

## حذف فلزات سنگین از محیط آبی توسط جذب سطحی بر روی پوست موز اصلاح شده

دکتر محمد رضا مهراسبی<sup>۱</sup>، زهره فرهنگد کیان<sup>۲</sup>

نویسنده مسئول: زنجان، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط [zmehr@zums.ac.ir](mailto:zmehr@zums.ac.ir)

پذیرش: ۸۷/۹/۴

دریافت: ۸۷/۷/۲۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** وجود فلزات سنگین در منابع آب از مشکلات مهم زیست محیطی بسیاری از جوامع است. تاکنون روش های مختلفی برای حذف این فلزات مورد توجه قرار گرفته است که استفاده از جاذب های ارزان قیمت از جمله این روشها به شمار می رود. هدف از این مطالعه بررسی جذب فلزات سنگین مثل سرب و کادمیم بر روی پوست موز اصلاح شده بعنوان یک جاذب ارزان قیمت می باشد.

**روش بررسی:** پوست موز با محلولهای  $NaOH$  (۰/۴ مول در لیتر) و  $HNO_3$  (۰/۴ مول در لیتر) و آب مقطر دوبار تقطیر به طور جداگانه اصلاح شد و قدرت جذب سطحی جاذب های تهیه شده با یکدیگر مقایسه شدند. آزمایشهای جذب سطحی در غلظتهای اولیه متفاوت یونهای سرب و کادمیم،  $pH$  ها و دزهای مختلف جاذب انجام شد. ایزوترمهای جذب یونهای فلزی بر روی جاذب های تهیه شده از پوست موز بر اساس آزمون مدلهای ایزوترم لانگ میر، فروند لیچ و بت تعیین شدند.

**یافته ها:** بهترین روش اصلاح برای جذب سرب اصلاح با محلول بازی و برای جذب کادمیم اصلاح با محلول اسیدی بود. حد اکثر ظرفیت جذب سطحی سرب بر روی پوست موز اصلاح شده در محیط بازی ۳۶ میلی گرم بر گرم و ظرفیت جذب سطحی کادمیم بر روی پوست موز اصلاح شده در محیط اسیدی ۱۶ میلی گرم بر گرم بود. آزمایشها نشان داد که  $pH$  بهینه ۶ بود و با کاهش  $pH$  ظرفیت جذب کاهش می یابد.

**نتیجه گیری:** بر اساس نتایج بدست آمده بهترین مدل ایزوترم جذب مدل فروند لیچ بود. مقایسه پارامترهای مدل های ایزوترم نشان داد که ظرفیت پوست موز اصلاح شده در جذب سرب بیشتر است ولی جذب کادمیم با قدرت بالاتری صورت میگیرد.

**واژگان کلیدی:** جذب سطحی، فلزات سنگین، جاذب های ارزان قیمت، پوست موز

۱- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زنجان، گروه بهداشت محیط

۲- کارشناس شیمی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زنجان، گروه بهداشت محیط

## مقدمه

انتشار فلزات سنگین در محیط زیست که با توسعه صنعتی و افزایش جمعیت توأم می باشد یکی از مشکلات زیست محیطی در بسیاری از کشورها می باشد. فلزات سنگین می توانند در بدن موجودات زنده تجمع نموده و موجبات بیماریها و ناتوانیهای مختلف را فراهم آورند. این فلزات در فرآیندهای مختلف صنعتی مانند ذوب، تخلیص و استخراج فلزات از طریق انتشار گازهای آلوده و یا پسابهای صنعتی در محیط زیست منتشر می شوند. این فلزات قابل تجزیه زیستی نبوده و اثرات سمی آنها در بدن موجودات زنده مزمن می باشد (۱).

روشهای مختلفی جهت حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی بکار رفته است که از آن جمله می توان به روشهای ترسیب شیمیایی، تعویض یون، جذب سطحی و اسمز معکوس اشاره نمود (۲، ۳ و ۴). روش جذب سطحی با توجه به کارایی و کاربرد آسان یکی از پرکاربردترین روشها معرفی شده است (۵). در این روش فلزات سنگین در سطح منافذ جاذب هایی که در واقع ترکیبات غیر قابل حل در آب می باشند جذب سطحی می شوند. یکی از جاذب هایی که بسیار مورد استفاده قرار گرفته و برای جذب فلزات سنگین و جذب ترکیبات آلی بکار گرفته شده است ذغال فعال تهیه شده از مواد گوناگون می باشد. این جاذب به علت هزینه بالایی که در مراحل فعال سازی آن صرف می شود بسیار گران قیمت می باشد به طوریکه صاحبان صنایع رغبت زیادی جهت تهیه و استفاده از آن نشان نمی دهند. در سالهای اخیر استفاده از جاذب های ارزان قیمت مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. جاذب های ارزان قیمت جاذب هایی هستند که به فراوانی یافت شده و در دسترس می باشند و هزینه آماده سازی آنها بسیار پائین می باشد. این جاذبها عمدتاً از مواد زائد حاصل از فعالیتهای صنعتی و بخصوص کشاورزی تهیه می شوند و بیشتر پایه سلولزی دارند (۶).

استفاده از شلتوک، خاک اره، پوست پرتقال، پوست بادام و بادام زمینی، سبوس برنج و سبوس گندم و بسیاری مواد

دیگرتوسط محققین مختلف به عنوان جاذب گزارش شده است که کارایی خوبی را جهت جذب سطحی فلزات از خود نشان داده اند (۷).

سادگی تکنیک استفاده و عدم نیاز به فرایندهای فراوری و اصلاح پیچیده و کارایی جذب سطحی بالا و انتخابی جهت فلزات سنگین از مزایای این جاذب ها می باشد.

در برخی موارد یک سری عملیات پیش تصفیه جهت اصلاح و بالا بردن کارایی این جاذب ها بر روی آنها اعمال شده است. این عملیات بیشتر شامل در تماس قرار دادن این جاذب ها با محلولهای اسیدی، بازی و بعضی ترکیبات آلی بوده است.

این مواد ترکیبات آلی محلول را از جاذبها خارج نموده، رنگ را حذف می نمایند و ظرفیت جذب را بالا می برند (۷). تیرلی و همکاران گزارش کرده اند که وقتی که پوسته برنج قبلاً با محلول هیدروکسید سدیم تماس داده شود ظرفیت آن در جذب کادمیم تقریباً دو برابر می شود (۸). تای من و همکاران گزارش کرده اند که بیومس تولیدی از گیاه یونجه قادر است  $89/2 \text{ mg/L}$  سرب را وقتی با محلول سود اصلاح می شود جذب نماید (۹). جاذب دیگری که از پوست بادام زمینی اصلاح شده با اسید سولفوریک تهیه شده است ظرفیت جذب بالایی را در حذف سرب، کروم و مس از خود نشان داده است (۱۰). جونپور و همکاران نشان داده اند که *suger bagasse* اصلاح شده با بیکربنات سدیم فلورات می تواند مس، سرب و کادمیم را به ترتیب به میزان ۱۱۴، ۱۹۶ و ۱۸۹ میلی گرم بر گرم جذب نماید (۱۱). نبی و همکاران از خاک اره جهت جذب فلزات سنگین استفاده کرده اند و گزارش نموده اند که اصلاح خاک اره با محلول سودظرفیت جذب را افزایش میدهد و فرایند جذب از مدل فروند لیچ تبعیت میکند (۱۲). اسماعیلیان و همکاران از کیتوزان جهت رنگزدائی فاضلاب نساجی استفاده نمودند و گزارش نموده اند که کارایی کیتوزان در جذب سطحی رنگ از کربن فعال بیشتر است (۱۳).

شاه محمدی و همکاران جذب  $0/01$  میلی گرم کادمیم را

### آزمایشات جذب

ابتدا غلظت‌های مختلف محلول حاوی فلزات سنگین سرب و کادمیم تهیه شد. مقادیر مشخص پوست موزهای آماده شده به عنوان جاذب به ارلن های حاوی ۱۰۰ میلی لیتر از محلول یون فلزی افزوده شد و توسط همزن به مدت ۳ ساعت با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه همزده شد. زمان ماند ۳ ساعت جهت جذب سطحی فلزات با جاذبهای طبیعی توسط بسیاری از محققین طی آزمایشات مختلف مناسب تشخیص داده شده است (۱۸-۱۵). جهت تعیین pH بهینه آزمایشهای جذب در غلظت جاذب برابر ۳ گرم بر لیتر انجام شد و در pH بهینه بدست آمده بهترین دز جاذب در آزمایشات بعدی بدست آمد. کلیه آزمایشهای جذب جهت تعیین ایزوترم ها در pH و دوز جاذب بهینه بدست آمده انجام شد.

در آزمایشهای جذب غلظت اولیه فلزات سنگین بین ۵ تا ۸۰ میلی گرم بر لیتر بود ولی در مورد سرب در غلظتهای کمتر از ۲۰ غلظت باقیمانده از حد تشخیص روش اندازه گیری (جذب اتمی شعله ای) کمتر بود لذا نتایج حاصل از غلظتهای بالاتر از ۲۰ در تحلیل نتایج منظور شد. کلیه آزمایشهای جذب در ۵ غلظت انجام شد. در کلیه آزمایشها جذب هر غلظت در ۲ ارلن جداگانه تهیه و فرایندهای بعدی روی آنها انجام و میانگین نتایج ثبت شد.

پس از اتمام عمل همزنی، محلول درون ارلن ها در سانتریفوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در مدت ۲۰ دقیقه گذاشته شد تا فاز جامد و مایع از یکدیگر جدا شوند. غلظت سرب و کادمیم قبل وبعد از جذب توسط یک دستگاه جذب اتمی (واریان ۲۴۰) اندازه گیری شد.

میزان pH، دز جاذب، غلظت اولیه فلزات سنگین در مراحل جداگانه عملیات جذب تغییر داده شد و میزان جذب فلزات بر روی جاذب اندازه گیری شد که تحت عنوان q در متن و جداول و اشکال نشان داده شده است. کلیه آزمایشها در درجه حرارت آزمایشگاه انجام شد (C 20 ± 2).

بر روی هر گرم پوسته شلتوک اصلاح شده با سدیم بیکربنات گزارش کرده اند (۱۴).

در تحقیق حاضر ظرفیت جذب سطحی سرب و کادمیم حل شده در محیط آبی بر روی پوسته موز مورد بررسی قرار گرفته است. جهت اصلاح پوست موز از آب مقطر، اسید و باز استفاده شده و ظرفیت جذب هر سه روش اصلاح مورد ارزیابی قرار گرفته است. اثرات غلظت اولیه یون فلزی، دز جاذب و pH در میزان جذب بررسی شده است و همچنین با استفاده از مدل‌های ایزوترم جذب لانگ میر، فروندلیچ و بت، ایزوترم جذب مورد ارزیابی قرار گرفته و فرایند جذب با استفاده از این مدلها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

### مواد و روشها

#### آماده سازی جاذب و مواد

پوست موز ابتدا در هوای محیط خشک شده و پس از خرد شدن به تکه های کوچک با استفاده از آب مقطر دوبار تقطیر شستشو داده شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت درون آون در حرارت ۱۰۰°C خشک و پس از خشک شدن بوسیله آسیاب خرد شدند به طوریکه به ذرات ۵-۱ میلی متری تبدیل شدند. کلیه مواد شیمیایی استفاده شده در این تحقیق از مارک مرک و از نوع آزمایشگاهی بوده اند.

جهت تهیه محلولهای حاوی سرب و کادمیم از نمکهای فلزی  $Pb(NO_3)_2$  و  $Cd(NO_3)_2$  استفاده شده است. از محلول های HCl و NaOH جهت تنظیم pH استفاده شده است.

#### روش اصلاح جاذب

دانه های تهیه شده از پوسته موز به طور جداگانه ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در ۲۰۰ میلی لیتر محلول های NaOH (۰/۴ مول در لیتر) و  $HNO_3$  (۰/۴ مول در لیتر) و آب مقطر دوبار تقطیر خیسانده شدند. سپس توسط آب مقطر دوبار تقطیر آبکشی شد تا به pH خنثی برسد. سپس جاذب ها به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۱۰۰°C خشک شدند.

راندمان جذب و مقادیر  $q$  طبق روابط زیر محاسبه شدند.

$$\text{Efficiency } (\%) = ((C_0 - C) / C_0) \cdot 100$$

$$q = (C_0 - C) / m$$

### مدلهای جذب

جهت تحلیل نتایج جذب و بررسی ایزوترم های جذب ۳ مدل لانگ میر، فروندلیچ و بت بررسی شدند. روابط خطی و اصلی آنها به شکل زیر است (۱۹).

### مدل لانگ میر

$$q = (q_m \cdot K_L \cdot C) / (1 + K_L \cdot C)$$

رابطه اصلی

$$C / q = 1 / (K_L \cdot q_m) + (C / q_m)$$

مدل خطی

### مدل فروندلیچ

$$q = K_F C^{1/n}$$

رابطه اصلی

$$\log q \cdot \log K_F + (1/n) \log C$$

مدل خطی

### مدل بت

$$q = (K_B \cdot C \cdot q_m) / \{(C_S - C) \cdot [1 + (K_B - 1) \cdot (C / C_S)]\}$$

رابطه اصلی

$$C / [(C_S - C)q] = (1 / K_B q_m) + \{[(K_B - 1) / (K_B q_m)] \cdot (C / C_S)\}$$

مدل خطی

### که در روابط بالا :

$q$  : میزان یون فلزی جذب شده در واحد جرم جاذب (mg/g)

$C$  : غلظت باقیمانده فلز در محلول (mg/L)

$C_0$  : غلظت یون فلزی قبل از جذب (mg/L)

$q_m$  : میزان فلز مورد نیاز برای تشکیل یک لایه (mg/g)

$n$  : ثابت تعادل فروندلیچ که نشاندهنده انرژی پیوندهای بین فلز و جاذب است.

$K_1$  : ثابت تعادل لانگ میر که بستگی به انرژی جذب دارد. (L/mg)

$k_B$  : ثابت ایزوترم بت

$K_F$  : ثابت ایزوترم فروندلیچ که نشان دهنده قدرت جذب

است (mg/g).

$C_s$  : غلظت اشباع یونهای فلزی در محلول (mg/L)

$m$  : جرم جاذب (g)

ضرایب ثابت مدلها و ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) از روی مدل های خطی فیت شده با نتایج آزمایشها جذب با استفاده از نرم افزار اکسل بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شدند.

### یافته ها

اثرات غلظت اولیه فلزات و روش های مختلف اصلاح

#### جاذب بر میزان جذب

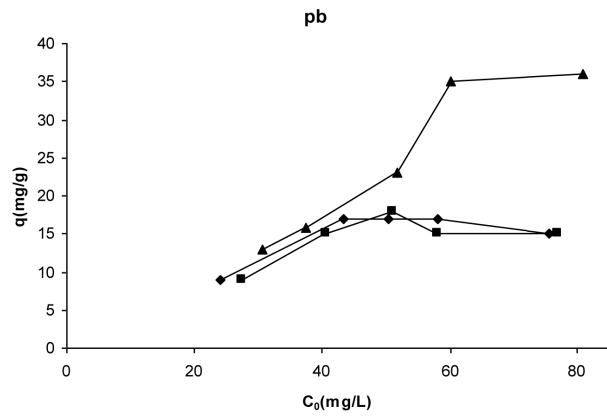
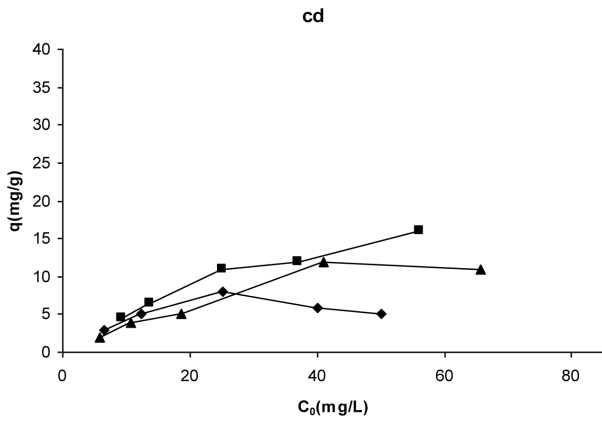
اثر غلظت اولیه فلزات بر میزان جذب بر روی جاذب های اصلاح شده در  $\text{pH} = 6$  در شکل ۱ نشان داده شده است. حداکثر مقادیر  $q$  در مورد جذب سرب و کادمیوم به ترتیب با جاذب اصلاح شده با محلول بازی و اسیدی بدست آمده است. حداکثر  $q$  در تیمارهای سرب ۳۶ و در تیمارهای جذب کادمیوم ۱۶ میلی گرم بر گرم جاذب بوده است. هرچه مقادیر  $C_0$  افزایش داشته است میزان جذب روی جاذب افزایش یافته است. افزایش جذب همگام با افزایش غلظت اولیه فلز می تواند ناشی از افزایش نیروی انتقال جهت افزایش میزان انتقال جرم باشد.

#### اثر pH در میزان جذب

در شکل ۲ اثر pH بر میزان جذب فلز بر واحد جرم جاذب های اصلاح شده نشان داده شده است. غلظت اولیه فلزات ۵۰ میلی گرم در لیتر بوده است و حداکثر و حداقل میزان جذب به ترتیب در pH های ۶ و ۲ بدست آمده است.

#### بررسی تأثیر دوز جاذب

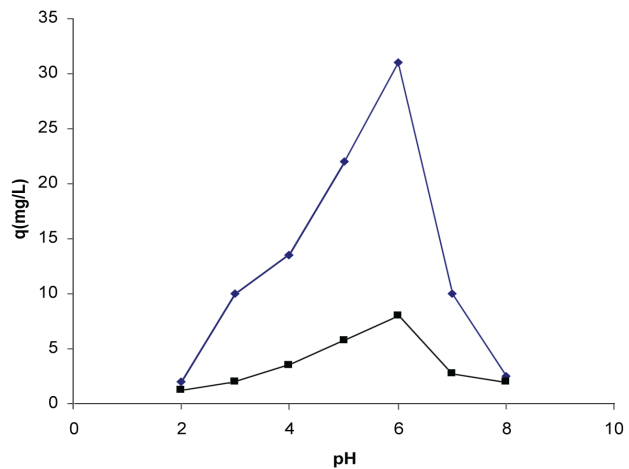
جهت تعیین دز مؤثر جاذب که یکی از پارامترهای بسیار مهم در فرایند جذب می باشد یکسری آزمایشهای جذب در  $\text{pH} = 6$  با مقادیر مختلف دز جاذب اصلاح شده انجام شد. جهت انجام این آزمایشها محلولهای با غلظت اولیه یون فلزی برابر ۵۰ میلی گرم در لیتر تهیه شد. خلاصه نتایج در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱: تاثیر غلظت اولیه یون فلزی بر میزان جذب پوست موز اصلاح شده با آب مقطر (◆) محلول اسیدی (■) و محلول بازی (▲)

جدول ۱: میزان و درصد جذب سرب و کادمیم بر روی دزهای مختلف پوست موز اصلاح شده با محلول بازی

Pb <sup>2+</sup>		Cd <sup>2+</sup>		فلز
q(mg/g)	%A	q(mg/g)	%A	(mg/g) جذب
۳۰	۶۰	۱۳	۲۶	۱
۳۳	۶۶	۱۴/۵	۲۹	۲
۲۵	۵۰	۱۰	۲۰	۳
۱۷	۳۴	۱۰	۲۰	۴
۱۷	۳۴	۸	۱۶	۵



شکل ۲: تاثیر pH بر میزان جذب سرب (◆) و کادمیم (■) بر روی پوست موز اصلاح شده

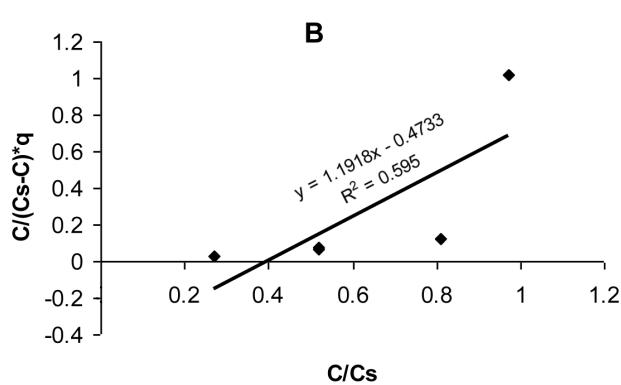
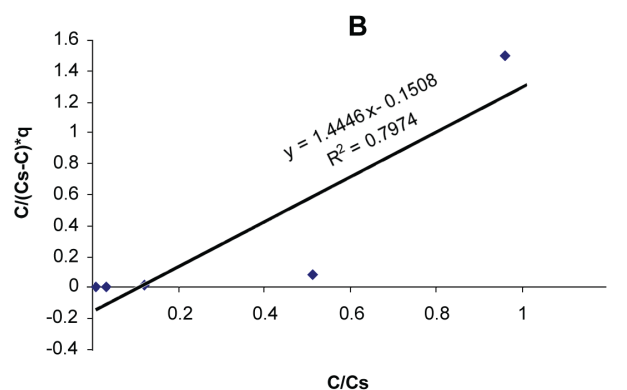
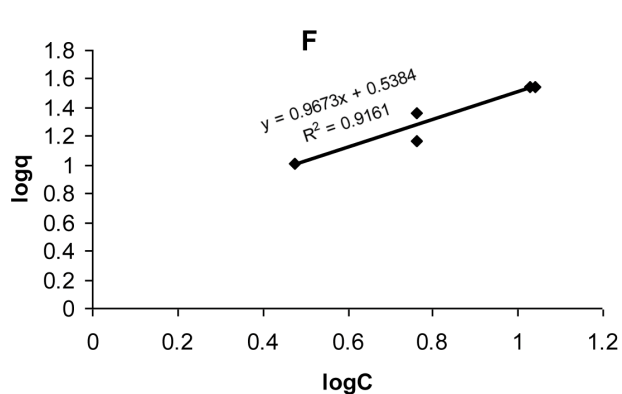
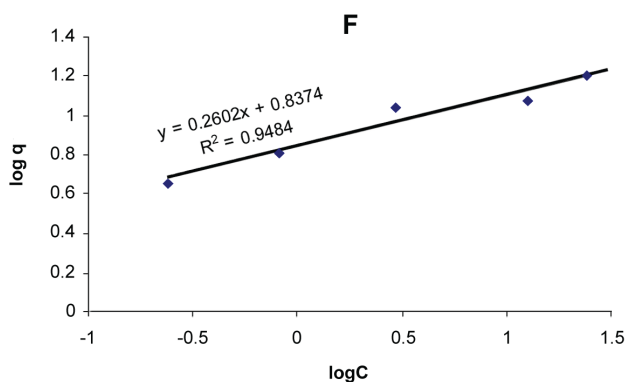
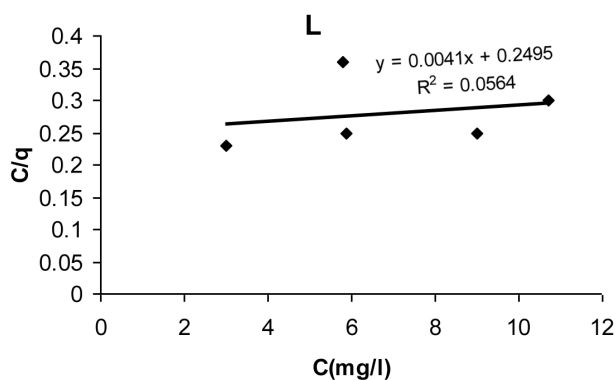
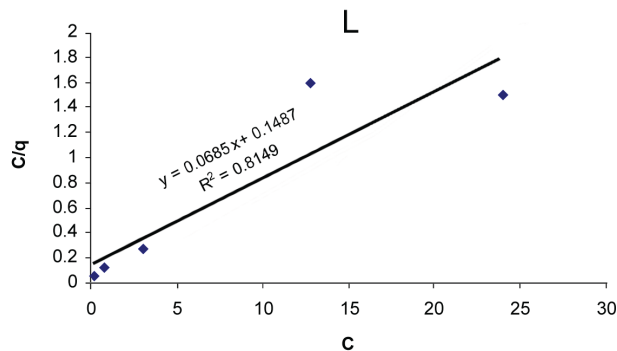
### ایزوترم های جذب

جهت تعیین ایزوترم های جذب از پوست موزهای اصلاح شده به عنوان جاذب استفاده شد آزمایشها در  $pH = 6$  و با غلظتهای اولیه مختلف از یونهای فلزی ( $C_0$ ) انجام شد. در اشکال ۳ و ۴ مدل های خطی شده ایزوترم های لانگ میر، فروندلیچ و بت بر روی داده های حاصل از آزمایشها جذب سرب و کادمیم بر روی جاذب تهیه شده از پوست موز اصلاح شده نشان داده شده است. بهترین مدل جذب برای جذب سرب و کادمیم ایزوترم فروندلیچ بوده است. ضریب همبستگی ( $R^2$ ) در ایزوترم فروندلیچ برای جذب سرب و کادمیم به ترتیب  $0.916$  و  $0.948$  بدست آمده است که بالاتر از مقادیر  $R^2$  در

ایزوترمهای بت و لانگ میر بوده است. ضرایب همبستگی و دیگر پارامترهای مدل های جذب در جدول ۲ نشان داده شده اند.

### بحث

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است نتایج حاصل از آزمایشات جذب نشان داد که پوست موزهای اصلاح شده با محلول بازی ظرفیت جذب بیشتری نسبت به سرب و پوست موزهای اصلاح شده با محلول اسیدی ظرفیت جذب بیشتری نسبت به کادمیم داشته اند. وقتی محلولهای بازی در خلل و فرج جاذب های پایه سلولزی



شکل ۴: نمودارهای حاصل از برازش نتایج حاصل از آزمایشهای جذب کادمیم بر روی مدل‌های خطی فروند لیچ (F) لانگ میر (L) و بت (B)

شکل ۳: نمودارهای حاصل از برازش نتایج حاصل از آزمایشهای جذب سرب بر روی مدل‌های خطی فروند لیچ (F) لانگ میر (L) و بت (B)

جدول ۲: پارامترها و ضرایب همبستگی مدل‌های ایزوترم جذب سرب و کادمیم بر روی پوست موز اصلاح شده

بت		لانگ میر			فروند لیچ			ایزوترم		یون فلزی
$K_B$	$q_m$	$R^2$	$K_L$	$q_m$	$R^2$	n	$K_F$	$R^2$		
۳/۵۱	۰/۶	۰/۵۹۵	۰/۰۱۶	۲۴۳/۹	۰/۰۵۶	۱/۰۳۳	۳/۴۵	۰/۹۱۶	سرب	
۱۰/۱۶	۰/۶۲	۰/۷۹۷	۰/۴۶	۱۴/۵	۰/۸۱۴	۳/۸۴	۶/۸۷	۰/۹۴۸	کادمیم	

تر از جذب کادمیم است. مقدار  $n$  و  $K_p$  در مدل فروند لیچ نشان دهنده انرژی جذب می باشند و همانگونه که در جدول مشاهده می شود در جذب کادمیم این مقادیر بیشتر از مقادیر مربوط به جذب سرب بدست آمده اند. همچنین مقادیر  $k_1$  که از مدل لانگ میر بدست می آید نیز نشان دهنده انرژی جذب می باشد و نشان می دهد که انرژی جذب در فرایند جذب کادمیم بیشتر از این مقدار در جذب سرب است. بنابراین نتایج هر دو مدل فروندلیچ و لانگ میر نشان می دهد که انرژی جذب کادمیم بیشتر از انرژی جذب سرب می باشد.

به طور کلی از مطالعه ایزوترم ها بر می آید که جذب کادمیم بر روی پوست موز اصلاح شده با قدرت و انرژی جذب بیشتر صورت می گیرد هر چند ظرفیت جذب این جاذب برای جذب سرب بیشتر از کادمیم می باشد. عوامل مختلفی از قبیل شعاع یونهای فلزی، طبیعت پارامگنتیک و الکترونگاتیوی در راندمان و قدرت جذب تأثیر دارند.

در جدول ۳ نتایج بدست آمده از این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعات مشابه مقایسه شده اند. باتوجه به ظرفیت جذب بدست آمده میتوان گفت که پوست موز توانائی رقابت با دیگر جاذب های طبیعی را دارد.

### نتیجه گیری

تحقیق حاضر نشان داد که پوست موز اصلاح شده با محلول بازی نسبت به پوست موزهای اصلاح شده با محلول اسیدی و آب مقطر کارائی بالاتری برای جذب سطحی سرب و پوست موز اصلاح شده با محلول اسیدی نسبت به پوست موزهای اصلاح شده با محلول بازی و آب مقطر کارائی بالاتری برای جذب سطحی کادمیوم دارد و از این جاذب با توجه به قیمت ارزان و سادگی تهیه و اصلاح آن می توان جهت حذف فلزات سنگین از محیطهای آبی بخصوص فاضلاب ها بهره گرفت. این جاذب ارزان قیمت قادر است به ترتیب تا حد ۳۶ و ۱۶ میلی گرم سرب و کادمیوم را بر روی خود جذب

نفوذ می کند باعث می شود که سلولز نوع ۱ به نوع ۲ تبدیل شود از طرفی با ورود عوامل اسیدی و بازی، کریستالیت سلولز کاهش یافته و باعث می شود که سطح مخصوص و تخلخل جاذب افزایش یابد که همه این عوامل باعث افزایش میزان جذب می شوند (۲۰ و ۲۱). این نتایج با نتایجی که محققین دیگر در مطالعات جذب سطحی که بر روی جاذب های اصلاح شده با باز و اسید گرفته اند، مطابقت می نماید (۷ و ۸).

در pH های پائین مقادیر یونهای  $H_3O^+$  با یونهای فلزی برای جذب در جایگاههای جذب رقابت می نمایند و با اشغال سایت های جذب باعث کمتر شدن ظرفیت جاذب در جذب فلز می شوند (۲۲). به هنگام تنظیم pH در صورتیکه pH را از ۶ بالاتر ببریم یونهای فلزی رسوب می کنند و حذف یونهای فلزی از محلول و جداسازی آنها باعث می شود که قبل از عمل جذب یونها حذف شده باشند و به همین علت  $q$  نیز با افزایش pH به مقادیر بیشتر از ۶، کاهش می یابد (۲۳).

همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شده است با افزایش دز جاذب میزان جذب یون فلزی در واحد جرم جاذب کاهش یافت ولی راندمان جذب افزایش داشته است. این پدیده به این صورت قابل توجیه است که بعضی از جایگاه های جذب اشباع نشده باقی می ماند (۲۴).

از آنجا که ایزوترم های لانگ میر و فروندلیچ نشان دهنده تک لایه بودن جذب می باشد و ایزوترم بت نشان دهنده چند لایه بودن جذب است نتایج حاکی از آن است که جذب یونهای فلزی سرب و کادمیوم بر روی پوست موز اصلاح شده به صورت تک لایه می باشد (۱۸).

همانگونه که در جدول ۲ دیده می شود مقادیر  $q_m$  بدست آمده از مدل های لانگ میر و بت که نشان دهنده مقدار یون فلزی لازم برای تشکیل تک لایه می باشد در جذب سرب بسیار بالاتر از مقادیر  $q_m$  مربوط به جذب کادمیم بوده است و نشان می دهد که مقادیر بیشتری از فلز برای تشکیل تک لایه لازم است. به همین دلیل ظرفیت جاذب در جذب سرب بسیار بالا

جدول ۳: مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر و نتایج مطالعات مشابه

منبع	ظرفیت جذب (میلیگرم بر گرم)	فلز سنگین	عامل اصلاح کننده	جاذب
۲۵	۷۳/۶	کادمیم	سدیم هیدروکسید	خاک اره
۲۹	۹/۷۸	سرب	اسید سولفوریک	خاک اره
۲۶	۸/۵	کادمیم	آب	شلتوک برنج
۲۶	۲۰/۲۴	کادمیم	سدیم هیدروکسید	شلتوک برنج
۲۶	۱۶/۱۸	کادمیم	سدیم بیکربنات	شلتوک برنج
۱۴	۰/۰۱	کادمیم	سدیم بیکربنات	شلتوک برنج
۲۷	۱۳/۴۶	مس	اسید نیتریک	پوست موز
۹	۸۹/۲	سرب	سدیم هیدروکسید	یونجه
۲۸	۲/۵	سرب	پراکسید هیدروژن	خاکستر باگاس
مطالعه حاضر	۳۶	سرب	سدیم هیدروکسید	پوست موز
مطالعه حاضر	۱۶	کادمیم	اسید نیتریک	پوست موز

افزایش می یابد. فرایند جذب از مدل فروند لیچ تبعیت میکند و نشان میدهد که جذب به صورت تک لایه اتفاق میافتد. ظرفیت جذب سرب بر روی این جاذب بالا تر از جذب کادمیم است ولی جذب کادمیم با قدرت بیشتری انجام میگردد.

### منابع

- Shukla SR, Pai RS. Adsorption of Cu (II), Ni (II) and Zn (II) on modified jute fibers . *Bioresource Technology* 2005; 96: 1430-1438.
- Esalah JO, Weber ME, Vera JH. Removal of lead, cadmium and zinc from aqueous solutions by precipitation with sodium di-(n-octyl) phosphinate. *Canadian Journal of Chemistry*. 2000; 78: 948-954.
- Cardoso VdA, Souza AGd, Sartoratto PPC, Nunes LM. The ionic exchange process of cobalt, nickel and copper(II) in alkaline and acid-layered titanates. *Colloid surface. A: Physicochemical Engineering Aspects*. 2004; 248: 145-149.
- Weirich DB, Hari R, Xue H, Behra P, Sigg L. Adsorption of Cu, Cd, and Ni on goethite in the presence of natural groundwater ligands. *Environmental Technology*. 2002; 36: 328 -336
- Zhou D, Zhang L, Zhou J, Guo S. Cellulose/chitin beads for adsorption of heavy metals in aqueous solution. *Water Research*. 2004; 38: 2643-2650.
- Bailey SE, Olin TJ, Bricka RM, Adrian DD. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*. 1999; 33: 2469-2479
- Wan Ngah WS, Hanafiah MAKM. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. 2008; 99 (10): 3935-3943
- Tarley CRT, Ferreira SLC, Arruda MAZ. Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: characterization and development of an on-line preconcentration system for cadmium and lead determination by FAAS. *Microchemical Journal*. 2004; 77: 163-175.



9. Tiemann. KJ, Gamez G, Dokken K, Parsons JG, Gardea-Torresdey JL. Chemical modification and X-ray absorption studies for lead (II) binding by *Medicago sativa* biomass. *Microchemical Journal*. 2002; 71: 287-293.
10. Li Q, Zhai J, Zhang W, Wang M, Zhou J. Kinetic studies of adsorption of Pb (II), Cr (III) and Cu (II) from aqueous solution by sawdust and modified peanut husk. *Journal of Hazardous Material*. 2006; 141: 163–167.
11. Junior OK, Gurgel LVA, de Melo JCP, Botaro VR, Melo TMS, de Freitas Gil RP, Gil LF. Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*. 2007 ; 98:1291–1297.
12. Nabi GH, Fazelpishe H. Adsorption of heavy metals by sawdust. *Journal of Environmental Studies*. 1998; 24:15-22
13. Esmailian M, Taebi A, Amirshahi H. Use of chitosan as an adsorbent for decolorisation of textile wastewater. *Polymer Science and Technology*. 1999; 4:237-246
14. Shahmohammadi Z, Moazed H, Jafarzadeh N, Haghghatjoo P. Removal of Cd<sup>2+</sup> from dilute aqueous solutions by rice husk. *Water and Wastewater*. 2008;67:27-33
15. Karnitz JrO, Gurgel LVA, Júlio César Perin de Melo JC, Botaro VR, Sacramento Melo TM, de Freitas Gil RP, and Frédéric Gil L. Aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*. 2007 ;89: 1291-1297
16. Marshall WE, Wartelle LH, Boler DE, Johns MM, Toles CA. Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid. *Bioresource Technology*. 1999 ;69: 263-268
17. Argun ME, Dursun S. A new approach to modification of natural adsorbent for heavy metal adsorption. *Bioresource Technology*. 2008; 99(7): 2516-2527
18. Sciban M, Radetic B, Kevresan Z, Klasnja M. Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust. *Bioresource Technology*. 2007; 98: 402-409.
19. Altın O, Özbelge HÖ, Dogu T. Use of general purpose adsorption isotherms for heavy metal–clay mineral interactions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1998 ;198: 130-140.
20. Sciban M, Klasnja M, Skrbic B. Modified softwood sawdust as adsorbent of heavy metal ions from water. *Journal of Hazardous Material*. 2006; 136: 266-271
21. Gurgel LVA, Junior OK, Gil RPF, Gil LF. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solution by cellulose and mercerized cellulose chemically modified with succinic anhydride. *Bioresource Technology*. 2008; 99: 3077-3083
22. Taty VC, Costodes Fauduet H, Porte C, Delacroix A. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Material*. 2003; 105:121-142.
23. Sud D, Mahajan G, Kaur MP. Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions – A review. *Bioresource Technology*. 2008; 99: 6017-6027.
24. Raji C, Anirudhan TS. Kinetics of Pb (II) adsorption by polyacrylamide grafted sawdust. *Indian journal of Chemical Technology*. 1997 ;4: 157-162.
25. Memon SQ, Memon N, Shah SW, Khuhawar MY, Bhangar MI. Saw dust- a green and economical sorbent for removal of cadmium ions. *Journal of Hazardous Material*. 2007; 139; 116-121
26. Kumar U, Bandyopadhyay M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology*. 2006; 97, 104-109.
27. Low KS, Lee CK, Leo AC. Removal of metals from electroplating wastes using banana pith. *Bioresource Technology*. 1995; 51, 227–231.
28. Gupta VK, Ali I, Removal of lead and cadmium from wastewater using bagass fly ash- a sugar industry waste. *J. Colloid Interface Science*. 2004; 271, 321-328.
29. Taty VC, Costodes Fauduet H, Porte C, Delacroix A. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Material*. 2003; 105, 121-142.

## Heavy Metal Removal from Aqueous Solution by Adsorption on Modified Banana Shell

\*<sup>1</sup>MR. Mehrasbi, <sup>1</sup>Z. Farahmand kia

<sup>1</sup>Department of Environmental Health, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

Received 15 October 2008; Accepted 16 December 2008

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Heavy Metals in Water resources is one of the most important environmental problems of countries. Up to now various methods of removing of these metals is considered, which is including using of low prices materials. In this study the potential of banana shells was assessed for adsorption of heavy metal ions such as Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> from aqueous solution.

**Materials and Methods:** Banana shells were pretreated separately with 0.4 mol/L NaOH, 0.4 mol/L HNO<sub>3</sub> and distilled water and their adsorption ability were compared. Batch adsorption experiments were carried out as a function of the initial ion concentration, pH and adsorbent dosage. Adsorption isotherms of metal ions on adsorbents were determined and correlated with common isotherm equations such as Lungmuir, Freundlich and BET models.

**Results:** The maximum adsorption capacities were achieved by alkali modified banana shells (36 mg/g) for Pb<sup>2+</sup> and by acidic modified banana shells (16 mg/g) for Cd<sup>2+</sup>. Experimental results showed that the best pH for adsorption was 6 and the adsorption values decreased with lowering pH. Isotherm models indicated best fit for Freundlich model for modified banana shells.

**Conclusion:** In comparing the parameters of models, it was observed that the capacity of banana shells for adsorption of lead is higher than for adsorption of cadmium, but the adsorption of cadmium is stronger than the adsorption of lead.

**Keywords:** Adsorption; heavy metal; low cost adsorbent; banana shell; plant waste

---

\*Corresponding Author: [zmehr@zums.ac.ir](mailto:zmehr@zums.ac.ir)

Tel: +98 241 7273128, Fax: +98 241 7273153