

The effect of coal mining on the accumulation of Pb and Zn and their spatial distribution in the surface soil of Komarzd

Aref Saberi¹ , Ghorban Vahabzadekebriya^{2*}, Sayed Mohammad Hojjati³ , Sayed Ramazan Mosavi⁴ 

¹Ph.D. Student in Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University, Sari, Iran

² Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

³ Professor, Department of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Abstract

Introduction

Although the exploitation of mineral resources is very useful for the country, it has a negative impact on human and plant life with its destructive effects. These destructive effects appear as pollution in the soil, which can lead to the imbalance of ecosystems and ultimately endanger human health. In addition, economic development and the expansion of industrial areas, especially coal mining mines, cause heavy metal contamination of the soil to become more severe and cause the destruction of soil resources and the deterioration of ecosystems in different regions of the world. The present study was conducted to investigate the contamination of the two elements Pb and Zn in the surface soil of the Komarzd mining area in Mazandaran province (Iran) due to coal mining.

Materials and Methods

Komarzd mines in Mazandaran province are one of the largest and oldest coal-producing areas in the central Alborz coal field. Komarzd mines are located 48 km from the southern district of Qaemshahr and 25 km from Alasht. Four indices, including CF, mCF, RI, and Igeo were calculated for 110 samples from surface soil prepared at a depth of 5-15 cm. After separating the rubble, the collected soils were kept in closed plastic bags with a unique code, and a GPS device recorded their location. The samples prepared in a dry environment were transferred to the laboratory. The ICP-MS method at 75 microns was used to analyze and measure the concentration of heavy elements in the collected samples. According to the presence of different elements measured in the region's soil and the compounds in it, two metals Zn and Pb were selected for evaluation and analysis. Sampling was randomly selected based on saved points and drilling tunnels. PCA statistical test is a type of multivariate analysis widely used in sediment, water, and soil pollution studies. Varimax Rotation is one of the most common types of PCA tests to interpret the results and contamination components of the method. This statistical method can be calculated using R and SPSS softwares.

Results and Discussion

The results showed that the ordinary kriging model is the most suitable model to show the region's concentration distribution of the two metals, Pb and Zn. Also, the statistical status of the elements showed that the lowest amount of Zn for the Igeo index is equal to -0.53 and the highest value for the CF index is equal to 0.72. The amount of Pb concentration measured based on Igeo, CF, mCF, and RI indices equals 0.08, 1.03, and 213 mg/kg, respectively ($RI < CF < Igeo$). The results of the CF and mCF showed that the region has a low or moderate pollution status in terms of the concentration of the two determining elements; in other words, the value of this factor for Zn is less than 1 ($CF < 1$) and the amount for Pb is ($3 > CF > 1$). The Igeo index showed that Zn with a concentration lower than zero is not polluted, but Pb with a value ($0 < Igeo < 1$) has a non-polluted to slightly polluted state. The RI also showed that the concentration of the two elements is less than 150 mg/kg, so this index is also in the low-risk category of contamination ($RI \leq 150$). By evaluating the graphs obtained from the PCA analysis, it was found that the two elements Zn and Pb in the correlation analysis graph have a good

correlation and distribution, and the changes in the two axes show 47.9% and 24%, respectively, for the Igeo. This indicates the presence of environmental factors in the distribution of this element in the environment. The CF also showed that their distribution in region three negatively correlated with environmental factors. Its value for the two axes is 32.5 and 21.9 %, respectively. The correlation of the Zn element is less than -0.5, but the Pb element is more than -0.5. In general, the value of this variable is 8 and 20, respectively, based on the diagram of two minimum and maximum values. The mCF and RI indices showed that environmental factors influence the distribution of the two elements PB and Zn, and among the two elements, the distribution of the Pb element in the mCF and RI, results of 32.8 and 34.4 has the most influence from the distribution of the drilling tunnel and had environmental factors and has a lower correlation than Zn. The effect percentage of these two elements is 32.8 and 23.2%, respectively, and the two elements Zn and Pb have a good correlation and distribution with environmental changes and human factors.

Conclusion

According to the measurements and the results of four indices, the area is uncontaminated or has low contamination in terms of the concentration of two elements, PB and Zn. Therefore, mineral tailings and coal exploitation do not significantly affect the distribution of the mentioned elements. To improve the research results, other indices can be used to determine the role of environmental factors. Also, considering the agricultural lands and water resources of Talar River, it is better to use other elements that directly affect human health and analyze the region's conditions in terms of environmental pollution to achieve better results and accuracy. One of the main disadvantages of measuring the sources of pollution is the many problems in laboratory work and the preparation of laboratory materials. Still, with this research, it is possible to determine the existing doubts in the field of soil pollution for residents and show the impact of mining on the spread of pollutants. A suggestion to improve this research is to consider elements other than Pb and Zn in different environments such as water sources; In general, for a more detailed investigation, other elements that play a role in human health should be investigated.

Keywords: Heavy metals, Kriging, Pollution indices, Resource management

Research article: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

Citation: Saberi, A., Vahabzadekebriya, Gh., Hojjati, S.M., & Mosavi, S.R. (2023). The effect of coal mining on the accumulation of Pb and Zn and their spatial distribution in the surface soil of Komarzd. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 56-71.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11395.1128

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.4.6

Received: 01 September 2022, Received in revised form: 01 October 2022, Accepted: 01 October 2022, Published online: 01 October 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 56-71

Publisher: University of Mohaghegh Ardabil

© Author(s)





تأثیر معدن کاری زغال سنگ بر انباشت سرب و روی و پراکنش مکانی آن ها در خاک سطحی منطقه کارمزد

عارف صابری^۱، قربان وهابزاده کبریا^{۲*}، سید محمد حجتی^۳، سید رمضان موسوی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۲ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۳ استاد، گروه علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۴ استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

بهره برداری از منابع معدنی اگرچه برای کشور بسیار مفید است، ولی آثار مخرب آن بر زندگی انسان و گیاه تأثیر منفی می گذارد. این آثار به صورت آلودگی در خاک نمایان می شود که می تواند منجر به عدم تعادل بوم سازگان شود و سلامتی انسان را به خطر بیندازد. پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت آلودگی دو عنصر سرب و روی در داخل خاک سطحی منطقه معدنی کارمزد استان مازندران در اثر برداشت زغال سنگ انجام شده است. برای این منظور، چهار شاخص CF، RI، mCF و Igeo برای ۱۱۰ نمونه جمع آوری شده از خاک سطحی محاسبه شد. نمونه های تهیه شده در محیط خشک به آزمایشگاه انتقال داده شد و سپس بر اساس روش ICP-MS در اندازه ۷۵ میکرون تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مدل کریجینگ معمولی مناسب ترین مدل برای نشان دادن پراکنش غلظت دو فلز سرب و روی در منطقه است. همچنین، کمترین مقدار Zn برای شاخص Igeo برابر با ۰/۵۳- و بیشترین آن برای شاخص های CF برابر با ۰/۷۲ به دست آمده است. مقدار غلظت سرب اندازه گیری شده بر اساس شاخص های Igeo، CF، mCF و RI به ترتیب برابر با ۰/۰۸، ۰/۰۳ و ۲۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم است (Igeo < CF < RI). نتایج CF و mCF نشان داد که منطقه از لحاظ غلظت دو عنصر تعیین شده دارای وضعیت آلودگی کم یا متوسط است؛ به عبارتی مقدار این عامل برای Zn کم تر از ۱ (CF < 1) به دست آمده است که مقدار Pb (۳ < CF < ۱) است. شاخص Igeo نشان داد که Zn با غلظت کم تر از صفر آلودگی ندارد، ولی Pb با مقدار (1 < Igeo < ۰) دارای وضعیت غیر آلوده تا کمی آلوده است. شاخص بوم شناختی بالقوه نیز نشان داد که مقدار غلظت دو عنصر کم تر از ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم است؛ پس این شاخص نیز در طبقه خطر پایین آلودگی (RI ≤ ۱۵۰) قرار دارد. نتایج تحلیل PCA نشان داد که دو عنصر Zn و Pb دارای همبستگی مناسب و پراکنش خوبی با تغییرات محیطی و عوامل انسانی هستند. با توجه به نتایج، منطقه از لحاظ غلظت دو عنصر دارای آلودگی نبوده، ولی بهتر است برای بررسی دقیق تر عناصر دیگری که در سلامتی انسان نقش دارند با استفاده از شاخص های دیگر بررسی شود. همچنین، باطله های زغال سنگ تأثیر زیادی بر روی غلظت عناصر ندارد.

واژه های کلیدی: شاخص های آلودگی، فلزات سنگین، کریجینگ، مدیریت منابع

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

استناد: صابری، عارف، وهابزاده کبریا، قربان، حجتی، سیدمحمد، و موسوی، سیدرمضان (۱۴۰۲). تأثیر معدن کاری زغال سنگ بر انباشت سرب و روی و پراکنش مکانی آن ها در خاک سطحی منطقه کارمزد. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۳)، ۵۶-۷۱.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11395.1128

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.4.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹



مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۵۶ تا ۷۱
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی
© نویسندگان

۱- مقدمه

خاک به‌عنوان یک محیط ناهمگن پیچیده متشکل از ترکیبات معدنی، آلی، موجودات زنده و ترکیبات مختلف آبی و گازی است که سطح سنگی زمین را می‌پوشاند (Eugenio et al., 2018). که بخش آلی شامل بقایای پوسیده گیاهی و حیوانی است، درحالی‌که بخش معدنی از قطعات سنگ تشکیل شده است و به‌عنوان یک منبع طبیعی تجدیدناپذیر شناخته می‌شود (Eugenio and Ronzan, 2021). بنابراین، بهره‌برداری از منابع معدنی اگرچه برای کشور بسیار مفید است، اما اثرات مخربی بر خاک دارد و بر زندگی انسان و گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Chen et al., 2022) و چون بهره‌برداری از چنین منابع معدنی معمولاً از طریق معادن زیرزمینی یا روباز انجام می‌شود، پس هر دو فرآیند از طریق حفاری قابل استحصال هستند، ولی گرد و غبار حاصل از منطقه معدنی باعث آلودگی خاک می‌شود (Muleng, 2022). این آلودگی می‌تواند منجر به عدم تعادل بوم‌سازگان^۱ و گسترش باکتری‌های مقاوم به عناصر سنگین شود و در نهایت خطراتی برای سلامتی انسان به‌همراه داشته باشد (Gao et al., 2021). هم‌چنین می‌تواند بر عملکرد گیاهان قابل رشد از جمله محصولات کشاورزی و علفهای قابل استفاده دام به‌دلیل سطوح سمیت بالا تأثیر بگذارد و در جایی‌که این محصولات در خاک‌های آلوده رشد می‌کنند، بعد از مصرف توسط حیوانات و انسان‌هایی که بقای آن‌ها در منطقه استفاده از محصولات این خاک‌ها است ناامن می‌شوند (Muleng, 2022). با این‌حال آلودگی زمین شامل اطلاعات ناهمگن گسترده است که شناسایی خطر آلودگی خاک مناطق جمعیتی و پیش‌بینی رویدادهای مرتبط با آلودگی برای مدیریت محیط زیست مهم است (Han et al., 2022). توسعه اقتصادی و گسترش مناطق صنعتی به‌ویژه معادن استخراج زغال‌سنگ باعث می‌شود که آلودگی فلزات سنگین خاک شدیدتر شود و در نهایت تخریب منابع خاک و زوال بوم‌سازگان را در پی داشته باشد (Li et al., 2022). دلایل اصلی این آلودگی با فعالیت‌های انسانی در ارتباط است که منجر به تجمع آلاینده‌ها در خاک می‌شود که ممکن است به سطوح نگرانی برسد (Cachada et al., 2018).

فعالیت‌های معدنی به‌طور بالقوه خاک را آلوده می‌کند؛ بنابراین، جای تعجب نیست که مکانیسم‌های نظارتی و نهادی برای کاهش یا کنترل فعالیت‌های در حال انجام و هم‌چنین پس از معدن‌کاوی وضع شده است. بر این فرض که مدیریت کاربری‌های مختلف باعث مدیریت صحیح خاک می‌شود و

اقدامات کافی برای مقابله با آلودگی خاک است که پیامد آن، اگر محدود نشود، ممکن است اثر تضعیف‌کننده داشته باشد. مطالعات مختلف داخلی و خارجی در زمینه آلودگی منابع خاک صورت گرفته است از جمله (Diyani et al., 2010) نشان دادند که غلظت عناصر سرب و روی در بیش‌تر اراضی اطراف سپاهان شهر بالای آستانه خطر (۵۰ ppm تا ۱۲۵ ppm به‌ترتیب برای سرب و روی) است، ولی غلظت کادمیم زیر آستانه خطر (۱/۵ تا ۲/۵ ppm) است. اراضی اطراف معادن دارای آلودگی بیش‌تر و با افزایش فاصله از معدن میزان آلودگی کاهش می‌یابد. هم‌چنین، (Safari et al., 2016) نشان دادند که مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی با حدود مجاز آن‌ها در خاک‌های منطقه به عناصر روی، سرب و کادمیم آلوده هستند؛ درحالی‌که آلودگی خاک به نیکل و مس مشاهده نشد. ضرایب تغییرات غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی با حدود مجاز در خاک‌های مورد مطالعه نسبتاً بالا و از ۵/۱۴۰ درصد برای کادمیم تا ۶/۱۸۵ درصد برای سرب متغیر بود. در پژوهشی دیگر، (Sistani et al., 2017) نیز نشان دادند که غلظت سرب و کادمیم بیش‌تر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد کرمان بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی است. هم‌چنین، (Tavakoli et al., 2020) نشان دادند که غلظت سرب و کادمیم بیش‌تر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد کرمان بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی است.

(Dehghani et al., 2021) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی آلودگی خاک سطحی حوزه آبخیز باغان در استان بوشهر به برخی فلزات سنگین (کادمیم، منگنز، نیکل، سرب، روی، مس و آهن) در کلاس‌های مختلف اندازه ذرات خاک (کم‌تر از ۲۰۰۰ و ۶۳ میکرون) کاربری‌های مختلف (مرتع، زراعی و باغی) در این حوزه انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که غلظت برخی فلزات در اندازه ذرات ریزتر خاک بیان‌گر تأثیر عوامل انسانی بر آلودگی خاک سطحی منطقه به فلزات کادمیم و منگنز است. هم‌چنین، (Shakeri et al., 2021) نشان دادند که میانگین غلظت کل آرسنیک، سرب و روی در رودخانه خیابوچای-مشکین‌شهر به‌ترتیب ۲۰/۰۹، ۱۷/۳۵، ۱۰۰/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که این غلظت‌ها بالاتر از غلظت زمینه پوخته بود. در ادامه، (Luo et al., 2022) داده‌های مربوط به آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های حاصل از ذوب سرب در چین را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که سرب، روی، آرسنیک و کادمیم آلاینده‌های رایجی هستند که در خاک‌هایی با غلظت‌های بسیار بالا وجود دارند. (Wu et al., 2022) نیز نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در اثر بهره‌برداری از مواد معدنی و تولیدات صنعتی علت اصلی آلودگی در منطقه است، درحالی‌که مصرف غیرمنطقی کود

¹ Ecosystem

آلودگی خاک سطحی منطقه معدنی کارمزد به تغییرات غلظت دو عنصر سرب و روی در اثر برداشت و بهره‌برداری زغال‌سنگ با استفاده از شاخص‌های آلودگی است. با توجه به وجود اراضی کشاورزی و منابع آب مورد استفاده در پایین‌دست تونل‌های برداشت زغال‌سنگ لازم است که نمونه‌برداری از خاک سطحی منطقه صورت گیرد تا بتوان تغییرات غلظت برخی عناصر مخرب محیط زیستی را بررسی کرد. در این پژوهش نیز از دو عنصر سرب و روی که غلظت بالایی آن برای سلامتی انسان مضر است، استفاده شده است.

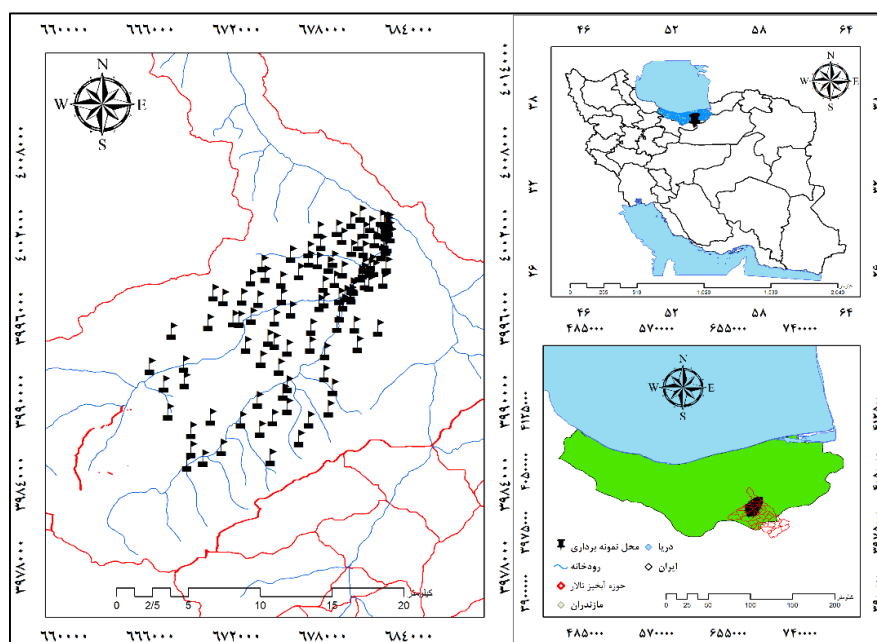
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

معادن کارمزد به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و قدیمی‌ترین مناطق تولیدکننده زغال‌سنگ در حوضه زغالی البرز مرکزی مطرح هستند (Gholipour et al., 2010). این معادن در فاصله ۴۸ کیلومتری ناحیه جنوبی شهرستان قائم‌شهر در استان مازندران و فاصله ۲۵ کیلومتری آلاشت واقع شده‌اند. این منطقه در طول جغرافیایی $38^{\circ} 57' 52''$ تا $38^{\circ} 57' 13''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 05' 57''$ تا $36^{\circ} 06' 53''$ شمالی واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه $536/5$ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه $10/9$ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به‌ترتیب 1410 و 600 متر از سطح دریا واقع شده است (Lashgari et al., 2016). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

عامل آلودگی کاربری کشاورزی بوده است. Chen et al. (2022) غلظت فلزات سنگین (loid) در نمونه‌های خاک گرفته‌شده در نزدیکی ۱۰۲ سایت معدن مس در سراسر جهان و خطر بوم‌شناسی در خاک‌های نزدیک معادن مس را ارزیابی کردند. نشان داد که بسیاری از مکان‌های مورد مطالعه از سطوح متوسط تا بسیار آلوده مس و کادمیوم فراتر هستند. آلودگی خاک توسط کادمیوم، سرب و روی در مکان‌های کشاورزی بیش‌تر از مکان‌های غیر کشاورزی بود. علاوه بر این، این فلزات سنگین (loid) خطر بوم‌شناسی بالایی را برای خاک‌های اطراف مکان‌های معدن مس ایجاد کردند که در آن سهم کادمیوم، مس، و آرسنیک به‌ترتیب به $46/5$ درصد، $21/7$ درصد، $18/4$ درصد بود.

با توجه به مطالعات اشاره شده و همگام با رشد روزافزون صنعت و فن‌آوری، ورود آلاینده‌های محیط زیستی و در صدر آن‌ها فلزات سنگین به خاک‌ها، موجب نگرانی رو به رشد جامعه جهانی در رابطه با خطرات احتمالی آلودگی خاک شده است (Safari et al., 2016; Luo et al., 2022). بنابراین، درک الگوی توزیع مکانی آلاینده‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر آن و تعیین منابع احتمالی ایجاد آلودگی، از اساسی‌ترین اهداف مطالعات آلودگی‌های محیط زیستی به‌شمار می‌روند (Safari et al., 2016). منطقه مطالعاتی کارمزد دارای تونل‌های حفاری و برداشت زغال‌سنگ، همچنین مکان زغال‌شویی است که لازم است در این منطقه تأثیر برداشت زغال‌سنگ روی تغییرات غلظت سرب و روی خاک سطحی بررسی شود. بنابراین، هدف اصلی پژوهش بررسی وضعیت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان مازندران
Figure 1- Location of the study area in Iran and Mazandaran Province

عامل آلودگی در رابطه ۱ که غلظت هر فلز (Cmetal) را به مقدار غلظت آن فلز در حالت طبیعی (Cbackground) را نشان می‌دهد. غلظت ماده مرجع مقدار میانگین آن نسبت به میانگین جهانی عناصر موجود در پوسته زمین است (Azimzadeh and Khademi, 2013). جدول ۲ طبقه‌بندی هانکسون را برای عامل آلودگی و ارزیابی آلاینده‌گی فلزات سنگین نشان می‌دهد (Bazzi et al., 2021).

جدول ۲- طبقات آلودگی فلزات سنگین بر اساس عامل آلودگی (CF)
Table 2- Heavy metal pollution classes based on the pollution factor (CF)

شدت آلودگی	دامنه تغییرات عامل آلودگی
آلودگی کم	$CF < 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq CF < 3$
آلودگی زیاد	$3 \leq CF < 6$
آلودگی بسیار زیاد	$6 \leq CF$

۲-۴- درجه آلودگی اصلاح شده (mCF)^۲

شاخص درجه آلودگی اصلاح شده برای اولین بار توسط Abraham and Parker (2008) تهیه و استفاده شد. این شاخص امکان ارزیابی آلودگی کل خاک را به فلزات سنگین تهیه می‌کند. محاسبه مقدار محتوای فلزات سنگین برای برآورد شاخص بار آلودگی اصلاح شده مورد نیاز است (Hamzenejad and Khodvardilou, 2020). رابطه (۲) نحوه محاسبه و جدول ۲ مقادیر mcd را نشان می‌دهد.

$$mCF = \frac{\sum_{i=1}^n Ci}{n} \quad (2)$$

که در آن، n تعداد فلزات سنگین و Ci غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد.

جدول ۳- طبقه‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده mcd (Kowalska et al., 2018)

Table 3- Classification of modified mcd pollution degree (Kowalska et al., 2018)

وضعیت آلودگی	محدوده شاخص mcd
درجه بسیار پایین آلودگی	$0 \leq mcd \leq 1.5$
درجه پایین آلودگی	$1.5 \leq mcd \leq 2$
درجه متوسط آلودگی	$2 \leq mcd \leq 4$
درجه بالای آلودگی	$4 \leq mcd \leq 8$
درجه بسیار بالای آلودگی	$8 \leq mcd \leq 16$
به شدت آلوده	$16 \leq mcd \leq 32$
آلودگی با درجه فوق‌العاده	$mcd \geq 32$

۲-۲- برداشت و تحلیل نمونه‌های خاک

منطقه کارمزد از لحاظ زمین‌شناسی شامل تناوبی از ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه، کنگلومرای ریزدانه، ماسه‌سنگ‌های ریزدانه خاکستری همراه با لایه‌های شیل و آرژیلیت با سن واحد سنگی تریاس بالایی تا ژوراسیک زیرین متغیر است. با توجه به پراکنش تونل‌های حفاری و برداشت زغال‌سنگ در منطقه مورد مطالعه، ۱۱۰ نمونه از خاک‌های سطحی در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری تهیه شد. خاک‌های جمع‌آوری شده پس از جداسازی قلوه‌سنگ در پلاستیک‌های سربسته همراه کد مخصوص نگهداری شدند و موقعیت مکانی آن‌ها توسط دستگاه GPS ثبت شد. جهت تحلیل و اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده از روش ICP-MS در اندازه ۷۵ میکرون استفاده شد. با توجه به وجود عناصر مختلف اندازه‌گیری شده در خاک منطقه و ترکیبات موجود در آن دو فلز Zn و Pb جهت ارزیابی و تحلیل انتخاب شدند. این فلزات به دلیل تغییر غلظت در مناطق صنعتی و بالاتر بودن از میانگین جهانی بررسی شده است. بنابراین نمونه‌ها به صورت تصادفی در مناطق ذخیره باطله معدنی و پایین‌دست تونل‌های حفاری انتخاب و تحلیل شدند (Sohrabzadeh et al., 2020). موقعیت پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- وضعیت آماری عناصر اندازه‌گیری شده در خاک

Table 1- Statistical status of elements measured in soil and sediment

خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		پارامتر / وضعیت آماری
Pb	Zn	
2735	8644	مجموع
24.86	58.78	میانگین
15.6	20.5	SD
62.75	26.08	Cv
17	14	حداکثر مقدار متغیر
171	136	حداقل مقدار متغیر

۲-۳- عامل آلودگی

این عامل (عامل آلودگی) وضعیت آلاینده‌گی خاک به عناصر سنگین را تعیین می‌کند. با استفاده از عامل آلودگی می‌توان مقدار عناصر را نسبت به محیط طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. هانکسون با استفاده از رابطه (۱) آلاینده‌گی عناصر را با استفاده از این عامل بررسی کرد:

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (1)$$

^۲Modified degree of contamination

^۱Global positioning system

جدول ۵- ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین

Table 5- Ecological risk assessment of heavy metals

Eri	خطر بوم‌شناختی هر فلز	شاخص خطر RI	خطر بوم‌شناختی و محیط زیستی
$E_r^i \leq 40$	خطر پایین	$RI \leq 150$	خطر پایین
$40 \leq E_r^i \leq 80$	خطر متوسط	$150 \leq RI \leq 300$	خطر متوسط
$80 \leq E_r^i \leq 160$	خطر قابل ملاحظه	$300 \leq RI \leq 600$	خطر قابل ملاحظه (زیاد)
$160 \leq E_r^i \leq 230$	خطر زیاد	$RI \geq 600$	خطر خیلی زیاد
$E_r^i \geq 230$	خطر خیلی زیاد	-	-

۷-۲- تجزیه و تحلیل زمین‌آماري

روش‌های درون‌یابی به دو دسته درون‌یابی قطعی و درون‌یابی زمین‌آماري تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش برای بررسی و تهیه نقشه پراکنش از دو روش کریجینک (معمولی و ساده) و عکس فاصله وزنی استفاده شد و نتایج به صورت نقشه و جدول خطا ارائه شده است. شاخص‌های تحلیلی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) اشاره کرد (رابطه‌های ۵ تا ۷). مهم‌ترین معیار برای ارزیابی تخمین، مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) است.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (E_S - E_O)}{N} \quad (5)$$

که در آن، E_S ، مقادیر تخمینی، E_O مقادیر مشاهده و N تعداد داده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_i^* - Z_i)^2}{n}} \quad (6)$$

که در آن، $Z^*(X_i)$: مقدار تخمین زده شده و $Z(X_i)$: مقدار مشاهده شده در نقطه i ام و n تعداد مشاهدات است. اصولاً مناسب‌ترین روش درون‌یابی، روشی است که مقادیر RMSE حداقل مقدار را داشته باشند.

$$MAPE = \frac{100}{N} \times \sum_{N=1}^N \left| \frac{E_S - E_O}{E_S} \right| \quad (7)$$

که در آن، E_S ، مقادیر تخمینی، E_O مقادیر مشاهده و N تعداد داده است.

۵-۲- شاخص زمین‌انباشتگی

شاخص زمین‌انباشتگی آلودگی، مقدار غلظت فعلی و قبلی را برای تعیین درجه آلودگی خاک تعیین می‌کند. شاخص زمین‌انباشت آلودگی اولین بار توسط مولر استفاده شد (Muller, 1969) که از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5B_n \quad (3)$$

که در آن، I_{geo} شاخص زمین‌انباشتگی، C_n غلظت اندازه‌گیری شده از عنصر n در خاک و نیز B_n مقدار غلظت زمینه است. مقدار ثابت ۱/۵ به منظور کاهش تأثیر فعالیت انسانی و همچنین تحلیل نوسانات طبیعی در مقدار ماده موجود در محیط زیست است که برای این شاخص شش طبقه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- طبقات شاخص زمین‌انباشتگی (Muller, 1969)

Table 4- classes of land accumulation index (Muller, 1969)

طبقه	شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
۰	<۰	غیرآلوده
۱	۱-۰	غیرآلوده تا کمی آلوده
۲	۲-۱	کمی آلوده
۳	۳-۲	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴	۴-۳	خیلی آلوده
۵	۵-۴	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
۶	5<	شدیداً آلوده

۶-۲- شاخص خطر بوم‌شناختی بالقوه

این شاخص توسط Hakanson (1980) برای اندازه‌گیری میزان محتویات فلزات سنگین در خاک استفاده شده است. شاخص خطر بوم‌شناسی ذخیره‌ای اثرات محیط زیستی و سمی فلزات سنگین را برای انعکاس اثرات محیط زیستی آلاینده‌های مختلف خاک در یک محل خاص به نمایش می‌گذارد و طبق رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$RI = \sum_{i=1}^n Er^i = \sum_{i=1}^n Tr^i C_r^i / C_n^i \quad (4)$$

در رابطه ۴، RI شاخص جامع خطر محیط زیستی است که اثرات تجمعی فلزات را خلاصه می‌کند، Eri شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی است، Tri ضریب پاسخ سمی است ($Pb=5$, $Zn=1$)، C_r^i غلظت اندازه‌گیری شده هر فلز است و C_n^i غلظت پس‌زمینه در خاک است که این مقدار به عنوان مرجع عمل می‌کند (Faghiri et al., 2019; Payandeh and Velayatzadeh, 2019). جدول ۵ طبقات آلودگی شاخص خطر بوم‌شناختی را برای فلزات سنگین در خاک نشان می‌دهد.

Mean Bias Error

Root Mean Squared Error

Mean absolute percentage error

تهیه نقشه پراکنش عناصر روی و سرب از مدل کریجینگ ساده و معمولی در منطقه کبودرآهنگ همدان بر اساس معیار خطاها استفاده کردند. این مدل بر اساس چهار نوع خطا تعیین شد که دارای کم‌ترین مقدار در مقایسه با دیگر مدل‌های زمین‌آماري بودند.

جدول ۶- نتایج آزمون نرمالیتیه بودن داده‌های خاک
Table 6- Results of normality test of soil data

آزمون نرمال بودن نمونه‌های خاک		
Sig.	تعداد	فلز
0.824	110	فلز سرب
0.921	110	فلز روی

جدول ۷- مقادیر خطای برآورد هر یک از شاخص‌های تحلیل آلودگی با مدل کریجینگ معمولی

Table 7- Estimated error values of each pollution analysis index with the normal kriging model

معادله	RMSE	MBE	MAPE	ASE	پارامتر/شاخص
-8.057X+3.854	0.12	0.004	1.002	0.123	ZN Igo
-0.988X+0.179	0.124	0.0038	1.003	0.122	Pb Igo
-0.99X+0.555	0.146	-0.007	1.003	0.145	ZN RI
-0.99X+0.555	0.146	0.009	1.003	0.146	Pb RI
-0.998X+0.551	0.145	-0.009	1.003	0.145	ZN CF
-0.96X+0.725	0.446	0.056	0.555	0.693	Pb CF
-0.992X+0.0789	0.028	-0.009	1.003	0.021	ZN mCF
-0.958X+0.104	0.064	0.056	0.555	0.098	Pb mCF

(Farzaneh et al. (2011) نیز بر اساس مقادیر خطای از بین دو مدل تابع شعاعی و کریجنگ نشان دادند که مدل کریجینگ معمولی برای نشان دادن وضعیت پراکنش عناصر سرب و روی مناسب هستند. (Khodakarmi et al. (2014) نشان دادند که مدل کریجینگ ساده و معمولی عملکرد مناسبی بر اساس توابع قدرمطلق میانگین خطا و میانگین اریبی خطا برا پراکنش عناصر دارند. همچنین برای تهیه نقشه پراکنش عناصر روی و سرب از مدل کریجینگ ساده و معمولی در منطقه کبودرآهنگ همدان بر اساس معیار خطاها استفاده کردند. این مدل بر اساس چهار نوع خطا تعیین گشت که دارای کمترین مقدار در مقایسه با دیگر مدل‌های زمین‌آماري بودند. پژوهش‌گران دیگری هم‌چون (Dadgar et al. (2016, Rahmaniyan et al. (2020 و (Safari et al. (2016 با بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌های عناصر سنگین و مقادیر خطا از مدل کریجنگ برای نشان دادن وضعیت پراکنش عناصر سنگین خاک در مناطق صنعتی استفاده کردند.

نتایج عامل آلودگی برای دو عنصر روی و سرب در منطقه نشان داد که طبق مقادیر جهانی این عناصر منطقه در وضعیت آلودگی کم یا متوسط واقع شده است. بر اساس مقادیر

آزمون شاپیرو-ویلک، اصل فرض صفر را به کار می‌گیرد تا بررسی کند که آیا یک نمونه x_1, \dots, x_n از یک جامعه دارای دارای توزیع نرمال هست یا خیر.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (8)$$

که در آن، \bar{x} آمار ترتیبی و \bar{x} میانگین نمونه است.

۲-۸- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

آزمون آماری PCA یکی از انواع تحلیل‌های چندمتغیره است که به‌طور وسیعی در مطالعات آلودگی رسوب، آب و خاک استفاده می‌شود. یکی از رایج‌ترین انواع آزمون PCA، برای تفسیر نتایج و مؤلفه‌های آلودگی روش Varimax Rotation است این روش آماری را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای R و SPSS محاسبه کرد. در پژوهش حاضر نیز از روش PCA برای بررسی اثر پارامترهای محیطی بر غلظت دو عنصر سرب و روی استفاده شده و نتایج به‌صورت نمودار در بخش نتایج ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

برای اندازه‌گیری مقادیر هریک از عناصر Zn و Pb نمونه‌ها از خاک سطحی منطقه مطالعاتی تهیه شد. قبل از محاسبه وضعیت داده‌ها به‌دست‌آمده از لحاظ نرمال بودن بررسی شد (جدول ۶) و سپس با استفاده از چهار شاخص عامل آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، شاخص زمین‌انباشتگی و شاخص خطر بوم‌شناختی بالقوه محاسبه شد. نتایج تهیه پراکنش آلودگی شاخص‌ها با استفاده از مدل‌های زمین‌آماري بررسی شد. بر اساس مقادیر خطای محاسبه‌شده مدل کریجینگ معمولی مناسب‌ترین مدل برای نشان دادن پراکنش غلظت عناصر سرب و روی در منطقه است. جدول ۷ مقادیر خطای مدل کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد.

کم‌ترین مقدار Zn برای شاخص Igeo برابر با -0.53 ولی شاخص CF نشان داد که بیش‌ترین غلظت سرب برابر با 0.72 است. نتایج شاخص Igeo نشان داد که کم‌ترین مقدار غلظت سرب (Pb) برابر با 0.08 میلی‌گرم بر کیلوگرم است، اما در شاخص RI سرب غلظت بیش‌تری را نشان داد. به‌طور کلی مقادیر غلظت عنصر ذکر شده برای شاخص Igeo و RI برابر با 213 و $1/0.3$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. جدول ۷ مقادیر آماری عناصر خاک را نشان می‌دهد. در این راستا، (Khodakarmi et al. (2011) نشان دادند که مدل کریجینگ ساده و معمولی عملکرد مناسبی بر اساس توابع قدر مطلق میانگین خطا و میانگین اریبی خطا برای پراکنش عناصر دارند. هم‌چنین برای

نمی‌شود. اما Pb که دارای پراکنشی متفاوت‌تر از Zn است نشان داد که بر اساس نتایج عامل آلودگی در طبقه دوم ($1 < CF < 3$) یعنی آلودگی متوسط قرار دارد. به‌طور کلی این شاخص غلظت دو عنصر را در محدوده آلودگی کم تا متوسط نشان می‌دهد.

به‌دست‌آمده شاخص عامل آلودگی غلظت عنصر Zn کم‌تر از ۱ ($CF < 1$) به‌دست‌آمده است و در شکل ۲ نیز نشان داده شده است. بر اساس این نقشه پراکنش عنصر Zn در مناطق شمالی و شمال شرق منطقه مطالعاتی جایی که انباشت باطله وجود دارد دیده می‌شود. به‌طور کلی این شاخص نشان داد که Zn بر اساس این عامل دارای غلظت بالا نیست و عامل آلودگی محسوب

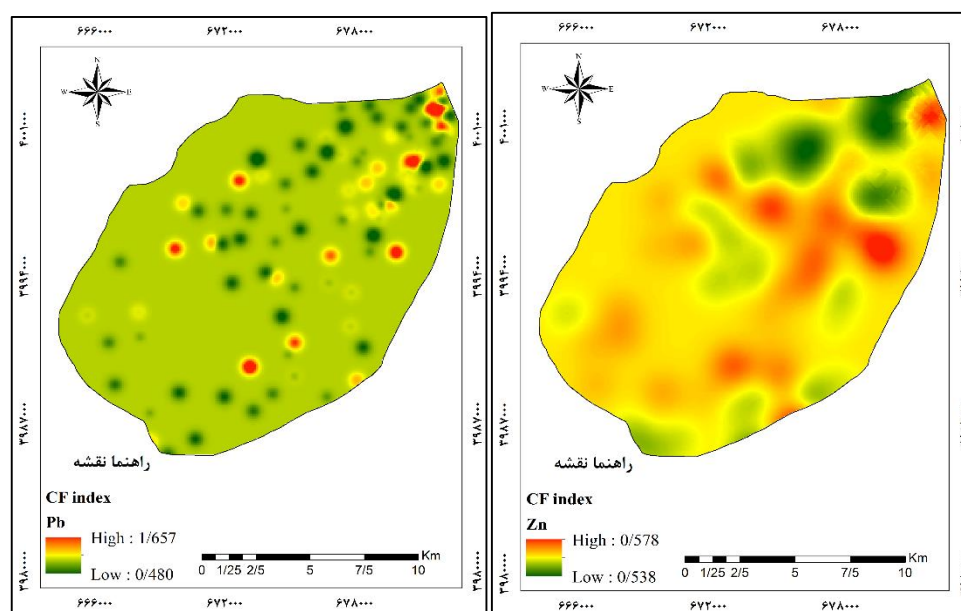
جدول ۸- مقادیر آماری عناصر سنگین خاک منطقه بر اساس روش آماری کریجینگ

Table 8- Statistical values of heavy soil elements in the region based on Kriging statistical method

RI		Igeo		mCF		CF		مقادیر آماری
Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
3.38	21.25	0.08	-0.53	0.1	0.06	0.68	0.44	حداقل
5.15	213	0.3	-0.32	0.15	0.1	103	0.72	حداکثر
37.56	98.51	0.17	-0.44	0.11	0.08	0.74	0.56	میانگین
4056	10638	18.71	-48.01	11.36	8.62	0.46	0.15	انحراف معیار
23.65	25.89	0.12	0.12	0.07	0.02	79.53	60.36	مجموع
110	110	110	110	110	110	110	110	تعداد نمونه

معدنی و صنعتی را دخالت انسان در زمین و منشأ حیاتی زمین برای برخی عناصر از جمله سرب و روی معرفی کردند. همچنین آن‌ها بیان کردند که این شاخص دقت خوبی در برآورد وضعیت آلودگی عناصر فلزی دارد.

بیش‌ترین مقادیر غلظت Pb و Zn به‌ترتیب بر اساس عامل آلودگی برابر با ۱/۶۵۷ و ۰/۵۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نقشه پراکنش این دو عنصر بر اساس عامل آلودگی در شکل ۲ نشان داده شده است. (Salvati Nik et al. (2019) و Sarikhani et al. (2017) علت افزایش غلظت فلزات سنگین در یک منطقه



شکل ۲- نقشه پراکنش دو عنصر روی و سرب در منطقه مطالعاتی بر اساس عامل آلودگی

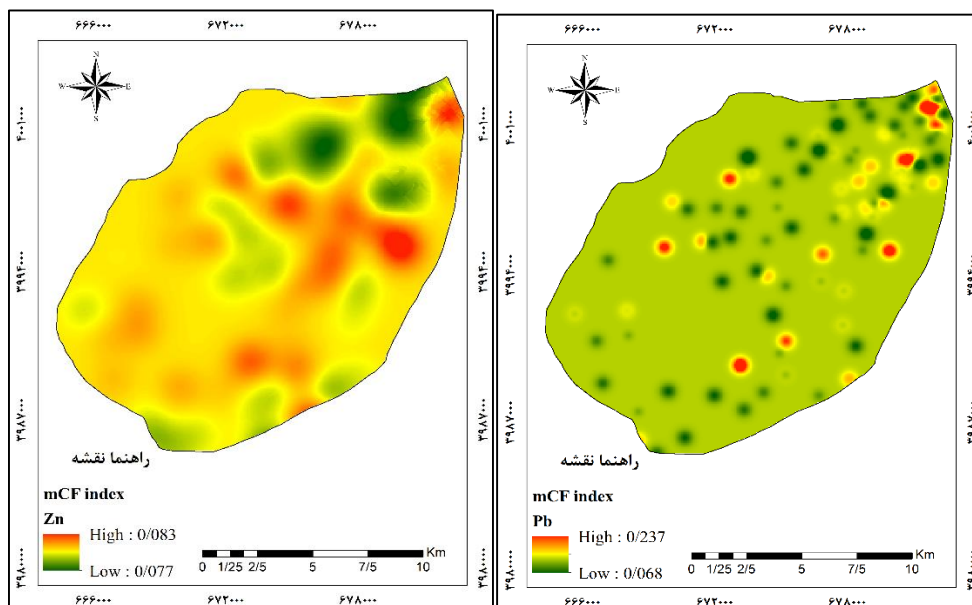
Figure 2- The distribution map of the two elements zinc and lead in the study area based on the pollution factor

بر اساس این نقشه پراکنش، Zn در مناطق مرکزی و تا حدودی شمال شرق منطقه وجود دارد، ولی برای Pb به‌صورت نقطه‌ای در قسمت‌هایی از شمال و مرکز منطقه مطالعاتی واقع شده است. بر

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده غلظت عنصر Zn و Pb کم‌تر از $1/5$ ($0 \leq mCd \leq 1.5$) به‌دست آمده است و در شکل ۳ نیز نشان داده شده است. بر

Taghavi-Moghadam et al.، Sarikhani et al. (2017) و (2021) و Safari et al. (2016) نشان دادند که تغییرپذیری مکانی شاخص درجه آلودگی فلزات سنگین حاکی از آن است که آلودگی در اطراف شهرک صنعتی Zn متمرکز شده است. بنابراین Zn را عاملی برای تغییرپذیری بقیه عناصر در منطقه معرفی کردند. با توجه به نتایج شاخص درجه آلودگی در این پژوهش Zn مقدار کمتری از Pb در منطقه دارد ولی بیشترین غلظت را در اطراف مناطق دارای کوره‌های برداشت زغال دارند.

اساس مشاهدات میدانی و نقاط نمونه برداری بیش تر مناطق شمالی منطقه دارای باطله معدنی زغال سنگ و منطقه معدنی زغال شویی است. با توجه به نتایج شاخص درجه آلودگی اصلاح شده می توان گفت که دو عنصر دارای غلظت بالا از لحاظ آلودگی نیستند و در طبقه اول بر اساس جدول طبقه بندی کواسکا واقع شده اند. بیش ترین مقادیر غلظت Pb و Zn به ترتیب بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده برابر با ۰/۲۳۷ و ۰/۰۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم است.



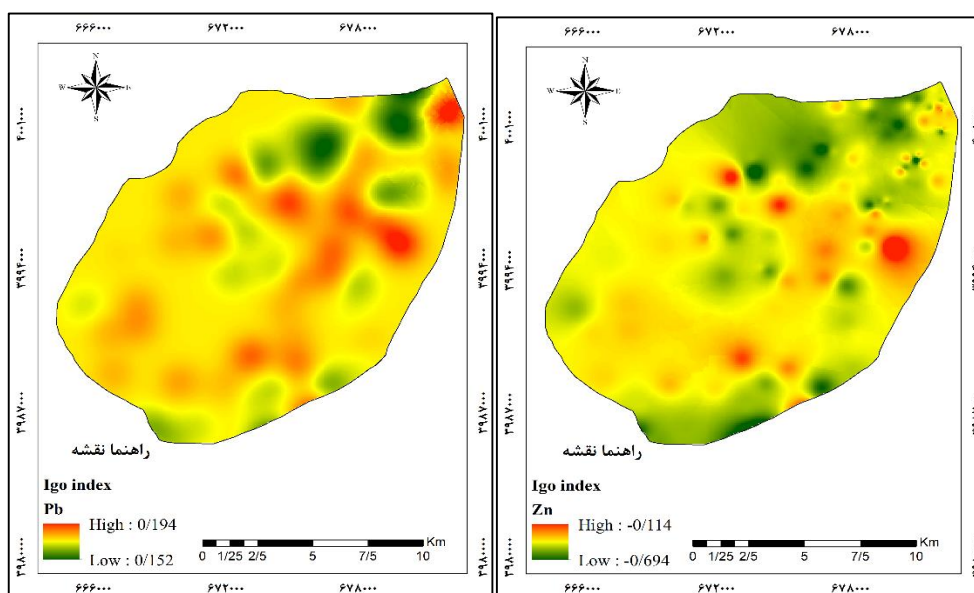
شکل ۳- نقشه پراکنش دو عنصر روی و سرب در منطقه مطالعاتی بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده (mCF)

Figure 3- The distribution map of the two elements zinc and lead in the study area based on the modified degree of pollution

تغییرات دو عنصر را در منطقه بدون خطر نشان داد؛ یعنی این که مقدار آن از حد مجاز جهانی کم تر است. یکی از علت های تغییرات غلظت عناصر در بیش تر مناطق تغییرات کاربری، صنعتی و معدنی بودن، جاده سازی، منشأ ذاتی زمین و لایه های زمین شناسی هستند. به طوری که Taghavi-Moghadam et al. (2021) سنگ شناسی، زمین شناسی و تغییرات زمین بر اساس معدن کاوی را عامل تغییرات غلظت عناصر در این شاخص ها و عناصر معرفی کردند.

در نهایت شاخص بوم شناختی بالقوه نشان داد که مقدار غلظت دو عنصر کم تر از ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم هستند؛ پس این شاخص نیز در طبقه اول ($RI \leq 150$) قرار دارد. بنابراین، دو عنصر دارای خطر پایین آلودگی هستند. شکل ۵ پراکنش دو عنصر را در سطح منطقه نشان می دهند که عنصر Zn در سطح منطقه با بیش ترین مقدار ۱۰۱/۸۷۹ پخش شده است در همین حال بیش ترین مقدار Pb برابر ۸۴/۴۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم به صورت نقطه ای در سطح منطقه پخش شده است.

شاخص زمین انباشتگی برای برآورد وضعیت آلودگی منطقه نشان داد که عنصر Zn دارای غلظت کم تر از صفر است و بر اساس طبقه بندی مولر برای منطقه آلودگی ندارد یا غیر آلوده است. به عبارتی بیش ترین مقدار این شاخص برای این عنصر Zn ۰/۱۱۴- و کم ترین مقدار آن ۰/۶۹۴- است. دو مقدار به دست آمده کم تر از صفر هستند ($Igeo < 0$) هستند. وضعیت پراکنش عنصر Zn بر اساس شاخص Igeo، بیش تر مناطق مرکزی و جنوب غربی منطقه مطالعاتی پراکنش و تغییرات غلظت را برای Zn نشان می دهند. نتایج این شاخص برای عنصر Pb متفاوت تر بود و نشان داد که غلظت این عنصر در طبقه دوم و بین ($0 < Igeo < 1$) قرار دارد. بنابراین، دارای وضعیت غیر آلوده تا کمی آلوده است که نقشه پراکنش این عنصر در قسمت مرکزی دارای غلظت بالای ۰/۵ است. بیش ترین مقدار این عنصر در ارزیابی شاخص Igeo ۰/۱۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم است. شکل ۴ پراکنش این دو عنصر را بر اساس شاخص Igeo نشان می دهد. Sarikhani et al. (2017) منشأ زمینی را عامل اصلی برای تغییرات غلظت معرفی کردند. شاخص درجه آلودگی اصلاح شده



شکل ۴- نقشه پراکنش دو عنصر روی و سرب در منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص زمین‌انباشتی (Igeo)

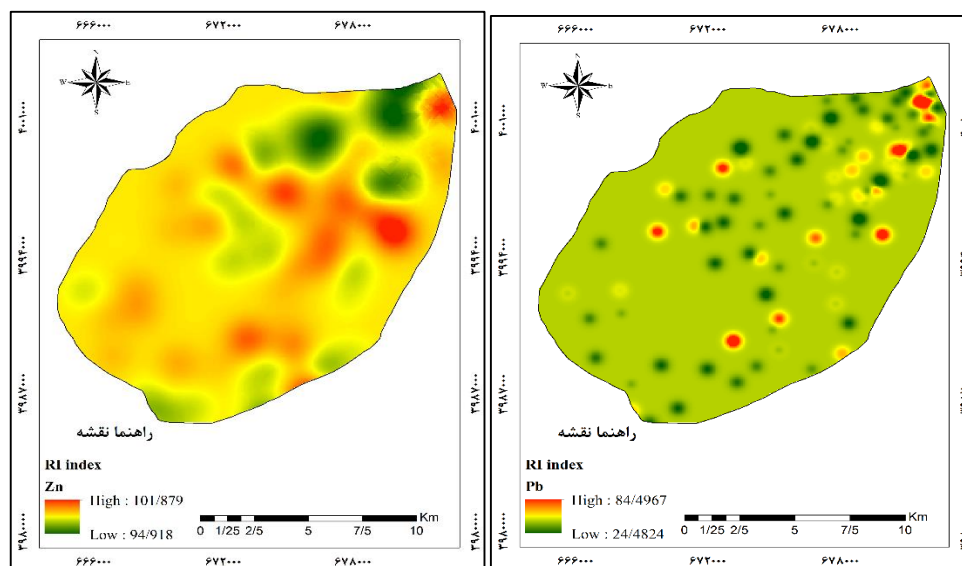
Figure 4- The distribution map of the two elements zinc and lead in the study area based on the geo-accumulation index (Igeo)

ارتباط مناسب و پراکنش خوبی هستند و مقدار تغییرات در دو محور به ترتیب ۴۷/۹ و ۲۴ درصد را برای شاخص Igeo نشان می‌دهند. این نشان‌دهنده وجود عوامل محیطی بر روی پراکنش این عنصر در محیط است. شاخص CF نیز نشان داد که پراکنش آن‌ها در ناحیه سه و با عوامل محیطی همبستگی منفی را نشان می‌دهند. مقادیر درصد آن برای دو محور به ترتیب ۳۲/۵ و ۲۱/۹ درصد است. همبستگی عنصر Zn کم‌تر از ۰/۵- است ولی عنصر Pb بیش‌تر از ۰/۵- به دست آمده است. مقدار این متغیر به‌طور کلی بر اساس نمودار دو مقدار حداقل و حداکثر به ترتیب ۸ و ۲۰ است. شاخص‌های mCF و RI نشان دادند که پراکنش دو عنصر سرب و روی تحت تأثیر عوامل محیطی هستند، و از بین دو عنصر پراکنش عنصر Pb در نتایج شاخص mCF و RI ۳۲/۸ و ۳۴/۴ بیش‌ترین تأثیر را از پراکنش تونل حفاری و عوامل محیطی داشته و دارای همبستگی کم‌تری نسبت به Zn است. درصد تأثیر این دو عنصر به ترتیب ۳۲/۸ و ۲۳/۲ درصد است. با توجه به این نتایج باید علت پراکنش در وجود عناصر اصلی زمین بررسی شود. شکل ۶ نتایج این تغییرات را نشان می‌دهد.

Salvati Nik et al. (2019) نشان دادند که آلودگی‌های فلزات سنگین در منطقه عامل درونی زمین و عمدتاً ناشی از سازندهای زمین‌شناسی است و آلودگی‌های انسان‌زاد، به‌استثنای فعالیت‌های معدن‌کاوی نقش مؤثری نداشته‌اند. Sarikhani et al. (2017) وضعیت آلودگی و تغییرات غلظت عناصر سرب و روی را نشان از منشأ تولیدی از زمین معرفی کردند. Pb که دارای پراکنشی متفاوت‌تر از Zn است نشان داد که بر اساس نتایج عامل آلودگی در طبقه دوم ($1 < CF < 3$) یعنی آلودگی متوسط قرار دارد.

Safari et al. (2016) نشان دادند که تغییرپذیری مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین حاکی از آن است که پهنه‌های دارای بیش‌ترین مقدار بار آلودگی در اطراف شهرک تخصصی روی متمرکز شده‌اند. بنابراین، Zn را عاملی برای تغییرپذیری بقیه عناصر در منطقه معرفی کرده است. با توجه به نتایج شاخص بار آلودگی در این پژوهش مقدار کم‌تری از Pb دارد. بیش‌ترین غلظت در اطراف مناطق دارای کوره‌های برداشت زغال‌سنگ مشاهده شد. پس منطقه معدنی و محل انباشت باطله می‌تواند علتی برای تغییر غلظت عناصر روی و سرب در منطقه باشد. منطقه معدنی کارمزد دارای مناطقی با انباشت حجم زیادی از باطله‌های معدنی و کوره‌های حفاری است. هر یک از این مناطق دارای راه‌های دسترسی نیز هستند. بنابراین، می‌توانند در پراکنش عناصر سنگین دخالت داشته باشند. با توجه به نظر Rahmaniyan et al. (2020) که اظهار کردند تغییرات عناصر فقط در داخل کارخانه سیمان بیش‌تر از مقدار مجاز آن است در این منطقه بیش‌تر عناصر فقط در منطقه مطالعاتی با تغییر غلظت همراه هستند که بر اساس شاخص‌های محاسبه شده از لحاظ محیط زیستی آلودگی ندارند. با توجه به نتایج هر یک از شاخص‌ها در ارتباط با غلظت بیش‌تر Pb از Zn، Bagheri et al. (2018) نیز در پژوهش خود اشاره کردند که بیش‌ترین مقدار میانگین شاخص‌های زمین‌انباشت و عامل آلودگی مربوط به عنصر Pb است؛ که عامل تغییر کاربری و صنایع معدنی را دلیل اصلی در تغییرات غلظت Pb معرفی کردند.

با ارزیابی نمودارهای به‌دست‌آمده از تحلیل PCA مشخص شد که دو عنصر Zn و Pb در نمودار تحلیل همبستگی دارای



شکل ۵- نقشه پراکنش دو عنصر روی و سرب در منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص بوم‌شناختی بالقوه (RI)

Figure 5- The distribution map of the two elements zinc and lead in the study area based on potential ecological index (RI)

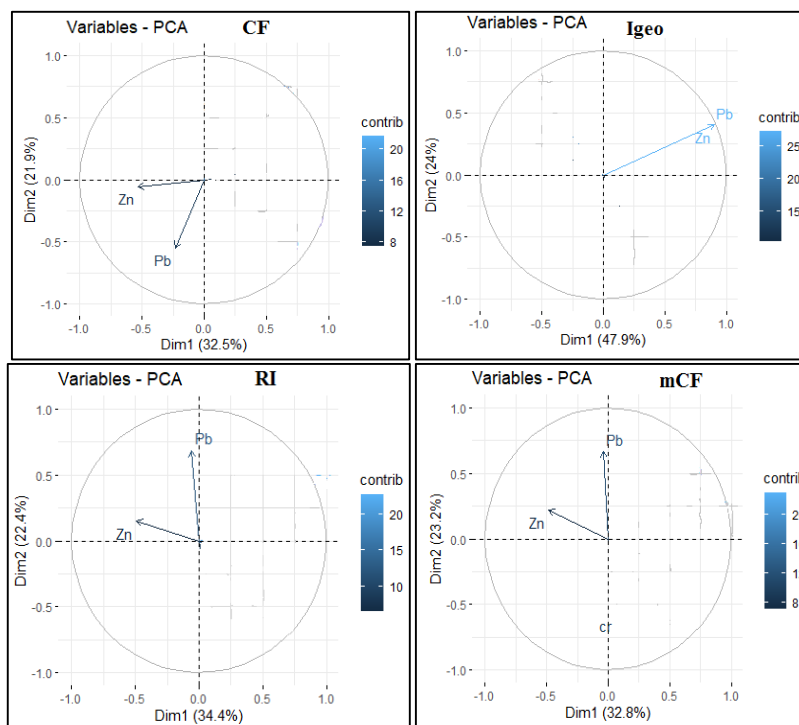
شهرک تخصصی روی متمرکز شده‌اند. بنابراین روی را عاملی برای تغییرپذیری بقیه عناصر در منطقه معرفی کرده است. با توجه به نتایج شاخص بار آلودگی در این پژوهش روی مقدار کمتری از سرب در منطقه دارد، ولی بیشترین غلظت را در اطراف مناطق دارای کوره‌های برداشت زغال دارند. پس منطقه معدنی و محل انباشت باطله می‌تواند علتی برای تغییرات غلظت عناصر روی و سرب در منطقه باشد. منطقه معدنی کارمزد دارای مناطقی با انباشت حجم زیادی از باطله و کوره‌های حفاری است. هر یک از این مناطق دارای راه‌های دسترسی نیز هستند. بنابراین، می‌تواند در پراکنش عناصر سنگین دخالت داشته باشند. Rahmaniyan et al. (2020) اظهار کردند که کارخانه سیمان باعث تغییر غلظت عناصر در منطقه می‌شود اما از لحاظ آلودگی غلظت عناصر در محدوده خطر قرار ندارند. (Bagheri et al. 2018) در پژوهش خود نشان دادند که تغییر کاربری اراضی و منطقه صنعتی باعث افزایش غلظت Pb در داخل خاک می‌شود. نتایج شاخص‌های عامل آلودگی و زمین‌انباشت نیز این ادعا را برای منطقه آن‌ها تأیید کرده است.

۴- نتیجه‌گیری

توسعه اقتصادی و گسترش مناطق صنعتی به‌ویژه معادن استخراج زغال سنگ باعث می‌شود که آلودگی فلزات سنگین خاک شدیدتر شود و عاملی برای تخریب منابع خاک و زوال بوم‌سازگان در مناطق مختلف دنیا باشد. بنابراین در این پژوهش سعی شده که وضعیت آلودگی خاک سطحی منطقه معدنی کارمزد به تغییرات غلظت دو عنصر سرب و روی در اثر برداشت و بهره‌برداری زغال سنگ بررسی شود.

به‌طور کلی این شاخص غلظت دو عنصر را در محدوده آلودگی کم تا متوسط نشان می‌دهد. شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد که عنصر Zn دارای غلظت کم‌تر از صفر است و بر اساس طبقه‌بندی مولر برای منطقه آلودگی ندارد یا غیرآلوده است. به‌عبارتی بیشترین مقدار این شاخص برای این عنصر Zn ۰/۱۱۴- است. همچنین عنصر Pb متفاوت‌تر بود و نشان داد که غلظت این عنصر در طبقه دوم و در دامنه ($1 < Igo < 0$) قرار دارد. بنابراین، دارای وضعیت غیرآلوده تا کمی آلوده است. به‌طورکلی خطر خیلی کم تا متوسط را دارند.

در نهایت، شاخص بوم‌شناختی بالقوه نشان داد که مقدار غلظت دو عنصر کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هستند؛ یعنی در طبقه $RI \leq 150$ قرار دارد. بنابراین دو عنصر دارای خطر پایین آلودگی هستند. (Shayestefar and Rezaie 2013) تغییرات محیط، دخالت انسان و صنعتی بودن مناطق را عاملی برای تغییرات غلظت عناصر سرب دانستند. همچنین، Sarikhani et al. (2017) غیر از تغییرات و دخالت انسانی منشأ زمینی را عامل اصلی برای تغییرات غلظت معرفی کردند. شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده تغییرات دو عنصر را در منطقه بدون خطر نشان داد؛ یعنی این‌که مقدار آن از حد مجاز جهانی کم‌تر است. یکی از علت‌های تغییرات غلظت عناصر در بیش‌تر مناطق تغییرات کاربری، صنعتی و معدنی بودن، جاده‌سازی، منشأ ذاتی زمین و لایه‌های زمین‌شناسی هستند و این عوامل را بر اساس دخالت انسان در طبیعت و برداشت زغال سنگ را دلیل تغییر غلظت عناصر معرفی کردند. (Safari et al. 2016) نشان دادند که تغییرپذیری مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین حاکی از آن است که پهنه‌های دارای بیش‌ترین مقادیر بار آلودگی در اطراف



شکل ۶- نمودار PCA حاصل از پراکنش فلزات سنگین موجود در خاک سطحی منطقه

Figure 6- Results of the PCA diagram resulting from the distribution of heavy metals in the surface soil of the region

آزمایشگاه و تهیه مواد آزمایشگاه است. اما با این پژوهش می توان شباهت موجود در زمینه آلودگی خاک را برای ساکنان مشخص کرد و تاثیر معدن کاپو بر پخش آلاینده ها نشان داد. اما پیشنهادی که می توان برای بهتر بودن موضوع انجام داد در نظر گرفتن عناصر دیگری غیر از سرب و روی و در محیط های دیگری همچون منابع آب است.

سپاسگزاری

از شرکت های البرز مرکزی و تهیه و تولید مواد معدنی ایران (ایمپاسکو) به خاطر همکاری های لازم جهت تهیه و آزمایش نمونه ها قدردانی می شود.

به طور کلی با توجه به اندازه گیری های صورت گرفته و نتایج چهار شاخص، منطقه از لحاظ غلظت دو عنصر سرب و روی به صورت غیرآلوده یا دارای آلودگی کم است. بنابراین، وجود باطله های معدنی و بهره برداری از زغال سنگ تأثیر زیادی بر پراکنش عناصر ذکر شده ندارد. برای بهتر شدن نتایج پژوهش می توان از شاخص های دیگری که نقش عوامل محیطی را مشخص می کنند استفاده کرد. همچنین با توجه به وجود اراضی کشاورزی و منابع آب رودخانه تالار بهتر است برای دستیابی به نتایج و دقت بهتر از عناصر دیگری که به صورت مستقیم بر روی سلامتی انسان تأثیر می گذارند استفاده کرد و وضعیت منطقه را به صورت کلی از لحاظ آلودگی محیط زیستی تحلیل کرد. یکی از معایب اصلی اندازه گیری منابع آلودگی مشکلات زیاد در کارهای

منابع

پاینده، خوشناز، و ولایت زاده، محمد (۱۳۹۸). فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص های آلودگی. *اکویبولوژی تالاب*، ۱۱(۴۰)، ۸۳-۹۶.

تقوی مقدم، ابراهیم، پوریان، زهرا، زنگنه اسدی، محمدعلی، و امیری، ابراهیم (۱۴۰۰). ارزیابی تناسب زمین جهت بهینه یابی محل دفن پسماند شهری با تاکید بر عامل های طبیعی (نمونه موردی: شهر جغتای). *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱۰(۳۷)، ۹۹-۱۱۴.

توکلی، عاطفه، گلچین، احمد، و عبدالمهدی، سمانه (۱۳۹۹). بررسی جذب و انتقال سرب از خاک های آلوده به فلزات سنگین به اندام های

باقری، یوسف رضا، مسکینی ویشکایی، فاطمه، محمد اسماعیل، زهرا، رضایی، حامد، و سعادت، سعید (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه بندی خطر محیط زیستی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص های آلودگی در اراضی زراعی جنوب تهران. *محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، ۷۰(۴)، ۸۵۷-۸۶۸. doi:10.22059/jne.2017.232237.1377

بزی، فاطمه، رضایی، محمدرضا، و صیادی اناری، محمدحسین (۱۳۹۶). بررسی آلودگی خاک به فلزات سنگین با استفاده از شاخص عامل آلودگی در محل دفن زباله شهری زاهدان. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۳(۲)، ۱۷۰-۱۸۰.

- هوایی ارقام مختلف گندم پائیزه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۱۹۵۹، ۸(۸)، ۱۹۶۹-
doi:10.22059/ijswr.2020.298317.668512
- حمزه‌نژاد تقلیدآباد، رقیه، و خداوردیلو، حبیب (۱۳۹۹). ارزیابی کمی فلزات سنگین در خاک. تحقیقات کاربردی خاک، ۸(۲)، ۳۷-۵۲.
- خداکرمی، لقمان، سفیانیان، علیرضا، محمدی‌توقی، الهه، و میرغفاری، نورالله (۱۳۹۳). بررسی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک خاک با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودآهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان). فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳)، ۴۵-۵۵.
- دادگر، مریم، محمدعلیها، مسعود، و زندی اصفهان، احسان (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل زمین‌آماری غلظت آهن و روی در اراضی مرتعی و زراعی (مطالعه موردی: منطقه آبسرد شهر دماوند). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۲(۳)، ۴۴۷-۴۵۷.
doi:10.22092/ijrdr.2015.103105
- دهقانی، سمیه، نادری، مهدی، محمدی، جهانگرد، و کریمی، احمد (۱۴۰۰). ارزیابی آلودگی اجزای ذرات خاک سطحی به فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز باغان استان بوشهر. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۷)، ۱۷۶۵-۱۷۷۸.
doi:10.22059/ijswr.2021.319317.668900
- دیانی، محمود، محمدی، جهانگرد، و نادری، مهدی (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل زمین‌آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک‌های حومه سپاهان شهر واقع در جنوب اصفهان. آب و خاک، ۲۳(۴)، ۶۷-۷۶.
- رحمانیان، محمد، جهانتاب، اسفندیار، و غلامزاده، مجید (۱۳۹۹). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین، سرب و منگنز در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان یاسوج. محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۳۳(۱)، ۳۷-۴۸.
doi:10.22059/jne.2020.277160.1663
- ساریخانی، رامین، قاسمی دهنوی، آرتیمیس، مرادپور، علی، و امیری، مسلم (۱۳۹۶). مطالعه آلودگی خاک به فلزات سنگین ناشی از نشت هیدروکربن‌های نفتی در پالایشگاه کرمانشاه. محیط زیست و مهندسی آب، ۳(۲)، ۱۵۷-۱۶۹.
- سهرابی‌زاده، زهرا، سودایی‌زاده، حمید، حکیم‌زاده، محمدعلی، تقی‌زاده‌مهرجردی، روح‌الله، و قانع‌بافقی، محمدجواد (۱۳۹۹). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های پیرامون معدن سرب و روی کوشک بافق با استفاده از شاخص‌های آلودگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱(۷۷)، ۱۵-۳۴.
doi:10.22108/gep.2020.121263.1260
- سیستانی، ندا، معین‌الدینی، مظاهر، خراسانی، نعمت‌اله، حمیدیان، امیرحسین، علی طالشی، محمدصالح، و عظیمی یانچشمه، رخساره (۱۳۹۶). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های
- مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. سلامت و محیط زیست، ۱۰(۱)، ۷۵-۸۶.
- شاکری، عطا، نصیری مویلی، همت، و رستگاری‌مهر، میثم (۱۴۰۰). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک کشاورزی آبیاری شده با آب رودخانه خیاوچای-مشکین‌شهر، استان اردبیل. یافته‌های نوین در زمین‌شناسی، ۷(۱)، ۲۴۹-۲۶۰.
- شایسته‌فر، محمدرضا، و رضایی، علی (۱۳۹۲). بررسی رفتار زیست‌محیطی و مطالعه توزیع عناصر سنگین در خاک‌های محدوده معدن مس سرچشمه کرمان. مهندسی معدن، ۸(۱۸)، ۱۳-۲۱.
doi:10.1001.1.17357616.1392.8.18.2.3
- صفری، یاسر، دلاور، محمدمامیر، اسفندیارپور بروجنی، عیسی، صالحی، محمدحسن، و اولیایی، حمیدرضا (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت فلزات سنگین در منطقه‌ی شهرک صنعتی روی زنتجان به کمک شاخص بار آلودگی. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۶(۲)، ۱۱۹-۱۳۳.
doi:10.22069/ejsms.2016.3146.133
- صلواتی‌نیک، صدیقه، سعادت، سعید، و علامه، محسن (۱۳۹۹). بررسی زیست‌محیطی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ششم (شمال‌شرق ایران). آب و خاک، ۳۴(۳)، ۷۲۱-۷۳۵.
doi:10.22067/jsw.v34i3.85308
- عظیم‌زاده، بهروز، و خادمی، حسین (۱۳۹۲). تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳)، ۵۴۸-۵۵۹.
doi:10.22067/jsw.v0i0.26055
- فرزانه، پریسا، سفیانیان، علیرضا، و معطر، فامرز (۱۳۹۰). پهنه‌بندی سرب، کروم، کبالت، مس و نیکل در خاک سطحی شهرستان همدان با استفاده از GIS و زمین‌آمار. انسان و محیط زیست، ۹(۴)، ۳۹-۴۸.
- فقیری، فرانک، حاجی‌احمدی، دنلیا، امان‌الهی، جمیل، و قربانی، فرشید (۱۳۹۸). ارزیابی پتانسیل خطر اکولوژیک و منشاء‌یابی فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کادمیوم و روی در آب و رسوبات سطحی رودخانه قشلاق سنندج. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱(۳)، ۱۹-۳۵.
doi:10.22034/jest.2019.14536
- قلی‌پور، محسن، مظاهری، سیداحمد، رقیمی، مصطفی، و شمعیان، غلامحسین (۱۳۸۸). بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های حوزه زغالی کارمزد، البرز مرکزی، استان مازندران. بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۷(۴)، ۶۵۵-۶۷۰.
- لشگری، ناطق، قربانی، جمشید، زالی، سیدحسن، و وهاب‌زاده، قربان (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل احیای پوشش گیاهی در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ (مطالعه موردی: معادن منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران). محیط‌شناس، ۴۱(۴)، ۷۵۷-۷۷۰.
doi:10.22059/jes.2016.57130

References

Abraham, G.M.S., & Parker, R.J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors

and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary. *Auckland,*

- New Zealand. Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 227–238. doi: 10.1007/s10661-007-9678-2
- Azimzadeh, B., & Khademi, H. (2013). Estimate to assess contamination concentrations of some heavy metals in soil surface areas of the province Mazandaran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 27(3), 548-559. doi:10.22067/jsw.v0i0.26055 [In Persian]
- Bagheri, Y.R., Meskini-Vishkaee, F., Mohammad Esmaeil, Z., Saadat, S., & Rezaei, H. (2018). Evaluating and mapping the environmental risk of soil heavy metals using by contamination indexes in the Tehran south farms. *Journal of Natural Environment*, 70(4), 857–868. doi:10.22059/jne.2017.232237.1377 [In Persian]
- Bazzi, F., Rezaei, M.R., & Sayadi Anari, M.H. (2021). Survey of Soil Pollution of Zahedan City Landfill by Heavy Metals (Chromium, Cadmium, Lead and Arsenic) Using Pollution Load Index and Ecological Risk. *Human & Environment*, 3(2), 170-180. [In Persian]
- Cachada, A., Rocha-Santos, T., & Duarte, A.C. (2018). Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. *Soil Pollution-From Monitoring to Remediation, Chapter*, 1, 1-28. doi:10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7
- Chen, Z., Shi, Z., Ni, Sh., & Cheng, L. (2022). Characteristics of soil pollution and element migration associated with the use of coal in Hutou Village, Yunnan Province, China. *Ecological Indicators*, 139, 108976. doi:10.1016/j.ecolind.2022.108976
- Dadgar, M., Aliha, M.M., & Zandi Esfahan, E. (2016). Geostatistical analysis of Fe and Zn concentrations in range and farm lands, Case study: Absard Region of Damavand. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(3), 447–454. [In Persian] doi:10.22092/ijrdr.2015.103105
- Dehghani, S., Naderi, M., Mohammadi, J., & Karimi, A. (2021). Assessment of Heavy Metals Contamination of Soil Particle Size Fractions in Different Land Uses of Baghan Watershed, Bushehr province, Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(7), 1765–1778. [In Persian] doi:10.22059/ijswr.2021.319317.668900
- Diyani, M., & Naderi, M. (2010). Mapping Concentrations of Pb, Zn and Cd in Soils Using Landsat ETM+ Data. *Journal of water and soil*, 23(4), 67-76. [In Persian]
- Eugenio, N.R., & Ronzan, M. (2021). Sources of Soil Pollution. Report of FAO & UNEP Global Assessment of Soil Pollution, FAO, Rome, 201 pages.
- Eugenio, N.R., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). Soil Pollution A Hidden Reality FAO. Rome, 222.
- Faghiri, F., Hajiahmadi, D., Amanollahi, J., & Ghorbani, F. (2019). Ecological risk assessment and source identification of heavy metals including lead, arsenic, cadmium and zinc in surface water and sediments from Gheshlagh river, Sanandaj. *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 21(3), 19–35. doi: 10.22034/jest.2019.14536 [In Persian]
- Farzaneh, P., Soffianian, A., Moattar, F. (2011). Spatial distribution of (Ni, Cr, Pb, Cu and Co) in the surface (superficial) soil of Hamadan county with Geostatistic & GIS. *Human & Environment*, 9(4), 39-48. [In Persian]
- Gao, H., Huang, Y., Li, W., Li, G., Ouyang, SH., Song, T., Lv, E., Zhai, W., & Ma, K. (2021). Explanation of heavy metal pollution in coal mines of china from the perspective of coal gangue geochemical characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 65363–65373. doi:10.1007/s11356-021-14766-w
- Gholipour, M., Mazaheri, A., Raghimi, M., & Shamanian, G. (2010). Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandran Province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 17(4), 655 – 670. [In Persian]
- Hakanson, L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research A Journal of the International Water Association (IWA)*, 14, 975-1001. doi:10.1016/0043-1354(80)90143-8
- Hamzenejad, R., & Khodvardilou, H. (2020). Quantitative Assessment of Soil Heavy Metals Pollution. *Applied Soil Research*, 8(2), 37–52. [In Persian]
- Han, F., Deng, Y., Liu, Q., Zhou, Y., Wang, J., Huang, Y., Zhang, q., Bian, J. (2022). Construction and application of the knowledge graph method in management of soil pollution in contaminated sites: A case study in South China. *Journal of Environmental Management*, 319, 115685. doi:10.1016/j.jenvman.2022.115685
- Khodakarmi, L., Sufianian, A., Mohammadi Tawfiq, A., & Mirghafari, N. (2011). Investigating the concentration of heavy elements copper, zinc and arsenic in soil using RS and GIS (Case study: Kabudar Ahang, Rezen and Khunjini-Talkhab watershed in Hamadan province). *Journal of RS and GIS for Natural resources*, 5(3), 45-55. [In Persian]
- 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, 2395–2420. doi:10.1007/s10653-018-0106-z
- Lashgari, N., Ghorbani, J., Zali, S.H., & Vahabzadeh, Gh. (2016). Assessing the vegetation restoration potential on coal mine waste (Case study: Karmozd Savadkoh mines, Mazandaran province). *Journal of Environmental Studies*, 41(4), 757–770. doi:10.22059/jes.2016.57130 [In Persian]
- Li, K., Wang, J., & Zhang, Y. (2022). Heavy metal pollution risk of cultivated land from industrial production in China: Spatial pattern and its enlightenment. *Science of The Total Environment*, 828, 154382. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154382
- Luo, X., Wu, Ch., Lin, Y., Li, W., Deng, M., Tan, J., & Xue, Sh. (2022). Soil heavy metal pollution from Pb/Zn smelting regions in China and the remediation potential of biomineralization. *Journal of Environmental Sciences*, 125, 662–677. doi:10.1016/j.jes.2022.01.029
- Mulenga, Ch. (2022). Soil governance and the control of mining pollution in Zambia. *Soil Security*, 6, 100039. doi:10.1016/j.soisec.2022.100039
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(3), 108–118.
- Payandeh, Kh., & Velayatzadeh, M. (2019). Determining of the heavy metals cobalt, chromium, manganese, selenium and molybdenum in sediments of Hooralazim wetland in Khuzestan province using pollution indices. *Journal of Wetland Ecobiology*, 11(40), 83–96. [In Persian]
- Rahmaniyan, M., Jahantab, E., & GholamZadeh, M. (2020). Evaluation of heavy metals contamination, lead and manganese in the around soils of Yasouj Cement Factory. *Journal of Natural Environment*, 73(1), 37–48. doi:10.22059/jne.2020.277160.1663 [In Persian]
- Safari, Y., Delavar, M.A., Esfandiarpour Borujeni, I., Salehi, M.H., & Owliaie, H.R. (2016). Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area. *Soil Management and Sustainable Production*, 6(2), 119–133. doi: 10.22069/ejsms.2016.3146 [In Persian]
- Salvati Nik, P., Saadat, S., & Allameh, M. (2019). Environmental investigation of the distribution of heavy metal contamination in the soils of Sheshtamed region (northeast of Iran). *Soil and Water*, 34(3), 721–735. doi:10.22067/jsw.v34i3.85308 [In Persian]
- Sarikhani, R., Ghassemi Dehnavi, A., Moradpour, A., & Amiri, M. (2017). Study of soil pollution with heavy metals due to leakage of petroleum hydrocarbons at Kermanshah Refinery. *Journal of Environment and Water Engineering*, 3(2), 157–169. [In Persian]
- Shakeri, A., Nasiri, H., & Rastegari Mehr, M. (2021). Investigation of heavy metals pollution in agricultural soils irrigated by Khiavchay River water-Meshginshahr. *Ardebil Province. New Findings in Applied Geology*, 7(1), 249–260. [In Persian]
- Shayestefar, M.R., & Rezaei, A. (2013). The study of environmental behavior and the investigation of heavy metals distribution in the soils of the Sarcheshmeh copper mine area of Kerman. *Iranian Journal of Mining Engineering*, 8(18), 13–21. doi:10.1001.1.17357616.1392.8.18.2.3 [In Persian]
- Sistani, N., Moeinaddini, M., Khorasani, N., HamidianAli-Taleshi, Ah., & Azimi Yancheshmeh, R. (2017). Heavy metal pollution in soils nearby Kerman Steel Industry: Metal richness and degree of contamination assessment. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10(1), 75–86. [In Persian]
- Sohrabizadeh, Z., Sodaiezadeh, H., Hakimizadeh, M.A., Taghizadeh Mehrjardi, R.A., & Ghanei Bafaqi, M.J. (2020). Evaluation of Heavy Metal Contamination in Soil Samples around the Lead-Zinc Mine of Kushk, Bafq, using Pollution Indicators and Principal Component Analysis. *Geography and Environmental Planning*, 1(77), 15–34. doi:10.22108/gep.2020.121263.1260 [In Persian]
- Taghavi-Moghadam, A., Pourian, Z., Zanganeh-Asadi, M.A., & Amiri, A. (2021). Assessment of land suitability for optimization of urban waste landfill with emphasis on natural factors (case example: Joghtai city). *Geography and Environmental Studies*, 10(37), 99–114. [In Persian]
- Tavakoli, A., Golchin, A., & Abdollahi, S. (2020). Study of Lead Uptake and Translocation from Heavy Metals Contaminated Soils to the Aerial Parts of Different Winter Wheat Cultivars. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 1959–1969. doi: 10.22059/ijswr.2020.298317.668512 [In Persian]
- Wu, Y., Li, X., Yu, L., Wang, T., Wang, J., & Liu, T. (2022). Review of soil heavy metal pollution in China: Spatial distribution, primary sources, and remediation alternatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106261. doi:10.1016/j.resconrec.2022.106261