

بررسی آلاینده‌گی فلزات سنگین در پایین دست محل دفن زباله‌های شهری اردبیل

کبری جعفری^{۱*}، ناصر حافظی مقدس^۲، علیرضا مظلومی بجستانی^۳، اعظم قزی^۴

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه پیام نور، مرکز مشهد

۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز مشهد

۴. دکترای زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۳

چکیده

محل‌های دفن پسماندهای شهری با انتشار آلاینده‌های ناشی از نفوذ شیرابه به خاک‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی محیط پیرامون همراه است. روزانه ۳۰۰ تن زباله‌های شهری بدون هیچ محافظی برای انتشار آلودگی در محل دفن شهر اردبیل رها می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی آلاینده‌گی فلزات سنگین در پایین دست محل دفن زباله‌های شهری اردبیل است. برای بررسی آلودگی خاک‌های منطقه، یک نمونه شاهد خاک از بالادست و یازده نمونه در امتداد آبراهه از پایین دست برداشت شد. برای بررسی آلودگی آب، یک نمونه آب از بالادست و چهار نمونه از چاه‌های پایین دست انتخاب شد. نتایج آنالیز عناصر در خاک با استاندارد خاک‌های ایران مقایسه شد که نشان داد غلظت روی بالاتر از حد استاندارد است. مقایسه میانگین داده‌ها در نمونه‌های پایین دست نسبت به نمونه شاهد با استفاده از آزمون *T-Test* نشان‌دهنده تأثیر محل دفن بر آلودگی خاک‌های پایین دست است. محاسبه فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی غلظت بالای سرب، روی و کادمیم را نشان داد. روند تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آب بیانگر آلودگی آب در چاه‌های نمونه‌برداری شده نبود. محل دفن در مکان سنگی به شدت درزه‌دار، با شیب زیاد و خاک‌های شنی و کم‌عمق واقع شده است، لذا انتشار شیرابه باعث آلودگی گسترده خاک‌ها و آب‌های منطقه خواهد شد.

کلیدواژه

اردبیل، آلودگی آب، آلودگی خاک، فلز سنگین، محل دفن

۱. سرآغاز

زیست‌زمین‌شیمیایی، انباشت زیستی، جذب- واجذب، پتانسیل اکسایش- کاهش، ته‌نشست، انحلال‌پذیری، کی‌لیتی شدن و خطرات بوم‌شناختی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Zhihao et al., 2011). پسماندهای خطرناک خانگی به همراه پسماندهای جامد شهری مهم‌ترین منبع آلودگی فلزات سنگین ناشی از پسماندهاست. بیشتر فلزات سنگین موجود در پسماندهای

مکان‌های دفن انواع پسماند حجم عظیمی از پسماند را در خود جای می‌دهد. در سال‌های اخیر عدم مدیریت صحیح باعث شده که مکان‌های دفن زباله‌های شهری به یکی از منابع مهم ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست تبدیل شود (مر و همکاران، ۱۳۹۱). از میان آلاینده‌های مختلف، فلزات سنگین به دلیل پایداری محیطی، بازیافت

پسماندهای شهری و صنعتی تولیدشده توسط فعالیت‌های انسانی آلودگی خاک است. این آلودگی‌ها به صورت نشست ذرات و غبارات معلق و نشت شیرابه باعث آلودگی خاک‌های پیرامون می‌شود. دامنه گسترده‌ای از ترکیبات آلی، غیرآلی و فلزات سنگین موجود در شیرابه مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست خاک در محل‌های دفن پسماند است (David et al, 2009). آلودگی آب‌های زیرزمینی از لندفیل به چندین پارامتر مانند هدایت هیدرولیکی لایه‌های زیرین محل لندفیل، عمق خاک، بافت خاک، گرادیان هیدرولیکی آبخوان، عمق آب‌های زیرزمینی و نوع لندفیل بستگی دارد (Kontos et al., 2005). گسل‌ها و درزه‌های موجود در سنگ بستر معبری برای نفوذ شیرابه زباله دفن شده به لایه‌های زیرین و آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه است (شوکت یار و همکاران، ۱۳۹۱). هدف اصلی از این مطالعه، بررسی آلاینده‌های فلزات سنگین ناشی از دفن پسماند بر خاک و آب‌های پایین دست محل دفن پسماندهای شهری در اردبیل است.

جامد تحت شرایط تبادل یونی، رسوب با کربنات و سولفید، جذب با اکسیدهای آهن و منگنز و جذب توسط ماده‌های آلی در محل دفن پسماندها غیرقابل حل می‌شود. با این حال، اکسیژن موجود در محل‌های دفن پسماندهای شهری باعث افزایش پتانسیل اکسایش احیا می‌شود، تجزیه مواد آلی را بهبود می‌بخشد و باعث تحرک فلزات سنگین می‌شود (Prechthai, 2008). فلزات سنگین رایج موجود در شیرابه شامل آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، مس (Cu)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni) و روی (Zn) است. در جدول ۱ به منبع فلزات سنگین در لندفیل اشاره شده است (Mohobane, 2008).
روش‌های دفن سنتی و انباشت زباله‌ها در درون دره‌ها یا حوضه‌های بدون محافظ برای جلوگیری از انتشار آلاینده‌های دفن باعث می‌شود شیرابه تولیدی ناشی از فرایند خودتجزیه‌ای پسماندها و دارای غلظت بالایی از عناصر سمی به آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ کند و سبب آلودگی آن شود (Haifeng and Yaping, 2008). یکی از مشکلات دیگر در ارتباط با دفع یا دورریزی

جدول ۱. منابع رایج فلزات سنگین در لندفیل‌های شهری (Mohobane, 2008)

سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک، ابزارهای الکترونیکی، رنگ‌سازی، صابون، منسوجات	آرسنیک
باتری، ابزارهای الکترونیکی، روکاری‌های ضدخوردگی	کادمیم
فرایندهای چرم‌سازی	کروم
ظروف چینی، صابون، رنگ‌سازی	کبالت
سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک، کابل‌های الکتریکی، لوله‌سازی	مس
باتری، رنگ‌سازی	سرب
باتری، لامپ‌های فلورسانس، کاغذهای فتوگرافی رنگی، وسایل آرایشی	جیوه
ظروف آشپزخانه، باتری، سرامیک، ابزارهای الکترونیکی	نیکل
لوازم پزشکی، وسایل آرایش، رنگ‌سازی، سلول‌های باتری خشک، فارچ‌کش‌ها، شوینده‌ها	روی

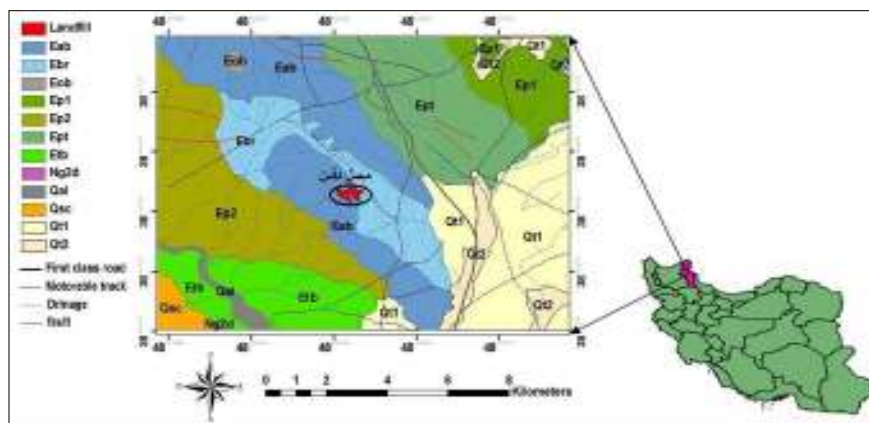
شکل ۱ موقعیت و محدوده زمین‌شناسی پیرامون محل دفن را نشان می‌دهد. سطح آب زیرزمینی پیرامون منطقه دفن در عمق ۳۰ تا ۶۰ متری قرار گرفته است. عمق خاک در این منطقه بسیار کم است و رخنمون‌های سنگی بدون پوشش خاک در منطقه به چشم می‌خورد. سایت تخلیه پسماند روی دامنه کوه مرتفع (ارتفاع ۱۵۷۵ متری) با پوشش گیاهی از نوع مراتع متراکم قرار دارد و به طرف پایین‌دست محصولات زراعی پوشش گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهد. این محل دارای سطحی حدود ۵۰ هکتار است و از سال ۱۳۷۴ مورد توجه برای دفن زباله‌های شهر اردبیل بوده است. روزانه ۳۰۰ تن زباله در این مکان به روش تلباری و بدون هیچ محافظی جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها ریخته می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. موقعیت محل دفن فعلی پسماندهای شهری

اردبیل

شهر اردبیل به عنوان مرکز استان اردبیل در شمال غرب ایران در زون البرز غربی - آذربایجان قرار دارد. محل دفن فعلی پسماندهای شهری اردبیل در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 26' 33''$ عرض شمالی با $48^{\circ} 13' 40''$ طول شرقی و 22 کیلومتری شمال غرب شهر اردبیل در مسیر جاده قدیمی اردبیل - مشگین شهر و در دامنه بلندترین ارتفاعات منطقه قوش‌قیه‌سی واقع شده است. میزان بارندگی سالیانه در این منطقه 320 میلی‌متر و میزان تبخیر 810 میلی‌متر است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک با شدت متوسط و جهت باد غالب شرقی - غربی است. این محل از نظر زمین‌شناسی روی واحد سنگی تراکی آندزیت‌های دوران ائوسن قرار گرفته است که روی آن را واریزه‌های دامنه‌ای می‌پوشاند.



شکل ۱. موقعیت و زمین‌شناسی محل دفن پسماندهای شهری اردبیل

متری بالادست محل دفن و یازده نمونه از پایین‌دست محل دفن در امتداد آبراهه از فواصل ۵۰ تا ۱۳۰۰ متری برداشت شد. برای دوری از آثار سطحی، همچنین مواد آلی، نمونه‌برداری از عمق ۱۰ الی ۲۰ سانتی‌متری انجام گرفت. شکل ۲ موقعیت نقاط نمونه خاک‌های برداشت‌شده را در تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت نشان می‌دهد.

۲.۲. نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

به منظور نمونه‌برداری منطقه از نظر توپوگرافی، وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت خاک، عمق خاک و جنس سنگ بستر بررسی شد. برای بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در خاک‌های پایین‌دست محل دفن پسماندهای شهری اردبیل، یک نمونه شاهد از فاصله ۴۰۰

بافت خاک (درصد ماسه، سیلت و رس)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و آنالیز فلزات سنگین در آزمایشگاه انجام گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شده است. با توجه به فواصل نمونه برداری، هفت نمونه انتخاب و درصد مواد تشکیل دهنده خاک (رس، سیلت و ماسه) تعیین و با استفاده از مثلث بافت خاک، در نمونه های برداشت شده بافت خاک مشخص شد. EC و pH با استفاده از محلول عصاره اشباع اندازه گیری شد. برای بررسی میزان آلودگی خاک های منطقه به فلزات سنگین، عناصر مس (Cu)، کبالت (Co)، نیکل (Ni)، کادمیم (Cd)، روی (Zn) و سرب (Pb) با دستگاه جذب

اتمی Varian 240 اندازه گیری شده است. برای این منظور نمونه های خاک ابتدا هوا خشک و پس از عبور از الک ۲ میلی متری با هاون آزمایشگاهی آسیاب شد. ۰/۱ گرم خاک با ترازوی دیجیتال وزن و به آن اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه شد. سپس، جوشانده شد تا محلول همگنی به دست آید. حجم محلول را به ۱۰۰ میلی لیتر رساندیم و پس از عبور از صافی، نمونه برای اندازه گیری فلزات سنگین آماده می شود. برای ارزیابی آلودگی خاک های منطقه، نتایج آنالیز فلزات سنگین با استاندارد خاک های ایران مقایسه (جدول ۲) و فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشتگی تمامی نمونه ها محاسبه شد.



شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه خاک های برداشت شده در تصویر ماهواره ای گوگل ارث

جدول ۲. مقادیر استاندارد فلزات سنگین اندازه گیری شده در خاک

استاندارد خاک های ایران بر حسب mg/kg (سایت سازمان محیط زیست ایران)

عناصر	حد استاندارد	حد پاکسازی
Pb	۷۵	۸۲۰
Cd	۵	۲۰
Zn	۵۰۰	۷۵۰۰
Co	۵۰	۳۰۰
Ni	۱۱۰	۱۱۰۰
Cu	۲۰۰	۲۷۰۰

در پایین دست منطقه خشک شده بود، لذا فقط چهار حلقه چاه در پایین دست منطقه برای نمونه برداری انتخاب شد. یک حلقه چاه هم برای برداشت نمونه شاهد در بالادست منطقه دفن انتخاب شد. شکل ۳ موقعیت نقاط برداشت نمونه آب را در گوگل ارث نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر شیرابه محل دفن بر آب‌های زیرزمینی، نمونه برداری در ۳ شهریور ۱۳۹۲ به عنوان شاخص فصل کم باران و ۲۹ بهمن ۱۳۹۲ به عنوان شاخص فصل پر باران انجام پذیرفت. نمونه‌های برداشت شده در بطری‌های پلی اتیلنی ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد که سه بار قبل از پرکردن نمونه آب، با آب چاه مورد نظر شستشو داده شده بود. اندازه‌گیری پارامترهای عمومی و فلزات سنگین در آزمایشگاه انجام گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب را می‌توان در دو گروه پارامترهای عمومی (EC, pH, COD, BOD و TDS) و فلزات سنگین (Cu, Fe, Mn, Co, Ni, Cd, Zn و Pb) طبقه‌بندی کرد. جدول ۵ روش‌های مورد استفاده در آنالیز نمونه‌ها در تعیین پارامترهای مورد نظر را نشان می‌دهد. در جدول ۶ حد استاندارد پارامترهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه مطابق با استاندارد آب آشامیدنی ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) و استاندارد سازمان بهداشت جهانی آمده است.

جدول ۴. طبقات شاخص زمین‌انباشتگی (Muller, 1969)

شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
>۰	غیرآلوده
۰-۱	غیرآلوده تا کمی آلوده
۱-۲	کمی آلوده
۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۳-۴	خیلی آلوده
۴-۵	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
<۵	شدیداً آلوده

بر اساس فاکتور غنی‌شدگی می‌توان غلظت عناصر را نسبت به غلظت طبیعی خود سنجید. این فاکتور از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$EF = S_e / R_e \quad (1)$$

EF فاکتور غنی‌شدگی، S_e غلظت عناصر در خاک و R_e غلظت عناصر در ماده مرجع است. طبقه‌بندی مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در تعیین درجه آلودگی در جدول ۳ نشان داده شده است (Bhuiyana et al., 2010).

جدول ۳. طبقه‌بندی مقادیر فاکتور غنی‌شدگی (Bhuiyana et al., 2010)

مقدار فاکتور	درجه آلودگی
۰	بدون آلودگی
۱	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	آلودگی متوسط
۳	آلودگی متوسط تا قوی
۴	آلودگی قوی
۵	آلودگی قوی تا خیلی قوی
۶	آلودگی خیلی قوی

شاخص زمین‌انباشتگی را مولر معرفی کرد (Muller, 1969). شاخص تعیین‌کننده درجه آلاینده‌گی خاک از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

(۲)

$$I_{geo} = \log_2[(C_n) / (1.5B_n)]$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین‌انباشتگی، C_n غلظت در رسوب و خاک و B_n غلظت زمینه است (Muller, 1969). مولر هفت کلاس برای طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشتگی در نظر گرفته است (جدول ۴).

در منطقه مورد مطالعه، به دلیل نبودن آب سطحی دائمی، نمونه‌ای از آب سطحی برداشت نشد. به علت واقع شدن محل دفن در منطقه‌ای با سازندهای سنگی، پراکنده‌گی چاه در اطراف محل دفن کمتر بود. برای نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی بیشتر چاه‌های موجود



شکل ۳. موقعیت نقاط نمونه برداری از آب های منطقه در گوگل ارث

جدول ۵. روش های مورد استفاده در آنالیز نمونه های آب در تعیین پارامترهای مورد نظر

پارامترها	روش مورد استفاده	نوع تجهیزات
EC (ds.m ⁻¹)	کنداکتیویته متری	EC متر پرتابل مدل آکوالیتیک آلمان
pH	الکترومتریکی	PH متر پرتابل مدل آکوالیتیک آلمان
TDS (ppm)	کنداکتیویته متری	TDS متر پرتابل مدل آکوالیتیک آلمان
BOD (ppm)	رسمیرومتریکی	BOD سنج به همراه اینکدباتور مدل آکوالیتیک آلمان
COD (ppm)	دی کرومات پتاسیم به روش حجمی	COD سنج به همراه راکتور گرمایی مدل آکوالیتیک آلمان
Metal Heavy (ppm)	کوره گرافیتی	دستگاه جذب اتمی Varian 240

جدول ۶. مقادیر استاندارد پارامترهای مختلف موجود در آب

پارامتر	استاندارد آب آشامیدنی ایران (نشریه شماره ۱۰۵۳)	استاندارد سازمان بهداشت جهانی
BOD (mg.l ⁻¹)		۳۰
COD (mg.l ⁻¹)		۴۰
TDS (mg.l ⁻¹)	۱۰۰۰ - ۱۵۰۰	۶۰۰
pH	۶/۵ - ۹	۶/۵ - ۸/۵
EC(ds.m ⁻¹)	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۵۰۰
Cu (ppm)	۲	
Fe (ppm)	۰/۳	۰/۳
Mn (ppm)	۰/۴	۰/۴
Zn (ppm)	۳	۳
Cd (ppm)	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
Pb (ppm)	۰/۰۱	۰/۰۱
Co (ppm)		۰/۰۵
Ni (ppm)	۰/۰۷	۰/۰۷

سریع‌تر شود. لذا، باعث افزایش میکروب‌ها و املاح محلول در آب و تقاضای اکسیژن‌خواهی بیشتر می‌شود. نسبت بین BOD و COD در محل‌های دفن بین ۰/۱ تا ۰/۵ تغییر می‌کند. این نسبت در محل مورد مطالعه از مقدار ۰/۴۸ در فصل کم‌باران به مقدار ۰/۴۱ در فصل پر باران تغییر کرده است.

مقدار مس و سرب تغییرات زیادی را در هر دو فصل نشان نمی‌دهد و کمترین مقدار را نسبت به سایر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده دارد. آهن و کادمیم از مقادیر کمتر در فصل کم‌باران به ترتیب به مقادیر ۱۳ppm و ۲۷ppm در فصل پر باران و غلظت نیکل از ۴۲ppm در فصل کم‌باران به ۰/۶۲ppm در فصل پر باران رسیده است. کبالت و منگنز تغییرات زیادی در فصل کم‌باران و پر باران نشان نمی‌دهد. روی بیشترین غلظت را در بین فلزات سنگین اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد و از ۹۲ppm در فصل کم‌باران به ۸۵ppm در فصل پر باران تغییر کرده است.

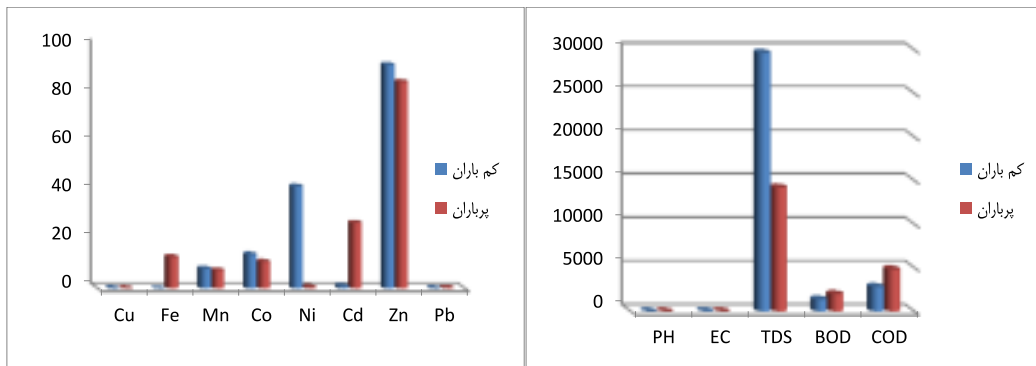
۳. نتایج و بحث

۱.۳. نتایج آنالیز شیمیایی شیرابه محل دفن پسماندهای شهری اردبیل

برای بررسی تغییرات غلظت عناصر مختلف، نمونه‌برداری از شیرابه در دو فصل کم‌باران و پر باران انجام پذیرفت. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۷ و نمودار شکل ۴ نشان داده شده است. pH از حالت قلیایی در فصل کم‌باران به حالت اسیدی در فصل پر باران تغییر کرده است. در فصول خشک تجزیه بیولوژیکی متوقف می‌شود، در صورتی که در فصول پر باران فعالیت بیولوژیکی افزایش می‌یابد و با شدت یافتن فرایند انحلال، شیرابه اسیدی‌تر می‌شود. EC و TDS در فصل کم‌باران نسبت به پر باران بیشتر است، زیرا با بارش باران بر اثر زیاد شدن آب، املاح محلول موجود در شیرابه اندکی رقیق‌تر می‌شود. مقدار BOD و COD در فصل کم‌باران کمتر از فصل پر باران است. آب با افزایش رشد باکتری و واکنش‌های شیمیایی بر ترکیب شیرابه تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود که تجزیه بیولوژیکی پسماندها

جدول ۷. نتایج آنالیز شیمیایی شیرابه محل دفن پسماندهای شهری اردبیل

ردیف	پارامتر	واحد	کم‌باران	پر باران
۱	pH	-	۸/۱۱	۴/۵۳
۲	EC	(ds.m ⁻¹)	۴۸/۴۵۰	۲۲/۱۴۷
۳	BOD	ppm	۱۳۷۵	۱۹۸۸
۴	COD	ppm	۲۸۲۰	۴۸۳۲
۵	TDS	ppm	۲۹۶۶۸	۱۴۲۲۵
۶	Cu	ppm	۰/۱۷	۰/۱۴
۷	Fe	ppm	۰/۰۰۱	۱۳
۸	Mn	ppm	۸/۲	۷/۵
۹	Co	ppm	۱۴	۱۱
۱۰	Ni	ppm	۴۲	۰/۶۲
۱۱	Cd	ppm	۱	۲۷
۱۲	Zn	ppm	۹۲	۸۵
۱۳	Pb	ppm	۰/۱۷	۰/۴۱



شکل ۴. پارامترهای اندازه‌گیری شده در شیروابه در دو فصل کم‌باران و پر باران

جوان است و تکامل پروفیلی ندارد. به دلیل رشد خیلی کند توسعه خاک و نیز شیب‌های اغلب تند در این مناطق خاک‌ها از پایداری چندانی برخوردار نیست. pH خاک‌های منطقه از ۶/۸۴ تا ۸/۱۱ متغیر و دامنه تغییرات هدایت الکتریکی از ۹/۸۱۸ تا ۱۷/۵۳۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

۲.۳. بافت خاک، اسیدیته و هدایت الکتریکی در نمونه خاک‌های برداشت شده

جدول ۸ درصد مواد تشکیل دهنده، بافت خاک، pH و EC در نمونه‌های برداشت شده را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در تمامی نمونه‌ها شن بیشتر است، بافت خاک منطقه درشت‌دانه و سبک است. دلیل این امر جنس سنگ مادری و نزدیکی به توده سنگی است. به‌طور کلی، خاک منطقه

جدول ۸. بافت خاک، pH و EC در نمونه‌های برداشت شده

شماره نمونه	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	pH	EC(ds.m ⁻¹)
۱	۷۹/۵۸	۲۰/۴۳	۴/۳۰	شنی	۷/۷۸	۱۷/۵۳۲
۲	۵۶/۷	۴۳/۳	۵/۱۵	لوم شنی	۶/۸۴	۱۳/۴۱۰
۳	۷۷/۹۶	۲۲/۰۴	۰/۷۹	شنی	۷/۲۵	۱۲/۷۲۰
۵	۷۹/۹۲	۲۰/۰۸	۶/۰۲	شنی	۷/۴۸	۱۲/۸۵۱
۷	۶۷/۴۵	۳۲/۵۵	۵/۸۱	لوم شنی	۸/۱۱	۱۱/۳۸۳
۹	۶۲/۷۷	۳۷/۲۳	۱/۱۰	لوم شنی	۷/۶۸	۱۱/۲۵۰
۱۱	۷۵/۳۷	۲۴/۶۳	۱/۳۸	شنی	۷/۹۸	۹/۸۱۸

عناصر مختلف به‌ویژه عناصر سنگین در آن کمتر یا حداکثر برابر با غلظت این عناصر در استانداردهای جهانی معرفی شده برای خاک باشد. به این غلظت‌ها معمولاً غلظت زمینه گفته می‌شود (Lee et al., 2006). نتایج حاصل از اندازه‌گیری عناصر مس (Cu)، کبالت (Co)، نیکل (Ni)، کادمیم (Cd)، روی (Zn) و سرب (Pb) در جدول ۹ آمده است.

۳.۳. نتایج آنالیز فلزات سنگین و ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه

آلودگی فلزات سنگین در خاک ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی شود. خاک غیرآلوده به خاکی گفته می‌شود که غلظت

جدول ۹. نتایج مربوط به غلظت فلزات سنگین در نمونه خاک‌های برداشت شده بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم خاک

عناصر	نمونه شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Cu	۳۰	۴۶	۴۲	۲۶	۲۲	۲۴	۳۱	۲۸	۲۷	۳۳	۱۹	۱۸
Co	۱	۱۶	۱۱	۹	۸	۹	۲	۱۰	۴	۶	۳	۲
Ni	۹	۲۴	۲۱	۱۷	۱۴	۱۶	۱۱	۱۳	۱۲	۱۰	۱۳	۱۲
Cd	۱	۵	۶	۴	۵	۳	۲	۱	۲	۲	۲	۱
Zn	۹۹۵	۴۸۰۰	۳۴۰۰	۲۸۵۳	۱۶۲۴	۲۴۳۸	۱۸۱۲	۲۰۰۰	۲۹۲۵	۲۸۵۰	۱۷۶۵	۱۲۶۰
Pb	۱۸	۸۲	۶۸	۵۹	۳۹	۴۳	۴۷	۶۶	۵۵	۵۱	۳۶	۳۲

شکل ۵ میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک‌های پایین دست، غلظت فلزات سنگین در نمونه شاهد و غلظت فلزات سنگین در استاندارد خاک‌های ایران را نشان می‌دهد. همان گونه که در نمودارها مشاهده می‌شود، غلظت تمامی عناصر به غیر از روی پایین تر از حد استاندارد است. مطابق شکل ۵، میانگین کبالت در نمونه‌های پایین دست (۷/۲۷ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) بالاتر از نمونه شاهد (۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) است. نتایج پردازش داده‌ها با آزمون T-Test نشان داد بین میانگین غلظت کبالت در نمونه‌های پایین دست با نمونه شاهد اختلاف معناداری وجود دارد ($P=0/002$).

میانگین غلظت نیکل در پایین دست (۱۴/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) بالاتر از غلظت نمونه شاهد (۹ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) است و اختلاف معناداری بین میانگین غلظت با نمونه شاهد وجود دارد ($P=0/001$).

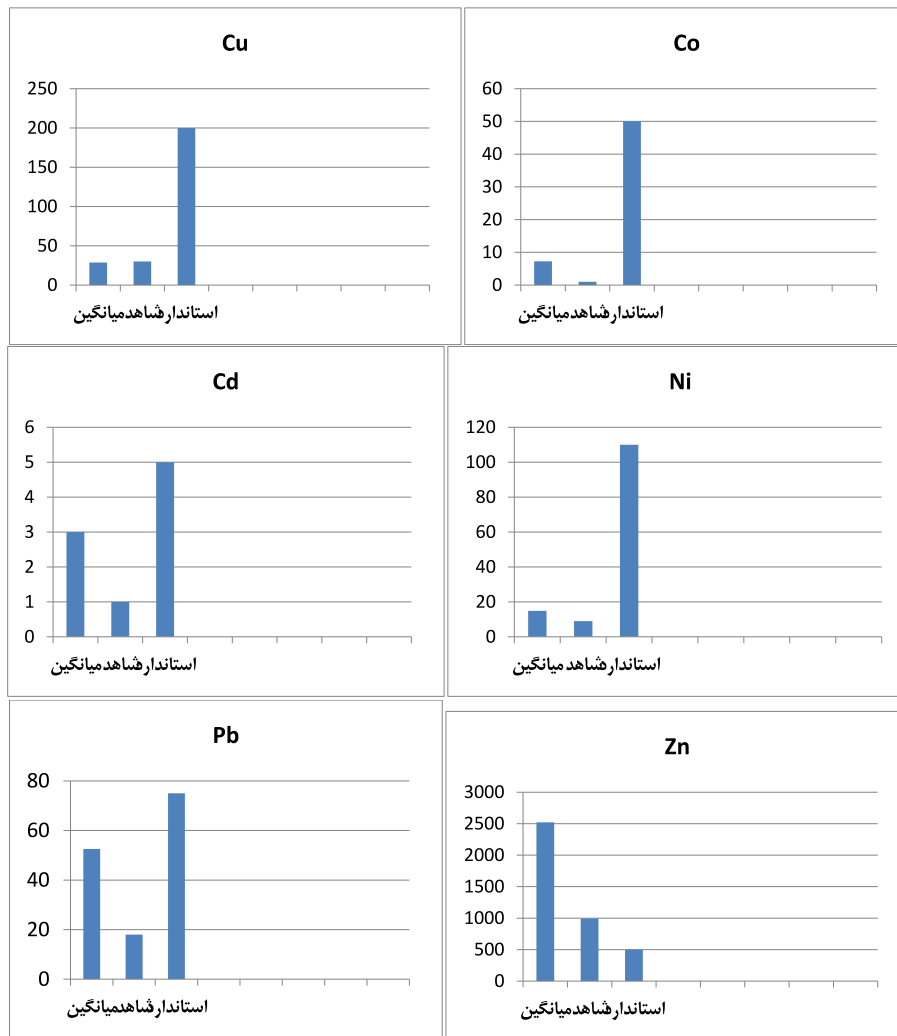
میانگین غلظت روی در پایین دست (۲۱۳۰/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) بالاتر از غلظت آن در نمونه شاهد (۹۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) است و نتایج آزمون بیانگر اختلاف معناداری بین میانگین غلظت در پایین دست با نمونه شاهد است ($P=0/001$).

سرب با غلظت میانگین ۵۲/۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در پایین دست بالاتر از غلظت در نمونه شاهد (۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) است. اختلاف معناداری بین غلظت میانگین سرب با نمونه شاهد وجود دارد ($P=0/001$).

بنابر موارد ذکر شده نتایج آزمون T-Test نشانگر آن است که به غیر از عنصر مس (T -Test، $P>0.05$)، اختلاف معناداری بین غلظت میانگین عناصر در نمونه‌های پایین دست با نمونه شاهد وجود دارد (T -Test، $P<0.05$) که بیانگر آلودگی خاک‌های پایین دست از شیرابه زباله‌هاست.

میانگین غلظت مس در نمونه‌های پایین دست (۲۸/۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) پایین تر از نمونه شاهد (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) است. نتایج آزمون نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین میانگین مس نمونه‌های پایین دست و نمونه شاهد مشاهده نمی‌شود ($P=0/644$).

کادمیم با غلظت میانگین ۳ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در پایین دست بالاتر از نمونه شاهد با غلظت ۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است. نتایج آزمون بیانگر اختلاف معناداری بین میانگین غلظت کادمیم در نمونه‌های پایین دست با نمونه شاهد است ($P=0/003$).



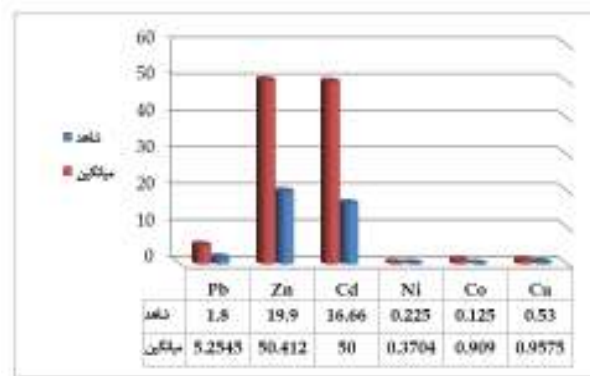
شکل ۵. میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک‌های پایین‌دست، غلظت فلزات سنگین در نمونه شاهد و غلظت فلزات سنگین در استاندارد خاک‌های ایران بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک

با افزایش فاصله از محل دفن کاهش می‌یابد. نتیجه مقایسه میانگین فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های پایین‌دست با غنی‌شدگی در نمونه شاهد با آزمون T-Test، در تمام شش عنصر تفاوت معناداری داشت (مس $P=0/001$ ، کبالت $P=0/002$ ، نیکل $P=0/001$ ، کادمیم $P=0/003$ ، روی $P=0/001$ و سرب $P=0/001$) که بیانگر آلودگی خاک‌های پایین‌دست است.

جدول ۱۰ مقادیر غنی‌شدگی محاسبه‌شده برای عناصر را طبق رابطه (۱) و نمودار شکل ۶، فاکتور غنی‌شدگی در نمونه شاهد و میانگین فاکتور غنی‌شدگی در یازده نمونه پایین‌دست را نشان می‌دهد. مطابق با طبقه‌بندی Bhuiyana و همکاران (۲۰۱۰) سرب، روی و کادمیم آلودگی خیلی قوی نشان می‌دهد و مس، کبالت و نیکل آلودگی خیلی کمی دارد. عناصر سرب، روی و کادمیم در نمونه شاهد هم آلودگی بالایی نشان می‌دهد، اما میزان غنی‌شدگی در نمونه شاهد کمتر از نمونه‌های پایین‌دست است. میزان غنی‌شدگی

جدول ۱۰. نتایج محاسبه فاکتور غنی‌شدگی عناصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه

عناصر	نمونه شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	میانگین ۱۱ نمونه
Cu	۰/۵۳	۱/۵۳	۱/۴	۰/۸۶	۰/۷۳	۰/۸	۱/۰۳	۰/۹۳	۰/۹	۱/۱	۰/۶۳	۰/۶	۰/۹۵۷۵
Co	۰/۱۲۵	۲	۱/۳۷	۱/۱۲	۱	۱/۱۲	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۹۰۹
Ni	۰/۲۲۵	۰/۶	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۴	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳۷۰۴
Cd	۱۶/۶۶	۸۳/۳	۱۰۰	۶۶/۶	۸۳/۳	۵۰	۳۳/۳۳	۱۶/۶۶	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۱۶/۶۶	۵۰
Zn	۱۹/۹	۹۶	۶۸	۵۷/۰۶	۴/۳۲	۴۸/۷۶	۲۴/۳۶	۴۰	۵۸/۵	۵۷	۳۵/۳	۲۵/۲	۵۰/۴۱۲
Pb	۱/۸	۸/۲	۶/۸	۵/۹	۳/۹	۴/۳	۴/۷	۶/۶	۵/۵	۵/۱	۳/۶	۳/۲	۵/۲۵۴۵



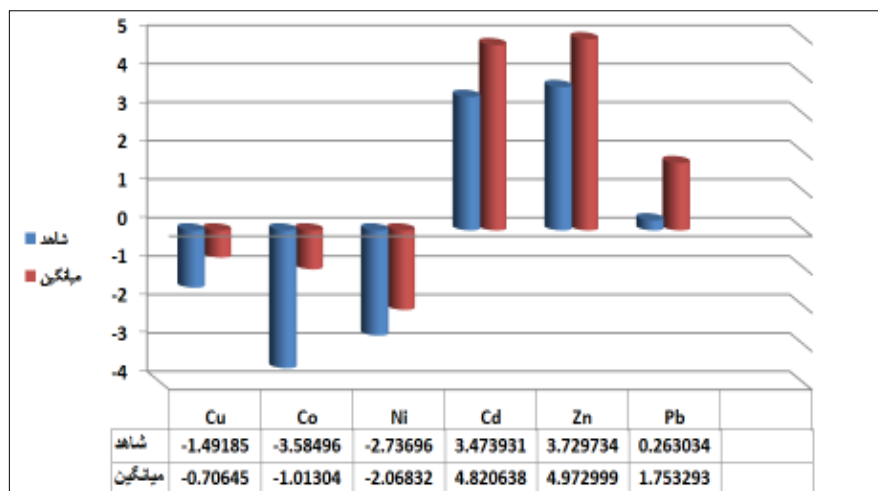
شکل ۶. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در نمونه شاهد و میانگین فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های پایین‌دست

خاک‌های پایین‌دست از آلاینده‌های انتشار یافته از محل دفن است. کاهش غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در خاک با افزایش فاصله از محل دفن نشان از تأثیر شیب‌رانه محل دفن بر آلوده‌شدن خاک‌های پایین‌دست دارد. خاک‌های پایین‌دست مستعد به آلودگی از محل دفن نسبت به عناصر روی، کادمیم و سرب غنی‌شدگی و انباشتگی بیشتری نشان می‌دهد. این عناصر در نمونه شاهد هم بالاتر است ولی در نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های پایین‌دست غلظت این عناصر کمتر است، لذا منشأ این فلزات در نمونه‌های پایین‌دست خاک هم زمین‌زاد و هم انسان‌زاد است. منشأ زمین‌زاد این عناصر از مجموعه سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی متنوع منطقه است که تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش قرار گرفته است.

با استفاده از رابطه (۲) شاخص زمین‌انباشتگی در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱۱). شکل ۷ نمودار میانگین شاخص زمین‌انباشتگی در نمونه‌های پایین‌دست و مقدار شاخص زمین‌انباشتگی در نمونه شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به طبقه‌بندی مولر، عناصر کادمیم و روی دارای آلودگی خیلی شدید، سرب دارای آلودگی خیلی کم و مس، کبالت و نیکل دارای شاخص زمین‌انباشتگی منفی است. با توجه به طبقه‌بندی مولر، خاک‌های منطقه از نظر وجود این عناصر غیرآلوده است. همان‌طور که در مقادیر زمین‌انباشتگی نمونه شاهد مشاهده می‌شود، مقادیر انباشتگی روی و کادمیم در نمونه شاهد هم بیشتر است، ولی نسبت به نمونه‌های پایین‌دست کمتر است. با افزایش فاصله از محل دفن میزان شاخص زمین‌انباشتگی کاهش می‌یابد که بیانگر تأثیر گرفتن

جدول ۱۱. مقادير شاخص زمين انباشتگى عناصر در خاکهاى منطقه مورد مطالعه

عناصر	نمونه شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	میانگین نمونه ۱۱
Cu	-۱/۴۹	۰/۰۳۲	-۰/۱	-۰/۷۹	-۱/۰۳۲	-۰/۹	-۰/۵۳	-۰/۶۸	-۰/۷۳	-۰/۴۴	-۱/۲۴	-۱/۳۲	-۰/۷۰۶
Co	-۳/۵۸	۰/۴۱۵	-۰/۱۲۶	-۰/۴۱۵	-۰/۵۸۵	-۰/۴۱۵	-۲/۵۸	-۰/۲۶	-۱/۵۸	-۱	-۲	-۲/۵۸	-۱/۰۱۳
Ni	-۲/۷۳	-۱/۳۲	-۱/۵۱	-۱/۸۱	-۲/۱	-۱/۹	-۲/۴۴	-۲/۲	-۲/۳۲	-۲/۵۸	-۲/۲	-۲/۳۲	-۲/۰۶۸
Cd	۳/۴۷	۵/۸	۶/۰۵	۵/۴۷	۵/۸	۵/۰۵۹	۴/۴۷	۳/۴۷	۴/۴۷	۴/۴۷	۴/۴۷	۳/۴۷	۴/۸۲
Zn	۳/۷۳	۶	۵/۵	۵/۲۴	۴/۴۳	۵/۰۲۳	۴/۶	۴/۷۳	۵/۲۸	۵/۲۴	۴/۵۵	۴/۰۷	۴/۹۷
Pb	۰/۲۶۳	۲/۴۵	۲/۱۸	۱/۹۷	۱/۳۷	۱/۵۱	۱/۶۴	۲/۱۳	۱/۸۷	۱/۷۶	۱/۲۶	۱/۰۹۳	۱/۷۵



شکل ۷. مقادير شاخص زمين انباشتگى در نمونه شاهد و میانگین شاخص زمين انباشتگى در نمونه‌هاى پايين دست

۴.۳. نتایج آنالیز نمونه‌های آب و ارزیابی آلودگی

منابع آب زیرزمینی در پایین دست محل دفن

موقعیت چاه‌ها و نتایج آنالیز پارامترهای عمومی و فلزات سنگین در جدول ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. شکل ۸ نتایج آنالیز پارامترهای عمومی و فلزات سنگین در دو فصل را در مقایسه با استاندارد تحقیقات ایران به صورت نمودار نمایش می‌دهد. مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده از ۰/۵۰۲ تا ۳/۸۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در فصل کم‌باران و ۰/۳۴۸ تا ۳/۶۵۵ دسی‌زیمنس بر متر در فصل پر باران متغیر است. میزان هدایت الکتریکی

منشأ انسان‌زاد این عناصر از پلاستیک‌های رنگی، باتری، لوازم پزشکی، لوازم الکترونیکی و لوازم آرایشی موجود در پسماند است. به‌علت آنکه بافت خاک‌های منطقه درشت‌دانه است، این امر سبب تمرکز و غنی‌شدگی کمتر فلزات سنگین می‌شود، زیرا این فلزات از لابه‌لای دانه‌های درشت به آسانی شستشو می‌شود و تمرکز و غنی‌شدگی کمتری پیدا می‌کند در صورتی‌که اگر خاک‌های منطقه از مواد ریزدانه و رسی تشکیل شده بود، فلزات سنگین با جذب به سوی ذرات رس تمرکز و غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌داد.

توجه به استانداردهای گفته شده برای اسیدیته، pH در تمامی نمونه‌ها در حد مطلوب است. اسیدیته نمونه‌ها در فصل کم‌باران و پرباران تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد. مقدار کل جامدات محلول در نمونه‌ها از ۳۱۳ تا ۱۷۵۴ در فصل کم‌باران و ۲۲۵ تا ۲۴۸۲ میلی‌گرم در لیتر در فصل پرباران تغییر می‌کند. این پارامتر در نمونه‌های پایین دست بیش از نمونه شاهد، همچنین بیش از حد استاندارد است. در چاه اول کل جامدات محلول بیش از سایر نمونه‌هاست. این چاه عمیق‌تر از چاه‌های دیگر است. افزایش کل جامدات محلول در این چاه بیانگر تماس بیشتر آب زیرزمینی با مواد تشکیل‌دهنده لایه آبدار است.

اندازه‌گیری شده در چاه شاهد پایین‌تر از حد استاندارد و در چاه‌های پایین دست بالاتر از حد استاندارد است. چاه شماره یک بیشترین هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد. این چاه عمیق‌تر از چاه‌های دیگر است و هدایت الکتریکی بالای آن ممکن است به دلیل انحلال بیشتر مواد در آب‌زیرزمینی در آن چاه عمیق باشد. هدایت الکتریکی در فصل کم‌باران و پرباران تفاوت زیادی ندارد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی در نمونه‌های پایین دست بالاتر از نمونه شاهد است، احتمال آلودگی چاه‌های پایین دست ناشی از نفوذ شیرابه پسماند وجود دارد.

مقدار pH در نمونه‌ها از ۷/۲۲ تا ۷/۷۷ در فصل کم‌باران و ۷/۲۶ تا ۷/۹۶ در فصل پرباران تغییر می‌کند. با

جدول ۱۲. نتایج آنالیز پارامترهای عمومی در چاه‌های نمونه برداری شده در دو فصل کم‌باران و پرباران

شماره نمونه	نمونه شاهد	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
	۴۸° ۱۳' ۱۰" E	۴۸° ۱۵' ۳۷" E	۴۸° ۱۵' ۲۷" E	۴۸° ۱۴' ۱۱" E	۴۸° ۱۲' ۱۸" E
	۳۸° ۲۸' ۶" N	۳۸° ۲۵' ۵۶" N	۳۸° ۲۴' ۵۳" N	۳۸° ۲۴' ۶" N	۳۸° ۲۴' ۲۹" N
عمق چاه (m)	۲۵	۶۰	۳۰	۳۹	۱۰
فاصله از محل دفن (km)	۲/۸۲	۳/۱۴	۴	۵	۴/۳۵
EC (dsm ⁻¹)	۰/۵۰۲	۳/۸۱۵	۲/۶۳۰	۱/۹۸۳	۱/۷۳۹
PH	۷/۶۲	۷/۷۷	۷/۲۹	۷/۲۲	۷/۳۶
TDS (mg/lit)	۳۱۳	۱۹۸۶	۱۷۵۴	۱۶۷۲	۱۱۰۸
BOD (mg/lit)	۶	۸	۹	۷	۷
COD (mg/lit)	۷	۸	۱۱	۱۰	۹
EC (dsm ⁻¹)	۰/۳۴۸	۳/۶۵۵	۲/۶۳۴	۱/۵۶۳	۲/۳۹۸
PH	۷/۹۶	۷/۶۴	۷/۲۶	۷/۴۱	۷/۴۸
TDS (mg/lit)	۲۲۵	۲۴۸۲	۱۹۶۳	۱۶۳۸	۱۵۴۱
BOD (mg/lit)	۲	۲	۳	۴	۲
COD (mg/lit)	۲	۳	۵	۲	۳

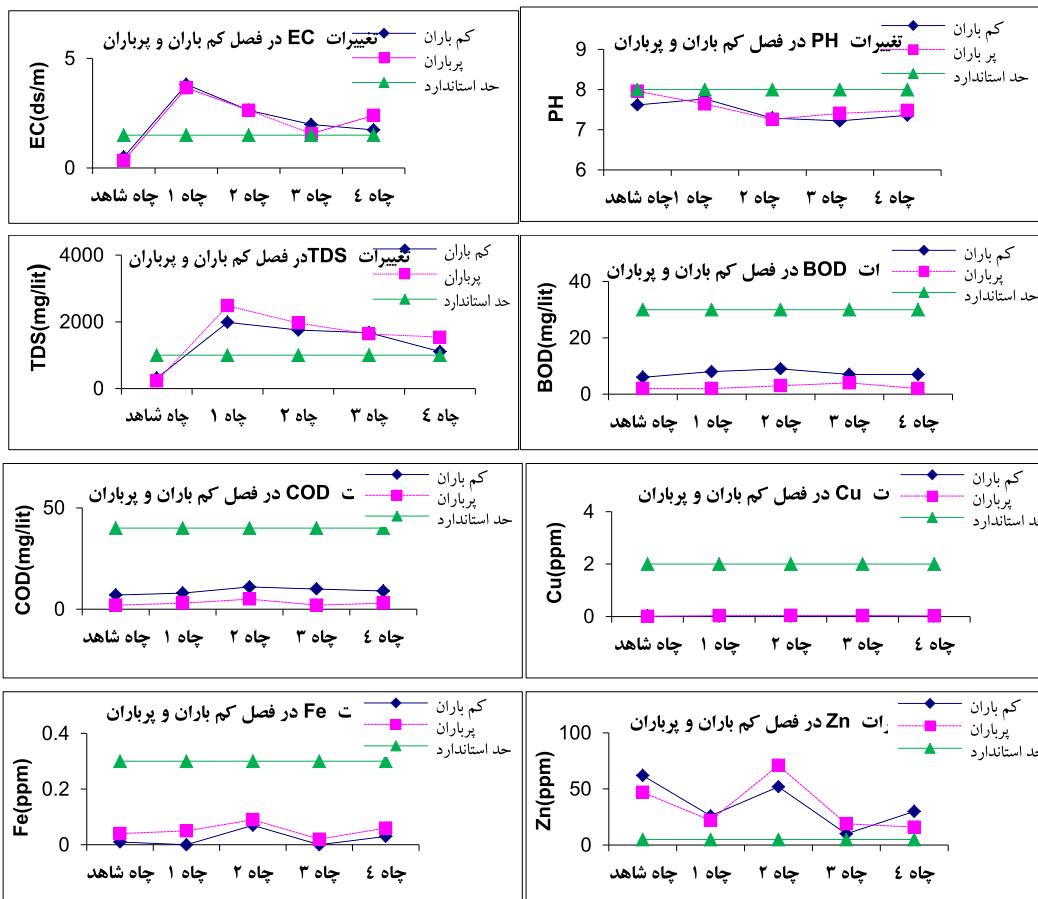
چاه

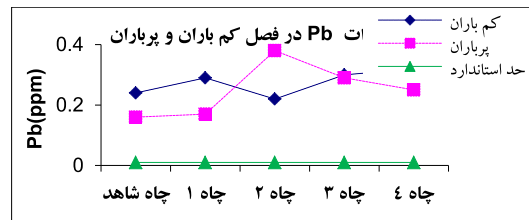
پرباران

جدول ۱۳. فلزات سنگين اندازه‌گيري شده در نمونه آب در دو فصل کم باران و پر باران بر حسب ppm

فصل کم باران								فصل
Pb	Zn	Cd	Ni	Co	Mn	Fe	Cu	پارامتر
۰/۲۴	۶۲	۰	۰	۰	۰/۳	۰/۰۱	۰/۰۰۸	نمونه شاهد
۰/۲۹	۲۶	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰/۰۱	نمونه ۱
۰/۲۲	۵۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۱	نمونه ۲
۰/۳	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	نمونه ۳
۰/۳۲	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	نمونه ۴

فصل پر باران								فصل
Pb	Zn	Cd	Ni	Co	Mn	Fe	Cu	پارامتر
۰/۱۶	۴۷	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۰۴	۰/۰۰۵	نمونه شاهد
۰/۱۷	۲۲	۰	۰	۰	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۳	نمونه ۱
۰/۳۸	۷۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۴	نمونه ۲
۰/۲۹	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	نمونه ۳
۰/۲۵	۱۶	۰	۰	۰	۰	۰/۰۶	۰/۰۲	نمونه ۴





شکل ۸. مقایسه نتایج آنالیز نمونه‌های آب با استاندارد تحقیقات ایران

در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد است. میزان آهن از 0 ppm تا 0.07 ppm در فصل کم باران و 0.02 ppm تا 0.09 ppm در فصل پر باران تغییر می‌کند. آهن در فصل کم باران در چاه اول و سوم دیده نشده است. مقدار آهن اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها در فصل پر باران بیش از فصل کم باران است.

تفاوت معناداری بین چاه شاهد و چاه‌های پایین دست وجود ندارد. مقدار روی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های چاه از 10 ppm تا 62 ppm در فصل کم باران و 16 ppm تا 71 ppm در فصل پر باران تغییر می‌کند. غلظت روی اندازه‌گیری شده در هر دو فصل در تمامی نمونه‌ها بیش از حد استاندارد است. غلظت روی در فصل پر باران در نمونه‌های شاهد، اول و چهارم کاهش و در نمونه سوم و دوم افزایش یافته است. با توجه به اینکه غلظت روی در نمونه شاهد هم بیش از حد استاندارد است و تفاوت معناداری بین غلظت روی در چاه شاهد با غلظت روی در چاه‌های پایین دست منطقه مبنی بر احتمال آلودگی ناشی از شیرابه وجود ندارد، بالابودن مقدار روی را می‌توان به شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محیط پیرامون منطقه دفن نسبت داد.

مقدار سرب در نمونه‌ها از 0.22 ppm تا 0.32 ppm در فصل کم باران و 0.16 ppm تا 0.38 ppm در فصل پر باران تغییر می‌کند. غلظت سرب در فصل پر باران در نمونه دوم افزایش و در نمونه شاهد، اول، سوم و چهارم کاهش یافته است. غلظت سرب در تمامی نمونه‌ها در هر دو فصل بیش از حد استاندارد است و تفاوت معناداری بین نمونه شاهد و نمونه‌های بالادست وجود ندارد تا بیانگر آلودگی ناشی

تغییرات قابل توجهی در کل جامدات محلول اندازه‌گیری شده در فصل کم باران و پر باران مشاهده نمی‌شود. با توجه به اینکه مقدار کل جامدات محلول در چاه شاهد در هر دو فصل کمتر از چاه‌های پایین دست است، احتمال آلودگی آب این چاه‌ها با شیرابه وجود دارد. میزان اکسیژن‌خواهی زیستی از ۶ تا ۹ در فصل کم باران و ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر در فصل پر باران تغییر می‌کند. مقدار اکسیژن‌خواهی زیستی اندازه‌گیری شده در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد است. در فصل کم باران مقدار اکسیژن‌خواهی زیستی بیش از فصل پر باران است. تفاوت معناداری بین اکسیژن‌خواهی زیستی اندازه‌گیری شده در چاه شاهد با چاه‌های پایین دست منطقه وجود ندارد. میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی از ۷ تا ۱۱ در فصل کم باران و ۲ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر در فصل پر باران تغییر می‌کند. مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی اندازه‌گیری شده در تمامی نمونه کمتر از حد استاندارد است و تفاوت معناداری بین چاه شاهد و چاه‌های پایین دست وجود ندارد. در فصل کم باران اکسیژن‌خواهی شیمیایی اندازه‌گیری شده در تمامی نمونه‌ها بیش از فصل پر باران است.

طبق استاندارد آب آشامیدنی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حد استاندارد مس در آب آشامیدنی 2 ppm است. مقدار مس اندازه‌گیری شده در چاه‌های نمونه برداری شده از 0.08 ppm تا 0.01 ppm در فصل کم باران و 0.05 ppm تا 0.02 ppm در فصل پر باران تغییر می‌کند. تفاوت ناچیزی در مس اندازه‌گیری شده در فصل کم باران و پر باران وجود دارد. در تمامی نمونه‌ها در هر دو فصل غلظت مس کمتر از حد استاندارد است. آهن

عناصر در نمونه‌های آب معرف آلودگی آب در چاه‌های نمونه‌برداری نیست. هر چند غلظت روی و سرب در نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد بود، با توجه به آنکه در نمونه‌ها شاهد هم بالاتر از حد استاندارد بود، نمی‌توان غلظت بالای روی و سرب را به آلودگی شیرابه نسبت داد، بلکه منشأ این عناصر ممکن است ناشی از خصوصیات زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه باشد.

خانلری و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تأثیر شیرابه‌های محل دفن زباله در همدان بر آب‌های زیرزمینی، به مقایسه نتایج آنالیز پارامترهای pH، EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و فلزات سنگین با استاندارد آب آشامیدنی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران پرداختند و نشان داد که تمامی نمونه‌های اخذ شده آلوده است. این مطالعه نشان داد که شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی محل دفن نقش مهمی در گسترش آلودگی دارد.

مر و همکاران (۱۳۹۱) آلودگی فلزات سنگین در خاک اطراف پسماندگاه‌های شهری در استان هرمزگان را بررسی کردند. نتایج آنالیز هشت فلز Cu, Cd, Hg, As, Cr, Pb, Ni و V در نمونه‌ها ارزیابی و با غلظت استاندارد خاک‌های جهان مقایسه شد. نتایج بیانگر غلظت بالای عناصر مس، سرب، کادمیم و کروم بود. در این مطالعه آلودگی مس، سرب و کادمیم نتیجه آلودگی از شیرابه و بالابودن کروم ناشی از کانه‌زایی فلز کروم در منطقه است.

کاظمی و حافظی مقدس (۱۳۸۸) در ارزیابی نقش آلاینده‌های محل دفن شاهرود در خاک و آب زیرزمینی و نتایج آنالیز نمونه‌های آب و خاک در این منطقه نشان دادند غلظت بالای عناصر سنگین در خاک‌های منطقه ممکن است ناشی از قرارگرفتن مدفن روی واریزه‌های درشت‌دانه و نفوذپذیری بالای این خاک‌ها باشد که باعث نفوذ مقادیر کمتری از عناصر سنگین به محیط خاک شده است. نتایج آنالیز آب نشانگر مقادیر بیش از حد مجاز بعضی عناصر بود، اما علت این امر مربوط به شرایط زمین‌شناسی منطقه است و ناشی از نفوذ شیرابه به آب‌های منطقه نبود.

از شیرابه باشد. همانند روی، مقدار بالای سرب را می‌توان به وضعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی موجود در منطقه نسبت داد.

عناصر کبالت، نیکل و کادمیم در هیچ کدام از نمونه‌ها دیده نشده است و منگنز فقط در نمونه شاهد و چاه شماره ۱ پایین‌تر از حد استاندارد معرفی شده استاندارد تحقیقات ایران دیده شده است. با بررسی نتایج آنالیز آب و خاک‌های منطقه می‌توان به این نتیجه رسید که مجموعه سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی موجود در منطقه نقش زیادی در آلودگی سرب و روی در خاک و آب‌های منطقه دارد.

۴. نتیجه‌گیری

روند تغییرات فلزات و پارامترهای عمومی اندازه‌گیری شده در شیرابه به ترتیب به صورت $Zn > Ni > Cd > Co > Fe$ و $Mn > Pb > Cu$ است. بررسی آزمون T-Test در داده‌های خاک بین نمونه شاهد با میانگین غلظت نمونه‌ها در پایین‌دست تفاوت معناداری نشان داد. این امر را می‌توان به آلودگی خاک‌های پایین‌دست از شیرابه زباله‌ها نسبت داد. مقایسه نتایج آنالیز نمونه‌ها با استاندارد خاک‌های ایران نشان داد غلظت تمامی عناصر به غیر از روی در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد است. محاسبه فاکتور غنی‌شدگی تمرکز بالای کادمیم، روی و سرب را نشان داد. میانگین غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های پایین‌دست بالاتر از نمونه شاهد بود. نتایج آنالیز آماری تفاوت معناداری بین نمونه‌های پایین‌دست با نمونه شاهد نشان داد که بیانگر تأثیر محل دفن بر آلودگی خاک‌های پایین‌دست است. محاسبه شاخص زمین‌انباشتگی بیانگر انباشتگی بالای کادمیم و روی است. میانگین شاخص خاک‌های زمین‌انباشت عناصر دارای تغییرات $Zn > Cd > Pb > Cu > Co > Ni$ است. میانگین شاخص زمین‌انباشتگی عناصر در نمونه‌های پایین‌دست بالاتر از نمونه شاهد است. مقدار این شاخص با افزایش فاصله از محل دفن کاهش می‌یابد. روند تغییر غلظت

طراحی نشده است و سیستمی مناسب برای کنترل شیرابه وجود ندارد، جریان شیرابه در سال‌های آتی باعث به وجود آوردن خطرات جدی خواهد شد. بنابر یافته‌های تحقیق و با توجه به مطالعه منطقه از جنبه زمین‌شیمی، زمین‌پزشکی و محیط‌زیست، پیشنهادهای زیر مطرح می‌شود:

۱. تعیین شاخص آلودگی شیرابه (LPI) در محل دفن فعلی که با اندازه‌گیری هیجده پارامتر صورت می‌گیرد، شامل Fe ، $\text{NH}_3\text{-N}$ ، TKN ، COD ، BOD ، TDS ، pH ، Cu ، Ni ، Zn ، Pb ، Cr ، Hg ، As ، Phenol ، Chlorides ، Cyanide و Total Coliform .

۲. آنالیز هوا برای تعیین میزان آلودگی هوا ناشی از انتشار گاز، مواد فرار و دوده‌های ناشی از سوختن زباله‌ها صورت پذیرد.

۳. با توجه به آنکه زمین‌های کشاورزی بدون هیچ حریمی در پایین محل دفن واقع شده است، ضروری است محصولات زراعی موجود در پایین دست محل دفن برای تعیین غلظت فلزات سرطان‌زا و سمی مانند کادمیم، جیوه، آرسنیک، سرب و کروم آنالیز شیمیایی شود.

۴. با توجه به آنکه پراکندگی چاه در محیط اطراف محل دفن کمتر و چاه‌های نمونه‌های آب در فواصل ۲ تا ۵ کیلومتری واقع شده بود، برای پایش آلودگی آب‌های زیرزمینی از شیرابه محل دفن، پیزومترهایی در مکان‌های مناسب نسبت به جریان شیرابه و نزدیک به محل دفن حفاری و با استفاده از ردیاب‌ها و برداشت نمونه آب در فصول پرباران و کم‌باران آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه به‌طور دقیق بررسی شود.

۵. روی و سرب هم در خاک و هم در آب‌های منطقه بالا بود. منطقه از دیدگاه زمین‌شیمی و پتروژئولوژی مطالعه شود تا منشأ زمین‌زاد این عناصر به‌طور دقیق بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق حاصل بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد است که در دانشگاه پیام نور مشهد انجام گرفته است.

رقیمی و همکاران (۱۳۸۳) در بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی پایین دست محل دفن پسماندهای شهری گرگان به این نتیجه رسیدند که غلظت اغلب کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب چاه‌های پایین دست محل دفن زباله بیش از حد استاندارد آب آشامیدنی است. همچنین، بسیار بیش از آب چاه‌های بالادست محل دفن است. نفوذ شیرابه زباله به آب‌های زیرزمینی این منطقه سبب آلودگی آب چاه‌های پایین دست محل دفن زباله شده است.

منوری و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی آلودگی خاک‌های منطقه دفن پسماندهای شهری اصفهان نشان دادند که در بیشتر نمونه‌های خاک غلظت عناصر As ، Co ، Cr ، Cu ، Mn ، Ni ، Pb و V بالاتر از حد استاندارد و نشان‌دهنده آلودگی خاک‌های منطقه دفن از شیرابه پسماندهاست.

بهرامی و ریسی (۱۳۹۴) در بررسی اثر محل دفن زباله در شهرستان داراب بر آلودگی آب‌های زیرزمینی نشان دادند غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها کمتر و غلظت آنتیموان و سلنیم بیش از حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا و سازمان بهداشت جهانی برای این عناصر بود. با توجه به روند تغییرات غلظت آنتیموان و سلنیم، منشأ این عناصر از شیرابه محل دفن نبود و منشأ زمین‌زاد داشت.

در این مطالعه با توجه به اینکه شیب مکان دفن زیاد و خاک‌های منطقه دارای بافت خیلی سبک و کم‌عمق است، شیرابه ممکن است به‌صورت جریان‌های سطحی و زیرسطحی در سطح وسیعی انتشار یابد و باعث آلودگی گسترده در خاک‌های منطقه شود. نتایج آزمون T-Test نشان از تأثیر محل دفن بر غلظت بالای عناصر در نمونه‌های پایین دست نسبت به نمونه شاهد داشت. محل دفن فعلی در ارتفاعات و مناطق سنگی قرار گرفته است و چاه‌های نمونه‌برداری شده در فاصله زیادی از محل دفن قرار داشت. لذا، آلودگی آن‌ها در اثر نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی غیرمتمثل است، ولی با توجه به اینکه محل دفن روی سنگ بستری به‌شدت درزه‌دار و شکسته قرار دارد و منطقه از خاک‌های خیلی کم‌عمق با بافت کم‌سبک پوشیده شده است و کف نفوذناپذیر قبل از بهره‌برداری از این مکان

منابع

- بهرامی، ص. ریسی، ع. ۱۳۹۴. اثر محل دفن زباله شهرستان داراب بر آلودگی آب‌های زیرزمینی. نشریه علوم زمین. ۹۵: ۱۵۱-۱۵۶.
- خانلری، غ. طالب بیدختی، ع. مؤمنی، ع. احمدی، ر. ۱۳۹۱. تأثیر شیرابه‌های محل دفن زباله همدان بر آب‌های زیرزمینی. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران. ج ۵، ۳ و ۴: ۸۱-۹۲.
- رقیمی، م. شاه‌پسندزاده، م. سیدخادمی، م. ۱۳۸۳. بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مجاورت محل دفن مواد زاید جامد شهر گرگان. مجله محیط‌شناسی. ۳۵: ۷۷-۸۴.
- شوکت یار، آ. میرزایی، م. قدیمی، ف. مرادی، ر. ۱۳۹۱. مطالعه شکستگی‌ها در محل دفن زباله‌های شهری اراک با روش مقاومت ویژه. سی و یکمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- کاظمی، م. حافظی مقدس، ن. ۱۳۸۸. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مکان دفن پسماندهای جامد شهری در شهرستان شاهرود. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- مر، ف. رضانی، ط. راست‌منش، ف. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک اطراف پسماندگاه‌های شهری در استان هرمزگان. اولین همایش بین‌المللی و ششمین همایش ملی مدیریت پسماند، ۲ و ۳ اردیبهشت، مشهد مقدس.
- منوری، م. سلیمی، س. لاهیجان‌زاده، ا. کعبی، ه. پسنده، ن. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی خاک محل دفن پسماند شهر اصفهان با استفاده از آنالیز خوشه‌ای. اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی و راهکارهای بهبود آن، جزیره کیش: ۳۰۱۱-۳۰۱۹.
- Bhuiyana, M.A.H. Parvez, L. Islam, M.A. Dampare, S.B. Suzukia, S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine – affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*. 173: 384-392.
- David, N.O. Benjamin, L.K. Patrick, O.Y. 2009. Some physico-chemical and heavy metal levels in soils of waste dumpsites in port Harcourt Municipality and Environs. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 13(4): 65-70.
- Haifeng Z. Yaping, C. 2008. Study on the Evaluation Method of Groundwater Vulnerability to Pollution from Informal Landfills in Regional Scale, National Basic Research Program. *Project of the Ministry of Science and Technology of China*. 2005CB724202, 3503-3506.
- Kontos, T.D. Komilis, D.P. Halvadakis, C.P. 2005. Sitting MSW landfill with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*. 25: 818-832.
- Lee, C.S. Li, X. Shi, W. 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment*. 3: 45-61.
- Mohobane, T. 2008. The characteristics and impacts of landfill leachate from Horotin, New Zealand and Maseru Lesotho a comparative study. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Environmental Science, The University of Waikato, p. 201.
- Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, *Geojournal*, 2: 108-118.
- Prechthai, T. 2008. Evaluation of Rehabilitation and Mining Potential of a Municipal Solid Waste Dumpsite, Thesis Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Engineering and Management, Mahidol University of Thailand, p. 153.
- Zhihao, W.U. Mengchang, H. Chunye, L. 2011. Distribution and speciation of four heavy metal (Cd, Cr, Mn, and Ni) in the surficial sediment from estuary in Daliao River and yingkou bay. *Environmental Earth Science*. 63: 163-170.