J. of Nucl Sci. and Tech.
78, 2017, 70-76

مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای
۷۸، ۱۳۹۵، ۷۰-۷۶

استخراج فاز جامد توریم (IV) و اورانیم (VI) از محیط نیتراتی با نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سیانکس ۳۰۲

سعید علمدار میلانی*
پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران

چکیده: با استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سیانکس ۳۰۲، یک جاذب مغناطیسی برای استخراج یون‌های توریم و اورانیم از محیط‌های نیتراتی ساختگی فراهم شد. توانایی و قابلیت نانوذرات مغناطیسی (≈۱۰nm) پوشش داده شده با سیانکس ۳۰۲ برای استخراج و پیش‌تغلیظ هم‌زمان توریم و اورانیم از محیط نیتراتی در روش ناپیوسته ارزیابی شد. اثر مقدار لیگاند، pH محیط، و غلظت اولیه‌ی محلول یون‌های فلزی بر رفتار استخراجی یون‌های توریم و اورانیم بررسی شد. داده‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که نسبت وزنی بهینه‌ی سیانکس ۳۰۲ به نانوذرات مغناطیسی، ۱۰٪ وزنی، و مقدار pH بهینه‌ی محلول برای استخراج هم‌زمان یون‌های توریم و اورانیم برابر با ۶ است. این مقدار سیانکس قابلیت جذب ۶۰mg/l یون توریم و اورانیم را دارد. تأثیر حضور محصولات شکافت [Cs(I)، Sr(II)] و یون‌های مزاحم از جمله Fe(III)، Cr(III)، Mg(II)، Mn(II) و Al(III) نیز بررسی شد.

کلیدواژه‌ها: ***استخراج فاز جامد، توریم و اورانیم، سیانکس ۳۰۲، نانوذرات مغناطیسی***

Solid Phase Extraction of Thorium (IV) and Uranium (VI) from Nitrate Medium Using Cyanex 302-Coated Magnetic Nanoparticles

S.A. Milani*
Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran

Abstract: Magnetic nanoparticles modifdied with Cyanex 302 were used for the separation and preconcentration of Th(IV) and U(VI) from synthetic nitrate solutions. The capacity of magnetic nanoparticles (≈10 nm) coated with Cyanex 302 for simultaneous separation and preconcentration of thorium and uranium from the nitrate medium was studied by means of the batch method. The effects of analytical parameters, including the amount of Cyanex 302, pH, and initial metal concentration on the extractive behavior of metal ions were systematically studied. The results showed that the optimum weight ratio of Cyanex 302 to magnetite nanoparticles was 10% and the optimum pH of solution for the simultaneous extraction of Th(IV) and U(VI) was equal to 6. The maximal capacity of the magnetite nanoparticles modifdied with 10 w% Cyanex 302 was found to be 60 mg l^{-1} of thorium and uranium. The influences of the fission products [Cs(I), Sr(II)] and interfering ions, including Fe(III), Cr(III), Mg(II), Mn(II) and Al(III) were also investigated.

Keywords: ***Solid Phase Extraction, Thorium and Uranium, Cyanex 302, Magnetic Nanoparticles***

*email: salamdar@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۷/۱۱

۱. مقدمه

با توجه به استفاده‌ی روزافزون اورانیم و توریم در صنعت، به ویژه صنعت هسته‌ای و سمیّت ترکیبات آن دو، توانایی تشخیص و تعیین دقیق مقدار آن‌ها در محیط و کنترل آلودگی ناشی از آن‌ها امری حیاتی و مهم است. برای جداسازی انتخابی این یون‌های فلزی از محلول‌های آبی رقیق و نمونه‌های پساب، روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تبخیر، رسوب‌گذاری شیمیایی، جذب سطحی، تبادل یون، استخراج مایع- مایع، اسمز معکوس، و فرایندهای غشایی اشاره کرد [۱، ۲]. بسیاری از این روش‌ها غیراقتصادی، هزینه‌بر، کم‌بازده برای حذف یون‌ها، همراه با تولید آلودگی‌های ثانویه و برای غلظت‌های پایین غیرمفیدند. استخراج فاز جامد به سبب سادگی، قابلیت دست‌یابی به ضریب پیش‌تغلیظ بالاتر و دسترسی به جاذب‌های گزینشی یکی از مؤثرترین روش‌های پیش‌تغلیظ است که معمولاً برای پیش‌تغلیظ و جداسازی ذرات آلی و غیرآلی گوناگون استفاده می‌شود. امروزه از جاذب‌های فاز جامد گوناگونی برای تصفیه‌ی پسماندهای مایع استفاده می‌شود. اما با توجه به لزوم جداسازی حداکثر مقدار ممکن مواد پرتوزا، پژوهش در زمینه‌ی سنتز جاذب‌های جدید با مساحت سطح بالا، رفتار تورمی پایین و با ثبات در محدوده‌ی وسیعی از pH هم‌چنان ادامه دارد. در استخراج فاز جامد، مواد مورد تجزیه از فاز مایع در فاز جامد استخراج می‌شوند.

مواد نانو، مواد جامد جدیدی هستند که اصولاً به دلیل خواص ویژه‌ی خود، در فرایندهای استخراج فاز جامد، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. امروزه با تلفیق فن‌آوری نوین نانو، جدایش مغناطیسی و جدایش شیمیایی و کاربرد آن‌ها در فرایندهای زیست محیطی، روش جدیدی بر مبنای سازوکار جذب برای حذف و بازیابی فلزهای سنگین توسعه داده شده است. این روش، انتخاب‌پذیری استخراج‌کننده‌های حلالی را با جداسازی مغناطیسی ترکیب می‌کند. در این روش، ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با لیگاندهای آلی، حامل مناسبی را برای استخراج‌کننده‌های حلالی فراهم می‌آورند که برای جداسازی و استخراج فلزها از محلول‌ها استفاده می‌شوند. ذراتی که یون‌ها بر رویشان جذب شده‌اند به وسیله‌ی میدان مغناطیسی از محلول جدا می‌شوند. در ادامه یون‌ها به وسیله‌ی مقادیر بسیار کمی از عوامل عریان‌ساز از ذرات جدا می‌شوند.

در مطالعات چندی، استفاده از این روش برای استخراج و جداسازی برخی یون‌های فلزی گزارش شده است. برای مثال، کامینیسکی و همکاران با استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سیانکس ۲۷۲ و D_2EHPA برای جداسازی کبالت و نیکل از محلول‌های اسیدی، یافته‌های بسیار امیدبخشی را در آمایش اقتصادی پسماندهای مایع به دست آوردند [۳]. فرجی و همکاران با استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سدیم دودسیل سولفات، جیوه را به طور کمّی از آب‌های باطله استخراج نمودند [۴]. شایبو و همکاران با استفاده از ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با سیانکس ۹۲۳، موفق به جداسازی کمّی آکتینیدها و لانتانیدها در محیط اسید نیتریک شدند و گزارش نمودند که با استفاده از ذرات پوشش داده شده با سیانکس ۹۲۳، توریم (IV)، اورانیم (VI) و آمرسیم (III) می‌توانند به طور انتخابی از محلول پسماندهای سطح بالا بازیابی شوند [۵]. صادقی و همکاران از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با کرستین[1] برای استخراج فاز جامد یون‌های اورانیل از نمونه‌های آبی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که روش استخراج فاز جامد برای جذب یون‌های اورانیل از نمونه‌های آبی بزرگ- حجم بسیار مطلوب است [۶]. خیاطان و همکاران توانستند با استفاده از نانوذرات اکسید آهن اصلاح شده با سولفات سدیم دودسیل، با موفقیت روش استخراج فاز جامد را برای پیش‌تغلیظ و اندازه‌گیری مقادیر ناچیز اورانیم در نمونه‌های آب شهر، معدنی، رودخانه و دریا به کار گیرند [۷]. با این وجود، استخراج و جداسازی توریم و اورانیم با نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با سیانکس ۳۰۲ گزارش نشده است.

مقاله‌ی حاضر، کارآیی یک جاذب فاز جامد فراهم شده با استفاده از نانوذرات مغناطیسی و سیانکس ۳۰۲ برای استخراج اورانیم و توریم از محیط‌های نیتراتی، و هم‌چنین اثر پارامترهای مختلف از جمله مقدار لیگاند تثبیت شده، pH محیط، و غلظت اولیه‌ی محلول یون‌های فلزی بر روی کارآیی استخراج را بحث و بررسی می‌کند.

۲. بخش تجربی

۱.۲ مواد و تجهیزات

نانوذرات مغناطیسی، مطابق با یک روش پیش از این توصیف شده، تهیه، و با لیگاند آلی سیانکس ۳۰۲ اصلاح شدند [۸]. سیانکس ۳۰۲ محصول شرکت سایتک بود. نمک‌های نیترات توریم [$Th(NO_3)_4.5H_2O$] و نیترات اورانیم [$UO_2(NO_3)_2.6H_2O$] از شرکت مرک تهیه شدند. محلول ذخیره‌ی توریم (IV) و اورانیم (VI) با استفاده از مقدار مناسب از $Th(NO_3)_4.5H_2O$ و $UO_2(NO_3)_2.6H_2O$ در آب دو بار تقطیر شده تهیه، و از آن محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف به روش رقیق‌سازی متوالی تهیه شد. همه‌ی مواد شیمیایی مورد استفاده دارای خلوص تجزیه‌ای بودند.

پوشش ذرات از تجزیه‌ی گرماوزنی[۲] (TGA Rheometric Scientific-STA-1500) تعیین شد (یافته‌ها ارائه نشده‌اند) [۸].

غلظت یون‌های توریم (IV) و اورانیم (VI) در فاز آبی قبل و بعد از استخراج با استفاده از طیف‌سنج نشر نوری- پلاسمای جفت‌شده‌ی القایی (ICP-OES) مدل لیبرتی ۲۲۰ واریان اندازه‌گیری شد. غلظت یون‌های فلزی در فاز جامد از موازنه‌ی جرم محاسبه شد.

۲.۲ آزمایش‌های استخراج و استخراج برگشتی

فازهای آبی از انحلال مقادیر مناسبی از نمک‌های توریم و اورانیم در محلول‌های حاوی 1×10^{-7} تا 1M/l از HNO_3 تهیه شدند. آزمایش‌های بازیابی استخراجی در محیط‌های ساختگیِ محلول‌های نیترات توریم و اورانیم (محتوی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و 150mg/l توریم و اورانیم)، به درون فاز جامد محتوی ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد وزنی سیانکس ۳۰۲ انجام شدند. آزمایش‌ها در ارلن مایرهای 50ml محتوی 10ml محلول یون‌های توریم و اورنیم در دمای محیط (25°C) با 5g/l نانوذرات اصلاح شده با سیانکس ۳۰۲ انجام شدند. ارلن مایرهای آزمایشی بر روی هم‌زن مغناطیسی با تندی 150 rpm به مدت 10min [۹، ۱۰] هم‌زده شدند. در پایان آزمایش‌ها، نانوذرات باردار با استفاده از یک آهن‌ربا از محلول جدا شدند. هر آزمایش دو بار تکرار شد و استخراج برگشتی با استفاده از 3ml محلول اسید هیدروکلریک 1M به انجام رسید. غلظت اورانیم و توریم در فاز آبی هر آزمایش قبل و بعد از آزمایش تعیین شد. از موازنه‌ی جرم داریم:

$$V_sC_s = V_sC_f + m_pC_p \qquad (۱)$$

و ضریب تقسیم[۳] k_d چنین محاسبه شد

$$k_d(\text{ml g}^{-1}) = \frac{C_p}{C_f} = \frac{(C_i - C_f)}{C_f}\frac{V_s}{m_p} \qquad (۲)$$

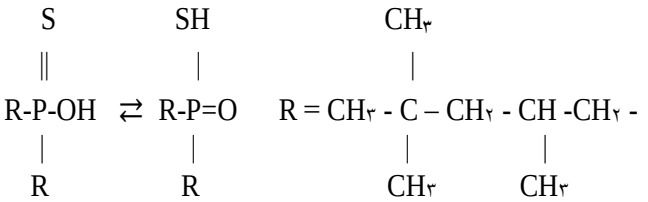
که در آن C_i و C_f، به ترتیب، غلظت اولیه و غلظت نهایی محلول یون فلزی برحسب mg/l، C_P مقدار یون فلزی در فاز جامد برحسب mg/g، V_s حجم محلول برحسب ml، و m_P جرم ذرات برحسب gr است.

۳. نتایج و بحث

۱.۳ اثر pH بر بازیابی استخراجی یون‌های توریم و اورانیم

بسیاری از لیگاندها به دلیل دارا بودن گروه‌های اسیدی ضعیف در ساختار خود، تمایل زیادی به جذب یون‌های H^+ و H_3O^+ دارند. بنابراین pH عامل مهمی در استخراج یون‌های فلزی به وسیله‌ی این نوع لیگاندها است. در pHهای پایین، رقابت بین یون‌های هیدروژن و یون‌های فلزی برای استخراج شدن به وسیله‌ی لیگاند آلی به صورت تبادل‌کننده‌ی کاتیون بیش‌تر است.

سیانکس ۳۰۲ یا بیس (۲، ۴ و ۴-تری متیل پنتیل) اسید مونوتیوفسفینیک در محلول در حالت تعادلی زیر است. در ترکیب این ماده، یک اتم گوگرد و یک اتم اکسیژن وجود دارد که نقشِ دهنده را ایفا می‌کنند (البته، گوگرد در مقایسه با اکسیژن، دهنده‌ی اصلی است.)

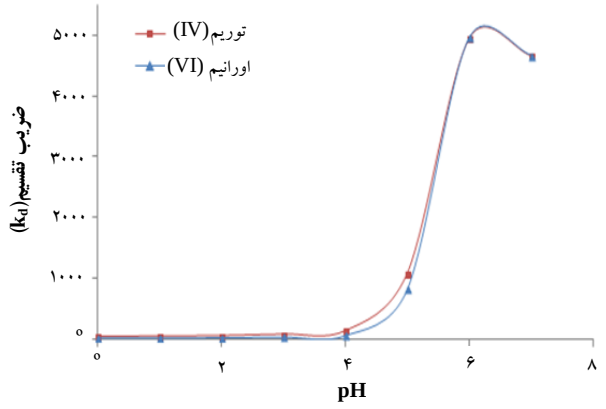


بررسی اثر pH بر استخراج فاز جامد یون‌های توریم و اورانیم با ۱۰ ml محلول محتوی ۲۰ mg/l از یون‌های توریم و

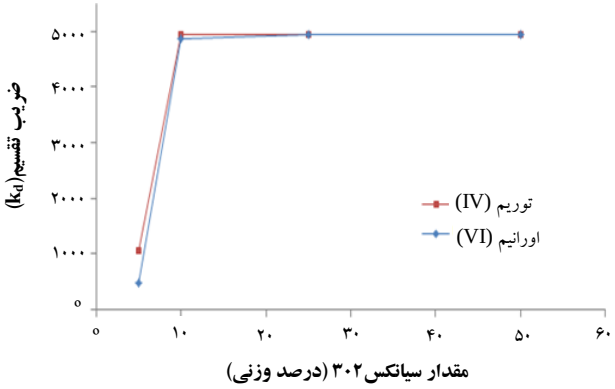
اورانیم و ۵ g/l نانوذرات اصلاح شده با ۲۰٪ وزنی سیانکس ۳۰۲، در دمای محیط، در گستره‌ی ۱ تا ۷ برای pH محیط، و در مدت ۱۰min به انجام رسید (هر چند که مطالعه‌های سینتیک جذب، زمان تعادل را حدود ۵ min به دست داد [۹، ۱۰]). نمودار داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش pH محیط و هیدرولیز یون‌های توریم و اورانیم موجود در محلول و تشکیل کمپلکس‌های پایدار توریم و اورانیم، به ترتیب به شکل، $Th_2(OH)_2^{6+}$ و $(UO_2)_3(OH)_5^{+}$ [۱۱، ۱۲] و افزایش توانایی سیانکس ۳۰۲ به عنوان تبادل‌کننده‌ی کاتیون، میزان استخراج یون‌های توریم و اورانیم به وسیله‌ی سیانکس ۳۰۲ افزایش می‌یابد [۱۳، ۱۴]. بیش‌ترین میزان استخراج این یون‌های فلزی، در pH برابر با ۶ اتفاق می‌افتد و بعد از آن میزان استخراج کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش، رسوب یون‌های توریم و اورانیم در pHهای بالا است. سایر پژوهش‌گران نیز این موضوع را گزارش کرده‌اند [۱۵-۱۷].

۲.۳ اثر مقدار لیگاند بر استخراج فاز جامد یون‌های توریم و اورانیم

برای بررسی اثر مقدار سیانکس بارگذاری شده بر روی نانوذرات بر فرایند استخراج فاز جامد یون‌های توریم و اورانیم، ۱۰ml از محلول حاوی ۲۰ mg/l توریم و اورانیم، در دمای محیط و در pH برابر با ۶، با ۵ g/l نانوذرات اصلاح شده با ۵ تا ۵۰ درصد وزنی سیانکس ۳۰۲، به مدت ۱۰ min در تماس قرار داده شد. نمودار داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان می‌دهد که در صورت کم‌تر بودن مقدار سیانکس ۳۰۲ از مقدار ۱۰٪، استخراج فاز جامد یون‌های فلزی به طور کامل انجام نمی‌شود. بنابراین مقدار بهینه‌ی سیانکس، ۱۰ درصد وزنی است. با این وجود، برای اطمینان بیش‌تر از حصول تعادل و جلوگیری از هرگونه خطای احتمالی، آزمایش‌ها با نانوذرات پوشش داده شده با ۲۰٪ وزنی سیانکس ۳۰۲ انجام شدند.



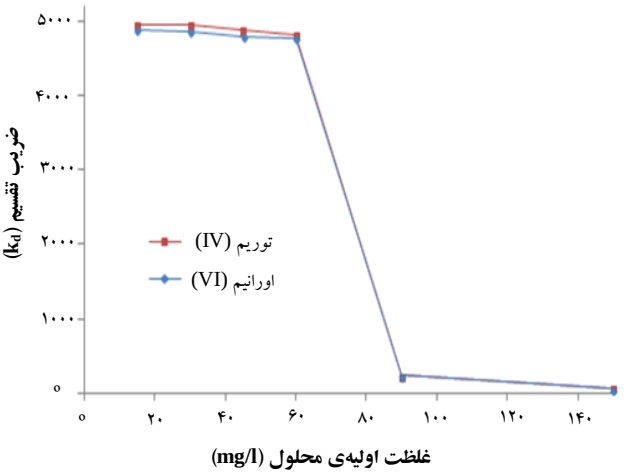
شکل ۱. رابطه‌ی بین ضریب تقسیم توریم (IV) و اورانیم (VI) و pH محیط.



شکل ۲. رابطه‌ی بین ضریب تقسیم توریم (IV) و اورانیم (VI)، و مقدار سیانکس ۳۰۲ بارگذاری شده بر روی نانوذرات.

۳.۳ اثر غلظت اولیه‌ی محلول توریم (IV) و اورانیم (VI)

برای بررسی اثر غلظت اولیه‌ی محلول بر بازیابی استخراجی توریم (IV) و اورانیم (VI) به وسیله‌ی نانوذرات اصلاح شده با ۲۰٪ وزنی سیانکس ۳۰۲، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلفی از توریم و اورانیم (در گستره‌ی غلظتی ۱۵ تا ۱۵۰mg/ml) تهیه و بازیابی آن‌ها با ۵g/l نانوذرات اصلاح شده، در pH برابر با ۶، در دمای محیط و در مدت ۱۰min به انجام رسید. داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، ابتدا روند ثابتی مشاهده می‌شود، ولی با افزایش بیش‌تر غلظت محلول یون‌های فلزی، ضریب تقسیم k_d یون‌های توریم و اورانیم کاهش می‌یابد. زیرا در pH ثابت، تعداد جای‌گاه‌های فعال پیوندی بر روی ذرات اصلاح شده با سیانکس ۳۰۲ به عنوان تبادل‌کننده‌ی کاتیون ثابت بوده و با افزایش غلظت اولیه‌ی محلول یون‌های فلزی، تعداد این جای‌گاه‌ها برای یون‌های فلزی، دیگر کافی نخواهد بود. در نتیجه، ضریب تقسیم یون‌های توریم و اورانیم کاهش می‌یابد [۱۸].



شکل ۳. ضریب تقسیم توریم (IV) و اورانیم (VI) در غلظت‌های اولیه‌ی مختلف محلول.

۴.۳ توانایی بازیابی نانوذرات اصلاح شده

به منظور بررسی قابلیت استفاده‌ی مجدد نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با (۲۰٪) سیانکس ۳۰۲، آزمایش‌های استخراج تکراری (استخراج توریم (IV) و اورانیم (VI) از محیط نیتراتی با pH برابر با ۶) و عریان‌سازی (استخراج برگشتی) (با استفاده از محلول اسید هیدروکلریک ۱M به عنوان عریان‌ساز) انجام شدند. مقادیر قابل بازتولید k_d برای توریم (IV) و اورانیم (VI) حتی بعد از ۲ دور عملیات (دور اول $k_{d,\ Th} \approx$ ۴۹۹۰، $k_{d,\ U} \approx$ ۴۹۵۰؛ دور دوم $k_{d,\ Th} \approx$ ۴۹۱۰، $k_{d,\ U} \approx$ ۴۸۷۰) به دست آمد (کم‌تر از ۲٪ کاهش). علاوه بر این، کاهش وزنی برای نانوذرات اصلاح شده مشاهده نشد. این بررسی، توانایی بازیابی نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با (۲۰٪) سیانکس ۳۰۲ را نشان می‌دهد.

۵.۳ رفتار استخراجی سایر کاتیون‌های انتخاب شده، بر روی نانوذرات اصلاح شده

رفتار استخراجی Al(III)، Mg(II)، Mn(II)، Cr(III)، Fe(III) و محصولات شکافت CS(I) و Sr(II) با استفاده از نانوذرات اصلاح شده با ۲۰٪ وزنی سیانکس ۳۰۲ از محیط نیتراتی با pH برابر با ۶ بررسی شد. یافته‌ها نشان می‌دهند که Al(III)، Mg(II)، Mn(II) و Cr(III) عملاً استخراج نشده است و برای محصولات شکافت، رفتار استخراجی ضعیف ($k_{d,\ Sr(II)}$=۰٫۴۸ و $k_{d,\ Cs(I)}$=۲٫۲۲) مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، Fe(III) تا حدی استخراج می‌شود (k_d=۴۲٫۲). بنابراین با استفاده از نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با ۲۰٪ وزنی سیانکس ۳۰۲، Th(IV) و U(VI) می‌توانند به طور انتخابی از محلول‌های آبی بازیابی شوند.

۶.۳ اندازه‌گیری در نمونه‌های آبی

نمونه‌های آب از مناطق مختلف جمع‌آوری و با استفاده از کاغذ صافی صاف شدند. سپس مقدار مشخصی از نمونه‌های استاندارد توریم و اورانیم به ۱۰ml از نمونه‌های آب اضافه و در شرایط بهینه تجزیه‌ی عنصری شدند. داده‌های آزمایشگاهی در جدول ۱ درج شده‌اند. براساس اطلاعات این جدول، درصد بازیابی توریم و اورانیم از نمونه‌های آب طبیعی در محدوده‌ی ۸۹ تا ۹۵٪ و انحراف معیار نسبی در محدوده‌ی ۱٫۵ تا ۵٫۶٪ قرار دارد. داده‌های آزمایشگاهی میانگین سه تکرار با سطح اطمینان ۹۵٪ بودند.

۴. نتیجه‌گیری

نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با (۲۰٪) سیانکس ۳۰۲، توانایی خوبی را برای جداسازی شیمیایی یون‌های فلزی توریم (IV) و اورانیم (VI) از محیط‌های نیتراتی نشان داد. نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با (۲۰٪) استخراج‌کننده‌ی آلی سیانکس ۳۰۲ ضرایب تقسیم بسیار خوبی را برای توریم و اورانیم در محیط

جدول ۱. اندازه‌گیری توریم و اورانیم در نمونه‌های مختلف آب

نمونه‌ی آب	عنصر	مقدار اضافه شده ($\mu g\ l^{-1}$)	مقدار به دست آمده ($\mu g\ l^{-1}$)	بازیابی (٪)
شیر	Th	۱۰	۹٫۹ ± ۰٫۴	۹۴٫۷
			۰٫۵ ± ۰٫۱	
	U	۱۰	۱۰٫۴ ± ۰٫۵	۹۴٫۵
			۱٫۰ ± ۰٫۲	
رودخانه	Th	۱۰	۱۰٫۰ ± ۰٫۲	۹۵٫۳
			۰٫۶ ± ۰٫۱	
	U	۱۰	۱۱٫۲ ± ۱٫۵	۸۸٫۸
			۲٫۶ ± ۰٫۷	
دریا	Th	۱۰	۱۰٫۲ ± ۰٫۳	۹۴٫۴
			۰٫۸ ± ۰٫۱	
	U	۱۰	۱۱٫۲ ± ۱٫۴	۹۰٫۳
			۲٫۴ ± ۰٫۶	

نیتراتی نشان دادند ($k_{d,\ Th} \approx$ ۵۰۰۰، $k_{d,\ U} \approx$ ۴۹۰۰). این ضرایب تقسیم، بسیار بزرگ‌تر از ضرایب گزارش شده‌ی پیشین برای استخراج فاز جامد توریم و اورانیم از محلول پسماندهای هسته‌ای با استفاده از نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با ۵٪ وزنی سیانکس ۹۰۳ [۵] ($k_{d,\ Th}$=۲۵۰۰، $k_{d,\ U}$≈۱۵۰۰)، و برای استخراج فاز جامد توریم و اورانیم از محلول‌های آبی با نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با ۱۲٪ وزنی سیانکس ۲۷۲ [۱۹] ($k_{d,\ Th}$ =۱۷۰۰، $k_{d,\ U} \approx$ ۱۳۰۰) است. دیگر کاتیون‌های فلزی، به ویژه CS(I)، Sr(II)، Al(III)، Mg(II)، Mn(II) و Cr(III) عملاً استخراج نشدند ولی کاتیون Fe(III) تا حدی استخراج شد. بازیابی نانوذرات با استفاده از محلول اسید هیدروکلریک ۱M به عنوان عریان‌ساز نشان داد که ضریب تقسیم توریم و اورانیم حتی بعد از ۲ دور استخراج و عریان‌سازی کم‌تر از ۲٪ کاهش می‌یابد. بنابراین، ذرات پوشش داده شده با سیانکس ۳۰۲، صرفاً از نظر کارآیی، می‌توانند در فرایندهای صنعتی به ویژه صنعت هسته‌ای استفاده شوند.

پی‌نوشت‌ها

1. Quercetin
2. Thermogravimetric Analysis
3. Partitioning Coefficient

مراجع

[1] A. Mellah, S. Chegrouche, M. Barkat, The removal of uranium(VI) from aqueous solutions onto activated carbon: kinetic and thermodynamic investigations, *J. Colloid. Interf. Sci*. **296** (2006) 434-441.

[2] E.A. Deliyanni, D.N. Bakoyannakis, A.I. Zouboulis, K.A. Matis, Sorption of As(V) ions by akaganeite-type nanocrystals, *Chemosphere* **50** (2003) 155-163.

[3] M.D. Kaminski, L. Nuñez, Extractant-coated magnetic particles for cobalt and nickel recovery from acidic solution, *J. Magn. Magn. Mater*. **194** (1999) 31-36.

[4] M. Faraji, Y. Yamini, M. Rezaee, Extraction of trace amounts of mercury with sodium dodecyle sulphate-coated magnetite nanoparticles and its determination by flow injection inductively coupled plasma-optical emission spectrometry, *Talanta* **81** (2010) 831–836.

[5] B.S. Shaibu, M.L.P. Reddy, A. Bhattacharyya, V.K. Manchanda, Evaluation of Cyanex 923-coated magnetic particles for the extraction and separation of lanthanides and actinides from nuclear waste streams, *J. Magn. Magn. Mater*. **301** (2006) 312-318.

[6] S. Sadeghi, H. Azhdari, H. Arabi, A. Zeraatkar Moghaddam, Surface modified magnetic Fe_3O_4 nanoparticles as a selective sorbent for solid phase extraction of uranyl ions from water samples, *J. Hazard. Mater*. **215-216** (2012) 208–216.

[7] Gh. Khayatian, Sh. Hassanpoor, Amir R.J. Azar, S. Mohebbi, Spectrophotometric determination of trace amounts of uranium(VI) using modified magnetic iron oxide nanoparticles in environmental and biological samples, *J. Braz. Chem. Soc*. **24(11)** (2013).

[8] S.A. Milani, A.K. Darban, A. Shahbazi, Synthesis and characterization of Cyanex 272 modified super-paramagnetic magnetite nanoparticles, *J. Nucl. Sci. Technol*. **70** (2015) 64-76.

[9] A.P. Argekar, A.K. Hetty, Extraction of manganese(II) with bis(2, 4, 4- trimethylpentyl) mono-thio-phosphinic acid and its spectrophotometric determination with formaldoxime, *Anal. Sci*. **13(1)** (1997) 131-135.

[10] N.E. El-Hefny, Kinetics and mechanism of extraction of Cu(II) by CYANEX 302 from nitrate medium and oxidative stripping of Cu(I) using Lewis cell technique, *Chem. Eng. Process.* **49(1)** (2010) 84-90.

[11] Atlas of Eh-pH diagrams Intercomparison of thermodynamic databases Geological Survey of Japan Open File Report No.419 (May 2005).

[12] F. Seidi, A. Nilchi, F. Kargar Behbahani, S. Rasouli Garmaroudi, Study of uranium (VI) adsorption from aqueous solutions on the synthesized nanozeolite beta, *J. Nucl. Sci. Technol*. **66** (2014) 47-52.

[13] M. Wazne, X. Meng, G.P. Korfiatis, C. Christodoulatos, Carbonate effects on hexavalent uranium removal from water by nano-crystalline titanium dioxide, *J. Hazard. Mater.* **136(1)** (2005) 47-52.

[14] M. Karve, R.V. Rajgor, Amberlite XAD-impregnated organophospininn acid extractant for separation of Uranium (VI) from rare earth elements, *Desalination* **232** (2008) 191-197.

[15] S.A. Milani, M.A. Salehi, N. Rahgozar, Preconcentration and Determination of Uranium in Water Samples by Cloud Point Extraction Coupled with Alpha Liquid Scintillation Spectrometry, *J. Nucl. Sci. Technol*. **58** (2012) 24-34.

[16] A. Nilchi, S. Rasouli Garmaroudi, T. Shariati Dehaghan, Sorption of uranium (VI) and thorium (IV) ions from aqueous solutions by nanoparticles of ion exchanger SnO_2, *J. Nucl. Sci. Technol*. **60(1)** (2012) 15-21.

[17] SD. Yusan, S. Akyil, Sorption of uranium(VI) from aqueous solutions by akaganeite, *J. Hazard. Mater*. **160(2-3)** (2008) 388-395.

[18] JP. Chen, L. Yang, Study of a heavy metal biosorption onto raw and chemically modified Sargassum sp. via spectroscopic and modeling analysis, *Langmuir* **22(21)** (2006) 8906-8914.

[19] S.A. Milani, M. Karimi, Recovery of thorium (IV) and uranium (VI) from aqueous solutions using Cyanex 272-modified supeparamagnetic Magnetite nanoparticles, *Journal of Applied Research in Chemistry (JARC) IAU-Tehran Norh Brasnch, (in press).*