



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources



## Evaluation of spatial distribution of heavy metal pollution using pollution factor and geo - accumulation index in the surface soil of Gorgan Hazarpich landfill

Ali Soodmand<sup>1</sup>, Soheila Ebrahimi<sup>\*2</sup>, Farshad Kiani<sup>3</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Soil Resources Management, Land Evaluation and Pedometry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [soodmand.a@gmail.com](mailto:soodmand.a@gmail.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Physics and Soil Pollution, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [sohebrahimi@gmail.com](mailto:sohebrahimi@gmail.com)
3. Associate Prof., Dept. of Field of Erosion Physics and Soil Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [kianifarshad@gmail.com](mailto:kianifarshad@gmail.com)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 07.04.2022

Revised: 07.06.2023

Accepted: 07.10.2023

#### Keywords:

Distribution of heavy metals,  
Geo-accumulation index,  
Landfill,  
Pollution index

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Landfills are one of the sources of heavy metal pollution worldwide. The increasing expansion of urban life and the excessive increase of the urban population have caused an increase in the production of all kinds of waste materials. One of the problems of rapid population growth and industrialization in third world countries, especially Iran, is the improper disposal of waste and pollution caused by it. One of the issues that should be paid special attention to is the burial of these wastes and urban solid wastes, water and gases produced from the decomposition of wastes containing organic compounds. The purpose of this study was to investigate the impact of the Gorgan urban waste disposal landfill with a burial history of more than 37 years, in the Hazarpich area, on the spatial distribution of heavy metals including nickel, cadmium, lead, and copper in the soil of the area. The amount of pollution was investigated using the environmental indicators of the spatial distribution of heavy metals, pollution factor, geo-accumulation, and pollution Load.

**Materials and Methods:** By conducting preliminary studies and taking into account the existing basic maps, 110 samples were prepared from zero to 30 cm depth with regular intervals and finally, the amounts of heavy metals were measured using an atomic absorption spectrophotometer.

**Results:** The obtained results showed that the concentration of heavy metals in the collected samples were the highest in zinc, lead, copper and cadmium, respectively. The average concentration of heavy metals cadmium, lead, copper, and zinc increased by 2.25%, 1.01%, 0.99%, and 0.63%, respectively, compared to the background, which indicates the presence of a source of point pollution in the study area. Spatial distribution according to the extracted maps showed that the high level of concentration of heavy metals in the central and northwestern parts of the studied area was indicated by the location of the landfill. The humid climate and the presence of topography in the area have caused the release of waste leachate by runoff, but with increasing distance from the landfill site, the downward trend of the concentration of pollutants is evident. The pollution factor in the target area indicated moderate contamination for lead, copper, and zinc heavy metals and severe contamination for cadmium. The results related to the geo-accumulation index also showed

---

---

that the average value of this index in cadmium is in the "slightly contaminated" contamination class and in copper, zinc and lead it is in the "Uncontaminated to slightly contaminated" contamination class. Also, according to the average value of the pollution load index, the surface soil has a moderate contamination load, and the results of the pollution load confirm the contamination of the soil with heavy metals. The highest concentration of heavy metals can be seen in the vicinity of the landfill, and there was a decreasing trend as the distance increased based on the slope and topography.

**Conclusion:** It seems that the source of heavy metal pollution was the landfill, and the main factor in spreading the resulting leachate was spreading the pollution to the surrounding areas based on the topography of the area and in the direction of the slope.

---

---

Cite this article: Soodmand, Ali, Ebrahimi, Soheila, Kiani, Farshad. 2023. Evaluation of spatial distribution of heavy metal pollution using pollution factor and geo - accumulation index in the surface soil of Gorgan Hazarpich landfill. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (3), 45-62.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20160.2061

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## ارزیابی توزیع مکانی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی و شاخص زمین انباشتگی در خاک سطحی محل دفن زباله هزارپیچ گرگان

علی سودمند<sup>۱</sup>، سهیلا ابراهیمی\*<sup>۲</sup>، فرشاد کیانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت منابع خاک، ارزیابی اراضی و پدومتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [soodmand.a@gmail.com](mailto:soodmand.a@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه فیزیک و آلودگی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [sohebrahimi@gmail.com](mailto:sohebrahimi@gmail.com)
۳. دانشیار گروه فیزیک فرسایش و حفاظت خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
رایانامه: [kianifarshad@gmail.com](mailto:kianifarshad@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> محل‌های دفن زباله یکی از منابع انتشار آلودگی فلزات سنگین در سراسر جهان هستند. گسترش فزاینده زندگی شهرنشینی و افزایش بی‌رویه جمعیت شهری، موجب افزایش تولید انواع فضولات و مواد زائد شده است. یکی از معضلات رشد سریع جمعیت و صنعتی شدن در کشورهای جهان سوم به‌خصوص ایران، دفن نامناسب زباله و ایجاد آلودگی ناشی از آن می‌باشد. از مسائلی که باید به آن توجه ویژه داشت، دفن این فضولات و مواد زائد جامد شهری، شیرابه‌ها و گازهای تولید شده از تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر لندفیل دفن زباله شهری گرگان با سابقه دفن بیش از ۳۷ سال، در منطقه هزارپیچ بر توزیع مکانی فلزات سنگین شامل روی، کادمیوم، سرب و مس در خاک منطقه بود. بررسی میزان آلودگی حاصله با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی توزیع مکانی فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و بار آلودگی انجام شد.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۴/۱۳ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۲/۰۴/۱۵ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۲/۰۴/۱۹	<b>مواد و روش‌ها:</b> با انجام مطالعات اولیه و در نظر گرفتن نقشه‌های پایه‌ای موجود، تعداد ۱۱۰ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری با فواصل منظم تهیه و در نهایت مقادیر فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> توزیع فلزات سنگین، شاخص آلودگی، شاخص زمین انباشتگی، لندفیل	<b>یافته‌ها:</b> نتایج به‌دست آمده نشان داد که غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌ترتیب در روی، سرب، مس و کادمیوم بیش‌ترین مقدار را داشتند. میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی به ترتیب افزایش ۲/۲۵ و ۱/۰۱ و ۰/۹۹ و ۰/۶۳ درصدی

---

نسبت به پس‌زمینه داشتند که این امر نشان‌دهنده وجود منبع آلودگی نقطه‌ای در منطقه مطالعاتی است. توزیع مکانی پراکنش با توجه به نقشه‌های استخراج شده، نشان داد سطح بالای غلظت فلزات سنگین در بخش‌های مرکزی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه قرار داشته که به دلیل مکان محل دفن زباله بوده است. اقلیم مرطوب و وجود توپوگرافی حاکم بر منطقه سبب انتشار شیرابه زباله توسط رواناب شده است، ولی با افزایش فاصله از محل دفن زباله روند نزولی غلظت آلاینده‌ها نمایان می‌باشد. فاکتور آلودگی در منطقه موردنظر بیانگر آلودگی متوسط برای فلزات سنگین سرب، مس و روی و آلودگی شدید خاک برای فلز کادمیوم بود. نتایج مربوط به شاخص زمین انباشتگی نیز نشان داد که مقدار میانگین این شاخص در کادمیوم، در کلاس آلودگی "کمی آلوده" قرار دارد و در مس، روی و سرب در کلاس آلودگی "غیرآلوده تا کمی آلوده" قرار دارد. همچنین با توجه به مقدار میانگین شاخص بار آلودگی، خاک سطحی از بار آلودگی متوسط برخوردار می‌باشد و نتایج بار آلودگی، آلودگی خاک به فلزات سنگین را تأیید می‌کند. بیش‌ترین غلظت فلزات سنگین در مجاورت محل دفن زباله قابل مشاهده است و با افزایش فاصله بر اساس شیب و توپوگرافی موجود، روند کاهشی وجود داشت.

**نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد منبع آلودگی فلزات سنگین، محل دفن زباله بوده است و عامل اصلی نشر و پخش آن شیرابه‌های حاصل از آن بوده که باعث انتشار آلودگی به مناطق اطراف بر اساس سیمای منطقه و در راستای جهت شیب شده است.

---

**استناد:** سودمند، علی، ابراهیمی، سهیلا، کیانی، فرشاد (۱۴۰۲). ارزیابی توزیع مکانی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی و شاخص زمین انباشتگی در خاک سطحی محل دفن زباله هزارپیچ گرگان. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۳ (۳)، ۶۲-۴۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20160.2061



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

با رشد اقتصادی و افزایش روزافزون جمعیت، مقدار تولید زباله افزایش یافته است و دفن زباله بخش مهمی از دغدغه‌های جوامع انسانی شده است (۱). آلودگی خاک در محل دفن زباله منجر به مشکلات زیست‌محیطی مختلفی می‌گردد و علاوه بر اثرات نامطلوب بر محیط زیست، منجر به تغییرات شدید در جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شوند (۲). انباشت آلودگی به مرور زمان موجب بروز اختلال و دگرگونی در شرایط تعادلی و متعارف منابع خاک و بحران‌های زیست‌محیطی می‌گردد (۳). فلزات سنگین مانند آرسنیک (As)، کروم (Cr)، کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg) و سرب (Pb) آلاینده‌هایی بوده که می‌توانند اثرات سمی، حتی در غلظت‌های کم خود داشته باشند (۴). به دلیل تجزیه‌پذیری کم و سرطان‌زا بودن، این فلزات تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت انسان هستند (۵). ماهیت سمی فلزات سنگین، تعادل بیولوژیکی طبیعی را بر هم می‌زند و فرآیندهای تصفیه در سیستم‌های طبیعی را مختل می‌کند. هم‌چنین این آلاینده‌های زیستی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند زباله‌های خانگی، شهری و بیمارستانی، محل‌های دفع زباله، چاه‌های فاضلاب و کودهای حیوانی می‌باشند، منبع برخی از باکتری‌های بیماری‌زا هستند که برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر هستند (۶، ۷، ۸، ۹).

شیرابه محل دفن زباله مخلوط پیچیده‌ای از چندین آلاینده مانند فلزات سنگین، ترکیبات معدنی و ذرات معلق می‌باشد (۱۰). فلزات سنگین که از شیرابه منشاء گرفته و به محیط زیست منتقل شده‌اند می‌توانند خطرات احتمالی برای خاک و آب‌های زیرزمینی و متعاقب آن برای آب‌های سطحی ایجاد کنند. تولید شیرابه و تحرک آلاینده‌های فلزات سنگین نیز به شدت تحت تأثیر میزان بارندگی است (۱۱).

هنگامی که شیرابه بدون کنترل آزاد شود، می‌تواند مسائل بهداشت محیطی را در بسیاری از کشورهای در حال توسعه ایجاد کند (۱۱). بر خلاف مواد آلی موجود در شیرابه که ممکن است در نهایت به متان تبدیل شوند (۱۲)، فلزات سنگین اگر با سرعت ۴۰۰ میلی‌متر در سال شسته شوند، می‌توانند حدود ۱۵۰ سال در محل دفن زباله باقی بمانند (۱۳). جمع‌آوری داده‌های زیست‌محیطی و تبدیل آن به شاخص‌ها، یک روش رایج برای ارزیابی کمی برخی معیارهای زیست‌محیطی است و معمولاً با هدف برنامه‌ریزی بهتر انجام می‌شوند. علاوه بر این، از آنجایی که مطالعه نقطه به نقطه خاک امری ناممکن می‌باشد، دانش کنونی با استفاده از روش‌های مناسب نمونه‌برداری و علم زمین آمار قادر به ارائه نمایی کلی از روند آلودگی است. در این رویکردها (روش‌های درون‌یابی) هر پارامتر کمی این قابلیت را دارد که به نقشه‌ای تبدیل شود که از نظر دقت با سایر پارامترها قابل مقایسه باشد. بنابراین، نقشه‌ها ابزاری مطمئن و مناسب برای بررسی‌های جامع هستند.

سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System - GIS) یک فناوری و روش مبتنی بر رایانه جهت جمع‌آوری، مدیریت، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و ارائه داده‌های توزیع مکانی برای طیف وسیعی از پارامترها از جمله فلزات سنگین است (۱۴). روش کریجینگ برای درون‌یابی در مراتع معمولی انگلیس استفاده شد و نقشه‌های توزیع فضایی برای شناسایی مناطق اصلی آلودگی تهیه شد (۱۵). ناکایاما و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی غلظت شش فلز و یک شبه‌فلز در خاک‌های کنار جاده اطراف معدن زامبیا پرداختند و منبع آلودگی فلزات را با استفاده از GIS تحلیل کردند (۱۶). دانگ و همکاران (۲۰۰۲) توزیع فلزات سنگین را با استفاده از تجزیه و تحلیل زمین آمار مدل‌سازی کردند و ایمنی زیست‌محیطی

زیست‌محیطی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی کردند. همبستگی به‌دست آمده بین فلزات نشان داد که عناصر سرب، روی، مس و کروم دارای همبستگی معناداری بوده که ناشی از منشأ یکسان از جمله انسان‌زاد است. از طرفی فلزاتی مانند کادمیم و آرسنیک، همبستگی پایینی با دیگر فلزات دارد که نشان از زمین‌زاد بودن این فلزات به ویژه آرسنیک و منابع آلودگی دیگر برای کادمیم است. نتایج شاخص آلودگی (PI)، شاخص جامع فاکتور آلودگی اصلاح شده نمره NIPI و نقشه توزیع فضایی هر کدام از عناصر نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز در سطح بسیار بالایی بوده و در مناطق با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین و فعالیت‌های صنعتی دارای آلودگی شدیدی ناشی از فلزات سنگین هستند (۲۲). مه‌پاترا و همکاران (۲۰۲۰) شاخص فلزات سنگین و رویکرد سیستم اطلاعات (GIS) را برای مطالعه آلودگی فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی شمال چنای (کلان شهری در کشور هند) بررسی کردند. تحلیل واریانس بر روی داده‌های هیدروشیمیایی برای هر دو دوره باران‌های موسمی انجام شد و مشخص شد که یک منبع مشترک برای اکثر فلزات سنگین وجود دارد که با تجزیه و تحلیل همبستگی و مؤلفه‌های اصلی نیز تأیید شد. آزمون T نشان می‌دهد که منشأ مشترک فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه وجود داشته است. نمونه‌های آب زیرزمینی قبل از موسمی نسبت به نمونه‌های پس از موسمی علت شایع منشأ فلزات سنگین را نشان دادند. دوره‌ها و شاخص فلزات نیز نشان‌دهنده عدم استفاده از آب برای مصارف شرب است (۲۳). احمد و همکاران (۲۰۱۶) توزیع فضایی و شناسایی منبع آلودگی فلزات سنگین در خاک سطح کنار جاده در بزرگراه داکا آریچا، بنگلادش را مورد

زمین‌های اصلاح‌شده برای اهداف کشاورزی از مناطق فرونشست تعیین کردند (۱۷). نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که در میان شش عنصر مورد مطالعه (As, Hg, Pb, Cu, Cd و Cr)، سطوح بسیار بالایی از Cd در خاک‌های اصلاح‌شده و در خاک شاهد در اعماق مختلف یافت شد. کوانگ و همکاران (۲۰۱۸) از تکنیک‌های مبتنی بر GIS برای تخمین توزیع فضایی فلزات سنگین در خاک شهری منطقه Hoc Mon شهر هوشی مین، ویتنام استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوی فضایی فلزات سنگین بر اساس داده‌های درجا با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی با موفقیت درون‌یابی می‌شود. آلودگی بیش‌تر برای مس و روی در منطقه مورد مطالعه یافت می‌شود (۱۸). ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی نوع و رفتار آلاینده‌ها، ارزیابی زیست‌محیطی و سنجش برخی شاخص‌های مهم آلودگی نفتی در اراضی محدوده پالایشگاه و چگونگی نشر و ترابری آن‌ها در محیط زیرزمینی پرداختند و نتایج وجود و نشر آلودگی در اطراف پالایشگاه سرخون بندرعباس را نشان داد (۱۹). آلتان و همکاران (۲۰۱۱) یک بررسی دقیق برای درک ویژگی‌های آلودگی و توزیع آلودگی فلزات سنگین بر حسب سهم غلظت فلزات سنگین به عنوان میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم، کروم، مس، نیکل، روی، سرب، آهن و منگنز در خاک شهری انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر غلظت تمام فلزات به‌جز نیکل و کروم در خاک کم‌تر از مقادیر خطر آلودگی حدی است که توسط وزارت محیط زیست و جنگلداری ترکیه در برخی از نقاط نمونه توصیه شده است (۲۰). لی و همکاران (۲۰۱۱) توزیع فضایی فلزات سنگین خاک در شهر هویژو بر اساس مدل‌سازی BP-ANN و GIS را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد مهم‌ترین منبع آلودگی سرب است (۲۱). قنوتی و نظریور (۲۰۱۸) آلودگی

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در محدوده تپه هزارپیچ با طول شرقی  $51^{\circ} 22' 54''$  تا  $53^{\circ} 23' 04''$  و عرض شمالی  $28^{\circ} 42' 36''$  تا  $36^{\circ} 12' 50''$  و با وسعتی در حدود ۱۵۰ هکتار در بخش غربی شهر گرگان واقع شده است. این منطقه نزدیک ۴ دهه (تا سال ۱۳۹۶)، محل دفن زباله‌های شهری بوده است (شکل ۱). برای تعیین نقاط نمونه‌برداری، با توجه به وضعیت منطقه و نقشه‌های پایه‌ای موجود، یک شبکه سیستماتیک با فواصل  $1 \times 1$  کیلومتر در خاک اطراف محل دفن زباله با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۴٫۱ طراحی شد و محل‌های برخورد شبکه به عنوان نقاط نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. مختصات جغرافیایی هر نمونه توسط سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) ثبت شد و اقدام به تهیه ۱۱۰ نمونه خاک سطحی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری شد. علاوه بر این، با توجه به شیب هیدرولیکی زمین و جهت باد غالب منطقه، سه نمونه دورتر از محل دفن زباله با ویژگی‌های مشابه و زمین‌شناسی یکسان به عنوان نمونه‌های مرجع انتخاب شدند. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی ذخیره و برای آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند.

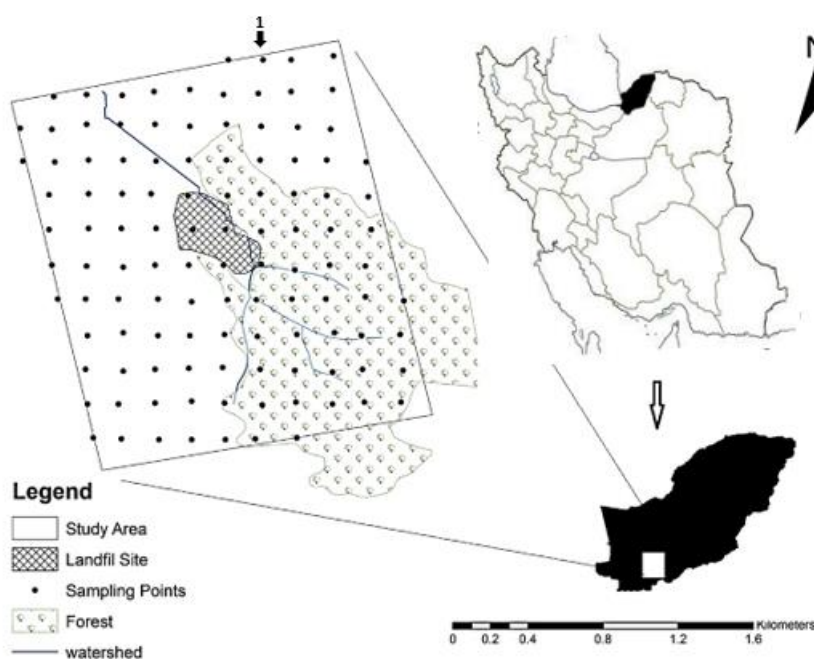
**آنالیزهای شیمیایی:** برای اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و یک گرم خاک هواخشک شده از هر نمونه به لوله‌های هضم منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر از مخلوط اسیدکلریدریک و اسیدنیتریک با نسبت حجمی ۱:۳ برای هضم نمونه‌ها استفاده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، محتویات لوله‌های هضم به مدت ۱ ساعت در دمای  $120^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد (۲۶). در نهایت، از بین عناصر آنالیز شده، با توجه به هدف مقاله، غلظت ۴ عنصر سرب (Pb)، روی (Zn)، مس (Cu)، کادمیوم (Cd) با طیف‌سنجی جذب اتمی (VARIAN-AA240) اندازه‌گیری شد

بررسی قرار دادند. سیزده فلز مختلف در نمونه‌های آزمایش شده یافت شد. شاخص‌های آلودگی با ضریب غنی‌سازی به ترتیب  $Zr > Sn > P > Mn > Zn > Rb > Fe > Ba > Sr > Ti > K > Ca > Al$  تعیین شد (۲۴). سانتوس-فرانسیس و همکاران (۲۰۱۷) توزیع فضایی فلزات سنگین و کیفیت محیطی خاک در فلات شمالی اسپانیا با روش‌های زمین‌آماري را بررسی کردند. داده‌های به‌دست آمده نشان داد که اکثر خاک‌ها (۵۴/۶۱ درصد) دارای آلودگی کم تا متوسط، ۲۲/۳۱ درصد آلودگی متوسط و ۲۱/۵۴ درصد نمونه‌ها فاقد آلودگی بودند. اگر شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (RI) در نظر گرفته شود، بیش‌ترین درصد نمونه‌های خاک خطر اکولوژیکی آلودگی بالقوه کم (۷۰/۷۹ درصد) تا متوسط (۲۵/۳۸ درصد) را نشان می‌دهند، در حالی که بقیه خاک (۳/۸۳ درصد) خطر آلودگی قابل‌توجهی را نشان می‌دهد (۲۵).

تپه سوگله که به تپه هزارپیچ نیز معروف است، یکی از مناطق گردشگری شهر گرگان محسوب می‌شود که به دلیل آب و هوای خنک و اشراف به شهر گرگان همواره مورد استقبال گردشگران بوده است. این منطقه نزدیک به ۴ دهه، محل تخلیه زباله شهری، نخاله و فاضلاب انسانی بوده است، اما در سال‌های اخیر به دلیل بوی تعفن فاضلاب آن و مخاطرات زیست‌محیطی به دستور استاندار وقت، پاک‌سازی منطقه شروع و مقرر شد که طی دو سال در این منطقه پارک پسماند یا پارک طبیعت ایجاد شود. در این راستا، هدف از این پژوهش عبارت است از بررسی وضعیت فعلی محل مطالعه با نظارت بر تغییرات بخش آلاینده‌ها در محل دفن زباله، ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین با استفاده از معیارهای آلودگی مانند، شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo)، فاکتور آلودگی (CF) و فاکتور بار آلودگی و ارائه نقشه‌های برآوردکننده نشر آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

دستگاه شیکر تکان داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت کنار گذاشته شد و پس از جداسازی فاز مایع از جامد با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (۲۷). هدایت الکتریکی (EC) در عصاره کل اشباع با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی به روش ریچاردز (۲۸) و نیتروژن کل به روش کجلدال (۲۹) اندازه‌گیری شده است.

و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هم‌چنین pH نمونه‌های خاک به‌منظور بررسی تأثیر ویژگی شیمیایی خاک بر روی غلظت فلزات سنگین، اندازه‌گیری شد. بدین‌صورت که ۱۰ گرم نمونه خاک که در هوای آزاد خشک گردید با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خوبی مخلوط گردید و به منظور اختلاط بهتر، هر کدام از ظرف‌های حاوی نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده.

Figure 1. Location of the studied area and sampled points.

افزایش غلظت عناصر سنگین در رسوبات از مقادیر پایه یا زمینه آن در منطقه می‌باشد. به‌منظور تعیین درجه آلودگی خاک، شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی خاک برای هر فلز سنگین به ترتیب با استفاده از رابطه‌های زیر (۱ و ۲) محاسبه شدند (۳۰، ۳۱):

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{Cn}{1.5Bn} \right] \quad (1)$$

$$CF = \frac{Cn}{Bn} \quad (2)$$

تجزیه داده‌ها: فلزات سنگین موجود در خاک و سایر خواص شیمیایی با استفاده از نرم‌افزار Jump برای تعیین آمار توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 به روش درونیابی کریجینگ تهیه شد.

#### شاخص‌های آلودگی

شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی: این شاخص از معیارهای متداول برای ارزیابی میزان



که در آن، (Igeo) شاخص زمین انباشتگی، (CF) فاکتور آلودگی خاک، (Cn) غلظت عنصر مورد بررسی در نمونه خاک و (Bn) غلظت عنصر در نمونه مرجع است (۳۲). نمونه مرجع عناصر مذکور براساس خاک غیرآلوده در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. براساس شاخص‌های مذکور، خاک از نظر آلودگی به فلزات سنگین مطابق جدول ۱ کلاس‌بندی خواهد شد.

جدول ۱- شاخص‌ها و کلاس‌های زمین انباشتگی (Igeo) و فاکتور آلودگی (CF).

Table 1. Indices and classes of Geoaccumulation (Igeo) and pollution factor (CF).

مقدار Igeo	کلاس آلودگی	مقدار CF	کلاس آلودگی
Igeo value	Contamination class	CF value	Contamination class
Igeo ≤ 0	غیرآلوده uncontaminated	CF < 1	آلودگی کم Low contamination
1 < Igeo < 0	غیرآلوده تا کمی آلوده Uncontaminated to slightly contaminated	3 ≤ CF < 1	آلودگی متوسط Moderate contamination
2 < Igeo < 1	کمی آلوده slightly contaminated	3 ≤ CF < 6	آلودگی شدید Severe contamination
3 < Igeo < 2	کمی آلوده تا بسیار آلوده Slightly contaminated to very contaminated	CF ≥ 6	آلودگی خیلی شدید Very heavy contamination
4 < Igeo < 3	بسیار آلوده very contaminated		
5 < Igeo < 4	بسیار آلوده تا به شدت آلوده Very contaminated to severely contaminated		
Igeo ≥ 5	به شدت آلوده heavily contaminated		

می‌دهند. رابطه ۳ روش محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد (۳۲).

$$PLI = \sqrt[n]{PLI = CF1 \times CF2 \times \dots \times CFn} \quad (3)$$

شاخص بار آلودگی: این شاخص بیانگر تعداد دفعاتی است که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه، افزایش یافته است. نتایج این شاخص خلاصه‌ای از شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین را تشریح کرده و کیفیت محیطی خاک را نشان

جدول ۲- درجه بندی مقدار استاندارد آلودگی خاک براساس شاخص بار آلودگی (۳۳).

**Table 2. Classification of the standard value of soil contamination based on the contamination load index (33).**

شاخص جامع آلودگی Comprehensive index of contamination	سطح آلودگی Contamination level
$P \leq 0.7$	عالی Excellent
$0.7 < P \leq 1$	پاک Clear
$1 < P \leq 2$	آلودگی کم Low contamination
$2 < P \leq 3$	آلودگی متوسط Moderate contamination
$P > 3$	آلودگی زیاد High contamination

کادمیوم، سرب، مس و روی به ترتیب افزایش ۲/۲۵ و ۱/۰۰۸ و ۰/۹۹ و ۰/۶۳ درصدی نسبت به پس زمینه داشت که این امر نشان دهنده وجود منبع آلودگی نقطه ای در منطقه مطالعاتی است (۳۶). مقادیر کادمیوم، سرب، مس و روی به ترتیب بین ۰/۱۱-۰/۵۱، ۷۱/۲۳-۱۰۲/۹۹ و ۲۱/۱۶-۴۴/۹۶، ۱۸/۱۶-۵۳/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. ضریب تغییرات (CV) نشان دهنده مقدار نوسان غلظت فلزات سنگین است. بر اساس مطالعات لی و همکاران مقدار ضریب تغییرات به گروه های متعددی طبقه بندی می شوند:  $CV \leq 20\%$  (تغییرات کم)،  $21\% < CV \leq 50\%$  (تغییرات متوسط)،  $50\% < CV \leq 100\%$  (تغییرات شدید) و  $CV > 100\%$  (تغییرات بسیار شدید) (۳۷). در مطالعه حاضر، بیشترین ضریب تغییرات در مقادیر کادمیوم مشاهده شد و کمترین ضریب تغییرات مربوط به فلز روی بود. ویکزورک و همکاران اذعان کردند که ضریب تغییرات بالا می تواند مربوط به عوامل طبیعی و یا فعالیت های انسانی مانند معدن، دفن زباله و فعالیت های صنعتی و غیرصنعتی باشد (۳۸).

### نتایج و بحث

آمار توصیفی پارامترهای شاخص آلاینده: با توجه به جدول ۳، که غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک جمع آوری شده به ترتیب به صورت  $Zn > Pb > Cu > Cd$  بود. در پژوهش ماکولکه و همکاران (۲۰۲۰) نیز که به بررسی توزیع فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی اطراف محل زباله پرداخته است، مشخص شده است که میزان فلز روی بیش تر از مس و کادمیوم می باشد ( $Zn > Cu > Cd$ ) (۳۴). نتایج مطالعه میرزایی و همکاران که به اندازه گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) پرداخته اند، بیانگر آن است که روند کلی غلظت فلزات در منطقه به صورت  $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$  می باشد (۳۵). مقدار پس زمینه عناصر مذکور بر اساس خاک غیرآلوده در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد که برای فلزات کادمیوم، سرب، مس و روی به ترتیب برابر ۰/۰۸، ۱۶/۲، ۱۵/۲۲، ۵۱/۳ می باشد. هم چنین نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین

جدول ۳- خلاصه پارامترهای آماری غلظت عناصر سنگین خاک.

**Table 3. Summary of statistical parameters of soil heavy elements concentration.**

Pb (mg/kg) Plumbum	Cu (mg/kg) Copper	Zn (mg/kg) Zinc	Cd (mg/kg) Cadmium	متغیرها Variables
18.16	21.16	71.23	0.11	حداقل Minimum
53.95	44.96	102.99	0.51	حداکثر Maximum
32.53	30.38	83.69	0.26	میانگین Mean
8.56	6.8	7.74	0.1	انحراف معیار standard deviation
0.26	0.20	0.09	0.38	ضریب تغییرات Coefficient of variation
16.2	15.22	51.3	0.08	پس‌زمینه Background

فلزات سنگین در بخش‌های مرکزی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارد که ممکن است مربوط به محل دفن زباله باشد. مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که شیرابه زباله همیشه حاوی فلزات سنگین هستند (۴۰، ۴۱). اقلیم مرطوب و وجود سطح شیب‌دار منجر به انتشار شیرابه زباله توسط رواناب شده در نتیجه با افزایش فاصله از محل دفن زباله روند نزولی طبق جدول ۵ قابل مشاهده است. مطالعات پیشین گزارش کردند که محل‌های دفن زباله منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین مختلف در محیط اطراف به‌دلیل انتشار شیرابه زباله هستند (۴۲، ۴۳). به عنوان مثال ماکولکه و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که حرکت شیرابه عامل اصلی انتشار آلودگی از محل دفن زباله به خاک اطراف است. در نهایت، محل دفن زباله و توپوگرافی دو عامل مهم در توزیع فلزات سنگین هستند (۳۴).

توزیع مکانی فلزات سنگین آلاینده: نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین به‌عنوان ابزاری مناسب برای شناسایی منبع آلودگی احتمالی استفاده می‌شود (۳۹). در مطالعه حاضر، به مقایسه روش‌های درونیابی (اسپیلین، کریجینگ و IDW با توان ۲) در نمونه‌های خاک سطحی با توجه به میانگین مربعات خطا (RMSE) پرداخته شد (جدول ۴). نتایج نشان داد کم‌ترین میزان خطای RMSE برای فلزات Zn, Pb, Cu و Cd مربوط به روش کریجینگ و بیش‌ترین میزان خطای RMSE مربوط به روش اسپیلین می‌باشد. بنابراین با توجه به مقادیر RMSE‌های به‌دست آمده، مناسب‌ترین روش برای درونیابی غلظت عناصر در خاک سطحی، روش درونیابی کریجینگ می‌باشد. به‌همین دلیل در این پژوهش نقشه‌های توزیع فضایی فلزات سنگین با استفاده از روش درونیابی کریجینگ تهیه شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، سطح بالای غلظت

جدول ۴- میزان میانگین مربعات خطا (RMSE) در نمونه‌های خاک سطحی طبق روش‌های درونیابی مختلف.

**Table 4. The amount of root mean square error (RMSE) in surface soil samples according to different interpolation methods.**

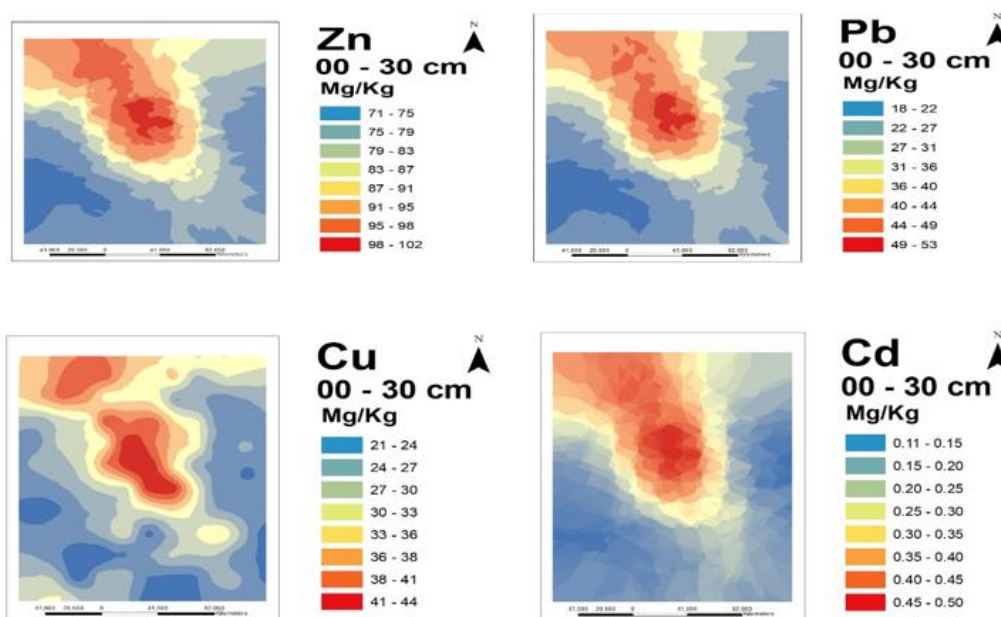
اسپیلاین	کریجینگ	IDW	روش	
1.70	1.30	1.65	Pb	RMSE
1.68	1.03	1.60	Zn	
0.03	0.013	0.024	Cd	
1.66	1.30	1.58	Cu	

جدول ۵- نتایج آنالیز شیرآبه در محل دفن زباله و افزایش فاصله نسبت به محل دفن.

**Table 5. Analysis results of the latex in the landfill and increasing the distance from the landfill.**

متغیرها واحد اندازه‌گیری	اسیدیته خاک (pH)	هدایت الکتریکی (mho)	ازت (mg/l)	کربن آلی (mg/l)	کادمیوم (mg/kg)	روی (mg/kg)	مس (mg/kg)	سرب (mg/kg)
در محل دفن زباله	7.33	39	2.27	25	0.51	102.99	44.96	53.95
افزایش فاصله*	7.23	30	1.36	15	0.09	5.36	4.90	0.33

\* فاصله بین محل دفن زباله تا نمونه شماره ۱ (که در شکل ۱ مشخص شده است) می‌باشد که بیش‌ترین فاصله را تا محل دفن زباله دارد



شکل ۲- توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درونیابی کریجینگ.

**Figure 2. Spatial distribution of heavy metal concentration in the study area using Kriging interpolation method.**

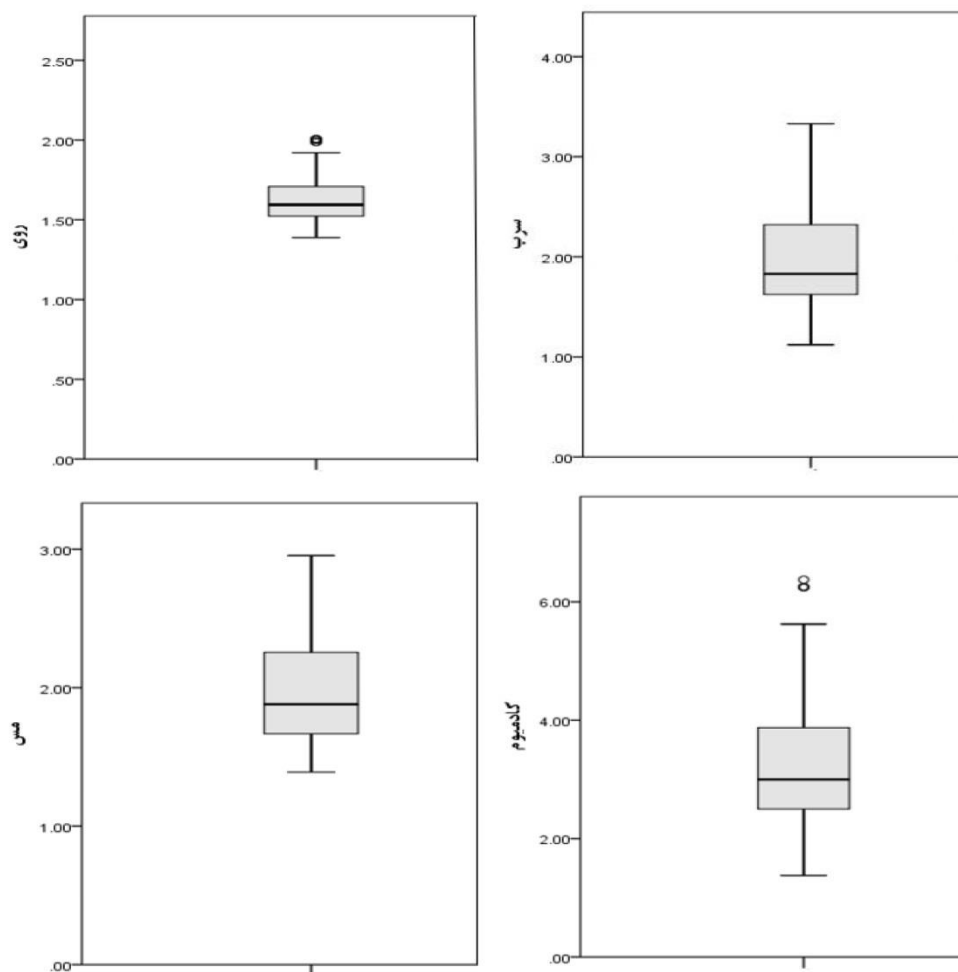
در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که مقدار پس‌زمینه را می‌توان با روش‌های دیگری از جمله میانگین مرجع جهانی گزارش شده توسط کاباتا-پندیاس (۲۰۱۱) در خاک‌های بکر و یا

فاکتور آلودگی: فاکتور آلودگی به منظور ارزیابی سطح آلودگی بر اساس غلظت طبیعی فلز سنگین در منطقه غیرآلوده برای هر فلز محاسبه می‌شود. در این پژوهش مقدار پس‌زمینه عناصر مذکور بر اساس خاک غیرآلوده

بررسی توزیع فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی اطراف محل زباله پرداخته است، مشخص شده است که میانگین مقدار CF فلزات مختلف در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر کم تر از ۲ می باشد و میانگین مقدار CF فلز کادمیوم بین ۲ تا ۵ می باشد (۳۴). پژوهش ما، آلودگی متوسط را برای فلزات سنگین مورد مطالعه به جز کادمیوم در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر نشان داد. توزیع فلزات سنگین نشان می دهد که آلودگی در نزدیکی محل دفن زباله در حد متوسط است. به طور مشابه، چندین مطالعه نشان داد که آلودگی در اطراف محل دفن زباله توزیع می شود و مقادیر بالای فاکتور آلودگی در مجاور محل دفن زباله به دلیل ترکیب زباله است (۱۰، ۴۵).

غلظت عناصری مانند آلومینیوم، منیزیم، آهن، وانادیوم، تیتانیوم و سیلیسیوم که مقدار ثابتی دارند انتخاب کرد (۴۴).

مقدار فاکتور آلودگی برای هر فلز سنگین در شکل ۳ خلاصه شده است. مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین سرب، کادمیوم، مس و روی به ترتیب بین ۱/۱۲-۳/۳۳ (میانگین = ۲/۰۰)، ۱/۳۸-۶/۳۸ (میانگین = ۳/۲۶)، ۱/۳۹-۲/۹۵ (میانگین = ۱/۹۹) و ۱/۳۹-۲/۰۰ (میانگین = ۱/۶۳) متغیر است که بر اساس جدول ۱ برای فلزهای سرب، مس و روی درجه آلودگی متوسط خاک قابل مشاهده است و برای فلز کادمیوم درجه آلودگی شدید خاک قابل مشاهده است. در پژوهش ماکولکه و همکاران (۲۰۲۰) نیز که به



شکل ۳- نمودارهای جعبه ای فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه.

Figure 3. Box plot of heavy metal contamination factor in the study area.

سطحی در منطقه مطالعاتی، از نظر عنصر کادمیوم ۸/۱۸ درصد در کلاس غیرآلوده، ۴۲/۶۴ درصد در کلاس غیرآلوده تا کمی آلوده، ۴۴/۶۴ درصد در کلاس کمی آلوده و ۴/۵۵ درصد در کلاس کمی آلوده تا بسیار آلوده قرار دارند.

در مورد عنصر کادمیوم می‌توان گفت که مساحت زیادی از منطقه مطالعاتی دچار آلودگی متوسط این عنصر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که عنصر کادمیوم در نتیجه فعالیت‌های انسان به‌ویژه انباشت زباله به منطقه مطالعاتی وارد شده‌اند و خاستگاه طبیعی ندارند. میانگین شاخص زمین انباشتگی برای عنصر کادمیوم در کلاس آلودگی متوسط قرار دارد و منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص زمین انباشتگی آلودگی متوسطی به کادمیوم دارد.

شاخص زمین انباشتگی: شاخص زمین انباشتگی (Igeo) یکی دیگر از شاخص‌های رایج برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار شاخص زمین انباشتگی برای کادمیوم بین ۰/۱۲- تا ۲/۰۹ (میانگین = ۱/۰۲)، ۰/۰۳- تا ۰/۲۹ (میانگین = ۰/۱۲) برای مس، ۰/۱۱- تا ۰/۴۲ (میانگین = ۰/۱۲) برای روی و ۰/۴۲- تا ۱/۱۵ (میانگین = ۰/۳۷) برای سرب متغیر بود. مقدار میانگین شاخص زمین انباشتگی در کادمیوم، طبق جدول ۱ در کلاس آلودگی "کمی آلوده" قرار دارد و مقدار میانگین شاخص زمین انباشتگی در مس، روی و سرب در کلاس آلودگی "غیرآلوده تا کمی آلوده" قرار دارد. با توجه به نتایج کلاس‌بندی جدول ۶، نقاط نمونه‌برداری شده از خاک

جدول ۶- کلاس‌بندی شاخص زمین انباشتگی فلزات سنگین در نمونه های خاک سطحی.

Table 6. Classification of Geo-accumulation index of heavy metals in surface soil samples.

کلاس/فلزات	کادمیوم	مس	روی	سرب
غیرآلوده	8.18 %	7.27 %	20.91 %	11.82 %
غیرآلوده تا کمی آلوده	42.64 %	92.73 %	79.09 %	83.64 %
کمی آلوده	44.64 %	-	-	4.55 %
کمی آلوده تا بسیار آلوده	4.55 %	-	-	-
بسیار آلوده	-	-	-	-
بسیار آلوده تا به شدت آلوده	-	-	-	-
به شدت آلوده	-	-	-	-

برخوردار می‌باشد. نتایج پژوهش ماکولکه و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که میزان شاخص PLI در نمونه‌های خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) بیش‌تر از یک می‌باشد که نشان داد همه مکان‌های اطراف محل دفن زباله آلوده بودند (۳۴). علاوه‌بر این، فونگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی تغییرات غلظت عناصر در خاک اطراف محل انباشت زباله با استفاده از بار آلودگی بیان کردند که خاک اطراف محل

شاخص بار آلودگی: از جمله مزایای شاخص بار آلودگی نسبت به دیگر شاخص‌ها در این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد، در منطقه مشخص می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی شاخص بار آلودگی نشان داد که میانگین شاخص بار آلودگی (PLI) در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برابر با ۲/۱۴ می‌باشد و طبق جدول ۲، از بار آلودگی متوسط

شمال غربی منطقه مورد مطالعه را نشان داد که مربوط به محل دفن زباله است. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد که برای فلزهای سرب، مس و روی درجه آلودگی متوسط خاک و برای فلز کادمیوم درجه آلودگی شدید خاک قابل مشاهده است. نتایج مربوط به شاخص زمین انباشتگی نیز نشان داد که مقدار میانگین این شاخص در کادمیوم، در کلاس آلودگی "کمی آلوده" قرار دارد و در مس، روی و سرب در کلاس آلودگی "غیرآلوده تا کمی آلوده" قرار دارد. در مورد عنصر کادمیوم می توان گفت که مساحت زیادی از منطقه مطالعاتی دچار آلودگی متوسط این عنصر می باشد. این نتایج نشان می دهد که عنصر کادمیوم در نتیجه فعالیت های انسان به ویژه انباشت زباله به منطقه مطالعاتی وارد شده اند و خاستگاه طبیعی ندارند. در نتیجه براساس شاخص زمین انباشتگی منطقه نسبت به عنصر کادمیوم آلودگی دارد. هم چنین نتایج حاصل از بررسی شاخص بار آلودگی نشان داد که مقدار میانگین شاخص بار آلودگی در خاک سطحی، از بار آلودگی متوسط برخوردار می باشد و آلودگی خاک به فلزات سنگین را تأیید می کند. به نظر می رسد منبع آلودگی فلزات سنگین، محل دفن زباله بوده است و عامل اصلی نشر و پخش آن شیرابه های حاصل از آن بوده که باعث انتشار آلودگی به مناطق اطراف براساس سیمای منطقه و در راستای جهت شیب شده است.

انباشت زباله از نظر بار آلودگی به فلزات سنگین، دارای آلودگی متوسط می باشد (۴۶).

با توجه به روند کاهشی غلظت فلزات سنگین از محل دفن زباله به مناطق مجاور، می توان نتیجه گرفت که محل دفن زباله منبع اصلی آلودگی در خاک منطقه مورد مطالعه است. از سوی دیگر، هر سه شاخص فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و بار آلودگی، آلودگی خاک به فلزات سنگین را تأیید کردند.

### نتیجه گیری

در این مطالعه، جهت بررسی میزان نشر و پخش آلودگی فلزات سنگین و توزیع مکانی آن ها در منطقه مورد نظر که حدود چهار دهه محل انباشت زباله شهری و خانگی و ضایعات نخاله های گرگان بوده است، از شاخص های غلظت و توزیع مکانی فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و بار آلودگی استفاده شد. نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در نمونه های جمع آوری شده به ترتیب در روی، سرب، مس و کادمیوم بیشترین مقدار را داشتند. میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی به ترتیب افزایش ۲/۲۵ و ۱/۰۱ و ۰/۹۹ و ۰/۶۳ درصدی نسبت به پس زمینه داشتند که این امر نشان دهنده وجود منبع آلودگی نقطه ای در منطقه مطالعاتی است. نقشه های توزیع فضایی فلزات سنگین، سطح بالای غلظت فلزات در بخش مرکزی و

### منابع

- Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q., & Luo, J. (2015). Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521, 144-151. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.081.
- Tazangi, M. H., Ebrahimi, S., Nasrabadi, R. G., & Naeni, S. A. M. (2020). Kinetic monitoring of bioremediators for biodegradation of gasoil-polluted soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-13. doi: 10.1007/s11270-020-04794-6.
- Fallah, M., Ebrahimi, S., & Shabanpour, M. (2013). Hydrocarbon pollution emission in the pilot and pulse condition in saturated porous media of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(3), 227-240. [In Persian]
- Rahman, Z., & Singh, V. P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd),

- chromium (Cr) (VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 419. doi: [10.1007/s10661-019-7528-7](https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7).
5. Abu-Rukah, Y., & Abu-Aljarayesh, I. (2002). Thermodynamic assessment in heavy metal migration at El-Akader landfill site, North Jordan. *Waste Management*, 2, 727-738. doi: [10.1016/S0956-053X\(02\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00046-6).
  6. Öman, C. B., & Junestedt, C. (2008). Chemical characterization of landfill leachates—400 parameters and compounds. *Waste management*, 28 (10), 1876-1891. doi: [10.1016/j.wasman.2007.06.018](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.06.018)
  7. Ebrahimi, S., Shayegan, J., Malakouti, M. J., Bybordi, M., & Ghodousi, J. (2022). Assessing of some important gas condensate pollution factors along horizontal and vertical soil contamination gradients (Sarkhun's gas refinery, Bandar Abbas). *Journal of Soil Science Society of Iran*, 1(1), 97-112. [In Persian]
  8. Talalaj, I. A. (2015). Release of heavy metals from waste into leachate in active solid waste landfill. *Environment Protection Engineering*, 41, 1. doi: [10.5277/ep150107](https://doi.org/10.5277/ep150107).
  9. Akhavan, S., Ebrahimi, S., Navabian, M., Shabanpour, M., Mojtahedi, A., & Movahedi Naeini, A. (2018). Significance of physicochemical factors in the transmission of *Escherichia coli* and chloride. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5(2), 115-122. doi: [10.15171/EHEM.2018.16](https://doi.org/10.15171/EHEM.2018.16).
  10. Naveen, B., Mahapatra, D. M., Sitharam, T., Sivapullaiyah, P., & Ramachandra, T. (2017). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution*, 220, 1-12. doi: [10.1016/j.envpol.2016.09.002](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002).
  11. Adamcová, D., Radziemska, M., Ridošková, A., Bartoň, S., Pelcová, P., Elbl, J., Kynický, J., Brtnický, M., & Vaverková, M.D. (2017). Environmental assessment of the effects of a municipal landfill on the content and distribution of heavy metals in *Tanacetum vulgare* L. *Chemosphere*, 185, 1011-8. doi: [10.1016/j.chemosphere.2017.07.060](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.060).
  12. Yusof, N., Haraguchi, A., Hassan, M., Othman, M., Wakisaka, M., & Shirai, Y. (2009). Measuring organic carbon, nutrients and heavy metals in rivers receiving leachate from controlled and uncontrolled municipal solid waste (MSW) landfills. *Waste Management*, 29 (10), 2666-2680. doi: [10.1016/j.wasman.2009.05.022](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.022).
  13. Adelopo, A., Haris, P. I., Alo, B., Huddersman, K., & Jenkins, R. (2018). Multivariate analysis of the effects of age, particle size and landfill depth on heavy metals pollution content of closed and active landfill precursors. *Waste Management*, 78, 227-37. doi: [10.1016/j.wasman.2018.05.040](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.040).
  14. Suh, J., Kim, S. M., Yi, H., & Choi, Y. (2017). An overview of GIS-based modeling and assessment of mining-induced hazards: Soil, water, and forest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 14 (12), 1463. doi: [10.3390/ijerph14121463](https://doi.org/10.3390/ijerph14121463).
  15. Oliver, M. A., & Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*. 4(3), 313-32. doi: [10.1080/02693799008941549](https://doi.org/10.1080/02693799008941549).
  16. Nakayama, S. M., Ikenaka, Y., Hamada, K., Muzandu, K., Choongo, K., Teraoka, H., Mizuno, N., & Ishizuka, M. (2011). Metal and metalloid contamination in roadside soil and wild rats around a Pb-Zn mine in Kabwe, Zambia. *Environmental Pollution*, 159, 175-81. doi: [10.1016/j.envpol.2010.09.007](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.007).
  17. Dang, Z., Liu, C., & Haigh, M. J. (2002). Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. *Environmental Pollution*. 118(3), 419-26. doi: [10.1016/S0269-7491\(01\)00285-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00285-8).
  18. Quang, T. T., Chou, T. Y., Van, H. T., Chen, H., Mon, D., & Tung, L. H. (2018). GIS-based techniques for estimating spatial distribution of heavy metals in urban soil: a case study in hoc mon district, Ho Chi Minh City, Vietnam. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 7, 25-9.



19. Ebrahimi, S., Shayegan, J., Malakouti, M., & Akbari, A. (2011). Environmental evaluation and assessment of some important factors of oil contamination in soil around Sarkhoun gas refinery of Bandar Abbas. *Journal of Environmental Studies*, 37(57), 9-26. [In Persian]
20. Altan, M., Ayyildiz, Ö., Malkoç, S., Yazici, B., & Koparal, S. (2011). Heavy metal distribution map in soil by using GIS techniques. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5, 1.
21. Li, Y., Li, C. K., Tao, J. J., & Wang, L. D. 2011. Study on spatial distribution of soil heavy metals in Huizhou city based on BP--ANN modeling and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 1953-60. doi:10.1016/j.proenv.2011.09.306.
22. Ghanavati, N., & Nazarpour, A. (2018). Environmental investigation of heavy metals concentration in Ahvaz city street dust, by using Geographical Information Systems (GIS). *Journal of Environmental Studies*, 44(3), 393-410. doi: 10.22059/jes.2019.213132.1007285. [In Persian]
23. Mahapatra, S., Venugopal, T., Shanmugasundaram, A., Giridharan, L., & Jayaprakash, M. (2020). Heavy metal index and geographical information system (GIS) approach to study heavy metal contamination: a case study of north Chennai groundwater. *Applied Water Science*, 10, 1-17. doi: 10.1007/s13201-020-01321-0.
24. Ahmed, F., Fakhrudin, A. N. M., Imam, M. T., Khan, N., Khan, T. A., Rahman, M. M., & Abdullah, A. T. M. (2016). Spatial distribution and source identification of heavy metal pollution in roadside surface soil: a study of Dhaka Aricha highway, Bangladesh. *Ecological Processes*, 5, 1-16. doi: 10.1186/s13717-016-0045-5.
25. Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Ávila Zarza, C., García Sánchez, A., & Alonso Rojo, P. (2017). Spatial distribution of heavy metals and the environmental quality of soil in the Northern Plateau of Spain by geostatistical methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 568. doi: 10.3390/ijerph14060568.
26. Chen, M., & Ma, L. Q. (2001). Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 491-499. doi: 10.2136/sssaj2001.652491x.
27. Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). Standards methods for the examination of water and wastewater, 22th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
28. Richards, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. P 4-160. In: L. A. Richards (Ed.). Handbook of U.S. Dept. of Agriculture, Washington.
29. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA Madision. 6, 595-624.
30. Muller, G. 1980. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 2, 108-18.
31. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 14(8), 975-1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.
32. Jawed Pazhmaan, A., Ebrahimi, S., Kiani, F., & Rashidi, H. (2021). Pollution assessment, spatial distribution and exposure of Cd and Pb in surface soils of abandoned landfill site in Gorgan, north of Iran. *Environmental Resources Research*, 9 (1), 69-78. doi: 10.22069/ijerr.2021.5529.
33. Bhuiyana, M. A. H., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B., & Suzukia, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173, 384-392. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.085.
34. Makuleke, P., & Ngole-Jeme, V. M. (2020). Soil heavy metal distribution with depth around a closed landfill and their uptake by *Datura stramonium*. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020, 1-14. doi: 10.1155/2020/8872475.

35. Mirzaei, M., Marofi, S., Solgi, E., Abbasi, M., & Karimi, R. (2017). Evaluation of heavy metal contamination ecological risk in a food-producing ecosystem. *Journal of Health Research in Community*, 3 (2), 1-16. [In Persian]
36. Shang, B., Zou, Y., Xu, Y. M., Song, W. J., Wang, C. D., Meng, J., Liu, X. B., & Chu, Z. G. (2014). Relationship between SOM contents of tobacco fields and elevation and parent materials in central region of Guizhou province. *Soils*, 46(3), 446-451.
37. Li, F., Li, X., Hou, L., & Shao, A. (2018). Impact of the coal mining on the spatial distribution of potentially toxic metals in farmland tillage soil. *Scientific Reports*, 8(1), 14925. doi: 10.1038/s41598-018-33132-4.
38. Wiczorek, J., Baran, A., Urbański, K., Mazurek, R., & Klimowicz-Pawlas, A. (2018). Assessment of the pollution and ecological risk of lead and cadmium in soils. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(6), 2325-2342. doi: 10.1007/s10653-018-0100-5.
39. Wu, H., Liu, Q., Ma, J., Liu, L., Qu, Y., Gong, Y., Yang, S., & Luo, T. (2020). Heavy Metal (oids) in typical Chinese tobacco-growing soils: Concentrations, influence factors and potential health risks. *Chemosphere*, 245, 125591. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125591.
40. Karimpoor, R., Ebrahimi, S., Malekzadeh, E., & Hassanpour-bourkheili, S. (2022). Bioremediation of total petroleum hydrocarbons in oil sludge-polluted soil using active carbon mediator. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(8), 7649-7660. doi: 10.1007/s13762-022-03964-9.
41. Gebre, G. D., & Debelie, H. D. (2015). Heavy metal pollution of soil around solid waste dumping sites and its impact on adjacent community: the case of Shashemane open landfill, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(15), 169-78.
42. Vongdala, N., Tran, H. D., Xuan, T. D., Teschke, R., & Khanh, T. D. (2019). Heavy metal accumulation in water, soil, and plants of municipal solid waste landfill in Vientiane, Laos. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 22. doi: 10.3390/ijerph16010022.
43. Seyed Alikhani, S., Shorafa, M., Tavassoli, A., & Ebrahimi, S. S. (2011). The Effect of Plants' Growth at Different Densities on Soil Petroleum Hydrocarbons Remediation. *Journal of Water and Soil*, 25(5), 961-970. doi: 10.22067/jsw.v0i--11204. [In Persian]
44. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace elements in soils and plants. CRC press. 432p.
45. Baziene, K., Tetsman, I., & Albrektiene, R. (2020). Level of pollution on surrounding environment from landfill aftercare. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 2007. doi: 10.3390/ijerph17062007.
46. Fonge, B. A., Nkoleka, E. N., Asong, F. Z., Ajonina, S. A., & Che, V. B. (2017). Heavy metal contamination in soils from a municipal landfill, surrounded by banana plantation in the eastern flank of Mount Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, 16(25), 1391-1399.