J. of Nuclear Sci. and Tech.
66, 2014, 15-22

مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای
۶۶، ۱۳۹۲، ۱۵-۲۲

جذب زیستی اورانیم از محلول‌های آبی با استفاده از سویه‌ی مرجع و بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده

صولت ثنا*[1]، رضا روستا آزاد[2]، سهیلا یغمایی[2]
۱. شرکت سامان نور گسیل، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱٤۱۵۵، تهران ـ ایران
۲. دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، صندوق پستی: ۹٤٦۵-۱۱۳٦۵، تهران ـ ایران

چکیده: از دو سویه‌ی بومی و مرجع قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده برای حذف زیستی فلز سنگین اورانیم از محلول‌های رقیق آبی استفاده شد. تأثیر pH (۳-۷)، غلظت اولیه‌ی فلز (۱۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، زمان (۳۰ -۱۴۴۰ دقیقه) و زیست توده‌ی خشک (۰٫۵-۵ گرم بر لیتر) بررسی شد. جذب زیستی بیشینه در pH=۵ و برابر ۸۲٫۳۰ و ۷۴٫۱۹ درصد برای سویه‌ی، به ترتیب، مرجع و بومی به دست آمد. جذب بیشینه در غلظت اولیه‌ی ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اورانیم و برای دو سویه‌ی مرجع و بومی قارچ به ترتیب، ۱۰۵ و ۱۴۳٫۵ میلی‌گرم اورانیم بر گرم زیست توده‌ی خشک بود. واکنش زیستی، در مدت ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه برای سویه‌ی به ترتیب، مرجع و بومی به تعادل رسید. ظرفیت جذب بیشینه در مقدار ۲ گرم بر لیتر زیست توده‌ی خشک برای هر دو سویه‌ی قارچ به دست آمد. مدل لانگمویر داده‌های به دست آمده برای هر دو سویه‌ی مرجع و بومی را با R^2، به ترتیب، برابر با ۰٫۹۹۷۲ و ۰٫۹۹۷۹ به خوبی برازش نمود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که سویه‌ی مرجع زیست توده‌ی زنده‌ی آسپرژیلوس نیجر نسبت به سویه‌ی بومی آن توانایی بیش‌تری در حذف فلز اورانیم از محلول‌های آبی دارد.

کلیدواژه‌ها: ***اورانیم، جذب زیستی، سویه‌های مرجع و بومی، قارچ آسپرژیلوس نیجر***

Biosorption of Uranium from Aqueous Solution by Reference and Indigenous Strains of Live Aspergillus.niger

S. Sana*[1], R. Roostaazad[2], S. Yaghmaei[2]
1. Saman Nourgosil Co. Atomic Energy Organization of Iran, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran
2. Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, P.O.Box: 11365-9465, Tehran – Iran

Abstract: The biosorption characteristics of uranium(VI) on reference and indigenous strains of live A.niger were evaluated. The influences of pH (3.0-7.0), biomass concentration (0.05-0.5 g dry biomass /100mL), initial uranium concentration (10-500mg/L), and contact time(30-1440 minutes) were investigated. In order to determine the residual concentration of metal, inductive coupled plasma spectrometry was used. The results indicate that the maximum biosorption of U on reference and indigenous biomass occur at pH=5 as 82.30% and 74.19%, respectively. The biosorption equilibrium was established in 60 and 120 minutes for reference and indigenous biomasses, respectively. The maximum biosorption was observed at a concentration 0.2 g dry biomass/100 mL for both biomasses. The maximum biosorption capacity of U was developed at an initial concentration of uranium 500mg/L as 105 and 143.5 mgU/g dry biomass for reference and indigenous biomasses, respectively. The adsorption process of reference and indigenous live A.niger could be well-defined by Langmuir isotherm with R^2 values of 0.9972 and 0.9979, respectively. The obtained results indicated that the reference strain of live A.niger is more efficient for biosorption of U from aqueous solution in comparison with indigenous strain.

Keywords: ***Uranium, Biosorption, Reference and Indigenous Strains, Aspergillus. niger***

*email: solat_sana@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۹/۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۴/۱۱

۱. مقدمه

آلودگی‌های محیط زیست از مسایل مهمی است که جوامع مختلف بشری با آن روبه‌رو هستند و این امر سبب شده است که حفاظت از محیط زیست به موضوع اصلی در تمام سیاست‌گذاری‌ها تبدیل شود [۱]. وجود فلزات سنگین در پس‌آب‌های صنعتی، همیشه یک مشکل جدی و مهم برای محیط زیست بوده است. حذف فلزات سنگین سمّی از محلول‌های آبی یک مسئله‌ی جدی محسوب می‌شود. از روش‌های مختلف شیمیایی و زیستی برای حذف این نوع آلاینده‌ها استفاده می‌شود [۲]. یکی از مهم‌ترین روش‌های زیستی حذف فلزات سنگین، جذب زیستی(۱) است [۳].

فلزات سنگین در پس‌آب‌های صنعتی به وفور دیده می‌شوند؛ اورانیم یکی از این فلزات سمّی است که بسته به شکل آن دارای سمیّت متفاوت است [۴]. توسعه‌ی روش‌های اقتصادی و فن‌آوری خالص‌سازی پس‌آب کارخانه‌ها، یکی از مسایل بسیار مهم قرن حاضر است. یکی از سالم‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های زیستی حذف آلاینده‌ها از محیط زیست، جذب زیستی است، جذب زیستی به هر فرایندی که در آن از باکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، گیاهان سبز و یا آنزیم آن‌ها برای جذب و زدودن آلاینده‌ها از محیط زیست استفاده شود، اطلاق می‌شود [۵]. در میان این ریزجانداران، قارچ‌ها نسبت به دیگر ریزموجودات دارای مزایایی برای حذف فلزات سنگین هستند؛ این موضوع سبب شده است از آن‌ها به وفور در جذب زیستی استفاده شود [۶]. با توجه به بررسی انجام شده در مورد ریزجانداران موجود در مناطق آلوده به اورانیم بندرعباس (معدن گچین)، در بین سویه‌های موجود، به لحاظ فراوانی آسپرژیلوس نیجر بیش‌ترین مقدار را دارا است. علاوه بر این، امکان کشت و تکثیر راحت و ارزان آن سبب شد که پژوهش حاضر با هدف بهینه‌سازی متغیرهای غلظت اولیه‌ی فلز، زمان تماس، مقدار زیست توده و pH محیط برای به دست آوردن جذب زیستی بیشینه در راستای حذف فلز سنگین اورانیم از محلول‌های رقیق آبی با سویه‌ی مرجع و بومی آسپرژیلوس نیجر زنده طراحی و اجرا شود.

۲. مواد و روش آزمایش

۱.۲ تهیه‌ی زیست توده‌ی قارچی

سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده که UCF-F۱۹/A نام‌گذاری شد، از بانک میکروبی آزمایشگاه بیوتکنولوژی انرژی اتمی اصفهان تهیه شد که از موقعیت‌های آلوده‌ی مناطق بندرعباس جداسازی شده بود؛ طبق مطالعه‌های انجام شده به وسیله‌ی میکروسکوپ نوری (مدل wild-Leit۲ GmbH ۱۰۱-۵۰۷-۰۲۰) توسط کارشناسان قارچ‌شناسی و نیز طبق مطالعه‌های ژنتیکی و با بررسی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز ناحیه‌ی ۱۸srDNA مشخص شد که قارچ موردنظر آسپرژیلوس نیجر است. سویه‌ی مرجع مورد استفاده نیز (IR_8)۵۰۱۳ بود که از مرکز منطقه‌ای کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (PTCC) برای مقایسه با نمونه‌ی بومی، تهیه شد. برای کشت قارچ در محیط کشت جامد، از محیط کشت PDA(۲) (تهیه شده از شرکت مرک)، استفاده شد [۱، ۷]. محیط کشت مایع استفاده شده، YPG(۳) شامل گلوکز (۲۰ گرم بر لیتر)، پپتون (۱۰ گرم بر لیتر) و مخمر (۳ گرم بر لیتر) بود که همگی از شرکت مرک تهیه شده بودند [۱، ۸].

pH محیط کشت مایع با استفاده از نیتریک اسید و سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار روی مقدار مناسب آن برای رشد قارچ‌ها، ۵/۵، تنظیم شد [۸]. محیط کشت با اتوکلاو (دما ۱۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد، فشار ۱/۵ بار و به مدت ۲۰ دقیقه) استریل شد و سپس هاگ قارچ‌ها در محیط کشت مایع تلقیح شد. پس از آن نمونه‌ها داخل تکاننده- گرم‌کننده در دمای ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و با سرعت هم‌زدن ۱۲۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ روز قرار داده شدند تا رشد مناسب قارچ انجام شده، به آخرین مرحله‌ی فاز نمایی رشد برسند. در این فاصله‌ی زمانی در زیست توده‌ها، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به بیش‌ترین تراکم خود در سطح سلولی رسیدند [۹]. سپس ریزسازواره‌های قارچ توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ جداسازی شده و پس از چند بار شست‌وشو با آب دو بار تقطیر شده و آب‌گیری، به عنوان زیست توده‌ی زنده در فرایند جذب زیستی مورد استفاده قرار گرفت [۱۰].

۲.۲ محلول نمک اورانیم

برای تهیه‌ی محلول اورانیم از نمک $UO_2(NO_3)_2.6H_2O$ استفاده شد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از انحلال‌پذیری خوبی برخوردار است [۱۱]. برای انجام آزمایش‌ها، یک محلول مادر ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک اورانیم تهیه، و بقیه‌ی غلظت‌ها با رقیق‌سازی این محلول اصلی، ساخته و تهیه شد [۱۱، ۱۲].

۳.۲ آزمایش جذب

از میان عامل‌های مختلف مؤثر بر روی جذب زیستی یون فلزی، ۴ عامل pH، زمان تماس، غلظت اولیه‌ی فلز و مقدار زیست توده، که از اهمیت بالاتری برخوردارند، مورد بررسی قرار گرفتند. همه‌ی آزمایش‌ها سه بار تکرار و میانگین آن‌ها گزارش شد. آزمایش‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی ۵۰۰ میلی‌لیتری انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها یکی از عامل‌ها متغیر و بقیه به صورت ثابت در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در محلول‌های با pH (۳-۷)، غلظت اولیه‌ی (۱۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، در مدت زمان (۳۰-۱۴۴۰ دقیقه) و با (۰٫۵-۵ گرم بر لیتر) زیست توده‌ی خشک انجام شدند. پارامترهای ثابت آزمایش‌ها، شامل دما، سرعت تکاننده و حجم محلول، در مقدارهای، به ترتیب، ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، ۱۲۰ دور بر دقیقه و ۱۰۰ میلی‌لیتر تنظیم شده بودند.

۱.۳.۲ اثر pH بر روی جذب زیستی

این آزمایش در پنج pH مختلف ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ برای هر دو سویه انجام شد. برای تنظیم pH از سدیم هیدروکسید و نیتریک اسید ۰٫۱ مولار استفاده و سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شد.

۲.۳.۲ اثر غلظت اولیه‌ی فلز بر روی جذب زیستی

آزمایش اثر غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم برای هر دو سویه‌ی قارچ در غلظت‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اورانیم انجام شد. از نتایج این آزمایش برای تعیین ایزوترم جذب نیز استفاده شد.

۳.۳.۲ اثر زمان تماس بر روی جذب زیستی

برای تعیین اثر این عامل، جذب زیستی در مدت زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۴۸۰، ۳۶۰، ۱۰۸۰ و ۱۴۴۰ دقیقه بررسی شد.

۴.۳.۲ اثر مقدار زیست توده بر روی جذب زیستی

اثر این پارامتر در ۶ مقدار مختلف ۰٫۵، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم بر لیتر زیست توده‌ی خشک بررسی شد.

۴.۲ اندازه‌گیری ظرفیت جذب

پس از انجام هر آزمایش، زیست توده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ (۲٫۵ میکرون) از محلول جدا شده، محلول زیر صافی برای تعیین غلظت اورانیم باقی‌مانده مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری غلظت باقی‌مانده‌ی فلز اورانیم در محلول با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نشری نوری- پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-OES) انجام شد.

ظرفیت جذب چنین محاسبه شد

$$q = \frac{V \times (C_\circ - C_f)}{w} \qquad (۱)$$

که در آن، C_o غلظت ($mg\ L^{-1}$) اولیه‌ی فلز، C_f غلظت ($mg\ L^{-1}$) نهایی فلز، V حجم (برحسب لیتر) محلول، w وزن (برحسب گرم) زیست توده‌ی خشک، و q ظرفیت ($mg\ g^{-1}$) جذب است [۱۳].

درصد حذف فلز چنین محاسبه شد [۱۴، ۱۵]

$$R\% = \frac{C_\circ - C_f}{C_\circ} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

۵.۲ مدل‌های جذب

۱.۵.۲ مدل لانگمویر

این مدل یکی از پرکاربردترین مدل‌های جذب زیستی است که براساس فرضیه‌ها بنا شده است. شکل کلی این مدل چنین است

$$qe = \frac{bq_{max}\ C_e}{۱ + bC_e} \qquad (۳)$$

که در آن، q_{max} مقدار بیشینه‌ی جذب برحسب میلی‌گرم بر گرم زیست توده‌ی خشک، b میل ترکیبی[۴] جای‌گاه‌های فعال روی سطح جاذب برحسب ($L\ mg^{-1}$) و C_e غلظت تعادلی فلز در محلول (برحسب $mg\ L^{-1}$) است [۱۶، ۱۷].

برای برازش داده‌های آزمایش با مدل لانگمویر باید آن را به شکل خطی درآورد. خطی شده‌ی رابطه‌ی (۳) این است

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}C_e} + \frac{1}{q_{max}} \qquad (۴)$$

با رسم نمودار $1/q_e$ برحسب $1/C_e$ خط راستی به دست می‌آید که از شیب و عرض از مبدأ آن می‌توان پارامترهای تعادلی ایزوترم را تعیین کرد.

۲.۵.۲ مدل فروندلیچ

این مدل بر خلاف مدل لانگمویر یک مدل کاملاً تجربی بوده و شکل کلی آن چنین است

$$q = kC_e^{1/n} \qquad (۵)$$

که در آن، k جذب بیشینه و n شدت جذب را نشان می‌دهد. شکل خطی این مدل برای برازش داده‌ها چنین است

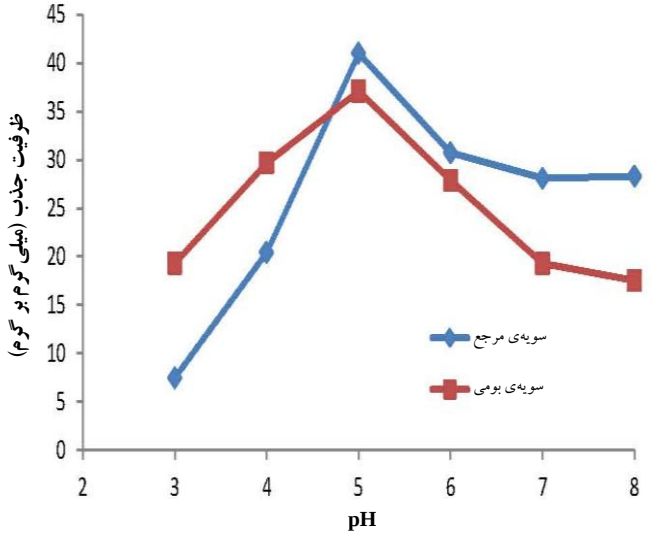
$$Logq = Logk + \frac{1}{n}LogC_e \qquad (۶)$$

با رسم لگاریتم ظرفیت جذب q برحسب لگاریتم غلظت تعادلی، مقادیر پارامترهای مدل به راحتی از شیب و عرض از مبدأ خط به دست آمده، تعیین می‌شوند [۱۷].

۳. نتایج و بحث

۱.۳ اثر pH بر میزان جذب زیستی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تا pH نزدیک به ۴، میزان جذب زیستی هر دو سویه‌ی قارچ بسیار پایین است، این می‌تواند به علت حضور یون‌های H^+ در محیط و رقابت آن‌ها با یون‌های فلزی U(VI) برای اتصال به گروه‌های عاملی روی دیواره سلولی باشد. با افزایش pH تا حدود ۵، گروه‌های عاملی کربوکسیل و فسفات موجود بر روی دیواره‌ی سلولی دارای بار منفی بیش‌تری می‌شوند، که این امر به علت کاهش



شکل ۱. تغییرات ظرفیت جذب (q) سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده برحسب pH [دما ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، سرعت تکاننده ۱۲۰ دور بر دقیقه، مدت زمان تماس زیست توده با محلول ۱۲۰ دقیقه و زیست توده‌ی (خشک) ۱ گرم بر لیتر]

غلظت یون H^+ در محیط و پروتون‌زدایی[۵] است. این بار منفی موجب اتصال بیش‌تر کاتیون‌های فلزی به این گروه‌های عاملی می‌شود و در نتیجه میزان جذب افزایش می‌یابد. در pH حدود ۵ جذب زیستی به بیشینه مقدار خود می‌رسد؛ آن سوتر، به علت تشکیل کمپلکس هیدروکسید اورانیم، یون‌های فلزی U(VI) رسوب می‌نمایند و در نتیجه میزان جذب زیستی کاهش می‌یابد [۱۸، ۱۹]. pH محلول علاوه بر تأثیر بر روی دیواره‌ی سلولی، بر فرایندهای سوخت و سازی قارچ نیز اثر می‌گذارد. در زیست توده‌های زنده، فرایندهای سوخت و سازی، که وابسته به انرژی هستند، باعث می‌شود یون‌های فلزی به داخل سلول نفوذ نموده و پدیده‌ی انباشت سلولی انجام شود. بنابراین اگر pH محلول در حین فرایند جذب به مقدار بهینه‌اش نزدیک‌تر باشد، فرایند انباشت زیستی درون سلولی، بهتر انجام شده راندمان جذب زیستی افزایش خواهد یافت [۱۲].

با توجه به شکل ۱، برای هر دو سویه‌ی بومی و مرجع، pH بهینه‌ی جذب زیستی ۵ است. البته در این pH درصد جذب زیستی سویه‌ی مرجع بیش‌تر از سویه‌ی بومی است: ٪۸۴٫۰۱ در مقابل ٪۷۴٫۱۹.

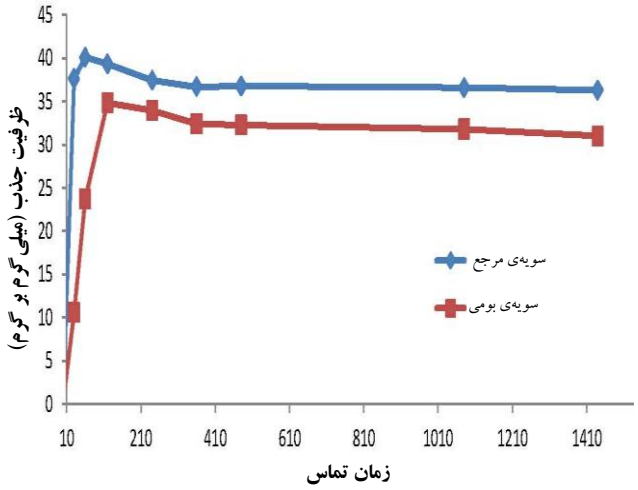
۲.۳ اثر زمان تماس بر میزان جذب زیستی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان جذب زیستی سویه‌های بومی و مرجع، به ترتیب، در ۱۲۰ و ۶۰ دقیقه‌ی نخست افزایش می‌یابد، اما آن سوتر چندان تغییر نمی‌کند. به این ترتیب حداکثر ظرفیت جذب زیستی سویه‌ی بومی و سویه‌ی مرجع، به ترتیب، به ۳۴٫۸۳ و ۴۰٫۰۹ میلی‌گرم اورانیم بر گرم زیست توده‌ی خشک می‌رسد (به ترتیب، حدود ۶۹٫۶۶ و ۸۰٫۱۹ درصد اورانیم جذب می‌شود). با توجه به نتایج به دست آمده، فرایند جذب به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع توانسته است در مدت زمان ۶۰ دقیقه به تعادل برسد؛ سویه‌ی مرجع جذبی در حدود ۱۰ درصد بیش‌تر از سویه بومی داشته است.

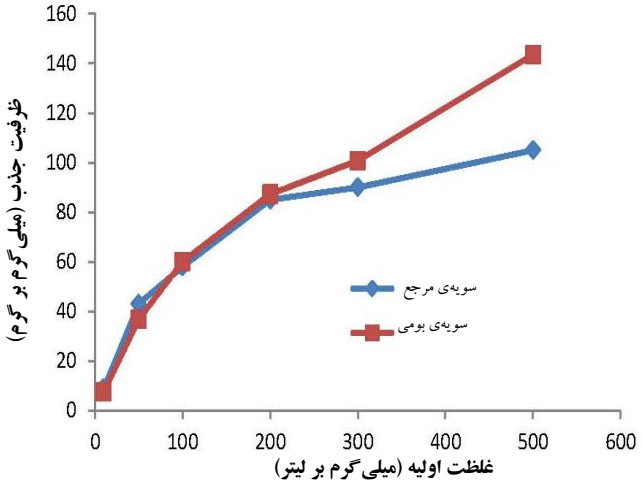
۳.۳ اثر غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم بر میزان جذب زیستی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده

با افزایش غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم، ظرفیت جذب برای هر دو سویه‌ی مرجع و بومی قارچ زنده افزایش می‌یابد، حداکثر ظرفیت جذب برای سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی در غلظت اولیه‌ی ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب، ۱۰۵ و ۱۴۳٫۵ میلی‌گرم اورانیم بر گرم زیست توده‌ی خشک است. البته با توجه به نتایج به دست آمده فقط ۲۸٫۷ درصد اورانیم به وسیله‌ی زیست توده‌ی بومی و ۲۱ درصد اورانیم با سویه‌ی مرجع جذب شده است. در حالی که در غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، برای سویه بومی و سویه‌ی مرجع، ظرفیت جذب، به ترتیب، ۳۶٫۷۵ و ۴۳٫۱ میلی‌گرم بر گرم و درصد جذب، به ترتیب، ۷۳٫۵ و ۸۶٫۲ درصد بوده است.

نکته‌ای که باید در این‌جا به آن توجه شود این است که سویه‌ی مرجع تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کمی بهتر از سویه‌ی بومی عمل نموده است. اما در غلظت‌های بالاتر، توانایی جذب آن کاهش یافته است. سویه‌ی بومی در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر توانایی جذب بهتری نسبت به سویه مرجع دارد.



شکل ۲. تغییرات ظرفیت جذب (q) سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده برحسب زمان [دما ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، سرعت تکاننده ۱۲۰ دور بر دقیقه، زیست توده‌ی خشک ۱ گرم بر لیتر و pH محلول ۰٫۲±۵].



شکل ۳. تغییرات ظرفیت جذب (q) سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده برحسب غلظت اولیه‌ی فلز [دما ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، سرعت تکاننده ۱۲۰ دور بر دقیقه، زیست توده‌ی خشک ۱ گرم بر لیتر و pH محلول ۰٫۲±۵].

۴.۳ اثر مقدار زیست توده بر میزان جذب زیستی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده

با افزایش مقدار زیست توده، درصد جذب برای هر دو سویه‌ی بومی و مرجع به علت افزایش تعداد جای‌گاه‌های فعال موجود بر روی سطح جاذب افزایش می‌یابد [۲۰]. ظرفیت جذب برای هر دو سویه‌ی مرجع و بومی قارچ، به ازای مقدار ۲ گرم بر لیتر

زیست توده‌ی خشک، بیشینه، و درصد جذب آن‌ها در حدود ۸۸٫۹۵ و ۸۰ درصد بوده است (شکل ۴)؛ ضمناً سویه‌ی مرجع نسبت به سویه‌ی بومی از توانایی بیش‌تری برای جذب اورانیم برخوردار بوده است. با فراتر رفتن زیست توده از ۲ گرم بر لیتر، میزان جذب کاهش یافته است که این می‌تواند به علت کلوخه‌ای شدن و بهم چسبیدن زیست توده باشد [۲۱].

۵.۳ هم‌دماهای جذب

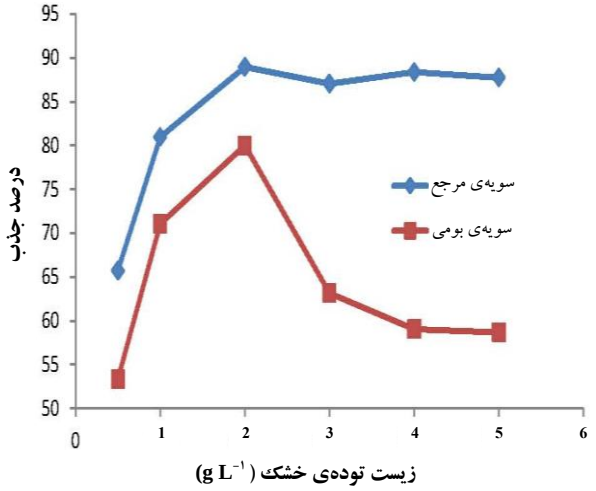
در شکل ۵ هم‌دمای لانگمویر برای جذب اورانیم به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ زنده نشان داده شده است. با توجه به مدل خطی برازش شده با داده‌های تجربی مقدارهای پارامترهای هم‌دمای لانگمویر تعیین شدند. در جدول ۱ این مقدارها برای سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ زنده داده شده است.

شکل ۶ هم‌دمای فروندلیچ برای فرایند جذب اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده را نشان می‌دهد.

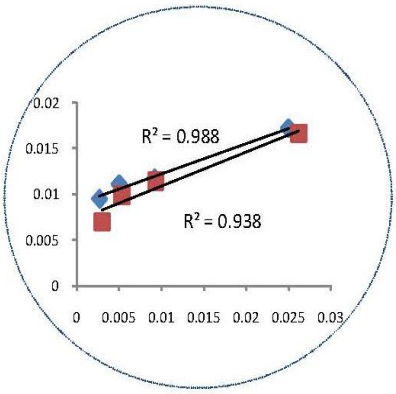
با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۱)، مقدار R^2 هم‌دمای لانگمویر برای جذب اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر، به ترتیب، ۰٫۹۹۷۲ و ۰٫۹۹۷۹ و مقدار R^2 ایزوترم فروندلیچ برای جذب یون‌های اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی، به ترتیب، ۰٫۹۰۴۱ و ۰٫۹۴۳۷ است (جدول ۲). مقادیر R^2 برای ایزوترم لانگمویر هر دو سویه‌ی قارچ بیش‌تر از مقدار R^2 برای ایزوترم فروندلیچ است و نشان‌دهنده‌ی این امر است که، ایزوترم لانگمویر به صورت بهتری توانسته است داده‌های حاصل از جذب به وسیله‌ی هر دو سویه‌ی مرجع و بومی را برازش کند.

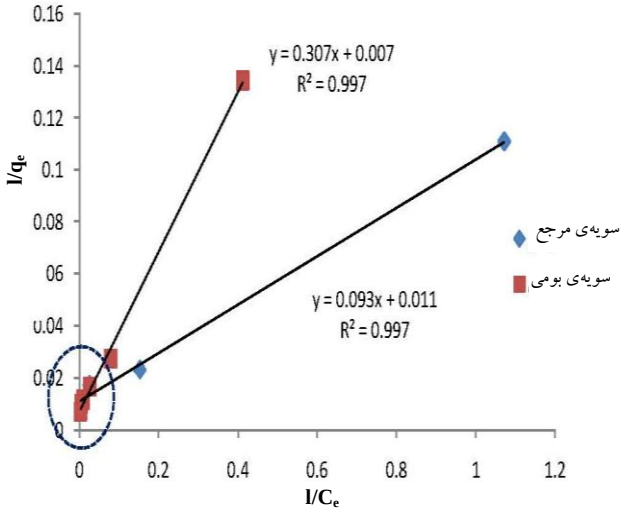
جدول ۱. پارامترهای مربوط به هم‌دمای لانگمویر برای جذب یون‌های اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده.

سویه‌ی قارچ	q_m (mgU/g dry biomass)	b (L mg^{-1})	R^2
مرجع	۹۰٫۹	۰٫۱۱۸	۰٫۹۹۷۲
بومی	۱۴۲٫۸۵	۰٫۰۲۲۷	۰٫۹۹۷۹

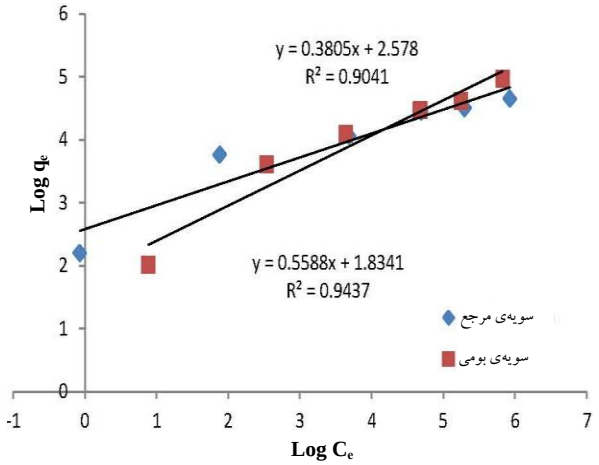


شکل ٤. تغییرات درصد جذب سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده برحسب زیست توده [دما ۱±۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، غلظت اولیه‌ی فلز اورانیم ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، سرعت تکاننده‌ی ۱۲۰ دور بر دقیقه و pH محلول ۰٫۲±۵].





شکل ۵. هم‌دمای لانگمویر برای جذب اورانیم به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده.



شکل ٦. هم‌دمای فروندلیچ برای جذب اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده.

جدول ۲. پارامترهای مربوط به هم‌دمای فروندلیچ برای جذب یون‌های اورانیم (VI) به وسیله‌ی سویه‌ی مرجع و سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر زنده.

سویه‌ی قارچ	n	k	R^2
مرجع	۱٫۷۸۹	۶٫۲۳۸	۰٫۹۴۳۷
بومی	۲٫۶۲	۱۳٫۱۷	۰٫۹۰۴۱

٤. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت، در pH=۵ و در غلظت اولیه‌ی ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اورانیم، میزان جذب برای هر دو سویه‌ی بررسی شده‌ی قارچ بیشینه است. زمان تعادل برای سویه‌ی مرجع ۶۰ دقیقه، و برای سویه‌ی بومی ۱۲۰ دقیقه تعیین شد. برای هر دو سویه‌ی قارچ ظرفیت جذب به ازای ۲ گرم بر لیتر بیشینه بود. برای مدل‌سازی جذب هر دو سویه‌ی قارچ، هم‌دمای لانگمویر مناسب‌تر است. با توجه به نتایج به دست آمده، سویه‌ی مرجع بهتر از سویه‌ی بومی عمل نموده است و میزان جذب آن حدود ۱۰ درصد بیش‌تر از سویه‌ی بومی است. با توجه به نتایج به دست آمده، سویه‌ی مرجع تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اورانیم بهتر از سویه‌ی بومی عمل نموده است، اما در غلظت‌های بالاتر توانایی جذب آن کاهش یافته است. می‌توان گفت که سویه‌ی بومی در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اورانیم توانایی جذب بهتری نسبت به سویه‌ی مرجع دارد و با توجه به شکل‌های ۱ و ۳ سویه‌ی بومی در شرایط نامطلوب‌تر برای زنده ماندن، مانند pHهای خیلی پایین یا غلظت‌های بالاتر اورانیم جذب بهتری را نشان می‌دهد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که سویه‌ی بومی نسبت به اورانیم مقاوم‌تر است و یا به عبارت دیگر به دلیل تطابق با شرایط حضور اورانیم، نسبت به آن در pH متعارف کم‌تر حساس است و جذب کم‌تری را برای اورانیم نشان می‌دهد. در غلظت‌های بالاتر اورانیم (بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سویه‌ی مرجع بیش‌تر حساس است و سریع‌تر اشباع می‌شود. اما سویه‌ی بومی دیرتر و با میزان جذب بیش‌تری از اورانیم اشباع می‌شود، لذا در غلظت‌های پایین و در محلول‌های خیلی رقیق سویه‌ی مرجع بهتر از سویه‌ی بومی عمل نموده است. شایان ذکر است که سویه‌ی بومی قارچ آسپرژیلوس نیجر از سایت بندرعباس تهیه شده است و با توجه به این‌که خاص آن مناطق بوده و با شرایط آب و هوایی آن مناطق سازگار است، استفاده از این سویه‌ی قارچ برای جذب زیستی اورانیم با صرفه‌تر است و هزینه‌های تهیه، کشت و نگه‌داری این سویه‌ی قارچ کم‌تر از سویه‌ی مرجع آن خواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

۱. Biosorption

۲. Potato Dextrose Agar

۳. Yeast Peptone Glucose

۴. Affinity

۵. Deprotonated

مرجع‌ها

1. M. Abarca, M. Bragulat, G. Castella, F. Cabanes, Ochratoxin a production by strains of Aspergillus niger var. niger., Application Environment Microbiology, 60 (1994) 2650–2659.

2. Y. Khambhaty, K. Mody, S. Basha, B. Jha, Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine Aspergillus niger, Chem. Eng. J., 145 (2009) 489-495.

3. J.L. Zhou, R.J. Kiff, The uptake of copper from aqueous solution by immobilized fungal biomass, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 52 (1991) 317-330.

4. R. Faryal, A. Sultan, F. Tahir, S. Ahmad, A. Hameed, Biosorption of lead by indigenous fungal strains, Pakistan Journal of Botany, 39 (2007) 615-62.

5. J.S. Wang, X.J. Hu, Y.G. Liu, S.B. Xie, Z.L. Bao, Biosorption of uranium(VI) by immobilized Aspergillus fumigatus beads, Chemical Engineering Journal, 170 (2011) 1-6.

6. T. Mathialagan, T. Viraraghavan, Biosorption of pentachlorophenol from aqueous solutions by a fungal biomass, Bioresour, Technol, 100 (2009) 549–558.

7. A. Cabuk, S. Ilhan, C. Filik, F. Caliskan, Pb^{2+} Biosorption by pretreated fungal biomass, Turkey Journal of Biology, 29 (2005) 23-28.

8. C. Kuber, F.S. Bhainsa, F.D. Souza, Biosorption of uranium(VI) by Aspergillus fumigates, Biotechnology Techniques, 13 (1999) 695-699.

9. D.V. Nilanjana, R. Vimala, P. Karthika, Biosorption of heavy metals-An overview, Indian Journal of Biotechnology, 7 (2007) 159-169.

10. G. Ulay, B. Glu, G.C. Elik, M.Y. Arica, Studies on accumulation of uranium by fungus, Journal of Hazardous Materials, B136 (2006) 345-353.

11. M. Ghasemian, A.R. Keshtkar, R. Dabbagh, S.J. Safdari, Biosorption of uranium(VI) from aqueous solutions by Ca-pretreated Cystoseira indica alga: Breakthrough curves studies and modeling, Journal of Hazardous Materials, 189 (2011) 141-149.

12. J. Yang, B. Volesky, Biosorption of uranium on sargassum biomass, Water Res, 33 (1999) 3357-3363.

13. S.V. Bhat, J.S. Melo, B.B. Chaugule, S.F. DSouza, Biosorption characteristics of uranium(VI) from aqueous medium onto Catenella repens, a red alga, Journal of Hazardous Materials, 158 (2008) 628-635.

14. V.H. Dang, H.D. Doan, T Dang, A. Lohi, Equilibrium and kinetics of biosorption of cadmium(II) and copper(II) ions by wheat straw, Journal Bioresource Technology, 54 (2008) 102-112.

15. C. Gok, S. Aytas, Biosorption of uranium(VI) from aqueous solution using calcium alginate beads, J. Hazard. Mater, 168 (2009) 369–375.

16. Y.P. Kumar, P. King, V.S. Prasad, Zinc biosorption on Tectona grandis leaves biomass, Engineering Journal, 124 (2003) 63-70.

17. M.X. Loukidou, T.D. Karapantsios, A.L. Zouboulis, K.A. Matis, Diffution kinetic study of cadmium(II) biosorption by Aeromonas caviae, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 79 (2004) 711-719.

18. K. Akhtar, M.W. Akhtar, A.M. Khalid, Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by Trichoderma harzianum, Water Research, 41 (2007) 1366-1378.

19. C. Pang, Y.H. Liu, X.H. Cao, M. Li, G.L. Huang, R. Hua, C.X. Wang, Y.T. Liu, X.F. An, Biosorption of uranium(VI) from aqueous solution by dead fungal biomass of Penicillium citrinum, Chemical Engineering Journal, 170 (2011) 1-6.

20. R. Narsi, G. Bishnoi, Fungus-an alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: A review, Journal Scientific and Industrial Research, 64 (2005) 93-100.

21. S. Saxena, M. Prasad, S.F. D'Souza, Radiionuclide sorption onto low-cost mineral adsorbent, Ind. Eng. Chem. Res., 45 (2006) 9122-9128.