



استخراج انتخابی ایتیریم (III) در محیط‌های آبی با غشای مایع

رضا داورخواه*^۱، المیرا فرهمند اصل^۲، محمد صمدفام^۲، بهرام سلیمی^۱، مریم توسلی^۱، پریرا ظاهری^۱، فاضل ضحاک‌فرا^۱
۱. پژوهشکده‌ی مواد و سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
۲. دانشکده‌ی مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، صندوق پستی: ۸۶۳۹-۱۱۳۶۵، تهران - ایران

چکیده: ۲- تنوئیل تری فلئوئورواستن (HTTA) در دی کلرومتان به عنوان حامل برای استخراج انتخابی و انتقال ایتیریم به کمک سیستم غشای مایع استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که به کارگیری نرمال پروپیل آمین (n-PA) در فاز دهنده موجب افزایش استخراج یون‌های ایتیریم می‌شود. شرایط فرایندهای استخراج و عربان‌سازی به لحاظ تجربی کاملاً ارزیابی و توصیف شده‌اند. روش پیشنهادی برای جداسازی ایتیریم (III) از مخلوط‌های دوتایی آن با استرانسیم (II) و برخی کاتیون‌های دیگر نظیر Cu (II)، Co (II)، Ni (II)، Fe (II)، Ag (I)، Al (III)، Hg (II) و Cs (I) در محلول‌های آبی با pH ۵/۴ و در حضور n-PA به کار گرفته شد. از نیتریک اسید ۱ M به عنوان عربان‌ساز در فاز گیرنده استفاده شد. مزاحمت ناشی از یون‌های فلزهای واسطه‌ی گوناگون و Al (III) به ترتیب با استفاده از یون سیانید و ۵- سولفوسالیسیلیک اسید به عنوان عامل‌های استتارگر در فاز دهنده به حداقل مقدار خود رسانده شد. تحت شرایط بهینه‌ی به دست آمده و در آزمایش انتقال جداگانه‌ی ^{۹۰}Y که در تعادل با ^{۹۰}Sr در فاز دهنده قرار داشت، به طور کامل به فاز گیرنده انتقال داده شد و از ایزوتوپ مادر عمر- طولانی خود جدا گردید.

کلیدواژه‌ها: استخراج انتخابی، غشای مایع، ایتیریم (III)، تنوئیل تری فلئوئورواستن

Selective Extraction of Yttrium (III) in Aqueous Media Using Liquid Membrane

R. Davarkhah*¹, E. Farahmand Asl², M. Samadfam², B. Salimi¹, M. Tavasoli¹, P. Zaheri¹, F. Zahakifar¹
1. Materials and Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran
2. Department Energy Engineering, Sharif University of Technology, P.O.Box: 11365-8639, Tehran -Iran

Abstract: 2-Thenoyltrifluoroacetone (HTTA) has been proposed as a carrier in organic phase for the transport and selective extraction of yttrium using bulk liquid membrane system. The liquid membrane was prepared by dissolving HTTA in dichloromethane. It has been observed that the use of n-propylamine (n-PA) in source phase as a synergistic agent causes an enhancement in transport of yttrium ions. The extraction and stripping conditions have entirely been evaluated and described. The proposed method has been utilized for the separation of yttrium (III) from its binary mixtures with strontium (II) and some other cations such as Ni (II), Co (II), Ag (I), Fe (II), Al (III), Cu (II), Hg (II) and Cs(I) in aqueous solutions of pH 5.4 in the presence of n-PA, while 1M nitric acid was serving as a stripping agent in the receiving compartment. Cyanide ion and 5-sulfosalicylic acid have been used as masking agents to minimize the interferences from different transition metal ions and Al (III) in source phase, respectively. At the achieved optimized conditions and a discrete experiment, ⁹⁰Y in secular equilibrium with ⁹⁰Sr in the source phase, was transferred into receiving phase and separated completely from its long-lived parent isotope.

Keywords: Selective Extraction Separation, Liquid Membrane, Yttrium (III), Thenoyltrifluoroacetone

*Email: rdavarkhah@aeoi.org.ir



۱. مقدمه

جداسازی ایتريم-۹۰ با استفاده از KSM-۱۷ و اکتیل (فنیل) N,N -دی‌ایزوبوتیل کار با موئیل‌متیل‌فسفین‌اکسید (CMPO) در نقش استخراج‌گر به کار گرفته شده است [۷]. کوپونک و مان [۸] انتقال ایتريم از محیط نیترات به فاز گیرنده‌ی حاوی EDTA را به کمک غشای مایع تثبیت شده‌ی حاوی تری- n -اکتیل فسفین اکسید (TOPO) در دودکان گزارش نموده‌اند. کونتاودی و همکاران [۳] جداسازی انتخابی یون‌های ایتريم از یون‌های سایر عناصر خاکی نادر با استفاده از فیبر توخالی با غشای مایع تثبیت شده و سیانکس ۲۷۲ را در نقش حامل گزارش نموده‌اند. در مطالعه‌ی دیگری، اثر هم‌افزایی سیانکس ۲۷۲ و تری بوتیل فسفات توسط راماکول و همکاران [۹] در جداسازی ایتريم از طریق غشای مایع تقویت شده‌ی فیبر توخالی^(۳) گزارش شده است. فکر جدید انتقال یون‌های ایتريم از طریق استخراج حلالی با غشای مایع تقویت شده‌ی فیبر توخالی توسط گایکواد و راجیو [۱۰] به کار گرفته شده است. فیبرها به PC-MA آغشته بوده‌اند. گوتو و همکاران [۱۱] از ۲-اتیل هگزیل فسفونیک اسید مونو ۲-اتیل هگزیل استر به عنوان حامل در یک غشای مایع فیبر توخالی^(۴) برای جداسازی ایتريم از عناصر خاکی نادر سنگین هولمید و اریبم استفاده کرده‌اند.

اکثر ترکیب‌های به کار گرفته شده به عنوان حامل در سیستم‌های غشای مایع پیش‌گفته جزو لیگاندهای اسیدی به شمار می‌روند. مهم‌ترین مزیت چنین لیگاندهایی امکان تنظیم انتخاب‌پذیری و بازده انتقال از طریق کنترل pH فاز آبی (خوراک) و عریان‌ساز است [۹]. بتا-دی‌کتون‌ها دسته‌ی دیگری از استخراج‌گرهای اسیدی به شمار می‌روند که به عنوان عامل‌های کی‌لیت‌ساز مناسب، در شیمی تجزیه و رادیوشیمی شناخته شده‌اند و به خاطر خصلت اسیدی‌اشان برای انتقال لانتانیدها از میان غشای مایع به کار رفته‌اند [۱۲]. از این‌رو در پژوهش حاضر، به مطالعه‌ی یکی از بتا-دی‌کتون‌ها یعنی ۲-تنوئیل تری فلورواستن به عنوان حامل برای انتقال انتخابی یون‌های ایتريم در حضور استرانسیم-۹۰ و برخی کاتیون‌های دیگر پرداخته شده است.

۲. بخش تجربی

۱۰۲ واکنش‌گرهای شیمیایی

HTTA، نرمال پروپیل آمین، کربن‌تتراکلرید، دی‌کلرومتان، کلروفرم، آرسنازو (III)، اسیدها و نمک‌های مورد استفاده، از شرکت مرک خریداری شد و بدون خالص‌سازی بیش‌تر مورد

ایتريم عنصری ارزشمند از دیدگاه صنعتی است. این عنصر در برنامه‌های هسته‌ای از جمله ساخت میله‌های کنترل برای رآکتورهای اتمی، هم‌چنین برای ساخت شیشه، سرامیک و تجهیزات مخابراتی کاربرد دارد. ایتريم-۹۰ برای تولید آنتی‌بادی‌های مونوکلونال نشان‌دار^(۱) به منظور انجام بررسی‌ها در زمینه‌ی درمان تومورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور، ایتريم-۹۰ باید عاری از ایزوتوپ استرانسیم-۹۰ باشد [۱]. ایتريم-۹۰ از استرانسیم-۹۰ تولید می‌شود و اندازه‌گیری آن‌ها در نمونه‌های زیست‌محیطی و پسماندهای پرتوزا به دلیل این‌که هر دو ایزوتوپ گسیلنده‌ی ذره‌ی بتا هستند، اصولاً امری پیچیده و دشوار است. در پسماندهای رآکتور، یکی از شیوه‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری استرانسیم-۹۰ در این محیط پیچیده، جداسازی و اندازه‌گیری ایتريم-۹۰ حاصل از آن با انجام استخراج‌های مکرر با تری‌بوتیل فسفات و بررسی تابش چرنکوف مربوط به آن است [۲]. در سال‌های اخیر انواع گوناگونی از تکنیک‌های غشای مایع به عنوان ابزاری ارزشمند برای جداسازی یون‌های فلزی، خصوصاً در غلظت‌های بسیار پایین توسعه یافته‌اند [۳]. این تکنیک‌ها دارای مزیت‌های آشکاری هم‌چون انجام عملیات هم‌زمان استخراج و عریان‌سازی، رفع محدودیت بارگذاری فاز آلی، امکان به کارگیری اقتصادی عامل‌های کمپلکس‌کننده‌ی گران‌قیمت در مقایسه با روش‌های سنتی نظیر استخراج با حلال هستند.

پژوهش‌های بسیار زیادی در زمینه‌ی تکنیک‌های غشای مایع برای جداسازی ایتريم گزارش شده‌اند. موهاپاترا و همکاران [۴] کالیکس {۴} آرن عامل‌دار شده با چندین دی‌گلیکو آمید را برای جداسازی ایتريم-۹۰ از استرانسیم-۹۰ به کمک غشای مایع تثبیت شده با صفحه‌ی تخت مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بیس (۲-اتیل هگزیل) فسفونیک اسید (PC-MA) به عنوان حامل برای جداسازی ایتريم-۹۰ به وسیله‌ی فیبر توخالی با غشای مایع تثبیت شده به کار رفته است [۵]. پایداری این استخراج‌گر در برابر تابش حداکثر تا دز ۱۰۰۰ کیلوگری بوده است. رامانوجام و همکاران [۶] مولدی را برای تهیه‌ی ایتريم-۹۰ از استرانسیم-۹۰ موجود در پسماند با پرتوزایی بالای حاصل از فرایند پورکس^(۲) با استفاده از غشای مایع تثبیت شده و ۲-اتیل هگزیل-۲-اتیل هگزیل فسفونیک اسید (KSM-۱۷) به عنوان حامل توسعه داده‌اند. در بررسی دیگری، غشای مایع تثبیت شده‌ی دو مرحله‌ای برای

۳.۲ روش کار

تمامی آزمایش‌های انتقال در دمای محیط انجام شدند. برای این منظور، غشای مایع شامل ۲۰ میلی‌لیتر محلول دی‌کلرومتان حاوی ۰/۰۲ مول بر لیتر HTTA در قسمت تحتانی سلول ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر فاز آبی گیرنده‌ی حاوی نیتریک اسید ۱ M به داخل استوانه‌ی خارجی و ۵ میلی‌لیتر محلول بافر شامل Y(III) با غلظت 1×10^{-3} M و ۱٪ حجمی نرمال پروپیل‌آمین با pH ۵/۴ به عنوان فاز دهنده به داخل استوانه‌ی داخلی ریخته شد. توسط یک مگنت و هم‌زن مغناطیسی فاز غشا به آرامی هم زده شد. پس از مدت زمان ۸/۵ ساعت، هم‌زدن غشاء متوقف و غلظت یون ایتیریم (III) در دو فاز دهنده و گیرنده اندازه‌گیری شد. آزمایش انتقال مشابهی در نبود حامل به عنوان آزمایش مرجع انجام شد. تکرارپذیری سیستم با انجام ۳ آزمایش انتقال در شرایط بهینه و یکسان بررسی شد.

۴.۲ انجام آزمایش‌های مقدماتی استخراج

برای جداسازی کارآمد یون‌های فلزی از طریق انتقال تسهیل شده با حامل، دانستن رفتار استخراجی لیگاندی که به عنوان حامل عمل می‌کند، ضروری است. بنابراین، رفتار استخراجی استخراج‌گر HTTA رقیق شده در حلال کلروفرم برای ایتیریم و استرانسیم مورد بررسی دقیق قرار گرفت. محلول‌های به ترتیب حاوی 1×10^{-3} M از استرانسیم یا ایتیریم به همراه ۲٪ حجمی از نرمال پروپیل‌آمین (nPA) که pH آن‌ها در ۲/۳ تا ۷ تنظیم شده بود توسط همان حجم از محلول ۰/۰۲ مولار HTTA در حلال کلروفرم تحت عمل استخراج قرار گرفتند. غلظت ایتیریم (III) و استرانسیم در فاز آلی از موازنه‌ی جرم میان فازها به دست آمد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در pH‌های ۲/۳ تا ۴/۳ یون‌های Y (III) و Sr (II) به هیچ وجه استخراج نمی‌شوند. در گستره‌ی pH ۵/۴-۷، ۷۸/۶٪ تا ۱۰۰٪ یون ایتیریم (III) استخراج می‌شود. در حالی که در این محدوده از pH مقدار استخراج استرانسیم (II) از ۱۲/۵۷٪ تجاوز نمی‌نماید. در حوالی pH ۵/۴ در حالی که استخراج استرانسیم کاملاً نادیده انگاشتنی است، تقریباً ۷۸/۶٪ ایتیریم استخراج می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که تنها با تنظیم pH می‌توان به جداسازی انتخابی ایتیریم از استرانسیم از طریق استخراج با HTTA در حلال کلروفرم دست یافت.

استفاده قرار گرفت. محلول ذخیره‌ی ۰/۰۱ مولار ایتیریم (III) از انحلال $YCl_3 \cdot 6H_2O$ (مرکز) تهیه شد. محلول‌های یون‌های Ni (II)، Cu (II)، Co (II)، Fe (II)، Cs (I)، Sr (II)، Hg (II)، Al (III) و Ag (I) از انحلال مقادیرهای معینی از نمک‌های نترات (مرکز) آن‌ها تهیه شد. هم‌چنین از استرانسیم-۹۰ و ایتیریم-۹۰ با فعالیت پرتوزایی معین استفاده شد.

۲.۲ دستگاه‌وری

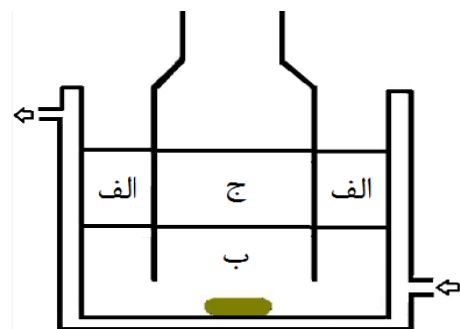
از دستگاه طیف-نورسنج ساخت شرکت جی بی سی و مدل سیترا-۶^(۵) برای اندازه‌گیری غلظت ایتیریم استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در طول موج ۶۵۰ نانومتر و با استفاده از واکنش‌گر آرسنازو (III) به انجام رسید.

از دستگاه طیف‌سنج نشر اتمی-پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-AES) مدل لیبرتی ۱۵۰ آ. ایکس توربو^(۶) ساخت شرکت واریان^(۷) برای تجزیه‌ی عنصری نمونه‌ها استفاده شد.

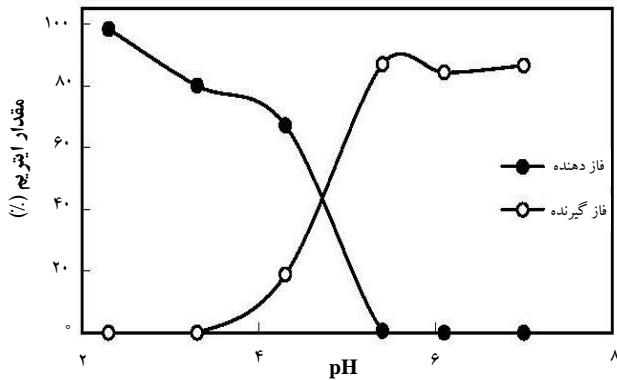
برای اندازه‌گیری غلظت عنصر سزیم دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل اسپکترا-۲۰۰^(۸) ساخت شرکت واریان به کار گرفته شد.

با بهره‌گیری از دستگاه طیف‌سنج سوسوزن مایع مدل کوانتولوس ۱۲۲۰^(۹) ساخت شرکت والا^(۱۰) فعالیت ایتیریم-۹۰ و استرانسیم-۹۰ اندازه‌گیری شد.

آزمایش‌های انتقال از میان غشای مایع با استفاده از یک سلول شیشه‌ای استوانه‌ای (سلول لویس^(۱۱)) ژاکت‌دار به قطر داخلی ۴۰ mm، مجهز به یک لوله‌ی شیشه‌ای (به قطر داخلی ۲۰mm) برای جدا کردن دو فاز آبی در مرکز آن به انجام رسیدند (شکل ۱). دمای محلول با به گردش درآوردن آب با دمای تنظیم شده توسط ترموستات از میان ژاکت سلول ثابت نگه داشته شد.



شکل ۱. سلول غشای مایع برای انتقال یون‌های فلزی؛ (الف) فاز دهنده، (ب) فاز غشاء، (ج) فاز گیرنده.



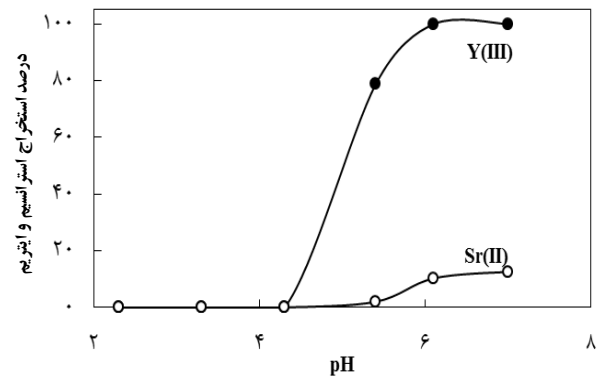
شکل ۳. اثر pH فاز دهنده بر روی انتقال Y(III).

[شرایط: فاز دهنده، ۵ ml محلول حاوی 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۲٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pHهای مختلف (در حضور بافر)؛ فاز غشاء، ۲۰ ml محلول 0.02 مول بر لیتر HTTA در کلروفورم؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید 1 M ؛ مدت زمان انتقال ۸٫۵ ساعت].

۲.۳ اثر نرمال پروپیل آمین در فاز دهنده

به منظور بررسی اثر نرمال پروپیل آمین آزمایش‌های انتقال یون Y(III) (با غلظت اولیه $1 \times 10^{-3} \text{ M}$) در شرایط مختلف: در حضور ۲٪ حجمی از نرمال پروپیل آمین در فاز دهنده و با غشای مایع کلروفورم حاوی 0.02 مول بر لیتر HTTA و بدون حامل HTTA؛ در نبود نرمال پروپیل آمین در فاز دهنده و با غشای مایع کلروفورم حاوی 0.02 مول بر لیتر حامل HTTA و در گستره‌ی pH ۲٫۳-۷ در فاز دهنده، و نیتریک اسید 1 M به عنوان فاز گیرنده انجام شدند (شکل ۴).

شکل ۴ حاکی از افزایش جدایش و انتقال یون‌های ایتريم (III) در سیستم nPA-HTTA در قیاس با سیستم HTTA است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در سیستم nPA-HTTA درصد انتقال یون‌های ایتريم در گستره‌ی pH ۳٫۳-۵٫۴ افزایش یافته و در ورای آن تغییر چندانی در میزان انتقال یون‌های ایتريم (III) مشاهده نمی‌شود. این در حالی است که در نبود nPA در فاز دهنده، در تمام گستره‌ی pH ۳٫۳-۷ یون‌های ایتريم (III) به میزان کم‌تری انتقال می‌یابند. بدین ترتیب nPA در انتقال یون‌های Y(III) مشارکت می‌کند.



شکل ۲. استخراج Y(III) و Sr(II) به صورت تابعی از pH محیط.

[شرایط: فاز آبی، ۵ ml محلول Y(III) یا Sr(II) به غلظت 1×10^{-3} مول بر لیتر به همراه ۲٪ حجمی nPA با pHهای مختلف در گستره‌ی ۲٫۳ تا ۷ (در حضور بافر)؛ فاز آلی، ۵ ml محلول 0.02 مولار HTTA در حلال کلروفورم؛ مدت زمان استخراج ۲۴ ساعت].

۳. یافته‌ها و بحث

۳.۱ اثر pH فاز دهنده

حامل HTTA یک لیگاند اسیدی است و بدین ترتیب ویژگی‌های استخراجی آن وابسته به pH محلول خوراک خواهد بود. به منظور بررسی اثر قدرت اسیدی فاز دهنده، آزمایش‌های انتقال یون ایتريم (با غلظت اولیه $1 \times 10^{-3} \text{ M}$) به همراه ۲٪ حجمی نرمال پروپیل آمین از محیط آبی با استفاده از غشای مایع کلروفورم حاوی 0.02 مول بر لیتر HTTA به داخل محلول نیتریک اسید 1 M برحسب تابعی از pH فاز دهنده در گستره‌ی ۲٫۳ تا ۷٫۰ انجام شد (شکل ۳). گستره‌ی pHهای بالاتر از ۷ به دلیل هیدرولیز و رسوب نمودن یون ایتريم مورد بررسی قرار نگرفت. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، انتقال یون‌های ایتريم از فاز دهنده به فاز گیرنده با افزایش pH فاز دهنده تا ۵٫۴ افزایش و در بازه‌ی ۵٫۴ تا ۷ برای pH، تقریباً ثابت باقی می‌ماند. با افزایش pH شیب غلظتی پروتون در دو فاز دهنده و گیرنده و به پیروی از آن نیرو محرکه‌ی انتقال ایتريم افزایش می‌یابد. در مقدارهای پایین‌تر pH، انتقال ایتريم تا حد زیادی کاهش خواهد یافت. انتقال کم‌تر یون ایتريم به داخل فاز گیرنده در مقدارهای پایین‌تر pH عمدتاً به رقابت بین پروتون و یون ایتريم برای حامل HTTA در غشاء نسبت داده می‌شود. pH ۵٫۴ به عنوان pH بهینه انتخاب شد. زیرا در این pH هم انتقال یون‌های ایتريم به داخل فاز گیرنده بیشینه است و هم با توجه به نمودار استخراج Y(III) و Sr(II) (شکل ۲)، اثر مزاحمت یون استرانسیم کم‌تر است.

جدول ۱. اثر غلظت نرمال پروپیل آمین بر فرایند انتقال Y(III)

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) با غلظت‌های مختلف nPA در ۵٫۴ pH (در حضور بافر)؛ غشای مایع، ۲۰ ml محلول M HTTA ۰٫۰۲ در کلروفورم؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱M؛ مدت زمان انتقال ۸٫۵ ساعت]

غلظت نرمال پروپیل آمین (درصد حجمی)	باقی‌مانده در فاز دهنده (%)	باقی‌مانده در فاز غشای (%)	انتقال یافته به فاز گیرنده (%)
۱	۰٫۱۶	۱۱٫۲۵	۸۸٫۵۹
۲	۰٫۰۰	۱۳٫۰۵	۸۶٫۹۵
۳	۰٫۲۰	۱۵٫۷۶	۸۴٫۰۴

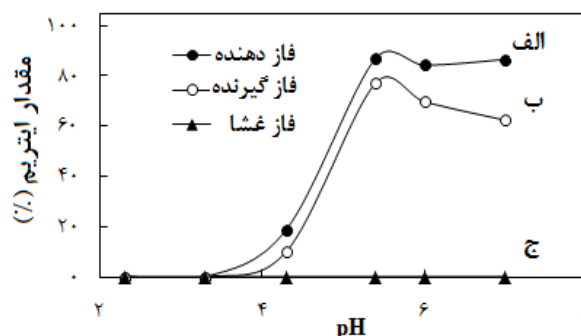
۳.۳ اثر غلظت HTTA در فاز آلی

نتایج حاصل از بررسی اثر غلظت حامل در فاز آلی بر روی بازده انتقال ایتیریم در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، با افزایش غلظت HTTA در فاز آلی از صفر تا $0.02 M$ ، انتقال ایتیریم (III) افزایش می‌یابد. با این حال، افزایش بیش‌تر غلظت HTTA در فاز آلی از $0.02 M$ تا $0.1 M$ منجر به کاهش جزئی در انتقال ایتیریم خواهد شد. هر چند با افزایش غلظت HTTA میزان استخراج ایتیریم افزایش می‌یابد؛ اما افزایش گرانروی غشاء منجر به کاهش ضریب انتشار کمپلکس حامل- ایتیریم (III) در داخل غشاء خواهد شد، که در نتیجه‌ی آن میزان انتقال ایتیریم کاهش می‌یابد [۱۴].

۴.۳ اثر نوع رقیق‌کننده در فاز غشاء

تأثیر نوع رقیق‌کننده در فاز غشاء بر بازده انتقال نیز مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها با به کارگیری کلروفورم، دی‌کلرومتان و کربن تتراکلرید در فاز غشاء انجام شدند. سایر شرایط مطابق جدول ۲ انتخاب شد. درصد انتقال یون‌های ایتیریم (III) به فاز گیرنده و درصد باقی‌مانده در فازهای دهنده و غشاء در جدول ۲ درج شده است.

قطبیت رقیق‌کننده‌ی آلی، گرانروی و هم‌چنین سایر ویژگی‌های فیزیکی آن [۱۵] بازده عملکرد استخراجی حامل را در غشاء تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدین ترتیب، رفتار مشاهده شده می‌تواند به برخی از ویژگی‌های فیزیکی که به طور هم‌زمان در این پدیده دخیل هستند، مربوط باشد.



شکل ۴. اثر حضور نرمال پروپیل آمین در فاز دهنده بر روی جدایش و انتقال Y(III)، (الف) در حضور nPA در فاز دهنده، (ب) در نبود nPA در فاز آبی، (ج) در حضور nPA در فاز آبی و نبود حامل HTTA. [شرایط: فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مولار Y(III)؛ فاز غشای مایع، ۲۰ ml محلول کلروفورم؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱M؛ زمان انتقال ۸٫۵ ساعت.]

به منظور دست‌یابی به اطلاعاتی بیش‌تر در مورد میزان مشارکت nPA در انتقال یون‌های Y(III) در $pH 5.4$ ، که در آن، هم میزان انتقال یون ایتیریم (III) بیشینه است و هم با توجه به نمودار استخراجی استرانسیم و ایتیریم اثر مزاحمت استرانسیم احتمالاً کم‌تر خواهد بود، استخراج مایع-مایع 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) در سیستم $HTTA + 0.02 nPA$ ۲٪ مورد بررسی قرار گرفت. ضریب افزایش استخراج به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۳]:

$$E.F. = \frac{D_{HTTA+nPA}}{(D_{HTTA}) + (D_{nPA})} \quad (1)$$

که در آن $D_{HTTA+nPA} = 3.73$ ضریب توزیع در سیستم $HTTA+nPA$ و $D_{HTTA} = 0.43$ و $D_{nPA} = 0.00$ ضریب‌های توزیع در هر کدام از سیستم‌های HTTA و nPA به تنهایی هستند. برای E.F. مقدار 8.67 به دست آمد که حاکی از آن است که ضریب افزایش نسبتاً قابل‌ملاحظه‌ای توسط nPA در استخراج $HTTA+nPA$ ایجاد می‌شود.

به منظور بررسی اثر غلظت nPA، آزمایش انتقال ایتیریم در سه غلظت متفاوت از nPA انجام شد. جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش غلظت nPA در فاز دهنده، مقدار ایتیریم (III) انتقال یافته به داخل فاز گیرنده کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت نرمال پروپیل آمین در فاز دهنده پایداری کمپلکس تشکیل شده افزایش می‌یابد در نتیجه کمپلکس در فاز گیرنده سخت‌تر توسط اسید شکسته می‌شود و بازده انتقال تقلیل می‌یابد. بنابراین غلظت بهینه‌ی نرمال پروپیل آمین، ۱٪ حجمی انتخاب شد.

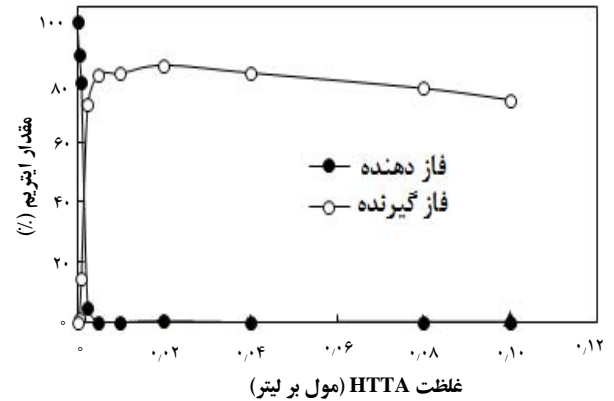


شکل ۶. اثر غلظت نیتریک اسید در فاز گیرنده بر روی انتقال Y(III).

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین و بافری شده در pH ۵/۴ (در حضور بافر)؛ فاز غشاء، ۲۰ ml محلول HTTA ۰/۰۲ M در دی کلرومتان؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید با غلظت‌های مختلف؛ مدت زمان انتقال ۸/۵ ساعت].

۶.۳ اثر زمان انتقال

اثر زمان بر انتقال یون‌های Y(III) از میان غشای مایع در شرایط بهینه (یعنی غشای مایع: ۲۰ میلی لیتر HTTA ۰/۰۲ M در دی کلرومتان، فاز دهنده: ۵ میلی لیتر محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین و در pH ۵/۴ (در حضور بافر) و فاز گیرنده: ۱۰ میلی لیتر محلول ۱ M نیتریک اسید) در زمان‌های مختلف (از ۱۵ دقیقه تا ۱۰ ساعت و ۴۵ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. تغییر غلظت ایتريم در فازهای غشای مایع، دهنده و گیرنده برحسب تابعی از زمان در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استخراج ایتريم از فاز دهنده به درون غشای آلی بعد از ۲ ساعت تقریباً کامل می‌شود. با وجود این، بازیابی یون ایتريم (III) در فاز گیرنده با آهنگ آهسته‌تری اتفاق می‌افتد. بدین ترتیب، منطقی به نظر می‌رسد که فرض کنیم بازیابی یون ایتريم (III) در فاز گیرنده، مرحله‌ی تعیین‌کننده‌ی سرعت انتقال از میان غشاء است [۱۷]. تحت شرایط بهینه، انتقال یون ایتريم از فاز آبی دهنده به داخل فاز آبی گیرنده در مدت ۸/۵ ساعت به بیش‌ترین مقدار خود یعنی $89.71 \pm 1.6\%$ می‌رسد. با گذشت زمان بیش از ۸/۵ ساعت، میزان انتقال یون ایتريم تقریباً ثابت باقی می‌ماند.



شکل ۵. اثر غلظت HTTA در فاز غشاء بر روی انتقال Y(III).

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین و بافری شده در pH ۵/۴؛ غشای مایع، ۲۰ ml محلول HTTA با غلظت‌های مختلف در کلروفرم؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱M؛ مدت زمان انتقال ۸/۵ ساعت].

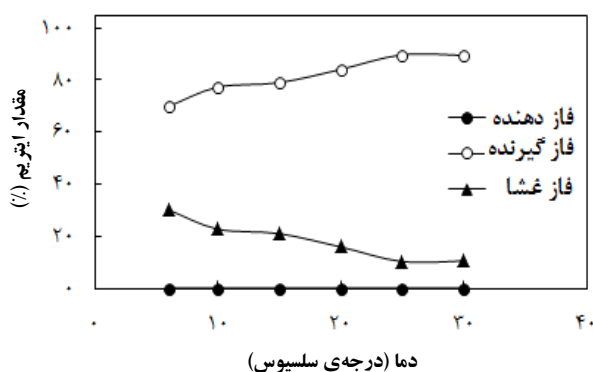
جدول ۲. اثر رقیق‌کننده‌ی حامل در فاز غشاء بر روی انتقال Y(III)

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pH ۵/۴ (در حضور بافر)؛ غشای مایع، ۲۰ ml محلول HTTA ۰/۰۲ M در حلال‌های آلی مختلف؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱M؛ مدت زمان انتقال ۸/۵ ساعت]

رقیق‌کننده‌ی حامل	باقی‌مانده در فاز دهنده (%)	باقی‌مانده در فاز غشاء (%)	انتقال یافته به فاز گیرنده (%)
CCl ₄	۰/۷۹	۲۱/۵۲	۷۷/۶۹
CHCl ₃	۰/۱۶	۱۱/۲۵	۸۸/۵۹
CH ₂ Cl ₂	۰/۰۸	۱۰/۲۱	۸۹/۷۱

۵.۳ اثر غلظت اسید در فاز گیرنده

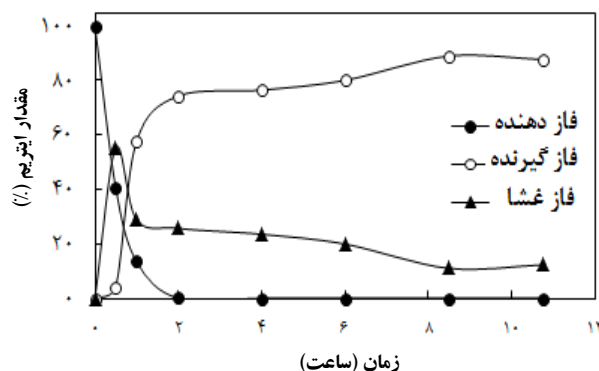
نتیجه‌های بررسی اثر تغییر غلظت نیتریک اسید در فاز گیرنده بر انتقال ایتريم در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، درصد انتقال یون ایتريم با افزایش غلظت نیتریک اسید تا حدود ۱ M فزونی می‌یابد. با افزایش بیش‌تر غلظت اسید، بازده انتقال ایتريم کاهش می‌یابد. پایین بودن بازده انتقال در قدرت‌های اسید پایین، به علت غلظت پایین پروتون برای شکستن کمپلکس Y(III)-HTTA در فصل مشترک غشاء/گیرنده و پایین بودن انتقال در قدرت‌های اسیدی خیلی بالا هم، احتمالاً به خاطر هیدرولیز و تخریب خود حامل HTTA است [۱۶]. بدین ترتیب، در تمامی آزمایش‌ها از محلول نیتریک اسید ۱ M به عنوان فاز گیرنده استفاده شد.



شکل ۸. اثر دما بر انتقال Y(III).

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pH ۵٫۴ (در حضور بافر)؛ فاز غشاء، ۲۰ ml محلول M HTTA 0.02 در دی کلرومتان؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید M 0.1 ، مدت زمان انتقال ۸٫۵ ساعت].

با استفاده از یک مدل سینتیکی که عموماً برای توصیف رفتار یون‌های فلزی از میان غشاهای مایع به کار گرفته می‌شود و مبتنی بر قانون‌های سینتیکی مربوط به دو واکنش مرتبه‌ی اول برگشت‌ناپذیر متوالی است [۱۹]، ثابت‌های سینتیکی مربوط به هر یک از مرحله‌های استخراج و عریان‌سازی به دست آمد (جدول ۳). همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سرعت هم‌زنی، سرعت انتقال یون‌های ایتريم از میان غشای مایع را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا ثابت‌های ظاهری استخراج و عریان‌سازی (به ترتیب k_e و k_s) و شار بیشینه (J_{max}) با زیاد شدن سرعت هم‌زدن در محدوده‌ی ۱۰۰ تا ۲۰۰ rpm افزایش می‌یابند. این امر نشان می‌دهد که انتشار، مرحله‌ی کنترل‌کننده‌ی سرعت در انتقال به ترتیب از فاز دهنده به غشاء و از فاز غشاء به گیرنده است [۱۹]. باید توجه داشت که هیچ‌گونه آزمایش سینتیکی نمی‌تواند در سرعت‌های هم‌زدن بزرگ‌تر از ۲۵۰ rpm، به دلیل عدم پایداری هیدرودینامیکی و اغتشاش در دو سطح مشترک انجام شود، به ویژه این که سطح مشترک غشا-فاز دهنده تغییر شکل بیش‌تری پیدا می‌کند، به این مفهوم که سطح به واسطه‌ی ایجاد برآمدگی افزایش می‌یابد. بنابراین، تمامی آزمایش‌های سینتیکی در این مطالعه به منظور حفظ شرایط هیدرودینامیکی یکسان، در سرعت‌های هم‌زدن ۲۰۰ rpm و کم‌تر از آن انجام شدند.



شکل ۷. وابستگی زمانی انتقال Y(III).

[فاز دهنده، ۵ ml محلول 1×10^{-3} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pH ۵٫۴ (در حضور بافر)؛ فاز غشاء، ۲۰ ml محلول M HTTA 0.02 در دی کلرومتان؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید M 0.1].

۷.۳ اثر دما

اثر دما بر انتقال یون‌های Y(III) از میان غشای مایع در شرایط بهینه و در دماهای ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه‌ی سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۸ تغییر غلظت یون Y(III) را در فازهای گیرنده، دهنده و غشای مایع برحسب تابعی از دما نشان می‌دهد. آشکار است که درصد انتقال یون Y(III) به داخل فاز گیرنده با افزایش دما در گستره‌ی ۶ تا ۲۵ درجه‌ی سلسیوس افزایش می‌یابد. در دماهای بالاتر درصد انتقال تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

یافته‌ها می‌تواند با در نظر گرفتن چندین اثر تفسیر شوند. اثر دما بر واکنش تشکیل کمپلکس یون ایتريم (III) و حامل HTTA در سطح مشترک فاز دهنده-غشاء و تأثیر آن بر بازیابی یون ایتريم در سطح مشترک غشاء-گیرنده از آن جمله است. اثر دما بر انتشار گونه‌ی منتقل شده از میان غشای مایع، به خاطر وابستگی دمایی گران‌روی غشاء، اثر دیگری از دما بر فرایند انتقال است. با وجود این، وابستگی توزیع حامل HTTA به دما هم‌چنین باید توجهی برای توصیف نتایج تجربی باشد [۱۸].

۸.۳ اثر سرعت هم‌زنی

برای بررسی اثر سرعت هم‌زنی، در شرایط بهینه، سرعت هم‌زدن فاز غشاء در گستره‌ی ۱۰۰ تا ۲۰۰ rpm تغییر داده شد. تغییر غلظت ایتريم (III) با زمان در سرعت‌های مختلف هم‌زدن، در دو فاز دهنده و گیرنده با استفاده از طیف-نورسنجی تعیین شد. تغییر مربوط به غلظت Y(III) در فاز غشاء از موازنه‌ی جرم مابین فازها تعیین شد.



بدین ترتیب؛ در مرحله‌ی بعد انتخاب‌پذیری انتقال ایتريم در کنار یون‌های (II) Cu، (II) Co، (II) Ni، (II) Fe، (I) Ag و (II) Hg در pH ۵/۴ و در حضور ۰/۱ مول بر لیتر از CN⁻ به عنوان عامل استتارکننده در محلول خوراک مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌های این مجموعه از آزمایش‌های انتقال نیز در جدول ۴ درج شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود در حضور ۰/۱ مول بر لیتر CN⁻ انتقال یون‌های مزاحم پیش‌گفته به میزان کمی تنزل می‌یابد. در مرحله‌ی بعد انتقال انتخابی ایتريم در حضور ۰/۱ مول بر لیتر CN⁻ به عنوان عامل استتارکننده در محلول خوراک مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این مجموعه از آزمایش‌های انتقال نیز در جدول ۴ ثبت شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود در حضور ۰/۱ مول بر لیتر CN⁻ انتقال این یون‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای به ۰/۰۰ تا ۲/۵۷٪ تنزل می‌یابد.

عملکرد یون سیانید را به عنوان عامل استتارکننده می‌توان بر اساس تئوری اسیدها و بازهای سخت و نرم توجیه نمود. یون سیانید در زمره‌ی لیگاندهای «نرمی» است که تمایل بسیار اندکی برای برقراری پیوند با عناصر خاکی نادر دارد. پایدارترین کمپلکس‌های یون سیانید با کاتیون‌های نرم ظرفیت پایین‌تر شامل گروه‌های IB، IIB و VIII B جدول تناوبی است. بدین سان ایتريم که رفتاری کاملاً مشابه با عناصر خاکی نادر دارد، به عنوان اسید سخت محسوب شده و تمایلی برای تشکیل کمپلکس با سیانید ندارد، در حالی که عناصری نظیر (II) Cu، (II) Co و غیره جزء اسیدهای نرم یا متوسط محسوب شده و تمایل آن‌ها برای تشکیل کمپلکس با یون سیانید بالا است.

عامل استتارکننده‌ی دیگری به نام سولفوسالیسیلیک اسید در فاز دهنده، برای انتقال انتخابی ایتريم در حضور (III) Al به کار گرفته شد. به کارگیری این عامل استتارکننده در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۱ M منجر به کاهش انتقال یون (III) Al از ۱۰۰٪ به ترتیب به ۱۵/۴۹ و ۰/۰۰٪ شد.

جدول ۳. اثر سرعت هم‌زنی فاز غشاء بر روی پارامترهای سینتیکی انتقال Y(III) از میان غشاء

[فاز دهنده، ۵ ml محلول ۱×۱۰^{-۳} مول بر لیتر Y(III) به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pH ۵/۴ (در حضور بافر)؛ فاز غشاء ۲۰ ml محلول ۰/۰۲ M HTTA در دی کلرومتان؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱ M]

سرعت هم‌زن (rpm)	k _e (h ⁻¹)	k _s (h ⁻¹)	J _{max}	درصد انتقال
۱۰۰	۱/۰۳	۰/۴۱	۰/۲۲	۶۶/۳۲
۱۵۰	۱/۷۸	۰/۷۱	۰/۳۸	۷۸/۱۱
۲۰۰	۱/۸۱	۱/۱۷	۰/۵۳	۸۹/۷۱

۹.۳ جداسازی ایتريم (III) از استرانسیم (II) و سایر مخلوط‌های دوجزیبی

برای ارزیابی گزینش‌گری سیستم غشای مایع مورد استفاده، انتقال یون‌های ایتريم (III) در حضور یون‌های استرانسیم (II) و چندین یون مختلف دیگر در فاز دهنده مورد مطالعه قرار گرفت. درصد انتقال کاتیون‌های Y(III) و Mⁿ⁺ (یعنی، (II) Sr، (II) Cu، (II) Co، (II) Ni، (II) Fe، (II) Ag، (III) Al، (I) Cs و (II) Hg) به داخل فاز گیرنده، در شرایطی که غلظت مولی اولیه‌ی کاتیون Mⁿ⁺ و یون ایتريم (III) در فاز دهنده برابر بوده‌اند، در جدول ۴ درج شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود؛ در نبود عامل استتارکننده در فاز دهنده، هم‌استخراجی برخی یون‌های فلزی از جمله (II) Sr، (I) Cs و (I) Ag ناچیز است (از ۰ تا ۰/۷٪). سایر کاتیون‌های مورد بررسی هم‌استخراجی متوسط (یعنی، (II) Hg، ۴۵/۵۶٪؛ (II) Ni، ۴۶/۴۱٪؛ (II) Co، ۵۸/۰۵٪؛ (II) Fe، ۵۸/۰۹٪؛ (II) Cu، ۶۴/۹۴٪) و بالا (یعنی، (III) Al، ۱۰۰٪) را نشان می‌دهند. این امر به این خاطر است که HTTA عامل کی‌لیت‌ساز شناخته شده‌ای با کاربردهای گوناگون برای انواع یون‌های فلزی است. بنابراین، افزودن یک عامل استتارکننده‌ی مناسب برای حذف اثر هم‌استخراجی این یون‌ها در حین انتقال انتخابی ایتريم از محیط‌های آبی ضروری است.



۱۰.۳ جداسازی ایتریم-۹۰ از استرانسیم-۹۰

در بخش پیشین، با بررسی رفتار انتقالی ایتریم غیرپرتوزا، آن‌هم در غلظتی نسبتاً بالا ($1 \times 10^{-4} M$)، ملاحظه شد که ایتریم قادر است در حضور استرانسیم تقریباً به طور کمی به داخل فاز گیرنده منتقل شود. برای بررسی کارآمدی روش در جداسازی ایتریم-۹۰ کم‌مقدار از مادر- هسته‌ی خود یعنی استرانسیم-۹۰ (در تعادل دیرپا با ایتریم-۹۰)، آزمایش انتقال در شرایط بهینه در دو حالت در نبود ایتریم غیرپرتوزا و در حضور 0.1 مول بر لیتر ایتریم غیرپرتوزا از محلول‌های خوراک حاوی مخلوط در حال تعادل ^{90}Y - ^{90}Sr انجام شد. بعد از 8.5 ساعت انتقال، از فازهای دهنده و گیرنده نمونه‌برداری و توسط شمارگر سوسوزن مایع در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. نتیجه‌ها حاکی از این هستند که در هر دو حالت مقدار انتقال ایتریم-۹۰، 91.4% بوده است. در ضمن خلوص ایتریم-۹۰ جداسازی شده نیز برابر با 99.99% بود.

بر پایه‌ی نظری و نتیجه‌های قبلی برای ایتریم غیرپرتوزا با غلظت نسبتاً بالا ($1 \times 10^{-4} M$)، فرض ما بر این بود که پس از گذشت 8.5 ساعت انتقال، می‌باید فاز دهنده صرفاً شامل استرانسیم-۹۰ و فاز گیرنده حاوی ایتریم-۹۰ باشد. طیف‌های حاصل با استفاده از دستگاه شمارگر سوسوزن مایع مطلب فوق را تأیید می‌نماید. شکل ۹ طیف مربوط به شمارش چشمه‌ی استرانسیم-۹۰ فاز دهنده در لحظه‌های آغازین جداسازی فازها است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تنها یک قله‌ی مربوط به استرانسیم-۹۰ مشاهده می‌شود. با گذشت زمان انتظار می‌رود که ایتریم-۹۰ در فاز دهنده به تدریج افزایش یابد (این موضوع در شکل ۱۰ کاملاً مشهود است). در فاز گیرنده نیز بر طبق شکل ۱۱، در بدو جداسازی فازها تنها یک قله‌ی مربوط به ایتریم-۹۰ ملاحظه می‌شود که با سپری شدن زمان و واپاشی آن به زیرکنیم-۹۰ تدریجاً از ارتفاع آن کاسته می‌شود (این موضوع در شکل ۱۲ کاملاً آشکار است).

برای بررسی خلوص محصول ایتریم-۹۰ در فاز گیرنده تحت شرایط انتقال بهینه، واپاشی آن برحسب زمان مورد بررسی واقع شد. لگاریتم فعالیت ایتریم-۹۰ برحسب زمان در شکل ۱۳ نشان داده شده است. از شیب این نمودار، نیم-عمر (یا $t_{1/2}$) محاسبه و برابر با 64.17 ± 0.05 ساعت به دست آمد. بدین ترتیب، این نمودار بار دیگر خلوص ایتریم-۹۰ جدا شده تا بالاتر از 99.99% را تأیید می‌نماید.

جدول ۴. مقدار یون Y(III) انتقال یافته از طریق غشاء در حضور کاتیون‌های گوناگون

[فاز دهنده، 5 ml محلول 1×10^{-4} مول بر لیتر از هر کاتیون در مخلوط دوتایی با $\text{pH } 5.4$ ، 1% حجمی نرمال پروپیل آمین؛ فاز غشاء، 20 ml محلول $0.02 M$ HTTA در دی‌کلرومتان؛ فاز گیرنده، 10 ml محلول نیتریک اسید $1 M$ ، مدت زمان انتقال 8.5 ساعت]

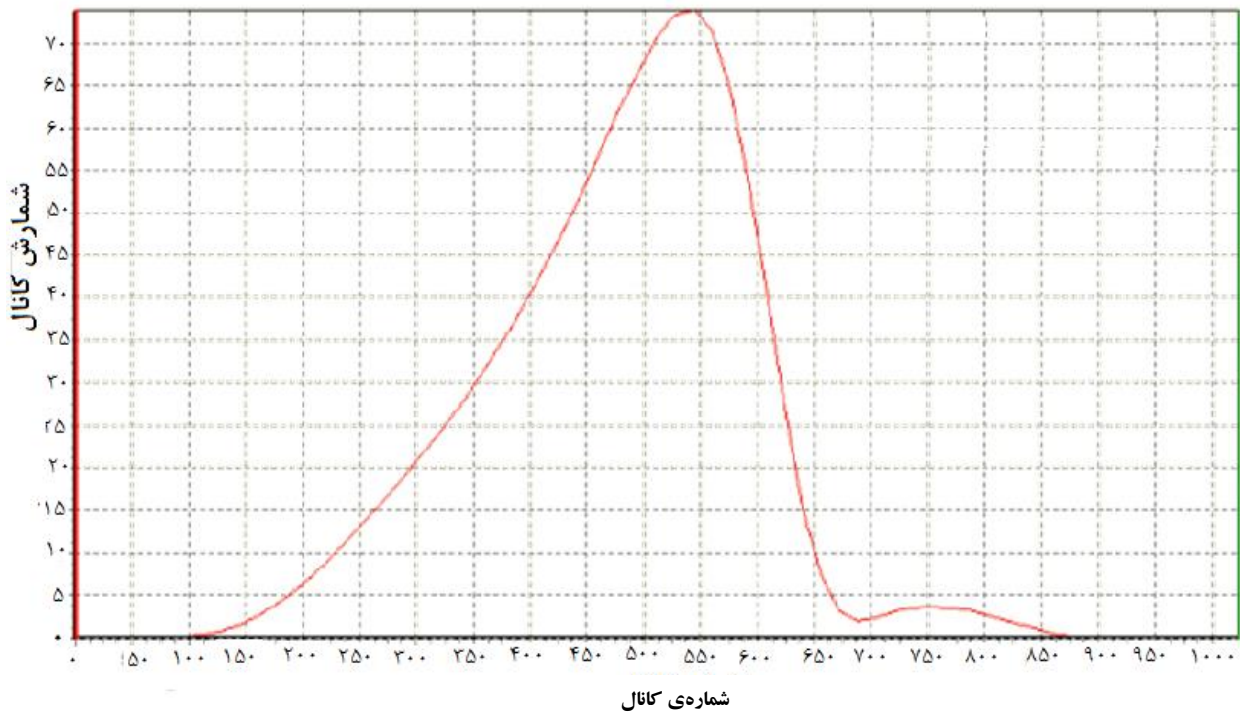
شماره	مخلوط	درصد انتقال یافته به فاز گیرنده	درصد باقی‌مانده در فاز غشاء	درصد باقی‌مانده در فاز دهنده
۱	Y^{3+}	۷۸.۷۰	۲۰.۲۷	۰.۰۳
	Cu^{2+}	۶۴.۹۴	۳۴.۴۹	۰.۵۷
۲	Y^{3+b}	۷۹.۲۳	۲۰.۷۳	۰.۰۴
	Cu^{2+}	۶۴.۲۲	۳۵.۳۷	۰.۴۱
۳	Y^{3+c}	۸۶.۰۳	۱۰.۰۴	۳.۹۳
	Cu^{2+}	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰
۴	Y^{3+}	۷۹.۱۸	۳۱.۴۱	۰.۲۹
	Co^{2+}	۵۸.۰۵	۴۱.۳۲	۰.۶۳
۵	Y^{3+b}	۷۸.۰۹	۲۱.۶۹	۰.۲۲
	Co^{2+}	۵۳.۹۳	۴۱.۰۱	۰.۰۶
۶	Y^{3+c}	۸۳.۴۸	۱۵.۸۹	۰.۶۳
	Co^{2+}	۰.۰۰	۱۵.۷۸	۸۴.۲۲
۷	Y^{3+}	۷۹.۷۱	۲۰.۰۰	۰.۲۹
	Ni^{2+}	۵۱.۶۳	۴۵.۴۱	۲.۹۶
۸	Y^{3+b}	۷۷.۶۶	۲۱.۹۹	۰.۳۵
	Ni^{2+}	۴۶.۴۱	۵۱.۳۲	۲.۲۷
۹	Y^{3+c}	۸۱.۵۶	۱۷.۴۸	۰.۹۶
	Ni^{2+}	۱.۰۹	۱۲.۶۴	۸۶.۲۷
۱۰	Y^{3+}	۷۹.۱۳	۲۰.۵۴	۰.۲۳
	Fe^{2+}	۵۸.۰۹	۳۹.۵۸	۲.۳۳
۱۱	Y^{3+b}	۷۷.۷۸	۲۱.۹۹	۰.۲۳
	Fe^{2+}	۵۲.۷۰	۳۷.۲۲	۱.۰۰۸
۱۲	Y^{3+c}	۸۳.۰۵	۱۵.۹۸	۰.۹۷
	Fe^{2+}	۲.۵۷	۱۵.۳۴	۸۲.۰۹
۱۳	Y^{3+}	۷۰.۰۸	۲۹.۸۸	۰.۰۴
	Ag^+	۰.۷۰	۹۹.۱۷	۰.۱۳
۱۴	Y^{3+}	۷۵.۲۶	۲۰.۷۱	۴.۰۳
	Al^{3+}	۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۱۵	Y^{3+d}	۸۲.۵۸	۱۷.۲۵	۰.۱۷
	Al^{3+}	۱۵.۴۹	۴۵.۲۳	۳۹.۲۸
۱۶	Y^{3+e}	۸۴.۶۷	۱۴.۷۰	۰.۳۶
	Al^{3+}	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰
۱۷	Y^{3+}	۸۷.۰۷	۱۲.۱۳	۰.۰۸
	Sr^{2+}	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰
۱۸	Y^{3+}	۸۷.۹۹	۱۱.۹۳	۰.۰۸
	Cs^+	۷.۵۲	۱۲.۸۸	۷۹.۶۰
۱۹	Y^{3+}	۷۸.۰۷	۲۱.۲۲	۰.۷۱
	Hg^{2+}	۵۴.۲۲	۲۹.۶۷	۱۶.۱۱
۲۰	Y^{3+b}	۷۹.۷۹	۱۹.۴۵	۰.۷۶
	Hg^{2+}	۵۰.۵۶	۳۰.۷۸	۱۸.۶۶
۲۱	Y^{3+c}	۸۳.۰۹	۱۶.۴۸	۰.۶۳
	Hg^{2+}	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰

b در حضور 0.01 مول بر لیتر CN^-

c در حضور 0.1 مول بر لیتر CN^-

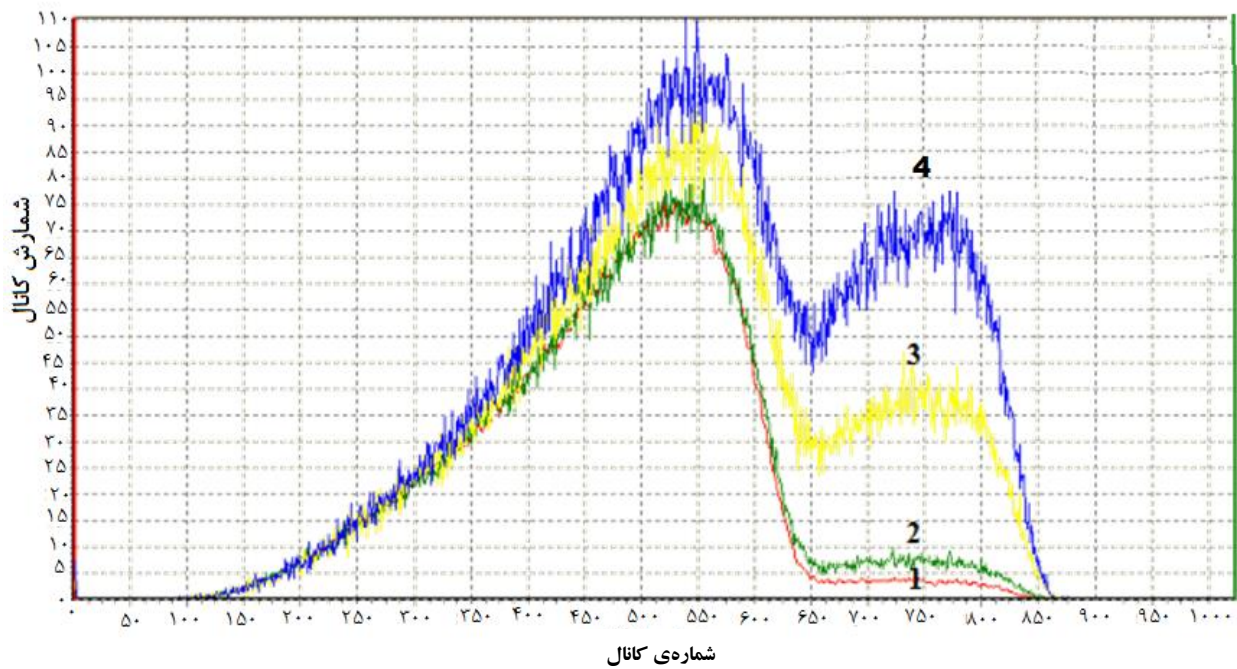
d در حضور 0.01 مول بر لیتر سولفوسالیسیلیک اسید

e در حضور 0.1 مول بر لیتر سولفوسالیسیلیک اسید

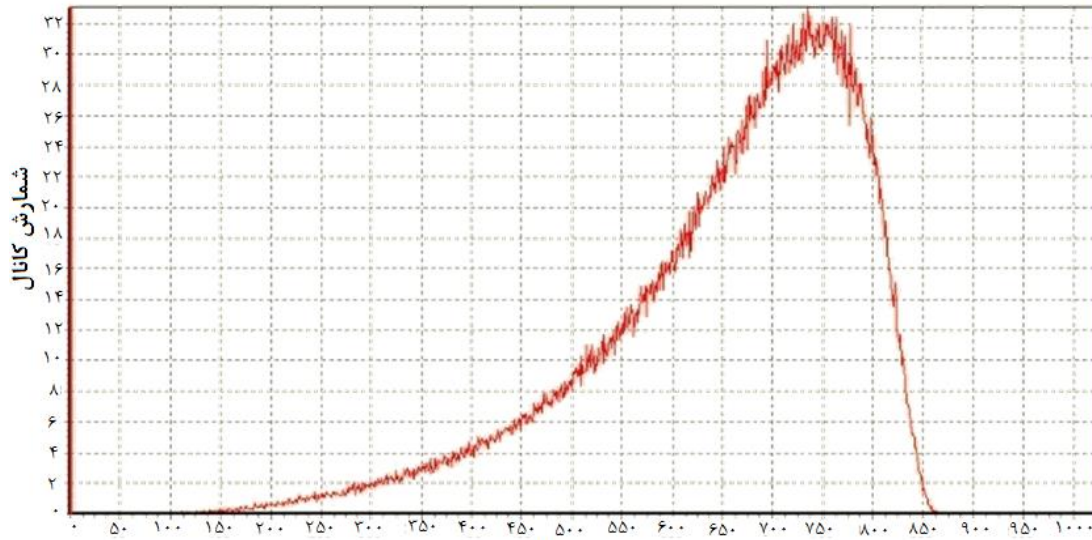


شکل ۹. طیف توزیع ارتفاع تپ استرانسیم-۹۰ فاز دهنده در لحظه‌ی آغازین جداسازی.

[فاز دهنده، ۵ ml محلول ^{90}Sr - ^{90}Y با فعالیت پرتوزایی کل ۳۰۳۵ بکرل به همراه ۱٪ حجمی نرمال پروپیل آمین در pH ۵٫۴ (در حضور بافر)؛ فاز غشاء، ۲۰ ml محلول ۰٫۰۲ M HTTA در دی کلرومتان؛ فاز گیرنده، ۱۰ ml محلول نیتریک اسید ۱ M].

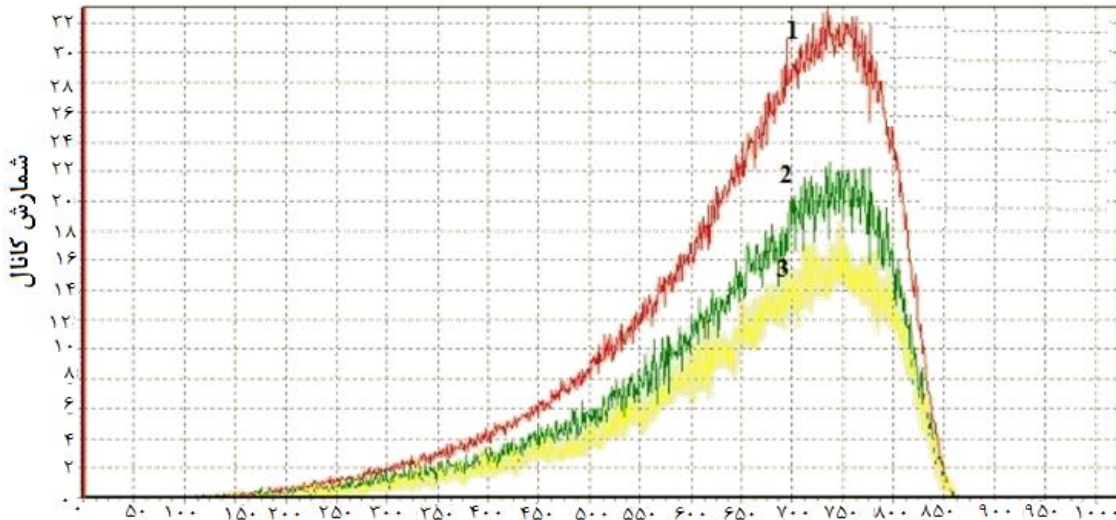


شکل ۱۰. طیف توزیع ارتفاع تپ استرانسیم-۹۰ در فاز دهنده در لحظه‌ی t [شرایط مشابه شکل ۹].



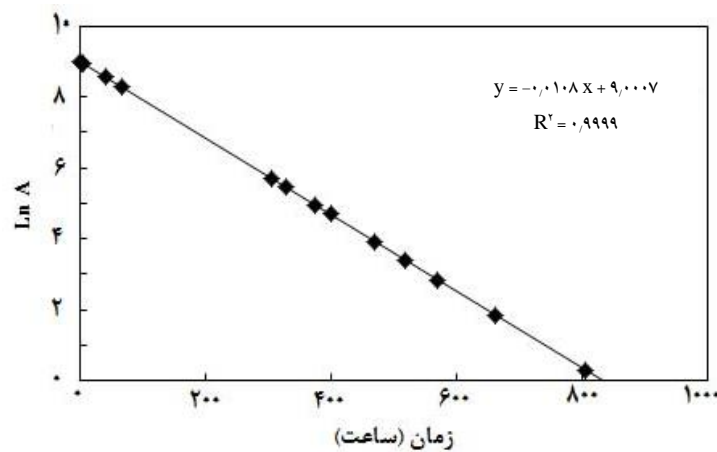
شماره‌ی کانال

شکل ۱۱. طیف توزیع ارتفاع تپ ایتریم-۹۰ در فاز گیرنده در لحظه‌ی آغازین جداسازی [شرایط مشابه شکل ۹].



شماره‌ی کانال

شکل ۱۲. طیف توزیع ارتفاع تپ ایتریم-۹۰ در فاز گیرنده با گذشت زمان [شرایط مشابه شکل ۹].



شکل ۱۳. نمودار لگاریتم فعالیت ایتریم-۹۰ برحسب زمان در فاز گیرنده.



مرجع‌ها

- [1] C.J. Pedersen, Cyclic polyethers and their complexes with metal salts, *J. Am. Chem. Soc.*, 89 (1967) 7017-7036.
- [2] J.E. Martin, Measurement of ^{90}Sr in reactor wastes by Cerenkov counting of ^{90}Y , *Int. J. Rad. App. Ins. Part A. Applied Radiation and Isotopes*, 38 (1987) 953-957.
- [3] N. Kunthakudee, N. Sunsandee, U. Pancharoen, P. Ramakul, Separation of yttrium from rare earth using hollow fiber-supported liquid membrane: factorial design analysis, *Desalin. Water Treat.*, 57 (2016) 3985-3994.
- [4] P.K. Mohapatra, D.R. Raut, M. Iqbal, J. Huskens, W. Verboom, Separation of carrier-free ^{90}Y from ^{90}Sr using flat sheet supported liquid membranes containing multiple diglycolamide-functionalized calix [4] arenes, *Supramol. Chem.*, 28 (2016) 360-366.
- [5] P. Kandwal, S.A. Ansari, P.K. Mohapatra, V.K. Manchanda, Separation of carrier free ^{90}Y from ^{90}Sr by hollow fiber supported liquid membrane containing bis (2-ethylhexyl) phosphonic acid, *Sep. Sci. Technol.*, 46 (2011) 904-911.
- [6] A. Ramanujam, P.V. Achuthan, P.S. Dhama, R. Kannan, V. Gopalakrishnan, V.P. Kansra, R.H. Iyer, K. Balu, Separation of carrier-free ^{90}Y from high level waste by supported liquid membrane using KSM-17, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 247 (2001) 185-191.
- [7] P.S. Dhama, P.W. Naik, N.L. Dudwadkar, R. Kannan, P.V. Achuthan, A.D. Moorthy, U. Jambunathan, S.K. Munshi, P.K. Dey, U. Pandey, M. Venkatesh, Studies on the Development of a Two Stage SLM System for the Separation of Carrier-free ^{90}Y using KSM-17 and CMPO as Carriers, *Sep. Sci. Technol.*, 42 (2007) 1107-1121.

۴. نتیجه‌گیری

غشای مایع کلروفرم حاوی HTTA به عنوان حامل قادر است به طور مؤثر یون‌های ایتريم (III)، یون‌های استرانسیم را از محلول‌های آبی جداسازی کند. شرایط بهینه برای انتقال یون‌های ایتريم (III) عبارت‌اند از: فاز دهنده با pH ۵٫۴ همراه با ۱٪ حجمی نرمال پروپیل‌آمین، غشای مایع دی کلرومتان حاوی HTTA ۰٫۰۲ M، فاز گیرنده محلول نیتریک اسید ۱ M. در شرایط بهینه به دست آمده، آزمایش نشان داد که ^{90}Y کم‌مقدار در تعادل با ^{90}Sr ، قادر است به میزان کمی به فاز گیرنده منتقل و از ایزوتوپ مادر دراز-عمر خود جدا شود. ^{90}Y انتقال یافته با نیم-عمر $۶۴٫۱۷ \pm ۰٫۰۵$ ساعت واپاشی نمود، که با مقدارهای گزارش شده در منابع مطابقت دارد. همچنین در همین شرایط بهینه و در حضور عامل‌های استتارگر مناسب در فاز دهنده، جداسازی ایتريم (III) از مخلوط‌های دوجزیبی شامل کاتیون‌هایی نظیر Cu (II)، Co (II)، Ni (II)، Fe (II)، Ag (I)، Cs (I)، Al (III) و Hg (II) امکان‌پذیر است. یون سیانید و ۵- سولفوسالیسیلیک اسید در فاز دهنده به ترتیب برای استتار یون‌های فلزهای واسطه گوناگون و Al (III) مورد استفاده قرار گرفتند.

پی‌نوشت‌ها

1. Labelled Monoclonal Antibodies
2. PUREX
3. Hollow Fiber Supported Liquid Membrane
4. Hollow Fiber Membrane
5. Citra 6
6. Liberty 150AX Turbo
7. Varian
8. Spectra 200
9. Quantulus™ 1220
10. Wallac
11. Lewis Cell



- [8] R. Kopunec, T. Manh, Carrier-mediated transport of yttrium (III) through a supported liquid membrane containing TOPO in n-dodecane, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 155 (1991) 311-323.
- [9] P. Ramakul, T. Supajaroen, T. Prapasawat, U. Pancharoen, A.W. Lothongkum, Synergistic separation of yttrium ions in lanthanide series from rare earths mixture via hollow fiber supported liquid membrane, *J. Ind. Eng. Chem.*, 15 (2009) 224-228.
- [10] A.G. Gaikwad, A.M. Rajput, Transport of yttrium metal ions through fibers supported liquid membrane solvent extraction, *J. Rare Earth.*, 28 (2010) 1-6.
- [11] M. Goto, F. Kubota, T. Miyata, F. Nakashio, Separation of yttrium in a hollow fiber membrane, *J. Membr. Sci.*, 74 (1992) 215-221.
- [12] M. Sugiura, M. Kikkawa, S. Urita, Carrier-mediated transport of rare earth ions through cellulose triacetate membranes, *J. Membr. Sci.*, 42 (1989) 47-55.
- [13] S.K. Sahu, V. Chakravorty, M.L.P. Reddy, T.R. Ramamohan, The synergistic extraction of thorium (IV) and uranium (VI) with mixtures of 3-phenyl-4-benzoyl-5-isoxazolone and crown ethers, *Talanta* 51 (2000) 523-530.
- [14] A.L. Hines, R.N. Maddox, Mass transfer: fundamentals and applications, New Jersey: PTR Prentice-Hall Incorporated (1985).
- [15] C. Musikas, G.R. Choppin, J. Rydberg, editors. Principles and Practices of Solvent Extraction. Dekker (1992).
- [16] D. Nanda, H.P.S. Chauhan, B. Maiti, Transport of uranyl ion (UO_2^{2+}) across bulk liquid membrane by theonyl trifluoroacetone (TTA). *Indian J. Chem. Technol.*, 11 (2004) 643-647.
- [17] S. Dadfarnia, M. Shamsipur, Highly Selective Membrane Transport of Zn^{2+} Ion by a Cooperative Carrier Composed of 1, 10-Diaza-18-crown-6 and Palmitic Acid. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 65 (1992) 2779-2783.
- [18] M.R. Yaftian, A.A. Zamani, S. Rostamnia, Thorium (IV) ion-selective transport through a bulk liquid membrane containing 2-thenoyltrifluoroacetone as extractant-carrier. *Sep. Purif. Technol.*, 49 (2006) 71-75.
- [19] R. Davakhah, M. Asgari, B. Salimi, P. Ashtari, Study of kinetic parameters of the extraction and stripping processes of uranium from phosphoric acid medium with liquid membrane containing di-2-ethyl hexyl phosphoric acid. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 66 (2014) 23-32.