

## Assessment of Heavy Metal Pollution Levels and Spatial Distribution in Road Dust (A Case Study in Health Centers of Yazd City)

Ommolbanin Karimzadeh<sup>1</sup>, Abolfazl Ranjbar Fardoie<sup>2\*</sup> , Zohre Ebrahimi-Khusfi<sup>3</sup>, Reza Dahmardeh Behrouz<sup>4</sup>

1. PhD Student of Desertification Combating, Desert Control and Management Department, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Iran
2. *Corresponding Author*, Professor at Desert Control and Management Department, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Iran
3. Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran
4. Associate Professor at Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Sistan, Iran

| Article Info                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article type:</b><br/>Research Article</p> <p><b>Article history:</b><br/> <b>Received:</b> 16 February 2024<br/> <b>Revised:</b> 15 July 2024<br/> <b>Accepted:</b> 12 August 2024</p> <p><b>Keywords:</b><br/> Street Dust, Heavy Metals, Enrichment Factor, Geo-accumulation Index, Degree of Pollution, Yazd City.</p>                                                                | <p>The increase in pollution resulting from industrialization and urbanization has become an important concern in developing countries owing to its impact on human health. Therefore, in the present study, to investigate the pollution, 70 street dust samples were collected from medical centers in Yazd and in the laboratory to determine the content of Fe, Co, Mn, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, As and Al was digested using induction spectroscopy. The spatial pattern of the metal concentration was prepared using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method in GIS software. Pairwise correlation between metals was performed using Pearson's correlation, and classification of similar metals in terms of possible origin was performed using hierarchical clustering. In addition, the pollution level was determined using the enrichment factor, geo-accumulation index, pollution index, and integrated pollution index. According to the results, the trend of the average concentration of metals is Fe (23587.16), Al (18074.94), Zn (602.54 mg/kg), Mn (445.7 mg/kg), Pb (80.95 mg/kg), Cu (60.86 mg/kg), Cr (46.83 mg/kg), Ni (34.09 mg/kg), Co (10.2 mg/kg), As (0.29 mg/kg), and Cd (0.21 mg/kg). Based on the spatial distribution pattern, the highest concentrations of metals were observed in medical centers near the two-way street and single-line station. The highest amount of enrichment was observed for Zn, and as a result, a class of high enrichment was observed. The highest values of the soil accumulation index, degree of pollution, and uniform pollution were related to Zn and Pb. A significant correlation was observed between-Al and Fe Co-Mn Cr, Cd-Cr-Pb, and Ni-Cu elements at the 1% level, while As did not correlate with other elements. Based on the hierarchical clustering of elements, Co, Mn, Cr, Cd, Pb, Ni, Cu, and Zn were of human origin, while Al and Fe were of natural origin.</p> |
| <p><b>Cite this article:</b> Karimzadeh, O., Ranjbar Fardoie, A., Ebrahimi-Khusfi, Z., &amp; Dahmardeh Behrouz, R. (2025). Assessment of Heavy Metal Pollution Levels and Spatial Distribution in Road Dust (A Case Study in Health Centers of Yazd City). <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i>, 14(43), 59-78. DOI: 10.22111/jneh.2024.47995.2029</p>                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>© Abolfazl Ranjbar Fardoie.<br/>DOI: 10.22111/jneh.2024.47995.2029</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Publisher: University of Sistan and Baluchestan</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

\* Corresponding Author Email: : [aranjbar@kashanu.ac.ir](mailto:aranjbar@kashanu.ac.ir)

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

## ارزیابی میزان آلودگی و توزیع مکانی فلزات سنگین موجود در گردوغبار جاده‌ای (مطالعه موردی، مراکز بهداشتی شهر یزد)

ام‌البنین کریم‌زاده<sup>۱</sup>، ابوالفضل رنجبر فردوئی<sup>۲\*</sup>، زهره ابراهیمی خوسفی<sup>۳</sup>، رضا دهمرده بهروز<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۲. استاد گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان (نویسنده مسئول)
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت
۴. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل

| اطلاعات مقاله                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲</p> <p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>غبار خیابانی، فلزات سنگین، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، درجه آلودگی، شهر یزد.</p>                                                                                                                                                                                  | <p>افزایش آلودگی در نتیجه رشد صنعتی شدن و شهرنشینی به دلیل تاثیر بر سلامت انسان به یک نگرانی مهم در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. از این رو در این مطالعه به منظور بررسی آلودگی، ۷۰ نمونه گردوغبار خیابانی از مراکز درمانی شهر یزد جمع‌آوری و در آزمایشگاه برای تعیین محتوای عناصر آهن، کبالت، منگنز، روی، کروم، سرب، کادمیوم، نیکل، مس، آرسنیک و آلومینیوم با استفاده از روش طیف‌سنجی القایی هضم شدند. الگوی مکانی غلظت فلزات با استفاده از روش درون‌یابی IDW در نرم‌افزار GIS تهیه شد. همبستگی زوجی بین فلزات با استفاده از همبستگی پیرسون و طبقه‌بندی فلزات مشابه از نظر منشأ احتمالی با استفاده از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی انجام شد. همچنین سطح آلودگی با استفاده از شاخص‌های فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، شاخص آلودگی و آلودگی یکپارچه تعیین شد. بر اساس نتایج، روند میانگین غلظت فلزات به ترتیب آهن (۲۳۵۸۷/۱۶)، آلومینیوم (۱۸۰۷۴/۹۴)، روی (۶۰۲/۵۴)، منگنز (۴۴۵/۷)، سرب (۸۰/۹۵)، مس (۶۰/۸۶)، کروم (۴۶/۸۳)، نیکل (۳۴/۰۹)، کبالت (۱۰/۲)، آرسنیک (۰/۲۹) و کادمیوم (۰/۲۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. بر اساس الگوی توزیع مکانی بیشترین مقادیر غلظت فلزات در مراکز درمانی نزدیک به خیابان دوطرفه و ایستگاه خط واحد مشاهده شد. بیشترین مقدار غنی‌شدگی در عناصر روی و در نتیجه کلاس غنی‌شدگی زیاد مشاهده شد. همچنین بالاترین مقادیر شاخص زمین‌انباشت، درجه آلودگی و آلودگی یکنواخت نیز مربوط به عناصر روی و سرب بود. همبستگی معنی‌داری بین عناصر آلومینیوم - آهن - کبالت - منگنز - کروم، کادمیوم - کروم - سرب و نیکل - مس در سطح ۱ درصد مشاهده شد. در حالی که آرسنیک هیچ گونه همبستگی با سایر عناصر نداشت. بر اساس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی عناصر کبالت، منگنز، کروم، کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی منشأ انسانی، در حالی که آلومینیوم و آهن منشأ طبیعی داشتند.</p> |
| <p>استناد: کریم زاده، ام‌البنین، رنجبر، ابوالفضل، ابراهیمی خوسفی، زهره، دهمرده بهروز، رضا. (۱۴۰۴). ارزیابی میزان آلودگی و توزیع مکانی فلزات سنگین موجود در گردوغبار جاده‌ای (مطالعه موردی، مراکز بهداشتی شهر یزد). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۳)، ۷۸-۵۹.</p> <p>DOI: 10.22111/jneh.2024.47995.2029</p> <p>ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان © ام‌البنین کریم‌زاده، ابوالفضل رنجبر فردوئی*، زهره ابراهیمی خوسفی، رضا دهمرده بهروز.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



## مقدمه

رشد سریع شهرنشینی و صنعتی شدن دو عامل اصلی هستند که منجر به افزایش مصرف منابع، انرژی و در نتیجه آلودگی می‌شوند (یانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). این عوامل در افزایش فلزات سنگین نقش مهمی داشته و به‌عنوان منابع اصلی فلزات سنگین در محیط شهری در نظر گرفته شده‌اند (سوجوکا و جاسکولا<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲). گردوغبار جاده به‌عنوان یک شاخص مهم برای توصیف کیفیت محیط شهری در نظر گرفته می‌شود که شامل تجمع ذرات جامد در سطوح بیرونی است (روی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). گردوغبار جاده‌های شهری بیشتر از منابع طبیعی از جمله هوازدگی مواد اولیه (به‌عنوان مثال، سنگ‌ها) و معلق‌شدن مجدد خاک‌ها و منابع انسانی مانند انتشارات صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، انتشارات مربوط به ترافیک و دود آگروز سرچشمه می‌گیرد (ژیائو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ ولاسوف<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). گردوغبار جاده‌های شهری را می‌توان به‌عنوان منبعی برای فلزات سنگین در محیط‌های دیگر مانند منابع آب و جو در نظر گرفت که از طریق رواناب سطحی و باد در محیط منتقل می‌شوند (کای و لی<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹).

فلزات سنگین از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها هستند که به‌دلیل سمیت بالا و تجزیه‌ناپذیری می‌توانند منجر به آسیب‌ها و بیماری‌های مختلفی شود (تیه<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). عناصر یادشده برای برخی از موجودات زنده از جمله انسان سمی و مضر هستند؛ اما مصرف آنها و همچنین تولید آنها در برخی صنایع اجتناب‌ناپذیر است (ایلمبایو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو شناسایی منابع فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌های شهری به منظور مدیریت و کنترل آلودگی مفید و مهم است. در این راستا، مطالعات متعددی از تجزیه و تحلیل همبستگی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ها استفاده می‌کنند (یو<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، تعیین کمیت منابع فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ای برای تشخیص سهم هر یک از منابع بالقوه و در صورت امکان حذف منابع فلزات سنگین سمی ضروری است (فنگ<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طوری‌که امروزه به منظور تعیین آلودگی گردوغبار جاده‌ای ناشی از فلزات سنگین، شاخص‌های مختلفی نظیر غنی‌شدگی (EF)<sup>۱۱</sup>، شاخص زمین-انباشت (Igeo)<sup>۱۲</sup>، درجه آلودگی (CF)<sup>۱۳</sup> و آلودگی یکنواخت<sup>۱۴</sup> وجود دارد که در مطالعات متعدد استفاده شده است (کولاکندی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ هاکو<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). گردوغبار انباشته‌شده در سطح جاده‌ها و خیابان‌ها (گردوغبار خیابان و گردوغبار جاده) به‌دلیل آلاینده‌های موجود در آن، بیشتر فلزات سنگین که ممکن است سلامت انسان را تهدید کند، علاقه زیادی را در محققان برمی‌انگیزد (زگولبیک و تلکا<sup>۱۷</sup>، ۲۰۲۱). امروزه مطالعات زیادی در

1 Yang

2 Sojka and Jaskuła

3 Roy

4 Xiao

5 Velasov

6 Cai and Li

7 Tepe

8 Ilcmobayo

9 Yu

10 Feng

11 Enrichment Factors (EF)

12 the geo-accumulation index (Igeo)

13 Contamination factor (CF)

14 Integrated pollution index (IPI)

15 Kolakkandi

16 Haque

17 Zgłobicki and Telecka

زمینه غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده، اما تعداد اندکی از مطالعات بالا مربوط به کشور ایران است (نظرپور و همکاران، ۲۰۱۸). در همین راستا صادق دوست و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی وضعیت، منابع و آلودگی برخی از فلزات سنگین گردوغبار خیابانی دزفول بر اساس میانگین فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی نشان دادند که فلزات سنگین روی و سرب آلودگی بسیار بالایی داشتند. آنها در مطالعه خود منبع آلودگی فلزات مورد مطالعه را فعالیت‌های انسان سبب از قبیل ترافیک و سوختن سوخت‌های فسیلی گزارش کردند. دهقانی (۱۴۰۱) در بررسی تغییرپذیری عناصر سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی و گردوغبار خیابانی نایین در استان اصفهان گزارش کرد که غلظت عناصر کبالت، سرب و مس در گردوغبار خیابانی بیشتر از خاک شهری بود. همچنین گزارش شد با توجه به شاخص غنی‌شدگی، احتمالاً عناصر روی، منگنز، سرب، نیکل و مس (به‌جز کروم با منشأ طبیعی) منشأ ترکیبی و عناصر کبالت و نیکل منشأ انسان سبب داشتند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نیز منشأ احتمالی در گردوغبار خیابانی برای عناصر نیکل، کروم، کبالت و مس، ترکیبی و بیشتر انسان سبب، عناصر آهن، منگنز و روی بیشتر طبیعی و عنصر سرب انسان سبب تعیین شد. کای و لی (۲۰۱۹) در بررسی منبع آلودگی فلزات سنگین گردوغبار خیابانی شهر شیجیاژوانگ چین نشان دادند که میانگین غلظت این فلزات همگی بیشتر از مقادیر زمینه خاک بود. آنها همچنین در مطالعه خود گزارش کردند تفاوت معنی‌داری در غنی‌سازی و انباشتگی کادمیوم، سرب، روی و جیوه وجود دارد. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های آماری چندمتغیره کادمیوم، سرب، روی و جیوه بیشتر منشأ انسانی، در حالی که کروم، نیکل و مس منشأ طبیعی داشتند. کان<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) سطوح، خطر و منابع فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ای را برای پردیس‌های دانشگاهی در جنوب غربی چین با استفاده از ضریب غنی‌سازی، ضریب زمین‌انباشت و آنالیز مولفه‌های اصلی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد سطح آلودگی روی و سرب در گردوغبار جاده بالا بود و به‌عنوان غنی‌سازی متوسط و آلوده تعریف شد. این محققین منابع سرب را ترافیک، ذوب فولاد، خاک و خاکستر بادی<sup>۲</sup> معرفی کردند.

ایران در بخش غربی آسیا به واسطه قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان به‌طور مکرر در معرض طوفان‌های گردوغبار قرار می‌گیرد (کوبا تا پندیس و مخرج<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷). بخش وسیعی از کشور ایران را مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی شامل شده که تحت تاثیر فرسایش بادی و گردوغبار قرار دارند. شهر یزد در بین کویر لوت و کویر مرکزی ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین دشت‌های خشک ایران واقع گردیده و در نتیجه معمولاً طوفان‌های گردوغبار را تجربه می‌کند. در طول دهه‌ی گذشته، بسیاری مطالعات به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در مناطق صنعتی و عرصه‌های طبیعی انجام شده است؛ اما تا کنون مطالعه‌ای در این زمینه در مراکز بهداشتی انجام نشده است. مراکز بهداشتی درمانی به‌عنوان اولین سطح واحدهای ارائه‌دهنده خدمات درمانی در شهر، مسئولیت ارائه خدمات بهداشتی را به مردم بر عهده دارد. بنابراین رعایت بهداشت محیط می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری و سرایت بیماری‌ها برای پرسنل و مراجعه‌کنندگان داشته باشد. با توجه به اهمیت مراکز بالا در این مطالعه پتانسیل آلودگی فلزات سنگین،

1 Kun

2 Fly Ash

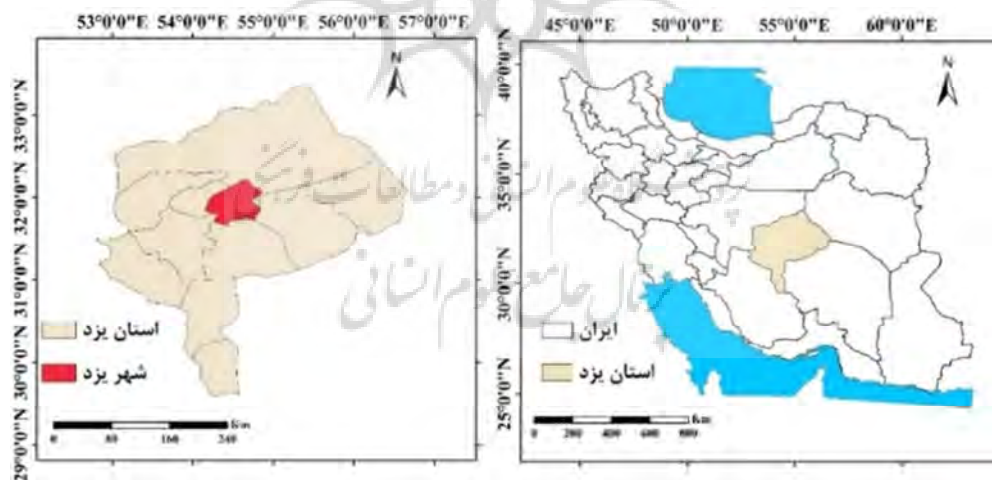
3 Kabata-Pendias and Mukherjee

توزیع مکانی و منشأ احتمالی آن‌ها در مراکز بهداشتی شهر یزد به‌عنوان یکی از مناطق بیابانی واقع در مرکز ایران بررسی شد.

## داده‌ها و روش‌ها

### الف) معرفی منطقه مورد مطالعه

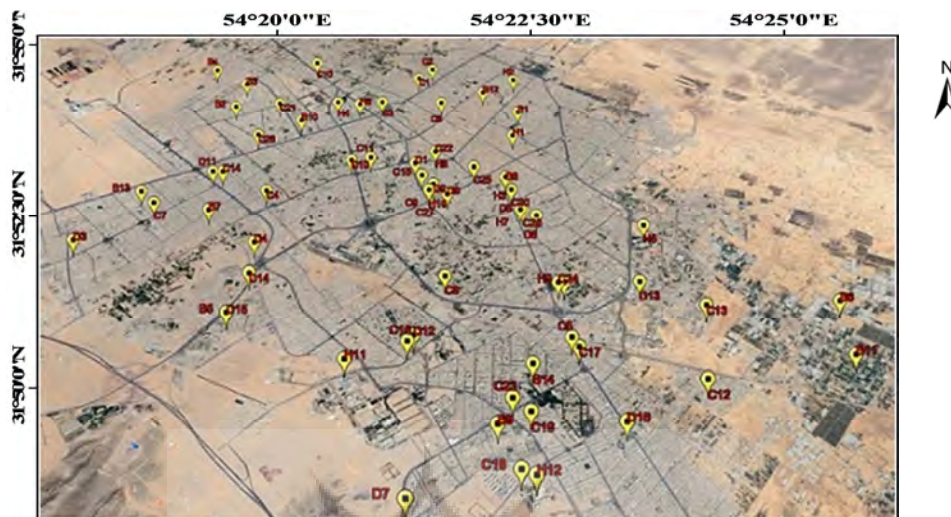
در این مطالعه شهر یزد به‌عنوان یکی از خشک‌ترین مناطق ایران مورد بررسی قرار گرفت که با سطحی معادل ۲۴۹۱/۶ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۱۴° طول شرقی و ۲۲° ۳۳' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت یزد ۶۵۶۴۷۴ نفر اعلام شد. متوسط ارتفاع شهر یزد از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است. از نظر آب‌وهوایی میانگین بارش و دمای سالانه یزد به‌ترتیب ۵۱ میلی‌متر و ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (محمدری‌راوری و همکاران، ۱۴۰۲). یزد به‌دلیل صنعتی‌شدن و مهاجرپذیر بودن یکی از شهرهای ایران است که به‌سرعت در حال رشد بوده و در سال‌های اخیر صنایع متعددی نظیر کاشی، سرامیک، نساجی، فولاد و عملیات معدنی به‌طور چشمگیری افزایش داشته است (سلطانی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). ازسوی دیگر، این شهر به‌دلیل موقعیت جغرافیایی که دارد معمولاً در معرض طوفان‌های گردوغبار شدید است که از بیابان‌های اطراف سرچشمه گرفته و این شهر را به‌عنوان یکی از کانون‌های گردوغبار در ایران مطرح کرده است (مصباح‌زاده<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر موارد بالا شهر یزد در مسیر بزرگراه شمال به جنوب ایران واقع شده که ترافیک و در نتیجه آلودگی را در پی دارد (وحیدی صالحی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).



<sup>1</sup> Soltani

<sup>2</sup> Mesbahzadeh

<sup>3</sup> Vahidi Saheli



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محل نمونه برداری

#### (ب) روش پژوهش

##### - نمونه برداری و اندازه گیری غلظت فلزات در آزمایشگاهی

در این مطالعه نمونه های گردوغبار از ۷۰ مرکز بهداشتی مختلف شهرستان یزد شامل ۲۸ درمانگاه، ۱۴ مرکز بهداشت، ۱۲ بیمارستان و ۱۶ مرکز دندانپزشکی جمع آوری شد (شکل ۳-۱۵). نمونه برداری در فاصله زمانی هفته آخر خرداد تا آخر تیرماه ۱۴۰۲ به دلیل زیاد بودن طوفان های گردوغبار در این بازه زمانی انجام شد. پس از هر برداشت، نمونه ها به پاکت پلاستیکی انتقال، شماره گذاری و به آزمایشگاه دانشگاه زابل منتقل گردید. در آزمایشگاه برای تهیه نمونه، از روش خشک خاکستر کردن بر اساس استانداردهای (ISO11464 و ISO11465) به منظور جلوگیری از انفجار در مرحله هضم استفاده شد. سپس مقدار نیم گرم از هر نمونه را برداشته و پس از اضافه کردن  $HNO_3$  و  $HCL_3$  به نسبت ۳:۱ و رساندن نمونه ها به حجم ۵۰ میلی لیتر عملیات هضم انجام شد. پس از هضم نمونه ها، غلظت فلزات سنگین با روش طیفسنجی القایی (ICP-OES) در حد میلی گرم بر گرم با دستگاه مدل Perkin Elemer DV2000 ICP-OES اندازه گیری شد. دقت و حد تشخیص دستگاه برای عناصر آهن، کبالت، مس، روی، منگنز، سرب، نیکل، کروم، کادمیوم و آلومینیوم به طور کلی ۰/۰۵ و برای آرسنیک ۰/۰۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود.

##### - توزیع مکانی فلزات سنگین

تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش درون یابی انجام شد. به این صورت که مقادیر غلظت فلزات سنگین با استفاده از فرمت اکسل وارد نرم افزار ArcGIS10.3 شدند. سپس این غلظت ها با استفاده از روش فاصله یابی وزنی معکوس (IDW)<sup>۱</sup> پهنه بندی شدند. این روش یکی از روش های معمول و پر کاربرد درون یابی است که

1 Inverse Distance Weighted (IDW)



از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده، استفاده می‌شود. مقدار فاکتور وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (1)$$

به‌طوری‌که  $D_i$  فاصله  $i$  امین نقطه مشاهده‌شده تا نقطه مورد تخمین،  $\alpha$  توان وزن‌دهی فاصله و  $n$  تعداد نقاط مجاور است.

### - شناسایی و تعیین منبع فلزات سنگین

در این مطالعه به منظور تعیین منبع احتمالی و گروه‌بندی فلزات سنگین به‌ترتیب از همبستگی و آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> بین عناصر استفاده شد. همبستگی زوجی بین فلزات سنگین با استفاده از روش پیرسون انجام شد. این روش برای اندازه‌گیری همبستگی خطی بین یک جفت مجموعه داده است که مقدار آن از -۱ تا ۱ متغیر است (وانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). در این مطالعه از آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی برای گروه‌بندی عناصر مشابه و در نتیجه تعیین عناصری که منشأ یکسان داشتند، استفاده شد. همه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از spss22 انجام شد.

### - ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین

به منظور ارزیابی سطح آلودگی، شاخص‌های غنی‌شدگی، زمین‌انباشت، سطح آلودگی و آلودگی یکنواخت به کار گرفته شد که در ادامه به اختصار توضیح داده شده است.

### فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی یک شاخص کاربردی برای ارزیابی سطح آلودگی فلزی و منبع انسانی احتمالی در گردوغبار خیابان نسبت به محیط مرجع است. در این مطالعه، عنصر آهن به دلیل تغییرات کم به عنوان عنصر مرجع انتخاب و فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$EF = \frac{\frac{C_X}{C_{ref}}_{Sample}}{\frac{C_X}{C_{ref}}_{Background}} \quad (2)$$

در معادله بالا  $\frac{C_X}{C_{ref}}_{Sample}$  نسبت غلظت عنصر مورد نظر (اندازه‌گیری‌شده در خاک) به فلز مبنا در نمونه‌ی مورد مطالعه،  $\frac{C_X}{C_{ref}}_{Background}$  نسبت غلظت عنصر مورد نظر به فلز مبنا در مقادیر زمینه می‌باشد (یونگ‌مینگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).  $C_{ref}$  غلظت عنصری است که منشأ کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. اگر فاکتور غنی‌شدگی عنصر مورد نظر کمتر از ۱ باشد آن عنصر منشأ طبیعی دارد، در صورتی که بین

1 Hierarchical Cluster Analysis

2 Wang

3 Yongming

۱ تا ۱۰ باشد عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسانزاد خواهد داشت. برای فاکتور غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ منشأ آلودگی عنصر مورد نظر بیشتر انسانزاد است. مقادیر بین ۱ تا ۵ این فاکتور نشان‌دهنده این است که منبع انسانزاد سهم معنی‌داری در میزان آن عنصر ندارد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳). در این مطالعه بر اساس طبقه‌بندی ساترلند<sup>۱</sup> و همکاران، (۲۰۰۰) درجه آلودگی فلزات سنگین به پنج دسته زیر طبقه‌بندی شد:

$EF < 2$ : آلودگی کم؛  $2 \leq EF < 5$ : آلودگی متوسط؛  $5 \leq EF < 20$ : آلودگی زیاد؛  $20 \leq EF < 40$ : آلودگی بسیار زیاد؛  $EF \geq 40$ : آلودگی بشدت زیاد

### شاخص زمین‌انباشت

این شاخص برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار خیابانی در سال ۱۹۶۹ توسط مولر استفاده شد. شاخص زمین‌انباشت، آلودگی گردوغبار خیابان را در مقایسه با آلودگی پیش از صنعتی‌شدن یا غلظت‌های طبیعی اولیه ارزیابی می‌کند (ویسمن‌نوا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این شاخص با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_s^i}{1.5 \cdot C_n^i} \quad (3)$$

که در آن  $(C_s^i)$  غلظت اندازه‌گیری‌شده عناصر در نمونه‌های خاک،  $(C_n^i)$  مقدار زمینه‌ای هر عنصر و  $1/5$  به‌عنوان K برای نشان دادن ضریب تصحیح ماتریس پس‌زمینه استفاده می‌شود (مولر<sup>۳</sup>، ۱۹۶۹).

بر اساس این شاخص، خاک‌ها از نظر آلودگی در ۷ گروه مختلف زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

$I_{geo} \leq 0$ : غیر آلوده؛  $0 < I_{geo} < 1$ : غیر آلوده تا کمی آلوده؛  $1 < I_{geo} < 2$ : کمی آلوده؛  $2 < I_{geo} < 3$ : کمی آلوده تا بسیار آلوده؛  $3 < I_{geo} < 4$ : بسیار آلوده؛  $4 < I_{geo} < 5$ : بسیار آلوده تا به‌شدت آلوده؛  $I_{geo} \geq 5$ : به‌شدت آلوده

### شاخص درجه آلودگی و یکنواخت

مقادیر درجه آلودگی به‌منظور توصیف آلودگی مربوط به هر عنصر سنگین کاربرد دارد. این شاخص از تقسیم مقدار هر عنصر در نمونه برداشت‌شده به مقدار آن عنصر در نمونه زمینه با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_{ri}} \quad (4)$$

در معادله بالا  $C_i$  غلظت عنصر  $i$  ام حاصل میانگین حداقل پنج نمونه و  $C_{ri}$  غلظت عنصر  $i$  در مرجع (شیل میانگین) است. بر اساس مطالعه هاکانسون (۱۹۸۰) کلاس آلودگی برای شاخص  $(C_f^i)$  به‌صورت زیر مشخص کرده شد:

$C_f^i < 1$  (آلودگی کم)؛  $2 < C_f^i \leq 3$  (آلودگی متوسط)؛  $4 < C_f^i \leq 6$  (آلودگی زیاد)؛  $C_f^i \geq 6$  (آلودگی خیلی زیاد)

1 Sutherland

2 Weissmannova

3 Muller



شاخص آلودگی یکنواخت نیز میانگین شاخص درجه آلودگی است که مقادیر  $IPI \leq 1$  آلودگی کم،  $1 < IPI \leq 2$  آلودگی متوسط،  $IPI \leq 5$  آلودگی زیاد و  $IPI > 5$  آلودگی خیلی زیاد را نشان می‌دهد (هاکانسون<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰؛ یایلالی-آبانوز<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱).

## نتایج و بحث

### مقادیر فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر یزد

محدوده غلظت و میانگین در محدوده مطالعاتی برای آهن  $11044/35 - 35282/2$  (۲۳۵۸۷/۱۶)، کبالت  $40/7 - 3/33$  (۱۰/۲)، منگنز  $1035/815 - 222/92$  (۴۴۵/۷)، نیکل  $186/85 - 2/85$  (۳۴/۰۹)، مس  $232/98 - 73/71$  (۶۰/۸۶)، روی  $5181/85 - 38/85$  (۶۰۲/۵۴)، کروم  $94/53 - 4/53$  (۴۶/۸۳)، سرب  $379/06 - 19/42$  (۸۰/۹۵)، آرسنیک  $11/285$  (۰/۲۹)، کادمیوم  $0 - 12/21$  (۰/۲۱) و آلومینیوم  $30369/6 - 7575/75$  (۱۸۰۷۴/۹۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد (جدول ۱). میانگین غلظت فلزات به ترتیب آهن < آلومینیوم < روی < منگنز < سرب < مس < کروم < نیکل < کبالت < آرسنیک و کادمیوم کاهشی بود. ضریب تغییرات<sup>۳</sup> (CV) می‌تواند ابعاد مختلف شاخص‌ها را نشان دهد (عزیز<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به کلاس‌بندی ضریب تغییرات مقادیر  $\leq 20$ ،  $21 - 50$ ،  $51 - 100$  و  $\geq 100$  این شاخص به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. ضریب تغییرات فلزات در گردوغبار خیابانی مراکز درمانی مورد مطالعه برای عناصر کادمیوم (۶۸۴/۲۲) < آرسنیک (۵۹۳/۰۴) < روی (۱۱۳/۰۱) < سرب (۷۱/۱۳) < کبالت (۶۵/۵) < مس (۶۰/۸۶) < نیکل (۵۹/۴۹) < آلومینیوم (۲۳/۳۹) < منگنز (۲۲/۶۶) < آهن (۱۸/۹۸) کاهشی بود. ضریب تغییرات برای فلزات کادمیوم، آرسنیک و روی در طبقه بسیار شدید بود؛ درحالی‌که مس، سرب، کبالت و نیکل در کلاس زیاد تعیین شد. تغییرپذیری برای آلومینیوم، کروم و منگنز متوسط بود که دلیل این موضوع ممکن است تحت تاثیر مواد اولیه محل و فعالیت‌های انسانی باشد (لی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). ضریب تغییرات آهن کمتر از ۲۰ برآورد شد که نشان‌دهنده توزیع یکنواخت این فلز در منطقه مورد مطالعه بود. درصدهای زیاد ضریب تغییرات نشان‌دهنده تنوع مکانی و درجه پراکندگی فلزات کادمیوم، آرسنیک، روی، مس، سرب، کبالت و نیکل است که ممکن است بیشترین تاثیر را از فعالیت‌های انسانی داشته باشد. مقادیر زیاد ضریب تغییرات نشان‌دهنده فعالیت‌های انسانی است که در مطالعات مشابه نیز دوابی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، حق نظر و همکاران (۲۰۲۳) نیز بر این موضوع تاکید شده است. انحراف استاندارد فلزات گردوغبار خیابانی در مراکز درمانی شهر یزد از عنصر آهن < آلومینیوم < روی < منگنز < سرب < مس < نیکل < کروم < کبالت < آرسنیک < کادمیوم روند نزولی را نشان داد. مقادیر زیاد انحراف معیار استاندارد بیانگر گستره زیاد غلظت‌های فلزی در گردوغبار خیابانی منطقه‌ی مطالعاتی است. در این مطالعه بیشترین مقدار انحراف معیار استاندارد در مورد آهن و آلومینیوم مشاهده شد. علاوه بر این میزان چولگی همه فلزات بزرگ‌تر از صفر (مثبت) تعیین شد که بیانگر چولگی مثبت به سمت

1 Hokinson

2 Yaylali-Abanuz

3 Coefficient of Variation (CV)

4 Eziz

5 Li

6 Doabi

غلظت‌های پایین‌تر بود. همچنین میانگین غلظت‌ها بیشتر از میانه آنها برآورد شد که نشان‌دهنده انحراف مثبت توزیع فلزات در منطقه مورد مطالعه بود. میانگین همه عناصر به جز آهن، آرسنیک و آلومینیوم بیشتر از مقادیر زمینه بود که این موضوع تاثیر عوامل انسانی در افزایش این فلزات را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که کروم و نیکل به‌طور گسترده در طبیعت وجود دارند و بیشتر تحت تأثیر مواد مادری قرار می‌گیرند. با این حال، غلظت بیش از نرخ پس زمینه نشان داد که کروم و نیکل توسط عوامل طبیعی کنترل نمی‌شوند و بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مکرر قرار می‌گیرند (پیرا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). غلظت بالای آهن و آلومینیوم موجود در گردوغبار می‌تواند ناشی از خاک‌های اطراف خیابان باشد (علی‌طالشی و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه مقادیر روی و سرب چندین برابر مقادیر زمینه است. از بین ۷۰ ایستگاه نمونه‌برداری، بیشترین مکان‌های مربوط به دو عنصر بالا (مراکز بهداشتی B14 و D9) که در کنار خیابان چند بانده بوده و همچنین با چهارراه و ایستگاه خط واحد فاصله نزدیکی داشتند. از این رو افزایش مقدار این دو عنصر در این مراکز را می‌توان به آلودگی ناشی از ترافیک و وسایل نقلیه مرتبط دانست؛ زیرا در مطالعات مختلفی ترافیک جاده‌ای اصلی‌ترین دلیل افزایش فلز روی در گردوغبار خیابانی یاد شده است (پاتل<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، در نتیجه ترافیک عنصر سرب به‌طور گسترده در باتری خودرو و وزنه‌ی بالانس تایرها آزاد می‌شود (تیلو و کروگر<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). غلظت بالای کروم، مس و روی در گردوغبار خیابان احتمالاً از فعالیت‌های صنعتی سرچشمه می‌گیرد. به‌طوری‌که چندین کارخانه کاشی، سرامیک و فولاد و همچنین نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در اطراف شهر قرار دارد و منبع رهاسازی این فلزات به‌شمار می‌آید (لیانگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۱: مقادیر فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در گردوغبار خیابانی مراکز بهداشتی یزد

| چولگی | ضریب تغییرات | انحراف معیار | میانه    | مقادیر پوسته زمین | حداکثر   | حداقل    | میانگین  | متغیرها |
|-------|--------------|--------------|----------|-------------------|----------|----------|----------|---------|
| ۰/۲۱  | ۱۸/۹۸        | ۴۴۷۸/۵۳      | ۲۳۲۱۷/۵  | ۳۵۰۰۰             | ۳۵۲۸۳/۲  | ۱۱۰۴۶/۳۵ | ۲۳۵۸۷/۱۶ | Fe      |
| ۲/۵۵  | ۶۵/۵۰        | ۶/۶۸         | ۷/۹۵     | ۱۰                | ۴۰/۷     | ۳/۳۳     | ۱۰/۲     | Co      |
| ۲/۷   | ۲۲/۶۶        | ۱۰۰/۹۹       | ۴۳۹/۷۴   | ۴۱۸               | ۱۰۳۵/۸۱۵ | ۲۲۲/۹۲   | ۴۴۵/۷    | Mn      |
| ۶/۳   | ۵۹/۴۹        | ۲۰/۲۸        | ۳۲/۳۷    | ۲۶/۶              | ۱۸۶/۸۵   | ۲/۸۵     | ۳۴/۰۹    | Ni      |
| ۳/۳۰  | ۵۲/۸         | ۳۲/۱۴        | ۵۱/۸     | ۲۶/۷              | ۲۳۲/۷۳   | ۲۵/۷۱    | ۶۰/۸۶    | Cu      |
| ۴/۸۱  | ۱۱۳/۰۱       | ۶۸۰/۹۳       | ۳۹۹/۹۷   | ۳۱                | ۵۱۸۱/۸۵  | ۳۸/۸۵    | ۶۰۲/۵۴   | Zn      |
| ۱/۰۴  | ۲۱/۱۸        | ۱۳/۶۷        | ۴۶/۴۳    | ۳۵                | ۹۴/۵۳    | ۴/۵۳     | ۴۶/۸۳    | Cr      |
| ۲/۵۷  | ۷۱/۱۳        | ۵۷/۵۸        | ۶۸۰/۸    | ۱۹/۴              | ۳۷۹/۰۶   | ۱۹/۴۲    | ۸۰/۹۵    | Pb      |
| ۵/۸۷  | ۵۹۳/۰۴       | ۱/۷۶         | ۰        | ۱۱/۲              | ۱۱/۲۸۵   | ۰        | ۰/۲۹     | AS      |
| ۸/۱۴  | ۶۸۴/۲۲       | ۱/۴۶         | ۰        | ۰/۱۲              | ۱۲/۲۱    | ۰        | ۰/۲۱     | Cd      |
| ۰/۰۵  | ۲۳/۳۹        | ۴۲۲۸/۱       | ۱۷۸۶۹/۱۵ | ۸۰۴۰۰             | ۳۰۳۶۹/۶  | ۷۵۷۵/۷۵  | ۱۸۰۷۴/۹۴ | Al      |

1 Pereira

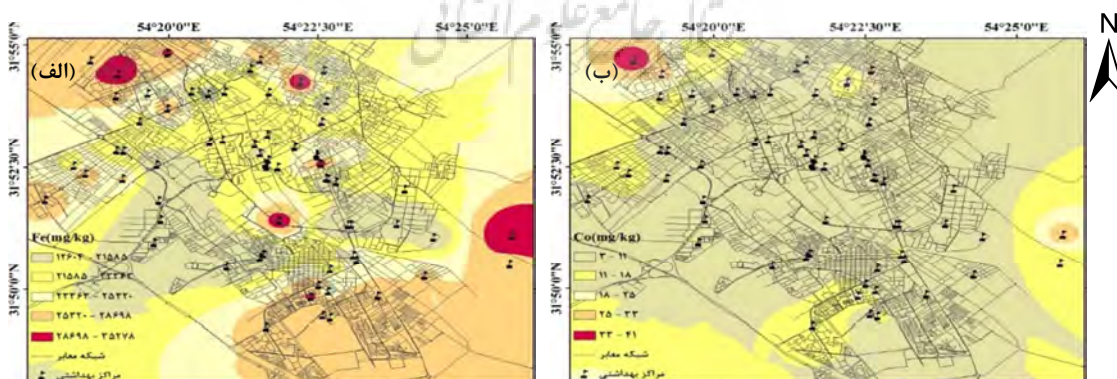
2 Patel

3 Taylor and kruger

4 Liang

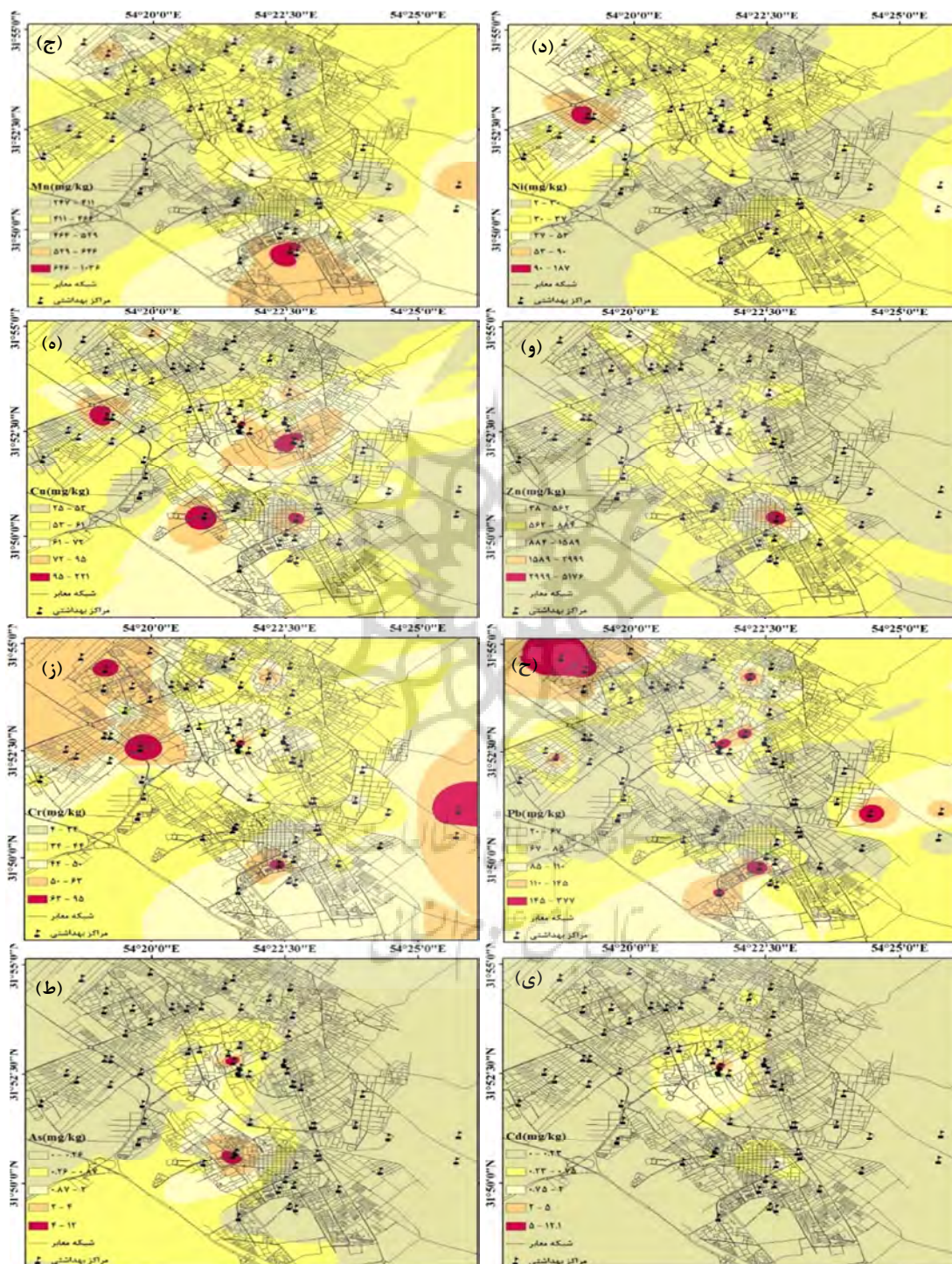
### توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین گردوغبار خیابانی

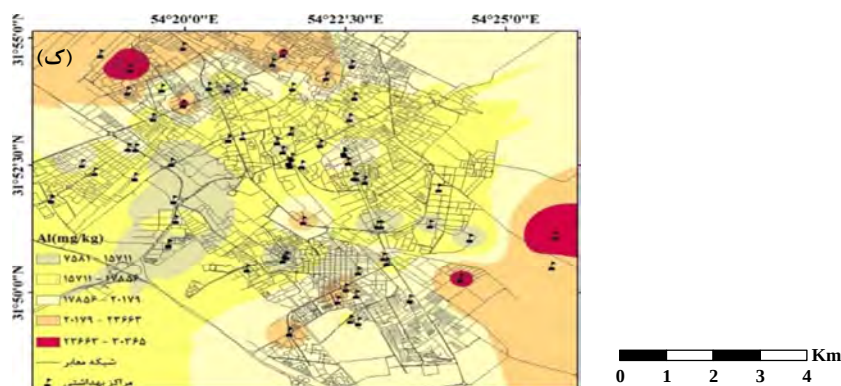
تجزیه و تحلیل توزیع مکانی فلزات یک رویکرد موثر برای شناسایی منابع آلاینده‌ها و کنون‌هایی با آلودگی بالا است. در این مطالعه الگوهای توزیع مکانی فلزات سنگین به‌طور قابل‌توجهی ناهمگن بودند. توزیع مکانی ۱۱ فلز آهن، کبالت، منگنز، نیکل، مس، روی، کروم، سرب، آرسنیک، و آلومینیوم در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس الگوهای توزیع مکانی، آهن و آلومینیوم مشابه بوده و در بخش‌های شمال‌غربی و جنوب‌شرقی شهر محتوای زیادی دارند. غلظت زیاد آهن و آلومینیوم در بخش جنوب‌شرقی را می‌توان به واقع‌شدن مراکز بهداشتی در حاشیه شهر (بخش جنوب‌شرقی) نسبت داد. مناطق حاشیه شهر در معرض خاک طبیعی اطراف قرار دارند؛ به‌طوری‌که در مطالعه چاندیما<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) این موضوع تایید شد که خاک اطراف منبع اصلی عناصر آهن و آلومینیوم هستند. آرسنیک، روی و کادمیوم نیز توزیع مکانی مشابهی داشته و بیشترین مقادیر این عناصر در بخش‌های مرکزی و جنوب شهر یزد مشاهده شد. بیشترین مقادیر فلزات مس، سرب، کروم و منگنز در بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی مشاهده شد. درحالی‌که نیکل و کبالت در بخش‌های کوچکی از شمال‌غرب مشاهده شد. توزیع بیشتر روی، سرب و مس در مرکز شهر را می‌توان به دلیل نزدیکی به خیابان، مراکز تجاری، ایستگاه خط واحد و در نتیجه تردد زیاد وسایل نقلیه دانست. به‌عبارتی، در این مناطق فلزات در نتیجه ترافیک شهری، سوختن سوخت‌های فسیلی، فرسودگی رینگ و لاستیک، سایش بدنه و لنت ترمز خودروها پراکنش بیشتری دارند (دهقانی و همکاران، ۲۰۱۷). بیشترین توزیع مکانی کبالت و نیکل در بخش‌های شمال‌غربی نیز به دلیل نزدیکی به خیابان و ایستگاه خط واحد بود. از آنجایی‌که سرب به باتری‌ها، لنت ترمزها، وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو، آلیاژهای آلومینیوم و سایر قطعات خودرو اضافه می‌شود، می‌تواند دلیل وجود سرب در مناطق با ترافیک زیاد شهر باشد (اسمیچووسکی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). از سوی دیگر، اگرچه تولید، فروش و استفاده از بنزین سربدار از سال ۲۰۰۰ ممنوع شده است، بنزین بدون سرب بنزینی با غلظت سرب زیر ۰/۰۱۳ گرم در لیتر است و بنابراین همچنان حاوی مقداری سرب است. غلظت ذرات سرب در آگزوز خودروها می‌تواند از ۲۰ تا ۵۰ میکروگرم در لیتر باشد که نیمه‌عمر آن تا چند صد سال است و هنوز در محیط سطح تجمع می‌یابد (چن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).



- 1 Chandima
- 2 Smichowski
- 3 Chen







شکل ۲: الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین (الف) آهن، (ب) کبالت، (ج) منگنز، (د) نیکل، (ه) مس، (و) روی، (ز) کروم، (ح) سرب، (ط) آرسنیک، (ی) کادمیوم و (ک) آلومینیوم در گردوغبار خیابانی شهر یزد

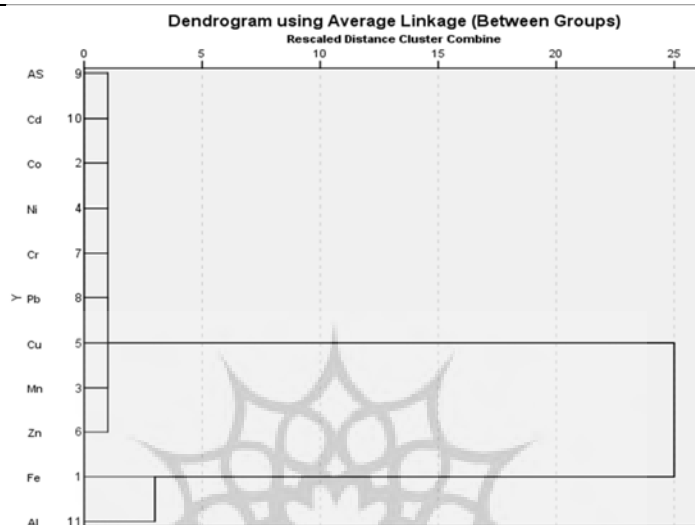
### شناسایی منابع آلودگی با استفاده از روش‌های آماری

همبستگی آماری بین عناصر مختلف می‌تواند ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی و شناسایی منبع را نشان دهد. بنابراین در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه و همبستگی بین عناصر مختلف استفاده شد (جدول ۲). رابطه بین آلاینده‌ها نشان داد که همبستگی مثبت بین آلومینیوم - آهن - کبالت - منگنز - کروم، کادمیوم - کروم - سرب و نیکل - مس در سطح معنی‌داری ۱ درصد وجود دارد. درحالی‌که بین کادمیوم - روی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد و آرسنیک فاقد هر گونه همبستگی با سایر عناصر بود. بر اساس نتایج، بیشترین میزان همبستگی بین آهن و آلومینیوم (۰/۸۲) مشاهده شد که نشان داد این دو عنصر از منابع مشترک سرچشمه می‌گیرند و منبع متفاوتی از سایر عناصر دارند. در این مطالعه به منظور گروه‌بندی متغیرها از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شد. بر این اساس عناصر کبالت، منگنز، کروم، کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی در یک گروه قرار داشتند؛ درحالی‌که آلومینیوم و آهن در گروه دوم قرار گرفتند (شکل ۳). بر اساس این خوشه‌بندی می‌توان اظهار داشت که عناصر گروه اول دارای منشأ انسانی و عناصر گروه دوم دارای منشأ طبیعی هستند.

جدول ۲: ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در ذرات گردوغبار منطقه مورد مطالعه

|    | Fe | Co     | Mn     | Ni   | Cu     | Zn    | Cr     | Pb     | As    | Cd     | Al      |
|----|----|--------|--------|------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|
| Fe | ۱  | ۰/۵۹** | ۰/۶۴** | ۰/۱۸ | -۰/۰۶  | -۰/۰۵ | ۰/۵۵** | ۰/۳۹** | -۰/۱۷ | ۰/۰۰۱  | ۰/۸۲۴** |
| Co |    | ۱      | ۰/۳۵** | ۰/۱۱ | -۰/۰۱  | -۰/۱۴ | ۰/۴۵** | ۰/۵۴** | -۰/۱۱ | -۰/۰۲  | ۰/۶۱**  |
| Mn |    |        | ۱      | ۰/۱۱ | -۰/۰۵  | -۰/۰۲ | ۰/۲۶*  | ۰/۲۲   | -۰/۱۳ | -۰/۰۰۴ | ۰/۴۹**  |
| Ni |    |        |        | ۱    | ۰/۴۱** | ۰/۱۴  | ۰/۳*   | ۰/۱    | -۰/۰۹ | ۰/۰۸   | ۰/۱۴    |
| Cu |    |        |        |      | ۱      | ۰/۱۴  | ۰/۰۹   | ۰/۰۵   | -۰/۰۷ | ۰/۱۱   | -۰/۰۷   |
| Zn |    |        |        |      |        | ۱     | ۰/۰۲   | ۰/۰۹   | ۰/۰۵  | ۰/۲۵*  | ۰/۰۰۳   |
| Cr |    |        |        |      |        |       | ۱      | ۰/۵۲** | -۰/۰۱ | ۰/۳۸** | ۰/۴۱**  |
| Pb |    |        |        |      |        |       |        | ۱      | -۰/۱۳ | ۰/۶۳** | ۰/۳*    |

|    |   |       |        |
|----|---|-------|--------|
| As | ۱ | ۰/۰۰۶ | -۰/۱۷  |
| Cd | ۱ |       | -۰/۰۰۳ |
| Al |   |       | ۱      |



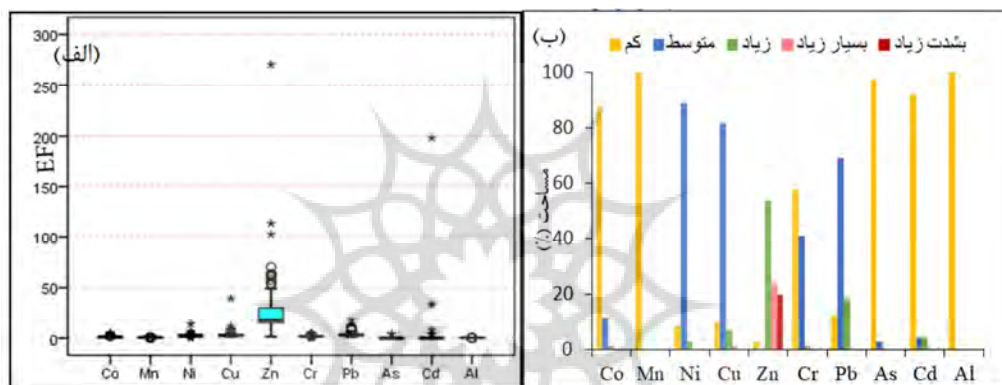
شکل ۳: دندروگرام عناصر سنگین فلزات گردوغبار خیابانی

### ارزیابی آلودگی با استفاده از شاخص‌های آلودگی

نتایج برای فاکتور غنی‌شدگی با در نظر گرفتن عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع، نشان‌دهنده حداقل - حداکثر (میانگین) ۵/۱۵-۰/۶۱ (۱/۴۶) برای کبالت، ۳/۲۷-۱/۱ (۱/۵۹) منگنز، ۱۳/۹۵-۰/۲۵ (۲/۵۶) نیکل، ۳۹/۳۱-۱/۴۱ (۰/۱۱) مس، ۲۷۰/۵۲-۱/۵۴ (۲۹/۹۶) روی، ۵/۰۱-۰/۲ (۲) کروم، ۳/۸۱۷/۸۸-۰/۹۷ (۳/۸) سرب، ۴/۲۸-۰ (۰/۱۱) آرسنیک، ۱۹۸/۳۵-۰ (۳/۵۴) کادمیوم، ۰/۴۵-۰/۱۷ (۰/۳۳) آلومینیوم متغیر بود (شکل ۴ الف). متوسط غنی‌شدگی به ترتیب به صورت روی < سرب < مس < کادمیوم < نیکل < کروم < منگنز < کبالت < آلومینیوم < آرسنیک کاهشی بود. طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی برای نمونه‌ها نشان داد که در مورد عنصر کبالت ۸۷/۳۲٪ در کلاس فاقد آلودگی، ۱۱/۲۶٪ کلاس متوسط و ۱/۴٪ در کلاس زیاد قرار داشتند. برای عنصر منگنز ۱۰۰٪ نمونه‌ها در کلاس آلودگی کم واقع شدند. برای عنصر نیکل ۸/۴۵٪ نمونه‌ها در کلاس آلودگی کم، ۸۸/۷۳٪ کلاس متوسط و ۲/۸۱٪ کلاس زیاد مشاهده شد. نمونه‌ها برای عنصر مس مساحت‌های ۹/۸۶، ۸۱/۶۹، ۷/۰۴ و ۱/۴٪ را به ترتیب در کلاس‌های آلودگی کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد شامل شد. برای عنصر روی به جز ۲/۸۱٪ که در طبقه آلودگی کم بودند سایر نمونه‌ها (۹۷/۱۹٪) در کلاس آلودگی زیاد تا به شدت زیاد مشاهده شدند. برای عنصر کروم کلاس‌های آلودگی کم، متوسط و زیاد به ترتیب مساحت‌های ۵۷/۷۴، ۴۰/۸۴ و ۱/۴٪ را به خود اختصاص دادند. عنصر سرب نیز مشابه کروم کلاس‌های آلودگی کم، متوسط و زیاد را به ترتیب با مساحت ۱۲/۶۷، ۶۹/۰۱ و ۱۸/۳۱٪ را شامل شد. برای عنصر آرسنیک به جز ۲/۸۲٪ نمونه‌ها که در کلاس متوسط قرار داشتند، سایر نمونه‌ها در کلاس آلودگی کم واقع شدند. غنی‌شدگی برای کادمیوم ۹۱/۵۵، ۴/۲۲ و ۴/۲۲٪ در کلاس‌های آلودگی کم، متوسط و زیاد بود؛ در حالی که برای عنصر آلومینیوم



نمونه‌ها ۱۰۰٪ در کلاس آلودگی کم قرار داشتند (شکل ۴ ب). بیشترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به عناصر روی بود؛ به‌طوری‌که برای این عنصر ۹۷/۱۹٪ کلاس زیاد تا به‌شدت زیاد آلودگی نشان داده شد. بر اساس نتایج مطالعات مختلف، شاخص غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ ناشی از فعالیت‌های انسانی است. از این رو می‌توان شاخص غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ عنصر روی در مراکز بهداشتی شهر یزد را ناشی از فعالیت‌های انسانی دانست که این موضوع باعث افزایش غنی‌شدگی این عنصر در گردوغبار خیابانی و ایجاد آلودگی شده است. در تایید این موضوع ویراسندرا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) دلیل بالا بودن روی در گردوغبار خیابانی را فعالیت‌های انسانی نظیر استفاده از افزودنی‌های حاوی روی به روغن موتور وسایل نقلیه، استهلاک و خوردگی تایر اتومبیل‌ها گزارش کردند؛ به‌طوری‌که در نتیجه سایش، لاستیک خودروها مقدار زیادی عنصر روی را وارد محیط می‌کند.

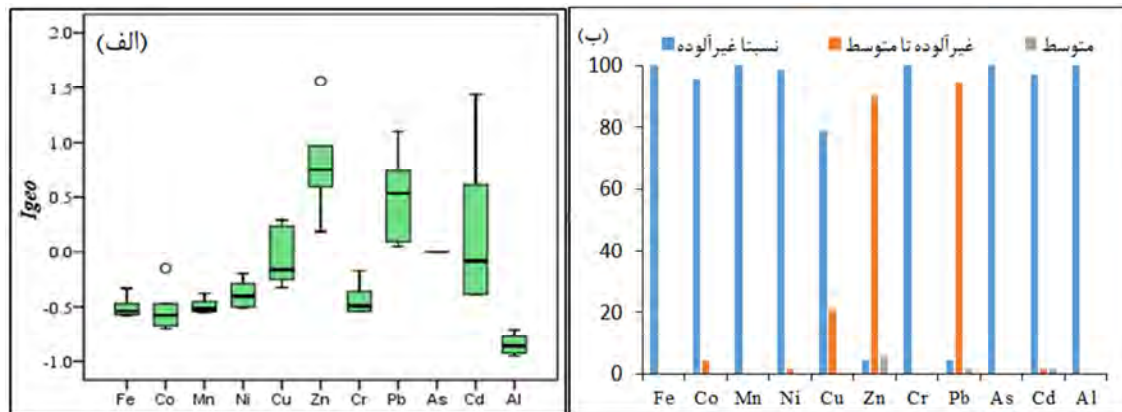


شکل ۴: نمودار جعبه‌ای پراکنش فاکتور غنی‌شدگی (الف) و درصد مساحت کلاس‌های آلودگی بر اساس فاکتور غنی‌شدگی (ب)

نتایج برای شاخص زمین‌انباشت، نشان‌دهنده حداقل - حداکثر (میانگین)  $0/8 - 0/3$  تا  $0/48 - 0/93$ ، برای آهن،  $0/15$  تا  $0/5$  کبالت،  $0/76 - 0/9$  تا  $0/47$  منگنز،  $0/42 - 0/4$  تا  $0/39$  نیکل،  $0/42 - 0/54$  تا  $0/08$  مس،  $0/56 - 0/5$  تا  $0/49$  روی،  $0/47 - 0/15$  تا  $0/48$  کروم،  $0/19 - 0/35$  تا  $0/35$  سرب، صفر آرسنیک،  $0/43 - 0/39$  تا  $0/02$  کادمیوم،  $0/2 - 0/6$  تا  $0/8$  آلومینیوم متغیر بود (شکل ۵ الف). متوسط شاخص زمین‌انباشت به ترتیب به صورت  $\text{روی} < \text{سرب} < \text{کادمیوم} < \text{آرسنیک} < \text{مس} < \text{نیکل} < \text{منگنز} < \text{کروم} < \text{آهن} < \text{کبالت} < \text{آلومینیوم}$  کاهشی بود. طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشت برای عناصر آهن، منگنز، کروم، آرسنیک و آلومینیوم نشان داد که ۱۰۰٪ نمونه‌ها در طبقه فاقد آلودگی قرار داشتند. برای عنصر کبالت ۹۵/۷۷٪ نمونه‌ها در کلاس فاقد آلودگی و ۲/۲۳٪ در کلاس آلودگی غیرآلوده تا متوسط مشاهده شدند. در مورد عنصر نیکل ۹۸/۵۹٪ نمونه‌ها در طبقه غیرآلوده و ۱/۴۱٪ در کلاس غیرآلوده تا متوسط بودند. برای عنصر مس ۷۸/۸۷٪ نمونه‌ها طبقه غیرآلوده و ۲۱/۱۳٪ آلودگی غیرآلوده تا متوسط را نشان دادند. ۹۰/۱۴٪ نمونه‌ها برای عنصر روی در کلاس غیرآلوده تا متوسط بودند؛ درحالی‌که دو کلاس غیرآلوده و متوسط به ترتیب ۴/۲۳٪ و ۵/۶۳٪ را به خود اختصاص دادند. برای عنصر کادمیوم نمونه‌ها به ترتیب ۹۷/۱۸، ۱/۴۱ و ۱/۴۱٪ در طبقات غیرآلوده، غیرآلوده تا متوسط و متوسط را شامل شدند (شکل ۵ب).

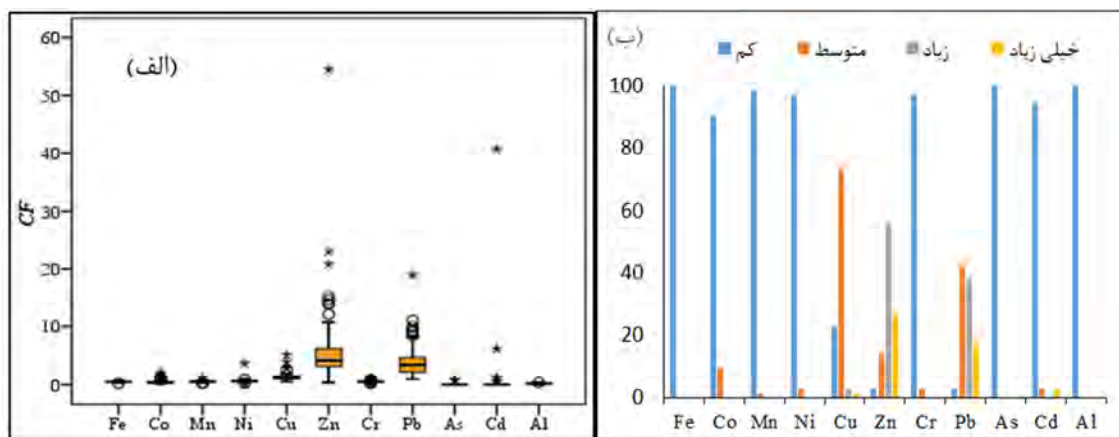
<sup>1</sup> Weerasundara





شکل ۵: نمودار جعبه‌ای پراکنش شاخص زمین‌انباشت (الف) و درصد مساحت کلاس‌های آلودگی بر اساس شاخص زمین‌انباشت (ب)

نتایج شاخص درجه آلودگی نشان داد متوسط روی ( $۶/۳۴$ ) < سرب ( $۴/۰۵$ ) < مس ( $۱/۵۴$ ) < کادمیوم ( $۰/۷۱$ ) < نیکل ( $۰/۶۸$ ) < کبالت ( $۰/۵۴$ ) < منگنز ( $۰/۵۳$ ) < کروم ( $۰/۵۲$ ) < آهن ( $۰/۵$ ) < آلومینیوم ( $۰/۲۳$ ) < آرسنیک ( $۰/۲۲$ ) متغیر بود (شکل ۶ الف). طبقه‌بندی شاخص درجه آلودگی نشان داد که برای عناصر آهن، آرسنیک و آلومینیوم  $۱۰۰\%$  نمونه‌ها در طبقه آلودگی کم قرار داشتند (شکل ۶ ب). برای عناصر کبالت و کروم  $۹۰/۱۴\%$  نمونه‌ها در کلاس آلودگی کم و  $۹/۸۶\%$  در کلاس آلودگی متوسط قرار داشتند. برای عنصر منگنز نمونه‌ها با سطحی معادل  $۹۸/۵۹\%$  در طبقه آلودگی کم و  $۱/۴۱\%$  طبقه آلودگی متوسط قرار داشتند. نمونه‌ها برای دو عنصر نیکل و کروم  $۹۷/۱۸\%$  طبقه آلودگی کم و  $۲/۸۲\%$  آلودگی متوسط را نشان دادند. برای عنصر مس نمونه‌ها  $۲۲/۵۳\%$  طبقه آلودگی کم،  $۷۳/۲۴\%$  طبقه آلودگی متوسط،  $۲/۸۲\%$  آلودگی زیاد و  $۱/۴۱\%$  آلودگی خیلی زیاد را نشان دادند. برای عنصر روی نیز نمونه‌ها چهار طبقه آلودگی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را بـهـ ترتیب با مساحت  $۲/۸۲$ ،  $۱۴/۰۸$ ،  $۵۶/۳۴$  و  $۲۶/۷۶\%$  شامل شدند. نمونه‌ها برای عنصر سرب همچنین در چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌ترتیب با  $۲/۸۱$ ،  $۴۲/۲۵$ ،  $۳۸/۰۳$  و  $۱۶/۹\%$  بودند. برای عنصر کادمیوم نمونه‌ها با  $۹۴/۳۶\%$  طبقه آلودگی کم و دو طبقه آلودگی متوسط و زیاد هر کدام  $۲/۸۲\%$  را به خود اختصاص دادند. در کل، شاخص درجه آلودگی مربوط به ۱۱ عنصر مورد مطالعه عدد  $۱۵/۶۵$  را نشان داد که بیان‌کننده درجه آلودگی خیلی زیاد در گردوغبار خیابانی شهر یزد بود. بر اساس نتایج، شاخص آلودگی یکنواخت عناصر روی و سرب بالا و برای عناصر آهن، کبالت، منگنز، نیکل، مس، کروم، آرسنیک، کادمیوم و آلومینیوم کم بود.



شکل ۶: نمودار جعبه‌ای پراکنش شاخص درجه آلودگی (الف) و درصد مساحت کلاس‌های آلودگی بر اساس شاخص درجه آلودگی (ب)

### نتیجه‌گیری

آلودگی گردوغبار خیابانی که منبع فلزات سنگین در محیط شهری در نظر گرفته می‌شود، به‌عنوان یک مشکل پیچیده در سطح کلان شهرها مطرح است. از این‌رو در این مطالعه با نمونه‌برداری از ۷۰ مرکز درمانی شهر یزد غلظت عناصر سنگین، منشأ فلزات و آلودگی آنها با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، شاخص آلودگی و آلودگی یکنواخت بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌جز عناصر آهن، آرسنیک و آلومینیوم سایر عناصر بیشتر از مقدار زمینه بوده که نشان‌دهنده تاثیر انسان در افزایش مقدار آنها است. بر اساس آنالیز خوشه‌بندی سلسه-مراتبی، عناصر آهن و آلومینیوم در یک گروه قرار داشته و بنابراین منشأ طبیعی داشتند؛ درحالی‌که عناصر کبالت، منگنز، کروم، کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی در یک گروه قرار داشته و در نتیجه منشأ انسانی داشتند. بر اساس مطالعه لو و همکاران (۲۰۰۹) منشأ عناصری نظیر مس، روی، سرب و منگنز ترافیک شهری و فعالیت‌های انسانی است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. مقادیر بالای فاکتور غنی‌شدگی ۲۹/۹۶ و ۳/۸ برای عناصر روی، سرب که منشأ انسانی مشابهی دارند نشان می‌دهد که منابع انسانی به‌ویژه ترافیک مهم‌ترین عامل آلودگی در گردوغبار خیابان‌ها هستند. در تایید این موضوع پاتل و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که ترافیک جاده‌ای دلیل اصلی افزایش روی در گردوغبار خیابانی است. بر اساس شاخص Igeo، فلزات مورد بررسی در کلاس غیرآلوده تا متوسط قرار داشتند. در کل شاخص درجه آلودگی مربوط به ۱۱ عنصر مورد مطالعه عدد ۱۵/۶۵ را نشان داد که بیان‌کننده درجه آلودگی خیلی زیاد در گردوغبار خیابانی شهر یزد بود. مقدار شاخص آلودگی یکنواخت ۶/۳۴ و ۴/۰۵ نشان داد که سطح آلودگی روی و سرب زیاد است. بنابراین بر اساس شاخص‌های بالا آلودگی روی و سرب در شهر یزد نگران‌کننده است. به‌طوری‌که در مطالعات مشابه حق‌نظر و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که سرب و روی بیشترین مقدار از فلزات موجود در گردوغبار جاده‌ای شهر یزد را به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه گردوغبار خیابانی به‌عنوان یک موضوع کم‌اهمیت در آلودگی آب‌وهوا مد نظر قرار گرفته است، نتایج مطالعه بالا می‌تواند در زمینه تدوین رویکردهای مدیریتی کاهش آلودگی موثر واقع شود. همچنین یافته‌های این مطالعه می‌تواند برای تصمیم‌گیری مدیران مفید باشد و بینش‌های موثری را برای کنترل و بهبود منابع آلودگی فلزات سنگین ارائه دهد. در نهایت

پیشنهاد می‌شود با کاهش ترافیک در محدوده مورد مطالعه و پراکندگی فعالیت‌های تجاری به سایر مناطق می‌توان کیفیت محیط شهری را بهبود بخشید.

### تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه زابل به شماره گرنت IR-UOZ0088 در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### منابع

- علی‌طالشی، محمدصالح؛ معین‌الدینی، مظاهر؛ فیض‌نیا، سادات؛ اسکوتیزاتو، استفانی. (۱۳۹۸). آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار خیابانی شهر تهران در سال ۱۳۹۷: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۷۹-۱۹۴.
- محمدی راوری، فروغ؛ مزیدی، احمد؛ بهزادی شهربابک، زهرا. (۱۴۰۲). ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره گرمایی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در شهر یزد. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۳۲، شماره ۱۲۵، صص ۱۶۳-۱۷۷.
- صادق‌دوست، فاطمه؛ قنواتی، نوید؛ نظریور، احد؛ بابایی‌نژاد، تیمور؛ جیمزواتس، مایکل. (۱۳۹۸). بررسی وضعیت، منابع و آلودگی زیست‌محیطی برخی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر دزفول. علوم آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۳، صص ۱۰۹-۱۲۳.
- سلطانی گرد فرامرزی، سمیه؛ مروتی، مریم. (۱۴۰۰). مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار اتمسفری شهر یزد در مرکز ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۳، شماره ۱، صص ۲۱-۳۶.
- Alsobou, E.M.E., & Al-Khashman, O.A. (2018). Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. *Environmental monitoring and assessment*, 190(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6409-1>
- Cai, K., & Li, C. (2019). Street dust heavy metal pollution source apportionment and sustainable management in a typical city Shijiazhuang, China. *International Journal Environmental Research*, 16(14), 2625. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142625>.
- Chandima, G., Ashantha, G., Prasanna, E., Les, D., & Serge, K. (2012). Source characterization of road dust based on chemical and mineralogical composition, *Chemosphere*, 87(2), 163-170.
- Charlesworth, S., De Miguel, E., & Ordóñez, A. (2011). A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to consideration of risk. *Environmental Geochemistry Health*, 33, 103–123. doi: [10.1007/s10653-010-9325-7](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9325-7)
- Chen, T., Chang, Q., Liu, J., Clevers, J.G.P.W., & Kooistra, L. (2016). Identification of soil heavy metal sources and improvement in spatial mapping based on soil spectral information: A case study in northwest China. *Science Total Environment*, 565, 155–164.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., & Beverley, A.H. (2017). Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 136, 92-103. doi: [10.1016/j.ecoenv.2016.10.037](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.037)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057>
- Eziz, M., Mohammad, A., Mamut, A., & Hini, G. (2018). A human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils of Yanqi Basin, Silk Road Economic Belt, China. *Human and Ecological Risk Assessment. International Journal*, 24, 1352–1366. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1412818>
- Feng, W., Zhang Y., Huang, L., Li, Y., Wang, S., Zheng, Y., & Xu, K. (2022). Source apportionment of environmentally persistent free radicals (EPFRs) and heavy metals in size fractions of urban arterial road dust. *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.11.039>
- Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., & Ghasemi, M. (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal(loid) exposed to desert dust storms in a growing city of Iran. *Environmental Earth Science*, 82, 316. doi: [10.1007/s12665-023-11000-3](https://doi.org/10.1007/s12665-023-11000-3)

- Haque, M., Sultana, S., Niloy, N.M., Quraishi, S.B., & Tareq, S.M. (2022). Source apportionment, ecological, and human health risks of toxic metals in road dust of densely populated capital and connected major highway of Bangladesh. *Environmental Science Pollution Research*, 29(25), 37218–37233. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18458-3>
- Ilemobayo, O., & Kolad, I. (2018). Profile of heavy metals from automobile workshops in Akure, Nigeria. *Journal Environment Science Technology*, 1(1), 19–26. doi: 10.3923/jest.2008.19.26.
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Berlin, 550 p characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12, 419-426. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>
- Khodadadi, N., Amini, A., & Dehbandi, R. (2022). Contamination, probabilistic health risk assessment, and quantitative source apportionment of potentially toxic metals (PTMs) in street dust of a highly developed city in the north of Iran. *Environment Research*, 210, 112962. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112962>
- Kun, Y., Chen, L., Xian, Y., Zhang, W., Wang, X. & Wang, J. (2023). Levels, Risk and Sources of Heavy Metals in Road Dust from University Campus - A Case Study of Xichang, Southwest China. *Pollution Journal Environment Studies*, 32(3), 2171–2180.
- Li, C., Wang, X., Xiao, S., & Wang, H. (2023). The Source Apportionment of Heavy Metals in Surface Dust in the Main District Bus Stops of Tianshui City Based on the Positive Matrix Factorization Model and Geo-Statistics. *Atmosphere*, 14, 591. <https://doi.org/10.3390/atmos14030591>
- 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 Environment Research*, 17(3), 732. doi: 10.3390/ijerph17030732.
- 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. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.052 10.1016/j.jhazmat.2008.04.052
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F., & Krakauer, N.Y. (2020). Joint modeling of severe dust storm events in arid and hyper-arid regions based on copula theory: a case study in the Yazd province, Iran. *Climate*, 8(5), 64. <https://doi.org/10.3390/cli8050064>
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108–118.
- Nazarpour, A., Ghanavati, N., & Watts, M.J. (2018). Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 693-704. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0016-5>
- Patel, P., Raju, N.J., Reddy, B.C., 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. *Environment Geochemistry Health*, 40(2), 609–623. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7>
- Pereira, P., Vieira, C., & Lopes, M. (2015). *Characterization of Construction and Demolition Wastes (C&DW)/Geogrid Interfaces*; Taylor & Francis: London, UK, 2015.
- Roy, S., Gupta, S.K., Prakash, J., Habib, G., & Kumar, P. (2022). A global perspective of the current state of heavy metal contamination in road dust. *Environment Science Pollution Research*, 29(22), 33230–33251. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18583-7>
- Smichowski, P., Gómez, D., Frazzoli, C., & Caroli, S. (2007). Traffic-related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43, 23-49. <https://doi.org/10.1080/05704920701645886>
- Sojka, M., Jaskuła, J., Barabach, J., Ptak, M., & Zhu, S. (2022). Heavy metals in lake surface sediments in protected areas in Poland: concentration, pollution, ecological risk, sources and spatial distribution. *Scientific Report*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19298-y>
- Sutherland R. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Journal Environmental Geology*, 39(6), pp 611-27. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>
- Taylor, M., & Kruger, N. (2020). Tyre weights an overlooked diffuse source of lead and antimony to road runoff. *Sustainability*, 12(17), 6790. <https://doi.org/10.3390/su12176790>
- Tepe, Y., Şimşek, A., Ustaoglu, F., & Taş, B. (2022). Spatial-temporal distribution and pollution indices of heavy metals in the Turnasuyu Stream sediment, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 194(11), 818. doi: 10.1007/s10661-022-10490-1
- Vahedi Saheli, M., & Effati, M. (2021). Segment-based count regression geospatial modeling of the effect of roadside land uses on pedestrian crash frequency in rural roads. *International Journal Intelligent Transportation System Research*, 19:347–365. <https://doi.org/10.1007/s13177-020-00250-1>
- Vlasov, D., Kosheleva, N., Kasimov, N. (2021). Spatial distribution and sources of potentially toxic elements in road dust and its PM10 fraction of Moscow megacity. *Science Total Environment*, 761, 143267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143267>
- Wang, Y., Niu, R., Hao, M., Lin, G., Xiao, Y., Zhang, H., & Fu, B. (2023). A method for heavy metal estimation in mining regions based on SMA-PCC-RF and reflectance spectroscopy. *Ecological Indicators*, 154, 110476. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110476>

- Weerasundara, L., Amarasekara, R., Magana-Arachchi, D., Ziyath, A.M., Karunaratne, D., Goonetilleke, A., & Vithanage, M. (2017). Microorganisms and heavy metals associated with atmospheric deposition in a congested urban environment of a developing country: Sri Lanka. *Science Total Environment*, 584, 803-812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.121>
- Weissmannova, H.D., Pavlovsky, J., & Chovanec, P. (2015). Heavy metal contaminations of Urban soils in Ostrava, Czech Republic: assessment of metal pollution and using principal component analysis. *International Journal Environmental Research*, 9(2), 983-696.
- 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*, 26(5), 1359–1378. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1578946>
- Yang, J., Chen, L., Liu, L.Z., Shi, W.L., & Meng, X.Z. (2014). Comprehensive risk assessment of heavy metals in lake sediment from public parks in Shanghai. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 102, 129–35. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.01.010.
- Yaylali-Abanuz, G. (2011). Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal*, 99, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.04.004>
- Yu, B., Lu, X., Fan, X., Fan, P., Zuo, L., Yang, Y., & Wang, L. (2021). Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in the dust of residential area in Xi'an urban area, China. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 208, 111679. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111679>
- 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. *Peer Journal*, 7, e6578. doi: 10.7717/peerj.6578.





## References

### References (in Persian)

- Ali-Taleshi, M.S., Moeinaddini, M., Feiznia, S., & Squizzato, S. (2020). Heavy Metal Pollution in Street Dust from Tehran in 2018: Metal Richness and Degree of Contamination Assessment. *Journal of Environmental Health Engineering*, 7 (2), 179-194. [doi:10.29252/jehe.7.2.179](https://doi.org/10.29252/jehe.7.2.179) [en.html](#). [In Persian]
- Mohammadi Ravari, F., Mazidi, A., & Behzadi shahrbabak, Z., (2023). Evaluating the trend of temperature changes, heat island and vegetation cover during the hot season in Yazd. *Scientific –Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(125), 163-177. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.561806.2904>. [In Persian]
- Sadeghdoust, F., Ghanavati, N., Nazarpour, A., Babaenejad, T., & Watts, M.J. (2019). Status, Source and Environmental Pollution Assessment of Some Heavy Metals in Street Dust of Dezful City. *Jwss*, 23 (3), 109-123. [10.47176/jwss.23.3.36173](https://doi.org/10.47176/jwss.23.3.36173). [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). *Physical Geogaphy Research*, 53(1), 21–36. [10.22059/JPHGR.2021.311052.1007558](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.311052.1007558). [In Persian]

### References (in English)

- Alsou, E.M.E., & Al-Khashman, O.A. (2018). Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. *Environmental monitoring and assessment*, 190(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6409-1>
- Cai, K., & Li, C. (2019). Street dust heavy metal pollution source apportionment and sustainable management in a typical city Shijiazhuang, China. *International Journal Environmental Research*, 16(14), 2625. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142625>.
- Chandima, G., Ashantha, G., Prasanna, E., Les, D., & Serge, K. (2012) Source characterization of road dust based on chemical and mineralogical composition. *Chemosphere*, 87(2), 163-170.
- Charlesworth, S., De Miguel, E., & Ordóñez, A. (2011). A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to consideration of risk. *Environmental Geochemistry Health*, 33, 103–123. [doi:10.1007/s10653-010-9325-7](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9325-7)
- Chen, T., Chang, Q., Liu, J., Clevers, J.G.P.W., & Kooistra, L. (2016). Identification of soil heavy metal sources and improvement in spatial mapping based on soil spectral information: A case study in northwest China. *Science Total Environment*, 565, 155–164.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., & Beverley, A.H. (2017). Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 136, 92-103. [doi:10.1016/j.ecoenv.2016.10.037](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.037)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057>
- Eziz, M., Mohammad, A., Mamut, A., & Hini, G. (2018). A human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils of Yanqi Basin, Silk Road Economic Belt, China. *Human and Ecological Risk Assessment. International Journal*, 24, 1352–1366. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1412818>
- Feng, W., Zhang Y., Huang, L., Li, Y., Wang, S., Zheng, Y., & Xu, K. (2022). Source apportionment of environmentally persistent free radicals (EPFRs) and heavy metals in size fractions of urban arterial road dust. *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.11.039>
- Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., & Ghasemi, M. (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal(loid) exposed to desert dust storms in a growing city of Iran. *Environmental Earth Science*, 82, 316. [doi:10.1007/s12665-023-11000-3](https://doi.org/10.1007/s12665-023-11000-3)
- Haque, M., Sultana, S., Niloy, N.M., Quraishi, S.B., & Tareq, S.M. (2022). Source apportionment, ecological, and human health risks of toxic metals in road dust of densely populated capital and connected major highway of Bangladesh. *Environmental Science Pollution Research*, 29(25), 37218–37233. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18458-3>
- Ilemobayo, O., & Kolad, I. (2018). Profile of heavy metals from automobile workshops in Akure, Nigeria. *Journal Environment Science Technology*, 1(1), 19–26. [doi: 10.3923/jest.2008.19.26](https://doi.org/10.3923/jest.2008.19.26).
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Berlin, 550 p characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12, 419-426. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>
- Khodadadi, N., Amini, A., & Dehbandi, R. (2022). Contamination, probabilistic health risk assessment, and quantitative source apportionment of potentially toxic metals (PTMs) in street dust of a highly developed city in the north of Iran. *Environment Research*, 210, 112962. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112962>
- Kun, Y., Chen, L., Xian, Y., Zhang, W., Wang, X. & Wang, J. (2023). Levels, Risk and Sources of Heavy Metals in Road Dust from University Campus - A Case Study of Xichang, Southwest China. *Pollution Journal Environment Studies*, 32(3), 2171–2180.



- Li, C., Wang, X., Xiao, S., & Wang, H. (2023). The Source Apportionment of Heavy Metals in Surface Dust in the Main District Bus Stops of Tianshui City Based on the Positive Matrix Factorization Model and Geo-Statistics. *Atmosphere*, 14, 591. <https://doi.org/10.3390/atmos14030591>
- 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 Environment Research*, 17(3), 732. doi: 10.3390/ijerph17030732.
- 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. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.052 10.1016/j.jhazmat.2008.04.052
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F., & Krakauer, N.Y. (2020). Joint modeling of severe dust storm events in arid and hyper-arid regions based on copula theory: a case study in the Yazd province, Iran. *Climate*, 8(5), 64. <https://doi.org/10.3390/cli8050064>
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108–118.
- Nazarpour, A., Ghanavati, N., & Watts, M.J. (2018). Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 693-704. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0016-5>
- Patel, P., Raju, N.J., Reddy, B.C., 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. *Environment Geochemistry Health*, 40(2), 609–623. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7>
- Pereira, P., Vieira, C., & Lopes, M. (2015). Characterization of Construction and Demolition Wastes (C&DW)/Geogrid Interfaces; Taylor & Francis: London, UK, 2015.
- Roy, S., Gupta, S.K., Prakash, J., Habib, G., & Kumar, P. (2022). A global perspective of the current state of heavy metal contamination in road dust. *Environment Science Pollution Research*, 29(22), 33230–33251. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18583-7>
- Smichowski, P., Gómez, D., Frazzoli, C., & Caroli, S. (2007). Traffic-related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43, 23-49. <https://doi.org/10.1080/05704920701645886>
- Sojka, M., Jaskuła, J., Barabach, J., Ptak, M., & Zhu, S. (2022). Heavy metals in lake surface sediments in protected areas in Poland: concentration, pollution, ecological risk, sources and spatial distribution. *Scientific Report*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19298-y>
- Sutherland R. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Journal Environmental Geology*, 39(6), pp 611-27. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>
- Taylor, M., & Kruger, N. (2020). Tyre weights an overlooked diffuse source of lead and antimony to road runoff. *Sustainability*, 12(17), 6790. <https://doi.org/10.3390/su12176790>
- Tepe, Y., Şimşek, A., Ustaoglu, F., & Taş, B. (2022). Spatial-temporal distribution and pollution indices of heavy metals in the Turnasuyu Stream sediment, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 194(11), 818. doi: 10.1007/s10661-022-10490-1
- Vahedi Saheli, M., & Effati, M. (2021). Segment-based count regression geospatial modeling of the effect of roadside land uses on pedestrian crash frequency in rural roads. *International Journal Intelligent Transportation System Research*, 19:347–365. <https://doi.org/10.1007/s13177-020-00250-1>
- Vlasov, D., Kosheleva, N., Kasimov, N. (2021). Spatial distribution and sources of potentially toxic elements in road dust and its PM10 fraction of Moscow megacity. *Science Total Environment*, 761, 143267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143267>
- Wang, Y., Niu, R., Hao, M., Lin, G., Xiao, Y., Zhang, H., & Fu, B. (2023). A method for heavy metal estimation in mining regions based on SMA-PCC-RF and reflectance spectroscopy. *Ecological Indicators*, 154, 110476. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110476>
- Weerasundara, L., Amarasekara, R., Magana-Arachchi, D., Ziyath, A.M., Karunaratne, D., Goonetilleke, A., & Vithanage, M. (2017). Microorganisms and heavy metals associated with atmospheric deposition in a congested urban environment of a developing country: Sri Lanka. *Science Total Environment*, 584, 803-812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.121>
- Weissmannova, H.D., Pavlovsky, J., & Chovanec, P. (2015). Heavy metal contaminations of Urban soils in Ostrava, Czech Republic: assessment of metal pollution and using principal component analysis. *International Journal Environmental Research*, 9(2), 983-696.
- 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*, 26(5), 1359–1378. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1578946>
- Yang, J., Chen, L., Liu, L.Z., Shi, W.L., & Meng, X.Z. (2014). Comprehensive risk assessment of heavy metals in lake sediment from public parks in Shanghai. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 102, 129–35. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.01.010.
- Yaylali-Abanuz, G. (2011). Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal*, 99, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.04.004>
- Yu, B., Lu, X., Fan, X., Fan, P., Zuo, L., Yang, Y., & Wang, L. (2021). Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in the dust of residential area in Xi'an urban area, China. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 208, 111679. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111679>

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. *Peer Journal*, 7, e6578. doi: 10.7717/peerj.6578.

