

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

هُوَ اللَّهُ الَّذِي لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ عَالِمُ الْغَيْبِ
وَالشَّهَادَةِ هُوَ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ ﴿١﴾ هُوَ
اللَّهُ الَّذِي لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ الْمَلِكُ الْقُدُّوسُ
السَّلَامُ الْمُؤْمِنُ الْمُهَيَّبُ الْعَزِيزُ الْجَبَّارُ
الْمُتَكَبِّرُ سُبْحَانَ اللَّهِ عَمَّا يُشْرِكُونَ
﴿٢﴾ هُوَ اللَّهُ الْخَالِقُ الْبَارِئُ الْمُصَوِّرُ لَهُ
الْأَسْمَاءُ الْحُسْنَى يُسَبِّحُ لَهُ مَا فِي
السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْحَكِيمُ.
(آيات آخر سورة مبارکه حشر)



دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی هسته‌ای

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای - چرخه سوخت

بررسی پارامترهای فرایندی جذب زیستی اورانیوم توسط جلبک‌های قهوه‌ای
در یک ستون بستر ثابت

مرتضی قاسمی ترک آباد

اساتید راهنما:

دکتر سید جابر صفدری

(عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای)

دکتر علیرضا کشتکار

(عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای)

۱۳۸۸/۱۰/۲۰

استاد مشاور:

دکتر رضا دباغ

(عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای)

مرکز اطلاعات مدارات علمی نیزد
شهرت سوزنک

بهار ۱۳۸۸

۱۲۸۹۲۱



دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ
شماره
پوست

بسمه تعالی

شیراز ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین " صورتجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد " تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۵/۲۰۰/۸۶۹ مورخ ۱۳۸۸/۳/۱۷ جلسه هیات داوران ارزیابی پایان نامه آقای مرتضی قاسمی ترک آباد به شماره شناسنامه : ۱۲۷۶۲ صادره از : اردکان متولد: ۱۳۶۰ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد پیوسته/ناپیوسته رشته مهندسی هسته‌ای (جرخه سوخت) با عنوان:

بررسی پارامترهای فرایندی جذب زیتنی اورانیوم توسط جلیبک های قهوه ای در یک ستون بستر ثابت

به راهنمایی:

- ۱- آقای دکتر سید جابر صفدری
- ۲- آقای دکتر علیرضا کشتکار

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۳۱/۳/۱۳۸۸ تشکیل گردید و بر اساس رای هیات داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آیین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۵/۱۹ و درجه کلی مورد تصویب قرار گرفت.

- ۱- استاد راهنما: آقای دکتر سید جابر صفدری
- ۲- استاد راهنما: آقای دکتر علیرضا کشتکار
- ۳- استاد مشاور: آقای دکتر رضا دباغ
- ۴- داور داخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر امیر سعید شیرانی
- ۵- داور خارجی: آقای دکتر محمد صمدفام

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتیدی که در مقاطع مختلف تحصیلی افتخار شاگردی آنها را داشته‌ام؛ به ویژه جناب آقای دکتر سیدجابر صفدری، جناب آقای دکتر علیرضا کشتکار و جناب آقای دکتر رضا دباغ صمیمانه تشکر و قدردانی کرده؛ همچنین از کلیه دوستان و همکاران عزیزم در مرکز فناوری هسته‌ای سازمان انرژی اتمی به ویژه جناب آقای مهندس صالح آشوری، جناب آقای مهندس حسین دسته‌باشی و جناب آقای مهندس رسول مرادی که در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های خود دریغ نورزیده‌اند نیز تشکر می‌کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر
نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه
شهید بهشتی می‌باشد.

به قام خدا

نام و نام خانوادگی: مرتضی قاسمی ترک آباد

عنوان پایان نامه: بررسی پارامترهای فرایندی جذب زیستی اورانیوم توسط جلبک‌های قهوه‌ای در

یک ستون بستر ثابت

اساتید را **هنما**: دکتر سید جابر صفدری، دکتر علیرضا کشتکار، دکتر رضا دباغ

اینجانب مرتضی قاسمی ترک آباد تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد حاضر، خود را ملزم به حفظ امانت‌داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون Copyright می‌دانم. بدین وسیله اعلام می‌نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می‌باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول، و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانت‌داری را بصورت کامل رعایت نموده‌ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود؛ مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می‌باشد.

مرتضی قاسمی ترک آباد

امضاء و تاریخ



۱۳۹۰/۰۸/۰۵

تقدیم به:

پیشگاه مقدس امام دوازدهم شیعیان، صاحب‌الامر و العصر و الزمان، حجت بن الحسن المهدی ارواحنا لتراب مقدمه الفدا و آنان که زندگی را کلاس بندگی پروردگار می‌دانند و درس خوب زیستن را از معارف بلند و حیات‌بخش اسلام ناب محمدی می‌آموزند و خانواده‌ام که همیشه دعای خیر آنها بزرگ‌ترین پشتوانه‌ام در زندگی بوده است.

امید است که این تلاشی، مرضی خداوند متعال و حضرت ولی عصر عجل الله تعالی فرجه الشریف قرار گیرد.

خدایا از تو درخواست می‌کنم به حق این امام بزرگوار گشایش نزدیک راه، صبوری نیکو راه، پیروزی توام با عزت راه، بی‌نیازی از خلاق راه، دوام و استمرار در طریق هدایت را و توفیق بر آنچه تو دوست داری و رضایت تو در آن است.

چکیده

نام و نام خانوادگی: مرتضی قاسمی ترک آباد

عنوان پایان نامه: بررسی پارامترهای فرایندی جذب زیستی اورانیوم توسط جلبک‌های قهوه‌ای در یک ستون بستر ثابت

اساتید راهنما: دکتر سید جابر صفدری، دکتر علیرضا کشتکار، دکتر رضا دباغ

دانشگاه: شهید بهشتی

دانشکده: مهندسی هسته‌ای

رشته: مهندسی هسته‌ای

گرایش: چرخه سوخت

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ فراغت از تحصیل: خرداد ۱۳۸۸

کلید واژه: جذب زیستی، فلزات سنگین، اورانیوم، ستون بستر ثابت، جلبک قهوه‌ای، مدل‌سازی

این پژوهش جهت بررسی پارامترهای فرایندی جذب زیستی اورانیوم محلول در آب با استفاده از جاذب زیستی *Cystoseira indica* (گونه‌ای جلبک قهوه‌ای)، در یک ستون بستر ثابت انجام شده است. در این آزمایشات میزان جذب یون‌های اورانیوم با استفاده از زی‌توده طبیعی، پروتونه شده با HCl ۰/۱ مولار و آمایش شده با محلول ۰/۱ مولار یون کلسیم بررسی شد. بیشترین ظرفیت جذب مربوط به جاذب آمایش شده با یون کلسیم می‌باشد ($371/39 \text{ mg/g}$). همچنین در این پژوهش نشان داده شد که مکانیسم غالب در جذب زیستی اورانیوم توسط این زی‌توده، تبادل یون می‌باشد. اثر ارتفاع بستر، غلظت یون‌های اورانیوم در محلول ورودی و شدت جریان محلول ورودی به ستون بر روی ظرفیت جذب ستون نیز بررسی شد. افزایش ارتفاع بستر تاثیری بر روی میزان ظرفیت جذب ستون نداشت اما با افزایش غلظت یون اورانیوم در محلول ورودی به ستون، ظرفیت جذب افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج نشان داد که ستون جذب دارای یک شدت جریان بهینه می‌باشد. قابلیت احیای پذیری جاذب در سه سیکل جذب و دفع در دو سیستم ناپیوسته و پیوسته نیز بررسی شد. تطابق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده برای آزمایشات بررسی اثر ارتفاع، غلظت و شدت جریان محلول ورودی با نتایج پیش‌بینی شده به کمک مدل توماس، مدل یان و مدل بلتر بررسی شد. این مدل‌ها انطباق خیلی خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشتند. همچنین از مدل BDST جهت بدست آوردن ارتباط بین زمان سرویس با ارتفاع بستر استفاده شد که این مدل نیز تطابق قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی داشت.

فهرست مطالب

| عنوان | شماره صفحه |
|---|------------|
| فهرست مطالب..... | یک |
| فهرست جدول ها..... | پنج |
| فهرست شکل ها..... | هشت |
| فهرست علائم و نشانه ها..... | سیزده |
| فصل ۱- مقدمه..... | ۱ |
| ۱-۱- ضرورت تحقیق در زمینه حذف و بازیابی فلزات سنگین..... | ۱ |
| ۲-۱- هدف از تحقیق حاضر..... | ۲ |
| ۳-۱- ساختار گزارش..... | ۳ |
| فصل ۲- فناوری جذب زیستی..... | ۵ |
| ۱-۲- فلزات سنگین..... | ۵ |
| ۱-۱-۲- تهدید زیست محیطی فلزات سنگین..... | ۶ |
| ۲-۲- روش های مرسوم حذف فلزات سنگین از محلول های آبی..... | ۷ |
| ۱-۲-۲- ترسیب شیمیایی..... | ۸ |
| ۲-۲-۲- جذب سطحی و تبادل یون..... | ۸ |
| ۱-۲-۲-۲- جذب سطحی..... | ۹ |
| ۲-۲-۲-۲- تبادل یون..... | ۱۹ |
| ۳-۲-۲- فرایندهای غشایی..... | ۲۱ |
| ۱-۳-۲-۲- فرایندهای غشایی با نیروی محرکه الکتریکی..... | ۲۱ |
| ۲-۳-۲-۲- فرایندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف فشار..... | ۲۵ |
| ۴-۲-۲- تبخیر..... | ۲۷ |
| ۵-۲-۲- مقایسه کلی روش های مرسوم حذف فلزات سنگین از محلول های آبی..... | ۲۸ |
| ۳-۲- جذب زیستی..... | ۳۰ |
| ۱-۳-۲- مزیت ها و معایب جذب زیستی..... | ۳۲ |
| ۱-۱-۳-۲- مزایای جذب زیستی..... | ۳۲ |
| ۲-۱-۳-۲- معایب جذب زیستی..... | ۳۲ |
| ۲-۳-۲- مکانیسم جذب زیستی..... | ۳۳ |

| | |
|----|---|
| ۲۵ |انواع جاذب‌های زیستی |
| ۴۱ |حذف فلزات با استفاده از جلبک‌ها |
| ۴۶ |تجهیزات فرایندی جذب زیستی |
| ۴۷ |ستون‌های بستر سیال |
| ۴۸ |مخازن همزن دار |
| ۵۰ |ستون‌های بستر ثابت |
| ۵۲ |اصول جانبی ستون بستر ثابت |
| ۵۳ |مدل‌سازی عملکرد ستون جذب |
| ۵۴ |پژوهش در زمینه جذب زیستی |
| ۵۴ |جذب زیستی در حالت ناپیوسته |
| ۵۷ |جذب زیستی با استفاده از ستون بستر ثابت |

فصل ۳- مواد و روش‌ها

| | |
|----|---|
| ۶۰ |آماده‌سازی جاذب |
| ۶۱ |مواد شیمیایی |
| ۶۱ |ستون بستر ثابت مورد استفاده در آزمایشات |
| ۶۳ |شرایط انجام آزمایش |
| ۶۴ |تعیین غلظت اورانیوم محلول در آب |
| ۶۸ |مراحل انجام آزمایش |
| ۶۸ |بررسی تاثیر انجام فرایند آمایش کردن جاذب بر روی میزان جذب آن |
| ۶۸ |بررسی نوع مکانیسم جذب زیستی |
| ۶۹ |بررسی تغییرات در محلول خروجی از ستون |
| ۶۹ |آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) |
| ۷۲ |آنالیز طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) |
| ۷۳ |بررسی اثر ارتفاع بستر بر روی میزان جذب ستون |
| ۷۳ |بررسی اثر غلظت بر روی میزان جذب ستون |
| ۷۴ |بررسی اثر شدت جریان بر روی میزان جذب ستون |
| ۷۴ |بررسی احیاپذیری جاذب |
| ۷۴ |آزمایشات ناپیوسته |
| ۷۵ |آزمایشات پیوسته |

فصل ۴- نتایج و بحث و بررسی

| | |
|-----|---|
| ۷۶ | ۱-۴- سیستم آزمایشگاهی |
| ۷۹ | ۲-۴- نتایج بدست آمده از آزمایشات و بحث و بررسی آنها |
| ۷۹ | ۱-۲-۴- بررسی تاثیر انجام فرایند آمایش کردن جاذب بر روی میزان جذب آن |
| ۸۱ | ۲-۲-۴- بررسی نوع مکانیسم جذب زیستی |
| ۸۱ | ۱-۲-۲-۴- بررسی تغییرات در محلول خروجی از ستون |
| ۸۳ | ۲-۲-۲-۴- آنالیز FTIR |
| ۸۵ | ۳-۲-۲-۴- آنالیز XRF |
| ۸۷ | ۳-۲-۴- بررسی اثر ارتفاع بستر بر روی میزان جذب ستون |
| ۸۹ | ۴-۲-۴- بررسی اثر غلظت بر روی میزان جذب ستون |
| ۹۱ | ۵-۲-۴- بررسی اثر شدت جریان بر روی میزان جذب ستون |
| ۹۳ | ۶-۲-۴- بررسی احیای پذیری جاذب |
| ۹۳ | ۱-۶-۲-۴- آزمایشات ناپیوسته |
| ۹۵ | ۲-۶-۲-۴- آزمایشات پیوسته |
| ۹۸ | فصل ۵- مدل سازی فرایند جذب زیستی |
| ۹۸ | ۱-۵- درصد متوسط خطا |
| ۹۹ | ۲-۵- مدل توماس |
| ۹۹ | ۱-۲-۵- نتایج بدست آمده از مدل توماس |
| ۱۱۲ | ۳-۵- مدل یان |
| ۱۱۳ | ۱-۳-۵- نتایج بدست آمده از مدل یان |
| ۱۱۷ | ۴-۵- مدل بلتر |
| ۱۱۸ | ۱-۴-۵- نتایج بدست آمده از مدل بلتر |
| ۱۲۲ | ۵-۵- مدل BDST |
| ۱۲۲ | ۱-۵-۵- نتایج بدست آمده از مدل BDST |
| ۱۲۴ | فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات |
| ۱۲۴ | ۱-۶- نتیجه گیری |
| ۱۲۶ | ۲-۶- پیشنهادات |
| ۱۲۸ | پیوست ۱ - داده های بدست آمده از آزمایشات |
| ۱۳۵ | پیوست ۲- چکیده مقالات |

مراجع - ۱۳۸

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۴۳

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۴۵

فهرست جدول‌ها

| عنوان | شماره صفحه |
|---|------------|
| جدول ۱-۲: مقایسه وابستگی فناوری‌های مختلف به تعدادی از پارامترهای موثر..... | ۲۸ |
| جدول ۲-۲: گروه‌های عاملی اصلی موثر در جذب زیستی..... | ۳۵ |
| جدول ۳-۲: ظرفیت جذب بدست آمده برای یون‌های مختلف توسط جاذب‌های زیستی با منشا قارچ..... | ۳۸ |
| جدول ۴-۲: ظرفیت جذب بدست آمده جرای یون‌های مختلف توسط جاذب‌های زیستی با منشا باکتری..... | ۳۹ |
| جدول ۵-۲: ظرفیت جذب بدست آمده برای یون‌های مختلف توسط جاذب‌های زیستی با منشا گیاهی..... | ۴۰ |
| جدول ۶-۲: ظرفیت جذب بدست آمده برای یون‌های مختلف توسط جاذب‌های زیستی با منشا جلبک..... | ۴۰ |
| جدول ۷-۲: ظرفیت جذب فلزات مختلف توسط گونه‌هایی از جلبک قهوه‌ای..... | ۴۵ |
| جدول ۸-۲: ظرفیت جذب اورانیوم توسط تعدادی از جاذب‌های زیستی..... | ۵۷ |
| جدول ۱-۳: محدوده‌های آشکارسازی عناصر توسط دستگاه ICP-MS..... | ۶۷ |
| جدول ۲-۳: غلظت اورانیوم در پساب صنایع هسته‌ای موجود در کشور..... | ۷۴ |
| جدول ۱-۴: میزان کاهش وزن جاذب بر اثر فرایند آمایش..... | ۷۹ |
| جدول ۲-۴: ظرفیت جذب بدست آمده برای هر پنج نوع جاذب مورد استفاده در آزمایش بررسی تاثیر انجام فرایند آمایش کردن جاذب بر روی میزان جذب آن..... | ۷۹ |
| جدول ۳-۴: درصد جرمی عناصر مختلف در جاذب‌های طبیعی (a)، طبیعی اشباع شده با اورانیوم (b)، پروتونه شده (c)، پروتونه شده اشباع شده با اورانیوم (d)، آمایش شده با یون کلسیم در pH‌های ۲/۵ (e)، ۴ (g) و ۹/۷ (i) و اشباع شده با اورانیوم جاذب‌های آمایش شده با یون کلسیم در pH‌های ۲/۵ (f)، ۴ (h) و ۹/۷ (j)..... | ۸۶ |

- جدول ۴-۴: نتایج بدست آمده از سه سیکل جذب و دفع در حالت ناپیوسته ۹۴
- جدول ۵-۱: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی خطی توماس برای ستون های با ارتفاع بستر متفاوت ۱۰۴
- جدول ۵-۲: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی خطی توماس برای ستون های با غلظت ورودی متفاوت ۱۰۴
- جدول ۵-۳: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی خطی توماس برای ستون های با شدت جریان ورودی متفاوت ۱۰۴
- جدول ۵-۴: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی غیرخطی توماس برای ستون های با ارتفاع بستر متفاوت ۱۰۵
- جدول ۵-۵: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی غیرخطی توماس برای ستون های با غلظت ورودی متفاوت ۱۰۶
- جدول ۵-۶: ظرفیت جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی به همراه پارامترهای مربوط به مدل سازی غیرخطی توماس برای ستون های با شدت جریان ورودی متفاوت ۱۰۷
- جدول ۵-۷: نتایج آزمایشگاهی، مدل توماس و خطای نسبی آنها در آزمایش ستون با ارتفاع ۴/۵ cm ۱۰۸
- جدول ۵-۸: نتایج آزمایشگاهی، مدل توماس و خطای نسبی آنها در آزمایش ستون با ارتفاع ۵/۸ cm ۱۰۹
- جدول ۵-۹: پارامترهای مدل رابطه (۴-۵) بدست آمده از روش غیرخطی، برای ستون های با ارتفاع بستر متفاوت در ناحیه $C/C_0 < 0.2$ ۱۱۰
- جدول ۵-۱۰: نتایج آزمایشگاهی، مدل رابطه (۴-۵) و خطای نسبی آنها در آزمایش ستون با ارتفاع ۴/۵ cm مربوط به ناحیه $C/C_0 < 0.2$ ۱۱۰
- جدول ۵-۱۱: نتایج آزمایشگاهی، مدل رابطه (۴-۵) و خطای نسبی آنها در آزمایش ستون با ارتفاع ۵/۸ cm مربوط به ناحیه $C/C_0 < 0.2$ ۱۱۱
- جدول ۵-۱۲: پارامترهای مربوط به مدل یان برای ستون های با ارتفاع بستر متفاوت ۱۱۴

- جدول ۵-۱۳: پارامترهای مربوط به مدل یان برای ستون‌های با غلظت ورودی متفاوت.....۱۱۵
- جدول ۵-۱۴: پارامترهای مربوط به مدل یان برای ستون‌های با شدت جریان ورودی متفاوت.....۱۱۶
- جدول ۵-۱۵: پارامترهای مربوط به مدل بلتر برای ستون‌های با ارتفاع بستر متفاوت.....۱۱۹
- جدول ۵-۱۶: پارامترهای مربوط به مدل بلتر برای ستون‌های با غلظت ورودی متفاوت.....۱۲۰
- جدول ۵-۱۷: پارامترهای مربوط به مدل بلتر برای ستون‌های با شدت جریان ورودی متفاوت.....۱۲۱

فهرست شکل‌ها

| عنوان | شماره صفحه |
|---|------------|
| شکل ۱-۲: زنجیره غذایی و اثر تجمعی فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های انسان..... | ۷ |
| شکل ۲-۲: جذب تک مرحله‌ای..... | ۱۲ |
| شکل ۳-۲: جذب دو مرحله‌ای با جریان متقاطع..... | ۱۳ |
| شکل ۴-۲: جذب چند مرحله‌ای با جریان مخالف..... | ۱۳ |
| شکل ۵-۲: شماتیک مجاور کننده هیگینز..... | ۱۵ |
| شکل ۶-۲: موج جذب..... | ۱۷ |
| شکل ۷-۲: منحنی عبور و نحوه بدست آوردن ظرفیت جذب ستون..... | ۱۸ |
| شکل ۸-۲: نمودار شستن یک بستر ثابت اشباع شده..... | ۱۹ |
| شکل ۹-۲: شماتیک فرایند الکترودیالیز..... | ۲۲ |
| شکل ۱۰-۲: شماتیک یک سیستم الکترودیالیز صنعتی..... | ۲۳ |
| شکل ۱۱-۲: شماتیک یک سیستم EDI..... | ۲۴ |
| شکل ۱۲-۲: چگونگی فرایند اسمز مستقیم و اسمز معکوس..... | ۲۶ |
| شکل ۱۳-۲: هزینه نمک‌زدایی از آب به صورت تابعی از غلظت نمک..... | ۲۹ |
| شکل ۱۴-۲: فرایند جذب زیستی..... | ۳۳ |
| شکل ۱۵-۲: مکانیسم جذب زیستی فلزات سنگین..... | ۳۴ |
| شکل ۱۶-۲: فرایند تبدیل انواع مختلف زی‌توده‌های میکروبی خام به جاذب زیستی..... | ۳۷ |
| شکل ۱۷-۲: تفاوت در شکل ظاهری جلبک‌ها..... | ۴۲ |
| شکل ۱۸-۲: طبقه‌بندی جلبک‌های قهوه‌ای دارای اهمیت در مطالعات جذب زیستی..... | ۴۳ |

- شکل ۲-۱۹: ساختار دیواره سلولی در یک جلبک قهوه‌ای ۴۴
- شکل ۲-۲۰: شماتیکی از یک سیستم تصاس دهنده ستون بستر سیال ۴۸
- شکل ۲-۲۱: شماتیکی از مخازن همزن دار جریان مخالف به همراه جداسازی جامد از مایع در بین مراحل ۵۰
- شکل ۲-۲۲: شماتیکی از سیستم تصاس دهنده ستون بستر ثابت ۵۱
- شکل ۲-۲۳: منحنی عبور در ستون جذب، نقطه شکست، زمان سرویس و منطقه انتقال جرم ۵۳
- شکل ۳-۱: شماتیک سیستم آزمایشگاه هی مورد استفاده در آزمایشات (مخزن محلول ورودی (۱)، پمپ (۲)، نگاه‌دارنده (۳ و ۴)، بستر جاذب (۵)، مخزن جریان خروجی (۶) و ظروف نمونه‌گیری (۷)) ۶۳
- شکل ۳-۲: شماتیک فرایندهای اصلی دستگاه ICP-MS ۶۵
- شکل ۳-۳: شماتیکی از سیستم چهار قطبی جهت جداسازی ۶۶
- شکل ۴-۱: تصویری از سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده، شامل مخزن محلول ورودی (۱)، پمپ (۲)، ستون‌های جذب (۳ و ۴)، مخزن جریان خروجی (۵) و ظروف نمونه‌گیری (۶) ۷۷
- شکل ۴-۲: تصویر زی‌توده آماده شده جهت استفاده در ستون جذب ۷۸
- شکل ۴-۳: منحنی عبور بدست آمده برای ستون‌های با یک گرم جاذب طبیعی (a)، پروتونه شده با HCl ۰/۱ مولار (b) و آمایش شده با یون کلسیم در pHهای ۲/۵ (c)، ۴ (d) و ۹/۷ (e)، در شدت جریان ۲/۳ ml/min، غلظت ورودی ۰/۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۸۰
- شکل ۴-۴: pH جریان خروجی نسبت به حجم محلول خروجی از ستون با جاذب پروتونه شده با HCl ۰/۱ مولار ۸۲
- شکل ۴-۵: میزان یون کلسیم در جریان خروجی نسبت به حجم محلول خروجی از ستون با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pHهای ۲/۵ (a)، ۴ (b) و ۹/۷ (c) شکل ۴-۶: طیف FTIR جاذب‌های طبیعی (a)، پروتونه شده (c)، آمایش شده با یون کلسیم در pHهای ۲/۵ (e)، ۴ (g) و ۹/۷ (i) و اشباع شده با اورانیوم جاذب‌های ذکر شده به ترتیب (b)، (d)، (f)، (h) و (j) ۸۴
- شکل ۴-۷: نحوه اتصال یون‌های اورانیوم به جاذب ۸۵

شکل ۴-۸: منحنی عبور بدست آمده برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، با مقادیر ۱ (a)، ۱/۲۵ (b) و ۱/۷۵ (c) از جاذب و در شدت جریان ۲/۳ ml/min، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۸۸

شکل ۴-۹: منحنی عبور بدست آمده برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، در شدت جریان ۲/۳ ml/min، غلظت‌های ورودی ۰/۱۵ (a)، ۰/۲۵ (b) و ۰/۶۲۵ mmol/l (c) و pH برابر ۴ ۹۰

شکل ۴-۱۰: منحنی عبور بدست آمده برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، در شدت جریان‌های ورودی ۴/۶ (a)، ۲/۳ (b) و ۱/۱۵ ml/min (c)، غلظت ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۹۲

شکل ۴-۱۱: نتایج بدست آمده برای سه سیکل جذب (a، c و e) و دفع (b، d و f) متوالی، برای ستون با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، که در مراحل جذب از محلول اورانیوم با غلظت ۰/۲۵ mmol/l، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ و در مراحل دفع از محلول HCl ۰/۱ مولار و یا شدت جریان ۲/۳ ml/min استفاده شده است. ۹۶

شکل ۵-۱: فرم خطی مدل توماس برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۳/۳ (a)، ۴/۵ (b) و ۵/۸ cm (c)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ و همچنین نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش خطی برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۲/۳ (d)، ۴/۵ (e) و ۵/۸ cm (f)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۰۱

شکل ۵-۲: فرم خطی مدل توماس برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با غلظت‌های ۰/۱۵ (a)، ۰/۳۵ (b) و ۱/۲۵ mmol/l (c)، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ و همچنین نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش خطی برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با غلظت‌های ۰/۱۵ (d)، ۰/۳۵ (e) و ۱/۲۵ mmol/l (f)، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۰۲

شکل ۵-۳: فرم خطی مدل توماس برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با شدت جریان‌های ۴/۶ (a)، ۲/۳ (b) و ۱/۱۵ ml/min (c)، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ و همچنین نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش خطی برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در

شکل ۴-۴: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش غیرخطی برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۳/۳ (a)، ۴/۵ (b) و ۵/۸ cm (c)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l و شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ و غلظت ورودی ۱/۱۵ ml/min (f)، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۱۰۳

شکل ۴-۵: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش غیرخطی برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۳/۳ (a)، ۴/۵ (b) و ۵/۸ cm (c)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l و شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۰۵

شکل ۴-۵: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش غیرخطی برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با غلظت‌های ۰/۵ (a)، ۰/۲۵ (b) و ۰/۱۲۵ mmol/l (c)، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۰۶

شکل ۴-۶: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل توماس بدست آمده از روش غیرخطی برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با شدت جریان‌های ۴/۶ (a)، ۲/۳ (b) و ۱/۱۵ ml/min (c)، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۱۰۷

شکل ۴-۷: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل رابطه (۴-۵) بدست آمده از روش غیرخطی در ناحیه $C/C_0 < 0.2$ برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۴/۵ (a) و ۵/۸ cm (b)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l و شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۱۰

شکل ۴-۸: مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی بدست آمده برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۴/۵ (a) و ۵/۸ cm (b) و d، در شدت جریان ۲/۳ ml/min و غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ با نتایج بدست آمده از مدل توماس با استفاده از پارامترهای بدست آمده از مدل توماس و به روش خطی (a) و (b) و روش غیرخطی (c) و (d) برای ستون با ارتفاع جاذب ۳/۳ cm و شدت جریان، غلظت و pH مشابه ستون‌های فوق ۱۱۲

شکل ۴-۹: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل یان برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۳/۳ (a)، ۴/۵ (b) و ۵/۸ cm (c)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l و شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۱۴

شکل ۴-۱۰: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل یان برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با غلظت‌های ۰/۱۲۵ (a)، ۰/۲۵ (b) و ۰/۵ mmol/l (c)، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۱۵

(بازده)

شکل ۵-۱۱: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل یان برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با شدت جریان‌های ۴/۶ (a)، ۲/۳ (b) و ۱/۱۵ ml/min (c)، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۱۱۶

شکل ۵-۱۲: ارتباط بین پارامتر a و ارتفاع بستر جاذب ۱۱۷

شکل ۵-۱۳: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل بلتر برای ستون‌های با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و ارتفاع جاذب ۳/۳ (a)، ۴/۵ (b) و ۵/۸ cm (c)، محلول ورودی با غلظت ۰/۲۵ mmol/l، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۱۹

شکل ۵-۱۴: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل بلتر برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با غلظت‌های ۰/۵ (a)، ۰/۲۵ (b) و ۰/۱۲۵ mmol/l (c)، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ ۱۲۰

شکل ۵-۱۵: نتایج آزمایشگاهی به همراه نتایج حاصل از مدل بلتر برای ستون‌های با یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴، محلول ورودی با شدت جریان‌های ۴/۶ (a)، ۲/۳ (b) و ۱/۱۵ ml/min (c)، غلظت ورودی ۰/۲۵ mmol/l و pH برابر ۴ ۱۲۱

شکل ۵-۱۶: زمان سرویس بر حسب ارتفاع بستر و تطابق خط راست با داده‌های بدست آمده از آزمایش بررسی اثر ارتفاع بستر بر میزان جذب ۱۲۳