Journal of Research in Environmental Health

Volume 4, Issue 4, Winter 2019

Evaluation of Heavy Metals Contamination in Surface Soil Caused by Steel Industry

Mostafa Abyareh
MSc in Environmental Engineering, Department of Environment, Faculty of Natural Resources,Yazd University, Yazd, Iran

Farhad NejadKoorki
* Associate Professor of Environment, Department of Environment, Faculty of Natural Resources,Yazd University, Yazd, Iran. (Corresponding Author):
Email: f.nejadkoorki@yazd.ac.ir,

Mohammadreza Ekhtesasi
Professor of Natural Resources and Desertification Department of Range and Watershed Management- Yazd University, Yazd, Iran

Mohammad Akhavan Ghalibaf
Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Desertification Department of Management Arid and Desert Regions- Yazd University, Yazd, Iran

Received: 2018/10/03
Accepted: 2018/12/05

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Expanded industries and incorrect management led to land pollution, which caused irreparable damage to nature and organisms. Therefore, investigating the role of industrial centers in soil pollution is among the most important measures in field of pollution control. This study aimed to evaluate the heavy metals contamination in surface soil caused by steel industry.

Materials and Methods: In this study, to determine the concentrations of cadmium and lead in soil, 6 soil samples were collected from surrounding areas of steel industry from a depth of 0-5 cm.. lead and cadmium levels were measured in soil samples by flame atomic absorption. The statistical indices for concentrations of elements in soil dust were calculated, then the concentrations of the elements in soil before and after the factory establishment were compared, and in order to evaluate the contaminations of heavy metals and to assess the environmental impact of the modified degree of contamination, the degree of contamination and the potential environmental risk were calculated.

Results: The minimum and maximum amounts for cadmium and lead in soil were 24.60, 99.30 and 35.60, 156.30 mg/kg respectively. The results indicated there was a significant difference between the amounts of cadmium before and after the stablishment of the industry. According to the obtained results, the pollutant index for cadmium was critical and dangerous in contrast to lead, ..

Conclusion: Concentrations of two measured elements showed that only level of cadmium was higher than global standards and this indicates polluting role of this factory. Therefore, planning for control of such pollutants release into the environment should be considered.

Keywords: contamination soil, Pollution index, Steel Plant

▶ **Citation:** Abyareh M, NejadKoorki F, Ekhtesasi M, Akhavan Ghalibaf M. Evaluation of Heavy Metals Contamination in Surface Soil Caused by Steel Industry. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2019;4 (4): 302-310.

ارزیابی آلودگی خاک سطحی به فلزات سنگین ناشی از صنایع فولاد

مصطفی ابیاره
کارشناس ارشد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
فرهاد نژادکورکی
* دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. نویسنده مسئول:
پست الکترونیکی: f.nejadkoorki@yazd.ac.ir
محمدرضا اختصاصی
استاد منابع طبیعی و کویرشناسی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
محمد اخوان قالیباف
استادیار منابع طبیعی و کویرشناسی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: افزایش جمعیت منجر به گسترش صنایع شده و مدیریت نادرست صنایع منجر به آلودگی اراضی و آسیب‌های جبران‌ناپذیر به طبیعت و موجودات زنده می‌گردد. لذا بررسی نقش مراکز صنعتی در آلودگی خاک، از مهم‌ترین اقدامات در زمینه کنترل آلودگی‌هاست. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آلودگی خاک سطحی به فلزات سنگین ناشی از صنایع فولاد انجام شد.
مواد و روش‌ها: در این مطالعه به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب خاک، ۶ نمونه خاک از عمق ۰-۵ سانتی‌متر مناطق اطراف کارخانه جمع‌آوری شدند. میزان سرب و کادمیوم در نمونه توسط دستگاه جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شد. شاخص‌های آماری غلظت عناصر مورد بررسی در غبار سطحی خاک محاسبه شد، سپس غلظت عناصر در خاک قبل و بعد کارخانه مقایسه شدند و برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین و بررسی اثرات محیط‌زیستی درجه آلودگی اصلاح‌شده، شاخص‌های درجه آلودگی و درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی محاسبه شد.
یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از آنالیز خاک، بیشترین میزان کادمیوم ۳۵/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین ۲۴/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای سرب بیشترین مقدار ۱۵۶/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین ۹۹/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که بین میزان کادمیوم قبل و بعد کارخانه اختلاف معناداری وجود داشت (P=۰/۲۵۴) که نشان می‌دهد میزان شاخص آلودگی برای آن شدید و خطرناک است، در صورتی که برای عنصر سرب، آلودگی کم و بی‌خطر است.
نتیجه‌گیری: غلظت دو عنصر اندازه‌گیری شده نشان داد که تنها عنصر کادمیوم بالاتر از استانداردهای جهانی بوده و این نمایانگر میزان آلایندگی این کارخانه می‌باشد، لذا برنامه‌ریزی برای کنترل انتشار این فلز و آلاینده‌های دیگر باید مورد توجه قرار گیرد.
کلید واژه‌ها: آلودگی خاک، شاخص آلودگی، صنایع فولاد

◀ **استناد:** ابیاره م، نژادکورکی ف، اختصاصی م، اخوان قالیباف م. ارزیابی آلودگی خاک سطحی به فلزات سنگین ناشی از صنایع فولاد. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۷؛ ۴ (۴): ۳۰۲-۳۱۰.

مقدمه

اثر انسان بر روی زیست‌کره بسیار وسیع و پیچیده بوده و اغلب منجر به تغییرات برگشت‌ناپذیری می‌شود. همه تغییرات انسان‌زاد، تعادل طبیعی هر بوم‌سامانه‌ای که به‌تدریج طی یک دوره طولانی تشکیل شده را برهم می‌زند، بنابراین این تغییرات اغلب منجر به فروکاهی محیط‌زیست انسانی می‌شود (۱). کارخانه‌های ذوب فلزات، بیشترین فعالیت‌های انسانی هستند که می‌توانند سیستم خاک را با مقادیر زیادی فلزات سمی آلوده کنند (۲). در طول قرن گذشته صنایع پیرومتالورژیکی، محیط اطراف خود را به‌وسیله گسیل گردوغبار حاوی فلزات سنگین آلوده کرده‌اند. این گردوغبارها در خاک تغلیظ می‌شوند، سپس خاک‌های آلوده شده به دو طریق: آلودگی غلات و سبزیجات و آلودگی آب زیرزمینی به‌وسیله مهاجرت فلزات از سیستم خاک به آب، خطر زیست‌محیطی ثانویه محسوب می‌شوند؛ به‌ویژه زمانی که خاک‌ها برای کشاورزی استفاده شوند (۳). خاک به‌عنوان بخشی از سیستم زیست، زمین، شیمیایی، نقش مهمی در چرخه عناصر ایفا می‌کند و عملکردی مهم در ذخیره و تصفیه عناصر، انتقال اجزا و رابطه اجزای زنده و غیرزنده دارد (۴). خاک‌ها به عنوان پالاینده‌های طبیعت محسوب می‌شوند و علاوه بر اینکه تأمین‌کننده مواد غذایی هستند، خاصیت تصفیه‌کنندگی نیز دارند. آلودگی خاک به فلزات سنگین، مشکلی جهانی و تهدیدی جدی برای انسان، اکوسیستم‌های طبیعی، منابع آبی و تأسیسات است (۵) و تهدید عمده‌ای برای سلامتی بشر و محیط زیست در حال و آینده به‌شمار می‌رود. این آلودگی‌ها حاصل عملیات روزافزون کشاورزی، شهرسازی و پروژه‌های صنعتی است (۶). حضور فلزات سنگین در بدن انسان می‌تواند موجب بروز مشکلات عدیده‌ای گردد. حضور فلزات به میزان کم در بدن موجب حفظ سلول‌ها شده (آهن، روی، مس، کروم، و ...)، اما وجود میزان بیش از حد این فلزات موجب آسیب دیدن ارگان‌های گیاهی و جانوری می‌شود (۷). فلزات سنگین دو منبع اصلی طبیعی و انسانی دارند. منبع طبیعی، فرسایش سنگ مادری و ورود این فلزات به خاک است و از مهم‌ترین منابع انسانی می‌توان به صنایع فولادی، معدن‌کاوی، حمل‌ونقل جاده‌ای، سوزاندن پسماندها و استفاده از کودها و سموم کشاورزی اشاره کرد (۸). گردوغبار حاصل از فرآیند فولادسازی، از جمله عمده‌ترین آلاینده‌های ناشی از این نوع صنایع است. در خصوص آلوده شدن منابع خاک از طریق صنعت فولاد، بیش‌ترین خطر آلودگی در محصولات کشاورزی مربوط به خروج عناصر سنگین به صورت گردوغبار یا به همراه پساب از واحدهای مختلف تولید و ورود این عناصر به منابع خاک منطقه است که آلوده شدن احتمالی لایه‌های سطحی خاک را به‌همراه دارد (۹). از این جهت، شناسایی تأثیر مراکز صنعتی نظیر مجتمع‌های فولادی بر آلودگی خاک بسیار حائز اهمیت است. مطالعات متعددی در ایران و جهان جهت تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی صورت گرفته است. در مطالعه سیستانی و همکاران که به ارزیابی اثر مجتمع‌های فولاد کرمان بر آلودگی خاک پیرامون آن به فلزات سنگین پرداختند، غلظت سرب و کادمیم بیشتر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی بود (۱۰). عمویی و همکاران با بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی شهر بابل در شمال ایران نشان دادند که خاک منطقه مورد مطالعه از آلودگی کم تا متوسط برخوردار است (۱۱). مطالعه رضا و همکاران که آلودگی فلزات سنگین در اطراف معادن زغال‌سنگ در هندوستان را مورد بررسی قرار دادند، نشان داد که مناطق اطراف معادن، آلودگی بسیار بالایی دارند. همچنین نتایج نشان داد بین سرب و کادمیوم همبستگی بالایی وجود دارد و دلیل این ارتباط، منشأ یکسان برای هر دو فلز است (۱۲). مطالعه تایو و همکاران نشان داد که انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولاد، عامل ایجاد ۴۵٪ از ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون[1] در مجاورت محل فعالیت‌های اصلی فولادی در پورت تابلوت[2] ولز جنوبی است (۱۳).

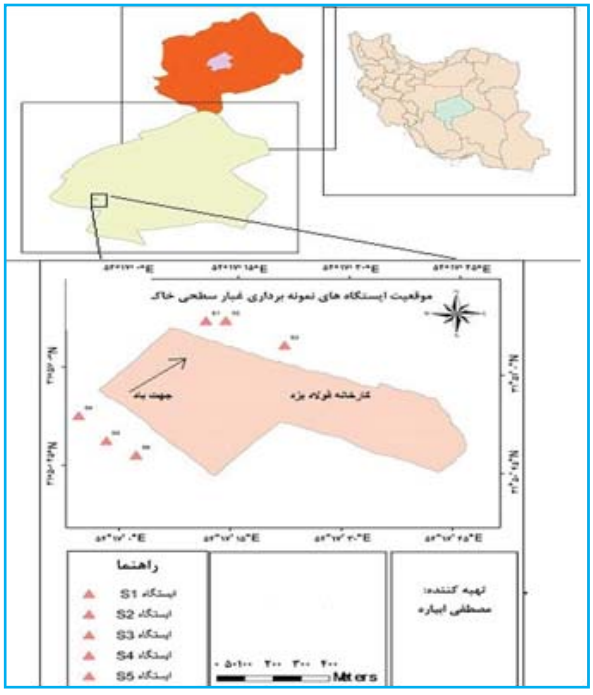
1. PM_{10}
2. Port Tablot

راست‌منش و همکاران، تأثیر صنایع فولاد خوزستان را در آلودگی خاک نواحی اطراف این صنایع مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین میزان آلودگی در این منطقه مربوط به آهن، آرسنیک و سرب است (۱۴). مطالعه لی و همکاران که آلودگی ۸ فلز سنگین را در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین مورد ارزیابی قرار دادند، نشان داد که غلظت سرب، کادمیوم و مس، فراتر از میزان پس‌زمینه مورد مطالعه است. غلظت بالای این فلزات به همراه فلزات روی و جیوه در این مطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شد (۱۵). اتابکی، به بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیم، روی و مس) در خاک مناطق مختلف اصفهان پرداخت که نتایج نشان داد غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک‌های منطقه نسبت به میانگین استاندارد جهانی بیشتر و غلظت فلزات روی و مس نسبت به میانگین استاندارد جهانی پایین‌تر است (۱۶). مرندی و همکاران به بررسی تغییرات عمقی و سطحی سرب و نیکل درخاک‌های منطقه صنعتی ذوب‌آهن اصفهان پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که منطقه از نظر آلودگی به نیکل دارای شدت آلودگی کم و از نظر آلودگی به سرب، منطقه دارای شدت آلوگی بیشتری می‌باشد (۱۷). در میان صنایع مختلف، صنایع فولاد از جایگاه خاصی برخوردارد است. در سال‌های اخیر مصرف سرانه فولاد، شاخص توسعه‌یافتگی کشورها بوده و این صنعت، اساس بسیاری از صنایع دیگر شده است. تولید فولاد می‌تواند خطراتی برای سلامتی و ایمنی بشر داشته باشد (۱۸). به دلیل اهمیت کارخانه فولاد یزد و موقعیت خاص جغرافیایی این صنعت، نزدیکی به شهرهای پرجمعیت، تعیین آلودگی‌های سطحی فلزات سنگین در این منطقه حائز اهمیت است، لذا با در نظر داشتن اثرات جبران‌ناپذیر تجمع فلزات سنگین بر سلامتی انسان و سایر موجودات زنده، تحقیق در این زمینه می‌تواند اطلاعات و راهکارهای مناسبی را در اختیار تصمیم‌گیران برای ایجاد سیاست‌های کاهش سطح آلودگی و بهبود اکوسیستم خاک قرار دهد تا از گسترش آلودگی به محیط اطراف آن جلوگیری شود. همچنین تحقیقات در زمینه ارزیابی مخاطره آلودگی خاک و تعیین منشأ آلاینده‌ها در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است، لذا مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم جهت بررسی درجه آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

گروه تولیدی صنعتی فولاد یزد در سال ۱۳۵۸ با احداث کارخانه در زمینی به مساحت ۴۵ هکتار در یزد تأسیس شد. این کارخانه در منطقه‌ای با موقعیت طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه و ۱۵/۶۱ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه و ۵۶/۹۷ ثانیه قرار دارد (شکل ۱). این کارخانه در فاصله کمتر از یک کیلومتری مناطق مسکونی شهر یزد و در نزدیکی ترمینال مسافربری واقع شده است. کارخانه در منطقه دشتی و دارای آب‌وهوای خشک و بیابانی واقع شده است و متوسط بارندگی آن ۵۰ میلی‌متر و جهت باد غالب از جنوب غربی به شمال شرقی است.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری غبار سطحی خاک

طرح نمونه‌برداری

در این مرحله از پژوهش پس از به‌دست آوردن پاره‌ای اطلاعات اولیه در مورد موقعیت، اقلیم، جهت و سرعت باد، کاربری‌های موجود در منطقه، مشخصات خاک‌های پیرامونی و ...، فعالیت‌های میدانی به شرح زیر انجام و پس از آن مطالعات آزمایشگاهی آغاز گردید. در این مطالعه از روش نمونه‌برداری تصادفی برای نمونه‌برداری استفاده شد. این روش غیرآماری با استفاده از دانش اولیه تغییرات فضایی و زمانی آلاینده‌ها، مکان و زمان نمونه‌برداری را تعیین می‌نماید. لازم به ذکر است این روش انتخاب به‌خصوص زمانی مطرح است که هدف آنالیز به‌سادگی آلاینده‌های حاضر را مشخص می‌نماید. در این پژوهش، ۶ نمونه خاک سطحی به عمق ۰-۵ سانتی‌متر از قطعه‌هایی به ابعاد ۲۰ در ۲۰ با توجه به جهت باد غالب، مساحت و موقعیت کارخانه از خاک‌های سطحی اطراف کارخانه تهیه گردید که ۳ نمونه قبل از کارخانه و ۳ نمونه بعد از کارخانه بود. موقعیت نقاط نمونه‌برداری مشخص و در شکل ۱ نشان داده شده است. سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و درب آن کاملاً بسته شد و بر روی هر پاکت، شماره و محل نمونه ثبت گردید. بعد از انتقال به آزمایشگاه، ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر توسط الک جدا شدند. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در نمونه‌های تهیه شده، از روش بهینه‌سازی شده اسپوزیتو و همکاران (۱۹) استفاده شد. از نمونه‌های خاک، مقدار ۳ گرم با ترازو توزین و در ارلن ۱۲۵ میلی‌لیتری ریخته شد و با استفاده از ۲۱ سی‌سی اسید کلریدریک، ۷ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ و سپس ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک ۰/۵ مولار، عصاره‌گیری صورت گرفت. پس از آنکه ۱۶ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به حال خود رها شدند. سپس به‌مدت ۲ ساعت روی گرمکن حرارت داده شدند تا یک سوم آن باقی بماند. پس از سرد شدن ارلن‌ها، با ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک ۰/۵ مولار دوباره عصاره‌گیری شد. محلول به‌دست آمده از کاغذ صافی عبور داده شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شد (۲۰) و در نهایت به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین مورد نظر از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی پرکین-المر آآ ۲۰۰[1] استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از از نرم‌افزارهای آکسل و SPSS، ورژن ۲۳ استفاده شد. به‌دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای ارزیابی درجه آلودگی خاک در ایران، در این تحقیق جهت ارزیابی آثار محیط‌زیستی عناصر سنگین، غلظت عناصر با استانداردهای بین‌المللی مقایسه شدند، بنابراین از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به‌عنوان استاندارد درجه آلودگی استفاده شد. آنالیزهای آماری با آزمون نرمالیته به روش کولموگروف اسمیرنوف انجام شد و در ادامه با توجه نرمال بودن و نرمال نبودن داده‌ها از آزمون‌های آماری مقایسه میانگین‌ها (تی جفت شده) برای مقایسه بین فواصل تعیین شده و همچنین جهت‌های پراکنش عناصر مورد بررسی نسبت به کارخانه‌های فولاد استفاده شد.

محاسبه شاخص آلودگی

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از فرمول‌های شاخص درجه آلودگی (PI)[2]، شاخص آلودگی تجمعی (IPI)[3]، درجه آلودگی اصلاح شده (mC_d)[4] و عامل خطر محیط‌زیستی (Er)[5] استفاده گردید.

$$PI_i = \frac{C_i}{B_i} \quad (۱)$$

$$IPI = \left(\prod_{i=1}^{\pi} PI_I\right)^{\frac{1}{\pi}} \quad (۲)$$

که در آن، C_i غلظت آلاینده iام و B_i غلظت پایه از ژنز سنگ مادری آلاینده، شاخص آلودگی تجمعی مربوط به آلاینده iام و n تعداد آلاینده‌ها است. هاکسون شاخص دیگر آلودگی با نام درجه آلودگی را ارائه نمود (۲۱) که پژوهشگر دیگری آن را به mC_d اصلاح کرد (۱۹). برای تعیین تغییرات آلودگی از این دو شاخص استفاده شد.

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} PI_i \quad (۳)$$

$$mC_d = \sum_{i=1}^{n} \frac{PI}{n} \quad (۴)$$

1. Perkin-Elmer AA200
2. pollution index
3. Integrated pollution index
4. Modified contamination degree
5. environmental risks

در رابطه (۳)، C_d حاصل جمع شاخص انواع آلودگی‌ها و mC_d میانگین حسابی شاخص آلودگی است.

جدول ۱. طبقه‌بندی کیفی شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (۲۲)

درجه آلودگی اصلاح شده	طبقه کیفی آلودگی	آلودگی تجمعی	شاخص آلودگی
غیر آلوده تا کم mC_d < ۱/۵ کم ۲ > mC_d ≥ ۱/۵	کم	IPI<۱	PI <۱
متوسط ۴ > mC_d ≥ ۲ زیاد ۸ > mC_d ≥ ۴	متوسط	۱≤IPI<۲	۱≤PI<۳
خیلی زیاد ۱۶ > mC_d ≥ ۸ شدید ۳۲ > mC_d ≥ ۱۶ بسیار شدید mC_d ≥ ۳۲	زیاد	IPI ≥۲	PI ≥ ۳

برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در غبار ریزشی و بررسی اثرات اکولوژیک و محیط زیستی فلزات سنگین، عامل خطر بالقوه محیط‌زیستی نیز محاسبه شده است. این روش در سال ۱۹۸۰ توسط هاکنسون (۲۱) معرفی شد و اخیراً در مطالعات مربوط به خاک و غبار بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص‌های درجه آلودگی و درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$Cf_i = \frac{C_n}{B_n} \quad (۵)$$

$$Er_i = Tr \times Cf \quad (۶)$$

$$\mathbf{RI} = \sum_{i=1}^{m} Er_i \quad (۷)$$

در معادله (۵)، Cf_i معرف آلودگی به فلزات سنگین، C_n میزان غلظت فلز اندازه‌گیری شده در هر نمونه و B_n نشان‌دهنده میزان فلزات سنگین در خاک غیرآلوده است و در معادله (۶)، Er نشان‌دهنده عامل خطر بالقوه محیط‌زیستی برای هر فلز، Tr نیز عامل واکنش سمی برای فلزات سنگین است که به پیشنهاد هاکنسون (۲۱) برای سرب و کادمیوم به ترتیب ۵ و ۳۰ در نظر گرفته شده است و در معادله (۷)، خطر کل بالقوه محیط‌زیستی (RI) [1] است. این شاخص برای مجموع چند فلز یا عوامل مختلفی از آلودگی مورد برررسی محاسبه می‌شود. در این رابطه عامل واکنش سمی برای فلزات سنگین به‌کار می‌رود.

جدول ۲. شاخص‌ها و درجه خطر بالقوه محیط زیستی آلودگی فلزات سنگین (۲۳)

درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی برای محیط زیست	شاخص RI	درجه خطر محیط زیستی هر فلز	شاخص Er
خطر کم	RI<۱۵۰	خطر کم	Er <۴۰
خطر متوسط	۱۵۰ ≤ RI <۳۰۰	خطر متوسط	۴۰ ≤ Er <۸۰
خطر قابل ملاحظه	۱۵۰ ≤ RI <۳۰۰	خطر قابل ملاحظه	۸۰ ≤ Er <۱۶۰
خطر خیلی زیاد	RI ≥۶۰۰	خطر زیاد خطر خیلی زیاد	۱۶۰ ≤ Er <۳۲۰ Er ≥ ۳۲۰

یافته‌ها

آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک‌های منطقه مورد مطالعه به صورت حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳. مقدار سرب و کادمیوم در غبار سطحی خاک محدوده مطالعاتی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم (کارخانه فولاد یزد)

مشخصات آماری					
متغیر	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کادمیوم	۶	۲۴/۶۰	۳۵/۶۰	۲۹/۸۰۰	۳/۹۹
سرب	۶	۹۹/۳۳	۱۵۶/۳۰	۱۱۳/۱۲	۲۱/۹۱

در این مطالعه شاخص‌های آماری غلظت عناصر مورد بررسی در غبار سطحی خاک محاسبه شد. بر اساس نتایج آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (جدول ۴)، هر دو عنصر دارای توزیع نرمال بودند، سپس با بکارگیری آزمون تی جفت شده، غلظت عناصر قبل و بعد کارخانه مورد مقایسه قرار گرفتند و از لحاظ شاخص‌های IPI، Er و mC_d مورد بررسی قرار گرفت که به تفکیک برای هر عنصر در زیر ارائه شده است.

1. Risk index

جدول۴. آزمون کولموگروف – اسمیرنوف برای سرب و کادمیوم

عناصر	تعداد نمونه	میانگین	انحراف استاندارد	کولموگروف – اسمیرنوف	سطح معنی‌داری
کادمیوم	۶	۲۹/۸۰	۳/۹۹	۰/۴۲۶	۰/۹۹۳
سرب	۶	۱۱۳/۱۱	۲۱/۹۱	۰/۸۲۰	۰/۵۱۳

سرب

میانگین غلظت سرب در غبار سطحی خاک اطراف کارخانه فولاد ۱۱۳/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که بیشترین آن در ایستگاه بعد کارخانه (S_1) و کمترین مقدار در ایستگاه قبل کارخانه (S_5) مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمون تی جفتی، بین میزان غلظت سرب در قبل و بعد کارخانه اختلاف معناداری وجود نداشت ($p=۰/۲۵۴$) (جدول ۵). نتایج حاصل از شاخص‌های درجه آلودگی و درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی (جدول ۱و۲) نشان داد که بر اساس شاخص آلودگی، سطح آلودگی غیرآلوده تا کم و بر اساس شاخص درجه خطر محیط‌زیستی و عامل خطر محیط‌زیستی، خطر کم است.

کادمیوم

میانگین غلظت کادمیوم در غبار سطحی خاک اطراف کارخانه فولاد ۲۹/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که بیشترین آن در ایستگاه بعد کارخانه (S_4) و کمترین مقدار در ایستگاه قبل کارخانه (S_5) مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس نتایج آزمون تی جفتی، بین میزان غلظت کادمیوم در قبل و بعد کارخانه اختلاف معناداری وجود داشت ($p=۰/۰۱۴$) (جدول۵). نتایج حاصل از شاخص‌های درجه آلودگی و درجه خطر بالقوه محیط‌زیستی (جدول ۱و۲) نشان داد که بر اساس شاخص آلودگی، سطح شدید و بسیار شدید و بر اساس شاخص درجه خطر محیط‌زیستی و عامل خطر محیط‌زیستی، خطر خیلی زیاد است.

جدول ۵. نتایج آزمون مقایسه میانگین تی جفت شده برای مقایسه میانگین سرب و کادمیوم غبار سطحی خاک

مشخصات آماری / عناصر	سرب	کادمیوم
میانگین	-۲۴/۱۰	-۶/۵۳
انحراف معیار	۲۶/۳۴	۱/۳۶
حد پایینی فاصله اطمینان	-۸۹/۵۴	-۹/۹۱
حد بالایی فاصله اطمینان	-۳/۱۵	-۳/۱۵
T*	۴۱/۳۴	-۸/۳۱
درجه آزادی	۲	۲
احتمال معنی‌دار شدن	۰/۲۵	۰/۰۱۴

*آزمون T-Test

بحث

در مطالعه حاضر که میزان کادمیوم و سرب موجود در غبار سطحی خاک منطقه قبل و بعد کارخانه اندازه‌گیری شد، حداکثر میزان کادمیوم مربوط به منطقه بعد کارخانه (۳۵/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) حداقل میزان آن مربوط به منطقه قبل کارخانه (۲۴/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که بر اساس نتایج آزمون تی جفتی، بین میزان غلظت کادمیوم قبل و بعد کارخانه اختلاف معناداری وجود داشت ($p=۰/۰۱۴$) که نشان‌دهنده تأثیر فعالیت کارخانه بر افزایش میزان کادمیوم خاک اطراف کارخانه است. نتایج حاصل از مقایسه کادمیوم اندازه‌گیری شده با شاخص‌های جهانی نشان داد که آلودگی خاک اطراف کارخانه به این عنصر در سطح شدید و بسیار خطرناک است که البته به دلیل نزدیکی کارخانه به جاده پرترافیک، نمی‌شود به‌طور قطعی گفت که تنها دلیل افزایش کادمیوم فعالیت کارخانه فولاد یزد می‌باشد. در مطالعه دواشی که بر روی آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه پتروشیمی و پالایشگاه مجاور پناهگاه حیات وحش قمیشلو انجام داد، میزان حداقل و حداکثر کادمیوم ۰/۶۱ و ۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد و از نظر شاخص IPI، دارای آلودگی زیاد بود (۲۴) که نسبت به میزان اندازه‌گیری شده در این مطالعه کمتر بود.

همچنین در مطالعه حاضر حداکثر میزان سرب خاک (۱۵۶/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به منطقه بعد از کارخانه و حداقل میزان سرب (۹۹/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به منطقه قبل از کارخانه بود که نشان‌دهنده افزایش این عنصر در جهت باد بعد از کارخانه است، اما با توجه با نتایج آزمون تی جفتی، بین میزان غلظت سرب در قبل و بعد از کارخانه اختلاف معناداری وجود نداشت (p=۰/۲۵۴). نتایج حاصل از مقایسه میزان سرب اندازه‌گیری شده با شاخص‌های جهانی نشان داد که آلودگی خاک اطراف کارخانه فولاد یزد به این عنصر در سطح غیرآلوده و کم‌خطر است. در مطالعه دواشی که بر روی آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه پتروشیمی و پالایشگاه مجاور پناهگاه حیات وحش قمیشلو انجام داد، میزان حداقل و حداکثر سرب ۹/۶۶ و ۴۱/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد و از نظر شاخص IPI، دارای آلودگی متوسط بود (۲۴). مطالعه اتابکی و همکار که در خاک مناطق مختلف اصفهان انجام دادند، نشان داد غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیم در خاک‌های منطقه نسبت به میانگین استاندارد جهانی بالاتر و غلظت فلزات روی و مس نسبت به میانگین استاندارد جهانی پایین‌تر است (۲۵). مطالعه سیستانی و همکاران که به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان پرداختند، نشان داد غلظت سرب و کادمیوم بیشتر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت (۱۰).

سرب به‌عنوان یکی از آلاینده‌ها در خاک منطقه مورد مطالعه معرفی گردید که یک فلز غیرضروری برای بدن انسان است و جذب بیش از حد این فلز می‌تواند به سیستم‌های عصبی، گردش خون، آنزیمی، اسکلتی، غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی آسیب برساند. در مطالعات مختلف، صنایع فولاد به عنوان یکی از منابع مهم سرب شناخته شده است. مطالعه کینگ و همکاران که به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و مخاطرات بهداشتی آنها در خاک‌های شهری شهرک صنعتی فولاد لیاونینگ آنشا[1] در شمال چین با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی پرداختند، نشان داد که خاک‌های این مناطق به میزان متوسط تا زیادی با فلزات سنگین کادمیوم و سرب آلوده شده است (۲۶). این محققین مناطق نزدیک صنایع فولاد را به‌عنوان نقاط داغ آلودگی معرفی نمودند که در راستای نتایج مطالعه حاضر است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز خاک سطحی، تنها بین میزان کادمیوم قبل و بعد کارخانه اختلاف معناداری وجود داشت و میزان شاخص آلودگی، خطر اکولوژیک و خطر بالقوه محیط‌زیستی برای این عنصر در کلاس شدید و خطرناک بود، در صورتی که برای عنصر سرب آلودگی در کلاس کم و بی‌خطر بود. خاک‌های منطقه مورد مطالعه نیازمند پالایش مطابق با راهبردهای کیفی خاک هستند. همچنین پایش منظم میزان غنای فلزات سمی به‌منظور کنترل انتشارات صنعتی در منطقه ضروری است. نتایج این پژوهش، امکان ارزیابی مناسب آثار ناشی از ورود فلزات سنگین به محیط‌زیست را فراهم ساخته و پیشنهادهای مؤثری را جهت پایش محیط اطراف این صنایع به منظور جلوگیری از مخاطرات محیط‌زیستی در محدوده تحت تأثیر این صنایع ارائه می‌نماید.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با شناسه " ک/ ۵" مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه یزد اجرا شد. بدین‌وسیله از تمامی کسانی که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند، به‌خصوص خانم مهندس ریحانه میرانزاده، تشکر و قدردانی می‌شود.

1. Liaoning Ansha

References

1. Stafilov T, Šajn R, Pančevski Z, Boev B, Frontasyeva MV, Strelkova LP. Heavy metal contamination of topsoils around a lead and zinc smelter in the Republic of Macedonia. Journal of Hazardous Materials 2010;175(1-3):896-914.
2. Wang XS, Yong Q. Correlation between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoil: a case study from the city of Xuzhou, China. Environmental Geology 2005;49(1):10-8.
3. Denaix L, Semlali R, Douay F. Dissolved and colloidal transport of Cd, Pb, and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. Environmental Pollution 2001;114(1):29-38.
4. Huisman D, Vermeulen F, Baker J, Veldkamp A, Kroonenberg S, Klaver GT. A geological interpretation of heavy metal concentrations in soils and sediments in the southern Netherlands. Journal of Geochemical Exploration 1997;59(3):163-74.
5. Yuan-Gen Y, Zhi-Sheng J, Xiang-Yang B, Fei-Li L, Li S, Jie L, et al. Atmospheric deposition-carried Pb, Zn, and Cd from a zinc smelter and their effect on soil microorganisms. Pedosphere 2009;19(4):422-33.
6. Vamerali T, Bandiera M, Coletto L, Zanetti F, Dickinson NM, Mosca G. Phytoremediation trials on metal-and arsenic-contaminated pyrite wastes (Torviscosa, Italy). Environmental Pollution 2009;157(3):887-94.
7. Khodakarami L, Soffianian A, Mirghafari N, Afyuni M, Golshahi A. Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basin of the Hamadan province using GIS technology and the geostatistics. JWSS-Isfahan University of Technology 2012;15(58):243-54.(persian)
8. Houdaji M, Jalayrian A. Distribution of Iron, Zinc and Lead in soil and crops in the Mobarakeh Steel Plant Region 2004.(persian)
9. Huang Y, Tao S. The role of arbuscular mycorrhiza on change of heavy metal speciation in rhizosphere of maize in wastewater irrigated agriculture soil. Journal of Environmental Sciences 2005;17(2):276-80.
10. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian A, Ali-Taleshi M, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. Iranian Journal of Health and Environment 2017;10(1):75-86.(persian)
11. Amouei A, Cherati A, Naghipour D. Heavy Metal Contamination and Risk Assessment of Surface Soils of Babol in Northern Iran. Health Scope 2018; 7(1) : e62423. (persian)
12. Reza S, Baruah U, Singh S, Das T. Geostatistical and multivariate analysis of soil heavy metal contamination near coal mining area, Northeastern India. Environmental earth sciences 2015;73(9):5425-33.
13. Taiwo A, Beddows D, Calzolai G, Harrison RM, Lucarelli F, Nava S, et al. Receptor modelling of airborne particulate matter in the vicinity of a major steelworks site. Science of the Total Environment 2014;490:488-500.
14. Rastmanesh F, Zarosvandi A, Hormozinejad F. An investigation on Khuzestan steel industry in soil pollution around it. First International Congress of Earth Sciences; Tehran.Iran 2013.(persian)
15. Li X, Liu L, Wang Y, Luo G, Chen X, Yang X, et al. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. Geoderma 2013;192:50-8.
16. Atabaki MR. Investigation of soil heavy metals concentrations (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396.(persian)
17. marandi SN, AAubi S, Khademi H. Vertical and Horizontal Variability of Lead and Nicel in Zobahan Industrial District. Journal of Water and Soil 2013;27(2):394-405.(persian)
18. Sharififarshah A, Nejadkooki F, Mirhoseini S. Statistical Modeling of Carbon Monoxide Pollutant Distribution of Yazd Steel Company before and after the development of air filtration systems and production line equipment. The Second national conference on environmental research; Hamedan.Iran2014.(persian)
19. Sposito G, Lund L, Chang A. Trace Metal Chemistry in Arid-zone Field Soils Amended with Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in Solid Phases 1. Soil Science Society of America Journal. 1982;46(2):260-4.
20. Black C, Evans D, White J, Ensminger L, Clark FJA, Madison, Wisconsin USA. Methods: of Soil Analysis, Part 2–Chemical and Microbiological Properties (Number 9 in the series, Agronomy)1965.
21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980;14(8):975-1001.
22. Kabadayi F, Cesur H. Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, and Mn in road dusts of Samsun City. Environmental monitoring assessment. 2010;168(1-4):241-53.
23. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. Environmental Monitoring Assessment. 2010;160(1-4):33.
24. Davashi L. Investigating the effects of lead contamination caused by the transport of vehicles and some industrial activities on the road surface of the National Park and Qomishlou Wildlife Refuge. Isfahan: yazd university; 2012.(persian)
25. Atabaki M, Loti A. Investgaton of heavy metal soil concentraton (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396 Iranian Journal of Research in Environmental Health 2018;4(1):21-30.(persian)
26. Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. Ecotoxicology and environmental safety. 2015;120:377-85.