

ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در کارخانه سرب و روی لکان

سید علیرضا شریفی^۱

مژگان زعیمدار^{۲*}

mojganzaeimdar@gmail.com

سید علی جوزی^۳

رخشاد حجازی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱

چکیده

زمینه و هدف: امروزه اجرا و پیاده‌سازی برنامه‌های توسعه صنعتی بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی، سبب تداوم ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست شده است. در حال حاضر، آلودگی‌های صنعتی به عنوان عمده‌ترین عامل تخریب محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در کارخانه فرآوری سرب و روی لکان بود. **روش بررسی:** پس از ساماندهی و استانداردسازی داده‌ها با استفاده از GIS، ارزیابی ریسک اکولوژیکی و همچنین شاخص ریسک محیط-زیستی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه برآورد شد.

یافته‌ها: نتایج ارزیابی ریسک اکولوژیکی نشان داد که در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، فلز کادمیوم کمترین ریسک (۰/۰۱ درصد از منطقه در طبقه پرریسک) و فلز روی بیشترین ریسک (۰/۰۲ درصد از منطقه در طبقه پرریسک) را ایجاد می‌کند. همچنین نتایج شاخص ریسک محیط‌زیستی حاکی از این بود که ۹۹ درصد از منطقه از نظر ریسک فلز کادمیوم در طبقه کم ریسک قرار دارد، ۹۲ درصد منطقه از نظر ریسک روی در طبقه بحرانی ارزیابی شده است و از نظر ریسک فلز سرب، منطقه مورد مطالعه در وضعیت بینابینی قرار گرفت. **بحث و نتیجه‌گیری:** در یک جمع‌بندی می‌توان بیان کرد که به دنبال صنعتی شدن، گسترش آلودگی‌های صنعتی امری اجتناب‌ناپذیر است، اما روش‌ها و تمهیداتی به منظور تعدیل و تنزیل تبعات آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله روش‌های مهم در زمینه کاهش اثرات آلودگی‌های محیط‌زیستی، انجام ارزیابی ریسک اکولوژیکی است. بنابراین با توجه به قابلیت‌های سامانه‌های GIS در تهیه نقشه‌های ارزیابی محیط‌زیستی به نظر می‌رسد این سامانه می‌تواند در تسهیل ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی صنایع معدنی فلزی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری اکولوژیکی، آلودگی صنعتی، آلودگی محیط‌زیست، GIS.

۱- دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

Ecological risk assessment of heavy metals lead, zinc and cadmium in the Lakan lead and zinc company

Seyed Alireza Sharifi¹

Mojgan Zaeimdar^{2*}

mojganzaeimdar@gmail.com

Seyed Ali Jozi³

Rokhshad Hejazi⁴

Admission Date: August 31, 2022

Date Received: May 22, 2021

Abstract

Background and Objective: Today, the implementation of industrial development programs without considering environmental considerations, has led to the continued entry of pollutants into the environment. Currently, industrial pollution is considered the main cause of environmental degradation. Therefore, this study aimed to assess the ecological risk of toxic metals lead, zinc, and cadmium in the Lakan lead and zinc processing company.

Method: After organizing and standardizing the data using GIS, ecological risk assessment and also the environmental risk index of toxic metals in the study area were estimated.

Findings: The results of the ecological risk assessment showed that among the studied toxic metals, cadmium metal has the lowest risk (0.01% of the area in the high-risk class) and zinc has the highest risk (0.02% of the area in the high-risk class). Also, the results of the environmental risk index assessed 99% of the region in terms of cadmium metal risk in the low-risk category and 92% of the region in terms of zinc risk in the critical class, and lead metal was in the intermediate status.

Discussion and Conclusion: In conclusion, it can be stated that following industrialization, the spread of industrial pollution is inevitable, but methods and measures have been used to mitigate and reduce their consequences. One of the important methods in reducing the effects of environmental pollution is ecological risk assessment. Therefore, considering the capabilities of GIS systems in the preparation of environmental assessment maps, it seems that this system can be useful in facilitating the assessment of the ecological vulnerability of metal mining industries.

Key words: Ecological vulnerability, environmental pollution, GIS, industrial pollution.

1- PhD student, Department of Environment, Faculty of Marin Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marin Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Professor, Department of Environment, Faculty of Marin Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marin Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

امروزه در دنیا آلودگی‌های صنعتی عمده‌ترین دلیل تخریب محیط‌زیست شناخته می‌شوند. محیط‌زیست انسانی با سه عامل آب، خاک و هوا شرایط ممکن را برای زندگی انسان فراهم می‌کند، پس بنابراین هر چه این سه عامل درجه سلامت و پاک‌ی بالایی داشته باشند، زندگی انسان از کیفیت مناسب‌تری برخوردار می‌گردد (۱). از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیستی، فلزات سنگین هستند. این فلزات به دلیل خاصیت انباشتگی زیاد، ماندگاری و مقاومت بالا بر سلامتی انسان و موجودات زنده تأثیرات منفی متعددی می‌گذارند. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و محیط انسان‌ساخت وارد چرخه غذایی و بدن موجودات زنده می‌شوند. میزان ورود فلزات سنگین به محیط‌زیست، از طریق فعالیت‌های انسانی بسیار فراتر از میزان ورود توسط فرآیندهای طبیعی است (۲). از جمله فعالیت‌های انسانی که می‌تواند منجر به افزایش مصنوعی مقدار فلزات سنگین در محیط گردد، معادن و صنایع مرتبط با آن است (۳). فعالیت‌های معدنکاری و فرآوری مواد معدنی که به روش‌های مختلف و متنوعی صورت می‌گیرند، تأثیرات قابل توجهی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی دارند. همچنین این فعالیت‌ها همراه با تولید پسماندهای زاینبار است که باعث آلودگی منابع آب و خاک و محیط‌زیست می‌گردد. ارزیابی محیط‌زیستی این فعالیت‌ها در راستای کنترل آلودگی‌های احتمالی ناشی از آن‌ها انجام می‌گیرد. بنابراین، پایش غلظت و ارزیابی ریسک فلزات سنگین به منظور قضاوت فراگیر و چند جانبه، در بدو ورود به زنجیره ای غذایی و مواجهه پوستی و استنشاقی انسان با این عوامل زبان‌آور امری ضروری به‌شمار می‌آید (۲، ۳). یکی از روش‌های متداول پایش غلظت و ارزیابی ریسک فلزات سنگین، ارزیابی ریسک اکولوژیک است. برآورد ریسک اکولوژیک فرآیندی است که طی آن احتمال متاثر شدن محیط‌زیست از یک یا چند تنش محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۴). ارزیابی ریسک اکولوژیک روشی است که با در نظر قرار دادن محیط‌های تحت تأثیر یک منبع آلاینده یا یک منشا ایجاد ریسک، ابعاد مختلف اکولوژیکی را از نظر

کمی‌سازی خطرپذیری پیش‌بینی می‌کند. ارزیابی ریسک اکولوژیکی به‌عنوان فرآیندی برای شناسایی اثرات ناسازگار اکولوژیکی که احتمال دارد در نتیجه ورود فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی به وقوع بپیوندد، به شمار می‌رود (۵). فشارهای یاد شده می‌تواند دارای ماهیت فیزیکی یا شیمیایی بوده و موجب اثرات منفی ناسازگار اجزای اکولوژیکی غیرانسانی در سطح ارگانسیم‌ها، جمعیت‌ها، جوامع یا اکوسیستم‌ها گردند. امروزه برای مدل‌سازی و ارزیابی ریسک اکولوژیک از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته می‌شود (۶). GIS یکی از ابزارهای مهم برای ایجاد سیستمی است که در آن پارامترهای محیط‌زیستی و احتمال وقوع آن مدل‌سازی شده است. در این سامانه به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، داده‌ها و اطلاعات مکانی با یک روش نظام‌مند، به درستی جمع‌آوری، ساماندهی و نمایش داده می‌شوند و از خروجی‌های آن برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی استفاده می‌شود.

فعالیت‌های مرتبط با معدن اغلب همراه تولید پسماندهایی زاینبار می‌باشد که باعث آلودگی منابع آب و خاک محیط‌زیست می‌گردد (۴، ۵). ارزیابی محیط‌زیستی این فعالیت‌ها در راستای کنترل آلودگی‌های احتمالی ناشی از آن‌ها انجام می‌گیرد. تاکنون مطالعات مختلفی درباره ارزیابی ریسک اکولوژیک کارخانجات صنعتی انجام شده است. برای نمونه، جهری و مروتی (۷) با پژوهش در مورد شرکت ذوب و فولاد اردکان، تمامی خطرات و جنبه‌های محیط‌زیستی شناسایی و محاسبه کردند. در مطالعه فینیزیو و همکاران (۸) تجزیه و تحلیل ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سولفات لوریل اتر سدیم در ۱۲ ترکیب تجاری مورد استفاده برای حفاری تونل، انجام شد که نتایج حاکی از کاهش خطر بالقوه به مرور زمان برای این اکوسیستم‌ها بود. لجمیری اورک و همکاران (۹) به بررسی ریسک اکولوژیک برخی فلزات سنگین در پسماندهای حفاری میدان نفتی اهواز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میانگین

مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی عناصر مورد بررسی در پسماندهای حفاری میدان نفتی اهواز در محدوده ریسک پتانسیل اکولوژیکی خیلی زیاد قرار داشت. سیاحتی اردکانی و همکاران (۱۰) اقدام به ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پیرامون صنایع اصلی در شهرستان اردکان نمودند و به این نتیجه رسیدند که ریسک اکولوژیک منطقه مورد بررسی در طبقه ریسک کم قرار دارد.

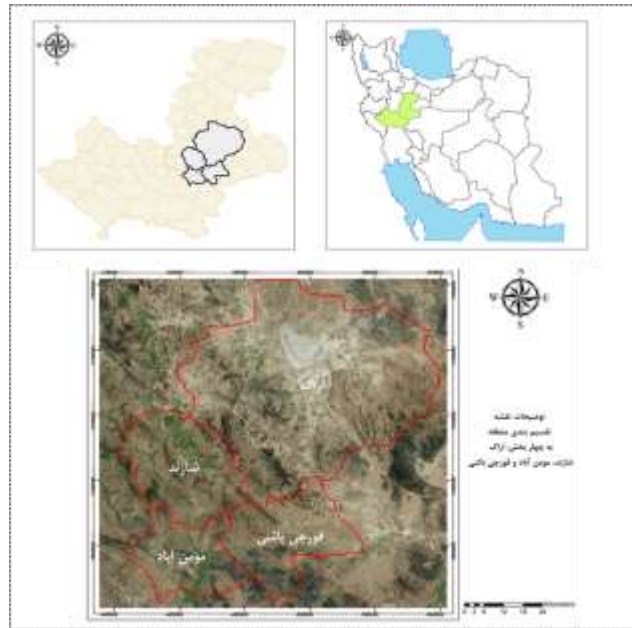
مشخص کردن مناطق آلوده و تعیین میزان و شدت مواد خطرناک برای بررسی سلامت استفاده از منابع آب، خاک و کشاورزی واقع شده در آن مناطق و در صورت امکان اصلاح آن‌ها انجام می‌گیرد. در مواجهه با افزایش آلودگی‌های معدنی، کاهش خطرات آلاینده‌های معدنی، یک عنصر ضروری در تضمین ایمنی زندگی و نیز حفظ فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی و زیرساخت‌های محیط‌زیست است. مشخص کردن مناطق آلوده و تعیین میزان و شدت مواد خطرناک جهت بررسی سلامت استفاده از منابع آب، خاک و کشاورزی واقع شده در آن مناطق و در صورت امکان اصلاح آنها انجام می‌گیرد (۵). معدن و کارخانه فرآوری سرب و روی لکان با فعالیت چند دهه‌ای خود دارای سد باطله رو به گسترشی می‌باشد که با آلوده شدن این سد خطرات زیادی به محیط‌زیست و کشاورزی آن وارد می‌شود (۱۱). این کارخانه دارای سد باطله رو به گسترشی می‌باشد. موقعیت محل معدن قدیمی، کارخانه فرآوری و سد باطله لکان و مشرف بودن نسبت به مناطق کشاورزی و مسکونی و ارتباط با منابع آب و خاک منجر به برداشت نمونه‌های آب از آبراهه‌ها و چاه‌های عمیق و برداشت خاک از افق‌های مختلف اطراف سد می‌گردد. از جمله نوآوری‌های این پژوهش این است که تاکنون نقاط داغ آلوده به فلزات سنگین در اطراف این کارخانه فرآوری سرب و روی لکان مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، استفاده از سامانه GIS به منظور ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین

سرب، روی و کادمیوم در کارخانه فرآوری سرب و روی لکان بود. بنابراین در این تحقیق تلاش می‌شود تا با استفاده از سامانه GIS و روش‌ها و الزامات مورد نیاز برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی و تهیه نقشه‌های مرتبط به آن برای برطرف کردن مشکلات محیط‌زیستی کارخانه فرآوری سرب و روی لکان انجام شود.

روش بررسی

- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در کارخانه سرب و روی لکان در ۴۶ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اراک در استان مرکزی انجام گرفت. منطقه مورد مطالعه در چهار بخش که بیشترین اثرپذیری را از پیامدهای کارخانه دارند، مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی این کارخانه در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۶ ثانیه، در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵ ثانیه و در منطقه‌ای به ارتفاع ۲۱۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. دسترسی به کارخانه از طریق جاده اراک-بروجرد امکان‌پذیر است. این کارخانه در ۱۵۰۰ متری روستای لکان واقع شده است که از جمله یکی از آلوده‌ترین کارخانجات واقع در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب غرب اراک و مابین شهرستان‌های شازند و خمین است به طوری که در طی فرآیند تولیدی کارخانه لکان در استان مرکزی، انتشار مقدار زیادی آلاینده‌های مختلف در محیط سبب آلودگی منابع آب، خاک و هوای منطقه گردیده است (۱۱). میانگین سالانه دمای هوا در اراک ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است که تیر با میانگین ۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه و بهمن صفر درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه ۳۴۲ میلی‌متر است و میانگین رطوبت نسبی هوا ۴۶/۶ درصد است که بیانگر خشکی هوا در منطقه می‌باشد و ماه دی با میانگین ۶۸ درصد بیشترین رطوبت و ماه مرداد با میانگین ۲۷ درصد خشک‌ترین ماه سال را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه به تفکیک بخش‌ها

Figure 1. Map of study area by sections

روش پژوهش

تشکیل پایگاه داده

داده‌های مکانی این تحقیق از طریق مشاهدات و نمونه‌برداری‌های زمینی، اسکن نقشه‌ها، رقومی کردن و تصاویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه تهیه شد. علاوه بر داده‌های موجود تعدادی نمونه به روش تصادفی انتخاب سپس نمونه به‌منظور آنالیز غلظت فلزات مانند کادمیوم، سرب و روی به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس به منظور تعیین نوع و وزن آن در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شدند.

متناسب‌سازی و ارزیابی ریسک اکولوژیک با استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۱

در این پژوهش، با استفاده از قابلیت‌های GIS به تهیه نقشه‌های پتانسیل ریسک اکولوژیک و به کارگیری آن در بررسی تغییرات اکولوژیکی محدوده مورد مطالعه، همچنین ترکیب آن با روش ارزیابی چند معیاره به منظور ارزیابی و مدیریت ریسک اکولوژیک پرداخته شد. بعد از ساماندهی (مکانی-توصیفی-آماري-زمینی) با استفاده از GIS و روش ارزیابی چند معیاره، مدل‌سازی انجام شد. پس از تعیین و مشخص نمودن تمامی

معیارها، شاخص‌ها و یا متغیرهای پژوهش، استانداردسازی معیارها و شاخص‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی انجام شده و سپس وزن‌دهی و کمی کردن معیارها با روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP)^۲، تلفیق لایه‌ها و انتخاب مکان‌های مناسب انجام شد. بنابراین متغیرهای مورد بررسی تحقیق با توجه به اهمیتی که در ارزیابی دارند اولویت‌بندی و گروه‌بندی شدند. سپس وزن نهایی آن‌ها بدست آمده و در مدل‌های ارزیابی قرار داده شدند و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیکی محدوده مورد مطالعه بدست آمد.

محاسبه شاخص ریسک اکولوژیکی (EVI)^۳

به منظور محاسبه شاخص ریسک اکولوژیکی، معادله EVI در خروجی تلفیق تصاویر فازی به همراه وزن آن‌ها اعمال شد (۱۲، ۱۳). شاخص ریسک اکولوژیکی از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$EVI = \sum_{i=1}^n f_i w_i \quad (1)$$

EVI شاخص آسیب‌پذیری اکولوژیکی، w_i وزن فاکتور i و f_i رتبه‌بندی فاکتور i است.

2- Analytic Hierarchy Process

3- Ecological Vulnerability Index

1- Multiple Criteria Decision Making

بصورت شکل ۲ ارائه شده است. مطابق شکل ۲، بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه دو با ریسک جزئی قرار دارند. یعنی در بیشتر سطح منطقه و به عبارتی در ۳۷۷۳۰۷/۱ هکتار از منطقه که ۶۴/۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود، شاخص ریسک اکولوژیکی جزئی بوده که در این بخش‌ها اکوسیستم نسبتاً پایدار، مقاوم در برابر انعطافات و تغییرات سیستم، دارای خاک غنی و حاصلخیز و پوشش گیاهی نسبتاً خوب و مناسب است. تنها در ۰/۴ درصد از منطقه، شاخص ریسک اکولوژیکی در طبقه ۴ قرار دارد که این سطح دارای ریسک متوسط، اکوسیستم نسبتاً ناپایدار، انعطاف‌پذیری کم، خاک بی کیفیت و پوشش گیاهی مناسب است. در این بین ۰/۱ درصد از سطح منطقه شامل ۵۸۲/۹ هکتار، دارای ریسک اکولوژیکی زیاد، ناپایداری اکوسیستم، عدم انطباق با شرایط محیطی، خاک فاسد و پوشش گیاهی ضعیف است این طبقه در اطراف کارخانه وجود دارد. بیشترین سطح منطقه دارای ریسک جزئی و کمترین آن دارای ریسک زیاد است. نتایج پیش‌بینی و سناریوسازی ریسک نشان می‌دهد که در خروجی شبکه عصبی و شبکه عصبی بهینه شده نیز مساحت طبقه دو از سایر مناطق بیشتر بوده است. بنابراین با وجود اینکه میزان ریسک در طبقات سه و چهار کاهش می‌یابد ولی از نظر مکانی توزیع ریسک تا حدودی ثابت باقی خواهد ماند و تغییرات ناچیز است.

- شاخص ریسک محیط‌زیستی فلزات سنگین

به منظور محاسبه شاخص ریسک اکولوژیکی هر یک از فلزات سنگین در این مطالعه، از رابطه زیر استفاده شد (رابطه ۲) که در این رابطه AC_i : غلظت μm در محیط و RC_i : غلظت حد مجاز عنصر μm در محیط است.

$$I_{ERi} = \frac{AC_i}{RC_i} - 1 \quad (2)$$

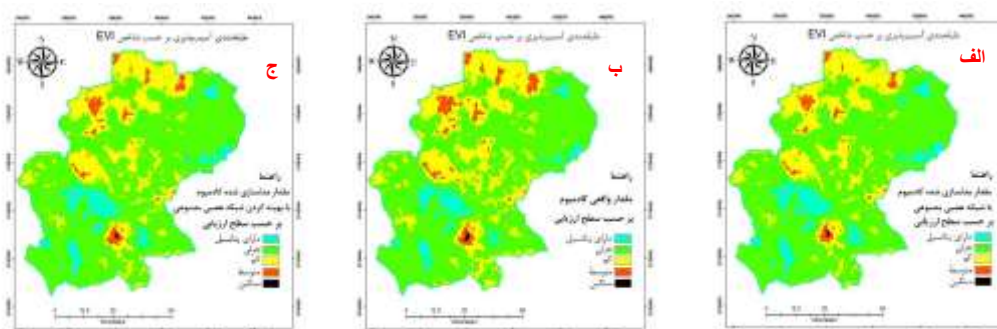
طبقه‌بندی ریسک بر اساس شاخص ریسک تجمعی به این صورت انجام گرفت: مقادیر کمتر از صفر طبقه بدون ریسک، صفر تا یک طبقه ریسک کم، یک تا سه ریسک متوسط، سه تا پنج طبقه ریسک بالا و بیشتر از پنج ریسک خیلی بالا (بحرانی). پس از نوشتن کدهای شبکه عصبی مصنوعی و با بهره‌گیری از جعبه ابزار شبکه‌های عصبی در محیط **MATLAB**، نرمال‌سازی داده‌ها و تعیین سهم داده‌های آموزش و تست به ترتیب برابر با ۶۰ درصد و ۴۰ درصد داده‌های موجود، نتایج پیش‌بینی ریسک بدست آمد.

یافته‌ها

پهنه‌بندی ریسک اکولوژی و پیش‌بینی آن

پهنه‌بندی ریسک اکولوژی کادمیوم

خروجی حاصل از مدل‌سازی ریسک اکولوژیک حاصل از فلز کادمیوم در منطقه مورد مطالعه و همچنین پیش‌بینی آن با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی بهینه



شکل ۲- پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک بر مبنای داده‌های واقعی فلز کادمیوم (الف)، خروجی شبکه عصبی (ب) و خروجی

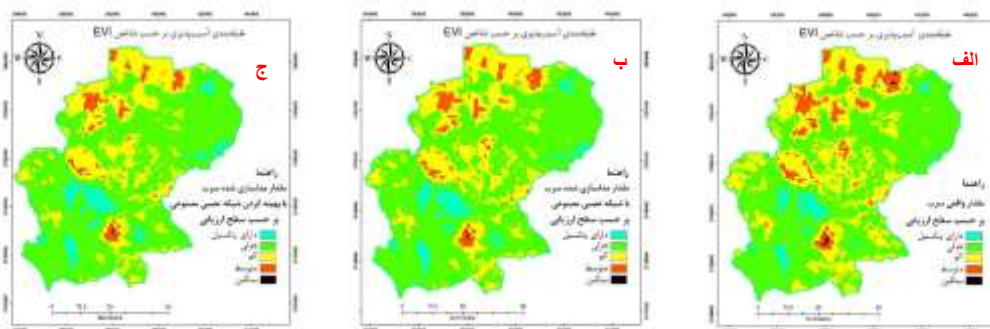
شبکه عصبی بهینه شده (ج)

Figure 2. Ecological risk zoning based on real data of cadmium metal (a), neural network output (b) and optimized neural network output (c)

پهنه‌بندی ریسک اکولوژی سرب

خروجی حاصل از مدل‌سازی ریسک اکولوژیک حاصل از فلز سرب در منطقه مورد مطالعه و همچنین پیش‌بینی آن با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی بهینه‌به صورت شکل ۳ ارائه شده است. مطابق شکل ۳، بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه دو با ریسک جزئی قرار دارد (۳۴۲۶۹۵/۱ هکتار یا ۵۸/۲ درصد از سطح کل). ۰/۷ درصد از منطقه در در طبقه دو شاخص ریسک اکولوژیکی قرار دارد و فقط ۰/۴ درصد از منطقه در طبقه پنج قرار داد که این طبقه

در اطراف کارخانه وجود دارد. بنابراین این منطقه براساس معیارهای موجود دارای پتانسیل تخریب و آسیب‌پذیری اکولوژیکی است. بنابر آنچه بدست آمد، بیشترین سطح منطقه دارای ریسک جزئی و کمترین آن دارای ریسک زیاد است. نتایج پیش‌بینی ریسک نشان می‌دهد که در خروجی شبکه عصبی نیز بیشتر سطح منطقه (۶۳/۱ درصد) در طبقه دو ریسک قرار می‌گیرند. خروجی شبکه عصبی بهینه نیز نتایجی مشابه با شبکه عصبی را نشان می‌دهد که حدود ۶۴/۱ درصد از سطح منطقه در طبقه دو ریسک قرار دارند.



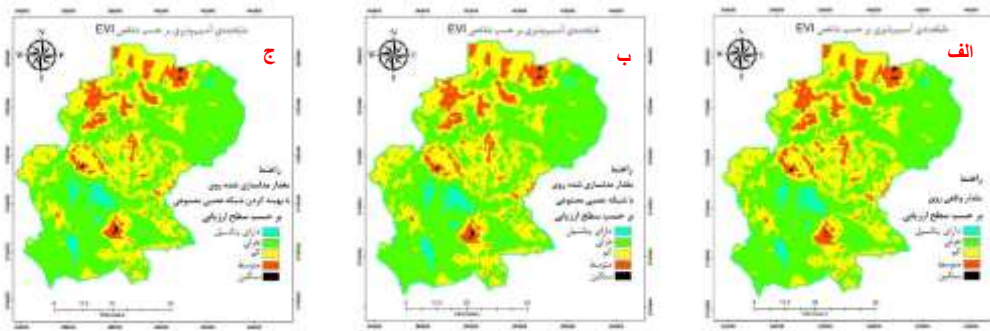
شکل ۳- پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک بر مبنای داده‌های واقعی فلز سرب (الف)، خروجی شبکه عصبی (ب) و خروجی شبکه عصبی بهینه شده (ج)

Figure 3. Ecological risk zoning based on real data of lead metal (a), neural network output (b) and optimized neural network output (c)

پهنه‌بندی ریسک اکولوژی روی

خروجی حاصل از مدل‌سازی ریسک اکولوژیک حاصل از فلز روی در منطقه مورد مطالعه و همچنین پیش‌بینی آن با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی بهینه به صورت شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در رابطه با ریسک ایجاد شده از فلز روی، مشابه سرب و کادمیوم، بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه دو با ریسک جزئی قرار دارند (۳۱۷۰۴۵/۸ هکتار معادل ۵۳/۸ درصد). ۰/۸ درصد از منطقه در طبقه ریسک چهار و ۰/۳ درصد از منطقه در طبقه ریسک

پنج قرار دارد که این طبقه در اطراف کارخانه وجود دارد. بنابراین این منطقه براساس معیارهای موجود دارای پتانسیل تخریب و آسیب‌پذیری اکولوژیکی است. بنابر آنچه بدست آمد، بیشترین سطح منطقه دارای ریسک جزئی و کمترین آن دارای ریسک زیاد است. نتایج پیش‌بینی ریسک نشان می‌دهد که تغییرات توزیع ریسک در شبکه عصبی و شبکه عصبی بهینه شده نسبت به داده‌های واقعی، در طبقه ریسک چهار محسوس‌تر است.



شکل ۴- پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک بر مبنای داده‌های واقعی فلز روی (الف)، خروجی شبکه عصبی (ب) و خروجی شبکه عصبی بهینه شده (ج)

Figure 4. Ecological risk zoning based on real data of zink metal (a), neural network output (b) and optimized neural network output (c)

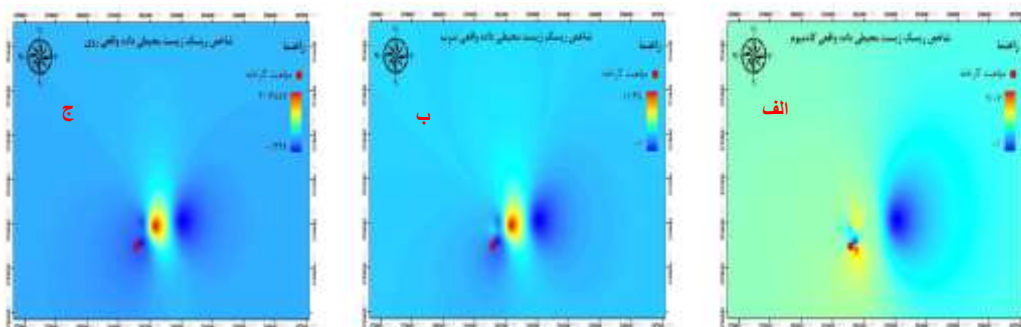
نتایج شاخص ریسک تجمعی فلزات و پیش‌بینی آن

محاسبه شاخص ریسک تجمعی بر مبنای هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق با استفاده از تصاویر پیوسته درون‌یابی شده از این فلزات به صورت نقشه‌هایی حاصل شد (شکل ۵). براساس این شکل، مطابق نتایج بدست آمده (شکل ۵-الف)، ۹۹ درصد منطقه (معادل ۷۲۹۰/۷ هکتار) از نظر شاخص ریسک تجمعی کادمیوم در طبقه ریسک کم و ۰/۰۱ درصد (معادل ۷/۳ هکتار) از منطقه در طبقه ریسک متوسط قرار دارند. در رابطه با شاخص ریسک تجمعی سرب، ۰/۱۷ درصد از منطقه (۱۲۰/۸ هکتار) در طبقه ریسک کم، ۹۶ درصد

۹۸/۰ درصد (۷۰۳۷/۳ هکتار) در طبقه ریسک متوسط، ۰/۱۳ درصد (۴۲ هکتار) در طبقه ریسک بحرانی قرار گرفته‌اند (شکل ۵-ب). نتایج حاکی از آن است که از حیث شاخص ریسک تجمعی فلز روی (شکل ۵-ج)، ۰/۰۳ درصد از منطقه (۲۴/۷ هکتار) در طبقه ریسک کم، ۰/۰۱ درصد (۷۰/۲ هکتار) در طبقه ریسک متوسط، ۰/۰۶ درصد (۴۵۷/۴ هکتار) در طبقه ریسک بالا و ۹۲ درصد (۶۷۴۵/۸ هکتار) در طبقه ریسک بحرانی قرار گرفته‌اند.

نتایج شاخص ریسک تجمعی فلزات و پیش‌بینی آن

محاسبه شاخص ریسک تجمعی بر مبنای هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق با استفاده از تصاویر پیوسته درون‌یابی شده از این فلزات به صورت نقشه‌هایی حاصل شد (شکل ۵). براساس این شکل، مطابق نتایج بدست آمده (شکل ۵-الف)، ۹۹ درصد منطقه (معادل ۷۲۹۰/۷ هکتار) از نظر شاخص ریسک تجمعی کادمیوم در طبقه ریسک کم و ۰/۰۱ درصد (معادل ۷/۳ هکتار) از منطقه در طبقه ریسک متوسط قرار دارند. در رابطه با شاخص ریسک تجمعی سرب، ۰/۱۷ درصد از منطقه (۱۲۰/۸ هکتار) در طبقه ریسک کم، ۹۶ درصد



شکل ۵- نقشه شاخص ریسک تجمعی فلزات کادمیوم (الف)، سرب (ب) و روی (ج)

Figure 5. Cumulative risk index map of cadmium (a), lead (b) and zinc (c) metals

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج می‌توان ادعان داشت که فلز روی بیشترین فلز کادمیوم کمترین ریسک را در منطقه ایجاد می‌کنند که با مطالعه شجاعی برجویی (۱۳) مبنی بر سمیت کم کادمیوم در

ارزیابی ریسک غبار صنعتی تا حدودی در تطابق است. مطابق مطالعه کمی و حاجتی (۱۴) وجود معادن متروکه سرب و روی در اطراف احتمالا زمینه بالا برای حضور این عناصر را ایجاد

ارزیابی ریسک غبار صنعتی تا حدودی در تطابق است. مطابق مطالعه کمی و حاجتی (۱۴) وجود معادن متروکه سرب و روی در اطراف احتمالا زمینه بالا برای حضور این عناصر را ایجاد

مشخص و فاکتورهای مکانی و غلظت فلزات سنگین به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار در تعیین آسیب‌پذیری منطقه ساماندهی و مورد استفاده واقع شدند. نتایج ارزیابی ریسک اکولوژیکی نشان داد که در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، فلز کادمیوم کمترین ریسک را ایجاد می‌کند، چراکه مساحت ریسک ایجاد شده از این فلز عمدتاً در طبقه کم ریسک قرار می‌گیرد (۶۴/۱ درصد) و سطحی که در معرض خطر بالایی از ریسک این فلز واقع شده است حدود ۰/۰۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. این در حالی است که ۵۳/۸ درصد از منطقه از نظر ریسک فلز روی در طبقه کم ریسک و ۰/۰۲ درصد دچار بحران ریسک روی هستند. همچنین محاسبه شاخص ریسک تجمعی نتایجی مشابه با شاخص ریسک اکولوژیکی را نشان داد، به‌طوری‌که در رابطه با ریسک ایجاد شده از فلز کادمیوم ۹۹ درصد از منطقه دارای ریسک کم و در رابطه با فلز روی ۹۲ درصد در طبقه ریسک بحرانی قرار گرفته‌اند و فلز سرب در حالت بینابین قرار گرفته است. لازم به ذکر است که شاخص ریسک اکولوژیکی در تمام سطح منطقه مورد مطالعه و با همه فاکتورها ولی شاخص ریسک تجمعی تنها با در نظر گرفتن غلظت سه فلز سنگین و در شعاع تأثیرگذار محاسبه شده است (به دلیل تفاوت در ماهیت محاسبه). زخم معده، التهاب پانکراس، لتازی، کم خونی، تب، تهوع، اختلال تنفسی و فیبروز ریه از جمله عوارض گزارش شده در مسمویت انسان با فلز روی هستند (۲۰).

بنابراین با توجه به قابلیت‌های GIS در تهیه نقشه‌های ارزیابی محیط‌زیستی به نظر می‌رسد این سامانه می‌تواند در تسهیل ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی صنایع معدنی فلزی مفید واقع شود. با توجه به نقش موثر GIS در ساماندهی، تولید و پردازش داده‌ها در این تحقیق و ارائه نقشه‌هایی با قابلیت تحلیل میزان ریسک اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت این سامانه در تسهیل ارزیابی اکولوژیکی صنایع معدنی فلزی، مفید واقع شده است. با توجه به اینکه صنایع معدنی فلزی متاثر و تأثیرگذار از بسیاری از عوامل مانند متغیرهای هواشناسی، متغیرهای زمین، کاربری اراضی، داده‌های محیط‌زیستی و نمونه‌های آزمایشگاهی هستند، استفاده از فاکتورهای مشخص

کرده است. همچنین تمرکز بالای فلزاتی چون سرب در شرایط ارتباط با آب‌های زیرزمینی توسط واکنش‌های شیمیایی می‌تواند باعث آلودگی آب شود. همچنین در مطالعه کمی و حاجتی (۱۴) به آلودگی خاک منطقه به سرب اشاره شده است که محدوده تمرکز آن در جنوب سد باطله می‌باشد. به‌طور کلی منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های کارخانه موجب تجمع فلزات کادمیوم، روی و سرب شده که میزان ریسک ایجاد شده از آن‌ها به ترتیب مربوط به فلز روی، سرب و کادمیوم است. در واقع مهمترین منبع انتشار فلز روی در خاک منطقه، فعالیت‌های کارخانه بوده است.

نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه رزاقی و همکاران (۱۵) به نوعی در تضاد است چراکه ریسک اکولوژیکی ناشی از فلز سنگین کادمیوم از سرب و روی در منطقه خلیج فارس بیشتر برآورد شده است. این در حالی است که در مطالعه جیانگ و همکاران (۱۶)، سیستانی و همکاران (۱۷)، اگینکونله و فاتوبا (۱۸) برخلاف نتایج تحقیق حاضر، عنصر کادمیوم به عنوان عنصری با ریسک بالای اکولوژیک در اطراف صنایع گزارش شده است. همچنین مطابق نتایج مطالعه محسنی بندپی و همکاران (۱۹) ریسک اکولوژیک بالقوه در اطراف مناطق صنعتی بیشتر بوده است که با نتایج مطالعه حاضر مبنی بر افزایش ریسک این فلزات در منطقه اطراف کارخانه مطابقت دارد. مطابق مطالعه شجاعی برجویی و همکاران (۱۳) در ارزیابی ریسک اکولوژیکی برخی فلزات سنگین، فلز روی و پس از آن فلز سرب بیشترین شاخص آلودگی را دارند.

از آنجایی که ایجاد این آلودگی‌های محیط‌زیستی امری اجتناب‌ناپذیر است، روش‌ها و تمهیداتی به‌منظور تعدیل و تنزیل تبعات آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله روش‌های مهم در زمینه کاهش اثرات آلودگی‌های محیط‌زیستی، انجام ارزیابی ریسک اکولوژیکی است (۴). این روش‌ها با تعیین میزان آسیب و ریسک‌های وارده به محیط، به مدیران این امکان را خواهند داد تا برنامه‌ریزی‌ها و تصمیمات خود را در راستای اصل توسعه پایدار و حفظ اصولی محیط، ساماندهی کنند. در مطالعه حاضر، محیط‌هایی که بیشترین اثرات را از فعالیت کارخانه می‌پذیرند

- Environmental Science and Pollution Research, Vol. 24, pp. 27573-27586.
5. Hu, J., Lin, B., Yuan, M., Lao, Z., Wu, K., Zeng, Y., & Fan, H. (2019). Trace metal pollution and ecological risk assessment in agricultural soil in Dexing Pb/Zn mining area, China. *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 41, pp. 967-980.
 6. Jin, X., Jin, Y., & Mao, X. (2019). Ecological risk assessment of cities on the Tibetan Plateau based on land use/land cover changes—Case study of Delingha City. *Ecological Indicators*, Vol. 101, pp. 185-191.
 7. Nikpishke Kohjhari, F., Morovati, M., Sadeghinia, M., & Amanat Yazdi, L. (2020) Assessment and management of environmental risks of steel industries by EFMEA Method (case study: Ardakan steel and melting factory). *Journal of Environmental Health Engineering*, Vol. 1, pp.76-88. (In Persian)
 8. Finizio, A., Patrolecco, L., Grenni, P., Galli, E., Muzzini, V. G., Rauseo, J., & Caracciolo, A. B. (2020). Environmental risk assessment of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate in site-specific conditions arising from mechanized tunnelling. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 383, pp. 12-28.
 9. Lajmiri Orak, Z., Sabzalipour, S., Panahpour, E., Attarroshan, S., & Tavakkoli, H. (2021). Investigation of Ecological Risk (ER) and Available Ratio (AR) of some heavy metals in drill cutting of Ahvaz Oil Field in 2019. *Journal of Environmental Health Engineering*, Vol. 8, pp. 329-342. (In Persian)
 10. Siyahati Ardakani, G., Mirsanjari, M., Azimzadeh, H., & Solgi, E. (2019).

شده در این تحقیق تا حدود زیادی قادر به تعیین میزان ریسک ایجاد شده از این صنایع شد. در پایان می‌بایستی اظهار داشت که با پیشرفت روند فعالیت صنعتی در منطقه، احتمالاً سطح آلودگی فلزات سنگین به تدریج افزایش خواهد یافت و به دنبال آن کیفیت محیط‌زیست و بهداشت ساکنین اطراف آن کاهش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود علاوه بر شاخص‌های اکولوژیک مورد بررسی در این تحقیق، ریسک‌های سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین در طی یک بازه زمانی طولانی‌مدت مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود با روش‌های مختلف پاکسازی فیزیکی و شیمیایی یا روش گیاه-پالایی، میزان آلودگی در منطقه کاهش یابد.

References

1. Dong, F., Pan, Y., Li, Y., & Zhang, S. (2021). How public and government matter in industrial pollution mitigation performance: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 146, pp. 1-13.
2. Wu, Z., Chen, Y., Han, Y., Ke, T., & Liu, Y. (2020). Identifying the influencing factors controlling the spatial variation of heavy metals in suburban soil using spatial regression models. *Science of the Total Environment*, Vol. 717, pp. 13-26.
3. Guo, X., Xie, X., Liu, Y., Wang, C., Yang, M., & Huang, Y. (2020). Effects of digestate DOM on chemical behavior of soil heavy metals in an abandoned copper mining areas. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 393, pp. 1-14.
4. Fei, J. C., Min, X. B., Wang, Z. X., Pang, Z. H., Liang, Y. J., & Ke, Y. (2017). Health and ecological risk assessment of heavy metals pollution in an antimony mining region: a case study from South China.

15. Razaghi, M., Shokri, M.R., Savari, M., & Pazoki, H. (2013). Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Nayband and Assaluyeh bays (north of Persian Gulf). *Journal of Aquatic Ecology*, Vol. 2, pp. 68-57. (In Persian)
16. Jiang, X., Lu, W. X., Zhao, H. Q., Yang, Q. C., & Yang, Z. P. (2014). Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 14, pp. 1599-1610.
17. Sistani, N., Moeinaddini, M., Ali-Taleshi, M. S., Khorasani, N., Hamidian, A. H., & Yancheshmeh, R. (2018). Source identification of heavy metal pollution nearby Kerman steel industries. *Journal of Natural Environment*, Vol. 70, pp. 627-641. (In Persian)
18. Ogunkunle, C. O., & Fatoba, P. O. (2013). Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a mega cement factory in Southwest Nigeria. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 22, pp. 29-41.
19. Mohseni-Bandpei, A., Ashrafi, S. D., Kamani, H., & Paseban, A. (2017). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface soils of Esfarayen city, Iran. *Health Scope*, Vol. 6, pp. 1-14. (In Persian)
20. Barceloux D.G. (1999). Zinc. *Journal of Clinical Toxicology*, Vol. 37, pp. 279-292.
- Ecological risk assessment of heavy metals in topsoil around major industries of Ardakan City. *Journal of Toloo-e-Behdasht*, Vol. 17, 95-110. (In Persian)
11. Khodadadi, A., Kalini, S. J., & Marzban, M. (2009). Investigation of the possibility of transferring heavy metals to water sources from the tailings dam of Lakan lead and zinc processing plant. *Chemical Engineering of Iran*, Vol. 28, pp. 28-39. (In Persian)
12. Liao, X., Li, W., & Hou, J. (2013). Application of GIS based ecological vulnerability evaluation in environmental impact assessment of master plan of coal mining area. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 18, pp. 271-276.
13. Shojaee Barjoe, S., Azimzadeh, H. R., & Mosleh Arani, A. (2020). Ecological risk assessment of some heavy metals in the dust emitted from nonmetallic industries of Ardakan County of Yazd in summer 2018: a descriptive study. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, Vol. 19, pp. 173-192. (In Persian)
14. Qomi, M., & Hajati, A. (2009). Zoning of pollution caused by Lakan tailings dam with environmental assessment of water and soil resources using GIS. *Third Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran, Iran, 12 p. (In Persian)