

## Investigation of Heavy Metals Contamination in Atmospheric Deposition of Zahedan City by Using Pollution Indices

Eisa Solgi<sup>1\*</sup> , Sara Abdollahi<sup>2</sup> 

1. *Corresponding Author*, Associate Professor of Department of Environment, Malayer University, Iran.  
2. Ph.D. student of Department of Environment, Malayer University, Iran.

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 29 November 2020  
**Revised:** 08 May 2021  
**Accepted:** 30 May 2021

**Keywords:**

Environmental indices,  
Heavy metal,  
Dust,  
Zahedan.

### ABSTRACT

Urban environmental pollution by heavy metals causes undesirable changes in the physical, chemical, and biological properties of life's main sources including water, air, and soil. This study has been carried out to map the spatial distribution concentration of heavy metals copper, zinc, lead, and cadmium and to evaluate the ecological and environmental hazards of these pollutants, by pollution indices mCd, Igeo, RI, and Cf indices in Zahedan city. In this research, 90 samples of deposited dust were collected by using a systematic random sampling method, and the concentrations of these metals were measured. To model the spatial distribution of heavy metals, the kriging method was used in Arc GIS. The results of heavy metals concentration measurements showed that the highest mean concentration was obtained for Pb 270.51 (mg. kg-1) and the lowest mean concentration was obtained for Cd 20.74 (mg. kg-1). Also, average concentrations of lead and cadmium were higher than the standard level in the soil. Also, the results of the Pearson correlation coefficient showed that there is a significant correlation between zinc and cadmium. Based on the results of the contamination factor and the potential environmental risk index, the copper and zinc showed a low pollution range, lead high pollution range and cadmium very high pollution range. Geoaccumulation index showed moderate pollution class for cadmium and high pollution class for copper, lead, and zinc. According to the spatial distribution maps, the highest concentrations of metals were observed in the city center and main roads which showed the role of human activities in the distribution of these elements.

---

**Cite this article:** Solgi, E., Abdollahi, S. (2022). Investigation of Heavy Metals Contamination in Atmospheric Deposition of Zahedan City by Using Pollution Indices. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32), 73-86.  
DOI: 10.22111/jneh.2021.36672.1738



© Eisa Solgi.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36672.1738

---

\* Corresponding Author Email: [e.solgi@malayeru.ac.ir](mailto:e.solgi@malayeru.ac.ir)



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۲، تابستان ۱۴۰۱

## بررسی میزان آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات اتمسفری شهر زاهدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی

عیسی سلگی<sup>۱\*</sup>، سارا عبداللهی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه ملایر (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست، دانشگاه ملایر

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آلودگی محیط‌زیست شهری به عناصر سنگین باعث ایجاد تغییرات نامطلوب در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی منابع اصلی حیات شامل آب، هوا و خاک می‌گردد. این پژوهش با هدف تهیه نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین مس، روی، سرب و کادمیوم و بررسی میزان خطرات اکولوژیکی و محیط‌زیستی حاصل از این آلاینده‌ها به کمک شاخص‌های RI، Igeo، mCd و Cf در شهر زاهدان انجام شده است. در این مطالعه با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی ۹۰ نمونه گردوغبار ریزشی جمع‌آوری گردید و غلظت این فلزات، در آنها اندازه‌گیری شد. به‌منظور مدل‌سازی تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین، از روش کریجینگ در محیط ArcGIS بهره گرفته شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نشان داد که بیشترین میانگین غلظت مربوط به سرب ۲۷۰/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میانگین غلظت مربوط به کادمیوم ۲۰/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. همچنین مقدار میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم بیشتر از حد استاندارد آن در خاک بود. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین عنصر روی و کادمیوم همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بر اساس مقادیر مربوط به شاخص ضریب آلودگی و شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی، فلزات مس و روی در محدوده آلودگی کم، سرب در محدوده آلودگی زیاد و کادمیوم در محدوده آلودگی بسیار زیاد قرار دارند. شاخص زمین‌انباشت نیز کلاس آلودگی متوسط برای کادمیوم و کلاس آلودگی بالایی برای عناصر مس، سرب و روی نشان داد. بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی، غلظت فلزات در نواحی مرکز شهر و جاده‌های اصلی بیشترین مقدار را داشت که نقش فعالیت‌های انسانی در توزیع این عناصر را نشان می‌دهد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹	
واژه‌های کلیدی: شاخص‌های محیط‌زیستی، فلزات سنگین، گرد و غبار، زاهدان.	

استناد: سلگی، عیسی، عبداللهی، سارا. (۱۴۰۱). بررسی میزان آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات اتمسفری شهر زاهدان با استفاده از شاخص‌های

آلودگی. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۲)، ۷۳-۸۶. DOI: 10.22111/jneh.2021.36672.1738



© عیسی سلگی، سارا عبداللهی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

## مقدمه

طوفان‌های گردوغبار به معنای افزایش ذرات جامد معلق در جو می‌باشد به طوری که موجب تیرگی نسبی هوا شده، میزان دید افقی یا دید عمودی کاهش یابد و رطوبت نسبی هوا نیز کمتر از ۸۰ درصد شود. این پدیده که در مناطق مجاور بیابان‌ها و نواحی خشک ایران و جهان در فصول گرم سال شایع هستند، به‌عنوان یک فرآیند طبیعی جغرافیایی شناخته شده است و می‌تواند اثرات زیادی را روی محیط‌زیست و زندگی بشر از طریق بروز رخدادهای بهداشتی مثل مشکلات تنفسی و ریوی، مشکلات بینایی و بیماری‌های عفونی داشته باشند. تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های مداوم و دخل و تصرف غیر اصولی انسان در طبیعت می‌تواند احتمال بروز طوفان‌های گردوغبار را افزایش دهد. احتمال بروز این پدیده در فصول بهار و تابستان نسبت به فصول پاییز و زمستان بیشتر می‌باشد و یکی از عوامل مهم در بروز این پدیده، سرعت می‌باشد (کرمانی و همکاران، ۲۰۱۶). فراوانی این رخدادهای در یک منطقه به عواملی از جمله سرعت باد بالا، خاک بدون پوشش، شرایط هوایی خشک، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، سیستم هوای محلی و بیرونی، بارش کوتاه‌مدت، خشکسالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی بستگی دارد (جهانبخش و همکاران، ۲۰۱۴). گسترش روزافزون شهرها و رشد سریع شهرنشینی سبب ایجاد اثرات فراوان محیط‌زیستی در داخل و اطراف شهرها گردیده است (وانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). از مهم‌ترین این اثرات، آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین هستند که ورود آنها به محیط شهری سبب بروز صدمات مختلفی شده است (صبوحی و همکاران، ۲۰۱۸). در حقیقت یکی از چالش‌های اساسی در زمینه محیط‌زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین است. این فلزات با توجه به داشتن اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک بر انسان و سایر موجودات زنده، حیات آنها را با خطرات جدی مواجه ساخته است (سلیمان‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۶). به‌نظر می‌رسد آلودگی به سرب در ایرانیان بالا است که می‌تواند نتیجه مصرف متمادی بنزین سرب‌دار طی سال‌های گذشته، آلودگی مواد غذایی و مواجهه شغلی دانست (گلپایگانی و خانجانی، ۲۰۱۲). از طرفی عنصر کمیاب روی، عنصری ضروری بوده که منشأ اصلی آن خاک است. از جمله علائم مسمومیت با این فلز به‌صورت کاهش جذب اکسیژن و همچنین افزایش ضریب قلب است (صبوحی و همکاران، ۲۰۱۸). فلزات سنگین از مسیرهای مختلف مانند ریزش‌های جوی، استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، کمپوست، لجن فاضلاب و آفت‌کش‌ها به خاک وارد می‌شوند. علاوه بر فرآیندهای طبیعی، خاک‌ها می‌توانند به‌وسیله عناصری که از منابع انسانی در محیط‌زیست آزاد می‌شوند، آلوده شوند. این عناصر می‌توانند در گیاهان و حیوانات تجمع یابند و سرانجام از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل شوند. بلعیدن، تنفس و تماس پوستی از مهم‌ترین مسیرهایی است که انسان در معرض عناصر سنگین قرار می‌گیرد (برزین و همکاران، ۲۰۱۵). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها از طریق مقایسه غلظت‌های کل عناصر سنگین در نمونه‌های برداشت‌شده با استانداردها یا حدود بحرانی مقرر شده کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بسیاری از مطالعات نشان داده است که غلظت عناصر فلزی در خاک‌ها با کاهش اندازه ذرات آنها افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا ذرات ریزتر سطح ویژه بالاتری دارند و می‌توانند مقادیر بیشتری از فلزات سنگین را در خود نگه دارند (ابوییان جهرمی و همکاران، ۲۰۱۷). تاکنون چندین مطالعه در زمینه ارزیابی و به‌ویژه بررسی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار هوا در ایران و سایر کشورها انجام شده است. محمودی و خادمی (۲۰۱۴) نسبت به بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در

گردوغبار اتمسفر اصفهان و برخی شهرهای مجاور اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت فلزات سرب، روی، کادمیوم، مس، نیکل، کبالت، کروم و منگنز بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب برابر با ۲۲۳/۵، ۴۷۰/۳، ۳/۵، ۷۱، ۸۲، ۲۶/۵، ۲۴/۴ و ۴۲۶/۳ و بیشتر از غلظت همین فلزات در مقایسه با خاک‌های منطقه می‌باشد. کمانی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان با نمونه‌برداری از محل‌های مختلف تجاری، مسکونی، فضای سبز (پارک)، صنعتی و منطقه پرتراфик پرداختند. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد در کلیه مناطق مورد مطالعه این پژوهش (به جز مناطق مسکونی) غلظت متوسط فلزات کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی از مقدار غلظت زمینه (حاشیه شهر) بیشتر بود. بقایی و عقیلی (۲۰۱۸) در پژوهشی به سنجش غلظت سرب و کادمیوم موجود در خاک شهر اراک در سال ۱۳۹۶ و ارزیابی خطرات غیرسرطانی آنها پرداختند. یافته‌ها نشان داد بیشترین خطر ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی در اثر تنفس سرب و کادمیوم به ترتیب با مقدار ۹/۶ و ۳/۴ مربوط به ایستگاه پایانه مرکزی اراک بود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌تواند در طولانی مدت، باعث ورود این ترکیبات به بدن انسان از طریق استنشاق گردد. اخلاص-پور و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان اطراف مجتمع فولاد خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که در جهت وزش باد غالب، میزان غلظت عناصر سنگین در برگ گیاهان حدود ۱/۵ برابر غلظت عناصر در برگ گیاهان عمود بر جهت وزش باد بود. همچنین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی شسته شده کمتر از نمونه‌های بدون شستشو بود که بیانگر نشست فلزات سنگین بر روی گیاهان از طریق ذرات معلق هوا است. برزین و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی پرداختند. مقادیر فاکتور آلودگی نشان داد که کلاس آلودگی متوسط دارای بیشترین مقدار فراوانی در نمونه‌های برداشت شده می‌باشد و عنصر سرب دارای کلاس آلودگی زیاد است. با روی هم اندازی نقشه‌های فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی مشخص گردید که غلظت نیکل، سرب، مس و روی تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری است؛ ولی فعالیت‌های کشاورزی به دلیل مصرف بیش از حد کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند باعث افزایش هر چه بیشتر این عناصر در خاک شود. صبوحی و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی آلاینده‌گی ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد با فلزات سنگین پرداختند. روند تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی به صورت آهن < روی < مس < سرب < منگنز < کروم < کادمیوم بود. شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی نشان داد کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد دارای درجه خطر قابل‌ملاحظه می‌باشند. یافته‌ها نشان داد که کارگاه‌های مکانیکی دارای آلودگی بسیار زیاد با عناصر کادمیوم، سرب و مس هستند که می‌تواند ناشی از ترکیب فلزات سنگین ضایعات کارگاه‌ها با گردوغبار باشد که منشأ انسان‌ساخت دارد. سیاحتی اردکانی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی محیط‌زیستی برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله‌سازی و فولادسازی اردکان پرداختند. بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین میانگین شاخص‌های زمین‌انباشتگی<sup>۱</sup> و شاخص آلودگی<sup>۲</sup> مربوط به نیکل و همچنین بیشترین و کمترین شاخص غنی‌شدگی<sup>۳</sup>

1- Geoaccumulation Index (Igeo)

2- Pollution Index (PI)

3- Enrichment factor (EF)

به ترتیب ناشی از روی و مولیبدن بود. شاخص EF حاصل از سرب، وانادیم و روی به ترتیب با فراوانی ۱۵/۸، ۵/۳ و ۱/۸ درصد خاک منطقه را در کلاس غنی‌شدگی متوسط قرار داد. نقاط داغ آلودگی سرب، وانادیم، نیکل و روی در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به این صنایع و در پایین‌دست جهت وزش باد واقع شده است. پژوهش زونگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) روی خاک اطراف صنایع آهن و فولاد در شهر پکن چین نشان داد که خاک مناطق اطراف این صنایع آلودگی بیشتری به فلزات سنگین دارد و انتشار فلزات سنگین در خاک منطقه منطبق بر جهت وزش باد هم راستا است. پاینده و ولایت‌زاده (۲۰۱۹) به تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی پرداختند. بالاترین میزان فلزات کبالت، کروم و سلنیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۱۹، ۹۳/۳۹ و ۲۹/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ایستگاه سوم و منگنز و مولیبدن ۴۵۱/۱۲ و ۰/۸۸ در ایستگاه دوم به دست آمد. فاکتور آلودگی فلزات کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن کمتر از ۸ به دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی کم این فلزات می‌باشد. در مورد فلز سلنیوم، فاکتور آلودگی بالاتر از ۹ به دست آمد که آلودگی شدید این فلز در رسوبات را نشان می‌دهد. بنابراین باتوجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که سلنیوم به عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی آلاینده‌های ذرات غبار شهر زاهدان با فلزات سنگین است. باتوجه به اثرات بالقوه مطرح شده حاصل از مواجهه با فلزات سنگین از جنبه سلامتی و بهداشتی، ضروری است تا در این مطالعه ضمن ارزیابی آلاینده‌های ذرات غبار، بررسی میزان خطرات اکولوژیکی و محیط‌زیستی حاصل از این آلاینده‌ها نیز صورت گیرد. در این مطالعه جهت ارزیابی خطرات این آلاینده‌ها از شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده<sup>۲</sup>، شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی<sup>۳</sup>، شاخص ضریب آلودگی<sup>۴</sup> و شاخص زمین‌انباشتگی استفاده شد. از نتایج این پژوهش می‌توان به منظور تعیین سطوح آلاینده‌ها در شهر و تلاش در جهت بهبود اثرات سوء آن بر انسان و محیط‌زیست شهری استفاده کرد.

## داده‌ها و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه به صورت تحلیلی-مقطعی در فصل بهار ۱۳۹۵ در شهر زاهدان انجام گرفت. زاهدان به عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان و در محدوده جنوب شرق کشور با مساحت ۷۸ کیلومتر مربع و در فاصله ۱۴۹۴ کیلومتری جنوب شرق تهران واقع شده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۸۵ متر بوده و در طول‌های جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. شهر زاهدان از بخش‌های جنوبی و غربی در مجاورت مناطق مستعد فرسایش بادی و گردوغبار قرار دارد. از سوی دیگر، شدیدترین بادهای دارای آرموت ۲۱۰ تا ۳۶۰ درجه است که مناطق جنوب - غرب تا غربی و شمال شهر را تحت تأثیر بیشتری قرار می‌دهد.

1- Zong

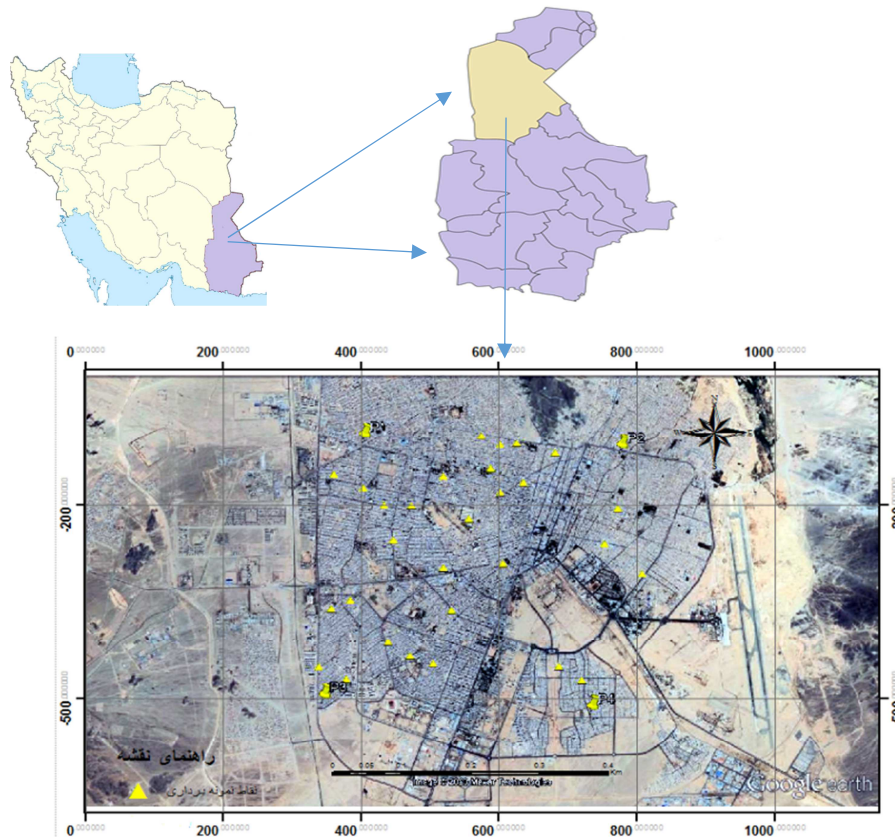
2- Modified Pollution Degree Index (mCd)

3- Potential environmental risk index (RI)

5- Pollution coefficient factor (Cf)

### نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای تعیین نقاط نمونه‌برداری از روش سیستماتیک طبقه‌بندی تصادفی استفاده شد. بدین ترتیب ۳۰ ایستگاه در سطح شهر انتخاب شد (شکل ۱). برای جمع‌آوری نمونه غبار از تله رسوب‌گیر تیل‌های<sup>۱</sup> (MDCO) استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت فلزات سنگین با استفاده از نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید انجام شد. غلظت عناصر سنگین سرب، کادمیوم، مس و روی توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analytic jena-350 اندازه‌گیری شد. در این مطالعه داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.16 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، جهت تحلیل داده‌ها از آزمون آماری همبستگی پیرسون و شاخص‌های خطر بالقوه محیط-زیستی (RI)، ضریب آلودگی (Cf)، درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

<sup>1</sup> - Marble Dust Collectors

## شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی (RI)

برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار مورد مطالعه و بررسی اثرات اکولوژیکی و محیط‌زیستی این فلزات، شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی (RI) محاسبه شد. این روش توسط هاکانسون<sup>۱</sup> معرفی شده است (هاکانسون، ۱۹۸۰) و به‌تازگی در پژوهش‌های مربوط به خاک و غبار بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RI = \sum_{i=1}^n Er_i \quad (1)$$

در این معادله، RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. این شاخص برای همه مجموع چند فلز یا عوامل مختلفی از آلودگی محاسبه می‌شود. Er نیز ریسک اکولوژیکی هر عنصر را نشان می‌دهد که طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Er_i = Tr \cdot Cf_i \quad (2)$$

در این رابطه Tr عامل واکنش سمی برای فلزات سنگین می‌باشد که به پیشنهاد هاکانسون به ترتیب برای سرب، مس، روی، کادمیوم به ترتیب ۵، ۵، ۱، ۳۰ در نظر گرفته شده است و  $Cf_i$  معرف آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد. طبقه بندی شاخص ریسک اکولوژیک و درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: طبقه بندی شاخص ریسک اکولوژیک و شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی. (سنایی، ۲۰۱۴)

شاخص ریسک اکولوژیک	
$Er < 40$	آلودگی کم
$40 \leq Er < 80$	آلودگی متوسط
$80 \leq Er < 160$	آلودگی زیاد
$160 \leq Er < 320$	آلودگی خیلی زیاد
$Er \geq 320$	آلودگی خطرناک
شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی	
$RI < 150$	آلودگی کم
$150 \leq RI < 300$	آلودگی متوسط
$300 \leq RI < 600$	آلودگی زیاد
$RI \geq 600$	آلودگی خیلی زیاد

## ارزیابی ضریب آلودگی (Cf) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)

در این مطالعه جهت بیان وضعیت آلودگی محیط به یک فلز خاص از ضریب آلودگی مطابق رابطه ۳ استفاده شد:

$$Cf = \frac{Ci}{Cn} \quad (3)$$

در این رابطه، Cf برابر با ضریب آلودگی، Ci غلظت فلز در نمونه مورد مطالعه و Cn غلظت همان فلز در ماده مرجع است. در جدول ۲ شدت آلودگی با فلزات سنگین از طریق ضریب آلودگی مشخص شده است. آبراهیم<sup>۲</sup> (۲۰۰۵)

<sup>۱</sup>- Hakanson

<sup>۲</sup>- Abraham

باتوجه به محدودیت‌های رابطه درجه آلودگی ارائه‌شده توسط هاکانسون (۱۹۸۰)، درجه آلودگی اصلاح‌شده را به شرح زیر معرفی نمود:

$$mCd = \sum_{i=1}^n PI_i / n \quad (4)$$

در این رابطه  $mCd$ ، درجه آلودگی تصحیح‌شده،  $PI_i$  ضریب آلودگی عنصر  $i$  و  $n$  تعداد عناصر تجزیه‌شده موردبررسی می‌باشد (سنایی، ۲۰۱۴).

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص ضریب آلودگی و شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده. (هاکانسون، ۱۹۸۰)

شاخص ضریب آلودگی (Cf)	
$Cf < 1$	آلودگی کم
$1 \leq Cf < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq Cf < 6$	آلودگی زیاد
$Cf \geq 6$	آلودگی خیلی زیاد
شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd)	
$mCd < 1/5$	غیر آلوده تا کم
$1/5 \leq mCd < 2$	آلودگی کم
$2 \leq mCd < 4$	آلودگی متوسط
$4 \leq mCd < 8$	آلودگی زیاد
$8 \leq mCd < 16$	آلودگی خیلی زیاد
$16 \leq mCd < 32$	آلودگی شدید
$mCd \geq 32$	آلودگی بسیار شدید

شاخص انباشت ژئوشیمیایی نیز برای تخمین درجه غنی‌شدگی رسوبات توسط فلزات سنگین استفاده می‌شود. در این روش نسبت غلظت فلز سنگین در خاک و رسوب به غلظت زمینه فلز با استفاده از شاخص Igeo قابل‌محاسبه می‌باشد که توسط مولر<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) پیشنهاد شد.

$$Igeo = \text{Log} (Cn/1.5*Bn) \quad (5)$$

که در آن  $Igeo$  برابر شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی،  $Cn$  برابر غلظت فلز سنگین در رسوب،  $Bn$  برابر غلظت زمینه فلز سنگین در پوسته زمین (غلظت عنصر در شیل) و ضریب  $1/5$  به منظور کمینه‌کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی رسوبات نسبت داده می‌شود، منظور شده است (سلیمان‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۶).

#### آنالیزهای زمین‌آماري

برای مدل‌سازی تغییرات مکانی غلظت چهار فلز سرب، مس، روی و آهن به منظور بررسی آلودگی این فلزات، از دو روش مختلف زمین‌آمار استفاده شد. بدین منظور از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی در محیط نرم‌افزار ARC GIS

<sup>1</sup> - Muller

10.3 استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل و نرمال کردن داده‌ها، از روش‌های مختلف معین مانند معکوس فاصله، کریجینگ، تابع شعاعی، همسایگی طبیعی و میانگین متحرک وزن دار استفاده شد و در نهایت روش کریجینگ به دلیل RMSE پایین تر برای پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. بالطبع هر چه مقادیر RMSE کوچکتر باشد، بیانگر این است که مقادیر محاسبه شده با مدل به مقادیر حقیقی نزدیک‌ترند و در نتیجه مدل خطای کمتری دارد.

### نتایج و بحث

باتوجه به اینکه در مورد تمامی عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها، مقادیر ( $p > / 0.5$ ) حاصل شد، بنابراین توزیع داده‌های مربوط به عناصر نرمال بود. داده‌های آماری حاصل از سنجش غلظت عناصر سنگین در ذرات غبار در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: آمار کلاسیک غلظت عناصر سنگین غبار ریزشی طی دوره نمونه‌برداری.

فلزات سنگین در نمونه‌ها (میلی‌گرم بر کیلوگرم)				متغیر آماری
کادمیوم	روی	مس	سرب	
۲۰/۷۴	۵۲/۷۶	۱۴۸/۳۵	۲۷۰/۵۱	میانگین (mg/kg)
۲/۳۴	۳۸/۵۰	۱۱/۱	۱۷/۷۹	انحراف معیار
۱۱/۲	۷۲/۹	۷/۴۸	۶/۵۷	ضریب تغییرات (%)
۱۶/۱۲	۱۳	۱۳۲/۷۶	۲۳۴/۰۸	حداقل
۲۷/۰۵	۱۸۶/۳۲	۱۸۱/۱۰۵	۳۰۱/۹۰	حداکثر
۰/۲۹	۱/۷۳	۰/۸۹	-۰/۱۷۱	چولگی
۰/۶۹	۴/۰۱	۱/۰۷	-۰/۱۴	کشیدگی
۰/۷۶	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۹۷	K-S

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در غبار ریزشی نشان می‌دهد که در چهار فلز مورد مطالعه، بیشترین میانگین غلظت مربوط به سرب ۲۷۰/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میانگین غلظت مربوط به کادمیوم ۲۰/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. به طوری که میانگین غلظت برای فلزات به صورت سرب <مس <روی < کادمیوم می‌باشد. همچنین مقدار میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم بیشتر از حد استاندارد آن در خاک بود. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری در این پژوهش برای فلز سرب و مس، با نتایج نادری زاده و همکاران (۲۰۱۶) تطابق دارد. نتایج مطالعه آنها نشان داد غلظت بالای سرب و مس بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی از جمله ترافیک می‌باشد. مقدار میانگین دو عنصر روی ۵۲/۷۶ ± ۳۸/۵ و کادمیوم ۲۰/۷۴ ± ۲/۳۴ در منطقه بیشتر از حد استاندارد بود. همچنین نتایج ضریب همبستگی پیرسون رابطه معناداری بین این دو عنصر نشان داد. نتایج مربوط به این دو عنصر با نتایج حاصل از پژوهش ابوییان جهرمی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. نتایج پژوهش آنها نیز همبستگی بالا و معناداری بین روی و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه نشان داد. صیوحی و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود به غلظت بالایی از فلزات کادمیوم، روی و منگنز نسبت به غلظت مجاز این فلزات در خاک اشاره کردند که نتایج مطالعه آنها در راستای نتیجه مطالعه سلمان زاده و همکاران (۲۰۱۲) بود. بررسی همبستگی بین غلظت فلزات در

نمونه‌های غبار با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۴ نشان داده شده است. در بسیاری از مطالعات از ضرایب همبستگی برای بیان منشأ احتمالی فلزات سنگین استفاده شده است (لو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). لو و همکاران (۲۰۱۰) بیان می‌کنند که ضرایب همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد منشأ و راه‌های ورود آنها را فراهم نماید. در این جدول نتایج بررسی همبستگی بین فلزات در ذرات غبار نشان داد بین عنصر روی و کادمیوم همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. همبستگی مثبت بین این دو عنصر نشان‌دهنده این است که این عناصر می‌توانند از منابع مشابهی ایجاد شده باشند. این موضوع همچنین نشان می‌دهد که منبع عمده آلودگی ذرات غبار به این دو عنصر، ناشی از ترافیک جاده‌ای نبوده است. زیرا عمده‌ترین آلاینده ناشی از ترافیک جاده‌ای به خودروها و عنصر سرب نسبت داده شده است (لی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳)، درحالی‌که بین عنصر سرب با هیچ عنصر دیگری همبستگی معنی‌داری در هیچیک از سطوح ۱٪ و ۵٪ مشاهده نشد.

جدول ۴: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون فلزات سنگین در محدوده مطالعاتی.

عنصر	مس	سرب	روی	کادمیوم
مس	۱	۰/۱۴۵	-۰/۲۵۶	-۰/۰۰۶
	-	۰/۴۳۳	۰/۱۷۲	۰/۹۷۵
سرب	۰/۱۴۵	۱	-۰/۰۲۲	-۰/۰۵۲
	۰/۴۳۳	-	۰/۹۰۹	۰/۷۸۴
روی	-۰/۲۵۶	-۰/۰۲۲	۱	-۰/۵۱۱**
	۰/۱۷۲	۰/۹۰۹	-	۰/۰۰۴
کادمیوم	-۰/۰۰۶	-۰/۰۵۲	-۰/۵۱۱**	۱
	۰/۹۷۵	۰/۷۸۴	۰/۰۰۴	-

در بخشی از کار، شاخص‌های محیط‌زیستی مختلفی برای درجه‌بندی سطح آلودگی محاسبه شدند که نتایج آن در جدول ۵ بیان شده است. نتایج به‌دست‌آمده از فاکتور آلودگی (CF) برای فلزات سنگین موجود در نمونه‌های غبار جمع‌آوری‌شده جدول ۵ و مقایسه آن با جدول درجه‌بندی سطح آلودگی جدول ۲ نشان می‌دهد که فلزات سنگین مس و روی در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرد که با نتایج مطالعه‌ی جوان‌سیامردی و همکاران (۲۰۱۵) هم‌سو می‌باشد. سرب و کادمیوم به‌ترتیب در محدوده آلودگی زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که هر کدام به‌ترتیب با نتایج مطالعات برزین و همکاران (۲۰۱۵) و صبحی و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارند. با محاسبه شاخص Er برای فلزات سنگین در خاک محدوده مورد مطالعه و مقایسه با جدول شماره ۱، این نتیجه به‌دست آمد که فلزات سرب، مس و روی دارای آلودگی در کمترین مقدار هستند و کادمیوم در سطح خطرناک قرار می‌گیرد. همچنین نتایج شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی نشان داد که مس و روی از نظر این شاخص دارای آلودگی کم، سرب دارای آلودگی زیاد و کادمیوم در طبقه با آلودگی خیلی زیاد قرار دارند. از طرفی نتایج این شاخص نشان داد که خطر کلی فلزات سنگین موجود در ذرات غبار در محدوده درجه آلودگی خیلی زیاد قرار دارد. از نظر شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی (RI)،

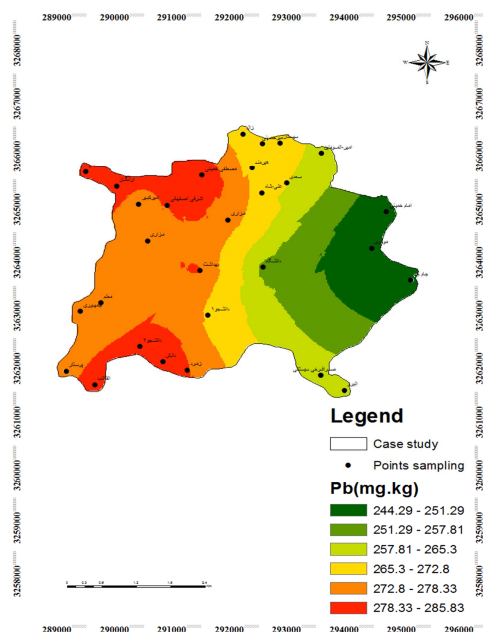
<sup>۱</sup>- Lu

<sup>۲</sup>- Li

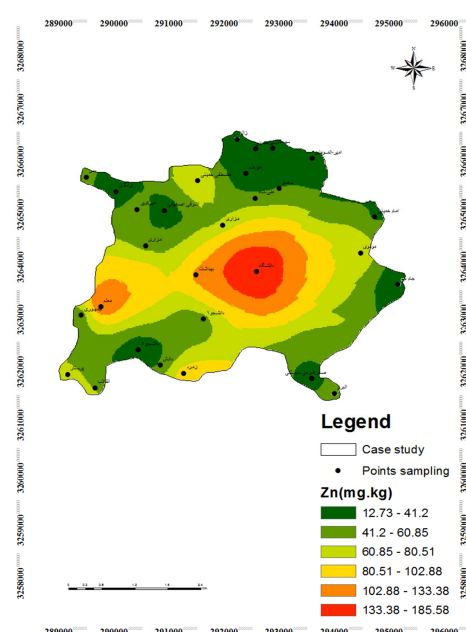
نتایج حاصل برای عنصر کادمیوم و روی مشابه با نتایج حاصل از پژوهش صبحی و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد که به- ترتیب در طبقه با آلودگی خیلی زیاد و کم قرار دارند. محاسبه مقادیر مربوط به شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و مقایسه با طبقه‌بندی موجود در جدول ۲ نشان داد که عناصر مس و روی در کلاس غیرآلوده یا آلودگی کم، سرب در کلاس متوسط و کادمیوم در کلاس با آلودگی خیلی زیاد قرار دارد. شاخص زمین‌انباشت کلاس آلودگی متوسط برای کادمیوم و کلاس آلودگی بالایی برای عناصر مس، سرب و روی نشان داد که از این نظر مشابه نتایج پژوهش لو و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد. آنها طی پژوهشی بر روی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابانی در چین، بیان کردند که مقادیر میانگین شاخص زمین‌انباشتگی برای فلزات روی، مس و نیکل به ترتیب ۲/۶، ۱/۸ و ۰/۲ می‌باشد که نشان از بالا بودن مقدار شاخص زمین‌انباشتگی برای روی و مس و سرچشمه‌گرفتن این عناصر از فعالیت‌های ترافیکی و صنعتی دارد.

جدول ۵: نتایج به‌دست آمده برای شاخص‌های محیط‌زیستی عناصر مختلف در نمونه‌ها.

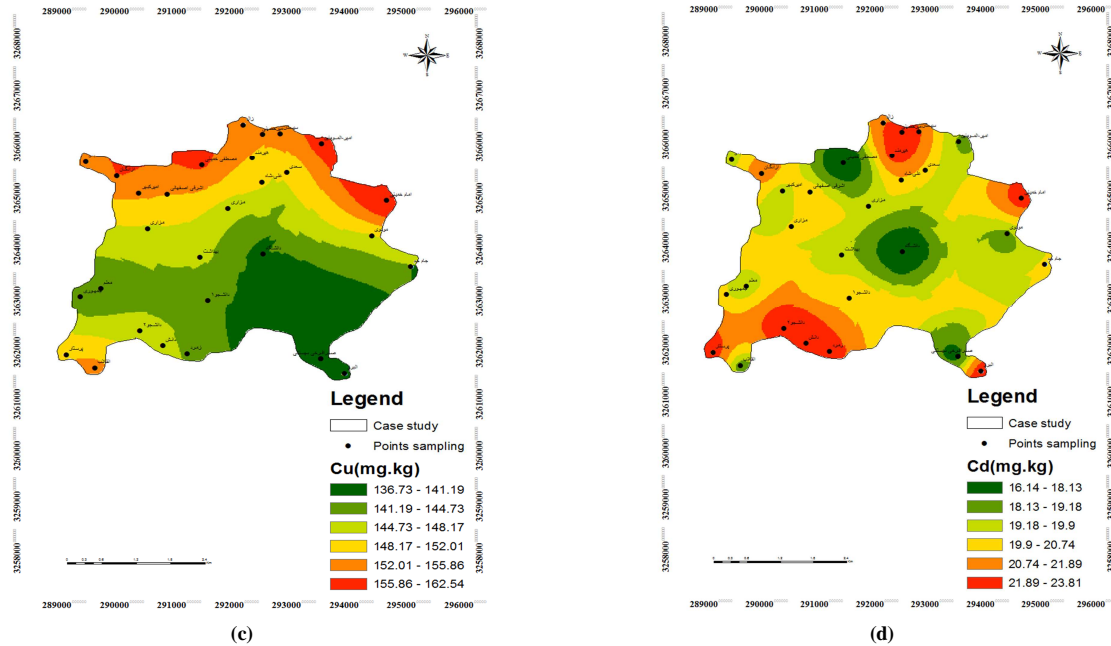
متغیرها	ضریب آلودگی	ریسک اکولوژیک	شاخص خطر بالقوه محیط-زیستی	درجه آلودگی اصلاح شده	شاخص زمین-انباشت
سرب	۳/۳۸	۱۶/۹	۵۰۷/۲۲	۳/۳۸	۴/۱۵
مس	۰/۳۷	۱/۸۵	۵۵/۶۳	۰/۳۷	۴/۵۹
روی	۰/۱۰	۰/۱۰	۳/۱۶	۰/۱۰	۴/۱۴
کادمیوم	۱۰/۳۷	۳۱۱/۲۴	۹۳۳۷/۲	۱۰/۳۷	۱/۴۳



(a)



(b)



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی توزیع فلزات (a) سرب (b) روی (c) مس (d) کادمیوم در محدوده مورد مطالعه.

در شکل ۲ نقشه کریجینگ توزیع و پراکنش عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم نشان داده شده است. بیشترین غلظت سرب به‌صورت لکه‌هایی در شمال غرب و جنوب غربی شهر دیده می‌شود. این امر می‌تواند ناشی از ترافیک جاده‌ای در این مناطق باشد. بیشترین غلظت مس در ضلع شمال شرقی شهر در ایستگاه امام خمینی و نواحی اطراف آن وجود دارد. به‌نظر می‌رسد ترافیک شهری تأثیر بالایی در ورود مس به ذرات غبار در این بخش داشته باشد. همچنین مس از طریق استهلاک عایق ترمز خودرو و احتراق مواد نفتی نیز ایجاد می‌شود که وجود تعداد زیادی از کارگاه‌های تعمیرات خودرو در این منطقه می‌تواند باعث ورود مس به خاک و ذرات معلق شود. این امر منطبق با یافته‌های حاصل از پژوهش‌های پرسیادو و لی<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، ودیان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد. همان‌گونه که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد همبستگی معنی‌داری بین فلزات روی و کادمیوم در محدوده وجود دارد که این فلزات را در یک خوشه قرار داده است و بیانگر این است که این فلزات به احتمال زیاد منشأ مشابهی دارند. همچنین ضریب تغییرات بالا و الگوی پراکنش مکانی متفاوت عنصر روی را می‌توان دلیلی بر غالب بودن تأثیر منابع و فعالیت‌های انسانی در پراکنش این عنصر در منطقه دانست. همچنین به‌دلیل قلیایی بودن خاک در منطقه مورد مطالعه ( $pH > 7$ )، می‌توان حدس زد که وجود بستری از کربنات که به‌طور طبیعی همبستگی زیادی با فلزات کادمیوم و روی دارند (ابویان جهرمی و همکاران، ۲۰۱۷)، می‌تواند عامل دیگری برای آلودگی کادمیوم و روی در این مناطق باشد.

<sup>1</sup> - Preciado and Li

<sup>2</sup> - Wedyan

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نشان داد که از میان عناصر مورد مطالعه، بیشترین میانگین غلظت مربوط به سرب  $270/51$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میانگین غلظت مربوط به کادمیوم  $20/74$  میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین دو عنصر سرب  $17/79 \pm 270/51$  و کادمیوم  $2/34 \pm 20/74$  در منطقه بیشتر از حد استاندارد بود. ضریب همبستگی پیرسون رابطه معناداری بین دو عنصر روی و کادمیوم نشان داد. با توجه به نقشه توزیع مکانی عناصر، بیشترین غلظت سرب به صورت لکه‌هایی در شمال غرب و جنوب غربی شهر دیده شد. این امر می‌تواند ناشی از ترافیک جاده‌ای در این مناطق باشد. بیشترین غلظت مس در ضلع شمال شرقی شهر و نواحی اطراف ایستگاه شماره ۸ در خیابان امام خمینی وجود داشت. به نظر می‌رسد ترافیک شهری و استهلاک عایق ترمز اتومبیل، احتراق مواد نفتی و وجود تعداد زیادی از کارگاه‌های تعمیرات خودرو در این منطقه باعث ورود مس به غبار و ذرات معلق شود. ضریب تغییرات بالا و همچنین الگوی پراکنش مکانی عنصر روی را می‌توان دلیلی بر تأثیر منابع و فعالیت‌های انسانی در پراکنش این عنصر در منطقه دانست. این امر هم‌راستا با نتایج حاصل از پژوهش کمّانی و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. آنها در مطالعه خود به بررسی آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان‌ها با کاربری‌های مختلف در شهر زاهدان پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل EF حاصل از پژوهش آنها نشان داد که تقریباً در همه نمونه‌ها، فلزات سنگین در مقایسه با سطح پس زمینه نمونه غنی می‌شوند که نشان می‌دهد آلودگی گردوغبار خیابان به فلزات سنگین در مرکز شهر از منابع انسانی است. در این مطالعه، بر اساس نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص‌های آلودگی مشخص شد که از نظر فاکتور آلودگی فلزات مس و روی در محدوده آلودگی کم، سرب در محدوده آلودگی زیاد و کادمیوم در محدوده آلودگی بسیار زیاد قرار دارند. شاخص خطر بالقوه محیط زیستی نشان داد که مس و روی در کلاس با آلودگی کم، سرب در کلاس با آلودگی زیاد و کادمیوم در طبقه با آلودگی خیلی زیاد قرار دارد. با مقایسه مقادیر مربوط به تمامی شاخص‌های آلودگی محاسبه شده در این مطالعه، بالاترین میزان آلودگی به عناصر کادمیوم و سرب مربوط می‌شود. نتایج سنجش غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار با شاخص‌های یادشده لزوم ارزیابی جامع آلاینده‌های سایر عوامل مزاحم در کل استان و نیز کشور را نشان می‌دهد، بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات آینده سنجش سایر آلودگی‌ها در خاک و هوا انجام شود.

## سیاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب کشور اعلام می‌دارند.

## منابع

- ابویان جهرمی، محمد؛ خدادادی دربان، احمد؛ جمشیدی زنجانی، احمد؛ شفیع زاده مقدم، حسین. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی کیفی خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سرب و روی ایرانکوه از دیدگاه زیست‌محیطی. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، ۱۲(۳۷)، ۶۵-۷۹.
- اخلاص پور، عقیل؛ خلیلی مقدم، بیژن؛ سلیمانی، محسن. (۱۳۹۸). بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان اطراف مجتمع فولاد خوزستان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۳)، ۶۰۳-۶۱۳.

- برزین، منصور؛ خیرآبادی، حسین؛ افیونی، مجید. (۱۳۹۴). بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۹(۷۲)، ۶۹-۷۹.
- بقائی، امیرحسین؛ عقیلی، فروغ. (۱۳۹۷). سنجش غلظت سرب و کادمیوم موجود در خاک شهر اراک در سال ۱۳۹۶ و ارزیابی خطرات غیرسرطانی آنها. *مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان*، ۱۷(۸)، ۷۶۹-۷۸۰.
- پاینده، خوشناز؛ ولایت زاده، محمد. (۱۳۹۸). تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلینیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. *نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز*، ۱۱(۴۰)، ۸۳-۹۶.
- جوان سیامردی، صفورا؛ رضایی کهخا، محمدرضا؛ صفایی مقدم، عاطفه؛ نوری، رقیه. (۱۳۹۴). بررسی غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی، سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان. *مجله مهندسی بهداشت محیط*، ۱۲(۱)، ۴۶-۵۳.
- جهانبخش، سعید؛ زینالی، بتول؛ اصغری، صیاد. (۱۳۹۳). تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی توفان‌های گردوغباری ایران با استفاده از خوشه‌بندی فازی (FCM). *دو فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۵(۱)، ۸۵-۹۸.
- سلیمان‌نژاد، زهرا؛ عبدالزاده، احمد؛ صادقی‌پور، حمیدرضا. (۱۳۹۵). بررسی میزان فلزات سنگین خاک منطقه صنعتی و محل دفن زباله شهرستان قائم شهر. *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۲۶(۱۳۶)، ۱۹۶-۲۰۱.
- سنایی، اکرم. (۱۳۹۳). بررسی تغییرات غلظت برخی فلزات سنگین در خاک حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد*.
- سیاحتی اردکانی، غلامرضا؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ عظیم‌زاده، حمیدرضا؛ سلگی، عیسی. (۱۳۹۷). ارزیابی محیط‌زیستی برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله‌سازی و فولادسازی اردکان. *مجله سلامت و محیط‌زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*، ۱۱(۳)، ۴۴۹-۴۶۴.
- صبحی، مرتضی؛ عظیم‌زاده، حمیدرضا؛ نژاد کورکی، فرهاد؛ علی طالشی، محمدصالح. (۱۳۹۷). ارزیابی آلاینده‌گی ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد با فلزات سنگین. *مجله بهداشت و توسعه*، ۷(۱)، ۱۰-۲۲.
- کرمانی، مجید؛ طاهریان، الهام؛ ایزانلو، مریم. (۱۳۹۵). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گردوغباری در ایران به‌منظور بررسی منشاءهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آنها. *مجله ره‌آورد سلامت*، ۲(۱۱)، ۳۹-۵۱.
- کمانی، حسین؛ حسینی، محمد؛ صفری، غلامحسین؛ جعفری، جلیل؛ اشرفی، سید داوود؛ محوی، امیرحسین. (۱۳۹۶). بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان. *مجله سلامت و بهداشت*، ۸(۲)، ۱۸۲-۱۹۰.
- گلپایگانی، عبدالعلی؛ خانجانی، نرگس. (۱۳۹۱). مواجهه محیطی و شغلی با سرب در ایران: یک مرور سیستماتیک. *مجله بهداشت و توسعه*، ۱۱(۱)، ۷۴-۸۹.
- محمودی، زهره؛ خادمی، حسین. (۱۳۹۳). غلظت برخی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری اصفهان و برخی شهرهای مجاور. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۱۸(۱)، ۲۴۳-۲۵۵.
- نادری‌زاده، زینب؛ خادمی، حسین؛ ایوبی، شمس‌اله. (۱۳۹۵). تعیین غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در ریزگردهای بخشی از استان بوشهر. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۳)، ۱۷۱-۱۸۷.
- Abraham, G. M. S. (2005). Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand, New Zealand: The University of Auckland. <http://hdl.handle.net/2292/1419>
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach, *Water Research*, 14(8), 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Kamani, H., Ashrafi, S. D., Isazadeh, S., Jaafari, J., Hoseini, M., Mostafapour, F. K., ... Mahvi, A. H. (2015). Heavy Metal Contamination in Street Dusts with Various Land Uses in Zahedan, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(3), 382-386. doi:10.1007/s00128-014-1453-9
- Li, H., Qian, X., Hu, W., Wang, Y., Gao, H. (2013). Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dust from a metropolitan city, Nanjing, SE China, *Science of the Total Environment*, 456-457, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.094>

- 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), 1058-1062. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2008.04.052](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.052)
- Lu, X., Wang, L., Li, L.Y., Lei, K., Huang, L., Kang, D. (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China, *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 744-749. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.001)
- Preciado, H.F., Li, L.Y. (2006). Evaluation of metal loadings and bioavailability in air, water, and soil along two highways of British Columbia, Canada, *Water, Air, and Soil Pollution*, 172, 81-108. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9063-0>
- Salmanzadeh, M., Saeedi, M., Nabi-Bidhendi, Gh. (2012). Heavy metals pollution in street dust of Tehran and their ecological risk assessment, *Journal of Environmental Studies*, 38(61), 9-18. <https://www.researchgate.net/publication/262973314>
- Wang, L. K., Hung, Y.T., Shammas, N. K., Chen, J. P. (2017). *Heavy metals in the Environment*. 1st ed. US: CRC Press; 2017, 516 P. ISBN 9781138112575
- Wedyan, M.A., Altaif, K.I., Aladaileh, S. (2009). Heavy metals in the wet deposition of the south of Jordan, *Journal of Scientific Research*, 36, 554-560. <https://www.researchgate.net/publication/268615772>
- Zong, Y., Xiao, Q., Lu, S. (2017). Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industrial city, Northeast China, *Journal of Soils and Sediments*, 17(1), 190-203. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1522-2>.

- Preciado, H.F., Li, L.Y. (2006). Evaluation of metal loadings and bioavailability in air, water, and soil along two highways of British Columbia, Canada, *Water, Air, and Soil Pollution*, 172, 81-108. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9063-0>
- Salmanzadeh, M., Saeedi, M., Nabi-Bidhendi, Gh. (2012). Heavy metals pollution in street dust of Tehran and their ecological risk assessment, *Journal of Environmental Studies*, 38(61), 9-18. <https://www.researchgate.net/publication/262973314>
- Wang, L. K., Hung, Y.T., Shamma, N. K., Chen, J. P. (2017). *Heavy metals in the Environment*. 1st ed. US: CRC Press; 2017, 516 P. ISBN 9781138112575
- Wedyan, M.A., Altaif, K.I., Aladaileh, S. (2009). Heavy metals in the wet deposition of the south of Jordan, *Journal of Scientific Research*, 36, 554-560. <https://www.researchgate.net/publication/268615772>
- Zong, Y., Xiao, Q., Lu, S. (2017). Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industrial city, Northeast China, *Journal of Soils and Sediments*, 17(1), 190-203. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1522-2>.

## References

### References (in Persian)

- Abuyan-Jahromi, M., Khodadadi-Darban, A., Jamshidi-Zanjani, A., Shafizadeh Moghadam, H. (2017). Qualitative zoning of surface soils around Irankooh lead and zinc plant from an environmental perspective. *Journal of Mining Engineering*, 12(37), pp 65-79. [In Persian]
- Baghaei, A.H., Aghili, F. (2018). Measurement of lead and cadmium concentrations in the soil of Arak in 1396 and evaluation of their non-cancerous risks. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 17, pp 769-780. [In Persian]
- Barzin, M., Kheirabadi, H., Afuni, M. (2015). Investigation of pollution of some heavy metals in surface soils of Hamadan province using pollution indices. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 19(72), pp 69 - 79. [In Persian]
- Ekhlaspour, A., Khalili-Moghadam, B., Soleimani, M. (2019). Assessing Heavy Metal Concentration in the Soil and Plants of Surroundings Khuzestan Steel Factory. *Iranian Soil and Water Research*, 50(3), pp 603-613. [Doi:10.22059/ijswr.2018.256290.667891](https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.256290.667891) [In Persian]
- Golpayegani, A., Khanjani, N. (2012). Occupational and environmental exposure to lead in Iran: a systematic review. *Journal of Health and Development*, 1(1), pp 74-89. [In Persian]
- Jahanbakhsh, S., Zeinali, B., Asghari, S. (2014). Analysis and Clustering of Dust Storm Frequency in Iran by Fuzzy Clustering (FCM). *Journal of urban ecology*, 10(2), pp 85-98. [In Persian]
- Javan-Siamardi, S., Rezaei-Kakhka, M. R., Safaei-Moghadam, A., Nouri, R. (2015). Investigation of concentrations of heavy metals (iron, nickel, copper, zinc, lead) in agricultural soil in the central part of Sistan. *Journal of Environmental Health Engineering*, 2(1), pp 46-53. [In Persian]
- Kermani, M., Taherian, E. and Izanloo, M. (2016) Analysis of Satellite Images of Dust and Dust Storms in Iran to Investigate Internal and External Sources and Control Methods, *Rahavard Salamat Journal*, 2(1), 39-51. [In Persian]
- Mahmoodi, Z., Khademi, H. (2014). The concentration of selected heavy metals in atmospheric dust of Isfahan and neighboring metropolitan areas. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water Soil Sci)*, 67, pp 243-255. [In Persian]
- Naderizadeh, Z., Khademi, H., Ayoubi, S.A. (2016). Determining the concentration and level of heavy metal pollution in dust particles in a part of Bushehr province. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 23(3), pp 171-187. [Doi:10.22069/JWFST.2016.3192](https://doi.org/10.22069/JWFST.2016.3192) [In Persian]
- Payandeh, K., Velayatzadeh, M. (2019). Determination of heavy metals cobalt, chromium, manganese, selenium, and molybdenum in the sediments of Hur al-Azim wetland in Khuzestan province using pollution indices. *Journal of Wetland Ecology - Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 11(40), pp 83-96. [In Persian]
- Saboohi, M., Azimzadeh, H. R., Nezhad-Kourki, F., Ali-Taleshi, M. S. (2018). Evaluation of pollution of dust particles on the floor of mechanical workshops in Yazd with heavy metals. *Journal of Health and Development*, 7(1), pp 10-22. [In Persian]
- Sanai, A. (2014) Investigation of changes in the concentration of some heavy metals in the soil along the streets of Isfahan. Master Thesis in Environment, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University. [In Persian]
- Siyahati-Ardakani, G.H., Mirsanjari, M. M., Azimzadeh, H.R., Solgi, I. (2018). Environmental Assessment of Some Heavy Metals in Surface Soil Margin of Ardakan Pelletizing and Steel Industries. *Journal of Health and Environment, Iranian Journal of Environmental Health*, 11(3), pp 449-464. [In Persian]
- Soleimannejad, Z., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R. (2016). Heavy Metal Concentrations in Industrial Area Soils and Landfill Site, Ghaemshahar, Iran. *J Mazandaran Univ Med Sci*, 26(136), pp 196-201. [In Persian].

### References (in English)

- Abraham, G. M. S. (2005). Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand, New Zealand: The University of Auckland. <http://hdl.handle.net/2292/1419>
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach, *Water Research*, 14(8), 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Kamani, H., Ashrafi, S. D., Isazadeh, S., Jaafari, J., Hoseini, M., Mostafapour, F. K., ... Mahvi, A. H. (2015). Heavy Metal Contamination in Street Dusts with Various Land Uses in Zahedan, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(3), 382-386. [doi:10.1007/s00128-014-1453-9](https://doi.org/10.1007/s00128-014-1453-9)
- Li, H., Qian, X., Hu, W., Wang, Y., Gao, H. (2013). Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dust from a metropolitan city, Nanjing, SE China, *Science of the Total Environment*, 456- 457, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.094>
- 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), 1058-1062. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.052](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.052)
- Lu, X., Wang, L., Li, L.Y., Lei, K., Huang, L., Kang, D. (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China, *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 744-749. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.001)