

مقایسه مطالعه سینتیکی و همدمای جذب زیستی نیکل به وسیله باکتری و جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای

سلمان احمدی اسب چین*⁺

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

چکیده: جذب زیستی فلزهای سنگین، یک فرایند بسیار مؤثر در حذف این آلاینده‌ها از محلول‌های آبی است. ترکیب‌های دیواره سلولی جلبک‌ها دارای سلولز و همچنین مواد دیگری از جمله آلژینات و آگار است که نقش کلیدی در جذب زیستی کاتیون‌های فلزی بازی می‌کنند. جلبک‌ها به علت ارزان بودن از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در حالی که سازوکارهایی که در جذب فلزها به وسیله باکتری‌ها دخالت دارند، بسیار پیچیده‌اند و وابستگی کامل به واکنش‌های فیزیکوشیمیایی یون فلزی در محلول، مکان‌های جذب سلولی و غیره دارند. میکروارگانیزم‌ها و جلبک‌ها به چرخه مواد غیرآلی در طبیعت کمک می‌کنند. در این پژوهش جذب زیستی نیکل به وسیله جلبک قرمزگراسیلاریا، جلبک‌های قهوه‌ای فوکوس و سیستوسیرا و باکتری گرم مثبت باسیلوس، مورد مطالعه قرار گرفت. پارامترهایی مانند غلظت فلز، pH، زمان، هم‌دمای در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. بیش‌ترین میزان جذب فلز به وسیله جلبک گراسیلاریا، سیستوسیرا و باسیلوس در pH حدود ۶ و جلبک فوکوس در pH حدود ۵ می‌باشد. بیشینه جذب در جذب فوکوس حدود ۰/۹، گراسیلاریا ۰/۶۸، سیستوسیرا ۰/۳۴ و باسیلوس ۰/۶۵ میلی گرم بر لیتر است. مدت زمان تعادل در باکتری ۱۲۰ دقیقه است در جلبک گراسیلاریا ۴۰۰ دقیقه و در فوکوس ۳۰۰ و سیستوسیرا حدود ۳۵۰ دقیقه بوده است. داده‌های هم‌دمای به وسیله مدل لانگمویر توصیف شد.

واژه‌های کلیدی: جذب زیستی؛ باسیلوس؛ فوکوس؛ گراسیلاریا؛ سیستوسیرا؛ نیکل.

KEY WORDS: Biosorption; Bacillus; Gracilaria; Cystoseira; Focus; Nickel.

مقدمه

و غیره به اکوسیستم آبی وارد می‌شوند [۲]. در دو دهه اخیر، پیشرفت روزافزون صنایع مهم‌ترین عامل آلودگی محیط زیست بوده و پساب‌های آلوده صنایع گوناگون مانند چرم سازی، استخراج معادن و پتروشیمی باعث ورود مقدار زیادی فلزهای سنگین مانند کروم، کادمیوم، نیکل، کبالت، روی و سرب به محیط زیست می‌شود. حضور تراکم‌های سمی فلزها در محیط اثرهای زیانباری در سلامت انسان و حیوان‌ها داشته و موجب

آلودگی آب‌ها به وسیله فلزهای سنگین یک مشکل اساسی محسوب می‌شود [۱]. جذب اندک فلزهایی مانند جیوه، سرب، کادمیوم، کبالت و غیره در بدن جانداران باعث عارضه‌های بد زبانی می‌شود. به‌طور کلی فلزهای سنگین در نتیجه فرسایش طبیعی خاک، فوران‌های آتشفشانی، تخلیه پساب صنایع گوناگون از جمله ذوب فلزات، آبکاری فلزات، پلاستیک‌سازی، تولید و مصرف مواد دارای فلزات، کاغذسازی، رنگ‌رزی، فرایندهای متالورژیکی

*عده دار مکاتبات

+E-mail: sahmadyas@yahoo.fr

یا سمیت ظاهر می‌شود. نیکل و ترکیب‌های آن با فرایندهای صنعتی منجر به افزایش انتشار آلودگی در زیست بوم می‌شوند [۹].

جذب زیستی به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست، دارای عملکرد درخشان بوده و روش کم هزینه داخلی برای تیمار پساب می‌باشد [۱۲]. عمل تصفیه زیستی پساب‌ها توسط باکتری‌ها، برخی از قارچ‌ها، جلبک‌ها و پروتوزوآها انجام می‌گیرد تا تغییر تبدیل پساب به حالتی بی‌ضرر بررسی شود، اما به تازگی جلبک‌ها به علت توانایی تصفیه پساب‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۳]. در ترکیب‌های دیواره سلولی جلبک‌ها غیر از سلولز مواد دیگری از جمله آلژینات، آگار و فوکویدان وجود دارد که نقش کلیدی در جذب زیستی کاتیون‌های فلزی بازی می‌کنند [۱۴].

هدف از این پژوهش، مقایسه جذب فلز نیکل به وسیله باکتری و جلبک‌های قهوه‌ای *سارگاسوم*، *فوکوس* و جلبک قرمز *گراسیلاریا* است. همچنین سینتیک و هم‌دما نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش تجربی

آماده سازی جاذب زیستی

برای انجام این پژوهش جلبک‌های *گراسیلاریا* (۱)، *سیستوسیرا* (۲) پس از جمع آوری جاذب‌ها از دریای عمان در ابتدا یک بار با آب دریا و سپس سه بار با آب مقطر شستشو داده شد تا ذره‌های شن و نمک از آن‌ها جدا شوند و سپس به مدت ۵ روز در برابر نور خورشید خشک شد و به قطعه‌های ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر خرد شد. این جلبک‌ها از مرکز اقیانوس شناسی چاپهار دریافت شد. جلبک *فوکوس* (۳) نیز از ساحل شهر پورنیک غرب فرانسه کنار ساحل اقیانوس آتلانتیک جداسازی شد. نخست با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده شده و قطعه‌های ۱۰-۱۵ میلی‌متر جداسازی شد. این جلبک به وسیله نویسنده در فرانسه جداسازی شد [۶].

همچنین از باکتری میله‌ای شکل، گرم مثبت، *باسیلوس* (*Bacillus* sp strain AEJ-89) جدا شده از کویر مرنجاب شهر کاشان استان اصفهان استفاده شد. برای کشت باکتری مورد نظر از محیط کشت *GMS* (۵) استفاده شد. محیط کشت مورد استفاده آبگوشت بود.

برهم خوردن تعادل و نظم زیست بوم می‌شود [۳] از این رو مطالعه راه‌های حذف این آلاینده‌ها بسیار لازم است. بررسی‌ها نشان داده که روش‌های شیمیایی و فیزیکی مانند اکسایش - احیا رسوب‌دادن شیمیایی، صاف کردن، تیمار الکترو شیمیایی، تبخیر، تبادل یونی و فرایند اسمز معکوس محدودیت‌هایی دارند و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند. این روش‌ها برای پساب‌های دارای مواد آلی پیچیده مناسب نیستند و همچنین این روش‌ها برای غلظت‌های بالای فلزهای سنگین کاربرد ندارند. از سوی دیگر بازیافت فلزها از آن‌ها نسبت به روش‌های دیگر دشوار است. به نظرمی رسد تصفیه زیستی، جانشین و یا دست کم مکمل مناسبی برای دیگر روش‌ها باشد و در همین رابطه بسیاری از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند برای حذف فلزهای سنگین از سامانه‌های پساب مفید باشند [۴]. همچنین نگرانی زمانی افزایش می‌یابد که روش‌های فیزیکی - شیمیایی برای تصفیه چنین پساب‌هایی نتواند با استانداردهای محیط زیستی تطبیق کنند زیرا بیش‌تر روش‌های فیزیکی - شیمیایی زمانی که غلظت فلزهای سنگین و سمی در محیط‌های آلوده در بازه‌ی ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، غیر مؤثر بوده و اقتصادی نیستند. درحالی که غلظت‌های مجاز یون‌های فلزهای سنگین بر طبق نظر آژانس حفاظت از محیط زیست امریکا کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر است [۷ - ۵]. در مطالعه‌ای جذب فلز کروم شش ظرفیتی به وسیله دانه‌های پلیمر زانتان مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهشگران مشخص کردند. این پلیمر توانایی حذف فلز از محلول‌های آبی را دارد و هم‌دمای جذب از مدل لانگمویر پیروی می‌کند [۸].

مشخص شده است، در جلبک‌ها گروه‌های گوناگون موجود در سلولز و در باکتری‌ها و قارچ‌ها گروه‌های فسفات و کربوکسیل دیواره در جذب فلز مؤثر می‌باشند [۱۰، ۹]. نقش باکتری گرم مثبت *باسیلوس لیگنیفورمیس* (۱) در جذب فلز نیکل مورد بررسی قرار گرفت، نقش پارامترهایی مانند pH، غلظت باکتری، سینتیک و هم‌دمای جذب فلز بررسی شد [۱۱].

نیکل یک نمونه خوب از فلزاتی است که به طور گسترده در فناوری‌های جدید استفاده می‌شود. نیکل ماده ضروری برای چندین گونه جانوری، گونه‌های گیاهی و میکروارگانیسم‌ها است و در صورتی که مقدار آن کم یا زیاد شود به ترتیب نشانه‌های نبود

(۱) *Bacillus licheniformis*

(۲) *Gracilaria* sp

(۳) *Sargassum*

(۴) *Fucus*

(۵) Glucose Mineral Salts (GMS)

برای بررسی ساز و کار جذب و کنترل مراحل سرعت واکنش مانند انتقال جرم و پیشرفت واکنش‌های شیمیایی، مدل‌های سینتیکی کاربرد دارد.

بررسی همدمای جذب لانگمویر

همدمای جذب لانگمویر یکی از قانون‌های معتبر جذب فیزیکی به‌وسیله توده زیستی‌های غیرزنده است که در بسیاری از موارد صادق می‌باشد. برای جذب تک لایه ای روی سطح تعداد محدودی از موقعیت‌های جذب یکسان، به کار می‌رود. که معادله آن به صورت زیر است:



که در آن A مقدار جذب شده، S سطح جذب آزمایش‌های همدمای جذب یون نیکل توسط جاذب‌های باکتری باسیلوس و جلبک‌های فوکوس، سیستوسیرا و گراسیلاریا مطالعه شد. معادله لانگمویر برای این منظور مورد بررسی قرار گرفت.

تفسیر هم‌دما: (معادله لانگمویر) معادله همدمای لانگمویر به شکل هذلولی می‌باشد.

$$q_e = \frac{q_m b_L C_e}{(1 + b_L C_e)} \quad (2)$$

که در آن:

C_e غلظت نیکل در محلول در حالت تعادل (میلی مول بر لیتر)

Q_e غلظت نیکل در روی جاذب در حالت تعادل (مول بر گرم)

Q_m بیشینه نیکل جذب شده (مول بر گرم)

b_L ثابت مربوط به وابستگی بین جاذب و فلز (لیتر بر مول)

مقدار q_e به ازای هر C_e به صورت تجربی از معادله زیر به دست می‌آید:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{X_0} \quad (3)$$

که C_0 و C_e به ترتیب غلظت جاذب زیستی در جریان‌های ورودی و خروجی و X_0 میزان مصرفی توده زیستی است که مقدار جسم توده زیستی در واحد حجم محلول آبی با واحد گرم بر لیتر می‌باشد.

محلول نیکل دو ظرفیتی با حل کردن نمک نیکل کلرید یک آبه^(۱) شرکت مرک آلمان در آب مقطر تهیه شد [۱۵]. برای همه آزمایش‌ها نمونه شاهدی دارای محلول نیکل بدون حضور جاذب‌های زیستی بوده و همه شرایط برابر با آزمایش‌های دارای جاذب‌ها می‌باشد. برای انجام این آزمایش‌ها جرم خشک جلبک‌ها و توده سلولی تر باکتری مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی تأثیر pH محلول فلزی بر روی جذب نیکل به وسیله جاذب‌ها

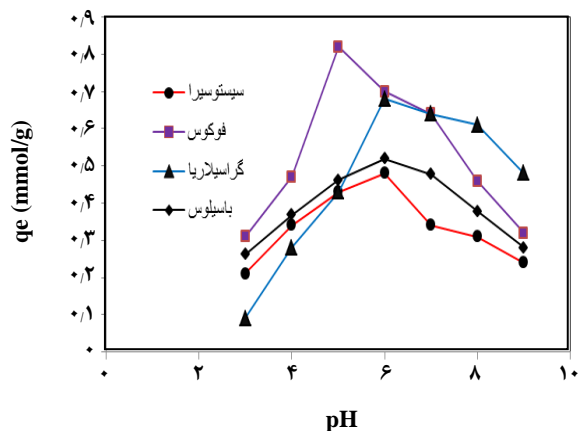
pH، یک عامل مهم در فرایند جذب می‌باشد زیرا بین یون‌های فلزی و پروتون‌ها برای جایگاه‌های فعال سطح جاذب‌ها رقابت ایجاد می‌شود. از آنجایی که pH محلول می‌تواند اثر مهمی در حذف فلزهای سنگین از محیط‌های آلوده داشته باشد بنابراین یک عامل مهم برای جذب زیستی یون نیکل به‌وسیله جاذب‌ها می‌باشد.

شرایط انجام این آزمایش‌ها این‌گونه است: دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس، غلظت اولیه فلز نیکل در حدود ۴ میلی گرم در لیتر، pH بین ۲ تا ۸ با استفاده از آب مقطر، میزان جاذب حدود ۱ گرم برای تنظیم pHهای گوناگون از ۲ تا ۸ از pH متر دیجیتالی مدل ۷۸۰ ساخت کشور سوئیس مجهز به الکتروود ترکیبی کالومل شیشه و افزودن HCl و NaOH ۱ مولار، استفاده شد [۱۶]. غلظت نیکل پیش و پس از هر آزمایش با دستگاه جذب اتمی^(۲) شرکت ترمو انگلیس سریال M5 مورد تجزیه قرار گرفت [۱۷].

بررسی سینتیکی جذب یون نیکل به وسیله جاذب‌های زیستی

آزمایش‌های مربوط به سینتیکی جذب فلز نیکل توسط جاذب‌ها (باکتری باسیلوس و جلبک‌های گراسیلاریا، سیستوسیرا و فوکوس) در یک راکتور ۱ لیتری (راکتور در اینجا منظور ظرف شیشه‌ای با ظرفیت ۱ لیتر با درب پلاستیکی آبی رنگ و دهانه باریک می‌باشد) با میزان ۱ گرم از جاذب زیستی انجام شد. همه توده‌های افزوده شده جلبک‌ها خشک بودند و فرایند غیر فعال بوده است. در مورد باکتری از زی توده تر استفاده شد و فرایند جذب می‌توانست هم فعال یعنی وابسته به متابولیسم و هم غیر فعال یعنی غیروابسته به متابولیسم باشد. pH تعادلی مربوط به حالت بهینه جذب فلز، برای باکتری در حدود 7 ± 0.2 و برای جلبک در حدود 5.5 ± 0.2 بود که برای تنظیم pH از سدیم هیدروکسید و هیدروکلریک اسید استفاده شد. در همه آزمایش‌ها از آب دو بار تقطیر استفاده شد.

می‌شود، در نتیجه جذب فلز کاهش می‌یابد. به طوری که



شکل ۱- نقش pHهای مختلف در جذب فلز نیکل به وسیله جاذبها (شرایط آزمایش: دمای ۲۵ درجه سلسیوس، میزان جاذب ۱ گرم بر لیتر، غلظت فلز ۴ میلی گرم بر لیتر).

در pHهای بالاتر از ۷ نیکل به صورت نیکل هیدروکسید $Ni(OH)_2$ رسوب می‌نماید [۲۰-۲۲].

pH بهینه جذب به وسیله جلبک فوکوس در حدود ۵ بوده اما pH بهینه برای جذب فلز به وسیله باسیلوس، گراسیلاریا و سبستوسیرا در حدود ۶ می‌باشد. میزان جذب فلز در فوکوس حالت اسیدی تر صورت می‌گیرد. در نتیجه انتخاب چند جاذب در حالت صنعتی مناسب می‌باشد، زیرا پسابها و فاضلابهای صنعتی به طور عموم دارای pH در حدود ۶ می‌باشد.

بررسی سینتیک جذب نیکل به وسیله جاذبهای زیستی

از مباحث مهم و کلیدی در استفاده‌های صنعتی جاذبها، بررسی سینتیک جذب آلاینده می‌باشد. زیرا مدت زمان تماس آلاینده و حذف آن از نمونه‌های حقیقی از اهمیت خاصی برخوردار است. در شکل ۲ مشخص می‌شود که ظرفیت جذب یون نیکل توسط باسیلوس در ۱۰ دقیقه اول بسیار تند و قابل دیدن می‌باشد. در نتیجه این میزان می‌تواند مربوط به جذب غیروابسته به متابولیسم توسط باسیلوس مورد نظر باشد و با گذشت زمان، میزان جذب فلز نیکل به وسیله باسیلوس، به طور خیلی کند و آرام افزایش می‌یابد. نظر بر این است که این مقدار افزایش جذب مربوط به جذب نیکل وابسته به متابولیسم به وسیله این باسیلوس می‌باشد که بسیار اندک بوده است. همچنین مدت زمان تعادل جذب در حدود ۲ ساعت می‌باشد. منظور از جذب نیکل

(۱) $NiCl_2 \cdot H_2O$

(۲) Aton

معادله لانگمویر به صورت زیر به شکل خطی در می‌آید:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_m C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

که مقدارهای Q_m و b را می‌توان، به ترتیب از شیب و عرض از مبدا آن به دست آورد. به طور کلی فرضیه‌های زیر در مورد این معادله در نظر گرفته می‌شود:

- تعداد جایگاههای جذب ثابت می‌باشد.
- تمامی جایگاههای جذب یکسان هستند.
- تنها یک ماده جذب شونده وجود دارد.
- یک مولکول جذب شونده با یک جایگاه فعال واکنش می‌دهد.

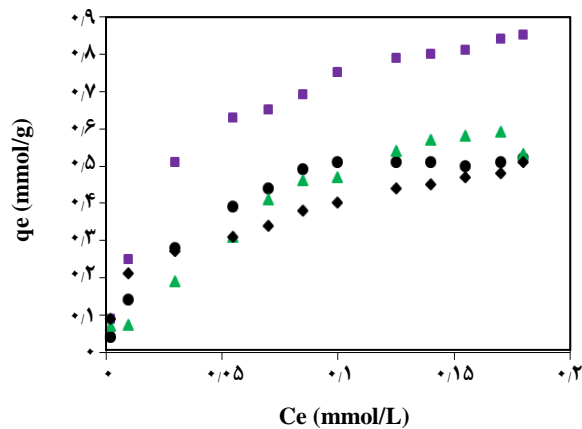
روش اندازه‌گیری بیشینه ظرفیت تعادلی q_e از فرمول بالا استفاده شد. و با استفاده از آن نمودار وارون غلظت تعادلی و عکس ظرفیت تعادلی رسم شد.

نتیجه‌ها و بحث

اثر pH

در فرایند جذب زیستی pH به عنوان مؤثرترین عامل در جذب زیستی شناخته شده است [۱۸]. جاذبهای جلبکی دارای میزان زیادی گروههای کربوکسیل است که از گلورونیک اسید و مانورونیک اسید موجود در دیواره سلولی به دست می‌آید که تغییر pH گروههای کربوکسیل دیواره را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۹]. در دیواره باسیلوس حضور گروههای کربوکسیل تعیین کننده می‌باشد. با توجه به شکل ۱ نتیجه‌های آزمایش نشان داد که در pHهای پایین تر از ۳ گروههای کربوکسیل پروتونه شده و مقدار جذب فلز کاهش می‌یابد. اما به تدریج با افزایش pH میزان جذب افزایش یافته و سرانجام بیشترین جذب در pH بهینه حدود نزدیک به خنثی می‌باشد. میزان کاهش جذب در pH پایین به این علت می‌باشد که یون H^+ در محلول با فلز نیکل برای اتصال به سطح جاذب رقابت می‌کند. از نگاهی دیگر جایگاههای ثابت سطح جاذب دو ترکیب فلز و یون H^+ رقابت می‌کنند. در pHهای بالاتر سطح جاذب دارای بار منفی می‌شود و در نتیجه جذب فلز افزایش می‌یابد. در صورتی که با افزایش بیش تر سطح pH، با تشکیل کمپلکس هیدرواکسید آنیونی، باعث کاهش فلز آزاد در محلول

به متابولیسم آن است که، چون زی توده تر باکتری استفاده شد، منحنی هم‌دما در محلول حاوی فلز نیکل به دست آمده است، که از مدل معادله لانگمویر پیروی می‌کند. و بیش‌ترین میزان جذب

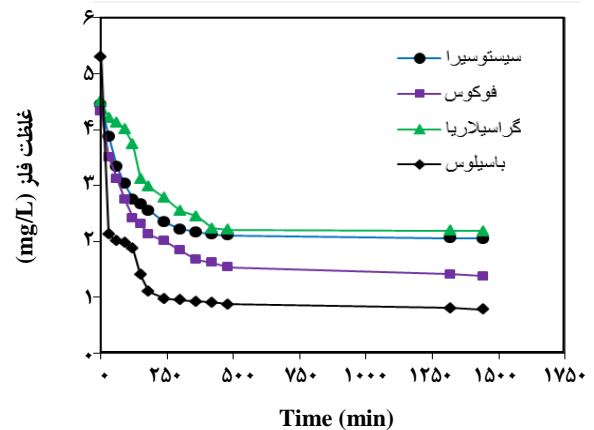


شکل ۳- مقایسه هم‌دمای جذب نیکل به‌وسیله جاذب‌ها. (دمای ۲۵ درجه سلسیوس، میزان جاذب ۱ گرم در لیتر، pH در حدود ۶)

بر اساس مدل لانگمویر ۰/۴ میلی مول بر گرم در باسیلوس تا ۰/۹ میلی مول بر گرم در فوکوس می‌باشد. تفسیر آزمایش نشان می‌دهد، با افزایش غلظت محیطی فلز افزایش میزان جذب صورت می‌گیرد. این افزایش جذب تا غلظت خاص صورت می‌گیرد از آن غلظت با افزایش غلظت افزایش در جذب صورت نخواهد گرفت.

این آزمایش در آب مقطر به‌وسیله جاذب‌ها صورت گرفته است. در نتیجه نیاز است این آزمایش در آب معمولی با حضور عامل‌های دیگر انجام شود که میزان جذب فلز نیکل به‌وسیله جاذب‌ها از ۶۰ درصد کاهش جذب در باسیلوس تا ۵۰ درصد کاهش جذب در فوکوس مشخص شد و علت افت جذب فلز در آب معمولی در مقایسه با جذب فلز به‌وسیله جاذب‌ها در آب مقطر، به حضور ۴۷ میلی گرم بر لیتر از کلسیم در آب معمولی بر می‌گردد، در نتیجه فلز کلسیم با یون نیکل برای رسیدن به گروه‌های کربوکسیلیک سطح جاذب‌ها رقابت می‌کند [۶]. در نتیجه گفتنی است، این میزان جذب همچنان قابل دیدن بوده است، و می‌توان از جاذب‌های مورد نظر به‌ویژه فوکوس در سطح صنعتی استفاده نمود. زیرا فوکوس در مقایسه با دیگر جاذب‌های زیستی از کارایی بالایی برخوردار است. این نتیجه‌ها در این مقاله افزوده نشده است. جلبک فوکوس در شرایط کاملاً برابر با جلبک‌های دیگر و

به‌وسیله باکتری با فرایند وابسته به متابولیسم و غیر وابسته



شکل ۲- بررسی سینتیکی جذب یون نیکل به‌وسیله جاذب‌ها. (شرایط آزمایش: دمای ۲۵ درجه سلسیوس، میزان جاذب ۱ گرم بر لیتر، غلظت فلز ۴ میلی گرم بر لیتر، pH حدود ۶).

هم زنده بود و باکتری در جذب می‌تواند تأثیر بگذارد، هم میزانی از جذب تحت تأثیر زنده بودن یا نبودن باکتری قرار نمی‌گیرد و جذب به‌وسیله جسم باکتری صورت می‌گیرد. به بیانی دیگر اگر باکتری به‌وسیله اتوکلاو بمیرد و یا به‌وسیله ترکیب‌هایی مانند دی نیترو فنل یا سدیم آزید غیرفعال شود نیز باز جذبی از فلز به‌وسیله باکتری صورت می‌گیرد.

از سوی دیگر سینتیکی جذب فلز نیکل به‌وسیله توده زیستی جلبک‌های فوکوس، سیستوسیرا و گراسیلاریا به طور کامل متفاوت می‌باشد. در باکتری مدت زمان تعادل حدود ۱۲۰ دقیقه بوده اما در جلبک‌های فوکوس حدود ۳۰۰ دقیقه، در سیستوسیرا/ ۳۵۰ دقیقه در گراسیلاریا در حدود ۴۰۰ دقیقه می‌باشد. تعیین زمان تعادل در استفاده‌های صنعتی از جایگاه مهمی برخوردار است، معیار رسیدن به شرایط تعادل از منظر زمانی آن است، که بعد از گذشت آن زمان، دیگر افزایش جذبی یا به بیان دقیق‌تر حذف فلز از محلول آبی صورت نمی‌گیرد و میزان حذف فلز از محلول ثابت می‌ماند.

بررسی هم‌دمای جذب نیکل توسط جاذب‌ها

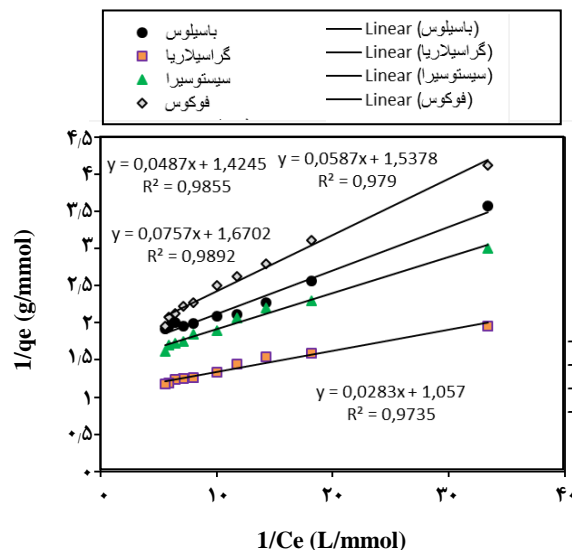
نسبت میزان غلظت فلز در محلول با بیش‌ترین جذب فلز به‌وسیله جاذب‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آن‌گونه که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، با افزایش غلظت محیطی فلز، میزان جذب یون نیکل نیز توسط جاذب‌ها افزایش می‌یابد.

در آب معمولی از این مقاله حذف شده است.

فراوان و ارزان در سواحل جنوب ایران خلیج فارس و دریای عمان دیده می شود. مشخص شد از مهم ترین عامل های مؤثر در جذب نیکل به وسیله جاذب های مورد مطالعه، پارامتر pH بوده است که در این آزمایش مقدار بهینه این پارامتر بین ۵ و ۶ به دست آمد. با افزایش pH در نتیجه تراکم یون های OH⁻، رسوب یون های فلزی به صورت هیدروکسید باعث کاهش درصد جذب می شود. همچنین مشخص شد، با افزایش غلظت اولیه یون، که سایت های جاذب پر شده و دیگر قدرت جذب بیشتر فلز نیکل را ندارد. همچنین همدمای جاذب برای حذف یون نیکل از همدمای لانگمویر پیروی می کند، با توجه به خطی بودن نمودارها، پیروی این جاذب از همدمای جاذب به اثبات رسیده است. میکروارگانیزم ها، جلبک ها به عنوان جاذب های زیستی زمانی می توانند در استفاده های صنعتی به کار بروند که افزون بر داشتن پتانسیل بالا در باند کردن فلزها همچنین به صورت بستر ثابت یا متحرک مورد استفاده قرار گیرند و افت زیادی را در سامانه ایجاد نکنند که برای این منظور فرایندهایی مانند اندازه بندی، اصلاح شیمیایی و یا تثبیت و دانه بندی مورد استفاده قرار می گیرد که این موارد به ایجاد یک ساختار مناسب جهت بهره وری از جاذبها در راکتور و بالا بردن ظرفیت جذب کمک می کند [۲۳]. کارهای مهمتری در جذب فلزها به وسیله جاذبها از جمله نقش تبادل یون در جذب فلز، جذب فلزها به صورت همزمان، استفاده از نمونه های حقیقی پساب های صنعتی دارای فلز باید صورت گیرد. سرانجام برای استفاده صنعتی، استفاده از جلبک قهوه ای پیشنهاد می شود و برتری ها بیشتری نسبت به دیگر جاذبها دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۲

باکتری میزان بیشتری از فلز نیکل را از محلول جدا می کند در نتیجه کارایی بالاتری دارد. البته آزمایش مربوط به جذب فلز



شکل ۴- مدل خطی همدمای لانگمویر جذب نیکل به وسیله جاذب های زیستی در آب مقطر (جاذب ۱ گرم، دمای ۲۵ درجه سلسیوس، غلظت فلز ۴ میلی گرم در لیتر، pH حدود ۶).

حالت مدل خطی همدمای لانگمویر در شکل ۴ نمایان می باشد. بیشترین میزان جذب نیکل به وسیله فوکوس می باشد، آنگاه جلبک گراسیلاریا و سپس باسیلوس و سیستوسیرا می باشد. مقدار ضریب همبستگی R^2 در فوکوس سراتوس برابر ۰/۹۹۰، برای گراسیلاریا ۰/۹۷۱، برای سیستوسیرا ایندیکا برابر ۰/۹۹۸ و سرانجام برای ۰/۹۹۱ می باشد. با بررسی شکل شماره ۴، حالت مدل خطی همدمای لانگمویر می باشد بیشترین جذب یون نیکل به وسیله جلبک در آب معمولی برابر ۰/۵۲ میلی مول بر گرم می باشد.

نتیجه گیری

در استفاده از جلبک های مورد مطالعه (گراسیلاریا، سیستوسیرا، و فوکوس) در صنعت محدودیت استفاده از سلول زنده وجود نخواهد داشت. جلبک های سیستوسیرا و گراسیلاریا به مقدار

مراجع

- [1] Njoku V.O., Biosorption Potential of Cocoa Pod Husk for the Removal of Zn (II) from Aqueous Phase, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2: 881-887 (2014).

- [2] Sener M., Kumar Reddy D.H., Kayan B., Biosorption Properties of Pretreated Sporopollenin Biomass for Lead (II) and Copper (II): Application of Response Surface Methodology, *Ecological Engineering*, **68**: 200-208 (2014).
- [3] Tasar S., Kaya F., Ozer A., Biosorption of Lead (II) Ions from Aqueous Solution by Peanut Shells: Equilibrium, Thermodynamic and Kinetic Studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **2**: 1018-1026 (2014).
- [4] Malik A., Metal Bioremediation Through Growing Cells, *Environment International*, **30**: 261-278 (2004)
- [5] Leusch A., Holan Z.R., Volesky B., Biosorption of Heavy Metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) by Chemically-Reinforced Bioman of Marine Algae, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **62**: 279-283 (1995).
- [6] Ahmady-Asbchin S., Andres Y., Gérente C., Le Cloirec P., Biosorption of Cu (II) from Aqueous Solution by *Fucus Serratus*, *Bioresource Technology*, **99**: 6150- 6155 (2008).
- [7] Macaskie L.E., An Immobilization Cell Bioprocess for the Removal of Heavy Metals from Aqueous Flows, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **49**: 357-379 (1990).
- [۸] گلبابایی، فریده؛ قهری، اصغر؛ صعودی، محمدرضا؛ رحیمی فروشانی، عباس؛ تیرگر، آرام؛ مطالعه‌های تعادل و سینتیک جذب زیستی کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از دانه‌های پلیمر زانتان B82. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. (۲) ۳۰ : ۱۱ تا ۲۴ (۱۳۹۰).
- [9] Cempel M., Nikel G., Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology, *Polish Journal of Environmental Studies*, **15**: 375-382 (2006).
- [10] Rajeswari M., Kulkarni K., Vidya Shetty, Srinikethan G., Cadmium (II) and Nickel (II) Biosorption by *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628), *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**: 1628-1635 (2014).
- [11] Tabaraki R., Nateghi A., Ahmady-Asbchin S., Biosorption of Lead (II) Ions on *Sargassum ilicifolium*: Application of Response Surface Methodology, *International Biodeterioration and Biodegradation*, **93**: 145-152 (2014).
- [12] Ahmady-Asbchin S., Andres Y., Gérente C., Le Cloirec P., Natural Seaweed Waste as Sorbent for Heavy Metal Removal from Solution, *Environmental Technology*, **30**: 755-762 (2009).
- [13] Bermudez Y.G., Rodriguez Rico I.L., Bermudez O.G., Guibal, E., Nickel Biosorption Using *Gracilaria caudata* and *Sargassum muticum*, *Chemical Engineering Journal*, **166**: 122-131 (2011).
- [14] Gabr 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 and Biodegradation*, **62**:195-203 (2008).

- [15] Esmaeili A., Beirami P., Ghasemi, S., Evaluation of the Marine Algae *Gracilaria* and its Activated Carbon for the Adsorption of Ni (II) from Wastewater: *Journal of Chemistry*, **8**: 1512-1521 (2011).
- [16] Anayurt R.A., Sari A., Tuzen M., Equilibrium, Thermodynamic and Kinetic Studies on Biosorption of Pb (II) and Cd (II) from Aqueous Solution by Macrofungus (*Lactarius scrobiculatus*) Biomass, *Chemical Engineering Journal*, **151**: 255-261 (2009).
- [17] Sar A., Tuzen M., Biosorption of Cadmium (II) from Aqueous Solution by Red Algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies, *Journal of Hazardous Materials*, **157**: 448-454 (2008).
- [18] Li X., Tang Y., Xuan Z., Liu Y., Luo F., Study on the Preparation of Orange Peel Cellulose Adsorbent and Biosorption of Cd II from Aqueous Solutions, *Separation and Purification Technology*, **55**: 69-75 (2007)
- [19] Xie S., Yang J., Chen C., Zhang X., Wang Q., Zhang C., Study on Biosorption Kinetics and Thermodynamics of Uranium by *Citrobacter freundii*, *Journal of Environmental Radioactivity* **99**: 126-133 (2007).
- [20] Fiol N., Villascusa I., Martinez M., Miralles N., Poch J., Seralos J., Sorption of Pb (II), Ni (II), Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solutions by Olive Stone Waste, *Separation and Purification Technology*, **50**: 132-140 (2006).
- [21] Holan Z.R., Volesky B., Biosorption of Lead and Nickel by Biomass of Marine Algae, *Biotechnology and Bioengineering*, **43**: 1001-1009 (1994).
- [22] Fouladifard R., Ebrahimi A.A., Efficiency Study of Nickel (II) and Cadmium (II) Biosorption by Powder of Waste Activated Sludge from Aqueous Solutions, *Iranian Journal of Health and Environment*, **3**: 419-430 (2011).
- [23] Zouboulis A.I., Loukidou M.X. Matis K.A., Biosorption of Toxic Metals from Aqueous Solutions by Bacteria Strains Isolated from Metal-Polluted Soils, *Process Biochemistry*, **39**: 909-916 (2004).