

## مطالعه کنتیکی و ایزوترم جذب زیستی نیکل به وسیله جلبک قرمز *Gracilaria* sp.

ناصر جعفری<sup>۱</sup>، هدی قدوسی‌نژاد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۲

تاریخ تصویب: ۹۳/۳/۵

### چکیده

روش‌های مختلفی برای حذف یا کاهش غلظت فلزات سنگین وجود دارد، اما اکثر این روش‌ها با هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهدار همراه است. مطالعات زیادی در سال‌های حاضر برای ابداع روش‌های اقتصادی انجام گرفته است. یکی از تکنولوژی‌های موثر برای حذف فلزات سنگین استفاده از جاذب‌های زیستی است. این امر به دلیل اقتصادی بودن، دستیابی آسان و منطبق بودن با استانداردهای زیست محیطی است. هدف از این مطالعه بررسی میزان جذب زیستی فلز نیکل به وسیله جلبک قرمز *Gracilaria* است. در این مطالعه بیشترین مقدار جذب نیکل از محلول‌های آبی به وسیله جلبک *Gracilaria* تحت شرایط  $pH$  بهینه ۵ انجام شد. داده‌های تعادلی با مدل

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه مازندران، بابلسر؛ n.jafari@umz.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه ایلام

ایزوترم لانگموئیر متناسب شدند. نتایج این آزمایش بیان می‌کند که بیشترین میزان جذب توسط جلبک در ۱۵ دقیقه ابتدایی صورت گرفت و بعد از ۲ ساعت جذب فلز توسط جلبک به تعادل رسیده است.

**واژه‌های کلیدی:** جذب زیستی، گراسیلاریا، نیکل، ایزوترم، لانگموئیر.

## مقدمه

محلول‌های آبی شامل رسوب شیمیایی، مبادله یونی، استخراج با حلال، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، الکترودیالیز و جذب سطحی است، اما برخی از فاکتورهای تکنیکی و اقتصادی باعث محدودیت‌هایی در انجام تعدادی از این روش‌ها می‌شوند (Sar and Tuzen, 2008). هر کدام از این روش‌ها به تنهایی مشکلاتی را به همراه دارند. رسوب شیمیایی و تیمارهای الکتروشیمیایی مخصوصاً زمانی که غلظت یون فلزی در محلول آبی کمتر از ۵۰ میلی گرم بر میلی لیتر باشد چندان مؤثر نمی‌باشند. همچنین در این قبیل روش‌ها مقدار زیادی لجن تولید می‌شود که مشکلات زیادی را به همراه خواهد داشت. مبادله یونی، تکنولوژی‌های غشایی و فرآیندهای جذب با کربن فعال بسیار پرهزینه هستند. در چند دهه اخیر بیشتر تحقیقات برای خروج مؤثر فلزات سنگین از پساب‌ها بر روی تکنولوژی جذب زیستی متمرکز شده است (Das et al., 2008). به طور کلی جذب زیستی برای توصیف خاصیت توده میکروبی جهت

افزایش استفاده از فلزات سنگین در صنایع جدید منجر به افزایش بار محیطی شده، تجمع این فلزات در محیط باعث مشکلات جدی در سلامتی انسان می‌شود (Denkhaus and Salnikow, 2002). در نتیجه رشد صنایع و تکنولوژی فلزات سنگین سمی در آب وارد شده و مشکل جهانی برای محیط زیست ایجاد می‌گردد (Esmaeili et al., 2011). نیکل یک مثال خوب از فلزاتی است که به طور گسترده در تکنولوژی‌های جدید استفاده می‌شود. نیکل ماده ضروری برای چندین گونه جانوری، میکروارگانیسم‌ها و گونه‌های گیاهی است و در صورتی که مقدار آن کم یا زیاد شود به ترتیب علائم فقدان یا سمیت ظاهر می‌شود. نیکل و ترکیبات آن از طریق فرآیندهای صنعتی منجر به افزایش انتشار آلودگی در اکوسیستم می‌شوند (Cempel and Nikel, 2006). در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از پساب‌ها بکار گرفته شده است. روش‌های معمول برای خروج یون‌های فلزات سنگین از

محلول نیکل (II) با حل کردن نمک  $NiCl_2 \cdot H_2O$  مرک آلمان در آب مقطر تهیه شد (Bermúdez et al., 2011).

### مطالعه اثر pH محلول فلزی بر روی جذب نیکل به وسیله جلبک گراسیلاریا

برای رسیدن به این هدف با استفاده از pH متر دیجیتالی مدل ۷۸۰ ساخت کشور سوئیس مجهز به الکتروود ترکیبی کالومل شیشه و افزودن HCl و NaOH ۱ مولار، pH های ۲ تا ۸ آماده گردید (Gabr et al., 2008). غلظت نیکل قبل و بعد از هر آزمایش با دستگاه جذب اتمی شرکت ترمو انگلیس سریال M5 مورد آنالیز قرار گرفت (Esmaeili et al., 2011).

### آزمایشات جذب زیستی

با استفاده از ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری و با مقدار ۱ گرم بر لیتر جاذب وضعیت بهینه جذب زیستی نیکل (II) توسط جلبک *Gracilaria* sp. مورد بررسی قرار گرفت. شناسایی این جلبک در مرکز تحقیقاتی چابهار صورت گرفته است و بصورت آماده تحویل گرفته شد. در تمامی آزمایشات pH بر روی ۵ تنظیم شد. تأثیر زمان در جذب فلز نیکل با نمونه برداری در فواصل زمانی معین و به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت. به منظور بررسی اثر غلظت فلز در میزان جذب نیکل توسط جاذب مورد نظر غلظت‌های ۱/۶-۰/۲

جدایی فلزات سنگین از سیستم‌های آبی به کار برده می‌شود (Parvathi and Nagendran, 2008). از جمله جاذب‌های زیستی برای خروج فلزات سنگین می‌توان به باکتری، قارچ، جلبک، زائادات صنعتی، کشاورزی و سایر مواد پلی سکاریدی اشاره کرد. عموماً جلبک‌های دریایی به عنوان علف‌های دریایی که منبع بیولوژیکی هستند و در قسمت‌های زیادی از جهان وجود دارند شناخته می‌شوند. از بین جلبک‌های قهوه‌ای، قرمز و سبز، جلبک‌های قهوه‌ای کارایی بیشتری در جذب فلزات سنگین داشته و جلبک‌های قرمز و سبز بعد از آن قرار می‌گیرند (Vijayaraghavan, 2008).

### مواد و روش‌ها

#### آماده سازی جاذب زیستی و محلول نیکل:

جاذب مورد نظر جلبک قرمز *Gracilaria* sp. است. این جلبک از سواحل دریای عمان جمع آوری شد. جهت زدودن ذرات شن و ماسه جلبک مورد نظر بعد از جمع آوری با آب دریا و سپس با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفت (Saravanan et al., 2011). سپس در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد آون خشک گردید آنگاه با استفاده از غربال قطعات ۰/۵-۰/۱ میلی‌متر جدا و استفاده گردید (Shams Khorramabadi and Darvishi, 2008).

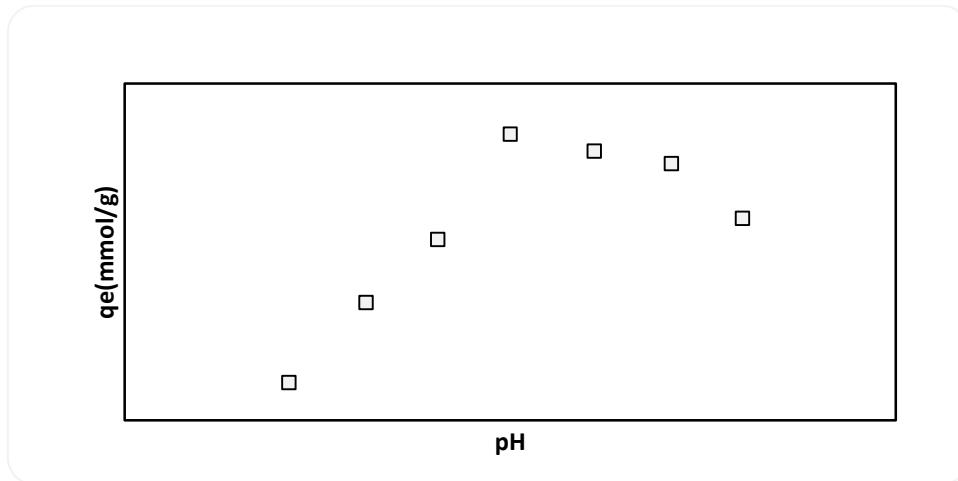
شکل ۱ نتایج آزمایش نشان داد که در pH های پایین تر از ۳ گرو های کربوکسیل پروتونه شده و مقدار جذب فلز کاهش می یابد. اما به تدریج با افزایش pH میزان جذب افزایش و در نهایت بیشترین جذب در pH بهینه ۵ صورت گرفت (Vijayaraghavan, 2008). میزان کاهش جذب در pH پایین به این علت می باشد که یون  $H^+$  در محلول با فلز نیکل برای اتصال به سطح جلبک رقابت می کند. به بیان دیگر برای جایگاه های ثابت سطح جلبک دو ترکیب فلز و یون  $H^+$  رقابت می کنند. در pH های بالاتر سطح جلبک دارای بار منفی می گردد و در نتیجه جذب فلز افزایش می یابد. در صورتی که با افزایش بیشتر سطح pH، با تشکیل کمپلکس هیدروکسید آنیونی، باعث کاهش فلز آزاد در محلول می گردد، در نتیجه جذب فلز کاهش می یابد. بطوریکه در pH های بالاتر از ۷ نیکل بصورت هیدروکسید نیکل  $Ni(OH)_2$  رسوب می نماید (Fiol et al., 2006; Xie et al., 2007; Li et al., 2007).

میلی گرم بر لیتر نیکل تهیه شد. میزان فلز موجود در محلول با دستگاه جذب اتمی مورد آنالیز قرار گرفت (Cabuk et al., 2007).

## نتایج

### اثر pH

یکی از پارامترهای مهم که در جذب زیستی فلزها تاثیر قابل ملاحظه ای می گذارد، pH اولیه محلول است اثر pH روی جذب فلزات توسط جلبک، مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاصل، حاکی از آن است که pH های خیلی پایین و خیلی بالا منجر به کاهش میزان جذب می شوند (Sheng et al., 2004). در فرآیند جذب زیستی pH به عنوان مؤثرترین عامل در جذب زیستی شناخته شده است (Anayurt et al., 2009). جذب جلبکی دارای میزان زیادی گروه های کربوکسیل است که از گلورونیک اسید و مانورونیک اسید موجود در دیواره سلولی حاصل می شود که تغییر pH گروه های کربوکسیل دیواره را تحت تاثیر قرار می دهد (Sarı and Tuzen, 2008). با توجه به



شکل شماره ۱: تأثیر تغییرات pH در جذب فلز نیکل به وسیله جلبک *Gracilaria sp.*

اتفاق می‌افتد که رابطه آن به صورت Eq1 است (Esmaeili et al., 2008).

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

Eq1

که در آن  $C_e$  غلظت نیکل در محلول در حالت تعادل (مول بر لیتر)،  $q_e$  غلظت نیکل بر روی جاذب در حالت تعادل (مول بر گرم)،  $q_m$  حداکثر فلز جذب شده (مول بر گرم)،  $b_L$  ثابت تعادلی جذب برحسب (لیتر بر میلی گرم) که به میزان تمایل جذب شونده به جاذب زیستی بستگی دارد.

مدل خطی این ایزوترم به صورت Eq2 است:

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

Eq2

### تئوری‌های جذب تعادلی

آنالیز داده‌های تعادلی برای توسعه معادله‌ای که بتواند انواع جاذب‌های زیستی را در شرایط مختلف واکنش مورد مقایسه قرار دهد، همچنین جهت طراحی و بهینه‌سازی یک روش عملکردی لازم و ضروری است. مدل‌های ایزوترم ارتباط بین ظرفیت جذب زیستی و غلظت جاذب را در حالت تعادل مورد بررسی قرار می‌دهند (Akar et al., 2009).

### مدل جذب لانگموئیر

از میان مدل‌های مختلف ایزوترم، مدل جذب لانگموئیر به دلیل بالاتر بودن ضریب همبستگی با داده‌های تعادلی مطابقت بیشتری داشت. برطبق این مدل جذب در مکان‌های خاصی از جاذب با حالت همگن

### مدل جذب فروندلیچ

مدل ایزوترم فروندلیچ برای جذب روی یک سطح ناهمگون معتبر است و معادله آن به صورت Eq3 است (Esmaeili and Ghasemi, 2009).

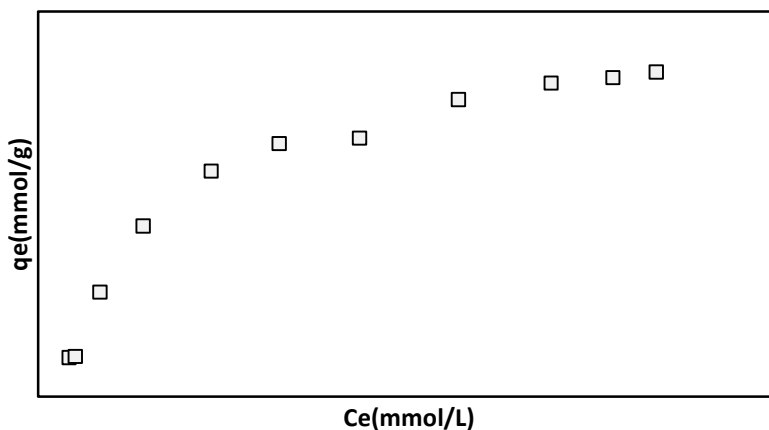
$$q_e = k_f C_e^{\frac{1}{n}}$$

Eq3

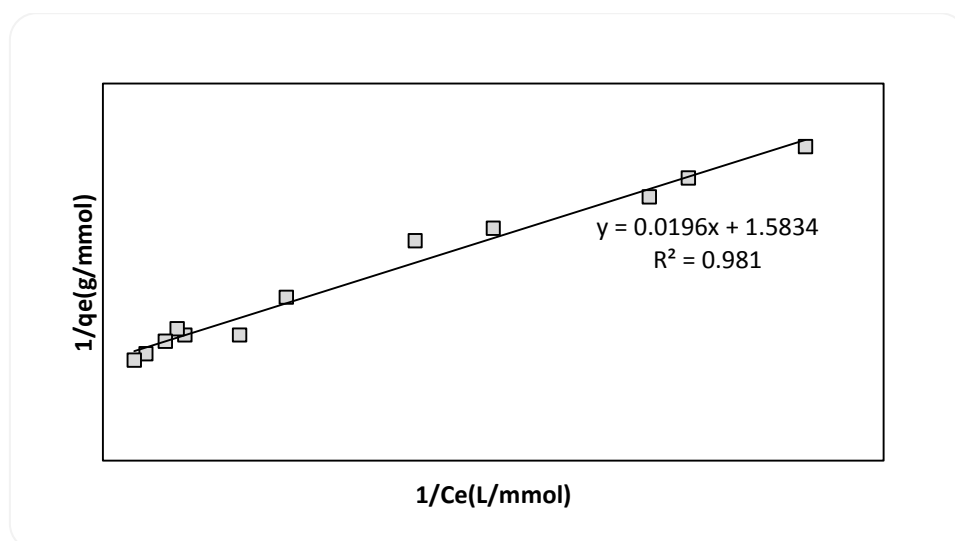
که در آن  $q_e$  مقدار آلاینده جذب شده برحسب (میلی گرم بر گرم) در هر لحظه،  $C_e$  غلظت تعادلی آلاینده یا مقدار جذب نشده

برحسب (میلی گرم بر لیتر)،  $K_f$  و  $n$  ثابت مدل فروندلیچ که به ترتیب معرف ظرفیت جذب و شدت جذب هستند.

با توجه به شکل ۲ با افزایش غلظت فلز نیکل در محلول میزان جذب افزایش یافت. با توجه به شکل ۳ حداکثر جذب فلز نیکل توسط جلبک گراسیلاریا در حدود ۰/۶۳ میلی مول بر گرم صورت گرفت (Bermúdez et al., 2011).



شکل شماره ۲: تأثیر غلظت های مختلف یون نیکل (II) در جذب زیستی به وسیله جلبک *Gracilaria sp.*



شکل شماره ۳: مدل خطی ایزوترم لانگموئر برای جذب نیکل بوسیله جلبک *Gracilaria sp.*

### مطالعات سینتیکی

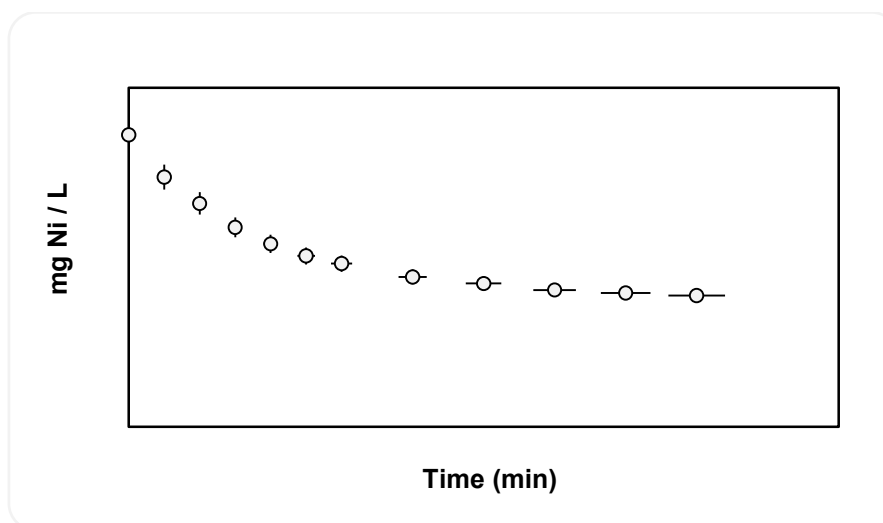
برای بررسی مکانیسم جذب و کنترل مراحل سرعت واکنش، نظیر انتقال جرم و پیشرفت واکنش‌های شیمیایی، مدل‌های سینتیکی کاربرد دارند. این مدل‌ها شامل معادلات سینتیکی درجه اول و دوم هستند که به صورت معادلات Eq4 و Eq5 می‌باشند (Sarı and Tuzen, 2008).

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (\text{Eq4})$$

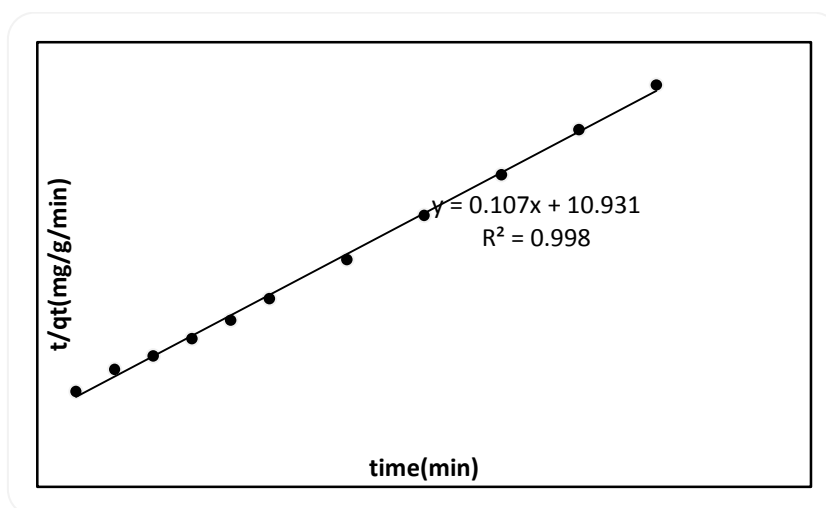
که در آن  $q_e$  مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب (برحسب گرم) در زمان  $t$ ، (میلی‌مول بر گرم)،  $K_1$  ثابت سرعت جذب زیستی برحسب (بر دقیقه)،  $q_t$  مقدار یون جذب شده بر وزن جاذب در زمان  $t$  برحسب (میلی‌گرم بر گرم).

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{Eq5})$$

که در آن  $K_2$  ثابت سرعت سینتیک درجه دوم (گرم بر میلی‌گرم در دقیقه)،  $q_t$  مقدار یون جذب شده بر وزن جاذب در زمان  $t$  برحسب (میلی‌گرم بر گرم)،  $q_e$  میزان جذب فلز در زمان تعادل. با توجه به شکل ۴ با افزایش زمان مقدار جذب افزایش می‌یابد. ولی در ۱۵ دقیقه ابتدایی تقریباً بیشترین مقدار جذب صورت می‌گیرد و تقریباً در یک ساعت اول ۹۰٪ از جذب زیستی نیکل کامل می‌شود. مدت زمان تعادل جذب حدود ۲ ساعت است و بعد از آن جذب آهسته صورت می‌گیرد. (Montazer Rahmati et al., 2011). با توجه به شکل ۵ به دلیل بالاتر بودن  $R^2$  مدل سینتیکی درجه دوم از مدل سینتیکی درجه اول، جذب فلز نیکل به وسیله جلبک گراسیلاریا با مدل سینتیکی درجه دوم مطابقت بیشتری دارد.



شکل شماره ۴: تأثیر افزایش غلظت فلز نیکل و زمان در جذب زیستی فلز نیکل به وسیله جلبک *Gracilaria sp*.



شکل شماره ۵: نمودار سینتیک درجه دوم در زمان‌های مختلف بوسیله جلبک *Gracilaria sp.*

### بحث و نتیجه گیری

جذب فلز نیکل به وسیله جاذب‌های زیستی مختلفی مانند قارچ، جلبک، باکتری و غیره مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده از آزمایشات مختلف بیان می‌کند که حداکثر جذب این فلز به وسیله جلبک و قارچ صورت می‌گیرد. بیشتر بودن ظرفیت جذب فلز به وسیله این دو جاذب به دلیل ساختار دیواره سلولی آن‌ها است. در جلبک‌ها گروه‌های مختلف موجود در سلولز و در قارچ‌ها گروه‌های فسفات و کربوکسیل دیواره در جذب فلز مؤثر می‌باشند (Fouladifard and Ebrahimi, 2011, Holan and Volesky 1994). جذب نیکل توسط جلبک قهوه‌ای *Fucus vesiculosus* را مطالعه کردند و در سال (2004) Prasher و همکاران جذب نیکل بوسیله جلبک قرمز *Palmaria palmate* را مورد بررسی قرار داده اند. در سال (2004)

Zouboulis و همکاران به مطالعه جذب نیکل توسط باکتری *Bacillus licheniformis* پرداختند. همچنین در سال (2009) توسط Ahmady-Asbchin و همکاران جذب نیکل توسط جلبک قهوه‌ای *Fucus serratus* مورد مطالعه قرار گرفته است. میزان جذب فلز نیکل توسط جلبک مورد مطالعه در مقایسه با دیگر جاذب‌های بیولوژیک مناسب بوده و می‌توان از آن به عنوان یک گزینه مناسب برای زدودن این فلز سمی از پساب‌های آلوده استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که جذب در جلبک مورد مطالعه دو فازی می‌باشد. که قسمت بسیار زیادی از این جذب مربوط به فرایند جذب غیر وابسته به متابولیسم می‌باشد. البته این موضوع در استفاده‌های صنعتی و کاربردی از این جلبک بعنوان یک مزیت تلقی می‌شود چرا که دیگر محدودیت استفاده از سلول زنده وجود



انجام شده جلبک دریایی گراسیلاریا جاذب مناسبی جهت حذف انتخابی یون‌های فلزات سنگین از محلول‌های آبی است. جاذب‌های زیستی زمانی می‌توانند به عنوان جاذب صنعتی به کار بروند که علاوه بر داشتن پتانسیل بالا در باند کردن فلزات به صورت بستر ثابت یا متحرک مورد استفاده واقع شوند و افت زیادی را در سیستم ایجاد نکنند که برای این منظور فرآیندهایی مانند سایزبندی، اصلاح شیمیایی و یا تثبیت و دانه بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد که این موارد به ایجاد یک ساختار مناسب جهت بهره‌وری از جاذب‌ها در رآکتور و بالا بردن ظرفیت جذب کمک می‌کند (Holan and Volesky, 1994). نتایج این مطالعه نشان داد بیوجذب نیکل بر روی جلبک قرمز گراسیلاریا دارای سرعت بالایی است. پایش pH تعویض یون را به عنوان یکی از سازوکارهای بیوجذب تأیید نمود. بنابراین جلبک گراسیلاریا یک بیوجاذب با ظرفیت جذب بالا برای فلز نیکل می‌باشد. بدین ترتیب با انجام مطالعات بیشتر می‌توان به طور عملی و در مقیاس گسترده از این جلبک که یکی از گونه‌های غالب در سواحل جنوبی کشورمان می‌باشد، برای حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب استفاده نمود.

نخواهد داشت. از جمله مزایای دیگر این جلبک می‌توان به رشد بسیار سریع، بیومس بالا اشاره کرد. در این مطالعه جذب یون نیکل به وسیله جلبک گراسیلاریا مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در جذب پارامتر pH بوده است که در این آزمایش مقدار بهینه این پارامتر ۵ بدست آمد. با افزایش pH در نتیجه تراکم یون های  $\text{OH}^-$  رسوب یون های فلزی به صورت هیدروکسید مشاهده و باعث کاهش درصد جذب می‌شود. همچنین در ۱۵ دقیقه ابتدایی حداکثر جذب صورت گرفته است. این تحقیق نشان داده است که با افزایش غلظت اولیه یون، میزان جذب فلز افزایش پیدا می‌کند و می‌توان نتیجه گرفت که سایت های جاذب پر شده و دیگر قدرت جذب بیشتر فلز نیکل را ندارد. از بررسی نمودارها و مقایسه آنها در روابط لانگموئیر و فروندلیچ مشاهده می‌شود، ایزوترم های جذب برای حذف یون نیکل از ایزوترم لانگموئیر و فروندلیچ پیروی می‌کند، با توجه به خطی بودن نمودارها پیروی نمودن این جاذب از ایزوترم های جذب به اثبات رسیده است. حذف یون نیکل از ایزوترم لانگموئیر پیروی بیشتری داشته است، چون مقدار  $R^2$  در مدل لانگموئیر بیشتر تابع فروندلیچ است. بر طبق مطالعات

## منابع

- Ahmady-asbchin S., Andres Y., Gérente C., and Le Cloirec, P. (2009). Natural seaweed waste as sorbent for heavy metal removal from solution. *Environmental Technology*, 30: 755-762.
- Akar, T., Kaynak, Z., Ulusoy, S., Yuvaci, D., Ozsari, G., and Akar, S.T. (2009). Enhanced biosorption of nickel (II) ions by silica-gel-immobilized waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*. 163: 1134–1141.
- Anayurt, R.A., Sari, A., and Tuzen, M. (2009). 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.
- Bermúdez, Y.G., Rodríguez Rico, I.L., Bermúdez, O.G., and Guibal, E. (2011). Nickel biosorption using *Gracilaria caudata* and *Sargassum muticum*. *Chemical Engineering Journal*. 166: 122-131.
- Cabuk, A., Akar, T., Tunali, S., and Gedikli, S. (2007). Biosorption of Pb(II) by industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on the biomatrix of cone biomass of *Pinus nigra*: Equilibrium and mechanism analysis. *Chemical Engineering Journal*. 131: 293–300.
- Cempel, M., and Nikel, G. (2006). Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. *Polish Journal of Environmental Studies*. 15:375-382.
- Das, N., Vimala, R., and Karthika, P. (2008). Biosorption of heavy metals: An overview. *Indian Journal of Biotechnology*. 7: 159-169.
- Denkhaus, E., and Salnikow, K. (2002). Nickel essentiality, toxicity and carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology /Hematology*. 42: 35–56.
- Esmaeili, A., and Ghasemi, S. (2009). Evaluation of the activated carbon prepared of algae marine *Gracilaria* for the biosorption of Ni(II) from aqueous solutions. *World Applied Sciences Journal*. 6: 515-518.
- Esmaeili, A., Beirami, P., and Ghasemi, S. (2011). Evaluation of the marine algae *Gracilaria* and its activated carbon for the adsorption of Ni(II) from wastewater. *Journal of Chemistry*. 8: 1512-1521.
- Esmaeili, A., Ghasemi, S., and Rustaiyan, A. (2008). Evaluation of the activated carbon prepared from the algae *Gracilaria* for the biosorption of Cu(II) from aqueous solutions. *African Journal of Biotechnology*. 7: 2034-2037.
- Fiol, N., Villascusa, I., Martinez, M., Miralles, N., Poch, J., and Seralos, J. (2006). 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.

- Fouladifard, R., and Ebrahimi, A.A. (2011). 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.
- Gabr, R.M., Hassan, S.H.A., and Shoreit, A.A.M. (2008). Biosorption of lead and nickel by living and non-living cells of *Pseudomonas aeruginosa* ASU 6a. International Biodeterioration & Biodegradation. 62: 195-203.
- Holan, Z.R., and Volesky, B. (1994). Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae. Biotechnology and Bioengineering. 43: 1001- 1009.
- Li X., Tang Y., Xuan Z., Liu Y., and Luo, F. (2007). Study on the preparation of orange peel cellulose adsorbent and biosorption of Cd(II) from aqueous solutions. Separation and Purification Technology. 55: 69–75.
- Montazer Rahmati, M.M., Rabbani, P., Abdolali, A., and Keshtkar, A.R. (2011). Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae. Journal of Hazardous Materials. 185: 401–407.
- Parvathi, K., and Nagendran, R. (2008). Functional groups on waste beer yeast involved in chromium biosorption from electroplating effluent. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 24: 2865–2870.
- 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.
- Saravanan, A., Brindha, V., and Krishnan, S. (2011). Studies on the structural changes of the biomass *Sargassum* sp. on metal adsorption. Journal of Advanced Bioinformatics Applications and Research. 2:193-196.
- Sar, A., and Tuzen, M. (2008). Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Journal of Hazardous Materials. 157:448–454.
- Shams Khorramabadi, G.H., and Darvishi Cheshmeh Soltani, R. (2008). Evaluation of the marine algae *Gracilaria salicornia* and *Sargassum* Sp. for the biosorption of Cr(VI) from aqueous solutions. Journal of Applied Sciences. 8: 2163-2167.
- Sheng, P.X., Ting, Y.P., Chen, J.P. and Hong, L. (2004). Sorption of lead, copper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. Journal of Colloid and Interface Science. 275: 131-141.
- Vijayaraghavan, K. (2008). Biosorption of nickel from synthetic and electroplating industrial solutions using a green marine algae *Ulva reticulata*. Clean Soil Air Water. 36: 299–305.

- Xie S., Yang J., Chen C., Zhang X., Wang Q., and Zhang C. (2007). Study on biosorption kinetics and thermodynamics of uranium by *Citrobacter freundii*. Journal of Environmental Radioactivity. 99: 126-133.
- Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X. and Matis, K.A. (2004). Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils. Process Biochemistry. 39: 909-916.