مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۶۰۱ تا ۶۱۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک مواجهه با فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل و سرب) در پسماندهای ویژه شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی

حمید کاریاب[۱]، محمد مهدی امام جمعه[۱]، شیدا ذکریایی[۲*]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قزوین، قزوین، ایران

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قزوین، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

واژگان کلیدی: لجن تصفیه‌خانه فاضلاب، پسماند، فلزات سنگین، کنوانسیون بازل، ارزیابی ریسک اکولوژیکی و سلامت

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
sheida.zakaria73@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: پسماند تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی به دلیل حضور فلزات سنگین در زمره پسماندهای ویژه طبقه‌بندی می‌گردد و مواجهه با آنها می‌تواند موجب اثرات سوء سلامتی و محیط زیستی شود. هدف مطالعه حاضر شناسایی پسماندهای ویژه و ارزیابی ریسک مرتبط با حضور فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی بود.

روش بررسی: شناسایی پسماندها با استفاده از چک‌لیست و طبقه‌بندی آنها مطابق رهنمود کنوانسیون بازل انجام شد. استخراج فلزات سنگین با اسیدشویی و آنالیز با دستگاه جذب اتمی صورت پذیرفت. ارزیابی ریسک اکولوژیکی با تعیین شاخص‌های زمین‌انباشتگی و پتانسیل ریسک محیطی انجام شد. ارزیابی ریسک سلامتی با برآورد نسبت مخاطره و خطر سرطان اضافی در کل عمر انجام پذیرفت.

یافته‌ها: بیشترین میزان تولید پسماند ویژه به لجن با مقدار ۳۹۰۰/۰ kg/month اختصاص داشت. کروم با غلظت ۹۵/۸۹±۵۲/۱۵ mg/kg در بالاترین غلظت شناسایی شد. سطح آلودگی کروم و نیکل در محدوده پایین و کادمیوم بسیار شدید ارزیابی شد. ریسک اکولوژیکی سرب در محدوده قابل توجه و ریسک خیلی زیاد برای کادمیوم برآورد شد. نسبت مخاطره منتسب به مواجهه با فلزات سنگین کمتر از ۱ و ریسک سرطانزایی مواجهه تنفسی و پوستی با فلزات سنگین، کمتر از حد خطر قابل پذیرش WHO برآورد شد.

نتیجه‌گیری: یافته مطالعه نشان داد بیشترین میزان پسماندهای ویژه در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی به لجن اختصاص دارد. اگرچه غلظت فلزات سنگین کمتر از حدود مجاز بود، لجن تولید شده در تصفیه‌خانه ریسک اکولوژیکی بالایی داشت. بنابراین انباشت و انتقال لجن باید با رعایت ملاحظات محیطی و منطبق با مفاد کنوانسیون بازل صورت پذیرد.

Please cite this article as: Kariab H, Emamjomeh MM, Zakariaie Sh. Risk assessment of exposure to heavy metals (Pb, Cd, Cr, and Ni) in the hazardous solid wastes identified in the wastewater treatment plant of industrial city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;15(4):601-16.

Copyright © 2023 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran 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/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

مقدمه

ایجاد شهرک‌های صنعتی از فعالیت‌های مهم در توسعه و پیشرفت صنعت به حساب می‌آید که می‌تواند با تهدیدهای جدی سلامتی و محیط زیست نیز بهمراه است. لذا این توسعه باید به گونه‌ای انجام پذیرد که کمترین آسیب را به محیط زیست و سلامت وارد سازد. ساخت تصفیه‌خانه فاضلاب به تنهایی چالش‌های سلامتی و محیط زیستی را برطرف نمی‌کند؛ بلکه برای رسیدن به شرایط مطلوب باید جنبه‌های مختلف پیرامون آن و از جمله تولید پسماند تحت ارزیابی قرار گیرد (۱). تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه با تولید مقادیر قابل توجهی پسماندها همراه است که بخشی از آنها می‌توانند در زمره پسماندهای ویژه و خطرناک قرار گیرند. اینگونه پسماندها از فعالیت‌های اداری، فرایندهای تصفیه و یا آزمایشگاهی نشات می‌گیرند. مروری بر پایگاه‌های اطلاعاتی نشان داد که تحقیقات اندکی در زمینه تولید پسماند ویژه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی به انجام رسیده است. ولی بررسی مطالعات پیشین نشان داد که در فعالیت تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی تولید لجن بعنوان محصول جانبی امری اجتناب ناپذیر است (۲). لجن تولید شده در تصفیه‌خانه بسته به نوع صنایع دارای ویژگی‌هایی نظیر سمیت و خورندگی بوده و لذا در زمره پسماند ویژه و خطرناک تلقی می‌شود (۳). تولید لجن به صورت نیمه‌جامد طی فرآیندهای گوناگون تصفیه‌خانه فاضلاب صنایع صورت می‌گیرد و به دلیل وجود آلاینده‌های متنوع از جمله هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و فلزات سنگین، منبع مهم آلودگی محیطی به شمار می‌رود (۴). در مطالعات مختلف غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین در فاضلاب و لجن صنایع گوناگون نظیر استخراج، متالورژی، الکترونیکی، آبکاری و برش فلزات گزارش شده است. Agoro و همکاران (۲۰۲۰) غلظت میزان کادمیوم و سرب را در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب استان Eastern Cape آفریقای جنوبی به ترتیب در محدوده غیرقابل شناسایی تا ۱/۱۷ و ۰/۰۹۹ mg/kg گزارش نمودند. در مطالعه دیگری Tytła (۲۰۱۹) میانگین غلظت چهار فلز سنگین کروم، نیکل، کادمیوم و سرب را در لجن تصفیه خانه فاضلاب در کشور لهستان به ترتیب در محدوده ۳۴/۹ تا ۶۳/۳، ۵۴/۲ تا ۹۸/۱، ۱/۸ تا ۴/۱ و ۹۷/۶ تا ۱۸۹/۲ mg/kg گزارش کردند (۵، ۶). فلزات سنگین بسیار سمی بوده و دارای نیمه عمر بیولوژیکی طولانی و پتانسیل تجمع‌پذیری هستند و از طرق مختلف تنفس، بلع و تماس پوستی می‌توانند اثرات مضری بر روی سلامت انسان داشته و منجر به بیماری‌های کلیوی، قلبی-عروقی، جهش‌زایی، سرطانزایی واختلالات عصبی گردند (۷). بنابراین وجود غلظت بالای فلزات سنگین در پسماندهای ویژه به شکل لجن موجب اثرات و صدمات بیولوژیکی و اکولوژیکی می‌شوند و بررسی و ارزیابی آنها به منظور حفظ سلامت و محیط زیست حائز اهمیت است (۸). ارزیابی ریسک، ابزاری برای سازماندهی و تدوین اطلاعات علمی است که به شناسایی موقعیت‌های خطرناک، پیش بینی مشکلات بالقوه و ایجاد اولویت‌ها برای کنترل و اقدامات اصلاحی می‌پردازد و می‌تواند در دو سطح اکولوژیکی و سلامتی گزارش شود (۹). ارزیابی ریسک اکولوژیکی به شناسایی ریسک‌ها و برآورد احتمالاتی اثرات ناشی از فعالیت انسانی یا طبیعی بر اکوسیستم و تنوع زیستی می‌پردازد. این اقدام به درک و پیش‌بینی ارتباط بین منابع تنش‌زا و اثرات اکولوژیک کمک کرده و برای تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی مفید است (۱۰). همچنین ارزیابی ریسک سلامتی به تعیین کمیت خطرات سرطانزایی و غیرسرطانزایی عناصر بالقوه خطرناک موثر بر سلامت انسان از سه طریق بلع، پوستی و استنشاق می‌پردازد و با استفاده از نتایج آن ارزیابی جامع میزان مواجهه افراد با عوامل مخاطره‌آمیز بهداشتی انجام می‌شود (۱۱). نتایج ارزیابی ریسک سلامتی به پیش‌بینی تمهیدات کنترلی، آموزش، پایش و مراقبت‌های بهداشتی و محیط زیستی در برابر آلاینده‌های خطرناک منجر شده و در زمره تحلیل‌هایی هستند که در مدیریت پسماندهای ویژه تاثیرگذار است (۱۲). در مطالعات متعددی از این رویکرد برای بیان آلایندگی حضور فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استفاده شده است. Agoro و همکاران (۲۰۲۰) نسبت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

مخاطره ((Hazard Quotient (HQ)) مواجهه با فلزات سنگین شامل کادمیوم، سرب و مس در لجن فاضلاب را برای مواجهه بالغین از طریق بلع مستقیم در محدوده $1/49\times10^{-5}$ و $1/85\times10^{-4}$ برآورد نمودند که بیانگر فقدان اثرات سوء سلامتی در مواجهه با عناصر فوق در لجن تصفیه خانه است. ریسک سرطان اضافی در کل عمر (Excess lifetime cancer risk) ناشی از مواجهه با فلزات سنگین مورد نظر در مطالعه حداکثر $5/36\times10^{-8}$ برآورد شد (۵).

یکی از الزامات کنترل و کاهش اثرات سلامتی و محیط زیستی حضور فلزات سنگین سمی در پسماندها، توجه به اسناد و مقررات ملی و بین‌المللی است. کنوانسیون بازل دقیق‌ترین معیارها را برای شناسایی و طبقه‌بندی پسماندهای ویژه ارائه نموده است (۱۳) که در این مطالعه جهت شناسایی پسماندهای ویژه در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعات پیشین خصوصیات لجن تولید شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری از نظر آلایندگی به فلزات سنگین بررسی شده است؛ با این حال بررسی پایگاه‌های اطلاعاتی نشان داد که ریسک اکولوژیکی و سلامتی مواجهه با فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی تاکنون صورت نگرفته است؛ ضمن آنکه از نقطه نظر پسماند ویژه نیز موضوع مطالعه نشده بود. با توجه به مطالب فوق، هدف از مطالعه حاضر الف) شناسایی پسماندهای ویژه حاوی فلزات سنگین سمی (کروم، نیکل، سرب و کادمیوم) در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی براساس دستوالعمل کنوانسیون بازل؛ و ب) ارزیابی ریسک اکولوژیکی و سلامتی مواجهه با فلزات سنگین شناسایی شده بود.

مواد و روش‌ها

_ معرفی شهر صنعتی

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و مقطعی بود. جامعه مورد پژوهش تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی در استان قزوین بود. شهر صنعتی مورد نظر با مساحت ha ۲۶۷ و در چندین فاز متفاوت با سه نوع واحد صنعتی، کارگاهی و خدماتی فعالیت دارد. در این شهر صنعتی تعداد ۱۴۷ واحد فلزی، شیمیایی، کانی غیرفلزی، سلولزی، نساجی، غذایی، بهداشتی دارویی، الکترونیک فعالیت دارند. فاضلاب صنایع فوق به صورت متمرکز به تصفیه‌خانه شهرک منتقل می‌شود. محل تصفیه‌خانه فاضلاب در زمینی به مساحت ha ۱ قرار دارد و دبی ورودی به آن m^3/day ۱۸۰۰ است. تصفیه‌خانه متشکل از واحدهای ایستگاه پمپاژ، آشغالگیر، تصفیه زیستی بی‌هوازی، سیستم تصفیه زیستی هوازی (رشد معلق و چسبیده)، حوض ته‌نشینی ثانویه و واحد کلرزنی به صورت سری است (۱۴).

_ شناسایی کمی و کیفی پسماند در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی

بررسی کمیت و کیفیت تولید پسماند در تصفیه‌خانه فاضلاب با بازدید میدانی، مصاحبه و مشاهده انجام شد (۱۵). همچنین از پرسشنامه سازمان حفاظت محیط زیست ایران به عنوان ابزار گردآوری اطلاعات بهره گرفته شد. این پرسشنامه دارای ۴۵ سوال در قالب ۴ بخش اطلاعات زمینه‌ای، کمیت، کیفیت و مدیریت پسماندهای صنعتی بود (۱۶). تشخیص ویژه بودن پسماندهای تولیدی تصفیه‌خانه با استفاده از معیار کنوانسیون بازل انجام پذیرفت. براساس الحاقیه شماره یک کنوانسیون پسماندهایی که باید تحت نظارت و کنترل قرار گیرند در ۴۵ گروه مختلف با علامت اختصاری Y (Y_1-Y_{45}) قرار گرفته است. هر Y بیانگر پسماندی با خصوصیات ویژه است. بطور مثال Y18 به بقایای حاصل از عملیات دفع مواد زائد صنعتی اختصاص دارد. همچنین پسماندهای مخلوط و امولوسیون‌های روغن و آب، هیدروکربن‌ها و آب در کد Y9 بررسی می‌شوند (۱۷).

_ نمونه‌برداری و آنالیز فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه

با توجه به آنکه بیش از ۷۵ درصد پسماندهای ویژه را لجن تشکیل می‌داد، آنالیز فلزات سنگین فقط برای لجن تصفیه‌خانه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

انجام شد. برای این منظور، تعداد ۶ نمونه لجن در دو فصل خشک و تر به صورت تصادفی برداشت شد. نمونه‌برداری بصورت مرکب و با استفاده از بیلچه از اعماق مختلف بستر لجن خشک‌کن برداشت و در ظروف مخصوص نمونه‌گیری سربسته ریخته شد. در هر مرتبه نمونه‌برداری میزان ۱۰۰۰ g نمونه از ۴ ایستگاه (به میزان ۲۵۰ g از هر ایستگاه) برداشت شد. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت به جعبه سرد منتقل و برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به آزمایشگاه آنالیز دستگاهی دانشکده بهداشت منتقل گردید (۷). برای انجام آزمایش، پس از اختلاط کامل، مقدار ۱۰۰ g از نمونه لجن مخلوط به مدت ۲ h در دمای ۱۷۰ °C آون قرار گرفت. پس از آسیاب، از روش هضم اسیدی برای استخراج فلزات سنگین استفاده گردید. مقدار ۱ g از لجن پودر شده را به بشر انتقال داده و به اندازه ۵ mg اسیدنیتریک ۱۰ درصد به آن اضافه شد و به مدت ۵ min در دمای ۱۵۰ °C هضم اسیدی انجام پذیرفت. با تکرار این فرآیند مایع غلیظی حاصل شد که با افزودن ۵ mg اسیدنیتریک رقیق و آب مقطر به حجم ۲۵ mL رسانده شد و پس از خنک شدن به مدت ۱۵ min در دستگاه سانتریفیوژ با ۲۵۰۰۰ rpm قرار گرفت. آنالیز فلزات سنگین شامل کروم، نیکل، سرب و کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام پذیرفت و غلظت فلزات بر حسب mg/L قرائت شد. سپس با توجه به جرم و حجم نمونه اولیه، غلظت نهایی فلزات سنگین بر حسب mg/kg از جرم لجن محاسبه و گزارش گردید (۱۸). برای کنترل کیفیت در آنالیز از نمونه‌های اسپایک با غلظت‌های مختلف استفاده شد. همچنین به همراه ۱۰ درصد از نمونه‌های واقعی، نمونه blank به دستگاه تزریق شد. ضمن اینکه برای هر نمونه تهیه شده، عملیات استخراج و آنالیز دستگاهی ۳ مرتبه تکرار و میانگین و انحراف معیار نتایج گزارش شد. میزان LOD فلزات سنگین شناسایی شده در این مطالعه در محدوده ۰/۳ تا ۰/۵ mg/L و میزان ریکاوری در محدوده ۹۵/۵-۹۲ درصد بود (۱۹).

ـ برآورد شاخص آلودگی و ریسک اکولوژیکی

شاخص زمین‌انباشتگی، شاخص آلودگی و ریسک اکولوژیکی برای شناسایی خطرات محیط زیستی ناشی از فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب استفاده شد (۲۰). شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) معیاری برای برآورد غنی‌شدگی غلظت‌های فلز بالاتر از غلظت زمینه است. این روش، مطابق معادله ۱، درجه آلودگی فلزات سنگین را در ۷ رده غنی‌شدگی گزارش می‌کند. در این معادله C_n غلظت فلز سنگین در لجن و B_n غلظت زمینه است. فاکتور ۱/۵ برای کاهش اثر تغییرات احتمالی در غلظت زمینه است. تعیین شاخص آلودگی و ریسک اکولوژیکی (RI) براساس مستندات ارائه شده در جدول ۱ انجام پذیرفت (۲۱).

$$I_{geo}=Log_2\left[\frac{Cn}{1.5\,Bn}\right] \quad (۱)$$

برآورد شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه براساس روش Hakanson و با استفاده از معادلات ۲، ۳ و ۴ انجام پذیرفت. در این معادله C_f^i سطح آلودگی فلز سنگین، C_i غلظت فلز در نمونه، C_n غلظت رفرنس فلز در منطقه مورد مطالعه، E_r^i پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلز سنگین است. همچنین T_r^i فاکتور پاسخ سمیت فلز سنگین است که به ترتیب برای فلزات سنگین Cd، Cr، Ni و Pb برابر با ۳۰، ۲، ۵ و ۵ استفاده شد (۲۱، ۲۲).

$$C_{f=}\frac{Ci}{Cn} \quad (۲)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (۳)$$

$$RI = \sum_{i=1}^{5} \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (۴)$$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

جدول ۱- راهنمای تعیین شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) و میزان ریسک اکولوژیکی بالقوه برای فلزات و محیط

شاخص زمین‌انباشتگی		پتانسیل ریسک فلزات سنگین		ریسک اکولوژیکی محیطی
$I_{geo} \leq ۰$	بدون آلودگی	$E_r^i <$ ۴۰	ریسک پایین	RI < ۹۵	ریسک پایین
۰ < $I_{geo} \leq ۱$	کمی آلوده	۴۰ ≤ $E_r^i <$ ۸۰	ریسک متوسط	۹۵ ≤ RI < ۱۹۰	ریسک متوسط
۱ < $I_{geo} \leq ۲$	نسبتا آلوده	۸۰ ≤ $E_r^i <$ ۱۶۰	ریسک قابل توجه	۱۹۰ ≤ RI < ۳۸۰	ریسک قابل توجه
۲ < $I_{geo} \leq ۳$	آلودگی متوسط	۱۶۰ ≤ $E_r^i <$ ۳۲۰	ریسک زیاد	RI ≥ ۳۸۰	ریسک خیلی زیاد
۳ < $I_{geo} \leq ٤$	آلوده	$E_r^i \geq$ ۳۲۰	ریسک خیلی زیاد	-	-
٤ < $I_{geo} \leq ۵$	بسیار آلوده	-	-	-	-
$I_{geo} >$ ۵	بشدت آلوده	-	-	-	-

ـ برآورد ریسک سلامتی

برای برآورد خطرات سلامتی مواجهه با فلزات سنگین، به ترتیب نسبت مخاطره (HQ) و خطر سرطان اضافی در کل عمر (ELCR) برای اثرات غیرسرطانزایی و سرطانزایی مورد استفاده قرار گرفت (۲۳). فاکتور HQ از تقسیم میانگین دوز مصرف روزانه (ADD) بر دوز مرجع (RFD) و با استفاده از معادله ۵ برآورد شد. اگر HQ>۱ باشد، اثرات نامطلوبی در سلامتی وجود خواهد داشت و در مقادیر HQ<۱ عوارض جانبی بر سلامتی متصور نیست (۲۳، ۲۴).

$$HQ = \frac{ADD}{RFD} \quad (۵)$$

میانگین دوز روزانه مواجهه با فلزات سنگین از طریق تنفس و تماس پوستی (mg/kg/day) به ترتیب از معادلات ۶ و ۷ و برآورد خطر سرطان اضافی در کل عمر با استفاده از معادله ۸ برآورد شد (۲۵). همچنین در جدول ۲ مقادیر عددی و توضیحات پارامترهای مورد استفاده در برآورد HQ و ELCR ارائه شده است (۲۵).

$$\mathrm{ADD_{dermal}} = \mathrm{C} \times \frac{\mathrm{SA} \times \mathrm{AF} \times \mathrm{ABS} \times \mathrm{EF} \times \mathrm{ED}}{\mathrm{BW} \times \mathrm{AT}} \times 10^{-6} \quad (۶)$$

$$\mathrm{ADD_{inh}} = \mathrm{C} \times \frac{\mathrm{IR} \times \mathrm{EF} \times \mathrm{ED}}{\mathrm{BW} \times \mathrm{AT} \times \mathrm{PEF}} \quad (۷)$$

$$\mathrm{ELCR} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{ADD} \times \mathrm{CSF} \quad (۸)$$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

جدول ۲- توصیف و مقادیر عددی پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی ریسک سلامتی مواجهه با فلزات سنگین (۲۵)

فاکتور	تعریف	واحد	مقدار فاکتور
C	غلظت فلز	mg/kg	برگرفته از جدول ۵
EF	فراوانی مواجهه	day/year	۳۵۰
ED	مدت زمان مواجهه	years	۳۰
BW	وزن بدن	kg	۷۰
AT	زمان متوسط	day	۳۶۵ × ۷۰
Inh_R	میزان استنشاق	m^3/day	۱۲/۸
PEF	ضریب انتشار ذرات	m^3/kg	۱/۳۶ ×۱۰^{۹}
SA	سطح پوست	cm^2	۵۸۰۰
AF	ضریب چسبندگی	mg/cm.day	۰/۰۷
ABS	ضریب جذب پوستی	Unit less	۰/۰۰۱

در جدول ۳ فاکتور شیب سرطان (Cancer sloop factor) جهت برآورد نقطه‌ای سرطان اضافی در کل عمر منتسب به مواجهه با فلزات سنگین ارائه شده است. شیب سرطانزایی احتمال پیشرفت سرطان در هر سطح مواجهه با آلاینده است و با واحد معکوس mg/kg/day بیان می‌شود. خطر سرطانزایی به عنوان احتمال ابتلای یک فرد به سرطان در طول زندگی به دلیل مواجهه با عوامل سرطانزا در نظر گرفته می‌شود. محدوده خطر قابل قبول برای موارد سرطانزا توسط USEPA در محدوده ۱×۱۰^{-۴} > ELCR > ۱×۱۰^{-۶} ارائه شده است. به طوری‌که مقادیر ELCR<$۱۰^{-۶}$ نیازی به اقدامات بیشتر ندارند؛ در حالی‌که RI>$۱۰^{-۴}$ نگران کننده تلقی شده و نیاز به اقدامات اضافی دارند (۲۴-۲۶).

جدول ۳- فاکتور شیب سرطان جهت برآورد نقطه‌ای خطر سرطان اضافی در کل عمر

مسیر مواجهه	فلز سنگین (mg/kg/day)			
	Pb	Cd	Cr	Ni
پوستی	۵/۲۵E-۴	۱/۰۰E-۳	۶/۰۰E-۴	۵/۴۰E-۲
استنشاق	۳/۵۰E-۳	۱/۰۰E-۳	۱/۰۰E-۴	۵/۰۰E-۵

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

یافته‌ها

در جدول ۴ کمیت پسماندهای عادی و ویژه شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی ارائه شده است. پسماندهای عادی شناسایی شده شامل کاغذ، مقوا، شیشه، پلاستیک و زائدات باغی بود. پسماندهای ویژه نیز شامل لجن، روغن و چربی و لامپ مستعمل بود. میزان تولید پسماند در تصفیه‌خانه فاضلاب ۵۱۷۷ kg/month بود که سهم پسماندهای عادی و ویژه به ترتیب ۷۵ درصد و ۲۵ درصد است. در جدول ۵ نتایج آنالیز فلزات سنگین در نمونه لجن ارائه شده است. هر چهار فلز سنگین سرب، کروم، کادمیوم و نیکل در کلیه نمونه‌ها شناسایی شدند. میانگین کلیه فلزات در محدوده ۲۰/۱۹ تا ۹۵/۸۹ mg/kg شناسایی شد.

جدول ۴- نوع و مقدار پسماندهای عادی و ویژه شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی

نوع پسماند	محل تولید	مقدار (kg/month)	کد بازل	ویژگی و فرایند تولید
لجن	بستر لجن خشک	۳۱۵۰	Y_{18}, Y_9, Y_{12}	لجن تصفیه‌خانه فاضلاب حاوی فلزات سنگین سمی
لجن	چربی‌گیری	۷۵۰	Y_8	پسماندهای روغن‌های معدنی و آلی
جامدات	آشغالگیری	۱۲۰۰	–	اجزای بزرگ و شناور مثل برگ و پلاستیک
مایعات	آزمایشگاه	٤	–	زائدات ناشی از انجام آزمایشات
کاغذ و مقوا	اداری	۱۰	–	پسماند پرینتر و بسته محصولات
پلاستیک	واحد اداری/آزمایشگاه	۱۰	–	ظروف مستعمل مواد، پسماند مواد غذایی
لامپ سوخته	واحد اداری	۳	Y_{29}	زائدات دارای جیوه و کادمیوم
زائدات باغی	محوطه تصفیه‌خانه	۵۰	–	عملیات هرس درختان و پاکسازی فضای سبز

جدول ۵- غلظت زمینه و میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهرک صنعتی

پارامتر	فلزات سنگین (mg/kg)			
	Pb	Cr	Cd	Ni
لجن تصفیه‌خانه	٦٥/٣٢±٨٠/١١	٩٥/٨٩±٥٢/١٥	٣٥/٦±١٢/١	٢٠/١٩±٢٠/٧
غلظت زمینه فلز	٢٠	٩٠	٠/٣٨	٦٨

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

در جدول ۶ مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی و پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین ارائه شده است. پتانسیل آلودگی فلزات سنگین در مطالعه حاضر براساس شیل در محدوده ۱/۴۸ تا ۲۸۱۰/۵۲ برآورد شد. این معیار براساس شاخص EPA در محدوده ۰/۱۵ تا ۱/۴۸ حاصل شد. همچنین شاخص زمین‌انباشتگی براساس دو مقیاس شیل و EPA به ترتیب در محدوده ۲/۳۹- تا ۵/۹۶ و ۵/۰۵- تا ۰/۷۳- حاصل گردید. ضمنا مجموع ریسک اکولوژیکی (RI) منتسب به حضور فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه به میزان ۳۲۸۵ برآورد شد.

جدول ۶- شاخص زمین انباشتگی و پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب بر مبنای میانگین شیل (Ref) و حداکثر مجاز ارائه شده توسط EPA

فلزات سنگین	مبنا	شاخص‌های آلودگی	
		E_r^i	I_{geo}
Pb	Ref	۱۶/۳۳	۱/۱۱
	EPA	۱/۰۸	-۲/۸۳
Cr	Ref	۲/۱۳	-۰/۴۹
	EPA	۰/۱۵	-۴/۳۲
Cd	Ref	۲۸۱۰/۵۲	۵/۹۶
	EPA	۲۷/۳۸	-۰/۷۳
Ni	Ref	۱/۴۸	-۲/۳۹
	EPA	۰/۲۴	-۵/۰۵

در جدول ۷ برآورد ریسک غیرسرطانی و خطر سرطان اضافی مواجهه با فلزات سنگین از طریق تنفس و تماس پوستی ارائه شده است. مجموع مقادیر نسبت مخاطره (HQ) برای مواجهه با فلزات سنگین از مسیرهای مواجهه تنفسی و تماس پوستی کمتر از ۱ برآورد شد. همچنین مقدار این شاخص برای دو مسیر مواجهه پوستی و تنفسی به ترتیب $۷۴/۱۲\times۱۰^{-۵}$ و $۷/۸۳\times۱۰^{-۵}$ بود. ریسک سرطان اضافی در کل عمر ناشی از مواجهه با فلزات سنگین از مسیر تنفسی و تماس پوستی نیز به ترتیب ۰/۲۳۹ و ۰/۰۱۴ در میلیون برآورد شد.

جدول ۷- ارزیابی ریسک غیرسرطانی و سرطانی مواجهه با فلزات سنگین از طریق جذب پوستی و تنفسی با لجن تصفیه‌خانه

فلز سنگین	ارزیابی ریسک غیرسرطانی		ارزیابی ریسک سرطانی	
	HQ_{derm}	HQ_{inh}	$ELCR_{derm}$	$ElCR_{inh}$
سرب	$۲۹/۶۶\times۱۰^{-۵}$	$۰/۱۰\times۱۰^{-۵}$	$۰/۰۸\times۱۰^{-۱۰}$	$۱/۵۲\times۱۰^{-۱۰}$
کروم	$۳۸/۰۹\times۱۰^{-۵}$	$۵/۲۹\times۱۰^{-۵}$	$۱/۳۸\times۱۰^{-۱۰}$	$۲۱۷۲/۳۴\times۱۰^{-۱۰}$
کادمیوم	$۸/۴۹\times۱۰^{-۵}$	$۰/۱۹\times۱۰^{-۵}$	$۲۵۴/۵۶\times۱۰^{-۱۰}$	$۱۱۸/۰۲\times۱۰^{-۱۰}$
نیکل	$۰/۸۹\times۱۰^{-۵}$	$۲/۲۴۷\times۱۰^{-۵}$	$۲/۵۶\times۱۰^{-۱۰}$	$۱۰۹/۳۳\times۱۰^{-۱۰}$
مجموع	$۷۴/۱۲\times۱۰^{-۵}$	$۷/۸۳\times۱۰^{-۵}$	$۱۴۶/۳۸\times۱۰^{-۱۰}$	$۲۳۹۸/۵۹\times۱۰^{-۱۰}$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

بحث

میزان تولید پسماند در تصفیه‌خانه فاضلاب ۵۱۷۷ kg/month تعیین شد که به انواع مختلفی از پسماند از قبیل روغن، لجن، مقوا، باتری مستعمل، پلاستیک و زائدات باغی اختصاص داشت. سهم لجن تولید شده در تصفیه‌خانه بیش از ۷۵ درصد کل پسماندها (۳۹۰۰ kg/month) بود. ضمن آنکه کلیه نمونه‌های لجن حاوی فلزات سنگین مشتمل بر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم بود و مطابق مفاد کنوانسیون بازل در زمره پسماندهای ویژه طبقه‌بندی شد (۱۷). Karyab و همکاران در بررسی پسماندهای صنایع مختلف و تصفیه‌خانه‌های صنعتی نشان دادند ماهیانه ۲۷۶ ton پسماند در تصفیه‌خانه‌های صنعتی در استان قزوین تولید می‌شود که ۲۷۳ ton از آن به لجن تصفیه‌خانه اختصاص داشت و مطابق الگوی ارائه شده در کنوانسیون بازل در طبقه پسماند ویژه Y18 قرار داشت (۲۷).

خصوصیات لجن تولید شده در تصفیه‌خانه فاضلاب در مطالعات پیشین از نظر آلایندگی به فلزات سنگین مورد توجه و بررسی قرار گرفته‌اند؛ با این حال ریسک اکولوژیکی و سلامتی مواجهه با فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی تاکنون صورت نگرفته و تحقیقات پیشین ریسک مربوط به رسوبات سطحی، خاک اطراف شهرک‌های صنعتی و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری را ارزیابی نموده‌اند. در مطالعه حاضر غلظت فلزات سنگین در لجن به صورت Cr> Pb> Cd > Ni تعیین شد. بالاترین غلظت مربوط به فلز کروم با میزان ۹۵/۸۹±۵۲/۱۵ mg/kg حاصل شد. این نتایج تقریبا مشابه با مطالعه انجام شده توسط Dadban و همکاران بود. ایشان غلظت فلزات سنگین در لجن خشک تصفیه‌خانه فاضلاب گرگان را به ترتیب Cr> Pb > Ni> Cd گزارش نمودند (۲۸). در مطالعه Islam و همکاران بیشترین غلظت فلز سنگین شناسایی شده در لجن صنعتی در کشورهای در حال توسعه فلز کروم گزارش شد (۲۹). همچنین Rahmani و همکاران غلظت سرب، کادمیوم، نیکل و کروم لجن خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر اصفهان را به ترتیب ۷/۵۷، ۰/۵۵، ۶/۶۹، ۰/۴۸ mg/kg وزن خشک گزارش نمودند که کمتر از مطالعه حاضر بود (۳۰). درحالی‌که Bina و همکاران غلظت فلزات سنگین در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب اصفهان را بیشتر از مقادیر شناسایی شده در تصفیه‌خانه مطالعه شده گزارش نمودند (۳۱). مقایسه غلظت فلزات سنگین در مطالعه حاضر با حدود مجاز (جدول ۸) نشان داد که کلیه فلزات شناسایی شده در لجن تصفیه‌خانه مطالعه شده، به استثنای کادمیوم، کمتر از حدمجاز استانداردهای مذکور هستند. این یافته هم راستا با یافته‌های مطالعه Rahmani و همکاران است که غلظت کلیه فلزات سنگین مورد بررسی در لجن را کمتر از حد مجاز گزارش نموده بودند (۳۰).

جدول ۸- مقایسه غلظت فلزات سنگین لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یک شهر صنعتی با مقادیر استاندارد سایر کشورها (mg/kg وزن خشک) (۲۸)

فلزات سنگین	غلظت در مطالعه حاضر	مقادیر استاندارد			
		EPA	DWAF	American	Canada
Cr	۹۵/۸۹	۱۲۰۰	٤٥٠	۱۲۰۰	۱۰۰۰
Pb	٦٥/۳۲	۳۰۰	۱٥۰	۳۰۰	۲۰۰
Cd	۳٥/٦	۳۹	٥	۱۰	۱۰
Ni	۲۰/۱۹	٤۲۰	۲۰۰	٤۲۰	۱۰۰

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

مطابق جدول ۶، ترتیب غنی‌شدگی و مقادیر I_{geo} بر مبنای رهنمود EPA برای تمام عناصر کمتر از صفر و منفی بود که نشان‌دهنده شرایط غیرآلایندگی آنها است. با این حال براساس شیل وضعیت کاملا متفاوت بود. به طوری‌که مقادیر I_{geo} به استثنای کروم و نیکل اعدادی مثبت حاصل گردید. بر این اساس مقادیر I_{geo} برای Cd و Pb به ترتیب ۴/۷۱ و ۱/۱۱ حاصل شد که بیانگر سطح بشدت آلوده برای کادمیوم و آلودگی نسبی سرب است (۲۱). در مطالعه Ghoreidhi و همکاران مقادیر I_{geo} در لجن تصفیه خانه شهری به ترتیب As>Zn>Hg>Pb>Cu>Ni>Cr>Cd گزارش گردید (۲۱). همچنین جدول ۶ پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین متنسب به لجن (E_r^i) براساس شیل و EPA ارائه شد. چنانچه مقادیر E_r^i کمتر از ۴۰ باشد، ریسک اکولوژیکی فلز سنگین پایین درنظر گرفته می‌شود. بر این اساس بر مبنای شاخص EPA مشاهده می‌شود کلیه فلزات سنگین دارای ریسک اکولوژیکی پایین هستند. در صورتی که بر مبنای Ref نتایج متفاوتی برای کادمیوم حاصل شد. مقدار E_r^i برای فلز فوق ۲۸۱۰ بدست آمد که نشان‌دهنده ریسک بسیار زیاد اکولوژیکی است (۲۱). لذا ضرورت دارد درخصوص منابع تخلیه کادمیوم به تصفیه‌خانه فاضلاب توجه کافی صورت گرفته و منابع ورودی این فلزات سنگین شناسایی و کنترل گردد. در مورد شاخص RI، با در نظر گرفتن میانگین شیل، مقدار عددی ۳۲۸۵ حاصل شد که بیانگر ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد لجن در محیط زیست است و نشان می‌دهد انباشت و نگهداری لجن تصفیه‌خانه پتانسیل بسیار بالایی در آلودگی محیط‌زیست دارد (۲۱، ۲۲).

با توجه به ارزیابی ریسک غیرسرطانی، برآورد نسبت مخاطره (HQ) منتسب به مواجهه با فلزات سنگین از مسیرهای مواجهه تنفسی و تماس پوستی کمتر از ۱ حاصل شد؛ لذا می‌توان استنتاج کرد که مواجهه با فلزات سنگین در میزان شناسایی شده از طریق تنفس و پوست باعث ایجاد اثرات سوء سلامتی نمی‌گردد. در رهنمودهای معتبر علمی نشان داده شده است که در مقادیر HQ>۱ اثرات نامطلوبی در سلامتی وجود خواهد داشت و در مقادیر HQ<۱ عوارض جانبی بر سلامتی متصور نیست (۲۳، ۲۴). همچنین یافته حاضر نشان داد که مجموع HQ جذب پوستی ($۷۴/۱۲\times۱۰^{-۵}$) بسیار بیشتر از مجموع تنفسی ($۷/۸۳\times۱۰^{-۵}$) است. بزرگ‌تر بودن مجموع HQ_{derm} از مجموع HQ_{inh} نشان می‌دهد که مواجهه پوستی با فلزات سنگین می‌تواند ریسک سلامتی بالاتری را برای افراد شاغل در تصفیه‌خانه و همچنین ساکنین پیرامون تصفیه‌خانه ایجاد نماید. در مطالعه Duan و همکاران (۲۰۱۷) در کشور چین، مقدار HQ منتسب به مواجهه با سرب، جیوه، کروم، روی و مس موجود در لجن تصفیه‌خانه برای افراد بالغ از مسیرهای مواجهه بلع و تنفسی کمتر از ۱ برآورد شد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. البته در مطالعه مذکور HQ منتسب به مواجهه با فلزات سنگین در افراد خردسال بالاتر از ۱ گزارش شد (۳۲). با توجه به یافته مطالعه حاضر (جدول ۷) و برخلاف نسبت مخاطره، برآورد ELCR نشان داد که مجموع $ElCR_{inh}$ ($۰/۲۳۹۸\times۱۰^{-۶}$) منتسب به مواجهه با فلزات سنگین در لجن بیشتر از مجموع $ELCR_{derm}$ ($۰/۰۱۴۶۳\times۱۰^{-۶}$) است که این اختلاف منتسب به تفاوت در معیارهای برآورد دو متغیر HQ و ELCR و همچنین سمیت بیشتر مواجهه با عناصر سمی از طریق تنفس است. در مجموع یافته مطالعه نشان داد که خطر سرطان اضافی منتسب به مواجهه پوستی و تنفسی با فلزات سنگین در لجن از حد قابل پذیرش ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۱×۱۰^{-۵}) کمتر است. همچنین ریسک سرطان اضافی در کل عمر ناشی از مواجهه با فلزات سنگین در هر دو مسیر تماس پوستی و مواجهه تنفسی در محدوده ELCR کمتر از $۱۰^{-۶}$ است و مطابق رهنمود ارائه شده بیانگر آن است که مدیریت لجن نیازی به اقدامات اضافی ندارند. در حالی‌که RI<$۱۰^{-۴}$ نگران کننده تلقی شده و نیاز به اقدامات اضافی دارد (۲۴-۲۶). Agoro و همکاران (۲۰۲۰) نیز در ارزیابی اثرات سرطانی و غیرسرطانی مواجهه با فلزات سنگین کادمیوم، سرب و مس در لجن فاضلاب در کشور آفریقای جنوبی، HQ

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]
[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

را برای بالغین کمتر از ۱ گزارش نمودند. همچنین ایشان ELCR مواجهه با فلزات سنگین فوق را تا $۵/۳۶\times۱۰^{-۸}$ برآورد نمودند که در محدوده کمتر از $۱۰^{-۶}$ بود و با مطالعه حاضر مطابقت داشت (۵). در تحقیق Karyab و همکاران مجموع $ELCR_{derm}$ فلزات سنگین بالاتر از حد قابل پذیرش سازمان جهانی بهداشت برآورد گردید که با مطالعه حاضر مغایرت دارد (۳۳).

در مجموع یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که اگرچه غلظت فلزات سنگین انتخابی کمتر از حدود مجاز بود، لجن تولید شده در تصفیه‌خانه درجه بالایی از ریسک اکولوژیکی داشت. بنابراین انباشت و انتقال این‌گونه پسماندها باید با رعایت ملاحظات محیط زیستی و منطبق با مفاد کنوانسیون بازل صورت پذیرد. البته در این مطالعه صرفا ریسک اکولوژیکی و سلامتی فلزات سنگین در لجن مطالعه شد و با توجه به محدودیت منابع، اثرات سایر آلاینده‌های خطرناک در لجن، از جمله عوامل میکروبی بیماریزا، در پسماندهای ویژه ارزیابی نشده است (۳۴).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد اگرچه غلظت فلزات در لجن تصفیه‌خانه از حدود مجاز و استانداردهای ارائه شده کمتر است؛ اما ریسک اکولوژیکی بسیار بالایی برای محیط دارد. این ریسک به ویژه برای کادمیوم و سرب به دلیل ضریب تجمع انباشتگی، بیشتر برآورد شد. همچنین نتایج مطالعه نشان داد که سطوح ریسک سرطانی و غیرسرطانی منتسب به مواجهه با فلزات سنگین در لجن در مواجهه پوستی و تنفسی شرایط مختلفی دارد؛ بطوری‌که مجموع $ElCR_{inh}$ منتسب به مواجهه با فلزات سنگین در لجن بسیار بیشتر از مجموع $ELCR_{derm}$ برآورد شد. ولی HQ_{derm} نسبت به HQ_{inh} ریسک سلامتی بالاتری را ایجاد می‌نماید.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی ذکر شده از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها را در این مقاله رعایت کردند. کد اخلاق این طرح با شماره IR.QUMS. REC.1398.251 در دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین صادر شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "شناسایی پسماندهای ویژه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر صنعتی براساس کنوانسیون بازل و ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه با فلزات سنگین در آن" در مقطع کارشناسی ارشد است که در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین اجرا شد. نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه، اداره کل حفاظت محیط زیست استان قزوین و همچنین مدیریت محترم شهر صنعتی که از اجرای این طرح حمایت نمودند، تشکر می‌نمایند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

References

1. Zazouli M, Ghahramani E, Ghorbanian AlahAbad M, Nikouie A, Hashemi M. Survey of Activated Sludge Process Performance in Treatment of Agghala Industrial TownWastewater in Golestan Province in 2007. Iranian Journal of Health and Environment. 2010; 3(1):59-66. (In Persian)

2. Mrayyan B, Hamdi MR. Management approaches to integated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City. Waste Management 2006; 26(2):195-205.

3. Karami M, Farzadkia M, Karimaee M, Jonidi A, Gohari M, Nabizadeh R. Quantitative and qualitative investigation of industrial solid waste in industrial plants located between Tehran and Karaj. Iran Occupational Health Journal. 2011; 8(2):14-23. (In Persian)

4. Raheem A, Sikarwar VS, He J, Dastyar W, Dionysiou DD, Wang W, et al. Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: a review. Chemical Engineering Journal 2018;337:616-41.

5. Agoro MA, Adeniji AO, Adefisoye MA, Okoh OO. Heavy metals in wastewater and sewage sludge from selected municipal treatment plants in Eastern Cape Province, South Africa. Water 2020; 12(10):2746.

6. Tytła M. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risk in sewage sludge from municipal wastewater treatment plant located in the most industrialized region in Poland—case study. International Journal of Environmental Research and Public Health 2019; 16(13):2430.

7. Shahryari A, Shehamat YD. An investigation on the lead and cadmium content in vegetables and irrigating water in some farms in Gorgan, Iran. International Journal of Environmental Health Engineering 2012;1(1):12.

8. Sinkakarimi M, Rajei G, Mahdijezhad M, Hatamimanesh M. health risk assessment of some heavy metals in goundwater resources of birjand flood plain using Environmental Protection Agency (EPA) model. Journal of Health 2020;11(2):183-93. (In Persian)

9. Xu J, Zheng L, Xu L, Wang X. Ecological risk assessment and source analysis of heavy metals in surface sediments of rivers located in the hilly area of southern China. China Environmental Science 2019;39(8):3420-3429.

10. Tian K, Wu Q, Liu P, Hu W, Huang B, Shi B, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea. Environment International 2020;136:105512.

11. Jahangiri M, Motovagheh M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry. Iran Occupational Health 2011;7(4):4-10. (In Persian)

12. Liu X, Song Q, Tang Y, Li W, Xu J, Wu J, et al. Human health risk assessment of heavy metals

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

in soil–vegetable system: a multi-medium analysis. Science of The Total Environment. 2013;463:530-540.

13. Shad KM, Ling STY, Karim ME. Comparative Study on E-Waste Management and the Role of the Basel Convention in Malaysia, Singapore, and Indonesia: A Way Forward. Indon L Rev 2020;10:63.

14. Emamjomeh MM, Mozaffari Siboni A, Seyedmousavi S. Comparing quality of the wastewater treatment plant effluent in Lia industrial zone (Qazvin) with Iranian environmental protection standards (2015). Journal of Inflammatory Diseases 2016;20(5):66-70.

15. Baghestani AR, Ahmadi F, Tanha A, Meshkat M. Bayesian critical values for Lawshe's content validity ratio. Measurement and Evaluation in Counseling and Development. 2019;52(1):69-73.

16. Pazouki S, Jafari H. Industrial Waste Management (Case study: Abbas Abad Industrial Park). Journal of Environmental Science and Technology 2017;19(4):475-484.

17. Lucier CA, Gareau BJ. Obstacles to preserving precaution and equity in global hazardous waste regulation: an analysis of contested knowledge in the Basel Convention. International Environmental Ageements: Politics, Law and Economics 2016;16(4):493-508.

18. Godini K, Sayehmiri K, Alyan G, Alavi S, Rostami R. Investigation of microbial and chemical quality of bottled waters distributed in Ilam (Wester Iran) 2009-10. Journal of Ilam University of Medical Sciences 2012;20(2):33-37. (In Persian)

19. Turek A, Wieczorek K, Wolf WM. Digestion procedure and determination of heavy metals in sewage sludge—An analytical problem. Sustainability 2019;11(6):1753.

20. Nkinahamira F, Suanon F, Chi Q, Li Y, Feng M, Huang X, et al. Occurrence, geochemical fractionation, and environmental risk assessment of major and trace elements in sewage sludge. Journal of Environmental Management 2019;249:109427.

21. Ghoreishi B, Aslani H, Shaker Khatibi M, Nemati Mansur S, Mosaferi M. Pollution potential and ecological risk of heavy metals in municipal wastewater treatment plants sludge. Iranian Journal of Health and Environment. 2020; 13 (1) :87-102. (In Persian)

22. Yuan X, Leng L, Huang H, Chen X, Wang H, Xiao Z, et al. Speciation and environmental risk assessment of heavy metal in bio-oil from liquefaction/pyrolysis of sewage sludge. Chemosphere 2015;120:645-52.

23. Rahman M, Islam M, Bodrud-Doza M, Muhib M, Zahid A, Shammi M, Tareq SM, Kurasaki M. Spatio-temporal assessment of goundwater quality and human health risk: a case study in Gopalganj, Bangladesh. Exposure and Health 2018;10(3):167-88.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

24. Moghtaderi T, Mahmoudi S, Shakeri A, Masihabadi MH. Heavy metals contamination and human health risk assessment in soils of an industrial area, Bandar Abbas–South Central Iran. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 2018;24(4):1058-73.

25. Jiang Y, Chao S, Liu J, Yang Y, Chen Y, Zhang A, et al. Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China. Chemosphere 2017;168:1658-68.

26. Wu S, Peng S, Zhang X, Wu D, Luo W, Zhang T, et al. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. Journal of Geochemical Exploration. 2015;148:71-8.

27. Karyab H, Karyab F. Quantitative and qualitative characteristics and pattern management of industrial solid wastes in Qazvin, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2020; 13 (3) :509-526. (In Persian)

28. Dadban Shahamat Y, Sangbari N, Zafarzadeh A, Beirami S. Heavy metal contamination in the effluent and sludges of wastewater treatment plant in Gorgan, Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 2017;27(150):158-69. (In Persian)

29. Islam MS, Ahmed MK, Raknuzzaman M, Habibullah-Al-Mamun M, Kundu GK. Heavy metals in the industrial sludge and their ecological risk: A case study for a developing country. Journal of Geochemical Exploration 2017;172:41-9.

30. Rahmani HR, Moayyeri M, Mazaheri Kouhanestani Z, Khodabakhsh N, Sharifi H. Studying some of the qualitative properties and concentration of heavy metals in dried sewage sludge from Shahin-Shahr WWTP in Isfahan. Journal of Environmental Science and Technology. 2014;16(2):55-66.

31. Bina B, Movahedian H, Amini A. Evaluation of potentially harmful substances in dried sludge of Isfahan Wastewater Treatment Plants. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab. 2004;15(1):34-42. (In Persian)

32. Duan B, Zhang W, Zheng H, Wu C, Zhang Q, Bu Y. Comparison of health risk assessments of heavy metals and as in sewage sludge from wastewater treatment plants (WWTPs) for adults and children in the urban district of Taiyuan, China. International Journal of Environmental Research and Public Health 2017; 14(10):1194.

33. karyab H, dehghan F, hamidi Z, Zakariaei S, Farmani F. Monitoring of heavy metals in industrial solid waste and soils around industrial areas: Health and environmental risk assessment. International Conference on Environmental Health. 2021, Yazd, Iran.

34. Sharma LD, Sarangthem I, Thangjam R, Sadhukhan R, Oinam N, Yanglem B, Banarjee L, Anal HJ, Jatav HS. Sewage Sludge and Its Health Risk Assessment: Opportunities and

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

Challenges. Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge. 2022:205-25.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Risk assessment of exposure to heavy metals (Pb, Cd, Cr, and Ni) in the hazardous solid wastes identified in the wastewater treatment plant of industrial city

Hamid Kariab[1], Mohammad Mehdi Emamjomeh[1], Sheida Zakariaie[2,*]

1- Department of Environmental Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 02 November 2022
Revised: 21 January 2023
Accepted: 24 January 2023
Published: 15 March 2023

Keywords: Wastewater treatment plant sludge, Solid waste, Heavy metals, Basel convention, Ecological and health risk assessment

***Corresponding Author:**
sheida.zakaria73@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Due to the presence of heavy metals (HMs), sludge produced in industrial wastewater treatment plants (WWPT) is classified as special waste and can cause adverse health effects. The present study aimed to identify special wastes and assess the risk associated with the presence of HMs in the sludge of WWTP from an Industrial City.

Materials and Methods: Identifying the special wastes was conducted using a checklist, and classification was performed in accordance with the Basel Convention. Ecological risk assessment was done by determining the geo-accumulation and ecological indexes. The estimation of health risk was done by determining HQ and ELCR indexes.

Results: The highest amount of special waste was allocated to sludge with a value of 3900/0 kg/month. Chromium was detected in the highest concentration (95.89 ± 52.15 mg/kg). The level of chromium and nickel pollution was evaluated in the low range, and cadmium was very severe. The ecological risk of lead was estimated in a significant range and was very high for cadmium. The HQ was less than 1, and the ELCR for inhalation and dermal exposure was estimated to be lower than the acceptable risk level of WHO.

Conclusion: The present study showed that the largest amount of special waste is dedicated to sludge. Although the concentration of HMs was lower than the acceptable limits, the sludge had a high ecological risk level. Therefore, the accumulation and transfer of sludge must be carried out under the provisions of the Basel Convention and environmental considerations.

Please cite this article as: Kariab H, Emamjomeh MM, Zakariaie Sh. Risk assessment of exposure to heavy metals (Pb, Cd, Cr, and Ni) in the hazardous solid wastes identified in the wastewater treatment plant of industrial city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;15(4):601-16.

Copyright © 2023 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran 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/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.4.1.6]