JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(3):251-267 Systematic Review Article

Ecological risk assessment of soils contaminated with heavy metals around landfill sites in Iran: a systematic review

Received: 14 September 2025, Accepted: 13 October 2025

Behnaz Abdollahinejad[1], Hasan Pasalari[1,2], Mahdi Farzadkia[1,3*]

[1] *Research Center for Environmental Health Technology (RCEHT), Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

***Corresponding Author:**
farzadkia.m@iums.ac.ir

How to Cite This Article:
Abdollahinejad B, Pasalari H, Farzadkia M. Ecological risk assessment of soils contaminated with heavy metals around landfill sites in Iran: a systematic review. Journal of EnvironmentalHealth Engineering. 2025;13(3):251-67.

DOI:

ABSTRACT

Background: Over the recent decades, the growth of urbanization and production of municipal solid waste (MSW) in Iran has led to severe soil pollution with heavy metals (Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu, As and Hg) around the landfill sites. The heavy metals are highly stable and pose a threat to ecosystems, food chains, and human health. This comprehensive review examines the concentration levels of heavy metals in soils around the landfill sites of Iran and the ecological risk assessment.

Materials and Methods: The methodology was performed based on the PRISMA guidelines, and the global databases Scopus, Web of Science, PubMed and the Iranian database SID and Magiran were used using relevant keywords such as "Soil*", "heavy metal*" and "landfill*". In addition, risk assessment indicators including contamination factor (CF), contamination degree (CD) and Ecological Risk Index (URI) were calculated.

Results: Of 102 initial studies, 11 eligible studies were selected and metals concentration data were extracted. The results indicated that the highest concentration of heavy metal was related to cadmium (180 mg/kg) with a CF equal to 782.61 and a total URI of 23480.89 creating an extremely severe risk in the soils around the landfill site of Chaloos city.

Conclusion: The results of the present study indicated that there was little data on soil contamination at landfill sites in Iran. In addition, the existing data also had a lack of integrity in the number and type of heavy metals measured. This makes the ecological risk assessment of soils difficult; there are some quantitative and qualitative challenges in the data presented in the selected studies and make it difficult to judge points with high, medium and low levels of contaminants. Therefore, it is necessary to take action in coherent planning for the design of an integrated study model for continuous monitoring of soils around the landfill sites with emphasis on pollution caused by heavy metals.

Keywords: Ecological Risk Assessment, Soil, Landfill, Pollution Factor, Heavy Metals

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۲۵۱ تا۲۶۷ مقاله مرور ساختار یافته
Alborz University of Medical Sciences

ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین اطراف محل های دفن پسماند در ایران: مطالعه مروری نظام مند

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

بهناز عبداللهی نژاد[۱] ، حسن پاسالاری [۲،۱]، مهدی فرزادکیا[۳،۱]*

[۱] مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

[۳] استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در دهه‌های اخیر، رشد شهرنشینی و تولید پسماندهای جامد شهری (MSW) در ایران منجر به آلودگی شدید خاک اطراف محل‌های دفن پسماند با فلزات سنگین مانند Cd، Pb، Cr، Ni، Zn، Cu، As و Hgشده است. این آلاینده‌ها، ناشی از شیرابه لندفیل‌ها، پایداری بالا داشته و تهدیدی برای اکوسیستم‌ها، زنجیره غذایی و سلامت انسانی ایجاد می‌کنند. این مطالعه مروری به بررسی جامع غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند کشور ایران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی می‌پردازد.

مواد و روش ها: از دستورالعمل PRISMA به منظور شناسایی و انتخاب مطالعات استفاده گردید. در این زمینه از پایگاه‌های داده جهانی Scopus، Web of Science، PubMed و پایگاه ایرانی SID و Magiran با استفاده از کلمات کلیدی مانند"Soil*"، "heavy metal*"و "landfill*" بدون محدودیت زمانی استفاده گردید. علاوه بر این، شاخص‌های ارزیابی ریسک شامل فاکتور آلودگی (CF)، درجه آلودگی (CD) و شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI) با استفاده از فرمول‌های مربوطه محاسبه گردید.

یافته ها: از ۱۰۲ مطالعه اولیه، ۱۱ مطالعه واجد شرایط انتخاب (مطابق با هدف مطالعه) و داده‌های غلظت فلزات استخراج شد.نتایج نشان داد که بالاترین غلظت فلز سنگین مربوط به کادمیوم (۱۸۰mg/kg) با CF برابر ۷۸۲/۶۱ و ERI کلی ۲۳۴۸۰/۸۹ بوده که ریسک فوق‌العاده شدید در خاک‌های محل دفن پسماند شهر چالوس ایجاد کرده است.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که داده‌های اندکی در زمینه آلودگی خاک های محل دفن پسماندر ایران وجود داشته و این داده‌ها نیز از عدم یکپارچگی در تعداد و نوع فلزات سنگین شاخص برخوردارند. این امر ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک‌های محل دفن پسماند در ایران را با چالش‌های کمی و کیفی مطالعات مواجه نموده و قضاوت در خصوص نقاط با آلودگی های سطوح بالا، متوسط و پایین را دشوار می‌نماید. از اینرو ضروری است تا با برنامه ریزی منسجم نسبت به طراحی یک الگوی مطالعاتی یکپارچه جهت پایش مستمر خاک های محل دفن پسماند با تاکید بر آلودگی ناشی از فلزات سنگین شاخص اقدام شود و این مطالعه در سطح کشور به اجرا در آید.

واژه های کلیدی: ارزیابی ریسک اکولوژیکی، خاک، محل دفن پسماند، فاکتور آلودگی، فلزات سنگین

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
farzadkia.m@iums.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Abdollahinejad B, Pasalari H, Farzadkia M. Ecological risk assessment of soils contaminated with heavy metals around landfill sites in Iran: a systematic review. Journal of EnvironmentalHealth Engineering. 2025;13(3):251-67.

DOI:

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع شهرنشینی، صنعتی‌شدن و افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، منجر به تولید حجم عظیمی از پسماندهای جامد شهری (MSW)و ساختمانی-تخریبی (CDW) شده است. بر اساس آمار جهانی، تولید پسماند در سال ۲۰۱۸ میلادی حدود ۱/۳ میلیارد تن بوده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به ۲/۲ میلیارد تن برسد [۱] . در ایران، به عنوان یک کشور در حال توسعه، مدیریت پسماند اغلب به روش دفن در لندفیل‌های غیرمهندسی محدود می‌شود، که این امر چالش‌های زیست‌محیطی جدی ایجاد می‌کند. لندفیل‌ها، به ویژه آن‌هایی که فاقد سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه شیرابه هستند، منبع اصلی آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی با فلزات سنگین (Heavy Metals; HMs) مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) ، کروم (Cr) ، نیکل (Ni)، روی (Zn)، مس(Cu) ، آرسنیک (As) و جیوه (Hg)محسوب می‌شوند. این فلزات، به دلیل پایداری بالا، عدم تجزیه‌پذیری و قابلیت تجمع زیستی، بیش از ۱۵۰ سال در محیط باقی می‌مانند و تهدیدی مداوم برای اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کنند [۲،۳]. آلودگی خاک اطراف لندفیل‌ها در ایران، به ویژه در مناطق شهری و جنگلی مانند شیراز، جنگل‌های هیرکانی، کازرون، گرگان، اردبیل و جویبار، به عنوان یک مسئله بحرانی برجسته است. مطالعات نشان می‌دهد که شیرابه لندفیل‌ها، حاصل از واکنش‌های بیوشیمیایی و نفوذ آب باران، حاوی غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین است که به خاک نفوذ کرده و ساختار، کیفیت و عملکرد آن را مختل میکند [۴،۵]. برای مثال، در لندفیل شیراز، سطوح بالای Cd و Mn ریسک اکولوژیکی قابل توجهی ایجاد کرده و می‌تواند منجر به آلودگی زنجیره غذایی از طریق جذب توسط گیاهان شود [۶]. همچنین، در لندفیل‌های شهری گرگان غلظت‌های Cdو Pb فراتر از حد مجاز بوده و نقشه‌های توزیع فضایی آلودگی نشان‌دهنده گسترش آلاینده‌ها به مناطق گردشگری و کشاورزی است [۷].

اهمیت ارزیابی ریسک اکولوژیکی (Ecological Risk Assessment; ERA)خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در اطراف لندفیل‌های ایران، چندجانبه است. نخست، این ارزیابی‌ها با استفاده از شاخص‌هایی مانند شاخص آلودگی (PollutionIndex) شاخص غنی‌سازی (Enrichment Factor) شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index; PLI) و شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه (Ecological Risk Index; ERI)، امکان شناسایی سطوح آلودگی، منشأ آلاینده‌ها (طبیعی یا انسانی) و پتانسیل مهاجرت آن‌ها را فراهم می‌کنند [۸]. دوم، در زمینه سلامت انسانی، فلزات سنگین از طریق جذب پوستی، استنشاق، مصرف آب و محصولات کشاورزی وارد بدن شده و بیماری‌هایی مانند سرطان ریه، اختلالات کلیوی، نوروپاتی و فشار خون بالا ایجاد می‌کنند [۹] سوم، از دیدگاه اکولوژیکی، این آلاینده‌ها بر تنوع زیستی، ساختار خاک و چرخه مواد مغذی تأثیر گذاشته و اکوسیستم‌های حساس مانند جنگل‌های هیرکانی (که اخیراً در فهرست میراث جهانی یونسکو قرار گرفته) را تهدید می‌کنند. در نهایت، ارزیابی ریسک اکولوژیکی ابزار کلیدی برای سیاست‌گذاری است؛ زیرا در ایران، به دلیل نرخ شهرنشینی سریع و تولید بالای پسماند، نیاز به استراتژی‌های پایدار مانند بازیافت، کاهش و نظارت مداوم بر لندفیل‌ها ضروری است [۸].

با وجود مطالعات پراکنده در ایران، مانند بررسی آلودگی در لندفیل‌های تهران [۱۰]، گرگان [۷] و چالوس [۱۱] (که بر تأثیر شیرابه بر خواص مکانیکی خاک تمرکز دارد)، تاکنون مطالعه جامع به بررسی وضعیت ریسک اکولوژیکی خاک‌های اطراف محل های دفن پسماند پرداخته نشده است. این مطالعه مروری، با استفاده از اطلاعات منتشر شده از تحقیقات موجود، به بررسی غلظت

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

فلزات سنگین و ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک اطراف لندفیل‌های ایران می‌پردازد.

روش تحقیق

جستجوی مطالعات و معیارهای ورود

مطالعه مروری نظام مند حاضر به منظور پوشش جامع ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در اطراف محل‌های دفن پسماند کشور ایران طراحی شده است. به منظور دستیابی به این هدف، از دستورالعمل‌های گزارش‌دهی توجیحی برای بررسی‌های سیستماتیک و متاآنالیز[1] (PRISMA) جهت طراحی مطالعه، استراتژی جستجو و فرآیند انتخاب مطالعه استفاده گردید [12]. برای این منظور، پایگاه الکترونیکی برجسته جهانی (Scopus، Web of Science، PubMed) و ایران از جمله Magiran و SID بر اساس دستورالعمل‌های مشخص جستجو شدند. عملگرهای بولی "AND" و "OR" در رابطه با عبارت‌های جستجوی زیر: «*Soil»، «*heavy metal» ، «*landfill» و "Iran" استفاده گردید.

“Heavy metal*” AND “Landfill*” AND “Soil*” AND “Iran”

در ضمن از نماد هر یک از عناصر فلزات به صورت لاتین در استراتژی جستجو و در بخش Heavy metals استفاده گردید. همچنین جستجوی دستی در طول دوره مطالعه به منظور شناسایی منابع اضافی انجام شد. نویسندگان مطالعاتی را که به زبان انگلیسی و در مجلات معتبر علمی منتشر شده بودند، بدون هیچ گونه محدودیتی در تاریخ انتشار، را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. علاوه بر این، دو نویسنده به طور مستقل به ارزیابی مقالات و معیارهای ورود به مطالعات پرداختند و در مواردی که اختلاف نظر داشتند توسط نفر سوم مورد بررسی قرار می گرفت.

انتخاب مطالعه و فرآیند استخراج داده‌ها

در مرحله اول انتخاب مطالعات واجد شرایط برای تجزیه و تحلیل بیشتر و استخراج داده‌ها، موارد تکراری از پایگاه های مختلف الکترونیکی حذف شدند. در مرحله بعد، مطالعات مطابق با اهداف و معیارهای ورود به مطالعه مروری سیستماتیک مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات عمومی و اختصاصی به‌دست‌آمده از مطالعات وارد شده توسط نویسندگان مورد ارزیابی قرار گرفت. این اطلاعات شامل نام نویسنده اول، سال انتشار، نام مجله، انواع مختلف فلزات سنگین، غلظت فلزات سنگین، منطقه مورد مطالعه، لندفیل و ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک- های آلوده در اطراف لندفیل در جداول مناسب سازماندهی شد.

ارزیابی ریسک اکولوژیکی

در این مطالعه، به منظور ارزیابی ریسک اکولوژیکی، شاخص‌های آلودگی اکولوژیک از جمله فاکتور آلودگی[2] (CF)، درجه آلودگی[3] (CD) و شاخص ریسک اکولوژیک[4] (ERI) مورد بررسی قرار گرفت.

1.Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
2.Contaminantion factor
3.Contamination degree
4.Ecological risk index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

۱. فاکتور آلودگی

فاکتور آلودگی با مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف محل‌های دفن پسماند استخراج شده از مطالعات انتخابی با مقدار غلظت زمینه به تعیین میزان آلودگی در منطقه می پردازد. از فرمول شماره ۱ به منظور محاسبه فاکتور آلودگی استفاده گردید:

$$= — (۱)$$

که در این معادله، Cn و Bn به ترتیب غلظت فلز سنگین استخراج شده از مطالعات انتخابی و غلظت زمینه طبیعی هستند. غلظت زمینه طبیعی، غلظت محیطی فلزات سنگین در خاک بدون دخالت عوامل و فعالیت های انسانی تعریف می شود. در صورتیکه ۱ > CF (آلودگی کم)، ۳> CF > ۱ (آلودگی متوسط)، ۶> CF > ۳ (آلودگی زیاد) و ۶ < CF (آلودگی بسیار زیاد) می‌باشد [۱۰].

۲. درجه آلودگی

سطح آلودگی خاک از مجموع فاکتورهای آلودگی فلزات سنگین موجود در منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود که به شاخص آلودگی هاکانسون نیز شهرت دارد و با استفاده از معادله شماره ۲ تعیین می‌گردد. بر اساس این شاخص، مقادیر آلودگی به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند: اگر CD کمتر از ۶ باشد، آلودگی در سطح پایین، بین ۶ تا ۱۲ آلودگی متوسط، بین ۱۲ تا ۲۴ آلودگی بالا و بیش از ۲۴ آلودگی بسیار شدید تلقی می‌شود [۱۳].

$$= \sum_{=1} \times \qquad (2)$$

۳. ارزیابی ریسک اکولوژیکی

این شاخص برای اولین بار توسط هاکانسون معرفی شد و با استفاده از معادله شماره ۳ برای هر عنصر و از طریق معادله شماره ۴ برای مجموع عناصر محاسبه می‌گردد. بر اساس رویکرد هاکانسون، فاکتور پاسخ سمیت (Tri) برای فلزات سنگین به ترتیب برای Zn، Pb، Ni، Mn، Cu، Cr، Co، Cd و As برابر با ۱، ۵، ۵، ۱، ۵، ۲، ۲، ۳۰ و ۱۰ است. بر این اساس، مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI)به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود ERI : کمتر از ۴۰ نشان‌دهنده آلودگی کم، بین ۴۰ تا ۸۰ آلودگی متوسط، بین ۸۰ تا ۱۶۰ آلودگی شدید، بین ۱۶۰ تا ۳۲۰ آلودگی بسیار شدید و بیشتر از ۳۲۰ آلودگی فوق‌العاده شدید تلقی می‌شود [۶].

$$= — \times \qquad (۳)$$

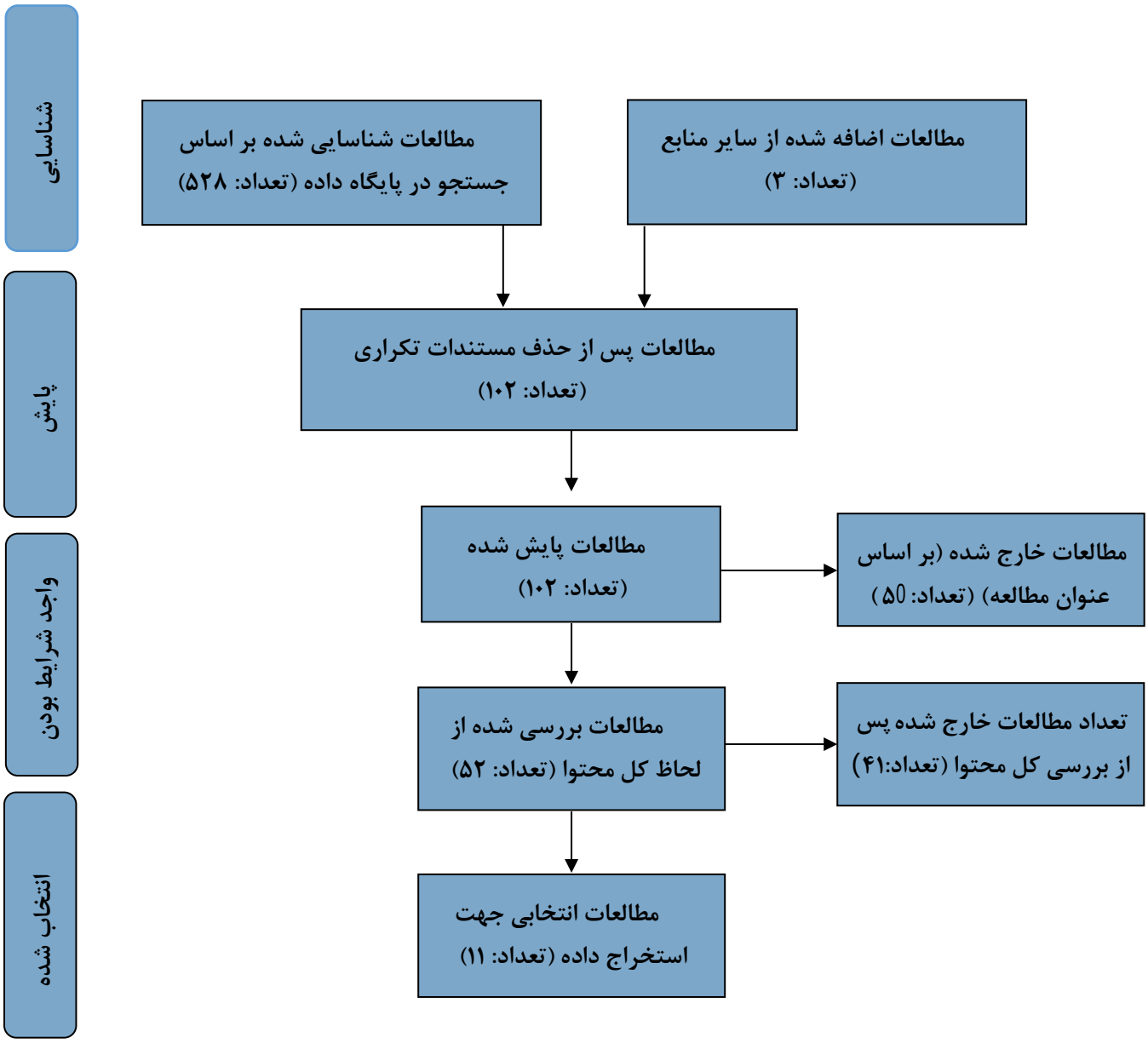
$$= \sum_{=1} \times \qquad (۴)$$

یافته‌ها

شناسایی و انتخاب مطالعات مرتبط

نمودار PRISMA جهت انتخاب مطالعات با توجه به هدف مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از شناسایی و حذف مطالعات تکراری در پایگاه‌های علمی مختلف ۱۰۲ باقی ماند. در این مرحله، نویسندگان عنوان و چکیده مطالعات را مورد بررسی قرار داده و مطالعاتی که با اهداف این مطالعه مروری سازگاری نداشتند، از مطالعه کنار گذاشته می‌شدند (تعداد مطالعه باقی مانده: ۵۲). در این مرحله، نویسندگان با نگاهی دقیق‌تر به بررسی کل محتوای مطالعات انتخابی از مراحل قبل پرداختند و همچنین آندسته از مطالعاتی که با اهداف مطالعه و الگوی انتخاب مقالات همخوانی نداشتند از ادامه روند خارج شدند (تعداد مطالعه باقی مانده: ۱۱). علاوه بر این، در طی بررسی مطالعات، ۳ مطالعه به صورت دستی به مطالعات اضافه گردید. در پایان، داده‌های اختصاصی با تمرکز بر ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در اطراف محل‌های دفن پسماند کشور ایران استخراج گردید.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

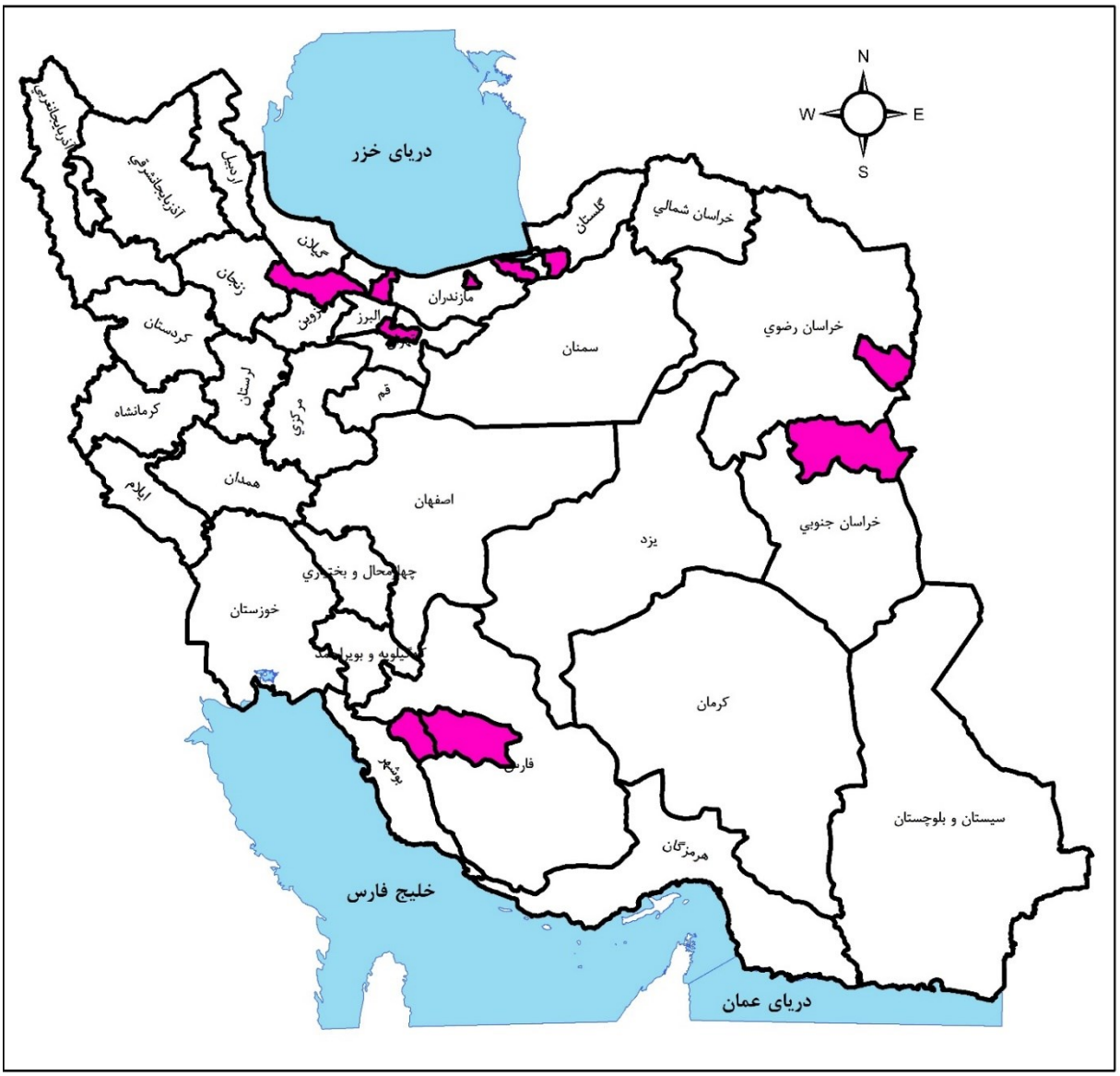


شکل ۱. نمودار گرافیکی انتخاب مطالعات بر اساس الگوی **PRISMA**

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

غلظت فلزات سنگین در مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های اطراف محل های دفن پسماند در ایران

شکل ۲ موقعیت مکانی مطالعات انتخابی با تمرکز بر غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند را در شهرهای مختلف ایران نشان می‌دهند. همانطور که در شکل مشخص شده است، این مطالعات انتخابی در شهرهای مختلف ایران از جمله شیراز، چالوس، کازرون،گرگان، قائمشهر، قاین، بهشهر، تایباد، تهران و قزوین انجام شده است.



شکل ۲. نما کلی از موقعیت مکانی محل‌های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران بر اساس مطالعات انتخابی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

جدول شماره ۱ غلظت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده در اطراف محل‌های دفن پسماند شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۱. غلظت فلزات سنگین در خاک های اطراف لندفیل های مورد مطالعه در کشور ایران

	منطقه مورد مطالعه	سال	غلظت فلزات سنگین (mg/kg)								مرجع
			Mn	Zn	Cr	Pb	Cu	Ni	Co	As	Cd	
۱	شیراز	۲۰۲۳	۶۴۸/۳۷	۵۷۵/۷۹	۳۰۱/۸۱	۱۹۲/۷۲	۲۵۶/۳۷	–	–	–	۲/۴	۶
۲	چالوس	۲۰۲۳	–	–	–	۱۸	–	–	–	–	۱۸۰	۱۱
۳	کازرون	۲۰۲۲	–	۱۳۶/۸۴	۱۳۷/۵	–	۷۰/۵	۷۴/۹	–	۴۹/۹۲	۲/۱۱	۱۴
۴	گرگان	۲۰۲۰	–	–	–	۷	–	–	–	–	۰/۱	۷
۵	قائمشهر	۲۰۱۶	–	۳۲۸/۸	–	۲۴/۱	۵۶/۱۷	–	–	۴۱/۳۴	۰/۰۶	۱۳
۶	قاین	۲۰۱۴	–	۱۵۹/۹۳	۱۶۶/۵۵	۷۶/۴۴	۷۱/۷۵	۶۳/۵۴	–	–	۱۰/۹۷	۱۵
۷	بهشهر	۲۰۱۹	–	۹۹	۸۰	–	۴۳	۴۸	۱۶	۱۲/۶	۰/۲۸	۱۶
۸	تایباد	۲۰۲۳	–	–	–	۷۸/۳۵	–	–	–	–	۲/۰۷	۱۷
۹	گرگان	۲۰۲۲	–	۱۰۲/۹۹	–	۵۳/۹۵	۴۴/۹۶	–	–	–	۰/۵۱	۱۸
۱۰	تهران	۲۰۲۱	۱۲۵۴	۲۷۵	۱۲۷/۵	۱۱۱/۵	۱۷۹/۴	۴۲/۹	۱۸	۱۰/۹	۰/۸۶	۱۰
۱۱	قزوین	۲۰۲۴	۹۷۱	–	۱۰۴	–	۷۶	–	۱۶	۱۹/۹	۰/۲	۱۹

فاکتورآلودگی فلزات سنگین در مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های اطراف محل های دفن پسماند در ایران

جدول شماره ۲، فاکتور آلودگی مربوط به فلزات سنگین سنجش شده در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند شهر های مختلف کشور را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقایسه غلظت فلزات در مطالعات انجام شده با غلظت زمینه و شاخص آلودگی (CF)

ردیف	فلز سنگین	منطقه مورد مطالعه	غلظت (mg/kg)	غلظت زمینه (mg/kg)	شاخص آلودگی (CF)	تفسیر	مرجع
۱	Mn	شیراز	۶۴۸/۳۷	۴۲۰	۱/۵۴	آلودگی متوسط	۶
		تهران	۱۲۵۴	۴۲۰	۲/۹۹	آلودگی متوسط	۱۰
		قزوین	۹۷۱	۴۲۰	۲/۳۱	آلودگی متوسط	۱۹
۲	Zn	شیراز	۵۷۵/۷۹	۴۰/۲	۱۴/۳۲	آلودگی بسیار زیاد	۶
		کازرون	۱۳۶/۸۴	۴۰/۲	۳/۴۰	آلودگی زیاد	۱۴
		قائمشهر	۳۲۸/۸	۴۰/۲	۸/۱۸	آلودگی زیاد	۱۳
		قاین	۱۵۹/۹۳	۴۰/۲	۳/۹۸	آلودگی زیاد	۱۵
		بهشهر	۹۹	۴۰/۲	۲/۴۶	آلودگی متوسط	۱۶
		گرگان	۱۰۲/۹۹	۴۰/۲	۲/۵۶	آلودگی متوسط	۱۸

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

		تهران	۲۷۵	۴۰/۲	۶/۸۴	آلودگی بسیار زیاد	۱۰
۳	Cr	شیراز	۳۰۱/۸۱	۵۵	۵/۴۹	آلودگی زیاد	۶
		کازرون	۱۳۷/۵	۵۵	۲/۵۰	آلودگی متوسط	۱۴
		قاین	۱۶۶/۵۵	۵۵	۳/۰۳	آلودگی زیاد	۱۵
		بهشهر	۸۰	۵۵	۱/۴۵	آلودگی متوسط	۱۶
		تهران	۱۲۷/۵	۵۵	۲/۳۲	آلودگی متوسط	۱۰
		قزوین	۱۰۴	۵۵	۱/۸۹	آلودگی متوسط	۱۹
۴	Pb	شیراز	۱۹۲/۷۲	۳۴/۲	۵/۶۴	آلودگی زیاد	۶
		چالوس	۱۸	۳۴/۲	۰/۵۳	آلودگی کم	۱۱
		گرگان	۷	۳۴/۲	۰/۲۰	آلودگی کم	۷
		قائمشهر	۲۴/۱	۳۴/۲	۰/۷۰	آلودگی کم	۱۳
		قاین	۷۶/۴۴	۳۴/۲	۲/۲۴	آلودگی متوسط	۱۵
		تایباد	۷۸/۳۵	۳۴/۲	۲/۲۹	آلودگی متوسط	۱۷
		گرگان	۵۳/۹۵	۳۴/۲	۱/۵۸	آلودگی متوسط	۱۸
		تهران	۱۱۱/۵	۳۴/۲	۳/۲۶	آلودگی زیاد	۱۰
۵	Cu	شیراز	۲۵۶/۳۷	۲۸/۳	۹/۰۶	آلودگی بسیار زیاد	۶
		کازرون	۷۰/۵	۲۸/۳	۲/۴۹	آلودگی متوسط	۱۴
		قائمشهر	۵۶/۱۷	۲۸/۳	۱/۹۸	آلودگی متوسط	۱۳
		قاین	۷۱/۷۵	۲۸/۳	۲/۵۴	آلودگی متوسط	۱۵
		بهشهر	۴۳	۲۸/۳	۱/۵۲	آلودگی متوسط	۱۶
		گرگان	۴۴/۹۶	۲۸/۳	۱/۵۹	آلودگی متوسط	۱۸
		تهران	۱۷۹/۴	۲۸/۳	۶/۳۴	آلودگی بسیار زیاد	۱۰
		قزوین	۷۶	۲۸/۳	۲/۶۹	آلودگی متوسط	۱۹
۶	Ni	کازرون	۷۴/۹	۴۵/۷	۱/۶۴	آلودگی متوسط	۱۴
		قاین	۶۳/۵۴	۴۵/۷	۱/۳۹	آلودگی متوسط	۱۵
		بهشهر	۴۸	۴۵/۷	۱/۰۵	آلودگی متوسط	۱۶
		تهران	۴۲/۹	۴۵/۷	۰/۹۴	آلودگی کم	۱۰
۷	Co	بهشهر	۱۶	۱۸/۱	۰/۸۸	آلودگی کم	۱۶
		تهران	۱۸	۱۸/۱	۰/۹۹	آلودگی کم	۱۰
		قزوین	۱۶	۱۸/۱	۰/۸۸	آلودگی کم	۱۹
۸	As	کازرون	۴۹/۹۲	۴/۸	۱۰/۴۰	آلودگی بسیار زیاد	۱۴
		قائمشهر	۴۱/۳۴	۴/۸	۸/۶۱	آلودگی بسیار زیاد	۱۳
		بهشهر	۱۲/۶	۴/۸	۲/۶۳	آلودگی متوسط	۱۶
		تهران	۱۰/۹	۴/۸	۲/۲۷	آلودگی متوسط	۱۰
		قزوین	۱۹/۹	۴/۸	۴/۱۵	آلودگی زیاد	۱۹
۹	Cd	شیراز	۲/۴	۰/۲۳	۱۰/۴۳	آلودگی بسیار زیاد	۶

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

		چالوس	۱۸۰	۰/۲۳	۷۸۲/۶۱	آلودگی بسیار زیاد	۱۱
		کازرون	۲/۱۱	۰/۲۳	۹/۱۷	آلودگی بسیار زیاد	۱۴
		گرگان	۰/۱	۰/۲۳	۰/۴۳	آلودگی کم	۷
		قائمشهر	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۲۶	آلودگی کم	۱۳
		قاین	۱۰/۹۷	۰/۲۳	۴۷/۷۰	آلودگی بسیار زیاد	۱۵
		بهشهر	۰/۲۸	۰/۲۳	۱/۲۲	آلودگی متوسط	۱۶
		تایباد	۲/۰۷	۰/۲۳	۹/۰۰	آلودگی بسیار زیاد	۱۷
		گرگان	۰/۵۱	۰/۲۳	۲/۲۲	آلودگی متوسط	۱۸
		تهران	۰/۸۶	۰/۲۳	۳/۷۴	آلودگی زیاد	۱۰
		قزوین	۰/۲	۰/۲۳	۰/۸۷	آلودگی کم	۱۹

جدول ۳، درجه آلودگی (CD) خاک‌های مجاور محل‌های دفن پســـماند در شـــهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۳. درجه آلودگی (CD) در خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند

ردیف	منطقه مورد مطالعه	سال	CF									CD	کیفیت	مرجع
			Mn	Zn	Cr	Pb	Cu	Ni	Co	As	Cd			
۱	شیراز	۲۰۲۳	۱/۵۴	۱۴/۳۲	۵/۴۹	۵/۶۴	۹/۰۶	–	–	–	۱۰/۴۳	۴۶/۴۸	آلودگی بسیار شدید	۶
۲	چالوس	۲۰۲۳	–	–	–	۰/۵۳	–	–	–	–	۷۸۲/۶۱	۷۸۳/۱۴	آلودگی بسیار شدید	۱۱
۳	کازرون	۲۰۲۲	–	۳/۴۰	۲/۵۰	–	۲/۴۹	۱/۶۴	–	۱۰/۴۰	۹/۱۷	۲۹/۶	آلودگی بسیار شدید	۱۴
۴	گرگان	۲۰۲۰	–	–	–	۰/۲۰	–	–	–	–	۰/۴۳	۰/۶۳	آلودگی در سطح پایین	۷
۵	قائمشهر	۲۰۱۶	–	۸/۱۸	–	۰/۷۰	۱/۹۸	–	–	۸/۶۱	۰/۲۶	۱۹/۷۳	آلودگی بالا	۱۳
۶	قاین	۲۰۱۴	–	۳/۹۸	۳/۰۳	۲/۲۴	۲/۵۴	۱/۳۹	–	–	۴۷/۷۰	۶۰/۸۸	آلودگی بسیار شدید	۱۵
۷	بهشهر	۲۰۱۹	–	۲/۴۶	۱/۴۵	–	۱/۵۲	۱/۰۵	۰/۸۸	۲/۶۳	۱/۲۲	۱۱/۲۱	آلودگی متوسط	۱۶
۸	تایباد	۲۰۲۳	–	–	–	۲/۲۹	–	–	–	–	۹/۰۰	۱۱/۲۹	آلودگی متوسط	۱۷
۹	گرگان	۲۰۲۲	–	۲/۵۶	–	۱/۵۸	۱/۵۹	–	–	–	۲/۲۲	۷/۹۵	آلودگی متوسط	۱۸
۱۰	تهران	۲۰۲۱	۲/۳۱	۶/۸۴	۲/۳۲	۳/۲۶	۶/۳۴	۰/۹۴	۰/۹۹	۲/۲۷	۳/۷۴	۲۹/۰۱	آلودگی بسیار شدید	۱۰
۱۱	قزوین	۲۰۲۴	۲/۳۱	–	۱/۸۹	–	۲/۶۹	–	۰/۸۸	۴/۱۵	۰/۸۷	۱۲/۷۹	آلودگی بالا	۱۹

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

شـــاخص ریســـک اکولوژیکی (ERI) خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند شهری

جدول شماره ۴ شاخص ریسک اکولوژیکی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل‌های دفن پسماند شهرهای مختلف کشور ایران را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

جدول ۴. شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI) خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند شهری کشور ایران

ردیف	منطقه مورد مطالعه	سال	Eri									ERI	کیفیت	طبقه بندی	مرجع
			Mn	Zn	Cr	Pb	Cu	Ni	Co	As	Cd				
۱	شیراز	۲۰۲۳	۱/۵۴	۱۴/۳۲	۱۰/۹۷	۲۸/۱۸	۴۵/۳۰	–	–	–	۳۱۳/۰۴	۴۱۳/۳۵	آلودگی فوق‌العاده شدید		۶
۲	چالوس	۲۰۲۳	–	–	–	۲/۶۳	–	–	–	–	۲۳۴۷۸/۲۶	۲۳۴۸۰/۸۹	آلودگی فوق‌العاده شدید		۱۱
۳	کازرون	۲۰۲۲	–	۳/۴۰	۵/۰۰	–	۱۲/۴۶	۸/۱۹	–	۱۰۴/۰	۲۷۵/۲۲	۴۰۸/۲۷	آلودگی فوق‌العاده شدید		۱۴
۴	گرگان	۲۰۲۰	–	–	–	۱/۰۲	–	–	–	–	۱۳/۰۴	۱۴/۰۶	آلودگی کم		۷
۵	قائمشهر	۲۰۱۶	–	۸/۱۸	–	۳/۵۲		–	–	۹/۹۲	۷/۸۳	۲۹/۴۵	آلودگی کم		۱۳
۶	قاین	۲۰۱۴	–	۳/۹۸	۶/۰۶	۱۱/۱۸	۱۲/۶۸	۶/۹۵	–	–	۱۴۳۰/۸۷	۱۴۷۱/۷۲	آلودگی فوق‌العاده شدید		۱۵
۷	بهشهر	۲۰۱۹	–	۲/۴۶	۲/۹۱	–	۷/۶۰	۵/۲۵	۱/۷۷	۲۶/۲۵	۳۶/۲۵	۸۲/۴۹	آلودگی شدید		۱۶
۸	تایباد	۲۰۲۳	–	–	–	۲/۶۳	–	–	–	–	۲۷۰/۰۰	۲۷۲/۶۳	آلودگی بسیار شدید		۱۷
۹	گرگان	۲۰۲۲	–	۲/۵۶	–	۷/۸۹	۷/۹۴	–	–	–	۶۶/۵۲	۸۴/۹۱	آلودگی شدید		۱۸
۱۰	تهران	۲۰۲۱	۲/۹۹	۶/۸۴	۴/۶۴	۱۶/۳۰	۳۱/۷۰	۴/۶۹	۱/۹۹	۲۲/۷۱	۱۱۲/۱۷	۲۰۴/۰۳	آلودگی بسیار شدید		۱۰
۱۱	قزوین	۲۰۲۴	۲/۳۱	–	۳/۷۸	–	۱۳/۴	–	۱/۷۷	۴۱/۴۶	۲۶/۰۹	۸۸/۸۱	آلودگی شدید		۱۹

راهنما			
آلودگی فوق العاده شدید	آلودگی بسیار شدید	آلودگی شدید	آلودگی کم

بحث

غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند مطالعات انتخابی

بر اساس داده‌های حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مجاور محل‌های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران، مقادیر متفاوتی از آلاینده‌ها گزارش شده است (جدول شماره ۱). بالاترین غلظت منگنز (Mn) با ۱۲۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تهران (۲۰۲۱) و کمترین آن با ۶۴۸/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شیراز (۲۰۲۳) [۶] مشاهده شد. برای روی (Zn)، حداکثر غلظت ۵۷۵/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شیراز و حداقل ۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهشهر (۲۰۱۹) [۱۶] ثبت گردید. کروم (Cr) با بیشترین مقدار ۳۰۱/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شیراز و کمترین مقدار ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهشهر گزارش شد. سرب (Pb) با حداکثر ۱۹۲/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شیراز و حداقل ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گرگان (۲۰۲۰) گزارش شده است. مس (Cu) با بیشترین مقدار ۲۵۶/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شیراز و کمترین ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهشهر، نیکل (Ni) با حداکثر ۷۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کازرون (۲۰۲۲) [۱۴] و حداقل ۹/ ۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تهران، کبالت (Co) با بیشترین مقدار ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تهران و کمترین ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهشهر و قزوین (۲۰۲۴) [۱۹]، آرسنیک (As) با حداکثر ۴۲/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کازرون و حداقل ۹/ ۱۰ ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تهران، و کادمیوم (Cd) با بالاترین مقدار ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در چالوس (۲۰۲۳) [۱۱] و کمترین ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در قائمشهر (۲۰۱۶) [۱۳] گزارش شده است. این توزیع ناهمگن آلودگی، به‌ویژه در شهرهایی مانند شیراز و چالوس، احتمالاً به دلیل ورود حجم بالای پسماندهای صنعتی، کشاورزی یا شهری، همراه با مدیریت ناکافی لندفیل‌ها و نفوذپذیری بالای خاک، رخ داده است. در مقابل، غلظت‌های پایین‌تر در شهرهایی نظیر گرگان و بهشهر ممکن است به دلیل ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاک باشد. این یافته‌ها بر ضرورت پایش مستمر، ارزیابی ریسک اکولوژیکی و اجرای استراتژی‌های اصلاح خاک به‌منظور کاهش خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی تأکید دارد.

فاکتور و درجه آلودگی فلزات سنگین در مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های اطراف محل های دفن پسماند در ایران

جدول شماره ۲، فاکتور آلودگی مربوط به فلزات سنگین سنجش شده در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند شهر های مختلف کشور را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های جدول ارائه‌شده در خصوص غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند در ایران، فاکتور آلودگی (CF) به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی شدت آلودگی خاک محاسبه شده است که از نسبت غلظت فلز سنگین (mg/kg) به غلظت زمینه‌ای آن به‌دست می‌آید. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که بالاترین فاکتور آلودگی مربوط به فلز کادمیوم (Cd) در چالوس با مقدار قابل‌توجه ۷۸۲ /۶۱ (غلظت mg/kg ۱۸۰، غلظت زمینه mg/kg ۰/۲۳) که به‌عنوان آلودگی بسیار زیاد طبقه‌بندی می‌شود. این سطح شدید آلودگی احتمالاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی، دفع غیراصولی پسماند یا ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاک منطقه است که می‌تواند خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی جدی به همراه داشته باشد. در مقابل، پایین‌ترین فاکتور آلودگی نیز برای کادمیوم (Cd) در قائمشهر با مقدار ۰/۲۶ گزارش شده است که نشان‌دهنده آلودگی کم و حداقل تأثیر آلودگی در این منطقه است. این اختلاف فاحش در فاکتورهای آلودگی کادمیوم، بیانگر ناهمگونی در منابع آلودگی و مدیریت پسماند در مناطق مختلف ایران است. فلزات دیگر مانند روی (Zn) در شیراز (۱۴/۳۲ = CF) و مس (Cu) در تهران (۱۴/۳۲ = CF) نیز

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

فاکتورهای آلودگی بسیار زیاد نشان می‌دهند. این در حالی است که فلزاتی مانند کبالت (Co) و نیکل (Ni) اغلب فاکتورهای آلودگی پایین تا متوسط (CF بین ۰/۸۸ تا ۱/۶۴) دارند. این نتایج بر ضرورت پایش مستمر و اتخاذ اقدامات مدیریتی مؤثر برای کاهش آلودگی خاک در مناطق پرخطر مانند چالوس، شیراز و تهران تأکید دارد و تفاوت‌های مشاهده‌شده را می‌توان به عواملی نظیر نوع پسماند، روش‌های دفع و ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاک نسبت داد.

در جدول ۳، درجه آلودگی (CD) خاک‌های مجاور محل‌های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران بررسی شده است که نشان‌دهنده سطوح متنوعی از آلودگی به فلزات سنگین مانند منگنز (Mn)، روی (Zn)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، مس (Cu)، نیکل (Ni) ، کبالت (Co)، آرسنیک (As) و کادمیوم (Cd) می‌باشد. این شاخص، که بر اساس فاکتورهای آلودگی (CF) محاسبه می‌شود، کیفیت آلودگی را از سطح پایین تا بسیار شدید طبقه‌بندی می‌کند. بالاترین درجه آلودگی با مقدار ۷۸۳/۱۴ در چالوس (سال ۲۰۲۳) [11] مشاهده شده که عمدتاً به دلیل سطوح بالای کادمیوم (CF = ۷۸۲/۶۱) است و نشان‌دهنده آلودگی بسیار شدید می‌باشد، در حالی که پایین‌ترین درجه آلودگی با مقدار ۰/۶۳ در گرگان (سال ۲۰۲۰) [7] ثبت شده که عمدتاً ناشی از سطوح پایین سرب و کادمیوم بوده و کیفیت آلودگی در سطح پایین ارزیابی می‌شود. تفسیر این داده‌ها حاکی از آن است که محل‌های دفن پسماند به عنوان منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین عمل می‌کنند و تفاوت‌های مشاهده‌شده ممکن است به عواملی مانند نوع پسماند، مدیریت محل دفن، شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های صنعتی محلی وابسته باشد؛ برای مثال، سطوح بسیار بالای Cd در چالوس می‌تواند ناشی از نفوذ شیرابه‌های غنی از کادمیوم باشد که تهدیدی جدی برای اکوسیستم خاک و زنجیره غذایی ایجاد می‌کند.

شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI) خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند شهری

جدول شماره ۴ شاخص ریسک اکولوژیکی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل‌های دفن پسماند شهرهای مختلف کشور ایران را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های ارائه‌شده جدول شماره ۴، بالاترین مقدار ERI کلی با ۲۳۴۸۰/۸۹ در چالوس (سال ۲۰۲۳) [11] ثبت شد که عمدتاً ناشی از غلظت بسیار بالای کادمیوم (Cd) با ERI برابر ۲۳۴۷۸/۲۶ می‌باشد که منجر به آلودگی فوق‌العاده شدید گردید. در مقابل، پایین‌ترین مقدار ERI با ۱۴/۰۶ در گرگان (سال ۲۰۲۰) [7] مشاهده شد که تنها به عناصر سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) محدود بود و کیفیت خاک را در سطح آلودگی کم نشان داد. نتایج این ارزیابی نشان‌دهنده تنوع قابل‌توجه در سطح آلودگی خاک در مناطق مختلف ایران است که به عوامل متعددی از جمله نوع فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و مدیریت پسماند در این مناطق بستگی دارد. چالوس به دلیل نزدیکی به مناطق صنعتی و کشاورزی پیشرفته، به‌ویژه در زمینه استفاده از کودها و سموم شیمیایی حاوی کادمیوم، با ریسک اکولوژیکی فوق‌العاده بالایی مواجه است. غلظت بالای کادمیوم در این منطقه می‌تواند اثرات مخربی بر اکوسیستم خاک، زنجیره غذایی و سلامت انسان داشته باشد، زیرا این فلز سنگین به شدت سمی و تجمع‌پذیر در موجودات زنده است. در مقابل، گرگان در سال ۲۰۲۰ [7]، کمترین سطح آلودگی را نشان داد. با این حال، مناطقی مانند قاین و شیراز که مقادیر بالای ERI را گزارش کردند، نیازمند توجه فوری به اصلاح روش‌های دفع پسماند و کاهش انتشار فلزات سنگین هستند. به‌ویژه قاین با غلظت بالای کادمیوم، مشابه چالوس، در معرض خطر جدی قرار دارد. علاوه بر این، تفاوت‌های مشاهده‌شده در داده‌ها نشان‌دهنده نیاز به رویکردهای منطقه‌ای در مدیریت پسماند است. شهرهایی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

مانند قائمشـــهر و بهشـــهر که آلودگی کمتری دارند، ممکن است از فعالیت‌های صنعتی کمتر یا سیستم‌های دفع پسماند بهتر بهره‌مند باشـند. با این حال، حتی در این مناطق، وجود فلزاتی مـلننـد روی (Zn) و نیکـل (Ni) می‌توانـد در طولانی‌مدت به دلیل تجمع تدریجی، ریسـک اکولوژیکی را افزایش دهد. در نهایت، این داده‌ها ضـــرورت پایش مداوم خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند را برجسته می‌کند. اجرای سیاسـت‌های زیسـت‌محیطی سـخت‌گیرانه‌تر، بهبود فناوری‌های بازیافت و دفع پســـماند، و آموزش عمومی در مورد خطرات فلزات ســـنگین می‌تواند به کاهش ریســـک اکولوژیکی و حفاظت از اکوسـیسـتم‌های محلی کمک کند. این امر بـه‌ویژه در منـاطقی مـانـند چـالوس و قـاین کـه در معرض آلودگی فوق‌العاده شدید هستند، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

رشد سریع شهرنشینی و تولید پسماندهای جامد شهری و ســـاختمـانی در ایران، منجر بـه آلودگی خـاک اطراف لندفیل‌های غیرمهندسی با فلزات سنگین مانند Cd، Pb و Znشده که تهدیدی برای اکوسیستم‌ها و سلامت انسانی اســـت. آگاهی از ریســـک اکولوژیکی خاک‌های آلوده به فلزات ســـنگین می‌تولند به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای بررســـی نقش صـــنایع و محل‌های دفن پســـماند در آلودگی خاک‌های مجاور باشـــد. در این مطالعه مروری، بر پایه دستورالعمل PRISMA ، جستجوی پایگاه‌های داده جهانی و ایرانی، ۱۱ مطالعه انتخاب و غلظت فلزات سنگین اسـتخراج گردید. فاکتور آلودگی و ریسـک اکولوژیکی بر اساس شـاخص‌های CF، CD و ERI محاسـبه و تفسـیر گردید. نتایج مطالعه حاضـــر نشـــان داد که شـــاخص های ریسک اکولوژیکی خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند شـهرهای مختلف کشـور ایران در شـرایط آلوده قرار دارند: بطوریکه بالاترین عدد (۲۳۴۸۰/۸۹) مربوط به شـــاخص های ریســـک اکولوژیکی در شـــهر چالوس (رنگ قهوه‌ای) مشاهده گردید که از دلایل اصلی آن می‌توان به غلظت‌های بالای کادمیوم در خاک این منطقه اشـاره کرد. آلودگی خاک به کادمیوم به دنبال عمدتاً ناشـــی از شـــیرابه لندفیل‌ها و فعالیت‌های صـــنعتی می‌باشـــد. پایین ترین عدد (۱۴/۰۶) مربوط به شـــاخص‌های ریســـک اکولوژیکی در خاک‌های اطراف محل دفن پســـماند گرگان (رنگ زرد) مشـــاهده گردید. نتایج این مطالعه نشـــان داد که داده های اندکی در زمینه آلودگی خاک های محل دفن پسـماند در ایران وجود داشـته و این داده ها نیز از عدم یکپارچگی در تعداد و نوع فلزات سـنگین شـاخص برخوردارند. به طور کلی، با توجه به این شـــرایط، نیاز به بازنگری در تعداد فلزات ســـنگین ســـنجش شـــده و دقت نمونه برداری در مطالعات آینده احسـاس می‌شـود. علاوه بر این، یافته‌های حاصـل از مطالعه حاضـــر نشـــان دهنده آلودگی ناهمگن خاک‌های اطراف محل‌های دفن پســـماند به انواع مختلف فلزات ســـنگین می‌باشد که در بسیاری از موارد موارد منجر به ریسک بالای اکولوژیکی گردیده اسـت. این امر می‌تواند بر آینده زنجیره غذایی و تنوع زیستی تاثیر منفی بگذارد. پیشنهاد می‌شود در محل های دفن پسـماند پایش مداوم خاک، طراحی و بهبود سـیسـتم‌های دفع پســـماند با فناوری‌های بازیافت و سـیاسـت‌گذاری‌های منطقه‌ای برای کاهش آلاینده‌ها اجرا شود تا به سمت مدیریت پایدار پسماند حرکت کنیم.

سپاسگزاری

نویسـندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشـگاه علوم پزشکی ایران برای انجام این طرح تحقیقاتی با کد ۲۱۴۴۶-۶۱-۲-۱۴۰۰ سپاسگزاری می کنند.

تعارض منافع

نویسـندگان اذعـان می دارنـد کـه در اجرای پژوهش و همچنین نگارش مقاله تضاد منافع نداشته اند.

حمایت مالی

در اجرای این پژوهش ازحمایت‌های مالی دانشـگاه علوم پزشکی ایران بهره مند شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

ملاحظات اخلاقی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1400.730 است.

مشارکت نویسندگان

-جمع آوری اطلاعات، اجرای پژوهش: بهناز عبداللهی نژاد

-آماده سازی نسخه اولیه مقاله: بهناز عبداللهی نژاد

-ارائه ایده پژوهش، جمع آوری اطلاعات و آماده سازی نسخه نهایی مقاله: مهدی فرزادکیا

-ارائه مشاوره در اجرای پژوهش و نظارت بر آماده سازی نسخه اولیه مقاله: حسن پاسالاری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]

References

1. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Van Woerden F. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050: World Bank Publications; 2018.
2. Adelopo A, Haris PI, Alo B, et al. Multivariate analysis of the effects of age, particle size and landfill depth on heavy metals pollution content of closed and active landfill precursors. Waste Management 2018;78: 227-37.
3. Srivastava NK, Majumder C. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. Journal of hazardous materials 2008;151(1): 1-8.
4. Rezapour S, Samadi A, Kalavrouziotis IK, Ghaemian N. Impact of the uncontrolled leakage of leachate from a municipal solid waste landfill on soil in a cultivated-calcareous environment. Waste Management 2018;82: 51-61.
5. Hussein M, Yoneda K, Mohd-Zaki Z, et al. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. Chemosphere 2021;267: 128874.
6. Balali A, Gholami S, Javanmardi M, et al. Assessment of heavy metal pollution in the soil of a construction and demolition waste landfill. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management 2023;20: 100856.
7. Pazhmaan AJ, Ebrahimi S, Kiani F, Rashidi H. Pollution assessment, spatial distribution and exposure of Cd and Pb in surface soils of abandoned landfill site in Gorgan, north of Iran. Environmental Resources Research 2021;9(1): 69-78.
8. Eslami A, Nabizadeh A, Akbarzadeh Kasani H. Geotechnical and geophysical characterisations of construction waste-infilled quarry for housing and commercial developments: Case study of Tehran, Iran. Waste Management & Research 2022;40(3): 349-59.
9. Zerizghi T, Guo Q, Tian L, et al. An integrated approach to quantify ecological and human health risks of soil heavy metal contamination around coal mining area. Science of the Total Environment 2022;814: 152653.
10. Karimian S, Shekoohiyan S, Moussavi G. Ecological risk assessment of heavy metals in landfill soil of Tehran and its adjacent residential area. 2021: [In Persian].
11. Kooch Y, Nouraei A, Haghverdi K, et al. Landfill leachate has multiple negative impacts on soil health indicators in Hyrcanian forest, northern Iran. Science of The Total Environment 2023;896: 166341.
12. Moher D, Shamseer L, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. Systematic reviews 2015;4(1): 1.
13. Soleimannejad Z, Abdolzadeh A, Sadeghipour HR. Heavy metal concentrations in industrial area soils and landfill site, Ghaemshahar, Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 2016;26(136): 196-201 [In Persian].
14. Rouhani A, Shadloo S, Ehdaei A, Hejcman M. Pollution and health risk assessment of heavy metals in the soil around an open landfill site in a developing country. 2022.
15. Sayadi M, Rezaei M, Rezaei A. Fraction distribution and bioavailability of sediment heavy metals in the environment surrounding MSW landfill: a case study. Environmental monitoring and assessment 2015;187(1): 4110.
16. Hosseinzade F, MOMENI A, Bagheri R. Assessment of heavy metals pollution in soils around Behshahr landfill. 2019: [In Persian].
17. Ghorbani A, Alipoor MJ, Ghafoori M. Investigating the level of contamination and ecological risk of cadmium and lead metals in the soil downstream of the burial site (case study: Taibad city). Journal of Research in Environmental Health 2023;9(2): 223-32 [In Persian].
18. Soodmand A, Ebrahimi S, Kiani F. Evaluation of spatial distribution of heavy metal pollution using pollution factor and geo-accumulation index in the surface soil of Gorgan Hazarpich landfill. Journal of Soil Management and Sustainable Production 2023;13(3): 45-62 [In Persian].
19. Rastegari MM, Najafi F, Shakeri A, Abdollahbeglou L. Assessment of potentially toxic elements' contamination in soil around Mohammadabad landfill, Qazvin Province. 2024: [In Persian].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-27]