

بررسی پتانسیل آلودگی عناصر کادمیم، سرب و نیکل در خاک سطحی پایین دست انباشتگاه زباله کرمانشاه بر اساس معیارهای ارزیابی آلودگی

زینب زین الدینی^۱، مهین کرمی^{۲*}، اکرم فاطمی قمشه^۳، پرویز شکاری^۴ و فردین حامدی^۵

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۵- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲	
کلمات کلیدی: خاک، فاکتور آلودگی، عناصر سنگین، نمایه زمین‌انباشتی	تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی محیط به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن‌ها مختل شده و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط زیست دانسته می‌شود. در این پژوهش از نمایه زمین‌انباشتی و فاکتور آلودگی برای ارزیابی وضعیت آلودگی عناصر کادمیم (Cd)، سرب (Pb) و نیکل (Ni) در ۳۰ نمونه خاک (برداشت شده از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) پایین‌دست انباشتگاه زباله شهری کرمانشاه استفاده شد. در زمان نمونه برداری، تعداد ۱۵ نمونه از محدوده ای دور از محل دفن زباله ولی با ویژگی‌ها و زمین‌شناسی مشابه همین منطقه به‌عنوان نمونه‌های زمینه تهیه گردید. میانگین غلظت کل عناصر کادمیم (Cd)، سرب (Pb) و نیکل (Ni) در نمونه‌های پایین‌دست انباشتگاه زباله به ترتیب ۵/۰۳، ۳۰/۹ و ۹۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین غلظت کل عناصر Cd، Pb و Ni از غلظت این عناصر در نمونه‌های زمینه، غلظت در پوسته زمین، میانگین جهانی خاک‌ها و میانگین در شیل جهانی بیش‌تر بود. براساس نمایه زمین‌انباشتی بیش‌تر نمونه‌ها نسبت به Cd و Ni در سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و نسبت به Pb در سطح متوسط تا زیاد قرار دارند. مقادیر محاسبه شده برای فاکتور آلودگی بیانگر آن است که خاک‌های منطقه آلودگی متوسطی به Cd و Ni و آلودگی بسیار زیادی به Pb دارند. خاک‌های منطقه تحت تأثیر شیرابه‌ی زباله نسبت به Cd، Pb و Ni آلوده شده‌اند و شدت این آلودگی در مورد عنصر Pb بیش‌تر است.
عهده دار مکاتبات Email: mahinkarami@yahoo.com	

مقدمه

در دهه‌های اخیر موضوع حفاظت خاک در برابر آلودگی‌های ناشی از دفن بی‌رویه زباله و شیرابه‌های حاصل از آن، به دلیل افزایش روزافزون تولید مواد زائد جامد شهری توجه فراوانی را به خود جلب کرده است (۱۸). دفن زباله یک روش رایج برای دفع مواد زائد شهری بوده که سال‌ها است در بسیاری از جوامع و کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۶). از مسائل مهم در مدیریت مواد زائد جامد کنترل محل دفن زباله از نظر شیب و جنس زمین، خاک و آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در لایه‌های زیرین مدفن، زباله مایعی به نام شیرابه جمع می‌شود که جریان آن در خاک به علت وجود آلاینده‌هایی همچون هیدروکربورها و عناصر سنگین آن سبب ایجاد مشکلاتی از جمله آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی گردیده و باعث به خطر افتادن سلامتی ساکنان اطراف مناطق دفن زباله می‌گردد (۳۵). در محل دفن زباله، مواد زائد مختلفی به عنوان منبع پخش عناصر سنگین عمل می‌کنند. این اجزاء زباله‌های فلزی مانند قوطی‌های مواد غذایی، زباله‌های خانگی خطرناک مانند لامپ‌ها و زباله‌های الکترونیک از جمله باتری و رایانه‌های قدیمی را در بر می‌گیرد. انتشار عناصر سنگین به محیط مجاور مکان‌های دفن زباله یک نگرانی زیست محیطی عمده و تهدیدی برای سلامت عمومی و ایمنی جامعه می‌باشد (۱). عناصر سنگین به صورت طبیعی در خاک حضور دارند و برخی از این عناصر مانند آهن، روی، مس و منگنز، نقشی بسیار مهم در فعالیت‌های زیستی و حاصل‌خیزی خاک ایفا می‌کنند. وجود برخی از عناصر سنگین برای زنجیره‌های غذایی و موجودات زنده ضروری می‌باشد، اما افزایش برخی از این عناصر مثل کادمیم، سرب و جیوه در خاک حتی به مقادیر بسیار کم اثراتی زیان‌بار به دنبال دارد (۲).

عناصر سنگین دارای جرم مخصوص بیش از ۵/۵ گرم در سانتی متر مکعب (۴) و یا وزن اتمی بیش از ۲۰۰ واحد اتمی می‌باشند (۲۹). عناصر

سنگینی همچون Be, As, Ni, Zn, Cd, Pb, Hg, Se, B و برخی دیگر از عناصر به دلیل تشکیل ترکیباتی با پایداری بالا، تغییرناپذیری و سمیت زیاد توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده به عنوان آلاینده‌های اصلی زیست‌بوم ذکر شده‌اند (۳۱). آلودگی عناصر سنگین در خاک از منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شود (۳۷). در حالت طبیعی وجود این عناصر در خاک ناشی از سازندهای زمین‌شناسی، چشمه‌های معدنی، معادن، فوران آتشفشانی و منابع آب‌های شور و لب شور می‌باشد که اگر از حد مجاز طبیعی فراتر رود، به عنوان آلودگی نام برده می‌شود (۵). صنایع آهن و فولاد، کان‌کاو، حمل و نقل جاده‌ای، دفن پسماندها و استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی از فعالیت‌های انسانی بسیار مهم ورود عناصر سنگین به خاک و آب در اکوسیستم‌های سطحی هستند (۱).

کادمیم، سرب و نیکل از جمله عناصر سنگین موجود در شیرابه زباله می‌باشند. گذشتن غلظت این عناصر از مرز بحرانی در حیره غذایی انسان و سایر موجودات زنده، تهدیدی برای سلامت آن‌ها محسوب می‌شود. کادمیم پتانسیل بالایی در آلوده‌سازی زیست‌بوم و به‌ویژه زمین‌های کشاورزی داشته (۲۰) و با وارد شدن به چرخه‌ی غذایی آسیب‌های جبران‌ناپذیری را در انسان به جا می‌گذارد. مقدار طبیعی عنصر Cd در خاک‌های غیرآلوده کمتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت بحرانی آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شده است. این عنصر به آسانی توسط گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده جذب می‌شود (۳۲). غلظت Pb در خاک‌ها بین ۱ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و به‌طور متوسط ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی آن ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۳۹). مقدار Ni در خاک به میزان زیادی به سرشت مواد مادری خاک بستگی دارد (۳۹). مقدار کل Ni در خاک‌ها از ۱ تا ۲۰۰

(۲). آن‌ها گزارش کردند، براساس نمایه زمین‌انباشتگی همه‌ی ایستگاه‌ها نسبت به Pb، Cr و Zn در سطح بدون آلودگی، نسبت به Ni آلودگی متوسط و نسبت به Cu در سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار داشتند. در این مطالعه همچنین براساس فاکتور آلودگی، آلودگی رسوبات نسبت به Cr، Cu، Mn، Ni و Zn کم و نسبت به Pb آلودگی متوسطی وجود داشت. با توجه به هر دو معیار، نمونه‌ها از نظر آلودگی به Cd در سطح متوسط تا زیاد قرار دارند. اثرات منفی دفن زباله‌های جامد به محیط زیست باعث به‌وجود آمدن طیف گسترده‌ای از نگرانی‌ها از جمله خطر انفجار مواد جامد، بوی بد، تراوش شیرابه‌های محل دفن زباله به خاک سطحی و آب‌های زیرزمینی و همچنین آلودگی خاک توسط عناصر سنگین است (۱) میزان زباله تولیدی هر شهروند کرمانشاهی به طور متوسط ۵۰۰ تا ۸۰۰ گرم در روز است. بنابراین کل پسماندهای یک روز شهر کرمانشاه بالغ بر ۵۰۰ تا ۶۰۰ تن (حدود ۱۵۰۰ مترمکعب) می‌باشد. این زباله‌ها در حال حاضر در دامنه شمالی یکی از کوه‌های رشته کوه سفید واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر کرمانشاه دفن می‌شوند. از این مقدار زباله، سالانه بالغ بر ۶۰۰ میلیون لیتر شیرابه و ۱/۵ میلیون تن گاز گلخانه‌ای متصاعد می‌گردد (۱۳).

علایمی طالبقانی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی برای انتخاب مکانی مناسب برای دفن بهداشتی زباله‌های شهر کرمانشاه به این نتیجه رسیدند، که بر اساس عوامل مؤثر در انتخاب مکان‌های دفن از جمله توپوگرافی، ژئومورفولوژی، آب‌های زیرزمینی، آب سطحی و کاربری زمین، محل کنونی دفن زباله‌های شهر کرمانشاه (واقع بین کوه‌های سفید)، برای این کاربرد مناسب نیست و باید محل آن تغییر یابد (۳). به دلیل قرارگیری انباشتگاه زباله شهر کرمانشاه در نزدیکی چشمه

میلی گرم در کیلوگرم و به طور متوسط ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد. سطح سمیت این عنصر در خاک به‌طور معمول ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک است (۲۷). هنگامی که عناصر سنگین در خاک از حالت ترکیب به یون، یا از حالت تثبیت شده در ترکیبات زیستی به رادیکال‌های آلی - فلزی تغییر شکل دهند، باعث به خطر افتادن سلامت موجودات زنده می‌گردند (۲۳). به‌عنوان مثال سرطان ریه، اختلالات تنفسی، ضایعات پروستات، پوکی استخوان، اختلال در عملکرد کلیه و فشار خون بالا از جمله بیماری‌هایی هستند که به‌دلیل قرار گرفتن در معرض غلظت‌های بالای کادمیم ایجاد می‌شوند (۳۹). قرارگیری در معرض Pb زیاد منجر به اختلالات عصبی، اسکلتی، گردش خون، اختلالات آنزیمی و آسیب به غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی می‌گردد (۳۸). نیکل باعث ایجاد چهار گونه مسمومیت در افراد می‌شود که بسته به شدت آن شامل آلرژی، سرطان، اختلالات تنفسی و مسمومیت‌های حین درمان است (۱۶).

تاکنون مطالعات مختلفی بر روی اثرات دفن زباله بر کیفیت خاک پایین دست مناطق دفن و آب‌های زیرزمینی انجام شده است. دلجانی و همکاران (۱۳۸۸) غنی‌شدگی و توزیع عناصر سنگین در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه) را بررسی کرده و با استفاده از دو معیار فاکتور غنی‌شدگی و نمایه زمین‌انباشتگی آلودگی خاک در منطقه را ارزیابی نموده‌اند. نتایج به دست آمده نشان داد که عناصر Pb، Cd و Co بیش‌ترین و Fe، Cu و Cr کم‌ترین میزان غنی‌شدگی را در میان نمونه خاک‌های مورد بررسی داشتند (۱۴). احدی و خالدی (۲۰۰۹) غلظت ۸ عنصر سنگین (Mn، Fe، Cu، Cr، Cd)، Ni، Pb، Zn را در رسوبات سطحی کناره‌های دریای مدیترانه با استفاده از معیارهای نمایه زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی بررسی کردند

معادل به روش ریچاردز (۳۰)، هدایت الکتریکی اشباع (E_c) با دستگاه رسانایی سنج الکتریکی در عصاره ۱:۲/۵ (۲۸) و pH گل اشباع نیز با دستگاه pH متر (۲۵) اندازه گیری شد. غلظت کل Cd، Pb و Ni نمونه های خاک پس از هضم با مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک (۲۴)، با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل PerkinElmer, 3110 تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل داده ها

خلاصه آماری نمونه ها، شامل توزیع فراوانی داده ها و شاخص های آماری، مانند میانگین، میانه، واریانس و چولگی در نرم افزار اکسل تعیین گردید و تعیین ضریب همبستگی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ محاسبه شد.

ارزیابی آلودگی خاک

از جمله معیارهای ارزیابی آلودگی خاک می توان نمایه زمین انباشتگی^۳، فاکتور آلودگی^۴ و فاکتور غنی شدگی^۵ را نام برد (۱۱). در این مطالعه وضعیت آلودگی منطقه با استفاده از نمایه زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی ارزیابی گردید. این دو معیار مختصراً در زیر تشریح شده اند.

نمایه زمین انباشتگی

این نمایه یک معیار ژئوشیمیایی برای ارزیابی سطح آلودگی در خاک و رسوبات است. نمایه زمین انباشتگی که برای اولین بار توسط مولر (۱۹۶۹) ارائه گردید (۱۲)، با بهره گیری از رابطه (۱) محاسبه می گردد:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right) \quad (1)$$

I_{geo} : میزان نمایه زمین انباشتگی

C_n : غلظت عنصر در نمونه خاک

B_n : غلظت زمینه عنصر

سراب قنبر که آب آشامیدنی بخشی از شهر را تامین می کند و با توجه به این که تاکنون مطالعه ای در خصوص وضعیت آلودگی خاک این منطقه صورت نگرفته است، در این پژوهش تلاش می شود میزان آلودگی به عناصر سنگین Pb، Cd و Ni در خاک سطحی منطقه پایین دست انباشتگاه زباله جنوب شهر کرمانشاه براساس معیارهای نمایه زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی ارزیابی شود.

مواد و روش ها

موقعیت مورد مطالعه و نمونه برداری صحرائی

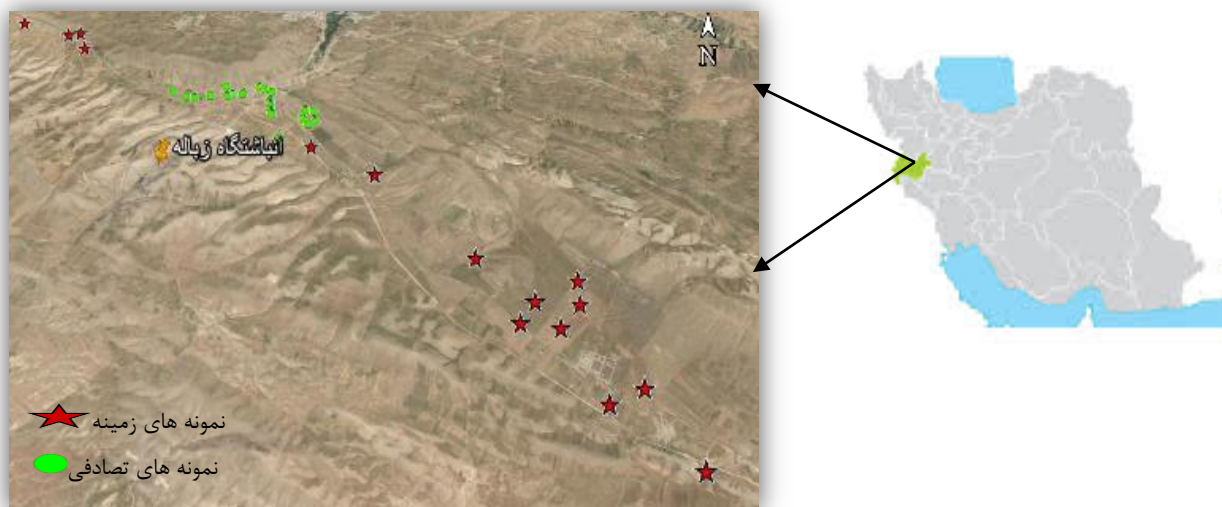
منطقه مطالعاتی از نظر موقعیت جغرافیایی حدفاصل $34^{\circ}23'88''$ تا $34^{\circ}25'56''$ و عرض شمالی $47^{\circ}1'24''$ تا $47^{\circ}4'75''$ طول شرقی در بخشی از دامنه شمالی کوه سفید در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شهر کرمانشاه و در پایین دست محل دفن زباله ها قرار دارد (شکل ۱). در آبان ماه ۱۳۹۳، تعداد ۳۰ نمونه از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک زمین های کشاورزی اطراف محل دفن زباله و ۱۵ نمونه به عنوان زمینه طبیعی^۱ منطقه برای بررسی شدت آلودگی، از مناطق دوردست که تحت تأثیر شیرابه زباله نبودند، به روش تصادفی و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک برداشت گردید. مختصات همه نقاط توسط دستگاه سیستم موقعیت یاب جهانی^۲ ثبت گردید. ویژگی های زمین شناسی و مواد مادری نمونه هایی که به عنوان زمینه طبیعی منطقه برداشت شدند با نمونه خاک های اطراف محل دفن زباله یکسان بود.

تجزیه های آزمایشگاهی

از هر نقطه نمونه برداری به اندازه ۳ کیلوگرم خاک برداشت شد. هر دو گروه نمونه های خاک و زمینه، پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه ها شامل بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (۱۷)، کربنات کلسیم

3- Geoaccumulation Index
4- Contamination Factor
5- Enrichment Factor

1- Background
2- Global Positioning System



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه برداری
Figure (1) Study area and sampling points location

نتایج و بحث

آمار توصیفی غلظت عناصر مورد بررسی و برخی دیگر از ویژگی های خاک سطحی برای منطقه متأثر از انباشت زباله در جدول (۲) و برای نمونه های زمینه در جدول (۳) آورده شده اند.

جدول (۲) نشان می دهد که در خاک محدوده پایین دست انباشت زباله غلظت Cd کل در دامنه ای بین ۲ تا ۱۰ و با میانگین ۵/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم است. بولان و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که، حد بحرانی Cd در خاک ها ۱/۵ تا ۲/۵ میلی گرم بر کیلوگرم بوده است، بنابراین می توان نتیجه گرفت که مقدار میانگین غلظت Cd کل در منطقه مطالعاتی بیش تر از حد بحرانی خاک است (۱۰). سلمانزاده و همکاران^۱ (۱۳۹۱)، Cd به میزان کمی در پوسته زمین یافت می شود و معمولاً فعالیت های انسانی باعث افزایش غلظت این آلاینده در آب، هوا و خاک می شود (۳۳).

ضریب ۱/۵ برای تصحیح لیتولوژی و فعالیت های انسانی اعمال می شود (۲۲). مولر ۷ کلاس برای نمایه زمین انباشتگی در نظر گرفته است که در جدول (۱) ارایه شده اند (۱۲).

فاکتور آلودگی

بر اساس این فاکتور می توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد (۱۸). فاکتور آلودگی با بهره گیری از رابطه (۲) بیان می شود:

$$CF = [C] \text{ heavy metal} / [C] \text{ background} \quad (2)$$

CF: میزان فاکتور آلودگی

[C] heavy metal : غلظت عنصر در نمونه خاک

[C] background: غلظت عنصر در نمونه زمینه

هاکانسن (۱۹۸۰) با استفاده از فاکتور آلودگی، خاک ها را از نظر آلودگی در ۴ کلاس طبقه بندی کرده است (۱۹) (جدول ۱).

زین الدینی و همکاران: بررسی پتانسیل آلودگی عناصر کادمیم ...

جدول (۱) سطوح آلودگی براساس نمایه زمین‌انباشتی مولر (۱۲) و فاکتور آلودگی هاگانس (۱۹)
Table (1) Pollution levels based on Mueller Geoaccumulation index (12) and Hakans Contamination Factor (19)

شدت آلودگی Pollution intensity	فاکتور آلودگی Contamination factor	نمایه زمین‌انباشتی Geoaccumulation index	دامنه‌ی تغییر Range change
آلودگی کم Low pollution	$CF < 1$	بدون آلودگی No pollution	$0 >$
آلودگی متوسط Moderately polluted	$1 \leq CF < 3$	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط No pollution to the average pollution	0-1
آلودگی زیاد Heavily polluted	$3 \leq CF < 6$	آلودگی متوسط Moderately polluted	1-2
آلودگی بسیار زیاد Extremely polluted	$CF \geq 6$	آلودگی متوسط تا زیاد Moderately to heavily polluted	2-3
		آلودگی زیاد Heavily polluted	3-4
		آلودگی زیاد تا شدیداً آلوده Heavily to extremely polluted	4-5
		شدیداً آلوده Extremely polluted	$5 <$

جدول (۲) آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در منطقه متاثر از محل انباشت زباله
Table (2) Descriptive statistics of physical and chemical properties of soil samples in the area affected by landfill

متغیر Variable	کمینه Min	بیشینه Max	میانگین Mean	میانه Median	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
pH	7.2	7.5	7.39	7.4	0.1	0	-0.4	-0.8
(dS/m) EC	0.2	0.3	0.2	0.2	0	0.1	1.5	3.4
رس (%) Clay (%)	4	31.6	15	14	6.8	0.4	0.6	0.3
سیلت (%) Silt (%)	37.6	63.2	51.7	53.4	6.5	0.1	-0.4	-0.7
شن (%) Sand (%)	16	48.4	33.3	35.4	9.3	0.3	-0.4	-0.9
کربن آلی (%) Organic carbon (%)	0.8	3.9	1.5	1.4	0.5	0.3	3.6	17.4
کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent	11.4	62.5	28.6	27.3	11.7	0.4	1.5	3.2
فسفر (mg.kg ⁻¹) P (mg.kg ⁻¹)	0.2	119.5	20.1	16.9	21.1	1	3.8	17.8
کادمیم کل (mg.kg ⁻¹) Cd Total (mg.kg ⁻¹)	2	10	5.03	4.5	2.2	2.3	0.9	0.2
سرب کل (mg.kg ⁻¹) Pb Total (mg.kg ⁻¹)	18	47	30.9	30	7.6	4.1	0.3	-0.6
نیکل کل (mg.kg ⁻¹) Ni Total (mg.kg ⁻¹)	72	130	98.6	96.5	13.3	0.1	0.6	0.5

جدول (۳) آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک زمینه

Table (3) Descriptive statistics of physical and chemical properties of background soil samples

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	میان	انحراف	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
Variable	Min	Max	Mean	Median	معیار SD	CV	Skewness	Kurtosis
pH	7.3	7.9	7.8	7.8	0.2	0.2	-1.3	1.2
(dS/m) EC	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.2	0.7	-1
رس (%)	8.2	21.2	15.7	16.2	3.6	0.2	-0.8	0.5
Clay(%)	42.4	56.8	50.6	50.8	4.1	0.8	-0.5	-0.2
سیلت (%)	28	48.4	33.7	32.4	5.6	0.2	1.5	2.4
Silt(%)	0.6	2	1.4	1.5	0.4	0.3	-0.5	-0.1
شن (%)	11.4	46.6	27.8	25.3	9.2	0.3	0.9	0.8
Sand (%)	0.9	38	13.1	10.4	11.3	0.1	1.2	0.9
کربن آلی (%)	1	3	2.1	2	1	0.5	0.4	-0.7
Organic carbon (%)	0	9	3.5	2	3.6	1	0.4	-1.6
کربنات کلسیم معادل (%)	32	60	50.3	52	8.2	0.2	-0.7	0
Calcium carbonate equivalent								
فسفر (mg.kg ⁻¹)								
P (mg.kg ⁻¹)								
کادمیم کل (mg.kg ⁻¹)								
Cd Total (mg.kg ⁻¹)								
سرب کل (mg.kg ⁻¹)								
Pb Total (mg.kg ⁻¹)								
نیکل کل (mg.kg ⁻¹)								
Ni Total (mg.kg ⁻¹)								

میانگین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک (جدول ۲) در حد چشمگیری نسبت به آنچه در دیگر پژوهش‌ها از جمله مطالعه برزین و خادمی (۹)، در بررسی آلودگی خاک‌های سطحی استان همدان به عناصر سنگین و مطالعه اسماعیلی و همکاران (۱۵)، در بررسی آلودگی خاک‌های کشاورزی اصفهان صورت گرفت، بالاتر است. از سوی دیگر غلظت عناصر در زمین‌های پایین دست انباشتگاه زباله با میانگین‌های ذکر شده برای غلظت همان عناصر در نمونه‌های زمینه (جدول ۳) نیز تفاوت زیادی دارد. به طوری که افزایش غلظت عناصر Cd، Pb و Ni در زمین‌های تحت تأثیر شیرابه به ترتیب معادل ۲/۴۳، ۸/۷۶ و ۱/۹۶ برابر مقدار زمینه آن‌ها می‌باشد. براین اساس می‌توان گفت که در زمین‌های پایین دست انباشتگاه زباله، عناصر سنگین مورد

غلظت Pb کل در دامنه‌ای بین ۱۸ تا ۴۷ و با میانگین ۳۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. حد بحرانی Pb در خاک ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بنابراین، غلظت Pb کل کم‌تر از حد بحرانی آن در خاک است. غلظت Ni کل نیز بین ۷۲ تا ۱۳۰ با میانگین ۹۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. حد بحرانی Ni در خاک ۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است؛ این بدان معنی است که منطقه‌ی مطالعاتی نسبت به عنصر Ni آلودگی دارد. خلاصه‌ی آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های زمینه در جدول ۳ ارائه شده است. غلظت Cd کل در نمونه‌های زمینه بین ۱ تا ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۲/۱)، غلظت Pb کل بین ۰ تا ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۳/۵) و غلظت Ni کل بین ۳۲ تا ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانگین ۵۰/۳) تغییر می‌کند.

جهانی خاک‌ها و میانگین در ماده مادری شیل جهت مقایسه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که غلظت عناصر در خاک پایین دست انباشتگاه زباله نسبت به حالت زمینه افزایش یافته است. میزان افزایش غلظت برای عناصر به ترتیب $Pb > Cd > Ni$ می‌باشد. بیش‌تر بودن غلظت‌ها در منطقه انباشت زباله حاکی از تغلیظ این عناصر در محیط است. این موضوع می‌تواند به دلیل فعالیت‌های انسانی به‌ویژه دفن زباله و ورود آلودگی‌های ناشی از آن به خاک‌های پایین دست محل انباشت زباله باشد.

برای ارزیابی وضعیت عناصر سنگین در خاک‌های یک منطقه، بایستی غلظت عناصر آن با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین حالت، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف جهان، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را ایجاد می‌کند (۱۰). در مطالعات زیست محیطی به‌ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از معیارهای

آلودگی ارزیابی شود (۳۴). جدول (۶) میانگین معیارهای نمایه زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی را در بردارد؛ براساس این جدول می‌توان درباره وضعیت آلودگی خاک‌ها اظهار نظر کرد.

براساس نمایه زمین‌انباشتگی، میزان آلودگی بیش‌تر نمونه‌ها به عناصر Cd و Ni در سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط می‌باشد؛ لیکن در مورد Pb بیش‌تر نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط تا زیادی هستند.

مطالعه در حال انباشت در خاک هستند. عیدی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش‌های مشابه بیان کردند که نفوذ شیرابه به خاک‌های محل دفن زباله باعث افزایش غلظت عناصر سنگین در این مکان‌ها گردیده است (۶).

با این همه پارامترهای توزیع در هر دو جدول ۲ و ۳ نشان از توزیع‌هایی با انحراف کم و نزدیک به نرمال در داده‌ها است. ضریب تغییرات بالا در Pb و Cd بیان‌گر افزایش و توزیع غیرطبیعی این عناصر در خاک می‌باشد (جدول ۲) و این در حالی است که نه‌تنها ضریب تغییرات بلکه دیگر آماره‌های توزیع غلظت زمینه این عناصر انحراف کم‌تری از نرمال نشان می‌دهد (جدول ۳).

برای بررسی روابط بین متغیرها از ضریب همبستگی استفاده شد. اگر دو متغیر مستقل به‌طور کامل به‌هم وابسته باشند، بسته به نوع وابستگی، ضریب همبستگی آن‌ها بین -۱ تا +۱ خواهد بود و اگر هیچ همبستگی وجود نداشته باشد، این ضریب صفر است. همبستگی مثبت به این مفهوم است که مقادیر بالای یک متغیر با مقادیر بالای متغیر دیگر هماهنگ است، در حالی که همبستگی منفی مقادیر بالای یک متغیر با مقادیر پایین متغیر دیگر هماهنگ است، ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت کل عناصر سنگین و همچنین غلظت کل عناصر سنگین با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی بالایی بین عناصر سنگین و بین ویژگی‌های مورد بررسی و عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، فقط رابطه‌ای مثبت و معنادار در سطح ۵ درصد بین Cd با EC خاک وجود دارد.

در جدول ۵ میانگین غلظت کل عناصر Pb ، Cd و Ni در این مطالعه با مقادیر میانگین در پوسته زمین، میانگین

جدول (۴) ضرایب همبستگی پیرسون عناصر سنگین و ویژگی های خاک در منطقه متأثر از محل انباشت زباله
 Table (4) Pearson correlation coefficients of heavy elements and soil properties in the area affected by landfill

	pH	EC	Sand شن	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	فسفر P	نیکل کل Ni Total	کادمیم کل Cd Total	سرب کل Pb Total
pH	1										
EC	-0.15	1									
شن Sand	-0.16	-0.11	1								
سیلت Silt	-0.15	0.17	-0.68**	1							
رس Clay	0.08	-0.01	-0.71**	-0.3	1						
کربن آلی Organic carbon	-0.08	0.03	0.13	-0.16	0.02	1					
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	0.07	0.002	-0.06	-0.16	-0.23	0.32	1				
فسفر P	-0.32	0.49**	-0.18	0.21	0.04	0.03	0.06	1			
نیکل کل Ni Total	-0.02	0.12	0.05	-0.13	0.19	0.29	-0.32	0.09	1		
کادمیم کل Cd Total	-0.05	0.43*	-0.12	0.12	0.04	0.14	-0.1	0.04	-0.25	1	
سرب کل Pb Total	-0.13	-0.14	-0.04	-0.17	0.22	-0.008	-0.01	-0.11	0.33	-0.1	1

جدول (۵) مقایسه غلظت عناصر در منطقه متأثر از محل انباشت زباله با برخی داده های موجود
 Table (5) Comparison of the elements concentrations in the area affected by landfill with some available data

نیکل کل Total Ni	سرب کل Total Pb	کادمیم کل Total Cd	عنصر Element
98.6	30.9	5.03	میانگین غلظت (mg.kg ⁻¹)
			Concentration mean (mg.kg ⁻¹)
50.3	3.5	2	غلظت زمینه (mg.kg ⁻¹)
			Background concentration (mg.kg ⁻¹)
34	27	0.41	میانگین در خاک های جهان* (mg.kg ⁻¹)
			Average in world soils (mg.kg ⁻¹)
80	14	0.2	میانگین در پوسته زمین* (mg.kg ⁻¹)
			Average in earth crust (mg.kg ⁻¹)
68	20	0.3	میانگین شیل جهانی** (mg.kg ⁻¹)
			Average in global shale (mg.kg ⁻¹)

** ترکیب و ویدول (۳۶)

* کاباتا-پندیا (۲۱)

جدول (۶) میانگین معیارهای ارزیابی و کلاس آلودگی خاکها بر اساس این معیارها

Table (6) Evaluation criteria means and soils pollution class based on these criteria

عنصر	کادمیم کل	سرب کل	نیکل کل
Element	Total Cd	Total Pb	Total Ni
میانگین I_{geo}	0.6	2.5	0.5
Average I_{geo}			
شدت آلودگی I_{geo}	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط	آلودگی متوسط تا زیاد	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
Pollution intensity	Unpolluted to moderately polluted	Moderately to heavily polluted	Unpolluted to moderately polluted
میانگین CF	2.5	8.7	2.1
Average CF			
شدت آلودگی CF	آلودگی متوسط	آلودگی بسیار زیاد	آلودگی متوسط
Pollution intensity	Moderately polluted	Extremely polluted	Moderately polluted

خاستگاه‌های انسانی دارد. میانگین غلظت Cd و Ni در مطالعه آنها به ترتیب ۰/۴۳ و ۶۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. علاوه بر آن افزایش غلظت در این منطقه نسبت به حالت زمینه کم‌تر بوده، که نشان از تأثیر کم‌تر فعالیت‌های انسانی در منطقه صنعتی اصفهان دارد.

عظیم‌زاده و خادمی (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی بر روی خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران، به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر Pb تحت تأثیر فعالیت‌های شهری نسبت به حالت زمینه افزایش زیادی داشته، اما غلظت Cd و Ni بیش‌تر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی بوده است (۷).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش غلظت عناصر Cd، Pb و Ni در خاک‌های پایین‌دست محل انباشت زباله شهری کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. میانگین غلظت عناصر Pb، Cd و Ni در این خاک‌ها از مقادیر این عناصر در نمونه‌های زمینه همین منطقه، میانگین پوسته زمین، میانگین جهانی خاک‌ها و میانگین در شیل بیش‌تر بود که این امر حاکی از تغلیظ این عناصر در محیط تحت تأثیر انباشت زباله است. نتایج ضریب همبستگی نشان می‌دهد که همبستگی بالایی

ارزیابی آلودگی براساس فاکتور آلودگی نیز در بیش‌تر نمونه‌ها، آلودگی به عناصر Cd و Ni را در حد متوسط و در مورد Pb بسیار زیاد نشان داده است.

بانو و همکاران^۱ (۸)، در مطالعه‌ای غلظت عناصر سنگین رسوبات رودخانه ترگ در بنگلادش را تحت تأثیر دفع و رهاسازی زباله‌های خانگی بررسی کردند. آنها گزارش کردند که میانگین غلظت Cd و Pb به ترتیب ۰/۲۸ و ۳۲/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. آنها گزارش کردند که براساس نمایه زمین‌انباشتگی، رسوبات آلودگی متوسطی به عناصر Cd و Pb دارند. همچنین آنها بیان کردند که میانگین فاکتور آلودگی برای Cd و Pb به ترتیب ۱/۴ و ۱/۶۴ به دست آمده که نشان دهنده آلودگی متوسط رسوبات به عناصر Cd و Pb است.

اسماعیلی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) در بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی و نمونه‌های زمینه در منطقه‌ی صنعتی اصفهان (۱۵) به نتیجه‌ای مشابه با این پژوهش دست یافتند. این محققان نشان دادند که غلظت بالای عناصر سنگین (بالا‌تر از مقدار زمینه) همراه با ضریب تغییرات بالا نشان از ورود عناصر سنگین از طریق

1- Banu *et al.*

2- Esmaeili *et al.*

زیادی نسبت به Pb قرار دارند. مقادیر محاسبه شده برای فاکتور آلودگی نیز بیانگر آنست که بیش تر نمونه‌ها آلودگی متوسطی نسبت به Cd و Ni و آلودگی بسیار زیادی نسبت به Pb دارند. در مجموع غلظت عنصر Pb در نمونه‌ها نسبت به زمینه افزایش زیادی داشته و خاک منطقه نسبت به این عنصر آلودگی بیش تر دارد.

بین عناصر سنگین و بین ویژگی‌های مورد بررسی و عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. در این پژوهش آلودگی نمونه‌های خاک براساس نمایه زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی با استفاده از میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های زمینه محاسبه گردید. براساس نمایه زمین‌انباشتگی، بیش تر نمونه‌ها در سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط نسبت به Cd و Ni و آلودگی متوسط تا

منابع

1. Agamuthu, P., and Fauziah, S. H. 2010. Heavy metal pollution in landfill environment: A Malaysian case study. In 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 18-20 June, Chengdu, China.
2. Ahdy, H.H., and Khaled, A. 2009. Heavy metals contamination in sediments of the western part of Egyptian Mediterranean Sea. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3330-3336.
3. Alaei Taleghani, M., Sanjari, F., and Galileans, A. 2010. Optimal Positioning municipal solid waste landfill experimental method based on geomorphological features of the area, Urban and Regional Studies and Research Issue, p. 34-19. (in Persian).
4. Alloway, B.J. 1990. Heavy Metals in Soil. John Wiley & Sons, INC., New York.
5. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K. C., and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. Science of the Total Environment, 347(1), 64-77.
6. Aydi, A. 2015. Assessment of heavy metal contamination risk in soils of landfill of Bizerte (Tunisia) with a focus on application of pollution indicators. Environmental Earth Sciences, 74(4): 3019-3027.
7. Azimzadeh, B., and Khademi, H. 2013. Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. Journal of Water and Soil, 27(3): 548-559. (in Persian with English abstract).
8. Banu, Z., Chowdhury, M.S.A., Hossain, M.D., and Nakagami, K.I. 2013. Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal in the Sediment of Turag River, Bangladesh: An Index Analysis Approach. Journal of Water Resource and Protection, 5(02), 239.
9. Berzin, M., Kheirabadi, H., and Ofioni, M. 2015. Contamination of some heavy metals in surface soils of Hamadan province using the pollution indicators. Journal of

- Soil and Water Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 19 (72): 69-80. (in Persian).
10. Bolan, N.S., Adriano, B.C., and Mani, P.A. 2003. Immobilization and Phytoavailability of cadmium in variable charge soil. II. Effect of lime addition. *Plant and Soil*, 251:187-198.
 11. Cai, J., Liu, Y., Qian, Y., and Yu, M. 2015. Information asymmetry and corporate governance. *The Quarterly Journal of Finance*, 5: 1550014.
 12. Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., and Wang, J. 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of The Total Environment*, 512: 143-153.
 13. City of Kermanshah. 2008. The annual report from the Municipal Bureau of Applied Research in Kermanshah Province. (in Persian).
 14. Delijani, F., Kazemi, GH., Parvin nia, M., and Khakshvr, M. 2009. Enrichment Disruption And Distribution Metals Heavy a door Soils Area Special Economic ParsSouth (Assaluyeh), Th Congress Between World Engineering Construction, Shiraz University. Page 1-8. [In Persian].
 15. Esmaili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., and Kermani, M. 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena*, 121: 88-98.
 16. Esmaili-Sari, A. 2002. *Pollution, Health and Environmental Standards*. Tehran: Trabiati Modarres Unviversity; (in Persian).
 17. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1990. Particle size analysis. P. 383-411. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties*. Monograph No. 9. 2nd ed. Medison, WI: SSSA.
 18. Golshahi, A., Mirghaffari, N., Ofioni, M., Soffianian, A.R., and Khodakarami, L. 2000. "Mapping of soil parameters using GIS and geostatistical city Skinheads" National Conference on Geomatics 89, 2000. (in Persian).
 19. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.
 20. Hutton, M., and De Meeus, C. 2001. Analysis and conclusions from member states' assessment of the risk to health and the environment from cadmium in fertilizers. European Commission-Enterprise DG, Brussels, Belgium.
 21. Kabata-Pendias, A. 2011. *Trace elements in soils and plants*, CRC Press Taylor and Francis Group, 534.
 22. Loska, K., Wiechula, D., and Korus, I. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30(2): 159-165.

23. Madrid, L., Diaz-Barrientos, E., and Madrid, F. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, 49: 1301–1308
24. McGrath, S.P., and Cunliffe, C.H. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36(9): 794-798.
25. McLean, O.P. 1990. Soil PH and lime requirement. p. 199-224. In: A. L. Page, R. H. Miller D. R. Keeney (eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and biological properties*. Monograph No 9. 2nd ed. Medison, WI: SSSA.
26. Mutluturk, M., and Karaguzel, R. 2007. The landfill area quality (LAQ) classification approach and its application in Isparta, Turkey. *Environmental and Engineering Geosciences*, 13: 229–240
27. Pais, I.J., Benton Jones, J.R. 1997. *The handbook of trace elements*. St. Lucie press Boca Raton pub., Florida.
28. Papa, S., Bartli, G., Pellegrino, A., and Fioretto, A. 2010. Microbial activities and trace element contents in an urban soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165: 193-203.
29. Reilly, C., Bphil, B.S., and Faifst, P.D. 2002. *Metal Contamination of Food, its Significance for Food Quality and Human Health*. 3rd ed., Blackwell Science Ltd., Osney Mead, Oxford, UK.
30. Richards, L.A. 1954. *Diagnostic and improvement of salin and alkali soils*. USDA Handbook No. 60. Washington DC., U.S. Govt. Printing Office.
31. Rodrigues, S.M., Cruz, N., Coelho, C., Henriques, B., Carvalho, L., Duarte, A.C., and Römken, P.F. 2013. Risk assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in urban soils: Chemical availability as the central concept. *Environmental Pollution*, 183: 234-242.
32. Salehi, M., Malakouti, M.J., and Samavat, S. 2005. Distribution and critical levels of heavy metals in life cycle (Soil, Water, Plant, and livestock), *Soil and Water Research Institute, Technical bulletin, No. 435., Thanjavru*.
33. Salman Zadeh, M., Saeedi, M., and Nabi Bidhendi, G.H. 2012. Heavy metal pollution deposited in the dust of the streets of Tehran and ecological risk assessment. *Environmental Studies*, thirty-eighth year, No. 61, Spring 91, p. 9-18.
34. Shayestehfar, M., and Rezaei, A. 2013. Environmental behavior and distribution of heavy elements in Khak of Sarcheshmeh copper mine. *Journal of Mining Engineering*, 8 (18): 13-21. (In Persian).
35. Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. 1993. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. McGraw-Hill, Inc.
36. Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H, 1961. Distribution of elements in some major units of the earth's crust, *Geological Society of America Bulletin* 72, 175-192.

37. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2): 399-415.
38. Zimdahi R.L., and Skogerbo R.K. 1997. Behavior of lead in soil. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11:1202-1207.
39. Żukowska, J., and Biziuk, M. 2008. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *Journal of Food Science*, 73: 21–29.