

## Seasonal changes in the concentration and pollution level of selected heavy metals in the street dust of Isfahan and its surrounding cities

Behrooz Akbary<sup>1</sup>, Hossein Khademi<sup>\*2</sup>

1. M.Sc. Graduate of Soil Resources Management, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: [b.akbary@ag.iut.ac.ir](mailto:b.akbary@ag.iut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: [hkhademi@iut.ac.ir](mailto:hkhademi@iut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 08.29.2022

Revised: 04.25.2023

Accepted: 04.30.2023

#### Keywords:

Anthropogenic Pollution,  
Heavy Metals,  
Particulate Matter,  
Traffic,  
Urban Environment

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Airborne particles, commonly known as aerosols, can carry polluting and harmful particles and elements. Street dust refers to particles smaller than 70 micrometers that enter urban environments due to the resuspension of particles from human activities or dust storms. These particles host various pollutants, including heavy metals, which are produced from various anthropogenic and natural sources. The sources and amounts of these metals can be seasonally and spatially highly variable. The objectives of this research were to investigate seasonal changes in the concentration and pollution level of selected heavy metals in street dust and soil samples around a few cities in Isfahan province, and they have also been compared with several cities in other parts of Iran and the world.

**Materials and Methods:** Street dust samples were taken in the first half of the second month of each of the four seasons in 2018 including 80 samples from Isfahan, and 40 samples for each of the cities of Flavarjan, Najafabad, Shahreza, Khomeinishahr and Natanz. Each dust sample (about 300 g) was collected from the surface of pedestrian walkways and stored in plastic containers. All the samples were then extracted by digestion with 6N nitric acid, and the concentration of selected heavy elements including copper, zinc, lead, and cobalt was measured in the extracts by an atomic absorption spectrometer. Finally, the contamination indices including the geoaccumulation index and Nemerow pollution index were calculated in the samples and the seasonal and spatial changes in the concentration and rate of heavy metal pollution were investigated.

**Results:** Spatial and seasonal changes in the concentration and contamination level of copper and lead showed that the highest pollution rate of these elements occurred in Isfahan in spring. They also indicated that the highest degree of street dust pollution with zinc was found in the city of Flavarjan in the spring season. In case of cobalt, the highest pollution level was found in Shahreza City in the winter season. For all the elements, the lowest concentration and level of pollution were obtained for Natanz City in the summer season, and lead showed the lowest concentration in the fall. Except cobalt, soil samples taken from non-urban areas showed the lowest concentration and pollution level. The comparison of the obtained results with the data reported for other cities of the world showed a higher level of pollution of street dust in the urban area of Isfahan compared to other big cities of the world. The concentration of

---

---

copper in the street dust of Isfahan is almost similar to that in Ahvaz and Huainan (China), and that of zinc is lower than Avilés (Spain) and Zhuzhou (China). Furthermore, the concentration of lead is lower than that in Zhuzhou and Huludao (China). Also, cobalt concentration in the street dust of selected cities was higher than that in all the studied cities except for Rabat-Saleh highway (northwestern Morocco) and Huainan (China).

**Conclusion:** The results of this investigation and their comparison with those of other studies indicated that the mean concentration of copper, zinc, and lead elements in street dust was highest in all the cities, except for Natanz. This is mainly due to higher traffic, more population and the density of machinery, the presence of more and larger constructions in big cities, the transit of vehicles, and the presence of more intense atmospheric dust storms in the central areas of Isfahan province, drought and lack of sufficient rain. The lower concentration of selected heavy elements in the street dust of Natanz City is probably due to the lower population density, different types of parent materials as compared to other cities, and its low industrial activities.

---

Cite this article: Akbary, Behrooz, Khademi, Hossein. 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.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20552.2073

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی اصفهان و تعدادی از شهرهای اطراف

بهروز اکبری<sup>۱</sup>، حسین خادمی<sup>۲\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

رایانامه: [b.akbary@ag.iut.ac.ir](mailto:b.akbary@ag.iut.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [hkhademi@iut.ac.ir](mailto:hkhademi@iut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله کامل علمی - پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰</p> <p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>آلودگی انسان‌زاد، ترافیک، ذرات معلق، عناصر سنگین، محیط شهری</p>	<p><b>سابقه و هدف:</b> ذرات معلق در هوا که معمولاً با نام آئروسول شناخته می‌شوند می‌توانند حامل ذرات و عناصر آلاینده و مضر باشند. گرد و غبار خیابانی به ذراتی در اندازه‌های کوچک‌تر از ۷۰ میکرومتر که بر اثر تعلیق مجدد ذرات حاصل از فعالیت‌های انسانی یا طوفان‌های گرد و غباری وارد محیط‌های شهری می‌شوند، گفته می‌شود. این ذرات میزبان آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین بوده که از منابع مختلف انسان‌زاد و طبیعی تولید می‌شوند. منابع و مقادیر این فلزات در فصل‌ها و شهرهای مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد. اهداف این پژوهش شامل بررسی تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی از عناصر سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهرها در تعدادی از شهرهای استان اصفهان و همچنین مقایسه آن‌ها با تعدادی از شهرهای سایر نقاط ایران و جهان بوده است.</p> <p><b>مواد و روش‌ها:</b> نمونه‌های گرد و غبار خیابانی در نیمه اول از ماه دوم هر یک از چهار فصل در سال ۱۳۹۸ به تعداد ۸۰ نمونه برای اصفهان و ۴۰ نمونه برای هر یک از شهرهای فلاورجان، نجف‌آباد، شهرضا، خمینی‌شهر و نطنز به وسیله ابزارهای مناسب از سطوح معابر شهری به میزان متوسط ۳۰۰ گرم برداشت و در ظروف پلاستیکی، نگهداری شد. سپس از همه نمونه‌ها با روش هضم با اسید نیتریک ۶ نرمال عصاره‌گیری شده و مقادیر غلظت کل عناصر سنگین مس، روی، سرب و کبالت در عصاره‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. در نهایت شاخص‌های زمین‌انباشتگی و آلودگی نمره در نمونه‌ها محاسبه و تغییرات فصلی و مکانی غلظت و شدت آلودگی فلزات سنگین بررسی شد.</p>

**یافته‌ها:** تغییرات مکانی و فصلی غلظت و شدت آلودگی عنصر مس و سرب نشان داد که بیش‌ترین آلودگی این عنصر در شهر اصفهان و هم‌چنین در فصل بهار اتفاق افتاده است. همین بررسی برای عنصر روی بیانگر آن بود که بیش‌ترین آلودگی گرد و غبار خیابانی مربوط به شهر فلاورجان در فصل بهار بوده است. برای عنصر کبالت بیش‌ترین آلودگی برای شهر شهرضا و در فصل زمستان به‌دست آمد. در تمامی عناصر کم‌ترین مقدار غلظت و شدت آلودگی برای شهر نطنز در فصل تابستان به‌دست آمده و عنصر سرب در فصل پاییز کم‌ترین غلظت را نشان داد. به غیر از عنصر کبالت، کم‌ترین مقدار غلظت و شدت آلودگی عناصر سنگین این مطالعه در خاک‌های اطراف شهرها اندازه‌گیری شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده با داده‌های گزارش شده برای سایر شهرهای جهان نمایانگر آلودگی بیش‌تر گرد و غبار خیابانی کلان‌شهر اصفهان نسبت به سایر شهرهای بزرگ دنیا می‌باشد. غلظت عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار خیابانی شهر اصفهان برای عنصر مس تقریباً مشابه اهواز و هوانیان (چین) و برای عنصر روی کم‌تر از آویلیس (اسپانیا) و ژوژو (چین) بوده، برای عنصر سرب کم‌تر از ژوژو و هولودائو (چین) بوده و برای عنصر کبالت بالاتر از همه شهرهای مورد مطالعه به غیر از بزرگراه رباط- ساله (شمال غربی مراکش) و هوانیان ارزیابی شد.

**نتیجه‌گیری:** از نتایج حاصله و بررسی‌های انجام شده در این مطالعه و مقایسه با سایر مطالعات می‌توان بیان داشت که میانگین غلظت عناصر مس، روی و سرب در گرد و غبار خیابانی بیش‌ترین مقدار را در همه شهرها در مقایسه با نطنز نشان می‌دهد. این امر وجود ترافیک بالاتر، جمعیت بیش‌تر و به طبع تراکم ماشین‌آلات، وجود ساخت و سازهای بیش‌تر و عظیم‌تر در شهرهای بزرگ، رفت و آمدهای ترانزیتی وسایل نقلیه، وجود طوفان‌های گرد و غباری اتمسفری شدیدتر در مناطق مرکزی استان اصفهان، خشکسالی و نبود باران کافی نسبت داده می‌شود. کم بودن مقادیر برخی عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر نطنز احتمالاً به دلیل تراکم جمعیت کم‌تر، جنس مواد مادری متفاوت نسبت به سایر شهرهای مورد مطالعه و فعالیت‌های صنعتی کم‌تر می‌باشد.

**استناد:** اکبری، بهروز، خادمی، حسین (۱۴۰۲). تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی اصفهان و تعدادی از شهرهای اطراف. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۳ (۳)، ۹۸-۸۱.

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20552.2073



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

ذرات معلق در هوا معمولاً با نام آئروسول شناخته شده و می‌توانند حامل ذرات و عناصر آلاینده و مضر در محیط‌های شهری باشند. گرد و غبار اصطلاحی است که در منابع برای ذرات جامدی که بر اثر تعلیق مجدد ذرات حاصل از فعالیت‌های انسانی یا طوفاهای گرد و غباری وارد محیط می‌شوند، به کار می‌رود (۱). یکی از انواع گرد و غبار که ارتباط جدی با سلامتی جمعیت شهری دارد گرد و غبار خیابانی است. این نوع گرد و غبار تحت تأثیر فرآیندهای مختلف می‌تواند از طریق ترافیک یا ذرات تعلیق مجدد بادرفتی در هوا معلق شود. اندازه ذرات مناسب برای تعلیق گرد و غبار خیابانی به کم‌تر از ۷۰ میکرومتر، یا حتی کم‌تر از ۱۰ میکرومتر محدود می‌شود (۲ و ۳). گرد و غبار خیابانی نوعی از رسوب ته‌نشست شده در محیط شهری است، که شامل ذرات جامد رسوب کرده روی سطوح مناطق باز محیطی می‌باشد (۴ و ۵). ذرات جامد رسوب کرده می‌تواند حامل عناصر سمی موجود در گرد و غبار خیابان‌ها بوده و از طریق سه مسیر شامل استنشاق مستقیم، بلعیدن و جذب از طریق تماس پوستی وارد بدن انسان می‌شوند (۶، ۷ و ۸). از جمله مهم‌ترین عناصر سمی حمل شده توسط ذرات گرد و غبار خیابانی فلزات سنگین<sup>۱</sup> هستند. دو دیدگاه کلی برای تعریف فلزات سنگین وجود دارد، از دیدگاه شیمیایی، فلزات (شبه فلزات) سنگین معمولاً به گروهی از فلزات (شبه فلزات) با جرم اتمی نسبتاً بالا (بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) مانند سرب، کادمیوم، جیوه، مس، آرسنیک، نیکل، کروم و روی گفته می‌شود (۹ و ۱۰). از دیدگاه بیولوژیکی این عناصر به مجموعه‌ای از فلزات (در بعضی موارد شبه فلزات) گفته می‌شود که حتی در غلظت‌های پایین می‌توانند برای گیاهان و حیوانات سمی باشند (۱۱ و ۱۲). عامل اصلی

تعیین‌کننده غلظت کل فلزات (شبه فلزات) سنگین در خاک‌های جهان منبع سنگ‌زاد یا لیتوژنیک<sup>۲</sup> این عناصر می‌باشد. در بررسی‌های مختلف روی غلظت عناصر سنگین پوسته زمین، کم‌ترین غلظت را عنصر کادمیوم دارد، در حالی که غلظت نسبتاً زیاد روی در مقایسه با مس، سرب و نیکل کاملاً مشهود است (۹). هم‌چنین گرد و غبار خیابانی شاخص مناسب‌تری برای کیفیت آلودگی محیط‌های شهری نسبت به بررسی این کیفیت در هر یک از موارد جداگانه شامل هوا، آب و خاک است، زیرا منعکس‌کننده اثرات آلاینده‌های چندمحیطی می‌باشد (۱۳).

مطالعات متعددی روی گرد و غبار خیابانی شهرها و محیط‌های انسانی انجام شده است. غلظت آلاینده‌ها از جمله عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی علاوه بر تغییرات مکانی دارای تغییرات فصلی نیز می‌باشد. لیو و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه خود در گوئیژو در کشور چین نشان داد که غلظت سرب در گرد و غبار خیابانی معمولاً در تابستان به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. این پژوهش‌گران گزارش کردند که میزان ذرات سرب‌دار اتمسفری در فضای بیرون در تابستان بیش‌ترین مقدار بوده و در این زمان تعلیق مجدد ذرات گرد و غبار از منابع مختلف بیشینه می‌باشد (۱۴). مطالعه ژیانگ و همکاران (۲۰۱۰) در کلان‌شهر پکن طی سه فصل پاییز، زمستان و بهار نشان داد که غلظت عناصر سنگین جذب شده در گرد و غبار خیابانی در زمستان ۱۰ تا ۳۰٪ بالاتر از بهار و پاییز است. نتایج ارزیابی شاخص زمین‌انباشتگی<sup>۳</sup> (I<sub>geo</sub>) در این بررسی بیانگر آن بود که گرد و غبار خیابانی در پکن به وسیله مس و روی در سطح متوسط آلوده شده و در ارتباط با سرب و کروم بدون آلودگی است یا تا حد متوسط آلوده می‌باشد. این مطالعه

2- Lithogenic

3- Geoaccumulation Index

1- Heavy Metals

هدف این مطالعه بررسی تغییرات فصلی غلظت و درجه آلودگی مهم‌ترین فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهرهای اصفهان، نجف‌آباد، شهرضا خمینی‌شهر، فلاورجان و نطنز و تعیین منشاء احتمالی (انسان‌زاد یا طبیعی) آن‌ها و همچنین بررسی این تغییرات و مقایسه آن با تعدادی از شهرهای ایران و سایر نقاط جهان بوده است.

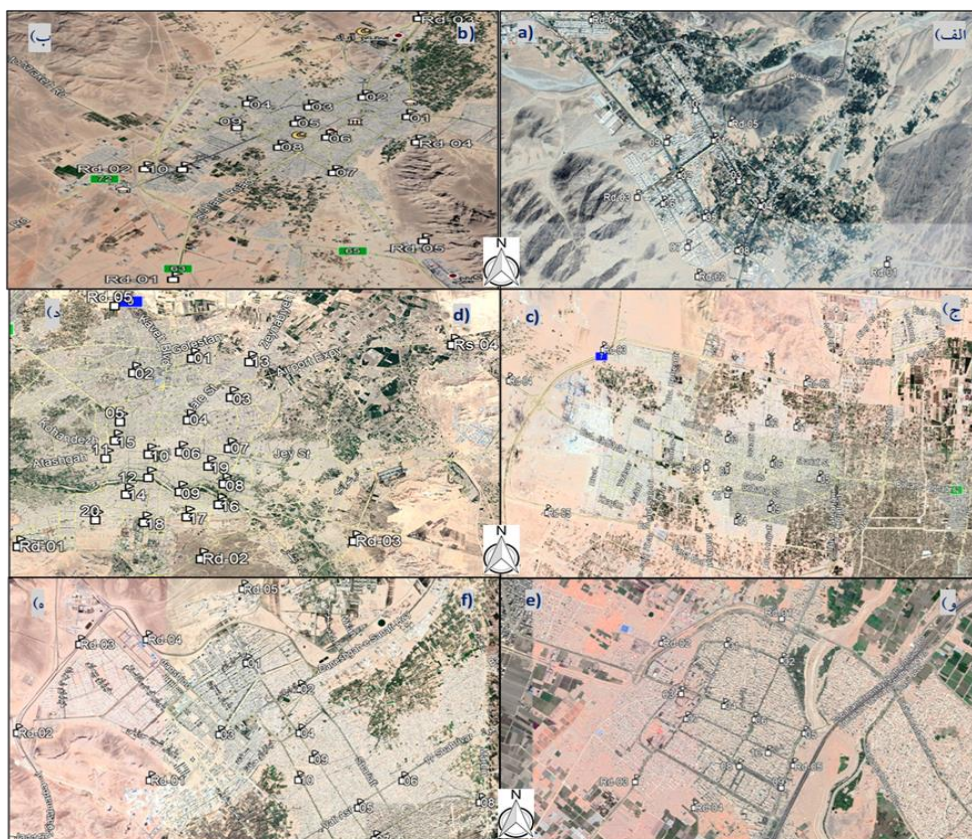
### مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از گرد و غبار خیابانی به تعداد ۸۰ نمونه در شهر اصفهان و ۴۰ نمونه از هر یک از شهرهای نجف‌آباد، شهرضا خمینی‌شهر، فلاورجان و نطنز و همچنین ۵ نمونه از خاک‌های اطراف هر یک از شهرها انجام شد. شهر اصفهان به عنوان بزرگ‌ترین شهر و مرکز استان و سایر شهرها به‌عنوان برخی از شهرهای دیگر استان با تراکم جمعیتی و صنعتی و ترافیکی متفاوت در استان انتخاب گردید. نمونه‌برداری به صورت فصلی در نیمه ابتدایی ماه دوم هر فصل (شهر اصفهان ۲۰ نمونه و سایر شهرها ۱۰ نمونه در هر فصل) در سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. همچنین، از عمق سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) خاک‌های اطراف هر شهر در مکان‌هایی با حداقل تأثیرات انسانی تعداد ۵ نمونه برداشت شد. نحوه نمونه‌برداری بدین صورت بود که نقاطی در سطوح معابر شهرها انتخاب شده که کم‌ترین تغییرات موقتی و موضعی حاصل از فعالیت‌های انسانی را داشته باشد. سپس از این مناطق توسط جاروب و نمونه‌بردار مناسب مقدار متوسط ۳۰۰ گرم گرد و غبار خیابانی موجود در سطوح معابر جمع‌آوری و به کیسه‌های پلاستیکی مخصوص جهت انتقال به آزمایشگاه منتقل شد. مکان‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

هم‌چنین نشان داد که مکان‌هایی مانند مناطق تجاری و مناطق ترافیکی که فعالیت‌های شدید انسانی دارند از نظر گرد و غبار خیابانی نسبت به پارک‌ها آلوده‌تر می‌باشند (۱۵). نکته بسیار مهم در مورد غلظت عناصر سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی تفاوت در شدت تغییرات غلظت این عناصر در مکان‌های مختلف شهری است. در بررسی‌های انجام شده توسط مارین سن لئوناردو و همکاران (۲۰۱۸) در گرد و غبار خیابان‌های شهر مورسیای اسپانیا (۱۶)، کابادایی و کشور (۲۰۱۰) در ترکیه (۱۷) و تروگیلو و همکاران (۲۰۱۶) در کلمبیا (۱۸) این موضوع به خوبی نشان داده شده است.

علاوه بر این که گرد و غبار خیابانی در کشورهای مختلف دنیا طی دهه‌های اخیر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است، در ایران نیز تعدادی از پژوهش‌گران به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. هلیل و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر آبادان نشان دادند که غلظت تمام عناصر سنگین به جز وانادیوم در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر آبادان چندین برابر بیش‌تر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) می‌باشد (۱۹). کشاورزی و همکاران (۲۰۱۵) در شیراز نشان دادند که عناصر سنگین کروم، مس، نیکل، سرب و روی در گرد و غبار خیابانی شیراز به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از مقادیر این عناصر در خاک‌های جهان می‌باشد (۲۰). کایدان و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی نمونه‌های خاک پارک‌های شهر اهواز نشان دادند که ترتیب میانگین غلظت عناصر به صورت  $Cr > Zn > Ni > Pb > Cu > V$  می‌باشد (۲۱).

تاکنون مطالعه جامعی در ارتباط با وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی کلان‌شهر مهم اصفهان و شهرهای اطراف آن صورت نگرفته است. بنابراین



شکل ۱- محل نمونه برداری گرد و غبار خیابانی در شهرهای مورد مطالعه  
(الف: نطنز، ب: شهرضا، ج: نجف‌آباد، د: اصفهان، ه: خمینی شهر، و: فلاورجان).

Figure 1. Locations of street dust sampling in different cities  
(a: Natanz, b: Shahreza, c: Najafabad, d: Isfahan, e: Khomeinishahr, f: Falavarjan).

برای تعیین شدت آلودگی گرد و غبار خیابانی به عناصر سنگین از دو شاخص زمین‌انباشتگی ( $I_{geo}$ ) و نمرو با فرمول محاسبه‌ای زیر استفاده شد:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 5.1 * B_n) \quad (1)$$

در این معادله،  $I_{geo}$  شاخص زمین‌انباشتگی یا شاخص شدت آلودگی،  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده عنصر سنگین در نمونه و  $B_n$  غلظت زمینه‌ای همان عنصر سنگین در پوسته زمین می‌باشد که مقادیر آن‌ها در جدول ۱ آمده است (۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷).

طبقه‌بندی مربوط به شدت آلودگی بر اساس این شاخص در جدول ۲ ارائه شده است. از شاخص آلودگی نمرو<sup>۱</sup> ( $PI_{Nemerow}$ ) برای بررسی کمیت

نمونه‌های جمع‌آوری شده بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری در ظروف مخصوص جهت آزمایش‌های مربوطه نگهداری شدند. جهت تعیین مقادیر غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی برداشت شده، مقدار ۰/۵ گرم از هر یک از نمونه‌های گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهر با اسید نیتریک ۶ نرمال هضم و پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. سپس نمونه‌ها توسط کاغذ واتمن ۴۲ عصاره‌گیری و با اسید نیتریک ۱ درصد به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسیدند (۲۲) و (۲۳). غلظت کل فلزات مس، کبالت، سرب و روی با دستگاه جذب اتمی در همه نمونه‌های گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهر تعیین شد.

1- Nemerow Pollution Index

در این معادله مقدار PI همان شاخص آلودگی بوده که برای هر عنصر مقادیر میانگین ( $PI_{Ave}$ ) و حداکثر ( $PI_{Max}$ ) طبق معادله زیر محاسبه شد:

$$PI = C_n / B_n \quad (3)$$

در معادله فوق، PI شاخص آلودگی،  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده عنصر سنگین در نمونه،  $B_n$  غلظت زمینه‌ای همان عنصر سنگین در پوسته زمین و n تعداد فلزات سنگین مورد ارزیابی می‌باشد (۲۵). طبقه‌بندی مربوط به شدت آلودگی شاخص نمره نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی استفاده شد. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص، ریسک آلودگی به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند در منطقه مشخص می‌شود.

این شاخص با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (۲۵):

$$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{(PI_{Ave})^2 + (PI_{Max})^2}{n}} \quad (2)$$

جدول ۱- غلظت زمینه‌ای عناصر سنگین در پوسته زمین (mg/kg) (۲).

Table 1. Background concentration of heavy metals in the Earth's crust (mg/kg) (2).

عناصر Elements	پوسته فوقانی Upper crust
Co	12
Cu	14
Pb	17
Zn	52

جدول ۲- شدت آلودگی بر اساس شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) (۲۵).

Table 2. Intensity of pollution based on geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) (25).

شدت آلودگی Intensity of pollution	مقدار $I_{geo}$ value of $I_{geo}$
بدون آلودگی Unpolluted	$0 \geq$
بدون آلودگی تا نسبتاً آلوده Unpolluted to moderately polluted	1-0
نسبتاً آلوده Moderately polluted	2-1
نسبتاً آلوده تا آلودگی زیاد Moderately polluted to highly polluted	3-2
آلودگی زیاد Highly polluted	4-3
آلودگی زیاد تا شدیداً آلوده Highly polluted to heavily polluted	5-4
شدیداً آلوده Heavily polluted	6-5



جدول ۳- شدت آلودگی بر اساس شاخص آلودگی نمره (PI<sub>Nemerow</sub>) (۲۵).

Table 3. Intensity of pollution based on Nemerow pollution index (PI<sub>Nemerow</sub>) (25).

مقدار PI <sub>Nemerow</sub> value of PI <sub>Nemerow</sub>	شدت آلودگی Intensity of pollution
$0.7 \geq$	بدون آلودگی یا پاک Unpolluted or clean
1-0.7	محدوده خطر Risk range
2-1	آلودگی خفیف یا جزئی Slight or partial polluted
3-2	آلودگی متوسط Moderate polluted
$3 \leq$	آلودگی زیاد Highly polluted

به صورت اصفهان < خمینی شهر < نجف آباد < فلاورجان < شهرضا < نظنز می باشد. بالا بودن مقادیر مس در گرد و غبار خیابانی شهرها در مقایسه با نمونه های اطراف شهر نمایانگر تأثیرات انسان زاد منابع ایجاد این عنصر در محیط های شهری است. بررسی های فصلی نیز نشان می دهد که شدت آلودگی عنصر مس در گرد و غبار خیابانی تمامی شهرها و فصول مورد بررسی بیش تر از نمونه های اطراف شهر می باشد. فصل بهار بیش ترین آلودگی گرد و غبار خیابانی به مس را در اکثر شهرها نشان داده و در مقابل کم ترین مقدار آلودگی گرد و غبار خیابانی به مس مربوط به فصل تابستان می باشد. احتمالاً موضوع فوق را می توان به بارندگی های بهاری نسبت داد که با انتقال آلودگی اتمسفری به سطح زمین و هم چنین شستشوی آلودگی تجمع یافته روی سطوح گیاهان فضای سبز شهری و انتقال آن به سطوح معابر و پیاده روها (محل برداشت نمونه های گرد و غبار خیابانی) غلظت برخی عناصر از جمله مس را در نمونه ها افزایش داده است. در مطالعه نوروزی و همکاران (۱۳۹۴) بیش ترین مقدار غلظت مس در گرد و غبار اتمسفری در زمستان گزارش گردید (۲۸) در حالی که در گرد و غبار

توصیف آماری نتایج آزمایشگاهی و رسم نمودارهای مکانی و فصلی غلظت و شدت عناصر سنگین و شاخص های مورد بررسی در گرد و غبار خیابانی و خاک های اطراف شهرها با استفاده از نرم افزار IBM SPSS 28 انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه گیری عناصر سنگین و محاسبه شاخص های سطح آلودگی آن ها در شکل های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. در ادامه نتایج مرتبط به هر عنصر بحث می شود:

**عنصر مس:** بررسی نتایج این مطالعه نشان داد که بیش ترین غلظت و شدت آلودگی برای عنصر مس موجود در گرد و غبار خیابانی و خاک های اطراف شهر است و در تمام فصول بیش ترین مقدار مربوط به شهر اصفهان و کم ترین آن مربوط به شهر نظنز می باشد (شکل ۲- الف). شاخص I<sub>geo</sub> تغییرات غلظت نمونه ها را نسبت به غلظت آن عنصر در پوسته زمین مورد ارزیابی قرار می دهد. بررسی این شاخص در شکل ۱- الف نشان می دهد که ترتیب سطح آلودگی گرد و غبار خیابانی به مس برای شهرها

(۱۳۸۹) بر روی خاک‌های شهری و مطالعات محمودی (۱۳۹۰) و نوروزی (۱۳۹۴) بر روی گرد و غبار اتمسفری اصفهان مقادیر نسبتاً مشابهی گزارش گردیده است. این مطالعات منابع انسان‌زاد را یکی از عوامل افزایش این عنصر در گرد و غبار اتمسفری می‌دانند (۲۷، ۳۳ و ۳۴). لازم به ذکر است که گرد و غبار اتمسفری نسبت به گرد و غبار خیابانی از نظر منشا و ماهیت گاه‌ها تا حدی متفاوت می‌باشد.

**عنصر سرب:** تغییرات مکانی و فصلی غلظت و شدت آلودگی گرد و غبار خیابانی برای عنصر سرب (شکل ۲-ج) نشان می‌دهد که ترتیب تغییرات برای شهرها به صورت اصفهان < نجف‌آباد < شهرضا < خمینی‌شهر < فلاورجان < نطنز می‌باشد. بررسی فصلی غلظت عناصر برای شهرها نشان می‌دهد که آلودگی گرد و غبار خیابانی به عنصر سرب در فصل‌های بهار < تابستان < زمستان < پاییز می‌باشد که نمایانگر تأثیرات انسانی در آلودگی این عنصر در محیط‌های شهری است. مقدار این آلودگی برای شهرهای اصفهان و نجف‌آباد در فصل بهار و خمینی‌شهر و شهرضا در فصل تابستان و همچنین در فصل زمستان در شهر نجف‌آباد مشهود است. با بررسی شاخص  $I_{geo}$  در شکل ۲-ج می‌توان بیان داشت که بیش‌ترین شدت آلودگی سرب در گرد و خیابانی مربوط به شهر اصفهان در فصل بهار بوده و کم‌ترین آن مربوط به شهر نطنز در تمامی فصول می‌باشد. خاک‌های اطراف شهرها با توجه به مقادیر این شاخص فاقد آلودگی به سرب می‌باشند. در مطالعه ملک‌زاده (۱۳۹۱) و اتابکی و همکاران (۱۳۹۷) روی خاک‌های محدوده بختیار دشت اصفهان حضور کم سرب در خاک‌های این منطقه گزارش شده است (۳۶ و ۳۷). مطالعات دیویس و همکاران (۱۹۸۷) و استینس و همکاران (۱۹۸۴) و استینس و همکاران (۱۹۸۹) روی نمونه‌های خاک و گرد و غبار اتمسفری نشان داد که بخش اعظم سرب گزارش شده در

خیابانی در این مطالعه بیش‌ترین غلظت و شدت آلودگی عنصر مس برای فصل بهار به‌دست آمد. با این وجود نتایج پتانسیل آلودگی عنصر مس را در محیط‌های شهری بیش‌تر از محیط‌های اطراف آن نشان داده است. این موضوع همچنین در مطالعات دیویس و همکاران (۱۹۸۷) لیو و همکاران (۲۰۰۲) و ژیانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است (۱۴، ۱۵ و ۲۹).

**عنصر کبالت:** تغییرات غلظت و شدت آلودگی عنصر کبالت در گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهرها در مجموع کل سال روند شهرضا < فلاورجان < اصفهان < نجف‌آباد < خمینی‌شهر < نطنز را نشان می‌دهد (شکل ۲-ب). بیش‌ترین مقدار غلظت کبالت در گرد و غبار خیابانی در زمستان و کم‌ترین آن در بهار به‌دست آمده است. بررسی نتایج شاخص  $I_{geo}$  عنصر کبالت در گرد و غبار خیابانی در شکل ۲-ب نشان می‌دهد که ترتیب آلودگی کبالت برای فصل‌ها به صورت زمستان < پاییز < بهار < تابستان می‌باشد. تنها در فصول پاییز و زمستان غلظت کبالت در گرد و غبار خیابانی برخی شهرها از جمله شهرضا بیش‌تر از غلظت خاک‌های اطراف شهر می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که بخشی هر چند ناچیز از کبالت موجود در گرد و غبار این شهرها از فعالیت‌های انسانی منشا می‌گیرد ولی عمده آن در تمام فصول منشا طبیعی داشته و به مواد مادری خاک‌ها نسبت داده می‌شود. مقادیر کبالت در گرد و غبار خیابانی در این مطالعه در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در مطالعات لی و همکاران (۲۰۱۳)، میهایلوویچ و همکاران (۲۰۱۵) و امجدیان و همکاران (۲۰۱۸) بیش‌تر بوده که می‌تواند بخش کوچکی به فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده و بخش اعظم آن مشابه بسیاری از مطالعات (۳۰، ۳۱ و ۳۲) به منشاء طبیعی نسبت داده می‌شود. در مطالعات دنکوب

گرد و غبار خیابانی برای شهرها در فصل‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ترتیب کاهشی کلی برای عناصر روند تغییرات مقابل را نشان می‌دهد: مس < روی < سرب < کبالت. هم‌چنین برای شهرهای اصفهان و فلاورجان درصد سهم غلظت عناصر گرد و غبار خیابانی روند فصلی بهار < زمستان < پاییز < تابستان را نشان می‌دهد.

برای شهر خمینی‌شهر درصد سهم غلظت عناصر گرد و غبار خیابانی روند فصلی بهار < زمستان < تابستان < پاییز را نشان می‌دهد. این روند برای شهرهای شهرضا و نطنز تابستان < پاییز < زمستان < بهار می‌باشد. برای نجف‌آباد این تغییرات به صورت پاییز < زمستان < بهار < تابستان می‌باشد. مقایسه درصد سهم میانگین فصلی غلظت کل عناصر سنگین گرد و غبار خیابانی این مطالعه با دیگر مطالعات انجام شده در سایر شهرهای جهان (شکل ۵) موارد زیر را نشان می‌دهد:

**Cu:** میانگین غلظت این عنصر در گرد و غبار خیابانی شهر اصفهان از سایر شهرهای مورد مطالعه بیش‌تر و در مقایسه با نتایج حاصل از مطالعات دیگر بالاتر یا تقریباً هم اندازه اهواز (ایران) و هوانیان (چین) می‌باشد. هم‌چنین میانگین غلظت مس در گرد و غبار خیابانی شهرهای نجف‌آباد و شهرضا از همه شهرهای مطالعه شده به غیر از هولودائو (چین)، اسلام‌شهر (ایران)، اهواز (ایران) و موریسیا (اسپانیا) بالاتر می‌باشد (۱۶، ۴۱، ۴۲ و ۴۳).

**Zn:** میانگین غلظت این عنصر در گرد و غبار خیابانی شهر اصفهان نسبت به شهرهای آویلیس (اسپانیا)، ژوژو (چین)، بائوجی (چین)، موریسیا (اسپانیا)، اسلام‌شهر (ایران)، شیراز (ایران)، آبادان (ایران)، کاوالا (یونان)، تهران (ایران)، کردستان (عراق)، ماساچوست (آمریکا)، کاشان (ایران) کم‌تر بوده و نسبت به سایر شهرها میانگین غلظت بیش‌تری دارد (۱۶، ۲۰، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۴۲، ۴۴، ۴۵، ۴۶ و ۴۷).

بسیاری از مناطق ناشی از انتشار توسط فعالیت‌های انسان‌زاد می‌باشد (۲۹، ۳۸ و ۳۹).

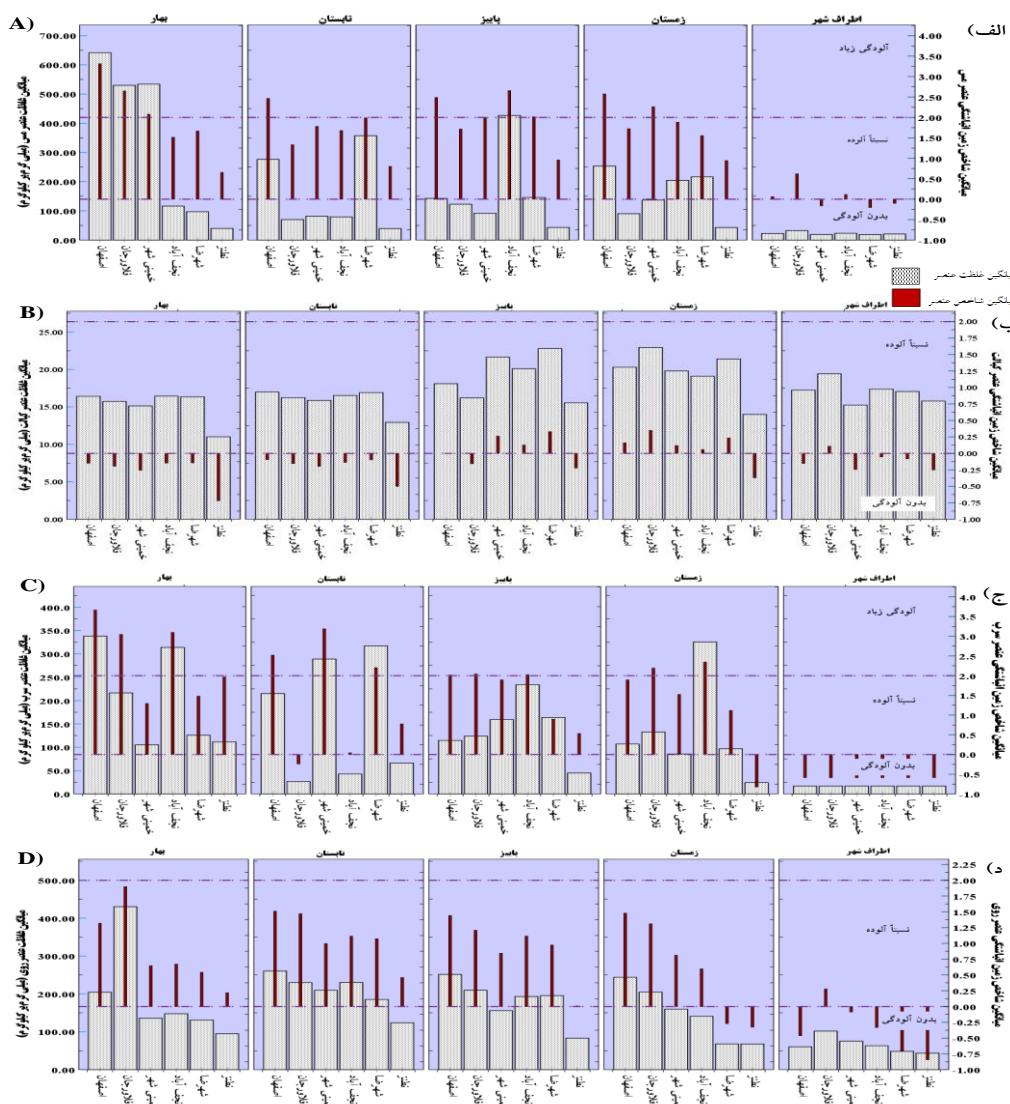
**عنصر روی:** تغییرات مکانی و فصلی غلظت و شدت عنصر روی (شکل ۲-د) نشان می‌دهد که میزان روی در گرد و غبار خیابانی شهرهای مختلف روند فلاورجان < اصفهان < نجف‌آباد < خمینی‌شهر < شهرضا < نطنز دنبال می‌نماید. تغییرات فصلی غلظت این عنصر نشان می‌دهد که در فصول بهار، پاییز و زمستان و در مقدار خیلی کم‌تر برای تابستان، میزان آلودگی گرد و غبار خیابانی به روی تقریباً در اکثر شهرها به غیر از نطنز مشابه است. بررسی نتایج شاخص I<sub>geo</sub> برای عنصر روی (شکل ۲-د) نشان می‌دهد که میزان آلوده بودن گرد و غبار خیابانی شهرها به این عنصر ترتیب کاهشی فلاورجان < اصفهان < نجف‌آباد < خمینی‌شهر < شهرضا < نطنز را دنبال می‌کند. نتایج مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که حضور روی در زون‌های زمین‌شناسی در منطقه به میزان زیادی غلظت این عنصر را افزایش داده است (۳۵). هم‌چنین در مطالعات محمودی (۱۳۹۰) و دنبای و همکاران (۲۰۱۸) و اوردونز و همکاران (۲۰۰۳) علت آلودگی بیش‌تر آن را منابع انسان‌زاد عنوان کرده‌اند (۳، ۳۴ و ۴۰).

بررسی شاخص آلودگی نمر و عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار خیابانی (شکل ۳) نشان می‌دهد که روند تغییرات این شاخص برای فصل‌ها به صورت فصل بهار < پاییز و زمستان < تابستان می‌باشد. هم‌چنین بررسی تغییرات نشان می‌دهد که در تمامی شهرها و فصل‌های مورد بررسی پتانسیل آلودگی زیاد این عناصر وجود دارد و در خاک‌های اطراف شهر مقدار آلودگی به این عناصر در محدوده خطر است. **مقایسه با سایر نقاط جهان:** همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد درصد سهم میانگین غلظت مربوط به هر عنصر نسبت به غلظت کل عناصر مورد مطالعه در

و سرب را در بین شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد (۳۱، ۴۱، ۴۶، ۴۷، ۴۸ و ۴۹).

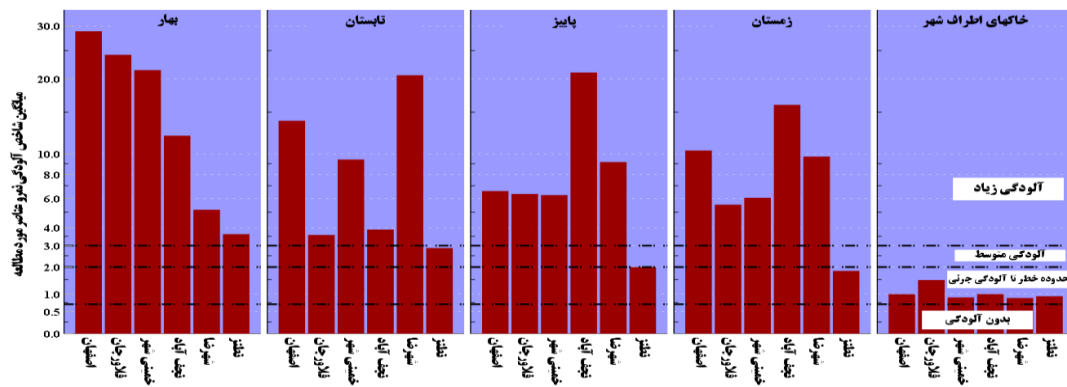
**Co:** تمام شهرهای این مطالعه نسبت به سایر شهرهای جهان به غیر از بزرگراه رباط- ساله (شمال غربی مراکش) و هوانیان (چین) دارای میزان غلظت بالاتری از کبالت در گرد و غبار خیابانی هستند (۴۳ و ۵۰).

**Pb:** میانگین غلظت این عنصر در گرد و غبار خیابانی شهر اصفهان در مقایسه با میانگین غلظت دیگر شهرها نشان می‌دهد که شهرهای ژوزو (چین)، هولودائو (چین)، آویلیس (اسپانیا)، بائوجی (چین)، کاوالا (یونان)، نجف‌آباد (این مطالعه)، اهواز (ایران)، سیواس (ترکیه) بالاتر بوده، در حالی که سایر شهرها مقدار میانگین غلظت کم‌تری را گزارش می‌کنند. شهرستان نطنز کم‌ترین مقدار میانگین غلظت عناصر مس، روی



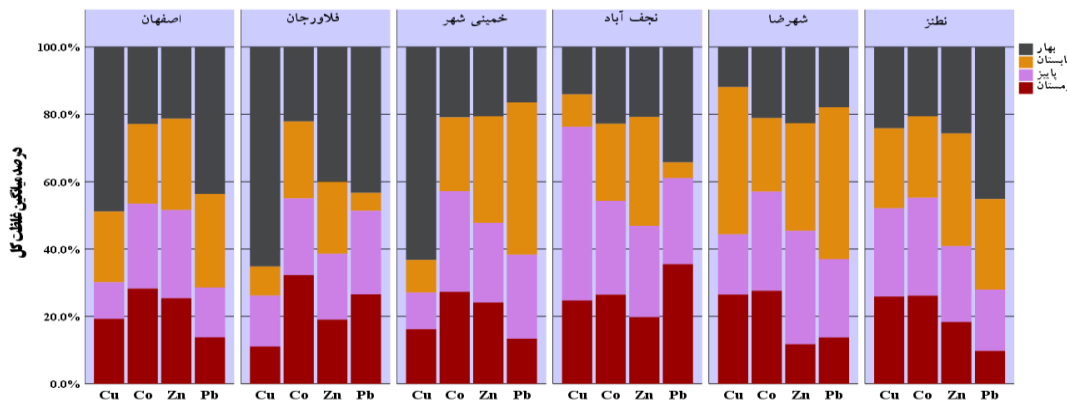
شکل ۲- تغییرات مکانی و فصلی میانگین غلظت و شاخص زمین‌انباشتی عناصر سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهرهای مورد مطالعه (الف: عنصر مس، ب: عنصر کبالت، ج: عنصر سرب، د: عنصر روی).

Figure 2. Spatial and seasonal changes of mean concentration and geoaccumulation index of studied heavy metals in the street dust samples and soils around the cites investigated (A: Copper, B: Cobalt, C: Lead, D: Zinc).



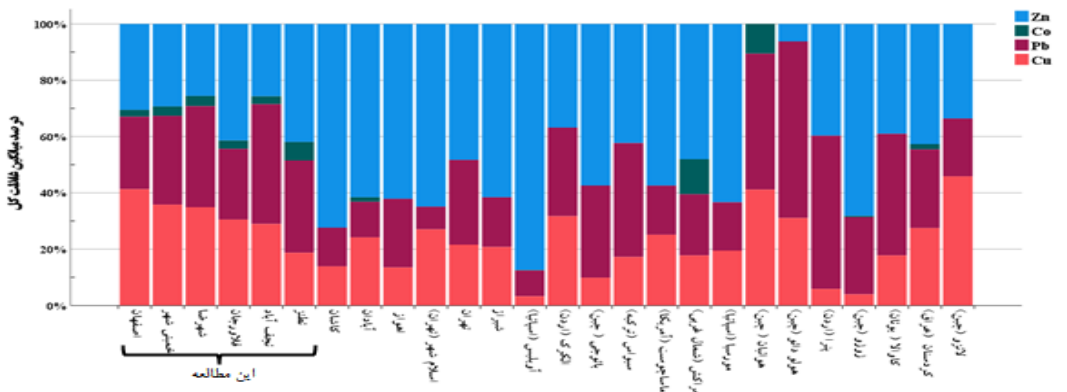
شکل ۳- تغییرات مکانی و فصلی میانگین شاخص آلودگی نمرود عناصر سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی و خاک‌های اطراف شهر.

Figure 3. Spatial and seasonal changes of the Nemerow pollution index of the studied heavy metals in the street dust and soil samples around the cities investigated.



شکل ۴- مقایسه فصلی درصد سهم میانگین غلظت عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی شهرهای مورد مطالعه.

Figure 4. Seasonal comparison of the percentage loading of the mean concentration of heavy metals in the street dust of the studied cities.



شکل ۵- مقایسه درصد سهم میانگین غلظت عناصر سنگین بررسی شده در گرد و غبار خیابانی شهرهای مورد مطالعه با سایر شهرهای ایران و جهان.

Figure 5. Comparison of the percentage loading of the mean concentration of heavy metals studied in the street dust of the cities investigated with other Iranian cities and cities in the world.

### نتیجه‌گیری کلی

عناصر سنگین از آلاینده‌های مهم محیط زیست بوده که دلیل آن پایداری و تجزیه‌ناپذیری و همچنین مشکلات فراهمی زیستی این عناصر می‌باشد. غلظت عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی در مناطق مختلف بسته به نوع فعالیت غالب متفاوت می‌باشد. از نتایج حاصله و بررسی شاخص‌ها در این مطالعه و مقایسه با سایر مطالعات می‌توان بیان داشت که بالا بودن میانگین غلظت برخی عناصر به دلایل وجود ترافیک بالاتر، جمعیت بیشتر و به طبع تراکم ماشین‌آلات، وجود ساخت و سازهای بیشتر و عظیم‌تر در شهرهای بزرگ (به‌خصوص کلان‌شهر اصفهان)، رفت و آمدهای ترانزیتی وسایل در همه شهرها به غیر از نظنز، وجود طوفان‌های گرد و غباری اتمسفری شدیدتر در مناطق مرکزی استان اصفهان، خشکسالی و نبود باران کافی اشاره می‌گردد. کم بودن مقادیر برخی عناصر سنگین در شهر نظنز را می‌توان به تراکم جمعیت کم‌تر، نوع مواد مادری متفاوت نسبت به سایر شهرهای مورد مطالعه و فعالیت‌های صنعتی کم‌تر آن نسبت داد. شاخص‌های آلودگی گرد و غبار خیابانی شامل شاخص زمین‌انباشتگی (I<sub>geo</sub>) و شاخص آلودگی نمره در برخی از شهرها آلودگی گرد و غبار خیابانی را نشان می‌دهد که شدت آن از متوسط تا شدید متغیر می‌باشد. این موضوع تأثیر منابع انسان‌زاد در آلودگی بخش اعظم این عناصر در گرد و غبار خیابانی را تأیید می‌کند. هم‌چنین، این

شاخص‌ها فرض آلودگی بیش‌تر در فصل زمستان را برای سه عنصر مس، روی و سرب رد کرده و بیش‌ترین میزان آلودگی گرد و غباری به این عناصر را در فصل بهار نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان گفت که با استفاده از افزایش شستشو و تمیزکاری مکرر معابر عمومی و هم‌چنین درخواست استفاده از پوشش محافظ در اطراف مکان‌های در حال ساخت و ساز باید میزان منابع ایجاد فلزات سنگین و سایر ذرات موجود در گرد و غبارهای شهری شامل گرد و غبار خیابانی را در شهرهای مختلف کاهش داد. هم‌چنین، پیشنهاد می‌شود با بهبود کمی و کیفی فضای سبز شهری که می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی از آلودگی‌ها را به خود جذب کند و سلامت و پاکیزگی بیش‌تر محیط‌های شهری فراهم گردد. به‌علاوه، جهت بهبود ارتقای زندگی شهری بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد که توسعه بی‌رویه منابع آلاینده‌ها اطراف شهرها، به‌ویژه صنایع کنترل گردیده و با ایجاد سیستم‌های مناسب حمل و نقل شهری از میزان آلودگی محیط کاسته شود.

### سپاسگزاری

از دانشگاه صنعتی اصفهان که هزینه‌های انجام این پژوهش را تأمین نموده است، قدردانی می‌گردد.

### منابع

1. McPherson, M. J. (1993). The hazardous nature of dusts. P 741-764, In: M. J. McPherson (Ed.). Subsurface ventilation and environmental engineering. Springer, Netherlands. Dordrecht.
2. Amato, F. (2018). Non-exhaust emissions: an urban air quality problem for public health; impact and mitigation measures. Academic Press. Cambridge, Massachusetts, United States. 342p.
3. Denby, B. R., Kupiainen, K. J., & Gustafsson, M. (2018). Review of road dust emissions. P 183-203. In: F. Amato (Ed.). Non-exhaust emissions. Academic Press. Cambridge, Massachusetts. United States.

4. Jayarathne, A., Egodawatta, P., Ayoko, G. A. & Goonetilleke, A. (2017). Geochemical phase and particle size relationships of metals in urban road dust. *Environmental Pollution*. 230 (1), 218-226. doi: **10.1016/j.envpol.2017.06.059**.
5. Tanner, P. A., Ma, H. L., & Yu, P. K. (2008). Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong. *Environmental Science & Technology*. 42(19), 7111-7117. doi: **10.1021/es8007613**.
6. Aelion, C. M., Davis, H. T., Mcdermott, S., & Lawson, A. B. (2008). Metal concentrations in rural topsoil in South Carolina: Potential for human health impact. *Science of the Total Environment*. 402(1-2), 149-156. doi: **10.1016/j.scitotenv.2008.04.043**.
7. Ahmed, F., & Ishiga, H. (2006). Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*. 40(21), 3835-3844. doi: **10.1016/j.atmosenv.2006.03.004**.
8. Shi, G., Chen, Z., Bi, C., Wang, L., Teng, J., Li, Y., & Xu, S. (2011). A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmospheric Environment*. 45(3), 764-771. doi: **10.1016/j.atmosenv.2010.08.03**.
9. Alloway, B. J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. P 11-50. In: B. J. Alloway (Ed.). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Springer. Dordrecht, Netherlands.
10. Breward, N. (2007). Arsenic and presumed resistate trace element geochemistry of the Lincolnshire (UK) sedimentary ironstones, as revealed by a regional geochemical survey using soil, water and stream sediment sampling. *Applied Geochemistry*. 22(9), 1970-1993. doi: **10.1016/j.apgeochem.2007.03.058**.
11. Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han, W. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination*. 28(4), 380-394. doi: **10.1080/15320383.2019.1592108**.
12. Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*. 180(2), 169-181. doi: **10.1016/j.plantsci.2010.08.016**.
13. Shabbaj, I. I., Alghamdi, M. A., Shamy, M., Hassan, S. K., Alsharif, M. M., & Khoder, M. I. (2018). Risk assessment and implication of human exposure to road dust heavy metals in Jeddah, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(1), 36. doi: **10.3390/ijerph15010036**.
14. Liu, J., Zheng, B., Aposhian, H. V., Zhou, Y., Chen, M. L., Zhang, A., & Waalkes, M. P. (2002). Chronic arsenic poisoning from burning high-arsenic-containing coal in Guizhou, China. *Journal of the Peripheral Nervous System*. 7(3), 208. doi: **10.1046/j.1529-8027.2002.02026\_12.x**.
15. Xiang, L., Li, Y., Yang, Z., & Shi, J. (2010). Seasonal difference and availability of heavy metals in street dust in Beijing. *Environmental Science and Health, Part A*. 45(9), 1092-1100. doi: **10.1080/10934529.2010.486340**.
16. Marín Sanleandro, P., Sánchez Navarro, A., Díaz-Pereira, E., Bautista Zuñiga, F., Romero Muñoz, M., & Delgado Iniesta, M. J. (2018). Assessment of heavy metals and color as indicators of contamination in street dust of a city in SE Spain: influence of traffic intensity and sampling location. *Sustainability*. 10(11), 4105. doi: **10.3390/su10114105**.
17. Kabadayi, F., & Cesur, H. (2010). Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, and Mn in road dusts of Samsun city. *Environmental Monitoring and Assessment*. 168(1), 241-253. doi: **10.1007/s10661-009-1108-1**.
18. Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., Keesstra, S., Brevik, E. C., & Jiménez-Ballesta, R. (2016). Heavy metal accumulation related to population density in road dust samples taken from urban sites under different land uses. *Science of the Total Environment*. 553(1), 636-642. doi: **10.1016/j.scitotenv.2016.02.101**.

19. Halil, M., Ghanavati, N., & Nazarpour, A. (2019). Assessment of the environmental pollution of some heavy metals in abadan city street dust using geographic information system (GIS). Iran. *Journal of Water and Soil Science*. 1(23), 209-221. [In Persian]
20. Keshavarzi, B., Tazarvi, Z., Rajabzadeh, M. A., & Najmeddin, A. (2015). Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment*. 119(1), 1-10. doi: **10.1016/j.atmosenv.2015.08.001**.
21. Kaydan, Z., Ghanavati, N., & Nazarpour, A. (2019). Evaluation of soil pollution with heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni and V) in Ahvaz parks (2016). *Journal of Health*. 10(2), 228-239. [In Persian]
22. Han, X., Lu, X., Zhang, Q., Wuyuntana, Hai, Q., & Pan, H. (2016). Grain-size distribution and contamination characteristics of heavy metal in street dust of Baotou, China. *Environmental Earth Sciences*. 75(1), 468. doi: **10.1007/s12665-016-5316-z**.
23. Khademi, H., Gabarrón, M., Abbaspour, A., Martínez-Martínez, S., Faz, A., & Acosta, J. A. (2019). Environmental impact assessment of industrial activities on heavy metals distribution in street dust and soil. *Chemosphere*. 217(1), 695-705. doi: **10.1016/j.chemosphere.2018.11.045**.
24. Kim, W., Doh, S. J., & Yu, Y. (2009). Anthropogenic contribution of magnetic particulates in urban roadside dust. *Atmospheric Environment*. 43(19), 3137-3144. doi: **10.1016/j.atmosenv.2009.02.056**.
25. Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gąsiorek, M., & Zaleski, T. (2018). Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—a review. *Environmental Geochemistry and Health*. 40(1), 2395-2420. doi: **10.1007/s10653-018-0106-z**.
26. Moradi, Q., & R. Mirzaei. (2015). Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *Iranian Journal of Health and Environment*. 9(4), 443-456. [In Persian]
27. Norouzi, S. (2014). Spatial and temporal changes of dust characteristics in Isfahan region and possibility of using plane tree leaves for biomonitoring atmospheric pollution. Ph.D. Dissertation in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
28. Mazloumi, S., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., & Moin Al-Dini, M. (2016). Evaluation of the presence of elements and quasi-elements in the street dust of west and east of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 10(2), 292-281. [In Persian]
29. Davies, B. E., & Wixson, B. G. (1987). Use of factor analysis to differentiate pollutants from other trace metals in surface soils of the mineralized area of Madison county, Missouri, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*. 33(1), 339-348. doi: **10.1007/BF00294202**.
30. Amjadian, K., Pirouei, M., Mehr, M. R., Shakeri, A., Rasool, S. K., & Haji, D. I. (2018). Contamination, health risk, mineralogical and morphological status of street dusts-case study: Erbil metropolis, Kurdistan region-Iraq. *Environmental Pollution*. 243(1), 1568-1578. doi: **10.1016/j.envpol.2018.09.116**.
31. Li, Z., Feng, X., Li, G., Bi, X., Zhu, J., Qin, H., Dai, Z., Liu, J., Li, Q., & Sun, G. (2013). Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. *Environmental Pollution*. 182(1), 408-416. doi: **10.1016/j.envpol.2013.07.041**.
32. Mihailović, A., Budinski-Petković, L., Popov, S., Ninkov, J., Vasin, J., Ralević, N. M., & Vasić, M. V. (2015). Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. *Journal of Geochemical Exploration*. 150(1), 104-114. doi: **10.1016/j.gexplo.2014.12.017**.
33. Dankob, Z. (2009). Spatial correlation of magnetic susceptibility with total concentration of heavy metals in surface



- soils of Isfahan region. Master's Thesis of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
34. Mahmoudi, Z. (2011). Investigating the geochemical and mineralogical characteristics of atmospheric dust in Isfahan. Master's Thesis of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
35. Karei, M. T. (2015). The geological and mining situation of Isfahan province. P 95-152. In: M. T. Karei (Ed.). Road Map of Geosciences And Mining Of Isfahan Province (Preliminary Edition). Organization of Geology and Mineral Explorations of the country. Ministry of Industry, Mine and Trade. Tehran. [In Persian]
36. Atabaki, M. R. (2018). Investigation of soil heavy metals concentrations (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 2017. *Journal of Research in Environmental Health*. 4(1), 21-30. [In Persian]
37. Cook, A., Weinstein, P., & Centeno, J. (2005). Health effects of natural dust. *Biological Trace Element Research*. 103(1), 1-15. doi: **10.1385/BTER:103:1:001**.
38. Steinnes, E. (1984). Heavy metal pollution of natural surface soils due to long-distance atmospheric transport. P 115-122. In: B. Yaron, G. Dagan and J. Goldshmid (Eds.). Pollutants in Porous Media. Springer. Dordrecht, Netherlands.
39. Steinnes, E., Solberg, W., Petersen, H. M., & Wren, C. D. (1989). Heavy metal pollution by long range atmospheric transport in natural soils of southern Norway. *Water, Air, and Soil Pollution*. 45(1), 207-218. doi: **10.1007/BF00283452**.
40. Ordóñez, A., Loredó, J., De Miguel, E., & Charlesworth, S. (2003). Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 44(1), 160-170. doi: **10.1007/s00244-002-2005-6**.
41. Ghanavati, N., Nazarpour, A., & De Vivo, B. (2019). Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*. 41(2), 875-891. doi: **10.1007/s10653-018-0184-y**.
42. Kamani, H., Mirzaei, N., Ghaderpoori, M., Bazrafshan, E., Rezaei, S., & Mahvi, A. H. (2018). Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*. 24(4), 961-970. doi: **10.1080/10807039.2017.1403282**.
43. Tang, Z., Chai, M., Cheng, J., Jin, J., Yang, Y., Nie, Z., Huang, Q., & Li, Y. (2017). Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in Eastern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 138(1), 83-91. doi: **10.1016/j.ecoenv.2016.11.003**.
44. Adachi, K., & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*. 30(8), 1009-1017. doi: **10.1016/j.envint.2004.04.004**.
45. Apeagyei, E., Bank, M. S., & Spengler, J. D. (2011). Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmospheric Environment*. 45(13), 2310-2323. doi: **10.1016/j.atmosenv.2010.11.015**.
46. Christoforidis, A., & Stamatis, N. (2009). Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*. 151(3-4), 257-263. doi: **10.1016/j.geoderma.2009.04.016**.
47. Lu, S., Wang, H., & Bai, S. (2009). Heavy metal contents and magnetic susceptibility of soils along an urban-rural gradient in rapidly growing city of eastern China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 155(1), 91-101. doi: **10.1007/s10661-008-0420-5**.
48. Elik, A. (2003). Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34(1-2), 145-156. doi: **10.1081/CSS-120017422**.

49. Zheng, N., Liu, J., Wang, Q., & Liang, Z. (2010). Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China. *Science of the Total Environment*. 408(4), 726-733. doi: **10.1016/j.scitotenv.2009.10.075**.

50. Grace, B., Baghdad, B., El Hadi, H., & Laghlimi, M. (2019). Assessment of metal trace element contamination of surface soils by road traffic (Rabat-Sale highway, Morocco). *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 10(3), 1462-1477. doi: **10.34218/IJCIET.10.3.2019.263**.