

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره نه، آذرماه ۱۴۰۲ (۹۷-۱۰۹)

## بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، کروم، روی، نیکل) در خاک محل دفن زباله شهری سرایان با استفاده از شاخص های آلودگی

مهدی کارگر<sup>۱\*</sup>

[m.kargar62@yahoo.com](mailto:m.kargar62@yahoo.com)

قاسم ذوالفقاری<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** نحوه تولید زباله های شهری در اکثر مناطق شهری در ایران نگران کننده است. افزایش تراکم جمعیت، صنعتی شدن و میزان زباله های تولید شده، از اهمیت زیادی برخوردار است. ورود فلزات سنگین از طریق زباله های شهری به اکوسیستم های طبیعی، به ویژه خاک ها یکی از مهمترین نگرانی های زیست محیطی است. هدف از این تحقیق، تعیین غلظت برخی از فلزات سنگین (سرب، کروم، روی، نیکل) در خاک محل دفن زباله شهری سرایان می باشد.

**روش بررسی:** بدین منظور ۲۰ نمونه خاک از محل دفن زباله شهری در سال ۱۳۹۶ جمع آوری گردید و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی Contraa 700 آنالیز شد. سپس داده ها با تکنیک های آماری و نرم افزارهای Excel و IBM SPSS statistics نسخه ۲۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت تعیین میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه، از شاخص های فاکتور آلودگی (CF) و زمین انباشتگی (I<sub>geo</sub>) استفاده گردید.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فاکتور آلودگی مربوط کروم سطحی و کمترین آن مربوط به سرب سطحی است و میزان شاخص زمین انباشتگی (I<sub>geo</sub>) برای فلز کروم بین ۱ تا ۳ به دست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به بررسی های انجام شده فلز کروم در طبقات کمی آلوده و خیلی آلوده و سایر نمونه های جمع آوری شده فلزات در کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده قرار گرفته اند.

**واژه های کلیدی:** فلزات سنگین، محل دفن زباله، آلودگی خاک، شاخص های آلودگی.

۱- کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

## **Investigating the concentration of heavy metals (lead, chromium, zinc, nickel) in the municipal solid waste landfill of Sarayan using pollution indices**

**Mahdi Kargar**<sup>1\*</sup>

[m.kargar62@yahoo.com](mailto:m.kargar62@yahoo.com)

**Ghasem Zolfaghari**<sup>2</sup>

Admission Date: March 13, 2019

Date Received: October 11, 2018

### **Abstract**

**Background and Objective:** Ways to produced urban wastes is concern in most urban areas of Iran. Increasing population density, industrialization and the amount of waste produced are of great importance. The introduction of heavy metals through urban wastewater into natural ecosystems, especially soils, is one of the most important environmental concerns. The purpose of this study is to investigate the concentration of some heavy metals (lead, chromium, zinc, nickel) in the soil of landfill site of Sarayan.

**Material and Methodology:** For this purpose, 20 soil samples were collected from urban landfills and analyzed in a laboratory using Contraa 700 atomic absorption spectrophotometer and then analyzed by statistical techniques and Excel and IBM SPSS statistical software version 25.

**Finding:** To determine the contamination of the studied area, contamination factors (CF) and land accumulation (Igeo) were used and the results showed that the highest amount of contamination was related to surface-level chromium and the lowest was related to surface water and the amount of earthquake index Igeo) was found for chromium metal between 1 and 3.

**Discussion and Conclusion:** According to the study, the chromium metal in the slightly infected and highly infected classes and other samples collected in non-infected classes of metals were slightly contaminated.

**Keywords:** heavy metals, landfill, soil pollution, pollution indicator.

---

1- Master of Environmental Sciences and Engineering, Department of Environmental Sciences and Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran \*(*Corresponding Author*)

2- Associate Professor of Environmental Sciences and Engineering, Department of Environmental Sciences and Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

## مقدمه

در طبیعت تجزیه نمی شوند. امروزه کاملاً ثابت شده است که آلودگی خاک با عناصری مانند نیکل، سرب، روی و مس مایه نابودی خاک و گیاهان اطراف محل دفن زباله شهری می-گردد (۱۷). معمولاً بیشترین مشکل، ناشی از شکل کاتیونی فلزات می باشد. عناصر فلزی که به شکل کاتیون در خاک یافت می شوند شامل جیوه، کادمیوم، سرب، نیکل، روی، مس، کروم و ترکیبات منگنز می باشند (۱۸). آلودگی فلزات سنگین، نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود در زنجیره غذایی (بزرگنمایی زیستی) و امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آبهای زیرزمینی محسوب می شود. اختلالات عصبی (پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی) انواع سرطانها، فقر مواد مغذی، برهم خوردن تعادل هورمون ها از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان می باشد (۱۹).

فلز روی به طور طبیعی حدود  $70 \text{ mg/kg}$  در خاک وجود دارد (۲۰). این فلز تشکیل دهنده بیش از ۳۰۰ آلیمن است و به عنوان یک فلز ضروری برای انسان که کمبود آن به کم خونی، نقص مادرزادی و در موارد شدید به مرگ می انجامد مطرح است (۲۰ و ۲۱). مس در انسان به تولید هموگلوبین خون کمک می-کند (۲۰). اما در دوز بالا ناراحتی‌هایی از جمله کم خونی، ناراحتی‌های کبدی و کلیوی، گوارشی و عصبی را در انسان به دنبال دارد (۲۲). نیکل باعث آب آوردن ریه ها، مشکلات تنفسی، کاهش توانایی تولید مثل، آسم و برونشیت مزمن، حساسیتهایی از قبیل خارش پوست شده و سرب نیز به سیستم های خونساز، عصبی و کلیوی آسیب می رساند (۲۳). Ali Akbari و همکاران (2016) در مطالعه ای ارزیابی آلودگی غلظت فلزات سنگین از خاک لندفیل شهرستان مشکین شهر را با استفاده از شاخص زمین انباشتگی<sup>۱</sup> و فاکتور آلودگی<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور ۱۰ نمونه خاک به صورت جداگانه در فصول تابستان و پاییز برداشته شد. پس از آماده سازی و هضم اسیدی نمونه ها، غلظت کروم، کادمیوم، مس و فسفر اندازه گیری گردید. نتایج

فعالیت های انسانی اثرات قابل توجهی بر محیط زیست و اکوسیستم های جهانی و به طور گسترده بر تخریب خاک دارد (۱، ۲ و ۳). آلودگی های زیست محیطی و از بین رفتن پوشش گیاهی از جمله عواملی هستند که باعث کاهش کیفیت خاک و تخریب آن می شوند که نیاز به ارائه راه حل هایی جهت جلوگیری از تخریب خاک است (۴، ۵ و ۶). فرآیندهای تخریب زمین و خاک را می توان در محل های دفن زباله مشاهده کرد. در کشورهای در حال توسعه، با توجه به رشد روز افزون جمعیت و افزایش تولید زباله نیاز به توسعه سیستم های مدیریت زباله کارآمد می باشد. تولید زباله های جامد و مایع و مکانیسم نابودی آنها در مناطق شهری در اغلب کشورهای در حال توسعه، تهدیدی برای محیط زیست است (۷). علی رغم بهبود سیستم های مدیریت زباله شهری، دفع زباله های جامد هنوز به صورت روش معمول در کشورهای در حال توسعه انجام می گیرد (۸، ۹ و ۱۰). دفن زباله های بهداشتی یکی از روش های رایج، برای کاهش حجم مواد زائد جامد است. بنابراین، فقدان قوانین موثر زیست محیطی و زمین مناسب کافی برای دفن زباله در بیشتر کشورهای در حال توسعه یکی از مسائل عمده ای است که باعث مشکلات بسیاری می شود (۱۱). در سالهای اخیر عدم مدیریت صحیح باعث شده که مکان های دفن زباله شهری به یکی از منابع مهم ورود آلاینده ها به محیط زیست تبدیل شود. از میان آلاینده های مختلف فلزات سنگین به دلیل پایداری محیطی، انحلال پذیری، پتانسیل اکسایش و کاهش، انباشت زیستی و بازیافت زیست زمین شیمیایی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۱۲). آلودگی خاک به فلزات سنگین، فلزاتی که جرم مخصوص آنها بیش از ۶ است (۱۳) یا عناصری که جرم اتمی شان از جرم اتمی آهن (معادل  $55/8 \text{ g/mol}$ ) بیشتر باشد، (۱۴) یکی از معضلات زیست محیطی عصر حاضر است (۱۵). فلزات سنگین رایج موجود در لندفیل های شهری شامل آرسینک، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، سرب، جیوه، نیکل و روی است. که در جدول (۱) به منبع فلزات سنگین در لندفیل اشاره شده است (۱۶). فلزات سنگین گروهی از پایدارترین آلاینده های محیط زیستی هستند که برخلاف آلاینده های آلی از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی

آلومینیم، آهن، منگنز، کروم، مس، سرب، روی، نیکل، کادمیم و جیوه اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که فاکتور های CF و Igeo در خاک اطراف منطقه محل دفن زباله از آلودگی فلزات سنگین عمدتاً توسط سرب، کادمیم و آنتیموان تحت تاثیر قرار گرفته است. در مقابل، همبستگی پیرسون نشان داد که منابع فلزات تقریباً مشابه می باشد و این فلزات سنگین ممکن است از فعالیت های تجمع زباله حاصل شده است (۲۵).

لذا با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق با هدف تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین کروم، سرب، نیکل و روی در خاک سطحی و عمقی مکان دفن زباله شهرستان سراپان با استفاده از معیارهای شاخص زمین انباشتی، شاخص فاکتور آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات انجام گرفت. در بسیاری از مطالعات برای تعیین سطوح آلودگی از این شاخص ها استفاده شده است.

نشان داد که شاخص جغرافیایی برای همه فلزات در تابستان و پاییز برابر صفر می باشد. بنابراین غلظت فلزات در خاک با منشأ طبیعی در ارتباط است. همچنین با توجه به کلاس های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب مقادیر نمونه ها مربوط به کلاس متوسط می باشد (۲۴).

Fahmida, K and Rafizul, I.M. (2017) بررسی کیفیت خاک و میزان فلزات سنگین در خاک سایت دفن زباله های Khulna، در بنگلادش مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی این مطالعه بررسی کیفیت خاک و سطح آلودگی خاک توسط فلزات سنگین با استفاده از شاخص های مختلف آلودگی توسعه یافته در یک انتخاب سایت دفن زباله در Khulna بنگلادش بود. بدین منظور ده نمونه خاک از مکان های انتخاب شده جمع آوری گردید و پس از مراحل آماده سازی و هضم اسیدی، عناصر

#### جدول ۱- منابع رایج فلزات سنگین در لندفیل های شهری (۱۶)

Table 1. Common sources of heavy metals in urban landfills (16)

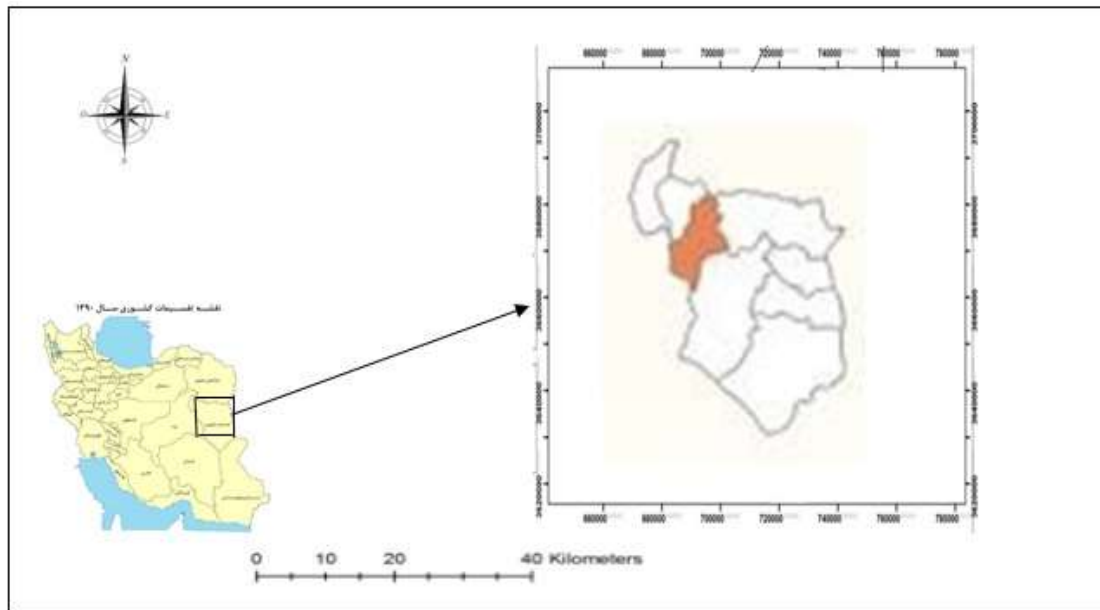
سلول های خورشیدی فتوولتاتیکی، ابزارهای الکترونیکی، رنگ سازی، صابون، منسوجات	آرسنیک
باتری، ابزارهای الکترونیکی، روکاری های ضد خوردگی	کادمیم
فرآیندهایی چرم سازی	کروم
ظروف چینی، صابون، رنگ سازی	کبالت
سلول های خورشیدی فتوولتاتیکی، کابل های الکتریکی، لوله سازی	مس
باتری، رنگ سازی	سرب
باتری، لامپ های فلورسانس، کاغذهای فتوگرافی رنگی، وسایل آرایشی	جیوه
ابزارهای الکترونیکی، باتری، سرامیک، ظروف آشپزخانه	نیکل
لوازم پزشکی، وسایل آرایش، رنگ سازی، سلول های باتری خشک، شوینده ها	روی

#### روش کار

##### منطقه مورد مطالعه

شهرستان سراپان در شمال غربی استان خراسان جنوبی واقع است. شهرستان سراپان از غرب به شهرستان فردوس، از شمال به بخش کاخک شهرستان گناباد، از شرق به بخش سده شهرستان قائنات، از جنوب و جنوب شرق به بخش خوسف شهرستان بیرجند و از جنوب غربی به بخش دیهوک شهرستان

طبس محدود می شود. میانگین ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۴۸۴ متر و مساحت تقریبی آن ۹۳۳۴ کیلومتر مربع گزارش شده است. شهرستان سراپان از نظر جغرافیایی در محدوده طول جغرافیایی در ۵۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (سرایان)

Figure 1. Study area (Sarayan)

#### سایت و ایستگاههای نمونه برداری

۳ نمونه تهیه و سپس نمونه ها با هم مخلوط گردید. نمونه برداری از مکان محل دفن زباله شهرستان سرایان در دی ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت. لازم به ذکر است که محل دقیق هر یک از نمونه ها توسط دستگاه GPS ثبت گردید در شکل ۲ محل دفن زباله شهری و موقعیت ایستگاههای نمونه برداری آورده شده است.

برای بررسی غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی محل دفن پسماندهای شهری سرایان، بر اساس روش تصادفی از خاک محل، تعداد ۲۰ ایستگاه، و از هر ایستگاه نمونه های خاک سطحی در عمق ۰-۲۰ سانتی متر و نمونه های خاک عمقی در عمق ۲۰-۴۰ سانتی متری برداشت و از هر ناحیه ۲ تا



شکل ۲- محل دفن زباله شهری و موقعیت نقاط نمونه برداری در تصویر ماهواره ای Google Earth

Figure 2. Landfill and location of sampling points in Google Earth satellite image

## نمونه برداری و تجزیه آزمایشگاهی

در این پژوهش برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، روی و نیکل از دستگاه جذب اتمی Contraa 700 ساخت شرکت Analytikjena استفاده گردید. برای این منظور آماده سازی نمونه ها برای هضم، ابتدا نمونه های خاک به منظور خشک شدن به درون آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن نمونه ها، از هر کدام از آن ها یک گرم خاک کوبیده و الک شد. سپس از الک ۲۳۰ مش عبور داده و در ارلن های ۵۰ میلی لیتری ریخته شد. سپس ۱۶ میلی لیتر (ترکیب ۴ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۱۲ میلی لیتر اسید کلریدریک ۳۷ درصد) به هریک از ارلن ها افزوده شد. ارلن ها به مدت ۶ تا ۷ ساعت در اجاق هضم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا هضم اسیدی صورت گرفته و محلول شیری رنگ به دست آمد. بعد از زمان لازم به هریک از ارلن ها ۴ میلی لیتر اسید پرکلریک ۷۰ تا ۷۲ درصد افزوده شد. بعد از تبخیر نمونه ها از روی اجاق هضم برداشته و با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس با استفاده از کیف و کاغذ صافی واتمن صاف گردید و نمونه ها برای قرائت فلزات سنگین آماده شد و برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از نرم افزارهای Excel و IBM SPSS statistics نسخه ۲۵ استفاده گردیده است.

## محاسبه شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی

در این مطالعه معیارهای مختلف شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) و فاکتور آلودگی (CF) جهت تعیین آلودگی خاک به عناصر سنگین مورد استفاده قرار گرفت. شاخص زمین انباشتگی که توسط مولر ارائه گردیده است بر اساس این شاخص می توان میزان آلودگی خاک را به فلزات سنگین سنجید و با استفاده از رابطه زیر تمام عناصر مورد بررسی را محاسبه کرد.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1/5B_n} \quad (1)$$

بر اساس شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ )،  $C_n$  غلظت اندازه گیری شده عنصر در هر نمونه،  $B_n$  غلظت همان عنصر در نمونه زمینه می باشد. با استفاده از معادله (۱) شاخص زمین انباشتگی برای نمونه های خاک مورد مطالعه محاسبه شد. در این رابطه از ضریب ۱/۵ برای به حداقل رساندن تغییرات احتمالی اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی محتوای ماده داده شده در محیط زیست و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت های انسانی استفاده می شود. مولر ۶ کلاس برای شاخص زمین انباشتگی در نظر گرفته است (۲۶).

## جدول ۲- طبقات شاخص زمین انباشتگی

Table 2. Classes of land accumulation index

شاخص زمین انباشتگی	کلاس زمین انباشتگی	درجه آلودگی
<۰	۰	غیر آلوده
۱ - ۰	۱	غیر آلوده تا کمی آلوده
۲ - ۱	۲	کمی آلوده
۳ - ۲	۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۳-۴	۴	خیلی آلوده
۴-۵	۵	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
<۵	۶	شدیداً آلوده

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (2)$$

در معادله (۲)  $CF_{metal}$ ، نسبت غلظت هر فلز ( $C_{metal}$ ) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن فلز ( $C_{background}$ ) می باشد. در این مطالعه سطوح آلودگی را می توان بر اساس شدت آلودگی طبق جدول ۳ بین ۱ تا ۶ کلاس تقسیم بندی کرد (۲۷).

جهت تعیین آلودگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی طبق رابطه زیر برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه شد:

### جدول ۳- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی

Table 3. Evaluation of heavy metal pollution based on pollution factor

فاکتور آلودگی	درجه آلودگی
$CF < 1$	آلودگی کم
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی زیاد
$6 \leq CF$	آلودگی بسیار زیاد

### نتایج و بحث

#### توصیف آماری غلظت فلزات سنگین

گرم در کیلوگرم می باشد. بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مورد مطالعه مربوط به فلز کروم ( $X = 16/011$ ) و پایین ترین میانگین غلظت مربوط به فلز سرب ( $X = 0/518$ ) می باشد. انحراف استاندارد غلظت فلزات در خاک مورد مطالعه با روند نزولی کروم سطحی < کروم عمقی < روی سطحی < نیکل عمقی < سرب عمقی < سرب سطحی < نیکل سطحی < روی عمقی کاهش یافت. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان دهنده گستره تغییرات وسیع غلظتهای فلزی در خاک محل دفن زباله شهری است که این موضوع برای عنصر کروم در این مطالعه مشاهده شده است. میزان چولگی همه فلزات بجز کروم سطحی مثبت بود که نمایانگر این است که این فلزات چولگی مثبتی به سمت غلظت های پایین تر دارند.

در جدول ۴ یافته های توصیفی مربوط به فلزات سنگین در ۲۰ نمونه خاک سطحی و عمقی جمع آوری شده از محل دفن پسماندهای شهری سرایان نشان داده شده است. محدوده غلظت (میلی گرم در کیلوگرم) فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه: سرب (۰/۴۲۱-۰/۷۲۱)، روی (۳/۴۲-۱/۵۸)، کروم (۲۶/۵-۴۵۱/۱۷۲)، نیکل (۳/۶۲-۱/۳۵) و در خاک عمقی: سرب (۰/۱-۸۱۲/۴۷۱)، روی (۳/۱-۹۰/۶۴)، کروم (۲۲/۷-۲۰/۷۵)، نیکل (۶/۱-۲۴/۵۷) می باشد. طبق نتایج جدول (۴) میانگین غلظت سرب، روی، کروم و نیکل در خاک سطحی به ترتیب ۰/۵۱۸، ۱/۹۹۹، ۱۶/۰۱۱ و ۲/۴۹۳ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک عمقی به ترتیب ۰/۶۲۲، ۲/۳۱۳، ۱۳/۷۱۲ و ۲/۶۷۲ میلی

جدول ۴- آمار توصیفی مربوط به غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در منطقه مورد مطالعه

Table 4. Descriptive statistics related to the concentration of heavy metals (mg / kg) in the study area

پارامتر	موقعیت	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف	چولگی	کشیدگی	دامنه
سرب	سطحی	۰/۵۱۸	۰/۴۸۵	۰/۴۲۱	۰/۷۲۱	۰/۲۹۴	۱/۲۱۳	۱/۱۴۹	۰/۳۰۱
	عمقی	۰/۶۲۲	۰/۶۱۰	۰/۴۷۱	۰/۸۱۲	۰/۳۴۶	۰/۶۷۲	-۰/۲۰۹	۰/۳۴۰
روی	سطحی	۱/۹۹۹	۱/۸۶۰	۱/۵۸	۳/۴۲	۰/۵۴۶	۲/۲۸۰	۵/۸۱۵	۱/۸۴
	عمقی	۲/۳۱۳	۲/۰۶۲	۱/۶۴	۳/۹۰	۰/۲۲۴	۱/۳۶۶	۱/۷۰۸	۲/۲۶
کروم	سطحی	۱۶/۰۱۱	۱۶/۶۷۱	۵/۱۷۲	۲۶/۴۵۱	۲/۱۷۴	-۰/۲۴۷	-۰/۸۴۶	۲۱/۲۸۱
	عمقی	۱۳/۷۱۲	۱۳/۱۱۱	۷/۷۵۰	۲۲/۲۰۰	۱/۷۰۰	۰/۲۳۶	۱/۸۲۱	۱۴/۴۵۱
نیکل	سطحی	۲/۴۹۳	۲/۴۶۶	۱/۳۵	۳/۶۲	۰/۲۳۷	۰/۰۹۰	-۱/۰۹۹	۲/۲۷
	عمقی	۲/۶۷۲	۲/۱۱۴	۱/۵۷	۶/۲۴	۰/۴۶۲	۱/۹۵۰	۳/۷۸۱	۴/۶۷

می دهد که غلظت فلزات سنگین کروم، نیکل، روی و سرب در منطقه با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف از توزیع نرمال برخوردار می باشد.

جهت اطمینان از نرمال بودن داده ها از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد در صورت عدم نرمال بودن از روشهای تبدیل داده باید استفاده کرد. بنابراین نتایج در جدول ۵ نشان

جدول ۵- توزیع غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف

Table 5. Distribution of heavy metal concentrations in the soil of the study area using Kolmogorov-Smirnov test

پارامترها	سرب سطحی	سرب عمقی	کروم سطحی	کروم عمقی	نیکل سطحی	نیکل عمقی	روی سطحی	روی عمقی
کولموگروف - اسمیرنوف	۰/۱۹۷	۰/۱۹۹	۰/۱۶۱	۰/۲۷۲	۰/۱۳۷	۰/۲۴۸	۰/۲۶۹	۰/۲۰۰
میزان p-value در آزمون T یک نمونه ای	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

## همبستگی بین متغیرها

نسخه ۲۵ به دست آمد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۶ نشان می دهد که برخی از عناصر فلزی همبستگی آماری معنی داری با یکدیگر دارند که نشان دهنده ارتباط نزدیک آنها است. نیکل سطحی و سرب عمقی همبستگی قوی در سطح ۹۹ درصد دارند که نشان دهنده ورود این فلزات از منبع مشترک می باشد. همچنین کروم و سرب سطحی نیز در سطح ۹۵ درصد همبستگی قوی دارند. در حالی که سایر فلزات تفاوت معناداری وجود ندارد. همبستگی بالا بین فلزات سنگین می تواند ناشی از ورود این فلزات از طریق منابع مشترک باشد.

در این مطالعه، ضریب همبستگی پیرسون برای غلظت فلزات در خاک منطقه مورد مطالعه، محاسبه شد. تجزیه و تحلیل روابط متقابل مربوط به متغیرهای مختلف ابزار مهمی در پژوهش های پیشرفته است. تجزیه و تحلیل همبستگی، یک تکنیک اولیه برآورد سطح ارتباط میان متغیرهای درگیر در تحقیقات خاص است. علاوه بر این، وجود همبستگی تردید مربوط به تصمیم گیری مناسب را کاهش می دهد (۲۸). بنابراین، ماتریس همبستگی بین پارامترهای مختلف فلزی خاک در سایت دفن زباله شهری سرایان در جدول ۶ نشان داده شده است. همبستگی بین عناصر را با استفاده از نرم افزار IBM SPSS statistics



جدول ۶ - مقادیر ضریب همبستگی عناصر با آزمون پیرسون

Table 6. Values of correlation coefficient of elements with Pearson test

پارامترها	سرب سطحی	سرب عمقی	کروم سطحی	کروم عمقی	نیکل سطحی	نیکل عمقی	روی سطحی	روی عمقی
سرب سطحی	۱							
سرب عمقی	-۰/۳۳۹	۱						
کروم سطحی	۰/۶۹۷*	-۰/۵۷۶	۱					
کروم عمقی	۰/۴۹۴	-۰/۱۹۸	۰/۴۸۵	۱				
نیکل سطحی	-۰/۰۲۷	۰/۸۵۳**	-۰/۱۶۵	۰/۱۴۲	۱			
نیکل عمقی	۰/۰۲۸	۰/۱۱۳	-۰/۲۸۶	۰/۱۴۴	۰/۳۶۱	۱		
روی سطحی	۰/۳۳۸	-۰/۳۰۰	-۰/۰۷۴	-۰/۴۱۷	-۰/۱۶۹	۰/۰۳۹	۱	
روی عمقی	-۰/۳۴۵	-۰/۱۴۴	-۰/۴۳۱	-۰/۱۵۴	-۰/۶۱۰	۰/۰۰۷	-۰/۱۲۸	۱

ارزیابی آلودگی با استفاده از فاکتور آلودگی (Contamination Factor) جدول ۷ نتایج فاکتور آلودگی (CF) را نشان می دهد. مقادیر فاکتور آلودگی در اغلب ایستگاههای نمونه برداری شده منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱ می باشد و نشان میدهد که سایت دفن زباله شهری سراپان در درجه پایینی از آلودگی ( $CF < 1$ ) قرار دارد. همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است. به طور متوسط مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین به ترتیب کروم < روی < نیکل < سرب می باشد. بنابراین بیشترین مقدار فاکتور آلودگی مربوط کروم سطحی و کمترین آن مربوط به سرب سطحی است. مقادیر فاکتور آلودگی در خاک عمقی و سطحی منطقه مورد مطالعه برای فلز کروم نشان می دهد که اکثر نمونه ها در کلاس آلودگی متوسط قرار دارند. تمامی داده ها برای فلزات سنگین سرب و نیکل در خاک سطحی و عمقی نشان می دهد که نمونه ها در کلاس آلودگی کم قرار دارند. در حالی که در مورد فلز روی ۴۵٪ داده ها طبقه آلودگی متوسط و ۵۵٪ داده ها طبقه آلودگی کم را به خود اختصاص داده اند. حضور این فلزات می تواند ناشی از شیرابه حاصل از محل دفن زباله و منشاء کشاورزی، که به احتمال زیاد شامل غلظت بالایی از فلزات سنگین مثل سرب، کروم، نیکل و روی است. این فلزات در ساخت چند کالا و محصولات معمولاً در خانه و همچنین کود، آفت کش ها، علف کش و قارچ کش استفاده می شود.

#### ارزیابی آلودگی با استفاده از فاکتور آلودگی (Contamination Factor)

جدول ۷ نتایج فاکتور آلودگی (CF) را نشان می دهد. مقادیر فاکتور آلودگی در اغلب ایستگاههای نمونه برداری شده منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱ می باشد و نشان میدهد که سایت دفن زباله شهری سراپان در درجه پایینی از آلودگی ( $CF < 1$ ) قرار دارد. همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است. به طور متوسط مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین به ترتیب کروم < روی < نیکل < سرب می باشد. بنابراین بیشترین مقدار فاکتور آلودگی مربوط کروم سطحی و کمترین آن مربوط به سرب سطحی است. مقادیر فاکتور آلودگی در خاک عمقی و سطحی منطقه مورد مطالعه برای فلز کروم نشان می دهد که اکثر نمونه ها در کلاس آلودگی متوسط قرار دارند. تمامی داده ها برای فلزات سنگین سرب و نیکل در خاک سطحی و عمقی نشان می دهد که نمونه ها در کلاس آلودگی کم قرار دارند. در حالی که در مورد فلز روی ۴۵٪ داده ها طبقه آلودگی متوسط و ۵۵٪ داده ها طبقه آلودگی کم را به خود اختصاص داده اند. حضور این فلزات می تواند ناشی از شیرابه حاصل از محل دفن زباله و منشاء کشاورزی، که به احتمال زیاد شامل غلظت بالایی از فلزات سنگین مثل سرب، کروم، نیکل و روی است. این فلزات در ساخت چند کالا و محصولات معمولاً در خانه و همچنین کود، آفت کش ها، علف کش و قارچ کش استفاده می شود.

## جدول ۷ - مقادیر فاکتور آلودگی

Table 7. Pollution factor values

شماره ایستگاه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
سرب	سطحی	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۳
	عمقی	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۲۳
کروم	سطحی	۱/۷۱	۱/۵۳	۱/۶۲	۱/۹۸	۲/۶۴	۰/۹۳	۰/۷۵	۲/۰۱	۰/۵۱	۲/۳۰
	عمقی	۰/۹۴	۰/۸۰	۰/۷۷	۲/۲۲	۱/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۱	۱/۷۵	۱/۶۵	۱/۸۹
نیکل	سطحی	۰/۹۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۸۵	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۷۹	۰/۶۷
	عمقی	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۳۹	۱/۰۱	۰/۴۶	۰/۴۳	۱/۵۶	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۷۲
روی	سطحی	۰/۸۱	۰/۹۹	۱/۷۱	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۸۴	۱/۱۴	۱/۰۲	۰/۸۲	۰/۸۸
	عمقی	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۸۳	۱/۰۶	۱/۹۵	۱/۳۳	۱/۴۹	۱/۲۰	۰/۹۹

## ارزیابی آلودگی با استفاده از شاخص زمین انباش - ستگی

## (Geoaccumulation Index)

برای اندازه گیری سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک از شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) استفاده می شود. در جدول ۸ شدت آلودگی براساس شاخص زمین انباشتگی آورده شده است. میانگین مقادیر زمین انباشتگی برای همه فلزات در بازه ۰/۸۲۷ - و ۲/۲۴۶ متغیر بوده که نشان می دهد خاک برخی از ایستگاه های نمونه برداری شده، آلوده نبودند، در حالی که خاک برخی دیگر از ایستگاهها دارای کلاس آلودگی متوسط بوده اند. مقادیر زمین انباشتگی برای فلز سرب نشان میدهد که خاک تمامی ایستگاه های نمونه برداری شده در کلاس غیرآلوده قرار گرفته است ( $I_{geo} \leq 0$ ). مقادیر فلز کروم نشان می دهد که ۶۰ درصد نمونه ها در کلاس کمی آلوده تا خیلی آلوده و ۴۰ درصد در کلاس کمی آلوده قرار دارد. مقادیر مربوط به فلزات نیکل و روی نشان می دهد تمامی نمونه های جمع آوری شده در کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده قرار دارند. بنابراین می توان اینطور بیان کرد که مقادیر  $I_{geo}$  دارای روند نزولی سرب < روی < نیکل < کروم بود به طوری که شاخص  $I_{geo}$  نشان داد که بالاترین و پایین ترین میزان غنی شدگی خاک با فلزات به ترتیب مربوط به کروم و سرب است.

Confience Muzerengi (2017) در بررسی آلودگی خاک سطحی اطراف معدن طلا در آفریقای جنوبی نشان داد که غالب نمونه های مورد تجزیه بر اساس فاکتور آلودگی و زمین انباشتگی فلزات آرسینک و کادمیوم دارای کلاس آلودگی متوسط هستند. اما در مورد آلودگی خاک با فلزات سرب، روی و کروم هیچ گونه آلودگی ( $I_{geo} \leq 0$ ) در سطح خاک مشاهده نشده است (۳۱). Abdelwaheb Aydi (2015) در مطالعه ای ریسک آلودگی فلزات سنگین در خاک سایت زباله شهری تونس را مورد ارزیابی قرار داد و مقدار فاکتور آلودگی (CF) و شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) را در شش فلز Ni, Zn, Cr, Cu, Pb و Cd محاسبه کرد. نتایج حاصل از  $I_{geo}$  نشان داد در نمونه خاک های سطحی، مقادیر غلظتهای فلزات سنگین کروم، مس، روی، سرب و نیکل در کلاس فاقد آلودگی قرار می گیرد. در حالی که مقدار غلظت فلز کادمیوم در نمونه خاک سطحی در طبقه آلودگی متوسط می باشد (۳۲). بنابراین با توجه به پژوهش های مشابه انجام شده می توان این طور بیان کرد که میزان شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) در سایت دفن زباله شهری سرایان برای فلز کروم بین ۱ تا ۳ به دست آمده که بر این اساس فلز کروم در طبقات کمی آلوده و خیلی آلوده و سایر نمونه های جمع آوری شده فلزات در کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده قرار گرفته اند.

جدول ۸- مقادیر شاخص زمین انباشتگی

Table 5. Land accumulation index values

شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
سرب	سطحی	-۰/۵۹۳	-۰/۶۶۹	-۰/۷۴۸	-۰/۸۲۷	-۰/۷۳۳	-۰/۶۲۳	-۰/۷۰۲	-۰/۶۲۳	-۰/۶۴۲
	عمقی	۰/۰۳۳	-۰/۰۸۲	-۰/۱۴۲	-۰/۰۶۲	-۰/۱۵۰	-۰/۰۹۶	-۰/۰۶۲	۰/۰۲۲	-۰/۲۰۲
کروم	سطحی	۲/۰۵۶	۲/۰۰۹	۲/۰۳۴	۲/۱۲۰	۲/۲۴۶	۱/۷۹۳	۱/۱۲۸	۱/۵۳۷	۲/۱۸۵
	عمقی	۱/۷۹۹	۱/۷۳۱	۱/۷۱۳	۲/۱۷۰	۲/۰۷۹	۱/۸۰۹	۱/۷۸۷	۲/۰۴۲	۲/۱۰۱
نیکل	سطحی	۰/۹۸۴	۰/۷۵۰	۰/۷۷۴	۰/۹۵۷	۰/۷۱۶	۰/۶۵۶	۰/۸۵۷	۰/۹۲۵	۰/۸۵۸
	عمقی	۰/۷۲۹	۰/۶۳۲	۰/۶۲۱	۱/۰۳۴	۰/۶۹۵	۰/۶۶۹	۱/۲۲۱	۰/۷۷۲	۰/۸۸۹
روی	سطحی	۰/۳۳۷	۰/۴۲۱	۰/۶۵۸	۰/۴۱۴	۰/۳۲۳	۰/۳۵۲	۰/۴۸۴	۰/۳۳۹	۰/۳۷۲
	عمقی	۰/۳۳۹	۰/۳۷۵	۰/۴۱۷	۰/۳۴۳	۰/۴۵۳	۰/۷۱۶	۰/۵۵۱	۰/۵۰۵	۰/۴۲۳

## نتیجه گیری

ساختارهای زمین شناسی منطقه می باشد. با توجه به موارد گفته شده می توان نتیجه گرفت که آلودگی فلزات سنگین ناشی از زباله های شهری در خاک محل دفن شهر سرایان وجود دارد.

شاخص های مختلفی را می توان برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در خاک مورد استفاده قرار داد. تاثیر آلودگی فلزات سنگین با منشاء انسانی در ۲۰ نمونه خاک سطحی و عمقی محل دفن زباله شهری سرایان با استفاده از فاکتور آلودگی (CF) و شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با هدف تحلیل وضعیت آلودگی فلزات و شناسایی همبستگی بین این فلزات صورت گرفته است. نتایج شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) نشان داد که اکثر نمونه های خاک در کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده قرار گرفته و فقط مقادیر عنصر کروم در کلاس کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار دارد که بر اساس مقادیر ( $I_{geo}$ ) نشان دهنده آلودگی متوسط است. نتایج فاکتور آلودگی (CF) برای فلزات سنگین به ترتیب کروم < روی < نیکل < سرب می باشد که بیشترین مقدار فاکتور آلودگی مربوط کروم سطحی و کمترین آن مربوط به سرب سطحی است. همچنین نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان می دهد که برخی از عناصر فلزی همبستگی آماری معنی داری با یکدیگر دارند که نشان دهنده ارتباط نزدیک آنها است. مقادیر غلظت فلزهای سرب، روی و نیکل در خاک این منطقه نسبت به مقادیر این فلزات در پوسته زمین کمتر می باشد. فقط غلظت فلز کروم در خاک سطحی و عمقی این منطقه در مقایسه با پوسته زمین بیشتر است که این افزایش غلظت ناشی از وجود مکان دفن زباله شهری و همچنین

## References

1. Keesstra, S. D., Geissen, V., van Schaik, L., Mosse, K., and Piirainen, S.: Soil as a filter for groundwater quality, *Current Opinions in Environmental Sustainability*, 4, 507–516. doi:10.1016/j.cosust.2012.10.007, 2012a.
2. Mandal, D. and Sharda, V. N.: Appraisal of soil erosion risk in the Eastern Himalayan region of India for soil conservation planning, *Land Degrad. Dev.*, 24, 430–437, doi:10.1002/ldr.1139, 2013.
3. Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., and Van Oost, K.: The interdisciplinary nature of SOIL, *SOIL*, 1, 117–129, doi:10.5194/soil-1-117-2015, 2015.
4. Giménez Morera, A., Ruiz Sinoga, J. D., and Cerdà, A.: The impact of cotton

11. Hagerty, D. J., Pavoni, J. L., and Heer, J. E.: Solid waste management, Litton, New York, USA, 1997.
12. Zhihao, W.u. Mengchang, H. Chunye, L. Distribution and speciation of four heavy metals (Cd, Cr, Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in daliuo river and yingkou bay. *Environmental Earth Sciences*.63: 163-170, 2011.
13. Sayadi M. H., Rezaei M. R. and Rezaei A. (2015). Sediment toxicity and ecological risk of trace metals from streams surrounding a municipal solid waste landfill. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 94(5),559-563. (In Persian)
14. Dabiri, M. (2008). *Environmental Pollution: Air, Water, Soil and Noise*. Tehran: Ettehad. (In Persian)
15. Sayadi M. H., Rezaei A. and Sayyed M. R. G. (2017). Grain size fraction of heavy metals in soil and their relationship with land use. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.*, 7(1), 1-11.
16. Mohobane, T. 2008. The characteristics and impacts of landfill leachate from Horotiu, New Zealand and Maseru, Lesotho: A comparative study A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Environmental Science, The University of Waikato, P.201.
17. Mohammadi M, Fotovat A, Haghniya G. Efficiency of sand - soil - organic matter filter, the removal of heavy metals copper, nickel, zinc and chromium from industrial wastewater. *J Soil Water* 2009; 23: 262-51. (In Persian)
18. Ahluwalia S S, Goyal D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technol* 2007; 98(12): 2243-57.
5. Novara, A., Gristina, L., Guaitoli, F., Santoro, A., and Cerdà, A.: Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards, *Solid Earth*, 4, 255–262, doi:10.5194/se-4-255-2013, 2013.
6. Olang, L. O., Kundu, P. M., Ouma, G., and Fürst, J.: Impact of land cover change scenarios on storm runoff generation: A basis for management of the Nyando basin, Kenya, *Land Degrad. Dev.*, 25, 267–277, doi:10.1002/ldr.2140, 2014.
7. Amadi, A. N. (2010). Effects of urbanization on groundwater quality: A case study of Port-Harcourt, Southern Nigeria. *Natur. Appl. Sci. J.*, 11(2), 143-152.
8. Leao, S., Bishop, I., and Evans, D.: Spatial-Temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban region, *Computers, Environ. Urban Sys.*, 28, 353–385, 2004.
9. Sumathi, V. R., Natesan, U., and Chinmoy, S.: GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill, *Waste Manage.*, 28, 2146–2160, doi:10.1177/0734242X0302100310, 2008.
10. Donevska, K., Jovanovski, J., Jovanovski, M., and Pelivanoski, P., Analyses of Environmental Impacts of Non Hazardous Regional Landfills in Macedonia, *J. sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, 1, 281–290, doi:10.13044/j.sdewes.2013.01.0021, 2013.

- Khulna, Bangladesh. *Journal of Energy and Environment* 8(2): 102-112.
26. Muller G. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. // *Geol. J.*, 1969, v. 2, № 3, p. 108–118.
  27. Hakanson L. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control – A Sedimentological Approach. // *Water Research*, 1980, v. 14, p. 975–1001.
  28. Patil, V. and P. Patil, 2010. Physicochemical Analysis of Selected Groundwater Samples of Amalner Town in Jalgaon District, Maharashtra, India. *Journal of Chemistry*, 7(1): 111 - 116.
  29. Amadi Akobundu, N and Nwankwoala H. O. 2013. Evaluation of Heavy Metal in Soils From Enyimba Dumpsite in Aba, Southeastern Nigeria Using Contamination Factor and Geo-Accumulation Index, *Journal of Energy and Environment Research*, Vol. 3, No. 1.
  30. Amouei, A., Cherati, A., Ariush Naghipour, D. (2017). Heavy Metal Contamination and Risk Assessment of Surface Soils of Babol in Northern Iran. *Journal of Health Scope*. (In Persian)
  31. Muzerengi, C. (2017). Enrichment and Geoaccumulation of Pb, Zn, As, Cd and Cr in soils near New Union Gold Mine, Limpopo Province of South Africa. *Journal of Mine Water and Circular Economy*.
  32. Aydi, A. (2015). Assessment of heavy metal contamination risk in soils of landfill of Bizerte (Tunisia) with a focus on application of pollution indicators. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 74:3019–3027.
  19. Rezaei Kahkha M.R, Keykhaii M, Rezaie H, et al. Assessment of heavy metal concentrations in soil and plants irrigated with urban sewage. *Rostamineh* 2011;3(2): 19-26. (In Persian)
  20. Okieimen, FE. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*. 2011:1-20.
  21. Karbasi, M., Karbasi, E., Sarami, A., Kharrazi, HG. (2010). Assessment of Heavy Metals Values in Drinking Water Sources of Alashtar in 2009. *Majaleh Daneshgah Olum Pezeshki Lorestan*. 12(1):65-70.
  22. Miranzadeh, M., Mahmoodzadeh, A., Hasanzadeh, M., Bigdeli, M. (2011). Assessment of Heavy Metals Concentration in Water Contribution Network of Kashan in 2010. *Majaleh Behdast va Salamat Ardebil*. 2(3):56-66.
  23. Bouzayani F., Aydi. And A. Abichout T. (2014). Soil contamination by heavy metals in landfill: measurements from an unlined leachate storage basin. *Environ. Monit. Assess.*, 186(8), 5033-5040.
  24. Ali Akbari, F. (2016). The assessment of heavy metal contamination of landfill soil of Meshgin city using index of geoaccumulation and contamination factor. *Journal Bioscience Biotechnology Research Communication*. 9(2): 304-308.
  25. Fahmida, k and Rafizul, I.M. (2017). An Investigation on Soil Quality and Heavy Metal Levels in Soil of Rajbandh Waste Disposal Site at