Journal of Research in Environmental Health
Volume 11, Issue 1, Spring 2025

Evaluation of Environmental Pollution Indices of Heavy Metals in Soil around Khuzestan Steel Co

Fatemeh Jafarian
Ph.D Student, Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Khoshnaz Payandeh
* Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
(Corresponding Author)
Khpayandeh@iau.ac.ir
Ahad Nazarpour
Department of Geology, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Ali Gholami
Water Studies Research Center, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Kamran Mohsenifar
Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: 2024/12/05
Accepted: 2025/03/19
Doi:10.22038/jreh.2025.26125

Abstract

Background and purpose: Heavy metal contamination in surface soils poses significant risks due to the potential for human exposure via inhalation, ingestion, and dermal contact. This study, conducted in 2022, assessed concentrations of arsenic (As), lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), cobalt (Co), and chromium (Cr) in surface soils surrounding Khuzestan Steel Company.

Materials and Methods: Surface soil sampling was performed at 50 systematically selected stations around Khuzestan Steel Co. and one control station. A total of 50 composite samples, each with three replicates, were collected. Heavy metal concentrations were measured using a Varian AA220Z atomic absorption spectrometer (Australia).

Results: In the area of Khuzestan Steel company, the highest average heavy metal values were for cobalt (13.02 mg kg^{-1}) and the lowest for cadmium (0.02 mg kg^{-1}). Cobalt and nickel values were higher than other metals in soil samples. The NIPI index for arsenic was 1.95 within the range and 1.84 outside the range, and for cobalt it was 1.43 within the range and 1.31 outside the range at low contamination levels, and for other heavy metals it was at a level without contamination. Environmental pollution indices, CF, Igeo, EF, and NIPI, indicate the absence of heavy metal contamination in the soils surrounding the Khuzestan Steel Co..

Conclusion: Soil near Khuzestan Steel Co. exhibited variable heavy metal concentrations, with the highest levels observed for Co and the lowest for Cd. Pollution index results suggest that natural geological and climatic factors influence soil contamination more than anthropogenic sources.

Keywords: Soil Pollution, Heavy Metal Toxicity, Environmental Pollution Indicators, Ecological Risk, Khuzestan Province

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy ofthis licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Citation: Jafarian F, Payandeh Kh, Nazarpour A, Gholami A, Mohsenifar K. Evaluation of Environmental Pollution Indices of Heavy Metals in Soil around Khuzestan Steel Co. *Iranian Journal of Research in Environmental Health.* Spring 2025; 11(1):111-129.

ارزیابی شاخص‌های آلودگی محیطی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان

فاطمه جعفریان
گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
خوشناز پاینده
* گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
(نویسنده مسئول)
Khpayandeh@iau.ac.ir
احد نظرپور
گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
علی غلامی
مرکز تحقیقات مطالعات آب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
کامران محسنی‌فر
گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۱۲/۲۹
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی به‌دلیل انتقال ترکیبات سمی به انسان از مسیرهای تنفسی، گوارشی و پوستی دارای اهمیت فراوانی می‌باشند. این تحقیق در سال ۱۴۰۱ با هدف بررسی آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم، نیکل، مس، روی، کبالت و کروم نمونه‌های خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: منطقه‌ی نمونه‌برداری خاک‌های سطحی اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان (۵۰ ایستگاه) و ۱ ایستگاه شاهد بود. در این تحقیق نمونه‌برداری بر اساس روش سیستماتیک با تعداد ۵۰ نمونه خاک با ۳ تکرار انجام شد. فلزات به‌وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی AA220Z ساخت شرکت واریان کشور استرالیا سنجش شدند.

یافته‌ها: در محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان، بالاترین میانگین مقادیر فلزات سنگین مربوط به کبالت (۱۳/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن نیز در مربوط به کادمیوم (۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده است. مقادیر کبالت و نیکل، در نمونه‌های خاک بیش از سایر فلزات به‌دست آمد. شاخص نمرو آرسنیک ۱/۹۵ درون محدوده و ۱/۸۴ خارج از محدوده و کبالت ۱/۴۳ درون محدوده و ۱/۳۱ خارج از محدوده در سطح آلودگی کم و برای سایر فلزات سنگین در سطح بدون آلودگی بود. شاخص‌های آلودگی محیطی فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی، فاکتور غنی‌سازی و شاخص نمرو حاکی از عدم آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نمونه‌های خاک کارخانه‌ی فولاد خوزستان دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین بودند که کبالت بالاترین و کادمیوم کمترین مقادیر را در خاک داشتند. بر اساس نتایج شاخص‌های آلودگی چنین می‌توان استنباط کرد که فرآیندهای زمین‌شناسی و اقلیمی تاثیر بالاتری در آلودگی خاک دارند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی خاک، سمیت فلزات سنگین، شاخص‌های آلودگی محیط‌زیست، خطر بوم‌شناسی، استان خوزستان

استناد: جعفریان ف، پاینده خ، نظرپور ا، غلامی غ، محسنی‌فرک. ارزیابی شاخص‌های آلودگی محیطی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان. *فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۴۰۴;۱۱(۱): ۱۱۱-۱۲۹.

مقدمه

پیشرفت فناوری، صنایع، کشاورزی و شهرنشینی، فلزات سنگین موجود در آب آشامیدنی، محصولات کشاورزی، موادغذایی، خاک‌های سطحی، منابع و اکوسیستم‌های آبی از حد توصیه شده و آستانه‌ی مجاز اعلام شده توسط سازمان‌های بین‌المللی و نهادهای ملی در سراسر جهان فراتر رفته است (۳-۱). منبع اصلی مواجهه انسان با فلزات سنگین از آب آشامیدنی، موادغذایی و خاک‌های سطحی آلوده است. اثرات آب آشامیدنی آلوده و موادغذایی به فلزات سنگین ازجمله آرسنیک، سرب، نیکل، کادمیوم و جیوه به‌تدریج مورد توجه انسان قرار گرفته است (۴،۵).

فلزات سنگین بر اساس عواملی مانند چگالی و وزن اتمی تعریف می‌شوند. برخی از فلزات سنگین به‌عنوان مواد مغذی در مقادیر کم برای انسان ضروری هستند مانند آهن، کبالت و روی که برای فرآیند بیولوژیکی انسان ضروری هستند، اما در مقادیر بالاتر سمی هستند و بسته به غلظت، دوره‌ی قرارگرفتن در معرض و مسیر ورود، اثرات خطرناک غیرمنتظره‌ای بر سلامت و سیستم فیزیولوژیکی دارند (۶)، اما فلزاتی مانند سرب، کادمیوم و جیوه حتی در مقادیر کم سمی هستند (۷). قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین در انسان از طریق استنشاق از اتمسفر، دریافت از طریق آب آشامیدنی و بلع از طریق پوست از طریق تماس پوستی صورت می‌گیرد (۸،۹). فلزات سنگین در حالت طبیعی به‌طور خود به خودی از بین نمی‌روند، علاوه بر این به‌تدریج و مرور زمان به ترکیبات خطرناک‌تری تبدیل می‌شوند (۱۰).

برخی از فلزات سنگین اما با توجه به مطالعات نشان می‌دهد که علی‌رغم اثرات مفیدی که بر سلامتی دارند، به‌عنوان عوامل سرطان‌زا عمل می‌کنند (۱۱). اشکال محلول این فلزات از طریق اشکال مختلف مانند آلاینده‌های خاک، آلاینده‌های آب‌وهوا که وارد زنجیره‌ی غذایی می‌شوند و در نهایت به انسان ختم می‌شوند، منجر به آسیب شدید به سیستم سلولی و در معرض ابتلا به سرطان می‌شوند. بر اساس گزارش‌های آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، فلزات سنگین غیرضروری جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم عامل اصلی سرطان‌زا هستند (۱۲). فلزات سنگین هم‌چنین می‌توانند با برخی از ترکیبات بدن مانند اکسیژن و کلرید واکنش دهند و اثرات سمی خود را اعمال کنند (۱۳). قرار گرفتن مداوم در معرض فلزات سنگین می‌تواند منجر به عدم تعادل در بدن شود، زمانی که فلزات سنگین در بدن انباشته می‌شوند، به‌عنوان جایگزینی برای عناصر ضروری استفاده می‌شوند. نمونه‌هایی از فلزات سنگین که جایگزین عناصر ضروری بدن انسان می‌شوند عبارتند از کلسیم جایگزین شده با سرب، روی با کادمیوم و اکثر عناصر کمیاب با آلومینیوم (۱۴). کادمیوم و روی دارای حالت اکسیداسیون یکسانی هستند، بنابراین کادمیوم می‌تواند جایگزین روی موجود در پروتئین گوگرد فلزی شود و باعث اختلالات متابولیسم روی شود که آن را به‌عنوان یک جاذب رادیکال آزاد در سلول‌ها مهار می‌کند (۱۵). علاوه بر این، تجمع فلزات سنگین، فرآیند متابولیک اصلی بدن انسان را از بین می‌برد و در عین‌حال منجر به عدم تعادل آنتی‌اکسیدان می‌شود. به‌طور مشابه، عملکرد آنزیم‌های ضروری و فعالیت هورمون‌های متعدد نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۶).

منابع آلودگی فلزات سنگین شامل فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی است (۲). خاک‌ها ممکن است فلزات سنگین را از مواد اصلی مانند آن‌هایی که از سنگ‌های غنی شده با فلز ازجمله سرپانتین و شیل سیاه به‌دست می‌آیند، دریافت کنند (۱۰). منابع انسانی آلودگی فلزات سنگین شامل استخراج معادن، ذوب، احتراق سوخت‌های فسیلی، دفع زباله، خوردگی و شیوه‌های کشاورزی است (۵). تحت شرایط محیطی متفاوت و معین، انتشار طبیعی فلزات سنگین رخ می‌دهد. چنین انتشاراتی شامل فوران‌های آتشفشانی، پراکنش نمک دریاها و اقیانوس‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، هوازدگی سنگ‌ها، منابع ذرات خاک ناشی از باد است. فرآیندهای هوازدگی طبیعی می‌تواند منجر به رها شدن فلزات از زیست‌بوم آن‌ها به بخش‌های مختلف محیطی شود (۳،۹).

انتشار گازهای گلخانه‌ای از فعالیت‌ها و منابعی مانند فعالیت‌های صنعتی، پسماندهای معادن، دفع ضایعات فلزی، بنزین سرب‌دار و رنگ، کاربرد کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی، کودهای حیوانی، لجن فاضلاب، آفت‌کش‌ها، آبیاری مزارع کشاورزی با پساب‌های شهری و روستایی، بقایای احتراق زغال سنگ و نشت مواد پتروشیمی منجر به آلودگی خاک می‌شود (۶). آلودگی به فلزات سنگین خاک‌ها به‌عنوان مخزن اصلی فلزات سنگینی هستند که توسط فعالیت‌های انسانی فوق‌الذکر

در محیط آزاد می‌شوند. بیشتر فلزات سنگین تحت تخریب میکروبی یا شیمیایی قرار نمی‌گیرند، زیرا تجزیه‌ناپذیر هستند و در نتیجه غلظت کل آن‌ها پس از رهاشدن در محیط برای مدت طولانی باقی می‌ماند (۹،۱۳). وجود فلزات سنگین در خاک به‌دلیل قرار گرفتن آن در زنجیره‌های غذایی یک موضوع جدی است و در نتیجه کل اکوسیستم را از بین می‌برد. به همان اندازه که آلاینده‌های آلی می‌توانند زیست تخریب‌پذیر باشند، با وجود فلزات سنگین در محیط، میزان تجزیه‌ی زیستی آن‌ها کاهش می‌یابد و این به نوبه خود آلودگی محیطی یعنی آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین موجود را دو برابر می‌کند (۱). روش‌های مختلفی وجود دارد که از طریق آن فلزات سنگین خطراتی را برای انسان، حیوانات، گیاهان و اکوسیستم‌ها به‌طور کلی ایجاد می‌کنند. این راه‌ها شامل بلع مستقیم، جذب توسط گیاهان، زنجیره‌های غذایی، مصرف آب آلوده و تغییر pH خاک، تخلخل، رنگ و شیمی طبیعی آن است که به نوبه‌ی خود بر کیفیت خاک تأثیر می‌گذارد (۸).

وایف[1] و همکاران (۲۰۲۲) میانگین غلظت جیوه و کادمیوم را در خاک‌های مناطق صنعتی معادن در ناحیه پریستا هونای والی[2]، کشور غنا به‌ترتیب ۲/۰۲ و ۱۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند که از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی فراتر رفت. این مطالعه نشان داد که نمونه‌های خاک و آب به فلزات سنگین به‌ویژه جیوه و کادمیوم آلوده شده‌اند (۱۷). هم‌چنین پینکور[3] و همکاران (۲۰۲۲) میانگین غلظت آرسنیک، مس، کروم، کبالت، کادمیوم، منگنز، نیکل، روی و وانادیوم نمونه‌های گردوغبار شهر کرونل کشور شیلی را به‌ترتیب ۱۶، ۱۰۷، ۳۸، ۱۲، ۰/۸، ۶۹۸، ۵۱، ۸۱۵ و ۱۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۱۸). در تحقیق دیگری الروبایی[4] و همکاران (۲۰۲۲) شاخص غنی‌سازی خاک واحدهای صنعتی و مسکونی شهر حله کشور عراق برای کروم، منگنز، نیکل، مس، روی، آرسنیک و سرب را به‌ترتیب ۳/۴۳، ۰/۷۴، ۶/۴۵، ۳/۹۵، ۵/۶۰، ۳/۴۴، ۱۱/۴۴ گزارش کردند. نتایج دسته‌بندی شاخص بار آلودگی یکپارچه، آلودگی بالایی را در مناطق صنعتی و مسکونی نشان داد. منابع اصلی آلودگی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه به‌عنوان منابع انسانی در نظر گرفته شده است (۱۹). در مطالعه‌ی دیگری در استان لیائونینگ کشور چین ژائو[5] و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که انباشت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شهرهای مختلف این استان از منابع مختلفی ازجمله هوازدگی مواد اولیه، ضایعات صنعتی، آبیاری فاضلاب و فعالیت‌های معدنی ناشی می‌شود. به‌طور کلی، سطح آلودگی فلزات سنگین در استان لیائونینگ در سطح کم خطر قرار داشت، اما هم‌چنان باید به خطر سلامتی فلزات سنگین و ورودی فلزات سنگین به خاک، به‌ویژه فلز کادمیوم توجه شود (۲۰).

به‌طور کلی خاک‌های سطحی شهر اهواز با توجه به استقرار صنایع کوچک و بزرگ نفت و گاز و پتروشیمی و کارخانه‌های فولادی نظیر شرکت فولاد خوزستان و بهره‌برداری و گسترش صنایع پایین‌دستی، توسعه‌ی شهرنشینی و حمل‌ونقل و تردد خودرویی، اهمیت زیادی برای بررسی غلظت آلاینده‌های معدنی و آلی دارند. تحقیقات متعددی در رابطه با آلودگی خاک به فلزات سنگین در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است (۱،۶،۸،۹،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰)، هم‌چنین در خاک‌های سطحی و گیاهان اطراف شرکت فولاد خوزستان نیز گزارش‌هایی ارائه شده است (۲۳-۲۱)، اما در این پژوهش با توجه به این‌که تاکنون تحقیق جامعی در رابطه با بررسی غلظت فلزات سنگین و شاخص آلودگی آن‌ها در خاک‌های سطحی صنایع فولاد صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت آلودگی منطقه از نظر فلزات سنگین انجام شد. هم‌چنین شاخص آلودگی آن‌ها در خاک‌های سطحی به‌منظور کاهش آلودگی منطقه و پیشنهاد راهکارهای مناسب ارزیابی گردید.

روش‌کار

منطقه‌ی مورد مطالعه

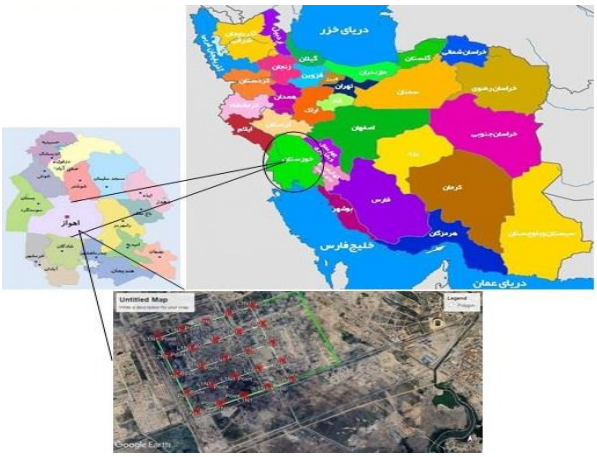
کارخانه‌ی فولاد خوزستان دومین قطب مهم تولید فولاد خام و میانی و بزرگترین عرضه‌کننده‌ی شمش فولاد در کشور می‌باشد که با وسعت ۳/۸ کیلومترمربع، در شهر اهواز، مرکز استان خوزستان در جنوب‌غربی کشور واقع شده است. کارخانه‌ی فولاد خوزستان در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. در این تحقیق

[1] Wiafe
[2] Prestea Huni-Valley
[3] Painecur
[4] Al-Rubaiee
[5] Zhao

منطقه‌ی نمونه‌برداری خاک‌های سطحی اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۱ ثانیه طول شرقی در شهر اهواز بود.

نمونه‌برداری

در این تحقیق انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس رویکرد شبکه و روش سیستماتیک انجام شد. نمونه‌های خاک با استفاده از مارپیچ دستی خاک[1] در ۵۰ ایستگاه محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان و ۱ منطقه خارج از محدوده به‌عنوان شاهد (جهت سنجش فلزات از نمونه خاک بکر و بدون آلودگی جهت استفاده در محاسبه شاخص‌های آلودگی) در فصل تابستان سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری شدند. در مجموع ۵۰ نمونه خاک تهیه شدند. مختصات مکان‌های مختلف نمونه‌برداری با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی گرفته شد (**شکل ۱**). نمونه خاک سه تکرار از هر مکان جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلن زیپ‌لاک تمیز و با برچسب مشخص قرار داده و برای خشک‌کردن، آسیاب و الک و آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلنی، در دمای خنک آزمایشگاه و دور از نور مستقیم خورشید در دوره‌ی زمانی کوتاه نگهداری شدند و باید توجه داشت که حداکثر زمان برای نگهداری نمونه‌های خاک وجود ندارد (۲۴).



شکل ۱. محل‌های نمونه‌برداری خاک محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

سنجش فلزات سنگین

ابتدا نمونه‌های خاک را از الک با چشمه ۲ میلیمتری عبور داده و با استفاده از هاون چینی خاک ساییده شده و به‌صورت پودر نرمی جهت آزمایش درآورده، سپس به‌میزان ۰/۵ گرم جهت آزمایش توزین شد. جهت هضم شیمیایی نمونه‌های خاک ۰/۵ گرم نمونه خاک توزین شده، سپس ۳ قطره اسیدکلریدریک ۱ نرمال به آن اضافه کرده و ۵ سی‌سی تیزاب سلطانی به آن اضافه شده و محلول روی هیتر قرار داده شد. سپس ۳ سی‌سی اسیدپرکلریک به آن اضافه و حرارت‌دادن تا نزدیک خشک‌شدن، ادامه داده شد. سپس محلول را با اسیدکلریدریک ۱ نرمال به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در روش تفکیک شیمیایی تک مرحله‌ای ۲ گرم از نمونه خشک را به داخل ارلن مایر ریخته و به آن ۱۵ سی‌سی اسیدکلریدریک ۰/۵۳ نرمال اضافه کرده، پس از آن ارلن مایر را به‌مدت ۳۰ دقیقه به دستگاه تکان‌دهنده وصل نموده و سپس آن را فیلتر کرده و با اسیدکلریدریک ۱ نرمال به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد (۲۵). فلزات به‌وسیله دستگاه جذب اتمی AA220Z ساخت شرکت واریان کشور استرالیا سنجش شدند. در این دستگاه حد تشخیص[2] فلزات آرسنیک، کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس، روی و کبالت به‌ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۰۲، ۰/۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. هم‌چنین طول موج[3] فلزات آرسنیک، کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس، روی و کبالت به‌ترتیب ۱۹۳/۷، ۲۲۸/۸، ۲۸۳/۳، ۲۳۲، ۳۵۷/۹، ۳۲۴/۷، ۲۱۳/۹ و ۲۴۰/۷ نانومتر بود.

شاخص‌های آلودگی

شاخص زمین انباشتگی[4]

یکی از شاخص‌های مفید برای مطالعه وضعیت تجمع عناصر سنگین در خاک، استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر می‌باشد که بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد. در این رابطه Igeo شاخص تجمع و یا شاخص شدت آلودگی در منطقه مورد مطالعه، Log_2 لگاریتم در پایه دو، Cn غلظت آلاینده مورد نظر در خاک، ۱/۵ ضریب تصحیح تأثیر لیتوژنیکی مقدار غلظت زمینه می‌باشد. بر اساس این شاخص هفت رده غیرآلوده (۰>)، غیرآلوده تا آلودگی متوسط (۱-۰)، آلودگی متوسط (۲-۱)، آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد (۳-۲)، آلودگی زیاد (۴-۳)، آلودگی زیاد تا

[1] Soil Auger

[2] Instrument Detection Limit
[3] Wave length
[4] Index of Geoaccumulation

بسیار زیاد (۵-۴) و آلودگی بسیار زیاد (۵<) وجود دارد (۲۶).

رابطه ۱: $$Igeo = Log2\left(\frac{Cn}{1.5Bn}\right)$$

فاکتور آلودگی[1]

جهت تعیین پتانسیل آلودگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلایندگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی خاک به کمک رابطه ۲ محاسبه شد که در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Cn غلظت عنصر در نمونه آلوده و Bn غلظت همان عنصر در نمونه زمینه یا غلظت طبیعی منطقه می‌باشند. بر اساس فاکتور آلودگی چهار سطح رده‌بندی شامل آلودگی کم (CF<۱)، آلودگی متوسط (۳>CF>۱)، آلودگی زیاد (۶>CF>۳) و آلودگی بسیار زیاد (CF>۶) وجود دارد (۲۷).

رابطه ۲: $$CF = \frac{Cn}{Bn}$$

فاکتور غنی‌شدگی[2]

فاکتور غنی‌شدگی در تحلیل‌های زیست محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تاثیر عوامل انسانی و طبیعی است که از رابطه ۳ محاسبه شد. در این رابطه $\text{Sample}\left(\frac{Cx}{Cref}\right)$ نسبت غلظت فلز مورد نظر (اندازه‌گیری شده در خاک) به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه، $\text{Background}\left(\frac{Cx}{Cref}\right)$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در مقادیر زمینه می‌باشد. اگر فاکتور غنی-شدگی عنصر مورد نظر کمتر از ۱ باشد آن عنصر منشا طبیعی دارد و در صورتی که بین ۱ تا ۱۰ باشد عنصر هم منشا طبیعی و هم منشا آنتروپوژنیک خواهد داشت و در حالی‌که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشا آلودگی عنصر مورد نظر عمدتا عوامل انسانی است. درجه غنی‌شدگی فلزات مختلف بر اساس پنج گروه طبقه‌بندی آلودگی کم (EF<۲)، آلودگی متوسط (۵>EF≥۲)، آلودگی زیاد (۲۰>EF≥۵)، آلودگی بسیار زیاد (۴۰>EF≥۲۰)، آلودگی به‌شدت زیاد (EF≥ ۴۰) بررسی می‌شود (۲۷).

رابطه ۳: $$EF=\frac{\left(\frac{Cx}{Cref}\right)\text{Sample}}{\left(\frac{Cx}{Cref}\right)\text{Background}}$$

شاخص آلودگی[3]

شاخص آلودگی جهت ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد و از رابطه ۴ محاسبه شده است که در این رابطه Cn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه، Bn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه‌ی شاهد می‌باشد. این شاخص در چهار گروه غیرآلوده (PI≤۱)، آلودگی کم (۲≥PI>۱)، آلودگی متوسط (۳≥PI>۲) و آلودگی شدید (PI>۳) طبقه‌بندی می‌شود (۲۷).

رابطه ۴: $$PI = \frac{Cn}{Bn}$$

شاخص آلودگی نمرو[4]

این شاخص ریسک آلودگی همه فلزاتی که در منطقه مورد مطالعه هستند را مشخص می‌کند. این شاخص به کمک رابطه ۵ محاسبه شد که PI_{max}، ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین و PI_{iave} میانگین مقدار شاخص آلودگی هر کدام از فلزات سنگین می‌باشد. بر اساس شاخص آلودگی نمرو کیفیت خاک در پنج سطح خاک بدون آلودگی (NIPI≤۰/۷)، خطر هشدار آلودگی (۰/۷<NIPI≤۱)، سطح آلودگی کم (۲≥NIPI>۱)، سطح متوسط آلودگی (۳ ≥NIPI>۲)، سطح بالای آلودگی (NIPI>۳) طبقه‌بندی می‌شود (۲۷).

رابطه ۵: $$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{i\max}{}^2 + PI_{iave}{}^2}{2}}$$

پتانسیل ریسک اکولوژیک[5]

شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه شد. در این رابطه‌ها CF همان فاکتور آلودگی فلزات است که قبلا محاسبه شده، E_rپتانسیل ریسک اکولوژیک هر عنصر مورد بررسی، T_r شاخص سمی‌بودن فلزات سنگین نام دارد که به‌ترتیب برای کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به‌ترتیب ۳۰، ۱۰، ۵، ۵، ۵، ۲ و ۱ ارائه شده است. مجموع شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک همه‌ی فلزات مورد مطالعه تحت عنوان RI ارائه می‌شود. سطح آلودگی بر اساس پتانسیل ریسک اکولوژیک در پنج گروه متفاوت شامل ریسک اکولوژیکی کم (Er<۴۰)، ریسک اکولوژیکی متوسط (۴۰≤ Er<۸۰)، ریسک اکولوژیکی قابل توجه (۸۰≤ Er<۱۶۰)، ریسک اکولوژیکی زیاد (۱۶۰≤Er<۳۲۰)، ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد (Er≥۳۲۰) تعریف می‌شوند. سطح آلودگی نیز بر اساس شاخص ریسک در چهار گروه ریسک اکولوژیکی کم

[1] Contamination Factor
[2] Enrichment Factor
[3] Pollution Index
[4] Nemro Integrated Pollution Index
[5] Potential Ecological Risk

(RI<۱۵۰)، ریسک اکولوژیکی متوسط (۱۵۰≤RI<۳۰۰)، ریسک اکولوژیکی قابل توجه (۳۰۰≤RI<۶۰۰) و ریسک اکولوژیکی زیاد (RI≥۶۰۰) طبقه‌بندی می‌شود (۲۷).

رابطه ۶: $$E_r = T_r \times C_f$$

رابطه ۷: $$RI = \sum_{i=1}^{m} E_r$$

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و رسم جدول‌ها و محاسبات مربوط به معادلات شاخص‌های آلودگی محیطی از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد. مقایسه‌ی آماری بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمک تحلیل واریانس یک‌طرفه[1] و داده‌های توصیفی به کمک Descriptive انجام شد.

یافته‌ها

نتایج سنجش فلزات سنگین در محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در **جدول ۱** ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که در اغلب نقاط نمونه‌برداری، میانگین کبالت بیش از سایر فلزات سنگین بوده است. میانگین کبالت در ۵ ناحیه نمونه‌برداری ۱۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کمترین متوسط مقادیر فلزات سنگین نیز مربوط به کادمیوم به‌میزان ۰/۰۱۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شده است.

نتایج محاسبه‌ی فاکتور آلودگی در **جدول ۲** ارائه شده است. مقایسه مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان نشان می‌دهد، متوسط مقادیر شاخص برای تمامی فلزات سنگین در محدوده‌ی غیرآلوده (کمتر از ۱) بوده است. بیشترین میزان آلودگی مربوط به کبالت (۰/۶۵ در محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان و ۰/۷۲ خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان) بوده است. بیشترین سطح آلودگی در نمونه‌های L6N4، L7N2، L8N1 و L10N1 به میزان ۱/۱۲، ۱/۲۰، ۱/۰۶ و ۱/۲۲ بوده است. نتایج شاخص فاکتور آلودگی نشان‌دهنده‌ی سطح آلودگی پایین در نمونه‌های خاک بوده است (**جدول ۲**).

نتایج محاسبه‌ی ریسک محیط‌زیستی در **جدول ۳** ارائه شده است. مقایسه مقادیر شاخص ریسک محیط‌زیستی در محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان نشان می‌دهد که بالاترین سطح ریسک اکولوژیک مربوط به نیکل در خارج از محدوده به‌میزان ۰/۱۷۳ و نیز کادمیوم و آرسنیک درون محدوده مجتمع فولاد خوزستان به‌میزان ۰/۱۶۷ و ۰/۱۴۶ بوده است.

نتایج محاسبه شاخص زمین انباشتگی برای فلزات سنگین در نمونه‌های سنجش شده در محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در **جدول ۴** ارائه شده است. بر اساس نتایج، تمامی نمونه‌ها کمتر از صفر و خاک، فاقد آلودگی بوده است. بیشترین سطح زمین انباشتگی مربوط به کبالت می‌باشد. مقادیر شاخص در نمونه‌های درون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان ۱/۳۶- و در نمونه‌های خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان، ۱/۲۰- بوده است.

نتایج محاسبه شاخص فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سنگین در نمونه‌های خاک در محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در **جدول ۵** ارائه شده است. مقایسه میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سنگین در محل‌های نمونه‌برداری نشان داد که بیشترین و کمترین سطح شاخص مربوط به عنصر کبالت به‌میزان ۳/۴۹ درون محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان و ۳/۸۹ خارج از محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان بوده است.

نتایج محاسبه شاخص نمرو در نمونه‌های خاک در محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در **جدول ۶** ارائه شده است. مقایسه نتایج برآورد شاخص نمرو نشان می‌دهد میزان آلودگی خاک برای آرسنیک (۱/۹۵ درون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان و ۱/۸۴ خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان) و کبالت (۱/۴۳ درون محدوده و ۱/۳۱ خارج از محدوده) در سطح آلودگی کم (۱<NIPI≤۲) و برای سایر فلزات سنگین، در سطح بدون آلودگی بوده است.

[1] ANOVA One Way

جدول ۱. غلظت فلزات سنگین خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

محدوده	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	L1N1	۰/۱۴۸۳	۰/۰۱۸۲	۷/۱۳۱۱	۰/۷۵۶۶	۰/۵۶۵۷	۰/۰۶۵۹	۰/۰۲۴۲	۰/۷۸۸۶۶
	L1N2	۰/۱۴۷۳	۰/۰۱۷۷	۱۳/۵۱۲۰	۰/۸۳۱۶	۰/۳۲۱۷	۰/۴۵۸۵	۰/۱۳۸۶	۰/۴۵۷۶
	L1N3	۰/۲۰۳۳	۰/۰۱۶۳	۸/۱۹۴۱	۰/۸۶۸۷	۰/۵۸۷۴	۰/۴۴۵۷	۰/۰۱۹۴	۰/۵۸۶۲
	L1N4	۰/۱۴۳۲	۰/۰۱۱۸	۲/۹۸۷۰	۰/۴۸۰۴	۰/۴۶۸۵	۱/۱۴۵۲	۰/۱۲۲۳	۰/۹۶۱۵
	L1N5	۰/۱۴۳۲	۰/۰۱۱۸	۵/۵۸۷۰	۰/۷۸۰۴	۰/۴۳۵۵	۱/۱۱۵۲	۰/۰۲۲۳	۰/۹۶۱۵
	L2N1	۰/۶۲۲۲	۰/۰۱۶۷	۴/۱۵۱	۰/۵۰۱۴	۰/۶۱۲۶	۱/۶۶۰۴	۰/۰۶۹۵	۱/۳۵۳۶
	L2N2	۰/۱۵۴۳	۰/۰۲۰۷	۱۰/۲۹۰۶	۰/۷۵۰۱	۰/۳۷۷۴	۰/۵۸۹۳	۰/۲۰۶۷	۰/۷۴۶۶
	L2N3	۰/۱۲۸۴	۰/۰۱۶۸	۱۶/۵۹۸۶	۰/۵۵۸۴	۰/۷۴۲۷	۲/۶۳۱۵	۰/۰۳۹۲	۰/۷۵۸۵
	L2N4	۰/۵۶۹۷	۰/۰۱۲۴	۱۴/۴۸۰۸	۰/۴۶۷۵	۰/۵۹۲۳	۰/۹۷۹۱	۰/۰۹۸۸	۱/۲۲۲۳
	L2N5	۰/۱۲۵۴	۰/۰۱۶۵	۱۵/۵۹۸۶	۰/۵۱۸۴	۰/۶۴۲۷	۲/۳۳۱۵	۰/۰۳۵۲	۰/۳۵۸۵
	L3N1	۰/۱۹۵۶	۰/۰۲۰۱	۱۵/۶۳۵۵	۰/۷۳۷۵	۰/۳۳۵۵	۱/۵۳۱۵	۰/۱۲۰۹	۰/۹۹۲۱
	L3N2	۰/۲۳۲۴	۰/۰۲۳۳	۲۱/۱۴۹۹	۰/۶۸۳۵	۰/۴۳۸۲	۱/۴۵۷۸	۰/۱۵۹۴	۱/۲۱۲۴
	L3N3	۰/۲۰۷۳	۰/۰۲۶۳	۸/۲۰۹۹	۰/۶۱۴۵	۰/۴۵۵۸	۲/۳۲۲۶	۰/۰۴۷۵	۰/۹۹۴۳
	L3N4	۰/۱۴۰۴	۰/۰۲۱۲	۴/۱۴۹۶	۰/۸۴۶۹	۰/۲۴۸۸	۱/۱۸۶۸	۰/۲۵۲۷	۰/۹۰۳۸
	L3N5	۰/۰۹۵۱	۰/۰۱۸۶	۱۱/۲۳۵۱	۰/۶۳۰۶	۰/۵۴۱۸	۲/۳۹۰۳	۰/۰۶۱۱	۱/۳۳۳۲
	L4N1	۰/۳۳۴۵	۰/۰۰۸۲	۷/۱۰۴۹	۰/۹۱۱	۰/۸۶۲۶	۰/۷۶۹۰	۰/۰۸۸۲	۰/۸۴۹۶
	L4N2	۰/۰۹۸۱	۰/۰۱۹۶	۱۱/۲۳۷۱	۰/۶۷۰۶	۰/۵۵۱۸	۲/۷۹۰۷	۰/۰۶۵۲	۱/۳۳۳۲
	L4N3	۰/۱۰۶۸	۰/۰۱۴۷	۱۰/۶۰۰۵	۱/۱۰۶۴	۰/۹۰۵۴	۰/۷۹۶۵	۰/۱۲۷۱	۰/۵۳۰۶
	L4N4	۰/۱۸۶۳	۰/۰۱۷۴	۲۲/۸۰۰۲	۱/۳۹۷۹	۱/۰۴۰۱	۰/۵۷۲۲	۰/۱۴۰۷	۰/۷۳۱۱
	L4N5	۰/۱۱۶۸	۰/۰۱۳۷	۱۰/۸۱۰۵	۱/۱۱۵۴	۰/۸۵۵۴	۰/۷۶۵۵	۰/۱۲۳۱	۰/۶۲۰۶
	L5N1	۰/۲۱۶۹	۰/۰۱۵۹	۶/۲۳۲۶	۱/۲۰۳۱	۱/۰۳۵۲	۰/۶۴۹۳	۰/۰۶۱۷	۰/۸۵۶۳
	L5N2	۰/۱۶۰۷	۰/۰۲۲۸	۱۸/۴۰۷۲	۰/۷۸۱۲	۰/۴۰۱۵	۰/۱۹۱۶	۰/۰۸۲۲	۰/۹۷۳۸
	L5N3	۰/۳۱۵۷	۰/۰۸۱۸	۱۴/۱۷۲۹	۱/۰۷۴۲	۰/۸۹۴۴	۰/۹۸۵۴	۰/۱۴۴۷	۰/۸۲۸۵
	L5N4	۰/۰۳۳۵	۰/۰۱۷۱	۱۶/۷۴۰۴	۰/۵۹۹۹	۰/۳۹۷۸	۳/۳۰۵۰	۰/۱۶۱۳	۱/۳۹۶۰
	L5N5	۰/۲۱۳۵	۰/۰۱۸۱	۱۶/۵۴۰۴	۰/۵۵۰۹	۰/۳۷۷۸	۲/۳۰۵۰	۰/۱۱۱۲	۱/۳۸۶۰
	L6N1	۰/۱۵۱۸	۰/۰۲۳۷	۱۴/۴۷۹۱	۱/۳۶۰۱	۱/۰۶۰۷	۱/۰۲۳۶	۰/۱۲۷۹	۰/۹۵۹۴
	L6N2	۰/۳۲۱۹	۰/۰۱۵۷	۱۶/۷۵۶۸	۰/۴۹۵۸	۰/۴۷۶۵	۱/۵۱۶۲	۰/۱۵۶۶	۱/۱۱۰۸
	L6N3	۰/۲۰۴۴	۰/۰۱۴۴	۱۵/۱۰۱۴	۱/۲۳۱۰	۰/۷۷۴۳	۱/۱۱۰۲	۰/۱۱۳۹	۰/۷۴۱۷
	L6N4	۰/۲۲۹۲	۰/۰۲۲۲	۳۲/۴۷۰۸	۱/۲۳۳۹	۰/۹۱۰۳	۰/۸۶۲۴	۰/۰۳۴۰	۱/۱۶۱۱
	L6N5	۰/۲۱۳۲	۰/۰۱۸۸	۱۶/۱۳۲۲	۱/۳۵۰۱	۱/۱۵۸۵	۱/۱۰۰۳	۰/۱۰۲۳	۰/۸۴۳۱
	L7N1	۰/۳۸۷۴	۰/۰۰۵۵	۱۹/۵۹۸۳	۰/۸۶۹۴	۰/۹۲۲۶	۰/۶۹۷۰	۰/۰۶۳۷	۰/۷۳۸۴
	L7N2	۰/۱۷۹۲	۰/۰۱۶۲	۲۴/۰۳۱۷	۱/۲۷۲۰	۰/۶۸۷۸	۰/۱۹۳۰	۰/۰۲۱۷	۱/۱۸۲۳
	L7N3	۰/۱۰۳۱	۰/۰۲۰۴	۶/۹۸۷۳	۱/۰۹۵۷	۰/۷۹۹۵	۱/۰۸۸۳	۰/۱۲۱۲	۰/۷۶۳۴
	L7N4	۰/۲۷۴۹	۰/۰۸۷۹	۱۲/۳۳۰۵	۱/۱۹۴۰	۱/۱۶۲۵	۰/۸۱۷۳	۰/۱۷۰۸	۰/۸۶۲۲
	N7N5	۰/۲۵۵۹	۰/۰۳۴۲	۱۲/۳۱۰۳	۰/۹۸۹۵	۰/۸۷۷۷	۰/۹۸۱۵	۰/۰۱۲۱	۰/۷۸۴۳
	L8N1	۰/۰۳۳۰۱	۰/۰۱۴۷	۲۱/۳۰۸۳	۰/۵۵۳۲	۰/۴۰۷۴	۰/۴۹۹۳	۰/۱۶۳۲	۱/۰۶۸۶
	L8N2	۰/۴۲۴۳	۰/۰۱۰۰	۶/۹۳۱۷	۰/۵۵۳۸	۰/۵۱۳۱	۱/۵۸۲۶	۰/۰۹۹۸	۱/۰۶۹۴
	L8N3	۰/۴۱۷۰	۰/۰۱۲۳	۱۱/۶۱۰۵	۰/۴۲۷۴	۰/۵۳۲۹	۲/۴۶۷۳	۰/۱۸۷۵	۰/۷۸۱۴
	L8N4	۰/۰۴۷۶	۰/۰۱۱۹	۱۷/۶۱۹۹	۰/۳۶۷۶	۰/۳۴۴۸	۱/۹۲۸۲	۰/۱۸۷۱	۰/۹۰۲۹
	L8N5	۰/۵۲۴۳	۰/۰۱۰۰	۸/۹۳۱۷	۰/۵۵۳۲	۰/۵۲۳۱	۱/۵۲۲۶	۰/۰۹۵۸	۱/۰۶۸۴
	L9N1	۰/۶۲۷۰	۰/۰۱۳۸	۹/۴۷۶۳	۰/۵۵۲۳	۰/۷۰۶۹	۰/۸۳۳۶	۰/۱۸۹۷	۱/۰۷۷۴
	L9N2	۰/۱۷۲۸	۰/۰۴۵۴	۱۳/۹۷۲۴	۰/۷۳۸۷	۰/۵۹۴۲	۰/۶۶۱۸	۰/۱۴۲۰	۰/۹۲۶۳
	L9N3	۰/۵۴۳۳	۰/۰۱۴۸	۷/۸۵۵۸	۰/۳۹۷۳	۰/۵۷۶۰	۰/۸۴۹۹	۰/۱۰۰۵	۱/۲۱۵۸
	L9N4	۰/۲۰۴۸	۰/۰۱۹۴	۱۷/۶۳۳۷	۰/۶۸۸۸	۰/۳۳۶۴	۱/۴۶۷۹	۰/۰۹۷۸	۰/۵۴۳۸
	L9N5	۰/۲۰۴۳	۰/۰۱۸۴	۱۷/۶۲۳۷	۰/۶۸۵۶	۰/۱۲۶۴	۱/۴۶۳۵	۰/۰۹۵۸	۰/۵۴۳۶
	L10N1	۰/۵۴۲۲	۰/۰۱۷۷	۲۴/۴۰۳۷	۰/۳۴۱۳	۰/۴۸۴۳	۰/۹۲۶۸	۰/۱۰۶۹	۰/۹۸۹۱
	L10N2	۰/۱۶۳۳	۰/۰۲۳۴	۹/۴۳۳۰	۰/۷۷۷۸	۰/۲۷۴۲	۰/۸۸۸۳	۰/۱۱۷۷	۰/۷۵۴۸
	L10N3	۰/۱۸۸۹	۰/۰۲۴۰	۴/۴۸۵۹	۰/۸۳۵۴	۰/۴۰۵۳	۰/۸۱۴۴	۰/۱۶۹۴	۰/۸۳۳۶
	L10N4	۰/۵۸۶۵	۰/۰۱۱۶	۱۶/۹۱۰۵	۰/۴۸۳۱	۰/۵۸۰۸	۱/۰۲۲۴	۰/۱۵۹۰	۱/۳۲۳۵
	L10N5	۰/۱۵۳۳	۰/۰۸۷۴	۹/۴۳۸۰	۰/۷۸۷۸	۰/۲۵۴۲	۰/۸۸۵۳	۰/۱۱۵۷	۰/۷۳۴۸
خارج محدوده کارخانه‌ی	5KAN1	۰/۰۴۶۱	۰/۰۱۷۱	۱۸/۰۷۱۸	۰/۶۵۳۸	۰/۵۲۱۵	۲/۱۱۰۹	۰/۲۰۵۰	۱/۴۶۸۷
	5KAN2	۰/۰۷۵۰	۰/۰۱۳۱	۱۰/۳۰۱۱	۰/۵۲۵۴	۰/۲۶۵۹	۱/۸۶۸۴	۰/۱۶۱۴	۱/۱۳۴۲
	5KAN3	۰/۰۴۷۱	۰/۰۱۶۸	۱۵/۰۷۱۸	۰/۶۱۳۸	۰/۴۸۲۵	۱/۸۱۰۹	۰/۲۱۱۰	۱/۲۴۳۲
	5KBN1	۰/۲۰۳۵	۰/۰۱۵۳	۴/۳۹۷۱	۰/۶۶۹۵	۰/۱۷۸۷	۲/۰۵۳۱	۰/۰۷۹۳	۰/۹۲۷۷

فولاد خوزستان	5KBN2	۰/۱۲۷۶	۰/۰۱۶۶	۱۹/۶۳۹۹	۱/۳۵۲۵	۱/۰۱۲۹	۱/۱۳۴۳	۰/۱۴۴۴	۰/۶۳۰۹
	5KBN3	۰/۱۳۵۶	۰/۰۱۳۲	۱۹/۶۳۲۰	۰/۸۵۲۵	۱/۱۱۲۹	۱/۴۳۲۳	۰/۳۲۴۴	۰/۸۵۰۴

جدول ۲. فاکتور آلودگی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

محدوده	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	L1N1	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۴۶	۰/۳۵۶۵	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۳۹
	L1N2	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۴۵	۰/۶۷۵۶	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۲
	L1N3	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۴۱	۰/۴۰۹۷	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۲۹
	L1N4	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۳۰	۰/۱۴۹۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۴	۰/۰۲۲۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۸
	L1N5	۰/۰۰۸۴	۰/۰۳۰	۰/۲۷۹۳	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۶۹	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۴۸
	L2N1	۰/۰۳۶۶	۰/۰۰۴۲	۰/۲۰۷۵	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۹۷	۰/۰۳۳۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۷
	L2N2	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۵۳	۰/۵۱۴۵	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۳۷
	L2N3	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۴۳	۰/۸۲۹۹	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۱۷	۰/۰۵۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۷
	L2N4	۰/۰۳۳۵	۰/۰۰۳۱	۰/۷۲۴۰	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶۱
	L2N5	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۴۲	۰/۷۷۹۹	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۰۲	۰/۰۴۶۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۷
	L3N1	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۵۱	۰/۷۸۱۷	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۳۰۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۹
	L3N2	۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۵۹	۱/۰۵۷۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۶۹	۰/۰۲۹۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶۰
	L3N3	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۶۷	۰/۴۱۰۴	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۷۲	۰/۰۴۶۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۹
	L3N4	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۵۴	۰/۲۰۷۴	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۲۳۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۴۵
	L3N5	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۴۷	۰/۵۶۱۷	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۸۶	۰/۰۴۷۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۶
	L4N1	۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۲۱	۰/۳۵۵۲	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۲
	L4N2	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۰	۰/۵۶۱۸	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۸۷	۰/۰۵۵۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۶
	L4N3	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۳۷	۰/۵۳۰۰	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۵۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۶
	L4N4	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۴۴	۱/۱۴۰۰	۰/۰۲۱۸	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۶
	L4N5	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۳۵	۰/۵۴۰۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۱
	L5N1	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۴۰	۰/۳۱۱۶	۰/۰۱۸۷	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۲
	L5N2	۰/۰۰۹۴	۰/۰۰۵۸	۰/۹۲۰۳	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۸
	L5N3	۰/۰۱۸۵	۰/۰۲۰۹	۰/۷۰۸۶	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۹۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۱
	L5N4	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۴۳	۰/۸۳۷۰	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۶۳	۰/۰۶۶۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶۹
	L5N5	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۴۶	۰/۸۲۷۰	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۵۹	۰/۰۴۶۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶۹
	L6N1	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۶۰	۰/۷۲۳۹	۰/۰۲۱۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۷
	L6N2	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۴۰	۰/۸۳۷۸	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۵	۰/۰۳۰۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۵
	L6N3	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۳۶	۰/۷۵۵۰	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۲۲	۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۳۷
	L6N4	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۵۶	۱/۱۲۳۵	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵۸
	L6N5	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۴۸	۰/۸۰۶۶	۰/۰۲۱۰	۰/۰۱۸۳	۰/۰۲۲۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴۲
	L7N1	۰/۰۲۲۷	۰/۰۰۱۴	۰/۹۷۹۹	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۶
	L7N2	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۴۱	۱/۲۰۱۵	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۵۹
	L7N3	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۵۲	۰/۳۴۹۳	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۲۶	۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۳
	L7N4	۰/۰۱۶۱	۰/۰۲۲۵	۰/۶۱۶۵	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۸۴	۰/۰۱۶۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۴۳
	N7N5	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۸۷	۰/۶۱۵۵	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۳۹
	L8N1	۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۳۷	۱/۰۶۵۴	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۳
	L8N2	۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۲۵	۰/۳۴۶۵	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۸۱	۰/۰۳۱۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۳
	L8N3	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۳۱	۰/۵۸۰۵	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۸۴	۰/۰۴۹۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳۹
	L8N4	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۰	۰/۸۸۰۹	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۴	۰/۰۳۸۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۴۵
	L8N5	۰/۰۳۰۸	۰/۰۰۲۵	۰/۴۴۶۵	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۸۳	۰/۰۳۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۳
	L9N1	۰/۰۳۶۸	۰/۰۰۳۵	۰/۴۷۳۸	۰/۰۰۸۶	۰/۰۱۱۲	۰/۰۱۶۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۵۳
	L9N2	۰/۰۱۰۱	۰/۰۱۱۶	۰/۶۹۸۶	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۶
	L9N3	۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۳۷	۰/۳۹۲۷	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۹۱	۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶۰
	L9N4	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۴۹	۰/۸۸۱۶	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۵۳	۰/۰۲۹۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲۷
	L9N5	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۴۷	۰/۸۸۱۱	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۲۰	۰/۰۲۹۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲۷
	L10N1	۰/۰۳۱۸	۰/۰۰۴۵	۱/۲۲۰۱	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۶	۰/۰۱۸۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴۹
	L10N2	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۶۰	۰/۴۷۱۶	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۷۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۳۷
	L10N3	۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۶۱	۰/۲۲۴۲	۰/۰۱۳۰	۰/۰۰۶۴	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۴۱
	L10N4	۰/۰۳۴۵	۰/۰۰۲۹	۰/۸۴۵۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۹۲	۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶۶
	L10N5	۰/۰۰۹۰	۰/۰۲۲۴	۰/۴۷۱۹	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۷۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۳۶
خارج محدوده کارخانه‌ی	5KAN1	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۳	۰/۹۰۳۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۴۲۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۷۳
	5KAN2	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۳	۰/۵۱۵۰	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۴۲	۰/۰۳۷۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۶
	5KAN3	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۳	۰/۷۵۳۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۷۶	۰/۰۳۶۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۶۲
	5KBN1	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۳۹	۰/۲۱۹۸	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۴۱۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۶

فولاد	5KBN2	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۴۲	۰/۹۸۱۹	۰/۰۲۱۱	۰/۰۱۶۰	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۱
خوزستان	5KBN3	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۳۳	۰/۹۸۱۶	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۸۶	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۴۲

جدول ۳. شاخص ریسک محیط‌زیستی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

محدوده	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	RI
محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	L1N1	۰/۰۸۷۲	۰/۱۴۰۰	۰/۰۲۳۶	۰/۰۴۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۹	۰/۰۸۷۲	۰/۰۴۳۸
	L1N2	۰/۰۸۶۶	۰/۱۳۶۱	۰/۰۲۵۹	۰/۰۲۵۵	۰/۰۴۵۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۸۶۶	۰/۰۴۶۳
	L1N3	۰/۱۱۹۵	۰/۱۲۵۳	۰/۰۲۷۱	۰/۰۴۶۶	۰/۰۴۴۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲۹	۰/۱۱۹۵	۰/۰۵۲۳
	L1N4	۰/۰۸۴۲	۰/۰۹۰۷	۰/۰۱۵۰	۰/۰۳۷۱	۰/۱۱۴۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۴۸	۰/۰۸۴۲	۰/۰۴۹۷
	L1N5	۰/۰۸۴۲	۰/۰۹۰۷	۰/۰۲۴۳	۰/۰۳۴۵	۰/۱۱۱۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴۸	۰/۰۸۴۲	۰/۰۵۰۰
	L2N1	۰/۳۶۶۰	۰/۱۲۸۴	۰/۰۱۵۶	۰/۰۴۸۶	۰/۱۶۶۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۶۷	۰/۳۶۶۰	۰/۱۰۴۶
	L2N2	۰/۰۹۰۷	۰/۱۵۹۲	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۹۹	۰/۰۵۸۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۷	۰/۰۹۰۷	۰/۰۵۲۷
	L2N3	۰/۰۷۵۵	۰/۱۲۹۲	۰/۰۱۷۴	۰/۰۵۸۹	۰/۲۶۳۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳۷	۰/۰۷۵۵	۰/۰۷۸۳
	L2N4	۰/۳۳۵۱	۰/۰۹۵۳	۰/۰۱۴۶	۰/۰۴۷۰	۰/۰۹۷۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۱	۰/۳۳۵۱	۰/۰۸۵۳
	L2N5	۰/۰۷۳۷	۰/۱۲۶۹	۰/۰۱۶۲	۰/۰۵۱۰	۰/۲۳۳۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۷	۰/۰۷۳۷	۰/۰۷۱۹
	L3N1	۰/۱۱۵۰	۰/۱۵۴۶	۰/۰۲۳۰	۰/۰۲۶۶	۰/۱۵۳۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۴۹	۰/۱۱۵۰	۰/۰۶۸۴
	L3N2	۰/۱۳۶۷	۰/۱۷۹۲	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۴۷	۰/۱۴۵۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۰	۰/۱۳۶۷	۰/۰۷۵۲
	L3N3	۰/۱۲۱۹	۰/۲۰۲۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۳۶۱	۰/۲۳۲۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۴۹	۰/۱۲۱۹	۰/۰۸۸۲
	L3N4	۰/۰۸۲۵	۰/۱۶۳۰	۰/۰۲۶۴	۰/۰۱۹۷	۰/۱۱۸۶	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۵	۰/۰۸۲۵	۰/۰۵۹۸
	L3N5	۰/۰۵۵۹	۰/۱۴۳۰	۰/۰۱۹۷	۰/۰۴۳۰	۰/۲۳۹۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۵۹	۰/۰۷۲۶
	L4N1	۰/۱۹۶۷	۰/۰۶۳۰	۰/۰۲۸۴	۰/۰۶۸۴	۰/۰۷۶۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۴۲	۰/۱۹۶۷	۰/۰۶۲۷
	L4N2	۰/۰۵۷۷	۰/۱۵۰۷	۰/۰۲۰۹	۰/۰۴۳۷	۰/۲۷۹۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۷۷	۰/۰۸۰۰
	L4N3	۰/۰۶۲۸	۰/۱۱۳۰	۰/۰۳۴۵	۰/۰۷۱۸	۰/۰۷۹۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۶	۰/۰۶۲۸	۰/۰۵۲۳
	L4N4	۰/۱۰۹۵	۰/۱۳۳۸	۰/۰۴۳۶	۰/۰۸۲۵	۰/۰۵۷۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۳۶	۰/۱۰۹۵	۰/۰۶۱۸
	L4N5	۰/۰۶۸۷	۰/۱۰۵۳	۰/۰۳۴۸	۰/۰۶۷۸	۰/۰۷۶۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۱	۰/۰۶۸۷	۰/۰۵۱۲
	L5N1	۰/۱۲۷۵	۰/۱۲۲۳	۰/۰۳۷۵	۰/۰۸۲۱	۰/۰۶۴۹	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۴۲	۰/۱۲۷۵	۰/۰۶۲۸
	L5N2	۰/۰۹۴۵	۰/۱۷۵۳	۰/۰۲۴۴	۰/۰۳۱۸	۰/۰۱۹۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴۸	۰/۰۹۴۵	۰/۰۵۰۲
	L5N3	۰/۱۸۵۷	۰/۶۲۹۲	۰/۰۳۳۵	۰/۰۷۰۹	۰/۰۹۸۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۴۱	۰/۱۸۵۷	۰/۱۴۶۳
	L5N4	۰/۰۱۹۷	۰/۱۳۱۵	۰/۰۱۸۷	۰/۰۳۱۵	۰/۳۳۰۵	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۹	۰/۰۱۹۷	۰/۰۷۷۳
	L5N5	۰/۱۲۵۵	۰/۱۳۹۲	۰/۰۱۷۲	۰/۰۲۹۹	۰/۲۳۰۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۶۹	۰/۱۲۵۵	۰/۰۷۸۷
	L6N1	۰/۰۸۹۲	۰/۱۸۲۳	۰/۰۴۲۵	۰/۰۸۴۱	۰/۱۰۲۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۴۷	۰/۰۸۹۲	۰/۰۷۲۵
	L6N2	۰/۱۸۹۳	۰/۱۲۰۷	۰/۰۱۵۴	۰/۰۳۷۸	۰/۱۵۱۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۵۵	۰/۱۸۹۳	۰/۰۷۴۷
	L6N3	۰/۱۲۰۲	۰/۱۱۰۷	۰/۰۳۸۴	۰/۰۶۱۴	۰/۱۱۱۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۷	۰/۱۲۰۲	۰/۰۶۳۹
	L6N4	۰/۱۳۴۸	۰/۱۷۰۷	۰/۰۳۸۵	۰/۰۷۲۲	۰/۰۸۶۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۸	۰/۱۳۴۸	۰/۰۷۲۷
	L6N5	۰/۱۲۵۴	۰/۱۴۴۶	۰/۰۴۲۱	۰/۰۹۱۹	۰/۱۱۰۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۴۲	۰/۱۲۵۴	۰/۰۷۴۳
	L7N1	۰/۲۲۷۸	۰/۰۴۲۳	۰/۰۲۷۱	۰/۰۷۳۲	۰/۰۶۹۷	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۳۶	۰/۲۲۷۸	۰/۰۶۳۵
	L7N2	۰/۱۰۵۴	۰/۱۲۴۶	۰/۰۳۹۷	۰/۰۵۴۵	۰/۰۱۹۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۹	۰/۱۰۵۴	۰/۰۴۹۹
	L7N3	۰/۰۶۰۶	۰/۱۵۶۹	۰/۰۳۴۲	۰/۰۶۳۴	۰/۱۰۸۸	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۶۰۶	۰/۰۶۱۳
	L7N4	۰/۱۶۱۷	۰/۶۷۶۱	۰/۰۳۷۳	۰/۰۹۲۲	۰/۰۸۱۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۳	۰/۱۶۱۷	۰/۱۵۰۹
	N7N5	۰/۱۵۰۵	۰/۲۶۳۰	۰/۰۳۰۹	۰/۰۶۹۶	۰/۰۹۸۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۹	۰/۱۵۰۵	۰/۰۸۸۰
	L8N1	۰/۱۹۴۱	۰/۱۱۳۰	۰/۰۱۷۲	۰/۰۳۲۳	۰/۰۴۹۹	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۵۳	۰/۱۹۴۱	۰/۰۵۹۲
	L8N2	۰/۲۴۹۵	۰/۰۷۶۹	۰/۰۱۷۳	۰/۰۴۰۷	۰/۱۵۸۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۵۳	۰/۲۴۹۵	۰/۰۷۸۵
	L8N3	۰/۲۴۵۲	۰/۰۹۴۶	۰/۰۱۳۳	۰/۰۴۲۲	۰/۲۴۶۷	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۹	۰/۲۴۵۲	۰/۰۹۲۷
	L8N4	۰/۰۲۸۰	۰/۰۹۱۵	۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۷۳	۰/۱۹۲۸	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۸۰	۰/۰۵۱۲
	L8N5	۰/۳۰۸۴	۰/۰۷۶۹	۰/۰۱۷۲	۰/۰۴۱۵	۰/۱۵۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۵۳	۰/۳۰۸۴	۰/۰۸۶۱
	L9N1	۰/۳۶۸۸	۰/۱۰۶۱	۰/۰۱۷۲	۰/۰۵۶۱	۰/۰۸۳۳	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۵۳	۰/۳۶۸۸	۰/۰۹۱۴
	L9N2	۰/۱۰۱۶	۰/۳۴۹۲	۰/۰۲۳۰	۰/۰۴۷۱	۰/۰۶۶۱	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۴۶	۰/۱۰۱۶	۰/۰۸۴۹
	L9N3	۰/۳۱۹۵	۰/۱۱۳۸	۰/۰۱۲۴	۰/۰۴۵۷	۰/۰۸۴۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۰	۰/۳۱۹۵	۰/۰۸۳۴
	L9N4	۰/۱۲۰۴	۰/۱۴۹۲	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۶۶	۰/۱۴۶۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۷	۰/۱۲۰۴	۰/۰۶۷۰
	L9N5	۰/۱۲۰۱	۰/۱۴۱۵	۰/۰۲۱۴	۰/۰۱۰۰	۰/۱۴۶۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۷	۰/۱۲۰۱	۰/۰۶۳۴
	L10N1	۰/۳۱۸۹	۰/۱۳۶۱	۰/۰۱۰۶	۰/۰۳۸۴	۰/۰۹۲۶	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۴۹	۰/۳۱۸۹	۰/۰۸۶۲
	L10N2	۰/۰۹۶۰	۰/۱۸۰۰	۰/۰۲۴۳	۰/۰۲۱۷	۰/۰۸۸۸	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۹۶۰	۰/۰۵۹۵
	L10N3	۰/۱۱۱۱	۰/۱۸۴۶	۰/۰۲۶۱	۰/۰۳۲۱	۰/۰۸۱۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۱	۰/۱۱۱۱	۰/۰۶۳۲
	L10N4	۰/۳۴۵۰	۰/۰۸۹۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۴۶۰	۰/۱۰۲۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۶	۰/۳۴۵۰	۰/۰۸۶۷
	L10N5	۰/۰۹۰۱	۰/۶۷۲۳	۰/۰۲۴۶	۰/۰۲۰۱	۰/۰۸۸۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۹۰۱	۰/۱۲۸۷
خارج محدوده	5KAN1	۰/۰۲۷۱	۰/۱۳۱۵	۰/۰۲۰۴	۰/۰۴۱۳	۰/۲۱۱۰	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۷۳	۰/۰۶۳۱	۰/۰۲۷۱
	5KAN2	۰/۰۴۴۱	۰/۱۰۰۷	۰/۰۱۶۴	۰/۰۲۱۱	۰/۱۸۶۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۵۳۹	۰/۰۴۴۱

کارخانه‌ی فولاد خوزستان	5KAN3	۰/۰۲۷۷	۰/۱۲۹۲	۰/۰۱۹۱	۰/۰۳۸۲	۰/۱۸۱۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۶۲	۰/۰۵۷۸	۰/۰۲۷۷
	5KBN1	۰/۱۱۹۷	۰/۱۱۷۶	۰/۰۲۰۹	۰/۰۱۴۱	۰/۲۰۵۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۶۹۱	۰/۱۱۹۷
	5KBN2	۰/۰۷۵۰	۰/۱۲۷۶	۰/۰۴۲۲	۰/۰۸۰۳	۰/۱۱۳۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۱	۰/۰۶۳۴	۰/۰۷۵۰
	5KBN3	۰/۰۷۹۷	۰/۱۰۱۵	۰/۰۲۶۶	۰/۰۸۸۳	۰/۱۴۳۲	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۴۱	۰/۷۹۷۶

جدول ۴. شاخص زمین انباشتگی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

محدوده	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	L1N1	-۷/۴۲۵۸	-۸/۳۲۸۳	-۲/۰۷۲۷	-۶/۹۸۷۳	-۷/۳۸۴۱	-۱۰/۱۵۲۴	-۱۴/۱۸۲۶	-۸/۵۷۵۱
	L1N2	-۷/۴۳۵۶	-۸/۳۶۸۵	-۱/۱۵۰۷	-۶/۸۵۱۰	-۸/۱۹۸۴	-۷/۳۵۳۸	-۱۱/۶۶۴۷	-۹/۳۵۶۶
	L1N3	-۶/۹۷۰۷	-۸/۴۸۷۴	-۱/۸۷۲۳	-۶/۷۸۸۰	-۷/۳۲۹۸	-۷/۳۹۴۶	-۱۴/۵۰۱۵	-۸/۹۹۹۳
	L1N4	-۷/۴۷۶۳	-۸/۹۵۳۵	-۳/۳۲۸۱	-۷/۶۴۲۶	-۷/۶۵۶۱	-۶/۰۳۳۲	-۱۱/۸۴۵۲	-۸/۲۸۵۴
	L1N5	-۷/۴۷۶۳	-۸/۹۵۳۵	-۲/۴۲۴۸	-۶/۹۴۲۶	-۷/۷۶۱۵	-۶/۰۷۱۵	-۱۴/۳۰۰۵	-۸/۲۸۵۴
	L2N1	-۵/۳۵۶۹	-۸/۴۵۲۴	-۲/۸۵۳۴	-۷/۵۸۰۹	-۷/۲۶۹۲	-۵/۴۹۷۲	-۱۲/۶۶۰۶	-۷/۷۹۲۰
	L2N2	-۷/۳۶۸۶	-۸/۱۴۲۶	-۱/۵۴۳۶	-۶/۹۹۹۸	-۷/۹۶۸۰	-۶/۹۹۱۷	-۱۱/۰۸۸۱	-۸/۶۵۰۴
	L2N3	-۷/۶۳۳۷	-۸/۴۴۳۸	-۰/۸۵۳۹	-۷/۴۲۵۵	-۶/۹۹۱۳	-۴/۸۳۲۹	-۱۳/۴۸۶۷	-۸/۶۲۷۶
	L2N4	-۵/۴۸۴۱	-۸/۸۸۱۹	-۱/۰۵۰۸	-۷/۶۸۱۹	-۷/۳۱۷۸	-۶/۲۵۹۲	-۱۲/۱۵۳۱	-۷/۹۳۹۲
	L2N5	-۷/۶۶۷۸	-۸/۴۶۹۸	-۰/۹۴۳۵	۷۰/۵۳۲۸	-۷/۲۰۰۰	-۵/۰۰۷۵	-۱۳/۶۴۲۰	-۹/۷۰۸۷
	L3N1	-۷/۰۲۶۴	-۸/۱۸۵۱	-۰/۹۴۰۱	-۷/۰۲۴۲	-۸/۱۳۷۸	-۵/۶۱۳۸	-۱۱/۸۶۱۸	-۸/۲۴۰۲
	L3N2	-۶/۷۷۷۷	-۷/۹۷۱۹	-۰/۵۰۴۳	-۷/۱۳۳۹	-۷/۷۵۲۵	-۵/۶۸۵۰	-۱۱/۴۶۳۰	-۷/۹۵۰۹
	L3N3	-۶/۹۴۲۶	-۷/۷۹۷۲	-۱/۸۶۹۵	-۷/۲۸۷۴	-۷/۶۹۵۷	-۵/۰۱۳۰	-۱۳/۲۰۹۷	-۸/۲۳۷۰
	L3N4	-۷/۵۰۴۸	-۸/۱۰۸۲	-۲/۸۵۳۹	-۶/۸۲۴۷	-۸/۵۶۹۱	-۵/۹۸۱۷	-۱۰/۷۹۸۲	-۸/۳۴۷۴
	L3N5	-۸/۰۶۶۸	-۸/۲۹۶۹	-۱/۴۱۶۹	-۷/۲۵۰۱	-۷/۴۴۶۴	-۴/۹۷۱۶	-۱۲/۸۴۶۴	-۷/۸۱۳۹
	L4N1	-۶/۲۵۳۵	-۹/۴۷۸۶	-۲/۰۷۸۰	-۶/۷۱۹۴	-۶/۷۷۵۴	-۶/۶۰۷۷	-۱۲/۳۱۶۸	-۸/۴۶۳۹
	L4N2	-۸/۰۲۲۰	-۸/۲۲۱۴	-۱/۴۱۶۶	-۷/۱۶۱۴	-۷/۴۲۰۰	-۴/۷۴۸۱	-۱۲/۷۵۲۷	-۷/۸۱۳۹
	L4N3	-۷/۸۹۹۴	-۸/۶۳۶۴	-۱/۵۰۰۸	-۶/۴۳۹۰	-۶/۷۰۵۶	-۶/۵۵۷۰	-۱۱/۷۸۹۷	-۹/۱۴۱۳
	L4N4	-۷/۰۹۶۷	-۸/۳۹۳۲	-۰/۳۹۵۹	-۶/۱۰۱۷	-۶/۵۰۵۵	-۷/۰۳۴۲	-۱۱/۶۴۳۰	-۸/۶۸۰۶
	L4N5	-۷/۷۷۰۳	-۸/۷۳۸۱	-۱/۴۷۲۵	-۶/۴۲۷۴	-۶/۷۸۷۵	-۶/۶۱۴۳	-۱۱/۸۳۵۸	-۸/۹۱۷۰
	L5N1	-۶/۸۷۷۳	-۸/۵۲۳۲	-۲/۲۶۷۰	-۶/۳۱۸۲	-۶/۵۱۲۳	-۶/۸۵۱۸	-۱۲/۸۳۲۳	-۸/۴۵۲۶
	L5N2	-۷/۳۰۹۹	-۸/۰۰۳۲	-۰/۷۰۴۶	-۶/۹۴۱۲	-۷/۸۷۸۷	-۸/۶۱۲۶	-۱۲/۴۱۸۴	-۸/۲۶۷۱
	L5N3	-۶/۳۳۵۸	-۶/۱۶۰۱	-۱/۰۸۱۸	-۶/۴۸۱۷	-۶/۷۲۲۳	-۶/۲۵۰۰	-۱۱/۵۷۵۹	-۸/۵۰۰۲
	L5N4	-۹/۵۷۲۱	-۸/۴۱۸۳	-۰/۸۴۱۶	-۷/۳۲۲۱	-۷/۸۹۲۱	-۴/۵۰۴۱	-۱۱/۴۴۵۹	-۷/۷۴۷۵
	L5N5	-۶/۹۰۰۱	-۸/۳۳۶۳	-۰/۸۵۸۹	-۷/۴۴۵۱	-۷/۹۶۶۵	-۵/۰۲۴۰	-۱۱/۹۸۲۵	-۷/۷۵۷۸
	L6N1	-۷/۳۹۲۱	-۷/۹۴۷۴	-۱/۰۵۰۹	-۶/۱۴۱۲	-۶/۴۷۷۲	-۶/۱۹۵۱	-۱۱/۷۸۰۶	-۸/۲۸۸۶
	L6N2	-۶/۳۰۷۷	-۸/۵۴۱۸	-۰/۸۴۰۲	-۷/۵۹۷۱	-۷/۶۳۱۶	-۵/۶۲۸۳	-۱۱/۴۸۸۶	-۸/۰۷۷۲
	L6N3	-۶/۹۶۲۹	-۸/۶۶۶۲	-۰/۹۹۰۲	-۶/۲۸۵۱	-۶/۹۳۱۲	-۶/۰۷۸۰	-۱۱/۹۴۷۹	-۸/۶۵۹۹
	L6N4	-۶/۷۹۷۷	-۸/۰۴۱۷	-۰/۴۱۶۹	-۶/۲۸۱۷	-۶/۶۹۷۸	-۶/۴۴۲۳	-۱۳/۶۹۲۱	-۸/۰۱۳۳
	L6N5	-۶/۹۰۲۱	-۸/۲۸۱۵	-۰/۸۹۵۰	-۶/۱۵۱۹	-۶/۳۴۹۹	-۶/۰۹۰۹	-۱۲/۱۰۲۹	-۸/۴۷۵۰
	L7N1	-۶/۰۴۰۵	-۱۰/۰۵۴۸	-۰/۶۱۴۲	-۶/۷۸۶۸	-۶/۶۷۸۴	-۶/۷۴۹۵	-۱۲/۷۸۶۳	-۸/۶۶۶۳
	L7N2	-۷/۱۵۲۷	-۸/۴۹۶۳	-۰/۳۲۰۰	-۶/۲۳۷۸	-۷/۱۰۲۱	-۸/۶۰۲۱	-۱۴/۳۳۹۹	-۷/۹۸۷۲
	L7N3	-۷/۹۵۰۳	-۸/۱۶۳۷	-۲/۱۰۲۱	-۶/۴۵۳۱	-۶/۸۸۵۰	-۶/۱۰۶۷	-۱۱/۸۵۸۳	-۸/۷۹۹۲
	L7N4	-۶/۵۳۵۴	-۶/۰۵۶۴	-۱/۲۸۲۷	-۶/۳۲۹۱	-۶/۳۴۵۰	-۶/۵۱۹۸	-۱۱/۳۶۳۴	-۸/۴۴۲۷
	N7N5	-۶/۶۳۸۷	-۷/۴۱۸۳	-۱/۲۸۵۱	-۶/۶۰۰۱	-۶/۷۵۰۴	-۶/۲۵۵۷	-۱۵/۱۸۱۴	-۸/۵۷۹۳
	L8N1	-۶/۲۷۱۴	-۸/۶۳۶۴	-۰/۴۹۳۵	-۷/۴۳۹۰	-۷/۸۵۷۷	-۷/۲۳۰۴	-۱۱/۴۲۹۰	-۸/۱۳۳۱
	L8N2	-۵/۹۰۹۲	-۹/۱۹۲۲	-۲/۱۱۳۶	-۷/۴۳۷۵	-۷/۵۲۴۹	-۵/۵۶۶۵۷	-۱۲/۱۳۸۵	-۸/۱۳۲۰
	L8N3	-۵/۹۳۴۳	-۸/۸۹۳۶	-۱/۳۶۹۵	-۷/۸۱۱۳	-۷/۴۷۰۳	-۴/۹۲۵۸	-۱۱/۲۲۸۸	-۸/۵۸۴۶
	L8N4	-۹/۰۶۵۳	-۸/۹۴۱۳	-۰/۷۶۷۷	-۸/۰۲۸۷	-۸/۰۹۸۴	-۵/۲۸۱۵	-۱۱/۲۳۱۸	-۸/۳۷۶۱
	L8N5	-۵/۶۰۳۹	-۹/۱۹۲۲	-۱/۷۴۷۹	-۷/۴۳۹۰	-۷/۴۹۷۰	-۵/۶۲۲۲	-۱۲/۱۹۷۶	-۸/۱۳۳۳
	L9N1	-۵/۳۴۵۸	-۸/۷۲۷۶	-۱/۶۶۲۵	-۷/۴۴۱۴	-۷/۰۶۲۶	-۶/۴۹۱۳	-۱۱/۲۱۱۹	-۸/۱۲۱۲
	L9N2	-۷/۲۰۵۲	-۷/۰۰۹۶	-۱/۱۰۲۳	-۷/۰۲۱۹	-۷/۳۱۳۲	-۶/۸۲۳۴	-۱۱/۶۲۹۸	-۸/۳۳۹۲
	L9N3	-۵/۵۵۲۶	-۸/۶۲۶۷	-۱/۹۳۳۱	-۷/۹۱۶۶	-۷/۳۵۸۱	-۶/۴۶۳۴	-۱۲/۱۲۸۵	-۷/۹۴۶۹
	L9N4	-۶/۹۶۰۱	-۸/۲۳۶۲	-۰/۷۶۶۶	-۷/۱۲۲۸	-۸/۱۳۳۹	-۵/۶۷۵۰	-۱۲/۱۶۷۸	-۹/۱۰۷۶
	L9N5	-۶/۹۶۳۶	-۸/۳۱۲۵	-۰/۷۶۷۴	-۷/۱۲۹۵	-۹/۵۴۶۱	-۵/۶۷۹۴	-۱۲/۱۹۷۶	-۹/۱۰۸۲
	L10N1	-۵/۵۵۵۵	-۸/۳۶۸۵	-۰/۲۹۷۸	-۸/۱۳۵۸	-۷/۶۰۸۲	-۶/۳۳۸۴	-۱۲/۰۳۹۴	-۸/۲۴۴۶
	L10N2	-۷/۲۸۶۸	-۷/۹۶۵۷	-۱/۶۶۹۱	-۶/۹۴۷۴	-۸/۴۲۸۹	-۶/۳۹۹۷	-۱۱/۹۰۰۵	-۸/۶۳۴۶
	L10N3	-۷/۰۷۶۷	-۷/۹۲۹۲	-۲/۷۴۱۴	-۶/۸۴۴۴	-۷/۸۶۱۵	-۶/۵۲۵۰	-۱۱/۳۷۵۲	-۸/۴۹۱۳
	L10N4	-۵/۴۴۲۲	-۸/۹۷۸۱	-۰/۸۲۷۰	-۷/۶۳۴۵	-۷/۳۴۶۱	-۶/۱۹۶۸	-۱۱/۴۶۶۶	-۷/۸۲۴۴
	L10N5	-۷/۳۷۸۰	-۶/۰۶۴۶	-۱/۶۶۸۴	-۶/۹۲۹۰	-۸/۵۳۸۲	-۶/۴۰۴۵	-۱۱/۹۲۵۳	-۸/۶۷۳۴
خارج محدوده	5KAN1	-۹/۱۱۱۵	-۸/۴۱۸۳	-۰/۷۳۱۲	-۷/۱۹۸۰	-۷/۵۰۱۵	-۵/۱۵۰۹	-۱۱/۱۰۰۰	-۷/۶۷۴۲
	5KAN2	-۸/۴۰۹۳	-۸/۸۰۲۷	-۱/۵۴۲۱	-۷/۵۱۳۴	-۸/۴۷۳۲	-۵/۳۲۷۰	-۱۱/۴۴۵۰	-۸/۰۴۷۱

کارخانه‌ی فولاد خوزستان	5KAN3	-۹/۰۸۰۵	-۸/۴۴۳۸	-۰/۹۹۳۱	-۷/۲۸۹۱	-۷/۶۱۳۶	-۵/۳۷۲۱	-۱۱/۰۵۸۴	-۷/۹۱۴۷
	5KBN1	-۶/۹۶۹۳	-۸/۵۷۸۷	-۲/۷۷۰۳	-۷/۱۶۳۸	-۹/۰۴۶۶	-۵/۱۹۱۰	-۱۲/۴۷۰۳	-۸/۳۳۷۰
	5KBN2	-۷/۶۴۲۷	-۸/۴۶۱۱	-۰/۶۱۱۱	-۶/۱۴۹۳	-۶/۵۴۳۷	-۶/۰۴۷۰	-۱۱/۶۰۵۶	-۸/۸۹۳۳
	5KBN3	-۷/۵۵۵۰	-۸/۷۹۱۷	-۰/۶۱۱۷	-۶/۸۱۵۱	-۶/۴۰۷۹	-۵/۷۱۰۴	-۱۰/۴۳۷۹	-۸/۴۶۲۶

جدول ۵. فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

محدوده	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	L1N1	۰/۰۴۶۷	۰/۰۲۵۰	۱/۹۱۱۸	۰/۰۶۳۳	۰/۰۴۸۱	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۱۰
	L1N2	۰/۰۴۶۴	۰/۰۲۴۳	۳/۶۲۲۶	۰/۰۶۹۶	۰/۰۲۷۳	۰/۰۴۹۱	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۲۲
	L1N3	۰/۰۶۴۱	۰/۰۲۲۴	۲/۱۹۶۸	۰/۰۷۲۷	۰/۰۴۹۹	۰/۰۴۷۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۵۷
	L1N4	۰/۰۴۵۱	۰/۰۱۶۲	۰/۸۰۰۸	۰/۰۴۰۲	۰/۰۳۹۸	۰/۱۲۲۸	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۵۷
	L1N5	۰/۰۴۵۱	۰/۰۱۶۲	۱/۴۹۷۹	۰/۰۶۵۳	۰/۰۳۷۰	۰/۱۱۹۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۲۵۷
	L2N1	۰/۱۹۶۲	۰/۰۲۲۹	۱/۱۱۲۹	۰/۰۴۲۰	۰/۰۵۲۱	۰/۱۷۸۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۳۶۲
	L2N2	۰/۰۴۸۶	۰/۰۲۸۴	۲/۷۵۸۹	۰/۰۶۲۸	۰/۰۳۲۱	۰/۰۶۳۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۲۰۰
	L2N3	۰/۰۴۰۵	۰/۰۲۳۰	۴/۴۵۰۱	۰/۰۴۶۷	۰/۰۶۳۲	۰/۲۸۲۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۰۳
	L2N4	۰/۱۷۹۶	۰/۰۱۷۰	۳/۸۸۲۳	۰/۰۳۹۱	۰/۰۵۰۴	۰/۱۰۵۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۲۷
	L2N5	۰/۰۳۹۵	۰/۰۲۲۶	۴/۱۸۲۰	۰/۰۴۳۴	۰/۰۵۴۷	۰/۲۵۰۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۹۶
	L3N1	۰/۰۶۱۶	۰/۰۲۷۶	۴/۱۹۱۹	۰/۰۶۱۷	۰/۰۲۸۵	۰/۱۶۴۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۶۵
	L3N2	۰/۰۷۳۳	۰/۰۳۲۰	۵/۶۷۰۳	۰/۰۵۷۲	۰/۰۳۷۲	۰/۱۵۶۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۲۵
	L3N3	۰/۰۶۵۳	۰/۰۳۶۱	۲/۲۰۱۱	۰/۰۵۱۴	۰/۰۳۸۷	۰/۲۴۹۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۶۶
	L3N4	۰/۰۴۴۲	۰/۰۲۹۱	۱/۱۱۲۵	۰/۰۷۰۹	۰/۰۲۱۱	۰/۱۲۷۲	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۴۲
	L3N5	۰/۰۲۹۹	۰/۰۲۵۵	۳/۰۱۲۱	۰/۰۵۲۸	۰/۰۴۶۱	۰/۲۵۶۳	۰/۰۰۱۰	۰/۰۳۵۷
	L4N1	۰/۱۰۵۵	۰/۰۱۱۲	۱/۹۰۴۸	۰/۰۷۶۳	۰/۰۷۳۴	۰/۰۸۲۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۲۲۷
	L4N2	۰/۰۳۰۹	۰/۰۲۶۹	۳/۰۱۲۷	۰/۰۵۶۱	۰/۰۴۶۹	۰/۲۹۹۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۳۵۷
	L4N3	۰/۰۳۳۶	۰/۰۲۰۲	۲/۸۴۲۰	۰/۰۹۲۶	۰/۰۷۷۰	۰/۰۸۵۴	۰/۰۰۲۲	۰/۰۱۴۲
	L4N4	۰/۰۵۸۷	۰/۰۲۳۹	۶/۱۱۲۸	۰/۱۱۷۱	۰/۰۸۸۵	۰/۰۶۱۳	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱۹۶
	L4N5	۰/۰۳۶۸	۰/۰۱۸۸	۲/۸۹۸۳	۰/۰۹۳۴	۰/۰۷۲۸	۰/۰۸۲۰	۰/۰۰۲۲	۰/۰۱۶۶
	L5N1	۰/۰۶۸۴	۰/۰۲۱۸	۱/۶۷۰۹	۰/۱۰۰۷	۰/۰۸۸۱	۰/۰۶۹۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۲۹
	L5N2	۰/۰۵۰۶	۰/۰۳۱۳	۴/۹۳۵۰	۰/۰۶۵۴	۰/۰۳۴۱	۰/۰۲۰۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۲۶۱
	L5N3	۰/۰۹۹۵	۰/۱۱۲۴	۳/۷۹۹۸	۰/۰۸۹۹	۰/۰۷۶۱	۰/۱۰۵۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۲۲۲
	L5N4	۰/۰۱۰۵	۰/۰۲۳۵	۴/۴۸۸۱	۰/۰۵۰۲	۰/۰۳۳۸	۰/۳۵۴۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۷۴
	L5N5	۰/۰۶۷۳	۰/۰۲۴۸	۴/۴۳۴۵	۰/۰۴۶۱	۰/۰۳۲۱	۰/۲۴۷۱	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳۷۱
	L6N1	۰/۰۴۷۸	۰/۰۳۲۵	۳/۸۸۱۹	۰/۱۱۳۹	۰/۰۹۰۲	۰/۱۰۹۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۲۵۷
	L6N2	۰/۱۰۱۵	۰/۰۲۱۵	۴/۴۹۲۵	۰/۰۴۱۵	۰/۰۴۰۵	۰/۱۶۲۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۲۹۷
	L6N3	۰/۰۶۴۴	۰/۰۱۹۷	۴/۰۴۸۷	۰/۱۰۳۱	۰/۰۶۵۹	۰/۱۱۹۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۹۸
	L6N4	۰/۰۷۲۲	۰/۰۳۰۵	۶/۰۲۴۵	۰/۱۰۳۳	۰/۰۷۷۴	۰/۰۹۲۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۱۱
	L6N5	۰/۰۶۷۲	۰/۰۲۵۸	۴/۳۲۵۱	۰/۱۱۳۱	۰/۰۹۸۶	۰/۱۱۷۹	۰/۰۰۱۸	۰/۰۲۲۶
	L7N1	۰/۱۲۲۱	۰/۰۰۷۵	۵/۲۵۴۳	۰/۰۷۲۸	۰/۰۷۸۵	۰/۰۷۴۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۹۷
	L7N2	۰/۰۵۶۵	۰/۰۲۲۲	۶/۴۴۳۰	۰/۱۰۶۵	۰/۰۵۸۵	۰/۰۲۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۱۶
	L7N3	۰/۰۳۲۵	۰/۰۲۸۰	۱/۸۷۳۳	۰/۰۹۱۸	۰/۰۶۸۰	۰/۱۱۶۷	۰/۰۰۲۱	۰/۰۱۸۰
	L7N4	۰/۰۸۶۷	۰/۱۲۰۸	۳/۳۰۵۸	۰/۱۰۰۰	۰/۰۹۸۹	۰/۰۸۷۶	۰/۰۰۳۰	۰/۰۲۳۱
	N7N5	۰/۰۸۰۷	۰/۰۴۷۰	۳/۳۰۰۴	۰/۰۸۲۹	۰/۰۷۴۷	۰/۱۰۵۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۱۰
	L8N1	۰/۱۰۴۱	۰/۰۲۰۲	۵/۷۱۲۸	۰/۰۴۶۳	۰/۰۳۴۶	۰/۰۵۳۵	۰/۰۰۲۹	۰/۰۲۸۶
	L8N2	۰/۱۳۳۸	۰/۰۱۳۷	۱/۸۵۸۴	۰/۰۴۶۳	۰/۰۴۳۶	۰/۱۶۹۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۲۸۶
	L8N3	۰/۱۳۱۵	۰/۰۱۶۹	۳/۱۱۲۸	۰/۰۳۵۸	۰/۰۴۵۳	۰/۲۶۴۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۰۹
	L8N4	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۶۳	۴/۷۲۳۹	۰/۰۳۰۷	۰/۰۲۹۳	۰/۲۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۴۲
	L8N5	۰/۱۶۵۳	۰/۰۱۳۷	۲/۳۹۴۶	۰/۰۴۶۳	۰/۰۴۴۵	۰/۱۶۳۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۲۸۶
	L9N1	۰/۱۹۷۷	۰/۰۱۸۹	۲/۵۴۰۶	۰/۰۴۶۲	۰/۰۶۰۱	۰/۰۸۹۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۸۸
	L9N2	۰/۰۵۴۵	۰/۰۶۲۴	۳/۷۴۶۰	۰/۰۶۱۸	۰/۰۵۰۵	۰/۰۷۰۹	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۴۸
	L9N3	۰/۱۷۱۳	۰/۰۲۰۳	۲/۱۰۶۱	۰/۰۳۳۲	۰/۰۴۹۰	۰/۰۹۱۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۲۵
	L9N4	۰/۰۶۴۵	۰/۰۲۶۶	۴/۷۲۷۶	۰/۰۵۷۷	۰/۰۲۸۶	۰/۱۵۷۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۴۵
	L9N5	۰/۰۶۴۴	۰/۰۲۵۲	۴/۷۲۴۹	۰/۰۵۷۴	۰/۰۱۰۷	۰/۱۵۶۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۴۵
	L10N1	۰/۱۷۱۰	۰/۰۲۴۳	۶/۵۴۲۷	۰/۰۲۸۵	۰/۰۴۱۲	۰/۰۹۹۳	۰/۰۰۱۹	/۰۲۶۵
	L10N2	۰/۰۵۱۵	۰/۰۳۲۱	۲/۵۲۹۰	۰/۰۶۵۱	۰/۰۲۳۳	۰/۰۹۵۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۰۲
	L10N3	۰/۰۵۹۵	۰/۰۳۲۹	۱/۲۰۲۶	۰/۰۶۹۹	۰/۰۳۴۴	۰/۰۸۷۳	۰/۰۰۳۰	۰/۰۲۲۳
	L10N4	۰/۱۸۴۹	۰/۰۱۵۹	۴/۵۳۳۷	۰/۰۴۰۴	۰/۰۴۹۴	۰/۱۰۹۶	۰/۰۰۲۸	/۰۳۵۴
	L10N5	۰/۰۴۸۳	۰/۱۲۰۱	۲/۵۳۰۳	۰/۰۶۶۰	۰/۰۲۱۶	۰/۰۹۴۹	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۹۷

خارج محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان	5KAN1	۰/۰۱۴۵	۰/۰۲۳۵	۴/۸۴۵۱	۰/۰۵۴۷	۰/۰۴۴۳	۰/۲۲۶۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۹۳
	5KAN2	۰/۰۲۳۶	۰/۰۱۸۰	۲/۷۶۱۷	۰/۰۴۴۰	۰/۰۲۲۶	۰/۲۰۰۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۰۴
	5KAN3	۰/۰۱۴۸	۰/۰۲۳۰	۴/۰۴۰۸	۰/۰۵۱۴	۰/۰۴۱۰	۰/۱۹۴۲	۰/۰۰۳۷	۰/۰۳۳۳
	5KBN1	۰/۰۶۴۱	۰/۰۲۱۰	۱/۱۷۸۸	۰/۰۵۶۰	۰/۰۱۵۲	۰/۲۲۰۱	۰/۰۰۱۴	۰/۰۲۴۸
	5KBN2	۰/۰۴۰۲	۰/۰۲۲۸	۵/۲۶۵۵	۰/۱۱۳۳	۰/۰۸۶۲	۰/۱۲۱۶	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱۶۹
	5KBN3	۰/۰۴۲۷	۰/۰۱۸۱	۵/۲۶۳۴	۰/۰۷۱۴	۰/۰۹۴۷	۰/۱۵۳۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۲۲۸

جدول ۶. شاخص آلودگی نمرو فلزات سنگین خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز

منطقه	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
درون محدوده	۱/۹۵۸۳	۰/۳۲۳۴	۱/۴۳۸۱	۰/۴۹۵۴	۰/۴۵۴۲	۰/۶۷۴۳	۰/۳۸۲۱	۰/۴۴۳۳
خارج محدوده	۱/۸۴۲۸	۰/۲۹۸۴	۱/۱۳۸۴	۰/۴۱۳۹	۰/۴۳۲۸	۰/۵۶۶۸	۰/۳۵۴۹	۰/۴۱۰۳

میانگین غلظت فلزات آرسنیک، کادمیوم، کبالت، مس در خاک‌های درون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان بالاتر از خارج از محدوده بود، اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵)، اما میانگین روی، سرب، نیکل و کروم در نمونه‌های خاک خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان بالاتر از درون محدوده به‌دست آمد و از لحاظ آماری بین دو منطقه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). هم‌چنین غلظت فلزات آرسنیک، کادمیوم، کبالت، مس، روی، سرب، نیکل و کروم در خاک‌های درون محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان در مقایسه با حد مجاز استانداردهای ملی ایران، چین و کانادا پایین‌تر بود **(جدول ۷)**.

جدول ۷. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان در شهر اهواز و مقایسه با استانداردهای ملی و بین المللی

فلزات	درون محدوده	خارج محدوده	استاندارد ملی ایران	استاندارد کانادا	استاندارد چین
آرسنیک	۰/۲۶±۱/۴۶^{a}	۰/۱۱±۰/۶۴^{a}	۲۰	۲۰	۲۰
کادمیوم	۰/۰۲±۰/۰۶^{a}	۰/۰۱±۰/۰۰۵^{a}	۳/۹	۲۲	۰/۳
کبالت	۱۳/۱۷±۳/۵۴^{a}	۱۳/۱۰±۰/۷۴^{a}	۴۰	۲۰	-
کروم	۰/۷۸±۰/۹۴^{a}	۰/۸۰±۰/۰۰۶^{a}	۱۶۵	۸۷	۲۰۰
مس	۰/۶۰±۰/۵۶^{a}	۰/۴۹±۰/۰۰۲^{a}	۴۰۰	۳۶۰	۲۵۰
نیکل	۱/۱۴±۰/۷۷^{a}	۱/۷۹±۰/۰۴۳^{a}	۱۵۵	۵۰	-
سرب	۰/۱۲±۰/۳۵^{a}	۰/۱۴±۰/۰۰۴^{a}	۸۰	۹۱	۱۰۰
روی	۰/۹۳±۰/۶۷^{a}	۱/۰۴±۰/۰۰۲^{a}	۵۰۰	۶۰۰	۳۰۰

حروف مشترک در هر ردیف (a، b و ...) اختلاف معنی‌داری آماری را نشان نمی‌دهد (P>0.05).

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده‌ی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین در نمونه‌های خاک در محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان بوده است. در محدوده‌ی کارخانه‌ی فولاد خوزستان، بالاترین میانگین مقادیر فلزات سنگین مربوط به کبالت (۱۳/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن نیز در مربوط به کادمیوم (۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده است. مقادیر کبالت و نیکل، در نمونه‌های خاک بیش از سایر فلزات به‌دست آمد. کبالت یک فلز کمیاب در خاک با فراوانی نسبتا کم در پوسته زمین است، اما آلودگی خاک کبالت به‌طور عمده به‌دلیل فعالیت‌هایی مانند سوزاندن زغال‌سنگ یا نفت یا تولید آلیاژهای کبالت عمدتاً انسانی است (۲۸). نیکل به‌طور گسترده‌ای از منابع مختلف انسانی و طبیعی در سیستم‌های خاک منتشر می‌شود. نیکل را می‌توان از صنایع آلیاژ نیکل، فرآیندهای تولید رنگدانه، پساب صنعت چرم‌سازی به محیط زیست تخلیه کرد. دفع نادرست پسماندهای صنعتی و رسوبات جوی آلاینده‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطوح نیکل در منابع خاک شود (۲۹،۳۰). کادمیوم یک عنصر کمیاب غیرضروری است و هیچ نقش مشخصی در رشدونمو انسان، گیاهان و حیوانات ندارد. به‌طور کلی در لیتوسفر ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و خاک (۰/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (۳۱).

نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده‌ی وجود سطح قابل توجهی از سرب در خاک خارج از محدوده‌ی کارخانه‌ی

فولاد خوزستان می‌باشد. میانگین مقادیر سرب در نمونه‌های خارج از محدوده ۰/۱۸ و در نمونه‌های داخل محدوده صنعت فولاد، ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. فلز سرب در خاک‌های سطحی مناطق شهری با تراکم جمعیت بالا و حمل‌ونقل درون شهری و شهرک‌های صنعتی وجود دارد (۳۲). با توجه به این‌که منشا سرب، به‌طور عمده تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین است (۳۳)، می‌توان علت غلظت بالای سرب در خاک‌های خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان به این موضوع مرتبط دانست. هم‌چنین حدود ۹۸ درصد آلودگی سرب ناشی از چندین منبع انسانی ازجمله صنایع ساخت رنگ‌ها و باتری‌ها، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها، فرآیند ذوب سنگ معدن سرب، کارخانجات اسباب‌بازی‌ها و مواد سرامیکی، صنایع فولاد و فلزات وارد محیط زیست می‌شود (۳۲،۳۴). پژوهشگران غلظت سرب در خاک‌های مناطق مختلف جهان نظیر شانگهای در کشور چین، اسلام‌آباد غرب و سنندج در ایران، مناطق شهری بنگلادش، غنا و شیلی را گزارش کردند (۷،۸،۱۷،۱۸،۳۵).

بر اساس نتایج، بین مقادیر کادمیوم، سرب، کبالت، کروم، مس، روی، آرسنیک و نیکل در نمونه‌های خاک دو گروه درون و بیرون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان، اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ($P>0/05$)، لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که متغیر محل نمونه‌برداری بر غلظت فلزات در نمونه‌های خاک اثرگذار نبود ($P>0/05$). کادمیوم به‌عنوان یک آلاینده اولیه خاک در نظر گرفته می‌شود و هوازدگی زمین‌شناسی منبع طبیعی اصلی کادمیوم در خاک است، احتمالا مقادیر اندک کادمیوم در خاک مناطق مختلف به‌همین دلیل است. هم‌چنین منابع انسانی اولیه کادمیوم فعالیت‌های صنعتی نظیر صنایع نفت و گاز، پتروشیمی و فولاد می‌باشد (۳۱). میانگین مقادیر آرسنیک درون و بیرون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان ۰/۲۴ و ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آرسنیک همانند سرب و کادمیوم یک فلز سمی است که از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی انسان منشا می‌شود. استخراج فلزات سرب، روی و طلا، ذوب فلزات و انواع دیگر معادن سبب ورود آرسنیک به خاک می‌شود (۳۶). نتایج تحقیق نشان داد که متوسط مقادیر نیکل در نمونه‌های داخل محدوده ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های خارج از محدوده ۰/۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. با توجه به وجود تاسیسات گسترده نفتی در محدوده شهر اهواز، می‌توان مقادیر نسبتا بالای نیکل را به آن مرتبط دانست. حداکثر مقدار مجاز نیکل در خاک‌های مناطق مسکونی و نیز خاک زراعی به‌صورت بین‌المللی توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان ملل متحد در سطح ۵ میلی‌گرم برای هر کیلوگرم خاک تعیین شده است. در ایران نیز، سازمان محیط زیست حداکثر مقدار مجاز نیکل در خاک‌های زراعی را ۱۰ میلی‌گرم برای هر کیلوگرم خاک تعیین کرده است، لذا آلودگی خاک به نیکل محدوده‌ی صنعت فولاد در تحقیق حاضر در سطح نسبتا پایینی بوده است.

نتایج تحقیق نشان داد بین مقادیر فلزات روی و کروم نمونه‌های خاک درون و بیرون محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است ($P>0/05$). میانگین مقادیر فلز روی در نمونه‌ها کمتر از حدود مجاز (۳-۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای خاک کشاورزی بوده است، به‌طوری‌که در تمامی نمونه‌های خاک اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. روی نقش اساسی در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی ایفا می‌کند و یک عنصر کمیاب ضروری برای رشد و تولیدمثل مناسب گیاهان و سلامت حیوانات و انسان است. هم‌چنین فلز روی باعث آلودگی خاک می‌شود و مقادیر ۱۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلز روی در خاک‌های آلوده گزارش شده است (۳۷،۳۸). حداکثر مقدار مجاز کروم در خاک به‌صورت بین‌المللی توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان ملل متحد در سطح ۱۵ میلی‌گرم برای هر کیلوگرم خاک تعیین شده است. در ایران نیز، سازمان محیط زیست حداکثر مقدار مجاز کروم در خاک‌های زراعی را ۲۰ میلی‌گرم برای هر کیلوگرم خاک تعیین کرده است، اما برای خاک در مناطق صنعتی، استانداردی ارائه نشده است. نتایج تحقیق برای کروم نشان داد میانگین مقادیر آن در نمونه‌های داخل محدوده ۰/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های خارج از محدوده ۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. کروم از طریق فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی ازجمله استخراج معدن، ذوب، فرآوری فلزات، تولید صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی وارد محیط‌زیست می‌شود و در نتیجه باعث آلودگی و تخریب اکوسیستم‌ها می‌شود (۳۹).

با توجه به نتایج فاکتور آلودگی فلزات سنگین خاک‌های محدوده و خارج از محدوده کارخانه‌ی فولاد خوزستان متوسط مقادیر شاخص برای تمامی فلزات سنگین در

محدوده غیرآلوده (کمتر از ۱) به‌دست آمد. نتایج شاخص فاکتور آلودگی نشان‌دهنده‌ی سطح آلودگی پایین در نمونه‌های خاک بوده است. بر اساس مقادیر فاکتور آلودگی بیشترین میزان آلودگی مربوط به کبالت (۰/۶۵ در محدوده و ۰/۷۲ خارج از محدوده) بود. فاکتور آلودگی یکی از ابزارهای مهم برای ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین است (۱۷). این شاخص میزان آلودگی خاک را به‌صورت کمی اندازه‌گیری کرده و با مقایسه آن با مقادیر طبیعی، وضعیت آلودگی را نشان می‌دهد (۲۷). بر اساس نتایج محاسبه شاخص زمین انباشتگی تمامی نمونه‌ها کمتر از ۰ و خاک، فاقد آلودگی بوده است. بیشترین سطح زمین انباشتگی مربوط به کبالت می‌باشد. مقادیر شاخص در نمونه‌های درون محدوده ۱/۳۶- و در نمونه‌های خارج از محدوده، ۱/۲۰- بوده است. بیشترین و کمترین سطح شاخص فاکتور غنی‌شدگی مربوط به عنصر کبالت به‌میزان ۳/۴۹ درون محدوده و ۳/۸۹ خارج از محدوده به‌دست آمد. غنی‌سازی خاک هم از منابع طبیعی و هم از منابع انسانی اتفاق می‌افتد و به‌عنوان یک نگرانی زیست‌محیطی بزرگ در نظر گرفته می‌شود (۲۰). مقادیر شاخص ریسک محیط‌زیستی داخل و خارج از محدوده نشان می‌دهد که بالاترین سطح ریسک اکولوژیک مربوط به نیکل در خارج از محدوده به‌میزان ۰/۱۷۳ و نیز کادمیوم و آرسنیک درون محدوده مجتمع فولاد خوزستان به‌میزان ۰/۱۶۷ و ۰/۱۴۶ بوده است. در محاسبه ریسک اکولوژیک، بر خلاف فاکتور آلودگی از فاکتور سمیت[1] نیز استفاده می‌شود، درحالی‌که فاکتور آلودگی، صرفا مبتنی بر میزان آلودگی موجود محاسبه می‌شود (۱۷). هم‌چنین مقایسه نتایج برآورد شاخص نمرو نشان می‌دهد میزان آلودگی خاک برای آرسنیک (۱/۹۵ درون محدوده و ۱/۸۴ خارج از محدوده) و کبالت (۱/۴۳ درون محدوده و ۱/۳۱ خارج از محدوده) در سطح آلودگی کم و برای سایر فلزات سنگین در سطح بدون آلودگی بوده است. با در نظر گرفتن آلودگی خاک به چندین فلز سنگین، نیاز به ارزیابی اجمالی از سطح آلودگی وجود دارد. شاخص نمرو سطح آلودگی خاک را با غلظت طبیعی مقایسه نموده، لذا یک شاخص تجمیعی مطلوب برای مقایسه سطح آلودگی خاک می‌باشد. محاسبه مقادیر این شاخص نیز نسبتا ساده بوده و اطلاعات مطلوبی از وضعیت آلودگی ارائه می‌دهد (۲۷). شاخص غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص آلودگی خاک‌های سطحی شهرک صنعتی شهر اهواز نسبت به فلزات کروم، نیکل و سرب در محدوده‌ی آلودگی متوسط و نسبت به فلزات کبالت، مس و روی در محدوده‌ی غیرآلوده گزارش شده است (۴۰). پژوهشگران متعددی مقادیر مختلف فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کادمیوم، نیکل، کروم، روی و مس را در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه‌های صنعتی شهر اهواز و برگ درختان این نواحی گزارش کردند (۲۱،۲۲،۲۳،۴۱،۴۲،۴۳) که نتایج این تحقیق را تایید می‌کند. شهر اهواز با توجه به منابع متعدد و فراوان نفت و گاز، صنایع بزرگ فلزی و غیرفلزی، سلولزی و برق و شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب از شرایط ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر این، مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی در صنعت، خودروهای سبک و سنگین و منابع متفرقه مانند گردوغبارهای فصلی، تراکم نسبتاً بالای جمعیت شهری و کمبود فضای سبز در شهر و حومه ازجمله مواردی است که دلایل آلودگی فلزات سنگین در خاک هستند (۴۴). کارخانجات صنعتی بزرگ مانند شرکت‌های نفت و گاز و صنایع فلزی و فولادی از منابع اصلی آلودگی خاک شهر اهواز می‌باشند (۲۲،۴۳). به‌طور کلی منابع کادمیوم، مس، سرب، روی، کروم و نیکل در خاک‌های مناطق صنعتی عمدتاً از انتشار ترافیک و تردد خودروها و انتشار فعالیت‌های کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنعتی ناشی می‌شوند (۳،۲۴). منابع آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شهر شن یانگ، بائوجی، گوانگژو، جین‌چانگ و چانگ‌چون ممکن است عمدتاً از انتشار صنعتی و انتشار ترافیک ناشی شود. با این‌حال، منابع آلودگی فلزات سنگین در پکن، شانگهای، ونژو، چینگدائو و سایر شهرها ممکن است عمدتاً از انتشار ترافیک ناشی می‌شود (۴۵). هم‌چنین منابع مس، سرب، روی و نیکل در خاک ممکن است عمدتاً از منابع صنعتی مانند کارخانه‌ی فولاد سازی و صنایع فولادی، مشتق شوند (۲۳،۴۱).

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که نمونه‌های خاک کارخانه‌ی فولاد خوزستان دارای غلظت‌های متفاوت فلزات هستند. نتایج حاصل نشان داد که در حالی که کبالت غالب‌ترین فلز بود، اما کادمیوم کمترین مقادیر را در خاک داشت. به نظر نمی‌رسد غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک نگران‌کننده باشد، زیرا شاخص‌های آلودگی محیطی فلزات سنگین در خاک نظیر فاکتور آلودگی، شاخص زمین

[1] Toxic Rate

انباشتگی، فاکتور غنی‌سازی و شاخص نمرو حاکی از عدم آلودگی و آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان می‌باشد. سطح پایین آلودگی فلزات در خاک در این مطالعه می‌تواند به‌دلیل دیواره محیطی بزرگ باشد که در اطراف کارخانه مشاهده شده است و هم‌چنین گزارش شده است که همه دودها و گازها قبل از انتشار در محیط از طریق جمع‌کننده‌های غبار تصفیه می‌کنند. با این‌حال، این نتایج در خاک‌های اطراف کارخانه‌ی فولاد خوزستان به‌دست آمد و بنابراین این نتایج برای همه‌ی صنایع کشور تعمیم داده نمی‌شود. به‌طور کلی با توجه به توسعه بهره‌برداری و گسترش صنایع پایین‌دستی، توسعه‌ی شهرنشینی و ایجاد صنایع مختلف، امکان آلودگی خاک به آلاینده‌هایی هم‌چون فلزات سنگین زیاد است. در این بین خاک‌های مناطق مختلف استان‌های صنعتی ازجمله استان خوزستان، با توجه به استقرار این صنایع مختلف بالادستی و پایین دستی، اهمیت زیادی برای بررسی غلظت آلاینده‌ها وجود دارد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله، تشکر و قدردانی خود را در راستای انجام این تحقیق از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام می‌نمایند.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: نویسندگان مقاله اعلام می‌نمایند که این تحقیق پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی: این مقاله از بخشی از پایان‌نامه‌ی دکتری تخصصی گروه مهندسی خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی (کد پایان‌نامه ۱۰۶۴۸۱۷۵۳۷۰۱۷۰۸۱۴۰۰۱۶۲۴۵۸۴۸۱) مربوط به دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استخراج شده است. نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. هم‌چنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

سهم نویسندگان: نویسندگان مقاله خانم خوشناز پاینده، خانم فاطمه جعفریان، آقای احد نظرپور، آقای علی غلامی و آقای کامران محسنی‌فر در مراحل مختلف انجام پژوهش شامل طراحی و ایده، نمونه‌برداری، عملیات آزمایشگاهی و نگارش مقاله همکاری متقابل داشتند.

References

1. Tang, J., He, M., Luo, Q., Adeel, M. and Jiao, F., 2020. Heavy Metals in Agricultural Soils from a Typical Mining City in China: Spatial Distribution, Source Apportionment, and Health Risk Assessment. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (2): 1379-1390. https://doi.org/10.15244/pjoes/108517

2. Haris, M., Hamid, Y., Usman, M., Wang, L., Saleem, A., Su, F., Guo, J. and Li, Y., 2021. Cropresidues derived biochar: synthesis, properties, characterization and application for the removal of trace elements in soils. Journal of Hazardous Materials, 126212. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126212

3. Siddiqua, A., Sadef, Y., Ahmad, S.S., Farid, M. and Ali, S., 2021. Environmental Factors Driving the Toxic Mobility between Soil and Vegetation in Riparian Zone Vegetation. Polish Journal of Environmental Studies, 30(6): 5225-2537. https://doi.org/10.15244/pjoes/132908 PMid:25587271

4. Mansouri Moghadam, S., Payandeh, Kh., Koushafar., A., Goosheh, M. and Mohammadi Rouzbahani, M. 2024. Human health risk assessment and carcinogenicity due to exposure to potentially toxic elements on soil pollution in Southwest Iran. Clinical Epidemiology and Global Health, 25:101492. https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101492

5. Velayatzadeh, M. and Payandeh, K., 2020. Effect of household water treatment on the concentration of heavy metals of drinking water in Ahvaz city. Iranian South Medical Journal, 22 (6): 402-414. [In persian]. https://doi.10.29252/ismj.22.6.402

6. Xu, Y., Shi, H., Fei, Y., Wang, C., Mo, L., and Shu, M., 2021. Identification of soil heavy metal sources in a large-scale area affected by industry. Sustainability, 13(2): 511. https://doi.org/10.3390/su13020511

7. Proshad, R., Kormoker, T., Mursheed, N., Islam, M.M., Bhuyan, M.I., Islam, M.S., Mithu, T.N., 2018. Heavy metal toxicity in agricultural soil due to rapid industrialization in Bangladesh: A review. International Journal of Advanced Geosciences, 6(1): 83-88. https://doi.org/10.14419/ijag.v6i1.9174
8. Pour Abbasi, H., Payanadeh, K. and Tadayouni, M., 2024. Evaluation of some heavy metals and possible health and ecological risk indicators of surface soils of the west of the country: A case study. Journal of Research in Environmental Health, 10 (1): 31-47. [In Persian].
9. Sardar, U.R., Bhargavi, E., Devi, I., Bhunia, B. and Tiwari, O.N., 2018. Advances in exopolysaccharides-based bioremediation of heavy metals in soil and water: a critical review. Carbohydrate polymers, 199: 353-364 https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.037 PMid:30143139
10. Fu, Z. and Xi, S., 2020. The effects of heavy metals on human metabolism. Toxicology mechanisms and methods, 30(3): 167-176. https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594 PMid:31818169
11. Suvarapu, L.N. and Baek, S.O., 2017. Determination of heavy metals in ambient atmosphere: A review. Toxicology and Industrial Health, 33(1): 79-96. https://doi.org/10.1177/0748233716654827 PMid:27340261
12. Kim, J.J., Kim, Y.S. and Kumar, V., 2019. Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 54: 226-231. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.05.003 PMid:31109617
13. Rusyniak, D.E., Arroyo, A., Acciani, J., Froberg, B., Kao, L. and Furbee, B., 2010. Heavy metal poisoning: management of intoxication and antidotes, Molecular, Clinical and Environmental Toxicology: Volume 2: Clinical Toxicology, 100: 365-96. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8338-1_11 PMid:20358690
14. Genestra, M., 2007. Oxyl radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants. Cellular signalling, 19(9), pp.1807-1819. https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2007.04.009 PMid:17570640
15. Flora, S.J., Mittal, M. and Mehta, A., 2008. Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. Indian Journal of Medical Research, 128: 501-523.
16. Dhir, B., Sharmila, P., Pardha Saradhi, P., Sharma, S., Kumar, R. and Mehta, D. 2011. Heavy metal induced physiological alterations in Salvinia natans. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74: 1678-84. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.05.009 PMid:21724257
17. Wiafe, S., Awuah Yeboah, E., Boakye, E. and Ofosu, S., 2022. Environmental risk assessment of heavy metals contamination in the catchment of small-scale mining enclave in Prestea Huni-Valley District, Ghana. Sustainable Environment, 8(1): 2062825. https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2062825
18. Painecur, P., Muñoz, A., Tume, P., Melipichun, T., Ferraro, F.X., Roca, N. and Bech, J., 2022. Distribution of potentially harmful elements in attic dust from the City of Coronel (Chile). Environmental Geochemistry and Health, 44(4): 1377-1386. https://doi.org/10.1007/s10653-021-01164-x PMid:35020089
19. Al-Rubaiee, A.K.H. and Al-Owaidi, M.R., 2022. Assessment of Heavy Metal Contamination in Urban Soils of selected areas in Hilla City, Babylon, Iraq. Iraqi Journal of Science, 1627-1641. https://doi.org/10.24996/ijs.2022.63.4.21
20. Zhao, H., Wu, Y., Lan, X., Yang, Y., Wu, X. and Du, L., 2022. Comprehensive assessment of harmful heavy metals in contaminated soil in order to score pollution level. Scientific Reports, 12(1): 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-022-07602-9 PMid:35241759 PMCid:PMC8894455
21. Lajmirorak Nejati, M., Rang Zan, N., Nadian Ghomsheh, H. and Khalilimoghadam, B., 2019. Risk assessment of heavy metals in soils around

Khuzestan Steel Company. Journal of soil management and sustainable production, 8(4): 61-78. [In Persian].
22. Ekhlaspour, A., Khalili Moghadam, B. and Soleimani, M., 2019. Assessing heavy metal concentration in the soil and plants of surroundings Khuzestan steel factory. Iranian journal of soil and water research, 50(3): 603-613. [In Persian].
23. Rang Zan, N., Golsoltani, M. and Lajmirorak Nejati, M., 2020. Chemical Fractionation of Iron and Manganese in Soil Adjacent to Khuzestan Steel Company. Iranian Journal of Soil Research, 33(4): 541-557. [In Persian].
24. Mansouri Moghadam, S., Payandeh, Kh., Koushafar, A., Goosheh, M. and Mohammadi Rouzbahani M. 2024. Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. Scientific Reports, 14(1): 14754. https://doi.org/10.1038/s41598-024-64192-4
25. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils (Revision 2). Washington, DC: USEPA.
26. Muller, G., 1979. Index of geo accumulation in the sediments of the Rhine River. Geojournal, 2: 108-118.
27. Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment logical approaches. Water Research, 14: 975-1001. https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8
28. Srivastava, P., Bolan, N., Casagrande, V., Benjamin, J., Adejumo, S.A. and Sabir, M., 2022. Cobalt in soils: sources, fate, bioavailability, plant uptake, remediation, and management. In Appraisal of Metal (loids) in the Ecosystem (pp. 81-104). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85621-8.00007-8 PMCid:PMC11076085
29. Vischetti, C., Marini, E., Casucci, C. and De Bernardi, A., 2022. Nickel in the environment: Bioremediation techniques for soils with low or moderate contamination in European Union. Environments, 9(10), p.133. https://doi.org/10.3390/environments9100133
30. El-Naggar, A., Ahmed, N., Mosa, A., Niazi, N.K., Yousaf, B., Sharma, A., Sarkar, B., Cai, Y. and Chang, S.X., 2021. Nickel in soil and water: Sources, biogeochemistry, and remediation using biochar. Journal of hazardous materials, 419, p.126421. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126421 PMid:34171670
31. Khan, M.A., Khan, S., Khan, A. and Alam, M., 2017. Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. Science of the total environment, 601, pp.1591-1605. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030 PMid:28609847
32. Ankush, Lamba, S., Ritambhara, Diwedi, A., Kumar, S. and Singh, V., 2023. Source and Distribution of Lead in Soil and Plant-A Review. Lead Toxicity: Challenges and Solution, pp.3-16. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37327-5_1
33. Gupta, M., Dwivedi, V., Kumar, S., Patel, A., Niazi, P. and Yadav, V.K., 2024. Lead toxicity in plants: mechanistic insights into toxicity, physiological responses of plants and mitigation strategies. Plant Signaling & Behavior, 19(1), p.2365576. https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2365576 PMid:38899525 PMCid:PMC11195469
34. Yusuf, A.A., Ampah, J.D., Soudagar, M.E.M., Veza, I., Kingsley, U., Afrane, S., Jin, C., Liu, H., Elfasakhany, A. and Buyondo, K.A., 2022. Effects of hybrid nanoparticle additives in n-butanol/waste plastic oil/diesel blends on combustion, particulate and gaseous emissions from diesel engine evaluated with entropy-weighted PROMETHEE II and TOPSIS: Environmental and health risks of plastic waste. Energy Conversion and

Management, 264: 115758. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115758
35. Li, Y., Dong, Z., Feng, D., Zhang, X., Jia, Z., Fan, Q. and Liu, K., 2022. Study on the risk of soil heavy metal pollution in typical developed cities in eastern China. Scientific Reports, 12(1): 1-9. https://doi.org/10.1038/s41598-022-07864-3 PMid:35264659 PMCid:PMC8907225
36. Shrivastava, A., Ghosh, D., Dash, A. and Bose, S., 2015. Arsenic contamination in soil and sediment in India: sources, effects, and remediation. Current Pollution Reports, 1: 35-46. https://doi.org/10.1007/s40726-015-0004-2
37. Noulas, C., Tziouvalekas, M. and Karyotis, T., 2018. Zinc in soils, water and food crops. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 49: 252-260. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009 PMid:29472130
38. Malle, K.G., 1992. Zink in der Umwelt. Acta hydrochimica et hydrobiologica, 20(4): 196-204. https://doi.org/10.1002/aheh.19920200404
39. Ullah, S., Liu, Q., Wang, S., Jan, A.U., Sharif, H.M.A., Ditta, A., Wang, G. and Cheng, H., 2023. Sources, impacts, factors affecting Cr uptake in plants, and mechanisms behind phytoremediation of Cr-contaminated soils. Science of the Total Environment, 165726. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165726 PMid:37495153
40. Pournia, M., Moosavi, M.H. and Jassemi, Z., 2016. Survey of heavy metals pollution in surface soils around the industrial town of Ahvaz 2. Journal of Environment Science and Technology, 17(4): 23-32. [In Persian].
41. Rafati, M., Mohammadi Roozbahani, M. and Pirmoradi, Z., 2020. Bioaccumulation of some heavy metals by the soil and leaves of Ziziphus spina-christi in Khouzestan Oxin Steel Company. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research 17(2): 173-184. [In Persian].
42. Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahni, M. and Babaeinezhad, T., 2018. Survey of heavy metals (Pb,Ni,Cr,Cd) bio-accumulation in the leaves of (Albizia lebbek and Eucalyotus camadulensis) (case stady: Iran National Steel Industrial Group). Journal of Neyshabur University of Medical Sciences 6 (1): 33-43. [In Persian].
43. Abbaszadeh, H., Mohammadi Roozbahani, M. and Sobhanardakani, S., 2019 Use of Ziziphus spina-christi and Prosopis cineraria leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. Iranian Journal of Health and Environment, 12(1): 87-100. [In Persian].
44. Boroujerdnia, A., Mohammadi Roozbahani, M., Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Payandeh, K., 2020. Heavy metal pollution in surface soils of Ahvaz, Iran, using pollution indicators and health risk assessment. Archives of Hygiene Sciences, 9(4): 299-310. https://doi.org/10.52547/ArchHygSci.9.4.299
45. Wei, B. and Yang, L., 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchemical Journal, 94(2): 99-107. https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014