

Assessing the health risk, pollution and source of some heavy metals in the soil around Zanjan, Iran

ABSTRACT

Background and Purpose: In this study, heavy metals in the soil around the Zanjan city, by using indicators of pollution, carcinogenic and non-carcinogenic risk and determining the origin by using statistical methods.

Materials and Methods: In this study, 30 soil samples were taken from a depth of 0-20 cm and analyzed based on the method of acid digestion by induction coupled plasma spectroscopy.

Results: The enrichment factor for zinc and cadmium was in the extreme enrichment category with an average of 42.1 and 34.5, respectively, and the land accumulation index for cadmium was in the high pollution category with an average of 2.8. Spatial changes of the index of pollution load and modified degree of pollution showed that the intensity of pollution increased near the industrial centers and the linear regression between the ecological risk and the median coefficient of the medium effect range ($R^2=0.903$) showed that 76% of the samples They are in the possibility of toxicity. Cadmium had the highest risk in children and adults with an average non-carcinogenic risk index of 2 and 0.5, especially exposed to skin absorption with an average of 0.5. It shows the risk of more cancer diseases. The result of determining the origin and contribution of heavy metals with the help of statistical evaluations showed that lead, zinc and cadmium are the result of human activities and chromium, copper and arsenic are the result of the combination of human and earth-born activities. have gathered in the area

Conclusion: In order to reduce the negative environmental effects of heavy metals in the soil of the study area, measures such as reducing the entry of pollutants into the soil and refining polluted Soil.

Keywords: factor analysis, heavy metals, pollution index, Zanjan city, risk assessment

Behnam Pardakhti

PhD student in Environmental Geology,
Department of Geology, Faculty of Science,
Urmia University,

Hossein Pirkharrati

* Associate Professor, Department of Geology,
Faculty of Science, Urmia University,
(Corresponding Author):
H.Pirkharrati@Urmia.ac.ir

Farrokh Asad Zadeh

Associate Professor, Department of Soil
Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia
University.

Received: 2022/04/30

Accepted: 2022/07/03

Document Type: Research article

► **Citation:** Pardakhti B, Pirkharrati H, Asadzadeh F. Assessing the health risk, pollution and source of some heavy metals in the soil around Zanjan, Iran. *Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2022; 8(3): 300-316.

ارزیابی خطر بهداشتی، آلاینده‌گی و منشأیابی برخی از فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان، ایران

بهنام پرداختی

دانشجوی دکتری زمین‌شناسی زیست‌محیطی، گروه
زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه،
ایران.

حسین پیرخراتی

* دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه
ارومیه، ارومیه، ایران. (نویسنده مسئول):
H.Pirkharrati@Urmia.ac.ir

فرخ اسدزاده

دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه
ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین منجر به بهم خوردن توزان و تعادل طبیعت است. به همین منظور این مطالعه حاضر با هدف ارزیابی فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان، با بکارگیری شاخص‌های آلودگی، ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی و تعیین منشأ فعالیت‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، تعداد ۳۰ نمونه از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک برداشته و بر اساس روش هضم اسیدی توسط آنالیز طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی و شاخص‌های سلامتی مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین جهت منشأیابی از روش‌های آماری چند متغیره استفاده شد. به این جهت برای تهیه نقشه از نرم افزار ARC Map و بررسی‌های آماری از SPSS استفاده شده است.

یافته‌ها: فاکتور غنی‌شدگی برای روی و کادمیوم به‌ترتیب با میانگین ۴۲/۱ و ۳۴/۵ در رده غنی‌شدگی شدید و شاخص زمین انباشت برای کادمیوم با میانگین ۲/۸ در رده بالای آلودگی قرار داشت. تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده نشان داد که در نزدیکی مراکز صنعتی، شدت آلودگی بیشتر شده و رگرسیون خطی بین ریسک اکولوژیکی و ضریب میانه دامنه اثر متوسط ($R^2=0.903$) را نشان داد که ۷۶٪ نمونه‌ها در احتمال سمیت قرار گرفته‌اند. در میان فلزات سنگین کادمیوم احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی و سرب احتمال ابتلا به سرطان را در کودکان و بزرگسالان نشان می‌داد. با میانگین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی به ترتیب ۲ و ۰/۵ احتمال ابتلای بیشتری را نشان دادند. نتیجه تعیین منشأ و سهم فلزات سنگین نشان داد که سرب، روی و کادمیوم در نتیجه فعالیت‌های انسانی در منطقه تجمع یافته‌اند.

نتیجه‌گیری: پیشنهاد می‌گردد به‌منظور کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان، اقداماتی مانند بکارگیری تکنولوژی‌های کنترل آلاینده صورت گیرد.

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک، تحلیل عاملی، شاخص آلودگی، شهر زنجان، فلزات سنگین

◀ **استناد:** پرداختی ب، پیرخراتی ح، اسدزاده ف. ارزیابی خطر بهداشتی، آلاینده‌گی و منشأیابی برخی از فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان، ایران. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۱؛ ۳(۸): ۳۰۰-۳۱۶.

مقدمه

خاک منبع اساسی، برای بقای زندگی بشر، حیوانات و گیاهان می باشد و بستر اصلی توسعه اجتماعی و اقتصادی هر کشوری است (۱-۳). فلزات سنگین همچون آرسنیک، کادمیوم، سرب، روی و کروم، از اجزای مهم خاک می باشند و به طور مشترک نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارند (۵)، در حالی که در نتیجه فعالیت های انسانی مانند استخراج مواد معدنی، پالایش، ذوب و فرآوری با ایجاد تغییرات در محیط طبیعی محتوای برخی فلزات سنگین ممکن است به طور جدی از مقدار زمینه و آستانه تحمل گیرنده ها فراتر رود (۶-۸). بالا رفتن غلظت فلزات سنگین از دامنه طبیعی، می تواند به شدت بر پایداری اکوسیستم خاک تأثیر بگذارد و آسیب های جدی به سلامت انسان وارد کند (۴، ۹، ۱۰).

از دیرباز ارزیابی دقیق آلودگی فلزات سنگین در خاک و نظارت بر توزیع مکانی آن، کانون تحقیقاتی بوده که نگرانی های عمومی را به خود جلب کرده است و می تواند به عنوان مرجعی برای اجرای سیاست ها و مقررات کنترل آلودگی استفاده شود (۱۱، ۱۲). مطالعات نشان داده اند که توسعه منابع معدنی، فرآوری و ذوب فلزات، تولید مواد شیمیایی و آبیاری با فاضلاب، منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین هستند (۱۳)، از این رو محققان، روش های مختلفی را برای پایش آلودگی فلزات سنگین خاک اتخاذ کرده اند.

یآن و همکاران، از شاخص های ریسک اکولوژیکی، درجه آلودگی و شاخص جامع آلودگی برای بررسی آلاینده های در خاک معدن زغال سنگ شهر تایان در کشور چین استفاده کردند (۱۴). سیلامی و همکاران، با ارزیابی فلزات سنگین در خاک های شهری و حومه شهری و در اطراف شهر ستیف، شرق الجزایر توسط شاخص های آلودگی به این نتیجه رسیدند که سرب و روی بالاترین تهدید را در بین آلاینده های مورد مطالعه نشان می دهد و مس، سرب و روی ظاهراً از انتشار وسایل نقلیه، ذرات ترمزها و لاستیک ها و انتشارات صنعتی سرچشمه می گیرند (۱۵). فی و همکاران، برای شناسایی منبع و ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در خاک های کشاورزی با کیفیت های مختلف با استفاده از تحلیل

عاملی ماتریس مثبت نشان دادند که سرب و کروم عمدتاً در نتیجه فعالیت های صنعتی و کادمیوم از فعالیت های کشاورزی مشتق می شود، در حالی که منبع جیوه احتراق زغال سنگ می باشد (۱۶). بررسی اجمالی آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی خطر سلامتی خاک های شهری در کمربند اقتصادی رودخانه یانگ تسه، کشور چین توسط تانگ و همکاران با استفاده از آنالیز مؤلفه های اصلی و تحلیل عاملی ماتریس مثبت نشان داد که در محدوده مورد مطالعه آن ها، آرسنیک، کادمیوم، سرب، مس و روی عمدتاً توسط رواناب سطحی و رسوب اتمسفر منتقل می شوند، در حالی که جیوه بیشتر از رسوب اتمسفر ناشی می گردد (۱۷). عباس زاده و همکاران، فلزات سنگین موجود در خاک های جزیره هرمز را منشأیابی نمودند. نتایج حاصل از تجزیه عاملی نشان داد که بین آهن، نیکل و سرب و همچنین بین روی و کادمیوم، ارتباط مثبت و بالایی وجود دارد که بیانگر منشأ یکسان اجزای درون هر گروه بوده و به دلیل نبود آلودگی صنعتی در منطقه، این تفاوت احتمالاً ناشی از اختلاف در ساختار زمین شناسی می باشد. از طرفی آنالیز خوشه ای، روی و کادمیوم را در یک گروه و آهن، نیکل و سرب را در گروه دیگر قرار داد که این امر تأییدی بر نتایج تجزیه عاملی می باشد (۱۸). در مطالعه شیمشک و همکاران که رسوبات رودخانه در منطقه سامسون تک کوی کشور ترکیه، به منظور ارزیابی اثرات آلودگی فلزات سنگین مورد آنالیز قرار گرفت، نشان داد که شاخص خطر، خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی در بین کودکان بیشتر از بزرگسالان است. خطر سرطان مادام العمر فلزات سنگین در محدوده تعیین شده توسط سازمان محافظت از محیط زیست آمریکا می باشد (۱۹). سخاوتی و همکاران، آلودگی فلزات سنگین رخساره های شیمیایی سازند گچساران در ناحیه گیلان غرب، باختر کرمانشاه، را با استفاده از نرم افزارهای آماری و شاخص های آلودگی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که وجود مقادیر قابل توجه عنصر کادمیوم در توالی های سازند گچساران، می تواند تحت تأثیر فرآیند انحلال سنگ ها و رسوبات توسط آب های

اطراف شهر زنجان با استفاده از شاخص‌های آلودگی خاک، بررسی خطر سلامتی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های ارزیابی خطر و منشأیابی آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری انجام شد.

روش کار

محدوده مورد مطالعه

خاک اطراف شهر زنجان، مرکز استان زنجان، در شمال غربی ایران، محدوده مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد. استان زنجان از شمال به شهرستان طارم و خلخال و میانه، از مشرق به سلطانیه و طارم، از جنوب به خدابنده و ایجرود و از غرب به شهرستان ماهنشان محدود است. در این مطالعه، نمونه‌برداری از خاک سطحی اطراف شهر زنجان از عمق ۲۰-۵۰ سانتی‌متری صورت پذیرفت. تعداد ۳۰ نمونه و هر نمونه حدود ۷۰۰-۵۰۰ گرم از هر ایستگاه به‌صورت ساده تصادفی از اطراف شهر زنجان با رعایت نزدیکی به شهر و برداشت نمونه‌های شخم نزده و دست نخورده برداشته شد. در صورتی که نمونه‌ها بیشتر حاوی ذرات درشت‌تری بودند، نمونه بیش‌تری برداشت شد. نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی با درج مشخصات و مشخص نمودن موقعیت نقطه نمونه‌برداری توسط سیستم موقعیت‌یاب مکانی (GPS)^۱ قرار داده شد. در شکل ۱ موقعیت شهر زنجان، محدوده‌های صنعتی اطراف شهر و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ارائه شده است.

روش آماده‌سازی نمونه

فرآیند آماده‌سازی خاک جهت به‌حداقل رسانیدن سایز و همگن‌سازی نمونه‌ها با تابعیت از پروتکل‌های استاندارد نمونه‌برداری و رعایت اصل پرهیز از آلودگی انجام پذیرفت. نمونه پس از ورود به آزمایشگاه در مجاورت هوا خشک، در دمای آزمایشگاه نگهداری شده و بقایای ریشه و مواد آلی و کلوخه‌ها از آن جدا شدند. نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از مش پلی‌اتیلنی ۲ میلی‌متری عبور داده شده و بر اساس شماره‌گذاری انجام شده مرتب شدند تا کنترل نمونه در تمام بخش‌های آزمایشگاه با دقت

سطحی و زیرزمینی، همچنین فعالیت‌های بیولوژیکی (کشاورزی و معدن‌کاری) بیشتر شده و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی بر جای گذارد (۲۰). از مطالعات می‌توان دریافت که فعالیت‌های صنعتی، تأثیر مهمی بر افزایش غلظت فلزات سنگین و میزان آلودگی خاک دارند. فلزات سنگین مانند روی، سرب و آرسنیک دارای اثرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی هستند (۶۵، ۶۶). آلوده‌هایی که وارد بدن انسان می‌شوند، باعث اختلالات تنفسی و مشکلات عصبی شده و احتمال سرطان‌زایی را افزایش می‌دهند (۶۷). در واقع فلزات سنگین به‌دلیل پایدار بودن (میانگین نیمه‌عمر ۱۵ سال)، پس از ورود به بدن، دفع نشده و در بافت‌هایی مانند چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب و انباشته می‌شوند. این امر موجب بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن همچون اختلال در سیستم‌های کلیوی، گوارشی، قلبی-عروقی، اختلالات عصبی و سرطان‌زایی می‌شود. از طرفی خاصیت سمّی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان و جانوران و ورود آنها به زنجیره غذایی، خطرهای ناشی از آنها را دوچندان کرده است و تأثیرات اکولوژیکی زیادی به‌وجود می‌آورد (۶۸).

شهر زنجان در شمال غربی ایران نیز به‌عنوان مرکز ۲۸ کارخانه تولید شمش روی، سرب و معادن بزرگ نظیر سرب و روی به‌ویژه در منطقه انگوران، با تجمع بالایی از فلزات سنگین در اطراف شهر به‌خصوص پسماندهای تولیدی که به‌صورت جامد هستند، روبه‌رو می‌باشد. شهرک صنعتی تخصصی روی با دارا بودن حدود ۵۰ واحد استحصال و تولید شمش روی در جنوب غربی شهر زنجان حدود ۵ کیلومتری جاده زنجان به بیجار، شهرک صنعتی تخصصی روی، شرکت ملی سرب و روی ایران و شرکت کالسیمین زنجان در ۱۰ کیلومتری شرق شهر زنجان و شرکت‌های روئین کار شمس، شمش‌سازان و پارس روی به‌ترتیب در ۷، ۱۶ و ۹ غرب شهر زنجان واقع شده‌اند. بنابراین مطالعه بر روی ویژگی‌های آلودگی خاک، نه‌تنها از جنبه‌های مهم ارزیابی کیفیت محیط شهری، بلکه از نظر بررسی اثر بر روی سلامت انسان از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی فلزات سنگین در خاک

1. Global Positioning System

و سرعت انجام گیرد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آون آزمایشگاهی خشک شدند (۲۱). نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه زراآما واقع در تهران ارسال شدند.

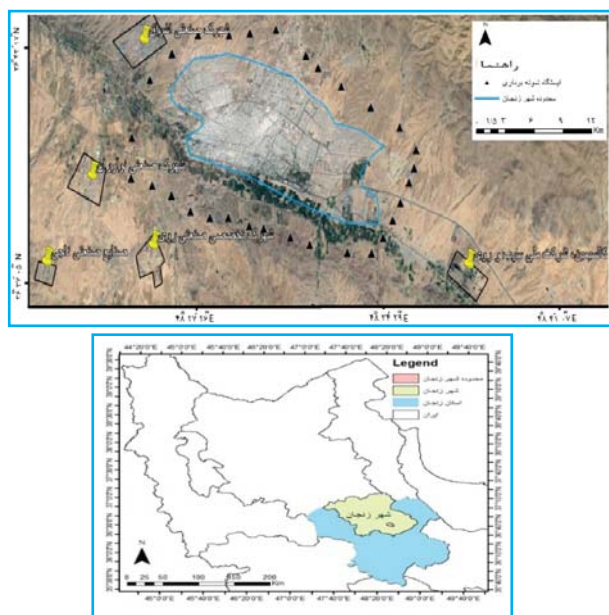
تعیین غلظت فلزات سنگین

برای تعیین غلظت کل فلزات، توسط دستگاه طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)^۱ (مشخصات دستگاه Agilent 5100cs)، با استفاده از روش هضم چهار اسیدی مشتمل بر اسید هیدروفلورنئوریک، اسید پرکلریک، اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک، نمونه‌های خاک هضم شدند (۲۱). تمام مواد شیمیایی مصرفی برای هضم کامل نمونه‌ها و یا مواد شیمیایی استفاده شده از مواد با درجه خلوص و رتبه آزمایشگاهی بالا و دارای کیفیت آزمایشگاهی مرک (Merk) آلمان انتخاب شدند. برای آماده‌سازی محلول‌های مورد نیاز از آب مقطر استفاده شد. برای جلوگیری از آلودگی نمونه، تمام ظروف مورد استفاده در مراحل مختلف آنالیزهای تفکیک شیمیایی ابتدا توسط آب مقطر شسته شده و سپس به مدت ۱۴ ساعت در اسید نیتریک مرک ۴ مولار قرار داده و در نهایت دوباره توسط آب مقطر دوبار تقطیر شسته شدند.

معرفی شاخص‌های آلودگی:

فاکتور غنی شدگی (Ef)^۲ برای کمی‌سازی آلودگی فلزات سنگین در نتیجه تأثیر فعالیت‌هایی آنتروپوژنیک به کار گرفته می‌شود. شاخص زمین انباشت (Igeo)^۳ برای مقایسه غلظت یک فلز قبل از صنعتی شدن و بعد از صنعتی شدن محدوده استفاده می‌شود. در رابطه فوق، ضریب ۱/۵ به عنوان عامل تصحیح برای اثرات زمین‌شناختی عناصر در نظر گرفته شده است. فرمول درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)^۴ برای تعیین کل مقدار آلودگی منطقه نمونه‌برداری شده است و مزیت آن این است که مقدار متوسط کلی را برای طیف وسیعی از آلاینده‌ها مشخص نموده و مانند هر روش میانگین‌گیری دیگری در ارزیابی نهایی با دقت

بیشتری کاربرد دارد. شاخص انتگرالی بار آلودگی (PLI)^۵ به عنوان شاخص تعیین کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی فلزات سنگین در منطقه معرفی گردید. با استفاده از این شاخص می‌توان مقدار آلودگی را از بُعد زمانی و مکانی مقایسه نمود (۲۲). جهت بررسی پتانسیل خطر اکولوژیک فلزات سنگین در خاک و رسوبات شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (PERI)^۶ به کار می‌رود. در فرمول این شاخص فاکتور سمیت بیولوژیکی (T_x^i) سرب، کروم، روی، آرسنیک، مس و کادمیوم به ترتیب ۵، ۲، ۱، ۱۰، ۵ و ۳۰ می‌باشد (۲۳). ضریب میانه دامنه اثر متوسط (MERMQ)^۷ صدک ۱۵۰ اثرات نامطلوب بیولوژیکی، شاخصی برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق بالقوه خطر برای موجودات زیستی با توجه به کیفیت خاک است. ERM_i میانگین دامنه اثر فلز i ام و به ترتیب آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی، ۷۰، ۹/۵، ۳۷۰، ۲۷۰، ۲۱۸ و ۴۱۰ می‌باشد (۴۰). جدول ۱ روابط ۱ تا ۶ فرمول‌های شاخص‌های ارائه شده می‌باشد. نتایج به دست آمده از شاخص‌ها به رده‌های متفاوتی از آلودگی تقسیم می‌شوند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده شهر زنجان و محدوده‌های صنعتی اطراف شهر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

5. Pollution Load Index
6. Potential Ecological Risk Index
7. Mean Effect Range Median Qquotient

1. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)
2. Enrichment factor
3. Geo-accumulation index
4. modified Contamination degree

جدول ۱. فرمول‌ها و رده‌بندی شاخص‌های ارائه شده

منبع	فرمول	رده‌بندی
۲۴ Ef (۱)	$EF = \left(\frac{[C]_X^i}{R_{Soil}} \right) / \left(\frac{C_b^i}{R_b} \right)$	۱ < Ef: غنی‌شدگی وجود ندارد، ۳ < Ef < ۱: غنی‌شدگی کم، ۵ < Ef < ۳: غنی‌شدگی متوسط، ۱۰ < Ef < ۵: غنی‌شدگی شدید، ۵۰ < Ef < ۲۵: غنی‌شدگی خیلی شدید و ۵۰ > Ef: غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید
۲۵ Igeo (۲)	$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_x^i}{1.5 \times C_b^i} \right]$	۰ < Igeo: ناآلوده، ۱ < Igeo < ۰: ناآلوده تا آلودگی متوسط، ۲ < Igeo < ۱: آلودگی متوسط، ۳ < Igeo < ۲: آلودگی متوسط تا بالا، ۴ < Igeo < ۳: آلودگی بالا، ۵ < Igeo < ۴: آلودگی بالا تا بسیار بالا و ۵ > Igeo: آلودگی بسیار بالا
۲۶ mCd (۳)	$mCd = \left(\frac{\sum_{i=1}^n C_x^i / C_b^i}{n} \right)$	۱/۵ < mCd: درجه بسیار پایین آلودگی، ۲ < mCd ≤ ۱/۵: درجه پایین آلودگی، ۴ < mCd ≤ ۲: درجه متوسط آلودگی، ۸ < mCd ≤ ۴: درجه بالا آلودگی، ۱۶ < mCd ≤ ۸: درجه بسیار بالا آلودگی، ۳۲ < mCd ≤ ۱۶: درجه به شدت آلوده، ۳۲ > mCd: درجه بسیار شدید آلودگی.
۲۷ PLI (۴)	$PLI = \left(\frac{C_x^1}{C_b^1} \times \frac{C_x^2}{C_b^2} \times \dots \times \frac{C_x^n}{C_b^n} \right)^{\frac{1}{n}}$	۱ ≤ PLI: درجه پایین آلودگی، ۲ ≤ PLI < ۱: درجه متوسط آلودگی، ۵ ≤ PLI < ۲: درجه آلودگی بالا، ۵ ≥ PLI: درجه بسیار بالا.
۲۸ PERI (۵)	$PERI = \sum_{i=1}^n T_X^i \times \frac{C_x^i}{C_b^i}$	۱۵۰ < PERI: خطر اکولوژیکی کم، ۳۰۰ < PERI ≤ ۱۵۰: خطر اکولوژیکی متوسط، ۶۰۰ < PERI ≤ ۳۰۰: خطر اکولوژیکی قابل توجه، ۶۰۰ > PERI: خطر اکولوژیکی بسیار بالا
۴۰ MERMQ (۶)	$MERMQ = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{ERM_i / n}$	۰/۱ < MERMQ: الویت کم (احتمال سمیت ۹٪)، ۰/۵ < MERMQ ≤ ۰/۱: اولویت متوسط تا کم (احتمال سمیت موجود ۲۱٪)، ۱/۵ < MERMQ ≤ ۰/۵: اولویت بالا تا متوسط (احتمال سمیت موجود ۴۹٪)، ۵ < MERMQ: اولویت بالا (احتمال سمیت موجود ۷۶٪)

در روابط فوق R_{Soil} و R_b مقدار عنصر مرجع در نمونه خاک و نمونه مرجع، C_X^i و C_b^i غلظت عنصر مورد مطالعه و عنصر مرجع در خاک نمونه و n تعداد آلاینده‌هاست.

ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در خاک:

شاخص خطر به عنوان شاخص ارزیابی خطر سلامت آلاینده‌ها به کار برده می‌شود که می‌تواند خطرات سلامتی آلاینده‌ها برای بدن انسان را به صورت کمی توصیف کند. در این مطالعه برای ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین خاک بر روی کودکان و بزرگسالان، از مدل ارزیابی خطر سلامتی سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (USEPA) ^۱ استفاده شد. فرمول محاسبه میانگین دوز در معرض روزانه (ADD)، ^۲ شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) ^۳ و شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) ^۴ در ادامه آورده شده است. محاسبه ADD (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) بر اساس مسیر مصرف از سه

مسیر بلع (ing) ^۵، تماس پوستی (derm) ^۶ و تنفس (inh) ^۷ در روابط ۷ تا ۹ آورده شده است.

رابطه ۷ تا ۹:

$$ADD_{ing} = \frac{C \times R_{ing} \times CF \times ED \times EF}{BW \times AT}$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times R_{inh} \times EF \times ED}{BW \times AT \times PEF}$$

$$ADD_{derm} = \frac{C \times SA \times SL \times EF \times ABS \times ED}{BW \times AT}$$

در این روابط: غلظت فلز سنگین (C)، بلع ذرات آلوده به صورت روزانه (Ingr) برحسب میلی گرم در روز، ضریب تبدیل (CF^۸).

1. Ingestion
2. Dermal
3. Inhalation
4. Conversion coefficient

1. Environmental Protection Agency of the United States
2. Average daily exposed Dose
3. Hazard Quotient
4. Carcinogenic risk index

ایالات متحده، فاکتور مواجهه (۲۹-۳۱) مقادیر پارامترهای مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

بررسی آماری و تحلیل منشأ آلودگی:

در این مطالعه علاوه بر توصیف آماری فلزات سنگین، برای منشأیابی فلزات سنگین از روش تحلیل عاملی (PCA)^{۱۲}، تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA)^{۱۳} و تحلیل عاملی ماتریس مثبت (PMF)^{۱۴} استفاده شد. جهت تعیین تأثیرگذارترین فلزات سنگین که با بالاترین واریانس در عامل اول قرار می‌گیرند، با وجود تعداد زیاد متغیرهای مورد بررسی و روابط ناشناخته بین آن‌ها، از روش تحلیل عاملی با استفاده از چرخش واریماکس و نرمال‌سازی کرسیر استفاده شد. همچنین جهت گروه‌بندی فلزات سنگین با منشأ یکسان از روش تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی با استفاده از روش وارد^{۱۵} بر اساس میانگین متغیرها در هر یک از گروه‌ها و تعیین مربع فاصله اقلیدسی میانگین خوشه‌ها و نرمال‌سازی Z-Scores استفاده شد (۳۲). تجزیه عاملی یا آنالیز فاکتوری، روشی برای بررسی و مطالعه همزمان تغییرات متغیرهای مورد بررسی در یک نقطه و انعکاس نحوه تغییرات آنهاست. با انتخاب تابع واریماکس، دورانی متعامد بر روی ضرایب عامل صورت می‌گیرد. با این دوران تغییرات مربعات عناصر ستونی، برآورد ضرایب عامل‌ها را بیشینه می‌کند. این روش مقادیری نسبتاً بزرگ (از نظر قدر مطلق) یا صفر به ستون‌های ماتریسی ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد. در نتیجه عواملی ایجاد می‌شود که یا به شدت به متغیرها وابسته‌اند یا مستقل از آنها هستند، این امر سبب ساده‌تر شدن تعبیر عامل‌هاست. آنالیز خوشه‌ای، یک روش آماری چندمتغیره است که به منظور شناسایی منشأ عناصر در تأیید نتایج PCA استفاده می‌شود. درخت خوشه‌ای، گزینه‌های هموزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌ای بزرگ‌تر ایجاد شود و تشابهات بین نمونه‌ها را ارزیابی و سنجش می‌کند (۶۴). روش PMF یکی از ابزارهای پیشرفته مدل‌سازی است که برای به‌دست آوردن تحلیل

فراوانی در معرض قرارگیری (EF)^۱، وزن بدن (BW)^۲، میزان تنفس (InhR)^۳، فاکتور انتشار گردوغبار (PEF)^۴، مساحت سطحی پوست در معرض (SA)^۵، ویسکوزیته پوستی (SL)^۶، شاخص جذب پوستی (ABS)^۷، مدت زمان در معرض (ED)^۸ و میانگین مدت زمان در معرض قرارگیری فلزات سنگین سرطان‌زا غیر سرطان‌زا (AT)^۹ می‌باشد.

شاخص غیر سرطان‌زایی HQ یک مقیاس بی‌بعد است و از تقسیم میانگین دوز مصرف روزانه ADD در نتیجه بلع، تنفس و جذب پوستی بر دوز مرجع (RfD)^{۱۰} هر فلز سنگین محاسبه می‌شود (رابطه ۱۰). رده‌بندی مقادیر HQ بدین‌صورت است که اگر مقادیر HQ کمتر از ۱ محاسبه شود، فلزات سنگین هیچ‌گونه اثر منفی روی سلامتی ندارند. در حالی که مقادیر HQ بالاتر از ۱ نشان‌دهنده تأثیرات منفی روی سلامتی می‌باشد.

$$\text{رابطه ۱۰: } HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

فرمول محاسبه خطر ابتلاء به سرطان در طول زندگی در رابطه ۱۱ ارائه شده است.

$$\text{رابطه ۱۱: } CR = \sum_{k=1}^n ADD_k CSF_k$$

ADD_k و CSF_k (mg/kg/day) متوسط مصرف روزانه و فاکتور شیب سرطان^{۱۱} برای K امین فلز سنگین می‌باشد. رده‌بندی CR بدین‌صورت است که اگر از مقدار ۶-۱۰ کمتر باشد، خطر سرطان‌زایی قابل چشم‌پوشی و در صورتی ۴-۱۰ بیشتر باشد، احتمال خطر زیاد و در بین این دو مقدار، خطر در رده قابل قبول می‌باشد. با توجه به راهنمای ارزیابی ریسک سازمان محیط زیست

1. Exposed frequency
2. Body weight
3. Respiratory rate
4. Dust emission factor
5. Surface area
6. Dermal viscosity
7. Dermal absorption factor
8. Exposure time
9. Non-carcinogenic and carcinogenic mean exposure time of heavy metal
10. Reference Dose
11. Cancer Slope Factor

12. Principal Component Analysis
13. Hierarchical Cluster Analysis
14. Positive Matrix Factorization
15. Ward

میانگین روی (۳۶۸/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر از سایر فلزات بود. پس از روی، میانگین غلظت کل فلزات به ترتیب کروم < سرب < مس < آرسنیک < کادمیوم مشاهده شد. کادمیوم (۲۰۷٪/۶)، روی (۱۴۲٪/۷) و سرب (۱۲۳٪/۷) ضریب تغییرات بالایی داشتند، در حالی که سایر فلزات در محدوده متوسط قرار داشتند. منظور از محدوده متوسط، ضریب تغییرات ۹۰ تا ۱۰۰ درصدی می باشد (۳۳). میانگین آرسنیک، کروم، مس و روی از استاندارد ایران که بر اساس کاربری کشاورزی می باشد، بالاتر بود. حد مجاز فلزات سنگین بر اساس این استاندارد برای آرسنیک، کروم، مس و روی به ترتیب ۲، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم بود.

واقعی تر فیزیکی و محدودیت استفاده از نتایج منفی معرفی شده است. علاوه بر این، US EPA در سال ۲۰۱۴ این مدل را برای شناسایی سهم منابع پیشنهاد کرده است (۱۰). در این مطالعه آنالیز آماری داده ها، تعیین سهم منشأ و محاسبات شاخص ها با استفاده از نرم افزارهای اکسل، PMF 5 و SPSS، ورژن ۲۳ و تهیه نقشه ها توسط ArcMap 10 صورت گرفت.

یافته ها

در جدول ۲ نتایج آمار توصیفی فلزات سنگین و استانداردهای ایران و سایر نقاط جهان ارائه شده است. همانطور که انتظار می رفت، مقدار

جدول ۲. آمار توصیفی فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان (برحسب میلی گرم بر کیلوگرم) و استاندارد فلزات سنگین در ایران و سایر نقاط جهان

میانگین	کمترین	بیشترین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	آمریکا (۳۴)	کانادا (۳۴)	چین (۳۴)	آلمان (۳۴)	ایران (۳۵)
آرسنیک	۱۵/۱	۹	۶۲/۵	۹/۸	۶۴/۹	۰/۱۱	۲۰	۵۰-۴۰	۴۰
کادمیوم	۵/۵	۱	۵۲	۱۱/۵	۲۰۷/۶	۰/۴۸	۳	۰/۰-۳/۶	۵
کروم	۱۵۷/۸	۱۳۹	۱۷۴/۵	۱۰/۲	۶/۴	۱۱	۲۵۰	۳۰۰-۱۵۰	۵۰۰
مس	۳۸/۲	۱۹	۵۳	۸/۴	۲۲/۲	۲۷۰	۱۵۰	۲۰۰-۵۰	۲۰۰
سرب	۸۱/۸	۱۴	۴۳۷	۱۰۱/۳	۱۲۳/۷	۲۰۰	۲۰۰	۸۰	۱۰۰۰
روی	۳۸۶/۱	۸۶	۲۵۷۵	۵۵۱/۱	۱۴۲/۷	۱۱۰۰	۵۰۰	۳۰۰-۲۰۰	۶۰۰

آلودگی از آرسنیک و مس را نشان نداد. سرب، کروم و روی محدوده آلودگی متوسط و کادمیوم آلودگی بالایی را نشان داد. میانگین شاخص زمین انباشت فلزات سنگین آرسنیک، مس، کروم، سرب، کادمیوم و روی به ترتیب ۰/۳، ۰/۵، ۱/۳، ۰/۹، ۲/۸ و ۰/۹ بود.

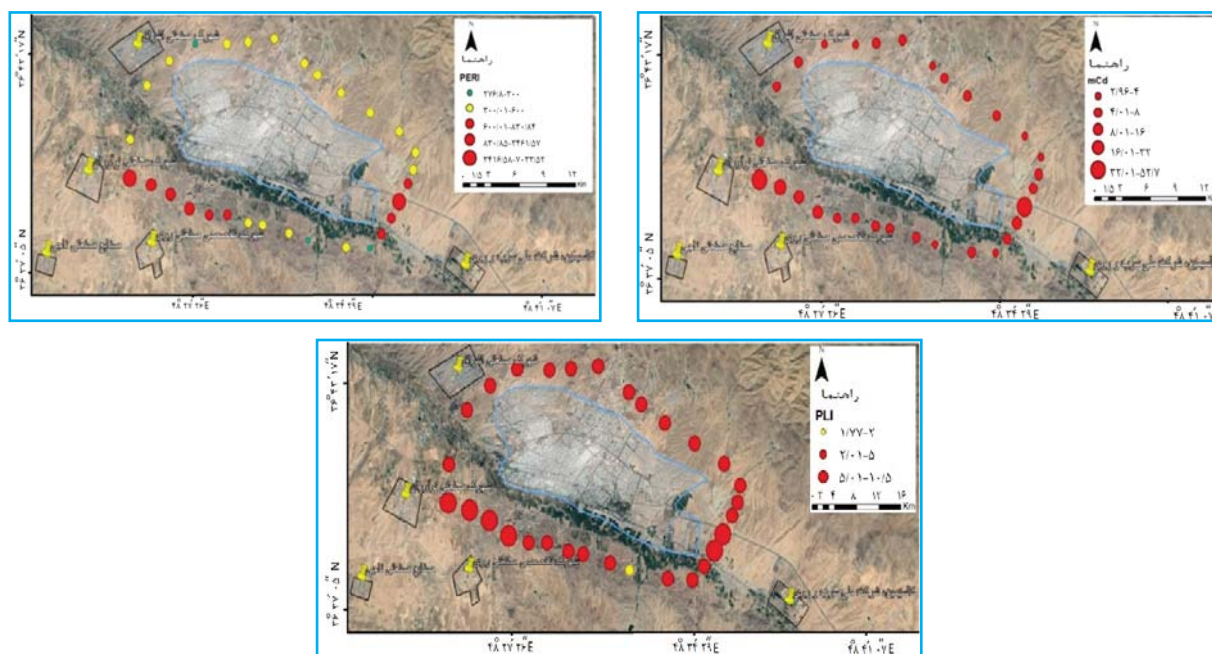
در شکل ۲ نقشه تغییرات مکانی شاخص های PERI، mCd و PLI نمایش داده شده است. کمترین، بیشترین و میانگین PERI به ترتیب ۲۷۶/۸، ۷۰۳۳/۵ و ۱۰۷۰/۵ بود. تغییرات شاخص PERI نشان داد که به سمت مراکز صنعتی به خصوص در نزدیکی کالسیمین، شرکت ملی سرب و روی، شهرک تخصصی صنعتی روی و شهرک تخصصی نوآوران، خطر اکولوژیکی بالاتر می باشد، در حالی که سایر نقاط اطراف شهر زنجان در وضعیت متوسط خطر

برای شناسایی وسعت آلودگی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه و منابع آلودگی، شاخص های آلودگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه از عنصر منگنز به عنوان عنصر مرجع و غلظت میانگین عناصر در پوسته زمین به عنوان محیط مرجع استفاده شد. آرسنیک و مس به ترتیب با میانگین ۲/۳ و ۱/۴ در رده غنی شدگی کم قرار داشتند. در برخی از ایستگاه های نمونه برداری، شاخص غنی شدگی برای آرسنیک بالاتر از ۳ بود که نشان دهنده غنی شدگی متوسط بود. کروم و سرب به ترتیب با میانگین ۵/۳ و ۶/۹ غنی شدگی متوسط تا شدید را نشان دادند. روی و کادمیوم به ترتیب با میانگین ۴۲/۱ و ۳۴/۵ در رده غنی شدگی شدید بودند.

مشابه نتایج حاصل از غنی شدگی، شاخص زمین انباشت نیز

اکولوژیکی قرار دارند. فلزاتی که بیشترین تأثیر را در مقدار PERI داشتند، کادمیوم (میانگین ۹۱۸/۸) و سپس آرسنیک (میانگین ۱۰۰/۷) بود. فلزی که تأثیر متوسطی را در مقدار PERI داشت، سرب (میانگین ۴۰/۹) و فلزاتی که تأثیراتی کمتری در مقدار PERI داشتند، روی (میانگین ۴/۸)، کروم (میانگین ۲/۸) و مس (میانگین ۲/۲) بودند. تغییرات mCd در اطراف شهر زنجان نشان داد که بیش از ۲۳/۳٪ در رده متوسط آلودگی، ۵۶/۶٪ در رده بالای آلودگی و ۳۳/۳٪ نمونه‌ها در رده بسیار بالای آلودگی قرار دارند. کمترین، بیشترین و میانگین مقدار mCd به ترتیب ۲/۹، ۵۲/۷ و ۹/۳ بود. روند تغییرات PERI و mCd مشابه هم بوده و نزدیک به مناطق صنعتی آلودگی بالاتر بود. همین نتیجه برای PLI نیز صادق بود، با این تفاوت که حدود ۸۰٪ نمونه‌ها در رده متوسط آلودگی و حدود ۲۰٪ در رده آلودگی بالا و بسیار بالا قرار گرفتند.

کمترین، بیشترین و میانگین مقدار PLI به ترتیب ۱/۷، ۱۰/۴ و ۳/۵ بود. نتایج حاصل از شاخص MERMQ به عنوان ابزار ارزیابی اثرات بیولوژیکی آلودگی خاک نشان داد که ۷۶/۶٪ از نمونه‌ها در رده الویت متوسط تا بالا و احتمال سمیت موجود ۲۱٪ و سایر نمونه‌ها (۲۳/۴٪) در رده الویت بالا و احتمال سمیت موجود بیش از ۴۹٪ بودند. میانگین کلی این شاخص ۰/۴ بود که در رده احتمال اثر سمیت ۴۹٪ بیولوژیکی برای ارگانسیم‌های موجود در خاک قرار گرفته بود. رگرسیون خطی بین MERMQ و PERI نشان‌دهنده همبستگی بالا ($R^2 = 0.930$) و تأثیر خطر اکولوژیکی روی ارگانسیم‌ها در خاک می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه مقادیر PERI اثرات بالای اکولوژیکی را نشان دادند، اثر روی ارگانسیم‌های بیولوژیکی در وضعیت نامطلوبی قرار دارد.



شکل ۲. نقشه تغییرات مکانی شاخص‌های PERI، mCd و PLI نمونه‌های اطراف شهر زنجان

معرض خطر هستند که مسبب آن، این است که کودکان به صورت غیرعمدی مقادیر قابل توجهی از گردوغبار را از طریق فرو بردن دست در دهان، وارد بدن خود می‌کنند و به دلیل داشتن سیستم ایمنی حساس یا ضعیف، بیشتر در معرض مسمومیت با فلزات

بررسی نتایج حاصل از محاسبه شاخص احتمال ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی و سرطانی در نتیجه وجود فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان برای هر دو گروه سنی و بررسی همزمان نشان داد که کودکان در مجموع حساس‌تر بوده و بیشتر در

داده‌ها با استفاده از کریزر-می‌یر و الکین (KMO^1) میزان $0/67$ و مقدار معناداری آزمون بارتلت نیز $0/000$ به‌دست آمد، بنابراین حجم نمونه برای تحلیل عامل اکتشافی مناسب و نتایج معنادار بود. با استفاده از چرخش واریماکس PCA، ۲ عامل با واریانس کل $78/6\%$ و مقادیر ویژه برای عامل اول $2/9$ و برای عامل دوم $1/8$ به‌دست آمد. عامل اول $48/4\%$ از کل واریانس را شامل می‌شود. در این عامل، روی، سرب و کادمیوم به‌ترتیب با مقدار بار $0/96$ ، $0/94$ و $0/94$ در یک گروه قرار گرفته‌اند. عامل دوم با $30/1\%$ از واریانس کل، فلزات مس و کروم با مقدار بار $0/86$ و $0/86$ را در خود جای داده است. نتایج حاصل از HCA در تأیید نتایج PCA، سرب، روی و کادمیوم در یک گروه، مس و کروم در یک گروه و آرسنیک نیز در گروه جداگانه نشان می‌دهد (شکل ۳-الف).

مدل PMF، برای تعیین سهم هر کدام از فلزات در منشأ آن‌ها با در نظر گرفتن همبستگی ($R^2 > 0/6$) بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار غلظت فلزات سنگین در ۳ فاکتور استفاده شد (شکل ۳-ب). مقدار سهم در فاکتور اول آرسنیک ($55/4\%$)، کادمیوم ($1/6\%$)، کروم ($67/6\%$)، مس ($49/8\%$)، سرب ($28/4\%$) و روی ($0/5\%$) به‌دست آمد. مقدار سهم در فاکتور دوم آرسنیک ($7/3\%$)، کادمیوم ($72/9\%$)، کروم ($9/6\%$)، مس (6%)، سرب ($66/4\%$) و روی ($75/8\%$) و در فاکتور سوم به‌همین ترتیب $37/3\%$ ، $25/5\%$ ، $22/8\%$ ، $44/2\%$ و $5/2\%$ و $23/7\%$ بود.

جدول ۳. نتایج PCA با چرخش واریماکس و نرمال‌سازی کریسر فلزات سنگین

عامل‌ها		
آرسنیک	$0/380$	$-0/538$
کادمیوم	$0/944$	$-0/127$
کروم	$-0/166$	$0/860$
مس	$0/143$	$0/863$
سرب	$0/947$	$-0/149$
روی	$0/963$	$0/004$

سنگین قرار می‌گیرند (41). کادمیوم با میانگین شاخص HQ ۲، خطر ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی بالاتری در کودکان نسبت به سایر فلزات دارد. پس از کادمیوم، آرسنیک با میانگین شاخص HQ ۱، خطر بالاتری را نشان می‌دهد. سایر فلزات در محدوده ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی نبودند. در بزرگسالان نیز خطر ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی مشاهده نشد، بالاترین فلز مؤثر، کادمیوم با شاخص HQ $0/5$ بود. در هر دو گروه، مس کمترین احتمال ایجاد خطر بیماری‌های غیرسرطانی را داشت. اصلی‌ترین مسیر در معرض قرارگیری فلزات سنگین و ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی، جذب پوستی با میانگین $0/5$ و پس از آن بلع با میانگین $0/2$ و تنفس با میانگین $0/004$ بود.

شاخص CR نشان‌دهنده احتمال ایجاد بیماری‌های سرطانی در نتیجه وجود فلزات سنگین در خاک می‌باشد. نتایج حاصل از این شاخص مطابق با نتیجه شاخص HQ، کودکان را بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر نشان می‌دهد. سرب در مجموع در هر دو گروه سنی خطر بالاتری دارد و در رده نامطلوب قرار گرفته است. شاخص CR از منظر فلز سرب برای کودکان $0/01$ و برای بزرگسالان $3-10 \times 10^{-6}$ می‌باشد که وضعیت خطر بیماری‌های سرطانی را نشان می‌دهد. پس از سرب، کروم با شاخص CR برای کودکان $4-10 \times 10^{-1}$ و برای بزرگسالان $4-10 \times 10^{-1}$ در رده نامطلوبی قرار گرفته است. آرسنیک و کادمیوم نیز با شاخص CR به‌ترتیب برای کودکان $5-10 \times 10^{-1}$ ، $6-10 \times 10^{-1}$ و برای بزرگسالان $5-10 \times 10^{-1}$ و $6-10 \times 10^{-1}$ در وضعیت متوسط احتمال ایجاد بیماری‌های سرطانی می‌باشد. در میان روش‌های در معرض قرارگیری با میانگین $0/002$ ، بلع اصلی‌ترین مسیر در معرض قرارگیری بود و پس از آن جذب پوستی و تنفس ذرات آلوده به فلزات سنگین با میانگین $6-10 \times 10^{-1}$ و $7-10 \times 10^{-1}$ در رده‌های بعدی آلودگی قرار داشتند.

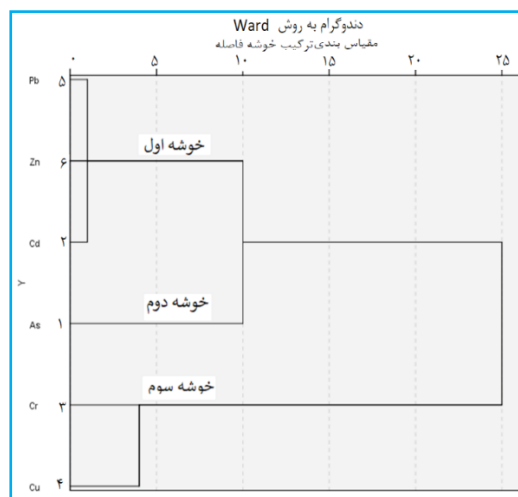
روش‌های آنالیز آماری PCA، HCA و PMF بستری مناسب برای شناسایی منشأ فلزات سنگین در خاک فراهم می‌کنند (42). در جدول ۳ نتایج حاصل از PCA ارائه شده که در ابتدا، کفایت

نتایج حاصل از بررسی نمونه‌های خاک

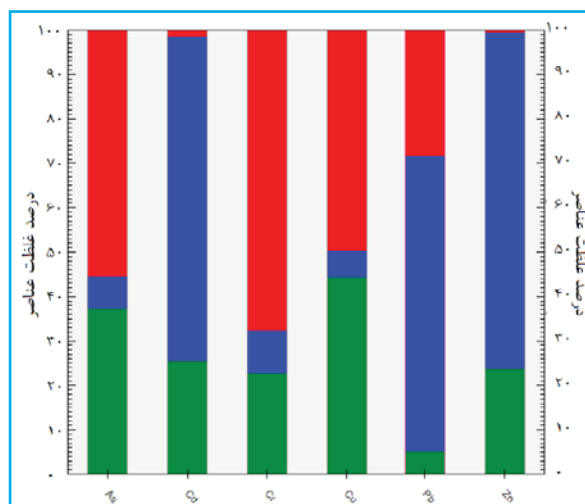
در مطالعه غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف شهر زنجان که با صنایع فلزی احاطه شده است، غلظت بالایی از آرسنیک، روی، کروم و سرب در محدوده مشاهده شد. علاوه بر این در مقایسه این مقادیر با استانداردهای ارائه شده، غلظت فلزات بالاتر از حد مجاز بود. بالا بودن ضریب تغییرات کادمیوم، سرب و روی، نشان‌دهنده پراکندگی دامنه تغییرات فلزات سنگین در خاک می‌باشد که منعکس کننده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در غلظت این فلزات است. به‌خصوص که میانگین غلظت این فلزات از مقادیر به‌دست آمده از سایر مطالعات نیز بیشتر بود. در همین راستا، در مطالعه جهانتاب و همکاران، میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک شهرک صنعتی شیراز و اراضی اطراف آن همچون سرب، مس، روی و آرسنیک بالا بود (۳۶). در تحقیقی دیگر نتایج حاصل از مطالعه صورت گرفته توسط زارعی و همکاران، بر روی توزیع مکانی سرب و روی در شهر صنعتی شازند اراک نیز غلظت بالاتر از استاندارد را نشان داد (۴۶).

نتایج حاصل از شاخص‌های آلودگی خاک

محاسبه شاخص‌های غنی‌شدگی برای کادمیوم و روی و سپس برای مس و کروم، غنی‌شدگی بسیار شدید و متوسط تا شدید را نشان داد که نشان‌دهنده ورود مقدار قابل توجهی از کادمیوم و روی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد؛ به‌خصوص که نتایج حاصل از شاخص زمین‌انباشت نیز برای کادمیوم، رده بالای آلودگی را نشان داد. در مطالعه جهانتاب و همکاران، که بر روی خاک منطقه صنعتی روی زنجان صورت گرفت، فلزات سرب، کادمیوم و روی، دارای غلظت‌های قابل توجهی بودند و این مقدار غلظت از فلزات در نتیجه فعالیت‌های صنعتی و انسانی در منطقه بود (۴۷). به‌طور کلی غلظت سرب در لایه‌های سطحی خاک بیش از لایه‌های عمقی است و با افزایش عمق خاک، غلظت این فلزات کاهش می‌یابد (۴۹). روی در خاک معمولاً بین ۱ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. روی در خاک اغلب با کانی‌های سیلیکاتی، کربناتی، فسفات‌ها، اکسیدها و مواد آلی همراه می‌باشد. از عوامل غلظت بالای روی در خاک‌های سطحی،



الف



ب

شکل ۳. الف- دندوگرام نتایج آنالیز خوشه‌ای، ب- نتایج حاصل از مدل PMF فلزات سنگین

بحث

امروزه، نگرانی‌های بسیاری به‌دلیل مشکلات آلودگی در خاک مناطق شهری و حومه به فلزات سنگین در نتیجه افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن به‌وجود آمده است (۴۳). به‌دلیل تجمع صنایع و کارخانجات در شهرک‌های صنعتی و حجم بالای آلودگی‌های تولید شده در این مراکز که اغلب در نزدیکی شهرها هستند، ملاحظات زیست‌محیطی در این مراکز از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار است (۴۴، ۴۵).

غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس در اکثر ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در محدوده غنی شده بوده و تحت تأثیر فعالیت صنایع قرار گرفته‌اند (۵۲). در مطالعه‌ی فاضل‌ولی پور، ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک منطقه رباطسفید (جنوب مشهد) بر اساس اندازه‌گیری شاخص زمین انباشت، غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی برای خاک، نیکل، کبالت و کروم، دارای بالاترین میزان آلودگی در منطقه است، ولی منشأ ورود این فلزات سنگین، ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و هوازگی سنگ‌های افیولیتی است و منشأ لیتوژنیک دارد (۵۳). در مطالعه غضنفری و همکاران، با استفاده از شاخص زمین انباشت پراکنش مس در معدن مس میدوک نشان داد که با فاصله گرفتن از معدن، درجه آلودگی مس در هر دو مسیر کاسته می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده نقش معدن در ایجاد آلودگی عنصر مس در خاک‌های منطقه باشد (۵۵).

نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی خطر بهداشتی

خطر سلامتی در نتیجه قرار گرفتن در معرض ذرات خاک آلوده به فلزات سنگین برای دو گروه سنی کودکان (۶ سال) و بزرگسالان (۳۰ سال) در اطراف شهر زنجان مورد بررسی قرار گرفت. خطر غیرسرطان‌زایی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان به‌دست آمد. خطر ابتلاء به بیماری‌های غیرسرطانی در کودکان با میانگین $0/8$ و در بزرگسالان با میانگین $0/1$ بود. کادمیوم و آرسنیک در میان فلزات سنگین، خطر بیشتری نشان دادند. مسیر پوستی جذب کادمیوم (با میانگین $1/9$) بیش از بلع (با میانگین $0/7$) و تنفس (با میانگین $10-2 \times 6$) بود. در آرسنیک بلع (با میانگین $0/6$) و جذب پوستی (با میانگین $0/4$)، عامل اصلی ابتلاء به بیماری‌های غیرسرطانی بود. در بزرگسالان نیز مشابه نتایج حاصل از کودکان، جذب پوستی ذرات آلوده به کادمیوم با میانگین $0/6$ ، بیشترین تأثیر را در ابتلاء به بیماری‌های غیرسرطانی داشت. این مقدار جذب روزانه از فلزات سنگین در نتیجه بلع و تماس پوستی در بین گروه‌های حساس کودکان و بزرگسالان مانند زنان باردار و بیماران می‌تواند نتایج متفاوتی داشته باشد؛ به‌خصوص در این

فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقل است (۵۰). سرب در خاک به شکل ترکیبات انحلال‌ناپذیر مانند کربنات، سولفات و فسفات حضور دارد. مشابه سرب، از خصوصیات رایج مس، تجمع این عنصر در افق بالایی خاک است. بیشتر کانی‌های موجود در خاک قادر به جذب مس به‌صورت محلول هستند. بیشترین مقدار جذب توسط اکسیدهای آهن و منگنز، هیدروکسیدهای آلومینیوم و کانی‌های رسی صورت می‌گیرد (۴۸). کروم نیز اغلب در خاک‌های حاوی سرپانتین بیشتر بوده و در فاز باقی‌مانده خاک حضور دارد (۴۸). تغییرات مکانی شاخص‌های PERI، mCd و PLI به‌منظور درک بهتر وضعیت آلودگی در اطراف شهر زنجان و همجواری ایستگاه‌های آلوده با مناطق صنعتی نشان داد که به‌سمت مراکز صنعتی، خطر اکولوژیکی بالاتری وجود دارد. این مورد با وجود تأیید نتایج حاصل از سایر شاخص‌ها و شاخص MERMQ ($76/6\%$ نمونه‌ها در رده احتمال اثر سمیت 49%) و اثرات منفی فلزات سنگین روی ارگانیسم‌های بیولوژیکی خاک، وضعیت نامطلوب را نشان می‌دهد. از این حیث این محدوده نیازمند بررسی‌های بیشتری بر روی فلزات سنگین در خاک و آب، ساکنان این محدوده، گیاهان و حیوانات و کل جامعه زیستی دارد. مطابق با این نتیجه، در مطالعه بین و همکاران، رگرسیون خطی بین PERI و MERMQ با نتیجه $R^2 = 0/361$ ، نشان‌دهنده تأثیر مخاطرات اکولوژیکی بر گونه‌های اکولوژیکی بود و در این دیدگاه، حتی اگر ارزیابی‌های ریسک زیست‌محیطی مبتنی بر این شاخص‌ها هیچ اثر نامطلوبی را ارائه نکردند، با این حال اثر منفی روی ارگانیسم‌های بیولوژیکی وجود دارد (۱۴). مشابه همین نتیجه در مطالعه خو و همکاران، تغییرات حساسیت با وجود خطر کم اکولوژیکی بود (۵۴). علاوه بر این در همین مطالعه نتایج حاصل از شاخص‌های mCd و PLI نشان داد که بیش از 80% نمونه‌ها در وضعیت آلودگی بسیار بالا و بالا قرار دارند. در مطالعه رجبی و همکاران، نتایج حاصل از ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشت و مقایسه نمونه‌های مورد مطالعه با نمونه شاهد در خاک سطحی شهرک صنعتی دلیجان و حد مجاز عناصر برای سلامتی انسان و محیط زیست نشان داد که

محدوده که فعالیت‌های صنعتی روزانه مقدار بالایی از آلودگی را در محیط با انباشت باطله‌ها و حمل‌ونقل وارد محیط می‌کند، بنابراین ادامه روند آلودگی ممکن است شرایط ابتلاء به بیماری‌های غیرسرطانی را در بزرگسالان نیز ایجاد نماید. نتایج حاصل از شاخص CR، به‌عنوان شاخص احتمال ابتلاء به بیماری‌های سرطانی در نتیجه تماس با ذرات آلوده خاک، نشان داد که کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر هستند. سرب بیشترین خطر را نشان می‌دهد؛ به‌خصوص بلع ذرات آلوده به سرب در بزرگسالان با میانگین $0/006$ و در کودکان با میانگین $0/01$ در وضعیت نامطلوبی قرار گرفته است. پس از آن کروم در هر دو گروه سنی، خطر بالاتر ابتلاء به بیماری‌های سرطانی می‌باشد و مشابه سرب، بلع ذرات آلوده به کروم در بزرگسالان با میانگین $0/0001$ و کودکان با میانگین $0/0003$ خطر بالاتری دارد. آرسنیک و کادمیوم نیز در وضعیت متوسط احتمال ابتلاء به بیماری‌های سرطانی هستند. سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم در گروه اول ابتلاء به بیماری‌های سرطانی طبقه‌بندی شده توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان هستند. نتایج مطالعات صورت گرفته توسط بقایی و جعفرنیا (۵۶)، نیکفر و همکاران (۵۷)، مقتدری و همکاران (۵۸) و زیرزقی و همکاران (۵۹) در این راستا می‌باشد. کادمیوم، کروم و سرب از جمله فلزات سنگینی هستند که غلظت آن‌ها در خاک‌های سطحی مناطق شهری و صنعتی در حال افزایش است (۶۰). سرب ممکن است باعث رشد سلولی مناسب و پاسخ دقیق به عوامل محیطی شود. همچنین ممکن است باعث تداخل در عمل خودترمیمی رشته‌های DNA در پاسخ به تحریکات محیطی شود. با اتصال یافتن سرب به هیستون‌ها، سیستم ایمنی بدن ضعیف شده و به‌همین دلیل در افرادی که سطح سرب زیاد است، مرگ‌ومیر به‌دلیل سرطان ریه و سایر سرطان‌ها بیشتر است. سرطان مری ۷ برابر بیش از کسانی است که سطح سرب در خون آن‌ها کمتر از ۳۰ میلی‌گرم می‌باشد. تأثیرات سرطان‌زایی کروم هنگام تغییرات یا شکستن جفت‌های DNA با حمله به رادیکال‌های آزاد اکسیژن مشاهده می‌شود (۶۱). قرارگیری در

معرض آرسنیک در درازمدت باعث بروز انواع ضایعات پوستی، فشارخون بالا، سرطان پوست و در نهایت سرطان‌های داخلی می‌گردد. در انسان مقادیر بالای کادمیوم ارتباط نزدیکی با سرطان ریه دارد، همچنین در افرادی که کلیه‌های پیوندی دارند، می‌تواند منجر به مسدود شدن کلیه‌های مریض گردد. کادمیوم ممکن است در انسان و حیوانات باعث به‌وجود آمدن استخوان‌های معیوب (آستئمالاسیا و آستئپروسیا) شود (۶۲).

نتایج حاصل از بررسی آماری و تحلیل منشأ نمونه‌های خاک؛ با استفاده از روش‌های شناسایی منبع PCA، سه فلز سرب، روی و کادمیوم در یک عامل، مس و کروم در یک عامل و آرسنیک به‌صورت جدا از سایر فلزات سنگین قرار گرفت. آنالیز HCA نیز این نتیجه را تأیید کرد. سپس با استفاده از روش PMF، ۳ فاکتور برای فلزات سنگین در نظر گرفته شد که در نهایت مشابه نتایج حاصل از روش‌های PCA و HCA بود. می‌توان نتیجه گرفت که اصلی‌ترین عامل انتشار سرب، روی و کادمیوم، فعالیت‌های صنعتی موجود در محدوده، سپس منشأ زمین‌زاد و پس از آن عوامل انسانی دیگری همچون پراکندگی سرب در نتیجه تتراتیل سرب موجود در بنزین می‌باشد. عامل انتشار مس، آرسنیک و کروم، تأثیر توأمان فعالیت‌های زمین‌زاد و انسان‌زاد می‌باشد. در این راستا، نتایج مطالعه عباس‌زاده و همکاران (۶۳) و سلماسی و پیروان (۶۴) مشابه این نتیجه بود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه غلظت فلزات سنگین خاک در اطراف شهر زنجان با استفاده از شاخص‌های آلودگی، شاخص‌های سلامتی و روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت غیرقابل قبولی از روی، کروم، سرب و آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه وجود دارد. غلظت فلزات در نمونه‌ها از حد استاندارد تعیین شده و سایر مطالعات نیز بالاتر بود. نتایج حاصل از شاخص‌های آلودگی نشان داد که روی، کادمیوم، کروم و مس، به‌خصوص در نواحی نزدیک به محدوده‌های صنعتی اطراف شهر زنجان در وضعیت نامطلوبی قرار گرفته‌اند. رده‌بندی شاخص ضریب میانه

ذرات آلوده به سرب و کروم منجر به ابتلاء به بیماری‌های سرطانی می‌شود. به‌همین منظور کاهش انتشار آلاینده از نواحی صنعتی به محدوده شهری زنجان با بکارگیری تکنولوژی‌های کنترل آلاینده پیشنهاد می‌گردد؛ چراکه منبع اصلی انتشار روی، کادمیوم و کروم فعالیت‌های صنعتی و آرسنیک، مس و کروم فعالیت‌های انسانی و زمین‌زاد در منطقه می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

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

دامنه اثر متوسط وضعیت نامطلوبی را برای میکروارگانیزم‌های محیط زیست نشان داد. از آنجایی که خاک آلوده نواحی صنعتی و باطله‌های حاصل از آن‌ها به‌راحتی توسط باد و وسایل نقلیه در محل انتشار می‌یابند، بنابراین می‌توانند از مسیرهای بلع و جذب پوستی وارد بدن انسان شده و از این نظر سلامت کارکنان، ساکنان به‌خصوص کشاورزان را که بیشتر در معرض خاک آلوده در این نواحی هستند، به‌خطر بیندازند. استفاده از دستکش و ماسک برای کشاورزان این ناحیه توصیه می‌گردد. نتیجه حاصل از بررسی شاخص‌های سلامتی نشان داد که بلع و جذب پوستی ذرات خاک آلوده به کادمیوم و آرسنیک، احتمال ابتلاء به بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی را افزایش می‌دهد. به‌همین منوال، تماس پوستی با

References

- Kumar V, Sharma A, Kaur P, Singh Sidhu GP, Bali AS, Bhardwaj R, Thukral AK, Cerda A. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. *Chemosphere*. 2019; 216: 449-462.
- Baltas H, Sirin M, Gökbayrak E, Ozcelik AE. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*. 2020 Feb 1;241:125015.
- Wang PS, Ding HY, Zhang PY. Shaking table tests and numerical analysis on the seismic response of karst-crossing socketed piles in dry sandy soil foundation. *Int J Design Na Ecodyn*. 2020 Oct;15(5):701-9.
- Xiao X, Zhang J, Wang H, Han X, Ma J, Ma Y, Luan H. Distribution and health risk assessment of potentially toxic elements in soils around coal industrial areas: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 2020 Apr 15;713:135292.
- Sun Z, Xie X, Wang P, Hu Y, Cheng H. Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China. *Science of the Total Environment*. 2018 Oct 15;639:217-27.
- Stefanowicz AM, Kapusta P, Zubek S, Stanek M, Woch MW. Soil organic matter prevails over heavy metal pollution and vegetation as a factor shaping soil microbial communities at historical Zn-Pb mining sites. *Chemosphere*. 2020 Feb 1;240:124922.
- Gune MM, Harshavardhana BG, Ma WL, Balakrishna K, Udayashankar HN, Zhang Z, Li YF. Seasonal variations of heavy metals in the soil around a coal-fired thermal power plant, south-west coast of India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2020 May;104(5):602-8.
- Yan T, Zhao W, Yu X, Li H, Gao Z, Ding M, Yue J. Evaluating heavy metal pollution and potential risk of soil around a coal mining region of Tai'an City, China. *Alexandria Engineering Journal*. 2022 Mar 1;61(3):2156-65.
- Lu J, Lu H, Wang W, Feng S, Lei K. Ecological risk assessment of heavy metal contamination of mining area soil based on land type changes: An information network environ analysis. *Ecological Modelling*. 2021 Sep 1;455:109633.
- Jiang HH, Cai LM, Hu GC, Wen HH, Luo J, Xu HQ, Chen LG. An integrated exploration on health risk assessment quantification of potentially hazardous elements in soils from the perspective of sources. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021 Jan 15;208:111489.
- Oladejo OJ, Odeyale TO, Adiamo BR. Effect of air pollution from pedestrian traffic in an open market: a case study of Bodija market, Nigeria. *Int J Sustain Dev Plan*. 2020 Nov;15(7):1137-44.
- Timofeev I, Kosheleva N, Kasimov N. Health risk assessment based on the contents of potentially toxic elements in urban soils of Darkhan, Mongolia. *Journal of Environmental Management*. 2019 Jul 15;242:279-89.
- Lv J, Liu Y. An integrated approach to identify quantitative sources and hazardous areas of heavy metals in soils. *Science of the Total Environment*. 2019 Jan 1;646:19-28.
- Yan T, Zhao W, Yu X, Li H, Gao Z, Ding M, Yue J. Evaluating heavy metal pollution and potential risk of soil around a coal mining region of Tai'an City, China. *Alexandria Engineering Journal*. 2022 Mar 1;61(3):2156-65.
- Sellami S, Zeghouan O, Dhahri F, Mechi L, Moussaoui Y, Kebabi B. Assessment of heavy metal pollution in urban and PERI-urban soil of Setif city (High Plains, eastern

- Algeria). Environmental Monitoring and Assessment. 2022 Feb;194(2):1-7.
- 16- Fei X, Lou Z, Xiao R, Ren Z, Lv X. Source analysis and source-oriented risk assessment of heavy metal pollution in agricultural soils of different cultivated land qualities. Journal of Cleaner Production. 2022 Mar 20;341:130942.
 17. Tang S, Yang K, Liu F, Peng M, Li K, Yang Z, Liu X, Guo F, Ma H. Overview of heavy metal pollution and health risk assessment of urban soils in Yangtze River Economic Belt, China. Environmental Geochemistry and Health. 2022 Feb 4:1-43.
 18. ABBASZADEH F, JALALI V, JAFARI A. Investigating the source of some heavy metals using cluster and factor analysis techniques in soils of Hormoz Island.
 19. Şimşek A, Özkoç HB, Bakan G. Environmental, ecological and human health risk assessment of heavy metals in sediments at Samsun-Tekkeköy, North of Turkey. Environmental Science and Pollution Research. 2022 Jan;29(2):2009-23.
 20. Sekhavati B, Yousefirad M, Majidifard, M, Selgi A, Malaki Z. Heavy metal contamination of chemical facies of Gachsaran Formation in Gilangharb area, west of Kermanshah. Journal of Environmental Science and Technology. 2022. 10.30495/JEST.2022.48568.4871.(Persian).
 21. Sheikhi Alman Abad Z, Pirkharrati H, Mojarrad M. Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil of Angouran Mineral Processing Complex in Iran. Pollution. 2021 Jan 1;7(1):241-56. (Persian)
 22. Tian L, Ge B, Li Y. Impacts of state-led and bottom-up urbanization on land use change in the PERI-urban areas of Shanghai: Planned growth or uncontrolled sprawl?. Cities. 2017 Feb 1;60:476-86.
 23. Battengel E, Murayama T, Fukushi K, Nishikizawa S, Chonokhuu S, Ochir A, Tsetsgee S, Davaasuren D. Ecological and human health risk assessment of heavy metal pollution in the soil of the ger district in Ulaanbaatar, Mongolia. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020 Jan;17(13):4668.
 24. Chen A, Lin C, Lu W, Wu Y, Ma Y, Li J, Zhu L. Well water contaminated by acidic mine water from the Dabaoshan Mine, South China: chemistry and toxicity. Chemosphere. 2007 Dec 1;70(2):248-55.
 25. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal. 1969;2:108-18.
 26. Abraham GM, Parker RJ. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental monitoring and assessment. 2008 Jan;136(1):227-38.
 27. Tomlinson DL, Wilson JG, Harris CR, Jeffrey DW. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer meeresuntersuchungen. 1980 Mar;33(1):566-75.
 28. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980 Jan 1;14(8):975-1001.
 29. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Superfund Public Health Evaluation Manual (EPA/540/1-86/060) [S]. Washington: Office of Emergency and Remedial Response. 1986. pp 1–52
 30. United States Environmental Protection Agency (US EPA) Risk Assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation Manual Part A, vol.1 (EPA/540/1-89/002) [R]. Washington: Office of Emergency and Remedial Response. 1989. pp 1–100
 31. United States Environmental Protection Agency (US EPA) Electronic Code of Federal Regulations, Title 40-Protection of Environment, Part 423d Steam Electric Power Generating Point Source Category. Appendix A to Part 423e 126, Priority Pollutant. 2013.
 32. Sistani N, Moein M, Taleshi M, Khorasani N, Hamidiyan A, Azemi R. Origin of heavy metal contamination of soils adjacent to Kerman Steel Industries. Journal of Natural Environment. 2016. 70 (3): 627-641. (Persian)
 33. Galangash MM. Zonation of heavy metal distribution of surface sediments in Anzali wetland Using Geographical Information System (GIS). Iranian Journal of Research in Environmental Health. Winter. 2022.7(4):323-33. (persian)
 34. He Z, Shentu J, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stoffella PJ. Heavy metal contamination of soils: sources, indicators and assessment.
 35. Soil resource quality standards and guidelines, Iran. Deputy Minister of Human Environment Water and Soil Office.
 36. Jahantab E, Najmeddin A. investigation of Heavy Metal Contamination and Enrichment (Case Study: Shiraz Industrial Town and surrounding Lands). Journal of Range and Watershed Managment. 2021 May 22;74(1):37-51. (persian)
 37. Li Y, Dong Z, Feng D, Zhang X, Jia Z, Fan Q, Liu K. Study on the risk of soil heavy metal pollution in typical developed cities in eastern China. Scientific reports. 2022 Mar 9.12(1):1-9.
 38. Esmaeili A, Moore F, Keshavarzi B, Jaafarzadeh N, Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. Catena. 2014 Oct 1;121:88-98. (persian).
 39. Ghouma A, Aydi A, Martin JA, Gasmi M. Health risk assessment associated to heavy metal pollution levels in Mediterranean environment soils: a case study in the watershed of Sebkhet Ariana, Tunisia. Arabian Journal of Geosciences. 2022 Apr;15(8):1-5.
 40. Weissmannová HD, Pavlovský J. Indices of soil contamination by heavy metals—methodology of calculation for pollution assessment (minireview). Environmental monitoring and assessment. 2017 Dec;189(12):1-25.

41. Solgi E, Keramaty M. Assessment of Health Risks of urban soils contaminated by heavy metals (Bojnourd city). *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2016 Mar 10;7(4):813-27. (persian).
42. Cai LM, Wang QS, Wen HH, Luo J, Wang S. Heavy metals in agricultural soils from a typical township in Guangdong Province, China: occurrences and spatial distribution. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019. 168, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.092>.
43. Nik Ravesh M, Karimi A, Esfandyarpur E, Fotovat A. Assessment of surface soil pollution with selected heavy metals in Semnan industrial complex and surrounding areas. *Journal of Natural Environment*. 2017 May 22;70(1):211-26. (persian).
44. Rostami Paydar G, Rahnamarad J, and Nazarpour A. Assessment of heavy metal contamination in surface soils of Ahvaz Industrial Town No. 2-southwest of Iran. *Geotechnical Geology*. 2014.10(1), 57-67.
45. Yaylali-Abanuz G. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal*. 2011 Sep 1;99(1):82-92.
46. Zarei I, Hashemi S, Najafi M. Spatial distribution of some heavy metals in two agriculture and rangeland uses (A case study: Shahzand industrial city, Arak). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 2022. Publish online. (Persian).
47. Safari Y. Mapping the overall soil pollution by heavy metals using limitation scores. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2018 Feb 20;6(4):56-70.
48. Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 2001.
49. Alloway BJ, editor. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer Science & Business Media; 2012 Jul 18.
50. Kabata-Pendias A, Sadurski W. Trace elements and compounds in soil. Elements and their compounds in the environment: Occurrence, analysis and biological relevance. 2004 Jan 28:79-99.
51. Maanijou M, Karami M. Study of some heavy metal dispersion in soils around Dashkasan village, Ghorveh, Kurdistan Province, Iran. *Applied Sedimentology*. 2021 Jun 22;9(17). (Persian)
52. Rajabi A, Aliabadi A, Eskandari F, Dehgan S. Study of the distribution of arsenic, zinc, lead and copper in the surface soil of Delijan industrial town. *Journal of Environmental Science And Technology*. 2018. Online publish. (persian).
53. Fazel Valipour ME, Fazalvalipour B, Dabiri R. Geochemical and Environmental Assessment of the Heavy Metals in Robat Sefid Rigion (south of mashhad) Soil. *Journal of environmental geology*. 2018. (Persian).
54. Xu X, Wang T, Sun M, Bai Y, Fu C, Zhang L, Hu X, Hagist S. Management principles for heavy metal contaminated farmland based on ecological risk—A case study in the pilot area of Hunan province, China. *Science of the Total Environment*. 2019 Sep 20;684:537-47.
55. Ghaznfari S, Oraee J. Distribution of Copper Concentration in Soil affected by Meyduk Mining Activities (Shahr-Babak). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2019 Apr 21;21(2):101-10. (Persian).
56. bagaei A, Jafarineia, A. Risk Assessment of Lead and Cadmium on Human Health in Surface Soil around Esfahan Steel Company and Mobarakeh Steel Complex, Iran. *Journal of Health System Research*. 2018 Dec 10;14(4):432-7. (Persian).
57. Nikfar F, Sabzalipour S, Gholami A, Nazarpour A. Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic hazards of heavy metals in surface soils of Bandar Mahshahr industrial zone in 1398. *jehe*. 2021; 8 (3) :245-256. (Persian).
58. Moghtaderi T, Mahmoudi S, Shakeri A, Masihabadi M. Contamination Evaluation, Health and Ecological risk index assessment of Potential Toxic Elements in the surface soils Case Study: Central Part of Bandar Abbas County. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 1970 Jan 1;8(4):51-66. (Persian).
59. Zerizghi T, Guo Q, Tian L, Wei R, Zhao C. 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 Mar 25;814:152653. (Persian).
60. Valinejad F, Arbabi Sabzevari A, Borna R. District 21 of Tehran Municipality soil condition in terms of contamination with some heavy metals. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2021 Dec 13. (Persian).
61. Ghias M. Medical Geography Geographical Health (Case Study: Identification of Soil and Water Contaminated with Heavy Metals and its Relationship with Cancer in Rural Areas of West of Isfahan). *Geography and Environmental Planning*. 2018 Oct 23;29(3):131-46. (Persian).
62. Berg M, Tran HC, Nguyen TC, Pham HV, Schertenleib R, Giger W. Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat. *Environmental science & technology*. 2001 Jul 1;35(13):2621-6.
63. Abbaszadeh F, Jalaili V, Jafari A. Investigating the source of some heavy metals using cluster and factor analysis techniques in soils of Hormoz Island. *Applied Soil Research*. 2018. 6(1): 13-24. (Persian).
64. Salmasi R, Pyrowan H. Soil Pollution to Some Heavy Metals and Their Relation with Soil Properties in Sareskand, East Azarbayjan. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2021 Jun 22;23(4):97-106. (Persian).
65. Moradi Baseri M, Kamani H, Ashrafi D, Bazrafshan E, Kord Mostafapour F. Non-carcinogenic risk assessment of Hg and Cu in streets dusts of Zahedan city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018. 11(3), 391-402 (In

- Persion).
- 66.Kamani H, Hoseini M, Safari GS, Jaafari J, Ashrafi S, and Mahvi A. Concentrations of heavy metals in surface soil of Zahedan City. *Journal of Health*. 2017. 8(2):182-90 (in Persian).
- 67.Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Badalon C, Cesaroni G, and Medina S. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results China. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2013. 120, 377-385.
- 68.Cervantes-Ramírez LT, RamírezLópez M, Mussali-Galante P, OrtizHernández M. L, Sánchez-Salinas E, and Tovar-Sánchez E. Heavy metal biomagnification and genotoxic damage in two trophic levels exposed to mine tailings: a network theory approach. *Revista Chilena de Historia Natural*. 2018. 91(1), 6.