فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۵، زمستان ۹۹

بررسی شدت آلودگی خاک مکان دفن زباله شهری زاهدان به فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک) با استفاده از شاخص بار آلودگی و ریسک اکولوژیکی

فاطمه بزی[1*]

fatemebazzi@yahoo.com

محمدرضا رضایی[2]

محمدحسین صیادی اناری[3]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۴**

چکیده

آلودگی خاک و انباشتگی فلزات سنگین در خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌کند. فلزات سنگین به دلیل سمیت، پایداری و خاصیت تجمع زیستی ازجمله آلودگی‌های جدی و خطرناک محیط‌زیست می‌باشد. این مطالعه باهدف بررسی شدت آلودگی خاک مکان دفن زباله شهری زاهدان واقع در استان سیستان و بلوچستان به فلزات سنگین صورت گرفت.

اندازه‌گیری فلزات در فروردین‌ماه ۱۳۹۵ در ۱۰ ایستگاه مطالعاتی و بر اساس استانداردهای رایج انجام پذیرفت. با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی، تعداد ۲۰ نمونه مرکب خاک سطحی و عمقی جمع‌آوری شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، مقدار کل کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در نمونه‌های خاک توسط اسید نیتریک عصاره‌گیری و برای تجزیه‌وتحلیل از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک‌طرفه در نمونه‌برداری‌های انجام‌شده در خاک سطحی و عمقی برای این عناصر مبین وجود اختلاف معنی دار در ایستگاه‌های مختلف بوده است. نتایج حاصل از بررسی شاخص بار آلودگی نشان داد خاک مکان دفن زباله زاهدان با مقادیر PLI کمتر از ۲ از بار آلودگی کمی برخوردار است و بیشترین بار آلودگی در خاک سطحی و عمقی به ترتیب مربوط به ایستگاه ۲ و ۱ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد فلزات سنگین کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک با میزان ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر در خاک سطحی و عمقی به ترتیب ۲۰۳/۸۵۵ و ۲۳۶/۹۳ در رده ریسک اکولوژیکی آلودگی متوسط قرارگرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، شاخص بار آلودگی، ریسک اکولوژیکی، زباله، زاهدان.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط‌زیست- آلودگی محیط‌زیست. دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست. دانشگاه بیرجند. بیرجند. ایران* (مسئول مکاتبات).

۲- دانشیار گروه محیط‌زیست. دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست. دانشگاه بیرجند. بیرجند. ایران. صندوق پستی ۳۳۱.

۳- دانشیار گروه محیط‌زیست. دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست. دانشگاه بیرجند. بیرجند. ایران.

Human and Environment, No. 55, Winter 2020

Survey of Soil Pollution of Zahedan City Landfill by Heavy Metals (Chromium, Cadmium, Lead and Arsenic) Using Pollution Load Index and Ecological Risk

Fatemeh Bazzi [1*]

fatemebazzi@yahoo.com

Mohammad Reza Rezaei[2]

Mohammad Hossein Sayadi Anari[3]

Abstract

Soil pollution and accumulation of heavy metals in soil are one of the most important environmental issues that threaded the life of plants, animals and humans. Heavy metals due to their toxicity, stability and bioaccumulation are the serious environmental pollutions. This study aimed to evaluate heavy metals pollution of landfill soil of Zahedan city in Sistan and Baluchestan province.

Measurement of heavy metals performed in April 2016 at 10 sites based on common standards, by using of random sampling method. 20 composite samples were collected from surface and depth of the soil. After sample preparation, total amount of Chromium, Cadmium, Lead and Arsenic in the soil samples were extracted by nitric acid and for statistical analysis used the SPSS software version 23.

The results of ANOVA on samples of the surface and depth of the soil for these elements have been suggested that there is a significant difference at different stations. The results of PLI study showed that the soil of landfill of Zahedan with PLI value less than 2, has low pollution and the highest pollution in surface and depth of the soil is respectively related to station 2 and 1. The results also showed that heavy metals, Chromium, Cadmium, Lead and Arsenic in surface and depth of the soil with Ecological Risk 203.855 and 236.93 respectively which is located in the category of moderate contamination of Ecological Risk.

Key words: Heavy Metals, Pollution Load Index, Ecological Risk, Solid Waste, Zahedan

1- Natural Resources Engineering Graduate, Environmental Pollution of the Environment. Faculty of Natural Resources and Environment. University of Birjand. Birjand, Iran *(Corresponding Author)

2- Department of Environment. Faculty of Natural Resources and Environment. University of Birjand. Birjand, Iran 331 mailbox

3- Department of Environment. Faculty of Natural Resources and Environment. University of Birjand. Birjand, Iran

مقدمه

به‌طورکلی آلاینده‌های خاک را می‌توان به ۲ گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل سموم متفاوت است که بیشتر جهت مصارف کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد. دومین و مهم‌ترین گروه آلاینده‌های صنعتی هستند که شامل فلزات سنگین نظیر سرب، کادمیوم، نیکل و روی می‌باشند. بعضاً وجود چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد (۱). آلودگی فلزات سنگین نه‌تنها به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان با ورود به زنجیره غذایی و همچنین امنیت زیست‌محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند. به‌طورکلی منشأ فلزات سنگین خاک شامل منابع طبیعی (هوازدگی مواد مادری) و ورودی‌های انسانی (صنایع فلزی و معدنی، اگزوز وسایل نقلیه، عملیات کشاورزی و غیره) می‌باشد (۲).

دفع زباله‌های شهری و صنعتی، گازهای خروجی خودرو، فعالیت‌های معادن و شیوه‌های کشاورزی منجر به تجمع فلزات در خاک می‌شود (۳).

قرار گرفتن در معرض سرب، کادمیوم و آرسنیک تهدید اصلی برای سلامت انسان می‌باشد (۴).

کروم عنصری فلزی سخت، براق به رنگ خاکستری – نقره‌ای است که بسیار جلا پذیر است. این عنصر در سال ۱۷۹۸ میلادی کشف گردید. کروم عنصری است که به‌طور طبیعی در محیط‌زیست دیده می‌شود (۵).

کادمیوم ازجمله فلزات بسیار سمی است که از طریق فاضلاب صنایع آبکاری فلزی، کودهای فسفاته، حفر معادن، رنگ‌ها و تثبیت‌کننده‌ها به محیط وارد می‌گردد. ازآنجایی‌که مسمومیت کادمیوم اثر شدیدی بر سلامت انسان دارد، توزیع و کنترل آن در محیط بسیار مهم می‌باشد (۶).

نیمی از مصرف جهانی سرب در صنایع اتومبیل‌سازی و بنزین است. همچنین در ساخت آلیاژهای مختلف، رنگ‌سازی، بلورسازی، صنایع کوزه‌گری، سرامیک و کاشی، ساخت حشره‌کش‌ها و انواع پلاستیک‌ها نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد و درنتیجه به طرق مختلف می‌تواند به محیط راه یابد. غالباً تجمع سرب در دریا و انواع آب‌های شیرین کم است درنتیجه سرب یک عنصر تهدیدآمیز برای منابع شیلات محسوب نمی گردد (۷ و ۸).

آرسنیک شبه‌فلز سمی معروفی است که به سه شکل زرد، سیاه و خاکستری یافت می‌شود. آرسنیک و ترکیبات آن به‌عنوان آفت‌کش (علف‌کش، حشره‌کش و آلیاژهای مختلف) مورداستفاده قرار می‌گیرند. آرسنیک ازنظر شیمیایی شبیه فسفر است تا حدی که می‌تواند در واکنش‌های بیوشیمیایی جایگزین آن شود. وقتی به آن حرارت داده می‌شود، به‌صورت اکسید آرسنیک درمی‌آید که بوی آن مانند سیر است. آرسنیک و ترکیبات آن هم‌چنین می‌توانند براثر حرارت به گاز تبدیل شوند. این عنصر به دو صورت جامد (زرد و خاکستری فلز مانند) وجود دارد (۹).

هدف این تحقیق عبارت است از: مقایسه غلظت فلزات سنگین کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در خاک سطحی و عمقی مکان دفن زباله شهر زاهدان با استفاده از شاخص بار آلودگی و به دست آوردن ریسک اکولوژیکی.

روش بررسی

منطقه‌ی موردمطالعه

شهر زاهدان در استان سیستان و بلوچستان با جمعیت ۵۶۰۷۲۵ نفر و تعداد خانوار ۱۳۱۰۰۲ واقع می‌باشد. مساحت شهر زاهدان ۵۸۶۴ کیلومترمربع و در موقعیت جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض شمالی قرارگرفته است و ارتفاع شهر از سطح دریا ۱۳۷۸ متر است. شهر زاهدان با وسعتی حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومترمربع دارای ۴ بخش مرکزی، نصرت‌آباد و میرجاوه می‌باشد. این شهرستان از شمال به شهرستان زابل، از شمال شرقی به کشور افغانستان، از شمال غرب به شهر کرمان، از شرق به پاکستان و از جنوب به شهرستان خاش محدود می‌شود (شکل ۱- الف).

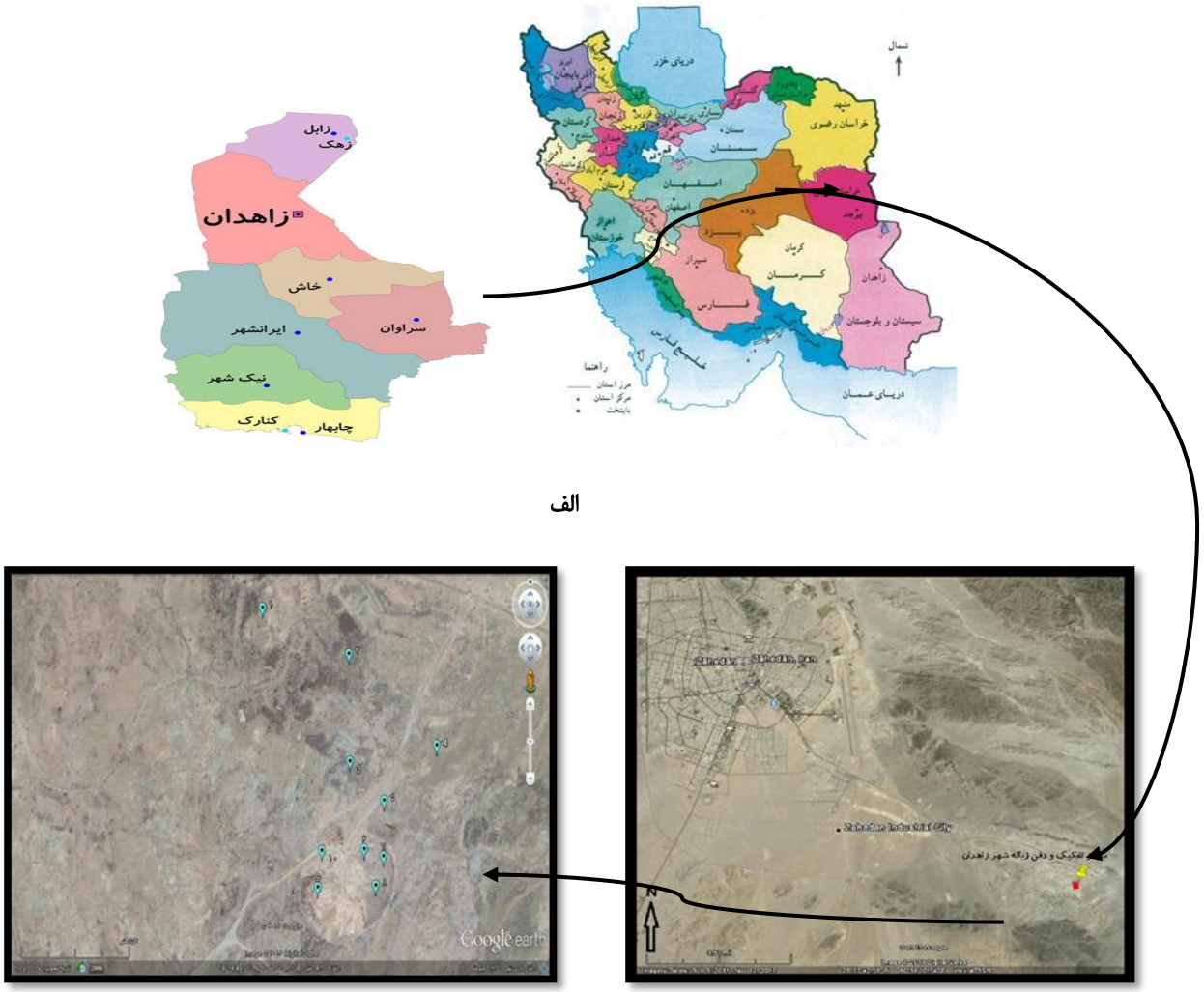
مکان دفن زباله زاهدان در کیلومتر ۱۳ جاده میر جاوه در موقعیت جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۱ دقیقه و ۱۴ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۱ ثانیه عرض شمالی قرارگرفته است (شکل ۱-ب). روزانه ۲۵۰ الی ۳۵۰ تن زباله در زاهدان تولید و سرانه زباله شهر به ازای هر نفر به‌طور متوسط ۵۵۰ گرم در روز است که در مناطق مختلف از ۴۵۰ تا ۷۵۰ گرم می‌رسد (۱۰).

تعیین ایستگاه نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور انجام پژوهش به محل دفن زباله زاهدان مراجعه کرده و ابتدا از طریق مشاهده به بررسی وضعیت کنونی محل دفن زباله پرداخته و سپس بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ابتدا تعداد ۱۰ ایستگاه برداشت نمونه مشخص گردید. سپس یک نمونه سطحی (تا عمق ۳۰ سانتیمتری از سطح زمین) و یک نمونه عمقی (عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری از سطح زمین) از هر ایستگاه برداشت گردید (شکل ۱-ج). پس از انجام نمونه‌برداری، نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای هضم، ابتدا نمونه‌های خاک به‌منظور خشک شدن به درون آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها از هرکدام یک گرم خاک کوبیده شده و الک شده برداشته و در ارلن‌های ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس ۱۶ میلی‌لیتر اسید (ترکیب ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۱۲ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۳۷ درصد) به هریک از ارلن‌ها افزوده شد. ارلن‌ها به مدت ۶ تا ۷ ساعت در حمام شن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند تا هضم اسیدی صورت گرفته و محلولی شیری‌رنگ به دست آید. بعد از زمان لازم به هریک از ارلن‌ها ۴ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰ تا ۷۲ درصد افزوده گردید. بعد از تبخیر ۳ میلی‌لیتر اسید (به‌طوری‌که ۱ میلی‌لیتر محلول باقی بماند) نمونه‌ها از روی حمام شن برداشته‌شده و با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد (۱۱) و با استفاده از قیف پلاستیکی و کاغذ صافی واتمن صاف گردیدند.

در این پژوهش غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، کادمیوم و آرسنیک از دستگاه جذب اتمی ContrAA700 ساخت شرکت آنالیتیک جنا[1] اندازه‌گیری و برای تجزیه‌وتحلیل نتایج حاصله از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. همچنین آماره‌های توصیفی (میانگین، میانه، انحراف معیار، حداکثر، حداقل، چولگی و کشیدگی) برای فلزات سنگین در منطقه موردمطالعه محاسبه شد.

1-Analytik Jena



الف

ب

ج

شکل ۱- الف: موقعیت جغرافیایی زاهدان، ب: مکان دفن زباله زاهدان ج: ایستگاه‌های نمونه‌برداری

یافته‌ها

عناصر کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک توسط دستگاه جذب اتمی ContrAA700 آنالیز گردید. نتایج آزمون کولموگروف – اسمیرنوف مطابق جدول (۱) نشان داد که غلظت فلزات کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در منطقه از توزیع نرمال برخوردار است. نتایج آماری آنالیز این فلزات شامل میزان میانگین، میانه، ضریب چولگی و کشیدگی، حداقل، حداکثر، انحراف معیار در جدول (۲) خلاصه گردیده است.

جدول ۱- توزیع غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه مورد آزمون (کولموگروف – اسمیرنوف)

پارامترها	کروم سطحی	کروم عمقی	سرب سطحی	سرب عمقی	کادمیوم سطحی	کادمیوم عمقی	آرسنیک سطحی	آرسنیک عمقی
کولموگروف – اسمیرنوف	۰/۹۰۱	۰/۸۱۲	۰/۴۱۶	۰/۹۸۸	۰/۲۹۸	۰/۳۹۸	۰/۲۹۴	۰/۹۳۷
میزان p-value در آزمون tیک نمونه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۲- نتایج آماری آنالیز نمونه‌های خاک

فاکتورهای خاک		میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ماکزیمم	مینیمم
کروم (mg/kg)	سطحی	۱۵۲/۴۸	۱۴۶/۹۰	۲۴/۵۲	۰/۶۴۵	-۰/۸۴۳	۱۹۵/۱۰۰	۱۲۲/۷۵۰
	عمقی	۱۷۷/۱۴	۱۸۵/۷۷	۳۰/۹۳	-۰/۲۰۰	-۱/۶۸۳	۲۱۹/۸۰۰	۱۳۳/۵۰۰
کادمیوم (mg/kg)	سطحی	۰/۲۱۳	۰/۲۱۵	۰/۱۵۸	۰/۲۱۲	-۱/۲۵۶	۰/۴۷۸	۰/۰۱۰
	عمقی	۰/۲۵۲	۰/۲۲۳	۰/۲۵۹	۱/۳۷۵	۲/۳۵۹	۰/۸۵	۰/۰۰۹
سرب (mg/kg)	سطحی	۵۴/۴۹۹	۳۷/۷۷۲	۴۶/۴۸۸	۰/۹۳۲	-۰/۴۳۹	۱۴۱/۳۵۰	۶/۶۵۰
	عمقی	۴۹/۳۶۵	۴۲/۷۱۲	۳۳/۰۱۶	۰/۲۱۳	-۱/۵۱۱	۹۶/۸۰۰	۸/۱۴۵
آرسنیک (mg/kg)	سطحی	۰/۳۴۴	۰/۳۱۷	۰/۱۱۸	۲/۳۹۵	۶/۵۶۰	۰/۶۵۹	۰/۲۴۳
	عمقی	۰/۴۱۴	۰/۴۱۲	۰/۰۹۴	۰/۱۷۲	-۱/۰۳۲	۰/۵۵۶	۰/۲۷۱

نتایج حاصل از همبستگی عناصر کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در جدول (۳) خلاصه گردیده است که با استفاده از روابط همبستگی در SPSS، همبستگی بین عناصر به دست آمد.

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی میان فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی منطقه موردمطالعه

	کروم سطحی	کروم عمقی	کادمیوم سطحی	کادمیوم عمقی	سرب سطحی	سرب عمقی	آرسنیک سطحی	آرسنیک عمقی
کروم سطحی	۱							
کروم عمقی	۰/۵۲۳	۱						
کادمیوم سطحی	۰/۰۳۶	۰/۰۸۰	۱					
کادمیوم عمقی	۰/۴۵۲	۰/۵۴۳	۰/۱۳۰	۱				
سرب سطحی	۰/۲۲۲	۰/۳۹۲	۰/۵۵۷	۰/۲۴۱	۱			
سرب عمقی	۰/۰۳۱	۰/۴۲۹	۰/۶۸۴*	۰/۱۲۵	۰/۸۲۴**	۱		
آرسنیک سطحی	۰/۱۵۸	-۰/۴۷۹	-۰/۵۷۰	-۰/۲۶۳	-۰/۵۲۰	-۰/۵۹۰	۱	
آرسنیک عمقی	-۰/۳۷۸	۰/۰۲۵	-۰/۱۶۱	-۰/۲۴۱	-۰/۰۲۲	-۰/۱۴۰	-۰/۳۴۰	۱

*P<۰/۰۵

**P<۰/۰۱

طبق جدول (۳) سرب سطحی و سرب عمقی همبستگی قوی در سطح ۹۹ درصد دارند که این همبستگی قوی نشان‌دهنده منبع آلایندگی مشترک بین این فلزات در سطح خاک می‌باشد و هم‌چنین سرب عمقی و کادمیوم سطحی نیز در سطح ۹۵ درصد همبستگی قوی دارند ولی برای بقیه فلزات تفاوت معناداری وجود ندارد.

شاخص بار آلودگی (PLI)[1]

به‌منظور ارزیابی شدت آلودگی، شاخص بار آلودگی برای شناخت اثرات آلودگی کل ناشی از فلزات مختلف محاسبه می‌شود (۱۲). مزیتی که شاخص بار آلودگی نسبت به شاخص-های دیگر دارد در این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که موردمطالعه قرار می‌گیرد، در منطقه مشخص می‌شود. بر اساس این شاخص مقادیر استانداردشده کیفیت خاک طبق جدول (۴) در ۵ کلاس طبقه‌بندی می‌شود (۱۳). شاخص بار آلودگی با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌شود (۱۴).

جدول ۴- مقادیر استانداردشده شاخص بار آلودگی

کلاس	شاخص جامع آلودگی	سطح آلودگی
کلاس ۱	p≤۰/۷	عالی
کلاس ۲	۰/۷<p≤۱	پاک
کلاس ۳	۱<p≤۲	آلودگی کم
کلاس ۴	۲<p≤۳	آلودگی متوسط
کلاس ۵	p>۳	آلودگی زیاد

معادله ۱:

$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \times CF2 \times \ldots \times CFn}$$

PLI: مقدار به‌دست‌آمده شاخص بار آلودگی برای هر نمونه

CF: فاکتور آلودگی

ریسک اکولوژیکی[2]

برای به دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از فرمول زیر استفاده گردید:

معادله ۲:

$$Er = Tr \times CF$$

معادله ۳:

$$RI = \sum_{i=1}^{m} Er$$

CF: فاکتور آلودگی

Er: ریسک اکولوژیکی عنصر

Tr: فاکتور سمیت فلزات سنگین

RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر

هاکانسون میزان Tr را فاکتور سمیت فلزات نامید و به ترتیب مقادیر ۱۰۰، ۳۰، ۵ و ۱۰ را برای فلزات سنگین کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک ارائه داده است (۱۵). جدول (۵) رده‌بندی RI را نشان می‌دهد.

جدول ۵- طبقه‌بندی مقادیر ریسک اکولوژیکی

ریسک اکولوژیکی	رده ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر
RI<۱۵۰	کم
۱۵۰≤RI<۳۰۰	متوسط
۳۰۰≤RI<۶۰۰	قابل‌توجه
RI≥۶۰۰	خیلی زیاد

بحث و نتیجه‌گیری

در جداول (۶) و (۷) شدت آلودگی خاک بر اساس دو شاخص بار آلودگی و ریسک اکولوژیکی آورده شده است. جدول (۶) نتایج حاصل از بررسی شاخص بار آلودگی را نشان می‌دهد. مقادیر استانداردشده این شاخص در جدول (۴) بیان گردیده است. بنا بر نتایج حاصله همه نمونه‌ها مقادیر PLI کمتر از ۲ را داشته درنتیجه خاک مکان دفن زباله زاهدان از بار آلودگی کمی برخوردار است و هم‌چنین بیشترین بار آلودگی در خاک سطحی و عمقی به ترتیب مربوط به ایستگاه ۲ و ۱ می‌باشد.

1-Pollution Load Index
2-Ecological Risk

جدول ۶- مقادیر شاخص PLI در خاک سایت دفن زباله شهر زاهدان

ایستگاه	خاک سطحی	خاک عمقی
۱	۱/۰۵۸	۱/۶۱۹
۲	۱/۶۸۴	۱/۳۰۱
۳	۰/۷۵۴	۰/۸۵۴
۴	۰/۵۲۶	۰/۵۴۳
۵	۰/۳۴۹	۰/۲۹۹
۶	۰/۹۹	۱/۱۸۹
۷	۰/۳۸	۰/۴۵۷
۸	۱/۲۳۹	۱/۲۵۹
۹	۰/۹۹۲	۱/۴۵۵
۱۰	۱/۰۵۹	۱/۳۱۷
میانگین	۰/۹۰۳	۱/۰۲۹

با استفاده از جدول (۷) می‌توان بیان نمود کلیه فلزات موردمطالعه در رده ریسک اکولوژیکی آلودگی متوسط قرار دارند. با توجه به محاسبات جدول ۵، میانگین ریسک اکولوژیکی فلزات کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در خاک سطحی ۱۵۲/۴، ۲۷/۷۵، ۲۱/۷۹۵ و ۱/۹۱ می‌باشد درنتیجه بیشترین ریسک اکولوژیکی در خاک سطحی مربوط به فلز کادمیوم می‌باشد. مجموع ریسک اکولوژیکی این فلزات ۲۰۳/۸۵۵ می‌باشد و در کلاس آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

میانگین ریسک اکولوژیکی فلزات کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در خاک عمقی به ترتیب ۱۷۷/۱، ۳۷/۸، ۱۹/۷۴ و ۲/۲۹ می‌باشد. درنتیجه بیشترین ریسک اکولوژیکی در خاک عمقی مربوط به فلز کروم می‌باشد. مجموع ریسک اکولوژیکی فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک در خاک عمقی ۲۳۶/۹۳ می‌باشد که در کلاس آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

نتایج نشان می‌دهد فلزات سنگین کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک با ریسک اکولوژیکی متوسط خطرهای بهداشتی دارند و می‌توانند باگذشت زمان و عدم کنترل بهداشتی دفن زباله، خطرات بهداشتی و سلامتی جدی ایجاد کنند.

جدول ۷- ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین موردمطالعه در خاک سطحی و عمقی

میانگین ریسک اکولوژیکی					ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر	رده ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر
نوع خاک	کروم	کادمیوم	سرب	آرسنیک		
خاک سطحی	۱۵۲/۴	۲۷/۷۵	۲۱/۷۹۵	۱/۹۱	۲۰۳/۸۵۵	آلودگی متوسط
خاک عمقی	۱۷۷/۱	۳۷/۸	۱۹/۷۴	۲/۲۹	۲۳۶/۹۳	آلودگی متوسط

باوجود اهمیت فلزات سنگین، در بسیاری از کشورهای جهان و ایران، تحقیقاتی که بتواند وضعیت فلزات سنگین در خاک را نشان دهد بسیار انجام‌شده است:

ناظمی و خسروی (۱۳۹۰)، بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری را انجام دادند. مقادیر میانگین غلظت سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک و روی در نمونه خاک به ترتیب: ۸۱/۱۲، ۱۴/۴۳، ۱۳۴/۳۲، ۱۹/۰۸ و ۴۳۵

میکروگرم به ازای هر گرم نمونه خاک بود. مقایسه میانگین غلظت مقادیر فلزات سنگین موجود در خاک با مقادیر استاندارد اختلاف معناداری را نشان می‌دهد به‌جز روی که اختلاف معناداری با مقادیر استاندارد نداشت (۱۶).

عظیم زاده و خادمی (۱۳۹۲)، تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران را موردمطالعه قراردادند. بدین منظور ۲۵۶ نمونه مرکب از عمق ۱۰ سانتیمتری خاک سطحی بر اساس روش نظام‌مند آشیانه‌ای برداشته شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و هضم استفاده از نمونه‌های خاک عرصه‌های طبیعی غلظت طبیعی مس، روی، نیکل، سرب و کادمیوم به ترتیب ۲۸/۳، ۴۰/۲، ۴۵/۷، ۳۴/۲ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. با استفاده از این میزان نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه‌های زمین‌شناختی و موقعیت شهرها مشخص گردید که غلظت سرب، روی و مس تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و کادمیوم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. همچنین با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند (۱۷).

لوسکا و همکاران (۲۰۰۴)[1] به‌منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک مزارعی واقع در جنوب لهستان که تحت تأثیر آلودگی ناشی از برخی صنایع، قرارگرفته بودند با استفاده از سه شاخص مولر، غنی شدن و درجه آلودگی، میزان ورودی‌های انسانی را ارزیابی و محاسبه کردند. نتایج مطالعه نشان داد که رسوبات نسبت به کادمیوم و سرب در کلاس آلودگی ۳ دارای آلودگی قابل‌ملاحظه و نسبت به مس، جیوه، نیکل و روی کلاس آلودگی صفر (غیر آلوده) بوده‌اند (۱۸).

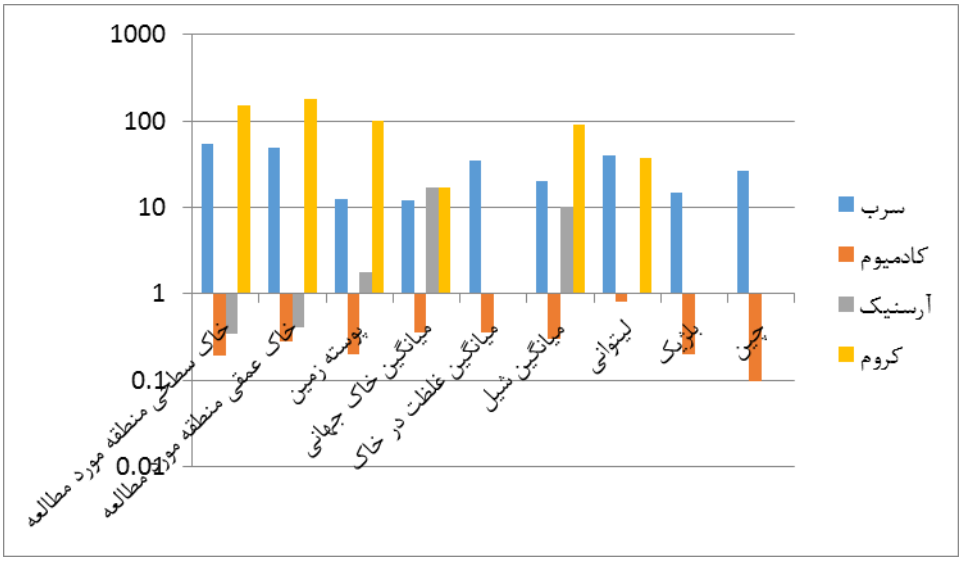
با انجام آزمایشات و تجزیه‌وتحلیل آماری می‌توان نتیجه گرفت که در خاک محل دفن زاهدان آلودگی فلزات سنگین ناشی از زباله‌های شهری وجود دارد. در جدول (۸) غلظت مرجع عناصر در طبیعت آورده شده است. با توجه به این جدول و شکل (۲) مقایسه غلظت فلزات موردبررسی با میانگین خاک جهانی و پوسته زمین مشاهده می‌گردد که غلظت فلزات کروم، کادمیوم و آرسنیک در خاک سطحی و عمقی از میانگین خاک جهانی و پوسته زمین به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده است و درنتیجه وضعیت این عناصر، خطرناک و نگران‌کننده می‌باشد. مقدار این فلزات در مقایسه با سایر مطالعات انجام‌شده نیز بیشتر می‌باشد. فراوانی کادمیوم در خاک عمقی این منطقه در مقایسه با پوسته زمین بیشتر می‌باشد که بیانگر ورود این فلز براثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. یکی از منابع انسانی در این زمینه می‌تواند مکان دفن زباله باشد که سبب افزایش غلظت کادمیوم در خاک شده است. فراوانی سرب در خاک این منطقه در مقایسه با پوسته زمین بیشتر می‌باشد که بیانگر ورود این فلز براثر فعالیت‌های انسانی و وجود مکان دفن زباله می‌باشد که سبب افزایش غلظت سرب می‌گردد. فراوانی فلز کروم در خاک این منطقه در مقایسه با پوسته زمین نیز بیشتر می‌باشد. ولی فراوانی فلز آرسنیک در خاک این منطقه در مقایسه با پوسته زمین کمتر می‌باشد.

1- Loska

جدول ۸- غلظت متوسط فلزات سنگین در خاک مکان دفن زباله، سایر نقاط جهان، استاندارد خاک جهانی و پوسته زمین (mg/kg)

میانگین عناصر		سرب (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	آرسنیک (mg/kg)	کروم (mg/kg)	منبع
مطالعه حاضر	خاک سطحی	۵۴/۴۹۹	۰/۱۹۴	۰/۳۴۴	۱۵۲/۴۸	-
	خاک عمقی	۴۹/۳۶۵	۰/۲۸۱	۰/۴۱۴	۱۷۷/۱۴	
پوسته زمین		۱۲/۵	۰/۲	۱/۸	۱۰۰	کروسکپف[1]، ۱۹۷۹ ودپول[2]، ۱۹۹۵
میانگین خاک جهانی		۱۲	۰/۳۵	۱۷	۱۷	بوون[3]، ۱۹۷۹
میانگین غلظت در خاک		۳۵	۰/۳۵	-	-	مارتین و ویتفیلد[4]، ۱۹۸۳
میانگین شیل		۲۰	۰/۳	۱۰	۹۰	تورکیان و ودفول[5]، ۱۹۶۱، مر و شرفی، ۱۳۸۰
لیتوانی*		۴۰	۰/۸	-	۳۷	کارلون[6]، ۲۰۰۷
بلژیک		۱۵	۰/۲	-	-	کارلون، ۲۰۰۷
چین		۲۶	۰/۰۹۷	-	-	چن[7] و همکاران، ۱۹۹۱

* خاک‌های لوم و رسی



شکل ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک مکان دفن زباله، سایر نقاط جهان، استاندارد خاک جهانی و پوسته زمین (mg/kg)

1-Krauskopf
2-Wedepohl
3-Bowen
4-Martin & Whitfield
5-Turkian & Wedepohl
6-Carlon
7-Chen

منابع

1- Sayadi, M. H. Rezaei, A., M.R.G. Sayyed. 2017. Grain size fraction of heavy metals in soil and their relationship with land use. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 7(1): 1-11.

2- Sayadi, M. H., Rezaei, M. R., Rezaei, A. 2015. Sediment toxicity and ecological risk of trace metals from streams surrounding a municipal solid waste landfill. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 94(5), 559-563.

3- Ghaleno, O. R., Sayadi, M. H., Rezaei, M. R. 2015. Potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments of water reservoir case study: Chah Nimeh of Sistan. Proc Int Acad Ecol Environ Sci, 5(4), 89-96.

4- Jarup L. 2003Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin. 68(1):167-82.

5- Dietz, a., Todo. t., Ramrath, h., Urban, t., Ahrens, W., Bechre, h. (2004). Exposure to cement dust, rehated occupational groups and laryngeal cancer risk: results of appulational based case-control study. International journal of cement in dustry. Iranian chemical Engineering. 4:50-53.

۶- مهدوی، ع.، امید، م. ح.، گنجعلی، م. ر.، ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی جذب و انتقال کادمیوم در حضور بار بستر. مجله محیط‌شناسی، ۴۸: ۱۲-۱.

۷- معلم، ف.، ۱۳۷۷. آشنایی با بعضی از فلزات سنگین. فصلنامه علمی محیط‌زیست، جلد ۱۰، ۲: ۴۷-۴۰.

۸- اللهوردیزاده شیخلو، م.، ۱۳۷۶. بررسی آلاینده‌های معدنی در چهار گونه از کپور ماهیان تالاب انزلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران. ص ۵۲-۲۴.

۹- دهقانی، ر.، ۱۳۸۹. سم‌شناسی محیط. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، ۲۱۸ صفحه.

۱۰- جلیلوند ر.، ح. ر. سلوکی و ن. حافظی مقدس. ۱۳۹۲. ارزیابی تناسب مکان دفن زباله با استفاده از اندیکس اولکنو (مطالعه موردی: شهر زاهدان)، همایش ملی برنامه‌ریزی حفاظت، حمایت از محیط‌زیست و توسعه پایدار، همدان.

11- Ebrahimpour, E., and Mushrifah, I. 2008. Heavy metal concentration (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. Environmental Geology. 54: 689-698. 2003; 68(1):167-82.

۱۲- سلیمی، س.، منوری، س. م.، ۱۳۹۱. بررسی وضعیت آلودگی خاک در محل دفن زباله شهر اصفهان، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز، شیراز.

13- Bhuiyana, M. A. H., Parvez, L. Islam, M. A., Dampare, S. B. and Suzukia, S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, Journal of Hazardous Materials, 173:384-392.

14- Thomilson, D. C., Wilson, D. J., Harris, C. R. and Jeffrey, D. W. 1980. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. Helgol Wiss Meeresunlter, 33, 1-4, 566-575.

15- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research, Vol. 14. Sweden, pp.975-1001.

۱۶- ناظمی، س.، خسروی، ا.، ۱۳۹۰. بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک، آب و گیاه اراضی سبزیکاری. فصلنامه دانش و تندرستی، دوره ۵، شماره ۴.

۱۷- عظیم زاده، ب.، خادمی، ح.، ۱۳۹۲. تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد- شهریور، صفحات ۵۴۸-۵۵۹.

18- Loska, K., Wiechulab, D and Korus, I. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry Environment International 30: 159-165.