

جذب زیستی کادمیم از محلول‌های آبی به‌وسیله جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس: خواص سطح جلبک و مکانیسم جذب

سلمان احمدی اسپچین*

ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده علوم، گروه علوم پایه

پیم‌نگار: s. ahmadyas@mail. ilam. ac. ir

چکیده

کادمیم یکی از عناصر سمی زیست محیطی است که از طریق آب، هوا و غذا وارد بدن می‌شود و همراه با متالوتیونین‌ها در کلیه‌ها تجمع یافته، سبب بروز اختلال در فعالیت‌های طبیعی بدن می‌گردد. در این تحقیق جذب کادمیم به‌وسیله جلبک قهوه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به بازدهی مناسب جذب فلزات سنگین به‌وسیله جاذب‌های زیستی این روش انتخاب گردید. بدلیل آنکه، جلبک قهوه‌ای در بین دیگر جلبک‌ها کارایی بالاتری در جذب فلزات سنگین دارد از آنها استفاده شده است. در این تحقیق مشخص گردید که نقش کلیدی را در جذب یون کادمیم گروه‌های فعال سطح آلزینات بویژه بنیان‌های کربوکسیل برعهده دارند. با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز (FT-IR) این گروه‌های سطحی مشخص شدند. کینتیک جذب کادمیم به‌وسیله جلبک نشان داده است که زمان تعادل حدود ۳۰۰ دقیقه است. از معادله لانگمویر برای تفسیر تک‌مای جذب کادمیم استفاده شده است و بیشینه جذب برای کادمیم حدود ۰/۱۵ میلی مول بر گرم بوده است.

کلمات کلیدی: جذب زیستی، جلبک قهوه‌ای، تعویض یونی، کادمیم

۱- مقدمه

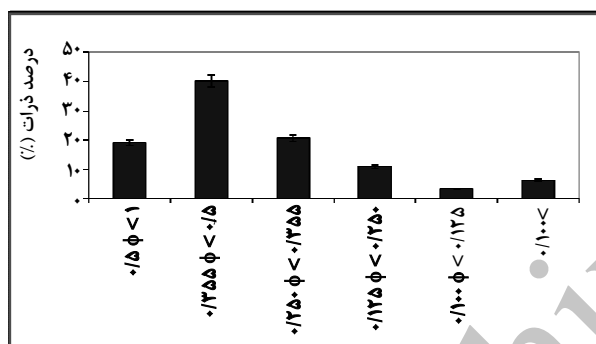
سالهاست که وجود فلزات سنگین در آبها و فاضلاب‌های صنعتی به مساله و مشکلی عمده بدل شده است. فلزات سنگین بدلیل پایداریشان، از عوامل اصلی آلوده‌کننده محیط زیست می‌باشند. [۱] آلودگی فاضلاب به‌وسیله یونهای فلزی سنگین یک مشکل جهانی زیست محیطی محسوب می‌گردد. افزون بر ۹۹ درصد فاضلاب را آب تشکیل می‌دهد. متأسفانه افزایش شهرنشینی و پیشرفتهای صنعتی نه تنها باعث بالا رفتن میزان مصرف آب گردیده، بلکه مقدار آلودگی آنها را نیز افزایش داده است. بشر در چند دهه اخیر به طور فزاینده ای در معرض تأثیر فلزات سنگین قرار گرفته است. این، به دلیل افزایش کارخانجات مربوط به

صنایع سنگین و صنایع پایین دستی آنها می‌باشد. از طرفی در جوامع صنعتی کنونی، راهی برای دوری جستن از فلزات سنگین وجود ندارد. بعنوان نمونه در ایالات متحده هر ساله هزاران تن فاضلاب کارخانجات حاوی فلزات سنگین باعث انتشار کادمیم، روی، آرسنیک، نیکل و غیره در محیط، رها و سپس از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل می‌گردد. عموماً، فلزات سنگین سم‌های سیستمیک بوده و با اثر اختصاصی بر روی اعصاب، کلیه، جنین و سرطانزایی می‌توانند سبب مرگ و میر گردند. فلزات سنگین با ایجاد اختلال در سیستم ذهنی و عصبی بدن و تحت تأثیر قرار دادن نوروترانسمیترها و همچنین اثرات قلبی و عروقی و اثر روی سیستم ایمنی و تولید مثل، رفتار انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مشخص گردید. حدود ۱۰ تا ۴۰٪ وزن خشک دیواره جلبک را ترکیب آلزینات تشکیل می‌دهد، که نقش کلیدی و اصلی را در جذب فلزات سنگین بر عهده دارد.

۲- مواد و روشها

در این تحقیق از جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس برای جذب یون کادمیم استفاده شده است، این جلبک از ساحل اقیانوس اطلس در شهر پورنیک فرانسه جمع آوری شده است. جاذب زیستی مورد مطالعه دو بار با آب معمولی سپس دو بار با آب مقطر شستشو داده شده است. آنگاه جلبک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شده سپس برش داده شده و در نهایت، ذرات با قطر (۰/۵-۰/۳۵۵) میلی متر انتخاب و از آنها استفاده شده است. (شکل (۱))



شکل ۱- میزان درصد به دست آمده از ذرات فوکوس سراتوس (میلی متر) بعد از شستشو، خشک کردن، خرد کردن و غربال کردن. (قطر ذرات به میلی متر)

جهت تعیین میزان یون کادمیم در محلولهای آبی از دستگاه جذب اتمی^۲ و جهت تهیه محلولهای فلزی کادمیم از نمک $CdCl_2 \cdot 6H_2O$ استفاده شده است.

آزمایشهای مربوط به کینتیک^۳ جذب کادمیم توسط جلبک در یک راکتور بسته کوچک ۱ لیتری با میزان ۰/۰۹ گرم از فوکوس سراتوس صورت گرفته است. برای تنظیم pH در حدود (۵ ± ۰/۲) از اسید کلریدریک و هیدرواکسید سدیم استفاده شده است.

کادمیم با عدد اتمی ۴۸ و جرم اتمی ۱۱۲/۴۰ عنصری متعلق به گروه IIB جدول تناوبی، هم گروه با جیوه و روی است. مهمترین مصرف کادمیم به علت مقاومت بسیار زیاد آن در مقابل خوردگی، در آلبکاری فولاد است. همچنین به عنوان روکش آهن، مس، برنز و سایر آلیاژها به منظور حفاظت در مقابل خوردگی به کار می‌رود. مقدار ایمن و مجاز آن در آب آشامیدنی در ایالات متحده ۰/۰۱ میلی گرم بر لیتر تعیین گردیده است. [۲]

جذب و کاهش میزان آلاینده‌ها در محیطهای آبی به کمک باکتری‌ها، سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها، فارچ‌ها از جمله گزینه‌های مطرح شده در زمینه رفع آلودگی‌های زیست محیطی است. [۳و۴] فلزات سنگین در عرصه جذب زیستی در سه دسته: فلزات سمی مانند، کبالت، روی، سرب، کادمیم و دیگر فلزات سمی، فلزات قیمتی مانند، طلا، نقره، پلاتین و دیگر فلزات قیمتی، و دسته سوم رادیونوکلئوئیدس‌ها مانند رادیم، اورانیوم، امریسیوم و دیگر رادیونوکلئوئیدس‌ها، که معمولاً وزن مخصوصشان بالاتر از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب است، طبقه بندی می‌شوند. [۵و۶]

از جمله مزایای روشهای زیستی جهت حذف فلزات سنگین از محلولهای آبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. [۷و۸و۹]

- کارایی بالا جهت حذف یونهای فلزی از محلولهای رقیق می‌باشد
- برخلاف روشهای مرسوم، تولید لجن فعال نمی‌کند
- جاذبهای زیستی به وفور در طبیعت یافت می‌شوند
- می‌توان فلز را بازیافت کرد
- استفاده چند باره از جاذب زیستی صورت می‌گیرد

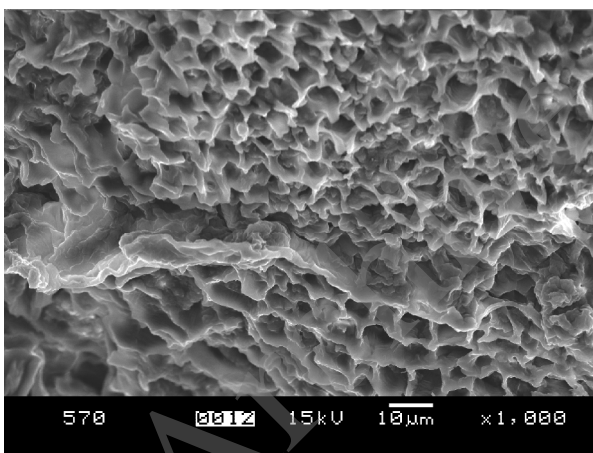
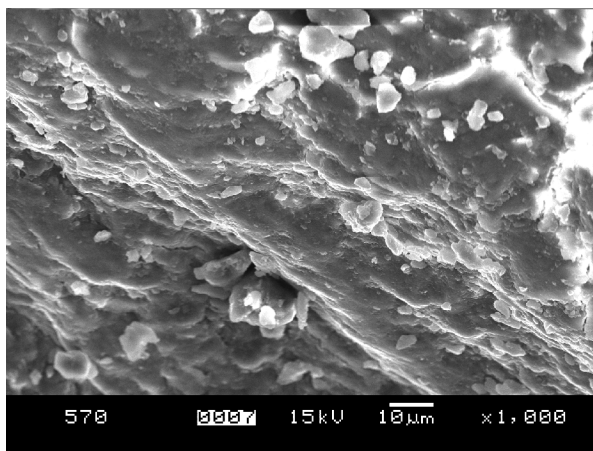
پژوهشهای متعددی در ارتباط با بررسی حذف و پاکسازی فلزات سنگین از فاضلاب کارخانه‌های صنعتی صورت گرفته است. هایفلی^۱ و همکاران از باکتری سودوموناس جهت حذف فلز نقره استفاده کرده‌اند. [۱۰]

جلبک‌های قهوه‌ای به علت ساختار ویژه دیواره سلولی توانایی بسیار بالایی جهت جذب فلزات سنگین دارند. وجود گروه‌های کربوکسیل، هیدروکسیل و سایر گروه‌ها در ترکیبات اسیدآلژینیک و فوکویدان از مهمترین عوامل جذب فلزات سنگین و یا سایر عناصر در دیواره سلولی جلبک‌های قهوه‌ای است. [۱۱] در این تحقیق از جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس جهت جذب فلز کادمیم استفاده شده است. ساختار سطح جلبک با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

2. Atomic Absorption Spectrometer (Chem., Tech, Analytical CTA 2000)
3. Kinetic

1. Haefli et al,

کادمیم قرار می‌گیرد. بنابراین، جذب دو مرحله‌ای داریم، جذب اولیه مربوط به گروه‌های فعال سطحی جلبک است که در معرض مستقیم فلز کادمیم قرار گرفته است و جذب ثانویه اندک در زمانهای طولانی مربوط به اتصال این فلزات به گروه‌های سطحی است که قبلاً مخفی بوده ولی در حال حاضر، با در معرض تیمار آب قرار گرفتن، آشکار شده‌اند. (شکل (۲))



شکل ۲- شکل‌های به دست آمده از فوکوس سراتوس به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ^۱: تصویر بالا فوکوس سراتوس قبل از شستشو و برش دادن، تصویر پایین فوکوس سراتوس بعد از قرار دادن در آب مقطر (تهیه سوسپانسیون)

۳-۲ تعیین گروه‌های سطحی شیمیایی با آنالیز به‌وسیله مادون قرمز
برای تعیین گروه‌های فعال بر روی جلبک فوکوس سراتوس از آنالیز

برای بررسی تک‌دمای^۱ جذب یون کادمیم توسط فوکوس سراتوس از معادله لانگمویر استفاده شده است. تفسیر این تک‌دما:

$$q_e = \frac{q_m b_L C_e}{1 + b_L C_e}$$

C_e غلظت کادمیم در محلول در حالت تعادل (میلی مول / لیتر)

Q_e غلظت کادمیم بر روی جذب در حالت تعادل (مول / گرم)

Q_m ماکزیمم فلز جذب شده (مول / گرم)

b_1 ثابت مربوط به وابستگی بین جذب و جذب شونده (لیتر / مول)

از طرف دیگر برای جذب کادمیم در آب معمولی از معادله فروندلیچ پیروی می‌شود. رابطه تک‌دمای فروندلیچ، نمایی^۲ است. معادله فروندلیچ به قرار زیر است.

$$q_e = K_F C_e^{1/n_F}$$

که در آن k و n ثابتهای فروندلیچ می‌باشند، که به ترتیب مربوط به توانایی و شدت جذب جذب زیستی می‌باشند. رابطه فروندلیچ یک معادله تجربی است و فقط برای غلظت‌های کم تا متوسط به‌کار می‌رود. [۱۲] علاوه در این تحقیق از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره^۳ جهت تفسیر سطح جلبک در زمان تماس با فلز استفاده شده است. همچنین در ادامه از دستگاه طیف سنج مادون قرمز جهت شناسایی گروه‌های سطحی فعال بر روی جلبک استفاده گردیده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص سطحی ویژه

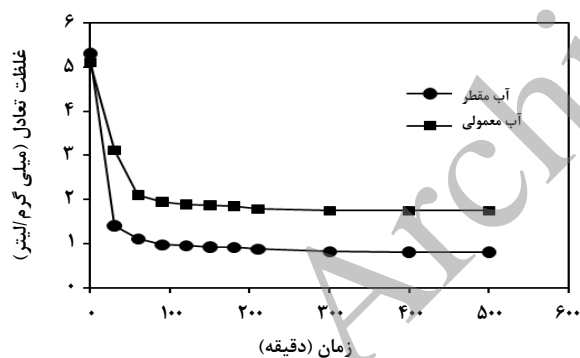
با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ، سطح جلبک فوکوس سراتوس ابتدا قبل از شستشو با آب مقطر و در مرحله بعد با تیمار جلبک توسط سوسپانسیون آب مقطر مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که با تیمار جلبک به‌وسیله آب مقطر، قطر کانالها و سطح ویژه جلبک افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، می‌توان علت افزایش آرام میزان جذب فلز به‌وسیله جلبک را اینگونه تفسیر نمود، که با گذشت زمان منافذ سطح جذب زیستی در دسترس فلز

1. Isotherm
2. Exponential
3. Scanning Electron Microscope (SEM)

4. Scanning Electron Microscope (SEM)

به دست آمده، در حدود ۳۰۰ دقیقه بوده است. بعد از گذشت این زمان، کارایی جذب ثابت می ماند. این زمان تعادل در استفاده های صنعتی از جاذب های زیستی، از اهمیت خاصی برخوردار است. زمان تعادل در باکتری ها برای جذب فلزات سنگین در حدود چند دقیقه، در جلبک ها در حدود چند ساعت، در کیتوزان به میزان چند روز و بالاخره در کرین فعال در حدود چند هفته می باشد. مقایسه زمان تعادل جذب در جاذب های زیستی نشان می دهد، این زمان در جلبک مورد مطالعه، در مقایسه با باکتری ها طولانی ولی در مقایسه با جلبک، مزیتی برای استفاده های صنعتی از آن می باشد.

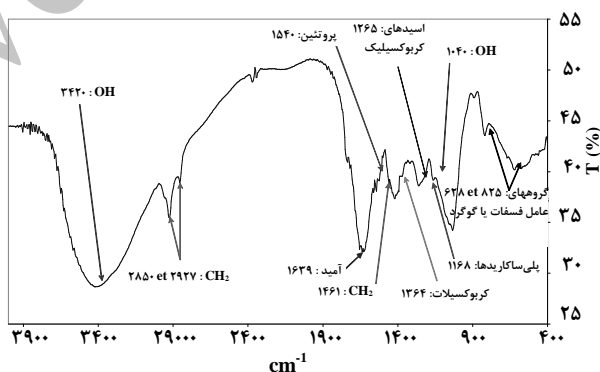
آزمایش کینتیک با استفاده از آب شیر (آب غیر مقطر) انجام گردید که منحنی متفاوتی به دست می آید. این تفاوت بر می گردد به حضور یونهای کلسیم در آب معمولی که در اتصال به گیرنده های سطح سلول با فلز کادمیم رقابت می کنند که در نتیجه کاهش میزان جذب مشاهده گردیده است. با مقایسه کینتیک جذب کادمیم در آب مقطر و آب شیر، مشخص گردید که تفاوت این دو قابل ملاحظه نبوده و می توان در استفاده های صنعتی از فاضلاب و فاضلاب های کارخانجات استفاده کرد.



شکل ۴- کینتیک تثبیت یون کادمیم به وسیله جلبک در آب مقطر و در آب شیر معمولی (غلظت اولیه کادمیم ۵/۵ میلی گرم بر لیتر) و غلظت جلبک ۰/۰۹ گرم بر لیتر)

۳-۴ تأثیر غلظت کادمیم در جذب (آزمایش های تکدام) از مهمترین آزمایش ها در بحث جاذب های زیستی، آزمایش تکدام است. منحنی تکدامی تثبیت کادمیم در آب مقطر و آب معمولی توسط فوکوس سراتوس در محلول حاوی pH تقریبی

سطح جلبک به وسیله دستگاه طیف سنج مادون قرمز^۱ استفاده شده است. ترکیبات آلی نظیر پروتئین ها، لیپید ها، بسپارهای کربو هیدرات مثل سلولوز، مانان، آلژینیک اسید و یونهای معدنی نظیر کلسیم و منیزیم از جمله گروه های سطحی جلبک می باشند. ویژه ترین پیکها در روی شکل (۳) مربوط به ۱۶۳۹ و ۱۵۴۰ بر سانتی متر به ترتیب مربوط به آمید و پروتئین و ۱۳۸۴ و ۱۲۶۵ مربوط به گروه کربوکسیل و گروه کربنیل، باند ۱۱۶۸ مربوط به پلی ساکارید می باشد. در شکل (۳) همه این گروه های سطحی جلبک به دقت نشان داده شده است، حضور گروه کربوکسیل، سطح آلژینات دیواره جلبک از اهمیت خاصی برخوردار است. با انجام این آزمایش و مقایسه گروه های فعال سطح جلبک در حضور فلز به این نتیجه می رسیم که عامل کربوکسیل سطح آلژینات دیواره نقش اساسی در جذب فلز بازی می کند. و به استفاده از آلژینات به صورت حتی مجزا از جاذب در استفاده های صنعتی نیز بیاندهشیم. اتصال فلز به سطح گروه کربوکسیل با جدا شدن فلزات سطحی چسبیده به گروه کربوکسیل از جمله کلسیم، منیزیم و سدیم همراه می باشد و اساس جذب از نوع تبادل یون است. البته معادله مربوط به نشان دادن مکانیسم نوع جذب کادمیم در این مقاله نیامده است.



شکل ۳- تعیین گروه های شیمیایی سطح جلبک به وسیله دستگاه طیف بینی مادون قرمز

۳-۳ اثر زمان تماس بر فرایند جذب (کینتیک)

آزمایش اثر زمان تماس، کینتیک جذب کادمیم به وسیله بیومس فوکوس سراتوس در ۲۵ درجه سلسیوس، در pH حدود ۵/۵ با استفاده از آب مقطر انجام گردیده است. همانگونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، مدت تماس تا ۵۰۰ دقیقه و زمان تعادل

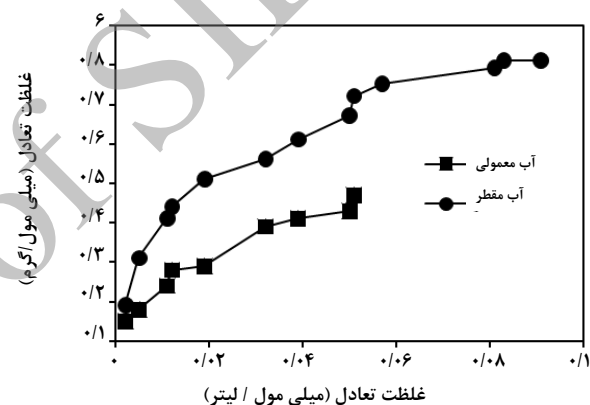
1. FT-IR Spectrometer (Hartman – Bomen)

۴- نتیجه‌گیری

امروزه بسیاری از محققان درصدد یافتن روش‌های ارزان قیمت و مناسب به منظور تصفیه فاضلاب‌ها می‌باشند، تا جایگزین روش‌های پر هزینه و رایج معمولی گردد. جلبک مورد مطالعه نسبت به جاذبه‌های زیستی و شیمیایی دیگر دارای کارایی بالاتری است، و این به حضور گروه‌های کربوکسیل بر روی آلژینات دیواره سلولی جلبک برمی‌گردد. این امر با آزمایش مربوط به حضور گروه‌های فعال کربوکسیل به‌وسیله دستگاه تیف سنج مادون قرمز نشان داده شده است. مکانیسم جذب از نوع تبادل یونی می‌باشد، به میزانی که جذب کادمیم صورت می‌گیرد به همان میزان یون کلسیم و منیزیم از سطح جلبک آزاد می‌گردد. اسید آلژینیک در سطح دیواره جلبک مورد نظر، نقش اصلی را در جذب فلز سمی کادمیم دارد که در این زمینه نیازمند به تحقیقات بیشتری می‌باشد تا در آن، کارایی جذب فلزات را مستقیماً به‌وسیله آلژینات اثبات کند. زیرا گروه‌های با بار منفی سطح آلژینیک اسید از جمله COO^- با فلزات سمی و سنگین از جمله کادمیم، واجد بار مثبت میانکنش نشان می‌دهند و به این نظریه ما را نزدیک می‌نمایند که روش جذب فلز از نوع تبادل یونی^۱ است. از جمله مزایای استفاده از جلبک علاوه بر کارایی جذب بالا، می‌توان به ارزان قیمت و مقرون به صرفه بودن آن، عدم نیاز به فعالیت متابولیکی جاذب، کارایی بالای جذب کادمیم در آب طبیعی، اشاره کرد. از طرف دیگر، میزان مانورونیک اسید و گلوکرونیک اسید (M/G) که سازنده آلژینیک اسید می‌باشد در جلبک فوکوس سراتوس به نسبت ۱ است و این میزان تأثیر مستقیم در افزایش کارایی جذب دارد. زیرا در برخی جلبکها این میزان بیشتر از یک و در برخی کمتر از یک می‌باشد. از طرف دیگر، طراحی زیست‌راکتور پیوسته برای مطالعه جذب فلز در حالت صنعتی در ادامه کار می‌باشد. طراحی بسترهای واجد جلبک و عبور دادن فاضلاب‌های آلوده از آن از جمله ایده‌های آینده در این تحقیق خواهد بود. هولان و همکاران گزارش دادند که بیشینه جذب کادمیم به‌وسیله جلبک فوکوس وزیکولوس^۲ در حدود 0.165 میلی مول بر گرم بوده است. [۱۳] دیویس و همکاران نشان دادند که بیشینه جذب فلز کادمیم به‌وسیله جلبک قهوه ای، سارگاسوم فیلیپاندولا^۳ در حدود 0.166 میلی مول بر گرم است. [۱۴] همچنین پراشر و همکاران، گزارش

1. Ion-Exchange
2. *Fucus Vesiculosus*
3. *Sargassum Filipendula*

(0.12 ± 0.05) صورت گرفته که در شکل (۵) نشان داده شده است. بیشینه جذب کادمیم به‌وسیله جلبک در آب مقطر برابر 0.185 میلی‌مول بر گرم و این میزان در آب معمولی در حدود 0.145 میلی مول بر گرم بوده است. علت این کاهش جذب در آب مقطر به حضور 47 میلی گرم بر لیتر از کلسیم بر می‌گردد، که با کادمیم در جذب بر روی جاذب زیستی رقابت می‌نماید. میزان جذب کادمیم در آب معمولی نیز قابل ملاحظه است. جذب کادمیم در آب مقطر از معادله لانگمویر و در آب معمولی از معادله فروندلیچ پیروی می‌کند. جدول‌های (۱) و (۲) پارامترهای لانگمویر جذب فلز کادمیم در آب مقطر و پارامترهای فروندلیچ جذب فلز در آب معمولی را نشان می‌دهند.



شکل ۵- تکدمای جذب کادمیم در آب مقطر و آب معمولی (میزان غلظت از 0.11 تا 0.387 میلی مول بر لیتر در آب مقطر و 0.09 تا 0.232 در آب معمولی، غلظت جلبک 0.09 میلی گرم بر لیتر)

جدول ۱- پارامترهای لانگمویر در رابطه با تکدمای جذب کادمیم به‌وسیله جلبک فوکوس سراتوس

پارامترها	q_m (میلی مول /گرم)	b_L (لیتر / میلی مول)	r^2
کادمیم	0.185	$24/23$	0.948

جدول ۲- پارامترهای فروندلیچ در رابطه با تکدمای جذب کادمیم به‌وسیله فوکوس سراتوس

پارامترها	$1/n_F$	K_F ($\text{mol}^{1-1/n} \cdot \text{L}^{1/n} \cdot \text{g}^{-1}$)	r^2
کادمیم	0.336	0.117	0.847

- [5] Bishop, P. L. Pollution prevention: fundamentals and practice. Beijing: Tsinghua University Press, (2000).
- [6] Veglio, F., Beolchini, F., Removal of metals by biosorption: a review. *Hydrometallurgy*, 44:301-316, (1997).
- [7] Malkoc, Emine., Nuhoglu, Yasar., Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using waste of tea factory: Adsorption on a fixed-bed column. *Journal of Hazardous Materials*, 135:328-336, (2006).
- [8] Abdel Halim, S., Shehata, A. M. A; EI Shahat. Removal of lead ions from waste water by different types of natural materials. *Water Research* 37:1678-1683, (2001).
- [9] Davis A. Thomas, Volesky, B. Mucci, A., A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water research* 37, 4311-4330, (2003).
- [10] HaeFeli C, Franklin C, Hardy K. Plasmid-determined silver resistance in *P. Stutzeri* isolated from Silver mine. *J bacteriol*, 158: 384-392, (1984).
- [11] Volesky B., Weber J., Viera R, Biosorption of Cd and Cu by different types of sargassum biomass. *Process Metallurgy*, 9:473-482, (1999).
- [12] Aksu, Z., Acykel, U., Modelling of a single-staged bioseparation process for simultaneous removal of iron (III) and chromium (VI) by using *Chlorella vulgaris*. *Biochem. Eng. J.* 4:229-238, (2000).
- [13] Holan Z. R., Volesky, B., Prasetyo I, Biosorption of Cd by biomass of marine algae. *Biotech Bioeng*, 41:819-825, (1993).
- [14] Davis T. A., Volesky B., Vieira R. H. S. F. Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metal. *Water research*, 17: 4270-4278, (2000).
- [15] Prasher S. O., Beauguard M., Hawari J., Bera P., Patel R. M, Kim S. H. Biosorption of heavy metal by red algae (*Palmaria palmata*). *Environmental Technology*, 25:1097-1106, (2004).
- [16] Chang J. -S., Law R., Chang C. -C. Biosorption of Lead, Copper and Cadmium by biomass of *Pseudomonas aeruginosa* PU21. *Water Research*, 31: 1651-1658, (1997).
- دادند، بیشینه جذب فلز کادمیم در جلبک قرمز *پالماریا پالماتا*، در حدود ۰/۰۴ میلی مول بر گرم بوده است. [۱۵] از طرف دیگر چانگ و همکاران از باکتری *سودوموناس ائروژینوسا* در جهت حذف فلز کادمیم از محلولهای آبی استفاده کردند و گزارش دادند که میزان این جذب در حدود ۰/۳۸ میلی مول بر گرم است. [۱۶] از مقایسه جاذبهای زیستی به این نتیجه می‌رسیم، کارایی جاذب مورد استفاده در این تحقیق، مناسب است و این جاذب کاندیدای مناسبی برای حذف این فلز از فاضلابها می‌باشد.

۵- سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام برای حمایت از تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Romero-Gonzalez, J., Peralta-Videa, J. R., Rodriguez, E., Ramirez, S. L., Gardea-Torresdey, J. L. "Determination of thermodynamic parameters of Cr (VI) adsorption from aqueous solution onto *Agave lechuguilla* biomass", *J. Chem. Thermodyn.* 37: 343–347, (2005).
- [2] Yin, P., Yu, Q., Jin, B., and Ling, Z., Biosorption removal of cadmium from aqueous solution by using pretreated fungal biomass cultured from starch wastewater. *Water Research*, 33:1960-1963, (1999).
- [3] Chang J. -S., Law R., Chang C. -C. Biosorption of Lead, Copper and Cadmium by biomass of *Pseudomonas aeruginosa* PU21. *Water Research*, 31:1651-1658, (1997).
- [4] Atkinson B. W., Bux F. Kasa. C., Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents, *Water SA* 24: 129-136, (1998).