

بررسی جذب هسته پرتوزای ^{226}Ra موجود در آب به وسیله جلبک سبز منطقه‌ای رامسر

مجتبی اسکندری خرم‌آبادی^۱، منصور جعفری‌زاده^{۱*}، شادی فراهانی‌اقدم^۱، مرضیه موذن^۱، محمدجواد عفاف^۱ و اسد باباخانی^{۱،۲}

^۱ امور حفاظت در برابر اشعه ی کشور، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

^۲ گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتوی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

* تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، امور حفاظت در برابر اشعه کشور، کدپستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

پست الکترونیک: mjafarizadeh@aeoi.org.ir

چکیده

در این پژوهش، اثر بیولوژیکی جلبک سبز بر کاهش موجودی ^{226}Ra در ۵ نوع نمونه آبگرم معدنی منطقه رامسر بررسی شده و جذب‌کننده مورد استفاده از نوع جلبک سبز بومی منطقه بوده است. برای حذف یون‌های مزاحم و افزایش توان جذب سلولی جلبک مورد نظر، استفاده از محلول نمک آزمایشگاهی (NaCl) یک مولار برای آمایش جلبک به کار گرفته شده و اندازه‌گیری پرتوزایی نمونه‌ها قبل و بعد از فرایند جذب ^{226}Ra با استفاده از دستگاه بیناب‌سنجی ژرمانیم خلوص بالا انجام شده است. مقدار جلبک برای هر نمونه آب ۳ g/lit انتخاب شده و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جذب، بیشترین مقدار جذب را در غلظت رادیوم حدود 30 Bq/lit در زمان تعادل ۴ ساعت داشته است. سپس به دلیل اشباع شدن جلبک‌ها، با افزایش مقدار رادیوم، درصد جذب یا آهنگ جذب، کاهش می‌یابد. ضمناً به دلیل تأثیر مستقیم دما بر روی جذب، تمامی فرایندها در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، توسط دستگاه همزن مغناطیسی که برای فرایند تداخل جلبک و نمونه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، ثابت نگه داشته شده است.

کلیدواژگان: رادیوم-۲۲۶، جذب سلولی، جلبک سبز، آمایش جاذب، بیناب‌سنج ژرمانیم خلوص بالا، HpGe، رامسر.

۱. مقدمه

رادیوم و توریم موجود در صخره‌ها در آب گرم حل می‌شوند و وقتی آب‌های زیرزمینی به سطح چشمه می‌رسند، رادیونوکلیدها را به سطح زمین می‌آورند [۱-۳].

آب یکی از مهم‌ترین منابع محیط زیست بوده و بررسی آلاینده‌های پرتوزا در آن، همواره مورد توجه سازمان‌های جهانی و ملی است. آب خروجی از چشمه‌های رامسر، برای آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود عناصر پرتوزا در آب می‌تواند از طریق محصولات غذایی وارد زنجیره غذایی مردم شود. پرتوگیری درازمدت از هسته‌های پرتوزای موجود در آب ممکن است خطر ابتلا به انواع سرطان، بیماری‌های استخوانی و کم‌خونی را افزایش دهد [۱-۳]. برای

چشمه‌های آب معدنی و گوگردی رامسر از دیرباز به‌عنوان آب‌گرم شناخته شده و برای درمان رماتیسم، دردهای عصبی و عضلانی و بیماری‌های پوستی نزد عامه مردم مشهور است و اولین بار وجود پرتوزایی آن توسط مهندسان وزارت صنایع و معادن در سال ۱۹۶۱ میلادی تأیید شد [۱].

دلیل عمده پرتوزایی طبیعی بالا در منطقه رامسر، وجود میزان بالای هسته‌های پرتوزای توریم، رادیوم و محصولات واپاشی آن‌هاست که از طریق چشمه‌های آب گرم به سطح زمین می‌رسند. آب‌های معدنی منطقه توسط فعالیت‌های زیرزمینی گرم می‌شوند و از میان صخره‌های آذرین و آتش‌فشانی عبور می‌کنند.

آن‌ها نظیر رادیوم بررسی شده است، انجام شد. سپس آماده‌سازی جلبک‌ها به‌منظور حذف یون‌های مزاحم از سطح جاذب صورت گرفت. بدین ترتیب که ابتدا جاذب توسط آب معمولی شسته شد و در نور آفتاب خشک گردید. سپس با استفاده از هاون آزمایشگاهی، خرد و از الک ۱ تا ۲ میلی‌متری عبور داده شد. آنگاه با آب دی‌یونیزه شسته و در آن به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و مجدداً مش‌بندی گردید. در مرحله نهایی، جاذب با محلول یک مولار NaCl به غلظت ۱۰ گرم بر لیتر، به مدت ۲۴ ساعت در میکسر مغناطیسی ۱۷۵ دور در دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس جاذب برای حذف یون‌های اضافی با مقدار زیادی آب دی‌یونیزه شده شسته و جهت خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در کوره‌ای با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت [۱].

پس از گذشت ۲۱ روز از نمونه‌برداری و ایجاد تعادل بین گاز رادون و دخترانش، رادیوم و سایر رادیونوکلیدهای موجود در نمونه‌ها در ظروف استاندارد یک لیتری مارینلی، با استفاده از دستگاه بیناب‌سنگ ژرمانیوم خلوص بالا (HPGe) به مدت زمان ۶۰۰۰۰ ثانیه شمارش شد. سپس ۳ گرم جاذب به‌ازای هر لیتر به نمونه‌ها اضافه شده و به مدت ۴ ساعت بر روی دستگاه میکسر مغناطیسی قرار داده شد. جلبک موجود در نمونه‌ها با عبور از کاغذ صافی جدا شده و آنگاه آب صاف‌شده برای اندازه‌گیری دوباره، در دستگاه بیناب‌سنجی قرار گرفت.

۳. اثرات جلبک‌ها بر کاهش میزان ^{226}Ra

جذب فلزات سنگین (^{226}Ra) از طریق اتصال آن‌ها به سطح سلول (دیواره سلولی، غشاء یا پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی) و اتصال به لیگاندهای داخل سیتوزولی، فیتوشلات‌ها،^۲ متالوتیونین‌ها^۳ و سایر مولکول‌های داخل سلولی انجام می‌گیرد. دیواره سلولی جلبک‌ها حاوی گروه‌های عامل مختلفی مثل هیدروکسیل، فسفوریل، آمین، کربوکسیل، سولفیدریل و... بوده و از آنجاکه یون‌های فلزی در محیط‌های آبی، اغلب به فرم کاتیونی هستند، می‌توانند از طریق این گروه‌ها به سطح سلول اتصال یابند [۵].

جداسازی فلزات سنگین نظیر هسته‌های پرتوزا، روش‌های متفاوتی وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به رسوب‌گذاری شیمیایی، فیلترکردن، اسمز معکوس، فرایندهای غشایی، تبادل یونی و جذب زیستی اشاره کرد [۲]. در این پژوهش، از روش جذب زیستی استفاده شده است. از جمله مزایای استفاده از این روش، می‌توان به هزینه پایین فرایند جذب و بازیافت فلز، بازدهی بالا در غلظت‌های پایین، عملکرد در دامنه وسیعی از دما و PH، نیازنداشتن به مواد مغذی فراوان، بازیافت آسان جاذب زیستی، انتخاب‌پذیری بالا، عدم تولید لجن یا تولید کم لجن، وجود منابع ارزان و در دسترس بودن جاذب‌های زیستی اشاره کرد [۱].

از میان مواد زیستی نظیر باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و جلبک‌ها، در این پژوهش از جلبک سبز محلی به‌عنوان جاذب‌کننده استفاده شده است. جذب زیستی فرایندی غیروابسته و مستقل از انرژی است و طی آن، عناصر یا مواد جذب‌شونده بر روی سطوح و مکان‌های قابل پیوند در سطح سلول‌های میکروارگانیسم‌ها یا عامل جذب‌کننده جذب می‌شوند [۱]. در تجمع زیستی، ماده جذب‌شونده به‌صورت فعال به سطح سلول جذب شده یا به داخل آن منتقل می‌شود که فرایندی وابسته به انرژی و سازوکار حیاتی و متابولیسم است. نحوه استفاده از میکروارگانیسم‌ها به‌صورت زنده و غیرزنده است که هر کدام شامل مزایا و معایب مخصوص به خود هستند [۴].

۲. مواد و روش‌ها

مطالعات میدانی با نمونه‌برداری از ۵ چشمه آب‌معدنی گرم مدرسه تالش محله، آب‌سیاه، کانال شماره ۱ تالش محله، کانال شماره ۲ تالش محله و اشکر گرماب صورت گرفت و نیز برای نمونه‌برداری از ظروف شیشه‌ای ۱ لیتری استفاده شد. همه ظروف نمونه‌برداری، نام‌گذاری شده و اطلاعات لازم از قبیل تاریخ و مکان نمونه‌برداری یادداشت و سپس محل نمونه‌برداری‌ها با مکان‌یاب (GPS^۱) ثبت شد.

نمونه جلبک سبز مورد استفاده در این آزمایش، از سطح رودخانه‌ها و چشمه‌هایی که از قبل میزان یون‌های فلزی سنگین

2. Phytochelatins
3. Methalothioneins

1. Global positioning system

غلظت اولیه یون‌های فلزی یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده در جذب سلولی جلبک‌ها به‌شمار می‌آید. با افزایش غلظت یون‌های فلزی در محلول، ابتدا میزان جذب سطحی فلزات توسط جلبک‌ها افزایش و سپس در غلظت معین به حالت اشباع می‌رسد [۱، ۳، ۷ و ۱۴]. در مقایسه با جذب سطحی یون‌های فلزی، میزان برداشت درون سلولی این یون‌ها، توسط سلول‌ها با افزایش غلظت یون‌های محلول کاهش پیدا می‌کند [۶].

جدول ۱: مقادیر ^{226}Ra در نمونه‌های آب قبل از فرایند جذب

شماره نمونه	مقدار ^{226}Ra (Bq/l)	زمان شمارش	محل نمونه‌برداری
۱	$42/70 \pm 3/97$	۶۰۰۰۰	مدرسه قدیمی تالش محله
۲	$59/100 \pm 5/51$	۶۰۰۰۰	آب سیاه
۳	$27/30 \pm 2/55$	۶۰۰۰۰	کانال شماره ۱ تالش محله
۴	$16/80 \pm 1/63$	۶۰۰۰۰	کانال شماره ۲ تالش محله
۵	<LLD ^۴	۶۰۰۰۰	اشکر گرماب

برای مثال، مهتا و همکارانش [۱۵] در سال ۲۰۰۱ نشان دادند که جلبک کلرولاولگاریس به‌ترتیب، ۷۰ و ۸۰ درصد نیکل و مس را از محلول با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر برداشت می‌کنند، درحالی‌که اگر غلظت این فلزات به ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برسد، ریزجلبک مذکور به‌ترتیب، تنها ۳۷ و ۴۲ درصد از نیکل و مس را برداشت می‌کند [۵].

در این آزمایش، با توجه به استفاده از نمونه‌های طبیعی، غلظت‌های اولیه ^{226}Ra به مقدار مشخص در نمونه آب موجود است و از روش محلول‌سازی برای تأمین غلظت‌های اولیه رادیوم استفاده نمی‌شود؛ لذا تفاوت غلظت در ۵ نمونه، مبنای کار قرار گرفته است. در جدول (۲)، مقادیر ^{226}Ra موجود در آب‌های گرم منطقه پس از فرایند جذب توسط جلبک سبز گزارش شده است. تمامی فرایندهای جذب، در دمای ۲۰ درجه سلسیوس صورت پذیرفته است.

به دلیل طبیعی بودن نمونه‌های آب مورد بررسی در این آزمایش و وجود یون‌های فلزی سنگین و هسته‌های پرتوزای مختلف در آن‌ها، جذب یک عنصر فلزی به‌خصوص رادیوم از مدل چند جزئی پیروی می‌کند [۵ و ۶]. سیستمیک جذب برای بررسی مکانیسم کنترل‌کننده در فرایند جذب زیستی مانند انتقال جرم و واکنش شیمیایی به‌کار می‌رود. متداول‌ترین این مدل‌ها، مدل‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم هستند [۱]. در مدل شبه درجه اول که مدل Lagergren هم نامیده می‌شود، فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت‌های جذب متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده است:

$$dq/dt = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

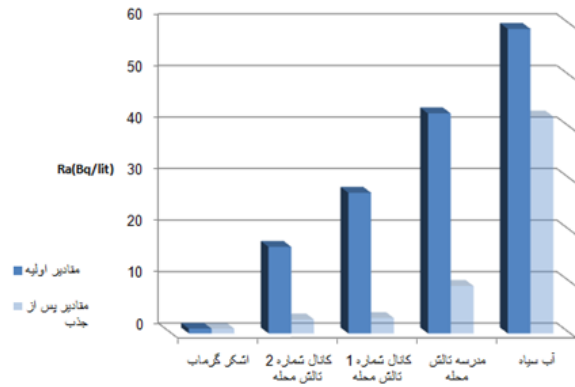
در این معادله، q_e و q_t به ترتیب، میزان جذب فلز در زمان تعادل و زمان t بر حسب دقیقه بوده و K_1 ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب l/min است.

در مدل شبه درجه دوم، فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت‌های جذب متناسب با مجذور تعداد سایت‌های اشغال نشده است:

$$dq/dt = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

که در آن، K_2 ثابت سرعت واکنش درجه دوم بر حسب $g/\text{mg} \cdot \text{min}$ است. مدل‌های ایزوترم، نتایج آزمایش را در قالب فرمول‌های کاربردی با پارامترهای مفید درمی‌آورد؛ به طوری که در طراحی‌ها به راحتی قابل استفاده باشند. به عبارت دیگر، ایزوترم جذب نموداری از میزان جذب (qe) و غلظت تعادلی فلز (C_e) است. برخی از مدل‌های ایزوترم جذب تعادلی دو پارامتری عبارت‌اند از: لانگمویر، فروندلیچ، تمکین، دوینین-رادوشکویچ و... از میان مدل‌های ایزوترم جذب تعادلی سه پارامتری نیز می‌توان مدل ردلیش-پترسون، تات، سیپس و رادکه-پرازینتز را نام برد [۱].

مدل جذب چند جزئی، حالات و تغییرات مختلفی را با توجه به عوامل مؤثر بر آن، از خود نشان می‌دهد. پارامترهای مؤثر بر جذب شامل دما، PH، غلظت جاذب و غلظت سایر یون‌های فلزی هستند [۶]. در این پژوهش، میزان جذب ^{226}Ra توسط جلبک سبز برای ۵ نمونه طبیعی برداشت شده از چشمه‌های آبگرم منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته است. مقادیر اولیه ^{226}Ra موجود در نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۲: تغییرات میزان ^{226}Ra موجود در نمونه‌های آب قبل و بعد از جذب

بر این اساس، درصد جذب با افزایش غلظت اولیه افزایش پیدا کرده تا جایی که جاذب اشباع شده و سپس روندی نزولی را طی خواهد کرد [۳]. در شکل (۲) میزان تغییرات انجام شده در مقدار ^{226}Ra قبل و بعد از فرایند جذب با یکدیگر مقایسه شده است.

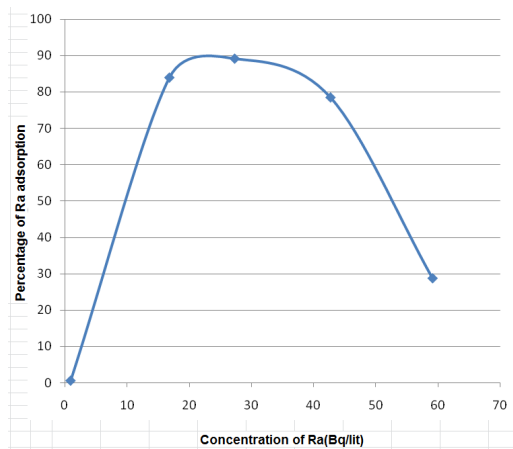
در نمونه‌های با مقادیر بسیار پایین ^{226}Ra ، به‌علت رقابت سایر رادیونوکلوئیدها بر سر جذب با رادیوم، مقدار جذب پایین و نامحسوس خواهد بود. نظر به اینکه میزان جاذب مورد استفاده در تمامی نمونه‌ها ثابت بوده، مقادیر مختلف جذب رفتار غیرمتوازن جاذب در مورد جذب در برخی از نمونه‌های آب به‌خصوص آب‌سیاه، به‌دلیل منشأ ترکیبات مختلف در آن‌هاست؛ برای مثال، درباره آب‌سیاه بیشترین میزان جیوه، آهن، رادیوم، سدیم و منگنز را داراست. درخصوص تالش‌محل و سادات‌محل عنصر آلومینیوم بیشترین سهم را دارد [۱۶]. لذا به‌دلیل انتخاب نمونه طبیعی آب، بررسی یک عنصر مانند رادیوم در این ترکیب طبیعی از عناصر، کاری پیچیده و دشوار است. تمامی ترکیبات متفاوت موجود در این نمونه‌های آب، بر فرایند جذب مؤثر خواهند بود.

جدول ۲: مقادیر ^{226}Ra در نمونه‌های آب پس از فرایند جذب

شماره نمونه	مقدار ^{226}Ra (Bq/l)	زمان شمارش	محل نمونه‌برداری
۱	$9/20 \pm 0/91$	۶۰۰۰۰	مدرسه قدیمی تالش‌محل
۲	$42/10 \pm 3/92$	۶۰۰۰۰	آب‌سیاه
۳	$2/98 \pm 0/40$	۶۰۰۰۰	کانال شماره ۱ تالش‌محل
۴	$2/69 \pm 0/38$	۶۰۰۰۰	کانال شماره ۲ تالش‌محل
۵	<LLD	۶۰۰۰۰	اشکر گرماب

شکل (۱) تغییرات درصد جذب رادیوم با افزایش غلظت اولیه آن را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، با افزایش غلظت اولیه رادیوم، درصد جذب تا غلظت اولیه ۳۰ بکرل بر لیتر افزایش می‌یابد. در این غلظت، جاذب به حالت اشباع رسیده و از این پس افزایش مقادیر غلظت اولیه، سبب کاهش توانایی جذب گیرنده‌های دیواره سلولی جلبک‌ها می‌شود.

همچنین، همان‌طورکه در جدول (۳) آمده، در نمونه‌های مدرسه تالش‌محل و آب‌سیاه به‌دلیل وجود غلظت بالای رادیونوکلوئیدهای فلزی سنگین نظیر ^{137}Cs ، ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{131}I ، ^{226}Ra و ^{90}Sr و رقابت با ^{226}Ra در جذب، با افزایش میزان ^{226}Ra ، میزان جذب کاهش می‌یابد. در واقع، سایر یون‌های فلزی به‌صورت یون‌های مزاحم در یک واکنش تعادلی به شکل رقابتی شرکت نموده که سبب کاهش درصد جذب روی گیرنده‌های سلولی می‌شود [۳، ۱۰ و ۱۴].



شکل ۱: درصد کاهش غلظت رادیوم-۲۲۶ نسبت به غلظت‌های مختلف رادیوم به‌وسیله جلبک سبز

جدول ۳: مقادیر تمامی رادیونوکلوئیدهای موجود در نمونه‌های بررسی شده قبل و پس از فرایند جذب

نام نمونه	^{131}I (Bq/lit)		^7Be (Bq/lit)		^{232}Th (Bq/lit)		^{137}Cs (Bq/lit)		^{226}Ra (Bq/lit)		^{137}Cs (Bq/lit)		^{40}K (Bq/lit)	
	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب	قبل از جذب	بعد از جذب
مدرسه قدیمی تالش محله	۰/۳۸۲	۰/۲۷۷	۳/۴۷	۲/۶۱	۱/۱۸	۰/۹۱۷	۱/۲۴	۰/۶۶۳	۴۲/۷	۹/۲	۰/۴۶۵	۰/۳۶۶	۵۳/۳	۱۱/۳
آب سیاه	۰/۴۳۳	۰/۳۸۶	۳/۶۵	۳/۳۳	۱/۲۹	۱/۱۳	۱/۵	۱/۲۵	۵۹/۱	۴۲/۱	۰/۵۰۴	۰/۴۶۵	۵۱/۶	۵۱/۲
کانال شماره ۱ تالش محله	۰/۳۴۸	۰/۲۶۶	۳/۰۸	۲/۳۹	۱/۰۶	۰/۸۳۴	۰/۹۷۳	۰/۴۴۵	۲۷/۳	۲/۹۸	۰/۴۱	۰/۳۲	۵۱/۶	۵۰/۷
کانال شماره ۲ تالش محله	۰/۳۲۱	۰/۲۴۶	۲/۷۶	۲/۴۱	۰/۹۴۶	۰/۷۸۷	۰/۸۱۶	۰/۴۲۳	۱۶/۸	۲/۶۹	۰/۳۶۶	۰/۳۰۸	۵۱/۵	۵۰/۵
اشکر گرماب	۰/۲۵۷	۰/۲۵۴	۲/۳۴	۲/۱۸	۰/۷۹۸	۰/۷۹۰	۰/۴۰۴	۰/۳۵۹	۰/۹۲۶	۰/۹۲۰	۰/۳۳۴	۰/۳۱۳	۵۰/۵	۱۱/۳

فرایند جذب بیولوژیکی دارای مزایای بسیاری نظیر حذف

فلزات در گستره وسیعی از PH، جذب سریع و هزینه اولیه پایین است. با توجه به اینکه این جاذبها کارایی قابل قبولی داشته و تکنولوژی نوینی در حوزه زیست محیطی هستند، برای استفاده از این روش باید تمهیدات خاصی اندیشید.

۴. نتیجه گیری

همانگونه که ذکر شد، فرایند جذب ^{226}Ra توسط جلبکها، جذب سلولی است. با افزایش مقدار رادیوم در نمونههای آب، درصد جذب تا قبل از رسیدن جلبکها به مرزهای اشباع، افزایش می یابد. پس از رسیدن به حالت اشباع، به دلیل پر شدن سایت های فعال جذب و همچنین، حضور سایر کاتیون های فلزی و ایجاد رقابت جذبی بین آنها و ^{226}Ra ، با افزایش غلظت رادیوم، درصد جذب روند نزولی را طی خواهد کرد.

۵. مراجع

- dead biomass from aqueous solution", Indian Journal of Experimental Biology, vol.46, Agust, pp 690-964 (2008).
- [۵] م.ع. فرامرزی، ح. فروتن فر، م. شکیبایی، بیوتکنولوژی ریزجلبکها، انتشارات دانشگاه تهران، فصل ششم، ۱۳۸۹.
- [۶] ربانی، ع. عبدالعلی، م. منتظر رحمتی، ع. کشتکار، ر.دباغ، جذب زیستی فلزهای کادمیم و نیکل توسط جلبک *indica cystoseria* به صورت خام و فراوری شده، دانشکده فنی دانشگاه تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۹۰.
- [7] N.Kumar, "Removal of heavy metal by biosorption using freshwater algae *Spirogyra hyalina*," journal of Environ. biol. 33. 27-31(2012).
- [8] Y. Nuhoglu, E. Malkoc, A. Gurses, N. Canpolat, "The removal of Cu(II) from aqueous solutions by *Ulothrixzonata*", Bio resource Technology. 85.
- [۱] م. اکبری، جذب بیولوژیکی فلزات سنگین (مس و کبالت) در سیستم های تک جزئی و دو جزئی توسط جلبک قهوه ای فراوری شده با سدیم کلراید، دانشگاه تهران، دانشکده فنی کاسپین، آذر ۱۳۹۲
- [۲] م. حسن خانی، ع. کشتکار، ب. میثمی، م. فیروز زارع، ر. جلالی، جذب بیولوژیکی اورانیوم توسط جلبک قهوه ای *cystoseria*، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، سازمان انرژی اتمی ایران، معاونت تولید سوخت هسته‌ای آزمایشگاه های جابر بن حیان، آذر ۱۳۸۳.
- [3] R. Narsi, P. Anju, "Biosorption of copper from aqueous solution using algal biomass", journal of scientific & Industrial Reasearch, vol.63, 813-816 October (2004).
- [4] K. Rajiv, D.Goyal, "Comparative biosorption of Pb^{2+} by live algal consortium and immobilized

- Research, 37, 4311-4330 (2003).
- [13] E. Romera, F. Gonzalez, A. Ballester, M. Luisa, J. Angel Munoz, "Biosorption of Cd-Ni and Zn with Mixture of different types of algae", Environmental Engineering science, vol. 25, No.7 (2008).
- a) Wilke, R. Buchholz, G. Bunke, "Selective Biosorption of heavy metals by algae", Environmental Biotechnology2, (2), 47-56 (2006).
- [14] SK. Mehta, JP. Gaur, "Characterization and optimization of Ni and Cu sorption from aqueous solution by *Chlorella vulgaris*", Ecological Engineering, 18: 1-13, (2001a).
- [۱۵] م. ناظری، م. یزدی، ا. ضیاء ظریفی، ش. حق‌نظر، «بررسی‌های اولیه زمین‌شناسی پزشکی چشمه‌های آبگرم رامسر»، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال دوم، شماره اول، زمستان ۱۳۸۸.
- 331-333(2002).
- [۹] ر. دباغ، ح. غفوریان، ا. باغوند، غ. نبی، ح. ریاحی، «جذب و حذف استروئیسیم پایدار و استونسیم ۹۰ (رادیواکتیو) به کمک جلبک قهوه‌ای برای رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی»، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۶.
- [10] M. Ghasemi, A.R. Keshtkar, R. Dabbagh, S. Jabersafdari, "Biosorption of uranium in a continuous flow packed bed column using *Cystoseria Indica* biomass", Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. vol. 8, No. 1, 65-74 (2011).
- [11] N. Ahalya, R.D. Kanamadi, T.V. Ramachandra, "Biosorption of chromium(VI) by *Tamarindus indica* pod shells", journal of Environmental Science Research International, 1 (2), 77-81 (2008).
- [12] T.A. Davis, B. Volesky, A. Mucc, "A review of the biosorption by brown algae", Elsevier Water