



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گنجان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی تفاوت غلظت روی کل درون و برون خاکدانه‌ای در خاک‌های مختلف

*الهام انتظامی^۱، مهدی شرفاء^۲ و غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه فیزیک، دانشگاه تهران، ^۲استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران،

^۳استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۵

چکیده

خواص شیمیایی خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر حتی در فواصل کم تغییر نشان می‌دهد. یکی از دلایل مهم این غیریکنواختی در مقیاس‌های کوچک، تشکیل خاکدانه در خاک است. در این پژوهش تفاوت غلظت روی کل در داخل و خارج خاکدانه‌های خاک‌های آلوده بررسی شد. خاکدانه‌ها از ۴ پروفیل با بافت مختلف و در ۵ عمق از ۱-۰ متری جمع‌آوری شده و به‌صورت مکانیکی و با استفاده از روش کایسر به دو بخش داخلی و خارجی تفکیک شدند. غلظت روی کل در هر دو بخش داخلی و خارجی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار مواد جذب‌کننده رس، ماده آلی و اکسیدهای آهن آزاد در خارج و داخل خاکدانه‌ها اختلاف معنی‌داری ندارد، ولی غلظت روی کل در خارج خاکدانه‌ها بیش‌تر از داخل بود و میانگین غلظت در این دو بخش تفاوت معنی‌داری ($P < 0/01$) نشان داد. این تفاوت غلظت روی بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌ها به‌ترتیب لوم رسی < لوم رسی شنی < لوم < لوم شنی، در بافت‌های مختلف کاهش یافت. تفاوت غلظت روی در عمق‌های مختلف خاک نیز معنی‌دار بود و با افزایش عمق کم‌تر شد.

واژه‌های کلیدی: خاک آلوده، داخل خاکدانه، خارج خاکدانه، روی

*مسئول مکاتبه: elham.ent@gmail.com

مقدمه

امروزه محیط زیست به‌عنوان یکی از متغیرهای تأثیرگذار در کشورهای توسعه‌یافته مورد توجه قرار می‌گیرد و آلودگی خاک به روش‌های مختلف باعث افزایش نگرانی‌هایی در مورد محیط زیست شده است (آلووی، ۱۹۹۵). رشد جمعیت، پیشرفت علوم، فنون و همچنین توسعه صنایع سبب شده است که انسان اثرات زیان‌باری بر محیط زیست خود وارد کرده و باعث تخریب و آلودگی آن شود. براساس تعریف هولدگیت (۱۹۷۹) آلودگی عبارت است از تأثیر انسان بر محیط به‌گونه‌ای که باعث ایجاد خطرانی برای سلامت خود و دیگر موجودات زنده شده و به ساختار طبیعت آسیب وارد نماید. با توجه به اهمیت خاک به‌عنوان جزئی از محیط زیست می‌توان گفت آلودگی خاک پدیده‌ای نامطلوب است و در نهایت سلامت و تندرستی انسان را به خطر می‌اندازد. برای جلوگیری از این امر ترکیب موادی که وارد خاک می‌شوند باید کنترل شده و سرنوشت این ترکیبات در ضمن عبور و انتقال از خاک پیش‌بینی شود. خاک ممکن است توسط فلزات سنگین مانند کادمیوم، روی، سرب و مس آلوده شود. این فلزات از راه‌هایی مثل استفاده از لجن فاضلاب، آفت‌کش‌ها، کودها، استخراج معادن، صنایع و... وارد خاک شده و اگرچه تحرک آن‌ها در خاک کم است ولی می‌توانند باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند به‌ویژه در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالایی دارند (وایلند، ۱۹۹۳). مطالعات نشان داده است که فلزات سنگین در خاک سطحی بیش‌تر تجمع می‌یابند، پس می‌توانند توسط گیاه جذب شده و وارد چرخه غذایی شوند (کامبرکو و همکاران، ۲۰۱۰).

پژوهش‌های انجام شده (بونند و همکاران، ۱۹۹۷) نشان می‌دهد که توزیع عناصر در خاک غیریکنواخت است. یکی از دلایل مهم این غیریکنواختی در مقیاس‌های کوچک، تشکیل خاکدانه در خاک است و این غیریکنواختی بر قابلیت دسترسی توسط گیاه و حرکت آن‌ها در خاک تأثیر می‌گذارد زیرا ریشه گیاهان در فواصل بین خاکدانه‌ای رشد کرده و با سطوح خارجی خاکدانه‌ها در تماس است، همچنین بخش مهم جریان آب در خاک یعنی جریان تدریجی نیز در فواصل بین خاکدانه‌ای رخ می‌دهد (ویلک و کائوپنجهان، ۱۹۹۴؛ ویلک و کائوپنجهان، ۱۹۹۷).

نخستین بار کایسر و همکاران (۱۹۹۴) برای بررسی نحوه توزیع خواص شیمیایی خاک در مقیاس کوچک، روش سریع و ساده‌ای را برای تفکیک خاکدانه‌ها به دو بخش داخلی و خارجی معرفی نمودند. این روش تلفیقی از انجماد سریع خاکدانه‌ها با نیتروژن مایع و الک مرطوب برای جدا کردن بخش داخل و خارج خاکدانه‌ها بود. ویلک و کائوپنجهان (۱۹۹۷)، تفاوت غلظت آلومینیوم و فلزات

سنگین را در داخل و خارج خاکدانه‌ها بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها صحت این فرضیه که فلزات سنگین به‌صورت غیریکنواخت در خاکدانه‌ها توزیع شده‌اند را ثابت کرد. غلظت شکل قابل تبادل و جذب ترجیحی شده تمام فلزات در خارج خاکدانه بیش‌تر از بخش داخل بود، در حالی که برعکس آن غلظت فلزات در بخش باقی‌مانده در داخل بیش‌تر به‌دست آمد. علت این امر نیز جذب تدریجی فلزات وارد شده در سطح خاکدانه‌ها عنوان شد.

ویلک و همکاران (۱۹۹۸) توزیع آلومینیوم و فلزات سنگینی مانند روی، سرب، مس، کروم، منگنز، و نیکل را در خاکدانه‌های خاک‌های اطراف صنایع ذوب فلزات اندازه‌گیری نمودند. نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی آن‌ها نشان داد فلزات سنگینی که از رسوبات اتمسفری وارد خاک می‌شوند، به اندازه فلزاتی که منشا پدوژنیک دارند با قدرت جذب نمی‌شوند. همچنین نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که جذب ترجیحی فلزات سنگین وارد شده به خاک از طریق رسوبات اتمسفری در فواصل بین خاکدانه‌ای و سطح خاکدانه‌ها بیش‌تر است. در نتیجه تجمع آن‌ها در قسمت‌هایی که ریشه گیاه نیز بیش‌تر با آن‌ها در تماس است، رخ می‌دهد.

در پژوهش دیگری، ویلک و کائوپنجهوان (۱۹۹۸) توزیع فلزات سنگین وارد شده از رسوبات اتمسفری را در خاکدانه‌ها بررسی کردند. هدف آن‌ها از این مطالعه اثبات این فرضیه بود که فلزات سنگینی که از اتمسفر رسوب می‌کنند به‌صورت ترجیحی در سطح خارجی خاکدانه‌ها جذب و نگهداری می‌شوند. نتایج آزمایش‌ها مشخص کرد که در ابتدا قسمت بیش‌تری از غلظت کل فلزات به‌صورت قابل استفاده گیاه و در بخش خارجی خاکدانه‌ها بود و همچنین فلزات سنگین رسوب کرده، به‌صورت ترجیحی در سطح خاکدانه‌ها جذب می‌شوند ولی پیوندهای تشکیل شده به اندازه پیوندهای تشکیل شده با فلزات وارد شده از راه پدولوژیکی محکم نیست.

ویلک و همکاران (۲۰۰۱) تفاوت غلظت فلزات سنگین در داخل و خارج خاکدانه‌ها و توده خاک‌های مناطق حاره را بررسی کرده و نشان دادند به‌علت تجمع رس در سطح خاکدانه‌های خاک‌های این مناطق غلظت فلزات در بخش خارجی خاکدانه‌ها بسیار بیش‌تر از داخل آن‌ها می‌باشد.

کات و همکاران (۲۰۰۹) با وارد کردن شیب غلظت خاکدانه‌ها در مدل‌های انتقال املاح نشان دادند که با در نظر گرفتن این شیب غلظت، پیش‌بینی مدل‌ها به شرایط طبیعی نزدیک می‌شود. ژنگ و زو (۲۰۱۰) تفاوت غلظت سرب، مس و روی را در داخل و خارج خاکدانه‌های خاک‌های آلوده چین مطالعه نمودند. آن‌ها از ۴ پروفیل با بافت لوم، لوم رسی و رسی نمونه‌برداری کردند. خاکدانه‌ها با

استفاده از روش کایسر به دو بخش داخلی و خارجی تفکیک شدند و در هر بخش مقدار کل فلزات را تعیین کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت این فلزات در خارج خاکدانه بیش‌تر از داخل است. تفاوت غلظت برای هر سه این فلزات با تغییر بافت از رس به لوم رسی و لوم کاهش یافت. همچنین تفاوت غلظت برای سرب بیش‌تر از مس و آن هم بیش‌تر از روی بود که علت این امر تحرک بیش‌تر روی نسبت به مس و سرب در خاک بیان شد.

با توجه به این‌که آلودگی محیط زیست از جمله خاک نگرانی‌های زیادی را سبب شده است، هدف از اجرای این طرح بررسی رفتار روی در خاک به‌عنوان آلاینده محیط زیست است. البته در ایران مشکلات مربوط به آلودگی در نواحی اطراف کارخانجات، معادن و فاضلاب‌های صنعتی و شهری بیش‌تر به چشم می‌خورد زیرا در سایر خاک‌های ایران کمبود روی بیش‌تر مطرح است تا سمیت آن، ولی با توجه به این‌که مناطق آلوده با وجود غلظت‌های بالای فلزات سنگین هم‌چنان زیر کشت قرار می‌گیرند می‌توان با بررسی‌های بیش‌تر برای کاهش آلودگی و حداقل جلوگیری از گسترش آلودگی اقدام کرد. با شناخت نحوه توزیع این عنصر در خاک و مشخص شدن تأثیر عوامل مختلف بر آن، می‌توان در کنترل و رفع آلودگی ناشی از روی موفق‌تر عمل کرد. در این راستا هدف از انجام این پژوهش، مقایسه غلظت روی کل در بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌های خاک‌های آلوده و بررسی تأثیر بافت خاک بر نحوه توزیع روی در این دو بخش بود.

مواد و روش‌ها

خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش از خاک‌های آلوده به روی اطراف کارخانجات استان زنجان انتخاب شد. برای این منظور ۴ پروفیل حفر گردید.

پروفیل‌های ۱ و ۲ در کیلومتر ۱۰ جاده قدیم زنجان تهران، روبروی شرکت ملی سرب و پروفیل ۳ و ۴ در کیلومتر ۱۲ جاده دندی شمال‌شرقی شرکت روی‌سازان و جنوب‌غربی کارخانه ذوب فلزات بود. در همه پروفیل‌ها از ۵ عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰، ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد، همچنین برای بررسی بیش‌تر از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری نیز نمونه‌هایی در فواصل ۰-۴، ۴-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۱۶، ۱۶-۲۰ سانتی‌متری تهیه شد. به این صورت که در هر عمق علاوه بر نمونه‌برداری برای تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، خاکدانه‌ها نیز جدا شده و توسط نیتروژن مایع (N_2) منجمد شدند تا با استفاده از روش معرفی شده توسط کایسر و همکاران (۱۹۹۴) به دو بخش داخلی و خارجی تفکیک شوند.

نمونه‌های خاک برداشت شده از منطقه، پس از انتقال به آزمایشگاه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. خاکدانه‌های منجمد شده نیز به‌صورت زیر به دو قسمت داخلی و خارجی تفکیک شدند در طی آن، ۵۰۰ گرم خاکدانه فریز شده روی الک ۲ میلی‌متری قرار داده شد، سپس الک درون ظرفی که شامل آب مقطر با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بود، قرار گرفت. به‌مدت ۴۰-۱ دقیقه بسته به پایداری خاکدانه‌ها تکان داده شد تا حدود ۳۰ درصد خاکدانه‌ها در ظرف شامل آب جمع شوند. این بخش نشان‌دهنده بخش خارجی خاکدانه‌ها است و خاکدانه‌های به‌جا مانده بر روی الک نشان‌دهنده بخش داخلی خاکدانه‌ها می‌باشند. سپس هر دو قسمت به ظرف دیگری منتقل شده و هوا خشک گردیدند. قسمت داخلی خاکدانه‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. آب موجود در ظرف زیرین در ظرف دیگری نگهداری شده و توسط دستگاه جذب اتمی مقدار روی محلول در آن تعیین شد که به قسمت خارجی خاکدانه‌ها اضافه گردید. در هر بخش غلظت روی کل با اسید نیتریک چهار نرمال (چنگ و همکاران، ۱۹۸۴) و اکسیدهای آهن آزاد با روش مهرا و جکسن (۱۹۶۰) تعیین شد. در نمونه‌های دست‌خورده نیز خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت به روش پیپت (بلک و ایوانس، ۱۹۸۶)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر، ماده آلی به روش والکی و بلک، درصد کربنات کلسیم کل به روش کلسی‌متری (نلسون، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از روش باور (کلوت، ۱۹۸۶)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع مورد سنجش قرار گرفتند.

تجزیه آماری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح ۱ درصد و با نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین با استفاده از فاکتور تجمع EF^۱ تفاوت غلظت بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این فاکتور از تقسیم غلظت روی کل در بخش خارجی بر غلظت روی کل در بخش داخلی به‌دست می‌آید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

خواص فیزیکی و شیمیایی پروفیل خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده است. در جدول ۲ نیز نتایج مربوط به غلظت روی کل در داخل و خارج خاکدانه‌ها در عمق‌های مختلف خاک آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد غلظت روی کل در بخش خارجی خاکدانه‌ها بیش‌تر به‌دست آمد. در پروفیل ۱ و با توجه به مقادیر EF به‌دست آمده، تفاوت غلظت در بخش داخل و خارج خاکدانه‌ها در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری بیش‌تر از عمق‌های پایین است. مقدار EF در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری به کم‌ترین مقدار خود یعنی یک رسید که نشان می‌دهد غلظت در بخش داخلی و خارجی تقریباً با هم برابر است.

در مورد پروفیل ۲ نیز این تفاوت غلظت قابل مشاهده است. با این تفاوت که با توجه به EF این اختلاف غلظت کم است و در طول پروفیل تغییر قابل‌توجهی ندارد. این فاکتور در سطح ۱/۰۳ و در عمق ۱ متری ۱/۰۱ می‌باشد که نشان می‌دهد مقدار روی کل در داخل و خارج خاکدانه‌ها تفاوت زیادی ندارد. در رابطه با پروفیل ۳، نتایج به‌دست آمده بیانگر اختلاف غلظت زیاد روی کل بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌ها است. این اختلاف تا عمق ۶۰ سانتی‌متری قابل ملاحظه است (EF ۱/۱۵ می‌باشد) ولی از ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری کاهش می‌یابد (EF ۱/۰۲ می‌باشد).

در پروفیل چهارم تفاوت غلظت روی کل در بخش خارجی و داخلی خاکدانه‌ها برخلاف سایر پروفیل‌ها با افزایش عمق، افزایش زیادی از خود نشان داد. این تفاوت غلظت در سطح خاک، EF ۱/۱۳ را سبب شد و در عمق ۱ متری به ۱/۲۳ رسید که بیانگر تفاوت غلظت زیاد این فلز در داخل و خارج خاکدانه‌های عمق‌های پایینی این پروفیل است. غلظت روی کل در خاکدانه‌های پروفیل‌های ۳ و ۴ تقریباً نزدیک بوده و با افزایش عمق سیر نزولی پیدا می‌کند. تفاوت غلظت روی و فلزات سنگین در داخل و خارج خاکدانه‌ها می‌تواند به‌علت تفاوت در مقدار جذب‌کننده‌هایی مثل رس، ماده آلی و سزکوئی اکسیدها باشد. اما همان‌طور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد، در تمام پروفیل‌ها مقدار این مواد در بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌ها تقریباً با هم برابر بود و تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اما برخلاف آن‌ها مقدار روی کل در خارج خاکدانه‌ها بیش‌تر است (جدول ۲)، در نتیجه می‌توان گفت تفاوت توزیع فلز روی بین داخل و خارج خاکدانه‌ها به‌علت توزیع مواد جذب‌کننده در خاکدانه‌ها نیست (ژنگ و زو، ۲۰۱۰). آن‌ها برای بررسی علت توزیع فلزات سنگین روی، کادمیوم و سرب در

خاکدانه‌ها، مقدار ماده آلی رس و اکسیدهای آهن آزاد را در داخل و خارج خاکدانه‌ها اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که مقدار این مواد در داخل بیشتر است، اما تفاوت بین داخل و خارج خاکدانه‌ها در حدی نیست که بر توزیع فلزات سنگین تأثیرگذار باشد. علت مقدار کم ماده آلی در خارج خاکدانه‌ها می‌تواند تجزیه بیشتر آن در این بخش باشد، زیرا در معرض تهویه و رطوبت بیشتری قرار می‌گیرد. در رابطه با ذرات رس و اکسیدهای آهن نیز علت این تفاوت را می‌توان شرکت آن‌ها در فرآیندهای تشکیل خاکدانه دانست. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، در پروفیل ۱، با افزایش عمق تفاوت غلظت روی کل بین داخل خاکدانه و خارج خاکدانه‌ها کاهش یافته و در عمق ۱ متری EF برابر ۱ می‌شود و همچنین از سطح به طرف عمق غلظت روی کل در خارج خاکدانه کم می‌شود.

این امر نشان می‌دهد که در سطح خاک مقدار روی بیشتر است که علت آن وارد شدن آن عنصر به خاک از طریق فاضلاب کارخانه است. چنان‌که ویلک و کائوپنجهان در سال ۱۹۹۴ نشان دادند، روی، کادمیوم و سربی که به طرق مصنوعی وارد خاک شده‌اند، تمایل دارند در قسمت خارج خاکدانه‌ها تجمع یابند و با توجه به این‌که با اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و اکسیدهای آهن و منگنز به این نتیجه رسیدند که ظرفیت جذب خارج خاکدانه‌ها کم‌تر از داخل آن‌ها است، علت غلظت زیاد فلزات را در بخش خارجی خاکدانه‌ها جذب ترجیحی در سطح آن‌ها و انتشار کم آن به داخل خاکدانه‌ها عنوان کردند همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، بافت پروفیل ۱ از بالا به پایین سبک‌تر می‌شود و از لوم رسی شنی در سطح به لوم شنی در ۱ متری تبدیل می‌شود. یکی از علت‌های تفاوت غلظت روی در خاک می‌تواند تحرک آن باشد که در مورد خاکدانه‌ها عامل مهم و تأثیرگذار انتشار است. با سبک‌تر شدن بافت خاک میزان انتشار روی از خارج به داخل افزایش می‌یابد، در نتیجه در عمق ۱ متری که بافت سبک‌تر شده است، این تفاوت کاهش می‌یابد (ژنگ و زو، ۲۰۱۰). علت دیگر کاهش EF با عمق این است که فلز روی وارد شده به خاک در بخش‌های سطحی خاک باقی می‌ماند و مقدار بسیار کمی از آن در پروفیل حرکت می‌کند (ویلک و کائوپنجهان، ۱۹۹۷). در سطح خاک نیز، بیش‌ترین قسمت روی وارد شده در سطح خاکدانه نگهداری می‌شود.

در پروفیل ۲ نیز تفاوت غلظت روی بین داخل و خارج خاکدانه‌ها مشاهده می‌شود ولی در بین پروفیل‌ها دارای کم‌ترین EF می‌باشد (جدول ۲)

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پروفیل‌های مطالعه شده.

عمیق (سانتی‌متر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	آهک (درصد)	ماده آلی (درصد)	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	CEC (سانتی‌مول بر کیلوگرم)
۰-۱۰-۱۷	۳۵/۱۵	۱۸/۵۹	۴۶/۸۱	SL	۱۸/۱	۲/۵۱	۰۰/۳	۸۷/۰	۰/۵/۸	۰/۱	۳/۷۱
۱۷-۷۰-۱	۳۳/۷۵	۱۳/۱۱	۱۷/۰۱	TCS	۱۳/۱	۱۵/۱	۰/۵/۳	۱۷/۰	۵/۳/۸	۳/۰	۳/۸/۱
۱-۶-۳	۱۱/۸۸	۱۳/۷۱	۷۳/۳۱	TCS	۸/۱	۳/۵/۱	۳۱/۳	۳۷/۰	۵/۳/۸	۳/۰	۰/۵/۱
۳-۲-۱	۳۱/۸۸	۲۱/۵۱	۳۷/۸۱	TDS	۶/۸/۱	۶/۵/۱	۵۷/۳	۶۶/۰	۰/۳/۸	۵/۰	۵/۳/۱
۲-۰-۲۰	۶۵/۸۶	۸/۷/۱	۱۸/۸۱	TCS	۶/۸/۱	۶/۵/۱	۰/۵/۵	۳۷/۱	۰/۳/۸	۱/۰	۷/۳/۱
پروفیل ۲											
۰-۱۰-۱۷	۷۷/۱۵	۱۸/۷۸	۱۶/۶	SL	۱۸/۱	۲/۵/۱	۳۱/۰/۱	۶۶/۰	۰/۶/۸	۳/۰	۸/۰/۱
۱۷-۷۰-۱	۷۷/۶۵	۲۱/۱۱	۰/۰/۸۱	TCL	۳/۵/۱	۳/۵/۱	۱۸/۳/۱	۳/۸/۱	۵/۵/۸	۱/۰	۶/۶/۱
۱-۶-۳	۰/۰/۵۵	۳۱/۸۱	۳/۸/۱	TDS	۷/۳/۱	۶/۵/۱	۸۱/۵/۱	۲/۱	۵/۵/۸	۰/۱/۱	۱۶/۳/۱
۳-۲-۱	۶/۷/۵	۵/۵/۹/۱	۸/۵/۱۱	TDS	۱۳/۱	۷/۵/۱	۶۳/۶	۳/۵/۱	۵/۳/۸	۳/۰	۹/۱/۱
۲-۰-۲۰	۸۱/۸۸	۹/۳/۶	۳/۸/۸۱	SCL	۳/۱	۲/۵/۱	۱۳/۸	۱۶/۱	۷/۳/۸	۳/۰	۱۱/۷/۱
پروفیل ۱											

ادامہ جدول ۱ -

عمیق (ساتھی متر)	شن (درصد)	سیٹ (درصد)	رس (درصد)	بافت	جرم مخصوص ظاہری (گرم بر ساتھی متر مکعب)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر ساتھی متر مکعب)	آہک (درصد)	مادہ آلی (درصد)	pH	EC عصا رہ اشباع (دسی زمینس بر مش)	CEC (ساتھی مول بر کیلو گرم)
۰۰-۱۰-۱۰۰	۵۸/۴۳	۳۱/۳۱	۱۵/۲۳	SL	۵/۱	۲/۵۲	۱۸/۷۸	۳۳/۰	۵/۸	۰/۵۱	۱۶/۱۲
۰۷-۱۰-۰	۳۳/۶۳	۳۱/۳۱	۳/۳۱	SCL	۵/۱	۲/۵۲	۳۰/۵۱	۶۳/۰	۵/۸	۰/۳۱	۱۶/۱۲
۰۰-۱۰-۴	۸۷/۱۳	۱۵/۱۱	۱۱/۳۱	TCL	۱۵/۱	۷/۵۱	۰۰/۳۱	۳۵/۰	۰/۸	۱/۳۰	۱۷/۷۳
۰۳-۰۰-۱	۶۸/۰۳	۵۵/۳۱	۳۵/۵۱	TCS	۵/۱	۷/۵۱	۸۷/۰۱	۸۶/۰	۵/۸	۵/۳۰	۱۵/۶۵
۰۰-۲۰-۰	۸۰/۱۵	۱۵/۲۱	۲۶/۲	TCS	۱۳/۱	۳۵/۱	۵۳/۵	۱۳/۱	۵/۸	۷/۰	۱۳/۳۱
پروفیل ۳											
۰۰-۱۰-۱۰۰	۶۵/۵۳	۱۳/۷۸	۰۰/۳۱	SL	۸/۱	۲/۵۲	۱۸/۷۸	۵۲/۰	۰/۸	۷/۵۰	۱۶/۱۲
۰۷-۱۰-۰	۱۵/۲۳	۳۱/۳۱	۸/۵۱	SCL	۱۳/۱	۲/۵۲	۳۰/۵۱	۶۳/۰	۵/۸	۳/۰	۱۵/۶۵
۰۰-۱۰-۴	۴۲/۱۲	۵۵/۳۱	۳۵/۶۱	SCL	۷/۱	۷/۵۱	۰۰/۵۱	۷/۰	۵/۸	۳/۰	۱۷/۷۳
۰۰-۲۰-۰	۳۷/۶۱	۷۶/۳۱	۱۶/۳۱	SCL	۱۳/۱	۲/۵۲	۳۲/۵۰	۸۶/۰	۵/۸	۶/۰	۱۷/۷۳
۰۰-۲۰-۰	۳۸/۶۱	۲۵/۳۱	۷۵/۵۱	SCL	۱۳/۱	۲/۵۲	۳۶/۶۱	۷۴/۰	۰/۸	۱۶/۰	۱۹/۱۲
پروفیل ۴											
۰۰-۱۰-۱۰۰	۵۸/۴۳	۳۱/۳۱	۱۵/۲۳	SL	۵/۱	۲/۵۲	۱۸/۷۸	۳۳/۰	۵/۸	۰/۵۱	۱۶/۱۲
۰۷-۱۰-۰	۳۳/۶۳	۳۱/۳۱	۳/۳۱	SCL	۵/۱	۲/۵۲	۳۰/۵۱	۶۳/۰	۵/۸	۰/۳۱	۱۶/۱۲
۰۰-۱۰-۴	۸۷/۱۳	۱۵/۱۱	۱۱/۳۱	TCL	۱۵/۱	۷/۵۱	۰۰/۳۱	۳۵/۰	۰/۸	۱/۳۰	۱۷/۷۳
۰۳-۰۰-۱	۶۸/۰۳	۵۵/۳۱	۳۵/۵۱	TCS	۵/۱	۷/۵۱	۸۷/۰۱	۸۶/۰	۵/۸	۵/۳۰	۱۵/۶۵
۰۰-۲۰-۰	۸۰/۱۵	۱۵/۲۱	۲۶/۲	TCS	۱۳/۱	۳۵/۱	۵۳/۵	۱۳/۱	۵/۸	۷/۰	۱۳/۳۱

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۲) ۱۳۹۳

جدول ۲- غلظت روی کل (بسی گرم بر کیلوگرم) در داخل و خارج خاکدانه‌ها.

بروزنیل سبب (ماتریز)	۱		۲		۳		۴	
	داخل	خارج	داخل	خارج	داخل	خارج	داخل	خارج
۱-۲۰	۴۶۸۸۵	۴۹۹۸۵	۷۸۹۶۱	۷۹۹۸۷	۷۷۰۲۰	۸۷۹۸۷	۵۵۰۵۰	۴۸۶۰۰
۲۰-۴۰	۳۸۱۳۳	۳۱۸۳۴	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۰-۶۰	۳۴۸۷۷	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۶۰-۸۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۸۰-۱۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۱۰۰-۱۲۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۱۲۰-۱۴۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۱۴۰-۱۶۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۱۶۰-۱۸۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۱۸۰-۲۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۲۰۰-۲۲۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۲۲۰-۲۴۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۲۴۰-۲۶۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۲۶۰-۲۸۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۲۸۰-۳۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۳۰۰-۳۲۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۳۲۰-۳۴۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۳۴۰-۳۶۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۳۶۰-۳۸۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۳۸۰-۴۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۰۰-۴۲۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۲۰-۴۴۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۴۰-۴۶۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۶۰-۴۸۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳
۴۸۰-۵۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳

این پروفیل سبک‌ترین بافت را نیز در مقایسه با سایرین دارد و همان‌طور که مشخص است مقدار EF در این پروفیل در سطح ۱/۰۳ و در عمق ۱ متری ۱/۰۱ است و نشان می‌دهد که بافت خاک از سطح تا عمق ۱ متری تغییر زیادی نداشته است. عامل تأثیرگذار همان جذب و نگهداری روی در سطح خاک و همچنین جذب ترجیحی آن در سطح خاکدانه‌ها است. زیرا همان‌طور که نتایج ویلک و کائوپنچوهان نشان داد در بسیاری از خاک‌های مناطق معتدل هوادیدگی و شستشوی سطح خاکدانه‌ها و فواصل بین خاکدانه‌ای سبب تخلیه فلزات سنگین بومی آن‌ها می‌شود و فلزات وارد شده از راه‌های مصنوعی مثل رسوبات اتمسفری به صورت ترجیحی جذب سطوح خارجی خاکدانه‌ها و فضای بین خاکدانه‌ای می‌گردند. پروفیل سوم در سطح خاک بیش‌ترین EF را در مقایسه با ۳ پروفیل دیگر دارد که با افزایش عمق مقدار آن کم می‌شود. این امر به علت تغییر بافت از لوم رسی به لوم در ۶۰ سانتی‌متری خاک است. EF تا ۶۰ سانتی‌متری ۱/۱۴ و ۱/۱۵ بود و در عمق‌های پایینی به ۱/۰۱ و ۱/۰۲ رسید که به خوبی تأثیر انتشار در اختلاف غلظت بین داخل و خارج خاکدانه‌ها را در بافت‌های مختلف مشخص می‌کند.

پروفیل چهارم برعکس تمام پروفیل‌ها با افزایش عمق تفاوت غلظت بیش‌تری را نشان می‌دهد. EF برابر با ۱/۲۳ در عمق ۱ متری مقدار قابل‌توجهی است. در این پروفیل بافت سطح خاک لوم رسی شنی می‌باشد که در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری، لوم رسی و در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری، رسی می‌شود. از عمق ۶۰ سانتی‌متری به پایین میزان EF کاهش می‌یابد، با وجود این که بافت سنگین‌تر شده است، علت این امر تحرک کم روی وارد شده به خاک است که مقدار کمی از آن به عمق‌های پروفیل رسیده است. تأثیر انتشار در نحوه توزیع روی در خاکدانه‌ها توسط سافرونوف و همکاران (۲۰۰۵) بررسی شد. آن‌ها چنین بیان کرد که فلزات سنگین وارد شده به خاک در سطح خارجی خاکدانه‌ها تجمع یافته و سبب ایجاد شیب غلظت در مقیاس‌های کوچک می‌گردند.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۲) ۱۳۹۳

جدول ۳- مقدار رس، ماده آلی و اکسیدهای آمون آزاد (گرم بر کیلوگرم) در داخل و خارج خاکدانه‌ها.

عمق (سانتی‌متر)	۱		۲		۳		۴	
	خارج	داخل	خارج	داخل	خارج	داخل	خارج	داخل
پروفیل								
۰-۱۰-۷	۸۱۰/±۳۵۷/۱	۳۳/±۳۵۷/۱	۱۱۰/±۳۸۱/۳	۳۰/±۳۸۱/۳	۰۲/±۳۵۷/۳	۵۰/±۳۸۱/۳	۴۳/±۳۰۰/۳	۵۳/±۳۵۷/۳
۰۷-۰۱۶	۶۳/±۳۳۱/۱	۱۳/±۳۳۱/۱	۷۱/±۳۰۰/۲	۱۱/±۳۰۰/۲	۱۳/±۳۷۱/۲	۱۳/±۳۷۱/۲	۶۸/±۳۷۱/۲	۳۰/±۳۳۱/۲
۰۱-۰۳	۳۰/±۳۵۰/۰	۲۰/±۳۵۰/۰	۱۳/±۳۸۱/۳	۱۱/±۳۸۱/۳	۳۱/±۳۵۷/۳	۱۸/±۳۸۱/۳	۲۰/±۳۸۱/۳	۳/±۳۳۱/۳
۰۳-۰۲	۶۰/±۳۸۰/۰	۲۰/±۳۸۰/۰	۱۳/±۳۵۷/۱	۱۳/±۳۵۷/۱	۵۰/±۳۸۱/۳	۱۳/±۳۸۱/۳	۵۰/±۳۸۱/۳	۱۱/±۳۸۱/۳
۰۲-۰۰	۷۰/±۳۳۱/۰	۳۰/±۳۳۱/۰	۸۲/±۳۵۰/۱	۵۲/±۳۵۰/۱	۷۲/±۳۵۷/۱	۰۳/±۳۷۱/۱	۳۱/±۳۵۰/۱	۳۱/±۳۵۰/۱
۰۰۱-۰۷	۳۵/±۳۸۷/۷	۶۱/±۳۷۰/۰	۸۲/±۳۸۱/۳	۳۰/±۳۵۷/۱	۱۳/±۳۳۱/۳	۴۳/±۳۷۱/۳	۵۰/±۳۷۰/۳	۵۰/±۳۷۰/۳
۰۷-۰۱۶	۵۲/±۳۵۰/۰	۳۷/±۳۳۱/۱	۳۸/±۳۸۱/۳	۷۵/±۳۳۱/۳	۵۰/±۳۸۱/۳	۲۰/±۳۷۱/۳	۱۵/±۳۸۱/۳	۷۳/±۳۸۱/۳
۰۱-۰۳	۳۲/±۳۳۱/۳	۷۵/±۳۳۱/۱	۸۲/±۳۵۰/۱	۵۳/±۳۳۱/۳	۳۳/±۳۳۱/۳	۱۳/±۳۸۱/۳	۳۲/±۳۳۱/۳	۰۵/±۳۵۰/۳
۰۳-۰۲	۲۰/±۳۷۱/۰	۳۲/±۳۸۱/۱	۱۳/±۳۳۱/۳	۲۸/±۳۷۰/۰	۳۰/±۳۷۱/۳	۵۲/±۳۳۱/۳	۳۲/±۳۳۱/۳	۷۵/±۳۳۱/۳
۰۲-۰۰	۷۷/±۳۵۰/۰	۴۵/±۳۰/۸	۵۲/±۳۵۰/۱	۷۳/±۳۸۱/۳	۵۲/±۳۳۱/۳	۳۷/±۳۸۱/۳	۵۰/±۳۸۱/۳	۰۲/±۳۳۱/۳
ماده آلی								
۰۰۱-۰۷	۷۳/±۳۵۷/۱	۵۷/±۳۵۷/۱	۱۳/±۳۳۱/۳	۱۳/±۳۳۱/۳	۰۵/±۳۸۱/۳	۳۸/±۳۸۱/۳	۳۸/±۳۸۱/۳	۵۵/±۳۵۷/۳
۰۷-۰۱۶	۸۱/±۳۸۱/۱	۸۱/±۳۸۱/۱	۵۷/±۳۷۱/۳	۵۷/±۳۷۱/۳	۸۱/±۳۸۱/۱	۸۷/±۳۸۱/۱	۸۷/±۳۸۱/۱	۳۶/±۳۸۱/۱
۰۱-۰۳	۲۷/±۳۳۱/۳	۰۳/±۳۳۱/۳	۳۳/±۳۳۱/۳	۳۳/±۳۳۱/۳	۵۷/±۳۷۱/۳	۸۷/±۳۸۱/۱	۱/±۳۳۱/۳	۳۱/±۳۸۱/۱
۰۳-۰۲	۳۵/±۳۸۱/۱	۵۵/±۳۸۱/۱	۱۵/±۳۳۱/۳	۸۱/±۳۸۱/۳	۳۵/±۳۸۱/۱	۳۵/±۳۸۱/۱	۱۷/±۳۵۰/۱	۱۶/±۳۵۰/۱
۰۲-۰۰	۳۱/±۳۳۱/۳	۳۱/±۳۳۱/۳	۱۱/±۳۳۱/۳	۸۱/±۳۳۱/۳	۱۱/±۳۳۱/۳	۱۱/±۳۳۱/۳	۳۱/±۳۳۱/۳	۱۵/±۳۳۱/۳

همان‌طورکه در جدول ۴ مشخص است تفاوت غلظت روی کل بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌های هر ۴ پروفیل تا عمق ۶۰ سانتی‌متری معنی‌دار است، ولی در عمق‌های ۸۰-۱۰۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری تفاوت غلظت بین دو بخش داخلی و خارجی معنی‌دار نیست. در میان پروفیل‌های مطالعه شده، پروفیل چهارم به‌علت بافت سنگین‌تر بیش‌ترین تفاوت غلظت را نشان داد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های ویلک و کائوپن‌جووان (۱۹۹۷ و ۱۹۹۸) مطابقت دارد. نتایج آن‌ها اختلاف غلظت بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌ها را برای تمام فلزات سنگین نشان داد، با این تفاوت که فلزات بومی مثل آلومینیوم در بخش داخلی تجمع‌یافته بود و فلزات وارد شده از طریق رسوبات اتمسفری کارخانه‌های اطراف مانند روی، کادمیوم و سرب در خارج خاکدانه‌ها بیش‌ترین غلظت را داشتند.

جدول ۴- اثر متقابل تفاوت غلظت روی کل، پروفیل و عمق ۰-۱۰۰ سانتی‌متری.

	عمق					پروفیل
	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴-۶۰	۲-۴۰	۰-۲۰	
۷۰/۶۹ ^C	۲/۱۰ ^P	۹/۷۵ ^M	۱۶/۱۲ ^L	۲۳/۰۰ ^J	۳۹/۰۰ ^H	۱
۱۲/۱۰ ^D	۴/۰۰ ^O	۶/۵۲ ^N	۲۴/۵۰ ^I	۶/۸۷ ^N	۱۹/۰۵ ^K	۲
۴۱/۶۰ ^B	۵/۸۸ ^N	۳/۸۷ ^O	۳۷/۷۵ ^H	۵۱/۰۰ ^D	۱۰۹/۵۰ ^A	۳
۵۱/۹۸ ^A	۶۷/۳۸ ^E	۴۶/۶۳ ^F	۵۷/۸۷ ^C	۴۲/۵۰ ^G	۶۵/۵۰ ^B	۴
	۱۵/۱۷ ^D	۱۶/۴۳ ^D	۳۱/۱۷ ^C	۳۳/۵۶ ^B	۵۸/۸۲ ^A	

در هر ستون میانگین دارای حداقل یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.

در نهایت نتیجه‌گیری نمودند که با توجه به بافت سبک که در تمام نمونه‌ها وجود داشت، علت این تفاوت غلظت، جذب ترجیحی فلزات وارد شده به خاک در سطح خارجی خاکدانه‌ها است که به‌علت شرایط مناسب هوادیدگی در سطح خاکدانه‌ها به‌وجود آمده است. با توجه به این‌که در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری پروفیل‌ها بافت ثابت بوده و تغییری ندارد، تغییرات EF بیانگر وارد شدن روی به خاک و جذب ترجیحی در سطح خاکدانه‌ها است.

در پروفیل ۱ که دارای بافت لوم رسی شنی است، غلظت روی کل در بخش خارجی خاکدانه‌ها بیش‌تر از بخش داخلی آن است و EF ۱/۱۵ به‌خوبی این مسأله را نشان می‌دهد. EF با افزایش عمق کم می‌شود ولی نکته قابل‌توجه این است که در عمق ۱۶-۲۰ سانتی‌متری هنوز هم تفاوت غلظت بین بخش داخلی و خارجی مشاهده می‌شود (جدول ۲).

این امر نشان می‌دهد که در این پروفیل روی از سطح خاک وارد شده و در بخش خارجی خاکدانه‌ها تجمع یافته است. در پروفیل دوم هم تفاوت غلظت، هر چند به مقدار کم، وجود دارد که احتمالاً به‌علت بافت سبک‌تری است که دارد. در پروفیل سوم، همانند پروفیل ۱ تفاوت غلظت قابل‌توجه است و EF برابر با ۱/۱۶ بیش‌ترین EF در سطح خاک در بین پروفیل‌ها است که در ۱۶-۲۰ سانتی‌متری، ۱/۱۱ می‌شود (جدول ۲) این عمق یعنی ۲۰-۰ سانتی‌متری دارای بافت لوم رسی است که در مقایسه با سایر پروفیل‌ها بافت سنگین‌تری می‌باشد. در این پروفیل نیز ورود روی از سطح خاک و تجمع در سطح خاکدانه‌ها کاملاً مشخص است. پروفیل ۴ مانند پروفیل اول دارای بافت لوم رسی شنی می‌باشد و با این‌که مقدار روی کل آن از پروفیل ۱ کم‌تر است ولی در ۴-۰ سانتی‌متری مقدار EF برابر ۱/۱۵ دارد. در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نیز تفاوت غلظت روی کل بین داخل و خارج خاکدانه‌ها، در تمام پروفیل‌ها در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد، به‌جز پروفیل ۱ که در ۱۶-۲۰ و پروفیل ۲ در ۱۶-۱۲ و ۱۶-۲۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌دار نبود. اختلاف غلظت بین عمق‌های مختلف نیز معنی‌دار بوده و در بین پروفیل‌های بررسی شده، پروفیل سوم بیش‌ترین تفاوت غلظت را در خاکدانه‌ها دارد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر متقابل تفاوت غلظت روی کل، پروفیل و عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری.

عمق	پروفیل					
	۱۶-۲۰	۱۲-۱۶	۸-۱۲	۴-۸	۰-۴	
۱	۵۱/۴۶ ^B	۲۶/۴۵ ^N	۲۸/۶۶ ^M	۳۱/۰۴ ^L	۵۴/۶۳ ^H	۱۱۸/۹۵ ^D
۲	۲۸/۳۵ ^C	۶۳۷ ^Q	۷/۲۵ ^Q	۱۷/۶۳ ^O	۳۸/۴۵ ^J	۷۳/۵۵ ^G
۳	۱۱۸/۲۲ ^A	۳۶/۷۵ ^K	۸۲/۴۵ ^E	۱۲۴/۶۳ ^C	۱۵۱/۳۸ ^B	۱۹۸/۱ ^A
۴	۳۶/۱۹ ^C	۹/۴۲ ^P	۹/۶۵ ^P	۳۱/۸ ^L	۵۲/۶۳ ^I	۷۹/۰۵ ^F
	۱۹/۲۸ ^E	۳۱/۶ ^D	۵۰/۸۴ ^C	۷۳/۷۵ ^B	۱۱۷/۳ ^A	

در هر ستون میانگین دارای حداقل یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.

به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان داد که غلظت روی کل در بخش خارجی خاکدانه‌ها در هر ۴ پروفیل مطالعه شده بیش‌تر از بخش داخلی بود. مقدار EF نیز در تمام موارد بزرگ‌تر از ۱ بود که بیانگر غلظت زیاد روی در خارج خاکدانه‌ها است. این تفاوت غلظت روی کل، در سطح پروفیل بیش‌تر بوده و با افزایش عمق کاهش یافت. علت این امر وارد شدن روی از سطح به خاک است. غلظت زیاد روی در بخش خارجی خاکدانه‌ها به‌دلیل جذب ترجیحی در سطح خاکدانه است و همچنین انتشار و تحرک روی نیز بر تجمع روی در بخش خارجی خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد. در هر ۴ پروفیل بررسی شده با سبک‌تر شدن بافت، اختلاف غلظت بین بخش داخلی و خارجی کاهش یافت که به‌علت افزایش میزان انتشار در بافت‌های سبک‌تر است. تفاوت غلظت روی کل بین بخش داخلی و خارجی خاکدانه‌های بررسی شده به‌صورت لوم رسی < لوم رسی شنی < لومی < لوم شنی بود.

منابع

1. Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soil. John Wiley and Sons New York, 553p.
2. Black, C.A., and Evans, D.D. 1986. Methods of soil analysis. Part 1 and 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
3. Bundt, M., Kretzschmar, S., Zech, W., and Wilcke, W. 1997. Seasonal redistribution of manganese in soil aggregates of a Costa Rican coffee field. Soil Science. 162: 641-647.
4. Camobreco, V.J., Richards, B.K., Steenhuis, T.S., Peverly, J.H., and McBride, M.B. 2010. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. Soil Science. 161: 740-750.
5. Chang, A.C., Warneke, J.E., Page, A.L., and Lund, L.J. 1984. Accumulation of heavy metals in sewage sludge treated soils. J. Environ. Qual. 13: 87-91.
6. Cote, C.M., Bristow, K.L., and Ross, P.J. 2009. Quantifying the influence of intra aggregate concentration gradients on solute transport. Soil Sci. Soc. Amer. J. 63: 759-756.
7. Holdgate, M.W. 1979. A perspective of environmental pollution. Black and Son Ltd, London. 279p.
8. Kaysar, A.T.r., Wilcke, W., Kaupenjohann, M., and Joslin, J.D. 1994. Small scale heterogeneity of soil chemical properties. 1. A rapid technique for aggregate fractionation. Z. Pflanzenrenahr. Bodenk. 157: 453-458.
9. Klute, A. 1986. Methods of soil Analysis. Part 2. Chemical and biochemical methods. Agronomy No 9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of American Madison, Wisconsin, USA, 498p.
10. Mehra, O.P., and Jackson, M.A. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium carbonate. 7th Conf. Clays and clay minerals. Pp: 317-327.

11. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: AX. Page (ED), Methods of soil analysis. Part 2. American society of agronomy. Inc. Soil Science society of America. Madison, Wisconsin, USA, 677p.
12. Safronov, G., Kaupenjohann, M., and Fokin, A.D. 2005. Heavy metal diffusion in repacked soils studied by isotopic labling. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 35p.
13. Wilcke, W., and Kaupenjohann, M. 1994. Small scale heterogeneity of soil chemical properties: II. Fractions of aluminium and heavy metals. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 157: 459-465.
14. Wilcke, W., and Kaupenjohann, M. 1997. Differences in concentrations and fractions of aluminium and heavy metals between aggregate interior and exterior. *Soil Science.* 162: 323.
15. Wilcke, W., Mosbach, J., Kobza, J., and Zech, W. 1998. Distribution of Al and heavy metals in bulk soil and aggregates at three sites contaminated by the emissions of a central Slovak Al smelter. *Water, Air, Soil Pollution.* 160: 389-402.
16. Wilcke, W., and Kaupenjohann, M. 1998. Heavy metals distribution between soil aggregate interior and surface fraction along gradients of deposition from atmosphere. *Geoderma.* 83: 55-66.
17. Wilcke, W., Kretschmar, S., Bundt, M., and Zech, W. 2001. Metal concentrations in aggregate interior, exterior, whole aggregates and bulk of Costa Rican soils. *Soil Soc. Amer. J.* 63: 1244-1249.
18. Wild, A. 1993. *Soil and the environment.* Cambridge University Press, 287p.
19. Zhang, M.K., and Xu, J.M. 2010. Difference of Lead, Copper and Zinc concentrations between interiors and exteriors of peds in some contaminated soils. *Chemosphere.* 50: 733-739.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(2), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigating zinc distribution in aggregates interior and exteriors of different soils

***E. Entezami¹, M. Shorafa² and Gh.R. Savaghebi Firoozabadi³**

¹M.Sc. Graduate., Dept. of Physics, Tehran University,

²Assistant Prof., Dept. of Soil Science Engineering, Tehran University,

³Professor, Dept. of Soil Science Engineering, Tehran University

Received: 06/02/2010; Accepted: 02/13/2013

Abstract

Soil chemical properties may vary from one point to another even in small scale. One-of the major reasons for this small-scale heterogeneity is aggregation of the soil. This study was conducted to compare zinc concentration between aggregate exteriors and interiors of some contaminated soils. Aggregates were collected from 5 depths of 4 soil profiles with different texture and were separated mechanically into exterior and interior fractions. The results showed that there were no significant difference between the amounts of all metal sorbents (clay, organic matter and free iron oxides) in the exterior and the interior. Total zinc concentration was measured for exterior and interior parts of aggregates. The total concentration of zinc was higher in the exterior than in the interior part of aggregates and difference of mean concentration between these two parts was significant at 0.01. The difference of zinc concentration between the interior and exterior decreased in order of clay loam > sandy clay loam > loam > sandy loam. Concentration of zinc in different depths of soil was significant at 0.01.

Keywords: Aggregate exterior, Aggregate interior, Polluted soil, zinc

* Corresponding Author; Email: elham.ent@gmail.com

