نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۲۸-۳۱۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 319-328

ظرفیت جذب کادمیم و سرب در شماری از خاک‌های حاوی پالیگورسکایت استان اصفهان

پریسا معتمدی[۱]- محمدحسن صالحی[۲*]- علیرضا حسین‌پور[۳]

تاریخ دریافت:۹۰/۱/۲۱
تاریخ پذیرش:۹۰/۸/۲۹

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی ویژگی‌های جذب عناصر سرب و کادمیم در افق‌های سطحی و زیرسطحی ده نمونه از خاک‌های حاوی پالیگورسکایت در شرق استان اصفهان بود. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه تعیین گردید و ویژگی‌های جذب سرب و کادمیم از هم‌دماهای جذب با استفاده از معادلات لانگمویر، فروندلیچ وخطی برآورد شد. نتایج کانی‌شناسی نشان داد، در همه خاک‌های مورد مطالعه، کانی‌های گروه اسمکتایت، میکا، پالیگورسکایت، کلرایت، کائولینایت و کوارتز وجود دارد. هم‌دماهای جذب فروندلیچ و خطی، قادر به توصیف جذب سرب و هم‌دماهای جذب فروندلیچ، لانگمویرو خطی قادر به توصیف جذب کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه بودند، هم‌دمای فروندلیچ برای هر دو عنصر دارای بیشترین ضریب همبستگی بود. ثابت توانی فروندلیچ (n) برای سرب و کادمیم به‌ترتیب در دامنه ۱/۵۲-۰/۲۲ و ۴/۶۱-۱/۹۵ بود. ضریب توزیع فروندلیچ (K_F) برای سرب و کادمیم به‌ترتیب در دامنه ۱۱۴۸۱۵-۲۶۷۹ و ۱۳۶۹-۳۵۳ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. حداکثر جذب کادمیم (b) در دامنه ۲۰۰۰-۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ثابت متناسب با انرژی پیوند (k) برای کادمیم در دامنه ۲/۵۰-۰/۳۰ لیتر بر میلی‌گرم به‌دست آمد. در مدل خطی، ضریب توزیع (K_d) برای سرب و کادمیم به‌ترتیب در دامنه ۶۴۶۰۵-۴۱۸۸ و ۶۷۸-۳۳ لیتر بر کیلوگرم بود. به طور کلی، در خاک‌های منطقه، مقدار جذب سرب به مراتب بالاتر از کادمیم بود. همبستگی پارامترهای هم‌دماهای جذب با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که در جذب سرب و کادمیم، ویژگی‌های خاک شامل کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، گنجایش تبادل کاتیونی و درصد رس، مهم‌ترین پارامترها هستند.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، پالیگورسکایت، جذب، سرب، کادمیم

مقدمه

موضوع آلودگی خاک، موجب افزایش نگرانی‌هایی در مورد محیط‌زیست شده است. آلودگی‌های شیمیایی به‌وسیله فلزهای سنگین حتی در غلظت‌های کم به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده دارند، دارای اهمیت‌اند (۴). سرب و کادمیم از جمله فلزات سنگین هستند که به خاطر توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی به سلامت انسان و حیوان، در چند دهه اخیر از نظر مسائل زیست‌محیطی، بسیار مورد توجه قرار گرفته و سعی شده از ورود آنها به چرخه محیط‌زیست تا حد امکان جلوگیری شود. آلودگی خاک به‌وسیله عناصر سنگین، عمدتاً پدیده‌ای دست‌ساز و حاصل فعالیت‌های انسان است. افزایش فعالیت‌های صنعتی، اکتشاف کانسارها و شهرنشینی، باعث آلودگی و انباشتگی فلزهای سنگین در خاک شده که نهایتاً منجر به جذب این فلزها توسط گیاهان و آلودگی زنجیره غذایی می‌گردد (۱۳). قابلیت جذب و اثرات بازدارندگی فلزهای سنگین برای گیاهان و ریزجانداران، پویایی آنها به سوی آب‌های زیرزمینی و همچنین اثرات بازدارندگی این فلزها بر فرآیندهای زیست‌شیمیایی خاک، بستگی به واکنش‌هایی دارد که یون‌های فلزی با ذرات خاک انجام می‌دهند. فرآیند جذب یکی از مهم‌ترین واکنش‌های شیمیایی فلزهای سنگین در محیط خاک به‌شمار می‌رود. رفتار جذب فلزهای سنگین در انواع خاک‌ها متفاوت است و به وسیله خصوصیات خاک از قبیل کانی‌شناسی رس، مواد آلی، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار هیدروکسیدها زیر تأثیر قرار می‌گیرد (۲۴ و ۲۷).

هم‌دماهای جذب، اطلاعات مفیدی را درباره گنجایش نگهداری خاک و قدرت جذب فلزها در خاک فراهم می‌کنند. با توجه به ماهیت ناهمگن و تنوع کانی‌های خاک، با مطالعه برهم‌کنش عناصر با هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده خاک، می‌توان نقش فازهای جامد مختلف را در سرنوشت فلزات سنگین به طور جداگانه بررسی نمود. هر چند

۱،۲و۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: mehsalehi@yahoo.com)

مطالعات زیادی در مورد جذب فلزهای سنگین توسط کانی‌های لایه‌ای (۲۲)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز (۱۹) و مواد آلی (۱۸) خاک انجام پذیرفته، چنین اطلاعاتی در مورد کانی پالیگورسکایت به‌ندرت در منابع دیده می‌شود. ایتامی و یانی (۲۵)، خصوصیات جذب و واجذبی کادمیم و سرب را در پنج نوع کانی مختلف شامل مونت‌موریلونایت، سریسایت (Sericite)، کائولینایت، هالوسایت و آلوفان که به عنوان نماینده کانی‌ها در خاک‌های جهان انتخاب شده بودند مورد تحقیق قرار دادند. جذب کادمیم و سرب، وابستگی زیادی به pH داشت، شبیه آنچه که در مورد جذب این عناصر توسط اکسیدها مشاهده می‌شود. از بین این رس‌ها، رس‌های معدنی ۲:۱ در مقابل جذب کادمیم، واکنش بیشتری نشان دادند که به خاطر تراکم بار زیاد این رس‌ها ارتباط داده شد. آلوارز آیوسو و گارسیا-سانچز (۱۷)، توانایی کانی پالیگورسکایت در جذب فلزات سرب، روی، مس و کادمیم را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند با اضافه کردن مقادیر مختلف پالیگورسکایت به خاک‌های آلوده، غلظت این عناصر در محلول خاک کاهش می‌یابد، به طوری که سرب، بیشترین جذب را توسط کانی پالیگورسکایت داشته است. میزان شستشوی عناصر در هنگام استفاده از پالیگورسکایت با نسبت ۴ درصد در خاک برای سرب، ۵۰ درصد، روی، ۵۲ درصد، مس، ۵۹ درصد و کادمیم، ۶۶ درصد گزارش شده است.

پالیگورسکایت جزء رس‌های سیلیکاتی رشته‌ای است که از کانی‌های منحصربه‌فرد و فراوان مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود و معمولا" همراه با گچ یا کانی‌های کربناتی مانند کلسیت یافت می‌شود (۲۸). وجود پالیگورسکایت در ایران نیز طی مطالعات متعددی در خاک‌های استان اصفهان (۵ و ۷)، چهارمحال‌وبختیاری (۱۰ و ۱۲)، یزد (۲)، کرمان (۱۱)، فارس (۱، ۳ و ۸)، کرمانشاه (۹)، و خراسان (۶) گزارش شده است.

رس‌های رشته‌ای مانند پالیگورسکایت، توانایی قابل توجهی در جذب یون‌ها و مولکول‌های معدنی و آلی دارند. این کانی دارای گنجایش تبادل کاتیونی ۳۰-۵ cmol (+) kg^{-1} بوده که عمدتاً مربوط به جایگزینی هم‌شکل در لایه چهاروجهی است. رس پالیگورسکایت علی‌رغم گنجایش تبادل کاتیونی پایین، توانایی قابل توجهی در جذب عناصر دارد که دلیل آن به سه نوع مرکز فعال جذب شامل یون‌های اکسیژن سطحی در لایه‌های چهاروجهی، مولکول‌های آب پیوند شده با منیزیم در لایه‌های هشت وجهی و گروه‌های SiOH لبه‌های شکسته لایه چهاروجهی بر روی سطح پالیگورسکایت، ارتباط داده شده است. ساختار پالیگورسکایت شامل صفحات پیوسته از اتم‌های اکسیژن پایه‌ای چهاروجهی است و اکسیژن‌های رأسی واحدهای چهاروجهی به طور متناوب به سمت بالا و پائین جهت گرفته‌اند. در بخش‌هایی که رأس چهاروجهی‌ها به سمت یکدیگر است لایه هشت وجهی بین دو لایه چهاروجهی قرار گرفته و یک نوار ۲:۱ را تشکیل می دهد که در جهت محور x امتداد یافته‌اند. سطح ویژه پالیگورسکایت بر اساس مدل‌های ساختمانی ۸۰-۹۰ $m^2\ kg^{-1}$ محاسبه شده که شامل سطوح داخلی نیز می‌گردد (۳۴). بنابراین، انتظار می‌رود خاک‌های حاوی این کانی در مناطق خشک کشور، پتانسیل خوبی برای جذب عناصر سنگین و در نتیجه جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، گیاه، دام و انسان داشته باشند. این کانی به عنوان کانی غالب بخش رس در خاک‌های شرق استان اصفهان، گزارش شده است (۲۹). هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های جذب عناصر سرب و کادمیم در تعدای از افق‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های حاوی پالیگورسکایت در شرق استان اصفهان بود. نتایج این پژوهش می‌تواند بینشی در ارتباط با توانایی و پتانسیل خاک‌های مناطق خشک ایران مرکزی در جذب عناصر سنگین ایجاد نماید و در نتیجه امکان استفاده از این خاک‌ها را برای احداث کارخانجات صنعتی، دفن زباله‌ها و یا دفع پساب‌های صنعتی مشخص کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شرق اصفهان، حدفاصل شمال شهرک صنعتی جی و جنوب فرودگاه شهید بهشتی اصفهان، در بین عرض‌های جغرافیایی "۳۲°۴۱'۲۰ تا "۳۲°۴۰'۲۵ شمالی و طول‌های جغرافیایی "۵۱°۵۱'۰ تا "۵۱°۵۰'۲۸ شرقی واقع شده است. منطقه، به‌وسیله یک اقلیم خشک با میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۴/۷ درجه سیلسیوس و میانگین درجه حرارت تابستان و زمستان به ترتیب، ۲۵/۸ و ۵/۸ درجه سیلسیوس توصیف می‌گردد و میانگین بارندگی منطقه حدود ۱۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد (۲۸). رژیم رطوبتی خاک، اریدیک (Aridic) و رژیم حرارتی آن ترمیک (Thermic) است.

پس از بازدید از منطقه، ده موقعیت برای حفر خاکرخ در نظر گرفته شد و از دو افق سطحی و زیرسطحی آنها نمونه‌برداری صورت گرفت. بافت به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (۲۳). pH خاک و قابلیت هدایت الکتریکی (نسبت ۵:۱ آب: خاک) اندازه‌گیری شد. درصد کربنات کلسیم معادل (۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۶) و ماده آلی (۳۷) اندازه‌گیری شد. جداسازی رس با استفاده از روش کیتریک و هوپ (۳۰) و آنالیز کانی‌شناسی رس به‌وسیله دستگاه XRD مدل بروکر D8 صورت گرفت. جذب سرب و کادمیم در نمونه‌های خاک سطحی و زیرسطحی مطالعه شد، به این منظور ابتدا ۰/۵ گرم از هر نمونه خاک در درون بطری‌های شیشه‌ای ریخته شد و سپس، ۲۵ میلی‌لیتر از محلول‌های صفر، ۵ ، ۱۰، ۲۰ ، ۳۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر کادمیم (به صورت نمک کلرید کادمیم) و صفر، ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ ، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر سرب (به صورت نمک کلرید سرب) به

نمونه‌ها اضافه گردید. نمونه‌ها برای ۲ ساعت بر روی دستگاه تکان‌دهنده برقی، تکان داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس برای رسیدن به تعادل در انکوباتور نگهداری شدند. سپس، بطری‌ها از انکوباتور خارج و سوسپانسیون درون بطری‌ها به‌وسیله پیپت جدا گردید. غلظت سرب و کادمیم محلول صاف شده به ترتیب با دستگاه جذب اتمی و ICP اندازه‌گیری شد. مقدار سرب و کادمیم جذب شده توسط خاک‌ها از تفاوت بین مقدار غلظت اولیه و نهایی آنها در محلول‌های تعادلی تعیین گردید. سپس، معادلات لانگمویر، فروندلیچ و خطی بر داده‌ها برازش و پارامترهای این معادلات تعیین شدند.

نتایج و بحث

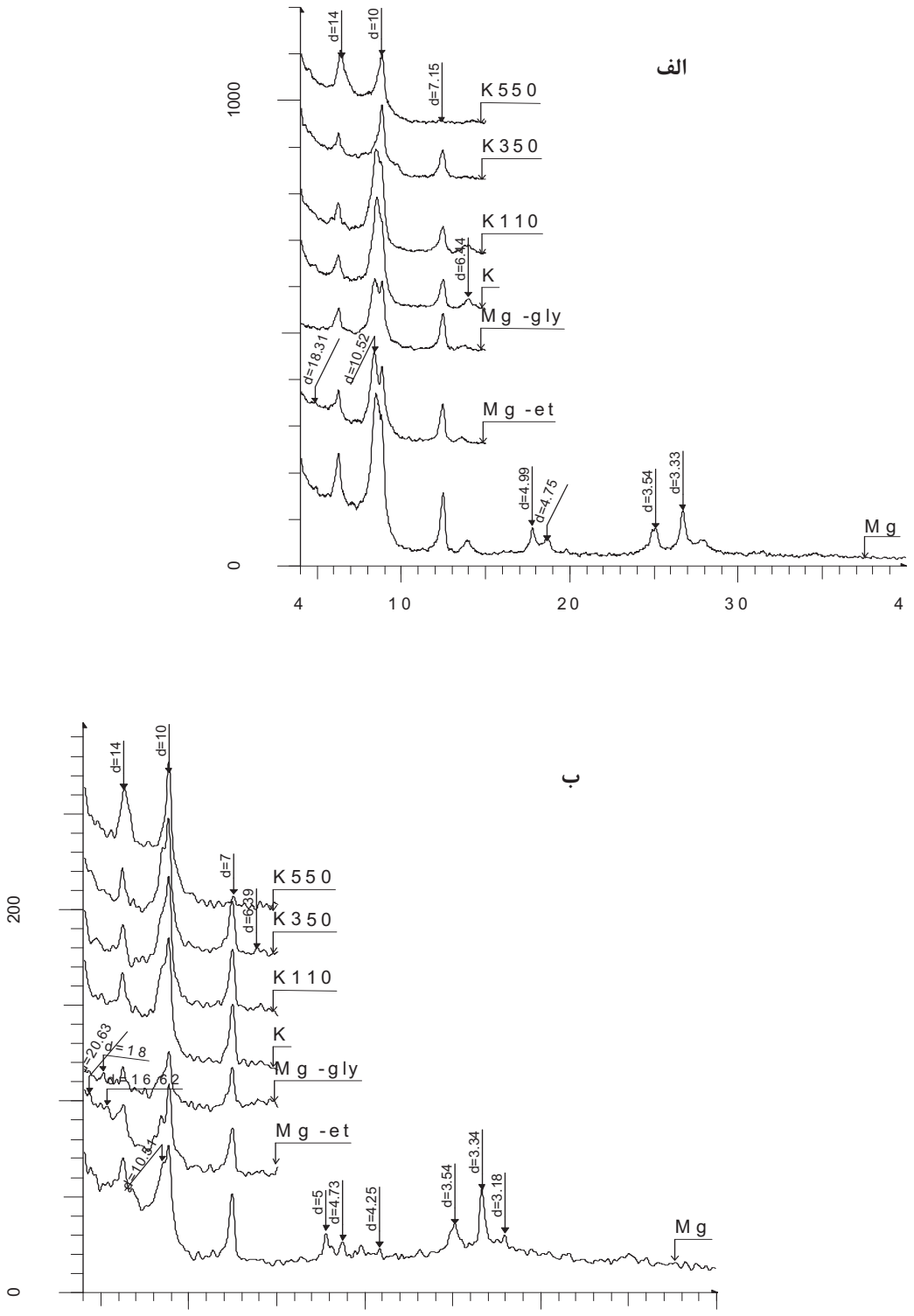
ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های مطالعه شده

نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. مطابق با این جدول، همه خاک‌ها دارای pH قلیایی هستند. درصد کربنات کلسیم معادل در دامنه ۳۱/۵ تا ۶۷/۵ درصد قرار دارد که نشان‌دهنده مقدار زیاد کربنات کلسیم در این خاک‌هاست. بیشترین میزان مواد آلی در خاک شماره ۳ (۲/۳۱ درصد) و کمترین میزان در خاک‌های شماره ۱۰، ۱۴ و ۱۶ (۰/۱۵درصد) دیده شد. بیشترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک شماره ۳ (۱۹/۶۳ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) وکمترین میزان در خاک شماره ۱۹ (۴/۹۷ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) دیده شد. خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت‌های متفاوت می‌باشند.

پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس مربوط به افق‌های پروفیل‌های خاک (شکل ۱ به عنوان نمونه‌ای از تمامی خاک‌ها) نشان می‌دهند در تیمارهای پتاسیم اشباع همراه با حرارت ۱۱۰ تا ۵۵۰ درجه سیلسیوس افزایش در شدت پیک ۱۰ آنگستروم به وضوح مشاهده می‌شود که می‌تواند دلیل بر وجود کانی‌های ورمی‌کولایت و یا اسمکتایت باشد. برای تشخیص ورمی‌کولایت از اسمکتایت از تیمار منیزیم اشباع همراه با گلیسرول نیز استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاکرخ	افق	عمق (cm)	شماره خاک	گنجایش تبادل کاتیونی خاک ($cmol\ (+).kg^{-1}$)	pH	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	رس
						درصد		
یک	A	۰–۱۳	۱	۵/۹۲	۸/۵۱	۱/۶	۵۷	۲۳
	Btk	۱۳–۵۵	۲	۱۸/۵۹	۷/۸۶	۰/۴۴	۳۷/۵	۳۵
دو	A	۰–۳۰	۳	۱۹/۶۳	۸/۲۲	۲/۳۱	۴۳/۵	۳۷
	Bt_1	۳۰–۶۰	۴	۱۸/۵۵	۸/۲۵	۰/۷۹	۴۱/۵	۴۵
سه	A	۰–۳۰	۵	۱۴/۱۴	۷/۷۷	۰/۳۶	۳۶/۵	۳۱
	Bw	۳۰–۸۰	۶	۱۳/۹۷	۷/۸۰	۰/۳۶	۳۱/۵	۳۱
چهار	A	۰–۱۵	۷	۱۴/۶۵	۷/۷۴	۱/۰۳	۳۸/۵	۲۱
	Bw	۱۵–۵۰	۸	۱۳/۱۹	۸/۰۳	۰/۳۶	۳۶	۲۷
پنج	A	۰–۱۰	۹	۱۴/۷۴	۷/۵۹	۰/۷۴	۴۷	۲۱
	Btk	۱۰–۳۵	۱۰	۱۴/۹۲	۷/۸۶	۰/۱۵	۴۸	۳۳
شش	A	۰–۱۷	۱۱	۱۲/۳۲	۷/۹۶	۱/۶۸	۳۹/۵	۲۱
	Btk	۱۷–۷۰	۱۲	۹/۶۴	۸/۱۳	۰/۲۹	۵۵	۲۷
هفت	A	۰–۱۵	۱۳	۷/۴۸	۸/۱۸	۰/۱۷	۶۴	۱۵
	Btk	۱۵–۴۵	۱۴	۱۱/۱۱	۷/۹۹	۰/۱۵	۵۲/۵	۳۱
هشت	A	۰–۱۵	۱۵	۶/۴۴	۸/۱۰	۰/۱۷	۶۴	۱۵
	Btk	۱۵–۵۰	۱۶	۱۳/۹۷	۷/۶۳	۰/۱۵	۴۵/۵	۳۹
نه	A	۰–۱۵	۱۷	۷/۵۶	۷/۸۷	۰/۱۷	۵۴	۲۳
	Btk	۱۵–۶۰	۱۸	۱۰/۱۶	۷/۹۵	۰/۱۷	۵۰	۳۹
ده	A	۰–۲۰	۱۹	۴/۹۷	۸/۳۳	۰/۲	۶۷/۵	۱۳
	Btk	۲۰–۶۰	۲۰	۱۳/۷۹	۸/۰۴	۰/۲	۴۵/۵	۴۱



شکل ۱- پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس از خاک شماره ۷، الف: خاک سطحی ب: خاک زیرسطحی

وجود پیک ۱۵/۶ تا ۱۷/۱ آنگستروم در تیمار منیزیم همراه با اتیلن‌گلیکول و وجود پیک ۱۷ تا ۱۸ آنگستروم در تیمار منیزیم همراه با گلیسرول مؤید وجود کانی‌های گروه اسمکتایت در این خاک‌هاست. حضور پیک ۱۰ آنگستروم در تمامی تیمارها دلیل بر وجود کانی میکا است. وجود پیک دو شاخه‌ای به دلیل پیک ۱۰ آنگستروم میکا و پیک ۱۰/۵ آنگستروم پالیگورسکایت، در تمامی نمونه‌ها و نیز پیک ۶/۴ آنگستروم در بعضی نمونه‌ها نشان از مقدار قابل توجه کانی فیبری پالیگورسکایت در همه خاک‌ها دارد. وجود پیک‌های ۱۴، ۷، ۴/۷ و ۳/۵ آنگستروم در تیمار اشباع با منیزیم و باقی ماندن پیک ۱۴ در تیمار پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سیلسیوس نشان دهنده کانی کلرایت در این خاک‌هاست (۲۰). از آنجا که پیک ۷ آنگستروم با پیک رده اول کائولینایت هم‌پوشانی دارند، حذف پیک ۷ آنگستروم در تیمار پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سیلسیوس و دو شاخه‌ای شدن پیک ۳/۵ آنگستروم می‌تواند نشان دهنده کائولینایت علاوه بر کلرایت نیز باشد. حضور پیک ۳/۳۴ و ۴/۲۶ آنگستروم نیز دلیل بر وجود مقداری کوارتز در نمونه‌ها است.

مطالعه هم‌دماهای جذب سرب و کادمیم

ضرایب تبیین (R^2) هم‌دماهای جذب سرب و کادمیم برای خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. از مقایسه ضرایب تبیین بدست‌آمده نتیجه گرفته می‌شود هم‌دماهای جذب فروندلیچ و خطی قادر به توصیف جذب سرب و هم‌دماهای جذب فروندلیچ، لانگمویر و خطی قادر به توصیف جذب کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه بوده‌اند، ولی هم‌دمای فروندلیچ برای هر دو عنصر دارای بیشترین ضریب تبیین است. با توجه به جدول ۳، پارامتر n در معادله فروندلیچ به‌ترتیب، برای سرب و کادمیم در دامنه ۱/۵۲–۰/۲۲ و ۴/۶۱–۱/۹۵ قرار دارد.

جدول ۲- ضرایب تبیین هم‌دماهای خطی، فروندلیچ و لانگمویر برای سرب و کادمیم در خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	سرب			کادمیم		
	خطی	فروندلیچ	لانگمویر	خطی	فروندلیچ	لانگمویر
۱	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۴۸*	۰/۹۲**	۰/۸۲*	۰/۷۹*
۲	۰/۹۶**	۰/۹۱*	۰/۶۷*	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۱*
۳	۰/۹۹**	۰/۹۷*	۰/۲۴ ns	۰/۸۹*	۰/۹۵**	۰/۹۸**
۴	۰/۹۴*	۰/۹۴*	–	۰/۹۱*	۰/۹۵**	۰/۹۷**
۵	۰/۹۸**	۰/۹۷**	۰/۹۰*	۰/۹۲**	۰/۹۸**	۰/۹۷**
۶	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۰*	۰/۸۸*	۰/۹۸**	۰/۹۶**
۷	۰/۹۸**	۰/۹۴**	–	۰/۸۷*	۰/۹۸**	۰/۹۶**
۸	۰/۹۵**	۰/۹۹**	–	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۰/۹۳**
۹	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۰/۹۵**
۱۰	۰/۹۸**	۰/۹۶**	۰/۷۳*	۰/۸۴*	۰/۹۸**	۰/۹۶**
۱۱	۰/۹۵**	۰/۸۳*	–	۰/۹۷**	۰/۹۶**	۰/۸۹*
۱۲	۰/۹۴**	۰/۹۸**	–	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۸۹*
۱۳	۰/۸۲*	۰/۹۳**	–	۰/۹۶**	۰/۹۸**	۰/۹۵**
۱۴	۰/۹۱*	۰/۹۴**	–	۰/۸۷*	۰/۹۹**	۰/۹۸**
۱۵	۰/۹۴**	۰/۹۹**	–	۰/۹۸**	۰/۹۷**	۰/۹۲**
۱۶	۰/۸۶*	۰/۹۶**	–	۰/۸۷*	۰/۹۹**	۰/۹۸**
۱۷	۰/۹۴**	۰/۹۸**	–	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۹۴**
۱۸	۰/۹۲**	۰/۹۵**	–	۰/۸۵**	۰/۹۹**	۰/۹۸**
۱۹	۰/۸۱*	۰/۹۵**	–	۰/۹۱*	۰/۹۹**	۰/۹۷**
۲۰	۰/۸۸*	۰/۹۷**	–	۰/۹۰*	۰/۸۱*	۰/۹۶**
دامنه ضرایب تبیین	۰/۸۱–۰/۹۹	۰/۸۳–۰/۹۹	۰/۲۴–۰/۹۷	۰/۸۴–۰/۹۹	۰/۸۱–۰/۹۹	۰/۷۹–۰/۹۸

ns: غیر معنی‌دار

*: همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

**: همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

هر چه مقدار n در یک خاک کمتر باشد در واقع شدت جذب کمتر است و امکان آلودگی عناصر در آن خاک بیشتر است و این خاک به آلودگی فلزات سنگین حساس‌تر خواهد بود و مقدار کم عناصر آلوده کننده در آنها می‌تواند برای گیاهان سمیت ایجاد کند و به لحاظ زیست محیطی محل مناسبی برای دفع زباله نیستند (۱۵). بنابراین، خاک‌های شماره ۸، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ شدت جذب کمی برای عنصر سرب دارند. در تمامی این خاک‌ها مقدار ماده آلی کم می‌باشد و به نظر می‌رسد همین عامل باعث شدت جذب کمتر سرب در آن‌ها گردیده است. مواد آلی در خاک توسط واکنش‌های تبادلی و جذب شیمیایی کمپلکس‌هایی را با فلزات تشکیل می‌دهند و از این طریق باعث افزایش جذب می‌گردد (۱۸). الرشیدی و اوکانر (۱۰) K_F را پارامتر مناسبی برای مقایسه تمایل جذب در خاک‌های مختلف دانسته‌اند. ضریب توزیع فروندلیچ (K_F) به‌ترتیب، برای سرب و کادمیم در دامنه ۱۱۴۸۱۵-۲۶۷۹ و ۱۳۶۹-۳۵۳ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. بیشترین مقدار تمایل جذب سرب در خاک شماره ۱۷ با مقدار کربنات کلسیم معادل و pH بالا و کمترین مقدار تمایل جذب سرب در خاک شماره ۱۱ با کربنات کلسیم معادل کم مشاهده شد. بیشترین مقدار تمایل جذب کادمیم در خاک شماره ۴ با حداکثر مقدار رس و pH و کمترین مقدار تمایل جذب کادمیم در خاک شماره ۱۳ با مقدار گنجایش تبادل کاتیونی و ماده آلی پایین دیده شد. حداکثر جذب کادمیم (b) در دامنه ۲۰۰۰-۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ثابت متناسب با انرژی پیوند (k) برای کادمیم در دامنه ۲/۵۰-۰/۳۰ لیتر بر کیلوگرم به‌دست آمد.

ضریب توزیع هم‌دمای خطی، گنجایش خاک برای مقاومت در برابر تغییر غلظت محلول خاک در اثر ورود یا خروج نمک‌ها از خاک است (۲۶). آلووای (۱۶) بیان کرد، در صورتی که آزمایش‌ها در وضعیت یکسان انجام شود، K_d پارامتری مناسب برای مقایسه ظرفیت جذب خاک‌های مختلف یا مواد مختلف برای یک یون مشخص است. در مدل خطی، ضریب توزیع (K_d) برای سرب و کادمیم به‌ترتیب، در دامنه ۶۴۶۰۵-۴۱۸۸ و ۶۷۸-۳۳ لیتر بر کیلوگرم بود. به طور کلی، در خاک‌های منطقه، مقدار جذب سرب به مراتب بالاتر از کادمیم و میانگین ضریب توزیع فروندلیچ و میانگین ضریب توزیع هم‌دمای خطی برای عنصر سرب در خاک‌های زیرسطحی بیشتر بود.

با مطالعه پارامترهای ضریب توزیع فروندلیچ، ضریب توزیع هم‌دمای خطی، پارامتر حداکثر گنجایش جذب کادمیم و حداکثر ظرفیت بافری خاک هم‌دمای لانگمویر (برای کادمیم) خاک‌های سطحی مورد مطالعه مشخص گردید که برای جذب سرب و کادمیم، خاک‌های ۳ و ۱۷ دارای بیشترین ظرفیت جذب و خاک‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۹ دارای کمترین ظرفیت جذب بودند.

جدول ۳ - پارامترهای هم‌دماهای خطی، فروندلیچ و لانگمویر برای سرب و کادمیم در خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	سرب					کادمیم				
	$K_d(l.kg^{-1})$	n	$K_F(l.kg^{-1})$	$b(mg.kg^{-1})$	$K(l.mg^{-1})$	$K_d(l.kg^{-1})$	n	$K_F(l.kg^{-1})$	$b(mg.kg^{-1})$	$K(l.mg^{-1})$
۱	۸۹۴۶	۱/۳۷	۶۱۳۷	۱۰۰۰۰	۱/۴۲	۲۶۴	۴/۶۱	۸۳۷	۱۶۶۶	۱/۰۰
۲	۹۱۵۳	۱/۲۸	۹۰۱۵	۱۰۰۰	۲/۰۰	۱۱۷	۳/۰۶	۶۰۵	۱۶۶۶	۰/۵۴
۳	۳۳۸۶۲	۱/۱۷	۲۲۵۹۴	۲۰۰۰۰	۲/۵۰	۶۷۸	۲/۰۲	۱۳۶۹	۲۰۰۰	۲/۵۰
۴	۶۴۶۰۵	۱/۰۲	۴۸۷۵۲	-	-	۶۳۱	۲/۲۱	۳۱۸	۲۰۰۰	۲/۵۰
۵	۱۳۲۴۹	۱/۳۸	۱۰۵۹۲	۵۰۰۰	۶/۶۶	۱۷۸	۲/۳۸	۷۲۲	۱۶۶۶	۱/۰۰
۶	۱۲۷۵۱	۱/۵۲	۹۳۷۵	۵۰۰۰	۱۰/۰۰	۱۷۹	۱/۹۵	۶۱۷	۲۰۰۰	۰/۵۵
۷	۷۴۴۹	۱/۰۱	۸۵۳۱	–	-	۱۳۱	۲/۲۱	۵۸۴	۱۶۶۶	۰/۶۶
۸	۱۱۱۱۹	۰/۵۲	۱۸۸۳۶	-	-	۹۵	۲/۲۶	۴۵۱	۱۶۶۶	۰/۳۵
۹	۹۵۶۱	۱/۲۴	۹۲۶۸	۱۰۰۰۰	۲/۰۰	۱۵۷	۲/۵۴	۶۶۷	۱۶۶۶	۰/۸۵
۱۰	۱۵۰۰۳	۱/۴۰	۱۰۰۲۳	۵۰۰۰	۶/۶۶	۱۲۳	۲/۹۵	۶۹۰	۱۶۶۶	۰/۸۵
۱۱	۴۱۸۸	۱/۵۲	۲۶۷۹	-	-	۸۴	۲/۷۲	۴۷۲	۱۴۲۸	۰/۴۱
۱۲	۱۱۴۲۲	۰/۴۰	۲۴۳۱۶	-	-	۲۳۹	۲/۵۱	۷۳۹	۲۰۰۰	۰/۷۱
۱۳	۷۸۳۳	۱/۰۵	۶۰۱۱	-	-	۵۲	۲/۵۲	۳۵۳	۱۲۵۰	۰/۳۰
۱۴	۹۴۶۰	۱/۰۸	۶۸۳۹	-	-	۳۳	۲/۹۵	۳۵۷	۱۰۰۰	۰/۴۷
۱۵	۶۹۶۲	۰/۵۵	۷۵۶۸	-	-	۷۶	۲/۶۶	۴۴۲	۱۴۲۸	۰/۳۶
۱۶	۱۰۱۶۰	۰/۴۲	۱۵۳۸۱	-	-	۳۸	۲/۷۵	۳۵۵	۱۱۱۱	۰/۴۰
۱۷	۱۶۷۵۹	۰/۲۲	۱۱۴۸۱۵	-	-	۱۲۶	۲/۹۵	۶۳۸	۱۶۶۶	۰/۷۵
۱۸	۱۵۵۷۷	۰/۲۵	۸۰۷۲۳	-	-	۴۱	۳/۲۰	۴۴۷	۱۱۱۱	۰/۶۹
۱۹	۷۹۳۲	۰/۲۹	۸۳۹۴	-	-	۴۳	۲/۸۱	۳۸۰	۱۱۱۱	۰/۴۵
۲۰	۱۰۵۳۷	۰/۳۹	۱۸۴۹۲	-	-	۶۶	۳/۸۴	۵۹۸	۱۲۵۰	۰/۸۸

با مطالعه پارامترهای ضریب توزیع فروندلیچ، ضریب توزیع هم‌دمای خطی، پارامتر حداکثر گنجایش جذب کادمیم و حداکثر ظرفیت بافری خاک هم‌دمای لانگمویر (برای کادمیم) خاک‌های عمقی مورد مطالعه مشخص گردید که برای جذب سرب و کادمیم، نمونه‌های خاک ۴ و ۱۸ دارای بیشترین ظرفیت جذب و خاک‌های ۱۴، ۱۶ و ۲ دارای کمترین ظرفیت جذب هستند. بنابراین، خاکرخ‌های ۲ و ۹ بیشترین ظرفیت جذب را برای عناصر سرب و کادمیم دارند. خاکرخ ۲ دارای گنجایش تبادل کاتیونی، مقدار ماده آلی، درصد رس و رس‌های گروه اسمکتایت بیشتر و خاکرخ ۹ دارای کربنات کلسیم معادل و رس پالیگورسکایت بیشتری نسبت به بقیه خاک‌ها بود. در مطالعه‌ای جداگانه توسط نویسندگان (نتایج آورده نشده است) میزان جذب رس پالیگورسکایت خالص و تاثیر اضافه شدن آن بر میزان جذب سرب و کادمیم مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد پارامترهای جذب، همبستگی معنی‌داری با اضافه شدن رس پالیگورسکایت نشان می‌دهند.

بار الکتریکی و شعاع یونی کاتیون‌ها بر جذب آن‌ها اثر می‌گذارند. در حالی که رفتار گزینشی عناصر گروه اول و دوم جدول تناوبی برای جذب می‌تواند به وسیله این دو عامل توضیح داده شود ولی معمولاً رفتار فلزات سنگین قابل توجیه نیست. برتری کلوییدها برای یک یون نسبت به یون دیگر با ظرفیت مساوی را نمی‌توان به وسیله تئوری پخش دو لایه‌ای توضیح داد. با این حال اگر کاتیون‌های واقع در سطح کلویید حاوی یک لایه از کاتیون‌هایی که به صورت ویژه‌ای جذب سطحی شده‌اند، باشد، قابل توضیح است. ترکیب این لایه در صورتی که ویژگی‌های یونی (مانند شعاع آب‌گیری شده و قطبش‌پذیری) در نظر گرفته شود قابل تخمین است. پتانسیل یونی فلزات سنگین به وسیله بار الکتریکی و شعاع یونی تخمین زده می‌شود که به صورت Zn>Cd>Pb است (جدول۴). برای کاتیون‌هایی با ظرفیت‌های یکسان، قدرت جذب به وسیله شعاع هیدراته یون تعیین می‌شود به طوری که هر چه شعاع یونی بیشتر باشد، شعاع هیدراته کمتر می‌شود و قدرت جذب افزایش می‌یابد (۲۴).

جدول ٤- شعاع یونی و پتانسیل یونی کادمیم و سرب (۳۳)

فلز	شعاع یونی (nm)	پتانسیل یونی
کادمیم	۰/۰۹۶	۴۱/۲۳
سرب	۰/۱۲۷	۳۱/۴۹

گومز و همکاران (۱۳) مشاهده کردند که در جذب رقابتی، کاتیون‌های فلزی Cr، Pb و Cu به شدت جذب خاک‌های برزیل شدند در حالی که Cd، Ni و Zn کمتر جذب شدند. برای فلزات با ظرفیت‌های یکسان، دیگر پژوهشگران مشاهده کردند که توالی، کاملاً طبق الکترونگاتیویتی نیست (۲۴). ادهیکاری و سینگ (۱۴)، در اندازه‌گیری جذب فلزات سنگین در خاک، جذب کادمیم را ۴ تا ۶ برابر کمتر از سرب گزارش کردند.

همبستگی پارامترهای هم‌دماهای جذب با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۵) نشان داد که در جذب سرب و کادمیم، ویژگی‌های خاک شامل درصد رس، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی و گنجایش تبادل کاتیونی، مهم‌ترین پارامترها هستند. گومز و همکاران (۲۴) ظرفیت تبادلی و pH را در جذب کروم، کادمیم، نیکل و سرب، و درصد کربن آلی و رس بر جذب مس مؤثر دانستند. سینگ و همکاران (۳۵) مقدار رس و CEC را عوامل مؤثر بر جذب دانستند. مک‌براید و همکاران (۳۱) بیان کردند که ظرفیت نگهداری کادمیم توسط مواد آلی و رس، به دلیل جایگزینی کادمیم به جای منیزیم و کلسیم، با افزایش درصد اشباع بازی افزایش می‌یابد و خاک‌های با درصد اشباع بازی بالا، قابلیت جذب کادمیم توسط گیاه را کم می‌کنند و خاک سطحی با مواد آلی زیاد و ظرفیت نگهداری بیشتر کادمیم نسبت به خاک زیرسطحی، جذب کادمیم به‌وسیله گیاه را بیشتر محدود می‌کند. جذب سطحی مس و سرب با درصد اشباع بازی همبستگی بالا و بعد از آن با pH و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی متوسط داشته و کمتر با میزان رس و درصد ماده آلی رابطه دارد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین ثابت‌های هم‌دماهای جذب سرب و کادمیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

	سرب			کادمیم				
	n	K_F	K_d	n	K_F	K_d	b	k
رس	۰/۰۱ ns	۰/۲۵ ns	۰/۵۷**	۰/۰۲ ns	۰/۴۵*	۰/۴۰ ns	۰/۱۶ ns	۰/۵۳*
سیلت	۰/۲۳ns	−۰/۰۳ ns	۰/۲۲ ns	−۰/۶۱**	۰/۲۶ ns	۰/۳۰ ns	۰/۵۲*	۰/۲۰ ns
ماده آلی	۰/۴۹*	−۰/۱۹ ns	۰/۲۴ ns	−۰/۰۲ ns	۰/۶۱**	۰/۶۴**	۰/۴۲ ns	۰/۵۵*
کربنات کلسیم معادل	−۰/۴۵*	۰/۰۷ ns	−۰/۲۰ ns	۰/۳۶ ns	−۰/۲۷ ns	−۰/۲۳ ns	−۰/۴۵*	−۰/۲۲ ns
CEC	۰/۴۲ ns	−۰/۱۱ ns	۰/۴۹*	−۰/۴۱ ns	۰/۵۵*	۰/۵۱*	۰/۴۶*	۰/۵۵*
pH	−۰/۱۱ ns	−۰/۰۳ ns	۰/۲۷ ns	۰/۳۵ ns	۰/۳۱ ns	۰/۳۷ ns	۰/۰۴ ns	۰/۳۱ ns

ns: غیر معنی‌دار

*: همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

**: همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

نتیجه‌گیری

در تمامی خاک‌های مورد مطالعه، کانی‌های گروه اسمکتایت، میکا، پالیگورسکایت، کلرایت، کائولینایت و کوارتز وجود دارند. هم‌دماهای جذب فروندلیچ و خطی، قادر به توصیف جذب سرب و هم‌دماهای جذب فروندلیچ، لانگمویر و خطی قادر به توصیف جذب کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه بودند و هم‌دمای فروندلیچ برای هر دو عنصر دارای بیشترین ضریب همبستگی بود. خاک‌های مطالعه شده، گنجایش زیادی در جذب عناصر سرب و کادمیم دارند. به طور کلی، در خاک‌های منطقه، مقدار جذب سرب به مراتب بالاتر از کادمیم و میانگین ضریب توزیع فروندلیچ و میانگین ضریب توزیع هم‌دمای خطی برای عنصر سرب در خاک‌های زیرسطحی بیشتر بود. این نتایج بیانگر این است که در اضافه نمودن پساب‌های صنعتی به خاک‌های یک منطقه، علاوه بر نوع خاک، نوع عناصر موجود در پساب نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. ویژگی‌های خاک شامل کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، درصد رس و نوع رس از جمله مهمترین پارامترها در جذب سرب و کادمیم هستند. پیشنهاد می‌شود چنین مطالعاتی بر روی جذب سایر عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه بررسی شود و با اضافه نمودن پساب، مقدار جذب توسط گیاهان نیز اندازه‌گیری گردد.

منابع

۱-ابطحی ع. و خرمالی ف. ۱۳۷۸. بررسی خصوصیات تکاملی، فیزیکوشیمیایی، مورفولوژیکی و مینرالوژیکی یک کاتنای مالی‌سول تشکیل‌شده تحت تاثیر تغییرات سطح ایستابی در منطقه داراب واقع در استان فارس، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۷۵.

۲-اخوان‌قالیباف م. و چیژیکووا ن.پ. ۱۳۷۸. ویژگی‌های کانی‌شناسی خاک‌های تشکیل‌یافته بر روی رسوبات سیلابی و واکنش آنها در برابر آبیاری در حاشیه دشت سیلابی یزد-اردکان، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۳۸.

۳- باقرنژاد م. ۱۳۷۸. بررسی کانی‌های رسی خاک‌های واحدهای مختلف فیزوگرافی استان فارس، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۶۲. ۴

۴- بقایی ا.، خادمی ح. و محمدی ح. ۱۳۸۵. تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل‌جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره دوم.

۵-تومانیان ن.، جلالیان ا. و ذوالانوار ع. ۱۳۷۸. بررسی منشا گچ در اراضی شمال غربی اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، جلد۳، صفحات ۲۵ تا۴۰.

۶-حق‌نیا غ.ح. ۱۳۶۱. مطالعات کانی‌شناسی برخی خاک‌های دشت مشهد، علوم کشاورزی ایران، جلد۱۳، صفحات ۱ تا ۱۷.

۷-خادمی ح. ۱۳۷۸. رابطه مقدار کانی رسی پالیگورسکایت و مرفولوژی آن با فرم اراضی در اطراف اصفهان، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۳۴۹.

۸-خرمالی ف. و ابطحی ع. ۱۳۷۸. مطالعه و بررسی خصیوصیات ژنتیکی و مینرالوژیکی خاک تحت شرایط مواد مادری آهکی در سه منطقه مختلف در استان‌های فارس، بوشهر و خوزستان، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۴۸.

۹-شکاری پ. و ابطحی ع. ۱۳۸۰. بررسی خصوصیات شکل‌شناختی و کانی‌شناختی یک ورتی‌شول در ناحیه نیمه‌خشک غرب ایران، مجموعه مقالات کوتاه هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد، صفحه ۱۵۳.

۱۰- صالحی م.ح.، خادمی ح. و کریمیان‌اقبال م. ۱۳۸۲. شناسایی و نحوه تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه فرخ‌شهر استان چهارمحال‌وبختیاری، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۷، صفحات ۷۳ تا۹۰.

۱۱- فرپور م.ه.، خادمی ح. و کریمیان‌اقبال م. ۱۳۸۰. تشکیل پالیگورسکایت و کانی‌های رسی همراه در خاک‌های سطوح مختلف ژئومورفولوژی حوالی رفسنجان، مجموعه مقالات کوتاه هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد، صفحه ۱۹۸.

۱۲- کریم‌زاده ح.ر. و جلالیان ا. ۱۳۷۸. مطالعه چگونگی تشکیل و تحول خاک‌ها در یک ردیف ارضی-آبی در حوزه فرغی خانمیرزا و چله‌خانه واقع در استان چهارمحال‌وبختیاری، چکیده مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۳۵.

۱۳- وهاب‌زاده ع. ۱۳۷۲. مبانی محیط‌زیست، چاپ اول، جهاد دانشگاهی مشهد.

14- Adhikari T., and Singh M.V. 2000. Sorption of cadmium in soils of India. In: J.S.P. Yadav (Ed.), Conference on Managing Natural Recourses for Sustainable Agricultural Production for 20th Century. ICAR, New Dehli. pp. 143-144.

15- Adhikari T., and Singh M.V. 2003. Sorption characteristics of lead and cadmium in some soils of India. Geoderma 114:81-92.
16- Alloway B.J. 1995. Cadmium. In: B. J. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils. 2nd ed. Chapman and Hall, Glasgow. pp. 122-151.
17-Alvarez-Ayuso E., and Garcia-Sanchez A. 2003. Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils. Environmental Pollution 125:337-344.
18-Brooks S.C., and Herman J.S. 1998. Rate and extent of cobalt sorption to representative aquifer minerals in the presence of a moderately strong ligand. Applied Geochemistry. 13:77-88.
19- Chen X., Wright J.V., Conca J.L., and Peurrung L.M. 1997. Effects of pH on heavy metal sorption on mineral apatite. Environmental Science and Technology 31:624-631.
20- Dixon J.B., and Weed S.W. 1992. Minerals in soil environments. Soil Science Society of America Journal, 3nd ed. Madison. Wisconsin USA,1244.
21- Elrashidi M.A., and Oconnor G.A. 1982. Influence of solution composition on sorption of zinc by soils. Soil Science Society of America Journal 46:1153-1158.
22- Farrah H., and Pickering W.F. 1977. The sorption of lead and cadmium species by clay minerals. Australian Journal of Chemical 30:1417-1422.
23- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis, In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis., part1, physical and mineralogical methods Agronomy Soil Science Society of America, Madison, WI. pp:383-411.
24- Gomes P.C., Fontes M.P., Dasilva A.G., Mendoca E.S., and Netto A.R. 2001. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metal by Brazilin soils. Soil Science Society of America Journal 65:1115-1121.
25- Itami K., and Yanai J. 2006. Sorption and desorption properties of cadmium and copper on soil clays in relation to charge characteristics. Soil Science and Plant Nutrition 52(1):5-12
26- Jaillard B., Schneider A., and Pellerin S. 2000. Modelisation du prelevement mineral par les plantes fondee sur le fonctionment des peuplements vegetaus sous contraintes environnementals. In: Maillard, PINRA, Paris, pp. 253-287.
27- Kabata-pendias A., and Pendias H. 2000. Trace elements in soils and plants. CRC. Press.
28- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in selected Iranian Aridisols. Soil Science Society of America Journal 50: 207-216.
29- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. Clay Mineral 33:561-578.
30- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. Soil Science Society of America Journal 96:312-325.
31- McBride D.B., Tyler L.D., and Hovde D.A. 1981. Cadmium adsorption by soils and uptake by plants as affected by soil chemical properties. Soil Science Society of America Journal 45:739-744.
32- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A. L., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part2. 2nd ed. Agron. Mongor. 9.ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 181-197.
33- Saha U.K., Taniguchi S., and Sakurai K. 2001. Adsorption behavior of cadmium, zinc and lead on Hydroxyaluminum–Hydroxyaluminosilicate- montmorillonite complexes. Soil Science Society of America Journal 65:694-703.
34- Singer A. 1989. Palygorskite and sepiolite group minerals. In: Dixon, J.B. and S. B. Weed (eds.). Minerals in Soil Environments 2nd ed. SSSA Book Series.1.SSSA, Madison, WI. pp.829-872.
35- Singh D., McLaren R.G., and Cameron K.C. 2006. Zinc sorption-desorption by soils: Effect of concentrationand length of contact period. Geoderma 137:117-125.
36- Thomas G.W. 1982. Exchangeable cations. In: Page, A. L. et al. (eds.). pp:159-164. Methods of Soil Analysis, ASA. SSSA, Madison, WI.
37- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. Soil Science Society of America Journal 79:459-465.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 319-328

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۲۸-۳۱۹

Cadmium and Lead Sorption Capacity in Some Palygorskitic Soils in Isfahan Province

P. Motamedi[1]- M.H. Salehi[2*]- A. Hosseinpur[3]

Received:10-4-2011
Accepted:20-11-2011

Abstract

This research was carried out to study the sorption of lead (Pb) and cadmium (Cd) at surface and sub-surface horizons of ten Palygorskitic soils in eastern Isfahan province. Physical, chemical and mineralogical properties of the selected soils were measured. Sorption characteristics of Pb and Cd were estimated from sorption isotherms using Langmueir, Ferundlich and linear equations. According to the mineralogical results, smectite, mica, palygorskite, chlorite, kaolinite and quartz exist in all of the studied soils. Ferundlich and linear adsorption isotherms and Ferundlich, Langmueir and linear adsorption isotherms were able to describe the lead adsorption and cadmium adsorption, respectively, Ferundlich isotherm showed higher R^2 for both of the elements. Parameter *n* in Ferundlich equation for Pb and Cd was in the range of 0.22-1.52 and 1.95-4.61, respectively. Distribution coefficient (K_F) for Pb and Cd was in the range of 2679-114815 and 353-1369 Lkg^{-1}, respectively. Maximum sorption of cadmium (b) was in the range of 1250-2000 $mgkg^{-1}$. The constant related to binding energy (k) was in the range of 0.30-2.50 Lmg^{-1} for cadmium. In linear model, distribution coefficient (K_d) for Pb and Cd was in the range of 4188-64605 and 33-678 Lkg^{-1}, respectively. In general, lead sorption was higher than cadmium sorption in the soils of the area. Correlation coefficients between sorption isotherms parameters and soil physico-chemical properties showed that calcium carbonate equivalent, organic mater, cation exchange capacity and clay percentage are the most important soil properties for Pb and Cd sorption.

Keywords: Isfahan, Palygorskite, Adsorption, Lead, Cadmium

1,2,3- Former MSc Student, Associate Professor and Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Respectively
(*- Corresponding Author Email: mehsalehi@yahoo.com)