



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 1, Spring 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Evaluation of Risk Potentials and Determination of Zn, Pb and Cd Source in Soil Around Angouran Mineral Processing Complex

Document Type
Research Paper

Received
October 4, 2019

Zahra Sheikhi Alman Abad, Hossein Pirkharrati*, Monir Mojarrad

Accepted
January 26, 2020

Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

DOI: [10.22059/JES.2020.292719.1007949](https://doi.org/10.22059/JES.2020.292719.1007949)

-

Abstract

Due to the negative effects of the accumulation of heavy metals, this study aimed to investigate the distribution of heavy metals in the soil around MFMMA. The surface soil of 74 sampling stations around MFMMA was sampled and the concentration of heavy metals after acid digestion was measured by ICP. Data were analyzed by some environmental index, carcinogenic potential and the positive factoring model by PMF.5. Simultaneous analysis of spatial distribution maps of metals, ecological hazard index, the modified degree of pollution and pollution load shows the predominance of high concentrations of metals around MFMMA. According to the accumulation land index, lead and zinc is in a undesirable range and enrichment coefficient, cadmium, is in the extremely high enrichment category. Based on the cancer risk index, the probability of developing cancer for adults and children is in the middle and upper range. The positive factoring model shows the highest share of metal concentrations due to anthropogenic origin.

Keywords: Anthropogenic, Ecological Risk, Enrichment, Angouran Mineral Processing Complex, Kiriging maps

Extended abstract

Introduction

The intensity of human activities throughout the recent decades has led to significant changes in the balance of nature. Recent industrial development has resulted in a remarkable increase in pollution loads imposed by toxic metals, which are a significant environmental hazard for invertebrates, fish, and humans. The factories which concentrate and process heavy metals increase their levels in the soil. Exposure to heavy metals increases the possibility of health risks for residents in the area.

Soil is a bed to accumulation of nutrient and pollutant and plays an important role in environmental sustainability. Among all types of soil pollutants, heavy metals are considered as a major threat to environmental health due to their non-degradability in the environment and their long life span. Heavy metals are naturally present in the earth's crust. Rocks and minerals have a high impact on the concentration of elements in the soil and sometimes increase the elements concentration in the soil beyond the permitted level. Besides, the human activities such as mining and related processing cause heavy metals propagation in the environment.

Angouran Mineral Processing Complex includes lead and zinc concentration complexes along with the zinc factory and is located in Dandi Industrial Zone in the Mahneshan, Zanjan province in Iran. AMPC has a production capacity of over 23,000 tons per year and is one of the largest producers of Iran with more than four decades of operation. It is located in the Angouran protected area which is one of the oldest protected areas of Iran with a total area of 1,250 km². Almost 300 km² of this area constitutes the Angouran wildlife refuge. Ghizil Ozen and Angouran Chay rivers flow through the area, which is home to dozens of aquatic bird species, seven amphibian species and eight fish species. Many of the rare animals of Iran are found in this area. There are about 200 plant species in Angouran. It is located in a protected area and expands metal industries. The main activities of its inhabitants are agriculture and animal husbandry. The area which is under cultivation of agricultural and horticultural products in Mahneshan city comprises 11% of the total area of Zanjan province. Moreover, 81% of this area is utilized for the cultivation of annual agricultural products and 19% of it is used for the cultivation of horticultural products. The accumulation of industrial, agricultural and animal husbandry poles along with the habitats of different species in one area can potentially have some environmental problems which need to be investigated. This issue stems from the fact that the development of industrial activities, especially processing and concentrating units of heavy metals, increases the concentration of these metals in soil and other environmental sources and exposes humans to them. These elements gradually accumulate in the soil due to low mobility, and their entry into the food cycle and the environment causes problems for human health and other living organism. Studies showed that in Dandi industrial zone, the environment of the region, was negatively affected by the accumulation of waste being left as cake on the margins of rivers and streams or open (mainly agricultural) lands. This cake, which is in fact waste from flotation and smelting of lead and zinc and concentrate production processes, may have lost most of its lead and zinc from an industrial perspective. However, from an environmental point of view, it contains amounts of other potentially toxic elements including As, Cr and Co which greatly exceed the allowable limits. Moreover, their study showed that waste pools or effluent pools were another major risk factor for the environment of the region. The agricultural soil of this area was affected by these contaminants and had major environmental anomalies.

Hence, the purposes of this study were to determine the spatial pattern of Zn, Pb and Cd spreading around Angouran Mineral Processing Complex, to investigate their potential risk using different environmental indices, to identify ecological risk and carcinogenic risk, and to determine the contribution of anthropogenic and geogenic origin.

Materials and Methods

Angouran Mineral Processing Complex, with geographical coordinate of 36°34'20" N and 47°37'40" E .

The area is located in a metamorphic complex of the Sanandaj-Sirjan microplate in the Zagros orogenic belt affected by the Tertiary to Quaternary volcanic activities as well as the geothermal activities of the Urumieh-Dokhtar zone. It is composed of the present age river banks and alluvial deposits in the center along with conglomerate and red tuffs in the northern part.

About 15% of the area is irrigated and its 70% is used as pastures. It has been one of the protected areas of the environment and has enabled tourism activities in order to preserve and restore plant and animal habitats for four decades until the present day.

Soil sampling was done from 0-20 cm depth in June 2016 (n=74). After preparation of the samples, they were sent to the Zarazma laboratory for analysis of Zn, Pb and Cd by ICP-OES. In order to analyze the total concentration of heavy metals, the samples were digested using the four-acid digestion method, including hydrofluoric acid, perchloric acid, nitric acid, and hydrochloric acid. For this purpose, each air-dried sample was weighted in a crucible, 5 ml concentrated nitric acid was added to it, and it was kept at ambient temperature for 30 min. Then, 10 ml of perchloric acid and 2 ml of concentrated hydrofluoric acid were added to it. It was placed on a heater, and its temperature was increased to 100°C. Since this method's goal was the complete digestion of the solid sample, the addition of hydrofluoric acid continued until the sample became transparent. In the end, 10 ml of concentrated hydrochloric acid was added, and the sample was kept at the same temperature for 10 min. After the sample was cooled, it was transferred to a 50 to 100-ml volumetric flask, and it was brought up to the volume using double-distilled water. All chemicals used in this study were provided by the credible German Merck brand. Analytical duplicates/replicates, standard reference material (OREAS 24b, and GBM908-10), and blank reagents (with an accuracy of 4% to 6%) were used for QA/QC. The detection limits for Cr, Co, As, Ni and Cu were 1, 1, 0/5 and 1, respectively. Statistical analysis of the data and index calculations were performed using Excel and SPSS software. Also, PMF 5.0 EPA (Positive Matrix Factorization) software was used to determine the source contribution to metal dispersion. Applied indices include enrichment factor (Ef), Geoaccumulation index (I_{geo}), pollution load indices (PLI) and modified pollution degree (mCd), ecological risk potential (PERI) and cancer risks (CR).

Discussion of Results

Soil in the study area is in a poor and serious condition that threatens agriculture and animal husbandry, the main activities beside the industrials. Zn had the highest concentration with an average of 1648.1 ppm in the region and followed by Pb and Cd with mean of 467.9 and 9.8 ppm, respectively.

The high coefficients of variation of metals showed the effect of anthropogenic activities on their distribution in the region.

The I_{geo} mean for Pb, Zn, and Cd were 1.7, 2.0, and 0.4, respectively, which indicated average contamination of Pb and Zn and non-contaminated to intermediate contamination of Cd. I_{geo} 's result showed that the metals accumulation order was Zn > Pb > Cd. The extent of metal contamination was -2.4 to 8.9 for Pb, -0.4 to 8.3 for Zn, and -2.4 to 7.1 in terms of Cd, suggesting negative values for these metals which are in the range of non-polluted soils. High Cd contamination was observed only in 4.9% of the samples while EF showed high Cd enrichment (72/1). The mean Ef calculated for Zn, Pb and Cd were 37.1, 45.7 and 72.1, respectively, suggesting strong enrichment for Zn and Pb, but extremely strong for Cd. Cd is the most mobile metal in the soil and is likely to be absorbed through the plants roots. The enrichment degree for all three metals in the region is wide. Contamination severity ($Ff > 10$) in total observed for Zn, Pb and Cd in 29.6%, 25.6% and 59.4% of samples, respectively, which indicates very high impact of anthropogenic contamination sources. Given the various toxic effects of metals on the human body, the PERI index of metals in the soil varies from 42.8 to 35500.5 and showed a high environmental risk for Cd than for Zn and Pb. Based on classification, 35% of sampling points showed high ecological risk.

The metal contamination degree in the soil was higher than expected. In the study area, mCd ranged

from 0.8 to 723.4 and 60% of the samples showed high contamination. PLI calculation showed that contamination range is between 0.7 and 627.8. The contamination range calculated by mCd and PLI revealed that 60% and 40% of the area is in very poor and inappropriate condition.

CR for adults ranges from 0.2×10^{-2} to 0.5×10^{-5} while the mean is 0.1×10^{-3} . Unexpectedly, Zn with an impact of 96.9% had the highest share in the carcinogenic risk of ingested contaminated soil. CR for children varies from 0.4×10^{-2} to 0.9×10^{-5} with a mean of 0.2×10^{-3} . Similar to the results obtained from adult CR, Zn with 99.1% had the greatest effect on the carcinogenesis probability due to ingestion. Based on the CR classification, the risk was middle and upper class for children.

The CR calculation for children and adults showed that the ingestion risk of contaminated soils contain Zn had the greatest effect on the risk of carcinogenicity and health problems. Absorption via skin and respiration of Zn, Pb and Cd were the next highest risk factors.

PMF model was used to quantify the different sources contribution in Cd, Zn and Pb pollution. Comparing the metals prevalence in each factor and the information obtained from the regional field for the probable source of heavy metals, two factors were considered to the probable source of the heavy metals. Geogenic origin was the first-factor and anthropogenic origin was the second one. According to the results, the concentration of Zn in the second factor was 99% while in the first factor was 1%. Pb and Cd the second factor were estimated to be 90.2% and 95.7%.

Conclusions

This study was carried out to investigate the carcinogenic and non-carcinogenic health risks of Zn, Pb and Cd in the soil around Angouran Mineral Processing Complex, which includes lead and zinc concentration complexes and zinc production factory. This area was selected due to the fact that it is environmentally sensitive. Moreover, in addition to industrial activities including the concentration and processing of heavy metals, it is used for agricultural activities, pastures, and animal husbandry. Lastly, it is the habitat for various and rare animal and plant species.

Concentration result showed that the metals order was $Zn > Pb > Cd$. It can be concluded from the Igeo and Ef index that samples collected from this area have enriched and contaminated by the examined heavy metals. Based on PERI classification, most of sampling points showed high ecological risk and showed a high environmental risk for Cd than for Zn and Pb in the study area.

mCd and PLI result showed a significant risk in agricultural land use. In developing countries, there are very few studies which have examined the exposure to heavy metals. Soil and dust ingestion was a potential source of exposure to environmental chemicals for both adults and children. Children may, in particular, consume large amounts of soil because of their tendency to play on the ground and carry the soil coated objects to their mouths. Due to the wide range of industrial activities in the region, agriculture in the study area poses a greater risk of carcinogenicity for the adult population. This issue stems from the fact that the farmers' ingestion of soli particles which stick to their hands, dermal exposure during farm work hours, or inhalation of polluted soil and dust pose a higher risk.

According to an obtained results from PMF model, the greatest impact on Zn concentration in the region is due to anthropogenic activities. Therefore, there is a need to reduce the risk of exposure to soil metals in order to maintain the health of the residents' health and sustainability of the environment and animals in the area, including soil refining.

ارزیابی پتانسیل خطرپذیری و تعیین سهم منشأ روی، سرب و کادمیوم خاک اطراف مجتمع فرآوری مواد معدنی انگوران

زهرا شیخی آلمان آباد، حسین پیرخراطی*، منیر مجرد

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۲

چکیده

در کنار گسترش فعالیت‌های صنعتی، فعالیت اصلی ساکنان اطراف مجتمع فرآوری مواد معدنی انگوران (MFMMMA) کشاورزی و دامپروری است. با توجه به تأثیرات منفی تجمع فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های صنعتی، هدف از مطالعه حاضر بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک اطراف MFMMMA است. بدین منظور نمونه‌برداری از خاک سطحی ۷۴ ایستگاه نمونه‌برداری اطراف MFMMMA صورت گرفت و غلظت فلزات سنگین پس از هضم اسیدی نمونه‌ها توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شدند. داده‌ها توسط شاخص‌های پتانسیل آلاینده‌گی، خطر اکولوژیکی، احتمال سرطان‌زایی و همچنین با مدل عامل‌یابی مثبت نرم‌افزار PMF 5.0 و ArcMap تجزیه و تحلیل شدند. بررسی هم‌زمان نقشه‌های توزیع مکانی فلزات و شاخص خطر اکولوژیکی، غالب بودن غلظت‌های بالای فلزات را در اطراف MFMMMA نشان می‌دهد که همسو با نتایج به دست آمده از شاخص‌های درجه آلودگی اصلاح شده و بار آلودگی است. شاخص زمین انباشت، سرب در ۱۶/۱ درصد و روی در ۱۷/۵ درصد نمونه‌ها و برمبنای ضریب غنی‌شدگی، کادمیوم با میانگین ۷۲/۱، در رده غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید قرار گرفته است. شاخص خطر سرطان‌زایی احتمال ابتلا به سرطان برای بزرگ‌سالان و کودکان با میانگین 0.1×10^{-3} و 0.2×10^{-3} در منطقه متوسط و بالا است. مدل عامل‌یابی مثبت بیشترین سهم غلظت فلزات را ناشی از منشأ آنتروپوژنیک نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: آنتروپوژنیک، خطر اکولوژیکی، غنی‌شدگی، مجتمع فرآوری مواد معدنی انگوران، نقشه‌های کریجینگ.

۱. سرآغاز

(Zhang, 2010). فلزات سنگین به‌طور طبیعی در پوسته زمین حضور دارند و در نتیجه هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها وارد خاک می‌شوند. سنگ‌ها و کانی‌ها تأثیر بسیار بالایی در غلظت عناصر در خاک دارند و گهگاه غلظت عناصر موجود در خاک را بیش از حد مجاز افزایش می‌دهند (Wu et al., 2018). به‌طور نظری هر ۱۰۰۰ کیلوگرم از خاک طبیعی حاوی ۱۶ گرم سرب و ۰/۲ گرم کادمیوم است (Amouei et al., 2018). علاوه بر منشأ زمین‌زاد، فعالیت‌های انسانی از جمله معدنکاری معادن فلزی و واحدهای فرآوری و تغلیظ وابسته به آن، موجب

از دیدگاه زیست‌محیطی مسائل مربوط به خاک عبارت‌اند از فرسایش، کاهش ماده آلی و تنوع زیستی، آلودگی، شوری خاک و رانش زمین که در بررسی سلامت آن به‌کار می‌روند. خاک بستر تجمع مواد مغذی و آلاینده‌ها در اکوسیستم خشکی بوده و نقش مهمی در پایداری محیط‌زیست ایفا می‌کند (Andrews & Carroll, 2002). در بین انواع آلاینده‌های خاک، فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن در محیط و طول عمر زیستی بالا، به‌عنوان تهدید کننده سلامت محیط‌زیست، بسیار مهم محسوب می‌شوند (Wu

خطر سرطان‌زایی و سرب کمترین خطر سرطان‌زایی را دارد. موسوی و همکاران (۱۳۹۶)، خطر اکولوژیکی غلظت تمام گونه‌های هیدروکربن آروماتیک حلقوی به جز دی بنزو (a, h) آنتراسن و استفتن را در رده دامنه کم خطر ارزیابی کردند. علاوه بر این در این مطالعه، از مدل عامل یابی مثبت برای ارزیابی کمی سهم منابع مختلف مربوط به آلودگی هیدروکربن آروماتیک حلقوی استفاده شد. نتایج مدل چهار منشأ، احتراق سوخت فسیلی (۱۴ درصد)، احتراق زیست توده (۱۳ درصد)، انتشار از وسایل نقلیه (۳۶ درصد) و احتراق سوخت فسیلی/ نفت خام (۳۷ درصد) را شناسایی کرد.

مجتمع فرآوری مواد معدنی انگوران (که در این مطالعه به اختصار MFMMMA عنوان خواهد شد)، شامل واحدهای تغلیظ سرب و روی و کارخانه روی دندی در شهرستان ماهنشان، شمال غربی استان زنجان واقع شده است. ظرفیت تولید این مجتمع فرآوری بالای ۲۳ هزار تن در سال بوده و یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های کشور با بیش از سه دهه فعالیت است. MFMMMA در منطقه حفاظت‌شده، یکی از نواحی قدیمی حفاظت‌شده ایران به وسعت کلی ۱۲۵۰ کیلومترمربع قرار گرفته است. نزدیک به ۳۰۰ کیلومترمربع آن پناهگاه حیات وحش انگوران است. رودخانه‌های قزن اوزن و انگوران چای از این منطقه می‌گذرد که زیستگاهی برای ده‌ها گونه پرنده آبی، ۷ گونه دوزیست و ۸ گونه ماهی است. بسیاری از حیوانات کمیاب ایران در این منطقه ساکن هستند. حدود ۲۰۰ گونه گیاهی در انگوران واقع شده است. در این منطقه علاوه بر گسترش صنایع فلزی و صنعتی و قرار گرفتن در محدوده حفاظت شده، فعالیت اصلی ساکنان آن کشاورزی و دامپروری است. سطح زیر کشت محصولات زارعی و باغی شهرستان ماهنشان ۱۱ درصد از کل استان زنجان را شامل می‌شود که ۸۱ درصد از آن به زراعت سالانه و ۱۹ درصد به کشت باغ‌ها اختصاص دارد. بنابراین تجمع قطب‌های صنعتی و معدنی، مزارع کشاورزی و زیستگاه جانداران در یک ناحیه می‌تواند از نظر زیست‌محیطی پتانسیل ایجاد برخی ناهنجاری‌ها را به همراه داشته باشد که باید بررسی شود (شریعتی و همکاران، ۱۳۹۰). چرا که

گسترش فلزات سنگین در محیط‌زیست می‌شوند (Qingjie et al., 2008).

امروزه به دلیل آثار نامطلوب زیست‌محیطی فلزات سنگین، مطالعات بسیاری درباره غلظت و پراکندگی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آلاینده‌ها، اکولوژیکی، احتمال ابتلا به سرطان و مدل‌های تعیین سهم منشأ صورت گرفته است (Petrosyan et al., 2019; Wu et al., 2018; Sultana et al., 2017; Amouei et al., 2018; Teng et al., 2010).

از شاخص‌های مطرح در زمینه بررسی آلاینده‌ها، شاخص بار آلودگی اصلاح شده است. با استفاده از این شاخص Wu و همکاران (۲۰۱۸)، ۷۱ درصد نمونه‌های خاک فلات Qinghai در شمال چین را در رده آلودگی متوسط و بالا گزارش کردند. علاوه بر شاخص بار آلودگی اصلاح شده، شاخص خطر سرطان‌زایی برای کمی سازی احتمال ابتلا به سرطان در این مطالعه به کار گرفته شده بود. بر مبنای این شاخص ریسک ابتلا به سرطان برای کودکان و بزرگسالان بسیار بالا و بالا ارزیابی شد. در تحقیقی دیگر Sultana و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از شاخص خطر سرطان‌زایی، میوه و سبزی‌ها منطقه شهری بنگلادش را ارزیابی کردند. نتیجه حاصل نشان دهنده نامطلوب بودن منطقه برای رشد ریشه و برگ سبزی‌ها بود. برای شناسایی دسترسی زیستی و آلاینده‌ها به فلزات سنگین شاخص خطر اکولوژیکی به کار می‌رود. Petrosyan و همکاران (۲۰۱۹)، بر مبنای این شاخص، خطر فلزات سنگین را در رسوبات بستری رودخانه Hrazdan در ارمنستان پایین عنوان کردند. در ایران نیز با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی و خطر سرطان‌زایی مطالعات بسیاری صورت گرفته است. Amouei و همکاران (۲۰۱۸)، با به کارگیری شاخص خطر اکولوژیکی، کادمیوم و آرسنیک را نسبت به سرب، کروم، کبالت، روی و نیکل در خاک مناطق شهری و روستایی بابل در رده بالای خطر عنوان کردند. ارزیابی خطر ابتلا به سرطان فلزات سنگین، در گرد و غبار شهر آبادان توسط قنوتی (۱۳۹۷) صورت گرفت. نتیجه مطالعات آن‌ها نشان داد که برای هردو گروه سنی کودکان و بزرگسالان کروم بیشترین

عهد حاضر و رودخانه‌ای در بخش مرکزی و کنگلومرا و توف‌های قرمز در بخش شمالی تشکیل شده است (شکل ۱). نزدیک به ۱۵ درصد منطقه کشت آبی بوده و ۷۰ درصد آن به مراتع اختصاص دارد. به‌منظور حفظ و احیای رویشگاه‌های گیاهی و زیستگاه‌های جانوری به مدت ۴ دهه و تا به امروز جزو مناطق حفاظت شده محیط‌زیست بوده که امکان فعالیت‌های گردشگری را به همراه داشته است.

۲-۲. نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

دشواری‌ترین مرحله در آزمایش خاک، تعیین نقاط مطلوب نمونه‌برداری است. در صورتی که نمونه انتخاب شده، نشان دهنده مکان نمونه‌برداری نباشد، نتایج به دست آمده از آزمایشگاه، نمی‌تواند دقت لازم را برای تحلیل داشته باشد. در اجرای این پروژه با توجه به اهداف مطالعه، وسعت و ویژگی‌های منطقه، بررسی تصاویر ماهواره‌ای، ضرورت یکسان بودن روش نمونه‌برداری در تمامی نقاط، امکان پهنه‌بندی و تعیین میزان آلودگی، تهیه نمونه کافی و مناسب که بر اساس نتایج آن‌ها امکان تجزیه و تحلیل آماری فراهم شود، از روش نمونه‌برداری منظم استفاده شده است که مرکز آن MFMMMA بود. همچنین ایستگاه‌های نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که بتوانند زمین‌های کشاورزی و مناطق صنعتی را به‌طور کامل در تمامی جهت‌های اطراف MFMMMA پوشش دهند. چرا که احتمال می‌رفت با توجه به بیش از سه دهه فعالیت MFMMMA آلودگی گسترش بیشتری در منطقه داشته باشد. بدین منظور منطقه‌ای به مساحت ۵۱ کیلومتر مربع اطراف MFMMMA برای برداشت نمونه انتخاب شد. نخست نقاط نمونه‌برداری روی نقشه به‌صورت منظم انتخاب شدند. بدین صورت که از MFMMMA دوایری با فواصل نیم کیلومتری از هم کشیده شدند و از روی هر کدام از این دوایر نقاطی برای نمونه‌برداری مشخص شد. در مجموع ۷۴ ایستگاه نمونه‌برداری با توجه به هدف مطالعه، استقرار نواحی صنعتی و وسعت منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. ابتدا از اطراف MFMMMA سپس به ترتیب از ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴

توسعه فعالیت‌های صنعتی به‌ویژه واحدهای فرآوری و تغلیظ سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و سایر منابع پذیرنده محیط‌زیست می‌شود.

فلزات سنگین به‌صورت مستقیم در نتیجه بلع، جذب پوستی و تنفس و به‌طور غیرمستقیم در بدن انسان تجمع می‌یابند. روش غیرمستقیم جذب توسط ریشه گیاهان و محصولات کشاورزی از بخش محلول خاک و ورود به زنجیره غذایی، سرانجام ورود به بدن انسان است (سیستانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Amouei et al., 2018). علاوه بر این افزایش غلظت فلزات سنگین، ساختار خاک و استفاده از آن را در جهت توسعه پایدار با مشکلاتی همراه می‌کند (Jiang et al., 2017; Peng et al., 2014; Qingjie et al., 2008). بنابراین هدف از این مطالعه تعیین الگوی مکانی گستردگی روی (Zn)، سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) در اطراف MFMMMA و بررسی پتانسیل خطر آن‌ها توسط شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی، شناسایی خطر اکولوژیکی و خطر سرطان‌زایی و تعیین سهم منشأ آنتروپوژنیک و ژئوژنیک در گسترش فلزات با استفاده از مدل PMF^۱ در منطقه است.

۲. مواد و روش‌ها

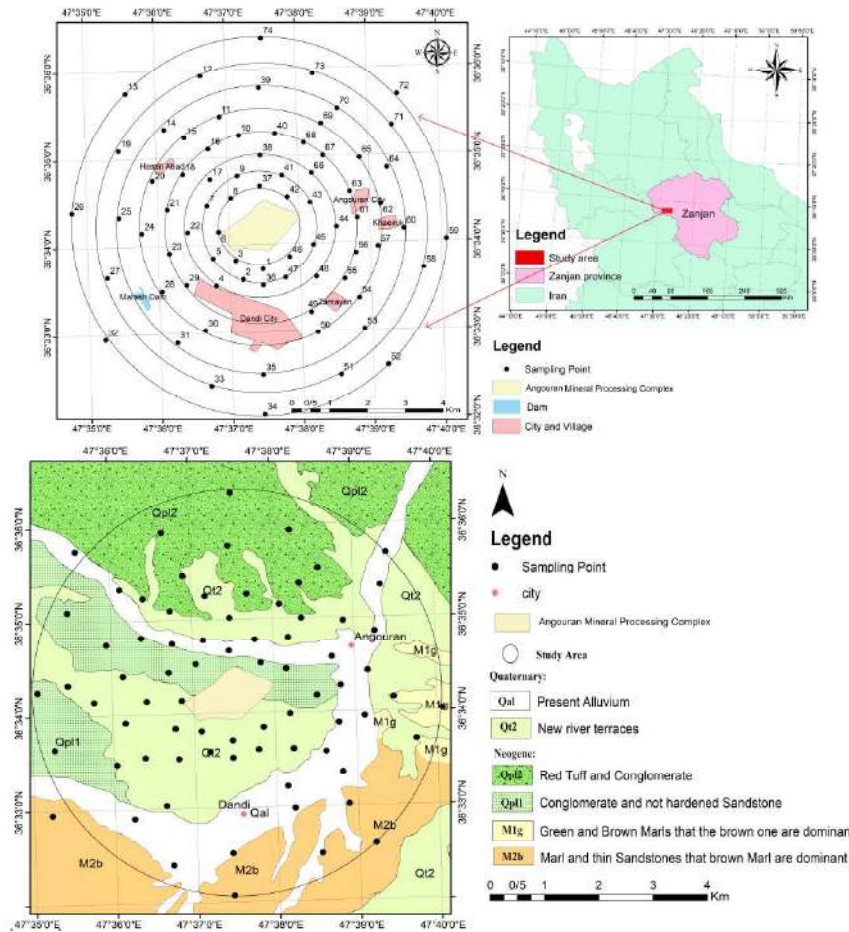
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

MFMMMA شامل مجتمع‌های تغلیظ سرب و روی و کارخانه روی دندی واقع در شهرستان ماهنشان، جنوب غربی استان زنجان با مختصات جغرافیایی "۴۰'۳۷" شرقی و "۳۶'۳۴" شمالی که روستاهای انگوران، حسن آباد، خائینک، زماین و شهرک مسکونی و سد مراش را دربر گرفته، منطقه مورد مطالعه در این پژوهش است. این منطقه صعب العبور و کوهستانی بوده و نخستین مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته در این منطقه توسط بورنل در سال ۱۹۶۰ انجام گرفته است (قدیمی و نباتیان، ۱۳۹۳). این منطقه در یک هم‌تافت^۲ دگرگونی در خرد قاره سندج- سیرجان در کمربند کوهزایی زاگرس که تحت تأثیر فعالیت‌های آتش‌فشانی ترشیاری تا کواترنری و فعالیت‌های ژئوترمال زون ارومیه-دختر بوده، قرار گرفته است و از آبرفت‌های

والکلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین غلظت کل فلزات Zn، Pb و Cd توسط دستگاه ICP-OES، مدل Perkin-Elmer ELAN 9000 ساخت آمریکا، ۰/۵ گرم از نمونه‌های خاک غربال شده به آزمایشگاه زراعت فرستاده شد. نمونه‌ها برای آنالیز غلظت کل فلزات سنگین با استفاده از روش هضم چهار اسیدی مشتعل بر اسید هیدروفلوئوریک، اسید پرکلریک، اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک هضم شدند. بدین صورت که نمونه خاک هوا خشک شده را درون بوته توزین کرده و به آن ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه می‌نماییم و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار می‌دهیم. سپس به آن ۱۰ میلی‌لیتر پرکلریک اسید و ۲ میلی‌لیتر اسید هیدروفلوئوریک غلیظ اضافه کرده و روی هیتر گذاشته و دمای آن را تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهیم. در این روش چون هدف، هضم کامل نمونه جامد است، اضافه کردن اسید هیدروفلوئوریک تا شفاف شدن نمونه ادامه پیدا می‌کند. در پایان، ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ اضافه کرده و به مدت ۱۰ دقیقه نمونه را در همان دما نگه می‌داریم. پس از سرد شدن نمونه، آن را به بالن حجمی ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و با آب دو بار تقطیر به حجم می‌رسانیم. تمامی برند مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش معتبر و از برند مرک آلمان تهیه شدند. در جدول ۱ نتایج آمار توصیفی آنالیز نمونه‌های خاک ارائه شده است. آنالیز آماری داده‌ها و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS 23 صورت گرفت. تهیه نقشه‌های پراکنش به روش زمین آماری توسط نرم‌افزار 10 ArcMap صورت گرفت. همچنین از نرم‌افزار PMF 5.0 برای تعیین سهم منشأ در پراکندگی فلزات استفاده شد.

کیلومتری نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری از هر نقطه بدین صورت طرح‌ریزی شده بود که نمونه ۰-۲۰ سانتی‌متری پس از پاک کردن سطح نمونه‌برداری از گیاهان و بقایای ریشه و کلوخه، برداشت می‌شود. هر نمونه به صورت کاملاً جداگانه در کیسه پلاستیکی جدا و با عبارت مشخص کننده نمونه و توصیف شرایط نقطه نمونه‌برداری نگه‌داری شدند. تمام این مراحل بخشی از اهداف تأمین کیفیت داده است که طرح نمونه‌برداری براساس آن ریخته شده است. نمونه‌برداری از فاصله ۴ و ۳/۵ کیلومتری باعث شد تا شعاع آلودگی منطقه در تفسیر قابل استنادتر باشد، همچنین از برخی از این نقاط به‌عنوان نمونه شاهد و محاسبه غلظت مینا استفاده شود. در نهایت بعد از نمونه‌برداری حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ گرم از هر ایستگاه (در صورتی که نمونه‌ها بیشتر حاوی ذرات درشت‌تری باشند، باید نمونه بیشتری برداشت کرد) نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شدند و با مشخص کردن موقعیت نقطه نمونه‌برداری توسط GPS مرحله نمونه‌برداری به اتمام رسید.

نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه زیست‌محیطی دانشگاه ارومیه، نمونه‌ها برای آنالیز، در مجاورت هوا خشک شده و ناخالصی‌ها شامل گراول، کلوخه‌ها، مواد آلی و بقایای ریشه گیاه از آن جدا شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون مدل G601 خشک شدند. نمونه‌ها از مش پلی‌اتیلنی با قطر ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. خصوصیات خاک در ارتباط با تحرک و زیست دسترس‌پذیری فلزات سنگین برای آنالیز شامل pH، بافت خاک و میزان SOM^۳ برای آنالیز انتخاب شدند. pH خاک با استفاده از تهیه عصاره گل اشباع با نسبت خاک به آب ۱:۲ و آنالیز توسط pH متر مدل MTT 65 ساخت ایران (Klute, 1986)، همچنین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) و SOM با استفاده از روش بلک-



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی به همراه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و نقشه زمین‌شناسی (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهنشان (لطفی، ۱۳۸۰) و تخت سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۷) با اندکی تغییرات)

جدول ۱. نتایج آمار توصیفی نمونه‌های خاک (عناصر به ppm و SOM، رس، سیلت و شن به درصد)

کشیدهگی	کج شدگی	ضرب تغییرات (%)	میانہ	میانگین	حداکثر	حداقل	
۳۳/۱	۵/۴	۳۴۳/۹	۱/۴	۹/۸	۲۴۱/۳	۰/۳	Cd
۳۵/۸	۵/۷	۳۶۷/۵	۷۳/۵	۴۶۷/۹	۱۳۰۷۵	۵	Pb
۲۰/۳	۴/۴	۳۱۱/۵	۲۹۰	۱۶۴۸/۱	۳۰۰۰۰	۶۷	Zn
-۰/۱	-۰/۲	۳/۸	۷/۷	۷/۶	۸/۲	۷	pH
-۰/۳	۰/۲	۲۹/۰	۱/۷	۱/۹	۳/۱	۱/۰۳	SOM
-۰/۸	۱/۲	۵۱/۰	۱۷/۶	۱۸/۸	۴۲/۲	۱۰/۱	Clay
۲/۷	۱/۲	۳۵/۲	۳۳/۶	۳۴/۳	۷۰/۴	۱۷/۲	Silt
-۰/۰۳	-۱/۲۴	۳۸/۷	۵۷/۷	۴۹/۷	۷۲/۸	۶/۱	Sand

کردند. شاخص‌های منفرد شامل فاکتور ^{210}Po و شاخص زمین انباشت ^{137}Cs برای محاسبه مقدار آلاینده‌گی تنها یک فلز بکار می‌روند. ^{210}Po ، ^{137}Cs و ^{210}Po جزو دسته

۳-۲. شاخص‌های آلودگی خاک

Qingjie و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص‌های مربوط به مطالعات آلاینده‌گی را به دو گروه منفرد و ترکیبی طبقه‌بندی

مقدار آلودگی را از بعد زمانی و مکانی مقایسه کرد (Tian et al., 2017). برای بررسی پتانسیل خطر اکولوژیک فلزات سنگین شاخص PERI به کار می‌رود.

در فرمول این شاخص T_x^i شامل $Pb=5$, $Zn=1$ و $Cd=30$ است (Wu et al., 2018; Hakanson, 1980; Qingjie et al., 2008). غلظت Sc (در پوسته زمین ۱۳ ppm عنصر مرجع در این پژوهش در نظر گرفته شد (داوطلب نظام و همکاران، ۱۳۹۵). در جدول ۲ فرمول‌های شاخص‌های ذکر شده آمده است (روابط ۱ تا ۵).

شاخص‌های ترکیبی هستند و برای محاسبه آلودگی بیش از یک فلز بکار می‌روند. Ef، برای کمی سازی آلودگی فلزات سنگین در نتیجه تأثیر فعالیت‌هایی آنتروپوژنیک به کار گرفته می‌شود. Müller در سال ۱۹۹۶ شاخص مهم ژئوشیمیایی I_{geo} و رده‌بندی آن را برای مقایسه غلظت یک فلز قبل از صنعتی شدن و بعد از صنعتی شدن معرفی کرد. برای تعیین مقدار کل طیف وسیعی از آلاینده‌ها استفاده می‌شود. شاخص انتگرالی PLI به عنوان شاخص تعیین کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی فلزات سنگین در منطقه معرفی شده است. با استفاده از این شاخص می‌توان

جدول ۲. معرفی شاخص‌های مورد استفاده به همراه رایه رده‌بندی و منابع مورد استفاده

رابطه شاخص	منبع	فرمول	رده‌بندی
۱	Chen et al., 2007	$EF = (C_x^i / R_{Soil}) / (C_b^i / R_b)$	$Ef < 1$: غنی‌شدگی وجود ندارد، $1 < Ef < 3$ غنی‌شدگی کم، $3 < Ef < 5$ غنی‌شدگی متوسط، $5 < Ef < 10$ غنی‌شدگی متوسط تا شدید، $10 < Ef < 25$ غنی‌شدگی شدید، $25 < Ef < 50$ غنی‌شدگی بی نهایت شدید
۲	Müller, 1996	$I_{geo} = \log_2 [C_x^i / (1.5 \times C_b^i)]$	$I_{geo} < 0$: نآلوده، $0 < I_{geo} < 1$: نآلوده تا آلودگی متوسط، $1 < I_{geo} < 2$: آلودگی متوسط، $2 < I_{geo} < 3$: آلودگی متوسط تا بالا، $3 < I_{geo} < 4$: آلودگی بالا، $4 < I_{geo} < 5$: آلودگی بسیار بالا و $I_{geo} > 5$: آلودگی بسیار بالا
۳	Abraham Parker, and 2008	$mCd = (\sum_{i=1}^n C_x^i / C_b^i) / n$	$1/5 \leq mCd < 2$: درجه بسیار پایین آلودگی، $2 \leq mCd < 4$: درجه پایین آلودگی، $4 \leq mCd < 8$: درجه بسیار بالا آلودگی، $8 \leq mCd < 16$: درجه به شدت آلوده، $16 \leq mCd < 32$: درجه به آلودگی بی نهایت شدید.
۴	Tomlinson et al., 1980	$PLI = \left(\frac{C_x^1}{C_b^1} \times \frac{C_x^2}{C_b^2} \times \dots \times \frac{C_x^n}{C_b^n} \right)^{\frac{1}{n}}$	$PLI < 1$: درجه پایین آلودگی، $1 < PLI < 2$: درجه متوسط آلودگی، $2 < PLI < 5$: درجه آلودگی بالا، $5 < PLI$: درجه به آلودگی بسیار بالا.
۵	Hakanson, 1980	$PERI = \sum_{i=1}^n T_x^i \times C_x^i / C_b^i$	رده‌بندی PERI بدین صورت است که $PERI < 150$ خطر اکولوژیکی کم، $150 \leq PERI < 300$ خطر اکولوژیکی متوسط، $300 \leq PERI < 600$ خطر اکولوژیکی قابل توجه، $PERI \geq 600$ خطر اکولوژیکی بسیار بالا

در روابط فوق R_{Soil} و R_b مقدار عنصر مرجع در نمونه خاک و نمونه مرجع، C_x^i و C_b^i غلظت فلز در خاک نمونه و N تعداد آلاینده‌هاست.

شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا^{۱۲} را در مطالعات خود به کار گرفته‌اند (Wu et al., 2018; Alexakis, 2016; Karim & Qureshi, 2014). سیستم اطلاعات ارزیابی خطر و مطالعات Kamunda و همکاران (۲۰۱۶) در این تحقیق

۲-۴. ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین

CR^{۱۱} احتمال پیشرفت هر نوع سرطان در یک فرد در طول عمر به علت قرار گرفتن در معرض انواع آلاینده‌ها است. محققان مختلفی مدل ارزیابی خطر سرطان‌زایی عنوان

در این تحقیق برای تحلیل منشأ فلزات از PMF استفاده شد. PMF ابزار مدل‌سازی پیشرفته است که توسط Paatero و Tapper (۱۹۹۴) برای به دست آوردن تحلیل واقعی‌تر فیزیکی و محدودیت استفاده از نتایج منفی معرفی شد. علاوه بر این سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در سال ۲۰۱۴ این مدل را برای شناسایی سهم منابع مختلف پیشنهاد کرد. PMF در طیف گسترده پژوهش‌ها از جمله آلودگی هوا، خاک، رسوبات و همچنین ترکیبات آلی فرار استفاده شده است (Guan et al., 2018; Wu et al., 2018).

۳. نتایج

براساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها در جدول ۱، بافت خاک (براساس مثلث بافت خاک پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا) محدوده مورد مطالعه لومی است. متوسط مقدار رس، سیلت و ماسه در محدوده ۱۸/۸، ۳۴/۳ و ۴۹/۷ درصد بوده است. pH خاک وابسته به ویژگی‌های مانند تبادل یونی، درصد مواد آلی و رس خاک است که این پارامترها به‌طور مستقیم با انحلال فلزات مختلف که روی pH خاک مؤثر هستند، در ارتباط است (Dabiri et al., 2017). متوسط pH خاک منطقه ۷/۶ و کمترین و بیشترین آن ۷ و ۸/۲ است که نشان دهنده شرایط قلیایی و کمی قلیایی است. این دامنه pH می‌تواند مؤید وجود کانی‌های کربناته مانند کلسیت و دولومیت در منطقه باشد (Dabiri et al., 2017). این مطلب همچنین با وجود میان‌لایه‌هایی از مارن در سنگ‌های رسوبی ناحیه در تطابق است. دامنه تغییرات SOM کم و بین ۱/۰۳ تا ۳/۱ درصد است که از دلایل آن می‌توان به محتوای کم درصد رس اشاره کرد.

میانگین و میانه، معیار تمایل مرکزی داده‌ها و ضریب تغییرات یک معیار بی بعد برای اندازه‌گیری توزیع داده‌های آماری است. غلظت متوسط Zn، Pb و Cd به ترتیب ppm ۱، ۱۶۴/۸، ۴۶۷/۹ و ۹/۸ و کج شدگی آن‌ها به ترتیب ۴/۴،

برای محاسبه CR به کار گرفته شد. برای تعیین CR اگر مقدار $CR < 10^{-1}$ باشد، خطر سرطان‌زایی قابل چشم‌پوشی و در صورتی $CR > 10^{-4}$ باشد، احتمال خطر زیاد و در بین این دو مقدار، خطر در رده قابل قبول است (داوطلب نظام و همکاران، ۱۳۹۵). فرمول محاسبه CR در روابط (۶ تا ۹) آورده شده است (Wu et al., 2018)

$$CR = CR_{\text{ingest}} + CR_{\text{dermal}} + CR_{\text{inhalation}} \quad (6)$$

$$CR_{\text{ingest}} = \frac{C_{\text{Soil}} \times \text{Ingr} \times EF_e \times ED_e}{BW \times AT} \times CF \times SF \quad (7)$$

$$CR_{\text{dermal}} = \frac{C_{\text{Soil}} \times SA \times AF_{\text{soil}} \times EF_e \times ED_e \times ABS}{BW \times AT} \times CF \times SF \times GIABS \quad (8)$$

$$CR_{\text{inhalation}} = \frac{C_{\text{Soil}} \times \text{InhR} \times AF_{\text{soil}} \times EF_e \times ED_e}{PEF \times BW \times AT} \times SF \quad (9)$$

به ترتیب CR_{ingest} ، CR_{dermal} ، $CR_{\text{inhalation}}$ در نتیجه بلع تصادفی، تماس پوستی و تنفس خاک آلوده و C_{soil} غلظت آلاینده در خاک (mgkg^{-1}).

۵-۲. تعیین استاندارد منطقه با استفاده از میانگین هندسی

در مطالعات مربوط به غلظت فلزات سنگین نمی‌توان تنها با اندازه‌گیری غلظت فلز و مقایسه آن با یک استاندارد شناخته شده اکتفا کرد. چرا که با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و اقلیمی مختلف هر ناحیه غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین را ایجاد می‌کند. بنابراین بهترین اقدام سعی در شناسایی استاندارد موجود برای همان منطقه است (Cabrera et al., 1999). در این پژوهش‌ها ابتدا نقاط نمونه‌برداری که از لحاظ موقعیت جغرافیایی به دور از فعالیت انسانی (شهرها، جاده‌ها و مراکز صنعتی) بودند، انتخاب شده و سپس ^{13}GM داده‌های عناصر (X_1, X_2, \dots, X_n) در نمونه‌های خاک (n) به‌عنوان غلظت زمینه استفاده شد. GM میانگین لگاریتم طبیعی داده‌ها که با تبدیل نمایی برگردانده می‌شود (رابطه ۱۰).

$$GM = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i\right) \quad (10)$$

۶-۲. تعیین سهم منشأ

در نهایت دوباره از نمودارها برای بررسی نرمال شدن داده‌ها استفاده شد و داده‌های غیر نرمال با روش تبدیلات لگاریتم نپین یک متغیره و سه متغیره در نرم‌افزار Excel نرمال شده و با کمک آزمون آماری کومولوگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS فرض نرمال بودن آن‌ها بررسی شد.

پس از تصحیح داده‌های پرت توسط روش Doerfel، Zn، Cd و Pb همچنان توزیع نرمال از خود نشان ندادند. بنابراین از تبدیل لگاریتم نپین بر پایه ۱۰ (Ln) برای Pb و نیز با توجه به اینکه Zn و Cd با تبدیل لگاریتم نپین تک متغیره نرمال نشدند، از لگاریتم نپین سه متغیره ($Ln_{x \neq b}$) برای نرمال‌سازی آن‌ها استفاده شد. آزمون آماری کومولوگروف-اسمیرنوف نرمال شدن داده‌ها را ($\alpha=0/05$) تأیید کرد (جدول ۳).

۵/۷ و ۵/۴ است. کج شدگی مثبت بالا نشان دهنده انحراف از توزیع نرمال به سمت داده‌هایی با مقادیر بیشتر بوده و تبدیلات لگاریتمی موجب تغییر مقادیر به سمت توزیع نرمال و نزدیک به صفر می‌شود (Sahoo et al., 2018). به دلیل اینکه داده‌های برخی نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها در واقع نشان دهنده آنومالی‌های بالا در منطقه بوده و قابل حذف نیستند و نیز نتایج برخی روش‌های زمین آماری به نرمال بودن داده‌ها حساس است، بنابراین پس از بررسی کج شدگی و کشیدگی داده‌ها، داده‌های پرت با کمک نمودار جعبه‌ای و Q-Q plot شناسایی شده و سپس از روش Doerfel در سطح اعتماد ۹۹ درصد برای تصحیح داده‌های پرت به‌کار گرفته شد. داده‌های پرت یا مقادیر خارج از رده به گونه‌ای چشمگیر خارج از جامعه اصلی داده‌ها قرار گرفته‌اند، موجب ایجاد کج شدگی در نمودار نرمال می‌شوند.

جدول ۳. نتایج آزمون کومولوگروف اسمیرنوف پس از نرمال شدن داده‌ها

سطح معناداری	آزمون	
۰/۰۸۶	۰/۰۹۶	Zn
۰/۰۷۵	۰/۰۹۸	Cd
۰/۰۶۲	۰/۱۰۰	Pb

توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک و جلوگیری و کنترل آلودگی برخوردار است. کریجینگ یکی از روش‌های زمین آماری است که براساس تحقیقات صادقی خو و عباسپور (۱۳۹۷) بهترین روش تخمین گر ناریب است و اولین گام در آن، محاسبه و ترسیم واریوگرام است. برای برآورد بهترین مدل واریوگرام از نسبت اثر قطعه‌ای (C_0) به آستانه (C_0+C) استفاده می‌شود و در صورتی که این نسبت برای متغیری کمتر از ۲۵ درصد باشد، پیوستگی مکانی زیاد و در صورتی که بیش از ۷۵ درصد باشد، پیوستگی مکانی ضعیف تلقی می‌شود. مقادیر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد پیوستگی مکانی متوسط در نظر گرفته می‌شود (شیخی و همکاران، ۱۳۹۶). علاوه بر این مطالعات صورت گرفته توسط Liao و همکاران (۲۰۱۸) که در پژوهشی با هدف تعیین تأثیر

مشابه مطالعات پیش‌پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها می‌توان به پژوهش صورت گرفته توسط یزدانی و علی نیا (۱۳۹۶) برای شناسایی آنومالی‌های طلا، تنگستن، مس و آهن در دره سه هزار تنکابن اشاره کرد. با توجه به اینکه تنگستن، آهن و مس از خود توزیع نرمال نشان ندادند، از تبدیل لگاریتمی نپین استفاده شد. تنگستن همچنان توزیع نرمال از خود نشان نداد، بنابراین از لگاریتم نپین سه متغیره برای آن استفاده شد. در نهایت از دوبار تبدیل پیاپی کاکس و باکس برای نرمال‌سازی تنگستن استفاده شد. از نتیجه آزمون ناپارامتری کومولوگروف-اسمیرنوف برای ارائه نرمال بودن داده‌های پیش‌پردازش شده استفاده شد، که نشان دهنده نرمال شدن داده‌ها بود.

روش درون‌یابی مکانی از اهمیت بالایی برای شناسایی

دارد. استاندارد کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن توسط معاونت محیط زیست انسانی ایران تهیه شده برای کاربری کشاورزی با توجه به درصد رس (۱۸/۸ درصد)، ماده آلی (۱/۹ درصد) و pH (۷/۶) خاک، غلظت Zn بالاتر از 1 mgkg^{-1} تا 6800 mgkg^{-1} را در محدوده خطر فوری و بین 360 mgkg^{-1} تا 6800 mgkg^{-1} را در محدوده امکان وجود خطر ارزیابی می کند. براین اساس در مجموع ۳۰ درصد نقاط نمونه برداری شده در دامنه خطر واقع شده اند. با توجه به نقشه کریجینگ بخش های شرقی و قسمت کوچکی از بخش غربی MFMA به دلیل نوع و گستردگی فعالیت های صنعتی در وضعیت نامناسب قرار می گیرد.

پیوستگی مکانی، مقیاس های مکانی و نسبت مدل های درونیابی در برآورد توزیع فلزات سنگین خاک صورت گرفته بود، نتیجه گرفتند که با افزایش پیوستگی مکانی صحت و پایداری مدل های مختلف درونیابی به تدریج افزایش می یابد. در این مطالعه، با در نظر گرفتن خطای کم حاصل از روش کریجینگ معمولی داده های نرمال شده برای تهیه نقشه استفاده شد (جدول ۴، شکل ۲).

در محدوده مورد مطالعه، غلظت زمینه ای محاسبه شده برای Zn با استفاده از $109/8 \text{ ppm GM}$ و کمترین و بیشترین غلظت آن 67 ppm و 30000 ppm است که نشان می دهد در برخی نقاط غلظت بسیار بالایی از Zn وجود

جدول ۴. مدل های واریوگرام استفاده شده در این مطالعه

RMS	$(\%)C_0+C/C_0$	مدل تئوریکی	
۱/۰۶	۱۶/۱	قوسی	Zn
۰/۱۷	۱۸/۳۶	نمایی	Cd
۰/۷۴	۱۰	نمایی	Pb

جنوب غربی منطقه مورد مطالعه غلظت بالایی از Pb نشان می دهد.

مطالعات صورت گرفته توسط ابویان و همکاران (۱۳۹۶)، دهر آزما و همکاران (۱۳۹۳) و شریعتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز تأیید کننده افزایش غلظت فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه های فرآوری فلزات سنگین و مناطق صنعتی است.

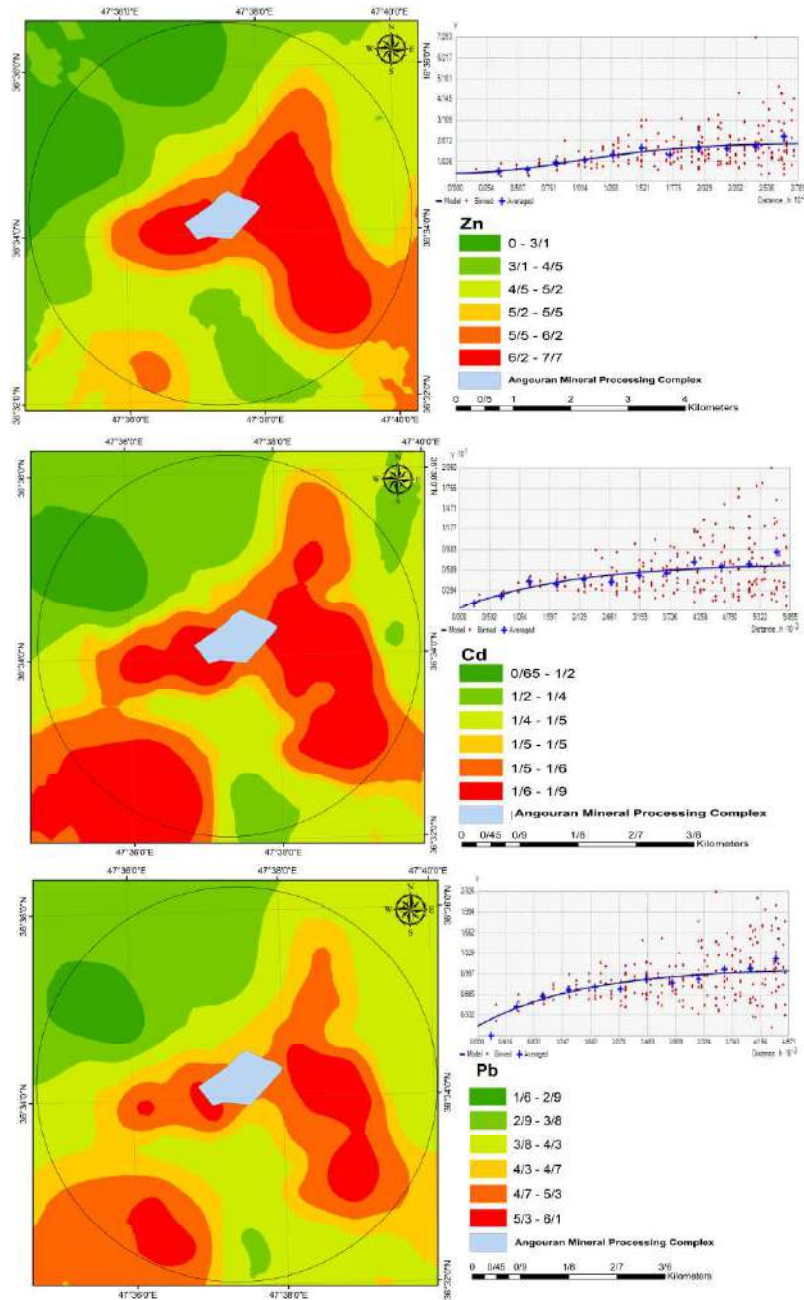
توسط شاخص PLI ، I_{geo} ، mCd و $PERI$ آلاینده های Zn، Pb و Cd ایستگاه های نمونه برداری محدوده مورد مطالعه ارزیابی شد. میانگین I_{geo} برای Zn، Pb و Cd به ترتیب ۱/۷، ۲/۰ و ۰/۴ بود، که بر طبق رده بندی، Zn و Pb آلودگی متوسط و Cd نآلوده تا آلودگی متوسط را نشان می دهد. بیشینه و کمینه مقدار I_{geo} برای Pb، ۲/۴- تا ۸/۹، Zn، ۰/۴- تا ۸/۳ و Cd، ۲/۴- تا ۷/۱ است. Pb در ۱۶/۱ درصد و Zn در ۱۷/۵ درصد نمونه ها آلودگی بالا (بیش از ۳) را نشان می دهد که این نقاط به طور گسترده ای نقاط

غلظت زمینه Cd $241/3 \text{ ppm}$ و کمترین و بیشترین مقدار آن، $0/3 \text{ ppm}$ و $1/01 \text{ ppm}$ است. استاندارد کیفیت منابع خاک با توجه به درصد رس، ماده آلی و pH غلظت بالای 13 mgkg^{-1} Cd را در محدوده خطر و بین 5 mgkg^{-1} - ۱۳ را در محدوده امکان خطر طبقه بندی می کند. ۱۴ درصد از نقاط نمونه برداری در منطقه دندی در محدوده خطر و امکان وجود خطر طبقه بندی می شوند. طبق نقشه کریجینگ بخش های شرقی و جنوب غربی در این محدوده خطر واقع شده اند.

غلظت زمینه Pb، $27/6 \text{ ppm}$ و کمترین و بیشترین مقدار Pb، 5 ppm و 13075 ppm است. براساس استاندارد کیفیت منابع خاک ایران براساس درصد رس و ماده آلی و pH عنوان شده در بالا، غلظت Pb بالای ۵۲۰ و بین $520-75 \text{ mgkg}^{-1}$ در محدوده خطر و امکان وجود خطر طبقه بندی شده است که ۴۷ درصد ایستگاه های نمونه برداری در این طبقه قرار گرفته اند. مشابه نقشه کریجینگ Cd، بخش های شرقی و

دامنه گسترده‌ای قرار گرفته است. آلودگی شدید ($Ff > 10$) در مجموع برای Zn، Pb و Cd به ترتیب ۲۹/۶، ۲۵/۶ و ۵۹/۴ درصد از نقاط نمونه‌برداری را شامل می‌شود (جدول ۵).

اطراف MFMMA است. میانگین Ef محاسبه شده برای Zn، Pb و Cd به ترتیب ۳۷/۱، ۴۵/۷ و ۷۲/۱ نشان دهنده غنی‌شدگی شدید برای Zn و Pb و بی نهایت شدید برای Cd است. میزان غنی‌شدگی برای هر سه فلز در منطقه در



شکل ۲. توزیع مکانی Cd، Zn و Pb به همراه واریوگرام‌های مربوطه در محدوده مورد مطالعه

جدول ۵. خلاصه محاسبات آماری شاخص Igeo و Ef (n=۷۴)

Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	
	Ef			I _{geo}		
۱/۹	۰/۳	۱/۴	-۲/۴	-۲/۴	-۰/۴	کمترین
۱۶۴۳/۲	۱۱۳۷/۷	۶۱۸/۲	۷/۱	۸/۹	۸/۳	بیشترین
۷۲/۱	۴۵/۷	۳۷/۱	۰/۴	۱/۷	۲/۰	میانگین
.	%۲/۷	.	%۵۸/۱	%۹/۴	%۴	I رده I _{geo}
%۴/۰	%۱۴/۸	%۱۸/۹	%۲۰/۲	%۲۷/۹	%۲۵/۶	II رده I _{geo}
%۴/۰	%۲۲/۹	%۱۸/۹	%۱۲/۱	%۳۳/۷	%۴۰/۵	III رده I _{geo}
%۳۲/۴	%۲۹/۷	%۳۶/۴	.	%۱۰/۸	%۱۲/۱	VI رده I _{geo}
%۳۵/۱	%۱۷/۵	%۱۰/۸	%۲/۷	%۶/۷	%۵/۴	V رده I _{geo}
%۱۲/۱	%۲/۷	%۶/۷	%۲/۷	%۲/۷	%۴	IV رده I _{geo}
%۱۲/۱	%۹/۴	%۸/۱	%۴	%۶/۷	%۸/۱	VII رده I _{geo}

رودها و آبراهه‌ها یا زمین‌های زراعی رها شده است. غلظت Zn و Pb در این کیک‌ها بالاتر از ۱۰۰۰۰ ppm و Cd بالاتر از ۴۰۰ ppm گزارش شده است که خاک کشاورزی منطقه از این آلودگی‌ها متأثر شده است.

احتمال خطر سرطان‌زایی فلزات (CR) از سه مسیر در معرض قرارگیری بلع، تماس پوستی و استنشاق برای بزرگسالان بین سنین ۶ تا ۷۰ سال و کودکان کمتر از ۶ سال محاسبه شد. شکل ۶ نشان می‌دهد که CR برای بزرگسالان بین $۰/۶ \times ۱۰^{-۵}$ تا $۰/۲ \times ۱۰^{-۳}$ متغیر بوده و متوسط آن $۱۰^{-۳}$ است. بلع خاک آلوده برای بزرگسالان ۶۶/۲ درصد و تماس پوستی ۳۳/۷ درصد و از طریق تنفس ۰/۱ درصد در احتمال سرطان‌زایی نقش دارند. به‌طور غیرمنتظره‌ای Zn با تأثیر ۹۶/۹ درصد بالاترین سهم را در احتمال خطر سرطان‌زایی ناشی از خوردن خاک آلوده داشت و پس از آن Pb و Cd به ترتیب با ۲/۶ درصد و ۰/۵ درصد در احتمال سرطان‌زایی مؤثر بودند. در تماس پوستی نیز مشابه نتایج حاصل از خوردن خاک آلوده به ترتیب Cd < Pb < Zn با ۷۷/۱، ۲۲/۸ و ۰/۱ درصد تأثیرگذار بودند. براساس رده‌بندی CR، احتمال خطر سرطان‌زایی در منطقه برای بزرگسالان متوسط و بالا بوده و نشان دهنده خطرپذیری بزرگسالان به‌ویژه در نتیجه بلع خاک آلوده است. در معرض قرارگرفتن به خاک آلوده حاوی مقادیر بالایی از Zn از طریق مسیرهای بلع و تماس پوستی از مسیرهای کمک‌کننده به خطرات

درجه آلودگی فلزات در خاک برحسب آنچه انتظار می‌رفت، بالا بود. در محدوده مورد مطالعه mCd بین ۰/۸ تا ۷۲۳/۴ متغیر بود و ۶۰ درصد از ایستگاه‌های نمونه‌برداری آلودگی بالا را نشان دادند. محاسبه PLI دامنه آلودگی را بین ۰/۷ تا ۶۲۷/۸ نشان داد. ۴۰ درصد نمونه‌ها در وضعیت آلودگی بسیار بالا و نامطلوبی قرار دارند. از بررسی هم‌زمان نمودارهای ارائه شده در شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که تشابه بسیار زیادی از نظر این دو شاخص در حدود آلودگی خاک وجود دارد (شکل ۳).

شاخص PERI فلزات در خاک بین ۴۲/۸ تا ۳۵۵۰/۰/۵ متغیر است. براساس رده‌بندی ارائه شده، ۳۵ درصد از ایستگاه‌های نمونه‌برداری خطر بالای اکولوژیکی را نشان می‌دهند. طبق شاخص خطر اکولوژیکی افزایش آلودگی به ترتیب توالی Cd < Pb < Zn است. در شکل ۴ توزیع مکانی شاخص PERI برای درک بهتر خطر اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است که نقاط نمونه‌برداری در اطراف MFMMMA و بخش‌های جنوب شرقی بالاترین خطر اکولوژیکی را نشان می‌دهند.

پژوهش صورت گرفته توسط شریعتی و همکاران (۱۳۹۰) در این منطقه، تأیید کننده نتایج به دست آمده در این مطالعه است. طبق تحقیقات آنان محیط‌زیست این منطقه بیشترین تأثیرات منفی خود را از انباشت باطله‌ها و پسماندهایی دریافت می‌کند که با عنوان کیک در حاشیه

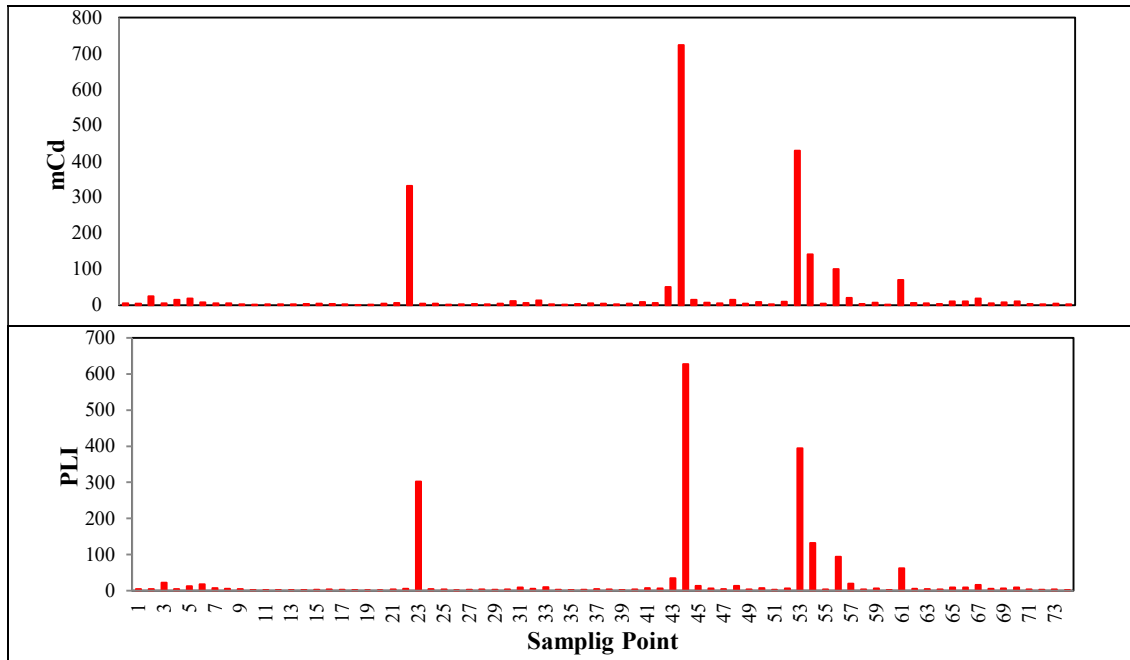
کرومانشاه آنالیز شده بود، نشان دهنده آلودگی بالای خاک این مناطق به Cd, Pb, Zn و Cu براساس شاخص CF و Ef تحت تأثیر منشأ انسان زاد است. نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی جذب پوستی و بلع به‌ویژه در کودکان بیشتر از ۱ برای As و Pb به دست آمد که نشان دهنده پتانسیل ریسک در این مناطق است. Wu و همکاران (۲۰۱۸) نیز خطر سرطان‌زایی ناشی از فعالیت‌های صنعتی را در منطقه نمونه‌های خاک فلات Qinghai در شمال چین برای بزرگسالان و کودکان بالا و بسیار بالا ارزیابی کردند. Zhang و همکاران (۲۰۲۰) خطر سرطان‌زایی As, Cr و Cd را بالاتر از حد قابل قبول 1×10^{-6} ناشی از کارخانه زغال‌سنگ شمال غربی چین عنوان کردند. همچنین بر طبق گزارش‌ها آنان با توجه به روند افزایش غلظت فلزات سنگین در سال‌های آینده مطالعات آنان می‌تواند مبنای علمی برای پیشگیری و محافظت از فلزات سنگین موجود در خاک کارخانه شیمیایی زغال‌سنگ باشد.

در جدول ۶، نقاط نمونه‌برداری که دارای غلظت بالایی از فلزات هستند و بر مبنای شاخص‌های آلودگی منفرد و ترکیبی، در رده آلودگی به شدت مورد توجه قرار گرفته و بر اساس CR احتمال ابتلای بالایی را نشان دادند، همراه با مختصات جغرافیایی به‌عنوان نمونه‌های نماینده از منطقه ارائه شده است. همان‌طور که از جدول مشخص است، نقاط در رده آلودگی بسیار بالا در منطقه پراکنده هستند. همچنین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در زمین‌های گندم‌کاری شده و زارعی در وضعیت نامطلوب قرار دارند و نیازمند توجه جدی‌تر هستند.

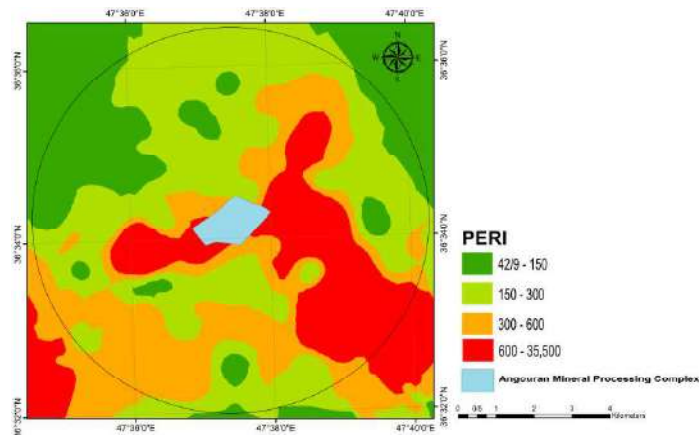
سرطان‌زایی است. این احتمال در $14/9$ درصد نمونه‌ها بسیار بالاتر به دست آمد. CR برای کودکان بین $0/9 \times 10^{-5}$ تا 2^{-} $0/4 \times 10^{-3}$ با میانگین $0/2 \times 10^{-3}$ متغیر است. بلع خاک $78/7$ درصد و تماس پوستی $25/2$ درصد در احتمال خطر سرطان‌زایی در کودکان مؤثر است. مشابه نتایج به دست آمده از CR بزرگسالان، Zn با سهم $99/1$ درصد بیشترین تأثیر را در احتمال سرطان‌زایی ناشی از بلع خاک دارد. براساس رده‌بندی CR، خطر در طبقه متوسط و بالا برای کودکان است. در بلع Cd با $0/6$ درصد نسبت به Pb با $0/3$ درصد تأثیر، سهم بیشتری در احتمال خطر دارد. در تماس پوستی نیز Zn و Pb به ترتیب با $77/1$ درصد و $22/8$ درصد تأثیر بالاتری نسبت به Cd داشتند. مشابه همین تأثیرات در تنفس خاک‌آلوده مشاهده می‌شود.

در اشکال ۵ و ۶ مقدار CR در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و توزیع مکانی آن برای بزرگسالان ارائه شده است. با توجه به تطابق در الگوی تغییرات CR در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و توزیع آن در محدوده مورد مطالعه برای بزرگسالان و کودکان، تنها نمودارهای مربوط به بزرگسالان در اشکال ۵ و ۶ ارائه شده است. بر طبق شکل ۶، خطر سرطان‌زایی برای کودکان و بزرگسالان در محدوده اطراف MFMM (شامل 20 درصد از محدوده مورد مطالعه) به مراتب نسبت به دیگر نقاط بالاتر است.

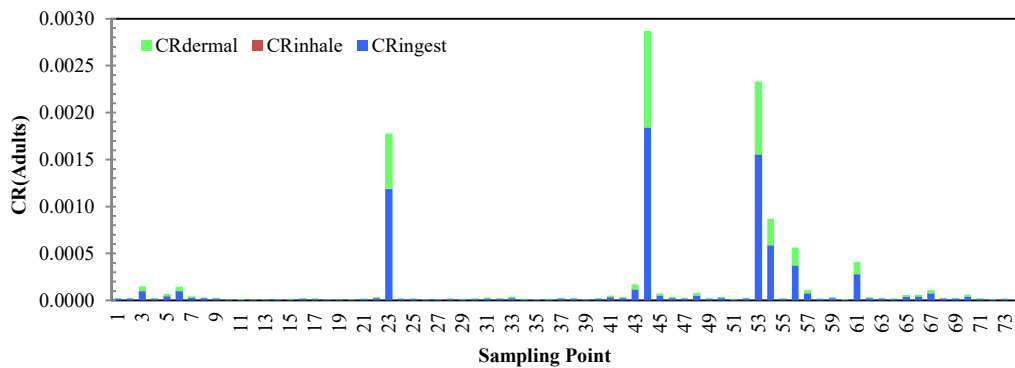
مطالعات صورت گرفته در زمینه خطر سرطان‌زایی و ارزیابی خطر فلزات سنگین توسط محققان نشان دهنده تأثیرپذیری بالاتر کودکان نسبت به بزرگسالان و اهمیت بلع به‌عنوان راه ورود فلزات سنگین به بدن انسان است. برای مثال مطالعات شاکری و یوسفی (۱۳۹۷) که غلظت فلزات سنگین ۳۰ نمونه خاک سطحی ۸ مکان دفن زباله در استان



شکل ۳. نمودار شاخص‌های mCd و PLI در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

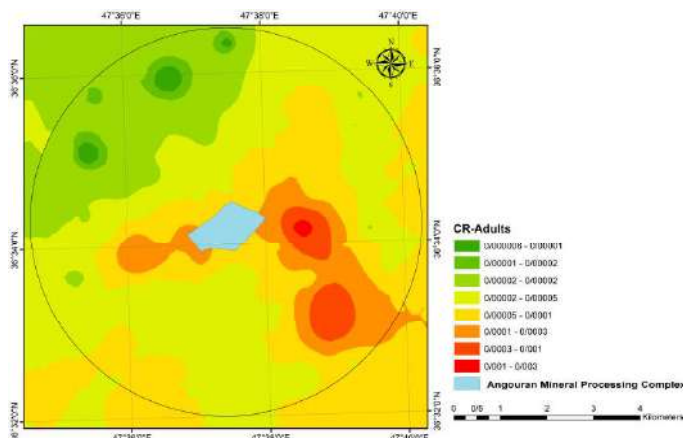


شکل ۴. توزیع مکانی شاخص PERI



شکل ۵. خطر سرطان‌زایی Zn، Pb و Cd برای بزرگسالان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

(که الگوی آن مشابه نتایج حاصل از محاسبه خطر سرطان‌زایی برای کودکان است)



شکل ۶. توزیع مکانی CR برای بزرگسالان

(که الگوی آن مشابه نتایج حاصل از محاسبه خطر سرطان‌زایی برای کودکان است)

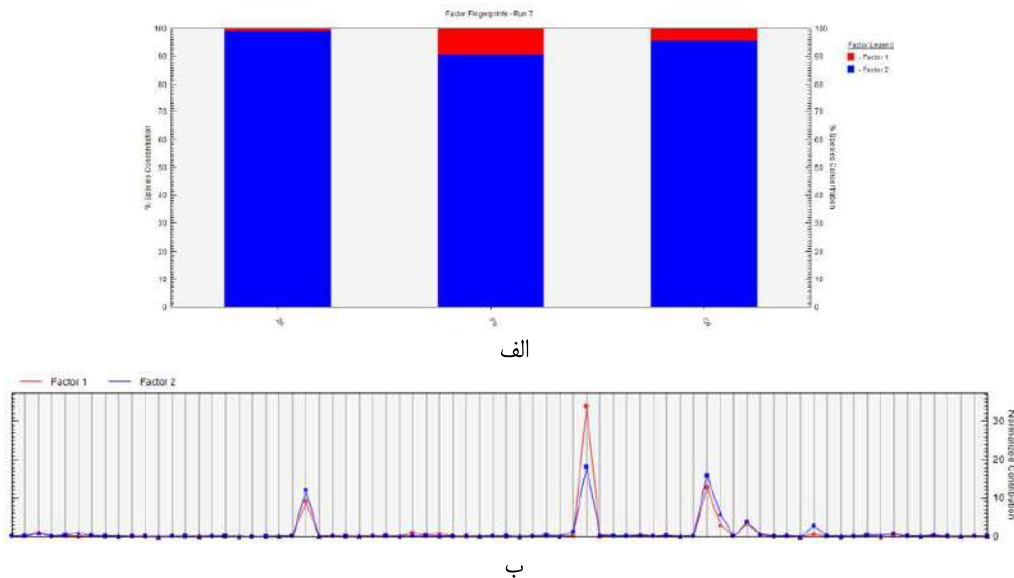
جدول ۶. معرفی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آلوده به فلزات سنگین رده‌بندی آلاینده‌ی و احتمال سرطان‌زایی

شماره	مختصات جغرافیایی UTM		غلظت (ppm)			رده‌بندی	احتمال خطر سرطان‌زایی		کاربری اراضی
	X	Y	Zn	Pb	Cd		بزرگسالان	کودکان	
۳	۷۳۴۲۹۲	۴۰۴۹۶۵۴	۱۶۳۲	۵۶۸	۴/۶	بسیار بالا	زیاد	زیاد	
۶	۷۳۳۹۲۷	۴۰۵۰۲۶۱	۱۶۸۰	۲۷۵	۴/۳	بسیار بالا	زیاد	زیاد	محل نگهداری سوخت
۲۳	۷۳۲۸۹۵	۴۰۴۹۸۰۱	۱۹۶۸۹	۵۰۴۶	۱۰۴/۸	بسیار بالا	زیاد	زیاد	زمین‌های ماسه‌ای
۴۳	۷۳۵۸۵۰	۴۰۵۰۹۸۸	۱۹۱۴	۳۳۱	۲۴/۷	بسیار بالا	زیاد	زیاد	زمین گندم‌کاری شده
۴۴	۷۳۶۴۱۲	۴۰۵۰۳۹۰	۳۰۰۰	۱۳۰۷۵	۲۴۱/۳	بسیار بالا	زیاد	زیاد	اطراف مجتمع
۵۳	۷۳۷۰۱۸	۴۰۴۸۲۴۸	۲۵۷۶۸	۶۸۱۷	۱۳۱/۶	بسیار بالا	زیاد	زیاد	-
۵۴	۷۳۶۹۰۱	۴۰۴۸۸۹۲	۹۷۳۷	۲۱۸۱	۳۹/۷	بسیار بالا	زیاد	زیاد	زمین کشاورزی
۵۶	۷۳۶۸۲۵	۴۰۴۹۸۴۶	۶۱۵۲	۱۷۳۱	۲۸/۹	بسیار بالا	زیاد	زیاد	زمین بایر
۵۷	۷۳۷۲۹۴	۴۰۴۹۹۸۳	۱۲۲۰	۳۰۲	۶/۶	بسیار بالا	زیاد	زیاد	زمین بایر
۶۱	۷۳۶۸۵۴	۴۰۵۰۵۸۷	۴۶۷۸	۷۹۶	۲۳/۵	بسیار بالا	زیاد	زیاد	-

شد که سهم فاکتور دوم ۹۰/۲ و ۹۵/۷ درصد بوده است که این نتیجه مشابه Zn است. نتایج حاصل از بررسی ایستگاه‌های نمونه‌برداری نیز تأیید کننده این ادعاست. مطالعات آماری تأیید کننده نتیجه حاصل شده از مدل PMF مشابه پژوهش صورت گرفته توسط عبدالهی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون است. طبق نتایج حاصل شده از پژوهش آن‌ها با توجه به همبستگی بالای بین فلزات Zn، Cd و Pb که عناصر آلوده کننده این منطقه به شمار می‌روند، ناشی از مشابهت عوامل کنترل کننده غلظت آن‌هاست. به دلیل وجود کارخانه‌های فرآوری، تغلیظ و تهیه شمش در منطقه MFMMA می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این عناصر عمدتاً توسط فعالیت‌های انسانی افزایش

به‌منظور ارزیابی کمی سهم منابع ژئوژنیک و آنتروپوژنیک مربوط به آلودگی Zn، Cd و Pb از مدل PMF استفاده شد. PMF ابزاری مناسب و کارآمدی برای شناسایی منشأ فلزات سنگین است. پس از مقایسه غالب بودن فلزات در هر فاکتور و اطلاعات به دست آمده از مقادیر زمینه منطقه مطالعاتی منبع احتمالی فلزات سنگین، ۲ فاکتور در نظر گرفته شد (شکل ۷). منشأ آنتروپوژنیک فلزات، فاکتور دوم و منشأ ژئوژنیک فاکتور اول است. با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۷-الف)، غلظت Zn در فاکتور دوم ۹۹ درصد و در فاکتور اول ۱ درصد مشخص شد. بنابراین بیشترین تأثیر در گسترش غلظت Zn در منطقه در نتیجه فعالیت‌های آنتروپوژنیک است. با بررسی روی Pb و Cd نیز مشخص

می‌یابد.



شکل ۷. سهم منابع ژئوژنیک و آنتروپوژنیک در پراکندگی Zn، Pb و Cd در محدوده مورد مطالعه، الف. به تفکیک عناصر؛ ب. به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۴. نتیجه‌گیری

هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی گسترده مکانی Cd، Pb، Zn در اطراف MFMA در منطقه دندی و تعیین پتانسیل خطر آن توسط شاخص‌های زیست‌محیطی، ریسک اکولوژیکی و احتمال خطر سرطان‌زایی است. چرا که این منطقه در موقعیت بسیار حساسی قرار گرفته و فعالیت‌های صنعتی با کشاورزی، دامپروری، گردشگری در هم آمیخته و علاوه بر این محل زیست گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری است. تعیین سهم منشأ این فلزات نیز جزو اهداف این تحقیق بود. نتیجه‌گیری حاصل به شرح زیر است: بررسی خصوصیات خاک نشان می‌دهد که بافت خاک منطقه مورد مطالعه لومی بوده است. بافت لومی نشان دهنده درصد مساوی از سیلت و ماسه و درصد کمتری از رس است که ریشه گیاه به آسانی به عناصر موجود در فاز محلول خاک دسترسی دارد. pH خاک قلیایی و کمی قلیایی بوده و دامنه تغییرات SOM ناچیز است. هنگامی که pH خاک بازی و بسیاری بازی باشد، کاتیون‌ها در فاز محلول خاک کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش pH عامل موثری در کاهش زیست‌دسترس‌پذیری کاتیون‌های فلزی و عدم جذب توسط ریشه

گیاهان است.

- آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه در وضعیت نامناسب و جدی قرار دارد. Zn بیشترین غلظت و سپس Pb و Cd به ترتیب ۱۵، ۱۶ و ۹ برابر در نقاط نمونه‌برداری نزدیک به MFMA افزایش مشاهده شد. میانگین غلظت‌های چندین برابر بالاتر از زمینه، نشان دهنده تأثیر منابع آنتروپوژنیک در گسترش فلزات دارد
- با توجه به تأثیر مستقیم درصد رس و ماده آلی و pH در قرار گرفتن فلزات در فاز محلول خاک، از راهنمای استاندارد کیفیت منابع خاک ارائه شده توسط معاونت محیط‌زیست انسانی کشور استفاده شد. با در نظر گرفتن اینکه فعالیت اصلی ساکنان منطقه کشاورزی و استفاده از مراتع برای دامپروری بوده، کاربری کشاورزی در این تحقیق مبنای بررسی آلاینده‌ها قرار گرفت. براساس استاندارد درصد رس (۱۸/۸ درصد)، ماده آلی (۱/۹ درصد) و pH (۷/۶)، خاک، ۳۰، ۴۷ و ۱۴ درصد نقاط نمونه‌برداری شده توسط Zn، Pb و Cd آلوده بوده و در محدوده خطر و امکان وجود خطر رده‌بندی می‌شوند.

- بررسی هم‌زمان نقشه‌های کریجینگ توزیع مکانی فلزات، نشان دهنده الگوی مشابه پراکنش است. توزیع مکانی فلزات در اطراف مجتمع انگوران به فاصله حدود ۲ کیلومتری از شرکت را در وضعیت بسیار نامطلوب و شدیداً آلوده نشان می‌دهد. چرا که علاوه بر کیک‌های باطله، عبور ماشین آلات و حمل و نقل ماده معدنی و باطله موجب افزایش غلظت آن در نمونه‌های سطحی خاک می‌شود.
- نتیجه Igeo نشان می‌دهد که ترتیب افزایش زمین انباشتگی فلزات به صورت $Zn > Pb > Cd$ است
- EF غنی‌شدگی بسیار شدید را برای Cd نشان داد. Cd متحرک‌ترین فلز در خاک است و احتمال خطر در نتیجه جذب از طریق ریشه گیاهان وجود دارد. به‌طور کلی از بررسی شاخص I_{geo} و E_f می‌توان نتیجه گرفت، نمونه‌های جمع‌آوری شده از اطراف MFMMMA آلودگی و غنی‌شدگی به شدت بالایی از خود نشان می‌دهند.
- با توجه تأثیرات سمی مختلف فلزات در بدن انسان، شاخص PERI به‌طور جامعی خطر بالقوه سمیت فلزات سنگین را ارزیابی می‌کند. طبق نتایج شاخص PERI، خطر زیست‌محیطی بالا برای Cd نسبت به Zn و Pb بود. توزیع مکانی شاخص PERI مطابق با توزیع مکانی فلزات، خطر را در بخش‌های نزدیک به MFMMMA و بخش‌های جنوب شرقی نشان داد.
- دامنه آلودگی محاسبه شده توسط mCd و PLI در مجموع ۶۰ و ۴۰ درصد منطقه را در وضعیت بسیار نامطلوب و نامناسب نشان داد که در کاربری اراضی کشاورزی و مراتع خطر قابل توجهی را نشان می‌دهد مانند تخلیه باطله و پسماندهای حاصل از عملیات فرآوری و تغلیظ در حاشیه مزارع در طول چندین سال فعالیت.
- محاسبه CR برای کودکان و بزرگسالان نشان داد که احتمال خطر بلع خاک آلوده به Zn بیشترین اثر را در احتمال خطر سرطان‌زایی و مشکلات سلامتی نشان می‌دهد. جذب پوستی و تنفس Zn، Pb و Cd در مراتب بعدی احتمال خطر قرار گرفتند. بلع خاک و گرد و غبار یک مسیر بالقوه در معرض قرار گرفتن مواد شیمیایی زیست‌محیطی برای بزرگسالان و کودکان بود. کودکان به ویژه ممکن است به دلیل تمایل آن‌ها به بازی روی زمین و فروردن اشیاء به دهان یا دست مقادیر زیادی از خاک را مصرف کنند. با توجه به گستردگی فعالیت‌های صنعتی در منطقه و کشاورزی، احتمال خطر سرطان‌زایی برای گروه بزرگسالان مشکلات بیشتری به همراه دارد. چرا که بلع ذرات خاک که به دست چسبیده است، در معرض قرارگیری از طریق جذب پوستی کشاورزان در هنگام کار در مزارع یا تنفس خاک و گرد و غبار آلوده خطرات بیشتری به همراه دارد.
- مدل PMF نیز سهم فعالیت‌های آنتروپوژنیک به‌عنوان فاکتور دوم را در غلظت فلزات چشم‌گیرتر نشان داد. بنابراین نیاز است برای کاهش خطر در معرض قرارگیری فلزات خاک برای حفظ سلامت ساکنان و پایداری محیط‌زیست و جانداران در این منطقه اقداماتی از جمله پالایش خاک صورت گیرد.

یادداشت‌ها

1. Positive Matrix Factorization
2. complex
3. Soil Organic Matter: SOM
4. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry
5. Enrichment factor
6. Geoaccumulation Index
7. Pollution Load Index
8. modified contamination degree
9. Potential Ecological Risk Index
10. Toxic Response Coefficient
11. Cancer Risk
12. Environmental Protection Agency
13. Geometric Mean

منابع

- ابویان، م.، دربان، ا.، زنجانی، ا. و مقدم، ح. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی کیفی خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سرب و روی ایرانکوه از دیدگاه زیست‌محیطی، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، ۱۲ (۳۵): ۶۲-۷۲.
- باباخانی، ع.، قلمقاش، ج. ۱۳۷۷. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- داوطلب نظام، س.، شاکری، ع. و رضایی، م. ۱۳۹۵. آلودگی، منشأ و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و پارک لاله، شهر تهران. علوم زمین خوارزمی، ۲: ۲۰۹-۲۲۶.
- دهر آزما، ب.، رحمتی، ش.، اصغری، ح. و صادقیان، م. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر معدن متروکه مس چغندر بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه (جنوب غرب عباس آباد)، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، ۱۰ (۲۷): ۸۱-۹۴.
- سیستانی، ن.، معین‌الدینی، م.، خراسانی، ن.، حمیدیان، ا.، طالشی، م. و عظیمی، ر. ۱۳۹۶. منشأیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان، نشریه محیط‌زیست طبیعی، ۷۰ (۳): ۶۲۷-۶۴۱.
- شاکری، ع. و یوسفی، ف. ۱۳۹۷. ارزیابی ریسک سلامت و منشأ عناصر بالقوه سمناک در خاک مکان‌های دفن زباله‌های غیرمهندسی استان کرمانشاه، زمین‌شناسی مهندسی، ۱۲ (۱): ۶۳-۸۴.
- شریعتی، ش.، آقائباتی، ع.، موسوی حرمی، س. و مدبری، آدابی، م. ۱۳۹۰. بررسی میزان آلاینده‌های ناشی از صنایع معدنی و فرآوری سرب و روی بر آب و خاک منطقه انگوران-دندی، علوم زمین، ۲۱ (۸۱): ۴۵-۵۴.
- شیخی آلمان‌آباد، ز.، اسدزاده، ف. و پیرخراطی، ح. ۱۳۹۶. کاربرد شاخص DWQI برای ارزیابی جامع کیفیت آب در آبخوان اردبیل، اکوهیدرولوژی، ۴ (۲)، صص ۴۲۱-۴۳۶.
- صادقی خو، ر. و عباسپور، ر. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد مدل‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی فلزات سنگین خاک (مطالعه موردی: شهرستان هریس)، محیط‌شناسی، ۴۴ (۱): ۱۷-۲۳.
- عبداللهی، س.، دلاور، م. و شکاری، پ. ۱۳۹۱. تحلیل عددی پراکنش آلودگی خاک به برخی عناصر سنگین منطقه انگوران زنجان، نشریه آب و خاک، ۲۶: ۱۱۴۰-۱۱۵۱.
- قدیمی، س. و نباتیان، ق. ۱۳۹۳. بررسی زمین‌شیمیایی معدن روی-سرب انگوران و اثرات فعالیت‌های معدنکاری بر آلودگی منطقه، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۴ (۱۳): ۵۶-۶۶.
- قنوتی، ن. ۱۳۹۷. ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسانی در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان، فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، ۱۱ (۱): ۷۴-۶۳.
- لطفی، م. ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی، ل.، شاکری، ع. و نخعی، م. ۱۳۹۶. آلودگی، منشأ و ارزیابی ریسک هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در خاک‌های بخش مرکزی شهرستان بندرعباس، مجله سلامت و محیط‌زیست، ۱۰ (۲): ۲۷۱-۲۸۰.
- یزدانی، م. و علی‌نیا، ف. ۱۳۹۶. به کارگیری مطالعات زمین‌آماره برای شناسایی آنومالی‌های W-Cu-Fe-Au در دره سه هزار تنکابن، علوم زمین، ۱۰۹: ۸۳-۹۶.
- Abraham, G. M. S. and 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(1-3): 227-238.
- Alexakis, D. 2016. Human health risk assessment associated with Co, Cr, Mn, Ni and V contents in agricultural soils from a Mediterranean site. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(3): 359-373.
- Amouei, A., Cherati, A. and Naghipour, D. (2018). Heavy Metals Contamination and Risk Assessment of Surface Soils of Babol in Northern Iran. *Health Scope*, 7(1).
- Andrews, S. and Carroll, C. 2002. Designing a soil quality as-sessment for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6):1573-85.

- Cabrera, F., Clemente, L., Barrientos, E.D., Lopez, R. and Murillo, J.N. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. *Sci Total Environ*, 242(1-3): 117-129.
- Chen. A., Lin. C., Lu. W., Wu. Y., Ma. Y., Li. J. and Zhu. L. 2007. Well water contaminated by acidic mine water from the Dabaoshan Mine, South China: Chemistry and Toxicity. *Chemosphere*, 7(2): 248-255.
- Dabiri, R., Bakhshi Mazdeh, M. and Mollai, H. 2017. Heavy metal pollution and identification of their sources in soil over Sangan iron-mining region, NE Iran. *Journal of Mining and Environment*, 8(2): 277-289.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle Size Analysis. In: Methods of Soil Analysis, Part A.
- Guan, Q., Wang, F., Xu, C., Pan, N., Lin, J., Zhao, R. and Luo, H. 2018. Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: A case study in Hexi Corridor, northwest China, *Chemosphere*, 193: 189-197.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Jiang, X., Lu, W. X., Zhao, H. Q., Yang, Q. C., and Yang, Z. P. 2014. Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(6): 1599-1610.
- Kamunda, C., Mathuthu, M. and Madhuku, M. 2016. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand gold mining basin, South Africa. *International journal of environmental research and public health*, 13(7): 663.
- Karim, Z. and Qureshi, B. A. 2014. Health risk assessment of heavy metals in urban soil of Karachi, Pakistan. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 20(3): 658-667.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. Methods of soil analysis: part 1-physical and mineralogical methods, (methodsofsoil1). 635-662.
- Liao, Y., Li, D. and Zhang, N. 2018. Comparison of interpolation models for estimating heavy metals in soils under various spatial characteristics and sampling methods. *Transactions in GIS*, 22(2): 409-434.
- Muller, G. 1996. Index of Geoaccumulation of sediment in Rhine River. *Geojournal*, 2: 108-118.
- Paatero, P. and Tapper, U. 1994. Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*, 5(2): 111-126.
- Peng, X., Shi, G., Liu, G., Xu, J., Tian, Y., Zhang, Y. and Russell, A.G. 2017. Source apportionment and heavy metal health risk (HMHR) quantification from sources in a southern city in China, using an ME2-HMHR model. *Environmental Pollution*, 221: 335-342.
- Petrosyan, V., Pirumyan, G. and Perikhanyan, Y. 2019. Determination of heavy metal background concentration in bottom sediment and risk assessment of sediment pollution by heavy metals in the Hrazdan River (Armenia). *Applied Water Science*, 9(4): 102.
- Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W. and Liqiang, Y. 2008. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China university of geosciences*. 19(3): 230-241.
- Sahoo, H.B., Gandre, D.K., Das, P.K., Karim, M.A. and Bhuyan, G.C. 2018. Geochemical mapping of heavy metals around Sukinda-Bhubana area in Jajpur and Dhenkanal districts of Odisha, India. *Environmental earth sciences*, 77(2): 34.
- Sultana, M.S., Rana, S., Yamazaki, S., Aono, T. and Yoshida, S. 2017. Health risk assessment for carcinogenic and non-carcinogenic heavy metal exposures from vegetables and fruits of Bangladesh. *Cogent Environmental Science*, 3(1): 1291107.
- Teng, Y., Ni, S., Wang, J., Zuo, R. and Yang, J. 2010. A geochemical survey of trace elements in agricultural and non-agricultural topsoil in Dexing area, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 104(3): 118-127.
- Tian, L., Ge, B. and Li, Y. 2017. Impacts of state-led and bottom-up urbanization on land use change in the peri-urban areas of Shanghai: Planned growth or uncontrolled sprawl. *Cities*, 60: 476-486.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W. 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, 33(1): 566-575.
- Wu, C. and Zhang, L. 2010. Heavy metal concentrations and their possible sources in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China. *Environmental Earth Sciences*, 60(1): 45-56.
- Wu, J., Lu, J., Li, L., Min, X. and Luo, Y. 2018. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chemosphere*. 201: 234-242.
- Zhang, Q., Hu, M., Wu, H., Niu, Q., Lu, X., He, J., and Huang, F. 2020. Plasma polybrominated diphenyl ethers, urinary heavy metals and the risk of thyroid cancer: A case-control study in China. *Environmental Pollution*, 116162.