

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 Abdollahinejad¹, 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 Environmental Health 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

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، مهدی فرزادکیا^{۳*}^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 دهه های اخیر، رشد شهرنشینی و تولید پسماندهای جامد شهری (MSW) در ایران منجر به آلودگی شدید خاک اطراف محل های دفن پسماند با فلزات سنگین مانند As, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd و Hg شده است. این آلاینده ها، ناشی از شیرابه لندفیل ها، پایداری بالا داشته و تهدیدی برای اکوسیستم ها، زنجیره غذایی و سلامت انسانی ایجاد می کنند. این مطالعه مروری به بررسی جامع غلظت فلزات سنگین در خاک های اطراف محل های دفن پسماند کشور ایران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی می پردازد.

مواد و روش ها: از دستورالعمل PRISMA به منظور شناسایی و انتخاب مطالعات استفاده گردید. در این زمینه از پایگاه های 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، شاخص های ارزیابی ریسک شامل فاکتور آلودگی (CF)، درجه آلودگی (CD) و شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI) با استفاده از فرمول های مربوطه محاسبه گردید.

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

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که داده های اندکی در زمینه آلودگی خاک های محل دفن پسماند در ایران وجود داشته و این داده ها نیز از عدم یکپارچگی در تعداد و نوع فلزات سنگین شاخص برخوردارند. این امر ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک های محل دفن پسماند در ایران را با چالش های کمی و کیفی مطالعات مواجه نموده و قضاوت در خصوص نقاط با آلودگی های سطوح بالا، متوسط و پایین را دشوار می نماید. 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 Environmental Health Engineering. 2025;13(3):251-67.

DOI:

مقدمه

در دهه های اخیر، رشد سریع شهرنشینی، صنعتی شدن 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 پیش بینی می شود 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 لندفیل های غیرمهندسی محدود می شود، که این امر چالش های زیست محیطی جدی ایجاد می کند. لندفیل ها، به ویژه آن هایی که فاقد سیستم های جمع آوری و تصفیه شیرابه هستند، منبع اصلی آلودگی خاک، آب های 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 می شوند. این فلزات، به دلیل پایداری بالا، عدم تجزیه پذیری و قابلیت تجمع زیستی، بیش از ۱۵۰ سال در محیط باقی می مانند و تهدیدی مداوم برای اکوسیستم ها ایجاد می کنند^{۲،۳}. آلودگی خاک اطراف لندفیل ها در ایران، به ویژه در مناطق شهری و جنگلی مانند شیراز، جنگل های هیرکانی، کازرون، گرگان، اردبیل و جویبار، به عنوان یک مسئله بحرانی برجسته است. مطالعات نشان می دهد که شیرابه لندفیل ها، حاصل از واکنش های بیوشیمیایی و نفوذ آب باران، حاوی غلظت های 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 می تواند منجر به آلودگی زنجیره غذایی از طریق جذب توسط گیاهان شود^۶. همچنین، در لندفیل های شهری گرگان غلظت های Cd و Pb فراتر از حد مجاز بوده و نقشه های توزیع

فضایی آلودگی نشان دهنده گسترش آلاینده ها به مناطق گردشگری و کشاورزی است^۷. اهمیت ارزیابی ریسک اکولوژیکی (Ecological Risk Assessment; ERA) خاک های آلوده به فلزات سنگین در اطراف لندفیل های ایران، چندجانبه است. نخست، این ارزیابی ها با استفاده از شاخص هایی مانند شاخص آلودگی (Pollution Index) شاخص غنی سازی (Enrichment Factor) شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index; PLI) و شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه (Ecological Risk Index; ERI)، امکان شناسایی سطوح آلودگی، منشأ آلاینده ها (طبیعی یا انسانی) و پتانسیل مهاجرت آن ها را فراهم می کنند^۸. دوم، در زمینه سلامت انسانی، فلزات سنگین از طریق جذب پوستی، استنشاق، مصرف آب و محصولات کشاورزی وارد بدن شده و بیماری هایی مانند سرطان ریه، اختلالات کلیوی، نوروپاتی و فشار خون بالا ایجاد می کنند^۹. سوم، از دیدگاه اکولوژیکی، این آلاینده ها بر تنوع زیستی، ساختار خاک و چرخه مواد مغذی تأثیر گذاشته و اکوسیستم های حساس مانند جنگل های هیرکانی (که اخیراً در فهرست میراث جهانی یونسکو قرار گرفته) را تهدید می کنند. در نهایت، ارزیابی ریسک اکولوژیکی ابزار کلیدی برای سیاست گذاری است؛ زیرا در ایران، به دلیل نرخ شهرنشینی سریع و تولید بالای پسماند، نیاز به استراتژی های پایدار مانند بازیافت، کاهش و نظارت مداوم بر لندفیل ها ضروری است^۸.

با وجود مطالعات پراکنده در ایران، مانند بررسی آلودگی در لندفیل های 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 خاک های اطراف محل های دفن پسماند پرداخته نشده است. این مطالعه مروری، با استفاده از اطلاعات منتشر شده از تحقیقات موجود، به بررسی غلظت

به مطالعات پرداختند و در مواردی که اختلاف نظر داشتند توسط نفر سوم مورد بررسی قرار می گرفت.

فلزات سنگین و ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک اطراف لندفیل های ایران می پردازد.

روش تحقیق

جستجوی مطالعات و معیارهای ورود

مطالعه مروری نظام مند حاضر به منظور پوشش جامع ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین در اطراف محل های دفن پسماند کشور ایران طراحی شده است. به منظور دستیابی به این هدف، از دستورالعمل های گزارش دهی توجیحی برای بررسی های سیستماتیک و متاآنالیز^۱ (PRISMA) جهت طراحی مطالعه، استراتژی جستجو و فرآیند انتخاب مطالعه استفاده گردید^{۱۲}. برای این منظور، پایگاه الکترونیکی برجسته جهانی (PubMed, Web of Science, Scopus) و ایران از جمله Magiran و SID بر اساس دستورالعمل های مشخص جستجو شدند. عملگرهای بولی "AND" و "OR" در رابطه با عبارت های 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

انتخاب مطالعه و فرآیند استخراج داده ها

در مرحله اول انتخاب مطالعات واجد شرایط برای تجزیه و تحلیل بیشتر و استخراج داده ها، 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 به دست آمده 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، شاخص های آلودگی اکولوژیک از جمله فاکتور آلودگی^۲ (CF)، درجه آلودگی^۳ (CD) و شاخص ریسک اکولوژیک^۴ (ERI) مورد بررسی قرار گرفت.

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

۱. فاکتور آلودگی

فلزات سنگین به ترتیب برای Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cr, Co, Cd و As برابر با ۱، ۵، ۵، ۱، ۲، ۲، ۳۰ و ۱۰ است. بر این اساس، مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی (ERI) به صورت زیر طبقه بندی می شود ERI: کمتر از ۴۰ نشان دهنده 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 فوق العاده شدید تلقی می شود^۶.

$$= - \times \quad (3)$$

$$= \sum_{i=1} \times \quad (4)$$

یافته ها

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 پایگاه های 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 می شدند (تعداد مطالعه باقی مانده: ۵۲). در این مرحله، نویسندگان با نگاهی دقیق تر 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، داده های اختصاصی با تمرکز بر ارزیابی ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین در اطراف محل های دفن پسماند کشور ایران استخراج گردید.

فاکتور آلودگی با مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف محل های 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:

$$= - (1)$$

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 < ۳ (آلودگی کم)، ۳ < CF < ۶ (آلودگی متوسط)، ۶ < CF < ۱۰ (آلودگی زیاد) و ۱۰ < CF < ۳۰ (آلودگی بسیار زیاد) می باشد^{۱۰}.

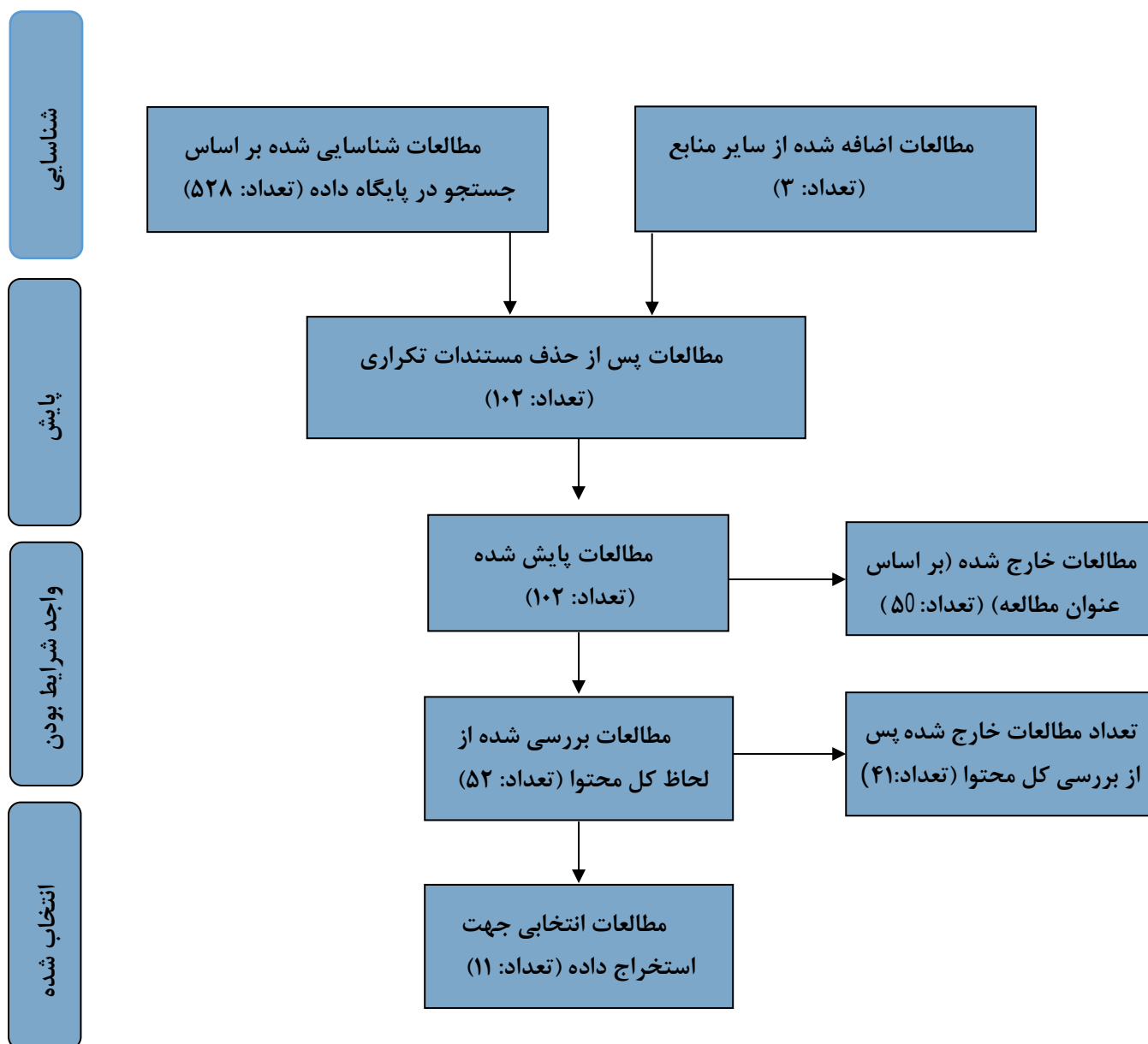
۲. درجه آلودگی

سطح آلودگی خاک از مجموع فاکتورهای آلودگی فلزات سنگین موجود در منطقه مورد مطالعه محاسبه می شود که به شاخص آلودگی هاگانسون نیز شهرت دارد و با استفاده از معادله شماره ۲ تعیین می گردد. بر اساس این شاخص، مقادیر آلودگی به صورت زیر دسته بندی می شوند: 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 می شود^{۱۳}.

$$= \sum_{i=1} \times \quad (2)$$

۳. ارزیابی ریسک اکولوژیکی

این شاخص برای اولین بار توسط هاگانسون معرفی شد و با استفاده از معادله شماره ۳ برای هر عنصر و از طریق معادله شماره ۴ برای مجموع عناصر محاسبه می گردد. بر اساس رویکرد هاگانسون، فاکتور پاسخ سمیت (Tri) برای

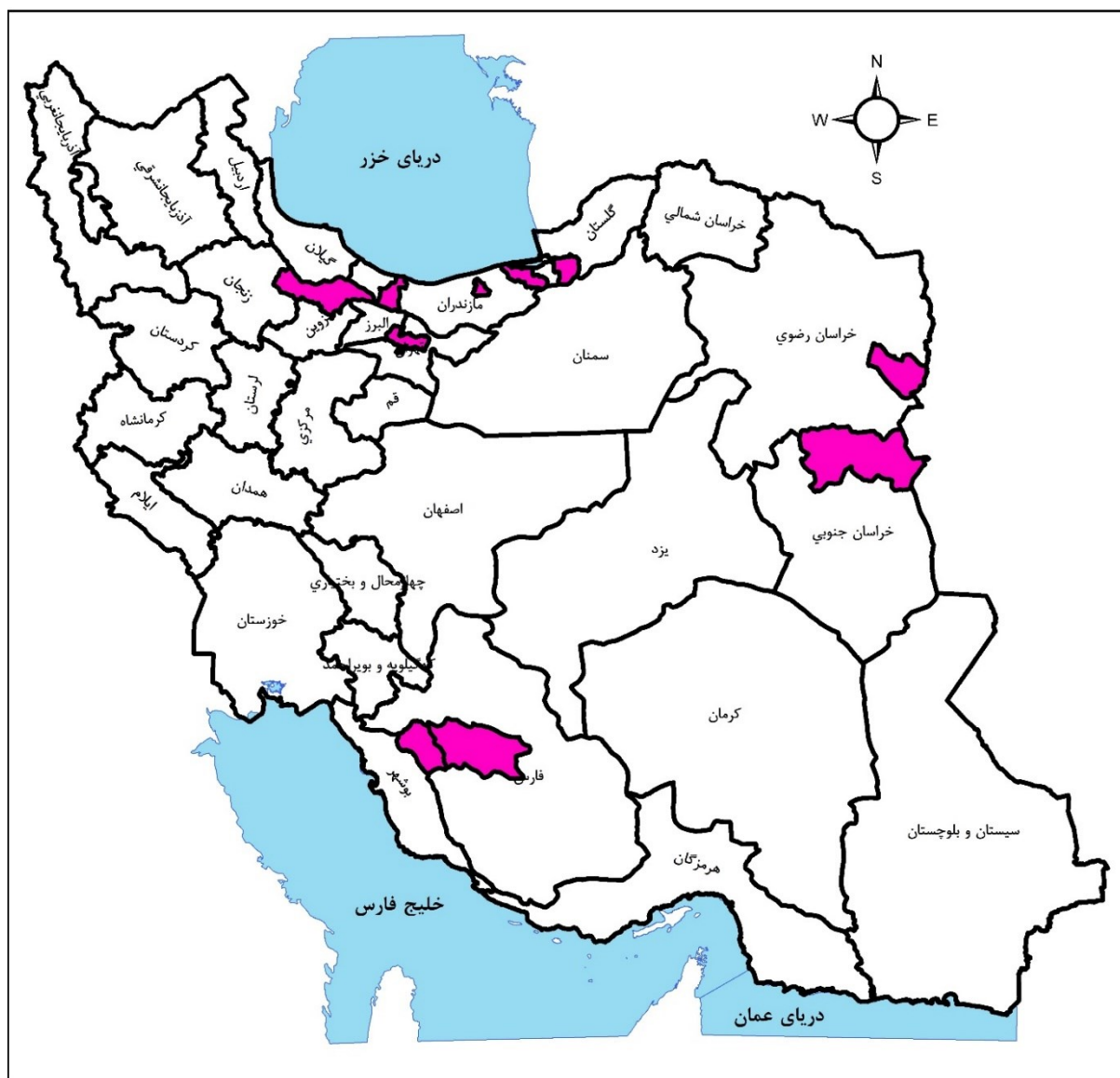


شکل ۱. نمودار گرافیکی انتخاب مطالعات بر اساس الگوی PRISMA

غلطت فلزات سنگین در مطالعات انجام شده بر روی خاک های اطراف محل های دفن پسماند در ایران

شکل ۲ موقعیت مکانی مطالعات انتخابی با تمرکز بر غلظت فلزات سنگین در خاک های اطراف محل های

دفن پسماند را در شهرهای مختلف ایران نشان می دهند. 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 محل های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران بر اساس مطالعات انتخابی

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 خاک‌های اطراف لندفیل‌های مورد مطالعه در کشور ایران

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

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

فاکتور آلودگی فلزات سنگین در مطالعات انجام شده بر روی خاک‌های اطراف محل‌های دفن پسماند در ایران

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

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

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

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

جدول ۳. درجہ آلودگی (CD) خاک‌های مجاور محل‌های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۳. درجہ آلودگی (CD) در خاک‌های آلودہ بہ فلزات سنگین در مجاورت محل‌های دفن پسماند

ردیف	منطقه	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	-	-	-	-	-	۴۶/۴۸	آلودگی بسیار شدید	۶
۲	چالوس	۲۰۲۳	-	-	-	۰/۵۳	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	۰/۶۳	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	بهبشهر	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	-	-	-	-	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	

جدول شماره ۴ شاخص ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند شهرهای مختلف کشور ایران را نشان می دهد.

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

بحث

غلظت فلزات سنگین در خاک های اطراف

محل های دفن پسماند مطالعات انتخابی

بر اساس داده های حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک های مجاور محل های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران، مقادیر متفاوتی از آلاینده ها گزارش شده است (جدول شماره ۱). بالاترین غلظت منگنز (Mn) با ۱۲۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم در تهران (۲۰۲۱) و کمترین آن با ۶۴۸/۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم در شیراز (۲۰۲۳) ^۶ مشاهده شد. برای روی (Zn)، حداکثر غلظت ۵۷۵/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم در شیراز و حداقل ۹۹ میلی گرم بر کیلوگرم در بهشهر (۲۰۱۹) ^{۱۶} ثبت گردید. کروم (Cr) با بیشترین مقدار ۳۰۱/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم در شیراز و کمترین مقدار ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم در بهشهر گزارش شد. سرب (Pb) با حداکثر ۱۹۲/۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم در شیراز و حداقل ۷ میلی گرم بر کیلوگرم در گرگان (۲۰۲۰) گزارش شده است. مس (Cu) با بیشترین مقدار ۲۵۶/۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم در شیراز و کمترین ۴۳ میلی گرم بر کیلوگرم در بهشهر، نیکل (Ni) با حداکثر ۷۴/۹ میلی گرم بر کیلوگرم در کازرون (۲۰۲۲) ^{۱۴} و حداقل ۹/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم در تهران، کبالت (Co) با بیشترین مقدار ۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم در تهران و کمترین ۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم در بهشهر و قزوین (۲۰۲۴) ^{۱۹}، آرسنیک (As) با حداکثر ۴۲/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم در کازرون و حداقل ۹/۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم در تهران، و کادمیوم (Cd) با بالاترین مقدار ۱۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم در چالوس (۲۰۲۳) ^{۱۱} و کمترین ۰/۰۶ میلی گرم بر کیلوگرم در قائمشهر (۲۰۱۶) ^{۱۳} گزارش شده است. این توزیع ناهمگن آلودگی، به ویژه در شهرهایی مانند شیراز و چالوس، احتمالاً به دلیل ورود حجم بالای پسماندهای صنعتی، کشاورزی یا شهری، همراه با مدیریت ناکافی نندفیل ها و نفوذپذیری بالای خاک، رخ داده است. در

مقابل، غلظت های پایین تر در شهرهایی نظیر گرگان و بهشهر ممکن است به دلیل ویژگی های ژئوشیمیایی خاک باشد. این یافته ها بر ضرورت پایش مستمر، ارزیابی ریسک اکولوژیکی و اجرای استراتژی های اصلاح خاک به منظور کاهش خطرات زیست محیطی و بهداشتی تأکید دارد.

فاکتور و درجه آلودگی فلزات سنگین در

مطالعات انجام شده بر روی خاک های

اطراف محل های دفن پسماند در ایران

جدول شماره ۲، فاکتور آلودگی مربوط به فلزات سنگین سنجش شده در خاک های اطراف محل های دفن پسماند شهر های مختلف کشور را نشان می دهد. بر اساس داده های جدول ارائه شده در خصوص غلظت فلزات سنگین در خاک های اطراف محل های دفن پسماند در ایران، فاکتور آلودگی (CF) به عنوان شاخصی برای ارزیابی شدت آلودگی خاک محاسبه شده است که از نسبت غلظت فلز سنگین (mg/kg) به غلظت زمینه ای آن به دست می آید. تحلیل داده ها نشان می دهد که بالاترین فاکتور آلودگی مربوط به فلز کادمیوم (Cd) در چالوس با مقدار قابل توجه ۷۸۲/۶۱ (غلظت ۱۸۰ mg/kg، غلظت زمینه mg/kg ۰/۲۳) که به عنوان آلودگی بسیار زیاد طبقه بندی می شود. این سطح شدید آلودگی احتمالاً ناشی از فعالیت های صنعتی، دفع غیراصولی پسماند یا ویژگی های ژئوشیمیایی خاک منطقه است که می تواند خطرات زیست محیطی و بهداشتی جدی به همراه داشته باشد. در مقابل، پایین ترین فاکتور آلودگی نیز برای کادمیوم (Cd) در قائمشهر با مقدار ۰/۲۶ گزارش شده است که نشان دهنده 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

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

جدول شماره ۴ شاخص ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین در مجاورت محل های دفن پسماند شهرهای مختلف کشور ایران را نشان می دهد. بر اساس داده های ارائه شده جدول شماره ۴، بالاترین مقدار ERI کلی با ۲۳۴۸۰/۸۹ در چالوس (سال ۲۰۲۳) ^{۱۱} ثبت شد که عمدتاً ناشی از غلظت بسیار بالای کادمیوم (Cd) با ERI برابر ۲۳۴۷۸/۲۶ می باشد که منجر به آلودگی فوق العاده شدید گردید. در مقابل، پایین ترین مقدار ERI با ۱۴/۰۶ در گرگان (سال ۲۰۲۰) ^۷ 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 نشان دهنده تنوع قابل توجه در سطح آلودگی خاک در مناطق مختلف ایران است که به عوامل متعددی از جمله نوع فعالیت های صنعتی، کشاورزی و مدیریت پسماند در این مناطق بستگی دارد. چالوس به دلیل نزدیکی به مناطق صنعتی و کشاورزی پیشرفته، به ویژه در زمینه استفاده از کودها و سموم شیمیایی حاوی کادمیوم، با ریسک اکولوژیکی فوق العاده بالایی مواجه است. غلظت بالای کادمیوم در این منطقه می تواند اثرات مخربی بر اکوسیستم خاک، زنجیره غذایی و سلامت انسان داشته باشد، زیرا این فلز سنگین به شدت سمی و تجمع پذیر در موجودات زنده است. در مقابل، گرگان در سال ۲۰۲۰ ^۷، 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 روش های دفع پسماند و کاهش انتشار فلزات سنگین هستند. به ویژه قاین با غلظت بالای کادمیوم، مشابه چالوس، در معرض خطر جدی قرار دارد. علاوه بر این، تفاوت های مشاهده شده در داده ها نشان دهنده نیاز به رویکردهای منطقه ای در مدیریت پسماند است. شهرهایی

فاکتورهای آلودگی بسیار زیاد نشان می دهند. 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 تفاوت های مشاهده شده را می توان به عواملی نظیر نوع پسماند، روش های دفع و ویژگی های ژئوشیمیایی خاک نسبت داد.

در جدول ۳، درجه آلودگی (CD) خاک های مجاور محل های دفن پسماند در شهرهای مختلف ایران بررسی شده است که نشان دهنده 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) می باشد. این شاخص، که بر اساس فاکتورهای آلودگی (CF) محاسبه می شود، کیفیت آلودگی را از سطح پایین تا بسیار شدید طبقه بندی می کند. بالاترین درجه آلودگی با مقدار ۷۸۳/۱۴ در چالوس (سال ۲۰۲۳) ^{۱۱} مشاهده شده که عمدتاً به دلیل سطوح بالای کادمیوم ($CF = 782/61$) است و نشان دهنده آلودگی بسیار شدید می باشد، در حالی که پایین ترین درجه آلودگی با مقدار ۰/۶۳ در گرگان (سال ۲۰۲۰) ^۷ ثبت شده که عمدتاً ناشی از سطوح پایین سرب و کادمیوم بوده و کیفیت آلودگی در سطح پایین ارزیابی می شود. تفسیر این داده ها حاکی از آن است که محل های دفن پسماند به عنوان منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین عمل می کنند و تفاوت های مشاهده شده ممکن است به عواملی مانند نوع پسماند، مدیریت محل دفن، شرایط آب و هوایی و فعالیت های صنعتی محلی وابسته باشد؛ برای مثال، سطوح بسیار بالای Cd در چالوس می تواند ناشی از نفوذ شیرابه های غنی از کادمیوم باشد که تهدیدی جدی برای اکوسیستم خاک و زنجیره غذایی ایجاد می کند.

مانند قائمشهر و بهشهر که آلودگی کمتری دارند، ممکن است از فعالیت های صنعتی کمتر یا سیستم های دفع پسماند بهتر بهره مند باشند. با این حال، حتی در این مناطق، وجود فلزاتی مانند روی (Zn) و نیکل (Ni) می تواند در طولانی مدت به دلیل تجمع تدریجی، ریسک اکولوژیکی را افزایش دهد. در نهایت، این داده ها ضرورت پایش مداوم خاک های اطراف محل های دفن پسماند را برجسته می کند. اجرای سیاست های زیست محیطی سخت گیرانه تر، بهبود فناوری های بازیافت و دفع پسماند، و آموزش عمومی در مورد خطرات فلزات سنگین می تواند به کاهش ریسک اکولوژیکی و حفاظت از اکوسیستم های محلی کمک کند. این امر به ویژه در مناطقی مانند چالوس و قاین که در معرض آلودگی فوق العاده شدید هستند، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

نتیجه گیری

رشد سریع شهرنشینی و تولید پسماندهای جامد شهری و ساختمانی در ایران، منجر به آلودگی خاک اطراف لندفیل های غیرمهندسی با فلزات سنگین مانند Pb، Cd و Zn شده که تهدیدی برای اکوسیستم ها و سلامت انسانی است. آگاهی از ریسک اکولوژیکی خاک های آلوده به فلزات سنگین می تواند به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای بررسی نقش صنایع و محل های دفن پسماند در آلودگی خاک های مجاور باشد. در این مطالعه مروری، بر پایه دستورالعمل PRISMA، جستجوی پایگاه های داده جهانی و ایرانی، ۱۱ مطالعه انتخاب و غلظت فلزات سنگین استخراج گردید. فاکتور آلودگی و ریسک اکولوژیکی بر اساس شاخص های CF، CD و ERI محاسبه و تفسیر گردید. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص های ریسک اکولوژیکی خاک های اطراف محل های دفن پسماند شهرهای مختلف کشور ایران در شرایط آلوده قرار دارند: بطوریکه بالاترین عدد (۲۳۴۸۰/۸۹) مربوط به شاخص های ریسک اکولوژیکی در شهر چالوس (رنگ قهوه ای) مشاهده گردید که از دلایل اصلی آن می توان به غلظت های

بالای کادمیوم در خاک این منطقه اشاره کرد. آلودگی خاک به کادمیوم به دنبال عمدتاً ناشی از شیرلبه لندفیل ها و فعالیت های صنعتی می باشد. پایین ترین عدد (۱۴/۰۶) مربوط به شاخص های ریسک اکولوژیکی در خاک های اطراف محل دفن پسماند گرگان (رنگ زرد) مشاهده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که داده های اندکی در زمینه آلودگی خاک های محل دفن پسماند در ایران وجود داشته و این داده ها نیز از عدم یکپارچگی در تعداد و نوع فلزات سنگین شاخص برخوردارند. به طور کلی، با توجه به این شرایط، نیاز به بازنگری در تعداد فلزات سنگین سنجش شده و دقت نمونه برداری در مطالعات آینده احساس می شود. علاوه بر این، یافته های حاصل از مطالعه حاضر نشان دهنده آلودگی ناهمگن خاک های اطراف محل های دفن پسماند به انواع مختلف فلزات سنگین می باشد که در بسیاری از موارد موارد منجر به ریسک بالای اکولوژیکی گردیده است. این امر می تواند بر آینده زنجیره غذایی و تنوع زیستی تاثیر منفی بگذارد. پیشنهاد می شود در محل های دفن پسماند پایش مداوم خاک، طراحی و بهبود سیستم های دفع پسماند با فناوری های بازیافت و سیاست گذاری های منطقه ای برای کاهش آلاینده ها اجرا شود تا به سمت مدیریت پایدار پسماند حرکت کنیم.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت های مادی و معنوی دانشگاه علوم پزشکی ایران برای انجام این طرح تحقیقاتی با کد ۲۱۴۴۶-۶۱-۲-۱۴۰۰ سپاسگزاری می کنند.

تعارض منافع

نویسندگان اذعان می دارند که در اجرای پژوهش و همچنین نگارش مقاله تضاد منافع نداشته اند.

حمایت مالی

در اجرای این پژوهش از حمایت های مالی دانشگاه علوم پزشکی ایران بهره مند شده است.

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 عبداللہی نژاد

-آماده سازی نسخه اولیه مقاله: بهناز عبداللہی

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

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, Hejman 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].