



## حذف اورانیوم و توریم از آب‌های آلوده با استفاده از پوست میگو

زهرا شمسی

کارشناس ارشد علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه علوم محیط زیست

عباسعلی زمانی

استادیار دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه علوم محیط زیست

zamani@znu.ac.ir

عبدالحسین پری‌زنگنه

دانشیار دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه علوم محیط زیست

### چکیده

در کار حاضر پوست میگو به‌عنوان جاذب برای حذف یون‌های اورانیوم و توریم به‌عنوان نمونه‌ای از آلاینده‌های یونی رادیواکتیو از محلول-های آبی به‌کار برده شد. تاثیر پارامترهای مختلفی نظیر pH، زمان تماس جاذب با یون‌های فلزی، غلظت اولیه یون‌های فلزی و مقدار جاذب بر روی فرآیند حذف بررسی شدند. نتایج تایید می‌کند که کارایی جذب وابسته به pH محلول آبی می‌باشد و در pH برابر ۵ بهترین کارایی را دارد. در شرایط بهینه زمان تماس ۱۰ دقیقه، مقدار ۳ گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت اورانیوم و توریم ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار حذف یون‌ها به ترتیب ۹۹ و ۸۰ درصد حاصل شد. در بین مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، معادله ساده ایلوچ و تابع توان، داده‌های تجربی مطابقت خوبی را با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم داشتند. در مطالعه ایزوترم جذبی فرآیند، داده‌ها نشان می‌دهد که فرآیند جذب برای یون‌های اورانیوم از هم‌دمای لانگ‌مویر و یون‌های توریم از هم‌دمای فروندلیچ پیروی می‌کنند.

**کلیدواژه:** پوست میگو، آلودگی مواد رادیواکتیو، اورانیوم، توریم، جذب سطحی

## مقدمه

در دهه‌های کنونی مصرف مواد رادیواکتیو در صنعت و پزشکی روزبه‌روز بیش‌تر شده است، به‌طوری‌که دفع مواد زاید و پسماندهای رادیواکتیو سبب آلوده شدن آب‌های سطحی و زیرزمینی شده و تا مدت‌ها در بوم سازگان‌های گوناگون می‌تواند اثرات زیان‌بار خود را باقی بگذارد [۱]. استفاده از انرژی هسته‌ای به‌عنوان منبع مهم انرژی پذیرفته شده است. نکته قابل توجه این است که سوختن سوخت هسته‌ای ۳ میلیون برابر همان مقدار زغال سنگ گرما تولید می‌کند. آلودگی‌های زیست محیطی به‌وسیله یون‌های رادیواکتیو که از فرآیند تولید اورانیوم، نشت از راکتورهای هسته‌ای و یا از فرآوری کانسارهای حاوی این مواد به‌وجود می‌آید، یک تهدید جدی برای محیط زیست می‌باشند. زیرا می‌توانند در آب‌های زیرزمینی نفوذ کرده و باعث آلودگی آن شوند. ورود این ترکیب‌ها به زنجیره‌ی غذایی انسان و سایر موجودات و یا تشعشعات زیان‌آور آن از نظر زیست محیطی می‌تواند بسیار خطرناک باشد. این مواد اثر بالقوه جهش‌زایی روی ژنوم موجودات دارند، هم‌چنین اثر زیان‌باری روی سیستم عصبی، کبدی و استخوان دارند و هم‌چنین قادرند عمل کرد بعضی از آنزیم‌های حیاتی را نیز مهار کنند [۲]. رهاسازی رادیو نوکلئیدهای موجود در پسماند‌های هسته‌ای در آب و یا هوا می‌تواند مرزهای بین‌المللی کشورها را نیز طی نموده و از این‌رو اثر مخرب آن‌ها تنها به کشور تولیدکننده محدود نخواهد شد. نظر به توجه ویژه جهانی به حفظ و نگهداری محیط زیست در برابر خطر ناشی از این گونه مواد، دفع پسماندهای رادیواکتیو از طریق

راه‌های علمی، با اطمینان، ایمن و به صرفه اقتصادی اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است [۳]. اورانیوم، توریم و هر فلز سنگین دیگری را می‌توان با استفاده از روش‌های شیمیایی (رسوب‌دهی، اکسایش و کاهش یا الکترودیالیز) و یا فیزیکی (مانند تبخیر، صافی‌های غشایی و اسمز معکوس) از پساب حذف نمود. این روش‌های متداول نه‌تنها نیاز به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری بالا دارند بلکه در غلظت‌های پایین فلز نیز ناکارآمد هستند. بنابراین مهندسان و محققان دیگر محیط زیست سال‌هاست که برای پیدا کردن روش‌های آسان، کارآمد، اقتصادی و سازگار با محیط زیست دست به کار شده‌اند [۴].

استفاده از مواد زیستی به عنوان جاذب روشی است که از نظر اقتصادی و سازگاری با محیط زیست توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این کار می‌تواند با مواد زیستی زنده (تجمع زیستی) یا مرده (جذب زیستی) صورت گیرد. از آن‌جا که در سیستم‌های زنده به اکسیژن و غذا نیاز می‌باشد و سمیت فلز و عامل‌های دیگر نامناسب، نگهداری آن‌ها را مشکل می‌سازد، بنابراین سیستم‌های مرده برای جذب ترجیح داده می‌شوند [۵].

با توجه به اهمیت کنترل و حذف آلاینده‌های رادیواکتیو از محیط زیست مطالعه‌های زیادی در زمینه‌ی اندازه‌گیری آن‌ها در منابع مختلف و حذف آن‌ها انجام می‌شود. فن‌آوری جذب و استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت به سبب قیمت کم جاذب و کاربرد آسان به عنوان یک روش موثر در حذف یون‌های توریم و اورانیوم از محلول‌های آبی اهمیت زیادی پیدا کرده است [۶]. برخی از

مواد شیمیایی مورد استفاده  
همه‌ی ترکیب‌های شیمیایی از شرکت مرک با خلوص  
تجزیه‌ای مناسب خریداری شدند. برای تهیه محلول‌های  
مادر فلزها از نمک توریم نیترات و اورانیوم نیترات شرکت  
مرک استفاده شد. نخست محلول مادر ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر  
لیتر تهیه شد و سپس محلول‌های رقیق شده در آزمایش‌های  
بعدی مورد استفاده قرار گرفت. محلول‌های رقیق  
هیدروکلریک اسید و سود برای تنظیم pH استفاده شدند.

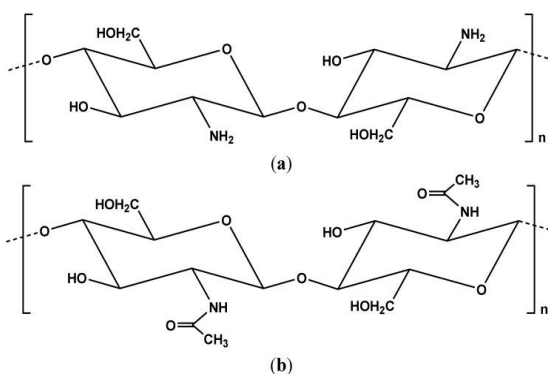
### دستگاه‌ها

از دستگاه پلاسما جفت شده القایی (ICP) جهت اندازه-  
گیری یون‌های اورانیوم و توریم به ترتیب در طول‌موج‌های  
۲۷۹/۳۹۴ و ۲۷۴/۷۱۶ نانومتر استفاده شد. برای کار با این  
دستگاه نخست محلول‌های استاندارد یون‌های مورد مطالعه  
تهیه و به دستگاه معرفی شد تا در طول‌موج‌های بیان شده  
نمودار درجه‌بندی و روش اندازه‌گیری رسم شود. جهت  
بررسی اثر pH در جذب سطحی، از دستگاه pH متر  
Metrohm مدل ۶۲۰ استفاده شد.

### روش جذب سطحی ناپیوسته

نخست ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول مخلوط از دو یون فلزی  
اورانیوم و توریم به غلظت ۱۰۰ ppm تهیه شد. ۵ میلی‌لیتر از  
آن برای اندازه‌گیری غلظت اولیه جدا شد و ۹۵ میلی‌لیتر  
دیگر آن با مقدار مشخصی از جاذب که با ترازو وزن شده  
بود، مخلوط شد. محلول یون‌های فلزی و جاذب بر روی  
شیکر (IKA) با سرعت ۲۵۰ دور بر دقیقه، در مدت زمان  
مشخصی هم زده شدند. پس از آن محلول از روی شیکر  
برداشته شد و با صاف کردن محلول با استفاده از کاغذ

این جاذب‌ها زیست توده هستند که دارای گروه‌های عاملی  
مناسب برای برهم‌کنش با آلاینده‌ها می‌باشند. در کار حاضر  
از پوست میگو به عنوان جاذب استفاده شده است. سخت-  
پوستان دریایی نظیر میگو و برخی بندپایان دیگر دارای مواد  
معدنی، آلی و کیتین هستند، کیتین ماده اولیه بیوپلی‌مر  
کیتوسان است (شکل ۱). در این کار با استفاده از پوست  
میگو در سیستم جریان ناپیوسته حاوی جاذب به بررسی  
حذف یون‌های فلزی اورانیوم و توریم از محلول‌های آبی  
پرداخته شد.



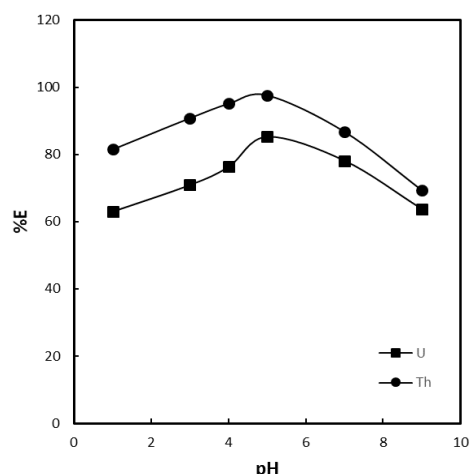
شکل ۱: ساختار شیمیایی کیتوسان (a) و کیتین (b).

### روش تجربی

#### آماده‌سازی جاذب

به منظور آماده‌سازی جاذب استفاده شده در کار حاضر، به  
مقدار مورد استفاده میگو تهیه و به آزمایشگاه تحقیقاتی  
علوم محیط زیست دانشگاه زنجان انتقال یافت. جاذب مورد  
استفاده طی مراحل جداسازی پوست میگو، شست‌وشوی آن  
با آب مقطر، خشک کردن، آسیاب نمودن و تهیه پودر هم-  
گنی از آن، آماده گردید.

می‌شوند، بنابراین به دلیل دافعه‌ی الکترواستاتیک بین یون-های  $UO_2^{2+}$  و  $Th^{2+}$  موجود در محلول و جاذب بازده جذب ناچیز است [۸]. هیدرولیز یون‌های اورانیوم و توریم نیز نقش مهمی در تعیین تعادل بین یون‌های فلزی و جاذب بازی می‌کند. محصولات هیدرولیز شامل  $UO_2(OH)^+$ ،  $(UO_2)_2(OH)_2^{2+}$ ،  $(UO_2)_3(OH)_5^{3+}$  به نوبه‌ی خود سبب کاهش راندمان حذف می‌گردد [۹]. می‌توان توضیح داد که pH برابر ۳-۵ در جدا کردن پروتون از گروه‌های عاملی نقش دارد، در نتیجه گروه‌های عاملی منفی‌تر و ظرفیت ترکیبی بین گروه‌های عاملی و یون‌های فلزی به تدریج افزایش می‌یابد [۱۰]. با این حال هنگامی که pH به بیش‌تر از یک مقدار مشخص (pH بزرگ‌تر از ۵) می‌رسد،  $OH^-$  خود تمایل به ترکیب با یون‌های فلزی پیدا می‌کند و با گروه‌های عاملی موجود در جاذب برای جذب یون‌های فلزی رقابت می‌نماید که سبب کاهش ظرفیت جذب می‌گردد [۱۱].



شکل ۲. اثر pH در جذب اورانیوم و توریم توسط پوست میگو، شرایط آزمایش: غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، مقدار جذب ۳ گرم، دمای آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

صافی، جاذب از محلول جدا گردید. محلول زیر صافی (محلول ثانویه پس از جذب) جمع‌آوری و سپس برای تعیین میزان غلظت یون‌های فلزی در محلول، یون‌های فلزی پیش و پس از تماس با جاذب با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی (ICP) اندازه‌گیری شدند. ظرفیت جذب یا مقدار ماده جذب شده بر سطح جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم جاذب و هم‌چنین درصد جذب از رابطه‌های زیر به دست می‌آید [۷].

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (1)$$

$$\% E = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

$q_t$  یا ظرفیت جذب، مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم جاذب،  $C_t$  غلظت تعادلی فلز بر حسب میلی‌گرم بر لیتر،  $C_0$  غلظت اولیه‌ی آن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر،  $V$  حجم محلول بر حسب لیتر،  $W$  جرم جاذب بر حسب گرم است.

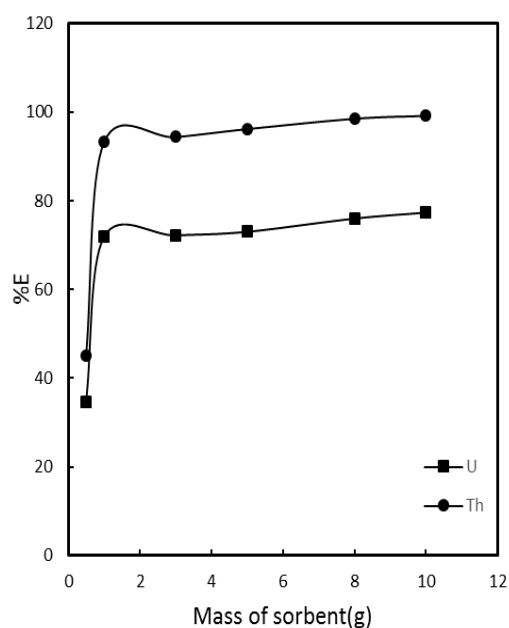
## نتایج و بحث

### بررسی تاثیر pH

یک عامل بسیار مهم در قابلیت جذب سطحی pH می‌باشد. وابستگی جذب سطحی به pH، به دلیل رقابت برای مکان‌های سطحی میان یون‌های فلزی و یون‌های هیدروژن است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است بهترین pH برای جذب یون‌های اورانیوم و توریم = ۵ pH می‌باشد که پس از آن جذب روند کاهشی دارد. در pH کم‌تر از ۵ یون‌های هیدروژن موجود در محلول سبب پروتونه شدن گروه‌های آمین کیتوسان و تشکیل  $NH_3^+$  بر روی جاذب

## اثر مقدار جاذب

برای بررسی اثر مقدار جاذب بر میزان جذب، مقدارهای ۰/۵ تا ۱۰ گرم از جاذب و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از یون‌های اورانیوم و توریم مخلوط مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، برای یون‌های اورانیوم و توریم در مقدارهای کم جاذب بازده جذب کم می‌باشد و در مقدارهای بیش‌تر جاذب (۵-۰/۵ گرم) با افزایش مقدار جاذب بازده جذب افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار جاذب، کارایی جذب افزایش می‌یابد زیرا مکان‌های در دسترس برای جذب، با افزایش میزان جاذب افزایش می‌یابد. از مقدار جاذب ۵ گرم به بعد بازده جذب به طور تقریبی ثابت می‌شود.

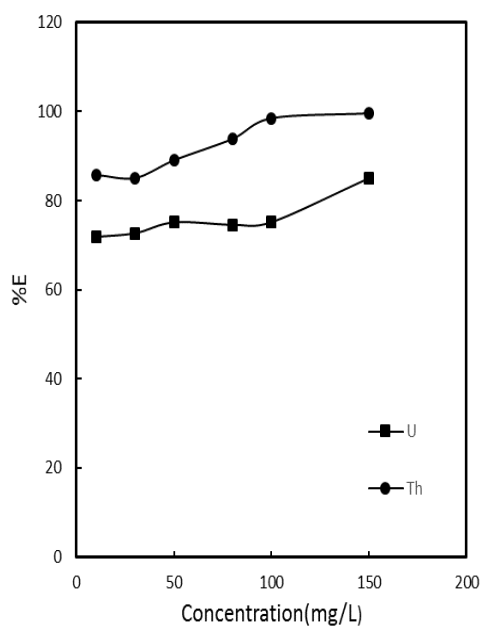


شکل ۳. اثر مقدار جاذب در جذب اورانیوم و توریم توسط پوست میگو، شرایط آزمایش: غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، pH=۴، دمای آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

## اثر غلظت اولیه یون‌های فلزی

غلظت اولیه آنالیت از جمله عوامل دیگری است که می‌تواند فرآیند جذب را تحت تاثیر قرار دهد. برای مطالعه اثر غلظت ابتدایی یون‌های اورانیوم و توریم، غلظت‌های ۱۰

تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در حضور مقدار ۳ گرم از جاذب بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است با افزایش غلظت اولیه راندمان حذف آن افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت اولیه محلول، تراکم یون‌های موجود نیز افزایش یافته و در میان مکان‌های جاذب به دام می‌افتند که در نهایت راندمان حذف ماده‌ی جاذب افزایش می‌یابد.



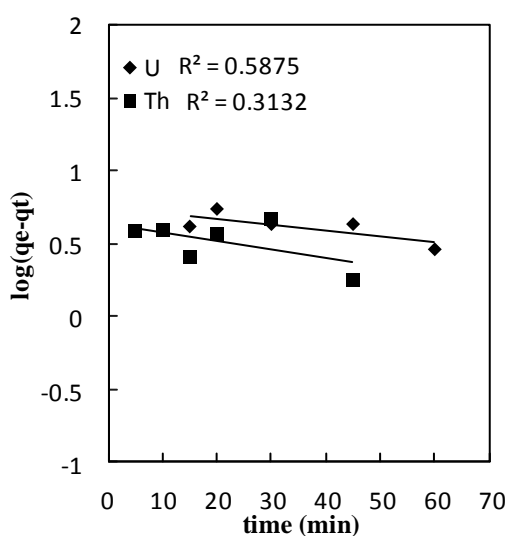
شکل ۴. اثر غلظت اولیه اورانیوم و توریم در جذب توسط پوست میگو، شرایط آزمایش: حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، pH=۴، مقدار جاذب ۳ گرم و دمای آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

## اثر زمان تماس جاذب و یون‌های فلزی

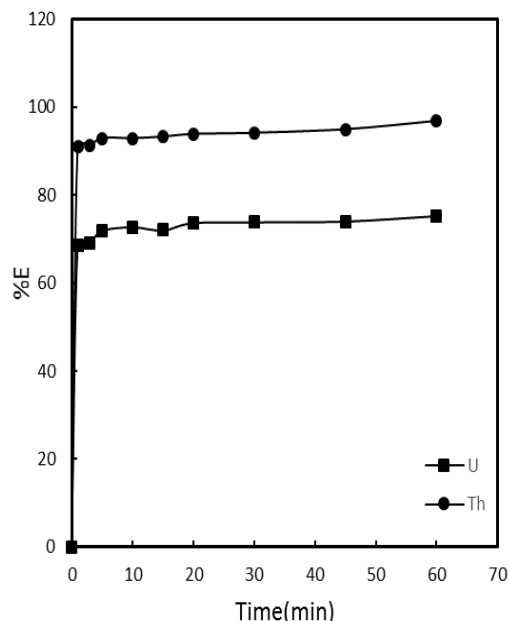
برای بررسی اثر زمان، با روش ناپیوسته آزمایش‌هایی در زمان‌های ۱ تا ۶۰ دقیقه برای غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از یون‌های اورانیوم و توریم انجام شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است با افزایش زمان تماس مقدار جذب افزایش یافته و با افزایش بیش‌تر، از زمان ۱۵ دقیقه به بعد مقدار جذب ثابت می‌شود.

که در این رابطه‌ها،  $q_e$  و  $q_t$  به ترتیب میزان جذب یون فلزی بر روی جاذب در حالت تعادل و در هر یک از زمان‌های مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم بر گرم،  $k_1$  ثابت معادله شبه مرتبه اول،  $k_2$  ثابت معادله شبه مرتبه دوم،  $a$  و  $b$  ثابت‌های معادله ساده ایلویچ و تابع می‌باشند.

شکل‌های ۶ تا ۹ و جدول ۱ داده‌های کار حاضر را با استفاده از جاذب پوست میگو را نشان می‌دهد. ضریب هم-بستگی به دست آمده برای معادله‌های سینتیک شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، معادله ساده ایلویچ و تابع توان در جدول ۱ نشان می‌دهد که مدل شبه مرتبه دوم نسبت به معادله‌های استفاده شده دیگر، داده‌های به دست آمده را بهتر توصیف می‌کند.



شکل ۶. مدل‌سازی سینتیک جذب سطحی یون‌های اورانیوم و توریم با استفاده از معادله سینتیک شبه مرتبه اول. شرایط آزمایش: مقدار جاذب ۳ گرم، غلظت اولیه محلول ۱۰۰ mg/L، حجم محلول ۱۰۰ mL، pH محلول ۴، دمای محیط.



شکل ۵. اثر زمان بر حذف اورانیل و توریم توسط پوست میگو، شرایط آزمایش: حجم محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر، غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۴، مقدار جاذب ۳ گرم و دمای آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

#### مطالعه‌ی سینتیک جذب

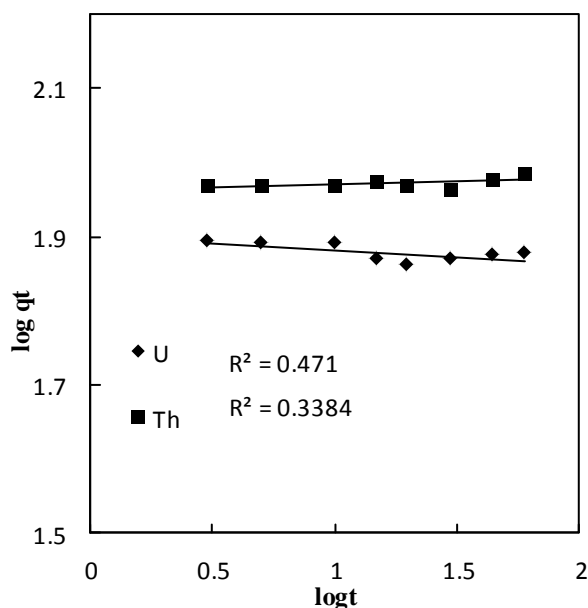
سینتیک جذب در یک فرآیند جذب از اهمیت برخوردار است. به منظور مطالعه رفتار سینتیک جذب در این بخش با استفاده از شکل ۵ و پرکاربردترین معادلات سینتیک شامل شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، معادله ساده ایلویچ و تابع توان بررسی شده‌اند که به ترتیب در رابطه‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_{1ads}}{2.303} t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{2ads} q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

$$q_t = a + 2.303b \log t \quad (5)$$

$$\log q = \log a + b \log t \quad (6)$$



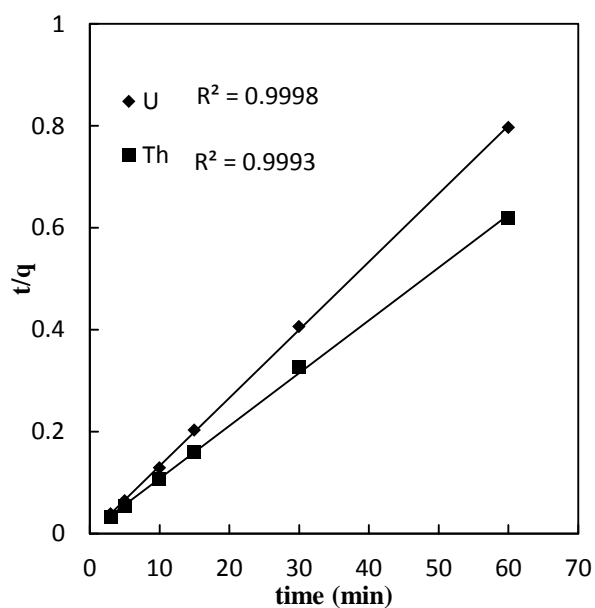
شکل ۹. مدل‌سازی سینتیک جذب سطحی یون‌های اورانیوم و توریم با استفاده از معادله سینتیکی تابع توان. شرایط آزمایش: مقدار جاذب ۳ گرم، غلظت اولیه محلول ۱۰۰ mg/L، حجم محلول ۱۰۰ mL، pH محلول ۴، دمای محیط.

جدول ۱. ضرایب هم‌بستگی معادلات سینتیکی برای جذب سطحی یون‌های اورانیوم و توریم.

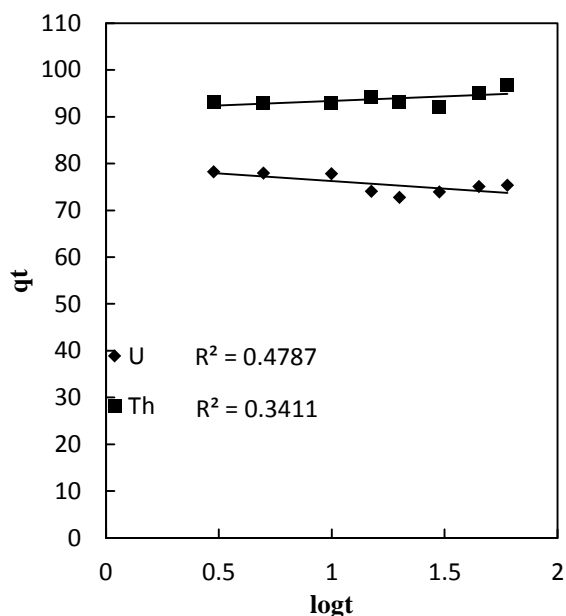
	R <sup>2</sup>			
M <sup>n+</sup>	تابع توان	ایلوپیج	شبه درجه	شبه درجه
			اول	دوم
UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	۰/۴۷۱	۰/۴۷۹	۰/۵۸۷	۰/۹۹۹
Th <sup>2+</sup>	۰/۳۳۸	۰/۳۴۱	۰/۳۱۳	۰/۹۹۹

#### مطالعه هم‌دمای جذب

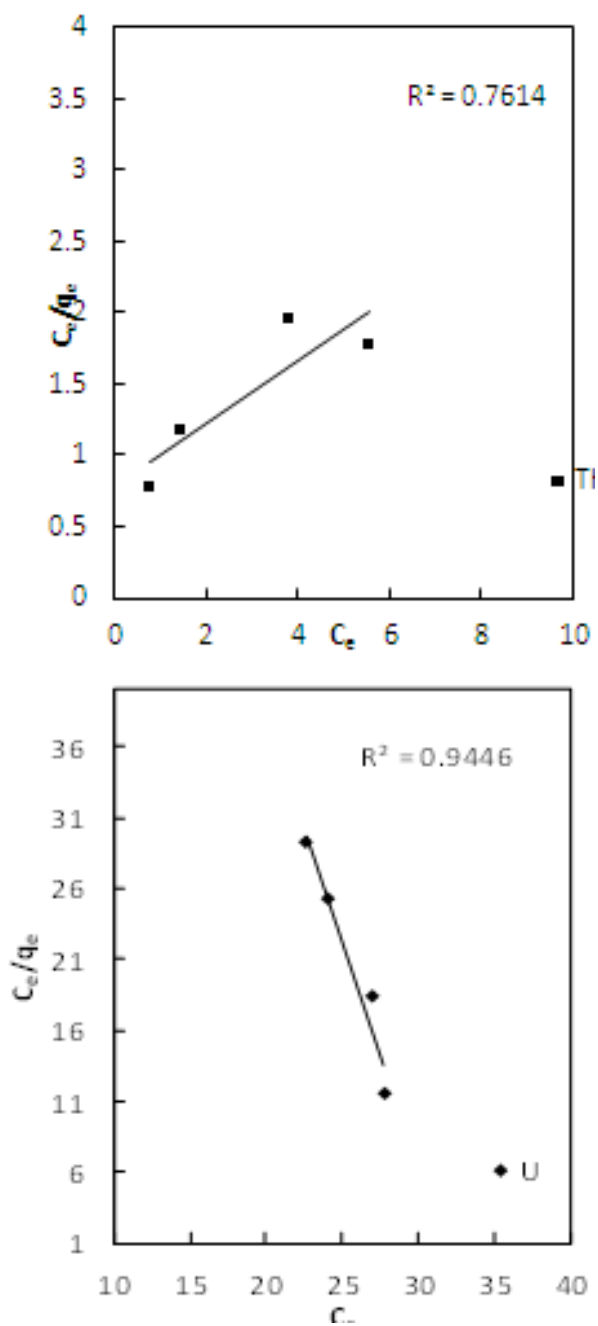
برای بررسی فرآیند جذب، وجود یک رابطه کمی بین مقدار ماده جذب شده (فشار در مورد گازها) و سطح جاذب ضروری است. به این منظور با استفاده از داده‌های شکل ۳ معادله‌های لانگ‌مویر، فروندلیچ و تمکین برای توصیف هم‌دمای جذب یون‌های اورانیوم و توریم بر روی پوست



شکل ۷. مدل‌سازی سینتیک جذب سطحی یون‌های اورانیوم و توریم با استفاده از معادله سینتیکی شبه مرتبه دوم. شرایط آزمایش: مقدار جاذب ۳ گرم، غلظت اولیه محلول ۱۰۰ mg/L، حجم محلول ۱۰۰ mL، pH محلول ۴، دمای محیط.



شکل ۸. مدل‌سازی سینتیک جذب سطحی یون‌های اورانیوم و توریم با استفاده از معادله سینتیکی ایلوپیج. شرایط آزمایش: مقدار جاذب ۳ گرم، غلظت اولیه محلول ۱۰۰ mg/L، حجم محلول ۱۰۰ mL، pH محلول ۴، دمای محیط.



شکل ۱۰. هم‌دمای لانگ‌مویر در جذب یون‌های اورانیوم و توریم در مقدار مختلف جاذب (۵-۱۰ گرم) شرایط آزمایش: ۱۰۰ mL محلول با غلظت اولیه ۱۰۰ mg/L، زمان ۶۰ min، pH=۴.

میگو در سیستم جریان ناپیوسته بررسی شدند. این معادله‌ها به ترتیب در رابطه‌های ۷ تا ۹ آورده شده‌اند:

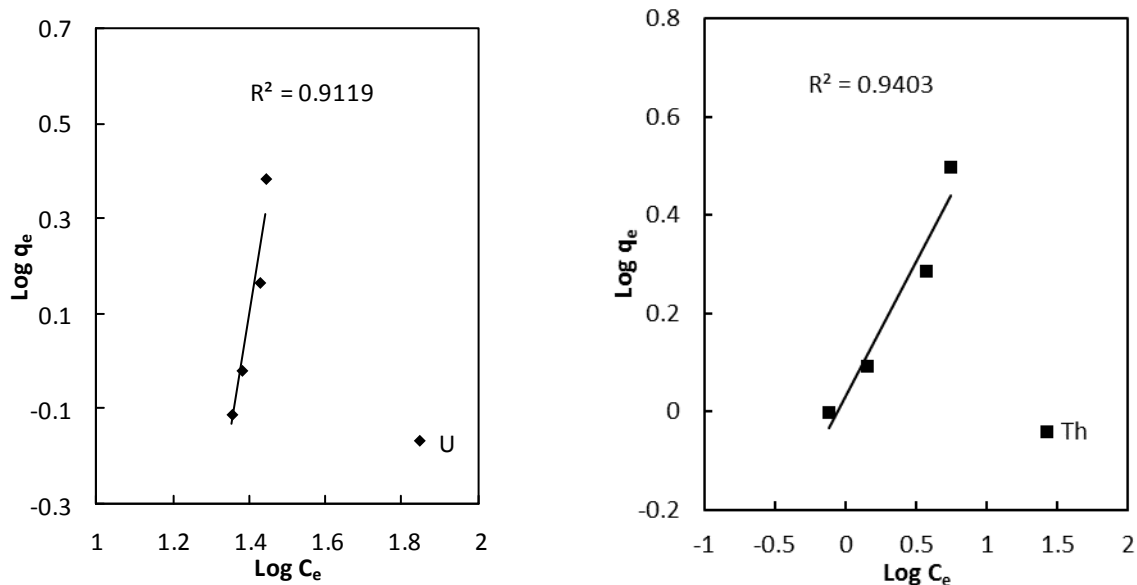
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (7)$$

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(aC_e) \quad (9)$$

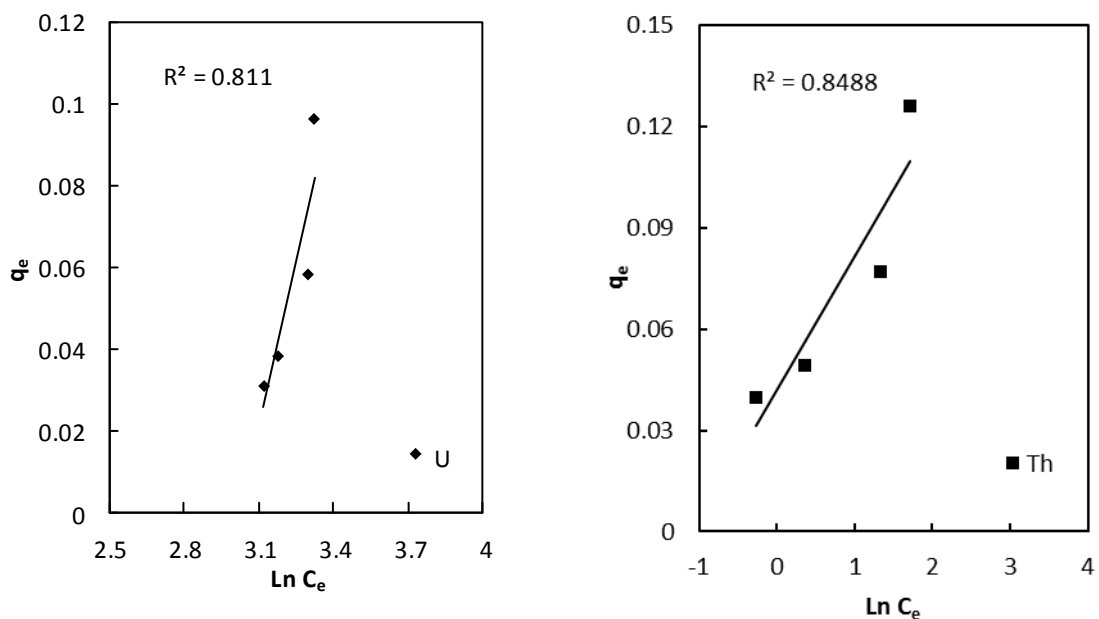
جذب یون‌های فلزی (میلی گرم بر گرم)،  $b$  ثابت تعادلی جذب لانگ‌مویر (میلی گرم بر گرم)،  $K_f$  و  $n$  ثابت‌های فروندلیچ و به ترتیب شاخص‌های ظرفیت و شدت جذب هستند [۱۲].  $q_{\max}$  بیشینه ظرفیت جذب یون‌های فلزی از شیب نمودار  $1/q_e$  نسبت به  $1/C_e$  به دست می‌آید و  $b$  ثابت تعادلی لانگ‌مویر از عرض از مبدا این نمودار محاسبه می‌شود. ثابت‌های فروندلیچ،  $K_f$  و  $n$  نیز به ترتیب از عرض از مبدا و شیب نمودار  $\log q_e$  نسبت به  $\log C_e$  به دست می‌آیند. در هم‌دمای تمکین فرض می‌شود که به دلیل برهم‌کنش‌های جاذب/جذب‌شونده گرمای جذب به صورت خطی کاهش می‌یابد. در این رابطه  $b$  ثابت تمکین و شاخص گرمای جذب (کیلوژول بر مول)،  $R = 0.083$  ثابت گاز (کیلوژول بر مول بر کلوین) و  $a$  ثابت تمکین (لیتر بر گرم) می‌باشد [۱۳].  $a$  و  $b$  از شیب و عرض از مبدا نمودار  $q_e$  نسبت به  $\ln C_e$  به دست می‌آیند.





شکل ۱۱. هم‌دمای فروندلیچ در جذب یون‌های اورانیوم و توریم در مقدار مختلف جاذب (۵/۱۰-۱۰ گرم). شرایط آزمایش: ۱۰۰ mL محلول با غلظت

اولیه ۱۰۰ mg/L، زمان ۶۰ min، pH=۴.



شکل ۱۲. هم‌دمای تمکین در جذب یون‌های اورانیوم و توریم در مقدار مختلف جاذب (۵/۱۰-۱۰ گرم). شرایط آزمایش: mL محلول کادمیم با

غلظت اولیه ۱۰۰ mg/L، زمان ۶۰ min، pH=۴.

بیان تطبیق داده‌های تجربی و هم‌دماهای مورد مطالعه باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌گردد برای یون‌های اورانیوم هم-

مقایسه ضریب هم‌بستگی به‌دست آمده از رسم منحنی‌های

هر یک از هم‌دماهای، می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای

- [6] H. Basu, R. K. Singhal, M. V. Pimple, A. V. R. Reddy, *Int. J. Environ. Sci.* 12(2015)1899.
- [7] M. M. Benjamin, K. F. Haayes, J. O. Leckie, *J. WPCF.* 43 (1982) 1472.
- [8] N. Van Suc, H. Thi Yeu Ly, *Inter. J. Chem. Tech. Res.* 3 (2011) 1993.
- [9] C. F. Baes, R. E. Mesmer, Wiley-Interscience, John Wiley and sons, New York, (1976) 512.
- [10] N. Saifuddin, D. Sultanbayeva, *Advan. Natur. Appl. Sci.* 6 (2012) 249.
- [11] W. Guanghui, L. Jinsheng, W. Xuegang, X. Zhiying, D. Nansheng, *J. Hazard. Mater.* 168 (2009) 1053.
- [12] H. Jiang, Y. Xu, J. Zhang, L. Zhang, R. Han, *Lif. Sci. J.* 4 (2007) 42.
- [13] M. Nameni, M.R. Alavi Moghadam, M. Arami, *Inter. J. Environ. Sci. Technol.* 5 (2008) 161.

دمای لانگمویر نسبت به هم دمای‌های دیگر مناسب‌تر است که حاکی از جذب تک لایه‌ی یون‌های فلزی بر روی سطح جاذب است و برای یون‌های توریم هم‌دمای فروندلیچ تطابق بهتری نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که جاذب پوست میگو توانایی خوبی در برخی از یون‌های عنصرهای اکتینیدی (اورانیوم و توریم) از خود نشان داد. فرآیند جذب سطحی وابستگی شدیدی به pH محیط دارد و در pH برابر ۵ برای یون‌های فلزی بهترین کارایی را دارد. مقدار جاذب بهینه وابسته به غلظت یون فلزی است و هرچه غلظت یون‌ها بیش‌تر باشد به مقدار جاذب بیش‌تری احتیاج است. فرآیند جذب سطحی برای یون‌های اورانیوم از هم دمای لانگمویر و یون‌های توریم از هم‌دمای فروندلیچ پیروی می‌کنند که به ترتیب حاکی از جذب تک لایه‌ای و دو لایه‌ای آلاینده‌ها بر روی سطح جاذب است. در بررسی‌های سینتیکی معادله‌ی سینتیکی شبه درجه دوم مطابقت بهتری با داده‌ها نشان داد. فرآیند جذب سطحی در روش ناپیوسته قابلیت خوبی دارد. در نهایت با توجه به کارآیی خوب روش، سادگی و هزینه پایین استفاده از این جاذب امید است تا برای تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی مورد توجه قرار گیرد.

### مراجع

- [۱] مر، ف. شرفی، ع. اصول ژئوشیمی، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۳۸۰.
- [2] C.Gok, D.A.Turkozu, S.Aytas, *J. Radio. Nucl. Chem.* 287 (2011) 533.
- [3] M. H. Khani, A. R. Keshtkar, B. Meysami, M. F. Zarea, R. Jalali, *Elec. J. Biotechnol.* 9 (2006) 100.
- [4] P.Sharma, *Micropor. Mesopor. Mater.* 9 (2008) 641.
- [5] O.Lioglu, *Appl. Radiat. Isot.* 11 (2006) 17.