

تأثیر مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی بر توزیع عناصر سرب، روی، مس و نیکل در خاک‌های درجای پهنه بینالود، غرب مشهد

اکبر حسنی نکو^۱، علیرضا کریمی^{۱*}، غلامحسین حق‌نیا^۱ و محمدحسین محمودی قرایی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۴)

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی بر توزیع عناصر سرب، روی، مس و نیکل در خاک‌های درجای تشکیل‌شده در پهنه بینالود، واقع در غرب مشهد، بود. بدین منظور، دو خاک‌رخ در موقعیت قله شیب هر یک از سنگ‌های گرانیتی، آذرین فوق‌بازی و دگرگونی حفر و از افق‌های ژنتیکی آنها نمونه‌برداری شد. مقدار شبه‌کل عناصر سنگین با استفاده از تیزاب سلطانی و اجزای مختلف عناصر سنگین به روش عصاره‌گیری متوالی تعیین گردیدند. مقدار ۴۱۹/۷-۱۷۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل در خاک‌رخ فوق‌بازی در برابر ۲۷/۵-۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌رخ گرانیتی، باعث وضعیت ویژه‌ای برای نیکل در خاک‌های مورد مطالعه شده است. مس در خاک‌رخ‌های فوق‌بازی و دگرگونی به ترتیب با مقدار متوسط ۶۰ و ۵۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به خاک‌رخ گرانیتی با مقدار ۱۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، تفاوت قابل توجهی دارد. مقدار روی در خاک‌رخ گرانیتی با مقدار متوسط ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اندکی از خاک‌رخ‌های دیگر بیشتر است. سرب فقط در لایه‌های سطحی قابل تشخیص بود و مقدار آن حداکثر به ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. بخش باقیمانده، به جز عناصر نیکل و مس در خاک‌رخ گرانیتی، بخش اصلی عناصر سنگین را تشکیل می‌دهد که با توجه به هوادیدگی کم خاک‌ها دور از انتظار نیست. غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در افق‌های سطحی تحت تأثیر ورود گچ و آهک به صورت مواد بادرفتی نیز قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، مقدار عناصر سنگین مورد مطالعه به شدت تحت تأثیر مواد مادری هستند و از نظر اهمیت، رسوبات بادرفتی در درجه دوم اهمیت قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: مواد مادری، عناصر سنگین، خاک درجا، عصاره‌گیری متوالی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: karimi-a@um.ac.ir

مقدمه

عناصر سنگین، عناصری هستند که وزن اتمی آنها بین ۶۳/۵ تا ۲۰۰/۶ گرم و جرم مخصوص آنها بزرگتر از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد (۶). این عناصر می توانند از مواد مادری خاک، کودهای تجاری، مواد آهکی، آب آبیاری، بقایای احتراق زغال سنگ، صنایع ذوب فلز و غیره به خاک اضافه شوند (۲۶). فلزات سنگین به صورت طبیعی و در اثر فعالیت های انسان، وارد محیط زیست می شوند و میزان ورود این فلزات به محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی خارج می شوند. بنابراین، تجمع این فلزات در خاک ها و تأثیر آنها بر محیط زیست قابل ملاحظه است. در برخی موارد، مواد مادری خاک ها به دلیل دارا بودن کانی های حاوی عناصر سنگین می توانند باعث تشکیل خاک هایی با غلظت بالایی از این عناصر شوند.

کانی های مختلف موجود در خاک که از مواد مادری گوناگونی منشا می گیرند، دارای غلظت های متفاوتی از عناصر سنگین هستند که هوادیدگی این کانی ها در خاک باعث تشکیل خاک های متفاوتی از نظر غلظت های عناصر سنگین می شود. بنابراین، مقدار و توزیع عناصر اصلی و سنگین در خاک های درجای آلوده نشده توسط بشر، از یک سو به ترکیب کانی شناسی مواد مادری و از سوی دیگر به فرآیندهای خاک سازی که در حین عمل هوادیدگی در خاک صورت می گیرند، وابسته می باشند (۲۰).

در سال های اخیر، مطالعات زیادی در مورد غلظت عناصر سنگین در مواد مادری مختلف و خاک های تشکیل شده از آنها در دنیا انجام شده اند. این پژوهش ها نشان داده اند که مقدار فلزات سنگین در خاک، به نوع مواد مادری، اقلیم منطقه، توپوگرافی و فعالیت های بشر وابسته است (۷ و ۱۳). میانگین غلظت این عناصر در خاک ها تا حد زیادی مشابه میانگین غلظت آنها در مواد مادری می باشد، با این حال، دامنه تغییرات غلظت این عناصر در خاک ها به طور عمده، بیشتر از مواد مادری است (۷)، که تفاوت بین غلظت عناصر در مواد مادری نسبت

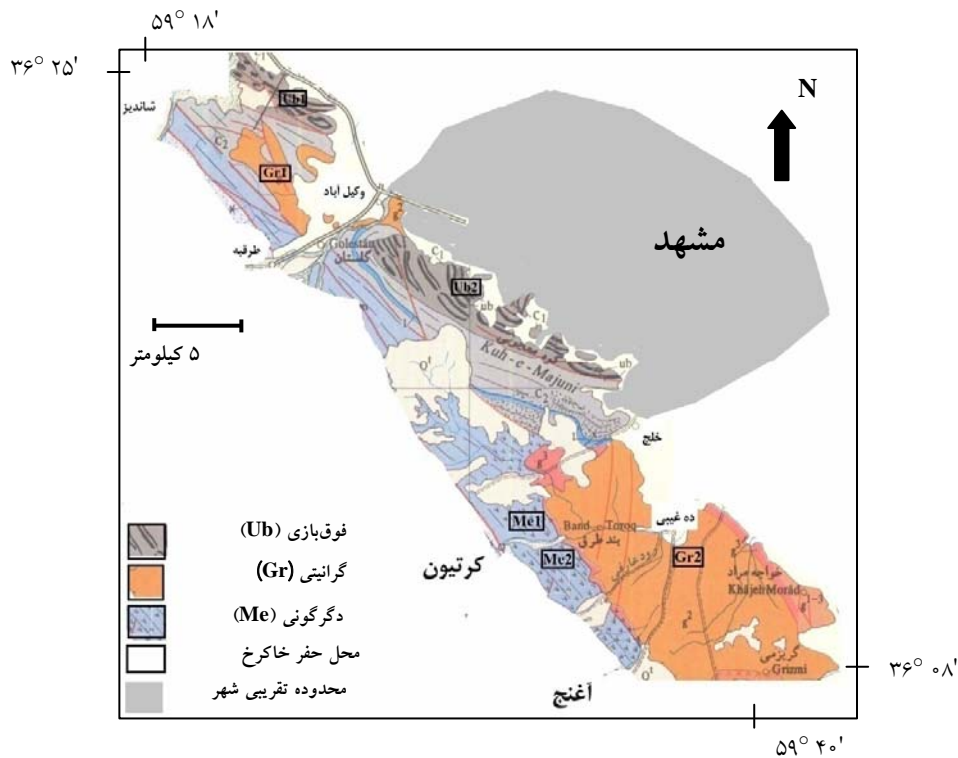
به خاک های تشکیل شده از آنها در شرایط طبیعی، نتیجه فرآیندهای خاک سازی می باشد (۱۱). مهم ترین فرآیندهای خاک سازی موثر بر رفتار عناصر در خاک، رهاسدن عناصر از مواد مادری در طی عمل هوادیدگی و جابه جایی و تجمع اجزای تشکیل دهنده خاک می باشند (۷). بلاستر و همکاران (۱۳) نیز با مطالعه خاک های با مواد مادری متفاوت در سوئیس بیان کردند که هوادیدگی سنگ بستر در کنار فرآیندهای خاک سازی، مهم ترین عوامل موثر بر مقدار عناصر سنگین در خاک هستند. نقش انسان در افزایش مقدار عناصر سنگین در خاک ها، نشان دهنده اهمیت فعالیت های بشری در تغییرات غلظت عناصر سنگین در خاک ها است (۱۵ و ۲۴).

در پژوهش های مربوط به مطالعه عناصر سنگین در ایران، به طور عمده، به تأثیر مواد مادری بر تغییرات این عناصر در خاک کمتر توجه شده است و بیشتر به بررسی غلظت های عناصر سنگین در خاک سطحی پرداخته شده است (۷). پهنه بینالود در غرب مشهد، از سنگ های گوناگون آذرین فوق بازی، آذرین اسیدی و دگرگونی تشکیل شده است. با وجود ترکیب متفاوت سنگ ها در پهنه بینالود که شهر بزرگ مشهد در دامنه های آن واقع شده است و اهمیت این پهنه در تولیدات گیاهی و آب، اطلاعات مناسبی از میزان عناصر سنگین در خاک و سنگ های این منطقه وجود ندارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر نوع مواد مادری و فرآیندهای خاک سازی بر توزیع عناصر سرب، روی، مس و نیکل در سنگ ها و خاک های تشکیل شده از آنها در پهنه بینالود انجام شد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، یک نوار باریک دارای مواد مادری مختلف در سمت جنوب و جنوب غرب مشهد می باشد که از شمال به شرق و شاندریز و از جنوب به روستاهای خلج و ده غیبی در جاده قدیم نیشابور محدود می شود (شکل ۱). این منطقه بین عرض های جغرافیایی ۱۰' ۱۰' تا ۳۶° ۲۴' ۴۷' شمالی



شکل ۱. نوع مواد مادری و محل حفر خاکرخ‌ها در منطقه مورد مطالعه

تشریح، از افق‌های ژنتیکی آنها نمونه‌برداری شد (۲۵). علاوه بر نمونه‌برداری از خاک، از سنگ بستر نیز نمونه‌برداری انجام گرفت.

مطالعات آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک هواخشک شده، بعد از کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی معمول شامل توزیع اندازه ذرات به روش پیپت، درصد مواد آلی خاک به روش والکلی - بلک، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیم، واکنش خاک (pH) در نسبت ۲ به ۱ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به خاک و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شدند. مقدار گچ به روش کاهش وزن در اثر حرارت تعیین شد (۲۸).

مقدار شبه‌کل (Psudototal) عناصر سنگین سرب، روی، مس و نیکل در افق‌های خاک و سنگ بستر اندازه‌گیری شد. بدین منظور، مقدار دو گرم خاک عبور داده شده از الک دو

و طول‌های جغرافیایی ۱۹° ۲۱' تا ۵۲° ۵۴' شرقی واقع شده است. میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۲۰۰ متر و میانگین بارندگی و دمای سالانه آن، به ترتیب، ۲۶۰ میلی‌متر و ۱۳/۷ درجه سلسیوس می‌باشند. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در منطقه مورد نظر، به ترتیب، اریدیک در مرز زیریک و مزیک هستند.

از بین مواد مادری عمده منطقه که از نظر ترکیب ژئوشیمیایی تفاوت چشم‌گیری داشتند، سه نوع ماده مادری شامل مواد مادری آذرین فوق‌بازی (پریدوتیت)، گرانیت (لوکوگرانیت) و دو نوع سنگ دگرگونی (متابازیت و شیست) با توجه به نقشه زمین‌شناسی (۱) و مطالعات صحرایی انتخاب شدند. با توجه به بازپدهای صحرایی، دو خاکرخ در بخش قله شیب (Summit) که نماینده خاک‌های درجا بودند و اطمینان حاصل شد که مواد از جاهای دیگر به آنها اضافه نشده است روی سنگ‌های آذرین فوق‌بازی (Ub2 و Ub1)، گرانیتی (Gr1) و دگرگونی (Me2 و Me1) حفر شدند و پس از

افق C در خاکرخ Ub2 با مقدار ۳۵/۹ سانتی مول (+) بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن هم در افق Cr در خاکرخ Me2 با مقدار ۷/۸ سانتی مول (+) بر کیلوگرم وجود داشت. افق C خاکرخ Ub2 با بیشترین مقدار CEC، دارای کمترین مقدار رس می باشد که نشان دهنده این واقعیت است که CEC، بیشتر از آن که به مقدار رس وابسته باشد با نوع کانی های رسی ارتباط دارد.

تغییرات عناصر در خاکرخ های مورد مطالعه

جدول ۲ تغییرات غلظت شبه کل عناصر سنگین را در خاکرخ های انتخابی نشان می دهد. سرب کمترین غلظت را نسبت به بقیه عناصر دارد و فقط در بخش های بالایی خاکها در حد قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی بوده است. مقدار سرب از ۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم در افق Bw خاکرخ Gr1 تا ۶/۰ میلی گرم بر کیلوگرم در افق A خاکرخ Me1 متغیر است. تجزیه مواد مادری (لایه های R) خاکرخ های مورد مطالعه (جدول ۲) نشان دهنده این است که در هیچ کدام از مواد مادری، مقدار سرب در محدوده قابل تشخیص برای دستگاه جذب اتمی نبوده است.

بیشترین غلظت روی در مواد مادری (R) با مقدار ۶۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به خاکرخ Gr1 است؛ در حالی که مواد مادری فوق بازی و دگرگونی، به ترتیب با مقدار ۱۰/۲ و ۱۱/۲ میلی گرم بر کیلوگرم، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و نسبت به ماده مادری گرانیته خیلی کمتر است (جدول ۲). در خاکرخ های مورد مطالعه، کمترین مقدار مس در مواد مادری خاکرخ Gr1 با مقدار ۵/۲ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. مواد مادری خاکرخ های Ub1 و Me1، به ترتیب با مقدار ۵۲/۵ و ۷۵/۲ میلی گرم بر کیلوگرم، تفاوت آشکاری با خاکرخ Gr1 دارند. از عمق خاک به طرف خاک سطحی، غلظت مس در خاکرخ فوق بازی Ub2 و دگرگونی Me1 کاهش پیدا می کند. در خاکرخ گرانیته Gr1 وضعیت متفاوت است و از عمق به طرف سطح خاک، مقدار مس افزایش یافته است.

مقدار نیکل در خاکرخ های مورد مطالعه، حالت ویژه ای

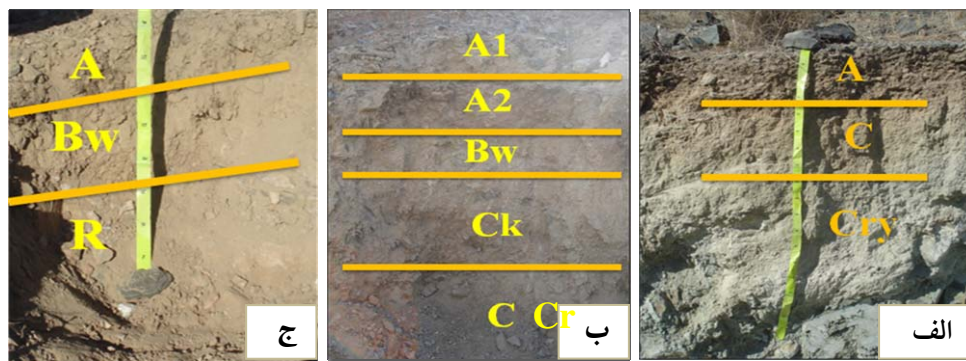
میلی متر با استفاده از روش تیزاب سلطانی عصاره گیری شدند (۱۶) و در نهایت، غلظت ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند. به دلیل این که تیزاب سلطانی قادر به حل کردن همه اجزای خاک به ویژه سیلیکات ها نیست، بهتر است مقدار عناصر آزاد شده با این عصاره گیر، شبه کل نامیده شود (۲۳ و ۲۷). در عصاره گیری متوالی عناصر سنگین در چهار مرحله بر اساس روش BCR (Community Bureau of Reference) شامل بخش های محلول و تبادل، بخش قابل اکسید، بخش قابل احیا و بخش باقیمانده اندازه گیری شدند (۲۷). این بخش ها به ترتیب شامل بخش قابل عصاره گیری با استفاده از استیک اسید، بخش قابل عصاره گیری با هیدروکسیل آمونیوم هیدروکلرید، بخش قابل عصاره گیری با آب اکسیژنه و بخش باقیمانده می باشند. بخش باقیمانده از تفاضل مجموع سه مرحله نخست از مقدار شبه کل محاسبه شد. لازم به ذکر است که فقط خاکرخ های Ub2 و Gr1 و Me1 برای آنالیز عناصر سنگین انتخاب شدند. مقدار عناصر برای هر نمونه در سه تکرار اندازه گیری شد.

نتایج

ویژگی های مورفولوژیک و فیزیکوشیمیایی خاکرخ ها

شکل ۲ مقاطع عرضی سه مورد از خاکرخ های مورد مطالعه و جدول ۱ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی همه خاکرخ ها را نشان می دهد. حداکثر تکامل در این خاکها تشکیل افق های کلسیک (Bk) و ژیسپیک (Cry) است. خاکرخ های دگرگونی نسبت به خاکرخ های دیگر، عمق کمتری داشتند. شرایط کلی حاکم بر تشکیل خاک در مناطقی که از آنها نمونه برداری شد اجازه تشکیل خاک های با عمق بیشتر را روی مواد مادری دگرگونی نداده است؛ به طوری که حداکثر عمق در این خاکرخ ها تا ۲۰ سانتی متر می رسد (شکل ۲- ج). در خاکرخ Ub2 (شکل ۲- الف) مقدار مواد آلی در افق A، ۲/۳۱ درصد (جدول ۱) می باشد که باعث رنگ متمایل به قهوه ای شده است.

بیشترین مقدار CEC در خاکرخ های مورد مطالعه مربوط به



شکل ۲. نمایی از مقاطع عرضی سه مورد از خاک‌های مورد مطالعه، الف) خاک آذرین فوق‌بازی Ub2.

ب) خاک گرانیتی Gr1 و ج) خاک دگرگونی Me1

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

| CEC Cmol(+) kg ⁻¹ | pH 1:2 (Soil:CaCl ₂ 0.01m) | ماده | | کربنات کلسیم معادل % | شن | سیلت | رس | عمق cm | افق | خاک | نوع مواد مادری |
|------------------------------------|--|------|------|----------------------------|------|------|------|-----------|-----|-----|-------------------|
| | | آلی | گچ | | | | | | | | |
| ۱۷/۱ | ۷/۵ | ۱/۱۷ | ۷/۲ | ۲۲/۶ | ۲۴/۰ | ۶۱/۵ | ۱۴/۵ | ۰-۱۵ | A | Ub1 | فوق‌بازی |
| ۱۵/۳ | ۷/۶ | ۱/۰۰ | ۷/۱ | ۲۵/۶ | ۳۶/۰ | ۵۲/۰ | ۱۲ | ۱۵-۴۰ | Bk | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | ۴۰+ | R | | |
| ۱۴/۹ | ۷/۳ | ۲/۳۱ | ۵/۰ | ۱۸/۱ | ۴۰/۰ | ۵۲/۰ | ۸/۰ | ۰-۲۰ | A | Ub2 | فوق‌بازی |
| ۳۵/۹ | ۷/۶ | ۱/۱۰ | ۲۹/۴ | ۲۰/۹ | ۳۰/۷ | ۵۹/۵ | ۹/۸ | ۲۰-۸۰ | C | | |
| ۱۸/۶ | ۷/۷ | ۰/۳۳ | ۲۲/۰ | ۱۹/۱ | ۷۲/۵ | ۲۲/۵ | ۵/۰ | ۸۰+ | Cry | | |
| ۱۳/۷ | ۷/۳ | ۰/۳۳ | ۲ | ۱۳/۶ | ۶۵/۵ | ۳۰/۵ | ۴/۰ | ۰-۱۰ | A1 | Gr1 | گرانیتی |
| ۱۲/۶ | ۷/۴ | ۰/۶۷ | ۵/۶ | ۱۵/۱ | ۶۸/۵ | ۲۷/۳ | ۴/۲ | ۱۰-۲۵ | A2 | | |
| ۱۵/۱ | ۷/۶ | ۰/۳۳ | ۷/۰ | ۱۶/۸ | ۷۲/۹ | ۲۲/۵ | ۴/۶ | ۲۵-۳۵ | Bw | | |
| ۱۹/۲ | ۷/۴ | ۰/۷۴ | ۸/۳ | ۱۸/۶ | ۶۷/۴ | ۲۴/۰ | ۸/۶ | ۳۵-۶۰ | Ck | | |
| ۲۱/۸ | ۷/۵ | ۰/۶۷ | ۱۳/۷ | ۱۷/۸ | ۶۳/۵ | ۲۶/۵ | ۱۰/۰ | ۶۰+ | Cr | | |
| ۱۴/۶ | ۷/۵ | ۱/۱۷ | ۵/۱ | ۲۱/۱ | ۴۰/۳ | ۴۹/۸ | ۹/۹ | ۰-۱۵ | A | Gr2 | فوق‌بازی |
| ۱۱/۴ | ۷/۶ | ۱/۱۷ | ۴/۳ | ۱۹/۹ | ۵۰/۲ | ۴۰/۶ | ۹/۲ | ۱۵-۳۰ | Bw | | |
| ۹/۰ | ۷/۷ | ۰/۵۰ | ۲/۷ | ۱۱/۱ | ۸۲/۶ | ۱۴/۶ | ۲/۸ | ۳۰-۶۰ | Cr | | |
| ۱۲/۷ | ۷/۴ | ۱/۱۰ | ۴/۱ | ۲۳/۱ | ۴۵/۱ | ۴۷/۳ | ۷/۶ | ۰-۱۰ | A | Me1 | دگرگونی |
| ۱۵/۷ | ۷/۵ | ۱ | ۴ | ۲۲/۱ | ۴۱/۸ | ۴۷/۲ | ۱۱ | ۰-۲۰ | Bw | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | ۲۰+ | R | | |
| ۸/۴ | ۷/۶ | ۰/۸۲ | ۱/۰ | ۲۵ | ۶۵/۸ | ۳۰/۶ | ۳/۶ | ۰-۵ | A | Me2 | دگرگونی |
| ۷/۸ | ۷/۷ | ۰/۶۰ | ۲/۹ | ۲۵/۱ | ۸۴/۸ | ۵/۲ | ۱۰/۰ | ۵+ | Cr | | |

جدول ۲. توزیع برخی عناصر سنگین (شبه کل) در خاک‌های مورد مطالعه

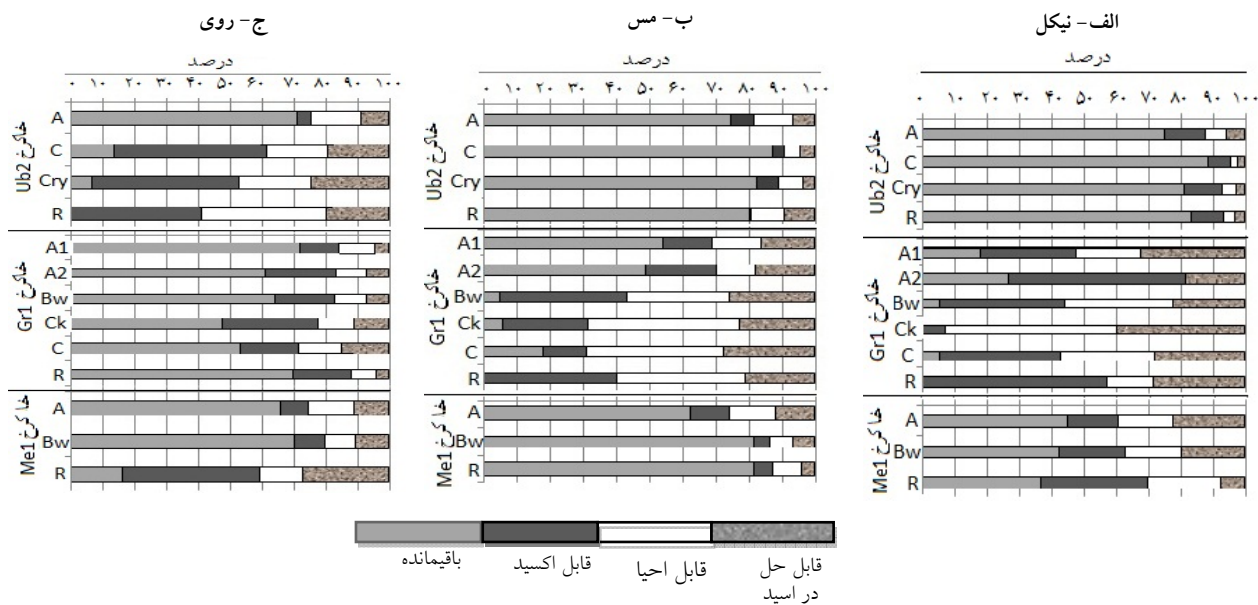
| Ni | Cu | Zn | Pb | افق | مواد مادری |
|-------|------|------|-----|-----|------------------------|
| | | | | | (mg kg ⁻¹) |
| ۱۷۸/۱ | ۴۲/۱ | ۳۸/۱ | ۵/۷ | A | Ub2 |
| ۳۸۶/۱ | ۸۸/۱ | ۳۰/۱ | ۰ | C | |
| ۴۱۹/۷ | ۵۷/۱ | ۱۴/۲ | ۰ | Cry | |
| ۲۳۸/۱ | ۵۲/۵ | ۱۰/۲ | ۰ | R | |
| ۳۰/۵ | ۲۲/۶ | ۶۱/۱ | ۲/۹ | A1 | Gr1 |
| ۲۷/۵ | ۱۹/۰ | ۵۹/۴ | ۴/۴ | A2 | |
| ۱۴/۴ | ۱۲/۰ | ۵۴/۵ | ۱/۵ | Bw | |
| ۱۳/۸ | ۶/۶ | ۴۴/۱ | ۰ | Ck | |
| ۱۲/۶ | ۷/۷ | ۵۰/۴ | ۰ | Cr | |
| ۰/۷ | ۵/۲ | ۶۰/۵ | ۰ | R | |
| ۵۷/۰ | ۳۸/۸ | ۴۹/۸ | ۶/۰ | A | |
| ۵۹/۰ | ۵۵/۰ | ۵۰/۰ | ۵/۶ | Bw | |
| ۴۳/۸ | ۷۵/۲ | ۱۱/۱ | ۰ | R | Me1 |

خاک‌رخ Gr1 ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است. مقایسه اجزای نیکل و مس (شکل ۳- الف و ۳- ب) در خاک‌رخ‌ها نشان می‌دهد که تغییرات آنها کاملاً با یکدیگر مشابه است. به‌عنوان مثال، مقدار مس در بخش باقیمانده، مانند نیکل در مواد مادری خاک‌رخ Gr1 در حد صفر است.

بر خلاف نیکل، روی در بخش باقیمانده از سطح به عمق کاهش پیدا کرده و در مواد مادری آن به صفر می‌رسد، این در حالی است که مقدار روی در بخش باقیمانده در افق A خاک‌رخ Ub2 به حدود ۷۰٪ می‌رسد. روی در خاک‌رخ Me1 نیز بیشتر در بخش باقیمانده است و در افق‌های A و Bw این خاک‌رخ، ۶۰ تا ۷۰ درصد این عنصر در بخش باقیمانده می‌باشد. با این حال، در مواد مادری این خاک‌رخ، روی بیشتر در بخش‌های قابل اکسید و قابل حل در اسید قرار دارد. در خاک‌رخ Gr1، بیشترین مقدار روی در بخش باقیمانده قرار دارد (شکل ۳- ج).

دارد، در حالی که مقدار این عنصر در ماده مادری خاک‌رخ فوق‌بازی Ub2 با مقدار ۲۳۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، تفاوت آشکاری با عناصر دیگر دارد، مقدار آن در ماده مادری خاک‌رخ Gr1، ۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. ماده مادری خاک‌رخ Me1، با مقدار نیکل برابر با ۴۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیز نسبت به خاک‌رخ Ub1 دارای نیکل خیلی کمی است.

بخش‌بندی عناصر سنگین در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که نیکل در خاک‌رخ‌های Ub2 و Me1 (شکل ۳- الف) پس از بخش باقیمانده، بیشتر در بخش قابل اکسید شدن وجود دارد و فقط در افق A خاک‌رخ Me1، بخش قابل حل در اسید استیک بعد از بخش باقیمانده قرار دارد. بر خلاف دو خاک‌رخ گفته‌شده، نیکل در خاک‌رخ Gr1 (شکل ۳- الف) در بخش باقیمانده کمتر از سایر بخش‌هاست و حتی در مواد مادری به صفر می‌رسد. لازم به ذکر است که مقادیر اجزای گفته‌شده به‌صورت درصد هستند و مقدار شبه‌کل نیکل در مواد مادری



شکل ۳. توزیع عناصر سنگین در بخش‌های مختلف عصاره‌گیری‌شده

بحث

عناصر به صورت جداگانه بحث خواهد شد.

عوامل مؤثر بر تغییرات عناصر سنگین در خاک‌رخ‌ها

قبل از پرداختن به تغییرات عناصر سنگین در خاک‌رخ‌ها، لازم است نکاتی درباره طبیعت خاک‌های مورد مطالعه گفته شود. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است در همه خاک‌رخ‌ها مقدار گچ و کربنات‌ها زیاد است و حتی در برخی از افق‌ها، نزدیک به نصف افق را تشکیل می‌دهد. تشکیل این مقدار گچ و کربنات، از هوادیدگی مواد مادری که همگی منشا آذرین دارند، غیرممکن است. کریمی و همکاران (۱۹) نشان دادند که رسوبات بادرفتی سرشار از گچ و کربنات‌ها به خاک‌های این منطقه اضافه شده‌اند. بر اساس نتایج آنها، رسوبات مارنی گچی در نزدیکی منطقه مورد مطالعه، منبع اصلی رسوبات بادرفتی این منطقه است و نمی‌توان از سهم این رسوبات در تغییرات عناصر سنگین صرف‌نظر کرد. جدول ۳ مقدار کل عناصر مورد مطالعه را در رسوبات مارنی نشان می‌دهد که اضافه شدن این رسوبات به خاک‌ها، می‌تواند باعث تغییر در مقدار عناصر سنگین، به‌ویژه در سطح خاک شود. در ادامه، عوامل مؤثر بر تغییرات هریک از

سرب

مقدار سرب در خاک‌های مورد مطالعه نسبت به سایر عناصر کمتر می‌باشد (کمتر از ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فقط در افق‌های سطحی در حد قابل اندازه‌گیری بود (جدول ۲). نائل و همکاران (۷) با بررسی خاک‌های جنگلی شمال ایران، غلظت سرب را در خاک‌های تشکیل‌شده روی پریدوتیت‌ها ۱۱-۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در تانولیت‌ها (که انواعی از سنگ‌های درشت‌بلور آذرین اسیدی هستند) ۳/۱۴-۳/۳ و در شیل‌ها از ۳۲/۵۸-۱۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. به‌طور کلی، سرب در سنگ‌های آذرین اسیدی (۴۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از سنگ‌های فوق‌بازی (۱۰-۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (۱۸). مطالعات زیادی بر تجمع سرب در لایه سطحی دلالت دارند و نشان داده‌اند که سرب از سطح خاک به طرف عمق، کاهش ناگهانی دارد (۵). الجلی و همکاران (۸) با مطالعه خاک‌های سه نقطه در منطقه شهری بریسن استرالیا به تجمع سرب در ۵ سانتی‌متر سطحی خاک اشاره کردند.

جدول ۳. مقدار کل عناصر سنگین اندازه گیری شده به روش XRF در رسوبات مارنی جنوب مشهد (برگرفته از ۲۸)

| عنصر | Pb | Ni | Zn | Cu |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|
| مقدار (mg kg ⁻¹) | ۱۶-۲۲ | ۳۸-۸۳ | ۳۶-۵۷ | ۳-۱۹ |

با توجه به مطالب گفته شده، برای سرب در خاک‌های مورد مطالعه، دو منشا ممکن است. احتمال اول این‌که هوادیدگی مواد مادری در طی فرآیندهای خاک‌ساز، باعث آزاد شدن سرب از ساختار کانی‌ها شده است (۱۴). ریزش گرد و غبارهای اتمسفری، راه دیگر ورود سرب به سطح خاک است.

مقدار سرب در خاک‌های سطحی خاکرخ‌ها، به‌طور بارزی بیشتر از سنگ بستر است. منابع نشان می‌دهند که مقدار این عنصر در خاک‌ها، شدیداً وابسته به نوع ماده مادری بوده ولی به خاطر گستردگی وسیع آلودگی سرب، اغلب خاک‌ها به‌ویژه در افق‌های سطحی مناطق شهری و کشاورزی، نسبت به این عنصر غنی شده‌اند (۱۸). به‌علاوه، در بسیاری از اکوسیستم‌های طبیعی و غیرآلوده، به‌ویژه اکوسیستم‌های جنگلی، غنی شدن سرب در خاک‌های سطحی گزارش شده است و علت آن به ظرفیت بالای این اکوسیستم‌ها در جذب ریزگردهای حامل سرب نسبت داده شده است (۱۰). کرباسی و همکاران (۶) با اندازه‌گیری سرب در ارتفاعات شمال غرب تهران، مقدار این عنصر را در خاک ۱۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند و نتیجه گرفتند که منبع اصلی این عنصر آلودگی هوا بوده است. منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر در نزدیکی شهر پرجمعیت مشهد قرار گرفته است. با توجه به نزدیک بودن منطقه به شهر مشهد، احتمال منشا انسان‌زاد (Anthropogenic) سرب علاوه بر ژئولوژیک وجود دارد که نیاز به پژوهش بیشتر دارد. البته رسوبات بادرفتی حاصل از مارن‌ها نیز می‌توانند در این مورد سهم داشته باشند.

روی

مقدار روی در خاکرخ Gr1 به‌ویژه در مواد مادری آن نسبت

به خاک‌های دیگر بیشتر است (جدول ۲). تقی‌پور و همکاران (۳) با مطالعه روی مواد مادری و خاک‌های سطحی در همدان نشان دادند که مقدار روی در سنگ‌بستر گرانیتی ۱۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک سطحی ۳۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نائل و همکاران (۲۰) غلظت روی را در مواد مادری گرانیتی ۲۵/۸-۲۳/۱، در مواد مادری فوق‌بازی از ۷۴/۱-۴۳ و در مواد مادری دگرگونی ۱۲۸/۴-۳۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. آلووی (۱۰) گزارش کرده است که مقدار متوسط روی در سنگ‌های آذرین فوق‌بازی و بازی از گرانیت بیشتر است. در حالی که در منطقه مورد مطالعه، مقدار روی در گرانیت‌ها بیشتر است.

نائل و همکاران (۲۰) نشان دادند که در همه خاکرخ‌های تشکیل شده از مواد مادری گوناگون در شمال ایران، غلظت روی از مواد مادری در عمق خاک به طرف سطح خاکرخ افزایش می‌یابد که دلیل آن را افزایش هوادیدگی و آزاد شدن عناصر از ساختار سیلیکات‌ها بیان کرده‌اند. در خاکرخ‌های Ub2 و Me1 مورد مطالعه نیز روی از عمق به سطح خاک افزایش می‌یابد و در افق‌های سطحی حدود ۴ برابر مواد مادری است (جدول ۲). این افزایش در مقایسه با مطالعه نائل و همکاران (۲۰) گزارش شده بیشتر است این در حالی است که رژیم رطوبتی خاک در مطالعه اخیر مرطوب‌تر از خاک‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر است (یودیک در برابر زیریک). با توجه به هوادیدگی کم خاک‌های مورد مطالعه، به‌ویژه خاکرخ Me1، مقدار این افزایش بیش از حد قابل انتظار است. در خاکرخ Ub2، روی از عمق به سطح افزایش یافته است. کریمی و همکاران (۱۹) مقدار روی را در رسوبات مارنی ۵۷-۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (جدول ۳). احتمالاً مقداری از افزایش روی در این خاکرخ‌ها نیز به علت رسوبات بادرفتی

مقدار نیکل در سنگ‌های فوق‌بازی و اسیدی را به ترتیب ۲۰۰۰ و ۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده است.

خاک‌های حاصل از سنگ‌های فوق‌بازی، مقدار زیادی نیکل دارند؛ به طوری که غلظت نیکل در خاک‌های فوق‌بازی حتی تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز می‌رسد (۹). خالدی و محمدرزاده (۴) با مطالعه عناصر سنگین در سنگ‌های فوق‌بازی جنوب شرق بیرجند نشان دادند که این سنگ‌ها دارای غلظت بالایی از نیکل در ترکیب کانی‌شناسی خود هستند و متوسط غلظت نیکل در مواد مادری خاک‌های مطالعه‌شده را ۱۳۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند.

در خاکرخ Ub2 علی‌رغم وجود کانی‌های حساس به هواپدگی، پس از افزایش مقدار نیکل در افق Cry، مقدار آن در دو افق رویی، به‌ویژه افق A، کاهش پیدا کرده است. این کاهش، به دلیل ورود مواد مارنی با نیکل خیلی کمتر (۸۳-۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از ماده مادری خاکرخ Ub1 (۱/۲۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به سطح خاک و کاهش غلظت نیکل است (جدول ۳). ولی در خاکرخ Gr1، افزایش مواد بادرفتی با محتوای نیکل بیشتر از سنگ مادر گرانیتی باعث افزایش این عنصر نسبت به ماده مادری شده است.

بخش‌بندی عناصر سنگین در خاک

غلظت کل در عناصر سنگین نمی‌تواند میزان تحرک این عناصر را در خاک توجه کند و شاخص مناسبی برای فراهمی زیستی آنها در خاک باشد. از کل غلظت این عناصر، فقط بخش کوچکی از آنها توسط گیاه قابل جذب است (۲). بنابراین، بخش‌بندی فلزات سنگین می‌تواند به ارزیابی قابلیت جذب و آب‌شویی این عناصر در خاک کمک کند (۱۷).

حضور عمده نیکل و مس در بخش باقیمانده خاکرخ Ub2 و Me1 به دلیل هواپدگی کم کانی‌ها در خاکرخ‌های گفته‌شده است. پالمبو و همکاران (۲۲) غلظت مس و نیکل را در شش نوع مواد مادری متفاوت در سیسیل ایتالیا بررسی کردند و نشان دادند که مس و نیکل بعد از بخش باقیمانده، بیشتر در بخش

است. در مورد خاکرخ Gr1 وضع متفاوت است. مقدار روی در برخی از افق‌ها، حتی کمتر از مواد مادری است. تشابه مقدار روی در رسوبات مارنی و خاکرخ گرانیتی و هواپدگی کم این خاکرخ، مقدار کم تغییرات را در طول این خاکرخ توجیه می‌کند.

مس

برخلاف روی، مقدار مس در خاکرخ Gr1 از دو خاکرخ دیگر کمتر است (جدول ۲). بر اساس مطالعات انجام‌شده، فراوانی مس در سنگ‌های بازی (۱۶۰-۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، خیلی بیشتر از سنگ‌های اسیدی (۳۰-۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و سنگ‌های فوق‌بازی حالت بینابین (۴۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارند (۱۲).

مقدار مس در رسوبات مارنی که به این خاک‌ها اضافه شده است معادل ۱۹-۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۳) که اضافه‌شدن مواد مارنی با مقدار مس کمتر نسبت به سنگ‌های خاکرخ‌های Ub1 و Me1 باعث رقیق شدن مقدار مس، به‌ویژه در افق‌های سطحی شده است (جدول ۳). نیکولسون و همکاران (۲۱) بر این باور هستند که فرونشست فلزات سنگین، ۲۵ تا ۸۵ درصد از کل ورودی فلزات سنگین به خاک را تشکیل می‌دهد.

به نظر می‌رسد که هواپدگی در خاکرخ گرانیتی، نقش کمی در افزایش مس داشته است و بخشی از افزایش مس در افق‌های این خاکرخ، مربوط به رسوبات بادرفتی است.

نیکل

همان‌گونه که از جدول ۲ برمی‌آید، در بین عناصر اندازه‌گیری‌شده، نیکل نسبت به سایر عناصر در خاکرخ Ub2 خیلی بیشتر است و تا ۴۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد، در حالی که در خاکرخ Gr1 بسیار ناچیز است. نیکل یکی از عناصر سنگین است که مقدار آن در سنگ‌های آذرین فوق‌بازی نسبت به سنگ‌های دیگر بیشتر است (۱۰ و ۲۰). آلووی (۱۰) میانگین

می‌شوند. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، مقدار نیکل و مس در سنگ‌های مادری خاکرخ‌های Ub2 و Me1 و همچنین مقدار روی در ماده مادری خاکرخ Gr1 بیشتر است و هوادیدگی باعث افزایش آنها در افق‌های سطحی می‌شود. بنابراین، در خاکرخ‌های یادشده، مواد مادری منشا اصلی این عناصر هستند.

در خاکرخ‌های مورد مطالعه، افزایش رسوبات بادرفتی باعث افزایش و یا کاهش غلظت عناصر می‌شود که این افزایش و یا کاهش، بستگی به مقدار عنصر مورد نظر در رسوبات افزوده شده به وسیله باد دارد. به عنوان مثال، افزایش و کاهش نیکل در افق سطحی خاکرخ‌های Gr1 و Ub2، به ترتیب، به دلیل ورود مواد بادرفتی با مقدار نیکل بیشتر در خاکرخ Gr1 و مواد با نیکل کمتر در خاکرخ Ub2 می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت که پس از مواد مادری، اضافه شدن رسوبات بادرفتی، در درجه دوم اهمیت در تغییرات غلظت عناصر سنگین قرار دارد. آلاینده‌ها، منشا دیگر اضافه شدن عناصر سنگین به خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. به نظر می‌رسد که به دلیل مقدار زیاد عناصر روی، مس و نیکل و مقدار کم سرب در مواد مادری و خاک‌ها، افزایش این عناصر از طریق آلاینده‌ها قابل توجه نیست. پیشنهاد می‌شود که در آینده مقدار عناصر گفته شده، به ویژه نیکل، در اجزای مختلف خاک (شن، سیلت و رس) و امکان انتقال آنها به بخش‌های مختلف دشت مشهد (مانند مناطق کشاورزی و مسکونی) مورد بررسی و پژوهش قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، برای تامین بخشی از هزینه انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

احیاشدنی خاک‌ها وجود دارند. در مقابل، مقدار نیکل و مس در خاکرخ Gr1 نسبت به دو خاکرخ دیگر کمتر است و همچنین بخش باقیمانده این دو عنصر، به ویژه در مواد مادری، ناچیز است. با توجه به کم بودن این عناصر در مواد مادری گرانیتی (۱۰) می‌توان گفت که این دو عنصر در کانی‌های با قابلیت هوادیدگی زیاد قرار گرفته‌اند. ولی در افق‌های سطحی، این دو عنصر، بیشتر توسط رسوبات بادرفتی به خاک اضافه شده‌اند و بیشتر در بخش باقیمانده قرار دارند. نائل و همکاران (۲۰) نشان دادند که مقدار عناصر سنگین (غیر از سرب) در خاکرخ‌های تانولیتی در جزء باقیمانده بیشتر است. آنها همچنین با مطالعه جزءبندی عناصر سنگین در خاک‌های گرانیتی، فوق‌بازی و دگرگونی اقلیم مرطوب شمال کشور، نشان دادند که مقدار مس و نیکل در بخش باقیمانده هر سه گروه از خاک‌های بالا، بیشتر از بقیه اجزاست.

وضعیت روی نسبت به نیکل و مس متفاوت است، به نحوی که مقدار شبه‌کل روی در خاکرخ Gr1 نسبت به خاکرخ‌های Ub2 و Me1 (جدول ۲) و بخش باقیمانده، به ویژه در مواد مادری خاکرخ‌های Ub2 و Me1، خیلی کم است، در حالی که در خاکرخ Gr1، روی به طور عمده در بخش باقیمانده قرار دارد. تفاوت در اجزای روی در خاکرخ‌ها با اضافه شدن رسوبات بادرفتی قابل توجه است. همان گونه که رسوبات بادرفتی باعث افزایش نیکل و مس در سطح خاکرخ گرانیتی و افزایش بخش باقیمانده شده‌اند، به همین طریق باعث افزایش روی هم از نظر مقدار شبه‌کل و هم بخش باقیمانده در افق‌های سطحی خاکرخ‌های Ub2 و Me1 شده‌اند؛ زیرا رسوبات بادرفتی از نظر روی نسبت به این خاکرخ‌ها غنی‌تر هستند (جدول ۲ و ۳).

نتیجه گیری

به طور کلی، عناصر سنگین از راه‌های گوناگون وارد خاک

منابع مورد استفاده

۱. افشار حرب، ع.، ع. آقانباتی، ب. مجیدی، ن. علوی تهرانی، م. شهرابی، م. داوودزاده و الف. نوایی. ۱۳۶۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ مشهد. وزارت معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۲. افیونی، م. و م. عرفان‌منش. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا. چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.
۳. تقی‌پور، م. ح. خادمی و ش. ایوبی. ۱۳۸۹. تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان. نشریه آب و خاک ۲۴: ۱۳۲-۱۴۴.
۴. خالدی، ز. و ح. محمدزاده. ۱۳۹۰. بررسی پراکنش عناصر سنگین و سمی (کروم، نیکل و کبالت) در واحدهای افیولیتی و پتانسیل آلودگی این عناصر در جنوب شرق بیرجند. مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۳ و ۲۴ آذرماه، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
۵. سامانی مجد، س.، الف. تائبی و م. افیونی. ۱۳۸۶. آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. مجله محیط‌شناسی ۳۴: ۱-۱۰.
۶. کرباسی، ع.ر.، غ.ر. نبی بیدهندی، ف. معطر و ز. برزگری. ۱۳۸۸. بررسی منشا و دسترسی بیولوژیکی عناصر سنگین در خاک ارتفاعات شمال غرب تهران. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۱: ۲۹-۴۱.
۷. نائل، م.، الف. جلالیان، ح. خادمی، م. کلباسی، ف. ستوهیان و ر. شولین. ۱۳۸۹. اثر شرایط ژئوپدولوژیک بر غلظت و توزیع برخی عناصر اصلی و کمیاب در خاک‌های منطقه جنگلی فومن - ماسوله. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۴: ۷۱-۸۴.
8. Al-Chalabi, A. S. and D. Hawker. 2000. Distribution of vehicular lead in roadside soils of major roads of Brisbane. Aust. Water Air Soil Pollut. 118: 299-310.
9. Alexander, E. B. 2004. Serpentine soil redness, differences among peridotite and serpentinite materials, Klamath Mountains, California. Intl. Geol. Rev. 46: 754-764.
10. Alloway, B. J. 1995. The Origins of Heavy Metals in soils. In: Alloway, B. J. (Ed.), Heavy Metals in Soils. Johns Wiley and Sons Inc., New York.
11. Aubert, H. and M. Pinta. 1977. Trace Elements in Soils. Elsevier Scientific Pub. Co., USA.
12. Baker, D. E. and J. P. Senft. 1995. Copper. PP. 179-205. In: B. J. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons Inc., New York.
13. Blaster, P., S. Zimmermann, J. Luster and W. Shoty. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. Sci. Total Environ. 249: 257-280.
14. Boruvka, L., O. Vacak and J. Jeilicka. 2005. Principle component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. Geoderma 28: 289-300.
15. Chen, T., Y. Zheng, M. Lei, Z. Huang, H. W. H. Che, K. Fan, K. Yu, X. Wu and Q. Tian. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere 60: 542-551.
16. ISO/CD 11466. 1995. Soil Quality-Extraction of Trace Metals Soluble in Aqua-Regia. The International Organization for Standardization.
17. Kaasalainen, M. and M. Yli-Hala. 2003. Use of sequential extraction to assess metal partitioning in soils. Environ. Pollut. 126: 225-233.
18. Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
19. Karimi, A., H. Khademi, M. Kehl and A. Jalalian. 2009. Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran. Geoderma 148: 241-250.
20. Nael, M., H. Khademi, A. Jalalian, R. Schulin, M. Kalbasi and F. Sotohan. 2009. Effects of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. Geoderma 152: 157-170.
21. Nicholson, F. A., S. R. Smith, B. J. Alloway, C. Carlton-Smith and B. J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. Sci. Total Environ. 311: 205-219.
22. Palumbo, B., M. Angelone, A. Bellanca, C. Dazzi, S. Hauser, R. Neri and J. Wilson. 2000. Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soils of Sicily, Italy. Geoderma 95: 247-266.
23. Roca, N., M.S. Pazos and J. Bech. 2012. Background levels of potentially toxic elements in soils: A case study in Catamarca (a semiarid region in Argentina). Catena 92: 55-66.
24. Shi, G., Z. Chen, S. Xu, J. Zhang, L. Wang, C. Bi and J. Teng. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environ. Pollut. 156: 251-260.
25. Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th edition, USDA-NRCS, Washington DC.

26. Sparks, D. L. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2nd ed., Academic Press, USA.
27. Tocalioglu, S., S. Kartal and G. Birol. 2003. Application of three- stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. Turk. J. Chem. 27: 333-346.
28. USDA-NRCS. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0. Nebraska.