

بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف لندفیل بهشهر

فاطمه حسین‌زاده^۱، علی‌اکبر مومنی^{۲*} و رحیم باقری^۳

۱، ۲ و ۳- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود،

نویسنده مسئول: Ali_moomeni@yahoo.com*

دریافت: ۹۶/۳/۲۸ پذیرش: ۹۷/۴/۱۳

چکیده

بررسی زیست‌محیطی محل دفن پسماندهای شهری به دلیل پتانسیل بالای ایجاد آلودگی‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این مطالعه، بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف سایت دفن زباله شهر بهشهر می‌باشد. بدین منظور تعداد ۱۲ نمونه خاک سطحی از محل دفن زباله و زمین‌های کشاورزی اطراف آن جمع‌آوری شده و نمونه‌ها پس از آماده‌سازی جهت اندازه‌گیری ۳۵ عنصر توسط دستگاه ICP-OES، آنالیز شدند و از بین عناصر آنالیز شده، ۸ عنصر کبالت، روی، مس، آرسنیک، مولیبدن، کروم، نیکل و کادمیوم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین به منظور ارزیابی احتمالی از تاثیر این لندفیل بر روی آلودگی خاک‌های اطراف، یک نمونه از شیرابه گرفته شده و با استفاده از دستگاه ICP-MS آنالیز گردید. نتایج بدست آمده با ۴ استاندارد آلودگی مقایسه گردید. آنالیز آماری بر روی نتایج بدست آمده با استفاده از ماتریس پیرسون، شاخص غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی و فاکتور بار آلودگی انجام گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین غلظت کبالت، کادمیوم، روی، مس، آرسنیک و نیکل در تمامی نمونه‌ها نسبت به استاندارد بالاتر بوده است. خاک‌های مورد مطالعه از نظر آلودگی انسان زاد در رده متوسط قرار داشته و از نظر غنی‌شدگی روند Cd>As>Zn>Cu>Ni>Co>Cr>Mo مشاهده گردید. فاکتور بار آلودگی نشان می‌دهد که نمونه محل لندفیل و نمونه‌های شماره ۴ و ۵ بیش‌ترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشند

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، دفن زباله، آلودگی، شیرابه، پسماند

مقدمه

خطرناک موجود در شیرابه، فلزات سنگین بوده که می‌تواند تهدید زیست‌محیطی جدی برای خاک‌های اطراف لندفیل و آب زیرزمینی داشته باشد (بوزایانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ کیجلدسن و همکاران، ۲۰۰۳). فلزات سنگین قابلیت تجزیه بیولوژیکی نداشته و ماندگاری بسیار بالای دارند و قادرند به تدریج از طریق زنجیره غذایی در بافت بدن جانوران و گیاهان تجمع یابند و اثرات مہلکی را بر انسان و جاندارانی که از گیاهان آلوده در منطقه استفاده می‌کنند داشته باشند. اثرات سو این عناصر در خاک و گیاه زمانی مشخص می‌گردد که غلظت آن‌ها از میزان معینی افزایش یابد که این افزایش بستگی به نوع فلز، نوع خاک، فعالیت‌های مختلف انسانی و زمان تجمع فلز دارد (نصرالله ۱۹۸۴، گو و همکاران ۲۰۰۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷). لازم به ذکر است که غلظت بالای فلزات سنگین در خاک یا منشا زمین‌شناسی داشته و یا حاصل فعالیت‌های انسانی نظیر احداث لندفیل غیر بهداشتی یا توسعه شهرک‌های صنعتی است. ارزیابی

در سال‌های اخیر، رشد بی‌رویه جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییرات الگوی مصرف، به بروز انواع مشکلات زیست‌محیطی، به‌ویژه تولید حجم زیادی از انواع پسماندهای جامد شهری منجر شده است (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به عدم محدودیت زمین و همچنین ترکیب زباله‌های کشور، که ۷۰ درصد آن زباله‌های تر می‌باشد، دفن زباله‌ها یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت پسماند در کشور است. مهم‌ترین اثر سو زیست‌محیطی محل دفن پسماند در بلند مدت، انتشار شیرابه است که در صورت عدم مهار آن خسارات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست وارد می‌گردد (صفری و جلیلی قاضی‌زاده، ۱۳۸۹). دلیل اصلی و بنیادی توجه مجامع علمی به موضوع آلودگی شیرابه و تصفیه‌ی آن، خطر احتمالی آلوده شدن منابع آبی، خاک و تا حدودی هوا، توسط شیرابه و گازهای متصاعد شده از آن می‌باشد (کریستنسن و کاسو، ۱۹۹۲). یکی از گروه‌های آلاینده

شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل شده است. سنگ‌های ژوراسیک منطقه شامل سازند لار با لیتولوژی آهکی تا آهک مارنی بوده و محل لندفیل و تعدادی از نمونه‌های گرفته شده از خاک‌های برجای این سازند بوده است. واحدهای کرتاسه منطقه بخش زیادی از رخنمون بالادست را تشکیل داده و لیتولوژی غالب آن آهک متوسط لایه می‌باشد (شکل ۳).

نمونه‌برداری و آنالیزهای فیزیکی شیمیایی

در این پژوهش جهت، بررسی خاک منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی نسبت به فلزات سنگین، ۱۲ نمونه خاک از محل لندفیل و زمین‌های کشاورزی اطراف (شکل ۱)، از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری، توسط بیلچه پلاستیکی برداشته و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد اتاق از الک ۱۰ عبور داده شدند، سپس با استفاده از هاون عقیق پودر گردیدند و دوباره از الک ۲۰۰ عبور داده شدند. در ادامه ۱ گرم از هر یک از نمونه‌های خاک وزن و در بشر پلی‌اتیلنی قرار گرفت و با اضافه نمودن چند قطره اسیدکلریدریک (HCl) و اسید فلئوئوریدریک (HF) به میزان ۷ سی‌سی، نمونه‌ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر کدام ۷ سی‌سی اسید نیتریک (HNO_3) و اسید کلریدریک به صورت تیزاب سلطانی (Aqua regia) اضافه گردیده و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شده است. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن‌ها و حرارت ملایم، محلولی کاملاً شفاف بدست آمد (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۶). کلیه نمونه‌های خاک توسط دستگاه ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفتند. مزیت استفاده از دستگاه ICP-OES این است که قادر می‌باشد چندین فلز را به طور همزمان اندازه‌گیری نماید (مادرید و همکاران، ۲۰۰۲) به علاوه جهت آگاهی از ترکیب شیرابه یک نمونه از آن گرفته شد و با توجه به غلظت کمتر عناصر در آب، این نمونه توسط دستگاه ICP-MS که دارای حد تشخیص با غلظت کمتر و دقت بالاتری است، مورد آنالیز قرار گرفت. در این پژوهش ۳۵ عنصر در آزمایشگاه زرآما تهران آنالیز گردید

آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین به منظور اطمینان از سلامت محصولات کشاورزی و سلامتی عمومی، ضروری است.

مطالعات متعددی جهت ارزیابی تاثیر محل دفن زباله بر روی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های پیرامون لندفیل انجام شده است. مطالعه بوزایانی و همکاران (۲۰۱۴) بر روی آلودگی خاک اطراف لندفیل پایتخت کشور تونس نشان داد که در اثر نشت شیرابه تمرکز فلزات نیکل، سرب، روی، کروم و مس اتفاق افتاده است. نتایج بررسی لیو و همکاران (۲۰۱۳) بر روی آلودگی خاک اطراف لندفیل شانگهای نشان داد که خاک‌های پیرامون لندفیل نسبت به خاک زمینه دارای مس، روی، کادمیوم و کروم بیش‌تری هستند. مطالعه آدامکوا و همکاران (۲۰۱۶) بر روی آلودگی خاک پیرامون لندفیلی در جمهوری چک نشان داد که شیرابه لندفیل باعث افزایش غلظت برخی از فلزات سنگین نظیر کروم، مس و نیکل شده است. هدف از این تحقیق بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های پیرامون لندفیل بهشهر و اثرپذیری آن از شیرابه این لندفیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

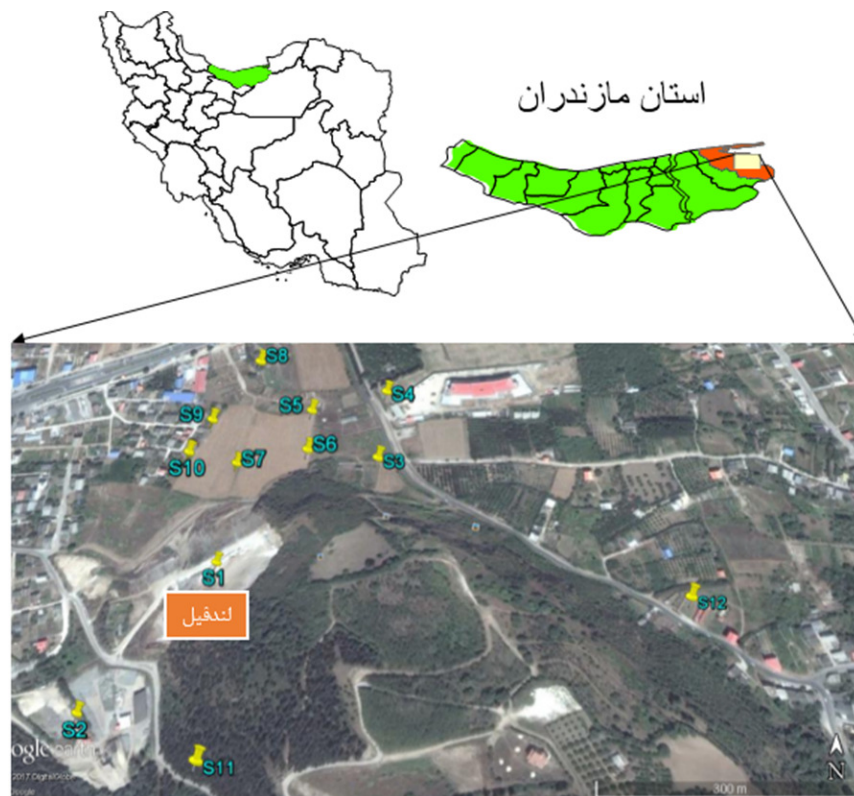
منطقه مورد مطالعه و زمین‌شناسی آن

مکان مورد مطالعه، سایت دفن زباله شهری بهشهر می‌باشد که در مجاورت این شهر و در مکانی بنام التپه قرار دارد (شکل ۱). زباله تولیدی این شهر، حدود ۷۰ تن در روز می‌باشد. این زباله‌ها شامل ۱۷٪ پلاستیک، ۱۲٪ لاستیک، ۲۹٪ کود آلی، ۵٪ شیشه، ۶٪ آهن آلات، ۵٪ پارچه، ۳٪ چوب، ۱۳٪ غذای فاسد شده، ۵٪ ضایعات و ۵٪ مصالح ساختمانی است (گزارش شهرداری بهشهر، ۱۳۹۶) (شکل ۲). سیستم‌های مدیریت زباله در این لندفیل به صورت دفع بوده و زباله‌های دفن نشده، در محیط رها هستند و به علت بالا بودن میزان بارش در منطقه و نفوذ آب‌های جوی، پتانسیل تولید شیرابه و آلوده کردن محیط اطراف در این مکان بالا می‌باشد. بررسی زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد سنگ‌های بالا دست که منشأ خاک‌های موجود می‌باشند، مربوط به سنگ‌های مزوزوئیک می‌باشند. واحدهای تریاس شامل سازند شمشک بوده و به صورت محدود در بخش شرقی منطقه رخنمون داشته و لیتولوژی غالب آن از مارن،

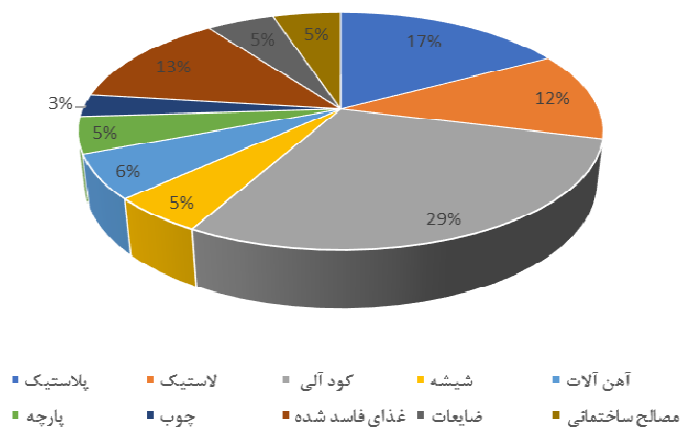
به خوبی مخلوط نموده و برای اختلاط بهتر، هر یک از ظرف‌های حاوی نمونه، با استفاده از دستگاه شیکر به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت کنار گذاشته و پس از جداسازی فاز مایع از جامد، با استفاده از دستگاه pH متر، اندازه‌گیری شدند (رایس و همکاران، ۲۰۱۲).

که با توجه به هدف مقاله تنها نتایج ۸ فلز سنگین آن بررسی شده است.

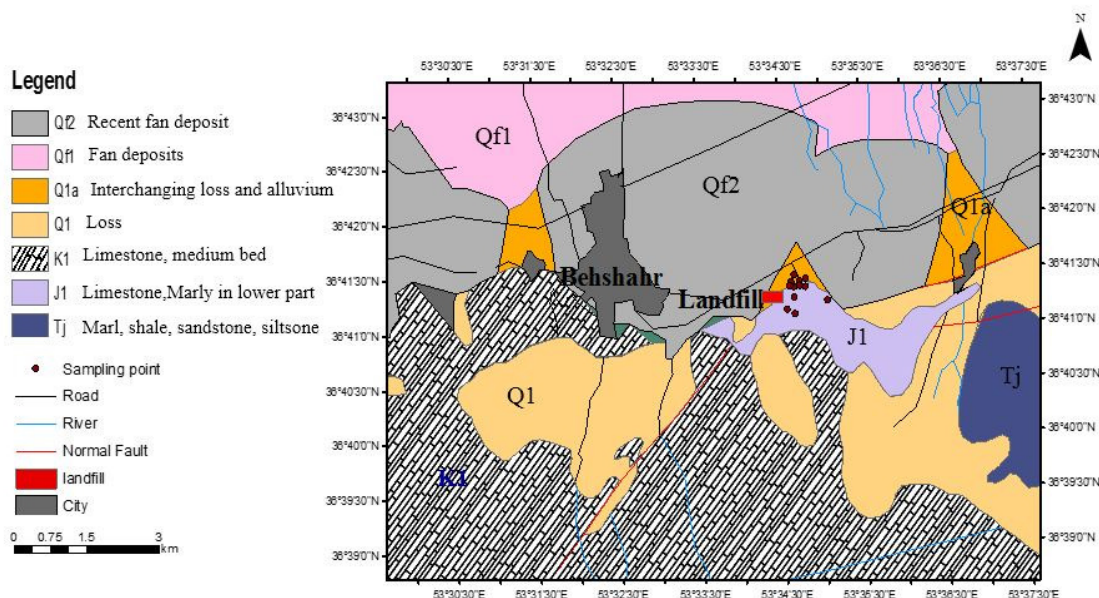
در ادامه pH نمونه‌های خاک جهت بررسی تاثیر ویژگی شیمیایی خاک بر روی غلظت فلزات سنگین، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری pH در خاک، ۱۰ گرم نمونه خاک که در هوای آزاد خشک گردید با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر



شکل ۱. موقعیت شهر بهشهر در تقسیمات کشوری و شهری و همچنین نقاط منطقه نمونه‌برداری



شکل ۲. درصد اجزای تشکیل‌دهنده زباله‌های لندفیل بهشهر



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از قاسمی و مصوری، ۱۳۸۹)

شماره (۱) و یا غلظت پوسته‌ای عنصر و CR_2 غلظت عنصر مرجع در نمونه شماره یازده می‌باشد. در این مطالعه از عنصر اسکاندیوم به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است. این عنصر معمولاً در نرمال کردن داده‌ها بکار برده می‌شود چرا که عمدتاً از منابع لیتولوژیکی طبیعی حاصل شده و توزیع آن تحت تاثیر آلودگی‌های بشر زاد قرار نمی‌گیرد. عناصر مرجع پوسته زمین از نتایج مطالعات رودنیک و گائو (۲۰۰۳) استخراج گردید. در صورتی که فاکتور غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ باشد، غنی‌شدگی طبیعی و حد معمول در نظر گرفته می‌شود. چنانچه این شاخص از ۰/۵ کمتر باشد تهی‌شدگی و اگر از ۱/۵ بیشتر باشد غنی‌شدگی اتفاق افتاده است.

شاخص آلودگی (PI^1)

این شاخص برای ارزیابی غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک آلوده نسبت به خاک زمینه در منطقه، به صورت زیر ارائه شده است.

$$PI_i = \frac{C_s^i}{C_n^i} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه PI_i بیانگر شاخص آلودگی فلز سنگین i ، C_s^i بیانگر غلظت فلز سنگین i در خاک آلوده شده و C_n^i بیانگر غلظت فلز سنگین i در خاک زمینه می‌باشد

آنالیز همبستگی عناصر و شاخص‌های آلودگی

برای ارزیابی نتایج آنالیز شیمیایی فلزات سنگین، بررسی‌های آماری زیر انجام گردید. در ابتدا برای مطالعه همبستگی غلظت عناصر اندازه‌گیری شده، ماتریس همبستگی پیرسون داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS v24 محاسبه شد. برای ارزیابی کمی آلودگی خاک پیرامون لندفیل از سه شاخص آلودگی شامل دو شاخص برای آلودگی تک عنصری و یک شاخص برای آلودگی کلی نسبت به عناصر مورد مطالعه، استفاده شد.

شاخص غنی‌شدگی (EF^1)

این شاخص به منظور بررسی غنی‌شدگی عناصر در خاک، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (لوسکا و همکاران، ۱۹۹۷).

$$EF = \frac{\left(\frac{CM_1}{CR_1}\right)}{\left(\frac{CM_2}{CR_2}\right)} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه EF بیانگر فاکتور غنی‌شدگی، CM_1 غلظت عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه، CR_1 غلظت عنصر مرجع در خاک منطقه، CM_2 غلظت عنصر در نمونه شاخص به عنوان میانگین غلظت خاک منطقه (نمونه

² Pollution Index

¹ Enrichment Factor

شیرابه در محیط رها می‌باشد. این شیرابه در قسمت پایین دست وارد جوی آب زمین‌های کشاورزی می‌شود و این منبع آلودگی می‌تواند در آلوده کردن خاک‌های اطراف لندفیل نقش داشته باشد. نمونه‌های شماره ۴ و ۵ نیز درصد بالایی از فلزات سنگین را نشان داده و بیش‌ترین غلظت عناصری مثل روی، آرسنیک، کروم و نیکل در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. نتایج آنالیز فلزات سنگین ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۲ واقع در زمین‌های جنگلی و کشاورزی بالادست لندفیل، به عنوان مرجع ترکیب خاک منطقه دارای غلظت نسبتاً بالایی از فلزات سنگین بوده و به نوعی نشان‌دهنده این مطلب است که بخشی از تمرکز فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه منشا طبیعی و زمین‌شناسی دارد و عمدتاً از شیل و مارن و آهک‌های منطقه حاصل شده‌اند.

بررسی تغییرات غلظت فلزات کروم، روی و آرسنیک نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های آنالیز شده تنها از نظر استاندارد آلودگی خاک کشور کانادا آلوده بوده و مطابق با سه استاندارد دیگر خاک منطقه آلوده نمی‌باشد. دو فلز سنگین کادمیوم و مولیبدن موجود در خاک منطقه مطابق با هیچ کدام از استانداردها آلوده نمی‌باشد. نتایج pH اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک نشان داد که این خصوصیت در دامنه ۷/۳۵-۸/۵۰ تغییر کرده و خاک منطقه از نوع قلیایی می‌باشد. این در حالی است که اسیدیته شیرابه ۷/۱۳ اندازه‌گیری گردید. قلیایی بودن خاک‌های منطقه مورد مطالعه عمدتاً به خاطر ترکیب شیمیایی سنگ منشا بوده و همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود سنگ‌های منشا بالادست عمدتاً ترکیب کربناته داشته و باعث قلیایی شدن خاک‌های ایجاد شده از آن‌ها می‌گردد. غلظت بالای کلسیم در نمونه‌های آنالیز شده تأیید کننده این مطلب می‌باشد.

جهت مطالعه رابطه بین عناصر، ماتریس همبستگی غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه تهیه شد (جدول ۳). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود عنصر کبالت رابطه مستقیم معناداری با آرسنیک ($r=0.81, p < 0.05$) و بخصوص با کروم ($r=0.64, p < 0.05$) نشان می‌دهد. آرسنیک رابطه مستقیم معناداری با کروم ($r=0.64, p < 0.05$) و نیکل ($r=0.62, p < 0.05$) دارد. فلز مولیبدن و کروم به ترتیب با کادمیوم و نیکل رابطه مستقیمی با ضریب همبستگی ۰/۶۸ و سطح

(هاکانسون، ۱۹۸۰). لازم به ذکر است که ترکیب خاک شماره ۱۲ به عنوان زمینه برای خاک‌های کشاورزی و ترکیب خاک شماره ۱۱ به عنوان خاک زمینه برای خاک‌های غیر کشاورزی (خاک ۱ و ۲) در نظر گرفته شد. چنانچه $PI < 1$ ، نشان‌دهنده آلودگی پایین، $1 \leq PI < 3$ بیانگر آلودگی متوسط، $3 \leq PI < 6$ بیانگر آلودگی بالا و $PI \geq 6$ نشان‌دهنده آلودگی خیلی بالا می‌باشد (لوسکا و همکاران، ۱۹۹۷)

شاخص بار آلودگی^۳ PLI

شاخص بار آلودگی به منظور تعیین درجه تمرکز فلزات سنگین در خاک متأثر شده از محیط، بکار برده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). این شاخص برای خاک‌های مورد مطالعه به صورت زیر محاسبه گردید.

$$PLI = \sqrt[3]{PI_{Co} \times PI_{Cr} \times PI_{Cu} \times PI_{Mn} \times PI_{Ni} \times PI_{Pb} \times PI_{Zn} \times PI_{As} \times PI_{Cd}}$$

رابطه ۳

بر اساس مقدار PLI، خاک از نظر آلودگی به چهار رده شامل خاک آلوده نشده ($PLI < 1$)، آلودگی متوسط ($1 \leq PLI < 2$)، آلودگی بالا ($2 \leq PLI < 3$)، آلودگی بسیار بالا ($PLI > 3$)، تقسیم می‌شود.

نتایج بحث

نتایج آنالیز غلظت فلزات سنگین در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بیش‌ترین غلظت کبالت، مس و مولیبدن در ایستگاه شماره ۱ که در نزدیک‌ترین فاصله به لندفیل (فاصله چند متری) قرار داشته، اندازه‌گیری گردید. این در حالی است که این ایستگاه دارای مقدار بالایی از سایر عناصر سنگین نسبت به اکثر ایستگاه‌ها بوده و نشان از متأثر شدن خاک این بخش از شیرابه تولیدی در لندفیل دارد. نتایج آنالیز ترکیب شیرابه در جدول ۲ نشان داده شده است. علیرغم نمونه‌گیری در اردیبهشت ماه ۹۶ که قبل از آن بارش‌های زیادی اتفاق افتاده بوده و شیرابه نسبتاً رقیق بوده است، نتایج نشان می‌دهد شیرابه دارای درصد بالایی از برخی از فلزات سنگین نظیر مس، روی و آرسنیک می‌باشد. با توجه به نبود پوشش برای زباله‌های دفع شده و بارش بالای باران در منطقه، پیوسته شیرابه تولید شده و این

³ Pollution Load Index

هستند. از طرفی بخش قابل توجهی از مولیبدن و کادمیوم نیز احتمالاً دارای منشا مشابهی هستند. مس و روی نیز به صورت محلی از لندفیل و جاده‌های موجود متاثر شده و در نمونه‌های که از این دو منشا فاصله دارند الگویی مشخص از خود نشان نمی‌دهند.

معناداری ۰/۰۵ نشان می‌دهند. فلزات مس و روی رابطه معناداری با سایر فلزات از خود نشان نمی‌دهند. بررسی رابطه بین فلزات سنگین با pH نشان می‌دهد که تنها کادمیوم رابطه معکوس معناداری ($t=0.59, p < 0.05$) با pH دارد. با توجه به نتایج این آنالیز، احتمالاً فلزات کبالت، نیکل، آرسنیک و کروم دارای منشا مشابهی

جدول ۱. نتایج غلظت فلزات سنگین (ppm) موجود در خاک منطقه و pH آن‌ها

شماره نمونه	Co	Cu	Zn	As	Mo	Cr	Ni	Cd	pH
حد تشخیص	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۰/۱	-
غلظت پوسته‌ای	۱۷/۳	۲۸	۶۷	۴/۸	۱/۱	۹۲	۴۷	۰/۰۹	-
S-1	۱۶	۴۳	۹۲	۱۰/۳	۰/۸۹	۶۸	۴۱	۰/۲۶	۸/۲۵
S-2	۱۰	۳۱	۹۹	۶/۷	۰/۶۵	۶۱	۳۵	۰/۲۴	۸/۳۰
S-3	۱۳	۳۳	۸۴	۹/۶	۰/۶۶	۶۸	۴۳	۰/۲۵	۷/۶۶
S-4	۱۶	۳۳	۹۸	۱۱/۶	۰/۶۸	۷۹	۴۷	۰/۲۳	۷/۸۵
S-5	۱۶	۳۴	۹۳	۱۲/۶	۰/۷۷	۸۰	۴۸	۰/۲۴	۸/۳۷
S-6	۱۴	۳۰	۷۷	۸/۶	۰/۶۹	۶۸	۴۲	۰/۲۴	۸/۴۹
S-7	۱۵	۳۲	۹۰	۹/۸	۰/۷۱	۷۲	۴۵	۰/۲۵	۷/۹۶
S-8	۱۵	۳۳	۸۶	۸/۳	۰/۷۲	۷۴	۴۸	۰/۲۴	۸/۵۰
S-9	۱۶	۳۳	۸۲	۹/۳	۰/۷۰	۸۰	۴۸	۰/۲۵	۸/۳۰
S-10	۱۴	۳۱	۸۷	۹/۶	۰/۷۷	۷۱	۴۴	۰/۲۷	۷/۹۵
S-11	۱۵	۲۹	۹۰	۸/۲	۰/۸۰	۷۴	۳۹	۰/۲۶	۷/۴۱
S-12	۱۶	۲۷	۷۸	۸/۹	۰/۸۳	۷۴	۳۶	۰/۲۸	۷/۳۵
Ave	۱۴/۶۷	۳۲/۴۱	۸۸	۹/۴۶	۰/۷۴	۷۲/۴۱	۴۳	۰/۲۵	۸/۰۳
max	۱۶	۴۳	۹۹	۱۲/۶	۰/۸۹	۸۰	۴۸	۰/۲۸	۸/۵
min	۱۰	۲۷	۷۷	۶/۷	۰/۶۵	۶۱	۳۵	۰/۲۳	۷/۳۵
SD	۱/۷۷	۳/۸۹	۷/۰۶	۱/۵۶	۰/۰۷	۵/۶۹	۴/۵۷	۰/۰۱	۰/۴۰

جدول ۲. نتایج غلظت فلزات سنگین موجود در خاک منطقه و pH آن‌ها

فلزات سنگین	Co	Cu	Zn	As	Mo	Cr	Ni	Cd	pH
حد تشخیص	۱	۱	۱	۰/۱	۰/۱	۱	۱	۰/۱	-
شیرابه	۱<	۶۳/۵۱	۱۰۴/۷	۲/۲	۰/۱<	۳۴/۸	۲/۶	۰/۱<	۷/۱۳

جدول ۳. ماتریس همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و اسیدیته خاک‌های مورد مطالعه

عناصر	Co	Cu	Zn	As	Mo	Cr	Ni	Cd	pH
Co	۱								
Cu	۰/۲۳	۱							
Zn	-۰/۲۳	۰/۳۵	۱						
As	*۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۲۱	۱					
Mo	۰/۵۵	۰/۳۳	-۰/۰۹	۰/۲۳	۱				
Cr	**۰/۸۱	-۰/۰۵	-۰/۰۷	*۰/۶۴	۰/۱۴	۱			
Ni	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۰۱	*۰/۶۲	-۰/۲۲	*۰/۶۸	۱		
Cd	۰/۲۰	-۰/۱۸	-۰/۴۴	-۰/۱۸	*۰/۶۸	-۰/۰۸	-۰/۴۷	۱	
pH	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۲۵	-۰/۰۹	۰/۴۳	*-۰/۵۹	۱

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

متوسط قرار دارند. بررسی میانگین شاخص غنی‌شدگی در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که الگوی غنی‌شدگی به صورت $Cd > As > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Mo$ می‌باشد. هم‌چنین ارزیابی فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از غلظت عناصر خاک زمینه بجای غلظت پوسته‌ای عناصر بیانگر این واقعیت است که آنومالی واضحی در نمونه‌های گرفته شده مشخص نیست و مقدار این شاخص نزدیک ۱ بوده و عملاً بخش اصلی آلودگی خاک در این منطقه منشا زمین‌شناسی دارد. با این وجود تغییرات اندک مشاهده شده می‌تواند در اثر تاثیرپذیری از نشت شیرابه لندفیل یا دیگر منابع آلاینده باشد.

نتایج شاخص‌های آلودگی محاسبه شده در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. همانطور که در جدول ۴ دیده می‌شود از نظر شاخص غنی‌شدگی، فلزات کبالت، مولیبدن، کروم و نیکل در تمامی نمونه‌ها در حد غنی‌شدگی طبیعی قرار دارند. این در حالیست که فلزات کادمیوم و آرسنیک در منطقه مورد مطالعه برای تمامی نمونه‌ها بیش از ۱/۵ بود و نشان‌دهنده رخداد غنی‌شدگی زیاد این فلزات در خاک منطقه است. هیچ کدام از فلزات در خاک‌های مطالعه شده فرایند تهی‌شدگی را نشان نمی‌دهند. غنی‌شدگی زیاد فلزات مس و روی تنها در نمونه‌های ۱ و ۲ که فاصله نزدیکی تا محل دفن زباله دارند، دیده شده و در مابقی نمونه‌ها در حد غنی‌شدگی

جدول ۴. نتایج فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای خاک‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	غلظت مرجع	Cd	Ni	Cr	Mo	As	Zn	Cu	Co
S-1	خاک زمینه	۱/۱۷	۱/۲۳	۱/۰۸	۱/۳۰	۱/۴۷	۱/۲۰	۱/۷۴	۱/۲۴
	پوسته بالایی	۳/۷۴	۱/۱۳	۰/۹۶	۱/۰۵	۲/۷۸	۱/۷۸	۱/۹۹	۱/۲۰
S-2	خاک زمینه	۱/۲۶	۱/۳۶	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۵۰	۱/۴۶	۰/۹۱
	پوسته بالایی	۴/۰۱	۱/۱۲	۱/۰۰	۰/۸۹	۲/۱۰	۲/۲۲	۱/۶۷	۰/۸۷
S-3	خاک زمینه	۱/۰۷	۱/۲۳	۱/۰۲	۰/۹۲	۱/۳۰	۱/۰۴	۱/۲۷	۰/۹۶
	پوسته بالایی	۳/۴۱	۱/۱۲	۰/۹۱	۰/۷۴	۲/۴۶	۱/۵۴	۱/۴۵	۰/۹۲
S-4	خاک زمینه	۰/۹۱	۱/۲۴	۱/۱۰	۰/۸۸	۱/۴۶	۱/۱۲	۱/۱۷	۱/۱۰
	پوسته بالایی	۲/۹۱	۱/۱۴	۰/۹۸	۰/۷۰	۲/۷۵	۱/۶۶	۱/۳۴	۱/۰۵
S-5	خاک زمینه	۰/۹۰	۱/۲۰	۱/۰۶	۰/۹۴	۱/۵۰	۱/۰۱	۱/۱۴	۱/۰۴
	پوسته بالایی	۲/۸۷	۱/۱۰	۰/۹۴	۰/۷۵	۲/۸۳	۱/۴۹	۱/۳۰	۱/۰۰
S-6	خاک زمینه	۱/۰۰	۱/۱۶	۱/۰۰	۰/۹۳	۱/۱۴	۰/۹۳	۱/۱۲	۱/۰۱
	پوسته بالایی	۳/۱۹	۱/۰۷	۰/۸۸	۰/۷۵	۲/۱۴	۱/۳۷	۱/۲۸	۰/۹۷
S-7	خاک زمینه	۱/۰۲	۱/۲۲	۱/۰۳	۰/۹۴	۱/۲۶	۱/۰۶	۱/۱۷	۱/۰۶
	پوسته بالایی	۳/۲۴	۱/۱۲	۰/۹۱	۰/۷۵	۲/۳۸	۱/۵۷	۱/۳۳	۱/۰۱
S-8	خاک زمینه	۰/۹۷	۱/۲۹	۱/۰۵	۰/۹۴	۱/۰۶	۱/۰۰	۱/۱۹	۱/۰۵
	پوسته بالایی	۳/۰۸	۱/۱۸	۰/۹۳	۰/۷۵	۲/۰۰	۱/۴۸	۱/۳۶	۱/۰۰
S-9	خاک زمینه	۱/۰۱	۱/۳۰	۱/۱۴	۰/۹۲	۱/۲۰	۰/۹۶	۱/۲۰	۱/۱۳
	پوسته بالایی	۳/۲۴	۱/۱۹	۱/۰۱	۰/۷۴	۲/۲۶	۱/۴۳	۱/۳۷	۱/۰۸
S-10	خاک زمینه	۱/۱۴	۱/۲۴	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۲۹	۱/۰۶	۱/۱۸	۱/۰۳
	پوسته بالایی	۳/۶۵	۱/۱۴	۰/۹۴	۰/۸۵	۲/۴۳	۱/۵۸	۱/۳۵	۰/۹۸
S-11	خاک زمینه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	پوسته بالایی	۳/۱۸	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۰	۱/۸۸	۱/۴۸	۱/۱۴	۰/۹۶
S-12	خاک زمینه	۱/۰۳	۰/۸۹	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۰۴	۰/۸۳	۰/۸۹	۱/۰۳
	پوسته بالایی	۳/۳۰	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۰	۱/۹۶	۱/۲۳	۱/۰۲	۰/۹۸

شاخص‌ها غلظت نسبت به غلظت زمینه مقایسه می‌شود، می‌توان بیان نمود که میزان آلودگی مشاهده شده در این شاخص‌ها منشا بشرزاد داشته چرا که آلودگی زمین‌زاد

جدول ۵ نتایج شاخص آلودگی (PI) و شاخص بار آلودگی (PLI) را برای غلظت فلزات سنگین موجود در خاک‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد. از آنجایی که در این

۴) تا ۰/۹۵ (نمونه ۸) با میانگین ۱/۱۰ می‌باشد. بجز نمونه شماره ۸ که دارای درجه آلودگی پایین است، بقیه نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. قرارگیری نمونه شماره ۴ در مجاورت جاده می‌تواند باعث افزایش این فلز در خاک این قسمت شده باشد. بعلاوه مقدار این فلز در خاک محل لندفیل نیز مقدار بالای است. وجود لامپ‌های فلورسانت، باتری، قوطی اسپری رنگی و آفت کش‌ها باعث افزایش روی و نیکل در شیرابه شده و بنابراین خاک متاثر از شیرابه نیز دارای مقدار بالایی از این دو عنصر خواهد بود.

خود را در خاک زمینه نشان داده و اگر این شاخص‌ها از ۱ بیش‌تر باشند آلودگی با منشا انسانی عامل آن خواهد بود. شاخص آلودگی کبالت بین ۱/۰۶ (نمونه ۱) تا ۰/۶۶ (نمونه ۲) متغییر بوده و میانگین آن در خاک‌های مورد مطالعه ۰/۹۱ است. برای این عنصر شاخص آلودگی تنها خاک محل لندفیل (نمونه شماره ۱) بیش‌تر از ۱ بوده و آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. شاخص آلودگی مس در بازه ۱/۴۸ تا ۱/۰۷ به ترتیب برای نمونه شماره ۱ و ۲ متغییر است. میانگین شاخص آلودگی این عنصر ۱/۲۱ بوده و در تمامی نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. این شاخص برای فلز روی در بازه ۱/۲۶ (نمونه

جدول ۵. نتایج شاخص آلودگی (PI) و شاخص بار آلودگی (PLI) برای خاک‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	غلظت مرجع	PI								PLI
		Co	Cu	Zn	As	Mo	Cr	Ni	Cd	
S-1	خاک زمینه	۱/۰۶	۱/۴۸	۱/۰۲	۱/۲۵	۱/۱۱	۰/۹۲	۱/۰۵	۱	۱/۱۰
	غلظت پوسته‌ای	۰/۹۲	۱/۵۳	۱/۳۷	۲/۱۴	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۸۷	۲/۸۹	۱/۲۶
S-2	خاک زمینه	۰/۶۶	۱/۰۷	۱/۱۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۸۷
	غلظت پوسته‌ای	۰/۵۸	۱/۱۱	۱/۴۸	۱/۳۹	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۴	۲/۶۷	۱
S-3	خاک زمینه	۰/۸۱	۱/۲۲	۱/۰۸	۱/۰۸	۰/۷۹	۰/۹۲	۱/۱۹	۰/۹۶	۰/۹۹
	غلظت پوسته‌ای	۰/۷۵	۱/۱۸	۱/۲۵	۲	۰/۶	۰/۷۴	۰/۹۱	۲/۷۸	۱/۱۲
S-4	خاک زمینه	۱	۱/۲۲	۱/۲۶	۱/۳۰	۰/۸۲	۱/۰۶	۱/۳۰	۰/۸۸	۱/۰۹
	غلظت پوسته‌ای	۰/۹۲	۱/۱۸	۱/۴۶	۲/۴۱	۰/۶۲	۰/۸۶	۱	۲/۵۵	۱/۲۳
S-5	خاک زمینه	۱	۱/۲۶	۱/۱۹	۱/۴۱	۰/۹۲	۱/۰۸	۱/۳۳	۰/۹۲	۱/۱۳
	غلظت پوسته‌ای	۰/۹۲	۱/۲۱	۱/۳۹	۲/۶۲	۰/۷	۰/۸۷	۰/۰۲	۲/۶۷	۱/۲۷
S-6	خاک زمینه	۰/۸۷	۱/۱۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۹۲	۱/۱۶	۰/۹۲	۰/۹۶
	غلظت پوسته‌ای	۰/۸۱	۱/۰۷	۱/۱۵	۱/۷۹	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۸۹	۲/۶۷	۱/۰۹
S-7	خاک زمینه	۰/۹۳	۱/۱۸	۱/۱۵	۱/۱۰	۰/۸۵	۰/۹۷	۱/۲۵	۰/۹۶	۱/۰۴
	غلظت پوسته‌ای	۰/۸۷	۱/۱۴	۱/۳۴	۲/۰۴	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۹۵	۲/۷۸	۱/۱۷
S-8	خاک زمینه	۱	۱/۱۴	۰/۹۵	۱/۰۱	۰/۹۰	۱	۱/۲۳	۰/۹۲	۱/۰۱
	غلظت پوسته‌ای	۰/۸۷	۱/۱۸	۱/۲۸	۱/۷۳	۰/۶۵	۰/۸۰	۱/۰۲	۲/۶۷	۱/۱۶
S-9	خاک زمینه	۱	۱/۲۲	۱/۱۱	۱/۰۴	۰/۸۴	۱/۰۸	۱/۳۳	۰/۸۹	۱/۰۵
	غلظت پوسته‌ای	۰/۹۲	۱/۱۸	۱/۲۲	۱/۹۳	۰/۶۳	۰/۸۷	۱/۰۲	۲/۷۸	۱/۱۹
S-10	خاک زمینه	۰/۸۷	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۰۸	۰/۹۲	۰/۹۶	۱/۲۲	۰/۹۶	۱/۰۳
	غلظت پوسته‌ای	۰/۸۱	۱/۱۱	۱/۳۰	۲	۰/۷	۰/۷۷	۰/۹۳	۳	۱/۱۷

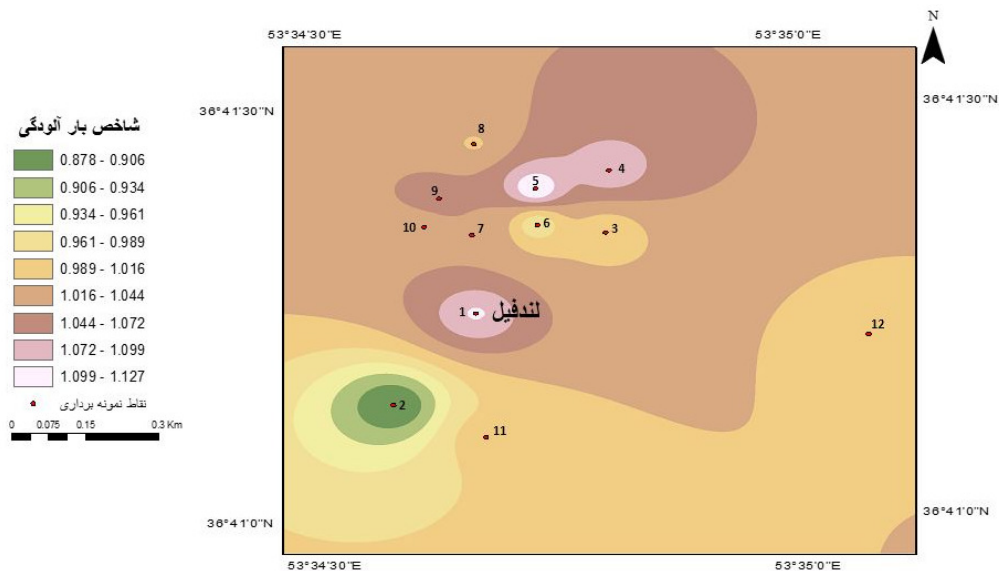
(PI=1.11) را نشان داده و در مابقی نمونه‌ها مقدار این شاخص کمتر از ۱ بوده و آلودگی پایینی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات شاخص آلودگی کروم در بازه ۱/۰۸ تا ۰/۸۲ متغییر بوده و میانگین آن در نمونه‌های خاک ۰/۹۷ می‌باشد. برای این عنصر نیز شاخص آلودگی در

دامنه تغییرات شاخص آلودگی فلز آرسنیک بین ۱/۴۱ تا ۰/۸۱ متغییر بوده و شاخص آلودگی میانگین این عنصر در خاک‌های آنالیز شده ۱/۱۱ بوده و بیانگر آلودگی متوسط خاک‌ها با این فلز خطرناک می‌باشد. فلز مولیبدن تنها در نمونه خاک محل لندفیل آلودگی متوسط

انسان‌زاد ناشی از اضافه کردن انواع کود و سموم قرار نگرفته است. از طرفی علارغم نزدیکی به محل لندفیل نیز تحت تاثیر آلودگی شیرابه لندفیل قرار نگرفته است. توپوگرافی سایت لندفیل طوری است که شیرابه تولید شده از جوی موجود پیروی کرده و در ابتدا از محل دپو مقداری به سمت غرب و سپس قبل از رسیدن به نزدیکی نمونه شماره ۲ به سمت شمال هدایت می‌شود و این نقطه تحت تاثیر مستقیم شیرابه نیست. از طرفی جهت غالب باد موجود در منطقه به صورت جنوب شرق-شمال شرق می‌باشد. لذا انتقال آلودگی فلزات سنگین رسوب داده شده ناشی از شیرابه از طریق باد نیز این نقطه رو تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود بیش‌ترین آلودگی در محل لندفیل و نوار بین نمونه ۴ و ۵ دیده می‌شود. نمونه محل لندفیل تحت تاثیر آلودگی ناشی از شیرابه قرار داشته و با توجه به ترکیب شیرابه از منظر فلزاتی نظیر مس و آرسنیک آلودگی قابل توجه‌ای نسبت به سایر نقاط دارد. در مورد منشا آلودگی نوار بین نمونه ۴ و پنج می‌توان قرار گرفتن در مجاورت جاده منطقه توریستی و تفریحی عباس‌آباد و آلودگی ناشی از آن و همچنین واقع شدن در بخش پایینی زمین کشاورزی و انباشت آلودگی ناشی از کودهای داده شده به زمین (بخصوص کودهای فسفاته و کودهای حیوانی) حین آبیاری اشاره نمود.

نمونه‌های ۴، ۵ و ۹ اندکی بیش از ۱ بوده و آلودگی متوسط را نشان داده و مابقی نمونه‌ها آلودگی پایینی را نشان می‌دهند. بررسی شاخص آلودگی نیکل نشان می‌دهد که نمونه شماره دو با کمترین میزان شاخص آلودگی، تنها نمونه‌ای است که مقدار شاخص آلودگی آن کمتر از ۱ ($PI=0.89$) بوده و آلودگی پایینی را نشان می‌دهد. در نهایت برای فلز کادمیوم دامنه تغییرات این شاخص بین ۱ تا $0/88$ متغیر بوده و تنها در نمونه خاک محل لندفیل، شاخص آلودگی درجه آلودگی متوسطی را نشان داده و مابقی نمونه‌ها در گروه آلودگی پایین قرار دارند. همانطور که دیده می‌شود برای اکثر فلزات سنگین در اغلب خاک‌ها، شاخص آلودگی اندکی بیش از ۱ بوده و نشان از آلودگی انسان‌زاد این خاک‌ها دارد. با این وجود میانگین مقدار این شاخص در کل نمونه‌ها و برای تمامی فلزات برابر $1/04$ می‌باشد و عملاً در حد آلودگی کم تا متوسط قرار دارد.

بررسی تغییرات شاخص بار آلودگی نشان می‌دهد که تمرکز فلزات سنگین از منظر این شاخص در بازه $1/13$ تا $0/96$ متغیر است. میانگین این شاخص در خاک‌های آنالیز شده $1/03$ بوده و نشان از آلودگی متوسط این خاک‌ها دارد. نمونه‌های شماره ۲، ۳ و ۶ در رده خاک‌های آلوده نشده قرار می‌گیرند. نمونه خاک شماره ۲ کمترین میزان آلودگی را نشان می‌دهد. دلیل امر این است که این محل خاک کشاورزی نبوده و بنابراین تحت تاثیر آلودگی



شکل ۴. پراکندگی شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش وضعیت آلودگی خاک‌های اطراف لندفیل بهشهر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر از آن به دست آمد.

۱- نتایج آنالیز خاک‌های منطقه و استانداردهای آلودگی خاک استفاده شده در این پژوهش نشان می‌دهد که به غیر از فلزات مولیبدن و کادمیوم، غلظت دیگر فلزات بررسی شده بیش از حد استاندارد بوده و آلوده بودن این خاک‌ها را نشان می‌دهد.

۲- با توجه به نتایج آنالیز همبستگی پیرسون انجام شده، فلزات کبالت، نیکل، آرسنیک و کروم و همچنین فلزات مولیبدن و کادمیوم دارای همبستگی معناداری بوده و می‌تواند نشان از منشاءهای مشابه برای این دو گروه از فلزات داشته باشد.

۳- نتایج آنالیز غنی‌شدگی انجام شده در منطقه نشان می‌دهد که وضعیت آلودگی در حد طبیعی تا غنی‌شدگی بوده و روند غنی‌شدگی در فلزات مورد مطالعه به صورت $Cd > As > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Mo$ می‌باشد. همچنین منشا اصلی آلودگی خاک زمین‌شناسی منطقه و حضور سازندهای شیلی بوده ولی با این وجود این خاک‌های تحت تاثیر این‌گونه انسان‌زاد نیز قرار گرفته‌اند.

۴- نتایج آنالیز فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که در اغلب نمونه‌ها، آلودگی انسان‌زاد باعث افزایش غلظت فلزات مس، روی، آرسنیک و نیکل نسبت به خاک زمینه شده است.

۵- بررسی شاخص با آلودگی محاسبه شده نشان از آلودگی متوسط تا کم خاک‌های منطقه در اثر فعالیت‌های انسانی دارد. بیش‌ترین مقدار این شاخص در محل لندفیل (نمونه ۱) و نوار بین نمونه‌های ۴ و ۵ بدست آمد. آلوده شدن خاک محل لندفیل در اثر آغشته شدن این خاک با شیرابه تولیدی از لندفیل ایجاد شده در حالی که منطقه بین نمونه‌های ۴ و ۵ عمدتاً در اثر کودهای کشاورزی و عبور جاده بهشهر عباس‌آباد از بین آن، آلوده شده است.

۶- بجز نمونه محل لندفیل، مابقی خاک‌های اطراف به دلایل مختلف خیلی تحت تاثیر آلودگی ناشی از لندفیل قرار نگرفته‌اند. این امر می‌تواند ناشی از پایین بودن مقادیر فلزات سنگین و بخصوص برخی از آن‌ها،

در زباله‌های دفن شده باشد. بعلاوه تجمع فلزات سنگین می‌تواند تحت تاثیر خصوصیات خاک نظیر pH باشد. pH خاک‌های محل از ۷/۳۵ تا ۸/۵۰ متغییر می‌باشد. خاک‌های قلیایی با pH بزرگ‌تر از ۸ تحرک فلزات سنگین را محدود کرده و تمرکز آن‌ها را در خاک‌های اطراف لندفیل کاهش می‌دهد. از طرفی چون لندفیل روباز بوده و در اثر هر بارش بخش قابل توجهی شیرابه تولید می‌شود، لذا غلظت فلزات سنگین به خاطر رقیق بودن شیرابه خیلی زیاد نبوده و بخشی زیادی از همین شیرابه تولید شده از طریق جوی موجود به مناطق پایین دست نقاط نمونه‌برداری نیز انتقال داده می‌شود.

منابع

- صفری، ا. جلیلی قاضی‌زاده، م (۱۳۸۹) بررسی روش‌های مدیریت شیرابه تولیدی در خاکچال‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و ارائه گزینه برتر، همایش ملی آب پاک، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق.
- قاسمی، م. و مصوری، ف (۱۳۸۹) نقشه زمین‌شناسی بهشهر ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- Adamcová, D., Vaverková, M. D., Barton, S., Havlíček, Z., Broušková, E (2016) Soil contamination in landfills: a case study of a landfill in Czech Republic. *Solid Earth*, 7: 239–247.
- Bouzayani, F., Abdelwaheb, A., Abichou, T (2014) Soil contamination by heavy metals in landfills: measurements from an unlined leachate storage basin. *Environ Monit Assess* 186: 5033–5040.
- Christensen, T.H., Cossu, R (1992) Landfilling of wast: leachate. Elsevier Science Publishers, 1: 656.
- Eskandari, M., Homaei, M., Mahmoodi, S., Pazira, E., Van Genuchten, M.T (2015) Optimizing landfill site selection by using land classification maps. *Environment science pollut Research*, 22: 7754–7765.
- Gu, J.G., Lin, Q.Q., Hu, R., Zhuge, Y.P., Zhou, Q.X (2005) Translation behavior of heavy metals in soil-plant system: a case study of Qingchengzi Pb-Zn mine in Liaoning province., *Journal of Agro-Environment Science*, 4: 634-637.
- Hakanson, L (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Res*, 14 (8): 975–1001.

- Kjeldsen, P. K., Barlaz, M.A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H (2003) Present and long term composition of MSW landfill leachate—a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4): 297–336.
- Li, M.S., Luo, Y.P., Su, Z.Y (2007) Heavy metal concentrations in solid and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China., *Environmental Pollution*, 147: 168-175.
- Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L., Fang, C (2013) Soil Heavy Metal Pollution Assessment Near the Largest Landfill of China. *Soil and Sediment Contamination*, 22: 390–403.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D., Kwapulinski, J (1997) Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, Soil Pollut*, 93(1): 347– 365.
- Madrid, L., Diaz-Barrientos, E., Madrid, F., (2002), “Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville”., *Chemosphere*, 49: 1301-1308.
- Nasralla, M.M (1984) Lead in Jaddah urban dust., *Environment Pollution Series B, Chemical and Physical*, 8(2): 133-141.
- Rice E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri L.S (2012) Standards methods for the examination of water and wastewater, 22th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation
- Rudnick, R.L., Gao, S (2003) Composition of the Continental Crust. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (eds-in-chief), *Treatise on Geochemistry Volume 3: Rudnick, R.L. (ed.), The Crust*, 1–64. Elsevier-Pergamon, Oxford.
- U.S. EPA (1996) Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils, Revision 2. Washington, DC.
- Wang, X. Q., He, M. C., Xie, J., Xi, J. H., and Lu, X. F (2010) Heavy metal pollution of the world largest antimony mine-affected agricultural soils in Hunan province (China). *J. Soil. Sediment*. 10(5): 827–837.

Assessment of heavy metals pollution in soils around Behshahr landfill

F. Hosseinzade¹, A. Momeni^{2*} and R. Bagheri³

1, 2, 3- Faculty of earth sciences, Shahrood University of Thechnology, Shahrood

* Ali_moomeni@yahoo.com

Recieved: 2017/6/18 Accepted: 2018/7/4

Abstract

Environmental assessment of municipal solid waste landfill has a vital importance because of its high potential of pollution. The main aim of this research is to assess the effect of Behshahr landfill environmental effects on soil with respect to heavy metals contamination. For this reason, 12 soil samples have been chosen from surface soil of landfill site and neighbor agricultural lands and after preparation, the samples were analyzed by ICP-OES for measuring 35 elements. Among the analyzed elements, 8 elements including cobalt, zinc, copper, arsenic, molybdenum, chromium, nickel, and cadmium were evaluated. Also, for assessing the landfill effect on surrounding soils contamination, a sample from landfill leachate was taken and analyzed by ICP-MS. The obtained results were compared with 4 soil contamination standards. The results indicate that the average values of cobalt, cadmium, zinc, copper, arsenic, and nickel were higher than the standards pollution limits. Statistical analyses were performed on the results by employing Pearson's correlation matrix, enrichment index, pollution index, and pollution load index. The measured pollution index indicates that the studied soils have moderate rate of human induced pollution and from enrichment index standpoint the Cd>As>Zn>Cu>Ni>Co>Cr>Mo trend can be seen. Pollution load index indicates that the landfill soil sample and samples 4 and 5 have highest pollution.

Keywords: heavy metals, landfill, pollution, leachate, waste