

بررسی فرایند جذب زیستی همزمان دو فلز روی / نیکل به وسیله جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس

سلمان احمدی اسپچین

ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی

احمدعلی پوربابایی*⁺

تهران، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک، بخش بیوتکنولوژی

ایواندره

فرانسه، دانشگاه اکول دمن دانانت، گروه محیط زیست

چکیده: فلزهای سمی و سنگین در شکل‌های فیزیکی و شیمیایی گوناگون به عنوان آلوده کننده محیط زیست محسوب می‌شوند. امروزه از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی متنوعی برای حذف این آلاینده‌ها از محیط زیست استفاده می‌شود. در این پژوهش، جذب زیستی یون‌های نیکل و روی به وسیله جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس در راکتور بسته مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی فروسرخ (FT-IR) نشان داد که، گروه‌های کربوکسیل سطحی آلزینات، نقش کلیدی را در جذب یون نیکل و روی دیواره جلبک برعهده دارند. به کارگیری معادله لانگمویر برای محاسبه میزان جذب یون‌ها به وسیله جلبک اثبات کرد که بیشترین میزان جذب نیکل و روی به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۹۵ میلی مول بر گرم می‌باشد و زمان ۳۴۰ دقیقه به عنوان زمان تعادل در مطالعه سینتیک جذب یون‌ها در آب مقطر و معمولی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: روی، نیکل، جلبک، جذب زیستی، راکتور زیستی.

KEY WORDS: Zinc, Nickel, Algae, Biosorption, Bioreactor.

مقدمه

دسته اول: فلزهای سمی شامل نیکل، کبالت، روی، سرب و جیوه، دسته دوم شامل، فلزهای قیمتی مانند پالادیوم، پلاتین، نقره و طلا و سرانجام دسته سوم رادیو نوکلئیدها مانند رادیوم، اورانیوم و امریسیم که به طور معمول وزن مخصوص آنها بالاتر از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب است.

گسترش صنایع گوناگون در سال‌های اخیر باعث افزایش غلظت فلزهای سمی و سنگین در محیط زیست به ویژه در اکوسیستم‌های آبی شده است. پساب صنایع، فلزهایی مانند کادمیوم، سرب، مس، نیکل و روی را آزاد می‌کند که وارد آب و خاک می‌شوند. فلزهای سنگین در عرصه جذب زیستی در سه گروه تقسیم بندی می‌شوند:

+E-mail: pourbabaee@ut.ac.ir

*عهده دار مکاتبات

سودوموناس ائروژینوز^(۳) و باسیلوس سرئوس^(۴) به ترتیب ۸۳/۳ و ۶۶/۶ میلی گرم بر گرم وزن باکتری بود [۱۶].

جذب زیستی نیکل به وسیله جلبک قهوه‌ای *Fucus vesiculosus* در حدود ۰/۳۹ میلی مول بر گرم به وسیله هولان و ولسکی^(۵) در سال ۱۹۹۴ میلادی گزارش شده است، در سال ۲۰۰۸ میلادی رومرا و همکاران^(۶) جلبک قرمز *Chondrus crispus* را مطالعه و میزان جذب یون نیکل را در آن ۰/۶۳ میلی مول بر گرم گزارش کردند، این دانشمندان اسپانیایی همچنین جلبک سبز *Codium vermilara* را مورد مطالعه قرار دادند و میزان جذب یون نیکل را به وسیله آن در حدود ۰/۲۲ میلی مول بر گرم گزارش کردند. هولان و ولسکی همچنین به مطالعه *Ascophyllum nodosum* پرداختند و میزان جذب یون نیکل توسط این قارچ را ۰/۶۹ میلی مول بر گرم گزارش کردند [۱۸ - ۱۶]. در این پژوهش سنتیک و هم‌دمای جذب فلزهای روی و نیکل مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نگاره^(۷) سطح جلبک قبل و بعد جذب فلزها مطالعه شد.

بخش تجربی

مواد

جلبک ماکروسکوپی فوکوس سرئوس مورد مطالعه از ساحل اقیانوس آتلانتیک در شهر پورنیک فرانسه جمع آوری شد. جلبک ماکروسکوپی بزرگ دو بار با آب معمولی و دو بار با آب مقطر شستشو داده شد. سپس جلبک در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شد و برش داده شد. با استفاده از الک‌های ویژه، قطعه‌هایی^(۸) با قطر ۰/۳۵۵ - ۰/۵ میلی‌متر از جلبک برای ادامه کار انتخاب شد. تجزیه نمونه‌ها بعد و قبل از هر آزمایش در آزمایشگاه شیمی با استفاده از دستگاه جذب اتمی^(۹) صورت گرفت. با استفاده از صافی ۰/۴۵ نانومتری نمونه‌ها (برای هر آزمایش ۱۰ میلی لیتر) صاف شد.

آزمایش‌های سنتیک جذب

به منظور بررسی میزان جذب فلزها در زمان‌های گوناگون، آزمایش‌های مربوط به سنتیک^(۱۰) جذب روی و نیکل توسط جلبک

روش‌های مرسوم برای جداسازی این فلزها ته‌نشینی، اکسایش و احیای شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، جداکننده‌های غشایی، واکنش الکتروشیمیایی و تبخیر می‌باشد که هر کدام دارای محدودیت‌هایی هستند [۳ - ۱]. از این محدودیت‌ها می‌توان به غیر مؤثر بودن در غلظت‌های پایین و مقرون به صرفه نبودن این روش‌ها اشاره کرد. بنابراین جذب زیستی می‌تواند یک گزینه جالب در حجم‌های زیاد اما با آلودگی کم فلزهای سمی باشد.

در این راستا توانایی قارچ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها و باکتری‌ها در سالیان اخیر توسط پژوهشگران مطالعه شده است. نتیجه‌ها نشان دهنده آن است که استفاده از روش‌های زیستی از راهکارهای مناسب برای حذف روی و نیکل از محیط زیست می‌باشد [۶ - ۴]. عدم تطبیق روش‌های تصفیه فیزیکی- شیمیایی برای تیمار پساب‌ها با استانداردهای زیست - محیطی معمولاً نگران‌کننده است، زیرا اغلب روش‌های فیزیکی - شیمیایی هنگامی که غلظت‌های فلز سنگین و سمی در محیط‌های آلوده در دامنه ۱۰۰-۱۰ ppm باشد، غیر مؤثر و غیر اقتصادی می‌باشد. درحالی که غلظت‌های مجاز یون‌های فلزهای سنگین بر طبق نظر آژانس حفاظت محیط زیست^(۱) کمتر از ۱ ppm می‌باشد. جلبک‌های قهوه‌ای دارای کارایی بالاتری در جذب روی و نیکل از محلول‌های آبی می‌باشند. این کارایی بالا به واسطه حضور گروه‌های کربوکسیلیک بر روی سطح آلزینات دیواره جلبک‌ها می‌باشد [۹ - ۷]. جذب زیستی توسط زی توده زنده و غیر زنده باکتری‌ها، پلی‌ساکارید و انواع متفاوت ماده‌های زیستی صورت می‌گیرد. از باگاس نیشکر به عنوان جاذب کادمیوم استفاده شده است، باگاس نیشکر قادر به جذب یون‌های کادمیوم بیش از ۹۵ درصد در pH حدود ۶ بوده است [۱۰]. همچنین از کربن فعال در فرایند حذف مواد آلی و رنگ پساب‌های صنایع نساجی استفاده شده است [۱۴ - ۱۱]. میزان جذب فلز نیکل به حالت تنها به وسیله باکتری سودوموناس ائروژینوز^(۲) به حالت غیر زنده ۷۹ میلی گرم بر گرم و سلول زنده ۷۰ میلی گرم بر گرم وزن باکتری می‌باشد [۱۵]. در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ میلادی میزان جذب فلز روی به وسیله دو باکتری

(۱) EPA = Environmental Protection Agency

(۲) *Pseudomonas aeruginosa* ASU 6a

(۳) *Pseudomonas aeruginosa*

(۴) *Bacillus cereus*

(۵) Holan & Volesky 1994

(۶) Romera et al., 2008

(۷) Scanning electron microscope (SEM)

(۸) Particles

(۹) AAS Chem., Tech. Analytical CTA 2000 مدل

(۱۰) Kinetic

به صورت فیزیکی، توصیف بهتر و واقعی تری از جذب توسط یک ماده جاذب را بیان می کند، زیرا فرض سایت های متفاوت را نیز در نظر می گیرد. اما در بسیاری حالت ها، هر دو معادله داده های تجربی را به خوبی در بازه ی غلظت های متوسط پوشش می دهد.

نتیجه ها و بحث

ویژگی های سطحی ویژه

با مطالعه های میکروسکوپ الکترونی نگاره، سطح جلبک فوکوس سراتوس ابتدا قبل از شستشو با آب مقطر و در مرحله بعد با تیمار جلبک توسط سوسپانسیون آب مقطر مشخص شد. مطالعه ها نشان داد با تیمار جلبک به وسیله آب مقطر، قطر کانال ها و سطح ویژه جلبک یعنی BET افزایش یافت. علت افزایش آرام میزان جذب فلزهای روی و نیکل به وسیله جلبک این است که با گذشت زمان روزه های سطحی جلبک باز شده و یون ها می توانند وارد شیارها شوند. در نتیجه جذب در جلبک مورد مطالعه دو مرحله ای می باشد، جذب مرحله اول مربوط به گروه های فعال سطحی جلبک است که در معرض مستقیم فلزهای سمی قرار می گیرند و جذب مرحله دوم به میزان کم در زمان های طولانی مربوط به اتصال این فلزها به گروه های سطحی است که پیش تر مخفی بوده و سپس آشکار شده اند (شکل ۱).

تعیین گروه های سطحی شیمیایی با تجزیه به وسیله طیف سنجی FT-IR

برای تعیین گروه های فعال سطحی در روی فوکوس سراتوس از تجزیه به وسیله دستگاه طیف سنج FT-IR، استفاده شد. ترکیب های آلی مانند پروتئین ها و لیپیدها، کربوهیدرات ها همچون سلولز، مانان، آلژینیک اسید و یون های معدنی مانند کلسیم و منیزیم از جمله گروه های سطحی جلبک می باشند. اصلی ترین پیک ها شامل پیک های ۱۶۳۹ و ۱۵۴۰ بر سانتی متر مربوط به آمید و پروتئین و پیک های ۱۳۸۴ و ۱۲۶۵ مربوط به کربوکسیلات و گروه کربنیل، پیک ۱۱۶۸ مربوط به پلی ساکراید می باشد. در شکل شماره ۲ همه این گروه های سطحی جلبک به دقت نشان داده شده است. حضور گروه کربوکسیل که در سطح آلژینات قرار دارد از اهمیت خاصی برخوردار است. با انجام این آزمایش و مقایسه گروه های فعال سطحی جلبک در حضور فلز نیکل و روی این نتیجه به دست می آید که عامل COOH موجود در سطح دیواره

فوکوس سراتوس در یک راکتور ناپیوسته کوچک ۱ لیتری با میزان ۰/۰۹ گرم جلبک صورت گرفت. برای تنظیم pH در بازه ی 5 ± 0.2 از هیدروکلریک اسید^(۱) و سدیم هیدرواکسید^(۲) استفاده شد و آزمایش ها در دمای آزمایشگاه (۲۵ °C) صورت گرفت.

همدمای جذب

برای بررسی همدمای^(۳) جذب یون های روی و نیکل توسط فوکوس سراتوس از معادله لانگمویر استفاده شد. معادله لانگمویر:

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

C_e غلظت روی و نیکل در محلول در حالت تعادل (میلی گرم بر لیتر) q_e غلظت روی و نیکل بر روی جاذب در حالت تعادل (میلی گرم در گرم)

q_m بیشترین غلظت جذب (میلی گرم در گرم)

b_L ثابت تعادل (لیتر بر گرم)

در مورد همدمای لانگمویر فرضیه های زیر در نظر گرفته می شود: تعداد جایگاه های جذب ثابت می باشد، تمامی جایگاه های جذب یکسان هستند، فقط یک ماده جذب شونده وجود دارد و سرانجام یک مولکول جذب شونده با یک جایگاه فعال واکنش می دهد. شکل خطی لانگمویر به صورت زیر می باشد.

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

همچنین از معادله همدمای فروندلیچ نیز استفاده شد:

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

که در آن k و n ثابت های فروندلیچ بوده، که به ترتیب مربوط به توانایی و شدت جذب جاذب زیستی می باشند. معادله فروندلیچ یک معادله تجربی است و فقط برای غلظت های کم تا متوسط به کار می رود. این معادله در حالت خطی به صورت زیر در می آید:

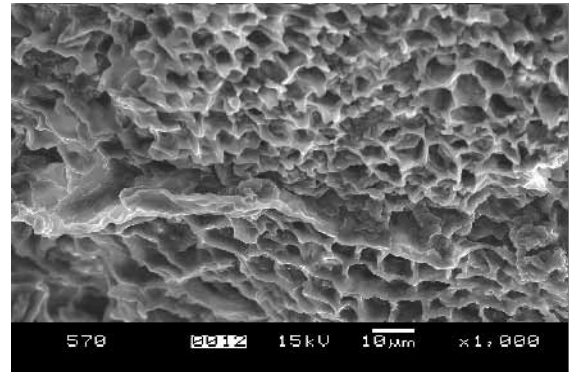
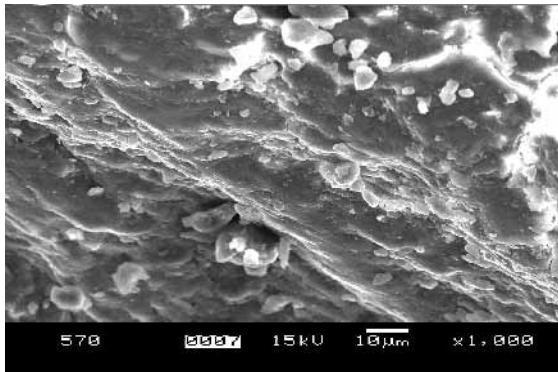
$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n_F} \ln C_e$$

با رسم مقدارهای $\ln q$ بر حسب $\ln C_f$ به کمک داده های آزمایشگاهی، شیب خط $1/n$ و عرض از مبدأ $\ln K$ محاسبه و ثابت های فروندلیچ یعنی n و k محاسبه می شوند. هر دو مدل برای جذب تک لایه ای ارایه شده اند. در هر صورت مدل فروندلیچ

(۱) HCl

(۲) NaOH

(۳) Isotherm



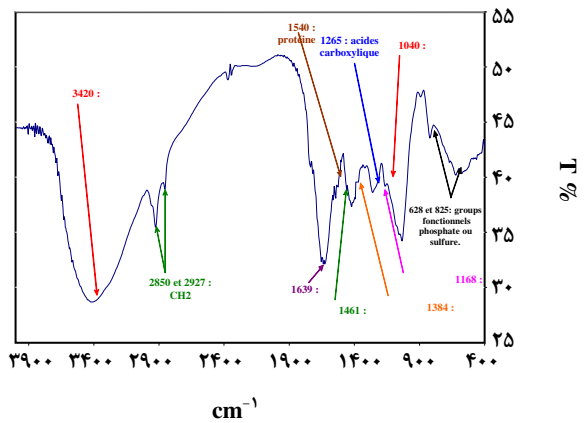
شکل ۱- تصویرهای به دست آمده از فوکوس سراتوس به وسیله میکروسکوپ الکترونی اسکینینگ (تصویر چپ) فوکوس سراتوس قبل از شستشو و برش دادن (تصویر راست) فوکوس سراتوس بعد از قرار دادن در آب مقطر (تهیه سوسپانسیون).

می‌باشد. زمان تعادل جذب فلز به وسیله جاذب در باکتری‌ها در حدود چند دقیقه، در جلبک‌ها در حدود چند ساعت، در کیتوزان به میزان چند روز و برای کربن فعال در حدود چند هفته می‌باشد. در نتیجه زمان تعادل در جلبک مورد مطالعه در این پژوهش، در مقایسه با باکتری‌ها طولانی‌تر ولی در مقایسه با کیتوزان و کربن فعال این زمان کمتر می‌باشد. همانند این آزمایش در آب شیر (غیر مقطر) انجام شد که منحنی متفاوتی به دست آمد (شکل ۴).

میزان تفاوت جذب یون‌ها در آب مقطر و معمولی به حضور فلز کلسیم در آب معمولی بر می‌گردد، که در اتصال به گیرنده‌های سطح جلبک با فلز روی و نیکل رقابت می‌کند. با مقایسه سینتیک جذب روی و نیکل در آب مقطر و آب شیر، مشخص شد، تفاوت این دو شایان توجه نبوده و می‌توان در استفاده‌های صنعتی از پساب و پساب‌های کارخانه‌ها استفاده کرد. همچنین با مطالعه منحنی مورد نظر این نتیجه به دست می‌آید که بازه جذب نیکل در مقایسه با روی بیشتر می‌باشد.

آزمایش‌های هم‌دما

آزمایش‌های هم‌دمای جذب فلز روی و نیکل به صورت جدا و همچنین به صورت هم‌زمان به وسیله جلبک انجام شد. این آزمایش‌ها در آب مقطر و آب معمولی توسط فوکوس سراتوس در محلول دارای $\text{pH} = 5 \pm 0.2$ صورت گرفت. شکل ۵ هم‌دمای جذب فلز روی و نیکل به وسیله جلبک را به صورت جدا نشان می‌دهد. در حالی که در شکل ۶ هم‌دمای جذب این دو فلز به صورت استفاده هم‌زمان مشخص شد. بر اساس مدل لانگمویر برای جذب فلز روی، بیشینه جذب 0.71 میلی مول بر گرم می‌باشد و بیشینه جذب یون نیکل 0.95 میلی مول بر گرم بیان شد.

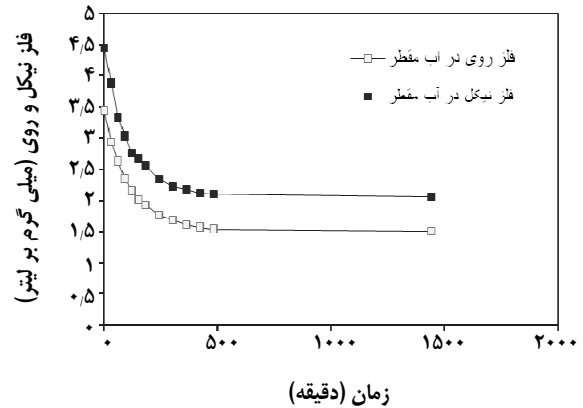
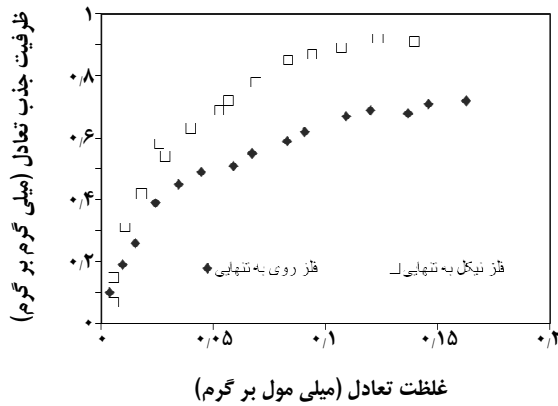


شکل ۲- تعیین گروه‌های شیمیایی سطح جلبک به وسیله اسپکتروسکوپی فرورسرخ.

آلژینات نقش اساسی در جذب فلز دارد و حتی می‌توان از آلژینات به صورت مجزا هم در فرایند جذب در صنایع استفاده کرد. اتصال فلز به گروه کربوکسیل آلژینات باعث جداسازی فلزهایی مثل کلسیم، منیزیم، و سدیم متصل به گروه کربوکسیل می‌شود و فرایند جذب بر پایه تبادل یون استوار است. میزان جذب نیکل و روی برابر با میزان آزاد سازی یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم می‌باشد.

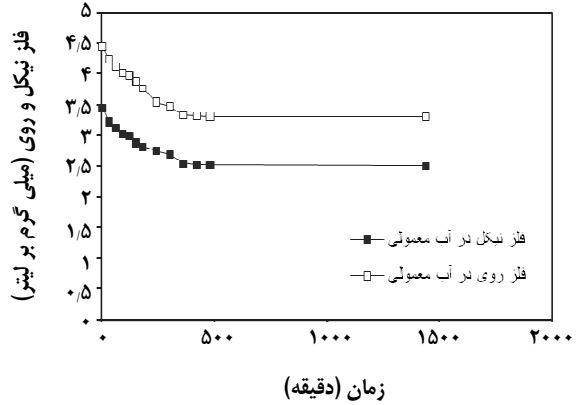
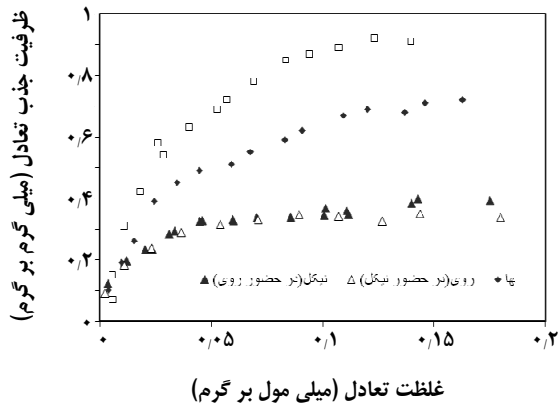
آزمایش‌های سینتیک

شکل ۳، سینتیک روی و نیکل به وسیله زی توده فوکوس سراتوس با استفاده از آب مقطر در دمای 25°C درجه سلسیوس، pH حدود $5/5$ کشیده شد. زمان تعادل جذب در حدود 340 دقیقه می‌باشد. بعد از گذشت این زمان راندمان جذب ثابت می‌ماند. پارامتر زمان تعادل در استفاده‌های صنعتی از جلبک با اهمیت



شکل ۵ - هم‌دمای تثبیت نیکل و روی در آب مقطر به صورت انفرادی (میزان غلظت از ۰/۰۱۱ تا ۰/۳۸۷ میلی مول بر لیتر در آب مقطر و غلظت جلبک ۰/۰۹ میلی گرم بر لیتر).

شکل ۳- سینتیک تثبیت یون روی و نیکل به وسیله جلبک در آب مقطر (غلظت اولیه روی و نیکل ۰/۱۳۵ میلی مول بر لیتر و غلظت آگ ۰/۰۹ گرم بر لیتر).



شکل ۶ - هم‌دمای تثبیت نیکل و روی در آب مقطر به صورت تنها و به صورت با هم (میزان غلظت از ۰/۰۱۱ تا ۰/۳۸۷ میلی مول بر لیتر در آب مقطر و غلظت جلبک ۰/۰۹ میلی گرم بر لیتر).

شکل ۴- سینتیک تثبیت یون روی و نیکل به وسیله جلبک در آب معمولی (غلظت اولیه روی و نیکل ۰/۱۳۵ میلی مول بر لیتر و غلظت آگ ۰/۰۹ گرم بر لیتر).

پیروی می‌کند. هم‌دمای نیکل و روی براساس معادله خطی لانگمویر در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شد. همچنین پارامترهای هم‌دمای لانگمویر به صورت همزمان در حضور دو فلز نیکل و روی در جدول ۳ نمایش داده شده است

برای فلز روی و نیکل ۴۲ و ۶۲ درصد کاهش جذب در آب معمولی دیده شد. میزان کاهش جذب در نیکل بسیار بیشتر از کاهش جذب فلز روی می‌باشد، که نیاز به مطالعه‌های بیشتر از جنبه شیمیایی عنصرهای یادشده می‌باشد. حضور ۴۷ میلی گرم بر لیتر از کلسیم در آب معمولی و رقابت آن با یون‌های فلزی نیکل و روی، باعث کاهش جذب یون‌های فلزی مورد مطالعه می‌شود. بنابراین میزان جذب یون‌های نیکل و روی در آب معمولی نیز چشمگیری می‌باشد. نتیجه‌ها نشان داد، هم‌دمای جذب فلزهای مورد مطالعه در آب مقطر از معادله لانگمویر پیروی کرده، (جدول ۱) ولی میزان جذب این فلزها در آب معمولی از معادله فروندلیچ

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به دست آمده از طیف سنجی فرو سرخ نشان داد که ساز و کار جذب از نوع تبادل یونی است و به میزانی که جذب روی و نیکل صورت می‌گیرد به همان مقدار یون کلسیم و منیزیم و سدیم از سطح جلبک آزاد می‌شود. ساز و کار جذب

جدول ۱- پارامترهای لانگمویر در رابطه با همدمای جذب روی و نیکل توسط جلبک فوکوس سراتوس.

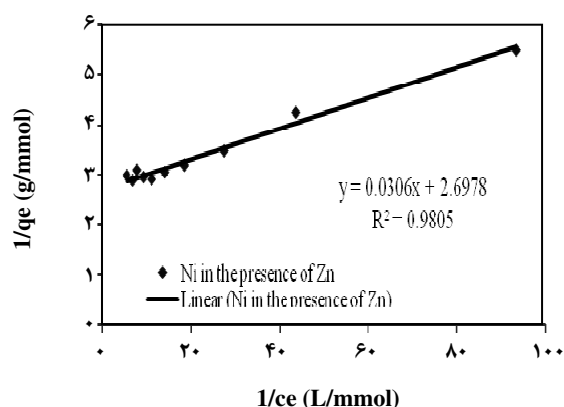
فلز	b_L (L.mmol)	q_m (mmol/g)	r^2
Zn ^{+۲}	۳۹٫۱۶	۰٫۷۰۸	۰٫۹۸۱
Ni ^{+۲}	۲۱٫۴۴	۰٫۹۴۶	۰٫۹۹۰

جدول ۲- پارامترهای فروندلیچ در رابطه با همدمای جذب روی و نیکل توسط جلبک فوکوس سراتوس.

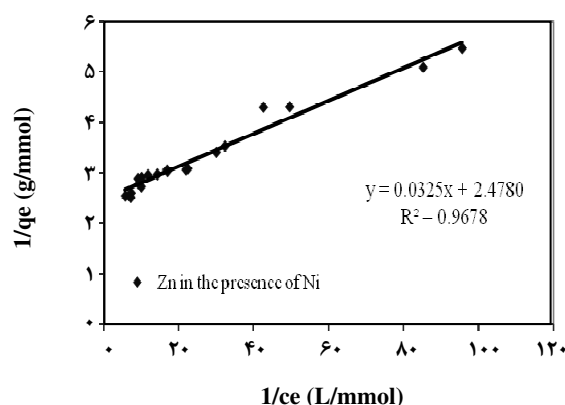
فلز	$1/n_F$	K_F (mol ^{-1/n_F} .L ^{1/n_F} .g ^{1-1/n_F})	r^2
Zn ^{+۲}	۰٫۳۶۲	۰٫۱۵۴	۰٫۹۴۳
Ni ^{+۲}	۰٫۵۰۱	۰٫۰۶۳۷	۰٫۹۶۴

جدول ۳- پارامترهای لانگمویر در رابطه با همدمای جذب روی و نیکل توسط جلبک فوکوس سراتوس به صورت همزمان.

فلز	b_L (L.mmol)	q_m (mmol/g)	r^2
Zn ^{+۲} (در حضور یون نیکل)	۷۶٫۲۵	۰٫۴۰۴	۰٫۹۶۸
Ni ^{+۲} (در حضور یون روی)	۸۸٫۱۶	۰٫۳۷۱	۰٫۹۸۱



شکل ۸ - همدمای تثبیت نیکل در حضور یون روی در آب مقطر با استفاده از مدل خطی لانگمویر (میزان غلظت از ۰٫۰۱۱ تا ۰٫۳۸۷ میلی مول بر لیتر میلی مول بر لیتر در آب مقطر و غلظت جلبک ۰٫۰۹ میلی گرم بر لیتر).



شکل ۷- همدمای تثبیت روی در حضور یون نیکل در آب مقطر با استفاده از مدل خطی لانگمویر (میزان غلظت از ۰٫۰۱۱ تا ۰٫۳۸۷ میلی مول بر لیتر در آب مقطر و غلظت جلبک ۰٫۰۹ میلی گرم بر لیتر).

میزان مانورونیک اسید و گلورونیک اسید M/G که سازنده آلزینیک اسید می باشد در جلبک فوکوس سراتوس به نسبت ۱ می باشد و تأثیر مستقیم در بازدهی جذب فلز دارد. با توجه به میزان بالای جذب فلز نیکل و روی در آب معمولی توسط جلبک قهوه ای، می توان از آن در صنعت برای تصفیه پساب های الوده به فلزهای سنگین استفاده کرد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲

از روش تبادل یونی به علت وجود گروه های مثل کربوکسیل با بار منفی (COO⁻) است که با فلزهای سمی و سنگین دارای بار مثبت به ویژه روی و نیکل واکنش داده و باعث جذب این فلزها بر سطح جلبک ها می شود. بیشینه جذب فلز روی و نیکل به وسیله فوکوس به ترتیب ۰٫۷۱ و ۰٫۹۵ میلی مول بر گرم وزن خشک جلبک به دست آمد. مقدرهای زیاد این جلبک در طبیعت و استفاده از سامانه جداسازی براساس تبادل یونی، امکان استفاده از آن را در صنعت فراهم می کند.

مراجع

- [1] Texier A.C., Andrès Y., Le Cloirec P, Selective Biosorption of Lanthanide (La, Eu, Yb) Ions by *Pseudomonas aeruginosa*. *Environ. Sci. Technol.*, **33**, p.489 (1999).
- [2] Sheng P.X., Yen-peng T., J. Paul C., Liang H., Sorption of Lead, Copper, Cadmium, Zinc and Nickel by Marine Algal Biomass: Characterization of Biosorptive Capacity and Investigation of Mechanisms, *J. Coll. Inter. Sci.* **275**, p. 131 (2004).
- [3] Reddad Z., Gérente C., Andres Y., Le Cloirec, P., Adsorption of Several Metal Ions onto a Low Cost Biosorbent: Kinetic and Equilibrium Studies, *Environ. Sci. Technol.* **36**, p. 2067 (2002).
- [4] Romera E., Gonzalez F, Ballester A, Blazquez M.L., Munoz J.A. Biosorption of Heavy Metal by *Fucus spiralis*. *Bioresource Technology*, **99**, p 4684 (2008).
- [5] Aksu Z., Acykel U., Modelling of a Single-Stage Bioseparation Process for Simultaneous Removal of Iron (III) and Chromium (VI) by Using *Chlorella Vulgaris*. *Biochem.Eng.J.*, **4**, p.229 (2000).
- [6] Volesky B. Advances in Biosorption of Metals: Selection of Biomass Types. *FEMS Microbiol. Rev.*, **14**, p. 291 (1994).
- [7] Ahmady-Asbchin S., Andrès Y., Gérente C., Le Cloirec P., Biosorption of Cu (II) from Aqueous Solution by *Fucus serratus*. *Bioresource Technology in Press*, **99**, p.6150 (2008).
- [8] Langmuir I., The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids, *J. Amer. Chem. Soc.* **38**, p. 2221 (1916).
- [9] Volesky B., Weber J. Vieria R., Biosorption of Cd and Cu by Different Types of *Sargassum* Biomass. *Process Metallurgy*, p.473 (1999).
- [۱۰] علیپور تراب، شیرین؛ حذف کادمیم از پساب های کشاورزی با استفاده از باگاس نیشکر، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۲) ۲۹، ص ۹۹ (۱۳۸۹).
- [۱۱] عزیزاده، رضا؛ برقی، سید مهدی؛ استفاده از کربن فعال گرانول در فرایند کربن زیستی به منظور حذف مواد آلی و رنگ پساب های صنایع نساجی، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۳) ۲۵، ص ۲۱، (۱۳۸۵).
- [12] Vaughan T., Chung W.S., Marshal, W.E., Removal of Selected Metal Ions from Aqueous Solution Using Modified Corncobs, *Bioresource Technology*, **78**, p. 331 (2001).
- [13] Tobin J.M., Cooper, D.G., Newfield, R.J. Uptake of Metal Ions by *Rhizopus Arrhizus* Biomass, *Applied Environmental Microbiology* **47**, p.821 (1984).
- [14] Sari A., Tuzen M. Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from Aqueous Solution Using Green Alga (*Ulva lactuca*) Biomass, *Journal of Hazardous Materials*, **152**, p. 302 (2008a)
- [15] Gaber R.M, Hassan S.H.A, Shoreit A.A.M., Biosorption of Lead and Nickel by Living and Non-Living Cells of *Pseudomonas Aeruginosa* ASU 6a. *International Biodeterioration & Biodegradation*. **62**, p.195 (2008).
- [16] Joo Jin-Ho, Hassan Sedky H.A, Oh Sang-Eun., Comparative Study of biosorption of Zn²⁺ by *Pseudomonas Aeruginosa* and *Bacillus Cereus*, *International Biodeterioration & Biodegradation*, **64**, p.734 (2010).

- [17] Holan Z.R., Volesky B., Biosorption of Lead and Nickel by Biomass of Marine Algae, *Biotech Bioen*, p.1001 (1994).
- [18] Prasher S.O., Beaugard M., Hawari J., Bera P., Patel R.M., Kim S.H., Biosorption of Heavy Metal by Red Algae (*Palmaria palmata*), *Environmental Technology*, **25**, p1097 (2004).