

جذب و حذف استرونیوم پایدار و استرونیوم-۹۰ (راديواکتيو) به کمک جلبک قهوه‌ای (Cystoseira indica) برای رفع آلودگی‌های زیست محیطی

رضا دباغ

دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

rdabagh@yahoo.com (عهده دار مکاتبات)

حسین غفوریان

عضو هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران

اکبر باغوند

استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

غلامرضا نبی

استاد گروه آمار و اپیدمیولوژی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

حسین ریاحی

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی (گروه زیست شناسی)

تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۲۹

چکیده

در این تحقیق توانایی زی‌توده خشک جلبک قهوه‌ای (Cystoseira indica) برای جذب استرونیوم پایدار (^{88}Sr) و استرونیوم-۹۰ (^{90}Sr) راديواکتيو) مورد بررسی قرار گرفته است. pH بهینه جذب معادل 9 ± 0.3 بوده و مدت زمان تماس برای جذب ۶ ساعت و بیشینه جذب بر اساس رابطه خطی لانگمور برابر با $26.67 \text{ mg/g.dry-wt}$ و $10526 \text{ Bq/g.dry-wt}$ به ترتیب برای و به دست آمد. ثابت سرعت واکنش (b) برای ^{90}Sr و ^{88}Sr به ترتیب برابر با 0.17 و 0.0006 به دست آمد. افزایش غلظت و مقدار زی‌توده موجب حذف بیشتر ایزوتوپ و راديوایزوتوپ استرونیوم می‌شود. ظرفیت جذب پویا (DC) در بهره‌برداری در ستون جذب و به صورت جریان پیوسته معادل 14.17 mg/g ($\hat{V}_B = 160/97 \text{ mL/g}$) به دست آمد. ظرفیت جذب زی‌توده پس از ۵ مرتبه فرایند جذب و بازجذبی به کمک کلرید کلسیم، کلرید سدیم، اسیداستیک و EDTA بررسی شده و نتایج به دست آمده عدم تغییر در ظرفیت زی‌جذبی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: زی‌جذبی، استرونیوم، استرونیوم-۹۰، جلبک قهوه‌ای، Cystoseira indica

مقدمه

بسیار بالایی جهت جذب راديونوکلیدها و فلزات سمی دارند. وجود بنیان‌های کربوکسیل، هیدروکسیل و سایر بنیان‌ها در ترکیبات اسیدآلژینیک و فوکویدان از مهمترین عوامل جذب راديوایزوتوپ‌ها و فلزات سنگین و یا سایر عناصر در دیواره سلولی جلبک‌های قهوه‌ای است (۱۳، ۱۴). جلبک قهوه‌ای Cystoseira indica از جمله گونه‌های فراوان در دریای عمان است که با همکاری مرکز تحقیقات شیلات چابهار جمع‌آوری شده و به منظور بررسی فرایند زی‌جذبی استفاده شده است (۱۵، ۱۶ و ۱۷). در این تحقیق زی‌توده خشک شده و دانه‌بندی شده جلبک قهوه‌ای Cystoseira indica به منظور جذب و حذف استرونیوم پایدار (^{88}Sr) و استرونیوم-۹۰ (^{90}Sr) راديواکتيو) استفاده شده است.

جذب و کاهش میزان آلاینده‌ها در محیط‌های آبی به کمک ریزسازواره‌ها نظیر باکتری‌ها، سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها و سایر ریزسازواره‌ها^۱ از جمله گزینه‌های مطرح شده در زمینه رفع آلودگی‌های زیست محیطی است (۱-۹). تنوع، فراوانی و ارزان بودن انواع زی‌توده^۲ نظیر جلبک‌ها، تقاله چای، کیتین خرچنگ و همچنین ترکیباتی نظیر پودر میوه بلوط و خاک اره و سایر ترکیبات، همواره زمینه ساز تحقیقات گسترده بر روی انواع زی‌توده به منظور حذف آلودگی بوده است (۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

جلبک‌های قهوه‌ای به علت ساختار ویژه دیواره سلولی توانایی

نوع ترکیب کلرید کلسیم، کلرید سدیم، اسید استیک و EDTA با غلظت ۱۰ میلی مول در لیتر انجام شده است. تعداد مراحل جذب و باز جذب ۵ مرتبه بوده و زمان تماس ۴۵ دقیقه و زمان احیا و بازجذبی ۲۰ دقیقه می باشد. مدل سازی فرایند جذب به کمک معادله لانگمویر^۲ صورت گرفته است (۱۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶).

$$\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1 + bC_e}$$

در رابطه یاد شده x مقدار ماده جذب شده بر روی ماده آلاینده بر حسب mg ، m جرم ماده جاذب بر حسب گرم، a (q_{max}) بیشینه ماده قابل جذب بر روی ماده جاذب تا حد اشباع شدن بر حسب mg/g ، b ثابت سرعت واکنش و C_e غلظت نهایی یا باقی مانده آلاینده می باشد. پس از تعیین شرایط بهینه جذب، بررسی زی جذبی استرونیسیوم-۹۰ در پرتوزایی ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ میلی بکرل در میلی لیتر انجام شده است. تعیین تأثیر مقدار زی توده در روند زی جذبی با مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲ گرم در لیتر زی توده خشک جلبک قهوه ای انجام یافته است. اندازه گیری مقادیر ^{88}Sr به کمک دستگاه جذب اتمی مدل واریان^۳ و شمارش پرتوزایی محلول های محتوی ^{90}Sr به روش سنتیلاسیون مایع و به کمک شمارش گر مدل کوانتولوس^۴ انجام شده است. هم زنی تمامی ارلن ها با سرعت ۱۵۰ rpm و در دمای ۲۹ درجه سانتی گراد به کمک دستگاه تکان دهنده^۵ مدل اینفورس^۶ صورت گرفته است. به منظور بررسی توان زی جذبی زی توده مورد نظر در سامانه جریان پیوسته و یا ستون جاذب، از ستون شیشه ای از جنس پیرکس با قطر داخلی ۲/۷ cm و ارتفاع مفید ۱۲ cm استفاده شده است. شدت جریان محلول یک میلی مولار ($88 mg/L$) استرونیسیوم در ستون جاذب محتوی زی توده خشک شده *Cystoseira indica* معادل ۱۵۰ mL/h می باشد که به کمک پمپ پری ستالیتیک^۷ مدل واتسون مارلو^۸ تأمین شده

از تعداد ۳۰ ایزوتوپ و رادیوایزوتوپ عنصر استرونیسیوم، و در میان رادیوایزوتوپ های این عنصر، استرونیسیوم-۹۰ با نیمه عمر ۲۸/۷۸ سال و تابش خالص بتا از اهمیت بیشتری برخوردار است. این رادیوایزوتوپ حاصل شکافت هسته ای در راکتورهای تحقیقاتی و تولید نیرو بوده و یا پس از حوادث و یا انفجارات هسته ای تولید می شود (۱۸-۲۳). خطر عمده این رادیوایزوتوپ در صورت ورود به چرخه سوخت و ساز بدن جایگزینی آن با کلسیم استخوان و ایجاد سرطان مغز استخوان است. به علت خطرات بالقوه موجود در حین کار با ^{88}Sr ، تعیین شرایط بهینه جذب با انجام شده و سپس بررسی ها بر روی ^{90}Sr انجام گرفته است.

مواد و روش ها

جلبک قهوه ای جمع آوری شده از دریای عمان با آب قابل شرب شسته شده و در مقابل آفتاب خشک شد. جلبک جمع آوری شده در آزمایشگاه به کمک آسیاب خرد شد و با استفاده از الک مدل رت^۱ به ابعاد ۰/۵-۱ mm دانه بندی گردید (۲۴). بررسی فرایند زی جذبی در سامانه بسته به شرح زیر انجام یافته است. از ارلن های ۱۰۰ mL محتوی ۳۰ mL آب مقطر محتوی بافر مناسب به همراه غلظت های مورد نیاز از ^{88}Sr و ^{90}Sr استفاده شده است. تمامی آزمایشات با دو بار تکرار بوده و در کلیه مراحل از نمونه های شاهد استفاده شده است. بررسی pH مختلف در مقادیر ۴، ۶، ۸، ۹ و ۱۰ و به ترتیب به کمک بافرهای فسفات، PIPES، HEPES و CHES انجام شده است (۲۴ و ۲۵). مدت زمان تماس به ترتیب معادل ۰/۵، ۲، ۶، ۱۸، ۲۴ ساعت بوده و غلظت ^{88}Sr به ترتیب برابر با ۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۵ و ۱۰ میلی مول در لیتر است. بررسی تأثیر مقدار زی توده اضافه شده به ترتیب در مقادیر ۱/۶۷، ۳/۳۳، ۵، ۶/۶۶ و ۸/۳۳ گرم در لیتر انجام شده است. درجه حرارت ۱۵، ۲۹ و ۴۵ درجه سانتی گراد جهت بررسی تأثیر دما، و عنصر کلسیم به منظور یون رقابت کننده با استرونیسیوم در فرایند زی جذبی در غلظت های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی مول در لیتر استفاده شده است. بازیابی عناصر یا فرایند احیای زی توده به کمک چهار

2-Langmuir

3- Varian spectra AA-220

4-Quantulus®- 1220 ultra low level scintillation spectrometer

5-Shaker

6-INFORCE

7-Peristaltic

8-Watson marlow 205U

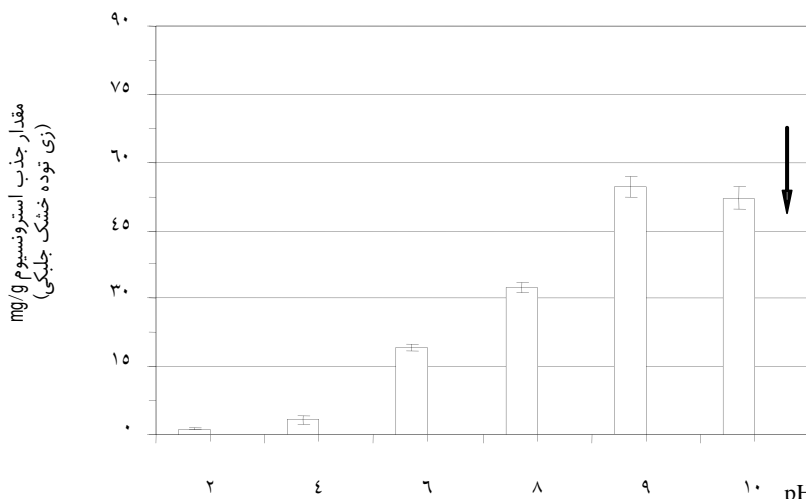
1-Retsch

تجزیه پرتو ایکس گسیلی در اثر برانگیختگی با پروتون (PIXE) وجود استرونیسیوم را بر روی زی توده تایید می کند (۲۷، ۲۸ و ۲۹). مقدار استرونیسیوم موجود در روی زی توده معادل $2708/20 \text{ mg/cm}$ (۰/۸۴٪ خطای آماری) می باشد. در شکل شماره ۲ تأثیر زمان تماس زی توده با آلاینده نشان داده شده است. بیشینه جذب پس از ۶ ساعت زمان تماس رخ داده و برابر با $83/64 \text{ ng/g.dry-wt}$ می باشد. پس از این مدت زمان به علت اشباع شدن زی توده و ایجاد تعادل با محلول مقدار جذب کاهش می یابد. با توجه به میله های خطای معیار و معنی دار نبودن اختلاف زمان تماس ۲ ساعت و ۶ ساعت، در عمل می توان از زمان تماس ۲ ساعت استفاده کرد. تأثیر افزایش غلظت استرونیسیوم

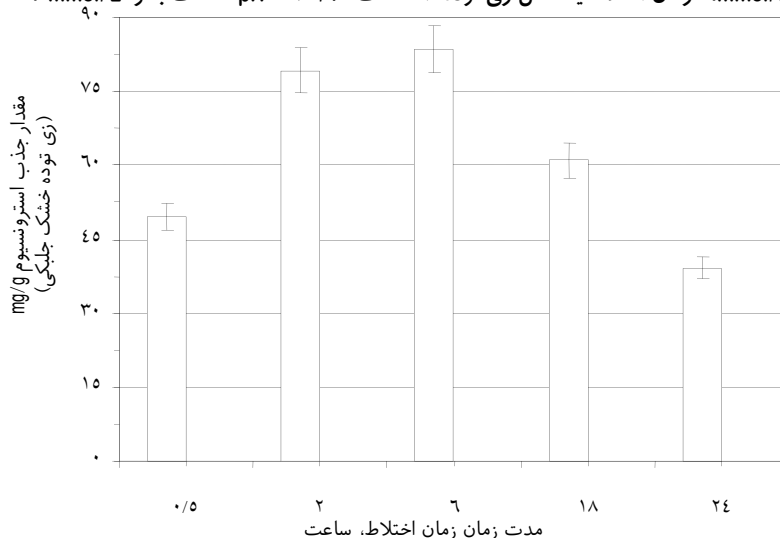
است. دانه بندی زی توده به ابعاد $0.5-1 \text{ mm}$ بوده و مدت زمان بهره برداری ۴۸ ساعت است. بهره برداری به صورت پیوسته بوده و فاصله زمانی نمونه برداری یک ساعت می باشد. برآورد نمودار نقطه شکست جذب و روند بررسی بهره برداری از ستون جاذب با استناد به روش مدل سازی فورن والت هوچین^۱ است (۲۶).

نتایج و بحث

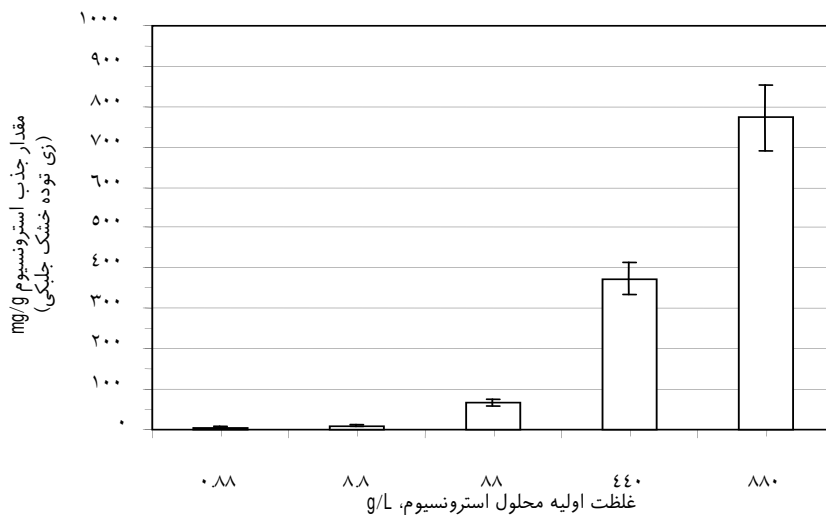
بهینه جذب استرونیسیوم در $\text{pH} = 9 \pm 0.3$ صورت می گیرد (شکل ۱). به طور کلی جذب کاتیون ها در pH قلیایی بوده و در pH نزدیک ۱۰ بنیان های کربوکسیل و هیدروکسیل فعال می گردند (۱۳). تجزیه نمونه ها با روش



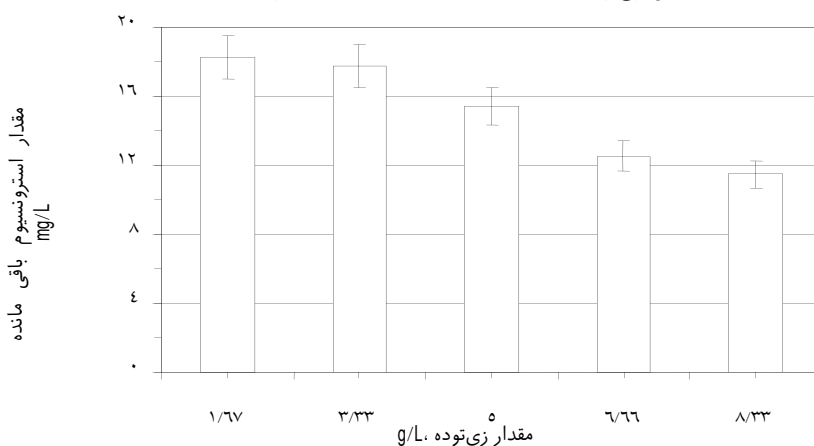
شکل ۱- تأثیر تغییرات دما بر مقدار زی جذبی استرونیسیوم به کمک زی توده خشک شده جلبک قهوه ای، غلظت اولیه استرونیسیوم: 1 mmol/L ، زمان اختلاط یا تماس زی توده: ۶ ساعت، $\text{pH} = 9 \pm 0.3$ ، غلظت بافر: 10 mmol/L



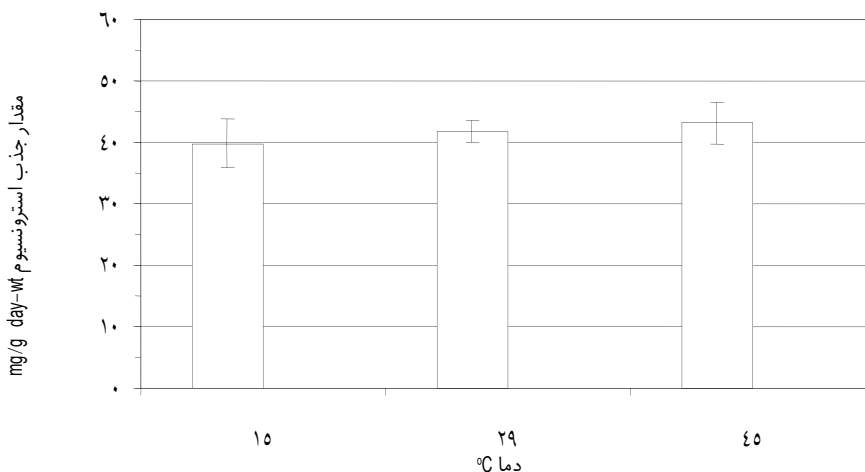
شکل ۲- تأثیر افزایش زمان تماس زی توده خشک با فلز استرونیسیوم در میزان جذب آن، غلظت اولیه استرونیسیوم: 1 mmol/L ، غلظت بافر: 10 mmol/L ، $\text{pH} = 9 \pm 0.3$



شکل ۳- تأثیر غلظت اولیه استرونیوم در میزان جذب آن به کمک زی توده خشک جلبک قهوه‌ای سیستم سراسرا ایندیکا، زمان اختلاط یا تماس زی توده: ۶ ساعت، pH=±۹.۰/۳، غلظت بافر: ۱۰mmol/L



شکل ۴- تأثیر افزایش مقدار زی توده در میزان استرونیوم باقی مانده، زمان اختلاط یا تماس زی توده طبیعی: ۶ ساعت، pH=±۹.۰/۳، غلظت بافر: ۱۰mmol/L، غلظت اولیه استرونیوم ۱ mmol/L

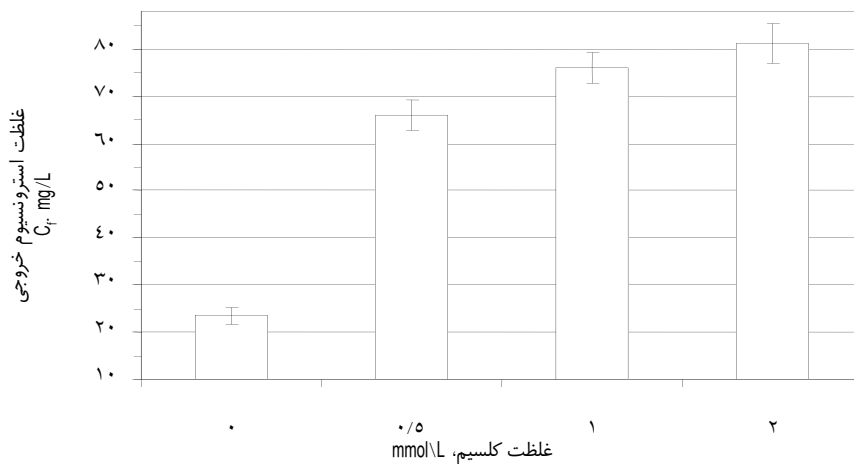


شکل ۵- تأثیر تغییرات دما بر مقدار زی جذبی استرونیوم به کمک زی توده خشک شده جلبک قهوه ای، غلظت اولیه استرونیوم: ۱mmol/L، زمان اختلاط یا تماس زی توده: ۶ ساعت، pH=±۹.۰/۳، غلظت بافر: ۱۰mmol/L

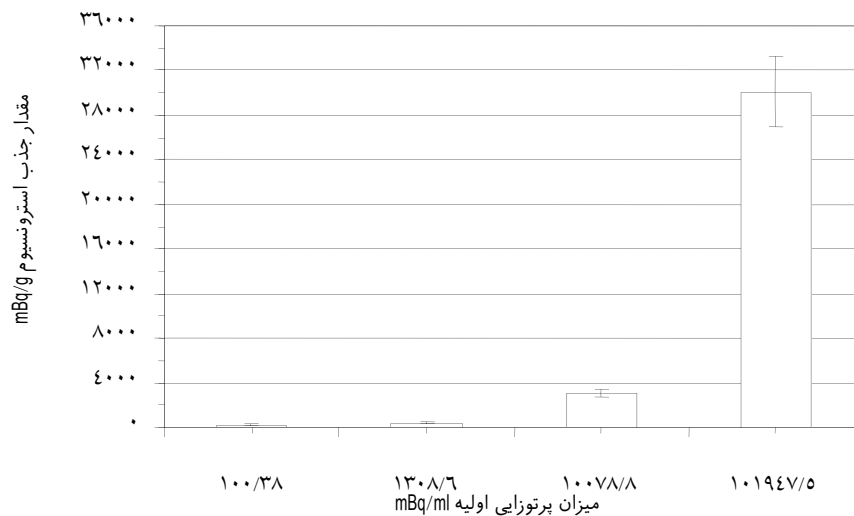
و با افزایش غلظت یون کلسیم، جذب یون استرونیسیوم کاهش می‌یابد (شکل ۶).

بر اساس انجام آزمون ANOVA بر روی نتایج جذب و بازجذبی زی‌توده جهت استفاده مجدد از آن به کمک چهار ماده احیا کننده، تفاوت معنی داری بین ارقام به دست نیامد. این نتیجه بدین معنی است که از هر چهار ماده می‌توان برای بازجذبی و احیاء زی‌توده بدون تغییر در ظرفیت جذب استفاده کرد. در عمل از EDTA به علت اقتصادی نمی‌توان استفاده کرد. ملاک آزمون F محاسبه شده در این آزمایش معادل ۰/۷۶ و ملاک آزمون F جدول برابر با ۳/۱۹ می‌باشد. تأثیر افزایش پرتوزایی اولیه محلول‌ها بر روی میزان زی‌جذبی استرونیسیوم-۹۰ در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش مقدار پرتوزایی محلول‌ها بر میزان جذب افزوده شده است.

و مقدار زی‌توده در اشکال شماره ۳ و ۴ نشان داده شده است. با افزایش غلظت استرونیسیوم به علت افزایش قدرت یونی محلول مقدار جذب افزایش می‌یابد. با افزودن مقدار بیشتر زی‌توده نیز به علت افزایش جایگاه‌های پیوندی مقدار زی‌جذبی فزونی یافته و غلظت استرونیسیوم باقی‌مانده و یا نهایی، (C_p)، کاهش می‌یابد. با استفاده از رابطه خطی شده لانگمور بیشینه جذب (q_{max} یا a) برابر با mg/g ۲۶/۶۷.dry.wt به دست آمد. ثابت سرعت واکنش نیز در این آزمایش برابر با ۰/۱۷ می‌باشد. تغییر درجه حرارت در محدوده ۴۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد با توجه به میله‌های خطای معیار اختلاف معنی‌داری نداشته و در نتیجه می‌توان در محدوده یاد شده روند زی‌جذبی را بررسی کرد (شکل ۵). تأثیر حضور یون کلسیم به علت نقش رقابتی در پیوند با جایگاه‌های پیوندی نقش مؤثری در ظرفیت جذب داشته



شکل ۶- تأثیر افزایش غلظت یون کلسیم در کاهش ظرفیت زی‌جذبی زی‌توده خشک شده *C. indica*، غلظت اولیه استرونیسیوم: ۱mmol/L، زمان اختلاط یا تماس زی‌توده: ۶ ساعت، $pH = \pm 9.0/3$ ، غلظت بافر: ۱۰mmol/L



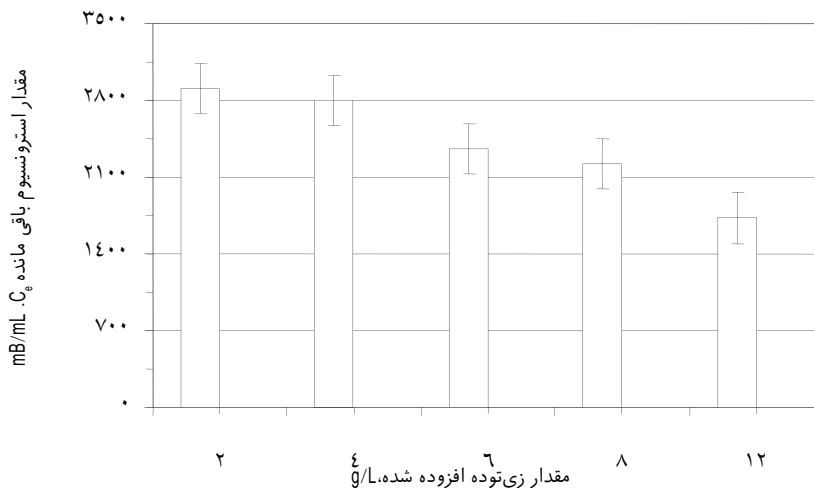
شکل ۷- تأثیر افزایش پرتوزایی اولیه استرونیسیوم-۹۰ در میزان جذب آن به کمک زی‌توده خشک شده *C. indica*، غلظت اولیه استرونیسیوم: ۱mmol/L، زمان اختلاط یا تماس زی‌توده: ۶ ساعت، $pH = \pm 9.0/3$ ، غلظت بافر: ۱۰mmol/L، آمایش شده: ۳۰ دقیقه

بهره‌برداری از ستون جاذب نشان داده شده است. نقطه‌ای که غلظت استرونیوم خروجی (C_e)، از 1mg/L بیشتر شود به عنوان نقطه شکست در نظر گرفته شده است. مدت زمان رسیدن به این نقطه و یا زمان استهلاك زی‌توده 660 دقیقه بوده و پس از عبور 3300mL محلول يك میلی‌مولار استرونیوم به دست آمده است.

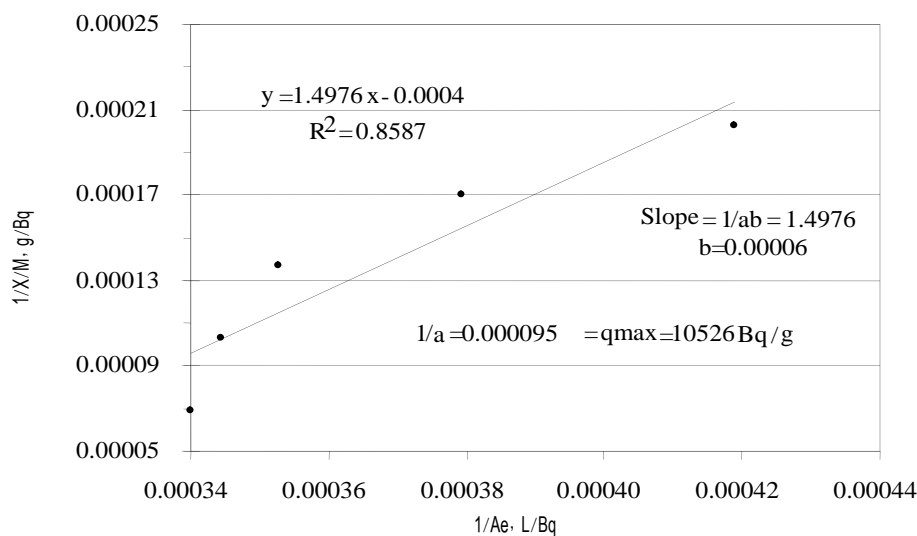
ظرفیت جذب پویا برابر با $14/17\text{mg/g}$ در شرایط مورد نظر ($\hat{V}_B = 160/97\text{ mL/g}$) می‌باشد. مدت زمان مورد نیاز برای اشباع شدن کامل زی‌توده بعد از 29 ساعت و عبور 8700 mL محلول استرونیوم به دست آمده است. (اشکال ۷ و ۸)

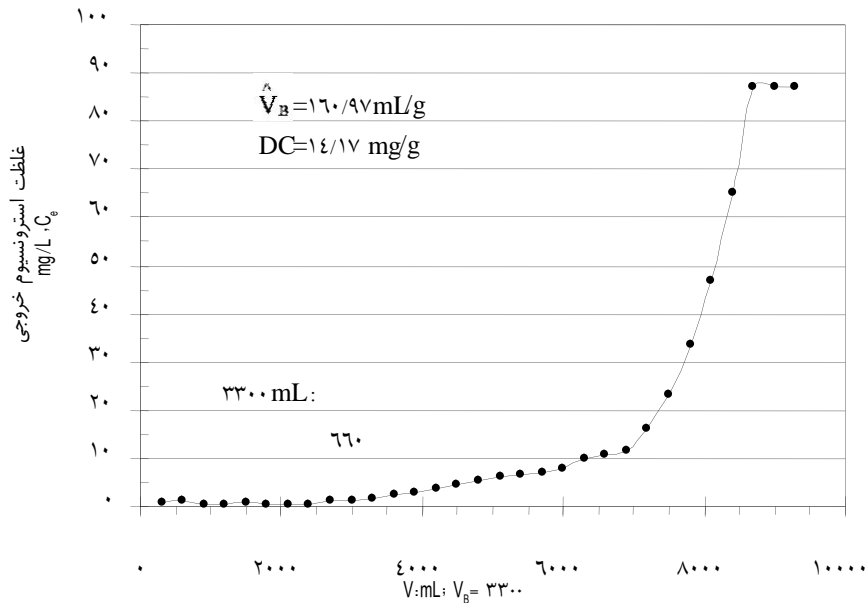
در این آزمایش نظیر افزایش غلظت استرونیوم پایدار، با افزایش مقدار پرتوزایی، غلظت استرونیوم 90 فزونی یافته و در نتیجه قدرت یونی جهت جذب شدن ^{90}Sr افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار زی‌توده نیز میزان پرتوزایی محلول نهایی و یا آلودگی خروجی، A_e ، بیشتر کاهش می‌یابد. در شکل ۸ روند جذب و کاهش پرتوزایی محلول‌ها ارایه شده است. نمودار خطی شده لانگمور نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.

بر اساس نمودار به دست آمده، بیشینه جذب (q_{max}) برابر با 10526 Bq/g.dry-wt و ثابت سرعت واکنش (b) برابر با $0/00006$ می‌باشد. در شکل شماره ۱۰ نمودار نقطه شکست حاصل از



شکل ۸- تاثیر افزایش مقدار زی‌توده در میزان پرتوزایی باقی مانده استرونیوم- 90 ، شدت پرتوزایی اولیه 32026 ، زمان اختلاط یا تماس زی‌توده: 6 ساعت 10 mmol/L غلظت بافر، $\text{pH}=\pm 9.0/3$





شکل ۱۰- منحنی شکست استرونیسیوم برای زی توده خشک جلبکی، غلظت اولیه *C. indica*، حجم خالی بستر ۵۱ mL، بهره برداری ۱۵۰ mL/h

نتیجه گیری

استفاده از زی توده خشک شده جلبک قهوه‌ای *Cystoseira indica* به علت اقتصادی بودن و وفور آن در دریای عمان و همچنین مقدار جذب قابل توجه از اهمیت خاصی برخوردار است. از این نوع زی توده می توان برای حذف و کاهش میزان پرتوزایی پسماندهای مایع رادیواکتیو که محتوی استرونیسیوم-۹۰ است استفاده کرد. با توجه به کارایی این نوع زی توده انتظار می رود که سایر رادیونوکلیدها نیز به میزان قابل توجهی حذف گردند. به طور کلی جلبک های قهوه ای به دلایل یاد شده گزینه ای مناسب جهت حذف آلودگی های رادیواکتیو و همچنین فلزات سنگین به شمار می روند. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده، جهت توسعه کاربرد این نوع زی توده می بایست در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی به منظور حذف آلاینده ها (استرونیسیوم-۹۰ و غیره) باید تحقیقات تکمیلی صورت گیرد.

مراجع

- علوم،.
۲. فرازمنده، ع. ۱۳۷۴. جداسازی میکروب های تصفیه کننده اورانیوم و سایر فلزات سمی و سنگین از پساب ها، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حسین غفوریان، دانشگاه تهران، دانشکده علوم.
 ۳. لطیفی، م.ع. ۱۳۷۶. بررسی مکانیسم ها و بهینه سازی جذب اورانیوم توسط باکتری MGF-۴۸ و جداسازی سوبه باکتریایی جدید با توان جذب بالاتر، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حسین غفوریان، دانشگاه تهران، دانشکده علوم.
 4. Atkinson B.W., Bux F. Kasa .C. 1998. Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents, Water SA 24(2), 129-136
 5. Bakken L.R., Olsen R. A.1990. Accumulation of radiocaesium in fungi, Can .J.Microbiol.Vol. 36,704-7

۱. جلالی راد، ر. ۱۳۷۸. بررسی توان باکتری CH.LUTEOLA برای جذب رادیوایزوتوپ های پسمان های رادیواکتیو و بهینه سازی شرایط جذب، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حسین غفوریان، دانشگاه تهران، دانشکده

13. Volesky, B. 2003. Sorption and biosorption, Bv sorbex, Inc.
14. Miah S.A., Hurtgen Ch., Georgescu I.I. 1999. Radioactive accumulation in alga samples from Romanian black sea coast, Journal of radioanalytical nuclear chemistry, 242(2), 419-422.
۱۵. ریاحی، ح. ۱۳۸۱. جلبك شناسی، انتشارات دانشگاه الزهراء.
۱۶. قرنجیک، ب.م. ۱۳۸۳. مرکز تحقیقات شیلات چاپهار (پوستر رنگی جلبك‌های دریای عمان)، سازمان تحقیقات شیلات ایران.
17. Bold H.C., Wynne M.J. 1985. Introduction to the algae-Structure and reproduction, Prentice-hall Inc.
۱۸. سمیر، ه. ۱۳۷۱. آشنایی با فیزیك بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی، ترجمه: ابوكاظمی، محمد ابراهیم؛ سپهری، هوشنگ؛ بینش، علیرضا، مرکز نشر دانشگاهی.
۱۹. فنادی مراغه، م. ۱۳۷۵. رادیوشیمی و روش‌های تجزیه هسته‌ای، انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران.
۲۰. مجموعه دروس عمومی حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۷۹، امور حفاظت در برابر اشعه کشور، سازمان انرژی اتمی ایران.
21. CRC Handbook of Chemistry and Physics, D.R.Lide, H.P.R. Frederikse (Editors) CRC press, Boca Raton, 1995-1996, p.16-8.
22. EPA. 2006. Radiation information, <http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/strontium.htm>
6. Baxter.M , Jensen.T.H. 1980. Uptake of Magnesium, Strontium.Barium and Manganese byPlectonema boryanum (Cyanophyceae) with Special Refrence to Polyphosphate Bodies, 104, 81-89.
7. Bonotto.S,Robbrecht.V,Nuyts.Gogneau.Mand Van der ben.D.1988. Uptake of Technetium by marine algae autoradiographic localization.Marine pollution bulletin, Vol.19, No.2, 61-65.
8. Chang JO-SHU, Law Robin, Chang Chung-Cheng.1997. Biosorption of lead, Copper and Cadmium by biomass of Pseudomonas aeruginosa PU21. Wat. Res. Vol.31, No.7, 1651-1658.
9. Ehrlich, H., Brierly, C. L. 1990. Microbial Mineral Recovery, Mc Graw-Hill pub.
10. Carvalho F.P, Fowler S.W. 1985. Americium adsorption on the surface of macrophytic algae. J. environ. radioactivity, 2, 311-317.
11. Fuhrmann M., Lasat M.M., Ebbs S. D., Kochian L. Cornish V.J. 2002. Uptake of Cesium-137 and Strontium-90 from Contaminated Soil by Three Plant Species; Application to Phytoremediation , Journal of Environmental Quality, 31, 904-909
12. Volesky, B. 1991, Biosorption of heavy metal, CRC press.

- ing, PWS pub.
27. Iwata Y, Suzuki M. 2000. Pixe application for measurement of bioaccumulation of lead by marine micro-algae. International journal of PIXE, Vol.10, 27-35.
28. Iwata Y. 2001. Pixe application for multi-element analysis of marine micro-algae and measurement of the concentration factor of zinc, Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 343-348.
29. Iwata Y, Satoh A, Sasaki Y, Ito R, Kurmachi K. 2005. Pixe analysis for bioaccumulation studies of trace elements, Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 295-301.
23. IAEA. 2004. Remediation of sites with dispersed radioactive contamination, technical reports series No.424, VIENNA.
24. Jalali-Rad R., Ghafourian H., Asef Y., Dalir S.T., Sahafipour M.H, Gharanjic B.M. 2004. Biosorption of cesium by native and chemically modified biomass of marine alga, introduce the new biosorbents for biotechnology applications, Journal of hazardous materials, B116, 125-124
25. Avery.S. V., Codd.G.A., Gadd.G.M. 1991. Caesium accumulation and interaction with other monovalent cations in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803, 137, 405-413
26. Reynolds, T. D., Richards P. A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineer-