

Identification and ecological risk assessment of heavy metals in the surface soil of Nuruddin abad in Garmsar

Zahra Lotfi*

Corresponding Author, Waste Management Monitoring Expert, Dept. of Environment, Semnan, Iran. E-mail: zlotfi89@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Full Length Research Paper</p> <p>Article history: Received: 10.21.2022 Revised: 12.31.2023 Accepted: 01.03.2024</p> <p>Keywords: Arsenic, Cadmium, Ecological risk potential, Geo accumulation index</p>	<p>Background and Objectives: Heavy metals are the common pollutants of soils, which pose a potential threat to the environment and public health. Therefore, this study was conducted to identify, determine and evaluate potential ecological risk of metals in surface soil samples of the disposal site of the wastes resulting from the activity of oil refining units (Nuruddin Abad, Garmsar) in 2022.</p> <p>Materials and Methods: In this research, after the preliminary study, field survey and considering the studied area is relatively homogeneous and there is no source of pollution in the area and for many year wastes of colored soil and acid sludge has been discharged in this area, random sampling method was used. In order to estimate the intensity of pollution Contamination factor (Cf), Degree of Contamination (Cd), Modified Degree of Contamination (mCd), Pollution Load Index (PLI), Geoaccumulation index (Igeo) and Ecological Risk Index (RI) were computed. Furthermore, all statistical analyses were performed by SPSS software.</p> <p>Results: Based on the results, the mean content of Cd, Pb, Ni, As, Cr and V in soil specimens was 1.69, 66.71, 28.43, 8.64, 25.38 and 18.85, Respectively. On the other hand, the soil quality of the study area varied between "very high degree of pollution" in stations 1 to 5 to "extremely high degree of pollution" in stations 6 and 7 based on the Degree of Contamination and "non-polluted" to "severely polluted" based on the geo-accumulation index (I-geo) values. Also, the results of the Modified Degree of Contamination showed that Pb and Ni pollution is in the medium degree of pollution and Cd, As, Cr and V pollution is in the high degree of pollution. In addition, by calculating the ecological risk potential factor (Er), it was determined that Cd and As are the most important pollutants responsible for ecological risks, and the trend of changes in the potential ecological risk of metals in the region was evaluated in the order of Pb<Cr<Ni<As<Cd. Also, as the mean value of RI was 314.35, all the examined elements could be classified as a "severe ecological risk".</p> <p>Conclusion: Comparison of the average content of the metals identified in the studied samples with the permissible limits of the soil resource quality standards of Iran's Environmental Protection Organization showed that the amount of lead and cadmium metals is more than the permissible limit and the amount of nickel, arsenic, chromium and vanadium was less than the allowed limit. As the mean contents of a number of identified compounds were higher than the permissible limit, applying corrective measures and</p>

clean the soil based on the soil pollution cleaning standards of Iran's Environmental Protection Organization is recommended for the environmental and human health aspects.

Cite this article: Lotfi, Zahra. 2024. Identification and ecological risk assessment of heavy metals in the surface soil of Nuruddin abad in Garmsar. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (1), 29-49.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.20705.2080

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



شناسایی و ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات سنگین در خاک سطحی نورالدین آباد شهرستان گرمسار

زهرا لطفی*

نویسنده مسئول، کارشناس مسئول نظارت بر مدیریت پسماند، سازمان محیط زیست، سمنان، ایران. رایانامه: zlotfi89@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳</p> <p>واژه‌های کلیدی: آرسنیک، پتانسیل خطر بوم‌شناختی، شاخص زمین انباشت، کادمیم</p>	<p>سابقه و هدف: فلزات سنگین از شایع‌ترین آلاینده‌های خاک هستند که می‌توانند خطرات بالقوه‌ای را برای محیط‌زیست و سلامت انسان به دنبال داشته باشند؛ بنابراین، این مطالعه با هدف شناسایی، تعیین و ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات در نمونه‌های خاک سطحی محل دفع پسماندهای حاصل از فعالیت واحدهای تصفیه روغن (نورالدین‌آباد شهرستان گرمسار) در سال ۱۴۰۰ انجام شد.</p> <p>مواد و روش‌ها: در این پژوهش، پس از مطالعه مقدماتی و بررسی میدانی و با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه نسبتاً همگن است و هیچ‌گونه چشمه آلودگی در منطقه نبوده و از سالیان دور در تمام این منطقه پسماندهای خاک رنگ‌بر و لجن اسیدی تخلیه شده است، از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده شد. به منظور برآورد شدت آلودگی از فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، شاخص بار آلودگی، شاخص زمین انباشت و شاخص ریسک اکولوژیک استفاده شد. پردازش آماری داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.</p> <p>یافته‌ها: میانگین غلظت عناصر کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم در خاک سطحی منطقه نورالدین به ترتیب ۱/۶۹، ۶۶/۷۱، ۲۸/۴۳، ۸/۶۴، ۲۵/۳۸ و ۱۸/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. هم‌چنین کیفیت خاک سطحی منطقه مورد مطالعه بنا بر مقادیر درجه آلودگی از "درجه خیلی بالای آلودگی" در ایستگاه‌های ۱ تا ۵ تا "درجه فوق‌العاده بالای آلودگی" در ایستگاه‌های ۶ و ۷ و بنا بر مقادیر شاخص زمین انباشت از "غیرآلوده" تا "آلودگی شدید" متغیر بود. نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی اصلاح‌شده نشان داد، وضعیت آلودگی سرب و نیکل در درجه متوسط آلودگی و کادمیم، آرسنیک، کروم و وانادیم در درجه بالای آلودگی قرار دارد. علاوه بر این، با محاسبه فاکتور پتانسیل خطر بوم‌شناختی، مشخص شد که کادمیم و آرسنیک مهم‌ترین آلاینده‌های مسئول مخاطرات اکولوژیک بوده و روند تغییرات خطر بالقوه</p>

بوم‌شناختی فلزات منطقه به ترتیب سرب > کروم > نیکل > آرسنیک > کادمیم ارزیابی گردید. با توجه به این‌که میانگین مقدار شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی برابر با ۳۱۴/۳۵ بود، بنابراین خطر بالقوه بوم‌شناختی تجمعی فلزات در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در دسته "مخاطره بوم‌شناختی شدید" قرار دارد.

نتیجه‌گیری: مقایسه میانگین محتوی فلزات شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه با حدود مجاز استانداردهای کیفیت منابع خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران نشان داد که مقدار فلزات سرب و کادمیم بیش‌تر از حد مجاز و مقدار فلزات نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم کم‌تر از حد مجاز بوده است؛ بنابراین با توجه به تجاوز میانگین غلظت تعدادی از ترکیبات شناسایی شده از حد مجاز، به‌منظور حفظ سلامت محیط و انسان به اعمال اقدامات اصلاحی و پاک‌سازی خاک بر اساس استانداردهای پاک‌سازی آلودگی خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران توصیه می‌شود.

استناد: لطفی، زهرا (۱۴۰۳). شناسایی و ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات سنگین در خاک سطحی نورالدین‌آباد شهرستان گرمسار.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۴ (۱)، ۲۹-۴۹.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.20705.2080



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تعیین منشأ فلزات سنگین در خاک از نظر محیط زیستی دارای اهمیت است. فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌ها بوده و به دلیل پتانسیل ایجاد سمیت، تجزیه‌ناپذیری، آثار تجمعی و سرطان‌زایی، مشکل مهم محیط زیستی به شمار می‌روند. این عناصر پس از ورود به بدن موجودات زنده، در بافت‌های آن ذخیره‌شده و می‌توانند در طول زنجیره غذایی، در اعضای بالاتر هرم جمعیتی به مقادیر بسیار بیش‌تری تجمع یابند. به‌علاوه، آن‌ها می‌توانند جایگزین املاح و مواد معدنی موردنیاز بدن جانداران شده و از این طریق، موجب تضعیف سیستم ایمنی آن‌ها شوند (۱ و ۲).

خاک به‌عنوان بستر حیات انسان، تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی و آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها قرار می‌گیرد. حفاظت از خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی دارای اهمیت زیادی است. آلودگی خاک به معنی وجود مواد آلاینده در خاک به میزانی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر انسان و سایر موجودات زنده شده و یا به هر گونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی در خاک به‌طوری‌که خاصیت اصلی آن را تغییر دهد، اطلاق می‌گردد. میزان و گستردگی نفوذ آلاینده‌ها به درون خاک به ویژگی‌های خاک از جمله تخلخل، نفوذپذیری، مقدار رطوبت و همچنین به ماهیت و کمیت آلاینده بستگی دارد (۳، ۴، ۵).

تصفیه و بازیافت روغن به دلیل اثرات محیط زیستی آن اهمیت بسیاری دارد. در روغن‌های کارکرده مواد آلوده‌کننده محیط‌زیست که از سایش قطعات موتور و یا از طریق سوخت، وارد روغن شده‌اند، موجود است؛ بنابراین دفع نامناسب روغن‌های کارکرده در طبیعت و محیط‌زیست باعث راه یافتن مواد آلاینده به درون خاک و منابع آب سطحی و

زیرزمینی شده و باعث آلودگی و تخریب این منابع می‌گردد. همچنین به‌دلیل سمی بودن ترکیبات تشکیل‌دهنده آن می‌تواند محیط‌زیست جانوری و گیاهی را تخریب نماید. به همین دلیل مدیریت اصولی پسماندهای حاصل از واحدهای تصفیه روغن و یا بازیافت آن‌ها علاوه‌بر احیاء یک ماده با ارزش اقتصادی و کاهش مصرف انرژی، مزایای بسیاری از جمله حفظ منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک، هوا و به‌طورکلی حفظ محیط‌زیست و موجودات آن را دارد (۶).

فرآورده‌هایی که در صورت مدیریت نامناسب می‌توانند برای سلامت انسان و محیط‌زیست خطر ذاتی و یا بالقوه ایجاد نمایند و حداقل یکی از خواص خطرناک مانند سمیت، بیماری‌زایی، قابلیت انفجار یا اشتعال، خوردگی و مشابه آن را داشته باشند بدون توجه به هر گونه غلظت حد آستانه، پسماند خطرناک محسوب می‌شوند (۷). مطابق با این تعریف، پسماندهای تصفیه روغن از جمله لجن اسیدی و خاک رس رنگ‌بر به‌دلیل داشتن ویژگی‌های خطرزایی برای سلامت انسان و محیط‌زیست، جزء پسماندهای خطرناک محسوب می‌شوند. همچنین با توجه به میزان بالای پسماند حاصل از واحدهای تصفیه روغن و به‌دلیل آثار سوء این گونه پسماندها بر محیط‌زیست، دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌ای در این خصوص در سال‌های اخیر به تصویب مراجع قانونی کشورهای مختلف جهان رسیده است. در ایران نیز مطابق با ماده نوزدهم آیین‌نامه اجرایی قانون مدیریت پسماند مصوب ۱۳۸۴/۵/۱۰، تولیدکنندگان پسماندهای ویژه ملزم به کاهش مقدار و یا شدت آلودگی پسماندها بوده و باید پسماند تولیدی و ظرفیت فعالیت خود را در فرم‌های اظهارنامه ثبت و به سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران گزارش دهند. طبق این ماده مجموع پسماندهای واحدهای تصفیه روغن باید حداکثر تا ۲۰ درصد وزن روغن پایه تولیدی باشد (۸).

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: گرمسار غربی‌ترین شهرستان استان سمنان و قطب اقتصاد و صنعت این استان است. مساحت شهرستان گرمسار ۷۹۷۰ کیلومتر مربع است و در جنوب شرقی رشته‌کوه البرز قرار دارد. این شهرستان از سمت جنوب به کویر مرکزی و شهرستان‌های اردستان و کاشان، از سمت شمال به فیروزکوه و دماوند، از شرق به سمنان و از غرب به ورامین و قم محدود می‌شود. نورالدین‌آباد از توابع بخش مرکزی شهرستان گرمسار بوده و در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی آن واقع شده است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا حدود ۸۰۰ متر و جهت باد غالب آن از سمت شرق است. محدوده مورد مطالعه بین طول‌های شرقی ۶۳۵۲۷۰ تا ۶۳۶۴۸۰ و عرض‌های شمالی ۳۸۷۶۹۹۲ تا ۳۸۷۸۵۰۷ قرار گرفته است (۲۴). نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری از خاک در شکل ۱ آورده شده است.

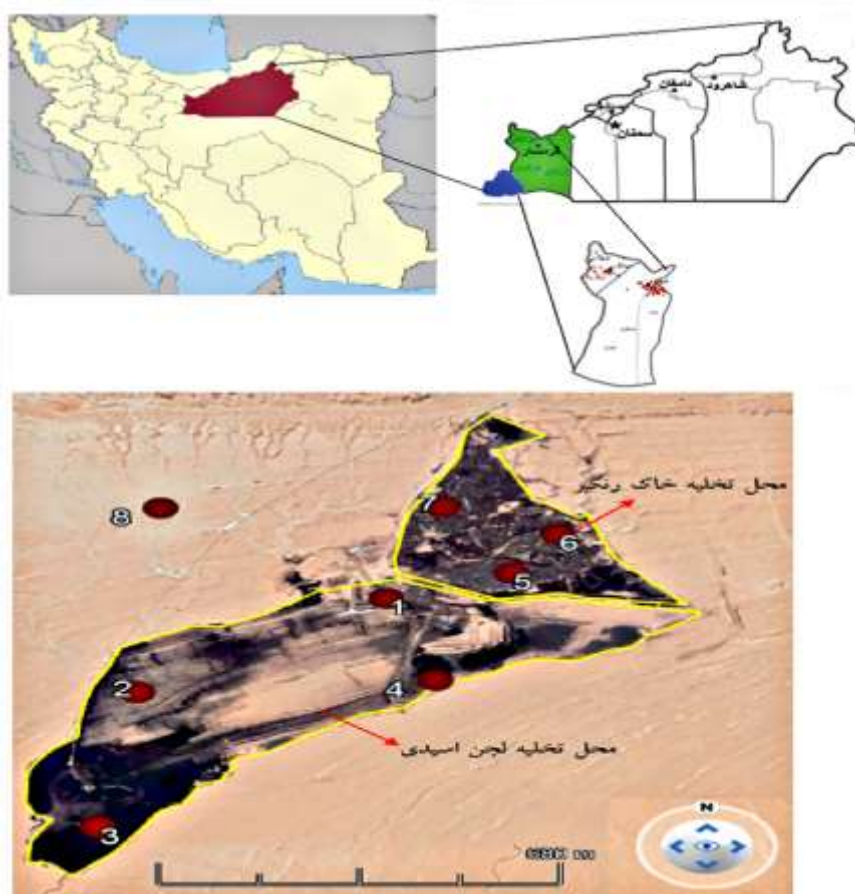
نمونه‌برداری از خاک: به‌طور کلی روش‌های انتخاب محل نمونه‌برداری خاک به طرق مختلف بسته به نوع و توزیع آلاینده‌ها انجام می‌شود. روش نمونه‌برداری تصادفی شامل مجموعه‌ای دلخواه از نمونه‌ها در مرزهای مشخص‌شده از منطقه موردنظر است. مکان‌های نمونه‌برداری در این روش با استفاده از روش تصادفی انتخاب شدند. در پژوهش حاضر پس از مطالعه مقدماتی و بررسی میدانی و با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه نسبتاً همگن است و هیچ‌گونه چشمه آلودگی در منطقه نیست و از سالیان دور در تمام منطقه پسماندهای خاک رنگبر و لجن اسیدی تخلیه شده است، از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده شد. به‌همین منظور، هشت ایستگاه واقع در محل تخلیه لجن اسیدی (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴)، محل تخلیه خاک رنگبر (ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷) و در فاصله ۵۰۰ متری منطقه مورد مطالعه (نمونه

در چند دهه پیش با استقرار و فعالیت تعداد زیادی واحدهای تصفیه دوم روغن در استان سمنان و به‌ویژه در نواحی صنعتی فجر و جنت‌آباد شهرستان گرمسار در زمینه بازیافت روغن و تبدیل آن به روغن‌پایه، متأسفانه به‌دلیل عدم آگاهی‌های لازم و مدیریت غیراصولی، پسماندهای حاصل از فرآیند تصفیه (لجن اسیدی و خاک رنگ‌بر) به مکانی در ۱۸ کیلومتری جنوب روستای شه‌سفید در شهرستان گرمسار موسوم به نورالدین‌آباد حمل و به‌طور مستقیم بر روی خاک تخلیه شدند (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲).

فلزات سنگین سنج‌های مفیدی برای ارزیابی آلودگی در محیط‌های سطح خاک هستند (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶) و تمایل دارند که در اثر رسوب‌گذاری، فشردگی و فرونشست جوی در خاک سطحی جمع شوند و اگر مقادیر آن‌ها در حد قابل‌توجهی باشد، به‌طوری‌که آلاینده‌های سمی را تشکیل دهند، ممکن است بر سلامت افراد تأثیر سوء بگذارند. از این‌رو، تاکنون مطالعات زیادی در مورد تعیین فلزات سنگین در نمونه‌های خاک (۱۷ و ۱۸)، رسوب (۱۹)، گردوغبار (۲۰) و زمین‌های کشاورزی (۲۱) در ایران و سایر کشورها انجام یافته‌است. در مورد تعیین محتوی، منشاء‌یابی، ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی و خطر سلامت فلزهای سنگین در خاک سطحی اطراف مراکز دفن پسماند مطالعات اندکی انجام شده است (۲۲ و ۲۳)؛ بنابراین، با توجه به عدم وجود مطالعات جامع ناشی از آلودگی‌های منتشرشده از واحدهای تصفیه روغن بر روی خاک منطقه؛ بررسی آلودگی خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، شاخص بار آلودگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص ریسک اکولوژیک هدف اصلی این پژوهش بوده که می‌تواند به‌منظور جلوگیری از مخاطرات محیط‌زیستی در محدوده تحت‌تأثیر و ارائه اطلاعات و راهکارهای مناسب در زمینه مدیریت این آلودگی‌ها به کار رود.

استفاده از بیلچه با جنس فولاد ضدزنگ برداشته و درون کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار نگهداری شدند. بر روی هر یک از کیسه‌ها بر اساس نام ایستگاه و موقعیت جغرافیایی برچسب زده شد (۲۶). نمونه‌ها به‌منظور آماده‌سازی و تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (بافت، درصد مواد آلی، قابلیت هدایت الکتریکی و ...) و محتوی فلزات در آن‌ها به آزمایشگاه معتمد محیط‌زیست "شرکت مهندسی خاک آزما نگین" انتقال داده شدند.

شاهد- ایستگاه ۸) مشخص گردید. به‌منظور دقت بیشتر، پس از تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، موقعیت جغرافیایی هر نقطه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی مدل Etrex 10 تعیین شد. برای برداشت هر نمونه، در هر ایستگاه از گوشه‌های مربع به فاصله دو متری، نمونه‌برداری انجام گرفت و پس از مخلوط کردن چهار نمونه، یک نمونه معرف برای هر ایستگاه به وزن ۱ کیلوگرم به‌دست آمد. همه نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری و با



شکل ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۲۵).

Figure 1. Map of sampling sites.

بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتری (۲۷)، درصد مواد آلی به روش افت حرارتی (۲۸)، قابلیت هدایت الکتریکی توسط

تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و محتوای فلزات سنگین: نمونه‌های خاک، هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و برای تجزیه آماده شدند.

هر کدام از پژوهش‌گران، یک مقیاس و طبقه‌بندی متفاوتی را برای تبدیل مقادیر عددی غلظت‌ها به یک حالت توصیفی ارائه کرده‌اند. در این مطالعه شاخص‌های فاکتور آلودگی^۱، درجه آلودگی^۲، درجه آلودگی اصلاح‌شده^۳، بار آلودگی^۴، شاخص زمین‌انباشت^۵ و شاخص ریسک اکولوژیک^۶ مورد بررسی قرار گرفت (۳۲).

فاکتور آلودگی: فاکتور آلودگی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک استفاده می‌شود. فاکتور آلودگی از تقسیم کردن غلظت فلز در نمونه برداشت‌شده به غلظت همان فلز در نمونه زمینه به‌دست می‌آید و بیانگر میزان آلودگی خاک به عناصر جزئی است که از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$Cf = \frac{C_n}{B_n} \quad (1)$$

در این رابطه، Cf فاکتور آلودگی، C_n و B_n به ترتیب غلظت عنصر مورد نظر در نمونه مورد بررسی و نمونه مرجع (میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. شدت آلودگی خاک بر اساس ضریب آلودگی در ۴ رده طبقه‌بندی می‌گردد (۳۲).

هدایت‌سنج (۲۹) و پ‌هاش نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده از پ‌هاش متر اندازه‌گیری شدند (۳۰). برای هضم، به یک گرم از هر نمونه خاک، مخلوطی شامل هیدروفلوریک اسید، پرکلریک اسید و نیتریک اسید اضافه شد و پس‌از آن نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در ماکروویو آن در دمای ۱۸۰ سلسیوس، حرارت داده شدند. سپس محلول حاصل توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد (۳۱). در نهایت، پس از ساخت محلول مادر و استاندارد نمک فلزها و کالیبره کردن دستگاه جذب اتمی با کوره گرافیتی واریان GBC AA مدل ۹۳۲ اندازه‌گیری شد. غلظت فلزات کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، جیوه، سلنیوم، کروم، باریم، وانادیم، آنتیموان، نقره و بریلیم در عصاره خاک در سه تکرار قرائت شد. هم‌چنین، کنترل کیفیت و تضمین کیفیت هر دو با استفاده از مرجع استاندارد SQC-001 ساخت شرکت سیگما-آلدریج اسپانیا تعیین شدند.

محاسبه شاخص‌های آلودگی/ارزیابی درجه آلودگی خاک: روش‌های متفاوتی برای تخمین درجه غنی‌شدگی خاک توسط فلزات سنگین وجود دارد که

جدول ۱- طبقه‌بندی فاکتور آلودگی.

Table 1. Classification of Contamination factor.

ضریب آلودگی Contamination factor	شدت آلودگی Contamination Level
$1 > Cf$	آلودگی پایین (Low contamination)
$1 \leq Cf < 3$	آلودگی متوسط (Moderate contamination)
$3 \leq Cf < 6$	آلودگی قابل‌توجه (Significant contamination)
$6 \leq Cf$	آلودگی بسیار بالا (Very high contamination)

- 1- Standard Reference Material, SRM
- 2- Contamination factor, Cf
- 3- Degree of contamination, Cd
- 4- Modified degree of contamination, mCd
- 5- Pollution load index, PLI
- 6- Geoaccumulation index, Igeo
- 7- Ecological risk index, Er

میانگین‌گیری فوق تأثیر منفرد مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها در نتیجه نهایی از الگوی عمومی آلودگی در منطقه، از بین خواهد رفت. دسته‌بندی سطح آلودگی خاک بر اساس مقادیر کمی شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی خاک در صورت جدول ۲ ارائه شده است (۳۴).
ضریب بار آلودگی: این شاخص جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده است و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی عناصر مورد مطالعه را در اختیار قرار دهد. برای محاسبه این شاخص، به ضریب آلودگی محاسبه شده در بخش قبل نیاز است و از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$PLI = \sqrt[n]{Cf_1 \times Cf_2 \times \dots \times Cf_n} \quad (4)$$

در این رابطه، PLI ضریب بار آلودگی، Cf ضریب آلودگی و n تعداد عناصر مورد مطالعه است. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیرآلوده) تا بسیار آلوده تغییر می‌کنند. به‌طور معمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان‌دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده وجود آلودگی نسبت به غلظت زمینه است (۳۵).

درجه آلودگی: مجموع فاکتورهای آلودگی همه فلزات مورد مطالعه در یک محیط، درجه آلودگی محیط را نشان می‌دهد (رابطه ۲) و به چهار کلاس تقسیم می‌شود که شامل درجه آلودگی کم ($C_d < 8$)، درجه آلودگی متوسط ($8 \leq C_d < 16$)، درجه آلودگی قابل توجه ($16 \leq C_d < 32$) و درجه آلودگی خیلی بالا ($32 \leq C_d$) است (۳۳).

$$C_d = \sum_{i=1}^n Cf \quad (2)$$

درجه آلودگی اصلاح‌شده: درجه آلودگی اصلاح‌شده، به دلیل وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی وجود دارد، از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n Cf}{n} \quad (3)$$

در این رابطه، Cf فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. رابطه ۲ این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان تعداد متنوعی از عناصر را بدون محدودیت مورد مطالعه و بررسی قرار داد. طبق رابطه عمومی این شاخص، به دلیل فرایند

جدول ۲- طبقه‌بندی میزان شدت آلودگی خاک بر اساس درجه آلودگی اصلاح‌شده.

Table 2. Classification of soil pollution intensity based on modified degree of Contamination.

مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده Modified degree of Contamination values	درجه آلودگی اصلاح‌شده Modified degree of Contamination
$Cd < 1.5$	فاقد آلودگی تا درجه پایینی از آلودگی No contamination to a low degree of contamination
$1.5 \leq Cd < 2$	درجه پایین آلودگی Low degree of contamination
$2 \leq Cd < 4$	درجه متوسط آلودگی Moderate degree of contamination
$4 \leq Cd < 8$	درجه بالای آلودگی High degree of contamination
$8 \leq Cd < 16$	درجه خیلی بالای آلودگی Very high degree of contamination
$16 \leq Cd < 32$	درجه خیلی خیلی بالای آلودگی Very very high degree of contamination
$32 \leq Cd$	درجه فوق‌العاده بالای آلودگی Extremely high degree of contamination

جدول ۳- طبقه‌بندی میزان شدت آلودگی خاک بر اساس مقادیر ضریب بار آلودگی.

Table 3. Classification of soil pollution intensity based on Pollution load index.

ضریب بار آلودگی Pollution load index	
PLI<1	غیرآلوده (Unpolluted)
1≤PLI<2	آلودگی متوسط (Moderately polluted)
2≤PLI<3	آلودگی شدید (Strongly polluted)
PLI≥3	بسیار آلوده (Extremely polluted)

فلزات آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰، ۲، ۲، ۵، ۱، ۵ و ۵ هستند. این شاخص از طریق روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شود.

$$E_r^i = T_i \times CF \quad (6)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (7)$$

در این روابط، E_r فاکتور بالقوه خطر بوم‌شناختی و T_i فاکتور پاسخ سمیت برای هر فلز است. مطابق الگوی هاکنسون، طبقه‌بندی بیان‌شده برای مقادیر فاکتور و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی به شرح مندرج در جدول ۵ است (۳۳).

پردازش آماری داده‌ها: برای انجام عملیات آماری از نسخه ۲۶ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک^۱ در سطح خطای ۵ درصد استفاده شد. هم‌چنین برای تجزیه و تحلیل واریانس از آزمون واریانس یک‌طرفه^۲ و برای مقایسه میانگین غلظت فلزات بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۳ در سطح خطای ۰/۰۵ استفاده شد. علاوه بر این، برای مقایسه غلظت ترکیبات در نمونه‌های موردبررسی با مقادیر استاندارد از آزمون تی-تک نمونه‌ای^۴ استفاده شد.

شاخص زمین انباشت: شاخص زمین انباشت I_{geo} شاخص تجمع ژئوشیمیایی و یا شاخص شدت آلودگی در خاک است که برای ارزیابی و طبقه‌بندی سطح آلودگی خاک توسط مولر در سال ۱۹۶۹ معرفی شد (۳۶). از این شاخص برای تعیین سطح آلودگی و تأثیر عوامل طبیعی و انسانی استفاده می‌شود. این شاخص از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (5)$$

در این رابطه، I_{geo} شاخص زمین انباشت مولر، B_n غلظت زمینه و C_n غلظت عنصر موردنظر در نمونه خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. ضریب ثابت ۱/۵ برای به حداقل رساندن تغییرات احتمالی غلظت فلز در زمین‌هایی است که ممکن است با تغییرات سنگ‌های پوسته زمین و مواد مادری خاک مرتبط باشد، به‌کار می‌رود. دسته‌بندی مقادیر شاخص زمین انباشت مولر به شرح مندرج در جدول ۴ است.

ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات مورد مطالعه: شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (RI) اولین بار توسط هاکنسون برای ارزیابی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین معرفی شد. بر اساس میزان سمیت فلزات، روش‌های اصلاحی به‌وسیله پژوهش‌گران مختلفی هم‌چون بی و همکاران (۲۰۱۱) و وانگ و همکاران (۲۰۱۳) به‌کار گرفته شده است (۳۷ و ۳۸). بر اساس رویکرد هاکنسون، فاکتور پاسخ سمیت (T_i) برای

- 1- Shapiro-Wilk
- 2- One-Way ANOVA
- 3- Duncan Multiple Range Test
- 4- One Sample t-Test

نتایج و بحث

است. هم‌چنین درصد مواد آلی ۱/۶۷، شن ۱۴، سیلت ۴۲ و رس ۴۴ درصد بود.

نتایج حاصل از بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی منطقه مورد مطالعه نشان داد که بافت خاک منطقه رسی لای با پ‌هاش برابر ۶/۶۴

جدول ۴- دسته‌بندی مقادیر شاخص زمین انباشت.

Table 4. Classification of the geoaccumulation index.

$I_{geo} < 0$	غیرآلوده Unpolluted
$0 \leq I_{geo} < 1$	غیرآلوده تا آلودگی متوسط Unpolluted to moderately polluted
$1 \leq I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط Moderate to high polluted
$2 \leq I_{geo} < 3$	آلودگی متوسط تا آلودگی شدید Moderately to strongly polluted
$3 \leq I_{geo} < 4$	آلودگی شدید Strongly polluted
$4 \leq I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا آلودگی خیلی شدید Strongly to very strongly polluted
$5 \leq I_{geo}$	آلودگی خیلی شدید Very strongly polluted

جدول ۵- طبقه‌بندی مقادیر فاکتور و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی.

Table 5. Classification of ecological risk factor and ecological risk index.

سطوح خطرات بوم‌شناختی Ecological risk levels	شاخص خطر بوم‌شناختی RI	فاکتور خطر بوم‌شناختی Er
خطر کم Low risk	$RI < 150$	$Er \leq 40$
خطر متوسط Moderate risk	$150 \leq RI < 300$	$40 < Er \leq 80$
خطر قابل توجه Considerable risk	$300 \leq RI < 600$	$80 < Er \leq 160$
خطر زیاد High risk	$RI \geq 600$	$160 < Er \leq 320$
خطر خیلی زیاد Serious risk	-	$Er \geq 320$

پسماندهای حاصل از فعالیت واحدهای تصفیه روغن (نورالدین آباد شهرستان گرمسار) شامل مقادیر کمینه، بیشینه، میانه، میانگین و انحراف معیار به تفکیک هر

جیوه، سلنیوم، باریم، آنتیموان، نقره و بریلیم در نمونه‌های خاک تشخیص داده نشد. محتوی فلزات شناسایی شده در نمونه‌های خاک سطحی محل دفع

از نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های خاک گرفته‌شده از هر دو قسمت منطقه مورد مطالعه (محل تخلیه لجن اسیدی و خاک رنگ‌بر) تحت تأثیر ترکیبات فلزات قرار گرفته‌اند و به این ترکیبات آلوده شده‌اند.

آزمون آماری شاپیرو-ویلک نشان داد که داده‌های حاصل از شناسایی و تعیین غلظت فلزات کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم در هشت ایستگاه منتخب از توزیع نرمال پیروی می‌کند و سطح معنی‌داری آزمون (P-Value) برای آن‌ها بیش‌تر از ۰/۰۵ به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و به دنبال آن آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان داد که میانگین محتوی ترکیبات فلز شناسایی‌شده در نمونه‌های خاک سطحی، در هشت ایستگاه منتخب، اختلاف معنی‌دار آماری با هم نداشته‌اند ($P > 0/05$). نتایج آزمون تی‌تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین ترکیبات فلز شناسایی‌شده در نمونه‌های خاک سطحی منطقه مورد مطالعه با حدود مجاز فلزات و عناصر کمیاب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) استاندارد کیفیت منابع خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (۳۹) برابر با ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کادمیم، ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای سرب، ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نیکل، ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای آرسنیک، ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کروم و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای وانادیم نشان داد که میانگین غلظت تمامی ترکیبات با حد مجاز اختلاف معنی‌دار آماری نداشته ($P > 0/05$) و برای فلزات کادمیم و سرب بیش‌تر از حد مجاز و برای فلزات نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم کم‌تر از حد مجاز بوده است.

ایستگاه در جدول ۶ آورده شده است. نتایج بیانگر آن است که محتوی فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک سطحی در محدوده ۰/۵ تا ۳/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۱/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کادمیم، ۴۹/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۸۸/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۶۶/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای سرب، ۲۳/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۳۴/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۲۸/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نیکل، ۶/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۱۱/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۸/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای آرسنیک، ۲۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۳۳/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۲۵/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کروم و ۱۳/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۲۶/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۱۸/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای وانادیم بوده است. از طرفی مقادیر میانه کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم به ترتیب برابر با ۱/۰۲، ۶۱/۸۱، ۲۶/۸۵، ۷/۹۲، ۲۴/۸۴ و ۱۸/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و از ترتیب نزولی سرب < نیکل < کروم < وانادیم < آرسنیک < کادمیم پیروی می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت فلزات شناسایی‌شده در ایستگاه‌های مستقر در محل تخلیه لجن اسیدی (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) مقادیر کم‌تری را نسبت به غلظت فلزات شناسایی‌شده در ایستگاه‌های مستقر در محل تخلیه خاک رنگ‌بر (ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷) نشان می‌دهند. بیش‌ترین غلظت در منطقه تخلیه لجن اسیدی و در منطقه تخلیه خاک رنگ‌بر مربوط به فلز سرب با غلظت به ترتیب ۶۱/۸۱ و ۸۸/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است؛ بنابراین

جدول ۶- محتوی فلزات سنگین شناسایی شده در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه^۱.

Table 6. Heavy metals concentrations in in soils of the study area.

فلزات سنگین (Heavy metals)						ایستگاه نمونه‌برداری
وانادیم Vanadium (mg kg ⁻¹)	کروم Chromium (mg kg ⁻¹)	آرسنیک Arsenic (mg kg ⁻¹)	نیکل Nickel (mg kg ⁻¹)	سرب Lead (mg kg ⁻¹)	کادمیم Cadmium (mg kg ⁻¹)	Sampling station
13.80	28.88	7.6	32.41	61.81	0.5	1
18.32	21.32	11.25	30.65	49.45	1.02	2
16.12	24.84	7.92	25.75	53.76	0.65	3
17.75	20.15	11.23	23.18	52.97	0.63	4
19.42	23.96	6.74	25.49	88.42	2.64	5
26.45	33.24	6.45	26.85	78.12	3.10	6
20.12	25.30	9.32	34.67	82.45	3.27	7
13.80	20.15	6.45	23.18	49.45	0.5	کمینه (Minimum)
26.45	33.24	11.25	34.67	88.42	3.27	بیشینه (Maximum)
18.32	24.84	7.92	26.85	61.81	1.02	میانه (Median)
18.85	25.38	8.64	28.43	66.71	1.69	میانگین (Mean)
3.96	4.47	1.99	4.19	15.95	1.25	انحراف معیار (Standard deviation)
100	110	18	50	50	1	دوز مرجع ^۲ (Reference Value)

^۱ مقادیر مربوط به میانگین غلظت سه تکرار است

^۲ استاندارد کیفیت منابع خاک سازمان حفاظت محیط زیست ایران

درصد از نمونه‌ها به‌عنوان "خاک آلوده" قابل طبقه‌بندی هستند. درجه آلودگی اصلاح‌شده فلزات مورد مطالعه نیز از ۲/۳۴ تا ۷/۰۵ متغیر و بنابراین، کیفیت خاک سطحی مورد مطالعه از درجه متوسط آلودگی تا درجه بالای آلودگی متغیر بود. هم‌چنین نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی اصلاح‌شده نشان داد، وضعیت آلودگی سرب و نیکل در درجه متوسط و وضعیت آلودگی کادمیم، آرسنیک، کروم و وانادیم در درجه بالای آلودگی قرار دارد.

افزون بر این، با توجه به مقادیر ضریب بار آلودگی که در شکل ۲ ارائه شده است، مقادیر ضریب آلودگی ایستگاه‌های منتخب در محدوده ۳/۹۰ تا ۶/۱۶

همان‌طور که در جدول ۷ آورده شده است، مقادیر ضریب آلودگی از ۱/۷۳ تا ۱۳/۶۲ متغیر و بنابراین، کیفیت خاک سطحی مورد مطالعه نیز از آلودگی متوسط تا آلودگی بسیار بالا متغیر بود. بر اساس این شاخص، درجه آلودگی هیچ‌یک از ایستگاه‌ها در درجه آلودگی پایین قرار ندارد. هم‌چنین نتایج بررسی درجه آلودگی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد مقادیر درجه آلودگی از ۲۵/۶۰ تا ۴۱/۵۱ متغیر و بنابراین، کیفیت خاک سطحی مورد مطالعه از درجه آلودگی قابل‌توجه تا درجه آلودگی خیلی بالا بوده و درجه آلودگی هیچ‌یک از ایستگاه‌ها در درجه آلودگی کم و متوسط قرار ندارد. این به این معنی است که ۱۰۰

با میانگین ۴/۸۲ متغیر بود. هم‌چنین مقادیر ضریب آلودگی فلزات شناسایی شده در محدوده ۲/۲۸ تا ۶/۹۶ متغیر بود. علاوه بر این، با توجه به این‌که مقدار شاخص بار آلودگی محاسبه شده برای همه ایستگاه‌های نمونه برداری بزرگ‌تر از ۳ بود، بنابراین وضعیت ۱۰۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه به‌عنوان خاک "بسیار آلوده" قابل طبقه‌بندی است.

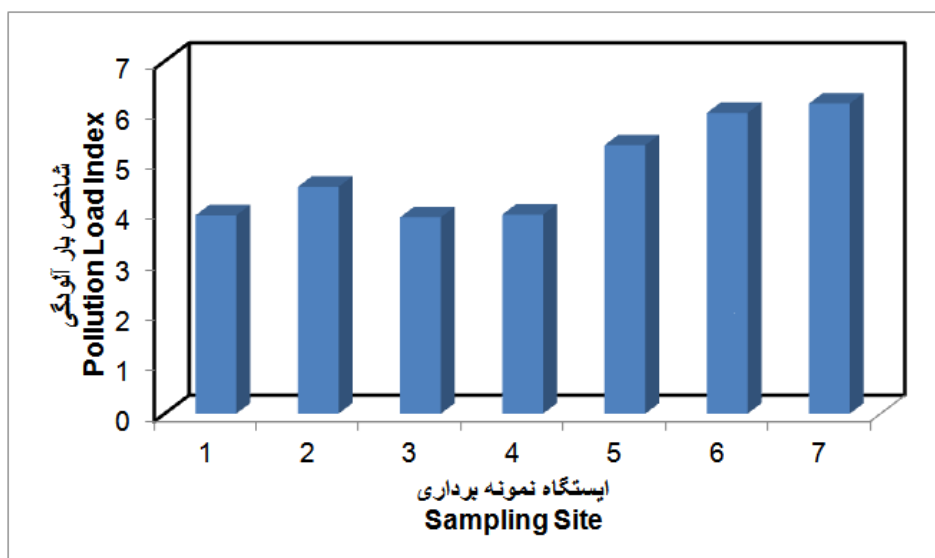
شاخص زمین انباشت برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه محاسبه گردیده و نتایج حاصله برای هر یک از فلزات و میانگین ایستگاه‌ها و فلزات در جدول ۸ ارائه شده است. دامنه تغییرات شاخص زمین انباشتگی فلزات در محدوده مورد مطالعه بین ۰/۲۱ تا ۳/۲۰ متغیر و بنابراین، کیفیت خاک سطحی مورد مطالعه نیز از "غیرآلوده تا آلودگی متوسط" تا "آلودگی شدید" متغیر بود. با بررسی میانگین شاخص زمین انباشت فلزات مورد مطالعه این نتیجه به دست می‌آید که فلز سرب در رده "غیرآلوده تا آلودگی متوسط"، فلزات کادمیم، نیکل، آرسنیک و وانادیم در رده "آلودگی متوسط" و فلز کروم در رده "آلودگی متوسط تا آلودگی شدید" قرار دارند. با بررسی میانگین شاخص زمین انباشت به تفکیک ایستگاه‌ها نیز مشاهده می‌شود که میزان آلودگی در ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷ که مربوط به محل تخلیه خاک رنگ‌بر است سطوح بالاتری را نسبت به ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ که مربوط به تخلیه لجن اسیدی است نشان می‌دهد.

نتایج محاسبه فاکتور بالقوه خطر بوم‌شناختی و شاخص بالقوه خطر بوم‌شناختی تجمعی فلزات مورد مطالعه در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر فاکتور پتانسیل خطر بوم‌شناختی برای فلزات کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک و کروم به ترتیب برابر با ۲۱۰/۹۰، ۱۱/۷۰، ۲۰/۰۲، ۵۷/۶۳ و ۱۴/۱۰ با ترتیب نزولی کادمیم < آرسنیک < نیکل < کروم < سرب بوده است. هم‌چنین مقادیر شاخص پتانسیل خطر بوم‌شناختی برای ایستگاه‌های ۱ تا ۷ به ترتیب ۱۶۲/۸۸، ۲۴۴/۶۰، ۱۷۵/۴۱، ۱۹۰/۴۳، ۴۲۱/۷۰، ۴۸۱/۶۰ و ۵۲۳/۸۲ با ترتیب نزولی ایستگاه ۷ < ۶ < ۵ < ۲ < ۴ < ۳ بوده است. بنابراین به استناد طبقه‌بندی انجام شده می‌توان گفت که فاکتور خطر بالقوه بوم‌شناختی برای فلزهای سرب، نیکل و کروم در درجه "خطر کم"، برای فلز آرسنیک در درجه "خطر متوسط" و برای فلز کادمیم در درجه "خطر زیاد" بوده است. هم‌چنین شاخص بالقوه خطر بوم‌شناختی (تجمعی) برای ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ (محل تخلیه لجن اسیدی) در طبقه "خطر متوسط" و برای ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷ (محل تخلیه خاک رنگ‌بر) در طبقه "خطر قابل توجه" قرار دارند. از طرفی با توجه به این‌که میانگین شاخص بالقوه خطر بوم‌شناختی تجمعی برابر با ۳۱۴/۳۵ بوده، بنابراین، درجه خطر تجمعی در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در دسته "خطر قابل توجه" قرار داشت. مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر با دستاورد سایر پژوهش‌های مشابه در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های فاکتور آلودگی، درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده فلزات سنگین در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 7. Contamination factor, Degree of contamination and Modified degree of contamination indexes values of heavy metals in soils of the study area.

شاخص آلودگی اصلاح‌شده Modified degree of contamination	ضریب آلودگی (Contamination factor) ایستگاه نمونه‌برداری (Sampling station)							فلز سنگین Heavy metal
	7	6	5	4	3	2	1	
7.03	13.62	12.91	11	2.62	2.71	4.25	2.1	کادمیم Cadmium
2.34	2.90	2.74	3.10	1.85	1.90	1.73	2.17	سرب Lead
4.00	4.90	3.78	3.60	3.26	3.62	4.32	4.56	نیکل Nickel
5.76	6.21	4.30	4.50	7.48	5.28	7.50	5.10	آرسنیک Arsenic
7.05	7.02	9.23	6.65	5.60	6.90	5.92	8.0	کروم Chromium
6.10	6.50	8.53	6.26	5.72	5.20	5.90	4.45	وانادیم Vanadium
-	41.13	41.51	35.11	26.56	25.60	29.63	26.36	درجه آلودگی Degree of contamination



شکل ۲- مقادیر شاخص بار آلودگی فلزات در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Pollution load index of metals in soils of the study area.

جدول ۸- مقادیر شاخص زمین انباشت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 8. Geoaccumulation index values of heavy metals in soils of the study area.

میانگین Mean	ایستگاه نمونه‌برداری (Sampling Station)							فلز Heavy metal
	7	6	5	4	3	2	1	
1.83	3.20	3.10	2.87	0.81	0.85	1.50	0.47	کادمیم Cadmium
0.60	0.95	0.87	1.05	0.31	0.33	0.21	0.53	سرب Lead
1.40	1.70	1.33	1.26	1.12	1.27	1.52	1.60	نیکل Nickel
1.90	2.05	1.52	1.60	2.32	1.81	2.32	1.76	آرسنیک Arsenic
2.21	2.23	2.62	2.15	1.90	2.20	1.98	2.42	کروم Chromium
2.00	2.11	2.51	2.06	1.93	1.80	1.98	1.57	وانادیم Vanadium
-	2.00	2.04	1.83	1.40	1.38	1.58	1.40	میانگین Mean

جدول ۹- مقادیر فاکتور بالقوه خطر بوم‌شناختی (Er) و شاخص بالقوه خطر بوم‌شناختی تجمعی (RI) در نمونه‌های خاک مورد مطالعه.

Table 9. Potential ecological risk factor and aggregate potential ecological risk index values in soils of the study area.

میانگین Mean	ایستگاه نمونه‌برداری (Sampling station)							فلز Metal
	7	6	5	4	3	2	1	
210.90	408.75	387.5	330	78.75	81.25	127.5	62.5	کادمیم Cadmium
11.70	14.46	13.70	15.51	9.30	9.43	8.68	10.84	سرب Lead
20.02	24.41	18.90	17.95	16.32	18.13	21.60	22.82	نیکل Nickel
57.63	62.13	43	44.93	74.90	52.8	75	50.66	آرسنیک Arsenic
14.10	14.10	18.50	13.31	11.20	13.80	11.84	16.04	کروم Chromium
314.35	523.82	481.60	421.70	190.43	175.41	244.60	162.88	RI
خطر قابل توجه Considerable risk	خطر قابل توجه Considerable risk	خطر قابل توجه Considerable risk	خطر قابل توجه Considerable risk	متوسط Moderate risk	متوسط Moderate risk	متوسط Moderate risk	متوسط Moderate risk	درجه خطر بوم‌شناختی Potential ecological risk

جدول ۱۰- مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر با دستاورد پژوهش‌های مشابه.

Table 10. Comparison of the results obtained from the present study with the results of similar researches.

منابع References	غلظت فلزات metals concentration	شاخص ریسک اکولوژیک Er	درجه آلودگی اصلاح شده mCd	درجه آلودگی Cd	ضرب آلودگی Cf	فلزات مورد مطالعه The studied metals	منطقه مورد مطالعه The study area
مطالعه حاضر Present study	1.69-66.71	11.7-210.90	2.34-7.05	25.60-41.51	1.73-13.62	کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، جیوه، سلنیوم، کروم، باریم، وانادیم، آنتیموان، نقره و بریلیم Cd, Pb, Ni, As, Hg, Se, Cr, Ba, V, Sb, Ag and Be	نورالدین‌آباد گرمسار Nuruddin Abad, Garmsar
(۴۰)	1.22-26651.6	1.78-159.4	-	-	1-9.39	سرب، کادمیم، کروم و نیکل Fe, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni	مجتمع پردازش و بازیافت زیاله آرادکوه، ایران Aradkoh waste processing and recycling complex, Iran
(۴۱)	3.4-203.2	-	-	-	2.3-29.4	روی، سرب، کادمیم، نیکل و مس Zn, Pb, Cd and Cu	شهرک صنعتی روی زنجان Roy Zanjan industrial town
(۴۲)	1.4-246.86	0-85.6	-	-	0.53-875.20	مس، کادمیم، روی، سرب، کروم، نیکل و آرسنیک Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni and As	بخش مرکزی شهرستان بندرعباس Central part of Bandar Abbas city
(۴۳)	34.44-32873.73	-	0.069-5.56	0.49-8.34	0.51-8.34	سرب، نیکل، کروم، روی و آهن Pb, Ni, Cr, Zn and Fe	مجتمع فولاد اکسین خوزستان Khuzestan Axin Steel Complex

نتیجه‌گیری

تصفیه روغن (نورالدین‌آباد شهرستان گرمسار) در سال ۱۴۰۰ انجام شد. مقایسه میانگین محتوی فلزات شناسایی شده در نمونه‌های خاک مورد مطالعه با حدود مجاز استانداردهای کیفیت منابع خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (کاربری منابع طبیعی-)

این پژوهش با هدف شناسایی، تعیین و ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات کادمیم، سرب، نیکل، آرسنیک، کروم و وانادیم در نمونه‌های خاک سطحی محل دفع پسماندهای حاصل از فعالیت واحدهای

در درجه متوسط آلودگی و بقیه فلزات در درجه بالای آلودگی قرار دارد. علاوه بر این، با محاسبه فاکتور پتانسیل خطر بوم‌شناختی، مشخص شد که کادمیم و آرسنیک مهم‌ترین آلاینده‌های مسئول مخاطرات اکولوژیک بوده و روند تغییرات خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات منطقه به ترتیب سرب > کروم > نیکل > آرسنیک > کادمیم ارزیابی گردید. از طرفی، با توجه به این‌که میانگین مقدار خطر بوم‌شناختی تجمعی برابر با ۳۱۴/۳۵ بود، بنابراین خطر بالقوه بوم‌شناختی تجمعی فلزات در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در دسته "مخاطره بوم‌شناختی شدید" قرار داشت.

در پایان، باتوجه به مخاطرات فلزات سنگین بر سلامت انسان، برآورد مخاطره بوم‌شناختی شدید برای خاک مورد مطالعه و همچنین تجاوز میانگین غلظت تعدادی از ترکیبات شناسایی شده از حد مجاز استانداردهای محیط‌زیست؛ نسبت به شناسایی، تعیین محتوی و نظارت منظم و دوره‌ای این ترکیبات در محیط و تلاش برای کنترل منابع تولید آن‌ها توصیه می‌شود.

جنگل و مرتع) نشان می‌دهد که میانگین مقدار فلز سرب با غلظت برابر با ۶۶۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و مقدار فلز کادمیم با غلظت برابر با ۱/۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشتر از حدود مجاز آن‌ها (به ترتیب برابر با ۵۰ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) است. هم‌چنین میانگین مقادیر فلزات نیکل با غلظت برابر با ۲۸/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، آرسنیک با غلظت برابر با ۸/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، کروم با غلظت برابر با ۲۵/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و وانادیم با غلظت برابر با ۱۸/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کم‌تر از حدود مجاز آن‌ها (به ترتیب برابر با ۵۰، ۱۸، ۱۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است. فلزات جیوه، سلنیوم، باریم، آنتیموان، نقره و بریلیم نیز در نمونه خاک مورد مطالعه تشخیص داده نشد. علاوه بر این، کیفیت خاک سطحی منطقه مورد مطالعه طبق مقادیر درجه آلودگی از "درجه خیلی بالای آلودگی" در ایستگاه‌های ۱ تا ۵ تا "درجه فوق‌العاده بالای آلودگی" در ایستگاه‌های ۶ و ۷ و طبق مقادیر شاخص زمین انباشت از "غیرآلوده" تا "آلودگی شدید" متغیر بوده است. هم‌چنین نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی اصلاح شده نشان داد، وضعیت آلودگی سرب و نیکل

منابع

- Lotfi, Z., Mousavi, H. Z., & Sajjadi, S. M. (2020). Covalently bonded dithiocarbamate-terminated hyperbranched polyamidoamine polymer on magnetic graphene oxide nanosheets as an efficient sorbent for preconcentration and separation of trace levels of some heavy metal ions in food samples. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(74), 293-302. doi.org/10.1007/s11694-019-00291-5.
- Lotfi, Z., Mousavi, H. Z., & Sajjadi, S. M. (2016). Covalently bonded double-charged ionic liquid on magnetic graphene oxide as a novel, efficient, magnetically separable and reusable sorbent for extraction of heavy metals from medicine capsules. *RSC Advances*, 6(93), 90360-90370. doi.org/10.1039/C6RA19200A.
- Aali Pour, R., & Rang Zan, N. (2021). Effect of Mycorrhiza and Eggshell on Growth Parameters and Hazard Index of Basil (*Ocimum basilicum* L.) in Multi-metal Contaminated Soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(4), 1-27. [In Persian] doi:10.22069/EJSMS.2022.18790.2006.
- Ghasemian Sorboni, A., Sadegh Zadeh, F., Ghajar Sepanlu, M., Jalili, B., & Emadi, S. M. (2022). Leaching of Pb by dissolved organic carbon derived by sugarcane bagasse and poultry manure.

- Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12(1), 141-158. [In Persian] doi:10.22069/EJSMS. 2022.18623.1998.
5. Mirzakhani, E., Motaghian, H., & Hosseinpour, A. (2021). Effect of Bagasse Biochars and Sodium chloride Salinity on Fractionation and Availability of Cadmium in a coarse textured Calcareous Soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(3), 99-117. [In Persian] doi:10.22069/EJSMS. 2021.18515.1985
 6. Li, F., Kong, W., Zhao, X., & Pan, Y. (2020). Multifunctional TiO₂-based superoleophobic/ superhydrophilic coating for oil-water separation and oil purification. *ACS applied materials & interfaces*, 12(15), 18074-18083. doi.org/10.1021/acsami.9b22625.
 7. Ghaffariraad, M., & Ghanbarzadeh Lak, M. (2020). Modeling the effects of hydrological characteristics and design of municipal waste landfill on the leachate rate: a case study of Urmia city. *Iranian Journal of Health and Environment*, 13(2), 263-282. [In Persian]
 8. Pinheiro Pires, A. P., Arauzo, J., Fonts, I., Domine, M. E., Fernández Arroyo, A., Garcia-Perez, M. E., & Garcia-Perez, M. (2019). Challenges and opportunities for bio-oil refining: A review. *Energy & Fuels*, 33(6), 4683-4720. doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00039.
 9. Lotfi, Z., Mousavi, H. Z., & Sajjadi, S. (2017). A hyperbranched polyamidoamine dendrimer grafted onto magnetized graphene oxide as a sorbent for the extraction of synthetic dyes from foodstuff. *Microchim Acta*, 184, 4503-4512. doi.org/10.1007/s00604-017-2484-9.
 10. Haddad, A., Javdani, H., & Ebrhimpour, F. (2017). Identification and Stabilization of Dispersive Soils: Case Study of Water Transfer Canal of Simindasht-Garmsar. *Journal of Engineering Geology*, 11(1), 29-50. [In Persian] doi:10.18869/acadpub.jeg.11.1.29.
 11. Maleki, R., & Azhdari, S. S. (2022). Measuring the ambient air pollutants in Garmsar industrial district. *Journal of Air Pollution and Health*, 7(1), 51-60. [In Persian] doi.org/10.18502/japh.v7i1.8919.
 12. Lotfi, Z. (2022). Identification and determination of amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soil of Nuruddin Abad in Garmsar. *Iranian Journal of Health and Environment*, 15(3), 399-418. [In Persian]
 13. Lotfi, Z., Mousavi, H. Z., & Sajjadi, S. (2017). Nitrogen doped nano porous graphene as a sorbent for separation and preconcentration trace amounts of Pb, Cd and Cr by Ultrasonic assisted in-syringe dispersive micro solid phase extraction. *Applied organometallic chemistry*, 32(3), 1-12. doi.org/10.1002/aoc.4162.
 14. Habibi, S., Behrouzi, M., & Nohegar, A. (2022). Measurement and evaluation of heavy metal accumulation in soil and leaves of three tree species (*Azadirachta indica*, *Conocarpus Erectus* L. and *Prosopis juliflora*) in Bandar Abbas. *Journal of Environment Science*, 21(3), 267-288. [In Persian]
 15. Nabavi, S. N., Sajjadi, S. M., & Lotfi, Z. (2020). Novel magnetic nanoparticles as adsorbent in ultrasound-assisted micro-solid-phase extraction for rapid pre-concentration of some trace heavy metal ions in environmental water samples: desirability function. *Chemical papers* 74, 1143-1159. doi.org/10.1007/s11696-019-00954-z.
 16. Naghibi, S., Baghernejad, M., Abtahi, S., Mousavi, A., & Zarei, M. (2023). Evaluation of the effect of different land uses and soil physical and chemical characteristics on the amount of Lead in Shiraz urban watershed soils using geostatistics and digital soil mapping. *Journal of Watershed Management Research*, (Article in Press). [In Persian] doi:10.30466/JFRD.2023.54368.1628.
 17. Safari, Y. (2016). Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(2), 119-133. [In Persian] doi:10.22069/EJSMS. 2016.3146.

18. Safari, Y. (2018). Mapping the overall soil pollution by heavy metals using limitation scores. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(4), 56-70. [In Persian] **doi:10.22069/EJSMS.2017.9174.1552.**
19. Galangash, M. M. (2022). Zonation of heavy metal distribution of surface sediments in Anzali wetland Using Geographical Information System (GIS). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter, 7(4), 323-331.
20. Mirkazehi, Z., & Rezaei, M. (2019). The study of Heavy Metals deposited dust binding Khash City landfill. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(1), 1179-1184. [In Persian]
21. Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., & Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment international*, 88(4), 299-309. **doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017.**
22. Gilvari, S., Mazloumi Bajestani, A. R., Kashfi, S. A., & Rahim Del, H. R. (2020). Investigating the Pollution of Heavy Metals at the Bottom of Solid Waste Landfill in Yazd. *Journal of Environmental Geology*, 13(49), 21-35. [In Persian]
23. Karimian, S., Shekoohiyan, S., & Moussavi, G. (2021). Ecological risk assessment of heavy metals in landfill soil of Tehran and its adjacent residential area. *Iranian Journal of Health and Environment*, 13(4), 621-638. [In Persian]
24. Iranbakhsh, A., Hamdi, S., & Asadi, M. (2008). Flora, life forms and chorotypes of plants of Garmsar region in Semnan province. *Pajouhesh & Sazandegi*, 21(279), 179-199. [In Persian] **doi: sid.ir/paper/19284/en.**
25. Yousefifard, M., & Ayoubi, S. (2019). Trace elements contamination in the soils developed on some of igneous and sedimentary rocks in the northwest of Iran (Case study: west Azarbaijan province). *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable*, 9(2), 103-119. [In Persian] **doi:sid.ir/paper/209778/en.**
26. Rabieimesbah, A., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., & Lorestani, B. (2022). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil of agricultural lands in Hamedan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 15(1), 103-120. [In Persian]
27. Ebrahimi, Z., Wali, A., Qadawi, R., & Parast, H. (2018). Investigating the influence of soil texture components and the geometric mean of particle diameter on the spectral response of the soil surface (case study: part of Khatam desert, Yazd). *Quantitative geomorphology research*, 1(3), 115-28. [In Persian]
28. Herati, E., Mousavi, G. H., Nakhai, F., & Al-Islami, M. (2022). Study on the ecology of the desert flea-killing medicinal plant (*Pulicaria gnaphalodes* (Vent.) Boiss) in Noferst region of South Khorasan. *Plant Researches (Iranian Biology Magazine) (Scientific)*, 35(3), 556-75. [In Persian]
29. Aghkhani, M., Abbaspour Fard, M., & Lakzian, A. (2010). Estimation of Apparent Soil Electrical Conductivity Using Direct Contact Method. *Journal of Water and Soil*, 35(3) 556-575. [In Persian] **doi:10.22067/JSW.V0I0.5296.**
30. Arnold, K., & Page, A. (1986). Methods of soil analysis. pt. 1. Physical and mineralogical methods. *Agronomy (USA). no. 9.*
31. Mohammadi, S. M., Lorestani, B., Sobhan Ardakani, S., Cheraghi, M., & Tayebi, L. (2021). Source identification and ecological risk assessment of some heavy metals in surface soils collected from the vicinity of Arad-Kouh processing and disposal complex, Tehran, Iran. *Environmental Sciences*, 19(3), 1-22. [In Persian] **doi:10.52547/ENVS.2021.1005.**
32. Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., & Yörük, R. (1991). Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical geology*, 91(3), 269-285. **doi.org/10.1016/0009-2541(91)90004-B.**

33. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001. [doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
34. Mingtao, X., Yan, L., Jiayu, Y., Kaige, L., Yi, L., Feng, L., Daofu, Z., Xiaoqian, F., & Yu, C. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environmental Pollution* 278, 116911. doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116911.
35. Sabet Aghlidi, P., Cheraghi, M., Lorestani, B., Sobhanardakani, S., & Merrikhpour, H. (2020). Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: South of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 665-676. [In Persian] doi.org/10.1007/s40201-020-00492-x.
36. Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118. [doi:sid.ir/paper/618491/en](https://doi.org/10.1007/BF016491).
37. Yi, Y., Kimball, J. S., Jones, L. A., Reichle, R. H., & McDonald, K. C. (2011). Evaluation of MERRA land surface estimates in preparation for the soil moisture active passive mission. *Journal of Climate*, 24(15), 3797-3816. doi.org/10.1175/2011JCLI4034.1.
38. Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24(5), 499-510. doi.org/10.1002/ldr.2246.
39. Karimi Shooshtari, A., & Mohammadi Rouzbahani, M. (2022). Heavy metals concentrations (Ni/Pb/Cd) in Spinach (*Spinacia oleracea*) with Effect of Atmospheric Desiccation (Case Study: Upper Hand and Downstream of Ramin Ahvaz Power Plant). *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(1), 39-52. [In Persian] [doi:sid.ir/paper/1065028/en](https://doi.org/10.52547/ENVS.2021.1005).
40. Mohammadi, S. M., Lorestani, B., Sobhan Ardakani, S., Cheraghi, M., & Tayebi, L. (2021). Source identification and ecological risk assessment of some heavy metals in surface soils collected from the vicinity of Arad-Kouh processing and disposal complex, Tehran, Iran. *Environmental Sciences*, 19(3), 1-22. [In Persian] [doi:10.52547/ENVS.2021.1005](https://doi.org/10.52547/ENVS.2021.1005).
41. Yosefi, M., & Ayoubi, S. (2019). Trace elements contamination in the soils developed on some of igneous and sedimentary rocks in the northwest of Iran (Case study: west Azarbaijan province). *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(2), 103-119. [In Persian] [doi:sid.ir/paper/209778/en](https://doi.org/10.1007/BF016491).
42. Moghtaderi, T., Mahmoudi, SH., Shakeri, A., & Masihabadi, M. (2019). Contamination Evaluation, Health and Ecological risk index assessment of Potential Toxic Elements in the surface soils Case Study: Central Part of Bandar Abbas County. *Protection of water and soil resources (scientific-research)*, 8(4), 51-66. [In Persian] [doi:sid.ir/paper/232189/en](https://doi.org/10.1007/BF016491).
43. Sahipour, SH., & Sabzalipour, S. (2021). Study of Contamination of some Heavy Metals in Soils Around Khuzestan Oxin Steel Complex using Contamination Indices. *Animal Environment Quarterly*, 13(3) 8-391. [In Persian] [doi:10.22034/AEJ.2020.246116.2335](https://doi.org/10.22034/AEJ.2020.246116.2335).

