



شکل های شیمیایی روی، سرب و کادمیم در یک خاک آلوده بعد از استخراج پیمانهای و ستونی با EDTA

زینب احمدیان^۱، شاهین اوستان^۲، عادل ریحانی تبار^۲، صابر حیدری^۳
۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ۳-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

چکیده

مطالعه حذف فلزات سنگین از خاک به دو روش پیمانهای و ستونی امکان پذیر است. در تحقیق حاضر شکل های شیمیایی روی، سرب و کادمیم در یک خاک آلوده اطراف کارخانه سرب و روی زنجان قبل و بعد از استخراج پیمانهای و ستونی با EDTA به روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) تعیین شدند. نتایج نشان داد که در هر دو روش پیمانهای و ستونی حذف فلزات روی، سرب و کادمیم به ترتیب از شکل های کربناتی، اکسیدی و تبادل پذیر صورت گرفت. شکل غالب روی و سرب (به ترتیب اکسیدی و کربناتی) بعد از استخراج نیز برای هر دو روش یکسان بود. با این حال، شکل غالب کادمیم بعد از استخراج برای دو روش متفاوت بود. همچنین، کارایی حذف فلزات سنگین به دو روش پیمانهای و ستونی تقریباً یکسان بود. واژه های کلیدی: فلزات سنگین، استخراج پیمانهای و ستونی.

مقدمه

استخراج فلزات سنگین خاک به دو روش آزمایشگاهی پیمانهای و ستونی^{۱۱۶} امکان پذیر است. روش استخراج ستونی به عنوان روشی سازگار با سینتیک رهاسازی- انحلال فلزات سنگین در شرایط طبیعی خاک شناخته شده است (کدزیورک و همکاران، ۱۹۹۸). با این حال، بیشتر مطالعات استخراج فلزات سنگین از خاک به دلیل سادگی اجرا، با روش استخراج پیمانهای انجام یافته و روش استخراج ستونی به دلیل مشکلات اجرایی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است (تسانگ و همکاران، ۲۰۱۲). سان و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کرده اند که در روش پیمانهای، غلظت زیاد و حجم کمی از محلول استخراج کننده به یک باره به خاک افزوده می شود لذا، برخلاف روش ستونی، همه فلزات سنگین با کارایی یکسانی استخراج می شوند. یکی از مشکلات اجرایی روش ستونی و استخراج کننده های اسیدی در خاک های آهکی، تولید گاز دی اکسید کربن و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک است (هیل و همکاران، ۱۹۹۹ و کدزیورک و بورگ، ۲۰۰۰). EDTA متداول ترین کمپلکس کننده ای است که برای متحرک کردن فلزات سنگین از آن استفاده می شود. این ترکیب کمپلکس های پایداری را با دامنه وسیعی از فلزات تشکیل می دهد. همچنین، این کمپلکس کننده قابل بازیافت از خاک می باشد. EDTA دارای معایبی نیز مانند گرانی، عملکرد غیر انتخابی، تجزیه ناپذیری و نهایتاً وابستگی شدید کارایی استخراج به منشاء آلودگی و توزیع فلز در بین شکل های آن در خاک، است (بورنا و همکاران، ۲۰۰۱). گزارش شده است که کارایی EDTA در استخراج فلزات سنگین موجود در شکل های تبادل پذیر، کربناتی و آلی زیاد و در مورد فلزات متصل به شکل اکسیدی کم است (درمونت و همکاران، ۲۰۰۸). مقدار کل فلز سنگین در خاک اطلاعات اندکی را در مورد تحرک و زیست فراهمی آن ارائه می دهد. این ویژگی ها تا حد زیادی به شکل های فیزیکی و شیمیایی فلز وابسته هستند (سیپوس، ۲۰۰۹). روش های استخراج دنباله ای^{۱۱۷} از معمول ترین روش های جداسازی شکل های شیمیایی عناصر می باشند. این روش ها، اطلاعات مفیدی را در مورد وضعیت و توزیع شکل های مختلف فلزات در خاک به دست می دهند (تسیر و کمپبل، ۱۹۹۱). روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) بدواً در دو نمونه از رسوبات بستر رودخانه آزمون شده و سپس به طور گسترده ای در کلیه رسوبات، لجن، کمپوست (فتوت و حلاج نیا، ۲۰۱۳) و خاک های آلوده به فلزات مورد استفاده قرار گرفت (گوویل، ۲۰۰۲). در این تحقیق سعی شده است توزیع شکل های شیمیایی روی، سرب و کادمیم و تحرک آن ها در یک خاک آلوده قبل و بعد از استخراج پیمانهای و ستونی با EDTA مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

یک نمونه خاک آلوده به فلزات سنگین از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک اطراف کارخانه سرب و روی واقع در ۱۲ کیلومتری جنوب شرقی شهر زنجان تهیه گردید. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی متری برای انجام آزمایش ها نگهداری شد. غلظت کل Zn، Cd و Pb در خاک با استفاده از روش آکوار جیا^{۱۱۸} (چن و ما، ۲۰۰۱) تعیین شد. با توجه به مجموع غلظت کل این سه فلز در خاک، مقدار EDTA لازم برای استخراج این فلزات در هر دو روش پیمانهای و ستونی یکسان برابر ۱۰۰ میلی مولر کیلوگرم مخاک خشک تعیین گردید. به منظور استخراج ستونی از ستون ۵۰۰ میلی لیتری به قطر داخلی ۵/۵ و طول ۳۰ سانتی متر استفاده شد. این ستون با ۵۷۰ گرم خاک هوا خشک (بر مبنای جرم خاک خشک) عبور کرده از الک ۲ میلی متری (به ارتفاع ۲۱ سانتی متر) پر شده و سپس از پایین با محلول نیترات کلسیم ۱/۰ مولار اشباع گردید. استخراج Zn، Cd و Pb به روش

^{۱۱۶}- Batch and column extractions

^{۱۱۷}- Sequential extractions

^{۱۱۸}- Aqua regia

چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

پالسی با اضافه کردن ۲۸۵ میلی لیتر محلول ۲/۰ مولار EDTA که pH آن به منظور ممانعت از انحلال کربنات‌های خاک و استمرار جریان در ۸ تنظیم شده بود و سپس آبشویی ستون خاک با محلول نیترات کلسیم ۰۱/۰ مولار با شدت جریان ۵/۰ K_s انجام گرفت. برای استخراج پیمانان ای، مقدار ۵/۲ گرم خاک هوا خشک (بر مبنای جرم خاک خشک) در لوله‌های ۵۰ میلی لیتری ریخته شد و به آن ۲۵ میلی لیتر محلول ۰۱/۰ مولار EDTA در محلول زمینه نیترات کلسیم ۰۱/۰ مولار با تنظیم pH در ۸ اضافه گردید. سپس به مدت یک ساعت (زمان تعادل تعیین شده در آزمایشات مقدماتی) در ۱۲۰ رفت و برگشت در دقیقه تکان داده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. غلظت‌های Cd و Zn، Pb استخراج شده با دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل ۶۳۰۰ اندازه گیری شد. تعیین شکل‌های شیمیایی Cd و Zn، Pb در نمونه‌های خاک، قبل و بعد از شستشوی آن‌ها به دو روش پیمانان‌ای و ستونی توسط EDTA، با استفاده از روش استخراج دنباله‌ای تسیر و همکاران (۱۹۷۹) (جدول ۱) انجام شد. در روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) شکل باقی مانده به جای مخلوط HF-HClO₄ توسط آکوارجیا استخراج گردید (فرنٹیو و همکاران، ۲۰۰۸). سپس، غلظت‌های Cd و Zn، Pb در محلول‌های حاصل از هر مرحله استخراج اندازه گیری گردید و توزیع شکل فلز سنگین^{۱۱} (D) بر حسب درصد با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد (لی و همکاران، ۲۰۰۸). در روش ستونی تعیین شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در دو قسمت، سطحی (cmV-۰) و عمقی (cm ۲۱-۱۴) انجام شد. با توجه به مشابهت توزیع شکل‌های شیمیایی مختلف فلزات (Cd و Zn، Pb) در دو عمق، از میانگین دو غلظت برای هر یک از شکل‌های شیمیایی استفاده شد.

$$D = \frac{C_F}{C_S} \times 100 \quad (1)$$

که در آن: C_F : غلظت هر یک از شکل‌های فلز سنگین (mg kg⁻¹) و C_S : مجموع غلظت شکل‌های فلز سنگین (mg kg⁻¹) است. کارایی حذف فلز سنگین^{۱۲} (R) بر مبنای جمع شکل‌هایی شیمیایی فلز تعیین گردید. بدین منظور، از رابطه ۲ استفاده شد (فینزگار، ۲۰۱۴):

$$R = \frac{(F1+F2+F3+F4+F5) - (F1+F2+F3+F4+F5)}{(F1+F2+F3+F4+F5)} \times 100 \quad (2)$$

F۱: شکل تبادلی، F۲: شکل کربناتی، F۳: شکل اکسیدهای آهن و منگنز، F۴: شکل آلی، F۵: شکل باقی مانده.

جدول ۱- روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹)

میلی لیتر استخراج کننده به ازای گرم خاک	استخراج کننده	مدت تکان دادن (ساعت)	شکل شیمیایی
۸	۱ مولار MgCl ₂ در pH=۷	۱	تبادلی
۸	استات سدیم ۱ مولار در pH=۵	۵	کربناتی
۲۰	هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۰۴/۰ مولار در اسید استیک (v/v) (۲۵%)	۶	اکسیدی (پیوند یافته به اکسیدهای آهن و منگنز)
۳+۳+۵	HNO ₃ ۰۲/۰ مولار + H ₂ O ₂ ۳۰% + استات آمونیوم ۲/۳ مولار در اسید نیتریک (۲۰% v/v)	۵/۵	آلی
۲۴	آکوارجیا (HCl+HNO ₃) ۳:۱	۳	باقی مانده

تحلیل آماری داده‌ها: تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم گردید. کلیه‌ی آزمایش‌ها در دو تکرار انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های عمومی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. این خاک نسبتاً ریزبافت و آهکی بوده و مقدار ماده‌ی آلی آن نیز قابل ملاحظه است. مقدار کل فلزات Cd و Zn، Pb در خاک به ترتیب ۳۴۷۸، ۳۹۸ و ۱۰۱/۵ mg kg⁻¹ اندازه گیری شد.

^{۱۱} Form distribution of heavy metal

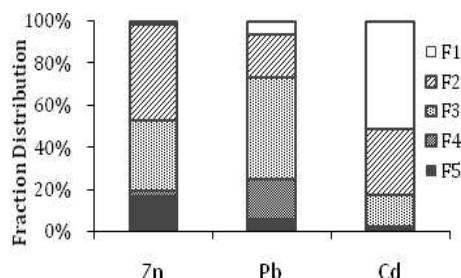
^{۱۲} Removal efficiency of heavy metal

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های نمونه خاک مورد مطالعه

CEC cmol.kg ⁻¹	CCE (%)	OC (%)	درصد رس	کلاس بافت	EC عصاره اشباع dS m ⁻¹	pH عصاره اشباع
۲۲	۱/۱۱	۲	۳۰	SCL	۱/۲	۸

شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین خاک‌ها قبل از استخراج با EDTA

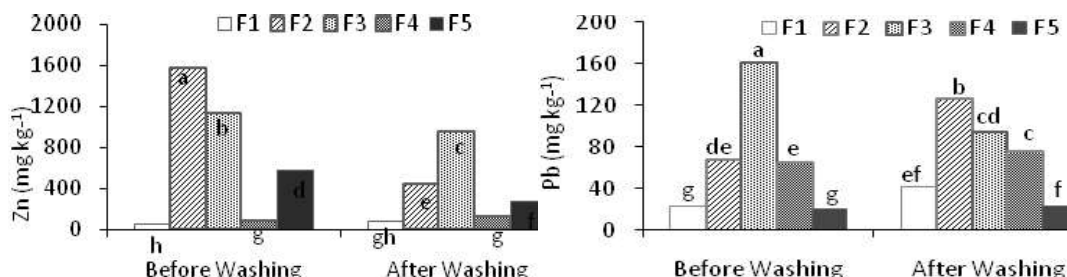
توزیع شکل‌های شیمیایی مختلف فلزات در شکل ۱ ارائه شده است. بیشترین غلظت Zn، Pb و Cd به ترتیب در شکل‌های کربناتی (۷/۱۵۷۵ mg kg⁻¹ به میزان ۴۶ درصد، اکسیدی (۱۶۱ mg kg⁻¹ به میزان ۴۸ درصد و تبادل (۸/۵۰ mg kg⁻¹ به میزان ۵۱ درصد) اندازه‌گیری شد. جلالی و خانلری (۲۰۰۶) در خاک‌های آهکی همدان شکل‌های باقی‌مانده و آلی را برای روی و سرب و شکل کربناتی را برای کادمیم به عنوان شکل‌های غالب معرفی کردند. سان و همکاران (۲۰۰۱) با تعیین شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین به روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) در خاک‌های جزئی آهکی که به طور ژئوتکنیک آلوده بودند، گزارش کردند که روی عمدتاً در شکل باقی‌مانده و اکسیدی و سرب و کادمیم عمدتاً در شکل‌های کربناتی و اکسیدی حضور داشتند. لی و همکاران (۲۰۰۸) نیز با استفاده از این روش در خاک‌های اسیدی آلوده (محوطه معدن سرب و روی) گزارش کردند که Zn، Pb و Cd عمدتاً در شکل باقی‌مانده حضور داشتند.



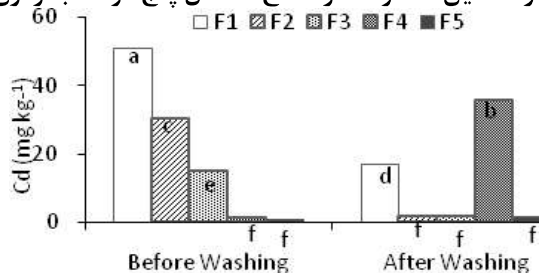
شکل ۱- توزیع شکل‌های شیمیایی مختلف روی، سرب و کادمیم (به روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) قبل از استخراج پیمانته ای با باقی‌مانده: F۵، آلی: F۴، اکسیدها: F۳، کربناتی: F۲، تبدالی: F۱. خاک مورد مطالعه

شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین خاک بعد از استخراج پیمانته‌ای با EDTA

مقایسه میانگین‌های غلظت سه فلز روی، سرب و کادمیم برای اثر متقابل شستشو و شکل شیمیایی فلز قبل و بعد از استخراج پیمانته‌ای با EDTA در خاک مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. حذف روی عمدتاً از شکل کربناتی صورت گرفت. همچنین، غلظت روی در شکل‌های اکسیدی و باقی‌مانده بعد از استخراج کاهش یافت. غلظت روی در شکل‌های تبدالی و آلی بعد از استخراج تغییر معنی‌داری نکرد. شکل اکسیدی روی بعد از استخراج غالب بود. حذف سرب عمدتاً از شکل اکسیدی صورت گرفت. با این حال، غلظت سرب در سایر شکل‌ها افزایش یافت. به نظر می‌رسد که سرب حذف شده از شکل اکسیدی در این شکل‌ها به ویژه شکل کربناتی توزیع مجدد شده باشد. شکل کربناتی سرب بعد از استخراج غالب بود. حذف کادمیم عمدتاً از شکل تبدالی صورت گرفت. همچنین، شکل‌های کربناتی و اکسیدی کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. در مقابل شکل باقی‌مانده بعد از استخراج تغییر معنی‌داری نکرد. شکل آلی کادمیم بعد از استخراج غالب بود. این احتمال وجود دارد که کادمیم کمپلکس شده با EDTA در خاک ابقاء شده و در روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) به شکل آلی ظاهر شده باشد. دی‌پالما و مکوزی (۲۰۰۷) گزارش کردند که حذف روی با EDTA بیشتر از شکل‌های اکسیدی و آلی صورت گرفت و شکل باقی‌مانده تقریباً تغییری نکرد. در مقابل، شکل تبدالی از ناچیز به حدود ۱۰ درصد افزایش یافت. یانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز حذف سرب و کادمیم با EDTA را عمدتاً از شکل‌های اکسیدی و کربناتی مشاهده کردند. در مقابل، وانا و همکاران (۲۰۱۰) در خاکی که به طور مصنوعی به فلزات سنگین آلوده شده و سپس با EDTA شستشو شده بود، شکل باقی‌مانده را به عنوان شکل غالب معرفی کردند.



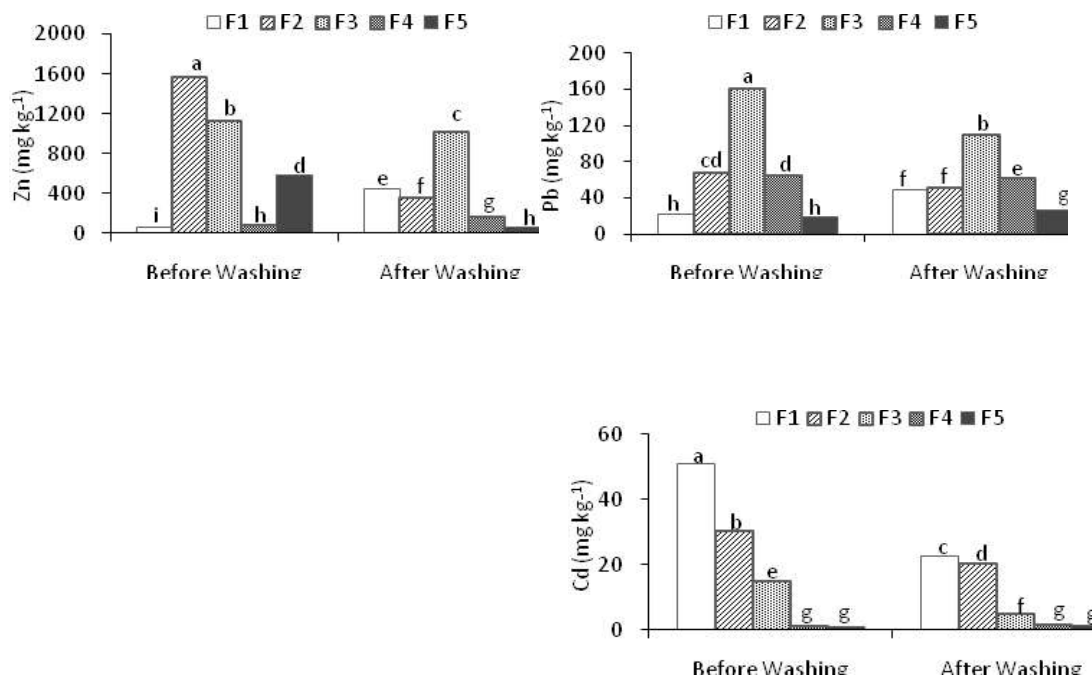
شکل ۲- اثر متقابل شستشو و شکل شیمیایی فلز (به روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) بر غلظت سه فلز روی، سرب و کادمیم قبل باقی مانده: F۵، آلی، F۴، اکسیدها، F۳، کربناتی، F۲، تبادلی: F۱ در خاک مورد مطالعه EDTA و بعد از استخراج پیمانه‌ای با میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین خاک بعد از استخراج ستونی با EDTA

مقایسه میانگین‌های غلظت سه فلز روی، سرب و کادمیم برای اثر متقابل شستشو و شکل شیمیایی فلز قبل و بعد از استخراج ستونی در شکل ۳ ارائه شده است. حذف روی عمدتاً از شکل‌های کربناتی صورت گرفت. همچنین، شکل باقی مانده روی بعد از استخراج کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان داد. شکل اکسیدی روی نیز قدری کاهش یافت. در مقابل، شکل‌های آلی و به ویژه تبادلی بعد از استخراج افزایش یافتند. شکل اکسیدی روی بعد از استخراج غالب بود. حذف سرب عمدتاً از شکل اکسیدی صورت گرفت. شکل‌های آلی و کربناتی نیز بعد از استخراج قدری کاهش یافتند. در مقابل، غلظت سرب در شکل‌های تبادلی و باقی مانده افزایش یافت. شکل کربناتی سرب بعد از استخراج غالب بود. پانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که حذف سرب عمدتاً از شکل‌های اکسیدی و کربناتی صورت گرفت. حذف کادمیم عمدتاً از شکل تبادلی صورت گرفت. همچنین، شکل‌های کربناتی و اکسیدی نیز کاهش یافتند. با این حال، شکل‌های آلی و باقی مانده بعد از استخراج تغییر معنی‌داری را نشان ندادند. شکل‌های تبادلی و کربناتی کادمیم بعد از استخراج غالب بودند.

در هر دو روش پیمانه‌ای و ستونی حذف فلزات روی، سرب و کادمیم به ترتیب از شکل‌های کربناتی، اکسیدی و تبادلی صورت گرفت. شکل غالب روی و سرب (به ترتیب اکسیدی و کربناتی) بعد از استخراج نیز برای هر دو روش یکسان بودند. با این حال، شکل غالب کادمیم برای هر دو روش متفاوت بود که حاکی از احتیاط در تفسیر نتایج آزمایشات پیمانه‌ای برای کادمیم است.



شکل ۳- اثر متقابل شستشو و شکل شیمیایی فلز (به روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) بر غلظت سه فلز روی، سرب و کادمیم قبل و بعد از باقی مانده. میانگین‌های دارای حداقل: F۵: آلی، F۴: اکسیدها، F۳: کربناتی، F۲: تبادل، F۱: در خاک مورد مطالعه EDTA استخراج ستونی با یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

کارایی حذف (R) فلزات سنگین: کارایی حذف روی، سرب و کادمیم در خاک مورد مطالعه برای هر دو روش پیمانه‌ای و ستونی تعیین شد. نتایج نشان داد کارایی حذف فلزات روی، سرب و کادمیم برای روش پیمانه‌ای به ترتیب ۴/۴۵، ۳/۸ و ۴/۴۱ درصد و برای روش ستونی به ترتیب ۱/۴۰، ۱۱ و ۵/۴۷ درصد به دست آمد. به نظر می‌رسد که یکپارچه‌سازی عدم مشاهده تفاوت‌ها در مقابل ملاحظاتی در روش‌های پیمانه‌ای (سیستم بسته) و ستونی (سیستم باز) در این مطالعه، عدم محدودیت غلظت EDTA افزودن شده برای حذف فلزات سنگین خاک بود.

منابع

- Baorna A., Aranguiz I. and Elias A. ۲۰۰۱. Metal associations in soils before and after EDTA extractive decontamination: Implications for the effectiveness of further cleanup procedures. *Environmental Pollution*, ۱۱۳: ۷۹-۸۵.
- Chen M., Ma L.Q., ۲۰۰۱. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, ۶۵: ۴۹۱-۴۹۹.
- Dermont G., Bergeron M., Mercier G., and Richer-Lafleche M. ۲۰۰۸. Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications. *Journal of Hazardous Materials*, ۱۵۲: ۱-۳۱.
- Dipalma L., and Mecozzi R. ۲۰۰۷. Heavy metals mobilization from harbor sediments using EDTA and citric acid chelating agents. *J. Hazard. Mater.*, ۱۴۷: ۷۶۸-۷۷۵.



چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

- Finzgar N., Jez, E., Voglar D., and Lestan D. ۲۰۱۴. Spatial distribution of metal contamination before and after remediation in the Meza Valley, Slovenia. *Geoderma*, ۲۱۷-۲۱۸: ۱۳۵-۱۴۳.
- Fotovat A., and Halajnia A. ۲۰۱۳. The effect of compost and sewage sludge applications on the distribution of cadmium, lead and nickel in two calcareous soils. *J. Soil Management and Sustainable Production*, ۳: ۱۱۵-۱۳۱.
- Frentiu T., Ponta M., Levei E., Gheorghiu E., Kasler I., Cordos E. A. ۲۰۰۸. Validation of the Tessier scheme for speciation of metals in soil using the Bland and Altman test. *Chemical Papers*, ۶۲: ۱۱۴-۱۲۲.
- Heil D.M., Samani Z., Hanson A.T. and Rudd B. ۱۹۹۹. Remediation of lead contaminated soil by EDTA. I. Batch and column studies. *Water Air Soil Pollut.* ۱۱۳: ۷۷-۹۵.
- Jalali M., Khanlari Z.V. ۲۰۰۶. Mobility and distribution of zinc, cadmium and lead in calcareous soils receiving spiked sewage sludge. *Soil and Sediment Contamination*, ۱۵: ۶۰۳-۶۲۰.
- Kedziorek M. A.M. and Bourg A.C.M. ۲۰۰۰. Solubilization of lead and cadmium during the percolation of EDTA through a soil polluted by smelting activities. *J. Contamin. Hydrol.* ۴۰: ۳۸۱-۳۹۲.
- Kedziorek M.A.M., Dupuy A., Bourg A.C.M., and Compe're F. ۱۹۹۸. Leaching of Cd and Pb from a polluted soil during the percolation of EDTA: laboratory column modeled with a non-equilibrium solubilization step. *Environ. Sci. Technol.*, ۳۲: ۱۶۰۹-۱۶۱۴.
- Lei M., Liao B., Zeng Q., Qin P., and Khan S. ۲۰۰۸. Fraction distributions of lead, cadmium, copper and zinc in metal contaminated soil before and after extraction with disodium ethylenediaminetetraacetic acid. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, ۳۹: ۱۹۶۳-۱۹۷۸.
- Quevauviller Ph. ۲۰۰۲. Methodologies for Soil and Sediment Fractionation Studies. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Sipos P. ۲۰۰۹. Distribution and sorption of potentially toxic metals in four forest soils from Hungary. *Central Eur J., Geosci* ۱: ۱۸۳-۱۹۲.
- Sun B., Zhao F.J., Lombi E., and McGrath S.P. ۲۰۰۱. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environ. Pollut.*, ۱۱۳: ۱۱۱-۱۲۰.
- Tessier A., Campbell P.G.C., and Bisson M. ۱۹۷۹. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Anal. Chem.*, ۵۱: ۸۴۴-۸۵۱.
- Tessier A., and Campbell P.G.C., ۱۹۹۱. Pitfalls of sequential extractions - comment. *Water Res.* ۲۵: ۱۱۵-۱۱۷.
- Tsang D. C. W., Lo I. M. C., Surampalli R. Y. ۲۰۱۲. Chelating Agents for Land Decontamination Technologies. Published by American Society of Civil Engineers. Virginia, USA.
- Wuana R.A., Okiemen F.E., and Imborvungu. J. A. ۲۰۱۰. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, ۷: ۴۸۵-۴۹۶.
- Yang Z., Zhang, Sh., Liao Y., Li Q., Wu B., and Wu B. ۲۰۱۲. Remediation of heavy metal contamination in calcareous soil by washing with reagents: A column washing. *Procedia. Environ. Sci.*, ۱۶: ۷۷۸-۷۸۵.

Abstract

Removal of heavy metals from soils could be investigated using both batch and column experiments. In the present research, the chemical forms of Zn, Pb and Cd in a contaminated soil from the zinc-lead smelting plant area in Zanjan were determined using the method of Tessier et al. (۱۹۷۹) before and after batch and column extraction by EDTA. The results showed that Zn, Pb and Cd were removed respectively from carbonate, oxide and exchangeable forms in both batch and column experiments. The dominant forms of Zn and Pb (oxide and carbonate, respectively) after extraction were the same for both experiments. However, the dominant form of Cd after extraction was different for two methods. Moreover, both extraction methods exhibited approximately the same removal efficiency of heavy metals.