

مطالعه آلودگی و پروفیل عمقی فلزات سنگین در رسوبات اطراف محل دفن زباله شهر اراک

فریدون قدیمی*؛ دانشیار رسوب‌شناسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک

محمود میرزایی؛ دانشیار ژئوفیزیک، گروه فیزیک، دانشگاه اراک

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

چکیده

امروزه رسوبات کواترنری محل دفن پسماندهایی است که با آلودگی‌های خاک، آب، و هوا همراه است. محل دفن زباله اراک در بالادست چاه‌های آب آشامیدنی منبع آلاینده آب محسوب می‌شود. به منظور ارزیابی آلودگی رسوبات در محل دفن زباله ۳۱ نمونه رسوب از سه گمانه تهیه و غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین شد. برای تعیین عناصر آلاینده، غلظت فلزات سنگین با مقدار مرجع پوسته فوقانی مقایسه و شاخص‌های آلودگی-مانند ضریب غنی‌شدگی، ضریب زمین‌انباشت، و درجه آلودگی فلزات سنگین-تعیین شد. مطالعه حاضر نشان داد سرب، کروم، نیکل، مس، روی، آرسنیک، و جیوه از مرجع پوسته بالاترند و غلظت متوسط آن‌ها به ترتیب ۳۲، ۳۹، ۶۴، ۲۵، ۷۳، ۱۵، ۱۰، و ۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم است. رسوبات آلوده به آرسنیک و جیوه‌اند و درجه آلودگی آن‌ها در سطح و اعماق پایین گمانه‌ها از متوسط تا زیاد متغیر است. تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد بین منگنز و سرب، نیکل، مس، و روی همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین همبستگی بین ماده آلی با جیوه مثبت و با آرسنیک منفی است. بنابراین، منگنز و ترکیبات آلی نقش مهمی در توزیع فلزات سنگین در رسوب محل دفن زباله اراک دارند. کلیدواژگان: آلاینده‌های رسوبات، اراک، تحلیل عاملی، دفن زباله، فلزات سنگین.

مقدمه

سالانه میلیون‌ها تن زباله جامد طی فعالیت‌های خانگی، معدنی، کشاورزی، و صنعتی در ایران تولید می‌شود که غنی از فلزات سنگین است (میرکازهی و رضایی، ۱۳۹۶). رسوبات یکی از مکان‌های مهمی هستند که فلزات سنگین به میزان فراوان در آن‌ها یافت می‌شود. اصولاً آلودگی رسوبات ناشی از فلزات سنگین از دیرباز مورد توجه محققان بوده و بر لزوم اندازه‌گیری آن‌ها به صورت دوره‌ای و مکانی تأکید شده است. ورود فلزات سنگین از طریق فعالیت‌های انسانی به اکوسیستم‌های طبیعی، به‌ویژه رسوبات، یکی از نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی است (حاتمی‌منش و همکاران ۱۳۹۴: ۵۷). یکی از مکان‌هایی که فلزات سنگین به میزان چند برابر مقدار معمول در رسوبات یافت می‌شود مکان‌های دفن زباله است (هولزل ۲۰۱۹: ۱۵۱؛ لی و همکاران ۲۰۱۹: ۳۸۰). تولید پسماندهای جامد مهم‌ترین مشکل محیطی و بهداشتی در دنیا و به‌ویژه جوامع در حال توسعه است. رشد سریع فعالیت‌های شهری و کشاورزی و صنعتی هم‌زمان با رشد جمعیت انبوهی از زباله را تولید می‌کند (آکوتو و همکاران ۲۰۱۱: ۱۵۵). محل‌های دفن روباز قدیمی‌ترین و فراوان‌ترین محل‌های

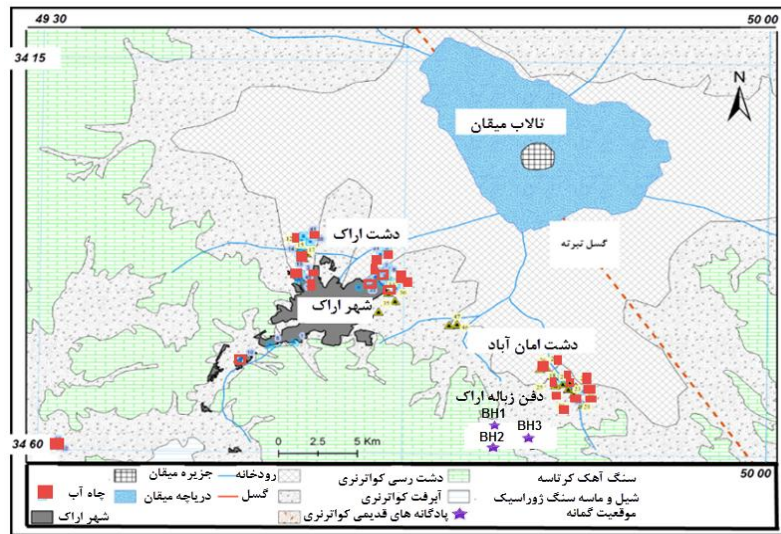
دفن زباله‌های جامد در دنیا هستند (راچوواراک و همکاران ۲۰۱۹). دفن‌های روباز کنترل نشده می‌توانند تأثیر ناخوشایندی بر محیط و بهداشت انسان بگذارند (دانگ و همکاران ۲۰۰۸: ۲۳). مهم‌ترین خطر دفن زباله بر بهداشت انسان را می‌توان آلودگی رسوبات ناشی از شیرابه زباله‌ها دانست (عبدالسلام و ابوزاید ۲۰۱۵: ۵۷۹). امروزه، آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از انواع مواد زاید شهری و صنعتی و بیمارستانی به گونه‌ای است که حاوی مواد شیمیایی و خطرناکی مانند فلزات سنگین (مس، کروم، روی، سرب) هستند (وانگ‌دالا و همکاران ۲۰۱۸). با گذشت زمان، میزان فلزات سنگین در محیط دفن افزایش می‌یابد و خواصی همچون سمیت زیاد، سرطان‌زایی، و جهش‌زایی از خود نشان می‌دهد (اولینکا و اولگونجو ۲۰۱۹: ۱). محل‌های دفن پسماندهای شهری می‌توانند با انتشار آلاینده‌های ناشی از نفوذ شیرابه به رسوبات و آب‌های سطحی و زیرزمینی محیط پیرامون همراه باشند (جعفری و همکاران ۱۳۹۵: ۴۸۹).

هدف از تحقیق حاضر تعیین فلزات سنگین آلاینده رسوب محل دفن زباله اراک در مقایسه با مرجع پوسته فوقانی، ارزیابی شاخص‌های آلاینده رسوب محل دفن در اعماق مختلف، تعیین منابع آلاینده، و تعیین نقش دفن زباله اراک در تولید انواع فلزات سنگین بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

دفن زباله اراک در ۱۵ کیلومتری این شهر در منطقه امان‌آباد و بالادست ۱۴ حلقه چاه شرب شهر قرار دارد. منطقه دفن در زیرحوزه آبریز امان‌آباد در جنوب شرق شهر اراک و جنوب حوزه آبریز تالاب میقان واقع شده است (شکل ۱). محل دفن کنار مسیلی است که از ارتفاعات غربی حوزه حوالی روستای سوارآباد سرچشمه می‌گیرد و پس از گذشتن از کنار مکان دفن زباله در بالادست چاه‌های آب شرب به مسیل اصلی امان‌آباد ملحق می‌شود. طول مسیل ۱۷ کیلومتر و مساحت اراضی بالادست محل دفن زباله ۵۲ کیلومتر مربع است. رواناب رودخانه در تماس با محل دفن و شیرابه ورودی به آن در مواقع سیلابی به آبرفت بالادست چاه‌های امان‌آباد نفوذ می‌کند. بنابراین، پتانسیل آلاینده آب چاه‌های دشت امان‌آباد محسوب می‌شوند. محل دفن زباله روی آبرفتی به ضخامت حدود ۵۰ متر تجمع یافته که سنگ بستر آن اسلیت آهکی و غیر قابل نفوذ است. ضخامت آبرفت در خروجی محل دفن بیش از ۵۰ متر است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۷۹۸ متر، بارندگی متوسط سالیانه ۲۸۰ میلی‌متر، دمای متوسط سالیانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد، و اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است (قدیمی و قمی ۲۰۱۳). روزانه ۳۵۰ تن زباله شهر اراک به منطقه دفن منتقل می‌شود که ۳۰ درصد آن زباله خشک (کاغذ، شیشه، فلزات) و مابقی زباله تر (پسماندهای آشپزخانه، مواد غذایی، میوه‌جات) است (قدیمی و قمی ۲۰۱۳).



شکل ۱. موقعیت دفن زباله اراک نسبت به چاه‌های آب و گمانه‌های حفرشده در محل دفن

برنامه نمونه برداری

در رسوب محل دفن زباله اراک سه گمانه (BH1, BH2, BH3) به روش دستی با دهانه‌ای به قطر یک متر و عمق چندین متر حفر و نمونه از دیواره گمانه در عمق مشخصی با استفاده از بیلچه در سال ۱۳۹۶ برداشت شد. ۳۱ نمونه رسوب از سه گمانه (از گمانه اول با عمق ۲۲/۵ متر ۱۳ نمونه، از گمانه دوم با عمق ۱۷/۵ متر ۱۰ نمونه، از گمانه سوم با عمق ۱۳ متر ۸ نمونه) جمع‌آوری شد. تعیین بافت و ترکیبات فیزیکی و شیمیایی رسوبات در آزمایشگاه خاک آزمایشگاه، واقع در تهران، انجام گرفت. بافت با الک و هیدرومتر، اسیدیته با pH متر، مواد آلی با کوره الکتریکی، عناصر سنگین (سرب، کروم، نیکل، مس، روی، آرسنیک، منگنز، آهن) با دستگاه جذب اتمی، و جیوه با روش تیزاب سلطانی در دستگاه هیدرید اندازه‌گیری شد. حد دقت دستگاه برای فلزات سنگین ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. همچنین، دقت تجزیه شیمیایی با خطای کمتر از ۱۰ درصد بررسی شد. غلظت فلزات سنگین رسوبات محل دفن زباله اراک با مقدار مرجع پوسته فوقانی مقایسه شد. داده‌های عناصر سنگین در نرم‌افزار GIS پردازش تصویری و در نرم‌افزار آماری استاتستیکا^۱ نسخه ۱۰ پردازش آماری شد.

تعیین آلودگی فلزی

– ضریب غنی‌شدگی^۲ (EF): ضریب غنی‌شدگی با توجه به استاندارد شدن یک عنصر در مقابل عنصر مرجع تعیین می‌شود. مهم‌ترین عناصر مرجع عبارت‌اند از: منگنز، تیتانیوم، آلومینیوم، کلسیم، آهن (ساترلند ۲۰۰۰: ۶۱۱؛ بروم‌ساک ۲۰۰۶: ۳۴۴). در تحقیق حاضر، آهن به دلیل اینکه فراوان‌ترین عنصر در پوسته زمین است و همچنین به دلیل طیف

1. Statistica
2. Enrichment Factor

تغییرات کم آن در رسوب گمانه‌ها به عنوان عنصر مرجع انتخاب شد. ضریب غنی‌شدگی جهت تعیین تأثیر آلودگی انسانی بر رسوب با رابطه ۱ به دست آمد (علی و همکاران ۲۰۱۳: ۶۷۶).

رابطه ۱

$$EF = \frac{\left(\frac{[C_n]}{[C_{ref}]} \right)_{Sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}} \right)_{background}}$$

در رابطه ۱ C_n مقدار عنصر در محیط، C_{ref} مقدار عنصر مرجع در محیط، B_n مقدار عنصر در محیط مرجع، و B_{ref} مقدار عنصر مرجع در محیط مرجع است. ضریب غنی‌شدگی عبارت است از: ($EF < 2$) بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی کم، ($EF = 2-5$) غنی‌شدگی متوسط، ($EF = 5-20$) غنی‌شدگی درخور توجه، ($EF = 20-40$)، غنی‌شدگی بسیار زیاد، و ($EF > 40$) غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد (ساترلند ۲۰۰۰: ۶۱۱؛ شاکری و همکاران ۲۰۱۶: ۱).

- ضریب زمین‌انباشت^۱ (I_{geo}): ضریب زمین‌انباشت درجه آلایندهی مقدار عنصر پیش از صنعتی شدن و مقدار آن در محیط امروز را مقایسه می‌کند. برای تعیین درجه آلودگی زمین‌انباشت فلزات سنگین از رابطه ۲ استفاده شد.

رابطه ۲

$$I_{geo} = \log_2 \times \frac{C_n}{1.5B_n}$$

در رابطه ۲ C_n غلظت فلز در نمونه رسوب، B_n مقدار زمینه عنصر در پوسته زمین (کاریت ۲۰۱۲: ۲۶۹)، و مقدار ۱/۵ برای نشان دادن تغییرات ممکن در زمینه است (ترکیان و ودپول ۱۹۶۱: ۱۷۵). ضریب زمین‌انباشت به درجه‌های مختلف $I_{geo} \leq 0$ بدون آلودگی، $0 < I_{geo} < 1$ آلودگی کم تا متوسط، $1 < I_{geo} < 2$ آلودگی متوسط، $2 < I_{geo} < 3$ آلودگی متوسط تا زیاد، $3 < I_{geo} < 4$ آلودگی زیاد، و $4 < I_{geo} < 5$ آلودگی زیاد تا فوق‌العاده زیاد تقسیم می‌شود (مولر ۱۹۶۹: ۱۶۸).

- درجه آلودگی: درجه آلودگی^۲ (C_d) رسوب با توجه به ضریب آلودگی^۳ (C_f) تعیین می‌شود. برای هر نمونه رسوب و هر عنصری (C_f) و بر اساس نسبت مقدار عنصر به مقدار مرجع آن از رابطه ۳ استفاده شد.

رابطه ۳

$$C_f = C_{heavy\ metal} / C_{background}$$

$$C_d = \sum C_f$$

در رابطه ۳ ضریب آلودگی و C_d درجه آلودگی عناصر سنگین است. درجه آلودگی به طبقات $C_d < n$ درجه آلودگی کم، $n < C_d < 2n$ درجه آلودگی متوسط، $2n < C_d < 3n$ درجه آلودگی زیاد، $C_d > 3n$ درجه آلودگی فوق‌العاده زیاد تقسیم می‌شود (هاکنسون ۱۹۸۰: ۹۷۵). n تعداد عناصر سنگین برای تعیین درجه آلودگی است.

نتایج و بحث

محل دفن روباز زباله اراک روی رسوبات آبرفتی جوان کواترنری واقع شده که حاصل ته‌نشست رسوبات سیلابی رودخانه

1. Geo-accumulation index
2. Contamination degree
3. Pollution factor

در بالادست است. دشت آبرفتی از اطراف با ارتفاعات محدود به فرم تقریباً بسته است و فقط یک خروجی به عرض کانال ۳ متر و ارتفاع پادگانه ۴ متر و عرض دشت سیلابی ۳۰ متر دارد. سنگ کف در این محل در عمق بیش از ۵۰ متر قرار دارد. سه گمانه حفرشده محدوده‌های شمالی و شرقی و جنوبی آبرفت را تا عمق حداکثر ۲۲/۵ متر در بر گرفته است. محل دفن قدیمی با عمر بیش از ۳۰ سال است که رسوبات آبرفتی را تحت پوشش قرار داده و با تماس مستقیم آب نفوذی شیرابه به اعماق رسوبات راه یافته است. طی حرکت شیرابه به اعماق عناصر سنگین، با توجه به شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط، انتقال یافته است و به نظر می‌رسد پروفیل خاک از سطح تا عمق به فلزات سنگین آلوده شده باشد (رضایی و جمشیدی زنجانی ۲۰۱۷: ۱۱۳).

مقدار سرب در محل دفن زباله اراک با میانگین ۳۲ از ۲۲ تا ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است (جدول ۱). مقادیر حداقل و میانگین و حداکثر سرب در نمونه‌های مختلف از مقدار آن در پوسته (۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است (جدول ۱). سرب در محل دفن زباله ناشی از تجزیه محصولات چوبی، باتری‌های اسید سرب، رنگ‌دانه، ظروف، سرامیک، پلاستیک، آلیاژها، ورق، کابل، لچیم‌کاری و لوله‌هاست (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). همچنین، مقدار سرب در سه گمانه حفرشده از مقدار آن در سنگ‌های پوسته بیشتر است (شکل ۲). بررسی مقدار سرب در گمانه‌ها نشان داد سرب از سطح زمین تا عمق ۵ متری و ۱۰ تا ۱۵ متری و همچنین در گمانه BH1 در عمق ۲۰ تا ۲۲ متری روند افزایشی داشته است. ضریب غنی‌شدگی سرب در گمانه‌ها از ۲/۱۰ تا ۵/۳۰ متغیر است که در گمانه BH1 و BH3 دارای درجه آلودگی کم و در گمانه BH2 از کم تا متوسط متغیر است (جدول ۲). ضریب زمین‌انباشت سرب از ۰/۰۶- تا ۰/۲۵- متغیر است و این ضریب در کل گمانه‌ها درجه آلودگی را از بدون آلودگی تا آلودگی کم نشان داد.

مقادیر کروم در رسوبات دفن زباله اراک با میانگین ۳۹ از ۲۷ تا ۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است (جدول ۱). میانگین و حداکثر کروم از مقدار متوسط آن در پوسته (۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتر است. در همه رسوبات گمانه‌ها کروم غلظتی کمتر از پوسته دارد. از طرفی طیف تغییرات کروم نسبت به افزایش عمق ناچیز است (شکل ۲). ضریب غنی‌شدگی کروم از ۰/۵۳ تا ۱/۰۲ متغیر است که درجه آلودگی کم را نشان می‌دهد (جدول ۲). از سوی ضریب زمین‌انباشت کروم از ۰/۷۱- تا ۰/۹۸ دارای درجه بدون آلودگی است.

غلظت نیکل در رسوب محل دفن زباله با میانگین ۶۴ از ۴۱ تا ۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. مقدار حداقل آن نیز از مقدار پوسته (۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتر است. همچنین، مقدار نیکل در همه گمانه‌ها از مرجع پوسته بیشتر است (شکل ۲). نیز، در سطح زمین و تا عمق ۵ متری و ۱۰ تا ۱۵ متری افزایش نیکل در گمانه‌ها دیده شد. نیکل در محل دفن زباله می‌تواند ناشی از تجزیه محصولات آب‌کاری، باتری نیکل، جوش قوس الکتریکی، رنگ‌دانه برای رنگ سرامیک، پروتز جراحی و دندان‌پزشکی، قالب برای سرامیک و ظروف شیشه‌ای، قطعات کامپیوتر، و کاتالیزور باشد (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). ضریب غنی‌شدگی نیکل از ۴/۱۸ تا ۹/۵۴ با درجه آلودگی کم تا متوسط متغیر است. ضریب زمین‌انباشت از ۰/۱۸ تا ۰/۴۹ متغیر است که درجه آلودگی کم را برای نیکل نشان داد.

غلظت مس در رسوبات محل دفن با میانگین ۲۵ از ۱۴ تا ۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. مقادیر حداقل و میانگین مس از مقدار آن در پوسته (۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است (جدول ۱). مس در همه نمونه‌های رسوب از

مقدار پوسته بیشتر است (شکل ۲). آلودگی مس در رسوب محل دفن زباله می‌تواند ناشی از محصولات لوله‌های آب، وسایل آشپزخانه، مواد شیمیایی، تجهیزات دارویی، رنگ‌دانه، و آلیاژها باشد. مس در مقیاس محلی ناشی از ضایعات ساختمانی حاوی فلز مس (کابل‌های الکتریکی) است (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). مس در گمانه BH1 و BH2 روند مشابهی را نسبت به عمق نشان داد که مخالف با گمانه BH3 است. افزایش درخوری از مس در سطح زمین و اعماق ۱۲ تا ۱۵ و ۲۲ متری در گمانه BH1 مشاهده شد. افزایش مس در گمانه BH2 در سطح زمین و اعماق ۵، ۱۲، و ۱۷ متری و در گمانه BH3 در عمق ۴ تا ۶ متری درخور توجه است. ضریب غنی‌شدگی مس در طیف ۲/۲۴ تا ۵/۳۰ از درجه آلودگی کم تا متوسط متغیر است. این ضریب در گمانه BH1 و BH3 کم و در گمانه BH2 از کم تا متوسط متغیر است (جدول ۲). برای همه نمونه‌ها ضریب زمین‌انباشت مس از ۰/۱۴- تا ۰/۳۲- درجه کم آلودگی را نشان داد.

غلظت روی در رسوبات محل دفن زباله اراک با میانگین ۷۳ از ۴۹ تا ۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. مقدار حداقل و میانگین روی در رسوبات منطقه از مقدار آن در پوسته (۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است (جدول ۱). روی در رسوب دفن زباله می‌تواند ناشی از تجزیه محصولات آلیاژ روی (برنز- برنج)، پوشش ضد خوردگی، باتری، قوطی، تثبیت‌کننده پی‌وی‌سی، داروها، مواد شیمیایی، لاستیک، رنگ، لچیم‌کاری، و جوشکاری روغن باشد (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). مقدار روی در رسوب همه اعماق گمانه‌ها از مقدار پوسته بیشتر است (شکل ۲). مقدار روی در اعماق مختلف با تغییراتی همراه است که در گمانه‌ها متفاوت است. ضریب غنی‌شدگی روی از ۲/۰۸ تا ۴/۷۱ متغیر و درجه آلودگی آن کم است (جدول ۲). از سویی ضریب زمین‌انباشت ۰/۱۶- تا ۰/۲۶- درجه آلودگی کم را نشان داد.

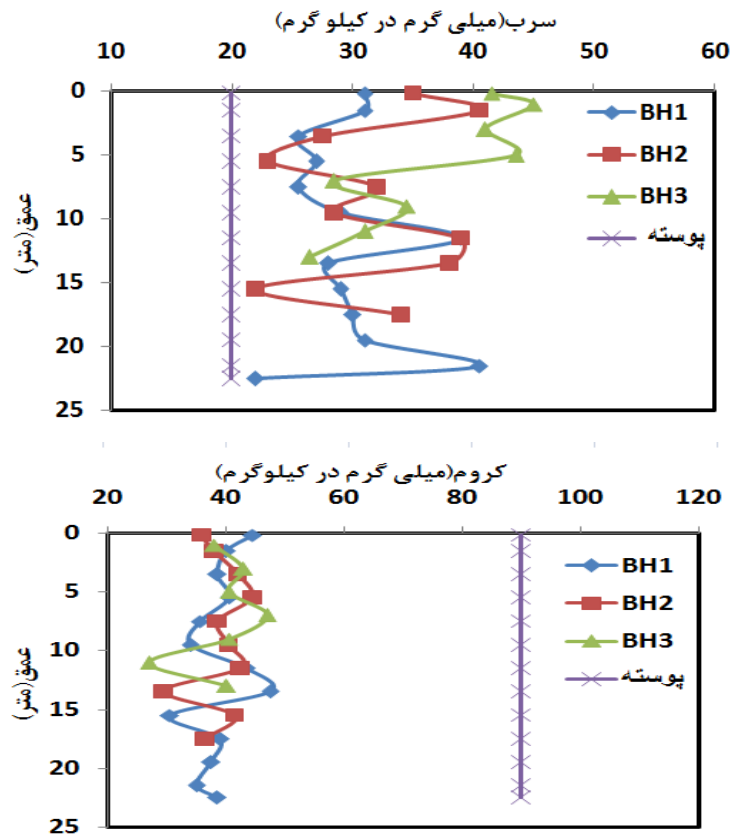
غلظت آرسنیک در رسوب محل دفن زباله اراک با میانگین ۱۵ از ۰/۰۸ تا ۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. مقدار میانگین و حداکثر آن از مقدار پوسته (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است. مقدار آرسنیک در اکثر نمونه رسوبات در گمانه‌ها بیشتر از مقدار پوسته است (شکل ۲). آرسنیک می‌تواند در محل دفن زباله اراک از محصولات مواد افزودنی خوراک دام، مواد نگه‌دارنده چوب (آرسنات مس- کرم)، مواد شیشه‌های ویژه، سرامیک، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، قطعات الکترونیکی، مواد نساجی، مواد دباغی، رنگ‌دانه‌ها، ضد رسوب، فیلتر نور، آتش‌بازی، و دامپزشکی حاصل شده باشد (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). آرسنیک در همه گمانه‌ها روند مشابهی نسبت به عمق نشان داد؛ طوری که در سطح زمین اعماق ۵ و ۱۳ و ۱۷ متری به‌ویژه در گمانه BH1 افزایش درخور توجهی نشان داد. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک از ۰/۰۴ تا ۲۲ متغیر است که درجه آلودگی کم تا خیلی زیاد را نشان می‌دهد. این مقدار در گمانه BH1 از کم تا خیلی زیاد و در گمانه‌های BH2 و BH3 درجه کم را نشان داد. ضریب زمین‌انباشت ۱/۹۴- تا ۰/۸۲- درجه آلودگی کم را برای آرسنیک مشخص کرد.

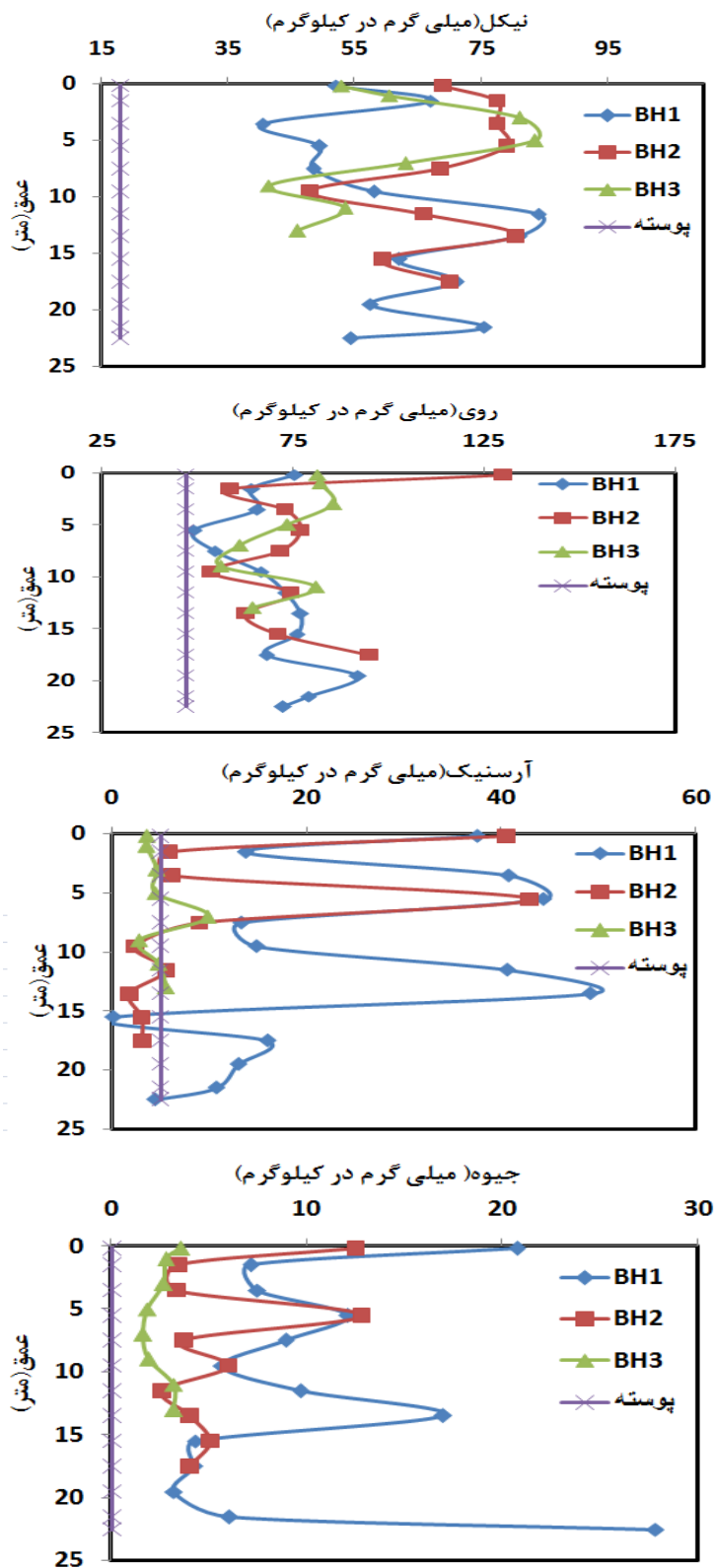
غلظت جیوه در رسوبات دفن زباله اراک با میانگین ۶/۹۰ از ۱/۶۵ تا ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. مقدار حداقل و میانگین آن از مقدار پوسته (۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) خیلی بیشتر است. مقدار جیوه در همه نمونه‌های رسوب گمانه‌ها از مقدار پوسته بیشتر است. جیوه در محل دفن زباله اراک می‌تواند ناشی از تجزیه محصولات قارچ‌کش‌ها، کاتالیزور، مواد دارویی پرکننده دندان، ابزار علمی، اسپلاتورهای یک‌سوکننده، الکتروود، لامپ‌های بخار جیوه، لوله‌های اشعه ایکس باشد (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). جیوه در گمانه‌های BH1 و BH2 تا عمق ۱۰ متر روند مشابهی

داشت و از ۱۰ متر به بعد این روند متفاوت بود. تغییرات جیوه نسبت به عمق در گمانه BH3 تقریباً ثابت است. افزایش قابل توجهی از جیوه در سطح، اعماق ۵، ۱۴، و ۲۲ متری در گمانه BH1 مشاهده شد. ضریب غنی‌شدگی جیوه در رسوبات محل دفن و در سه گمانه از ۶۱ تا ۱۰۸۰ متغیر است که درجه آلودگی فوق‌العاده زیاد را نشان می‌دهد. از طرفی مقدار ضریب زمین‌انباشت جیوه از ۱/۳۴ تا ۲/۷۰ درجه آلودگی متوسط را مشخص کرد.

جدول ۱. پارامترهای آماری از فلزات سنگین رسوبات محل دفن زباله اراک (واحدها به میلی‌گرم در کیلوگرم)

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کج‌شدگی	مرجع پوسته فوقانی
سرب	۳۲	۲۲	۴۵	۶/۵۲	۰/۳۴	-۰/۹۱	۱۷
کروم	۳۹	۲۷	۴۸	۵/۱۰	-۰/۶۵	۰/۳۳	۹۲
نیکل	۶۴	۴۱	۸۴	۱۳	-۰/۰۶	-۱/۱۶	۱۸
مس	۲۵	۱۴	۴۱	۶	۰/۳۶	-۰/۰۴	۱۳
روی	۷۳	۴۹	۱۳۰	۱۵	۱/۶۹	۱/۷۲	۴۷
آرسنیک	۱۵	۰/۰۸	۴۹	۱۵	۱/۱۹	-۰/۲۰	۵
جیوه	۶/۹۰	۱/۶۵	۲۸	۶/۰۲	۱/۹۲	۱/۳۹	۰/۰۵





شکل ۲. غلظت عناصر سنگین در رسوب گمانه‌های دفن زباله اراک

به طور کلی، مقدار عناصر سنگین در ۳۱ نمونه از سه گمانه نشان داد سرب، نیکل، مس، روی، آرسنیک، و جیوه به ترتیب با مقدار ۳۲، ۶۴، ۲۵، ۷۳، ۱۵، و ۶/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از مقدار آن‌ها در مرجع پوسته فوقانی (کاریت و ریمن ۲۰۱۲: ۲۶۹) بیشتر است (جدول ۱). کروم با مقدار ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم از مرجع پوسته فوقانی کمتر است. همچنین، این بررسی نشان داد غلظت سرب، نیکل، مس، روی، و جیوه در همه نمونه‌های رسوب گمانه‌ها بیشتر از مقدار آن در پوسته فوقانی است. کروم در همه نمونه‌های رسوب گمانه‌ها کمتر از مرجع پوسته فوقانی است. آرسنیک در ۹۲ درصد از گمانه BH1 و ۶۰ درصد از گمانه BH2 از مرجع پوسته فوقانی بیشتر و در همه نمونه‌های رسوب گمانه BH3 کمتر از مرجع پوسته فوقانی است. بررسی‌های حاتمی‌منش و همکارانش (۱۳۹۴) در رسوبات محل دفن زباله‌های شهرکرد نشان داد روی و مس عمدتاً در زباله‌های بیمارستانی و کروم در زباله‌های شهری دیده می‌شود. ملکوتیان و مؤمن‌زاده (۱۳۹۴) با مطالعه غلظت فلزات سنگین مختلف بر بالا بودن سرب و نیکل در کمپوست کرمان، سلیمان‌نژاد و همکارانش (۱۳۹۵) بر مقادیر بالای عناصر سنگین روی و مس و آرسنیک در رسوب محل دفن زباله قائم‌شهر، و میرکازه‌ی و رضایی (۱۳۹۶) با مطالعه فلزات سنگین رسوب دفن زباله شهرستان خاش بر وجود عناصر روی و سرب و کادمیوم در دفن زباله تأکید کردند.

جدول ۲. مقادیر ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت در رسوبات گمانه‌های موجود در محل دفن زباله اراک

شاخص آلودگی	گمانه	پارامتر آماری	سرب	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	جیوه
		حداقل	2/51	0/61	4/18	2/43	2/43	0/04	110
	BH1	میانگین	3/29	0/79	6/38	3/43	2/80	8/52	394
		حداکثر	4/02	1/04	8/09	5/00	3/80	22	1080
		حداقل	2/10	0/65	4/87	2/53	2/08	0/74	82
EF	BH2	میانگین	3/51	0/78	7/25	3/80	3/10	4/56	216
		حداکثر	5/30	1/02	9/54	5/30	4/71	18	543
		حداقل	2/79	0/53	4/34	2/24	2/24	1/03	61
	BH3	میانگین	3/75	0/73	5/90	3/18	2/75	1/75	93
		حداکثر	4/50	0/98	8/14	4/52	3/87	3/67	145
		حداقل	-0/06	-0/65	0/18	-0/14	-0/16	-1/94	1/63
	BH1	میانگین	0/06	0/55	0/35	0/08	-0/01	0/24	2/05
		حداکثر	0/20	-0/46	0/49	0/19	0/11	0/82	2/70
		حداقل	-0/60	-0/67	0/25	-0/03	-0/12	-0/62	1/54
Igeo	BH2	میانگین	0/09	-0/55	0/41	0/12	0/02	-0/06	1/82
		حداکثر	0/21	-0/49	0/47	0/32	0/26	0/76	2/23
		حداقل	0/02	-0/71	0/19	-0/09	-0/10	-0/43	1/34
	BH3	میانگین	0/15	-0/56	0/34	0/07	0/01	-0/22	1/53
		حداکثر	0/25	-0/47	0/49	0/23	0/08	0/12	1/68

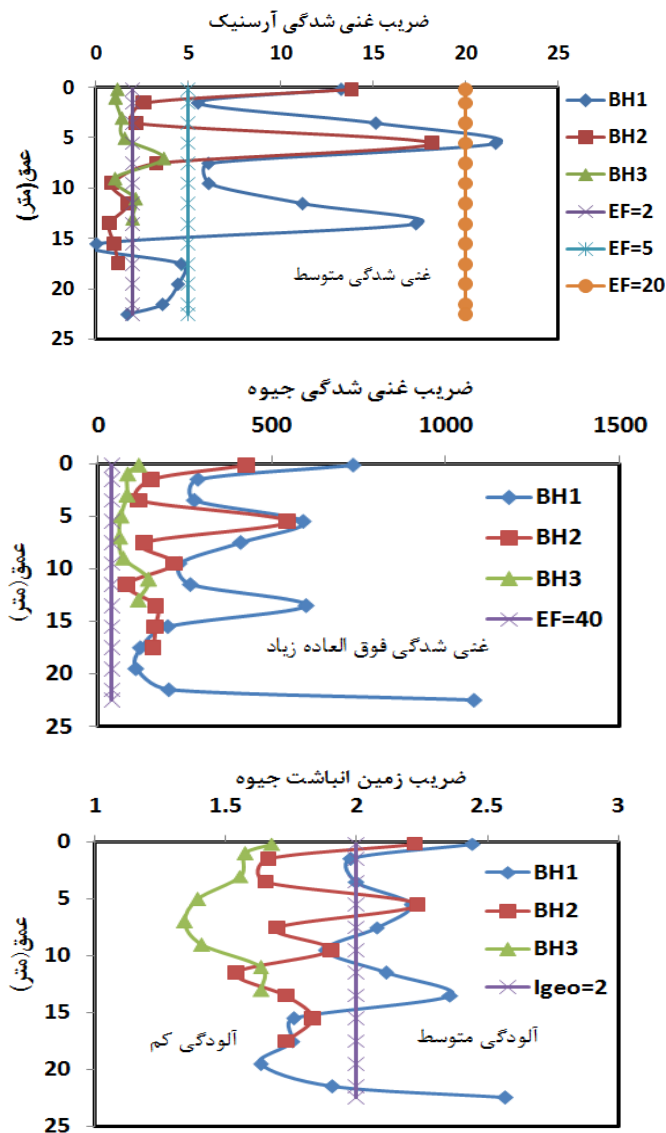
شاخص آلودگی	گمانه	پارامتر آماري	سرب	کروم	نیکل	مس	روی	آرسنیک	جیوه
		حداقل	1/29	0/23	2/25	1/10	1/04	0/02	64
	BH1	میانگین	1/75	0/42	3/42	1/84	1/49	4/59	206
		حداکثر	2/38	0/52	4/70	2/34	1/96	9/84	556
		حداقل	1/29	0/34	2/70	1/38	1/14	0/36	52
CF	BH2	میانگین	1/90	0/42	3/86	2/02	1/63	2/41	115
		حداکثر	2/38	0/48	4/47	3/11	2/77	8/59	256
		حداقل	1/55	0/29	2/30	1/19	1/19	0/55	33
	BH3	میانگین	2/14	0/41	3/45	1/83	1/55	0/97	52
		حداکثر	2/64	0/51	4/63	2/57	1/82	1/98	71

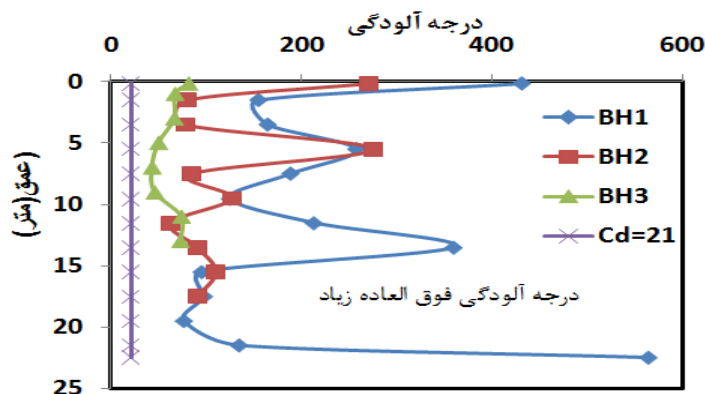
وانگ‌دالا و همکارانش (۲۰۱۸)، با بررسی رسوب دفن زباله شهری لائوس، دریافتند میزان مس موجود در رسوب نسبت به سایر عناصر سنگین و در مقایسه با مرجع پوسته به مراتب بیشتر است. منصورى و همکارانش (۲۰۱۹)، با بررسی رسوبات دفن زباله بوتسوانا^۱ در افریقای جنوبی، بر وجود مس و نیکل در رسوب اعماق مختلف تأکید کردند. هونگ و نجوین (۲۰۱۹) با بررسی عناصر سنگین در رسوبات محل دفن زباله کیوکی^۲ در ویتنام دریافتند غلظت عناصر سنگین سرب، مس، روی، نیکل، آرسنیک، و جیوه در رسوبات سطحی دفن بیش از رسوب عمقی است. در همه نمونه‌های گمانه‌ها ضریب غنی‌شدگی سرب، کروم، نیکل، مس، و روی در کلاس بدون غنی‌شدگی تا کمی غنی‌شدگی است. آرسنیک در ۶۱ درصد گمانه BH1 و ۲۰ درصد گمانه BH2 غنی‌شدگی متوسط و جیوه در همه نمونه‌ها غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد دارد. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک در سه گمانه نسبت به عمق روند مشابهی دارد؛ طوری که افزایش ضریب غنی‌شدگی به‌ویژه در گمانه BH1 در سطح و اعماق ۵ و ۱۳ و ۱۸ متری مشاهده شد (شکل ۳).

ضریب زمین‌انباشت سرب، کروم، نیکل، مس، روی، و آرسنیک در همه نمونه‌های گمانه‌ها دارای درجه بدون آلودگی تا کمی آلودگی است. درجه آلودگی جیوه در همه نمونه‌ها متوسط است. به علاوه، درجه آلودگی (Cd) جیوه به دلیل زیاد بودن ضریب آلودگی (Cf) در همه نمونه‌های گمانه‌ها فوق‌العاده زیاد است. ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت جیوه در گمانه‌ها به‌ویژه گمانه BH1 و BH2 نسبت به عمق مشابه آرسنیک است (شکل ۳). درجه آلودگی همه عناصر در گمانه BH3 نسبت به عمق تغییر قابل توجهی نشان نداد (شکل ۳). درجه آلودگی در دو گمانه BH1 و BH2 در سطح و اعماق ۵/۱۳ و ۲۲ متری بارز است. بررسی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی و زمین‌انباشت در رسوبات محل دفن زباله شهری اردبیل، توسط جعفری و همکارانش (۱۳۹۵)، نشان داد رسوبات منطقه آلوده به سرب و روی و کادمیوم است و منشأ آن‌ها زباله‌های محل دفن است. مؤمنی و همکارانش (۱۳۹۷) با بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات محل دفن زباله بهشهر با روش‌های ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی بر روند افزایش آلودگی از

1. Botswana
2. Kieu Ky

کروم به کبالت، نیکل، مس، روی، و کادمیوم تأکید کردند. بررسی آلودگی رسوب به فلزات سنگین به روش ضریب آلودگی توسط بزی و همکارانش (۱۳۹۶) در دفن زباله زاهدان نشان داد این رسوبات آلوده به فلزات سرب و آرسنیک‌اند. زین‌الدینی و همکارانش (۱۳۹۵) با تعیین ضریب آلودگی و زمین‌انباشت رسوبات دفن زباله کرمانشاه نشان دادند که رسوب به‌شدت به سرب و سپس نیکل آلوده است. دیری‌سو و همکارانش (۲۰۱۹) با مطالعه رسوبات دفن زباله منطقه اوهار^۱ نیجریه به روش ضریب غنی‌شدگی و درجه آلودگی نشان دادند رسوب محل دفن با عناصری مانند مس، نیکل، روی، و سرب غنی شده‌اند. اوتمن و همکارانش (۲۰۱۹) با مطالعه عناصر سنگین در اعماق مختلف از رسوب دفن زباله کوآلامپور مالزی نشان دادند غلظت عناصر مس، آرسنیک، سرب، و روی نسبت به عمق متفاوت است؛ طوری که بیشترین تمرکز عناصر در اعماق بیش از ۱۵ متری است.





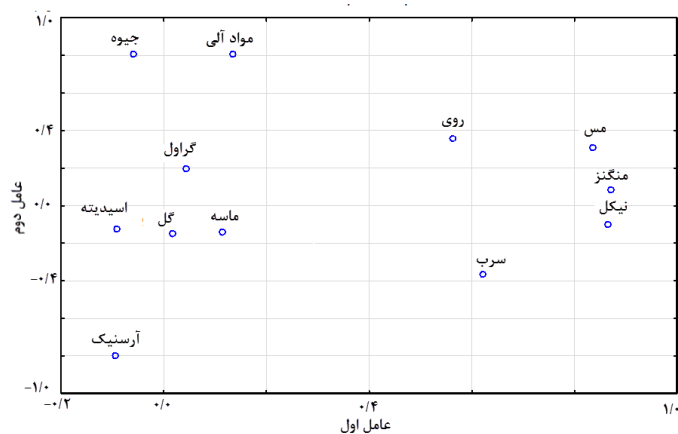
شکل ۳. ضریب غنی‌شدگی آرسنیک و جیوه، ضریب زمین‌انباشت جیوه و درجه آلودگی برای همه عناصر رسوبات محل دفن زباله اراک

به منظور تعیین توزیع و تجمع عناصر سنگین در رسوب گمانه‌ها، پس از نرمال‌سازی (با توجه مقدار کم چولگی و کج‌شدگی) (جدول ۱) و استانداردسازی داده‌ها، تحلیل عاملی^۱ همراه ترکیبات بافتی (درصد گراول، ماسه، گل، منگنز، آهن، مواد آلی، و pH انجام گرفت (جدول ۳). نتایج تحلیل در شکل ۴ و تأیید تحلیل عاملی با تحلیل خوشه‌ای در شکل ۵ ارائه شد. در تحلیل عاملی چهار عامل ۷۳ درصد از واریانس متغیرها را در بر گرفت. عامل اول با متغیرهای به ترتیب مس، منگنز، نیکل، روی، سرب با ۲۷ درصد بیشترین واریانس و همبستگی مثبت را نشان داد. عامل دوم با متغیرهای گل، ماسه، گراول حدود ۲۱ درصد واریانس داشت که در آن گراول با گل و ماسه همبستگی معکوس داشت. نمودار مثالی بافت (گراول-ماسه-گل) نشان داد بافت غالب نمونه‌ها در سه گمانه و همچنین در نمونه‌های سطحی و عمقی گراول ماسه‌ای گلی است (شکل ۶). عامل سوم با متغیرهای آرسنیک، جیوه، مواد آلی دارای ۱۵ درصد واریانس بود. همبستگی آرسنیک با جیوه و مواد آلی معکوس بود (شکل ۷). عامل چهارم با ۱۰ درصد واریانس شامل متغیر اسیدیته بود. در شکل ۴ عناصر مس، منگنز، نیکل، روی، و سرب در نزدیکی هم گروه جداگانه را مشخص کرد. در این گروه به عنوان عامل اول ارتباط مس، منگنز، نیکل نسبت به هم بیشتر از روی و سرب است. توزیع گل و ماسه و گراول در گروهی دیگر به عنوان عامل دوم به نحوی است که گل و ماسه بیشترین شباهت را از نظر فاصله به هم دارند. در گروهی دیگر مواد آلی و جیوه با هم همبستگی دارند. آرسنیک در قطب مقابل با بار عاملی منفی نسبت به جیوه و مواد آلی مشخص شد (جدول ۳). در شکل ۵ با فاصله اقلیدسی ۰/۷ خوشه‌های مختلفی ایجاد شد. خوشه اول منطبق بر عناصر مس، منگنز، نیکل، روی، و سرب بود که معادل عامل اول در روش تحلیل عاملی است. خوشه دوم با مواد آلی و جیوه منطبق بر عامل سوم تحلیل عاملی است و خوشه سوم با آرسنیک گروهی جدا تشکیل داده است. گل و ماسه با خوشه چهارم منطبق بر عامل سوم تحلیل عاملی است. در خوشه پنجم اسیدیته و گراول قرار دارد که اسیدیته آن منطبق بر عامل چهارم تحلیل عاملی است. تنها تمایز خوشه‌ها در تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی آرسنیک و گراول است که برخلاف سایر متغیرها در تحلیل عاملی بار منفی دارد و آن‌ها را از سایر متغیرها جدا کرده است. بنابراین، آرسنیک در عامل سوم و گراول در عامل دوم تحلیل عاملی رفتار متفاوتی با سایر متغیرها در همان عامل یا

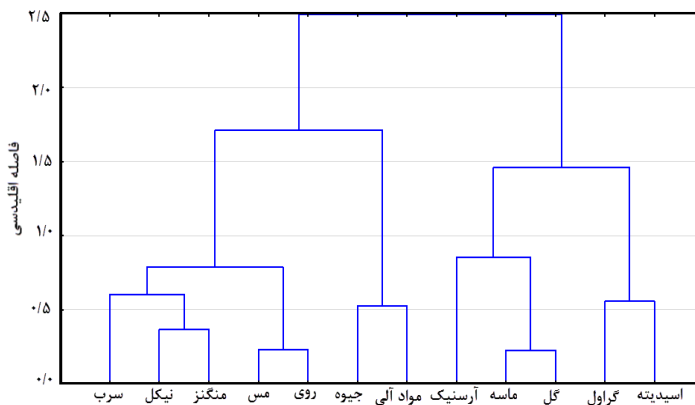
خوشه دارند. عناصر سنگین موجود در رسوب ارتباط نزدیکی با کانی‌های رسی، اکسیدهای منگنز، هیدرواکسیدهای آلومینیوم- آهن، و رسوبات غنی از مواد آلی دارند (کاباتا- پندیاس ۲۰۰۰). بنابراین، تجمع عناصر سنگین مس، منگنز، نیکل، روی، و سرب در محیطی رخ داده که منگنز آن زیاد است. همچنین، در محیط حاوی مواد آلی جیوه جذب و غنی‌شدگی داشت. در مقابل، به نظر می‌رسد غنی‌شدگی آرسنیک در فاز مجزایی است که ارتباطی با مواد آلی نداشته است. بررسی گمانه‌های مختلف نشان داد منگنز در سطح و اعماق ۵ و ۱۲ و ۲۰ متری غلظت بیشتری داشته است (شکل ۸). مواد آلی عمدتاً در سطح و اعماق ۷، ۱۱، ۱۶، و ۲۴ به‌ویژه در گمانه BH1 از بیشترین مقدار برخوردار است (شکل ۸). مقایسه نمودار مواد آلی جیوه و آرسنیک (شکل ۷) حاکی از انطباق تقریباً مناسب جیوه و آرسنیک با مواد آلی است. بنابراین، بافت رسوب نقشی در تمرکز عناصر سنگین در رسوب عمقی محل دفن زباله اراک نداشته است. علی و همکارانش (۲۰۱۹) با بررسی آلودگی رسوبات دفن زباله خامس- موشیت^۱ عربستان دریافتند که همبستگی بالایی بین عناصر سنگین روی و نیکل و مس با منگنز وجود دارد و به نقش هیدرواکسیدهای منگنز در جذب فلزات سنگین اشاره کردند. نیکا و همکارانش (۲۰۱۹) با بررسی عناصر در رسوبات اعماق مختلف دفن زباله‌ای در افریقای جنوبی اعلام کردند مس و نیکل آلودگی زیادی در رسوبات سطحی محل دفن داشته و همبستگی آن‌ها با منگنز بسیار زیاد است. اولیناکا- اولگونجو و همکارانش (۲۰۱۹)، با بررسی رسوبات دفن زباله ایالت اوندو نیجریه، به غنی‌شدگی عناصر مس و نیکل و سرب در افق‌های حاوی منگنز و آهن اشاره کردند.

جدول ۳. نقش پارامترهای بافتی، مواد آلی، اسیدیته، ترکیبات منگنز و آهن در تمرکز عناصر سنگین در تحلیل عاملی

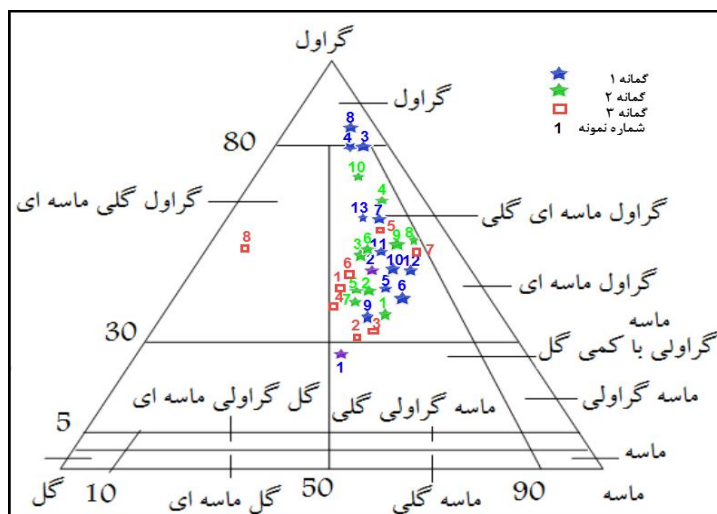
متغیر	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
سرب	۰/۶۲	۰/۲۸	-۰/۴۸	-۰/۱۱
کروم	۰/۴۸	-۰/۲۹	۰/۴۲	-۰/۳۱
نیکل	۰/۸۱	-۰/۲۹	-۰/۰۸	-۰/۰۴
مس	۰/۸۹	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۴
روی	۰/۶۴	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۱۶
آرسنیک	-۰/۱۰	۰/۱۴	-۰/۸۶	۰/۱۰
جیوه	-۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۸۴	۰/۱۰
منگنز	۰/۸۲	-۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۷
آهن	۰/۴۹	۰/۲۵	-۰/۰۱	-۰/۵۴
مواد آلی	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۶۹	۰/۳۴
گل	۰/۰۳	۰/۸۷	۰/۱۶	۰/۱۵
اسیدیته	-۰/۱۴	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۷۸
گراول	-۰/۰۴	-۰/۶۸	۰/۰۴	۰/۵۹
ماسه	۰/۰۹	۰/۸۷	-۰/۲۸	-۰/۲۹
بردار پنهان	۳/۷۶	۲/۹۲	۲/۱۰	۱/۴۰
واریانس (%)	۲۷	۲۱	۱۵	۱۰
واریانس جمعی (%)	۲۷	۴۸	۶۳	۷۳



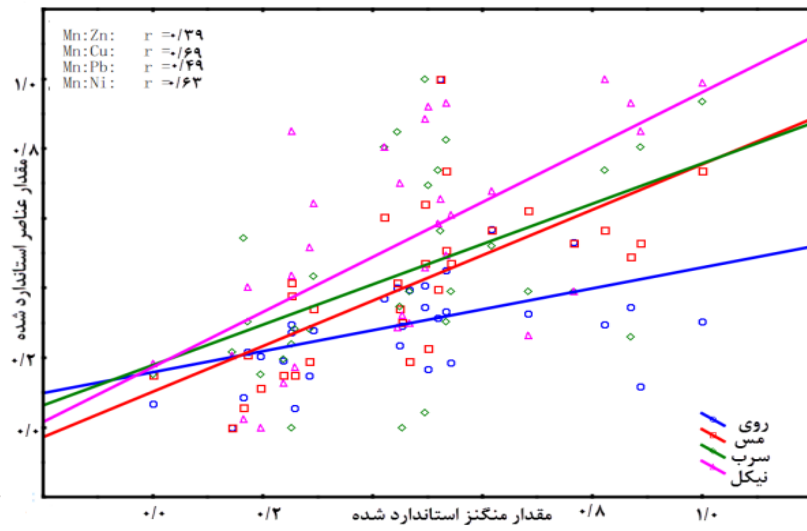
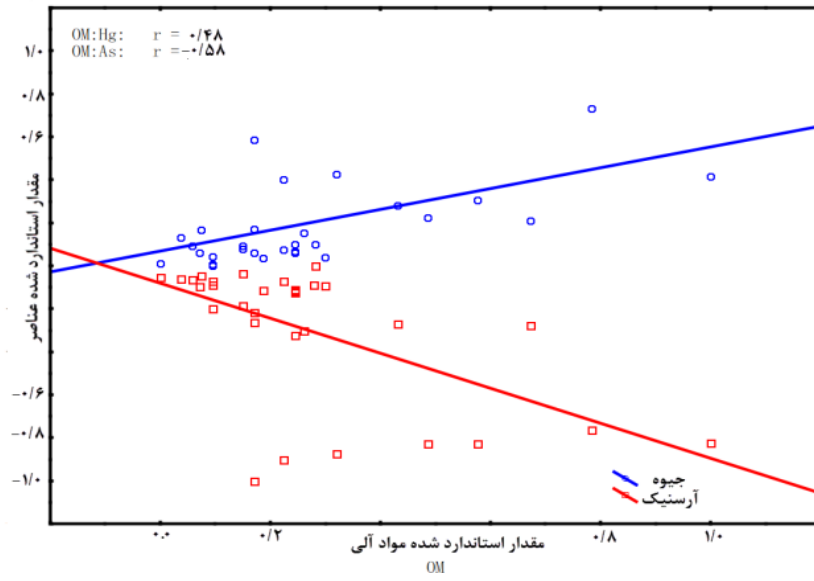
شکل ۴. نمودار تأثیر عامل اول و عامل دوم در انتخاب متغیرها



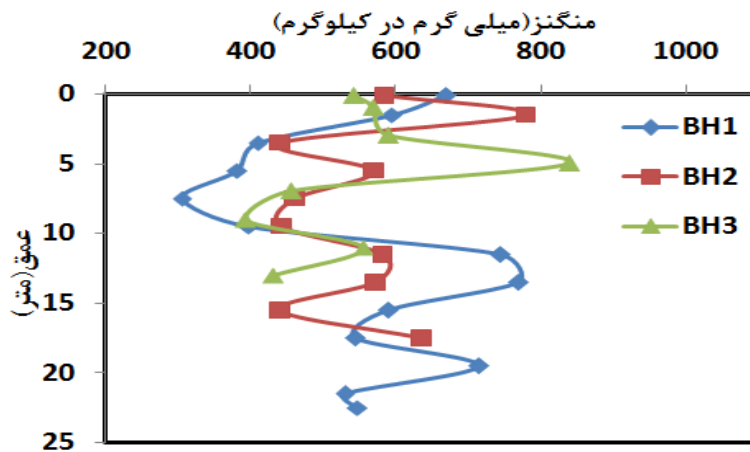
شکل ۵. نمودار انتخاب متغیرها در تحلیل خوشه‌ای

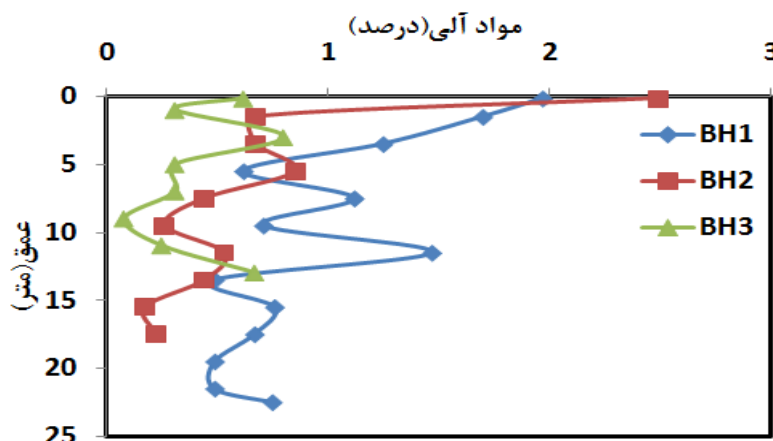


شکل ۶. مثلث بافت (گراول-ماسه-گل) برای نمونه‌های رسوب محل دفن زباله اراک



شکل ۷. رابطه عناصر سنگین با منگنز و مواد آلی





شکل ۸. تمرکز منگنز و مواد آلی در گمانه‌های مختلف رسوب محل دفن زباله اراک

نتیجه

دفن زباله اراک محل انباشت بیش از ۳۵۰ تن زباله روزانه شهری است که بالغ بر ۳۰ سال از عمر آن می‌گذرد. دفن در محلی واقع شده که مسیل اصلی حوزه سوارآباد از کنار آن عبور می‌کند. ضخامت آبرفت در کف محل دفن بالغ بر ۵۰ متر است. در فاصله ۵ کیلومتری از محل دفن ۱۴ حلقه چاه آب شرب شهر اراک واقع شده است. تجزیه زباله‌های خشک و تر در انباشت طولانی از محل دفن در تماس با بارش‌های مستقیم و رواناب مسیل سوارآباد و انتقال فلزات سنگین به اعماق رسوب صورت گرفته است. مقایسه غلظت عناصر سنگین با مرجع پوسته فوقانی حاکی از آلودگی رسوبات در گمانه‌ها نسبت به سرب، مس، روی، و نیکل و به‌ویژه آرسنیک و جیوه است. ارزیابی شاخص‌های آلودگی شدت متوسط تا زیاد آلودگی رسوب را به آرسنیک و جیوه در سطح و اعماق زیاد رسوب نشان داد. ترکیبات منگنز مهم‌ترین نقش را در توزیع عناصر سنگین نیکل و مس و همچنین مواد آلی در توزیع جیوه در اعماق مختلف گمانه‌های رسوب داشته‌اند. بنابراین، پایش فلزات سنگین در شیرابه‌های محل خروجی دفن و آب چاه‌های شرب پایین دست دفن قدیمی ضروری است. از آنجا که محل دفن قدیمی و دفن مهندسی نیست، ضروری است محل‌های دفن جدید بر اساس اصول مهندسی دفن باشند. به علاوه، با حذف هیدرولوژیکی مسیل در محل دفن می‌توان مانع از تماس آب مسیل با زباله‌های محل دفن شد. از طرفی، لازم است در انتخاب محل دفن جدید با حفر گمانه‌هایی اطلاعات کاملی از خصوصیات رسوبات از جمله نوع آبرفت رودخانه‌ای (آبرفت کانالی، سیلابی، خاکریز طبیعی)، بافت (درصد گراول، ماسه، سیلت، رس)، نفوذپذیری، و سایر متغیرهای مکانیک خاک کسب کرد.

منابع

- Abd El-Salam, M.M. & Abu-Zuid, G.I. (2015). "Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt", *Journal of Advanced Research*, Vol. 6, pp. 579-586.
- Akoteyon, I.S, Mbata, U.A., & Olalude, G.A. (2011). "Investigation of heavy metal contamination in groundwater around landfill site in a typical sub-urban settlement in

- Alimosho Lagos-Nigeria”, *Journal of Applied Science Environment Sanitation*, Vol. ۶, No. ۲, pp. ۱۵۵-۱۶۳.
- Ali, Z., Malik, R.N., & Qadir, A. (2013). “Heavy metals distribution and risk assessment in soils affected by tannery effluents”, *Chemical Ecology*, Vol. 29, No. 8, pp. 676-692.
- Ali, I.H., Siddeeg, S.M., Idris, A.M., Brima, E.I., Ibrahim, K.A., & Ebraheem, S.A.M. (2019). “Contamination and human health risk assessment of heavy metals in soil of a municipal solid waste dumpsite in Khamees-Mushait, Saudi Arabia”, *Toxin Reviews*, <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1564144>.
- Bazzi, F., Rezaei, M.R., & Sayadi Anari, M.H. (2017). “Assessing Soil Pollution with Heavy Metals using Contamination Factor Index at Zahedan Municipal Landfill”, *Environment and Water Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 170-180. (in Persian)
- Brumsack, H.J. (2006). “The trace metal content of organic carbon-rich sediments: implications for Cretaceous Black Shale Formation”, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 232, pp. 344-361.
- Caritat, P.D. & Reimann, C. (2012). “Comparing results from two continental geochemical surveys to world soil composition and deriving Predicted Empirical Global Soil (PEGS2) reference values”, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 319-320, pp. 269-276.
- Dirisu, C.E., Biose, E., & Aighewi, I.T. (2019). “Heavy Metal Contamination of Ewhare Dumpsite Environment in Nigeria’s Niger Delta, SCIREA”, *Journal of Environment*, Vol. 3, No. 2, <http://www.scirea.org/journal/Environmental>.
- Dong, S., Liu, B., & Tang, Z. (2008). “Investigation and modeling of the environment impact of landfill leachate on groundwater quality at Jiaying Southern China”, *Journal of Environmental Technology Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 23-30.
- Ghadimi, F. & Ghomi, M. (2013). “Assessment of the effects of municipal wastewater on the heavy metal pollution of water and sediment in Arak Mighan Lake, Iran”, *Journal of Tethys*, Vol. 1, No. 3, pp. 205-214.
- Hatami-Manesh, M., Mirzaei, M., Gholamali-Fard, M., Riyahi-Bakhtiyari, A.R., & Sadeghi, M. (2015). “Evaluation of copper, zinc, and chromium concentration in landfill soil and hospital waste ash of Shahrekord municipal solid waste landfill”, *Journal of Health and Environment*, Vol. 8, No. 1, pp. 57-66. (in Persian)
- Hoang, H.N. & Nguyen, T.T.K. (2019). Assessment of Heavy Metal Pollution to Soil Environment, A Case Study: KieuKy Landfill—Hanoi, Vietnam, Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies, pp. 291-298.
- Hakanson. L. (1980). “An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach”, *Water Research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
- Hölzle, I. (2019). “Contaminant patterns in soils from landfill mining”, *Waste Management*, Vol. 83, pp. 151-160.
- Jafari, K., Hafezi Mogadas, N., Mazlomi, A.R., & Ghazy, A. (2016). “Investigation of heavy metals contaminant in downstream landfilling site of Ardebil municipal waste”, *Journal of Environmental Studies*, Vol. 42, No.3, pp. 489-506. (in Persian)
- Kabata-Pendias. A. (2000). Trace Element in Soils and Plants, Third edition, CRC Press, 413 p.
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., & Yan, X. (2019). “A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques”, *Soil and Sediment*

- Contamination, Vol. 28, No. 4, pp. 380-394.
- Malakootian, M. & Momenzadeh, R. (2015). "Assessment of Heavy Metals Lead, Cadmium, Chromium, Nickel and Zinc in Compost Production Plant in Kerman", *Journal of Illam University of Medical Science*, Vol. 23, No.1, pp. 63-70. (in Persian)
- Mansouri, B., Salehi, J., & Rezaei, M. (2019). "Assessment of the concentration of heavy metals associated with landfill leachate in Gamodubu soils in the Kweneng District, Botswana, Ranian", *Journal of Toxicology*, Vol. 8, No. 25, pp. 1068-1072.
- Mirkazahi, Z., Rezaei, M.R. (2018), "The study of heavy metals in the soil to a depth of 5-10 cm Khash city landfill", *Journal of Environmental Science and Technology*, http://jest.srbiau.ac.ir/article_11487.html. (in Persian)
- Moomeni, A.A., Hosseinzade, F., & Bagheri, R. (2018). "Assessment of heavy metals pollution in soils around Behshahr landfill", *New Finding in Applied Geology*, Vol. 12, No. 24, pp. 77-88. (in Persian)
- Müller, G. (1969). "Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River", *Geojournal*, Vol. 2, pp. 108-118.
- Nyika, J.M., Onyari, E.K., Dinka, M.O., Bhardwaj, S., & Mishra, S.B. (2019). "Heavy Metal Pollution and Mobility in Soils within a Landfill Vicinity: A South African Case study", *Oriental Journal of Chemistry*, Vol. 35, No. 4, DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/350406>.
- Olayinka-Olagunju, J.O., Olatunji, A.M., Adejuyigbe, A., Ikuesan, H.A., & Abubakar, S.E. (2019). "Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soil of an Open Dump along Old Ikare Road Owo, Ondo State, Nigeria", *Asian Journal of Environment and Ecology*, Vol. 9, No. 3, pp. 1-11.
- Othman, R.L., Latiff, N.H., Baharuddin, Z.M., & Hashim, K.S.H. (2019). "Closed landfill heavy metal contamination distribution profiles at different soil depths and radiuses", *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 17, No. 4, pp. 8059-8067.
- Rezaei, M. & Jamshidi-Zanjani, A. (2017). "Landfill Site Selection Using Combination of Fuzzy Logic and Multi Criteria Decision Making Method (Case Study: Arak, Iran)", *Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J)*, Vol. 17, No. 2, pp. 133-140. (in Persian)
- Ruchuwarak, P., Intamat, S., Tengjaroenkul, B., & Neeratanaphan, L. (2019). "Bioaccumulation of heavy metals in local edible plants near a municipal landfill and the related human health risk assessment", *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Vol. 25, No. 7, <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1473755>.
- Shakeri, A., Shakeri, R., & Mehrabi, B. (2016). "Contamination, toxicity and risk assessment of heavy metals and metalloids in sediments of Shahid Rajaie Dam, Sefidrood and Shirinrood Rivers, Iran", *Environmental Earth Sciences*, Vol. 75, No. 8, pp. 1-13.
- Soleimannejad, Z., Abdolzadeh, A., & Sadeghipour, H.R. (2016). "Heavy Metal Concentrations in Industrial Area Soils and Landfill Site, Ghaemshahar, Iran", *Journal of Mazandaran University Medical Science*, Vol. 26, No. 136, pp. 196-201. (in Persian)
- Sutherland, R.A. (2000). "Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii", *Environmental Geology*, Vol. 39, pp. 611-627.
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. (1961). "Distribution of the elements in some major units of the earth's crust", *Geological Society American Bulletin*, Vol. 72, No. 2, pp. 175-192.
- Vongdala, N., Tran, H.D., Xuan, T.D., Teschke, R., & Khanh, T.D. (2018). "Heavy Metal

Accumulation in Water, Soil, and Plants of Municipal Solid Waste Landfill in Vientiane, Laos”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 16, No. 1, doi: 10.3390/ijerph16010022

Zeynoldini, Z., Karami, M., Fatemia Ghomsheh, A., Shekaari, P., & Hamed, F. (2017). “Evaluation of cadmium, lead and nickel elements pollution potential in the downstream topsoil of Kermanshah landfill based on pollution indices”, *Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 39, No. 2, pp. 55-68. (in Persian)