

## اثر اگزالیک اسید و ورمی کمپوست بر انتقال کلوئیدی سرب در دو نوع بافت خاک

حسین شیرانی، حانیه گله‌داری و سمیه صدر<sup>1</sup>

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ [shirani@vru.ac.ir](mailto:shirani@vru.ac.ir)

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ [galedarih@yahoo.com](mailto:galedarih@yahoo.com)

استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور استان کرمان، مرکز رفسنجان؛ [2716sadr@gmail.com](mailto:2716sadr@gmail.com)

دریافت: 99/8/12 و پذیرش: 1400/4/20

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی انتقال سرب توسط کلوئیدها در دو خاک با بافت‌های لوم شنی و لوم رسی تحت تیمارهای ورمی‌کمپوست و اسید آلی انجام گرفت. این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. این آزمایش با سه فاکتور شامل بافت خاک در دو سطح (لوم شنی و لوم رسی)، ماده‌ی افزودنی در پنج سطح (سطوح 50 و 1000 میکرومولار برای اگزالیک اسید، 1% و 2% وزنی برای ورمی‌کمپوست، و یک سطح صفر به‌عنوان شاهد) و مقدار آب آب‌شویی در 10 سطح (10 حجم منفذی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. ستون‌های خاک از جنس PVC با قطر داخلی 15 و ارتفاع 25 سانتی‌متر تهیه شدند و تیمارها به آن‌ها اضافه شد. آب‌شویی بر اساس اندازه‌گیری مکش خاک صورت گرفت. نتایج نشان داد در خاک لوم رسی با کاربرد ورمی‌کمپوست آب‌شویی کلوئید از خاک افزایش و سرب خروجی کاهش یافت، افزودن اسید آلی موجب افزایش آب‌شویی کلوئید از خاک شد البته تیمار 50 میکرومولار اسید آلی موجب کاهش معنی‌دار کلوئید خروجی نسبت به تیمار شاهد و تیمار 1000 میکرومولار اسید آلی شد، کم‌ترین خروج سرب در تیمار شاهد رخ داد و با افزایش غلظت اسید مقدار سرب خروجی ناشی از آب‌شویی افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین سه سطح از نظر خروج سرب وجود نداشت. در خاک لوم شنی بیش‌ترین میزان خروج کلوئید مربوط به تیمار شاهد است و افزودن ورمی‌کمپوست به میزان قابل توجهی از خروج کلوئید از خاک جلوگیری کرد که با روند خروج سرب از خاک مطابقت داشت. افزودن اسید آلی نیز موجب کاهش خروج کلوئید شد و بیش‌ترین میزان کلوئید خروجی در تیمار شاهد دیده شد که با روند خروج سرب از خاک مطابقت داشت. علاوه بر این، رابطه‌ی بین سرب و کلوئید خروجی در خاک لوم رسی معنی‌دار نشد اما در خاک لوم شنی معنی‌دار شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حرکت سرب به صورت محلول در خاک ریز یافت بسیار ناچیز و کم اهمیت است، اما با جذب به سطوح کلوئیدها، حرکت آن همراه با ذرات کلوئیدی حائز اهمیت بوده و بدین صورت می‌تواند موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد.

واژه‌های کلیدی: آب‌شویی، حجم منفذی، رس مونت‌موریلونیت، جذب کلوئیدی سرب، سرب محلول

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه پیام نور مرکز رفسنجان، گروه کشاورزی

## مقدمه

مانند برخی دیگر از فلزات سنگین توسط کلوئیدها جذب سطحی شده و همراه با آنها به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند (گوناریس، 1993؛ بائون و کریستنسن، 2004). کلوئیدها در محیط‌های طبیعی شامل سیلیکات‌های رسی، مواد آلی، متابولیت‌های میکروبی، اکسیدهای آهن و آلومینوم و رسوبات معدنی هستند (مکارتی و همکاران، 1989).

از تجزیه مواد آلی، متابولیت‌های میکروبی و ترشحات ریشه گیاهان و قارچ‌ها، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم (اسیدهای کربوکسیلیک) حاصل می‌شود. از جمله این اسیدها در خاک اگزالیک اسید است که به میزان بیش‌تری نسبت به سایر اسیدها در خاک وجود دارد و بر حرکت عناصر در خاک تأثیر می‌گذارد. این اسیدها می‌توانند از طریق هم‌آوری گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل با کاتیون‌های فلزی در خاک، بر وضعیت انتقال این عناصر در خاک اثر بگذارند (استروبل، 2001). با توجه به نقش مهم کلوئیدها در انتقال آلاینده‌ها در خاک و نظر به اینکه مطالعات در خصوص اثر ترکیباتی مانند اسیدهای آلی بر انتقال کلوئیدها و سرب چندان زیاد نیست، انجام پژوهش‌هایی بر روی انتقال کلوئیدها در خاک تحت تیمارهای مختلف مفید به نظر می‌رسد. از آنجا که ورمی‌کمپوست به عنوان یک اصلاح‌کننده و یک کود آلی بیولوژیکی، خاک را با مواد مغذی غنی می‌کند و می‌تواند با تغییر تخلخل و تقسیم منافذ در نتیجه افزایش کربن آلی، انتقال کلوئیدی درون خاک را اصلاح کند (لنارتز و همکاران، 2007) لذا در این پژوهش، به بررسی اثر ورمی‌کمپوست و اگزالیک اسید بر انتقال کلوئیدی سرب در دو نوع خاک ریزبافت و درشت‌بافت در مقادیر آب‌شویی یا حجم‌های منفذی<sup>2</sup> مختلف پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو نوع خاک با بافت لوم شنی (شهرستان ارزوئیه، منطقه‌ی دولت‌آباد) و لوم رسی (از شهرستان بافت، منطقه‌ی حسن‌آباد) در استان کرمان انجام گرفت. خاک‌ها از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری تهیه شد و پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول 1).

یکی از شناخته شده‌ترین راه‌های آب‌شویی آلاینده‌های با قدرت جذب زیاد مانند حشره‌کش‌ها (اسپاراگو و همکاران، 2000؛ بارتون و کاراتاناسیس، 2003)، فلزهای سنگین (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) (کی و همکاران، 2014؛ لی و همکاران، 2019؛ وان و همکاران، 2019) و رادیو نوکلیدها (Cs, Pu, Am) (کی و همکاران، 2014)، انتقال آن‌ها توسط کلوئیدها است. فهم حرکت کلوئیدها برای دانستن مهاجرت آلاینده‌ها در خاک ضروری است. کلوئیدها ذراتی با قطر مؤثر 1 نانومتر تا 10 میکرومتر هستند (ذنوویو و همکاران، 2004؛ ین و همکاران، 2010) که حد پایینی آن مربوط به ذرات کمی بزرگ‌تر از ذرات درشت محلول و حد بالایی آن برابر قطر ذرات معلق است که در برابر ته‌نشینی در آب مقاومت می‌کنند (ذنوویو و همکاران، 2004). با توجه به سطح ویژه‌ی زیاد کلوئیدها، آلاینده‌های با تمایل جذب بالا به فاز جامد، می‌توانند به آنها متصل شوند. بنابراین کلوئیدها می‌توانند به‌عنوان عاملی برای انتقال آلاینده‌ها در محیط‌های متخلخل محسوب شوند (پائولووسکا، 2017). این پدیده، با نام "انتقال کلوئیدی تسهیل شونده‌ی"<sup>1</sup> آلاینده‌ها شناخته می‌شود.

ابقاء و انتقال کلوئیدی در خاک وابسته به عوامل متعددی از جمله نوع ذرات کلوئیدی، اندازه و توزیع شکل هندسی و پیوستگی سیستم منفذی فعال، شیمی محلول خاک، رطوبت و دمای خاک است (لئو و همکاران، 2018) همچنین، افزایش سرعت آب منفذی، موجب افزایش تنش برشی جریان و افزایش تحرک کلوئیدها می‌شود. پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که منافذ درشت ساختمانی می‌توانند مسیرهای جریان ترجیحی را برای آب و کلوئیدهای معلق در آن فراهم کنند (کاموبرکو و همکاران، 1996)

سرب یک فلز سنگین و سمی است که به‌دلیل تأثیر آن بر سلامت انسان و محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. شسته شدن سرب از خاک و ورود آن به آب‌های زیرزمینی، خطرات بالقوه‌ای را بر اکوسیستم‌ها و محیط زیست تحمیل می‌کند. بنابراین درک وضعیت تحرک سرب در خاک‌ها مهم است. معمولاً تصور می‌شود که تحرک سرب به‌دلیل حلالیت کم و پیوند آن با ذرات در محیط خاک کم است. با این حال مطالعات متعددی نشان می‌دهد که کلوئیدها می‌توانند تحرک سرب را در خاک افزایش دهند (ین و همکاران، 2010). این عنصر

<sup>2</sup> pore volume<sup>1</sup> Colloid-facilitated transport of contaminants

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده (پیش از شروع آزمایش)

منبع	لوم رسی	لوم شنی	روش اندازه‌گیری	خصوصیات
	30	10		رس (درصد)
(Bouyoucos, 1951)	40	4	هیدرومتر	سیلت (درصد)
	30	86		شن (درصد)
(Clark, 1965)	21	17/5	خنثی سازی با HCl	کربنات کلسیم معادل (درصد)
(Rhoades, 1996)	1/7	1/1	EC متر <sup>1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
	1/2	1/3	سیلندر	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
(Thomas, 1996)	8	7/8	pH متر <sup>2</sup>	pH
(Chapman, 1965)	33/5	23/4	جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)
(Walkley and Black, 1934)	0/7	0/5	هضم تر	درصد ماده آلی

1. مدل "Metrohm AG Herisus, Switzerland Ohm-644" و 2. مدل "691, M0065trohm AG Herisus, Switzerland"

### آماده‌سازی ستون‌های خاک

تأثیر تیمارها بر خواص خاک بهتر اعمال شود. پس از پایان دوره استراحت ستونها، سوسپانسیون کلونید با حجم 0/1 حجم منفذی به سطح خاک خشک افزوده شد.

برای تهیه سوسپانسیون کلونید محلولی حاوی 100 میلی‌گرم بر لیتر سرب از منبع نمک نیترات سرب ساخته شد. سپس به‌ازای هر کیلوگرم خاک، 300 میلی‌گرم کلونید (رس مونت‌موریلونیت) به محلول اضافه و برای مدت 24 ساعت و با سرعت 150 دور بر دقیقه تکان داده شد (تانگ و ویسبرود، 2009). مونت‌موریلونیت یک کانی رسی فیلوسیلیکات از گروه اسمکتیت‌ها است که دارای شکل بشقابی با میانگین قطری نزدیک به یک میکرومتر می‌باشد. این کانی از رس‌هایی است که سطح ویژه و فعالیت کلونیدی زیادی دارد. ویژگی‌های سطحی مونت‌موریلونیت مانند نقطه‌ی بار صفر (ZPC)، تراکم بار سطحی، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، گروه‌های عاملی سطحی و برهم‌کنش آن با یون‌های محلول در آب، موجب شده است که در تثبیت فلزات اهمیت ویژه‌ای داشته باشد (بهاتاچاریا و گوپتا، 2008).

پس از اضافه کردن سوسپانسیون آبیاری بر اساس مکش خاک انجام گرفت. بدین صورت که دو تانسومتر در ستون‌های شاهد حاوی دو نوع بافت خاک نصب گردید و هر گاه مقدار مکش خاک به حدود 80 سانتی‌بار می‌رسید، آبیاری به مقدار یک حجم منفذی (حدود 2400 میلی‌لیتر برای خاک لوم رسی و 2250 میلی‌لیتر برای خاک لوم شنی) انجام می‌شد. آبیاری ستون‌ها به صورت متناوب غرقابی

این پژوهش بر روی ستون‌های خاک دست‌خورده انجام شد. ستون‌های خاک از لوله‌های PVC با قطر داخلی 15 و ارتفاع 25 سانتی‌متر ساخته شدند. برای رسیدن وضعیت خاک درون ستون به چگالی ظاهری خاک در مزرعه، پر کردن ستون‌ها به‌صورت لایه لایه انجام گرفت. به این صورت که ابتدا با داشتن وزن مخصوص ظاهری و حجم ستون، مقدار کل خاک برای پر کردن ستون محاسبه شد. سپس ستون‌ها به سه قسمت 10، 10 و 5 سانتی‌متری تقسیم شدند. حجم ستون در این سه قسمت به‌صورت جداگانه محاسبه و برای هر قسمت با توجه به حجم و وزن مخصوص ظاهری، وزن خاک به‌دست آمد و در ستون ریخته شد، به‌گونه‌ای که خاک تا ارتفاع مورد نظر را پر کند و اگر سطح خاک بالاتر از این ارتفاع بود، فشرده سازی روی سطح خاک انجام شد. برای یکنواخت شدن ستون و جلوگیری از ایجاد حالت لایه‌لایه در خاک، سطح هر لایه خراشیده می‌شد. هم‌چنین به‌منظور جلوگیری از به‌وجود آمدن جریان ترجیحی از طریق دیواره‌ی ستون، محیط دیواره با استفاده از پارافین عایق‌بندی شد (هاشمی نژاد و غلامی، 2008). در این مرحله تیمارهای ورمی‌کمپوست با دو غلظت 1 و 2 درصد و اگزالیک اسید با دو غلظت 50 و 1000 میکرومولار به خاک اضافه و با آن مخلوط شد و ستون‌ها به آرامی با خاک پر شد. هم‌چنین، انتهای ستون‌های خاک به‌کمک یک توری ریز محکم بسته شد و ستون‌های خاک به‌مدت یک ماه در همین شرایط نگهداری شد و فقط چهار روز یک بار، مقدار کمی آب توسط پیست به ستون‌ها اضافه گردید که

محتویات آن از کاغذ صافی عبور داده شد و عصاره در بالن والیومتریکی 100 میلی‌لیتری با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد و غلظت سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل آوانتا جی بی سی) تعیین گردید. مقدار سرب محلول برای تمامی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی نیز قرائت شد، اما مقدار آن زیر حد تشخیص دستگاه برای تمامی نمونه‌ها بود لذا مطالعات بر روی سرب کل ادامه پیدا کرد.

#### رسم منحنی رخنه

رسم منحنی غلظت مایع خروجی از ستون خاک نسبت به حجم منافذ را منحنی رخنه می‌نامند (بیگار و نیلسن، 1976). برای رسم منحنی رخنه، غلظت سرب کل منتقل شده توسط کلوئیدها (C) بر مقدار سرب اولیه ( $C_0$ ) که به ستون‌ها اضافه شده بود (100 میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم گردید تا مقدار غلظت نسبی ( $C/C_0$ ) به دست آید. همین کار برای رسم منحنی رخنه کلوئید نیز انجام گرفت. داده‌های به دست آمده از کدورت سنج ابتدا از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت. برای نرمال کردن داده‌های کلوئید ابتدا از آن‌ها جذر گرفته و سپس لگاریتم این اعداد محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد با تقسیم غلظت کلوئید خروجی (بر حسب NTU) (C) بر مقدار کلوئید اضافه شده به هر ستون خاک ( $C_0$ )، مقدار غلظت نسبی بر حسب NTU/g به دست آمد.

#### نتایج

نتایج تجزیه‌ی واریانس مربوط به انتقال سرب و کلوئید در خاک، در جدول (3) آورده شده است. ضریب تغییرات در مطالعه حاضر با توجه به جدول تجزیه واریانس معادل 15/2 و 12/5 درصد است که به ترتیب مربوط به خروج سرب و کلوئید در ستونهای خاک است. در این تجزیه واریانس، بافت خاک دارای دو سطح لوم رسی و لوم شنی است. ماده‌ی افزودنی شامل سطوح مختلف اسید آلی و ورمی کمپوست می‌شود و پنج سطح دارد. حجم منفذی تعداد دفعات آبشویی است و ده سطح دارد. با توجه به جدول آنالیز واریانس مربوط به این داده‌ها و معنی‌دار شدن اثر سه‌جانبه‌ی بین فاکتورها، منحنی‌های رخنه برای هر دو نوع خاک و تحت تیمارهای مختلف رسم گردید.

(مشابه آبیاری اراضی کشاورزی منطقه) انجام شد و تا 10 حجم منفذی ادامه یافت. برای آبیاری از آبی با EC مشابه آب آبیاری منطقه‌ی نمونه‌برداری استفاده شد و در هر مرحله از آبیاری، زه‌آب از انتهای ستون جمع‌آوری گردید.

#### طرح آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل با سه فاکتور شامل بافت خاک در دو سطح (لوم شنی و لوم رسی)، ماده‌ی افزودنی در پنج سطح (سطوح 50 و 1000 میکرومولار برای اگزالیک اسید، یک و دو درصد وزنی برای ورمی کمپوست و یک سطح صفر بدون ماده افزودنی شامل کلوئید) و مقدار آب آبشویی در 10 سطح (10 حجم منفذی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. همچنین دو ستون برای نصب تانسومتر و اندازه‌گیری مکش خاک و تعیین زمان آبیاری برای هر نوع بافت خاک در نظر گرفته شدند.

#### تعیین کدورت زه آب

میزان کدورت نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری شده در هر مرحله آبشویی با استفاده از دستگاه توربیدیتر تعیین گردید. به این منظور، حدود 30 میلی‌لیتر از نمونه‌ها درون ویال‌های مخصوص دستگاه ریخته شد و برای رسیدن به تعادل، پنج دقیقه به حالت سکون قرار داده شدند و سپس کدورت قرائت شد. مقدار کلوئید اندازه‌گیری شده توسط توربیدیتر با واحدی به نام NTU (Nephelometric Turbidity) بیان می‌شود که نشان‌دهنده‌ی غلظت ذرات کلوئیدی در زه‌آب می‌باشد (نگ و همکاران، 2015).

#### تعیین سرب کل

نمونه‌های جمع‌آوری شده از هر مرحله از آبشویی، در آون در دمای 105 درجه‌ی سلسیوس به مدت 24 ساعت خشک شدند. سپس کلوئیدهای باقی مانده، توزین و درون لوله‌های مربوط به دستگاه هضم ریخته شد. 25 میلی‌لیتر عصاره‌گیر آکوآرژیا (مخلوط 3:1 اسید کلریدریک 37 درصد + اسید نیتریک 65 درصد) به کلوئید موجود در لوله‌ها اضافه گردید و دهانه‌ی لوله‌ها با پارافیلیم پوشانده و به مدت یک شبانه‌روز نگهداری شدند. سپس عمل هضم به مدت دو ساعت و در دمای 150 درجه‌ی سلسیوس انجام شد. پس از خنک شدن لوله‌ها

جدول 3- جدول تجزیه واریانس مربوط به داده های انتقال سرب و کلونید در خاک

سرب					متغیر
Sig.	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
0/795	0/07	3/26	3/26	1	بافت خاک
0/000	14/06	673/79	2695/17	4	ماده‌ی افزودنی
0/000	12/12	580/50	5224/52	9	حجم منفذی
0/002	4/53	216/88	867/52	4	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی
0/000	4/64	222/11	1999/01	9	بافت خاک × حجم منفذی
0/000	3/19	152/88	5503/73	36	ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
0/007	1/78	85/25	3068/90	36	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
		15/2			ضریب تغییرات
کلونید					متغیر
0/000	441/28	4/14693	4/14693	1	بافت خاک
0/000	52/04	0/48903	1/95611	4	ماده‌ی افزودنی
0/000	83/79	0/78741	7/08667	9	حجم منفذی
0/000	151/93	0/42755	5/71102	4	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی
0/000	18/53	0/17412	1/56710	9	بافت خاک × حجم منفذی
0/000	4/27	0/04012	1/44449	36	ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
0/000	9/15	0/08596	3/09451	36	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
		12/5			ضریب تغییرات

\*: اختلاف در سطح 0/05 معنی دار است.

### مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف

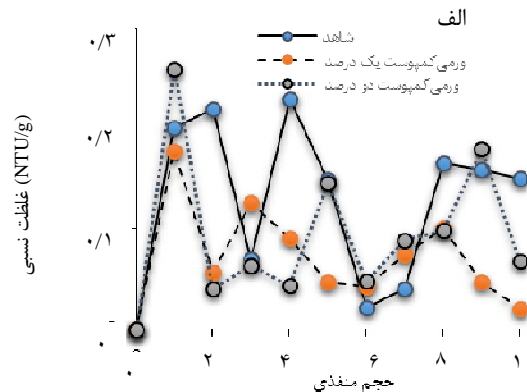
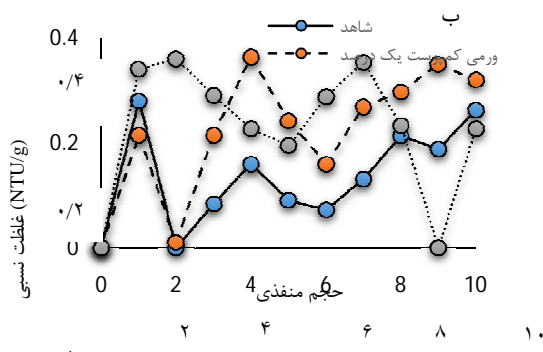
#### در خاک لوم رسی

#### تیمار ورمی کمپوست

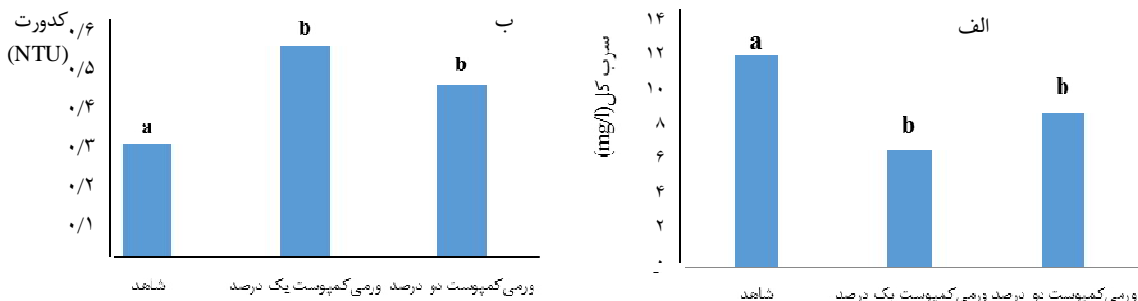
همان‌طور که در شکل (1- الف) دیده می‌شود، بیش‌ترین مقدار خروج سرب از خاک، در هر دو تیمار ورمی کمپوست در حجم منفذی اول اتفاق افتاده است و با افزایش آب‌شویی، مقدار سرب خروجی کاهش پیدا کرده است. نمودار دارای چندین نقطه‌ی بیشینه و کمینه است. علت این امر می‌تواند مربوط به وجود جریان

ترجیحی (PF) در خاک باشد. شکل (1- ب) نشان می‌دهد که با کاربرد ورمی کمپوست در خاک، مقدار خروج و آب‌شویی کلونید از خاک افزایش یافت.

شکل (2- الف) نشان می‌دهد که خروج سرب در تیمار شاهد بیش‌تر است و افزودن ورمی کمپوست، مقدار سرب خروجی را نسبت به شاهد کاهش داده است. این روند با روند خروج کلونید از خاک تحت تیمار ورمی کمپوست مطابقت ندارد (شکل 2- ب).



شکل 1- منحنی‌های رخنه خروج الف. سرب و ب. کلونید مربوط به سطوح مختلف ورمی کمپوست در خاک لوم رسی

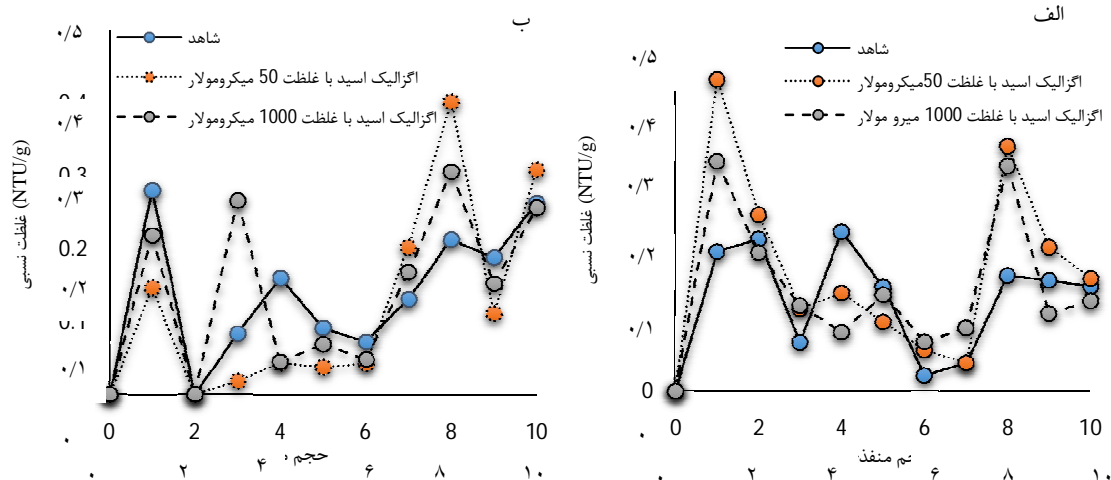


شکل 2- مقدار میانگین الف. سرب و ب. کلونید خروجی در تیمار ورمی کمپوست در خاک لوم رسی بعد از 10 حجم منفذی آبشویی

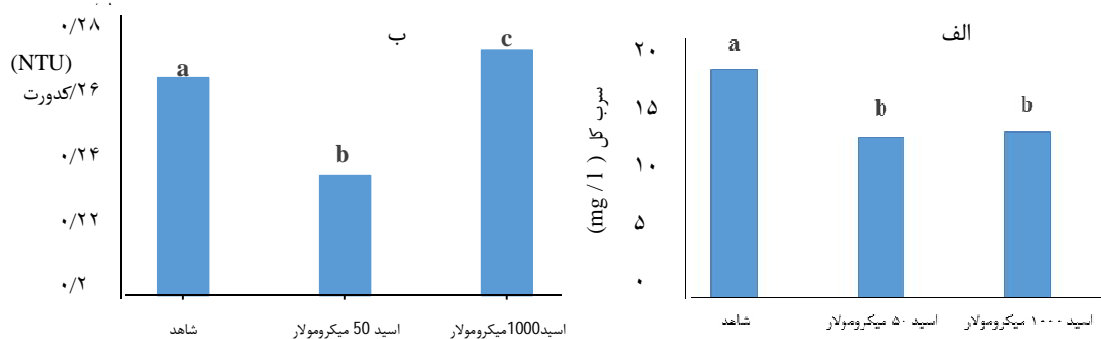
با توجه به شکل (3-ب) افزودن اسید آلی به خاک نیز همانند تیمار ورمی کمپوست، موجب افزایش آبشویی کلونید در خاک لوم رسی شده است. همچنین تیمار 50 میکرومولار اسید آلی موجب کاهش معنی دار کلونید خروجی نسبت به شاهد و تیمار 1000 میکرومولار اسید آلی شده است (شکل 4).

### تیمار اسید آلی

کمترین خروج سرب در تیمار شاهد رخ داد و با افزایش اگزالیک اسید، مقدار سرب خروجی ناشی از آبشویی افزایش یافت (شکل 3-الف) اما پس از پایان آبشویی تفاوت معنی داری بین سه سطح اسید آلی از نظر خروج سرب وجود نداشت لذا از وارد کردن نمودار مربوطه صرف نظر شد.



شکل 3- منحنی های رخنه خروج الف. سرب و ب. کلونید مربوط به سطوح مختلف اسید آلی در خاک لوم رسی



شکل 4- مقدار میانگین الف. سرب و ب. کلونید خروجی در تیمار اسید آلی در خاک لوم رسی بعد از 10 حجم منفذی آب‌شویی

#### مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف

##### در خاک لوم شنی

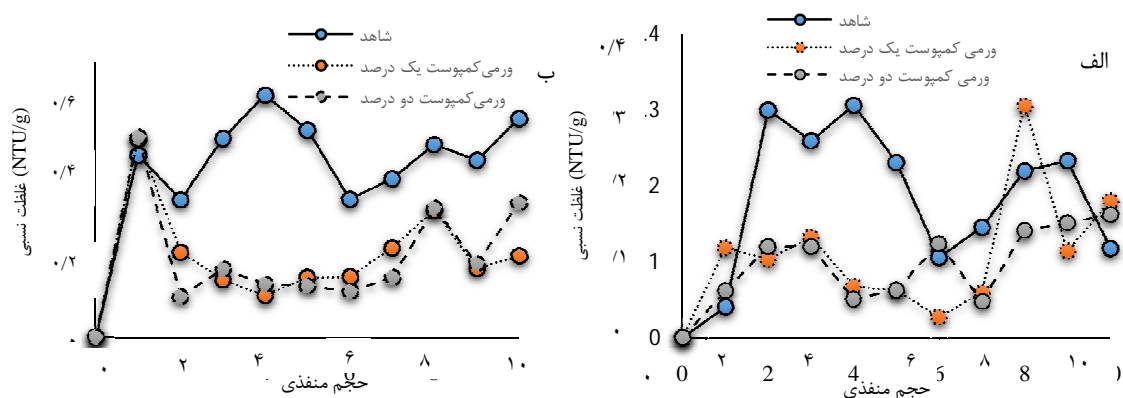
##### تیمار ورمی‌کمپوست

کاسته شده است (کرسنتسن، 2001). مطابق نتایج حاصل از بررسی شکل (5-ب) به‌طور کلی با افزایش آب‌شویی، ابتدا روند افزایشی در خروج کلونید از ستون خاک لوم شنی دیده می‌شود و سپس روند کاهشی با افزایش آب‌شویی از مقدار حجم منفذی چهار به بعد مشاهده گردید. در واقع این روند در منحنی‌های رخنه‌ی خاک‌های همگن دیده می‌شود. خاک لوم شنی به‌علت درشت بافت بودن، همگنی بیشتری از نظر توزیع اندازه ذرات و منافذ را دارا است (شله و همکاران، 2006).

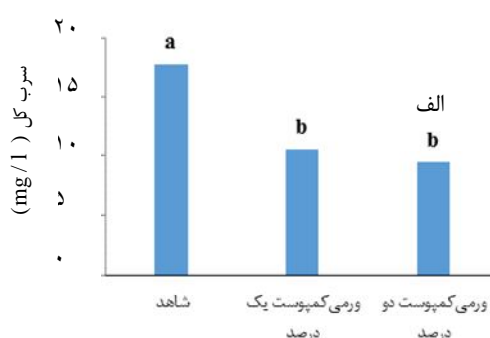
با توجه به شکل (6 - الف) کم‌ترین میزان خروج سرب مربوط به تیمارهای ورمی‌کمپوست و بیش‌ترین میزان خروج مربوط به تیمار شاهد است. ایجاد کمپلکس سه‌گانه بین ماده‌ی آلی، ذرات خاک و سرب منجر به کاهش خروج سرب از خاک شده است (کرسنتسن، 2001). نظر به این‌که مقدار سرب محلول آب‌شویی شده از ستون‌های خاک بسیار ناچیز بود (زیر حد تشخیص دستگاه)، انتظار می‌رود که بخش اعظم سرب به‌همراه کلونید خارج شده باشد. با توجه به شکل (6-ب) بیش‌ترین میزان کلونید خروجی مربوط به تیمار شاهد است و افزودن ورمی‌کمپوست به‌میزان قابل توجهی از خروج کلونید از خاک جلوگیری کرده است. اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست دیده نشد.

با توجه به شکل (5-الف) کم‌ترین میزان خروج سرب در حجم منفذی اول سه منحنی دیده می‌شود، تا حجم منفذی هفت، خروج سرب کل ابتدا کمی زیاد و سپس به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. ولی ناگهان در حجم منفذی هشتم یک افزایش ناگهانی در خروج سرب از ستون خاک دیده می‌شود. این روند بیانگر کم‌تأثیر بودن جریان ترجیحی بر حرکت سرب در خاک می‌باشد. به‌گونه‌ای که در مقدار آب‌شویی بالا (حجم منفذی 8) پیک سرب به انتهای ستون خاک رسیده و خارج شده است. در مقایسه با منحنی رخنه‌ی خاک لوم رسی، مشاهده می‌شود که در این بافت (لوم شنی) نوسانات سرب خروجی خیلی کم‌تر است و روند منظم‌تری با افزایش آب‌شویی مشاهده می‌شود (ابتدا افزایش و سپس کاهش).

با توجه به شکل (5-الف) کم‌ترین خروجی سرب در حجم منفذی هفت دیده می‌شود. مقدار سرب خروجی نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست یک درصد کاهش یافت. احتمالاً وقتی مقدار ورمی‌کمپوست در خاک افزایش یافته است، تشکیل کمپلکس سه‌گانه بین سرب، ماده‌ی آلی و کلونید افزایش یافته و از خروج سرب



شکل 5- منحنی‌های رخنه خروج الف. سرب و ب. کلوئید مربوط به سطوح مختلف ورمی کمپوست در خاک لوم شنی

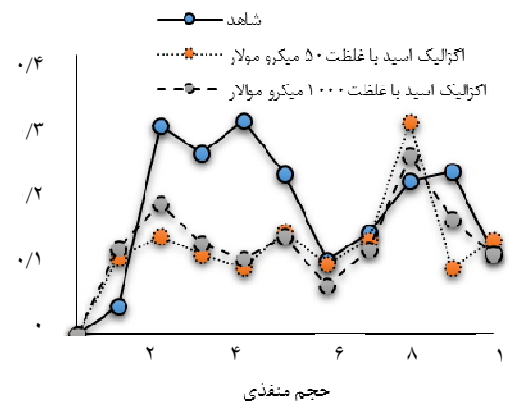
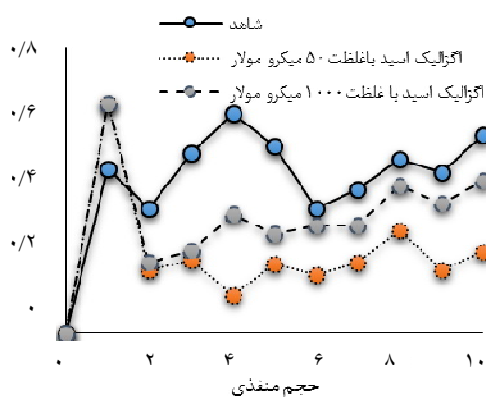


شکل 6- مقدار میانگین الف. سرب و ب. کلوئید خروجی در تیمار ورمی کمپوست در خاک لوم شنی بعد از 10 حجم منفذی آب شویی

### تیمار اسید آلی

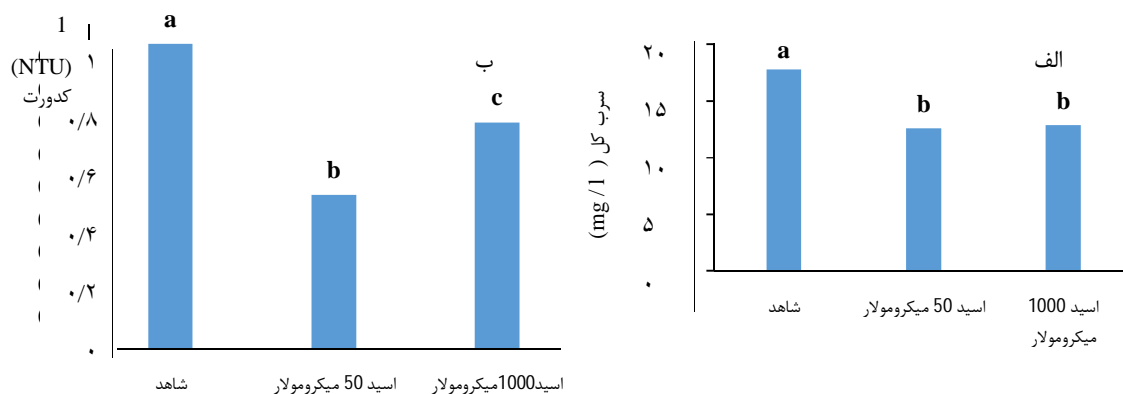
رسوب اگزالات سرب در خاک اتفاق افتاده و خروج سرب از خاک کاهش یافته است. همچنین احتمالاً تشکیل رسوب اگزالات کلسیم منجر به هم‌آوری کلوئیدها شده و از خروج آنها از خاک جلوگیری کرده است.

بر طبق شکل‌های (7-الف و ب) مشاهده می‌شود که با افزایش اسید آلی، خروج سرب کل و کلوئید از ستون خاک لوم شنی کاهش یافته است. احتمالاً تشکیل



شکل 7- منحنی‌های رخنه‌ی الف. سرب و ب. کلوئید مربوط به سطوح مختلف اسید آلی در خاک لوم شنی





شکل 8- مقدار میانگین الف. سرب خروجی و ب کلویید در تیمار اسید آلی در خاک لوم شنی بعد از 10 حجم منفذی آب‌شویی

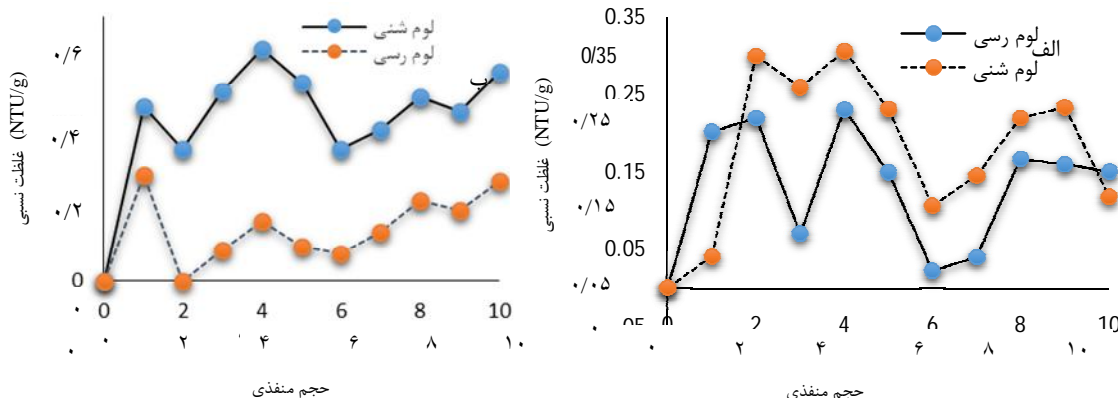
مقایسه‌ی تیمار شاهد در انتقال سرب و کلویید در دو

خاک لوم رسی و لوم شنی

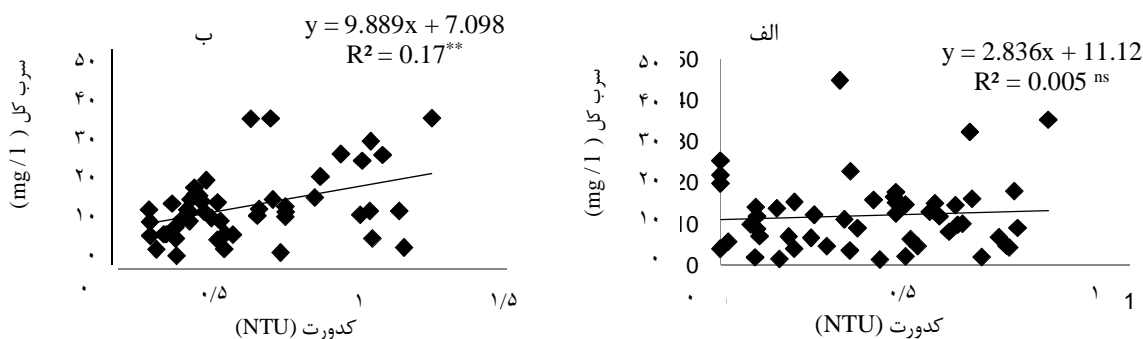
با توجه به شکل (9-الف) به‌جز در حجم منفذی‌های اول و دهم، در تمام حجم منفذی‌ها، میزان سرب خروجی در خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود. با توجه به شکل (9-ب) میزان آب‌شویی کلوییدها در خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی است. دلیل این امر مربوط به توزیع اندازه‌ی منافذ درشت‌تر خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی می‌باشد.

تعیین رابطه‌ی بین مقدار سرب و کلویید آب‌شویی شده در دو نوع بافت خاک

شکل 10 رابطه بین مقدار سرب و کلویید را نشان می‌دهد. در در خاک لوم رسی، همبستگی معنی‌داری بین سرب و کلویید در مقادیر مختلف آب آب‌شویی دیده نشد ( $P > 0.05$ ) (شکل 10- الف).



شکل 9- منحنی‌های رخنه‌ی الف. سرب و ب. کلویید مربوط به تیمار شاهد در دو خاک لوم رسی و لوم شنی



شکل 10- رابطه بین سرب و کلوئید در خاک الف. لوم رسی و ب. لوم شنی برای تمامی تیمارها

با افزودن ورمی کمپوست به خاک، اگرچه خروج کلوئید نسبت به شاهد افزایش یافت، ولی مقدار سرب خروجی کاهش پیدا کرد. احتمالاً تشکیل کمپلکس سه گانه بین فلز، ماده‌ی آلی و کلوئید موجب کاهش خروج سرب از خاک شده است و کلوئیدی خروجی در اثر افزایش ورمی کمپوست به خاک، شامل کلوئیدی است که با سرب پیوند نداشته است و شامل کلوئید موجود در کمپلکس سه گانه نیست. محققان انتقال مس را در ستون‌های خاک و در حضور ماده‌ی آلی بررسی کرده و نشان دادند که حضور ماده‌ی آلی و pH بالا، منجر به کاهش سهولت انتقال مس در ستون خاک شد (جونز و سو، 2012).

اسید آلی در آبشویی کلوئیدهای خاک لوم رسی نقشی مشابه ورمی کمپوست نشان داد. دلیل آن می‌تواند مربوط به تشکیل شدن خاکدانه در اثر افزودن اسید آلی (وانگ، 2015) و پدیدار شدن منافذ درشت‌تر در خاک باشد. البته کاهش معنی‌دار کلوئید خروجی نسبت به شاهد در تیمار 50 میکرومولار اسید آلی را می‌توان به این شکل توجیه کرد که احتمالاً سطح 50 میکرومولار نتوانسته است بر ایجاد تخلخل در خاک لوم رسی تأثیر چندانی داشته باشد و این مقدار اسید آلی موجب به هم چسبیدن ذرات کلوئید و درشت‌تر شدن آن‌ها شده است، به طوری که از تحرک آن‌ها کاسته شده است. در سطح 1000 میکرومولار خروج کلوئید بیشتر از تیمار شاهد و 50 میکرومولار است. سلوئی و همکاران (2006) این روند را در مطالعات خود مشاهده کردند و اظهار داشتند که اسید آلی در غلظت زیاد، منجر به انحلال عوامل سیمان کننده بین ذرات کلوئیدی ذاتی خاک شده و باعث خروج بیشتر کلوئید نسبت به تیمار شاهد شده است.

در خاک لوم شنی (شکل 10-ب) رابطه‌ی بین سرب و کلوئید آبشویی شده در سطح یک درصد آماری معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). اگرچه ضریب تبیین ( $R^2$ ) برابر 0/17 بوده که چندان زیاد نیست.

### بحث و نتیجه گیری کلی

#### مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای

#### مختلف در خاک لوم رسی

در این مطالعه وجود جریان ترجیحی (PF) در خاک، عامل بیش‌تر بودن مقدار خروج سرب از خاک در حجم منفذی اول تیمارهای ورمی کمپوست معرفی شد. در خاک‌های رسی به دلیل بالا بودن مقدار رس، میزان انبساط و انقباض زیاد است. لذا وجود درز و شکاف‌های بسیار در این خاک‌ها که در اثر خشک شدن پدید می‌آید، سبب ایجاد یک جریان از بین منافذ درشت خاک شده و بنابراین میزان سرب بیش‌تری از خاک شسته می‌شود. در پژوهشی، انتقال کادمیم همراه با کلوئیدهای خاک و مواد آلی محلول در سطح مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انتقال کلوئیدها و کادمیم همراه با آن‌ها در اثر جریان‌های ترجیحی قابل توجه بود (لی و ژو، 2010). در مطالعه حاضر مشاهده شد که در خاکهای لوم رسی به دلیل تشکیل خاکدانه و وجود منافذ درشت‌تر در این خاک مقدار خروج و آبشویی کلوئیدهای ذاتی از خاک افزایش داشت. ورمی کمپوست علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک و ویژگی‌هایی شیمیایی، بر خواص فیزیکی خاک نیز تأثیر دارد (آکساکال، 2016) در واقع مواد آلی می‌تواند با انعقاد ذرات کلوئیدی، از انتشار آن‌ها در خاک بکاهد ولی از آنجا که در خاکهای ریزبافت در اثر کاربرد ماده‌ی آلی منافذ درشتی تشکیل می‌شود، لذا با افزایش ورمی کمپوست به خاک، درکل مقدار کلوئید خروجی افزایش یافته است.

## مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف در خاک لوم شنی

در بافت لوم شنی نوسانات سرب خروجی خیلی کم‌تر از خاک لوم رسی گزارش شد دلایل این امر، مربوط به تأثیر خیلی کم‌تر جریان ترجیحی در بافت لوم شنی بر حرکت سرب کل است. هرچه خاک درشت‌بافت‌تر باشد، نقش جریان‌های ترجیحی در انتقال مواد و آب در آن کم‌تر است. در مقابل، در خاک‌های ریزبافت، جریان‌های ترجیحی یکی از عوامل مهم در انتقال آب و مواد در خاک محسوب می‌شوند. زیرا معمولاً در خاک‌های درشت‌بافت احتمال تشکیل درز و شکاف و منافذ درشت ساختمانی کم‌تر است. ضمن این‌که خاک‌های درشت‌بافت، خود منافذ درشت‌تری داشته و همگنی بیش‌تری دارند (نهوتا و همکاران، 2005).

در رابطه با نقش ورمی‌کمپوست در خاک‌های لوم شنی، به نظر می‌رسد که تیمارهای ورمی‌کمپوست تأثیر چندانی بر توزیع منافذ خاک لوم شنی نداشته است. دلیل آن می‌تواند این‌گونه باشد که مواد آلی با تجزیه‌ی تدریجی در خاک، منجر به تولید یک‌سری متابولیت‌ها در خاک شده که سبب چسبندگی کلونیدها به یکدیگر شده است (ژانگ و سلیم، 2007). احتمالاً با افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن، حلالیت ترکیبات معدنی حاوی کلسیم در خاک افزایش یافته، که با توجه به نقش کلسیم به‌عنوان عامل منعقدکننده‌ی ذرات رس، انتظار می‌رود پراکنش کلونیدها کاهش یابد که با نتایج (بارال و همکاران، 2007) مطابقت دارد.

در خاک لوم شنی با توجه به بافت نسبتاً درشت، انتظار می‌رود که مقدار کلونید ذاتی خیلی کم‌تری داشته باشد. هم‌چنین با توجه به منافذ درشت‌تر نسبت به خاک لوم رسی، تأثیر ورمی‌کمپوست بر ایجاد تخلخل درشت در آن قابل توجه نیست. ولی مقدار چشم‌گیری از کلونید اضافه شده به این خاک، توسط ماده‌ی آلی انعقاد یافته و خروج کلونید از منافذ خاک کاهش یافته است. به بیان دیگر تشکیل کمپلکس سه‌گانه بین سرب، ماده‌ی آلی و کلونید اضافه شده به خاک، از خروج کلونیدها از خاک جلوگیری کرده است (کریستنسن، 2001).

## مقایسه‌ی تیمار شاهد در انتقال سرب و کلونید در دو خاک لوم رسی و لوم شنی

با توجه به شکل (8-الف) به‌جز در حجم‌های منفذی اول و دهم، در تمام حجم‌های منفذی میزان سرب خروجی در خاک لوم شنی بیش‌تر از لوم رسی بود. خاک شنی به‌دلیل داشتن منافذ درشت‌تر، جریان آب و انتقال مواد در آن بیش‌تر است (وانگ و همکاران، 2020). با

افزایش رس، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد می‌شود (ژائو و همکاران، 2018). بنابراین در خاک لوم رسی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌تر، احتمالاً بخشی از سرب در فاز تبدلی (رس غیر قابل انتشار) محبوس شده و خروج آن از خاک کم‌تر بوده است. هم‌چنین در خاک لوم رسی، احتمالاً بخش قابل توجهی از کلونید خروجی مربوط به کلونید خود خاک بوده که پیوند کم‌تری با سرب برقرار نموده است.

با توجه به شکل (8-ب) میزان آب‌شویی کلونیدها در خاک لوم شنی بیش‌تر از لوم رسی است. دلیل این امر مربوط به توزیع اندازه‌ی منافذ درشت‌تر خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی می‌باشد. در خاک‌های با منافذ درشت و به‌هم پیوسته‌ی بیش‌تر، مقدار کلونید خروجی نیز بیش‌تر است. اگرچه مقدار کلونید خاک لوم رسی بیش‌تر از خاک لوم شنی است (به‌علت بافت ریزتر)، ولی مقدار کلونید خروجی آن به‌دلیل داشتن منافذ به‌مراتب ریزتر، نسبت به خاک لوم شنی (با منافذ درشت)، کم‌تر است (دیژانگ و همکاران، 2004؛ مولنار و همکاران، 2015). محققان بیان کردند که خاک دارای مقدار کلونید بیش‌تر، الزاماً در معرض آب‌شویی بیش‌تر کلونید قرار ندارد (پولسن و همکاران، 2006).

## تعیین رابطه‌ی بین مقدار سرب و کلونید آب‌شویی شده در دو نوع بافت خاک

دلیل نبود رابطه‌ی معنی‌دار بین سرب و کلونید خروجی در کل تیمارهای اعمال شده را می‌تواند به مقدار کلونید ذاتی بیش‌تر خاک لوم رسی (به غیر از کلونید اضافه شده) ارتباط داد احتمالاً به این دلیل مقدار کلونید خروجی متناسب با سرب خروجی نبود. از طرفی به‌علت ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌تر خاک لوم رسی بخشی از سرب در فاز تبدلی (رس پراکنده نشده) جذب شده و خارج نمی‌شود و با مقدار کلونید خروجی رابطه‌ی مناسبی نشان نداده است (مولنار و همکاران، 2015). البته به‌علت تأثیر قابل توجه تیمارهای ورمی‌کمپوست و اسید آلی بر خروج کلونید و سرب در خاک لوم رسی، همبستگی در کل تیمارها بین این دو صفت زیاد نیست.

دلیل پایین بودن ضریب تبیین می‌تواند مربوط به اثر تیمارهای ورمی‌کمپوست و اسید آلی بر کلونید و سرب خروجی باشد. با توجه به این‌که رگرسیون برای تمامی تیمارها انجام شده است موجب کاهش  $R^2$  گردیده است. البته با توجه به تأثیر کم‌تر تیمارهای گفته شده بر کلونید و سرب آب‌شویی شده نسبت به خاک لوم رسی، این رابطه کاملاً از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. ضمن این‌که در خاک لوم شنی با توجه به ظرفیت تبدلی کم و مقدار

خاک کاهش یافت و روند مشابهی نیز در تیمار اسید آلی دیده شد. به طور کلی این تحقیق نشان داد که حرکت سرب به صورت محلول در خاک‌های متوسط و ریزبافت بسیار ناچیز و کم اهمیت است، اما با جذب به سطوح کلوئیدها، حرکت آن همراه با ذرات کلوئیدی حائز اهمیت بوده و می‌تواند بدین صورت موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد.

کلوئید ذاتی خیلی کم‌تر نسبت به خاک لوم رسی، رابطه‌ی بین کلوئید و سرب آب‌شویی شده قوی‌تر است. به طور کلی در خاک لوم رسی با افزودن ورمی‌کمپوست خروج کلوئید از خاک افزایش و خروج سرب از خاک کاهش یافت. با افزایش اسید آلی خروج کلوئید افزایش یافت و روند مشخصی بر خروج سرب در خاک دیده نشد. در خاک لوم شنی با افزودن ورمی‌کمپوست خروج کلوئید و میزان سرب خروجی از

#### فهرست منابع:

1. Aksakal, E. L., S. Sari, I. Angin, and Development. 2016. Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. *Land Degradation*. 27: 983-995.
2. Barral, M. T., E. Buján, R. Devesa, M. L. Iglesias, and M. Velasco-Molina. 2017. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the total environment*. 378: 174-178.
3. Barton, C., and A. Karathanasis. 2003. Influence of soil colloids on the migration of atrazine and zinc through large soil monoliths. *Water, Air, Soil Pollution*. 143: 3-21.
4. Bhattacharyya, K. G., and S. S. Gupta. 2008. Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium. *Applied Clay Science*. 41: 1-9.
5. Biggar, J., and D. Nielsen. 1976. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resources Research*. 12: 78-84.
6. Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy journal*. 43: 434-438.
7. Camobreco, V. J., B. K. Richards, T. S. Steenhuis, J. H. Peverly, and M. B. McBride. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science Society of America Journal*. 161: 740-750.
8. Chapman, H. 1965. Cation exchange capacity. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc.
9. Christensen, B. T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European journal of soil science*. 52: 345-353.
10. Clark, F. 1965. Agar plate method for total microbial count. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc.
11. de Jonge, L. W., C. Kjærgaard, and P. Moldrup. 2004. Colloids and colloid-facilitated transport of contaminants in soils: An introduction. *Vadose Zone Journal*. 3: 321-325.
12. DeNovio, N. M., J. E. Saiers, and J. N. Ryan. 2004. Colloid movement in unsaturated porous media: Recent advances and future directions. *Vadose Zone Journal*. 3: 338-351.
13. Hashemi nejhadi, Y. and M. Gholami. 2008. Introducing an appropriate packing method in disturbed soil columns and its verification to achieve a homogeneous porous media. *Water and soil*. 22(2): 447-455.
14. Jones, E. H., and C. Su. 2012. Fate and transport of elemental copper (CuO) nanoparticles through saturated porous media in the presence of organic materials. *water research*. 46: 2445-2456.

15. Lee, S., I.-W. Ko, I.-H. Yoon, D.-W. Kim, and K.-W. Kim. 2019. Colloid mobilization and heavy metal transport in the sampling of soil solution from Duckum soil in South Korea. *Environmental geochemistry health*. 41: 469-480.
16. Lennartz, B., A. H. Haria, and A. C. Johnson. 2007. Flow regime effects on reactive and non-reactive solute transport. *Soil Sediment Contamination*. 17: 29-40.
17. Li, Z., and L. Zhou. 2010. Cadmium transport mediated by soil colloid and dissolved organic matter: a field study. *Journal of Environmental Sciences*. 22: 106-115.
18. Liu, F., B. Xu, Y. He, P. C. Brookes, C. Tang, and J. Xu. 2018. Differences in transport behavior of natural soil colloids of contrasting sizes from nanometer to micron and the environmental implications. *Science of the Total Environment*. 634: 802-810.
19. Molnar, I. L., W. P. Johnson, J. I. Gerhard, C. S. Willson, and D. M. O'Carroll. 2015. Predicting colloid transport through saturated porous media: A critical review. *Water Resources Research*. 51: 6804-6845.
20. Pawlowska, A., I. Sznajder, and Z. Sadowski. 2017. The colloid hematite particle migration through the unsaturated porous bed at the presence of biosurfactants. *Environmental Science Pollution Research*. 24: 17912-17919.
21. Poulsen, T. G., P. Moldrup, L. W. de Jonge, and T. Komatsu. 2006. Colloid and bromide transport in undisturbed soil columns: Application of two-region model. *Vadose Zone Journal*. 5: 649-656.
22. Qi, Z., L. Hou, D. Zhu, R. Ji, and W. Chen. 2014. Enhanced transport of phenanthrene and 1-naphthol by colloidal graphene oxide nanoparticles in saturated soil. *Environmental science technology*. 48: 10136-10144.
23. Rhoades, J. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Inc.
24. Schelde, K., L. W. de Jonge, C. Kjaergaard, M. Laegdsmand, and G. H. Rubæk. 2006. Effects of manure application and plowing on transport of colloids and phosphorus to tile drains. *Vadose Zone Journal*. 5: 445-458.
25. Slowey, A. J., S. B. Johnson, J. J. Rytuba, and G. E. Brown. 2005. Role of organic acids in promoting colloidal transport of mercury from mine tailings. *Environmental science technology*. 39: 7869-7874.
26. Snehota, M., V. Jelinkova, J. Sacha, M. Frycova, M. Cislerova, P. Vontobel, and J. Hovind. 2015. Experimental investigation of preferential flow in a near-saturated intact soil sample. *Physics Procedia*. 69: 496-502.
27. Sprague, L. A., J. S. Herman, G. M. Hornberger, and A. L. Mills. 2000. Atrazine adsorption and colloid-facilitated transport through the unsaturated zone. *Journal of Environmental Quality*. 29: 1632-1641.
28. Strobel, B. W. 2001. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution—a review. *Geoderma*. 99: 169-198.
29. Tang, X.-Y., and N. Weisbrod. 2009. Colloid-facilitated transport of lead in natural discrete fractures. *Environmental Pollution*. 157: 2266-2274.
30. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In AG, N. (Eds.) *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*. American Society of Agronomy, Inc.
31. Tng, K. H., Antony, A., Wang, Y., and G. L. Leslie. 2015. Membrane ageing during water treatment: mechanisms, monitoring, and control. *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*, 349-378.
32. Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

33. Wang, C., R. wang, Z. Huo, E. Xie, and H. E. Dahlke. 2020. Colloid transport through soil and other porous media under transient flow conditions-A review. *WIREs Water*. e1439.
34. Wang, D., Y. Jin, and D. P. Jaisi. 2015. Effect of size-selective retention on the cotransport of hydroxyapatite and goethite nanoparticles in saturated porous media. *Environmental science technology*. 49: 8461-8470.
35. Won, J., X. Wirth, and S. E. Burns. 2019. An experimental study of cotransport of heavy metals with kaolinite colloids. *Journal of hazardous materials*. 373: 476-482.
36. Yin, X., B. Gao, L. Q. Ma, U. K. Saha, H. Sun, and G. Wang. 2010. Colloid-facilitated Pb transport in two shooting-range soils in Florida. *Journal of Hazardous Materials*. 177: 620-625.
37. Zhang, H., and H. Selim. 2007. Colloid mobilization and arsenite transport in soil columns: Effect of ionic strength. *Journal of Environmental Quality*. 36: 1273-1280.
38. Zhao, D., X. Zhao, T. Khongnawang, M. Arshad, and J. Triantafilis. 2018. A Vis-NIR Spectral Library to Predict Clay in Australian Cotton Growing Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 82: 1347-1357.

## Effect of Oxalic Acid and Vermicompost on Colloidal Transport of Lead in Two Types of Soil Texture

H. Shirani, H. Galedari, and S. Sadr<sup>1</sup>

Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan;  
E-mail: shirani@vru.ac.ir

MSc Graduate, Vali-e-Asr University of Rafsanjan; E-mail: galedarih@yahoo.com  
Assistant Professor of Agriculture, Payame Noor University, Kerman Province, Rafsanjan Center;  
E-mail: 2716sadr@gmail.com

Received: November, 2020 and Accepted: July, 2021

### Abstract

The present study aimed at investigating the transport of lead by colloids in two types of soils with sandy loam and clay loam textures under vermicompost and organic acid treatments. The experiment was conducted in a complete randomized design. Treatments consisted of three factors including soil texture at two levels (sandy loam and clay loam), additive at five levels (50 and 1000  $\mu\text{M}$  levels of oxalic acid, 1% and 2% weight basis for vermicompost, and a zero level as a control), and the amount of leaching water at 10 levels (10 pore volume). PVC soil columns with an inner diameter of 15 cm and a height of 25 cm were prepared and the treatments were applied, then, leaching was performed based on soil suction measurements at different pore volumes. The results indicated that, after the application of vermicompost to the clay loam soil, leaching colloid from the soil increased and the discharged lead decreased. Adding organic acid increased leaching colloid from the soil; however, treating 50  $\mu\text{M}$  organic acids significantly decreased discharged colloid compared to the control and 1000  $\mu\text{M}$  organic acids treatment. The lowest rates of lead discharge were in the control treatment and the more the concentration of the acid, the more was the discharged lead. However, regarding lead discharge, there was no significant difference among the three levels. In the sandy loam soil, the greatest level of colloid transport belonged to the control, and adding vermicompost significantly prevented colloid transport from the soil, which was compatible with the process of lead discharge. Moreover, adding organic acid decreased colloid transport and the greatest rates of the transportation was recorded in the control treatment that was also compatible with the process of lead discharge. Furthermore, the relation between lead and the discharged colloid was only significant in the sandy loam soil. The results of this study showed that the movement of soluble lead in fine textured soils was negligible and insignificant; however, a substantial amount of lead discharge was detected through colloidal adsorption transport in soil columns. Therefore, it may be concluded that such mechanism would result in lead contamination of groundwater in these types of soils.

**Keywords:** Leaching, Pore volume, Montemorillonite clay, Colloidal lead adsorption, Soluble lead

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Rafsanjan city, Velayat boulevard, Payame Noor University, Department of Agriculture