

معادلات جذبی کادمیوم در دو فصل کم‌آبی و پرآبی رسوبات رودخانه کارون (بازه اهواز تا خرمشهر)

علی محمدی^{۱*}، مصطفی چرم^۱، نادر حسینی زارع^۲، هادی عامری خواه^۱ و امیر رمضان پور اصفهانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳)

چکیده

این مطالعه به بررسی معادلات جذب سطحی لانگ مویر و فرندلیچ در رسوبات سه ایستگاه (پل پنجم اهواز، دارخوین و خرمشهر) در دو فصل کم‌آبی و پرآبی رودخانه کارون پرداخته است. برآزش داده‌های حاصل از آزمایش‌های جذب سطحی کادمیوم روی رسوبات با معادله لانگ‌مویر و فرندلیچ سازگار هستند. براساس آزمایشات انجام شده بین ضریب b معادله لانگ مویر با درصد مواد آلی و درصد رس در دو فصل کم‌آبی و پرآبی اختلافی معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. ولی در مورد ضریب K_f این معادله در دو فصل کم‌آبی و پرآبی اختلاف معنی‌داری با درصد مواد آلی یا درصد رس وجود ندارد. هم‌چنین بین ضریب K_f معادله فرندلیچ با درصد ماده آلی در سطح ۰/۰۵ و برای رس در سطح ۰/۰۱ رابطه معنی‌دار برقرار است. آزمون مقایسه میانگین‌ها برای مقایسه دو فصل کم‌آبی و پرآبی نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری بین ضرایب معادله لانگ مویر در دو فصل کم‌آبی و پرآبی به‌دست نیامده است اما در معادله فرندلیچ، بین ضرایب (K_f) در دو فصل کم‌آبی و پرآبی اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. در مجموع سه ایستگاه، مقدار جذب سطحی کادمیوم به‌وسیله رسوبات در فصل کم‌آبی بیش از فصل پرآبی می‌باشد و رسوبات مربوط به پل پنجم اهواز به‌دلیل بافت شنی دارای شدت جذب پایین و ظرفیت کم بوده و توانایی خیلی کمتری نسبت به رسوبات دارخوین و خرمشهر در جذب و نگهداری عناصر سنگین کادمیوم دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: کادمیوم، جذب سطحی، لانگ مویر، فرندلیچ

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. آزمایشگاه آب و رسوب سازمان آب و برق خوزستان، اهواز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohamadi23ali@gmail.com

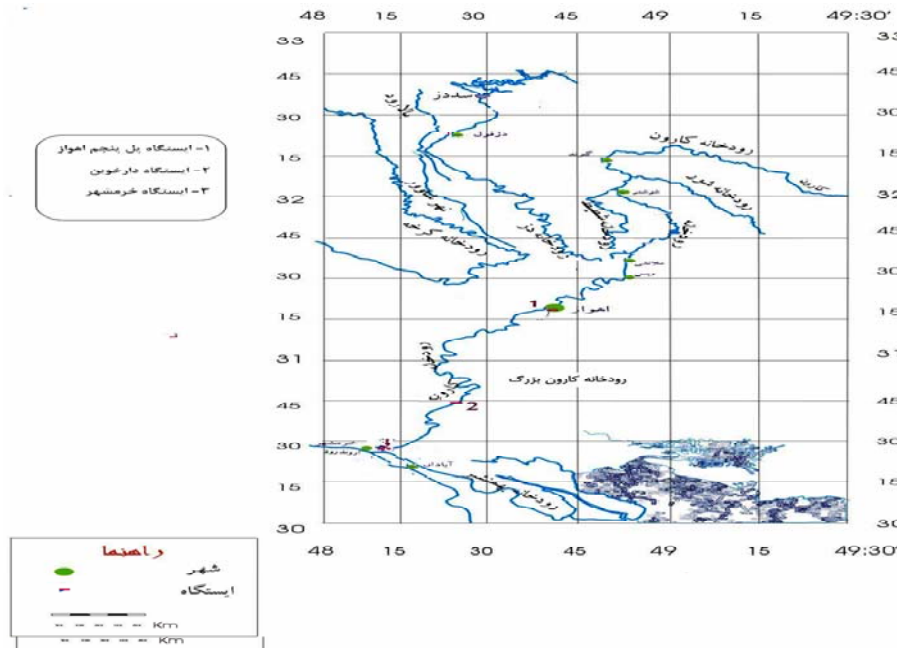
مقدمه

مطالعه فلزات سنگین و نقش آنها در محیط زیست همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. از آنجا که فلزات سنگین از خاصیت تجمع‌پذیری در بافت‌های زنده مختلف و عدم تجزیه‌پذیری و نیز مقاومت در برابر تغییرات زیستی برخوردار می‌باشند پس از ورود به محیط قادرند در چرخه حیات به حرکت خود ادامه داده و به تدریج در بافت‌های چرب و زنده ذخیره گردند و موجب خطرانی جدی از قبیل سمیتی حاد، مزمن و اثرات ژنتیکی شوند (۱ و ۲). ورود عناصر آلاینده به آب و رسوبات در اثر فعالیت‌های انسانی منبع اصلی آلودگی آب و رسوبات می‌باشد. در بخش کشاورزی مقادیری قابل توجهی کود، مواد اصلاح‌کننده، آفت‌کش و علف‌کش که حاوی عناصر آلاینده می‌باشند جهت افزایش عملکرد در واحد سطح به خاک افزوده می‌شود.

بخشی از فلزات سنگین و عوامل آلاینده می‌توانند پیش از تجزیه در خاک یا استفاده توسط مصرف‌کننده‌ها توسط جریان روان‌آب، سیلاب، فرسایش خاک و یا از طریق زهکش‌ها به منابع آب راه یافته و آن را آلوده می‌کنند. لجن فاضلاب‌های شهری و صنعتی حاوی مقادیر چشمگیری از فلزات سنگین مانند کادمیوم، نیکل، روی و مس می‌باشد (۱ و ۳). جذب سطحی فلزات سنگین در آب به‌وسیله رسوبات یکی از پدیده‌های مهم در زدودن عناصر سنگین در آب رودخانه‌ها می‌باشد، در شرایط طبیعی رودخانه مواد جامد معلق و رسوبات بستر رودخانه نقش مهمی در میانگیر کردن غلظت بالای عناصر به‌وسیله جذب یا ته‌نشینی در آب رودخانه دارند. بنابراین مطالعه خصوصیت جذب‌کننده‌ها (رسوبات) می‌تواند اطلاعات باارزشی مربوط به ظرفیت رسوبات و حمل و نقل عناصر سنگین در سیستم‌های آبی در اختیار ما قرار می‌دهد. برای بیان مقدار کمی جذب سطحی عناصر سنگین در رسوبات از معادلات لانگ‌مویر و فروندلیچ استفاده می‌شود (۵، ۶ و ۸). براساس پژوهش‌های فارست‌نر و ویتمن (۱۹۹۳) عناصر سنگین موجود در محیط‌های آبی از طریق پیوندهای

جذب‌ی و در ارتباط با کانی‌های کریستاله هستند و وارد شدن این عناصر سنگین در آب تولید رسوبات آلوده به فلز را در پی خواهد داشت (۸). پژوهش‌های گولاین و همکاران (۱۹۹۸) بر روی رسوبات بستر رودخانه نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین عناصر سنگین با مقدار ماده آلی رسوبات وجود دارد به عبارت دیگر مقدار ماده آلی شاخصی برای آلودگی در رسوبات است (۹). براساس پژوهش‌های فومی و شیزو (۱۰) بین ثابت فرندلیچ (K) با اندازه ذرات و درصد مواد آلی رسوبات بستر رودخانه ارتباط معنی‌داری وجود داشته و جذب کادمیوم از رسوبات به شدت تحت تأثیر مواد آلی می‌باشد. ویگا و همکاران (۱۸) در مطالعات خود نشان دادند جذب عناصر سنگین به‌وسیله خاک‌ها شامل یک فرآیند تبادلی سریع بوده که به دنبال آن یک فرآیند تبادلی نسبتاً آهسته می‌باشد. اوه و شین (۱۴) در پژوهش بر روی جذب و واجذب کادمیوم و سرب در رسوبات نشان دادند که داده‌های حاصل از جذب و واجذب این عناصر در رسوبات با معادلات جذب لانگ‌مویر و فرندلیچ سازگار است. نتایج این پژوهش هم‌چنین نشان داد بین ظرفیت جذب این عناصر در رسوبات و ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

جاین و شارما (۱۲ و ۱۳) تأثیر متغیرهای گوناگون بر جذب سطحی (Cd) به توسط رسوبات بستر رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. این محققین برای برآزش داده‌های حاصل از جذب سطحی کادمیوم از معادلات لانگ‌مویر و فرندلیچ استفاده کردند. پریدا و همکاران همکاران (۱۵) در مطالعه جذب واجذب عناصر سنگین به‌وسیله رسوبات رودخانه به این نتیجه رسیدند که رس و مواد آلی نقش اصلی را در جذب ایفا می‌کنند و ۹۹ - ۹۰ درصد عناصر سنگین جذب رسوبات شدند. رجبی و همکاران (۴) در پژوهش روی جذب و واجذب سرب در خاک نشان دادند که رس و CEC مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در کنترل جذب عناصر سنگین در خاک‌ها می‌باشند (۴). رودخانه کارون پرآب‌ترین و بزرگ‌ترین رودخانه ایران است که آب شرب مورد نیاز استان خوزستان و هم‌چنین



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه روی رودخانه کارون

مواد و روش‌ها

زمان نمونه‌برداری

با توجه به متغیر بودن دبی رودخانه در فصول و ماه‌های مختلف سال و متفاوت بودن میزان و نوع رسوب از نظر قطر و حجم ذرات رسوب یافته، نمونه‌برداری در فصل پرآبی در اواسط فروردین سال ۱۳۸۹ (دبی در این موقع از سال ۱۹۵ مترمکعب در ثانیه) و در فصل کم‌آبی در اوایل پاییز ۱۳۸۹ (دبی رودخانه در این موقع از سال ۱۴۵ مترمکعب بر ثانیه) صورت گرفت.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات

- تعیین بافت رسوبات با استفاده از روش هیدرومتری
- اندازه‌گیری مواد آلی رسوب به روش والکلی-بلاک
- استخراج کادمیوم قابل جذب نمونه‌ها به وسیله DTPA و اندازه‌گیری آن با دستگاه جذب اتمی (AA Shimadzu ۶۳۰۰)
- اندازه‌گیری CEC به روش استات آمونیوم
- اندازه‌گیری اکسیدهای آهن و منگنز به روش dithionite-citrate

آب مورد نیاز کلیه صنایع و فعالیت‌های کشاورزی را تأمین می‌کند. این در حالی است با توجه به حجم عظیم رسوب‌گذاری، که به عنوان منبعی عظیم برای جذب سطحی آلاینده‌های فلزی محسوب شده، مطالعه در مورد ورود فلزات سنگین (کادمیوم) و جذب سطحی آنها به وسیله این رسوبات مورد توجه است. دلایل انتخاب این بازه از رودخانه کارون عبارت است از: اثرات شدید وارده از سوی فعالیت‌های انسانی در این بازه (وارد شدن فاضلاب‌های صنعتی خانگی و پساب‌های کشاورزی حاوی عناصر سنگین کادمیوم و نیکل)، موقعیت حساس و راهبردی رودخانه کارون در این بازه و انعکاس شرایط واقعی رودخانه. در این تحقیق تلاش بر این است جذب سطحی عنصر سنگین (Cd) توسط رسوبات رودخانه کارون در سه ایستگاه آب‌سنجی (پل پنجم اهواز، دارخورین و خرمشهر) بررسی شود. برای برآزش داده‌های حاصل از جذب واجذب کادمیوم از مدل‌های جذب سطحی لانگ‌مویر و فروندلیچ استفاده می‌شود. (شکل ۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه روی رودخانه کارون را نشان می‌دهد.

آزمایش‌های جذب سطحی

مقدار ۲ گرم رسوبات را در لوله‌های پلی اتیلنی سانتیفریوژ ریخته و به آن ۲۰ میلی‌لیتر محلول کلرید کادمیوم با غلظت‌های اولیه ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر لیتر افزوده شد. برای ثابت نگهداشتن قدرت یونی، محلول‌های حاوی کادمیوم در کلرید کلسیم یکصدم مولار تهیه. نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در شیکر انکوباتوردار تکان داده شد. به‌طورکلی، تکان دادن سوسپانسیون خاک محلول به مدت ۲۴ ساعت برای رسیدن به تعادل کافی در نظر گرفته می‌شود، سپس با سرعت 3000 دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتیفریوژ گردید و مایع رویی با کاغذ صافی واتمن 42 صاف گردید سپس غلظت کادمیوم در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (AA Shimadzu 6300) اندازه‌گیری شد.

جهت محاسبه مقدار ماده جذب سطحی شده توسط رسوبات مورد آزمایش به صورت زیر عمل می‌کنیم

$$\text{mg/kg کادمیوم جذب سطحی} =$$

(حجم محلول اضافه شده) × (غلظت نهایی عنصر - غلظت اولیه عنصر)

وزن رسوب شده

برای ایجاد معادلات جذب سطحی، مقدار جذب شده عنصر کادمیوم را در برابر غلظت تعادلی محلول قرار دادیم و با استفاده از دو معادله لانگ مویر و معادله فروندلیچ داده‌ها را برازش کردیم. جهت بررسی روابط رگرسیونی بین ضرایب جذب سطحی در معادلات لانگ مویر و فروندلیچ در دو فصل کم آبی و پر آبی و هم‌چنین ارتباط جذب با برخی خصوصیات رسوب از نرم‌افزارهای SPSS و EXCEL استفاده گردید

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات

در جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات سه ایستگاه آب‌سنجی (پل پنجم اهواز، دارخوین و خرمشهر) در دو فصل کم آبی و پر آبی رودخانه کارون نشان داده شده است.

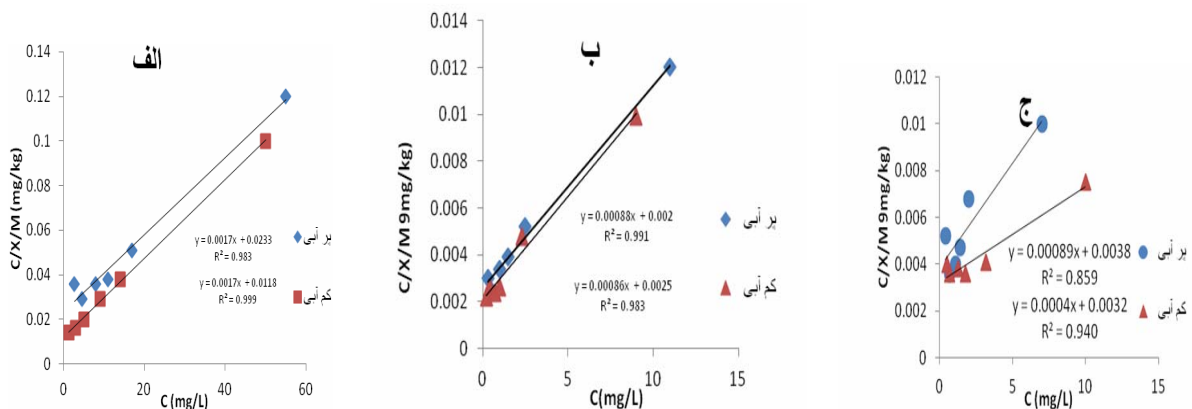
درصد مواد آلی محلول از ۰/۳۵ درصد در رسوبات پل پنجم اهواز تا ۲/۲۵ درصد در رسوبات دارخوین متغیر می‌باشد. درصد رس در رسوبات ایستگاه پل پنجم اهواز بسیار ناچیز بوده، و از نظر بافت شنی می‌باشد. این در حالی است که درصد رس در ایستگاه آب‌سنجی دارخوین در فصل پر آبی و کم آبی به ترتیب لومی و لوم رسی سیلتی می‌باشد. مقدار اکسیدهای آهن و منگنز در رسوبات پل پنجم بسیار ناچیز بوده و در ایستگاه دارخوین بیشترین مقدار می‌باشد. مقادیر CEC از ۱/۲۲ در رسوبات پل پنجم تا ۲۳/۳ میلی‌اکی والان بر ۱۰۰ گرم در ایستگاه دارخوین متغیر است.

برآزش داده‌های جذب سطحی عنصر کادمیوم با معادله لانگ مویر

در این پژوهش از ایزوترم‌های لانگ‌مویر برای پیش‌بینی جذب سطحی کادمیوم در غلظت‌های مختلف کادمیوم در سطح رسوبات استفاده گردید. شکل‌های ۱ (الف، ب و ج) نشان می‌دهند که نتایج برازش داده‌های جذب سطحی کادمیوم به وسیله رسوبات در دو فصل کم آبی و پر آبی با شکل خطی معادله لانگ‌مویر کاملاً سازگاری دارد. پارامترهای ثابت معادله لانگ‌مویر $((C/(X/m)) + (1/kb) = (C \times 1/b) + 1/kb)$ ، b و k هستند. که در آن k بیشینه جذب کادمیوم و b مقدار انرژی جذبی است. با توجه به این شکل‌ها بیشترین مقدار بیشینه جذب کادمیوم در این ایستگاه‌ها در دو فصل کم آبی و پر آبی مربوط به رسوبات ایستگاه دارخوین در فصل کم آبی و کمترین جذب کادمیوم مربوط به رسوبات پل پنجم می‌باشد. برازش داده‌های حاصل از جذب سطحی فلزات سنگین با معادله لانگ‌مویر سازگاری دارد (۶ و ۱۲). ارزیابی ضرایب معادله لانگ‌مویر نشان می‌دهد که بیشینه جذب کادمیوم در فصل کم آبی از ۵۵۸ برای ایستگاه پل پنجم تا ۱۵۰ در ایستگاه دارخوین و با میانگین ۱۰۸۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای فصل پر آبی از ۵۸۸ در ایستگاه پل پنجم تا ۱۱۳۶ در ایستگاه خرمشهر با میانگین ۹۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تغییر می‌باشد. مقدار انرژی جذبی برای فصل کم

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات مورد مطالعه در دو فصل کم آبی و پرآبی رودخانه کارون

ایستگاه	بافت	رس	ماده آلی	CEC	pH	کادمیوم	اکسیدهای آهن	اکسیدهای منگنز
		%	%	(cmol ⁺ kg ⁻¹)		(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
پل پنجم	شنی	۲/۱	۰/۳	۱/۲	۷/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰
فصل کم آبی	لومی	۲۶/۶	۲/۲	۲۲/۱	۷/۳	۰/۱	۱/۳	۰/۴
خرمشهر	لومی سیلتی	۲۴/۷	۱/۹	۱۹/۲	۷/۱	۰/۱	۱/۳	۰/۲
پل پنجم	شنی	۱	۰/۳	۳/۱	۷/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰
فصل پر آبی	لومی	۳۲/۸	۲/۱	۲۳/۳	۷/۲	۰/۱	۱/۲	۰/۶
خرمشهر	لومی سیلتی	۳۰/۸	۱/۸	۱۵/۶	۷/۲	۰/۰	۱/۱	۰/۴



نمودار ۱. ایزوترم جذب سطحی عنصر کادمیوم در رسوبات ایستگاههای پل پنجم (الف)، دارخوین (ب) و خرمشهر (ج) براساس معادله لانگ مویر

در دو فصل کم آبی و پرآبی اختلاف معنی داری با درصد مواد آلی و درصد رس نداشت.

$$b = 182/9 + 704\% \text{ OM} \quad R^2 = 0/713^{**} \quad [1]$$

$$b = 573/5 + 22/26\% \text{ Clay} \quad R^2 = 0/89^{**} \quad [2]$$

معادلات فوق نشان می دهد که ضریب b معادله لانگ مویر با درصد ماده آلی و همچنین میزان درصد رس رابطه ای مستقیم دارد. اسیدهای هومیک و فولیک موجود در مواد آلی نقش اصلی را در ایجاد کمپلکس با کادمیوم ایفا می کنند. کمپلکس های غیرمحلول با اسید هومیک و کمپلکس های محلول با اسید فولیک کمپلکس تشکیل می دهند و ارتباط

آبی رودخانه از ۰/۱۵ تا ۰/۳۴ و برای فصل پرآبی از ۰/۰۷ تا ۰/۴۴ در حال تغییر می باشد. بنابراین، با توجه به ثابت های معادله لانگ مویر بیشینه جذب در فصل کم آبی رودخانه بیش از فصل پرآبی آن می باشد (جدول ۲). به منظور مشخص کردن تأثیر خصوصیات رسوبات بر ضرایب b و k معادله خطی لانگ مویر در جذب سطحی کادمیوم، بین این ضرایب و برخی از خصوصیات رسوب روابطی رگرسیونی برقرار گردید. نتایج نشان داد در سطح ۰/۰۱ بین ضریب b معادله لانگ مویر با درصد مواد آلی و درصد رس در دو فصل کم آبی و پرآبی اختلاف معنی داری وجود دارد (معادلات ۱ و ۲). ولی ضریب K

جدول ۲. ضرایب b و k معادله لانگ‌مویر برای عنصر کادمیوم در غلظت‌های مختلف در دو فصل کم‌آبی و پرآبی رودخانه کارون

فصل کم‌آبی			فصل پرآبی			
R ²	K	B	R ²	K	b	رسوبات
۰/۹**	۰/۰	۵۸۸	۰/۹**	۰/۱	۵۸۸	پل پنجم
۰/۸**	۰/۲	۱۰۲۴	۰/۹**	۰/۱	۱۵۰۰	دارخوین
۰/۹**	۰/۴	۵۸۸	۰/۹**	۰/۴	۱۱۶۲/۲	خرمشهر

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۴. آزمون مقایسه میانگین‌های ضرایب k و b معادله لانگ‌مویر برای عنصر کادمیوم در دو فصل کم‌آبی و پرآبی رودخانه

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب پراکندگی	Sig.
b	فصل کم‌آبی	۱۰۸۳/۶	۴۲/۵	ns
	فصل پرآبی	۹۱۶	۳۱/۶	
k	فصل کم‌آبی	۰/۲	۵۸/۴	ns
	فصل پرآبی	۰/۲	۷۴	

کادمیوم به‌وسیله رسوبات، در دو فصل کم‌آبی و پرآبی با شکل خطی معادله فروندلیچ سازگاری دارد. بررسی این دو ضریب در رسوبات مورد تحقیق نشان می‌دهد که برای عنصر کادمیوم مقدار ظرفیت جذب رسوبات در فصل کم‌آبی از ۲۹۵ در ایستگاه خرمشهر تا ۹۵/۵ در ایستگاه پل پنجم اهواز و با میانگین ۲۱۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای فصل پرآبی از ۵۷/۵ در ایستگاه پل پنجم تا ۲۴۷ در ایستگاه خرمشهر و با میانگین ۱۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تغییر می‌باشد و مقدار شدت جذب برای فصل کم‌آبی رودخانه از ۰/۴۹۲ برای ایستگاه پل پنجم تا ۰/۷۷۶ برای ایستگاه دارخوین و با میانگین ۰/۶۱ و هم‌چنین برای فصل پرآبی از ۰/۵ برای ایستگاه پل پنجم تا ۰/۶۸۶ برای ایستگاه دارخوین و با میانگین ۰/۵۸ لیتر بر میلی‌گرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). بنابراین با توجه به پارامترهای ثابت معادله فروندلیچ ظرفیت جذب (k_f) شدت جذب یا شدت پیوند ($1/n$) در فصل کم‌آبی رودخانه بیش از فصل پرآبی می‌باشد (۵).

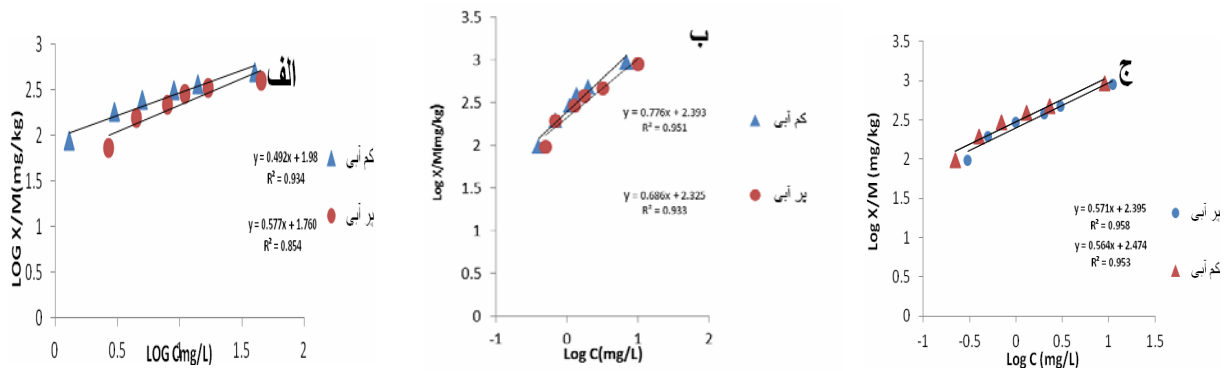
آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بین ضرایب (k_f)

معنی‌داری بین مواد آلی با جذب عناصر سنگین وجود دارد. از آنجای که عمده عناصر آلوده‌کننده در سطح رسوبات ریزتر جذب می‌شوند و توانای رسوبات ریزتر در جذب عناصر آلوده‌کننده متفاوت است، لذا گونه‌های کانی موجود در رسوبات می‌توانند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در غلظت عناصر آلوده‌کننده داشته باشد (۹، ۱۶ و ۱۸).

با توجه به این‌که رسوبات در دو فصل مختلف کم‌آبی و پرآبی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلف گرفته شده، لذا می‌توان از آزمون مقایسه میانگین‌ها برای مقایسه دو فصل کم‌آبی و پرآبی استفاده شد، در اینجا رابطه معنی‌داری بین ضرایب معادله لانگ‌مویر در دو فصل کم‌آبی و پرآبی به‌دست نیامده است (جدول ۳).

برازش داده‌های جذب عنصر کادمیوم با معادله فروندلیچ

از معادله فروندلیچ $\frac{x}{m} = K_f C^{1/n}$ برای پیش‌بینی جذب سطحی کادمیوم در سطح رسوبات استفاده شد. شکل ۲ نشان می‌دهد که نتایج حاصل از برازش داده‌های جذب سطحی



نمودار ۲. ایزوترم جذب سطحی کادمیوم در ایستگاه‌های پل پنجم (الف)، دارخون (ب) و خرمشهر (ج) بر اساس معادله فروندلیچ

جدول ۴. ضرایب معادله فروندلیچ برای عنصر کادمیوم در غلظت‌های مختلف در دو فصل کم آبی و پر آبی رودخانه کارون

فصل پر آبی			فصل کم آبی			رسوبات
R^2	(1/n)	(k_f)	R^2	(1/n)	(k_f)	
۰/۹*	۰/۵	۵۷/۵۱	۰/۹**	۰/۴	۹۵/۵	پل پنجم
۰/۹*	۰/۶	۲۱۰/۸	۰/۹**	۰/۷	۲۴۷	دارخون
۰/۸**	۰/۵	۲۴۷/۳	۰/۹**	۰/۵	۲۹۵	خرمشهر

*: معنی داری در سطح ۰/۰۵ **: معنی داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۵. آزمون مقایسه میانگین‌های ضرایب k_f و $1/n$ معادله فروندلیچ برای عنصر کادمیوم در دو فصل کم آبی و پر آبی رودخانه کارون

Sig.	ضریب پراکندگی	انحراف معیار	میانگین	متغیر
۰/۰۰۲**	۴۹	۱۰۴/۲	۲۱۲/۵	فصل کم آبی
	۵۸/۶	۱۰۰/۹	۱۷۲/۱	فصل پر آبی
ns	۲۴	۰/۱	۰/۶۱	فصل کم آبی
	۳۹	۰/۶	۰/۶	فصل پر آبی

*: معنی داری در سطح ۰/۰۱

معادلات ۳ و ۴ نشان می‌دهند که بین ضریب K_f معادله فروندلیچ با درصد ماده آلی (در سطح ۰/۰۵) و هم‌چنین میزان درصد رس (در سطح ۰/۰۱) رابطه‌ای مستقیم برقرار است.

$$K_f = 45/56 + 99/95 \% OM \quad R^2 = 0/828^* \quad [3]$$

$$K_f = 82/4 + 5/733 \% Clay \quad R^2 = 0/841^{**} \quad [4]$$

مواد آلی تمایل زیادی برای کمپلکس شدن و تشکیل کلات با عناصر سنگین دارد و این به واسطه گروه‌های عاملی زیادی است که در مواد آلی وجود دارد (۱۵ و ۱۶). غلظت فلزات در

در دو فصل کم آبی و پر آبی اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. ولی در مورد ضریب (1/n) در دو فصل کم آبی و پر آبی اختلاف معنی داری وجود ندارد (جدول ۵). به منظور بررسی تغییرات پارامترهای ثابت معادله فروندلیچ (ظرفیت جذب (k_f) و شدت جذب (1/n) در رسوبات مورد مطالعه و تأثیر ویژگی‌های رسوبات در جذب کادمیوم، می‌توان بین این ضرایب و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات مانند درصد رس و درصد ماده آلی روابط رگرسیونی برقرار نمود.

انجام شده بین ضریب b معادله لانگ مویر با درصد مواد آلی و درصد رس در دو فصل کم آبی و پرآبی اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. ولی در مورد ضریب K این معادله در دو فصل کم آبی و پرآبی اختلاف معنی داری یافت نشد. همچنین بین ضریب K_f معادله فروندلیچ و درصد ماده آلی (در سطح ۰/۰۵) و درصد رس (در سطح ۰/۰۱) رابطه معنی داری وجود دارد. نتایج هم چنین نشان داد بین ضریب k_f معادله فروندلیچ در دو فصل کم آبی و پرآبی اختلافی معنی دار در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. در مجموع مقدار کادمیوم جذب شده به وسیله رسوبات سه ایستگاه در فصل کم آبی بیش از فصل پرآبی می باشد و رسوبات مربوط به پیل پنجم اهواز توانایی خیلی کمتری در جذب و نگهداری کادمیوم دارد.

عصاره های استخراج شده از خاک های رسی در یک pH خاص نسبت به غلظت فلزات در عصاره استخراج شده از خاک شنی در همان pH به ماتب بیشتر است و این نشان دهنده قدرت جذب بیشتر توسط ذرات رسی است. هم چنین بین فلزات سنگین و اجزای کوچک تر ارتباط معنی داری (در سطح ۰/۰۱) وجود دارد، اما بین فلزات سنگین موجود در رسوبات با اندازه های بزرگ تر همبستگی وجود ندارد (۱۵ و ۱۷).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان می دهد داده های حاصل از آزمایش های جذب سطحی کادمیوم روی رسوبات با معادله لانگ مویر و فروندلیچ سازگار بالایی دارد. براساس آزمایشات

منابع مورد استفاده

- انصاری، م. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت آلودگی رسوبات رودخانه کارون با عناصر سنگین آلاینده حدفاصل بند قیر تا جنوب اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، منطقه ۶ اهواز.
- حسینیان، م. ۱۳۷۰. فلزات سنگین و آلودگی محیط زیست. مجله آب ۱۰: ۳-۹.
- خدابنده، ص.، ر. طلائی و ز. قیومی. ۱۳۷۹. تجمع فلزات سنگین در رسوبات و آبریان دریای خزر. مجله آب و محیط زیست ۳۹: ۳۸-۴۲.
- رجبی، ب.، ح. خداوردی لو، ع. صمدی و م. رسولی صدیقیانی. ۱۳۹۰. جذب و واجذب سرب در خاک های آهکی استان آذربایجان غربی. نشریه آب و خاک ۲۵(۶۹): ۱۲۸۷-۱۲۹۸.
- دبیری، م. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست (آب، خاک و هوا). چاپ اول، فصل سوم، انتشارات اتحاد، تهران.
- عبداللهی، ف. ۱۳۸۲. مطالعه هم دماهای جذب سطحی عناصر روی و نیکل در خاک های تحت کشت نیشکر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Dali, N., B.Ouddane and Z.Derriche. 2006. Adsorption of natural sediment of Tafna River. J. Hazardous 137: 1263-1270.
- Forstner, U. and G. Wittman. 1993. Metal Pollution in the Aquatic Environment. 2nd ed., Springer-Verlag Pub., Germany.
- Gowlin, J. and SH. Yichen. 1998. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediment environment. Environ. Intl. 24(3): 344-352.
- Fumi, T. and S. Shizuo. 1982. Adsorption and desorption of heavy metals in bottom mud of urban rivers. Water 10: 1489-1496.
- Gagnon, C., M. Arnac and J. R. Brindle. 1992. Sorption interactions between trace metals (Cd and Ni) and phenolic substances on suspended clay minerals. Water Resour. 26: 1067-1072.
- Jain, C.K. and M.K. Sharma. 2004. Adsorption of Zinc on bed sediment of river Hindon, Adsorption models and kinetics. J. Hazardous Mat. 114: 231-239.
- Jain, C.K. 2000. Adsorption of metal ion bed sediment. Hydrol. Sci. J. des Sci. Hydrol. 42:713-723.

14. Oha, S.W. and W.S. Shin. 2010. Effect of ageing on desorption of lead and cadmium from sediments: Kinetics and desorption-resistance. *J. Hazardous Materials* 164: 265–270.
15. Preeda, P., F. Waewtaa and R. Thongra. 2001. Adsorption and desorption of mercury by bangpakong river sediment as in flunsed by salinized. *J. Environ. Sci. and Health A36*: 623-640.
16. Rose, S. 1998. The heavy metal adsorption characteristics of hawthorne formation sediment. *Environ. Intl.* 74: 365-370.
17. Shuman, L. M. 1999. Effect of organic waste amendments of zinc adsorption by two soils. *Soil Sci.* (164): 349-352.
18. Vega, F.A., E.F. Covelo and M.L. Andrade. 2009 hysteresis in the individual and competitive sorption of cadmium, copper and lead by various soil horizons. *J. Colloid and Interface Sci.* 331 (2): 312-317.

Cadmium Adsorption Equations in the Sediments of Karun River in Low-Water and High-Water Seasons (From Ahvaz to Khorramshahr)

A. Mohammadi^{1*}, M. Chorom¹, N.Hosseini Zare², H. Amerikhah¹
and A. Ramazan Poor¹

(Received : Nov. 13-2011 ; Accepted : Feb. 11 -2013)

Abstract

The purpose of this study was to investigate cadmium adsorption through Freundlich and Langmuir equations in sediments of Karun River in three hydrometric stations (5th Ahvaz Bridge, Darkhovin and Khorramshahr) in the low-water and high-water seasons. Fitting of data from experiments on cadmium adsorption to Freundlich and Langmuir equation showed they are compatible. According to the conducted experiments, there was a significant difference at 0.01 levels between b coefficient of Langmuir equation with the organic matter percentage and the clay content in both Low and high water seasons, while there was no significant difference between k coefficient of Langmuir equation with the organic matter percentage and the clay content for the two seasons. The results also suggested that there is a significant relationship between K_f of Freundlich equation with the organic matter percentage and clay content, at significant levels of 0.05 and 0.01 for the organic matter percentage and the clay content, respectively. Comparison of the means of low and high water seasons revealed that there is no significant relationship between Langmuir coefficients, whereas in Freundlich equation, a significant difference at 0.01 level was observed between k_f coefficients. Generally, the obtained results indicated that cadmium adsorption by sediments in low-water season is higher than high-water season. Also, cadmium adsorption by the 5th Ahvaz Bridge sediments due to the sandy texture was less than those adsorbed by both Darkhovin and Khorramshahr sediments.

Keywords: Cadmium, Adsorption, Langmuir, Freundlich.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Water and Power Laboratory, Water and Sediment, Khuzestan, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mohamadi23ali@gmail.com