13(3) 391-398, Autumn 2021

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Study of Contamination of some heavy metals in soils around Khouzestan Oxin Steel Complex using contamination indices

Shabnam Sahipour, Sima Sabzalipour*

Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Key Words

Soil
Heavy metals
Contamination Indices
Khouzestan Oxin Steel Complex

Abstract

Introduction: Today, with the advancement of technology and the development of industries, the level of soil pollution by heavy metals has expanded day by day. The aim of thise study was to investigate the indices of Contamination factor, Enrichment and Modified Degree of Contamination elements in the around soil of Oxine steel complex in Khouzestan.

Materials & Methods: For this purpose,6surface soil samples were compounded. The around as well as the distances of 100, 200, 300, 400 and 500 meters from the complex were collected. After chemical preparation and digestion of the samples, the concentration of Lead, Nickle, Chromium, Zinc and Iron in them was measured by atomic absorption spectrometer.

Result: Based on the results of this study, the mean concentration of Lead, Zinc, Iron, Chromium and Nickel elements were 87.16, 519.97, 32873.73, 1118.40, 34.44 mg/kg respectively obtained. Also, the concentration of all the studied elements decreased with increasing distance from the complex, so that the highest concentration of metals in the vicinity and the lowest rate were obtained at a distance of 500 meters from the complex. The interpretation of Contamination indices was Iron < Nickel < Chromium < Lead < Zinc, respectively.

Conclusion: Zinc and Lead metals have been introduced as the most important elements of Oxin complex and soil area was known towards non-contaminated iron metal.

* Corresponding Author's email: shadi582@yahoo.com

Received: 21 June 2020; Reviewed: 28 August 2020; Revised: 1 October 2020; Accepted: 5 November 2020
(DOI): 10.22034/AEJ.2020.246116.2335

مقاله پژوهشی

بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی

*شبنم ساهی‌پور، سیما سبزعلیپور**

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

کلمات کلیدی

خاک
فلزات سنگین
شاخص آلودگی
مجتمع فولاد اکسین خوزستان

چکیده

مقدمه: امروزه با پیشرفت تکنولوژی و توسعه صنایع، میزان آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین روز به روز گسترش یافته است. هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی شاخص‌های فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و درجه آلودگی اصلاح شده فلزات سنگین در خاک‌های مجاور مجتمع فولاد اکسین خوزستان بود.

مواد و روش‌ها: تعداد ٦ نمونه خاک سطحی به‌صورت مرکب از مجاورت مجتمع و هم‌چنین فواصل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰ متری نسبت به مجتمع جمع‌آوری شدند. پس از آماده‌سازی و هضم شیمیایی نمونه‌ها، میزان غلظت عناصر جزئی سرب، نیکل، کروم، روی و آهن در آن‌ها به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

نتایج: براساس نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، آهن، کروم و نیکل به‌ترتیب با مقدار عددی ۸۷/۱٦، ۵۱۹/۹۷، ۳۲۸۷۳/۷۳، ۱۱۸/٤۰ و ۳٤/٤٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. هم‌چنین غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه با افزایش فاصله از محل مجتمع روندی کاهشی داشت، به‌طوری‌که بالاترین میزان غلظت فلزات در مجاورت و پایین‌ترین میزان نیز در فاصله ۵۰۰ متری مجتمع به‌دست آمد. تفسیر شاخص‌های فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و درجه آلودگی اصلاح شده نیز به‌ترتیب آهن< نیکل< کروم < سرب < روی بود.

نتیجه‌گیری و بحث: فلزات روی و سرب به‌عنوان مهم‌ترین عناصر انتشار یافته از مجتمع فولاد اکسین خوزستان معرفی شدند و خاک منطقه نسبت به فلز آهن غیرآلوده شناخت شد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shadi582@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱ تیر ۱۳۹۹؛ تاریخ داوری: ۷ شهریور ۱۳۹۹؛ تاریخ اصلاح: ۱۰ مهر ۱۳۹۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۳۹۹
(DOI): 10.22034/AEJ.2020.246116.2335

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین اجزای لیتوسفر بوده و به‌عنوان بخشی از اکوسیستم، نقش بسیار مهمی در چرخه حیات ایفا می‌نماید (Acheampong و همکاران، ۲۰۱۶). به‌دنبال رشد سریع صنعتی در طی چند دهه گذشته، آلودگی خاک به فلزات سنگین گسترش یافته است اگرچه فلزات سنگین می‌توانند به‌طور طبیعی در خاک وجود داشته باشد (نیکفر و همکاران، ۱۳۹۸). امروزه میزان آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین روز به روز گسترش یافته و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی به‌شمار می‌آید. فلزات سنگین می‌توانند به‌طور طبیعی و یا از طریق فعالیت‌های انسانی به خاک نفوذ نمایند (Koki و همکاران، ۲۰۱۷). مهم‌ترین منابع ناشی از فعالیت بشر که به‌طور عمده باعث ورود فلزات سنگین به خاک می‌گردند شامل کشاورزی، معدن کاری، لجن فاضلاب، حمل و نقل جاده‌ای و سایر فعالیت‌های صنعتی نظیر ضایعات حاصل از صنایع آهن و فولاد می‌باشند (Akoto و همکاران، ۲۰۱۷). در میان پیامدهای محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی آثار آلاینده‌های منتشر شده از صنایع فلزی یک عامل محدودکننده مهم برای توسعه پایدار به‌خصوص در صنایع تولید به‌شمار می‌رود (نیکفر و همکاران، ۱۳۹۸). فلزات سنگین (Heavy metals) به‌دلیل پتانسیل ایجاد سمیت، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی ازجمله آلاینده‌های محیط زیستی مهم به‌شمار می‌آیند. امروزه با افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی و صنعت آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین نیز گسترش یافته که در این میان خاک ازجمله اکوسیستم‌های حساس بوده که می‌تواند به سهولت در معرض آلاینده‌های فلزی قرار گیرد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۸). فلزات سنگین به‌علت توانایی ورود و تجمع در زنجیره‌های غذایی به عنوان تهدیدی برای سلامت موجودات زنده و مخرب ساختار اجتماعی موجودات خاکزی محسوب می‌شوند (سینکاکریمی و همکاران، ۱۳۹۷). گرچه مقادیر جزئی از این فلزات در بسیاری از واکنش‌ها و فعالیت‌های بدن ضروری می‌باشند ولی بیش‌تر از حد مجاز آن‌ها سبب عوارض جبران‌ناپذیری در جانداران می‌گردد (علی‌عسگری و همکاران، ۱۳۹۷). پیامدهای محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی و آثار آلاینده‌های منتشر شده از صنایع فلزی به‌عنوان یک عامل محدودکننده مهم در برابر توسعه پایدار محسوب می‌گردد (منصوری و عظیمی، ۱۳۹۵). در این میان، کارخانجات فولاد (Steel factories) ازجمله صنایعی می‌باشند که می‌توانند نقش مهمی در ایجاد آلودگی خاک ایفا نمایند. فرایند تولید فولاد پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را به‌همراه خواهد داشت. در این زمینه مهم‌ترین و اصلی‌ترین خطر آلودگی در محصولات کشاورزی ظاهر می‌گردد. فلزات سنگین می‌توانند از طریق دودکش و یا پساب حاصل از کارخانجات فولاد وارد محیط زیست گردیده و به اکوسیستم طبیعی خاک نفوذ نمایند که این امر، آلوده شدن احتمالی لایه سطحی خاک و امکان جذب این عناصر به‌وسیله محصولات کشاورزی و نهایتاً ورود به زنجیره غذایی انسان را در پی خواهد داشت (Yan و همکاران، ۲۰۱۸). برخی از فلزات سنگین مانند سرب، نیکل، کروم، روی و آهن به‌دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مخازن طبیعی خاک و نهایتاً ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی بالایی برخوردار می‌باشند که در این میان عناصر سرب، نیکل، کروم بسیار سَمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت انسان می‌گردند (Gevorgyan و همکاران، ۲۰۱۷). از این‌رو تعیین میزان غلظت این عناصر در محیط‌های خاکی و ارزیابی میزان آلودگی خاک از طریق شاخص‌های سنجش آلودگی براساس هر یک از این عناصر، به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور جهت جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی منابع خاک تلقی می‌گردد (صیادی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعه پیرامون بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف مناطق صنعتی از چند دهه گذشته در دنیا آغاز گردیده و پژوهش‌هایی در زمینه ارزیابی کیفی خاک‌های اطراف مناطق صنعتی انجام گردیده است. نتایج نشان داد که خاک اطراف کارخانه از لحاظ عنصر سرب غیرآلوده بوده و وجود کارخانه تأثیری بر میزان این عنصر نداشته است (اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان، ۱۳۹۵). هم‌چنین یافته‌ها نشان داد که خاک اطراف کارخانه از لحاظ عنصر کادمیوم در معرض خطر قرارگرفته و فعالیت کارخانه موجب تشدید مقدار این فلز سنگین در خاک گردیده است. سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان و ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی اصلاح شده خاک پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که براساس شاخص درجه آلودگی خاک ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط تا قابل توجه با عنصر سرب هستند و نتایج درصد فاکتور غنی شدگی نیز غنای عنصر آهن را نشان داد. Qing و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی میزان آلودگی خاک‌ها در شهرک صنعتی فولاد آنشان (Anshan) واقع در شمال چین از شاخص‌های زیست‌محیطی استفاده نمودند. نتایج شاخص زمین انباشت نشان داد که خاک‌های این مناطق به‌میزان متوسط تا زیادی با عناصر کادمیوم، سرب، روی و مس آلوده شده‌اند و در نهایت، مناطق نزدیک صنایع فولاد به‌عنوان نقاط داغ آلودگی معرفی گردیدند. Bello Zakari و همکاران (۲۰۱۵) بررسی تطبیقی شاخص‌های سنجش آلودگی و پهنه‌بندی خاک اطراف کارخانه تولید فولاد دانا (Dana) واقع در ایالت کاتسینا (Katsina) در کشور نیجریه را با مقایسه دو شاخص درجه آلودگی و فاکتور آلودگی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی شاخص درجه آلودگی

نشان داد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه براساس تمامی فلزات سنگین دارای آلودگی با شدت بسیار بالا بوده و شاخص فاکتور آلودگی نیز آلودگی بسیار می‌باشد. Liao و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای که بر روی خاک‌های جزیره هانیان (Hainan) چین انجام دادند، میزان غلظت برخی از فلزات سنگین را در خاک‌های مجاور مناطق صنعت فولاد و معدن کاری را ارزیابی نمودند. براساس نتایج مشخص گردید که این مقادیر بسیار پایین‌تر از حد استاندارد تعیین شده از سوی کشور چین بوده و آلودگی حاصل از این عناصر بسیار کم می‌باشد و آلودگی فلزات سنگین نیز ناشی از فعالیت‌های صنعتی نظیر معدن‌کاری صنایع فولاد و فعالیت‌های مربوط به ذوب فلزات تشخیص داده شد. Taiwo و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولاد عامل ایجاد ۴۵ درصد از PM_{10} در مجاورت محل فعالیت‌های اصلی فولادی در Port Talbot،ولز جنوبی (UK) است. صنعت فولاد اکسین خوزستان نیز ازجمله صنایع فولاد سازی است که در جنوب‌شرقی شهر اهواز قرار گرفته است.این مجتمع در زمینی به مساحت ۱۶۰ هکتار احداث شده است و در زمینه ساخت انواع ورق‌های فولادی، مخازن ذخیره‌سازی فرآورده‌های نفتی و تولید سایر محصولات فولاد فعالیت می‌نماید (هرمزی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به عدم وجود مطالعات جامع ناشی از آلودگی‌های منتشر شده از کارخانه‌هایی مانند فولاد اکسین خوزستان و تاثیرات بالقوه این کارخانه بر روی محیط‌زیست اطراف، تحقیق در زمینه آلودگی خاک می‌تواند اطلاعات و راهکارهای مناسبی در زمینه مدیریت این آلودگی‌ها ارائه نماید. بنابراین بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های خاک منطقه هدف اصلی این پژوهش بوده که می‌تواند به‌منظور جلوگیری از مخاطرات محیط زیستی در محدوده تحت تاثیر این صنعت ارائه نماید.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: کارخانه فولاد اکسین خوزستان بر روی سازنده آهک مارنی آغاجاری و رسوبات دریایی واقع شده است. خاک تقریباً در اکثر قسمت‌ها، شور و اسیدیته آن بیش از هفت می‌باشد. بنابراین این گروه از خاک‌ها در رده خاک‌های قلیایی قرار می‌گیرند. میزان مواد آلی موجود در خاک نیز پایین می‌باشد. در این ناحیه، گیاهان به‌صورت پراکنده و بوته‌ای بوده که خود بیانگر آب و هوای گرم و خشک منطقه مورد بررسی است. هم‌چنین در این منطقه، سرعت وزش باد ۹ متر بر ثانیه و میانگین بارش سالیانه ۲/۳ میلی‌متر می‌باشد (ذوفن و همکاران، ۱۳۹۲).

جمع‌آوری نمونه‌ها: متغیرهای بررسی شده در این پژوهش میزان فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، روی و آهن موجود در نمونه‌های خاک برداشت شده از اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان می‌باشند که در این مطالعه مورد سنجش قرار گرفته‌اند. نمونه برداری از خاک‌های سطحی اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان به جهت اندازه‌گیری عناصر جزئی در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ انجام گرفت. در کل ۱۲ نمونه خاک سطحی به‌صورت مرکب از اطراف مجتمع فولاد اکسین برداشت گردید و نمونه‌برداری جهت تعیین غلظت ۵ عنصر صورت پذیرفت. بنابراین جامعه آماری تعداد ۶۰ نمونه را در برگرفت. در این مطالعه، نمونه‌برداری به‌روش سیستماتیک تصادفی (Systematic Random Sampling) انجام گرفت و نمونه‌ها در فواصل معین ۱۰۰ متری از یکدیگر برداشت گردیدند (USEPA، ۱۹۹۶). نمونه‌های سطحی با استفاده از بیلچه فلزی بدون رنگ از عمق متوسط ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک برداشت شدند. همه نمونه‌ها با وزن تقریبی ۱/۵ کیلوگرم و به‌صورت مرکب جمع‌آوری شده و به کیسه‌های پلی‌اتیلنی (Polyethylene) منتقل گردیدند. هر نمونه مرکب شامل ۳ زیر نمونه بوده که با فاصله ۳ متر از هم برداشت شده و سپس با هم مخلوط گردیدند، پس از نمونه‌برداری به هر یک از نمونه‌ها برچسب مختصات زده شد و سپس برای آماده‌سازی و خشک شدن به آزمایشگاه لوله سازی اهواز منتقل گردیدند و تا زمان آنالیز به دور از تابش مستقیم نور خورشید قرار داده شدند (جدول ۱).

آماده‌سازی اولیه نمونه‌های خاک: پس از نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل گردیدند تا آماده‌سازی آن‌ها جهت هضم انجام شود. بدین‌ترتیب، ابتدا بقایای گیاهی و زوائد از نمونه‌ها جدا گردیده سپس نمونه‌ها در ظروف پتری‌دیش ریخته شدند و در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد که دمای موردنظر برای خاک خشک می‌باشد، به‌مدت ۲۴ ساعت حرارت داده شدند و کاملاً خشک گردیدند. پس از خشک شدن، نمونه‌های خاک از الک با مش ۱۰ سایز ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و جهت انجام آزمایش توزین گردیدند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۴).

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در خاک‌های اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان

فاصله از کارخانه (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
مجاور	48°44'36.1"E	31°16'24.4"N
۱۰۰	48°44'35.5"E	31°16'28.5"N
۲۰۰	48°44'43.1"E	31°16'29.1"N
۳۰۰	48°44'45.0"E	31°16'29.3"N
۴۰۰	48°44'46.9"E	31°16'29.3"N
۵۰۰	48°44'48.8"E	31°16'29.3"N

هضم شیمیایی نمونه‌های خاک: نمونه‌های برداشت شده پس از خشک شدن، از الک با چشمه ۲ میلی‌متر عبور داده شدند، سپس ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون جداسازی شده و با استفاده از هاون تحقیق پودر گردیدند. در ادامه ۱ گرم از هر یک از نمونه‌های خاک وزن و در بشر پلی‌اتیلنی قرار داده شد و سپس با اضافه نمودن چند قطره اسیدکلریدریک (HCL) و اسیدفلوئوریدریک (HF) به‌میزان ۷ سی‌سی، نمونه‌ها روی حمام‌آبی و در ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد تا مرحله نزدیک به خشک‌شدن حرارت‌داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر یک ۷ سی‌سی‌اسیدنیتریک (HNO3)و اسیدکلریدریک (HCL) به‌صورت تیزاب سلطانی اضافه گردید و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شدند. پس از هضم نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن‌ها و حرارت ملایم، محلولی کاملاً شفاف به‌دست آمد. سپس کلیه نمونه‌ها توسط اسیدکلریدریک، یک نرمال‌در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی‌سی‌رسیده‌و به‌دستگاه‌جذب اتمی تزریق گردیدند و میزان عناصر مورد نظر در هر یک از آن‌ها قرائت گردید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴).

محاسبه شاخص‌های آلودگی: شاخص‌های موردبررسی‌در این پژوهش شامل:فاکتور آلودگی(CF: Contamination factor)، شاخص غنی‌شدگی (EF: Enrichment factor)، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd: Modified Degree of Contamination)می‌باشد که در ادامه به‌شرح هر یک از این شاخص‌ها پرداخته می‌گردد:

فاکتور آلودگی: در این مطالعه، شاخص‌فاکتورآلودگی در خاک طبق‌فرمول Hakansun (۱۹۸۰) محاسبه گردید(Boron و همکاران، ۲۰۱۵). Hakansun (۱۹۸۰)، از فاکتور آلودگی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک استفاده نمود. در این راستا، ضریب آلودگی از تقسیم‌کردن غلظت‌عنصر در نمونه برداشت‌شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به‌دست می‌آید و بیانگر میزان آلودگی خاک به عناصر جزئی است که از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

رابطه (۱): $C_f = Cn/Cb$

C_f : فاکتورآلودگی، Cn: مقدارغلظت عنصر موردنظر در خاک منطقه و Cb: مقدار غلظت عنصر مورد نظر در نمونه زمینه می‌باشد.

شدت آلودگی خاک براساس فاکتور آلودگی در ۴ رده طبقه‌بندی می‌گردد (Jiao و همکاران، ۲۰۱۵) (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲: مقدار غلظت عنصر مورد نظر در نمونه زمینه (سیستانی و همکاران،۱۳۹۶)

عناصر	میانگین در خاک زمینه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
سرب	۱۴
نیکل	۸۰
کروم	۱۰۰
روی	۷۵
آهن	۴۱۰۰۰

شاخص غنی‌شدگی: شاخص غنی‌شدگی نیز روش مناسبی جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است. در این مطالعه شاخص غنی‌شدگی، طبق رابطه ذیل محاسبه گردید:

رابطه (۲): $EF = \frac{[C_n/C_r]_S}{[C_n/C_r]_B}$

$[C_n/C_r]_S$: غلظت فعلی عنصر مورد نظر به غلظت عنصر مرجع در نمونه و $[C_n/C_r]_B$: غلظت‌فعلی‌عنصر موردنظر به غلظت‌عنصر مرجع در پوسته‌زمین می‌باشد. عنصر مرجع، عنصری است که تغییرات اندکی در محیط داشته و غلظت آن در محیط متأثر از فعالیت‌های انسانی نباشد. در این‌مطالعه نیز آهن به‌عنوان عنصر مرجع درنظر گرفته‌شد (Zabir و همکاران، ۲۰۱۶). در جدول ۴، رده‌بندی خاک براساس ضریب غن شدگی ارائه گردیده است (کرباسی و بیاتی، ۱۳۹۴).

جدول ۳: طبقه‌بندی میزان شدت آلودگی خاک براساس فاکتور آلودگی

کیفیت خاک	مقادیر فاکتور آلودگی
آلودگی پایین	$C_F < 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq C_F < 3$
آلودگی قابل توجه	$3 \leq C_F < 6$
آلودگی بسیار بالا	$C_F \geq 6$

جدول ۴: رده‌بندی مقادیر ضریب غنی شدگی

شدت غنی شدگی	مقادیر شاخص غنی سازی
غنای حداقل	$EF < 2$
غنای متوسط	$2 \leq EF < 5$
غنای قابل توجه	$5 \leq EF < 20$
غنای شدید	$20 \leq EF < 40$
غنای بسیار شدید	$EF \geq 40$

شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی: شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی از مجموع فاکتورهای آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، مطابق رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

رابطه (۳): $mCd = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_F}{n}$

C_F= فاکتور آلودگی و n= تعداد پارامترهای مورد بررسی است.

Abrahim(۲۰۰۵) دسته‌بندی سطح آلودگی خاک را براساس مقادیر کمی‌شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی به‌صورت جدول ۵ ارائه نموده است.

نتایج

براساس نتایج‌حاصل در این پژوهش کم‌تری مقدار انحراف معیار نسبی برای فلز کروم در فاصله ۵۰۰ متری و بیش‌ترین مقدار مربوط به فلز نیکل در فاصله ۲۰۰ متری بوده است. انحراف معیار نسبی

داده‌های تکراری (RSD: Relative standard deviation) و حد تشخیص (LOD: limit of detection) نیز در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول۵: رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده

درجه آلودگی اصلاح شده	مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده
فاقد آلودگی تا درجه پایینی از آلودگی	mCd<1/5
درجه پایین آلودگی	2<mCd<1/5
درجه متوسط آلودگی	4<mCd<2
درجه بالای آلودگی	4<mCd<8
درجه بسیار بالای آلودگی	8<mCd<16
درجه خیلی بالای آلودگی	16<mCd<32
درجه فوق العاده بالای الودگی	mCd≥32

جدول۶: دقت داده‌ها براساس شاخص انحراف معیار نسبی برای نمونه‌های تکرار شده (٪)

فلز	RSD						LOD (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	مجاور	۱۰۰ متر	۲۰۰ متر	۳۰۰ متر	۴۰۰ متر	۵۰۰ متر	
سرب	۰/۳۰	۰/۳۵	۴/۴۴	۰/۷۸	۳/۹۲	۰/۸۵	۰/۰۱
روی	۰/۷۳	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۰۰۳۲
آهن	۴/۹۰	۱/۵۱	۱	۱/۴۴	۲/۰۳	۲/۳۱	۰/۰۰۸۹
کروم	۲/۷۵	۳/۱۴	۰/۴۰	۰/۴۶	۱/۰۵	۰/۲۳	۰/۳
نیکل	۶/۱۹	۱/۴۹	۷/۰۱	۱/۷۲	۲/۴۸	۵/۰۳	۰/۰۱۹

جدول ۷، میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، آهن و کروم حاکی از آن است که با افزایش فاصله از مجتمع فولاد اکسین خوزستان روند کاهشی معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین پایین‌ترین غلظت در فاصله ۵۰۰ متری مجتمع و بالاترین غلظت در مجاورت مجتمع فولاد اکسین خوزستان به‌دست آمد (P<۰/۰۵). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، آهن، کروم و نیکل به ترتیب با مقدار عددی ۸۷/۱۶، ۵۱۹/۹۷، ۳۲۸۷۳/۷۳، ۱۱۸/۴۰ و ۳۴/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین غلظت عناصر در خاک‌های واقع در تمامی فواصل مورد بررسی از مجتمع فولاد اکسین خوزستان با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (P<۰/۰۵). بالاترین غلظت فلز مربوط به آهن بود، فلزات روی، کروم، سرب و نیکل به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (P<۰/۰۵). غلظت فلز نیکل فلز در مجاورت و ۱۰۰ متری ناحیه مورد مطالعه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵) همچنین غلظت این فلز در دو فاصله ۴۰۰ و ۵۰۰ متری اختلاف معنی‌دار نداشت (P>۰/۰۵). اما روند کاهشی معنی‌دار با افزایش فاصله از مجاورت مجتمع در مورد این فلز نیز مشاهده شد (P<۰/۰۵). شاخص فاکتور آلودگی (Cf) عناصر جزئی در خاک‌های واقع در مجاورت مجتمع فولاد اکسین خوزستان در فواصل مختلف در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۷: مقایسه میانگین فلزات سنگین در خاک‌های مجاور مجتمع فولاد اکسین خوزستان (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات	فاصله					
	مجاور	۱۰۰ متر	۲۰۰متر	۳۰۰ متر	۴۰۰ متر	۵۰۰ متر
سرب	۱۱۲/۰۸±۰/۳۴a	۱۰۱/۲۱±۰/۳۶b	۹۲/۳۸±۴/۱۱c	۸۵/۰۶±۰/۶۷d	۷۱/۳۶±۲/۸۰e	۶۰/۸۸ ±۰/۵۲f
روی	۷۹۲/۲۶±۵/۸۳a	۶۸۵/۱۵±۲/۸۹b	۵۹۳/۲۹±۲/۳۰c	۴۷۴/۲۸±۰/۵۶e	۳۴۲/۶۱±۱/۰۹f	۲۳۲/۱۷±۱/۱۸f
آهن	۳۹۵۱/۳۳±۱۹۳/۶۷a	۳۸۳۴۴±۵۸۱b	۳۴۳۳۶±۳۴۳/۴۷c	۳۱۴۰۴/۶۶±۴۵۴/۱۰d	۲۹۲۷۵/۶۶±۵۹۵/۲۱e	۲۴۳۶۳/۶۶±۵۶۴/۶۵f
کروم	۱۴۸/۴۰±۴/۰۹a	۱۳۶/۴۹±۴/۲۹b	۱۲۱/۴۸±۰/۴۹c	۱۱۳/۲۲±۰/۵۳d	۱۰۰/۸۰±۱/۰۶e	۸۹/۹۷±۰/۲۱f
نیکل	۴۲/۲۷±۲/۶۲a	۴۰/۷۰±۰/۶۱a	۳۷/۳۷±۲/۶۲b	۳۳/۰۴±۰/۵۷c	۲۷/۷۹±۰/۶۹d	۲۵/۴۱±۱/۲۸d

حروف غیرمشابه به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵).

جدول ۸: میزان شاخص فاکتورآلودگی (Cf) فلزات سنگین درخاک‌های واقع در مجاورت مجتمع فولاد اکسین خوزستان

نقطه	فلز				
	سرب	روی	آهن	کروم	نیکل
مجاور	۵/۶۰	۸/۳۴	۰/۸۴	۱/۶۵	۰/۸۴
۱۰۰ متر	۵/۰۶	۷/۲۱	۰/۸۱	۱/۵۲	۰/۸۱
۲۰۰متر	۴/۶۲	۶/۲۴	۰/۷۳	۱/۳۵	۰/۷۵
۳۰۰ متر	۴/۲۵	۴/۹۹	۰/۶۷	۱/۲۶	۰/۶۶
۴۰۰ متر	۳/۵۷	۳/۶۱	۰/۶۲	۱/۱۲	۰/۵۵
۵۰۰ متر	۳/۰۴	۳/۰۱	۰/۵۲	۱	۰/۵۱

در فلزات سرب، روی، آهن، کروم و نیکل با افزایش فاصله از مجتمع همانند غلظت فلزات، شاخص فاکتور آلودگی (Cf) کاهش داشت. این شاخص در فلز روی بالاترین مقدار را داشت فلزات سرب و کروم در رده‌های بعدی قرار داشتند، نیکل و آهن کم‌ترین میزان این شاخص را داشتند. مقادیر این شاخص در مورد فلز آهن در فاصله ۲۰۰ متر پایین‌تر از کروم و در دو فاصله ۴۰۰ و ۵۰۰ متر آهن بالاتر از کروم بود. شاخص غنی‌شدگی عناصر جزئی در خاک‌های واقع در مجاورت مجتمع فولاد اکسین خوزستان در فواصل مختلف در جدول ۹ ارائه

شده است.در فلزات سرب، روی، آهن، کروم و نیکل با افزایش فاصله از مجتمع همانند غلظت فلزات، شاخص غنی‌شدگی کاهش داشت. این شاخص در فلز روی بالاترین مقدار را داشت فلزات سرب، کروم، آهن و نیکل در رده‌های بعدی قرار داشتند.

جدول ۹: میزان شاخص غنی‌شدگی (EF) فلزات سنگین در خاک‌های مجاور مجتمع فولاد اکسین خوزستان

نقطه	فلز				
	سرب	روی	آهن	کروم	نیکل
مجاور	۸/۳۴	۱۱/۱۴	۰/۹۶	۱/۵۶	۰/۵۶
۱۰۰ متر	۷/۷۶	۹/۹۳	۰/۹۳	۱/۴۸	۰/۵۶
۲۰۰متر	۷/۹۱	۹/۶۰	۰/۸۴	۱/۴۷	۰/۵۷
۳۰۰ متر	۷/۶۵	۸/۳۹	۰/۷۶	۱/۵۰	۰/۵۵
۴۰۰ متر	۷/۱۷	۶/۵۰	۰/۷۱	۱/۴۳	۰/۵۰
۵۰۰ متر	۷/۱۰	۵/۲۹	۰/۵۹	۱/۳۲	۰/۴۹

با توجه به جدول ۱۰، مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده برای‌عنصر روی با درجه آلودگی بالا، سرب با میزان آلودگی متوسط، کروم و نیکل با میزان آلودگی بسیار پایین و برای آهن فاقد آلودگی می باشد.

جدول۱۰: میزان شاخص درجه آلودگی اصلاح شده فلزات سنگین در خاک‌های مجاور مجتمع فولاد اکسین خوزستان

عنصر	مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده
سرب	۴/۳۵
روی	۵/۵۶
آهن	۰/۰۶۹
کروم	۱/۳۱
نیکل	۰/۶۸

بحث

هدف از انجام این پژوهش،بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های اطراف مجتمع فولاداکسین خوزستان با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و درجه آلودگی اصلاح شده بود. براساس نتایج حاصل، غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه با افزایش فاصله از محل کارخانه روندی کاهشی داشته است،به‌طوری‌که بالاترین میزان غلظت فلزات در مجاورت مجتمع و پایین‌ترین میزان نیز در فاصله ۵۰۰ متری نسبت به مجتمع به‌دست آمد. این کاهش غلظت‌ها بیانگر تاثیر مستقیم فعالیت‌های کارخانه بر روی زمین شیمی خاک‌های سطحی اطراف آن بوده‌است و نشان می‌دهد که مناطق نزدیک مجتمع فولاد اکسین خوزستان به‌عنوان نقاط داغ آلودگی در خاک منطقه مطرح می‌باشند.همچنین میزان اغلب شاخص‌های سنجش آلودگی با افزایش فاصله از کارخانه کاهش یافته و در این حالت از تحریک فلزات نیز کاسته شده است و درنهایت روند تغییر شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به‌صورت روند کلی آهن<نیکل<کروم<سرب<روی به‌دست آمد.براساس این روند، فلزات روی و سرب به‌عنوان مهم‌ترین عناصر انتشار یافته از مجتمع فولاد اکسین خوزستان شناخته شدند و عناصر کروم، نیکل و آهن نیز در رده‌های بعدی آلودگی قرار گرفتند. با وجود فعال بودن واحدهای مختلف در کارخانه،خاک‌های واقع در مناطق اطراف به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر آلاینده‌ها و ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه قرار دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که غلظت عناصر به‌طور قابل توجهی در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت بوده است که این امر بیانگر توزیع ناهمگن آن‌ها به‌دلیل فعالیت‌های انسانی می‌باشد. به عبارت دیگر، فاصله از منبع آلودگی(مجتمع فولاد اکسین) بر کاهش غلظت آلاینده‌ها در منطقه موثر بوده و علاوه برآن، ماهیت مواد مادری و ویژگی‌های طبیعی خاک نیز در این مشارکت داشته است. شاخص غنی‌شدگی به‌عنوان معیاری مناسب جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است و تاثیر فعالیت‌های انسانی را بر محیط زیست خاکی نشان می‌دهد. حداکثر میزان این شاخص با مقدار عددی ۱۱/۱۴ مربوط به عنصر روی بوده که در نقطه مجاور کارخانه ثبت گردید. حداقل میزان شاخص نیز مربوط به عناصر آهن و نیکل بوده که در فاصله ۵۰۰ متری از کارخانه ثبت گردید. بنابراین در مجموع میزان فاکتور غنی‌شدگی محاسبه شده بیانگر آن بود که خاک‌های منطقه دارای حداقل غنی‌شدگی نسبت به عناصر نیکل، آهن و کروم بوده و نسبت به عناصر روی و سرب غنی شدگی قابل توجهی را نشان می‌دهند و در نهایت روند تغییرات فاکتور غنی شدگی فلزات در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به‌صورت روند کلی آهن< نیکل<کروم< سرب< روی به‌دست آمد. که یکی از عوامل مهم در ارزیابی میزان تغلیظ عناصر تحت تاثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است.هم‌چنین افزایش شاخص غنی‌سازی این عناصر نشان‌دهنده بالا بودن میزان مهم غیرپوسته‌ای آن‌ها می‌باشد. غلظت عناصر سرب و روی عمدتاً تحت تاثیر فعالیت‌های مرتبط با مجتمع فولاد اکسین بوده است. از سوی دیگر، میزان غلظت عناصر نیکل، آهن و کروم در خاک توسط هر دو عامل منابع طبیعی و انسانی ایجاد گردیده است. به‌ویژه عناصر نیکل و آهن که تغییرات اندکی در محیط داشته و میزان پایین فاکتور غنی‌شدگی آن‌ها، احتمالاً به‌دلیل منشأ طبیعی این فلزات بوده است. فاکتور آلودگی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه،

میزان شاخص فاکتور آلودگی در تمامی عناصر مورد نظر با افزایش فاصله از مجتمع روند کاهشی داشته است. عنصر روی در مجاورت و فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ متری نسبت به کارخانه، آلودگی بسیار بالایی از خود نشان داده در نهایت نیز روند تغییرات فاکتور آلودگی عناصر جزئی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به‌صورت روند کلی آهن< نیکل< کروم< سرب<روی به‌دست آمد. این شاخص نیز همانند شاخص غنی‌شدگی خاک نسبت به عناصر جزئی کاملاً یکسان بوده است. با توجه به توسعه مجتمع فولاد اکسین خوزستان در تولید قطعات اولیه فولاد مورد نیاز کشور و نیز اهمیت روز افزون رعایت مسائل زیست محیطی در واحدهای مختلف آن، نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و کار آمد جهت کنترل آلاینده‌ها و ضایعات حاصل از فعالیت این کارخانه بیش از پیش آشکار می‌باشد. صنعت فولاد از جمله صنایع بوده که همواره به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست محسوب می‌گردد. در این زمینه مجتمع فولاد اکسین خوزستان نیز اگر چه در سال‌های اخیر سعی در کسب استانداردهای زیست‌محیطی لازم نموده، لکن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و عمده‌ترین منابع آلودگی خاک و هوا محسوب بوده و با توجه به این‌که بیش از ۱۵ سال از تاسیس این کارخانه در منطقه می‌گذرد، در این مطالعه خاک اطراف محدوده مورد نظر نسبت به آلودگی جهت ارزیابی میزان آلایندگی عناصر مذکور استفاده شده است. یافته‌های حاصل از مطالعه آبیاره و همکاران (۱۳۹۵) که براساس شاخص فاکتور آلودگی صورت پذیرفت، نشان داد که خاک اطراف کارخانه فولاد یزد از لحاظ عنصر سرب غیرآلوده بوده و وجود کارخانه تاثیری بر میزان این عنصر نداشته است. درحالی‌که در مطالعه حاضر، برآورد شدت آلودگی با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی نشان‌دهنده آلودگی قابل توجه عنصر سرب در خاک‌های منطقه مورد مطالعه بوده است. طبق نتایج حاصل از مطالعه Dai و همکاران (۲۰۱۵) که به بررسی و شناسایی منشأ عناصر جزئی آهن، نیکل، روی منگنز و کادمیوم در خاک‌های اطراف منطقه صنعتی فولاد و آهن در کشور چین پرداختند، بالاترین میزان شاخص غنی‌شدگی در عنصر کادمیوم مشاهده گردید و آهن به‌همراه کادمیوم و منگنز به‌عنوان فلزات عمده و نشانگر در انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولادی و معرفی شده و مشخص گردید که این عناصر می‌توانند به آسانی در اتمسفر انتشار یافته و به خاک انتقال یابند. این نتایج با یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهد. براساس مطالعه انجام‌شده توسط Bello Zakari و همکاران (۲۰۱۵) که در کشور نیجریه صورت پذیرفت، نتایج حاصل از شاخص فاکتور آلودگی بیانگر آلودگی بسیار بالا فلزات سنگین در خاک منطقه بوده است. در مطالعه حاضر نیز، خاک‌های واقع در مجاورت کارخانه و هم‌چنین در فواصل ۱۰۰و ۲۰۰ متری نسبت به کارخانه، در زمره خاک‌های با شدت آلودگی قابل توجه قرار گرفتند. در مطالعه Akoto و همکاران (۲۰۱۷) که در خاک‌های اطراف صنایع فولاد شهر کوماسی صورت پذیرفت، میزان شاخص غنی‌شدگی عناصر کروم، روی، کادمیوم و سرب، غنای قابل توجهی را نشان داد و در نهایت مشخص گردید که میزان غلظت آلاینده‌ها با افزایش فاصله از منطقه صنعتی روندی نزولی داشته است. در مطالعه حاضر نیز غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه با فاصله از کارخانه روندی کاهشی داشته و خاک‌های منطقه نیز نسبت به عناصر روی و سرب غنی‌شدگی قابل توجهی را نشان دادند. میزان بالای شاخص فاکتور آلودگی برای عناصر روی و سرب نشان می‌دهد که این عناصر عمدتاً تحت تاثیر حضور منابع انسانی هم‌چون فولاد در منطقه ایجاد شده‌اند. به‌طوری‌که فعالیت‌های صنعتی در مجتمع، عاملی بر روند جذب و تجمع بالای این عناصر در خاک‌های محدوده مورد مطالعه و تاثیرگذاری آن‌ها بر محیط‌زیست اطراف مجتمع صنعتی بوده که این می‌تواند به‌عنوان یک پیامد جدی، حفاظت بیش از پیش از خاک را طلب نماید. عناصر روی و سرب به صورت گردو غبار و همراه با ریزش‌های جوی یا به همراه پساب از واحدهای مختلف تولید مجتمع فولاد به درون خاک رسوب نموده و منجربه آلودگی خاکی و نهایتاً آلایندگی زنجیره غذایی می‌گردند. آهن و نیکل نیز جزء آن دسته از عناصری می‌باشند که غلظت بالای در پوسته زمین داشته و در نتیجه غلظت آن‌ها در خاک منطقه تحت تاثیر هر دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد قرار می‌گیرد. در واقع آهن یکی از عناصر اصلی در پوسته زمین و دارای ارتباط اساسی با ذرات درشت اتمسفری (جوی) انتشار یافته از منابع آلاینده است و می‌توان احتمال داد که منشأ تولیدی آن منطقه عمدتاً عوامل طبیعی زمین زاد و مواد سازنده خاک بوده است. یافته‌ها نشان داد میزان شدت آلودگی در مجاورت مرکز صنعتی در مقایسه با سایر خاک‌های منطقه بالاتر بوده و با توجه به مناطقی که تحت تاثیر آلودگی نبوده، می‌توان بیان نمود که با ادامه روند کنونی در انتشار آلاینده‌ها از مجتمع فولاد، وضعیت آلودگی قابل توجهی در سال‌های آینده در سایر نقاط رخ خواهد داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی محیط زیست- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، با عنوان بررسی میزان آلودگی عناصر جزئی آهن، روی، کروم، سرب، نیکل در خاک اطراف مجتمع فولاد اکسین خوزستان می‌باشد. در اینجا از کلیه افرادی که در تهیه و به اتمام رساندن این پایان‌نامه یاری نمودند، کمال تشکر را دارد.

منابع

۱. **آبیاره، م.؛نژادکورکی، ف.؛ اختصاصی، م.ر. و اخوان‌قالیباف، م.، ۱۳۹۷.** ارزیابی آلودگی خاک سطحی به فلزات سنگین ناشی از صنایع فولاد. مجله پژوهش در بهداشت محیط. سال ۴، شماره ۴، صفحات ۳۰۲ تا ۳۱۰.

۲. **اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان. ۱۳۹۵.** مطالعات تکمیلی طرح جامع آلودگی‌های زیست محیطی صنایع خوزستان (صنایع آهن و فولاد). ۲۴۸ صفحه.

۳. **حسینی، م.؛حبیبی، ح.؛رحمانی، ا.؛مقدسی‌فر، س.؛ کشاورز، س. و محمدنژادآبندانسرای، س.، ۱۳۹۴.** طیف‌سنجی جذب اتمی شعله‌ای (روش‌های تجزیه‌ای). چاپ اول. تهران. انتشارات پادینا. ۴۰ صفحه.

۴. **ذوفن، پ.؛ سعادت‌خواه، ع. و رستگارزاده، س.، ۱۳۹۲.** مقایسه توانایی تغلیظ فلزات سنگین در پوشش گیاهی منطقه اطراف صنایع فولادسازی در جاده بندرامام- ماهشهر، اهواز. مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران. سال ۵، شماره ۱۶، صفحات ۴۱ تا ۵۶.

۵. **سیستانی، ن.؛ معین‌الدینی، م.؛ خراسانی، ن.؛ حمیدیان، ا. ح.؛ علی‌طالشی، م.ص. و عظیمی‌یانچشمه، ر.، ۱۳۹۶.** آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. سلامت و محیط زیست. سال ۱۰، شماره ۱، صفحات ۷۵ تا ۸۶.

۶. **سینکاکریمی، م.ح.؛ سلگی، ع. و حسین‌زاده، ا.، ۱۳۹۷.** تعیین تفاوت در حساسیت گونه‌های مختلف کرم‌خاکی به سرب با استفاده از سطوح پیش پراکسیداسیون لیپیدی و آنتی‌اکسیدانی کل. فصلنامه محیط زیست جانوری. سال ۱۰، شماره ۲، صفحات ۲۶۱ تا ۲۶۸.

۷. **صیادی، م.ح.؛ رضایی، م.ر. و حاجیانی، م.، ۱۳۹۶.** بررسی آلودگی خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان قاین به فلزات سنگین سرب و کروم. مجله محیط زیست و مهندسی آب. سال ۳، شماره ۴، صفحات ۳۱۲ تا ۳۲۲.

۸. **علی‌عسگری، ا.؛ ماشینچیان‌مرادی، ع.؛ احتشامی، ف.، جمیلی، ش. و ربانی، م.، ۱۳۹۷.** بررسی تغییرات فصلی آنزیم گلوتاتیون‌اس ترانسفراز کاتالاز و استیل کولین استراز در اندازه‌های مختلف صدف دوکفه‌ای مرواریدساز *Pinctada radiata*. فصلنامه محیط زیست جانوری. سال ۱۰، شماره۴، صفحات ۳۱۹ تا ۳۳۰.

۹. **کرباسی، ع. و بیاتی، آ.، ۱۳۹۴.** راهنمای نمونه‌برداری و آنالیز سم شناختی رسوبات. چاپ اول. تهران. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۷۲ صفحه.

۱۰. **منصوری، ن. و عظیمی‌حسینی، ش.، ۱۳۹۵.** فلزات سنگین در محیط زیست. چاپ اول. تهران. انتشارات حک. ۲۹۶صفحه.

۱۱. **نیکفر، ف.؛ غلامی، ع.؛ سبزعلیپور، س.؛ نظرپور، ا. و جعفری، م.ا.، ۱۳۹۸.** شناسایی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مناطق صنعتی شهرستان ماهشهر. فصلنامه مهندسی آب. سال ۷، شماره ۲، صفحات ۱۱۲ تا ۱۲۲.

۱۲. **هرمزی‌نژاد، ف.؛ راست‌منش، ف. و زراسوندی، ع.، ۱۳۹۵.** ارزیابی میزان آلودگی عناصر جزئی (نیکل، آهن، روی، کروم، منگنز و سرب) در خاک‌های اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان. مجله زمین‌شناسی اقتصادی. سال ۸، شماره ۲، صفحات ۴۱۵ تا ۴۲۹.

13. **Abrahim, G.M.S., 2005.** Holocene Sediment of Tamaki Estuary: characteristion and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. Aukland, New Zealand: University of Auckland.

14. **Acheampong, F.; Akenten, J.; Imoro, R. and Agbesie, H., 2016.** Evaluation of heavy metal pollution in the same industrial area Kumasi, Ghana. Journal of health and pollution. Vol. 6, No. 10, pp: 56-63.

15. **Akoto, O.; Sam, N.; Ikenaka, Y.; Nakayama, S. and Daidoo, E., 2017.** Contamination levels and sources of heavy metals and a metalloid in surface soils in the Kumasi Metropolice Ghana. Journal of Health and pollution. Vol. 7, No. 15, pp: 28-39.

16. **Bello Zakari, Y.; Ibeanu, I. and Muhammad, B., 2015.** Evaluation of heavy metal pollution in soils of dana steel limited dumpsite, Katsina state, Nigeria Using pollution load degree of contamination indices. American Journal of Engineering research (AJER). Vol. 12, No. 4, pp: 161-169.

17. **Boron, A.; Koladka, K. and Sinohe, M., 2015.** Heavy metal Concentration and the occurred of selected micro organisms in soils of a Steelworks area in Poland. J of Plant and Soil and Environment. Vol. 61, No. 6, pp: 273-278.

18. **Dai, Q.; Bi, X.; Wu, J.; Zhang, Y. and Xu, H., 2015.** Characterization and source identification of heavy metals in ambient PM10 and PM2.5 in an integrated iron and steel industry zone compared with a background site. Journal of Aerosol and Air Quality Research. Vol.15, pp: 875-887.

19. **Gevorgyan, G.; Ghazaryan, K.; Movsesyan, H. and Zhamharyan, H., 2017.** Human health risk assessment of heavy metal pollution in soils around Kapan mining area, Armenia. Electronic J of natural sciences. Vol. 2, pp: 29-38.

20. **Hakansun, L., 1980.** Ecological risk index for aquatic pollution control, a sediment logical approach. Journal of water research. Vol. 14, pp: 975-100.

21. **Jiao, X.; Teng, Y.; Zhan, Y. and Lin, X., 2015.** Soil heavy metal Pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast china. PLOS one Journal. Vol. 60, No. 5, pp: 137-145.

22. **Koki, I.; Taqui, S.; Shehu, G. and Kharisu, C., 2017.** Exposure Study and Health Risk assessment of heavy metal in soils around tanneries in Challawa industrial estate, Kano, Nigeria. Research. Vol. 4, No. 2, pp: 108-117.

23. **Liao, X.; Zhang, C.; Sun, G.; Li, Z. and Yang, Y., 2018.** Assessment of metalloid and metal contamination in Soils from Hainan, China. International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol. 15, pp: 454-466.

24. **Qing, X.; Yutang, Z. and Shenggao, L., 2015.** Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning china. Journal of ecotoxicology and environment safety. Vol. 120, pp: 377-385.

25. **Taiwo, A.M.; Beddows, D.C.S.; Calzolai, G.; Harrison, R.M.; Lucarelli, F. and Nava, S., 2014.** Receptor modelling of airborne particulate matter in the vicinity of a major steelworks site. Science of the Total Environment. Vol. 49, pp: 488-500.

26. **USEPA (United State Environmental Protection Agency). 1996.** Method 3050B: Acid Digestion, Sludges and Soils (Revision 2).

27. **Yan, X.; Liu, M.; Zhong, J.; Guo, J. and Wu, W., 2018.** How human activities affect heavy metal contamination of soil and sediment in a long-term reclaimed area of the Liaohe River Delta, North china. Sustainability Journal. Vol. 10, pp: 10: 338-356.

28. **Zabir, A.; Zaman, M.; Hossen, Z.; Uddin, N. and Islam, S., 2016.** Spatial dissemination of some heavy metals in soil nearby to Bhaluka industrial area, Mymensingh, Bangladesh. American Journal of Applied Research. Vol. 2, No. 6, pp: 38-74.

29. **Zhang, Y.; Sun, X. and Mito, C., 2018.** Analysis on the distribution characteristics and sources of soil heavy metals in suburban farmland in Xiangtan city. Journal of Earth and Environmental Science. pp: 108-118.