهار و تابستان مقدار بین ۴۰ تا ۸۰ داشته و در نتیجه در طبقه دوم یعنی ریسک اکولوژیک آن متوسط بوده است. عنصر آرسنیک در هر چهار فصل در محدوده بین ۸۰ تا ۱۶۰ واقع شده و در نتیجه دارای ریسک اکولوژیک قابل توجه بوده و عنصر کادمیوم با قرارگرفتن در محدوده بین ۱۶۰ تا ۳۲۰ دارای ریسک اکولوژیک بالا می‌باشد. سیاحتی اردکانی و همکاران (۱۳۹۷) ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پیرامون صنایع اصلی در شهرستان اردکان را ارزیابی کرده و نشان دادند که اگرچه ریسک اکولوژیک کل منطقه مورد بررسی در کلاس کم ارزیابی گردید؛ اما افزایش ریسک اکولوژیک در اطراف و پایین‌دست کارخانه‌های فولاد و گندله‌سازی و صنایع کاشی و سرامیک بیانگر نقش باد غالب در پراکنش و گسترش آلودگی بوده است. ژیاو و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی ریسک فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ای شهر صنعتی آنشان در شمال شرق چین را بررسی و منبع ایجاد آنها را تعیین کردند. نتایج نشان داد که عناصر روی و سرب از ترافیک جاده‌ای منشا گرفته‌اند درحالی‌که کادمیوم،

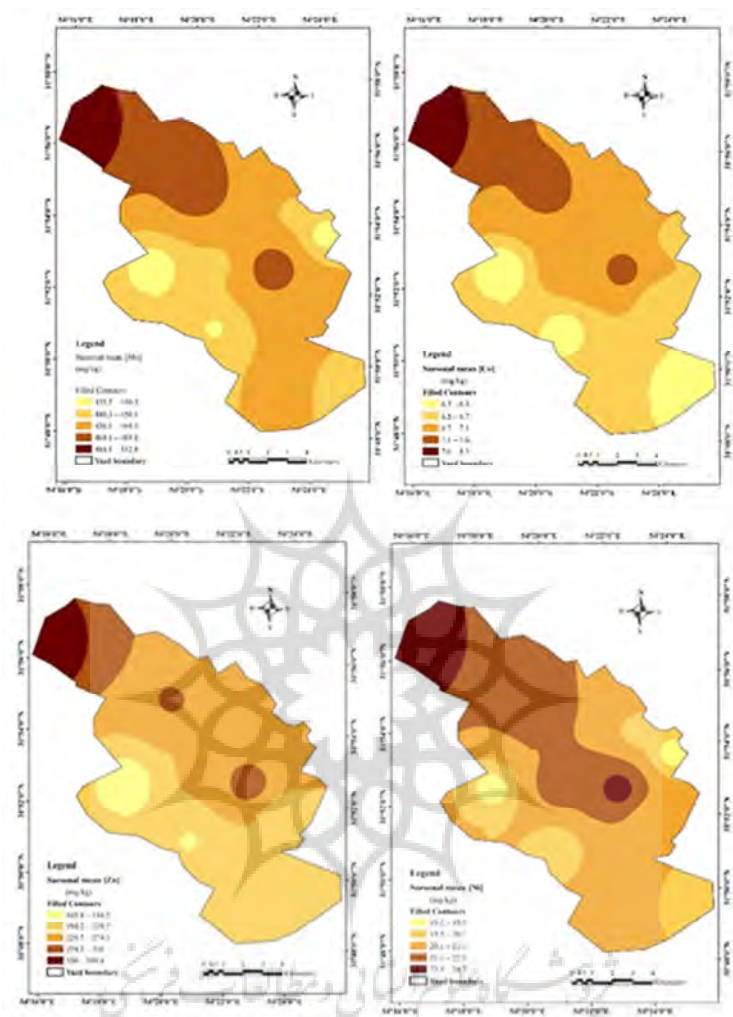
کروم، آهن، منگنز، نیکل و آنتیموان از فعالیت‌های صنعتی نشأت گرفته‌اند. شاخص ریسک اکولوژیک نشان داد که فلزات سنگین در منطقه در حد متوسط تا پتانسیل آلودگی بالا دارند (Xiao et al., 2019).

شکل (۸) نمودار میانگین شاخص زمین انباشتگی (Igeo) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل را نشان می‌دهد. مقدار متوسط این شاخص برای آرسنیک ۰/۰۶۷، کادمیوم ۰/۰۱۷، کبالت ۰/۰۹۷، کروم ۰/۳۵۳، مس ۰/۲۸۷، آهن ۰/۲۰۵، منگنز ۰/۴۳۱، نیکل ۰/۰۲۲، سرب ۰/۰۹۶ و روی ۰/۳۹۰ محاسبه گردید. به عبارت دیگر، عناصر آهن، منگنز، نیکل، کروم و کبالت به دلیل مقدار کمتر از صفر، منشأ انسان‌زاد نداشته و غلظت آن مطابق این شاخص منشأ طبیعی دارد. در حالی که آرسنیک، سرب، کادمیوم، روی و تا حدودی مس منشأ انسان‌زاد و غیرطبیعی دارند و مقادیر بیشتر از واحد را کسب کرده‌اند. غلظت بالای آرسنیک، کروم، مس و روی از گردوغبار اتمسفری از مناطق اطراف مرکز شهر احتمالاً منشأ گرفته است. از فعالیت‌های صنعتی چندین کارخانه کاشی، سرامیک و فولاد و همچنین نیروگاه‌های سیکل ترکیبی که در خارج از مرکز شهر قرار دارند و انتشار آنها می‌تواند این فلزات را آزاد کند (Chung et al., 2016; Wang et al., 2022; Liang et al., 2020).

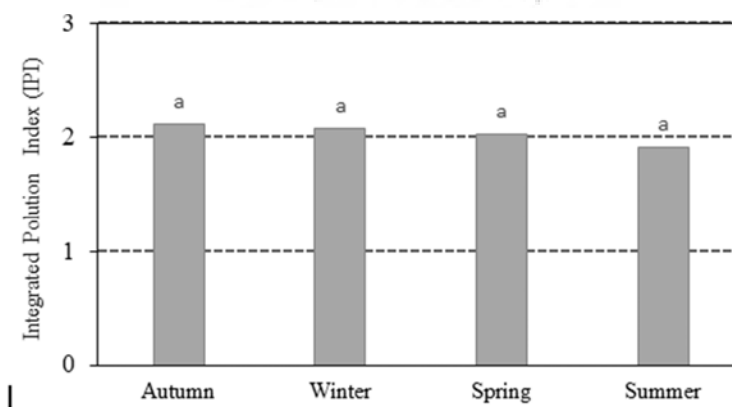
مقادیر متوسط شاخص انباشتگی به ترتیب از بیشتر به کمتر به صورت روی < کروم < مس < سرب < آرسنیک < کبالت < آهن < نیکل < منگنز < کادمیوم می‌باشد. طبق نمودار برای عناصر کادمیوم، آهن و منگنز در هر چهار فصل نمونه-برداری شده مقادیر کمتر از صفر محاسبه گردید و این عناصر در کلاس غیر آلوده قرار گرفتند. دو عنصر روی و کروم در هر چهار فصل مقادیر بین صفر و یک کسب کرده و در کلاس غیر آلوده تا نسبتاً آلوده قرار گرفتند. عنصر سرب در فصل بهار و تابستان، مس در بهار و پاییز، کبالت در فصل پاییز و آرسنیک در زمستان و تابستان در کلاس غیر آلوده تا نسبتاً آلوده قرار گرفتند و در سایر فصول در طبقه‌بندی غیر آلوده واقع شدند. بیشترین میزان این شاخص برای مس در فصل بهار (۰/۸۲۲) و کمترین مقدار آن برای کادمیوم در فصل تابستان (۰/۰۶) به دست آمد. شکل (۹) نمودار جعبه‌ای شاخص زمین انباشتگی (Igeo) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل را به تصویر کشیده است. طبق بررسی منابع انجام‌شده، منابع مرتبط با ترافیک شامل سایش ترمزها و لاستیک‌ها منشأ افزایش غلظت روی، مس، سرب، نیکل و کروم در گردوغبار است. همچنین روغن موتور منبع افزایش روی، نیکل و سرب است و مواد افزودنی و بنزین از دیگر منابع سرب و آرسنیک در مناطق شهری هستند (Lu et al. 2009; Duodu et al. 2016; Xiao et al. 2020; Nawrot et al. 2020). در مطالعه وی و یانگ (۲۰۱۰) غلظت، منابع و میزان آلودگی نمونه‌های خاک مناطق شهری و گردوغبار جاده‌های شهری و خاک‌های کشاورزی که از چندین منبع طی ده سال گذشته جمع‌آوری شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از شاخص Igeo و IPI برای تعیین آلودگی فلزات سنگین استفاده شد. نتایج نشان داد که آلودگی کروم، نیکل، مس، سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های شهری و گردوغبار جاده‌های شهری به طور گسترده وجود دارد و خاک‌های کشاورزی به طور چشم‌گیری تحت تاثیر کادمیوم، جیوه و سرب حاصل از فعالیت‌های انسانی هستند. همچنین در برخی از شهرها سطح آلودگی عناصر در گردوغبار بسیار بیشتر از خاک‌های شهری بوده است (Wei and Yang, 2010). با محاسبه و بررسی شاخص Igeo عناصر سنگین گردوغبار شهری در چانگچان چین مشخص شد که عناصر کروم و نیکل در کلاس غیر آلوده، عناصر مس و روی در کلاس غیر آلوده تا آلودگی متوسط و عناصر سرب و کادمیوم در کلاس آلودگی متوسط

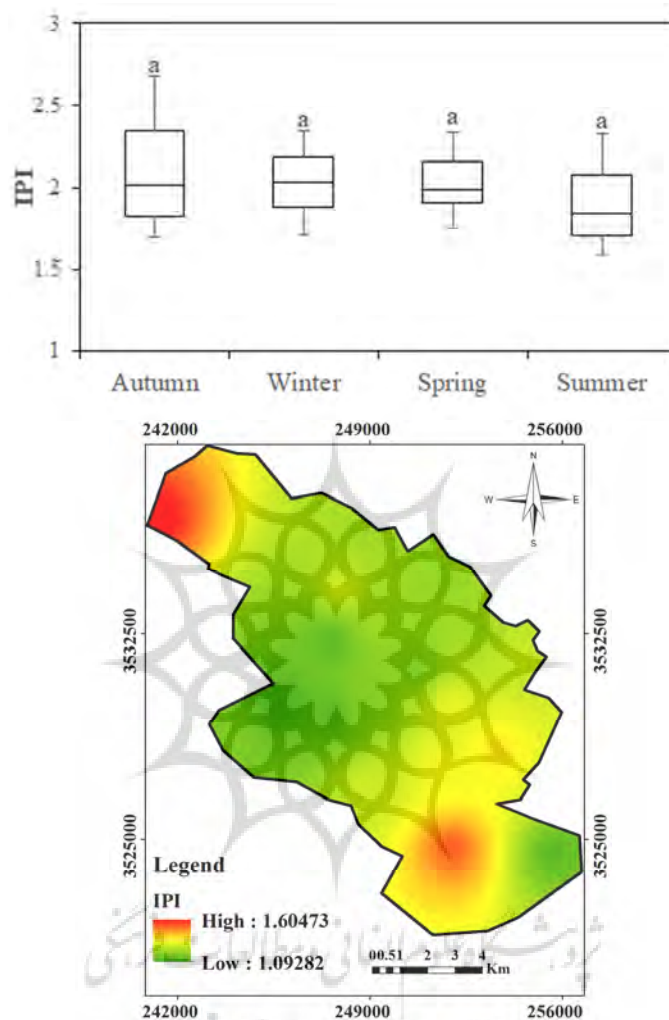
قرار دارند (Qiang et al., 2015). مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) میزان حضور فلزات و شبه فلزات در گردوغبار خیابانی غرب و شرق تهران را با استفاده از شاخص‌های زمین انباشتگی، شاخص آلودگی، شاخص آلودگی جمعیتی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص ریسک اکولوژیک ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در هر دو منطقه تهران از نظر عناصر کروم، منگنز، آهن، نیکل، استرانسیم غیر آلوده بوده است؛ اما عناصر کادمیوم، مس، آرسنیک و سرب آلودگی متوسط تا بالایی دارند. همچنین این عناصر در هر دو منطقه درجه غنی‌شدگی بسیار بالا تا به‌شدت بالا داشتند و شاخص ریسک سلامت برای منطقه شرق تهران ریسک اکولوژیکی متوسط و برای منطقه غرب تهران ریسک اکولوژیک پایین نشان داد. شکل (۱۰) درصد سهم میانگین غلظت مربوط به هر عنصر نسبت به غلظت کل عناصر مورد مطالعه در گردوغبار اتمسفری منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. ترتیب کاهشی کلی برای عناصر روند تغییرات مقابل را نشان می‌دهد: آهن < منگنز < روی < کروم < سرب < مس < نیکل < آرسنیک < کبالت < کادمیوم. طوفان‌های گردوغبار ناشی از بیابان‌های اطراف یکی از منابع اصلی این فلزات است که پس از آن به‌عنوان گردوغبار منشأ بادی در جاده‌های شهری رسوب می‌کند. سایر محققان در مورد فلزات حاصل از طوفان‌های گردوغبار بیابانی از جمله آرسنیک در چین (Yang et al., 2010) و پاکستان (Alamdard et al., 2016)، نیکل در قسمت شرق ایران (Najafi et al., 2014) و در عراق (Al-Dabbas et al., 2012)، کروم و روی در شمال آفریقا (Castillo et al., 2008) و شمال شرق چین (Luo et al., 2022) به نتیجه مشابهی رسیده‌اند. همچنین درصد سهم غلظت عناصر گردوغبار اتمسفری روند فصلی پاییز < زمستان < بهار < تابستان را گزارش می‌کند. در فصل پاییز غلظت نیکل و سرب به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار به‌دست آمد؛ درحالی‌که این مقادیر برای فصل زمستان به‌ترتیب به‌صورت فلز روی و مس گزارش شد. همچنین در فصل بهار و تابستان نیز بیشترین غلظت فلز سنگین به‌ترتیب برای مس و آرسنیک حاصل شد؛ درحالی‌که کمترین مقدار آن به‌ترتیب برای روی و مس به‌دست آمد. دمای پایین و پدیده وارونگی دمایی در فصول سرد، در کنار عوامل انسان‌زادی چون مصرف سوخت‌های فسیلی و ترافیک از دیگر دلایل تفاوت غلظت عناصر سنگین در فصول مختلف است (Norouzi et al., 2015). به‌طورکلی تفاوت زیادی بین درصد توزیع غلظت فلزات سنگین در فصول مختلف وجود نداشت.



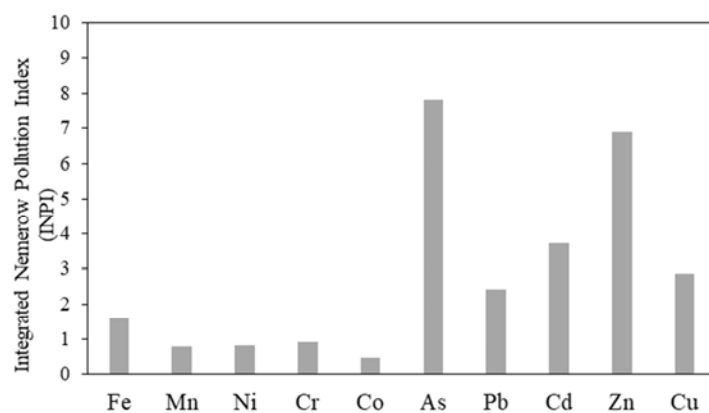


شکل ۲: نقشه پراکنش مکانی متوسط غلظت عناصر سنگین گردوغبار طی چهار فصل (میلی گرم بر کیلوگرم) در منطقه مورد مطالعه.
منبع: نگارندگان

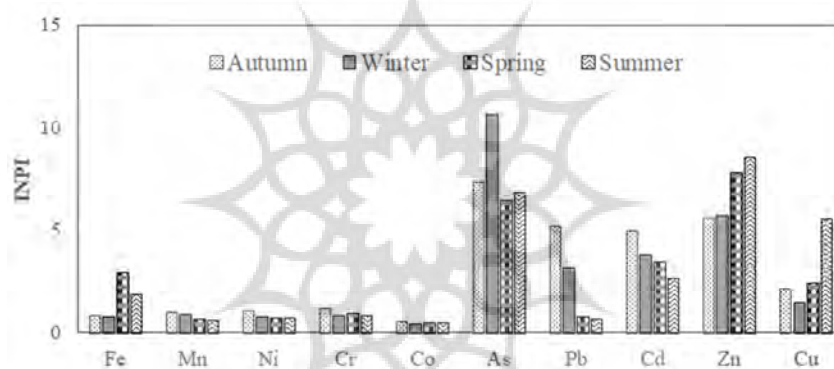




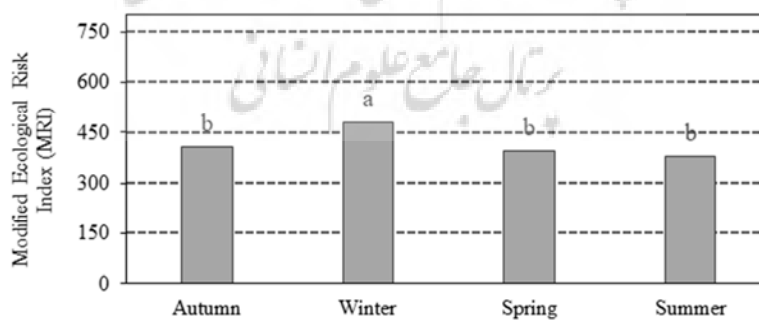
شکل ۳: نمودار ستونی و جعبه‌ای در فصول مختلف و توزیع مکانی شاخص آلودگی تجمعی (IPI) عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه.
منبع: نگارندگان

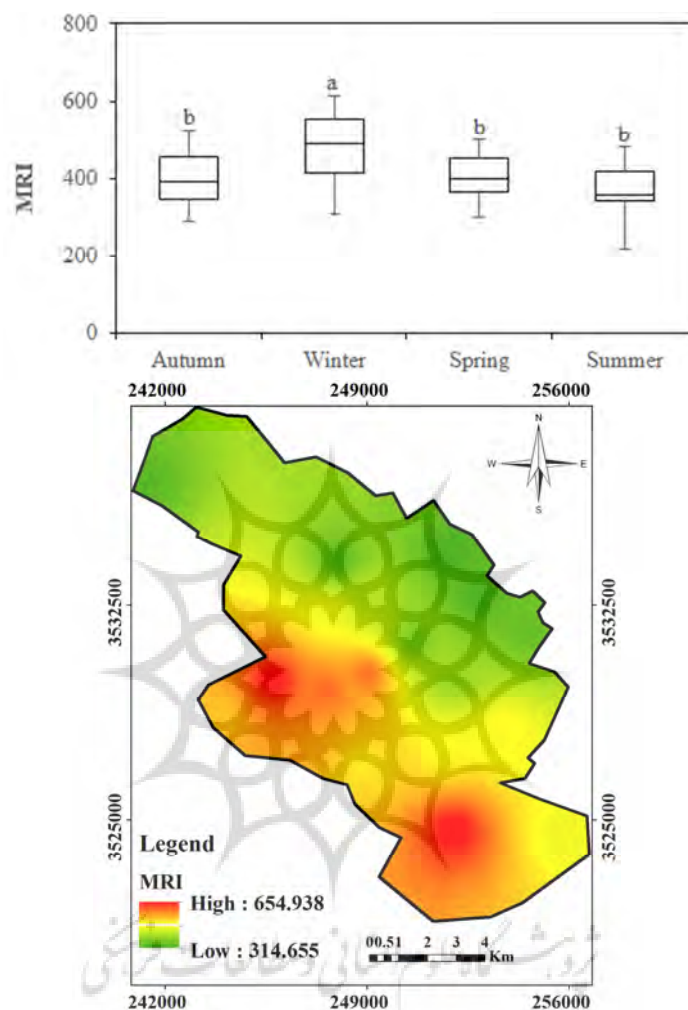


شکل ۴: نمودار میانگین فصلی شاخص جامع آلودگی نمره (INPI) برای فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه. منبع: نگارندگان

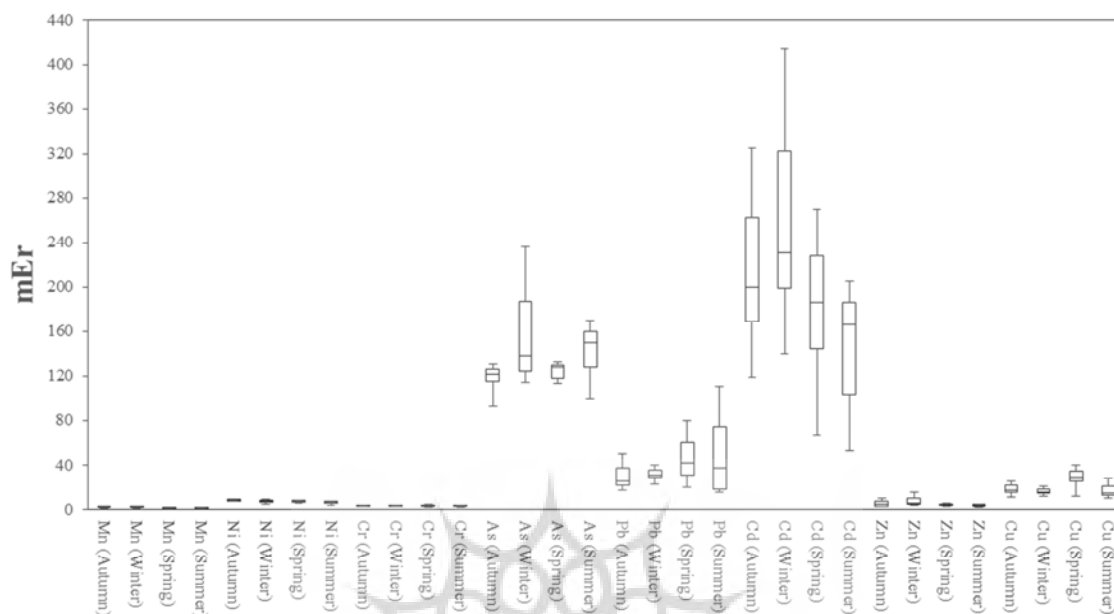


شکل ۵: مقادیر شاخص جامع آلودگی نمره (INPI) برای فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف. منبع: نگارندگان

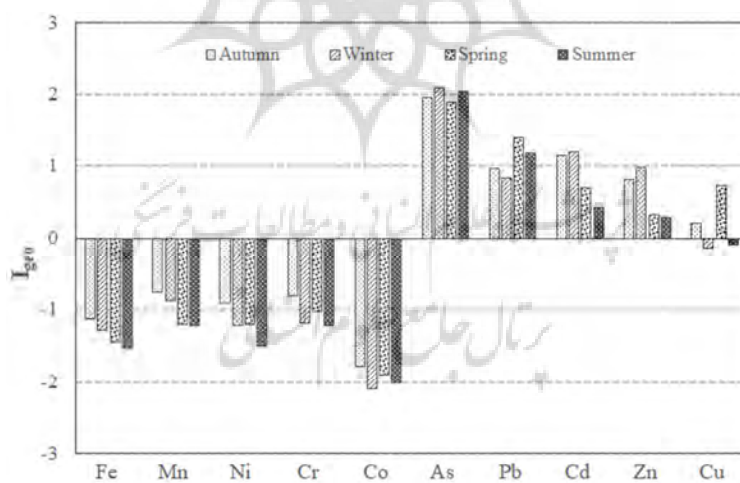




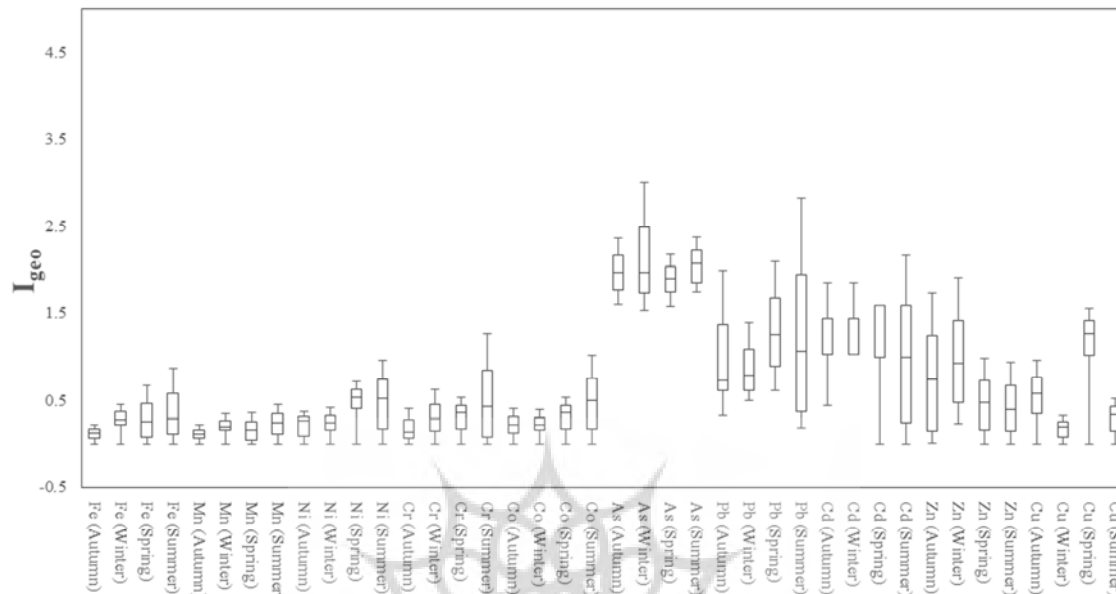
شکل ۶: نمودار ستونی و جعبه‌ای به تفکیک چهار فصل و توزیع مکانی شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI) در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه. منبع: نگارندگان



شکل ۷: نمودار جعبه‌ای فاکتور ریسک اکولوژیک (mEr) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل. منبع: نگارندگان

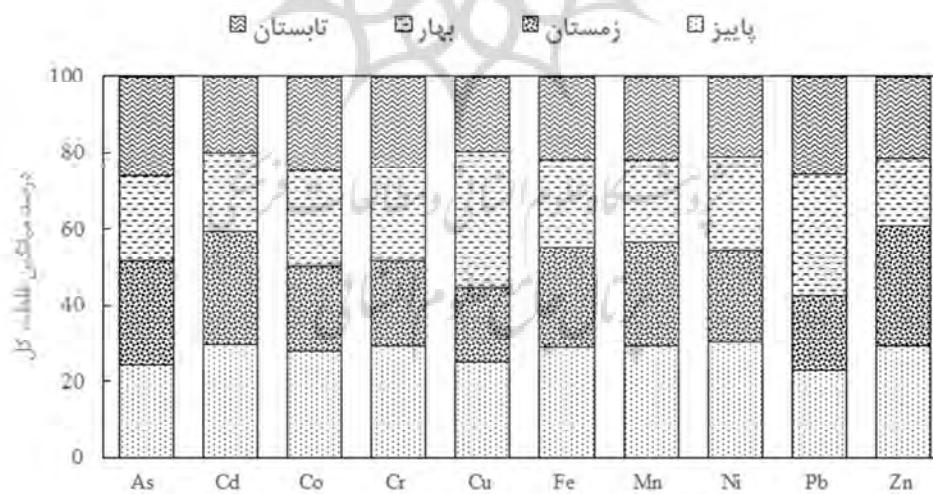


شکل ۸: نمودار میانگین شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل. منبع: نگارندگان



شکل ۹: نمودار جعبه‌ای شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل.

منبع: نگارندگان



شکل ۱۰: مقایسه فصلی درصد سهم میانگین غلظت عناصر سنگین در گردوغبار اتمسفری منطقه مورد مطالعه. منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری شهری، باید میزان غلظت فلزات با یک استاندارد شناخته‌شده، مقایسه شود. بهترین حالت مقایسه با میانگین غلظت زمینه موجود برای همان منطقه است؛ چراکه

شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را به‌وجود می‌آورد. نتایج این پژوهش نشان داد غلظت برخی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، سرب و کادمیوم در منطقه مطالعاتی بالاتر از میانگین غلظت آنها در خاک است که نتایج پژوهش‌های سیاحتی و همکاران (۱۳۹۷)، شجاعی برجویی و همکاران (۱۳۹۹)، اکبری و خادمی (۱۴۰۲)، مخفی و همکاران (۱۴۰۱) و واعظی و همکاران (۲۰۲۳) و (۲۰۲۴) هم‌خوانی دارد. پهنه‌بندی میانگین غلظت عناصر سنگین در گردوغبار طی چهار فصل مورد مطالعه در نشان داد به‌جز عنصر آرسنیک و سرب، بیشترین غلظت فلزات سنگین در شمال غرب شهر و مرکز شهر مشاهده می‌شود و با حرکت به سمت شرق و جنوب از غلظت این عناصر کاسته می‌شود. ترافیک در مرکز شهر و مجاورت به صنایع قرارگرفته در غرب و شمال غرب منطقه و جهت بادهای غالب در منطقه جزو اصلی‌ترین عوامل موثر بر غلظت عناصر سنگین در گردوغبار در بخش‌های شمال غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج تحقیقی چون مولائی و همکاران (۱۳۹۹)، نوروزی و همکاران (۲۰۱۵) و سلطانی گردفرامری و همکاران (۲۰۲۱a) نتایج این بخش را تأیید می‌کنند. بررسی میزان آلودگی گردوغبار اتمسفری منطقه به عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های مختلف ارزیابی آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده نشان داد که بیشترین میزان آلودگی عناصر سنگین در فصل پاییز و زمستان و کمترین آن در فصل تابستان وجود دارد که دمای پایین و پدیده وارونگی دمایی در فصول سرد، در کنار عوامل انسان‌زادی چون مصرف سوخت‌های فسیلی و ترافیک از دیگر دلایل تفاوت غلظت عناصر سنگین در فصول مختلف است. تحقیقی همچون سامانی و همکاران (۱۴۰۰)، شجاعی برجویی و همکاران (۱۳۹۹) و مخفی و همکاران (۱۴۰۱) نیز نتایج مشابه در خصوص ریسک اکولوژیک فلزات سنگین گزارش کردند. بر اساس تقسیم‌بندی شاخص‌های آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک، بار عناصر از میزان زمینه (خاک سطحی) فراتر رفته و آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم و روی نسبت به سایر عناصر در منطقه مطالعاتی و در تمام فصول زیاد مشاهده گردید و با توجه به شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده منطقه مورد مطالعه در کلاس ریسک اکولوژیک قابل‌توجه قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، جلوگیری از تردد خودروهای فرسوده و مستهلک و آلاینده و گسترش جایگاه‌های توزیع و عرضه سوخت با کیفیت بالا که تا حد زیادی قادر به کاهش اثرات منفی آلاینده‌های ناشی از عوامل ترافیک خواهند بود، پیشنهاد می‌شود. همچنین کنترل آلاینده‌های خروجی از صنایع واقع در غرب و شمال غرب شهر یزد، حساسیت زیاد در پایش میزان آلاینده‌ها و برخورد جدی با صنایع آلاینده و وادار نمودن آنها به رعایت استانداردهای محیط زیستی از مهم‌ترین راه‌کارهای کاهش اثرات منفی و آلودگی عوامل انسان‌زاد صنعت به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل ورود عناصر سنگین به اتمسفر، به حساب می‌آید.

تقدیر و تشکر

این مطالعه در قالب بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب با کد (۹۶۰۰۷۷۳۱) و با حمایت صندوق پژوهشگران و فناوران کشور انجام شد. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از صندوق پژوهشگران و فناوران کشور اعلام نمایند.

منابع

- اکبری، بهروز؛ خادمی، حسین. (۱۴۰۲). تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گردوغبار خیابانی اصفهان و تعدادی از شهرهای اطراف. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. ۱۳(۳): ۸۱-۹۸.
- سامانی، مریم؛ گلچین، احمد؛ علیخانی، حسینعلی؛ بایبوردی، احمد. (۱۴۰۰). بررسی فصلی غلظت فلز روی موجود در گردوغبارهای اتمسفری شهر تهران و بررسی ریسک سلامت. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۳(۹): ۲۰۵-۲۲۱.
- سلطانی گردفرامری، سمیه؛ قاسمی، محسن؛ قانع بافقی، محمدجواد. (۱۳۹۹). تغییرات مکانی و زمانی نرخ فرونشست گردوغبار شهر یزد و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی. محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۳۷(۴): ۷۰۱-۷۱۴.
- سلطانی گردفرامری، سمیه؛ مروتی، مریم. (۱۴۰۰). مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار اتمسفری شهر یزد در مرکز ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۵۳(۱): ۲۱-۳۶.
- سلطانی گردفرامری، سمیه. (۱۴۰۳). ارزیابی میزان آلاینده‌های فصلی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری شهر یزد با استفاده از شاخص‌های آلودگی. جغرافیا و توسعه. در حال چاپ.
- سیاحتی اردکانی، غلامرضا؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ عظیم‌زاده، حمیدرضا؛ سلگی، عیسی. (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پیرامون صنایع اصلی در شهرستان اردکان. طلوع بهداشت یزد. ۱۷(۶): ۹۵-۱۱۰.
- شجاعی برجوثی، سعید؛ عظیم‌زاده، حمیدرضا؛ مصلح آرانی، اصغر. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک اکولوژیک برخی فلزات سنگین غبار انتشار یافته از صنایع غیرفلزی شهرستان اردکان یزد در تابستان سال ۱۳۹۷: یک مطالعه توصیفی. مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان. ۱۹(۲): ۱۷۳-۱۹۲.
- مخفی، گلنار؛ کریمی، اکرم؛ سلگی، عیسی؛ باقرپور، سحر. (۱۴۰۱). ارزیابی و تعیین ریسک اکولوژیک سرب، روی و کادمیوم در گردوغبار اتمسفری شهر اصفهان. مهندسی بهداشت محیط. ۹(۴): ۴۸۵-۵۰۱.
- مظلومی، سهراب؛ اسماعیلی ساری، عباس؛ بهرامی فر، نادر؛ معین الدینی، مظاهر. (۱۳۹۹). ارزیابی میزان حضور فلزات و شبه فلزات در گردوغبار خیابانی غرب و شرق تهران. سلامت و محیط زیست. ۱۰(۲): ۲۸۱-۲۹۲.
- مولایی، زینب؛ اسماعیلی ساری، عباس. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک اکولوژیک آلاینده‌های سرب و کادمیوم در گردوغبار حیات مدارس مناطق منتخب شهر تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۲(۷): ۴۰۵-۴۱۳.
- Alamdard, A., Eqani, S. A. M. A. S., Ali, S. W., Sohail, M., Bhowmik, A. K., Cincinelli, A., Shen, H. (2016). Human Arsenic exposure via dust across the different ecological zones of Pakistan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 126, 219-227.
- Al-Dabbas, M. A., Ayad Abbas, M., Al-Khafaji, R. M. (2012). Dust storms loads analyses—Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 5, 121-131.
- Al-Khashman O.A (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust, and soils from the workplace in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric environment*, 38(39):6803-6812.
- Amr, M. A., Helal, A. F. I., Al-Kinani, A. T., Balakrishnan, P (2016). Ultra-trace determination of ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, and ²⁴⁰Pu by triple quadrupole collision/reaction cell-ICP-MS/MS: Establishing a baseline for global fallout in Qatar soil and sediments. *Journal of Environmental Radioactivity*, 153, 73-87.
- Castillo, S., Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Herrmann, L., Gibbons, W. (2008). Trace element variation in size-fractionated African desert dust. *Journal of Arid Environments*, 72(6), 1034-1045.
- Chen, X., Xia, X., Zhao, Y., Zhang, P. (2010). Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *Journal of hazardous materials*, 181(1-3), 640-646.
- Chung, S. Y., Venkatramanan, S., Park, N., Ramkumar, T., Sujitha, S. B., Jonathan, M. P. (2016). Evaluation of physicochemical parameters in water and total heavy metals in sediments at Nakdong River Basin, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-12.
- Doabi, S.A., Karami, M., Afyuni, M., Yeganeh, M. (2018). Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust, and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 163:153-164.
- Duodu, G. O., Goonetilleke, A., Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental pollution*, 219, 1077-1091.
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3). <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>.

- Guéguen, F., Stille, P., Geagea, M. L., Boutin, R. (2012). Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring-Part I: Trace element analysis. *Chemosphere*, 86(10), 1013-1019.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001.
- Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Johannesson, K.H (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal (loid) exposed to desert dust storms in a rapidly growing city of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 82(12), 316. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11000-3>.
- Kamani, H., Mahvi, A.H., Seyedsalehi, M., Jaafari, J., Hoseini, M., Safari, G.H., Dalvand, A., Aslani, H., Mirzaei, N., Ashrafi, S.D., 2017. Contamination and ecological risk assessment of PTEs in street dust of Tehran. Iran. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14, 2675-2682.
- Li, X., Gao, Y., Zhang, M., Zhang, Y., Zhou, M., Peng, L., Yu, H. (2020). In vitro lung and gastrointestinal bioaccessibility of potentially toxic metals in Pb-contaminated alkaline urban soil: The role of particle size fractions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110151>.
- Liang, B., Han, G., Zeng, J., Qu, R., Liu, M., Liu, J. (2020). Spatial variation and source of dissolved heavy metals in the Lancangjiang River, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 732-745.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J., Zhai, Y. (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese, and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of hazardous materials*, 161(2-3), 1058-1062.
- Luo, H., Wang, Q., Guan, Q., Ma, Y., Ni, F., Yang, E., Zhang, J. (2022). Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126878. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126878>.
- Modaihsh, A. S. (1997). Characteristics and composition of the falling dust sediments in Riyadh city, Saudi Arabia. *J. Arid Environ.* 36: 211-223.
- Muller, G. (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geol J.* 2: 108-118.
- Najafi, M. S., Khoshakhlagh, F., Zamanzadeh, S. M., Shirazi, M. H., Samadi, M., Hajikhani, S. (2014). Characteristics of TSP loads during the Middle East springtime dust storm (MESDS) in Western Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 5367-5381.
- Nawrot, N., Wojciechowska, E., Rezaia, S., Walkusz-Miotk, J., Pazdro, K. (2020). The effects of urban vehicle traffic on heavy metal contamination in road sweeping waste and bottom sediments of retention tanks. *Science of the Total Environment*, 749, 141511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141511>.
- Nazzal, Y., M. A. Rosen and A. M. Al-Rawabdeh. (2013). Assessment of metal pollution in urban road dust from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environ. Monit. Assess.* 184: 1847-1858.
- Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F. Acosta, J.A., (2015). Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*, 57:64-73.
- Ogundele, D. T., Adio, A. A., Oludele, O. E. (2015). Heavy metal concentrations in plants and soil along heavy traffic roads in North Central Nigeria. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 5(6), 1. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.1000334>.
- Pan, H., Lu, X., Lei, K. (2017). A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: contamination, source apportionment and spatial distribution. *Science of the Total Environment*, 609, 1361-1369.
- Patel, P., Raju, N. J., Reddy, B. S. R., Suresh, U., Sankar, D. B., Reddy, T. V. K. (2018). Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. *Environmental geochemistry and health*, 40, 609-623.
- Qiang, L., W. Yang, L. Jingshuang, W. Quanying and Z. Mingying. (2015). Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dust in urban parks and squares in Changchun, China. *Environ. Geochem. Health.* 37: 71-82.
- Qingjie, G., D. Jun, X. Yunchuan, W. Qingfei, and X. Liqiang. (2008). Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *J. China Univ. Geosci.* 19: 230-241.
- Safe, Y. L., Palenzona, M., Lucchi, L. D., Domini, C. E., Pereyra, M. T. (2023). Multi-year monitoring of atmospheric dust falls as a sink for lead in an agro-industrial and petrochemical city of Argentina. Geo-accumulation and ecological risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(7), 4817-4835.
- Schiavo, B., Meza-Figueroa, D., Morton-Bermea, O., Vizuete-Jaramillo, E., Robles-Morua, A. (2023). Seasonal variation of mercury in settled dust from brick kiln pollution in Sonora, Mexico: Ecological risk and human health implication. *Atmospheric Pollution Research*, 14(7), 101787. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2023.101787>.
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Gheysouri, M., (2021a). Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(9):3469-3484.
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Ghanbarian, B., (2021b). Geogenic and anthropogenic sources identification and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil of Yazd, central Iran. *Plos one*, 16(11): p.e0260418. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260418>.
- Yang, Z. P., Lu, W. X., Long, Y. Q., Liu, X. R. (2010). Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun City, *Urban Environ. Urban Ecol*, 23, 1-4.
- Tang, R., Ma, K., Zhang, Y., Mao, Q. (2013). The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Appl. Geochem.* 35: 88-98.

- Taylor, M., Kruger, N. (2020). Tyre weights an overlooked diffuse source of lead and antimony to road runoff. *Sustainability*, 12(17), 6790-6810.
- Vaezi, A., Shahbazi, R., Lak, R., Ahmadi, N., Sheikh, M., Gol, A. R. M. (2023). Assessment of potentially toxic elements in atmospheric dust and associated health risks in Zahedan City, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(11), 7759-7773.
- Vaezi, A., Shahbazi, R., Sheikh, M., Lak, R., Ahmadi, N., Kaskaoutis, D.G., Behrooz, R.D., Sotiropoulou, R.E.P. Tagaris, E., (2024). Environmental pollution and human health risks associated with atmospheric dust in Zabol City, Iran. *Air Quality, Atmosphere & Health*, pp.1-23. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-024-01582-7>.
- Wang, H., Maqbool, A., Xiao, X., Yang, H., Bi, W., Bian, Z. (2022). Seasonal pollution and risk assessment of heavy metals in atmospheric dust from coal mining area. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 11963-11972.
- Wei, B., Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dust, and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 94: 99-107.
- Xiao, Q., Zong, Y., Malik, Z., Lu, S. (2020). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(5), 1359-1378.
- Xiao, Q., Zong, Y., Malik, Z., Lu, S. (2020). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(5), 1359-1378.
- Yang, Z. P., Lu, W. X., Long, Y. Q., Liu, X. R. (2010). Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun City, *Urban Environ. Urban Ecol*, 23, 1-4.
- Yang, Y., Lu, X., Yu, B., Wang, Z., Wang, L., Lei, K., Liang, T. (2024). Exploring the environmental risks and seasonal variations of potentially toxic elements (PTEs) in fine road dust in resource-based cities based on Monte Carlo simulation, geo-detector, and random forest model. *Journal of Hazardous Materials*, 473, 134708.
- Zeng, J., Han, G., Wu, Q., Tang, Y. (2019). Geochemical characteristics of dissolved heavy metals in Zhujiang River, Southwest China: spatial-temporal distribution, source, export flux estimation, and a water quality assessment. *PeerJ*, 7, e6578. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.6578>.

References

References (in Persian)

- Akbari, B., Khademi, H. (2023). Seasonal changes in the concentration and pollution level of selected heavy metals in the street dust of Isfahan and its surrounding cities. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13(3): 81-98. [In Persian]
- Makhfi, G., Karimi, A., Solgi, E., Bagherpor, S. (2022). Evaluation and determination of the ecological risk of lead, zinc, and cadmium in the atmospheric dust of Isfahan City. *Journal of Environmental Health Engineering*, 9(4): 485-501. [In Persian]
- Mazloomi, S., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., Moeinaddini, M. (2017). Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 10 (2):281-292. [In Persian]
- Molaei, Z., Esmaili, S. A. (2020). Evaluating the Ecological Risk of Lead and Cadmium Contaminants in the Courtyard Dust of Schools in Selected Regions of Tehran. *Journal of Environmental Science and Technology*. 22(7): 405-413. [In Persian]
- Samani, M., Golchin, A., Alikhani, H., Bybordi, A. (2021). Seasonal comparison of Zinc health risk in atmospheric dust in Tehran, Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*. 23(9): 205-221. [In Persian]
- Siyahati Ardakani, G., Mirsanjari, M., Azimzadeh, H., Solgi, E. (2019). Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil Around Major Industries of Ardakan City. *The Journal of Tolooebehdasht*. 17(6):95-110. [In Persian]
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Morovati, M. (2021) The most important physical, chemical, and mineralogical properties of atmospheric dust deposited on Yazd city (Central Iran). *Phys Geog Res* 53(1): 21–36. [In Persian]
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Ghaneie-Bafghi, M. J. (2021). Spatial and temporal Variability in the dust deposition rate of Yazd city and its relationship with some climatic parameters. *Journal of Natural Environment*, 73(4): 701-714. [In Persian]
- Soltani-Gerdefaramarzi, S. (2024). Evaluation of Seasonal Pollution of Heavy Metals in the Atmospheric Dust of Yazd City Using Pollution Indicators. *Geography and Development*. In press. [In Persian]
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. (2020). Ecological Risk Assessment of Some Heavy Metals in the Dust Emitted from Non-Metallic Industries of Ardakan County of Yazd in Summer 2018: A Descriptive Study. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*; 19(2):173-192. [In Persian]

References (in English)

- Alamdar, A., Eqani, S. A. M. A. S., Ali, S. W., Sohail, M., Bhowmik, A. K., Cincinelli, A., Shen, H. (2016). Human Arsenic exposure via dust across the different ecological zones of Pakistan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 126, 219-227.
- Al-Dabbas, M. A., Ayad Abbas, M., Al-Khafaji, R. M. (2012). Dust storms loads analyses—Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 5, 121-131.
- Al-Khashman O.A (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust, and soils from the workplace in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric environment*, 38(39):6803-6812.
- Amr, M. A., Helal, A. F. I., Al-Kinani, A. T., Balakrishnan, P (2016). Ultra-trace determination of ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, and ²⁴⁰Pu by triple quadrupole collision/reaction cell-ICP-MS/MS: Establishing a baseline for global fallout in Qatar soil and sediments. *Journal of Environmental Radioactivity*, 153, 73–87.
- Castillo, S., Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Herrmann, L., Gibbons, W. (2008). Trace element variation in size-fractionated African desert dust. *Journal of Arid Environments*, 72(6), 1034-1045.
- Chen, X., Xia, X., Zhao, Y., Zhang, P. (2010). Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *Journal of hazardous materials*, 181(1-3), 640-646.
- Chung, S. Y., Venkatramanan, S., Park, N., Ramkumar, T., Sujitha, S. B., Jonathan, M. P. (2016). Evaluation of physicochemical parameters in water and total heavy metals in sediments at Nakdong River Basin, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-12.
- Doabi, S.A., Karami, M., Afyuni, M., Yeganeh, M. (2018). Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust, and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 163:153-164.
- Duodu, G. O., Goonetilleke, A., Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental pollution*, 219, 1077-1091.
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3). <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>.
- Guéguen, F., Stille, P., Geagea, M. L., Boutin, R. (2012). Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring—Part I: Trace element analysis. *Chemosphere*, 86(10), 1013-1019.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001.
- Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Johannesson, K.H (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal (loid) exposed to desert dust storms in a rapidly growing city of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 82(12), 316. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11000-3>.

- Kamani, H., Mahvi, A.H., Seyedsalehi, M., Jaafari, J., Hoseini, M., Safari, G.H., Dalvand, A., Aslani, H., Mirzaei, N., Ashrafi, S.D., 2017. Contamination and ecological risk assessment of PTEs in street dust of Tehran. Iran. Int. J. Environ. Sci. Technol. 14, 2675–2682.
- Li, X., Gao, Y., Zhang, M., Zhang, Y., Zhou, M., Peng, L., Yu, H. (2020). In vitro lung and gastrointestinal bioaccessibility of potentially toxic metals in Pb-contaminated alkaline urban soil: The role of particle size fractions. Ecotoxicology and Environmental Safety, 190, 110151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110151>.
- Liang, B., Han, G., Zeng, J., Qu, R., Liu, M., Liu, J. (2020). Spatial variation and source of dissolved heavy metals in the Lancangjiang River, Southwest China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(3), 732–745.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J., Zhai, Y. (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese, and nickel in street dust of Baoji, NW China. Journal of hazardous materials, 161(2-3), 1058–1062.
- Luo, H., Wang, Q., Guan, Q., Ma, Y., Ni, F., Yang, E., Zhang, J. (2022). Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. Journal of Hazardous Materials, 422, 126878. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126878>.
- Modaihsh, A. S. (1997). Characteristics and composition of the falling dust sediments in Riyadh city, Saudi Arabia. J. Arid Environ. 36: 211–223.
- Muller, G. (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. Geol J. 2: 108–118.
- Najafi, M. S., Khoshakhlagh, F., Zamanzadeh, S. M., Shirazi, M. H., Samadi, M., Hajikhani, S. (2014). Characteristics of TSP loads during the Middle East springtime dust storm (MESDS) in Western Iran. Arabian Journal of Geosciences, 7, 5367–5381.
- Nawrot, N., Wojciechowska, E., Rezaia, S., Walkusz-Miotk, J., Pazdro, K. (2020). The effects of urban vehicle traffic on heavy metal contamination in road sweeping waste and bottom sediments of retention tanks. Science of the Total Environment, 749, 141511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141511>.
- Nazzal, Y., M. A. Rosen and A. M. Al-Rawabdeh. (2013). Assessment of metal pollution in urban road dust from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. Environ. Monit. Assess. 184: 1847–1858.
- Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F. Acosta, J.A., (2015). Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. Ecological Indicators, 57:64–73.
- Ogundele, D. T., Adio, A. A., Oludele, O. E. (2015). Heavy metal concentrations in plants and soil along heavy traffic roads in North Central Nigeria. Journal of Environmental & Analytical Toxicology, 5(6), 1. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.1000334>.
- Pan, H., Lu, X., Lei, K. (2017). A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: contamination, source apportionment and spatial distribution. Science of the Total Environment, 609, 1361–1369.
- Patel, P., Raju, N. J., Reddy, B. S. R., Suresh, U., Sankar, D. B., Reddy, T. V. K. (2018). Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. Environmental geochemistry and health, 40, 609–623.
- Qiang, L., W. Yang, L. Jingshuang, W. Quanying and Z. Mingying. (2015). Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dust in urban parks and squares in Changchun, China. Environ. Geochem. Health. 37: 71–82.
- Qingjie, G., D. Jun, X. Yunchuan, W. Qingfei, and X. Liqiang. (2008). Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. J. China Univ. Geosci. 19: 230–241.
- Safe, Y. L., Palenzona, M., Lucchi, L. D., Domini, C. E., Pereyra, M. T. (2023). Multi-year monitoring of atmospheric dust falls as a sink for lead in an agro-industrial and petrochemical city of Argentina. Geo-accumulation and ecological risk assessment. Environmental Geochemistry and Health, 45(7), 4817–4835.
- Schiavo, B., Meza-Figueroa, D., Morton-Bermea, O., Vizuite-Jaramillo, E., Robles-Morua, A. (2023). Seasonal variation of mercury in settled dust from brick kiln pollution in Sonora, Mexico: Ecological risk and human health implication. Atmospheric Pollution Research, 14(7), 101787. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2023.101787>.
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Gheysouri, M., (2021a). Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. Environmental Geochemistry and Health, 43(9):3469–3484.
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Ghanbarian, B., (2021b). Geogenic and anthropogenic sources identification and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil of Yazd, central Iran. Plos one, 16(11): p.e0260418. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260418>.
- Yang, Z. P., Lu, W. X., Long, Y. Q., Liu, X. R. (2010). Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun City, Urban Environ. Urban Ecol, 23, 1–4.
- Tang, R., Ma, K., Zhang, Y., Mao, Q. (2013). The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. Appl. Geochem. 35: 88–98.
- Taylor, M., Kruger, N. (2020). Tyre weights an overlooked diffuse source of lead and antimony to road runoff. Sustainability, 12(17), 6790–6810.
- Vaezi, A., Shabbazi, R., Lak, R., Ahmadi, N., Sheikh, M., Gol, A. R. M. (2023). Assessment of potentially toxic elements in atmospheric dust and associated health risks in Zahedan City, Iran. Environmental Geochemistry and Health, 45(11), 7759–7773.
- Vaezi, A., Shabbazi, R., Sheikh, M., Lak, R., Ahmadi, N., Kaskaoutis, D.G., Behrooz, R.D., Sotiropoulou, R.E.P. Tagaris, E., (2024). Environmental pollution and human health risks associated with atmospheric dust in Zabol City, Iran. Air Quality, Atmosphere & Health, pp.1–23. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-024-01582-7>.

- Wang, H., Maqbool, A., Xiao, X., Yang, H., Bi, W., Bian, Z. (2022). Seasonal pollution and risk assessment of heavy metals in atmospheric dust from coal mining area. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 11963-11972.
- Wei, B., Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dust, and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 94: 99-107.
- Xiao, Q., Zong, Y., Malik, Z., Lu, S. (2020). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(5), 1359-1378.
- Xiao, Q., Zong, Y., Malik, Z., Lu, S. (2020). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(5), 1359-1378.
- Yang, Z. P., Lu, W. X., Long, Y. Q., Liu, X. R. (2010). Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun City, *Urban Environ. Urban Ecol*, 23, 1-4.
- Yang, Y., Lu, X., Yu, B., Wang, Z., Wang, L., Lei, K., Liang, T. (2024). Exploring the environmental risks and seasonal variations of potentially toxic elements (PTEs) in fine road dust in resource-based cities based on Monte Carlo simulation, geo-detector, and random forest model. *Journal of Hazardous Materials*, 473, 134708.
- Zeng, J., Han, G., Wu, Q., Tang, Y. (2019). Geochemical characteristics of dissolved heavy metals in Zhujiang River, Southwest China: spatial-temporal distribution, source, export flux estimation, and a water quality assessment. *PeerJ*, 7, e6578. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.6578>.

