

## حذف و بازیابی اورانیوم محلول در آب با استفاده از فناوری جذب زیستی

مرتضی قاسمی ترک آباد<sup>۱</sup>، علیرضا کشتکار<sup>۲\*</sup>، سید جابر صفدری<sup>۲</sup>، رضا دباغ<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده مهندسی هسته ای

۲- سازمان انرژی اتمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای - پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای

۳- سازمان انرژی اتمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای - پژوهشکده علوم هسته ای

### چکیده

اورانیوم از مهم ترین آلاینده های موجود در پساب صنایع هسته ای می باشد. این پژوهش جهت بررسی عملکرد فرایند جذب زیستی اورانیوم محلول در آب با استفاده از *Cystoseira indica* (گونه ای جلبک قهوه ای)، در یک ستون بستر ثابت انجام شده است. مکانیسم غالب در جذب زیستی اورانیوم توسط این زی توده، تبادل یون بوده و بیشترین ظرفیت جذب مربوط به جاذب کلسینه شده می باشد ( $371/39 \text{ mg/g}$ ). اثر ارتفاع بستر، غلظت و شدت جریان محلول ورودی به ستون بر روی ظرفیت جذب و قابلیت احیاء پذیری جاذب بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که فناوری جذب زیستی می تواند یکی از روش های کاربردی در زمینه حذف و بازیابی اورانیوم از محلول های آبی باشد.

**کلید واژه:** جذب زیستی، اورانیوم، ستون بستر ثابت، فلزات سنگین، *Cystoseira indica*

### ۱- مقدمه

با توجه به گستردگی انواع پساب های هسته ای و حضور انواع فلزات سنگین در آنها، برای تصفیه این پساب ها از روش های مختلفی استفاده شده است. فناوری های مرسوم جهت کاهش آلودگی ناشی از فلزات سنگین عموماً شامل یکی و یا ترکیبی از روش های تبخیر، رسوب دهی شیمیایی، جذب سطحی، تبادل یون و فرایندهای غشایی می باشد [۱]. در انتخاب یک روش جهت تصفیه پساب مورد نظر می بایست پارامترهای مختلفی نظیر هزینه اولیه تجهیزات مورد استفاده، هزینه بهره برداری از فرایند، به حداقل رساندن حجم پسمان باقی مانده و ... مورد توجه قرار گیرد تا فرایند تصفیه مورد نظر هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست محیطی معیارهای قابل قبولی داشته باشد [۲ و ۳]. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از مواد بیولوژیکی یک گزینه مناسب هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی جهت حذف و بازیابی فلزات سنگین از محلول های آبی می باشد که به این فناوری، جذب زیستی می گویند. جذب زیستی یک خاصیت از انواع مشخصی از زی توده های میکروبی غیرزنده جهت جذب و تغلیظ یون های فلزات سنگین از محلول آبی خیلی رقیق آنها می باشد [۱]. به طور خلاصه مزایای اصلی این فناوری شامل مواردی نظیر داشتن بازدهی بالا در غلظت های پایین فلز، عملکرد در دامنه وسیعی از دما و pH، بازیافت آسان جاذب های زیستی، وجود منابع ارزان و در دسترس برای زی توده ها، هزینه پایین فرایند جذب و بازیافت فلز، انتخاب پذیری بالا در

جذب و عدم تولید لجن می‌باشد [۱ و ۴]. باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و بعضی از گیاهان از جمله انواع مختلف زی‌توده‌هایی می‌باشند که پتانسیل مناسبی برای جذب فلزات سنگین دارند [۱]. در اغلب فرایندهای جداسازی و خالص‌سازی که از فناوری جذب استفاده می‌کنند، از یک ستون بستر ثابت با جریان پیوسته استفاده می‌شود. با تجزیه و تحلیل غلظت‌های خروجی از ستون در مقابل زمان یا حجم خروجی از ستون، کارایی یا عملکرد ستون بستر ثابت بدست می‌آید [۵ و ۶]. لذا هدف از این پژوهش مطالعه بر روی حذف و بازیابی یون‌های اورانیوم (مهم‌ترین فلز سنگین موجود در پساب‌های صنایع هسته‌ای) توسط زی‌توده *Cystoseira indica* که یکی از گونه‌های جلبک قهوه‌ای می‌باشد، در یک ستون بستر ثابت بوده است.

## ۲- روش کار

جاذب زیستی که در این آزمایش از آن استفاده شد از نوع جلبک قهوه‌ای با نام *Cystoseira indica* است که از سواحل خلیج فارس جمع‌آوری شده است. ابتدا توسط آب معمولی شسته و در نور آفتاب کاملاً خشک شد سپس در یک هاون آزمایشگاهی خرد و با استفاده از الک‌های استاندارد مش‌بندی شد. در ادامه زی‌توده توسط آب بدون یون جهت حذف ماسه‌ها و دیگر ناخالصی‌ها شسته شد و جهت خشک شدن به مدت ۱۲ ساعت در یک آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خشک شدن دوباره مش‌بندی (۱-۲ mm) شد. تا این مرحله جاذب زیستی طبیعی جهت آزمایش‌ها آماده شده است (شکل ۱). جهت



شکل ۱- تصویر زی‌توده آماده شده

آماده‌سازی جاذب پروتونه شده با اسید مقداری از این زی‌توده طبیعی شکل ۱- تصویر زی‌توده آماده شده با اسید شده را جهت اشباع محل‌های جذب آن با یون‌های هیدروژن، در محلول HCl ۰/۱ مولار و با غلظت ۱۰ گرم زی‌توده به یک لیتر محلول و به مدت سه ساعت داخل شیکر با ۱۵۰ rpm و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس جهت حذف یون‌های اضافی هیدروژن، با مقدار زیادی آب بدون یون شستشو داده شد و جهت خشک شدن، زی‌توده را به مدت ۱۲ ساعت در یک آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. همچنین برای آماده کردن جاذب آمایش شده با نمک کلرید کلسیم، مقداری از زی‌توده طبیعی آماده شده را در محلول ۰/۱ مولار  $\text{CaCl}_2$  و با pH مورد نظر (۲/۵، ۴ و ۹/۷) و با غلظت ۱۰ گرم زی‌توده به یک لیتر محلول و به مدت سه ساعت داخل شیکر با ۱۵۰ rpm و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس جهت حذف یون‌های اضافی کلسیم، با مقدار زیادی آب بدون یون شستشو داده و جهت خشک شدن، به مدت ۱۲ ساعت در یک آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. تمام محلول‌های آزمایشی از مواد خالص آزمایشگاهی تهیه شد. محلول‌ها با استفاده از آب بدون یون و نمک نیترات اورانیل  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ساخته شد. pH محلول‌ها با استفاده از HCl ۰/۱ مولار و NaOH ۰/۱ مولار و به وسیله یک pH متر در مقادیر دلخواه تنظیم شد. غلظت اورانیوم محلول با استفاده از دستگاه ICP اندازه‌گیری شد.

ستون بستر ثابت با جریان پیوسته‌ای که در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت شامل لوله شیشه‌ای به قطر داخلی ۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، دو عدد نگه‌دارنده که هر کدام شامل یک توری پلاستیکی به قطر



۱/۵ سانتی‌متر و یک استوانه پلاستیکی به قطر خارجی ۱/۵ و قطر داخلی ۱/۳ و ارتفاع ۱ سانتی‌متر هستند، دو عدد چوب پنبه که با سوراخ کردن آن‌ها لوله‌های شیشه‌ای به قطر شیلنگ‌های ورودی و خروجی محلول از آن‌ها عبور داده شده است، پمپ جهت به جریان انداختن مایع بر روی بستر جاذب که از نوع Peristaltic (مدل 205U ساخت شرکت Watson Marlow Pumps)

می‌باشد، پایه نگه‌دارنده ستون، مخزن ورودی و خروجی و شکل ۲- تصویری از سیستم آزمایشگاهی شیلنگ‌های مربوط به برقراری جریان مایع می‌باشد (شکل ۲). مورد استفاده

آزمایش‌ها در دمای محیط انجام شد. جهت بررسی عملکرد جاذب، مقدار مورد نظر از جاذب داخل ستون ریخته شد. محلول ورودی به ستون‌ها دارای pH برابر ۴ که بهینه بدست آمده در حالت ناپیوسته می‌باشد [۷]، است که توسط پمپ به ستون تزریق و در زمان‌های مختلف از خروجی از ستون نمونه گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی تاثیر انجام فرایند آمایش کردن جاذب بر روی میزان جذب آن

جهت بررسی عملکرد ستون و میزان جذب هر پنج نوع جاذب (جاذب طبیعی، پروتونه شده و کلسینه شده در pHهای ۲/۵، ۴ و ۹/۷)، از یک گرم از هر جاذب به صورت جداگانه درون ستون جذب استفاده شد و میزان غلظت محلول خروجی از ستون‌ها در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد (محلول ورودی دارای غلظت ۰/۵ mM و شدت جریان ۲/۳ ml/min بود) و با استفاده از این نتایج، ظرفیت جذب هر کدام از جاذب‌ها محاسبه شد. میزان جذب بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی برای این پنج نوع جاذب نشان دهنده قابلیت جذب بیشتر جاذب آمایش شده با یون کلسیم نسبت به جاذب طبیعی و پروتونه شده می‌باشد. علت اینکه فرایند پروتونه کردن باعث کاهش ظرفیت جذب زی‌توده شد این است که محلول اسیدی که برای پروتونه کردن از آن استفاده شد باعث تخریب بخشی از لایه بیرونی دیواره سلولی جلبک که با توجه به ویژگی‌های آن نقش موثری در جذب یون‌های فلزی دارد، شده است. لازم به ذکر است که فرایند پروتونه کردن باعث کاهش وزن جلبک به میزان ۲۶٪ می‌شود. اما علت افزایش ظرفیت جذب جاذب زیستی در اثر آمایش کردن با یون کلسیم این است که وقتی جاذب در تماس با محلول حاوی مقادیر زیادی یون کلسیم قرار می‌گیرد، یون‌های کلسیم باعث فعال شدن جایگاه‌های پیوندی جاذب می‌شود. همچنین یون‌های کلسیم جایگزین کاتیون‌های موجود در جایگاه‌های پیوندی زی‌توده شده و در مرحله جذب اورانیوم این یون‌های

کلسیم راحت تر با یون های اورانیوم تبادل می شوند. از بین جاذب هایی که با یون کلسیم در pH های مختلف آمایش شده است، بالاترین جذب مربوط به جاذب آمایش شده در pH برابر ۴ می باشد (۳۷۱/۳۹ mg/g).

### ۲-۳- بررسی نوع مکانیسم جذب زیستی

با اندازه گیری pH محلول خروجی از ستون با جاذب پروتونه شده و همچنین میزان یون کلسیم در جریان محلول خروجی از ستون با جاذب کلسینه شده، مشخص می شود که سرعت جذب فلز اورانیوم متناسب با جایگزینی یون  $H^+$  و کلسیم می باشد. لذا این مشاهده بیان می کند که مکانیسم اصلی جذب زیستی اورانیوم توسط این جاذب تبادل یون می باشد. همچنین انجام آزمایش XRF بر روی جاذب های طبیعی، پروتونه شده و کلسینه شده قبل و بعد از اشباع شدن با اورانیوم نیز تاییدکننده این موضوع می باشد.

### ۳-۳- بررسی اثر ارتفاع بستر بر روی میزان جذب ستون

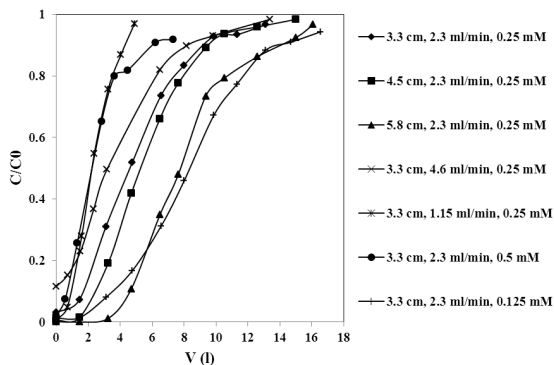
جهت بررسی اثر ارتفاع بستر جاذب و یا همان مقدار جاذب استفاده شده، بر روی عملکرد و میزان جذب ستون، آزمایشی با استفاده از جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ و در سه مقدار ۱، ۱/۲۵ و ۱/۷۵ انجام شد، که ارتفاع های بستر بدست آمده با مقادیر آورده شده برای جاذب برابر ۳/۳، ۴/۵ و ۵/۸ cm می باشد. شدت جریان محلول عبوری از بستر جاذب ۲/۳ ml/min و غلظت آن برابر ۰/۲۵ mM بود. هر سه منحنی عبور بدست آمده از انجام این آزمایش در شکل ۳ آورده شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده، ظرفیت جذب برای ستون ها با ارتفاع های ۳/۳، ۴/۵ و ۵/۸ cm به ترتیب برابر ۳۱۵/۴۳، ۳۱۰/۲۳ و ۳۱۸/۱۵ mg/g بدست آمد. گفتنی است در یک ستون با افزایش ارتفاع بستر جاذب، افت فشار در طول بستر بیشتر شده و برای به جریان انداختن سیال بر روی بستر نیاز به انرژی بیشتری می باشد همچنین اگر در یک ستون بستر ثابت جذب، شدت جریان سیال داخل ستون به میزانی باشد که زمان ماند کافی برای یون ها فراهم نشود در این صورت با افزایش طول بستر (میزان جاذب) به نوعی زمان ماند یون ها داخل بستر زیاد شده و احتمال اینکه یون های داخل سیال به سطح جاذب برسند و با جایگاه های فعال جاذب پیوند برقرار کنند نیز افزایش می یابد لذا انتقال جرم زیاد می شود. ولی اگر شدت جریان به اندازه ای باشد که زمان ماند کافی برای یون ها جهت اتصال به جایگاه های فعال موجود بر روی جاذب وجود داشته باشد در این صورت با افزایش طول بستر تغییری در ظرفیت جذب ستون ایجاد نمی شود [۱]. البته این موضوع در صورتی برقرار است که ارتفاع بستر بزرگتر از ارتفاع ناحیه انتقال جرم باشد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که ظرفیت جذب ستون های مورد آزمایش به میزان جاذب بستگی ندارد لذا می توان به این نتیجه رسید که زمان ماند در ستون های مورد نظر مناسب می باشد و یون ها زمان کافی برای اتصال با جایگاه های فعال موجود بر روی سطح جاذب را دارند. همچنین از نتایج بدست آمده مشخص می شود که با افزایش طول بستر جاذب، زمان ایجاد نقطه شکست و اشباع کامل در منحنی عبور افزایش می یابد که این نتیجه منطقی افزایش ارتفاع بستر می باشد.

### ۳-۴- بررسی اثر غلظت بر روی میزان جذب ستون

جهت بررسی اثر غلظت ورودی به ستون بر میزان جذب، آزمایش در سه غلظت ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ mM و با استفاده از یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ انجام شد. شدت جریان محلول ورودی ۲/۳ ml/min بود. هر سه منحنی عبور بدست آمده از انجام این آزمایش در شکل ۳ آورده شده است. میزان ظرفیت جذب بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی برای غلظت‌های ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ به ترتیب برابر ۳۷۱/۳۹، ۳۱۵/۴۳ و ۲۶۶/۶۱ mg/g می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که هر چه غلظت یون فلزی در محلول ورودی به ستون کمتر باشد، ظرفیت جذب ستون نیز کمتر می‌شود اما زمان رسیدن به نقطه شکست و نقطه اشباع کامل افزایش می‌یابد. فرایند جذب شامل دو مرحله می‌شود که مرحله اول آن انتقال یون فلز از توده سیال به سطح جاذب می‌باشد. علت اینکه با رقیق شدن محلول ورودی به ستون، ظرفیت جذب ستون کاهش پیدا می‌کند بر می‌گردد به اینکه عامل انتقال جرم بین جاذب و سیال و یا به نوعی نیروی محرکه انتقال جرم در این مرحله، اختلاف غلظت بین سیال و جاذب می‌باشد لذا در محلول رقیق‌تر، نیروی محرکه انتقال جرم کمتر، بنابراین میزان انتقال جرم کمتر و در نتیجه منطقی از این پدیده ظرفیت جذب کمتر می‌باشد. همچنین با رقیق شدن محلول ورودی به ستون، جایگاه‌های پیوندی موجود در سطح جاذب دیرتر توسط یون‌های موجود در محلول اشغال شده و جاذب دیرتر اشباع می‌شود لذا زمان رسیدن به نقطه شکست و اشباع کامل افزایش می‌یابد. البته در غلظت‌های خیلی بالا دیگر تغییر در غلظت، تاثیری بر روی ظرفیت جذب و زمان رسیدن به حالت اشباع نخواهد داشت.

### ۳-۵- بررسی اثر شدت جریان بر روی میزان جذب ستون

جهت بررسی اثر شدت جریان محلول عبوری از ستون بر روی میزان جذب ستون، آزمایش‌ها در سه شدت جریان ۱/۱۵، ۲/۳ و ۴/۶ ml/min و با استفاده از یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ انجام شد. هر سه منحنی عبور بدست آمده از انجام این آزمایش در شکل ۳ آورده شده است. میزان ظرفیت جذب بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی برای شدت جریان‌های ۱/۱۵، ۲/۳ و ۴/۶ ml/min به ترتیب برابر ۱۶۸/۴۳، ۳۱۵/۴۳ و ۳۰۸/۰۷ mg/g می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که با کاهش شدت جریان محلول عبوری از بستر از ۲/۳ به ۱/۱۵ ml/min از میزان ظرفیت جذب ستون کاسته می‌شود و همچنین با افزایش شدت جریان از ۲/۳ به ۴/۶ ml/min از میزان ظرفیت ستون کاسته می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد فرایند جذب شامل دو مرحله می‌شود که مرحله اول آن انتقال یون فلز از توده سیال به سطح جاذب می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش سرعت این مرحله و یا به نوعی کاهش مقاومت به انتقال جرم در این مرحله، به هم زدن محلول می‌باشد. در ستون‌های بستر ثابت جهت کاهش مقاومت به انتقال جرم در این مرحله، شدت جریان عبوری محلول از روی بستر را افزایش می‌دهند تا با ایجاد جریان متلاطم بر روی ذرات جامد باعث افزایش ضریب انتقال جرم شود. البته ناگفته نماند که افزایش شدت جریان باعث کاهش زمان ماند ذرات جذب شونده در ستون شده و باعث کاهش احتمال اینکه یک ذره از توده سیال



شکل ۳- منحنی شکست بدست آمده برای ستون‌ها با جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ در ارتفاع، غلظت و شدت جریان‌های متفاوت

به سطح جامد برسد، می‌شود. لذا دو پارامتر افزایش شدت جریان (افزایش به هم زدن محلول و ایجاد جریان متلاطم) و افزایش زمان ماند بر عکس همدیگر باعث افزایش انتقال جرم و افزایش ظرفیت جذب ستون می‌شوند بنابراین با بررسی این دو پارامتر می‌توان به یک مقدار بهینه برای شدت جریان و یا همان زمان ماند رسید که با توجه به نتایج آزمایشگاهی برای ستون مورد آزمایش، شدت جریان ۲/۳ ml/min مقدار بهینه می‌باشد.

### ۳-۶- بررسی احیاپذیری جاذب

در این بخش از آزمایش‌ها، از روش ناپیوسته جهت انتخاب بهترین عامل احیای جاذب اشباع شده و همچنین بررسی اثر احیا بر روی میزان جذب و قابلیت بازیابی جاذب، استفاده شد. نحوه انجام آزمایش‌های ناپیوسته به این صورت بود که پنج ارلن ۲۵۰ ml انتخاب شد و در هر کدام ۰/۳ g جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ ریخته شد و سه مرحله جذب و دفع بر روی این جاذب اعمال شد. برای مراحل جذب از محلول حاوی اورانیوم با غلظت ۰/۲۵ mM و pH برابر ۴ و به میزان ۱۰۰ ml و برای مراحل دفع از محلول‌های آب مقطر، محلول اسید کلریدریک ۰/۱ مولار، محلول اسید استیک ۰/۱ مولار، محلول کلرید کلسیم ۰/۱ مولار و محلول کلرید سدیم ۰/۱ مولار و به میزان ۱۰۰ ml استفاده شد. مرحله جذب به مدت ۴/۵ ساعت و مرحله دفع به مدت ۰/۵ ساعت و در یک شیکر با دور ۱۵۰ rpm و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. گفتمنی است بعد از هر مرحله، جاذب‌ها با ۲۵۰ ml آب مقطر شستشو داده شدند. نتایج نشان داد که از بین پنج محلول شیمیایی انتخاب شده، محلول اسید کلریدریک ۰/۱ مولار بهترین عامل احیاکننده برای جاذب می‌باشد و مابقی محلول‌های شیمیایی مورد استفاده درصد دفع بسیار پایینی دارند. انجام سه سیکل جذب و دفع متوالی که از محلول اسید کلریدریک ۰/۱ مولار به عنوان عامل احیاکننده استفاده شد، هیچ‌گونه تغییری در ظرفیت جذب جاذب ایجاد نکرد. همچنین در سه سیکل جذب و دفع متوالی تغییر خاصی در درصد دفع این عامل احیاکننده (حدود ۸۰ درصد) نیز ایجاد نشد. احیاپذیری جاذب در حالت پیوسته نیز بررسی شد. با توجه به نتایج بدست آمده در آزمایش‌های ناپیوسته، محلول HCl ۰/۱ مولار به عنوان بهترین عامل احیاکننده جاذب اشباع شده با اورانیوم شناخته شد لذا در این مرحله از این محلول به عنوان عامل احیاکننده استفاده شد و سه سیکل جذب و دفع متوالی در داخل ستون جذب بر روی یک گرم جاذب آمایش شده با یون کلسیم در pH برابر ۴ انجام شد. در مراحل جذب از محلول اورانیوم با غلظت ۰/۲۵ mM، شدت جریان ۲/۳ ml/min و pH برابر ۴ و برای مراحل دفع از محلول HCl ۰/۱ و با شدت جریان ۲/۳ ml/min

استفاده شد. گفتنی است بعد از هر مرحله، ستون به مدت نیم ساعت با آب مقطر و با دبی  $2/3 \text{ ml/min}$  شستشو داده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که ظرفیت جذب جاذب در مراحل اول، دوم و سوم جذب به ترتیب  $315/43$ ،  $270/34$  و  $248/61 \text{ mg/g}$  می باشد و همچنین بازده حذف توسط محلول احیاکننده برای مراحل اول، دوم و سوم دفع به ترتیب برابر  $84$ ،  $98$  و  $100$  درصد می باشد.

#### ۴- نتیجه گیری نهایی

از نتایج این پژوهش مشخص می شود که جذب زیستی اورانیوم توسط جلبک قهوه ای *Cystoseira indica* در یک ستون بستر ثابت یک فناوری کارآمد و اقتصادی جهت حذف یون های فلزی از محلول ها است. این زی توده جهت این کار همانند یک تبادل یون رفتار می کند و امکان بازیابی اورانیوم جذب شده و احیای این جاذب نیز میسر می باشد.

#### مراجع

- [1] Ahluwalia, S. S. and Goyal, D., Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 98: 2243–2257, (2007).
- [2] International Atomic Energy Agency, Application of Membrane Technologies for Liquid Radioactive Waste Processing. Technical Reports Series No. 431, Vienna, (2004).
- [3] Chatterjee, N., Biosorption of cadmium by fungi. Submitted as a major project in partial fulfillment of the requirements for the award of degree of Master of Science in Biotechnology, Department of Biotechnology & Environmental Sciences (Deemed University), (2006).
- [4] Volesky, B., Sorption and Biosorption, BV Sorbex, Inc., Canada, (2003).
- [5] Valdman, E., Erijman, L., Pessoa, F.L.P. and Leite, S.G.F., Continuous biosorption of Cu and Zn by immobilized waste biomass *Sargassum* sp.. *Process Biochemistry*, 36: 869–873, (2001).
- [6] Senthilkumar, R., Vijayaraghavan, K., Thilakavathi, M., Iyer, P.V.R. and Velan, M., Seaweeds for the remediation of wastewaters contaminated with zinc(II) ions. *J. Hazard. Mater.*, 136: 791–799, (2006).
- [7] Khani, M. H., Keshtkar, A. R., Meysami, B., Zarea, M. F., Jalali, R., Biosorption of uranium from aqueous solutions by nonliving biomass of marine algae *Cystoseira indica*. *Elec. J. Biotechnol.*, 9: 100-106, (2006).