

بررسی کینتیک و ایزوترم حذف یون نیکل از محلول آبی توسط جلبک قهوه‌ای (*Cystoseira indica* (Thivy & Doshi) استخراج شده از دریای عمان

سلمان احمدی اسپ‌چین^۱ * و ناصر جعفری^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

^۲ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

یکی از روش‌های مؤثر برای جداسازی و بازیابی فلزات سنگین از محلول‌های آبی استفاده از جاذب‌های زیستی است. هدف از پژوهش حاضر، استفاده از جلبک قهوه‌ای *Cystoseira indica* برای حذف یون نیکل از محلول آبی است. در تحقیق حاضر، ایزوترم و کینتیک جذب یون نیکل توسط جاذب زیستی مورد نظر در رآکتور بسته مطالعه شد. جلبک قهوه‌ای از ساحل چابهار دریای عمان جمع‌آوری گردید. زمان تعادل برای جذب فلز توسط جلبک در حدود ۱۲۰ دقیقه بود. ایزوترم جذب نیکل توسط جلبک از معادله لانگمویر تبعیت کرد. بیشینه جذب یون نیکل توسط جلبک در اسیدیته حدود ۵ در حدود ۰/۳۴ میلی‌مول بر گرم وزن خشک جاذب زیستی بود. مقدار ضریب همبستگی R^2 در *C. indica* در اسیدیته حدود ۴ برابر با ۰/۹۵۳ و ثابت لانگمویر آن برابر با ۵۴/۰۵ بود، این مقدار در اسیدیته حدود ۵ برابر با ۰/۹۹۵ برای ضریب همبستگی R^2 و ۱۵۰/۱۵ برای ثابت لانگمویر بود.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم، جلبک *Cystoseira indica*، کینتیک جذب، نیکل

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و خطرناکترین آلوده‌کننده‌های زیست‌محیطی، آلودگی‌های ناشی از یون‌های فلزات سنگین موجود در پساب‌های واحدهای صنعتی است. در بسیاری از کشورهای جهان سوم و همچنین کشورهای در حال توسعه نظارت مناسبی بر سیستم‌های

خروجی پساب که وارد محیط زیست می‌شوند صورت نمی‌گیرد. این امر سبب ایجاد آلودگی‌های حاد و مزمن در جمعیت‌های زیستی اعم از گیاهی، حیوانی و انسانی می‌شود (Romera et al., 2007).

جذب اندک فلزاتی نظیر: نیکل، جیوه، سرب، کادمیوم و کبالت سبب ایجاد عوارض بسیار نامطلوب در

تولید لجن، امکان بازیافت فلز، ارزان بودن و استفاده از مواد جاذب زیستی مانند جلبک طبیعی که به وفور یافت می‌شوند، اشاره کرد (Herrero et al., 2006). تلاش برای استفاده از روش‌های حذف زیستی به تولید جاذب‌های زیستی تجاری قوی مانند: Alga SORBTM و AMT-BIOCLAIMTM(MAR) منجر گردید که Alga SORBTM با استفاده از جلبک آب شیرین با نام علمی *Chlorella vulgaris* و Fix-Bio از منابعی چون سیانو باکترها، مخمر و جلبک تهیه گردید، در حالی که AMT-BIOCLAIMTM(MAR) با استفاده از باکتری *Bacillus* تهیه گردید. این جاذب‌های زیستی تجاری به صورت گرانول جهت تصفیه فاضلاب و بازیافت فلزات به کار برده می‌شوند (Garnham et al., 1992).

تصفیه زیستی یکی از روش‌های استاندارد و قابل قبول در سطح جهان است که به منظور بازیافت پساب‌های صنعتی و استفاده مجدد از آنها به کار برده می‌شود. روش‌های فیزیکی-شیمیایی در مقایسه با روش‌های تصفیه زیستی بسیار گران هستند. عمل تصفیه زیستی به منظور بررسی تغییر حالت فاضلاب به حالت بی‌ضرر صورت می‌گیرد، تصفیه فاضلاب‌ها توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها، تک‌سلولی‌ها، جلبک‌ها و پروتوزوآها انجام می‌گیرد.

در سال‌های اخیر جلبک‌ها به علت توانایی در تصفیه فاضلاب‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، از جلبک‌های دریایی موجود در استخرها برای تصفیه پساب‌ها استفاده می‌شود (Davis et al., 2000). همچنین این جلبک‌ها اکسیژن مورد نیاز برای رشد باکتری‌های تجزیه‌کننده پساب‌های آلی را فراهم

بدن جانداران می‌گردد. به طور کلی، فلزات سنگین در نتیجه فرسایش طبیعی خاک، فوران‌های آتشفشانی، بارش‌های اتمسفریک و تخلیه پساب حاصل از صنایع گوناگون از جمله ذوب فلزات، آبکاری فلزات، پلاستیک‌سازی، تولید و مصرف مواد حاوی فلزات، کاغذسازی، رنگرزی و فرآیندهای متالورژیکی به اکوسیستم‌های آبی وارد می‌شوند. افزایش غلظت نیکل در پساب‌ها و آب‌های آشامیدنی، آثار نامطلوبی بر اندام‌های داخلی انسان از جمله ریه، کلیه و دستگاه گوارشی دارد همچنین می‌توان به آلرژی‌های شدید پوستی، مرگ جنین، کاهش قدرت سیستم ایمنی بدن، کاهش وزن و سرطان ریه و سینوس‌های بینی اشاره کرد. از آن جا که فلزات سنگین در طبیعت از بین نمی‌روند، حذف و جداسازی آنها از پساب نیاز به تکنولوژی‌های جدید دارد (Esteves et al., 2000; Romera et al., 2007).

امروزه از روش‌های مختلف نظیر: رسوب شیمیایی، تبخیر، جذب و تبادل یونی، برای تصفیه پساب‌های حاوی فلزات سنگین استفاده می‌شود. اما این روش‌ها بسیار پر هزینه هستند و چنانچه غلظت مجاز فلز سنگین در پساب کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر باشد، مؤثر نیستند (Herrero et al., 2006).

جذب زیستی فلزات سنگین، تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که برای تصفیه پساب‌های صنعتی به کار می‌رود و هدف از آن، حذف فلزات سمی و پاک‌سازی محیط زیست و همچنین بازیافت فلزات با ارزش است. از مزایای مهم تکنولوژی جذب زیستی، می‌توان به مؤثر بودن آن در کاهش غلظت یون‌های فلزات سنگین با مقادیر بسیار پایین، قابلیت تولید مجدد جاذب، عدم

می‌کنند (Gadd and White, 1993).

در جاذب‌های زیستی تمام یون‌های فلزی پیش از دسترسی به غشای پلاسمایی و سیتوپلاسم برای رسیدن به جایگاه‌های فعالی که قابلیت اتصال با یون‌های فلزی را دارند باید از میان دیواره سلولی که حاوی پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های مختلفی است عبور کنند (Kaewsarn and Yu, 2001).

توانایی جذب فلزات سمی نظیر: آهن، منگنز، روی و نیکل توسط گیاه علفی *Taraxacum kotschy* و گیاه درختی *Conocarpus erectus* بررسی گردید، این بررسی در گیاهان جاده بندر امام-ماهشهر که چندین کارخانه تولید فولاد فعالیت دارند صورت گرفت. این گیاهان، پوشش گیاهی طبیعی منطقه هستند و در جذب آلاینده‌های فلزی نقش مؤثری نشان دادند. بیشترین میزان تجمع در قسمت هوایی هر دو گیاه گزارش گردید (Zoufan et al., 2013).

در تحقیق حاضر، میزان جذب یون نیکل، توسط جلبک قهوه‌ای *Cystoseira indica* جمع‌آوری شده از ساحل چابهار به عنوان جاذب زیستی بررسی گردید. هدف از این تحقیق بررسی این مورد است که آیا این میزان جذب قابل ملاحظه است؟ چنانچه پاسخ مثبت باشد استفاده از جاذب زیستی در صنعت مقرون به صرفه است و آیا ساز و کار جذب تک‌فازی یا دو فازی است؟ آیا مدل‌های ایزوترم در این جاذب زیستی مطالعه شده است؟

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی جلبک: جلبک قهوه‌ای *C. indica* از سواحل دریای عمان شهر چابهار دارای مختصات

جغرافیایی با موقعیت عرض جغرافیایی $25^{\circ} 16' 03''$ شمالی و طول جغرافیایی $60^{\circ} 41' 31''$ غربی جمع‌آوری و برای بررسی میزان جذب یون نیکل استفاده شد. جلبک *C. indica* از رده جلبک‌های بزرگ قهوه‌ای (Phaeophyceae)، راسته Fucales و جنس *Cystoseiras* است. در ابتدا، جلبک دو بار با آب معمولی و سپس دو بار با آب مقطر شستشو داده شد و در آن ۶۰ درجه سانتیگراد خشک و سپس برش داده شد و در نهایت، ذرات (particles) جلبک با قطر $0/5$ میلی‌متر با گذراندن از الک انتخاب گردید.

دستگاه جذب اتمی: پیش از افزودن جلبک به محلول فلزی و پس از انجام آزمایش از محلول نمونه برداری شد. آنگاه برای آنالیز میزان یون‌های نیکل در محلول مورد آزمایش (میزان جذب شده توسط جلبک) از دستگاه طیف‌سنج اتمی (مدل Chem., Analytical CTA 2000, Tech, Analytical شرکت Analytical، انگلستان) استفاده گردید.

بررسی کینتیک جذب یون نیکل: برای بررسی ساز و کار جذب و کنترل مراحل سرعت واکنش نظیر انتقال جرم و پیشرفت واکنش‌های شیمیایی، مدل‌های کینتیکی کاربرد دارد. این مدل‌ها شامل معادلات درجه اول و دوم به صورت رابطه‌های ۱ و ۲ است که در آن k_1 ثابت سرعت جذب زیستی با واحد یک بر دقیقه (min^{-1}) و q_t مقدار یون جذب شده بر وزن جاذب زیستی در زمان t و واحد میلی‌گرم بر گرم است؛ با لگاریتم‌گیری از رابطه ۱، رابطه ۲ حاصل می‌شود:

$$\text{رابطه ۱: کینتیک درجه اول: } dq_t/dt = k_1(q_e - q_t)$$

$$\text{رابطه ۲: } \log(q_e - q_t) = \log q_e - (K_{ad} t / 2.303)$$

با رسم نمودار $\log(q_e - q_t)$ نسبت به t می‌توان K_1 را

به دست آورد.

$$\text{رابطه ۳: کینتیک درجه دوم: } dq_i/dt = k_2(q_e - q_i)^2$$

که در این رابطه، K_2 ثابت سرعت جذب زیستی با واحد گرم بر میلی گرم در دقیقه (q_i) و q_e همانند موارد طرح شده در معادله درجه اول است.

$$\text{رابطه ۴: } t/dt = 1/K_2ad \cdot q_e^2 + (1/q_e) t$$

در این رابطه مقدار K_2 با محاسبه عرض از مبدأ نمودار به دست می‌آید.

آزمایش‌های کینتیک در زمان‌های ۰ تا ۱۴۰ دقیقه صورت گرفت. در یک ارلن ۴ میلی گرم بر لیتر نیکل با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانیده شد و ۵ میلی لیتر از آن برای سنجش غلظت اولیه فلز نمونه برداری گردید، سپس به مابقی آن به میزان یک گرم جلبک افزوده شد. پس از گذشت زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ دقیقه، ۵ میلی لیتر از محتوای ارلن (برای هر زمان) با استفاده از سرنگ برداشته و با فیلتر ممبران سر سرنگی ۰/۴۵ نانومتر عبور داده و آنالیز شد. در این آزمایش‌ها اسیدیته محلول برای جلبک در حدود $5/5 \pm 0/2$ است و برای تنظیم آن از هیدروکسید سدیم (NaOH) و کلریدریک اسید (HCl) استفاده شد. در همه آزمایش‌ها از آب مقطر دو بار تقطیر استفاده شد.

بررسی ایزوترم جذب لانگمویر: ایزوترم جذب لانگمویر یکی از قوانین معتبر جذب فیزیکی توسط بیوماس‌های غیرزنده است که در بسیاری از موارد صادق است و برای جذب تک لایه‌ای روی سطوح تعداد محدودی از موقعیت‌های جذب یکسان به کار می‌رود. رابطه ایزوترم جذب لانگمویر به شکل هذلولی و به صورت رابطه ۵ است که در آن C_e : غلظت نیکل در

محلول در حالت تعادل (میلی مول / لیتر)؛ q_e : غلظت نیکل در روی جاذب در حالت تعادل (میلی مول / گرم)؛ q_m : بیشینه فلز جذب شده (میلی مول / گرم)؛ b_L : ثابت مربوط به وابستگی بین جاذب و جذب شونده (لیتر بر مول).

$$\text{رابطه ۵: } q_e = (q_m b_L C_e) / (1 + b_L C_e)$$

مقدار q_e به ازای هر C_e به صورت تجربی از رابطه ۶ به دست می‌آید که C_0 و C_e به ترتیب غلظت جاذب زیستی در جریان‌های ورودی و خروجی و X_0 ، دوز مصرفی بیوماس است که عبارت است از: مقدار جسم بیوماس در واحد حجم محلول آبی با واحد گرم بر لیتر.

$$\text{رابطه ۶: } q_e = (C_0 - C_e) / X_0$$

معادله لانگمویر از رابطه ۷ به شکل خطی در می‌آید که مقادیر q_m و b را می‌توان، به ترتیب از شیب و عرض از مبدأ آن به دست آورد:

$$\text{رابطه ۷: } \frac{1}{q_e} = \frac{1}{b q_m C_e} + \frac{1}{q_m}$$

فرضیات زیر در مورد این معادله در نظر گرفته می‌شود: الف) تعداد جایگاه‌های جذب ثابت است؛ ب) تمامی جایگاه‌های جذب یکسان هستند؛ پ) فقط یک ماده جذب شونده وجود دارد و ت) یک مولکول جذب شونده با یک جایگاه فعال واکنش می‌دهد.

کینتیک جذب، برای بررسی مکانیسم کنترل کننده در فرآیند جذب زیستی مانند انتقال جرم و واکنش شیمیایی به کار می‌رود. متداول‌ترین این مدل‌ها، مدل‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم هستند (Cruz et al., 2004). مدل کینتیک شبه درجه اول مدل لائرگرن نیز نامیده می‌شود (Chen et al., 2008). **کینتیک وبر-موریس:** در کینتیک جذب نیکل

یون‌های H^+ و کاتیون نیکل، یون H^+ روی جایگاه‌های جذب سطح جلبک جذب شده و دسترسی کاتیون‌ها (فلز نیکل) به این جایگاه‌ها به دلیل وجود نیروی دافعه محدود و سبب کاهش درصد جذب می‌شود. همچنین، در pH های بالاتر، لیگاندهای موجود روی جاذب زیستی نظیر COO^- ، چگالی بار منفی را روی سطح لیگاندها افزایش داده، در نتیجه جاذبه الکترواستاتیکی یون‌های فلزی با بار مثبت روی سطح لیگاندها افزایش می‌یابد و درصد جذب بیشتر (در pH بین ۴ و ۵) خواهد شد. با افزایش pH بر اثر تراکم یون‌های OH^- رسوب یون‌های فلزی به صورت هیدروکسید مشاهده و سبب کاهش جذب می‌شود.

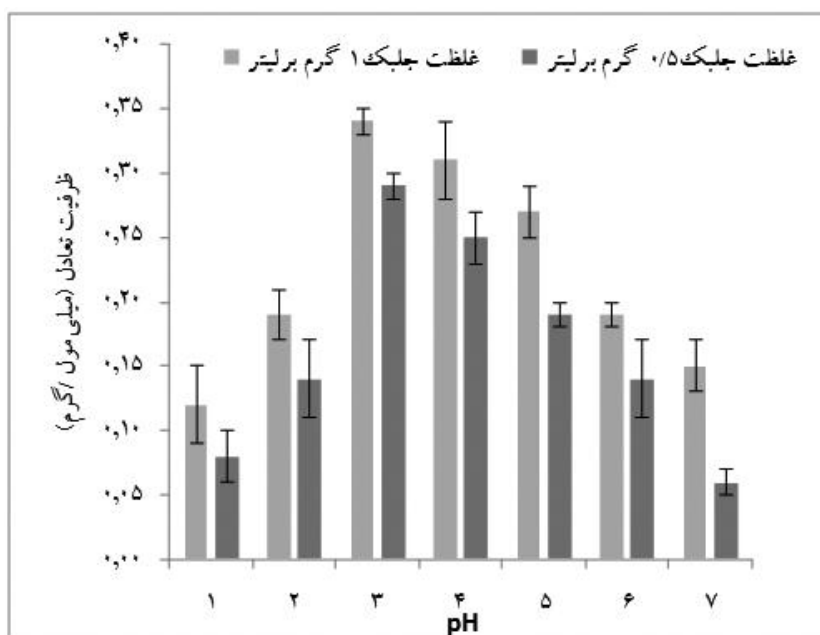
بررسی کینتیک جذب نیکل توسط جلبک:

کینتیک جذب فلز نیکل توسط بیوماس جلبک در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و pH حدود ۵/۵ با استفاده از آب مقطر به دست آمد. زمان تعادل در جلبک در حدود ۱۲۰ دقیقه است (شکل ۲).

توسط جاذب زیستی برای تشخیص تک فاز یا چند فاز بودن مدل جذب از مدل وبر-موریس استفاده شد. اگر مدل کینتیک تک فاز باشد منحنی بدون شکست است و محدودیتی در جذب فلز در سطح و داخل جلبک دیده نمی‌شود؛ و چنانچه مدل دو فاز و منحنی دارای شکست باشد، ابتدا جذب سطحی فلز صورت گرفته، سپس جذب داخل سلولی فلز مشاهده می‌گردد (YunHai et al., 2011).

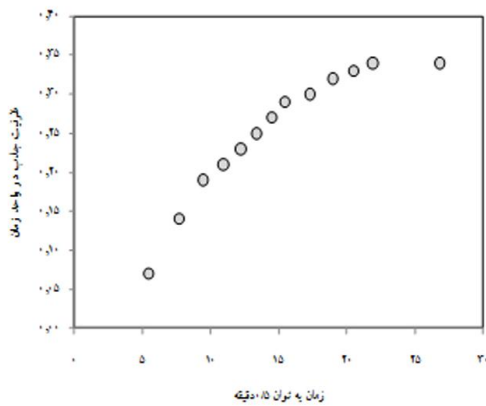
نتایج

بررسی اثر pH محلول: مطالعات نشان داد که pH یکی از عوامل مهم در جذب عناصر سنگین توسط جاذب زیستی است. در پژوهش حاضر، برای جلبک pH بین ۳ تا ۹ در نظر گرفته شد. بیشینه جذب در جلبک با pH بین ۵ و ۶ برای غلظت ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر به ترتیب برابر با ۰/۲۹ و ۰/۳۴ میلی‌مول بر گرم بود (شکل ۱). در pH های پایین، به علت رقابت بین



شکل ۱- تأثیر pH بر جذب فلز نیکل توسط جلبک *C. indica*. مقادیر میانگین سه تکرار $\pm SD$ و دما ۲۵ درجه سانتیگراد است.

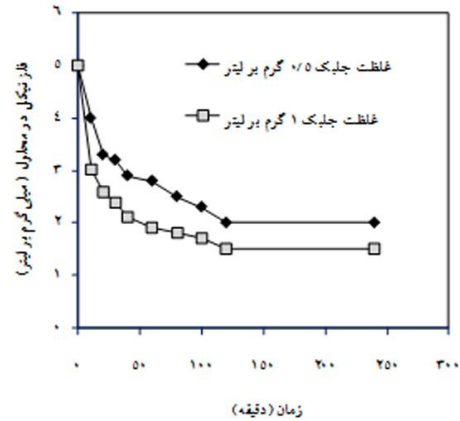
می‌یابد. منحنی ایزوترم تثبیت نیکل در آب مقطر توسط *C. indica* در محلول دارای pH حدود ۴ و ۵ در شکل ۴ نشان داده شده است. مدل خطی لانگمویر در شکل ۵ نمایان است. بیشینه جذب نیکل توسط جلبک در حدود ۰/۳۴ میلی‌مول بر گرم وزن خشک جلبک در pH حدود ۵ است. این میزان در pH برابر با ۴ در حدود ۰/۲۹ میلی‌مول بر گرم بود (شکل ۵).



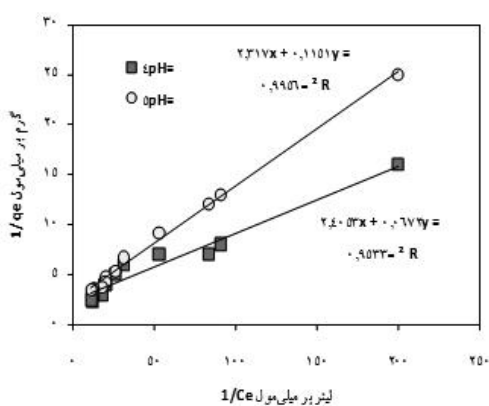
شکل ۳- کینتیک جذب نیکل توسط مدل ویر-موریس، میزان فلز ۵ میلی‌گرم بر لیتر، مقادیر میانگین سه تکرار \pm SD و دما ۲۵ درجه سانتیگراد است.

با مشاهده کینتیک جذب نیکل از طریق مدل ویر-موریس مشخص شد، مکانیسم جذب تک فازی است و محدودیتی در جذب توسط سطح جلبک وجود ندارد (شکل ۳).

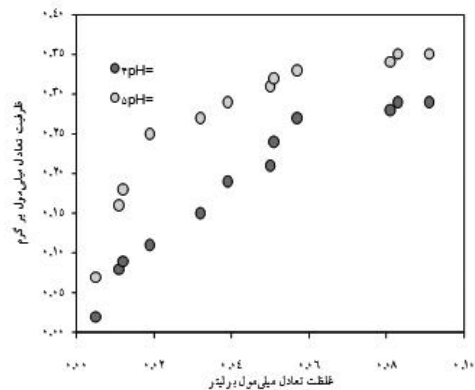
بررسی ایزوترم جذب نیکل توسط جلبک: در شکل ۳ مشخص است که با افزایش غلظت محیطی فلز، میزان جذب یون نیکل نیز توسط جلبک افزایش



شکل ۲- ایزوترم جذب یون نیکل توسط جلبک *C. indica*، میزان فلز ۵ میلی‌گرم بر لیتر، مقادیر میانگین سه تکرار \pm SD و دما ۲۵ درجه سانتیگراد است.



شکل ۵- ایزوترم جذب نیکل توسط جلبک *C. indica* با استفاده از مدل خطی لانگمویر در آب مقطر. مقادیر میانگین سه تکرار \pm SD است.



شکل ۴- ایزوترم جذب نیکل توسط جلبک به در آب مقطر در pHهای ۴ و ۵، میزان فلز ۵ میلی‌گرم بر لیتر، مقادیر میانگین سه تکرار \pm SD و دما ۲۵ درجه سانتیگراد است.

بحث

فرآیند جذب زیستی جذابیت‌های زیادی از قبیل حذف انتخابی فلزات در طیف وسیعی از pH و دما دارد. از دیگر محاسن جذب زیستی می‌توان به کینتیک سریع جذب و پایین بودن هزینه اولیه اشاره کرد. با توجه به این که این جاذب‌ها مزایا و کارایی مناسبی دارد و تکنولوژی جدیدی در زمینه محیط زیست است برای تشویق این روش باید تمهیدات خاصی را قایل شد و نیز به همکاری بین رشته‌ای نیاز است تا ترکیبی از تخصص‌های متالوژی، محیط زیست، زیست‌شناسی و غیره در کنار یکدیگر علیه آلودگی‌های ناشی از صنایع با یکدیگر همکاری داشته باشند. در پژوهش حاضر مشخص گردید که میزان جذب یون نیکل توسط *C. indica* ۰/۳۴ میلی‌مول بر گرم وزن خشک جاذب زیستی است. در این جلبک ایزوترم از معادله لانگمویر پیروی کرده، به وسیله کینتیک مدل وبر-موریس مشخص شد که ساز و کار جذب از نوع تک‌فازی بوده، منحنی به دست آمده از این مدل دارای انحنا است. کارایی بالای جذب نیکل توسط این جلبک به واسطه حضور گروه‌های کربوکسیلیک موجود بر سطح آلزینات دیواره است (Romera et al., 2007).

مقایسه‌ای بین انواع جاذب‌های زیستی یون نیکل نشان می‌دهد، جذب نیکل توسط جلبک‌های قهوه‌ای *Fucus serratus* و *Sargassum natans* به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۴۱ میلی‌مول بر گرم است (Holan and Volesky, 1994؛ Ahmady-Asbchin et al., 2009).

منابع

در جلبک‌های قرمز *Chondrus crispus* و *Palmaria palmata* به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵ میلی‌مول بر گرم نیکل جذب گردید (Prasher et al., 2004؛ Romera et al., 2007). در جلبک‌های سبز *Codium vermilaria* و *Spirogyra insignis* به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۲ میلی‌مول نیکل بر گرم وزن خشک جلبک است (Romera et al., 2007). میزان جذب نیکل توسط باکتری‌های *Acinetobacter baumannii* و *Pseudomonas aeruginosa* به ترتیب ۰/۱ و ۰/۱۵ میلی‌مول بر گرم بوده است (Carlos et al., 2006). جلبک *C. indica* مطالعه شده در تحقیق حاضر، در مقایسه با باکتری‌ها و جلبک‌های سبز کارایی بیشتری داشته و می‌تواند مورد توجه بیشتر قرار گیرد. در پایان، می‌توان به این ایده رسید که برای کارهای کاربردی استفاده از جلبک‌های قهوه‌ای در مقایسه با سایر جلبک‌ها (جلبک قرمز و سبز) به دلیل حضور بالای این جلبک‌ها در سواحل دریای عمان و خلیج فارس، مقرون به صرفه است. برای گسترش اهداف تحقیق حاضر، طراحی بیورآکتور برای استفاده از جلبک‌های قهوه‌ای و قرمز جمع‌آوری شده از آب‌های خلیج فارس و دریای عمان در دانشگاه ایلام با همکاری دانشگاه مازندران و دانشگاه نانت فرانسه در حال انجام است.

سپاسگزاری

از پروفیسور Pierre Le Cloirec از دانشگاه رن و Yves Andres از دانشگاه نانت فرانسه صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

- sorbent for heavy metal removal from solution. *Environmental Technology* 30: 755-762.
- Carlos, E., Rodriguez, A. Q. and Evelyn Rodriguez, E. (2006) Nickel biosorption by *Acinetobacter baumannii* and *Pseudomonas aeruginosa* isolated from industrial wastewater. *Brazilian Journal of Microbiology* 37: 465-467.
- Chen, Z., Ma, W. and Han, M. (2008) Biosorption of nickel and copper onto treated alga (*Undria Pinnatifida*): Application of isotherm and kinetics study. *Journal of Hazardous Materials* 155: 327-333.
- Cruz, C. C. V., Costa, A. C. A., Henriques, C. A. and Luna, A. S. (2004) Kinetic modeling and equilibrium studies during cadmium biosorption by dead *Sargassum* sp. biomass. *Bioresource Technology* 91: 249-257.
- Davis, T. A., Volesky, B. and Vieira, R. H. S. F. (2000) *Sargassum* seaweed as biosorbent for heavy metal. *Water Research* 17: 4270-4278.
- Esteves, A. J. P., Valdman, E. and Leite, S. G. F. (2000) Repeated removal of cadmium and zinc from an industrial effluent by waste biomass *Sargassum* sp. *Biotechnology Letter* 22: 499-502.
- Gadd, G. M. and White, Ch. (1993) *Microbial treatment of metal pollution a working biotechnology?* Elsevier Science Publishers Ltd. 11: 353-359.
- Garnham, G. W., Codd, G. A. and Gadd, G. M. (1992) Kinetics of uptake and intracellular location of cobalt, manganese and zinc in the estuarine green alga *Chlorella salina*. *Applied and Environmental Microbiology* 37: 270-276.
- Herrero, R., Cordero, B., Lodeiro, P., Rey-Castro, C. and Sastre de Vicente, M. E. (2006) Interactions of cadmium (II) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp. *Marine Chemistry* 99: 106-116.
- Holan, Z. R. and Volesky, B. (1994) Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae. *Biotechnology and Bioengineering* 43: 1001-1009.
- Kaewsarn, P. and Yu, Q. (2001) Cadmium (II) removal from aqueous solutions by pre-treated biomass of marine alga *Padina* sp. *Environmental Pollution* 112: 209-213.
- Prasher, S. O., Beaugeard, M., Hawari, J., Bera, P., Patel, R. M. and Kim, S. H. (2004) Biosorption of heavy metal by red algae (*Palmaria palmata*). *Environmental Technology* 25: 1097-1106.
- Romera, E., Gonzalez, F., Ballester, A., Blazquez, M. L. and Munoz, J. A. (2007) Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresource Technology* 98: 3344-3353.
- YunHai, W., Li, J., XianMiao, M., Bin, L. and ShiXun, F. (2011) Equilibrium, kinetics and thermodynamics study on biosorption of Cr (VI) by fresh biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *Korean Journal of Chemical Engineering* 28: 895-901.
- Zoufan, P., Saadatkhah, A. and Rastegharzadeh, S. (2013) Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz. *Iranian Journal of Plant Biology* 5(16): 41-56 (in Persian).

Kinetics and isotherm of nickel ions elimination from aqueous solution, by brown alga (*Cystoseira indica*) from Oman Sea

Salman Ahmady-Asbchin ^{1*} and Naser Jafari ²

¹ Department of Molecular and Cell Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

² Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Abstract

One of the effective methods for the separation and recovery of heavy metals from aqueous solutions is the use of biosorbents. This study investigated the use of brown algae *Cystoseira indica* for removal of nickel ions from aqueous solution. In this study, adsorption isotherms and Kinetic nickel ions by algae in a batch reactor was studied. Brown algae were collected from the Coast of Oman Sea in Chabahar. This study showed that for nickel (II) uptakes, equilibrium time was about 120 minutes and the adsorption equilibrium data were well described by Langmuir equation. The maximum capacity was extrapolated to 0.29 and 0.34 mmol /g onto *Cystoseira indica* at pH 4 and 5 respectively. The high values of the correlation coefficient (*Sargassum* $R^2 = 0.953$ at pH 4, and $R^2 = 0.995$ at pH 5) and b_L the Langmuir constant equalled to 54.05, 150.15 which demonstrated equilibrium data concerning algal biomass, which fitted the Langmuir isotherms model equations well.

Key words: Isotherm, *Cystoseira indica*, Kinetic adsorption, Nickel