

اثر سیدروفور دسفرال (DFOB) بر جذب کادمیم به وسیله کانی مسکویت

ملیحه کارآموز و محسن حمیدپور^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳)

چکیده

سیدروفورها مولکول‌های آلی با وزن مولکولی کم هستند که در شرایط کمبود آهن، به وسیله میکروارگانیسم‌های خاک و ریشه برخی از گیاهان ترشح و با کلات کردن آهن محلول خاک قابلیت جذب آن را افزایش می‌دهند. این ترکیبات با برخی از فلزات سنگین نیز تشکیل کمپلکس می‌دهند و بر زیست‌فراهمی و حرکت آنها در خاک اثر می‌گذارند. این پژوهش به منظور بررسی اثر سیدروفور دسفرال (DFOB) بر جذب کادمیم توسط کانی مسکویت انجام شد. مطالعات جذب وابسته به pH در محدوده pH ۴ تا ۹ و در یک غلظت کادمیم و سیدروفور به ترتیب ۵ میلی‌گرم در لیتر و ۲۵۰ میکرومولار انجام شد. همچنین هم‌دماهای جذب در محدوده غلظت کادمیم ۱/۵ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور سیدروفور (۲۵۰ میکرومولار) و بدون حضور سیدروفور در دو pH ۷ و ۸ انجام شد. نتایج نشان داد که سیدروفور جذب کادمیم روی کانی مسکویت را در تمامی pH های مورد مطالعه کاهش داد. هم‌دماهای جذب کادمیم در هر دو pH مورد مطالعه، تحت تأثیر سیدروفور قرار گرفتند. سیدروفور جذب کادمیم را کاهش داد. مدل‌های فروندلیخ و لانگمویر جذب کادمیم را در تمامی سیستم‌های مورد مطالعه به خوبی توصیف کردند. مقادیر ضرایب KF مدل فروندلیخ و KL مدل لانگمویر در سوسپانسیون‌های حاوی سیدروفور، کمتر از سیستم‌های بدون سیدروفور بود که نشان‌دهنده رقابت مسکویت و سیدروفور برای تشکیل کمپلکس با یون کادمیم است.

واژه‌های کلیدی: جذب، سیدروفور، عناصر سنگین، مسکویت

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mohsen_hamidpour@yahoo.com

مقدمه

کادمیم یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود که از راه‌های مختلف، منابع آب و خاک را آلوده می‌کند (۵) و اثرات زیان‌آور زیادی بر سلامتی بشر (۳) و سلامتی جوامع خاکزی، آبی و اکوسیستم‌ها دارد (۱۶). پالایش خاک‌ها و آب‌های آلوده به این عنصر، یکی از مهم‌ترین سیاست‌های زیست‌محیطی در کشورهای صنعتی است. این نگرانی در کشورهای در حال توسعه نیز وجود دارد (۱۹). مصرف لجن فاضلاب و کودهای فسفاته در زمین‌های کشاورزی، از مهم‌ترین عوامل آلودگی کادمیم در اراضی کشاورزی است (۸).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زیست‌فراهمی، سمیت و تحرک عناصر سنگین در خاک‌ها، توانایی تشکیل کمپلکس با لیگاندهای آلی موجود در خاک به‌ویژه در محیط ریشه گیاه (ریزوسفر) است (۱۹، ۲۰). یکی از مهم‌ترین لیگاندهای آلی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک سیدروفورها هستند که در شرایط کمبود آهن به‌وسیله میکروارگانیزم‌های خاک و ریشه برخی از گیاهان ترشح شده تا با کلات کردن آهن محلول خاک قابلیت جذب آن را افزایش دهند (۲۲). این لیگاندهای آلی با وزن مولکولی کم علاوه بر آهن با برخی از فلزات سنگین همچون کادمیم، سرب و روی تشکیل کمپلکس می‌دهند به طوری که ثابت پایداری برخی کمپلکس‌های سیدروفور- فلز سنگین حتی از ترکیب آهن- سیدروفور نیز بیشتر است (۹ و ۱۵). کمپلکس سیدروفور- فلز سنگین بسته به نوع سیدروفور، فلز سنگین و pH ریزوسفر ممکن است دارای بار مثبت، منفی و یا بدون بار است که به نوبه خود باعث افزایش یا کاهش جذب کمپلکس فلز سنگین- سیدروفور روی سطوح کلئیدهای خاک می‌شود (۱۷ و ۲۱). گونه‌های متفاوتی از سیدروفور شناخته شده است؛ لیکن نمک متان سولفانات دسفری اکسامین (DFOB) به صورت تجاری و تحت نام دسفرال تولید و در کارهای تحقیقاتی به طور متداول استفاده می‌شود. نیوبائر و همکاران (۱۴) نشان دادند که سیدروفور دسفرال، جذب مس روی کانی فری‌هایدرات در محدوده pH ۴ تا ۱۰ را محدود

می‌کند. کرامر و همکاران (۹) نیز گزارش کردند که جذب سرب روی گئوتیت، در حضور DFOB کاهش یافته و در حدود یک سوم جذب شده بر روی این کانی در pH بزرگ‌تر از ۶/۵ به‌وسیله سیدروفورها متحرک می‌شود. حمیدپور و همکاران (۱) گزارش کردند جذب کادمیم روی کانی مونت‌موریلونیت در حضور این نوع سیدروفور کاهش می‌یابد. هپینستال و همکاران (۶) نشان دادند که مقدار جذب کادمیم روی کائولینیت در حضور سیدروفور کاهش می‌یابد. ولی، شیروانی و همکاران (۱۷) افزایش جذب کادمیم توسط سپیولیت و پالیگورسکیت در حضور سیدروفور را گزارش کردند.

در اغلب تحقیقات صورت گرفته در مورد جذب فلزات سنگین در خاک از یک یا چند کانی خاص همچون سپیولیت، پالیگورسکیت (۱۷)، کائولینیت (۶) و مونت‌موریلونیت (۵) استفاده شده است که به آنها کانی مدل می‌گویند. کانی مدل ما در این پژوهش مسکویت بود. زیرا کانی‌های گروه میکا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کانی‌های بخش رس در خاک‌های مناطق مختلف ایران گزارش شده‌اند (۱۲). همچنین، اطلاعات چندانی درباره اثر سیدروفور بر جذب کادمیم توسط کانی مسکویت وجود ندارد. لذا، تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش سیدروفور دسفرال بر جذب کادمیم روی کانی مسکویت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

جذب کننده

نمونه کانی مسکویت مورد استفاده در این پژوهش از معادن همدان تهیه شد. نمونه کانی به‌وسیله آسیاب سنگ‌شکن پودر و از الک با مش ۲۷۰ (اندازه کمتر از ۰/۰۵ میلی‌متر) عبور داده شد. قبل از انجام آزمایش‌های جذب، برخی خصوصیات شیمیایی کانی مسکویت مانند سطح ویژه خارجی کانی به روش سیرس (۱۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم و تجزیه عنصری اندازه‌گیری و کانی به‌وسیله محلول استات سدیم اشباع و پس از هوا خشک نمودن کانی، نمونه‌های کانی توسط

آسیاب پودر شد.

pH نهایی تعلیق‌ها اندازه‌گیری و محلول تعادلی آنها به وسیله سانتیفریوژ در شتاب $3000g$ از بخش جامد جدا شد. محلول‌های تعادلی پس از اسیدی شدن با 100 میکرو لیتر اسید نیتریک غلیظ، در دمای 4 درجه سلسیوس در یخچال نگه‌داری و سپس غلظت کادمیم در همه محلول‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی (GBC- Avanta-PM) اندازه‌گیری شد.

هم‌دماهای جذب

آزمایش‌های هم‌دماهای جذب در دو pH، 7 ± 0.2 و 8 ± 0.2 انجام گرفت. بدین منظور مقادیر معینی کادمیم از محلول ذخیره‌ای 1000 میلی‌گرم در لیتر کادمیم به لوله‌های پلی اتیلنی حاوی 10 میلی‌لیتر سوسپانسیون رس اضافه شد؛ به طوری که غلظت اولیه کادمیم در محدوده $1/5$ تا 10 میلی‌گرم در لیتر متغیر باشد. برای هر سطح غلظت به کار رفته، یک نمونه شاهد (بدون حضور کانی) نیز در نظر گرفته شد. مشابه با آزمایش جذب وابسته به pH، مقادیر معینی از محلول (0.03 مولار هیدروکسید سدیم) به نمونه‌ها اضافه شد تا pH نهایی نمونه‌ها در 7 یا 8 ثابت بماند. نمونه‌ها به مدت 24 ساعت به وسیله شیکر تکان داده شدند. سپس pH نهایی تعلیق‌ها اندازه‌گیری و محلول تعادلی آنها به وسیله سانتیفریوژ در شتاب $3000g$ به مدت 20 دقیقه از بخش جامد جدا و سپس غلظت کادمیم در تمامی محلول‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی اثر سیدروفور بر جذب کادمیم، تمامی آزمایش‌های هم‌دماهای جذب کادمیم در حضور سیدروفور DFOB نیز انجام گرفت. بدین صورت که مقادیر معینی از محلول ذخیره‌ای DFOB یک مولار به نمونه‌ها اضافه شد، به طوری که غلظت لیگاند در همه نمونه‌ها 250 میکرو مولار باشد.

محاسبات

میزان کادمیم جذب شده توسط کانی مسکویت در هر نمونه با توجه به غلظت‌های اولیه و تعادلی براساس رابطه زیر محاسبه شد.

مواد شیمیایی مورد استفاده

محلول ذخیره‌ای کادمیم از شرکت مرک و نیترات کلسیم و سیدروفور دی‌فری اکسامین مزایلات ($CH_4O_3S, C_{25}H_{48}N_6O_8$) از شرکت سیگما-آلد ریچ خریداری و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمایشات جذب

همه مطالعات جذب وابسته به pH و هم‌دماهای جذب، در الکترولیت زمینه 0.03 مولار نیترات کلسیم و در دمای آزمایشگاه ($25 \pm 2^\circ C$) انجام گرفت. غلظت تعلیق‌های کانی در تمامی سیستم‌های مورد مطالعه 10 گرم در لیتر بود.

اثر pH بر جذب کادمیم

مقدار 0.1 گرم از کانی به ظروف پلی اتیلنی حاوی 10 میلی‌لیتر کادمیم که به وسیله الکترولیت زمینه تهیه شده بود، اضافه شد. آزمایشات جذب وابسته به pH در یک غلظت ثابت 5 میلی‌گرم بر لیتر کادمیم در محدوده pH 4 تا 9 در دو تکرار انجام شد. برای هر pH به کار رفته یک نمونه شاهد (بدون حضور کانی) نیز در نظر گرفته شد. تنظیم pH براساس منحنی‌های تیتراسیون پیش‌آزمایش‌ها، با اضافه کردن مقادیر معینی از اسیدنیتریک یا هیدروکسیدسدیم 0.03 مولار به سوسپانسیون‌ها انجام شد. نمونه‌ها به مدت 24 ساعت به وسیله دستگاه تکان‌دهنده تکان داده شدند. براساس بررسی نتایج سینتیکی، این مدت زمان برای رسیدن واکنش‌های جذب به حالت شبه تعادل کافی بود. به منظور بررسی اثر سیدروفور بر جذب وابسته به pH کادمیم، این آزمایش در حضور سیدروفور DFOB نیز انجام گرفت. بدین صورت که مقادیر معینی از محلول ذخیره‌ای DFOB یک مولار به نمونه‌ها اضافه شد، به طوری که غلظت لیگاند در همه نمونه‌ها 250 میکرومولار بود. سایر شرایط مشابه با آزمایش قبل بود. بعد از اتمام این مدت،

جدول ۱. واکنش‌های نوشته شده برای گونه‌بندی کادمیم در حضور سیدروفور (L) به همراه ثابت‌های تعادل

واکنش	لگاریتم ثابت تعادل
$Cd^{+2} + L^{-3} + H^{+} = CdLH$	۱۸/۸
$Cd^{+2} + L^{-3} + 2H^{+} = CdLH_2$	۲۶/۰
$Cd^{+2} + L^{-3} + 3H^{+} = CdLH_3^{+2}$	۳۲/۷
$H^{+} + L^{-3} = LH_3^{-}$	۱۰/۹
$2H^{+} + L^{-3} = LH_2^{-}$	۲۰/۴۸
$3H^{+} + L^{-3} = LH_1^{-}$	۲۹/۴۸
$4H^{+} + L^{-3} = LH_0^{+}$	۳۷/۸۵

معادله لانگمویر:

$$q_e = \frac{q_{max} KL C_e}{1 + KL C_e} \quad [3]$$

شکل کاربردی معادله لانگمویر به صورت زیر است (۱۱):
که در آن q_{max} حداکثر مقدار ماده جذب شده (میلی گرم در گرم)، q_e مقدار عنصر جذب شده (میلی گرم در گرم) و C_e غلظت عنصر در حال تعادل (میلی گرم در لیتر) است. ثابت K_L بیانگر تمایل به تشکیل کمپلکس سطحی بوده (قدرت پیوند)، به طوری که هرچه K_L بزرگ‌تر باشد این تمایل بیشتر است.

نتایج و بحث

کانی مورد مطالعه

نتیجه مطالعه زارع‌پور و همکاران (۲) در مورد الگوی پراش پرتو ایکس مسکوویت همدان نشان داد که پیک‌های ۱، ۵/۰ و ۳۳/۰ نانومتر در پراش‌نگار این کانی وجود دارد. دو پیک ۱ و ۳۳/۰ نانومتر نشان‌دهنده کانی میکایی است و پیک ۵/۰ نانومتر متمایز کننده مسکوویت از سایر کانی‌های میکایی است. نتایج تجزیه عنصری (XRF) کانی مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. مقدار اکسیدهای سیلیسیم و اکسیدهای آلومینوم نسبت به بقیه اکسیدها در کانی مسکوویت بیشترین است. نتایج تجزیه XRF کانی مسکوویت، نشان داد که مقدار پتاسیم کل این کانی ۸/۳ درصد است. ظرفیت تبادل کاتیونی مسکوویت ۵/۲ سانتی مول بار بر کیلوگرم و سطح ویژه آن ۱۳۵ مترمربع بر گرم به دست آمد.

$$q = \frac{(C_i - C_e)V}{M} \quad [1]$$

که در این رابطه q میزان کادمیم جذب شده (میلی گرم در گرم)، C_i و C_e غلظت‌های اولیه و تعادلی کادمیم (میلی گرم در لیتر)، V حجم سوسپانسیون (لیتر) و M جرم رس (گرم) در تعلیق‌های مورد مطالعه است.

گونه‌بندی کادمیم در محلول تعادلی به وسیله نرم‌افزار PhreeqC بررسی شد. به منظور بررسی اثر سیدروفور بر گونه‌بندی کادمیم واکنش‌های مربوطه جدول (۱) نوشته شد و داده‌های ترمودینامیکی از منابع استخراج شد (۷ و ۱۵) و به نرم‌افزار PhreeqC وارد شد.

برآزش مدل‌های جذب با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی به کمک نرم‌افزار Data fit انجام و مقایسه مدل‌ها در توصیف داده‌های جذب بر اساس ضرایب تبیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SEE) انجام شد. در این پژوهش برای بررسی رابطه بین مقدار جذب کادمیم به وسیله کانی و غلظت آن در محلول تعادلی از معادله‌های لانگمویر و فروندلیچ استفاده شد. معادله فروندلیچ:

$$\text{شکل کلی معادله تجربی فروندلیچ عبارت است از (۴):}$$

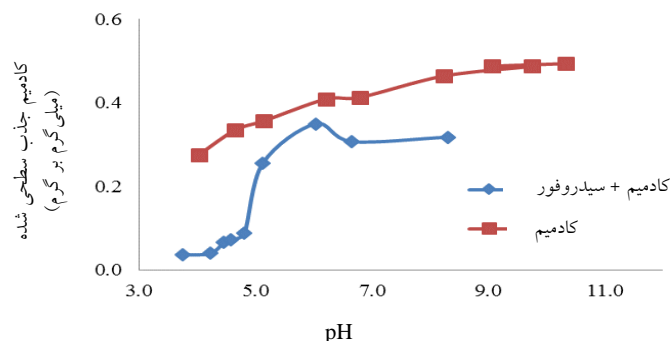
$$q_e = K_F C_e^n \quad [2]$$

که در آن q_e مقدار عنصر جذب شده (میلی گرم در گرم)، C_e غلظت عنصر در حال تعادل (میلی گرم در لیتر) و K_F و n ضرایب مدل است.

جدول ۲. درصد اکسید عناصر حاصل از XRF کانی میکایی مورد استفاده

کانی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	LOI*
مسکویت	۴۸/۳	۳۳/۹	۰/۰۸	۱/۸	۱۰/۰	۰/۱۷	۰/۶۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۴/۵

*Loss on Ignition: کاهش وزن در دمای بالا



شکل ۱. اثر سیدروفور بر جذب کادمیم به وسیله کانی مسکویت در pHهای مختلف

تعادلی بودند. در pH بیشتر از ۷/۵، گونه بدون بار HCdL بخش عمده‌ای از کادمیم موجود در محلول را تشکیل می‌داد که ممکن است باعث کاهش جذب کادمیم نسبت به سیستم‌های بدون سیدروفور و در نتیجه افزایش غلظت کادمیم محلول در این محدوده از pH شود. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات نیوبائر و همکاران (۱۸) و حمیدپور و همکاران (۱) هماهنگی دارد. آنها گزارش کردند که سیدروفور DFOB جذب کادمیم توسط کانی مونت‌موریلونیت در محدوده pH ۳ تا ۹ را کاهش می‌دهد. هنگامی که لیگاندهای آلی چند دندانه مانند DFOB غلظت زیادتری نسبت به کاتیون فلزی داشته باشند، با ایجاد کلات‌های محلول مانع جذب فلز روی فاز جامد می‌شوند (۱۵). در این مطالعه نسبت لیگاند سیدروفور به کادمیم حدود ۵/۷ بود. بنابراین رقابت بین لیگاند با سطوح کانی ممکن است مانع از جذب کادمیم روی کانی مسکویت شده باشد.

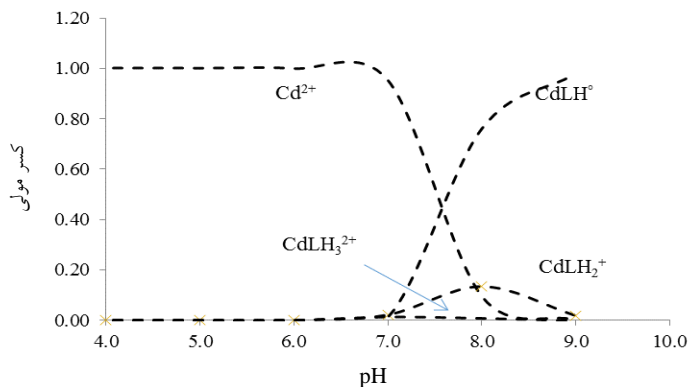
هم‌دماهای جذب کادمیم

شکل‌های (۳) و (۴) هم‌دماهای جذب کادمیم را در دو pH هفت و هشت در حضور و عدم حضور سیدروفور نشان

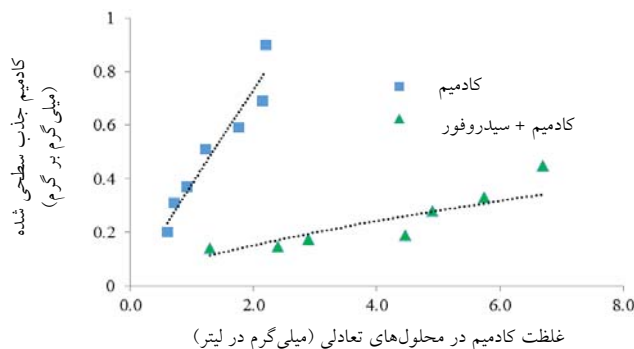
جذب وابسته به pH کادمیم

اثر pH نهایی تعلیق‌ها بر جذب کادمیم روی کانی مسکویت، در حضور و عدم حضور سیدروفور، در شکل (۱) نشان داده شده است. با افزایش pH، میزان کادمیم جذب شده توسط کانی افزایش یافت. میزان جذب کادمیم در pHهای اسیدی به دلیل فراوانی پروتون و رقابت آن با کادمیم برای جذب روی سطوح رس، کم است، اما با افزایش pH، به دلیل کمتر شدن رقابت پروتون با کادمیم و افزایش بار منفی وابسته به pH کانی، میزان کادمیم جذب شده توسط کانی افزایش می‌یابد. در حضور سیدروفور، جذب کادمیم توسط کانی در تمامی pHهای مورد مطالعه نسبت به سیستم‌های بدون سیدروفور کاهش یافت.

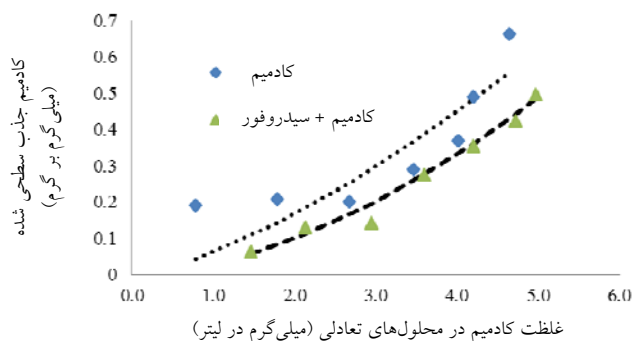
به‌منظور تفسیر اثر سیدروفور بر جذب کادمیم، از نتایج محاسبات تفکیک گونه‌ها به وسیله نرم‌افزار Phreeqc استفاده شد (شکل ۲). در سوسپانسیون‌های بدون سیدروفور، گونه Cd^{2+} فراوان‌ترین گونه کادمیم در pH کمتر از هفت بود. در حضور سیدروفور علاوه بر گونه Cd^{2+} گونه H_2CdL^+ (در محدوده pH هفت تا هشت) و گونه بدون بار HCdL (در pH بزرگ‌تر از هفت) از گونه‌های مهم کادمیم موجود در محلول‌های



شکل ۲. گونه‌بندی کادمیم به‌عنوان تابعی از pH در محلول زمینه ۰/۰۱ مولار نیترات کلسیم حاوی کادمیم (۵ میلی‌گرم در لیتر) و سیدروفور (۲۵۰ میکرومولار)



شکل ۳. هم‌دماهای جذب کادمیم در حضور و عدم حضور سیدروفور به‌همراه مدل فروندلیچ برازش یافته بر آنها در pH=۸



شکل ۴. هم‌دماهای جذب کادمیم در حضور و عدم حضور سیدروفور به‌همراه مدل فروندلیچ برازش یافته بر آنها در pH=۷

ارائه شده است. مدل‌ها برازش خوبی بر داده‌های جذب کادمیم در حضور و عدم حضور سیدروفور داشتند. مقادیر ضریب KF مدل فروندلیچ در سیستم‌های حاوی سیدروفور، کمتر از سوسپانسیون‌های بدون سیدروفور بود که نشان‌دهنده کاهش

می‌دهند. مشاهده می‌شود که سیدروفور، جذب کادمیم را در هر دو pH و در تمامی غلظت‌های تعادلی کاهش داده است. ثابت‌ها، ضرایب تبیین و خطای استاندارد حاصل از برازش مدل‌های فروندلیچ و لانگمویر بر داده‌های جذب در جدول (۳)

جدول ۳. ثابت‌ها، ضرایب تبیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SEE) حاصل از برازش مدل‌های فروندلیچ، لانگمویر بر داده‌های جذب کادمیم در حضور و عدم حضور سیدروفور

pH=8		pH=7		مدل
کادمیم - سیدروفور	کادمیم	کادمیم - سیدروفور	کادمیم	
				فروندلیچ
۰/۰۵	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۰۸	$K_f \text{ (mg/g)(L/mg)}^n$
۱/۰۳	۰/۷۱	۱/۲	۱/۲	n
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۱	R^2
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۶	SEE
				لانگمویر
۱۹/۵۴	۱/۶۹	۳۳/۴	۲۳/۶۶	$q_{\max} \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$
۰/۰۰۳	۰/۳	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۸	$K_L \text{ (L g}^{-1}\text{)}$
۰/۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹	R^2
۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۶	SEE

سه‌گانه سطحی و افزایش جذب، با ایجاد کلات‌های محلول گونه‌های H_2CdL^+ و HCdL^+ مانع جذب فلز روی فاز جامد شوند (۱۳).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس آزمایشات این تحقیق می‌توان گفت که سیدروفور باعث کاهش جذب کادمیم روی کانی مسکویت و در نتیجه افزایش زیست‌فراهمی این عنصر در خاک‌های با رس غالب مسکویت می‌شود. پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های جذب در محدوده وسیعی از نسبت‌های سیدروفور به فلز سنگین انجام شود و روش‌های دقیق طیف‌سنجی و میکروسکوپی با مقیاس مولکولی، به‌منظور تعیین مکانیسم‌های دخیل در افزایش یا کاهش جذب کادمیم مورد توجه قرار گیرند.

جذب کادمیم، روی سطوح مسکویت در حضور سیدروفور است. مقادیر ضریب K_f هم‌دمای فروندلیچ با افزایش pH از ۷ به ۸ در سیستم‌های بدون سیدروفور افزایش یافت. مدل لانگمویر نیز به‌خوبی جذب کادمیم به‌وسیله مسکویت را در حضور و عدم حضور سیدروفور توصیف کرد. ضریب K_L این مدل که شاخصی از قدرت پیوند عنصر توسط جذب شونده است، در سیستم‌های بدون سیدروفور بزرگ‌تر از سوسپانسیون‌های حاوی سیدروفور بود (جدول ۲) و تأیید کننده شدت کمتر جذب کادمیم در حضور سیدروفور توسط کانی مسکویت است. سیدروفور DFOB یک لیگاند ۶ دندانه از گروه‌های هیدروکسامات با سه گروه عامل هیدروکسامیک اسید (CONHOH-)، هر یک با دو اتم دهنده الکترون است (۱۰). هنگامی که این لیگاند آلی چند دندانه غلظت بسیار زیادی نسبت به کادمیم داشته باشد، ممکن است به جای تشکیل کمپلکس

منابع مورد استفاده

۱. حمیدپور، م.، ح. شیرانی و ع. اخگر. ۱۳۹۱. جذب سطحی کادمیم روی کانی مونت‌موریلونیت در حضور سیدروفور دسفرال. مجله آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد ۲۶(۱): ۴۲-۵۲.
۲. زارع پور، ف.، م. حمیدپور، ح. شیرانی، س. ج. حسینی‌فرد و م. حشمتی. ۱۳۹۴. جذب سطحی بور توسط کانی مسکویت به‌عنوان تابعی از pH، قدرت یونی محلول و نوع کاتیون. نشریه علوم آب و خاک ۲۹(۱): ۴۵۳-۴۶۲.

3. Duruibe, J. O., M. O. C. Ogwoegbu and J. N. Egwurugwu. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effect. *Int. J. Phys. Sci.* 2: 112-118.
4. Freundlich, H. M. F. 1906. Over the adsorption in solution, *J. Phys. Chem.* 57: 385-470.
5. Hamidpour, M., M. Afyuni, M. Kalbasi, and H. Shariatmadari. 2010. Kinetic and isothermal studies of cadmium sorption onto bentonite and zeolite. *Int. Agrophys.* 24: 253-259.
6. Hepinstall, S. E., B. F. Turner and P. A. Maurice. 2005. Effects of siderophores on Pb and Cd adsorption to kaolinite. *Clays Clay. Mine.* 53: 557-563.
7. Hernlem, B. J., Vane L. M. and G. D. Sayles. 1996. Stability constants for complexes of the siderophores desferrioxamine B with selected heavy metal cation. *Inorg Chim. Acta.* 244: 179-184.
8. Kabata Pendias, A. and H. Pendias. 2000. *Trace Elements in Soils and Plants.* CRC Press, Boca Raton, Florida.
9. Kraemer, S. M., S. F. Cheah, R. Zap, J. Xu., K. Raymond and G. Sposito. 1999. Effects of hydroxamate siderophores on Fe release and Pb (II) adsorption by goethite. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 63: 3003-3008.
10. Kraemer, S. M., D. E. Crowley, R. Kretzschmar and L. Donald. 2006. Geochemical aspects of phytosiderophore promoted iron acquisition by plants. *Adv. Agron.* 91: 1-46.
11. Langmuir, I. 1918. Adsorption of gas on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 40: 1361-1403.
12. Mahjoory, R. A. 1975. Clay mineralogy, physical and chemical properties of some soils in arid regions of Iran. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 1157-1164.
13. McBride, M. B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils.* Oxford University Press, New York.
14. Neubauer, U. and G. Furrer. 1999. The use of voltammetry for sorption studies of heavy metals on mineral surfaces in presence of the siderophore desferrioxamine B. *Anal. Chem. Acta.* 392: 159-173.
15. Neubauer, U., B. Nowack, G. Furrer and R. Schulin. 2000. Heavy metal sorption on clay minerals affected by the siderophore desferrioxamine B. *Environ. Sci. Technol.* 34: 2749-2755.
16. Sanchez, M. L. 2008. *Causes and Effect of Heavy Metal Pollution,* Nova Science Publishers, Hauppauge.
17. Shirvani, M., H. Shariatmadari, M. Kalbasi, F. Nourbakhsh and B. Najafi. 2006. Sorption of cadmium on palygorskite, sepiolite and calcite: equilibria and organic ligand affected kinetics. *Colloids. Surf. A.* 287: 182-190.
18. Sears, G. 1956. Determination of specific surface area of colloidal silica by titration with sodium hydroxide. *Anal. Chem.* 28: 1981-1983.
19. Sparks, D. L. 2003. *Environmental Soil Chemistry.* Academic Press, New York.
20. Sparks, D. L. 2005. Toxic metals in the environment: The role of surfaces. *Elements.* 1: 193-197.
21. Strawn, D. G. and D. L. Sparks. 1999. The Use of XAFS to Distinguish between Inner- and outer-sphere lead adsorption complexes on montmorillonite. *J. Colloid Inte. Sci.* 216: 257-269.
22. Varma, A. and S. Chincholkar. 2007. *Microbial Siderophores.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

The Effect of Desferoxamine (DFOB) Siderophore on the Adsorption of Cd on Muscovite Mineral

M. Karamooz and M. Hamidpour^{1*}

(Received: May 28-2014; Accepted: March 4-2018)

Abstract

Siderophores are low molecular weight iron-binding ligands produced by aerobic soil microorganisms and some plants roots. They may also develop complexes with other metals such as Cd, thereby influencing the bio-availability, toxicity and mobility of Cd in the soils and aqueous environments. The main objective of this study was to investigate the effects of desferal siderophore (DFOB) on the adsorption of Cd on muscovite. The adsorption of Cd on muscovite was studied as a function of pH (Cd concentration: 5.0 mg L⁻¹) in the range of 3.0-8.0, as a function of metal concentration (Cd concentration in the range of 1.5-10.0 mg L⁻¹); this was done in the absence and presence of siderophore (DFOB concentration 250 μM) using a 24h batch equilibration experiment. The results of pH dependent experiments showed that the siderophore decreased the adsorption of Cd onto muscovite at pH ≥5. The results of the isotherms experiments also showed that the removal of Cd from solution was affected by siderophore in all equilibrium concentrations of Cd at both pHs. Siderophore decreased the adsorption of Cd by the mineral. The Freundlich and Langmuir isotherms described the equilibrium data satisfactorily. The values of Freundlich (K_F) and Langmuir (K_L) bonding constants were greater in the suspensions without siderophore, as compared to those containing siderophore, thereby indicating the low adsorption affinity of Cd on muscovite in the presence of the siderophore.

Keywords: Heavy metals, Siderophores, Soil, Muscovite.

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Vali-e-Asr Univ. of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mohsen_hamidpour@yahoo.com