



استخراج گزینشی و جداسازی مقادیر جزئی کبالت-۵۷ از نیکل

مهدی اخلاقی*، پژمان روشن فرزاد

پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج - ایران

چکیده: مقادیر جزئی کبالت-۵۷ به روش استخراج با حلال در حضور عامل کمپلکس‌ساز تیوسیانات، از فاز آبی به فاز آلی ایزوفرون استخراج و از نیکل جدا شد. تأثیر غلظت عامل کمپلکس‌ساز، نسبت حجم فازها و اسیدیته فاز آبی بر بهره جداسازی بررسی گردید. کبالت-۵۷ استخراج شده، در حضور اسید کلریدریک غلیظ طی استخراج برگشتی به فاز آبی برگردانده شد و تأثیر غلظت و حجم اسید بر بهره استخراج برگشتی بررسی گردید. نتایج حاصل نشان داد که محلول تیوسیانات آمونیوم با غلظت ۴٪ وزنی - حجمی، اسیدیته ۲-۱/۵ pH و نسبت‌های کوچکتر حجم فاز آلی به حجم فاز آبی بالاترین بهره جداسازی را دارد. بهره استخراج برگشتی کبالت-۵۷ در ۵ مرحله شستشو با اسید کلریدریک ۵ نرمال، ۹۹/۵۷٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: استخراج با حلال، جداسازی، مقادیر جزئی، کبالت-۵۷، نیکل، ایزوفرون، تیوسیانات آمونیوم

Selective Extraction and Separation of Trace Amounts of Cobalt-57 from Nickel

M. Akhlaghi*, P. Rowshan Farzad

Agriculture, Medicine and industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute,
AEOL, P.O. Box: 31485-498, Karaj - Iran

Abstract: Trace amounts of cobalt-57 were separated from nickel and extracted into isopherone in the presence of thiocyanate as a complexing agent. The effect of various parameters on the separation yield was investigated. These include: concentration of the complexing agent, aqua and organic phases volume ratio and acidity of aqua phase. The extracted cobalt-57 was backextracted into concentrated hydrochloric acid and the effects of hydrochloric acid concentration and volume on backextraction yield were investigated. 4% (W/V) ammonium thiocyanate solution, pH=1.5-2 and lower organic to aqua volume ratio gives the highest separation yield. 99.57% backextraction yield was achieved for cobalt-57 through 5 steps of washing with 5 N HCl.

Keywords: Solvent Extraction, Separation, Traces Amounts, Cobalt-57, Nickel, Isopherone, Ammonium Thiocyanate

*email: makhlaghi@nrcam.org

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۱/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۲/۲۶



۱- مقدمه

استخراج با حلال یکی از روشهای استفاده شده برای جداسازی کبالت از نیکل در فرایندهای صنعتی و هیدرومتالورژی است. جداسازی کبالت از نیکل به روش استخراج با حلال در حضور عوامل کمپلکس ساز متعدد از جمله تیوسیانات پیریدین^(۱) [۱]، استرهای الکیل پیریدین کربوکسیلات [۲]، ترکیبات آلی فسفردار اسیدی [۳ تا ۲۱]، هیدروکسیمها [۱۳، ۱۹ و ۲۲]، ۱-(۲-تيازوليلازو)-۲-نفتول (TAN)^(۲) [۲۳]، N-فنیل-N'-۲-بوتیل تیوفیل) تیواوره (PBT)^(۳) [۲۴] و آنالوگهای N،N'-بیس-۲-پیریدیل متیلیدن-۱،۲-ادی ایمیوناتان^(۴) [۲۵] انجام شده است.

یکی از روشهای متداول تولید رادیوایزوتوپهای کبالت در سیکلوترون بمباران ایزوتوپهای نیکل به عنوان هدف، با ذرات باردار پرانرژی و به دنبال آن جداسازی رادیوایزوتوپ کبالت تولید شده از نیکل می باشد [۲۶ تا ۳۰]. کبالت-۵۷ در ساخت چشمه های رادیوآکتیو برای کالیبره کردن دوربینهای گاما کاربرد دارد. این چشمه ها با تثبیت این رادیوایزوتوپ در زمینه پلیمری، حین واکنش پلیمریزاسیون مونومرهای مخلوط شده با این رادیوایزوتوپ ساخته می شوند. تاکنون جداسازی رادیوایزوتوپهای کبالت-۵۷، کبالت-۵۸ و کبالت-۵۵ تولید شده در سیکلوترون به روش مبادله آنیونی با استفاده از رزینهای مبادله گر آنیونی نوع AG 1x10، AG 1x8 [۲۷ تا ۳۲] و استخراج با حلال در حضور عامل کمپلکس ساز تری بوتیل فسفات و ۱-فنیل-۳-متیل-۴-کاپریل-پیرازولون-۵^(۵) [۳۳ تا ۳۶] انجام شده است.

ایزوفرون^(۶) نام تجاری ترکیب ۳، ۵، ۵-تری متیل-۲-هگزانون است. از این ترکیب به عنوان حلال برای واکنشهای پلیمریزاسیون استفاده می شود. بنابراین کبالت-۵۷ استخراج شده با این حلال را می توان به طور مستقیم برای ساخت چشمه های رادیوآکتیو این رادیوایزوتوپ بکار برد.

در این کار پژوهشی مقادیر جزئی کبالت-۵۷ به روش استخراج با حلال در حضور عامل کمپلکس ساز تیوسیانات از نیکل جدا و از فاز آبی به فاز آلی ایزوفرون منتقل شد. تأثیر عوامل مختلف از جمله غلظت عامل کمپلکس ساز، نسبت حجم فازها و اسیدیته فاز آبی بر بهره جداسازی بررسی شد. همچنین

کبالت-۵۷ استخراج شده، در حضور اسید کلریدریک غلیظ طی استخراج برگشتی به فاز آبی برگردانده شد و تأثیر غلظت و حجم اسید و تعداد دفعات شستشو بر بهره استخراج برگشتی نیز بررسی گردید.

۲- مواد و روشها

۲-۱ دستگاهها و وسایل

رادیوایزوتوپهای نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ با استفاده از سیکلوترون «IBA-Cyclone30» پژوهشگرده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج تولید شدند. جداسازی فازها با استفاده از کیف جداکننده ۲۵ میلی لیتری و نمونه برداری از فازها با میکروپیت کالیبره شده به انجام رسید. تعیین درصد جزء رادیوایزوتوپهای نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ در فازهای آلی و آبی با استفاده از گاما اسپکترومتر، نوع ژرمانیوم فرا خالص به انجام رسید.

۲-۲ واکنشگرها

حلال ایزوفرون (درجه خلوص ۹۸٪) و کلرید نیکل ۶ آبه (درجه خلوص ۹۸٪)، تیوسیانات آمونیوم (درجه خلوص ۹۸/۵٪) از شرکت مرک خریداری شد و تیوسیانات به صورت محلولهای آبی با غلظتهای ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد وزنی- حجمی آماده شدند. اسید کلریدریک (غلظت ۳۷٪) با رقیق سازی در غلظتهای ۱، ۲، ۴، ۶، ۷ و ۸ مولار آماده شد. محلول تیوسیانات آمونیوم با غلظت ۶٪ وزنی- حجمی و با اسیدیته های متفاوت با افزودن اسید کلریدریک ۱ مولار تهیه شد.

۲-۳ تولید رادیوایزوتوپهای نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷

رادیوایزوتوپهای نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ طی بمباران پروتونی نیکل طبیعی با انرژی ۲۲ MeV و در نتیجه واکنشهای هسته ای $^{nat}Ni(p,x)^{57}Co$ و $^{nat}Ni(p,x)^{57}Ni \xrightarrow{35.5h} ^{57}Co$ تولید شدند. هدفها به صورت دایره به قطر ۱۳ mm، ضخامت ۱۰۰ μm و وزن ۱۱۹ mg انتخاب شدند. بعد از پایان بمباران، هدف به اتاقک با پرتو زایی بالا^(۷) منتقل و در ۵ ml اسید کلریدریک گرم و غلیظ حل شد. محلول بدست آمده با حرارت دادن خشک و مجدداً در ۵ ml آب مقطر حل و برای بار دوم خشک شد. جسم



بدست آمده در نهایت در ۵ml محلول تیوسیانات آمونیوم با غلظت ۰.۶٪ وزنی - حجمی حل گردید.

۲-۴ جداسازی کبالت-۵۷ از نیکل

۵۰۰mg کلرید نیکل ۶ آب در محلول تیوسیانات آمونیوم حل و به یک قیف جداکننده ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس ۱۰۰μl از محلول تیوسیانات آمونیوم که حاوی ۵۰۰μCi از مخلوط رادیویزوتوپهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ بود به قیف جداکننده اضافه شد. حلال ایزوفرون نیز به آن اضافه شده و محتویات داخل قیف جداکننده با دمش گاز نیتروژن به مدت ۳ دقیقه به هم زده شد. محلول حاصل به مدت ۳ دقیقه در حالت سکون نگهداشته شد. فازهای آلی و آبی از هم جدا شده و از آنها برای تعیین توزیع رادیویزوتوپهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ نمونه‌برداری شد. فاز آلی که بیشتر حاوی کبالت-۵۷ بود در سه مرحله با فاز آبی شستشو داده شد. در نهایت فاز آلی محتوی کبالت-۵۷ با اسید کلریدریک غلیظ طی فرایند استخراج برگشتی به فاز آبی اسیدی منتقل گردید. شکل ۱ شمای کلی مراحل استخراج و جداسازی کبالت-۵۷ از نیکل و همچنین استخراج برگشتی کبالت-۵۷ را نشان می‌دهد.

۲-۵ تعیین گزینش پذیری استخراج نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷

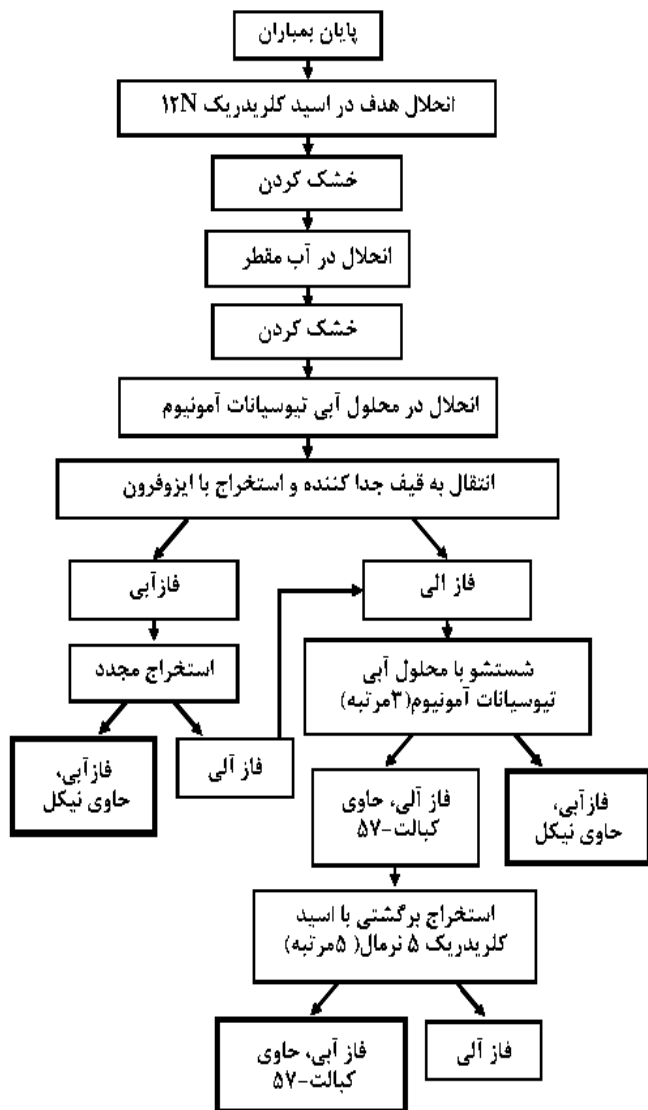
برای تعیین گزینش‌پذیری استخراج نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ از فازهای آلی و آبی، در همه مراحل استخراج نمونه‌برداری شد. معیار جداسازی گزینشی کبالت-۵۷ از نیکل، استخراج گزینشی کبالت-۵۷ به فاز آلی و عدم استخراج نیکل از فاز آبی در نظر گرفته شد و گزینش‌پذیریهای استخراج کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ به فاز آلی به ترتیب از فرمولهای ۱ و ۲ حساب شدند. لازم به ذکر است که هرچه گزینش‌پذیری استخراج کبالت-۵۷ به صفر درصد و گزینش‌پذیری استخراج نیکل-۵۷ به صفر درصد نزدیکتر باشد، بهره جداسازی بالاتر است.

گزینش‌پذیری استخراج کبالت-۵۷ به فاز آلی = (درصد توزیع کبالت-۵۷ در فاز آلی ÷ مجموع درصد توزیع کبالت-۵۷ در فازهای آلی و آبی) × ۱۰۰

(۱)

گزینش‌پذیری استخراج نیکل-۵۷ به فاز آلی = (درصد توزیع نیکل-۵۷ در فاز آلی ÷ مجموع درصد توزیع نیکل-۵۷ در فازهای آلی و آبی) × ۱۰۰

(۲)



شکل ۱- شمای کلی مراحل استخراج و جداسازی کبالت-۵۷ از نیکل و استخراج برگشتی کبالت-۵۷.

توزیع جزءهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ با اندازه‌گیری سطح زیر پیک فوتونهای گاما، با انرژیهای ۱۲۲keV، مربوط به واپاشی هسته‌های کبالت-۵۷ و ۱۲۷/۱keV، مربوط به واپاشی هسته‌های نیکل-۵۷ حساب شد. جدول ۱ مشخصات واپاشی رادیویزوتوپهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ [۳۷] و شکل ۲ طیف گامای مخلوط آنها، در محدوده انرژی ۱۶۰-۸۰ keV را نشان می‌دهد.



جدول ۱- مشخصات واپاشی رادیوایزوتوپهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷.

رادیوایزوتوپ	نیمه عمر	واکنش واپاشی	انرژی فوتونهای گامای منتشر شده اصلی (keV) و شدت آنها
کبالت-۵۷	۲۷۱/۷۹ روز	$^{57}_{27}\text{Co} \xrightarrow{EC} ^{57}_{26}\text{Fe}$	۱۲۲/۰۶ (%/۸۵/۶) و ۱۳۶/۴۷ (%/۱۰/۶۸)
نیکل-۵۷	۳۵/۶ ساعت	$^{57}_{28}\text{Ni} \xrightarrow{EC, \beta^+} ^{57}_{27}\text{Co}$	۱۳۷۷/۶۳ (%/۸۱/۷) ، ۱۲۷/۱۶ (%/۱۶/۷) و ۱۹۱۹/۵۲ (%/۱۲/۲۵)

جدول ۲- تأثیر غلظت تیوسیانات آمونیوم بر توزیع جزءهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ و گزینش پذیری استخراج آنها.

غلظت آمونیوم تیوسیانات (% W/V) قبل از استخراج	توزیع در فاز آبی (%)		توزیع در فاز آبی (%)		گزینش پذیری استخراج کبالت-۵۷ در فاز آبی	گزینش پذیری استخراج نیکل-۵۷ در فاز آبی
	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷		
۰	۷۲/۵۷	۲۷/۴۲	۰	۰	۵۰	۴۹/۹۱
۱	۹۵/۲۲±۰/۴۳	۴/۷۸±۰/۵۲	۱۰۰±۰/۲۱	۰±۱/۳	۹۵/۴۳	۰
۲	۹۹/۶±۰/۳۲	۰/۳۹±۱/۱	۱۰۰±۰/۱۹	۰±۱/۱	۹۹/۴۶	۰
۴	۱۰۰±۰/۲۴	۰±۱/۲	۱۰۰±۰/۲۳	۰±۱	۱۰۰	۰
۶	۹۹/۹۳±۰/۲۷	۰/۰۶±۱/۱	۱۰۰±۰/۱۸	۰±۱/۲	۹۹/۹۴	۰
۸	۹۸/۸۹±۰/۲۷	۱/۱±۱/۱	۱۰۰±۰/۲۱	۰±۱/۱	۹۸/۹۱	۰
۱۰	۹۹/۴۳±۰/۲۶	۰/۵۶±۱	۹۲/۹۸±۰/۴۳	۷/۰۱±۱/۱	۹۹/۴	۶/۵۹

حجم فاز آبی: ۳ ml، حجم فاز آبی: ۵ ml، مقدار مخلوط آکتیویته کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ قبل از استخراج: ۵۰۰ μCi و وزن کلرید نیکل اضافه شده به فاز آبی: ۵۰۰ mg

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- استخراج و جداسازی

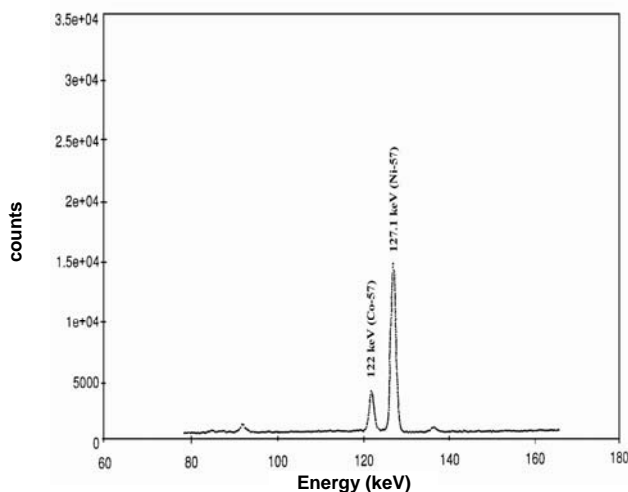
۳-۱-۱- تأثیر غلظت تیوسیانات آمونیوم (فاز آبی)

بررسی شد. شرایط انجام دادن آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدول ۳ مندرج است. نتایج حاصل نشان داد که بهره جداسازی کبالت-۵۷ از نیکل با کاهش نسبت حجم فاز آبی به حجم فاز آبی افزایش می‌یابد.

تأثیر تغییرات غلظت تیوسیانات آمونیوم بر توزیع جزءهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ و گزینش‌پذیری استخراج آنها با غلظتهای ۰، ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد وزنی- حجمی بررسی شد. شرایط انجام دادن آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدول ۲ مندرج است. نتایج نشان داد که مناسبترین غلظت محلول آبی تیوسیانات آمونیوم، ۴٪ وزنی- حجمی است. در غلظتهای بالاتر، به علت تشکیل رسوب تیوسیانات آمونیوم جداسازی فازها به خوبی انجام نمی‌گیرد و بهره جداسازی کاهش می‌یابد. تشکیل رسوب آمونیوم تیوسیانات به علت تأثیر فاز آبی بر حلالیت این ترکیب در فاز آبی هنگام همزدن فازها است.

۳-۱-۲- تأثیر نسبت حجم فازهای آبی و آلی

تأثیر تغییرات نسبت حجم فازهای آبی و آلی بر توزیع جزءهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ و گزینش‌پذیری استخراج آنها



شکل ۲: طیف گامای مخلوط رادیوایزوتوپهای کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ در محدوده انرژی ۱۶۰-۸۰ keV



۳-۱-۳ تأثیر اسیدیته فاز آبی

تأثیر اسیدیته فاز آبی بر توزیع جزء‌های کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ و گزینش پذیری استخراج آنها با اسیدیته‌های مختلف محلول تیوسیانات آمونیوم با غلظت ۰.۶٪ وزنی- حجمی بررسی گردید. شرایط انجام دادن آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدول ۴ مندرج است. نتایج حاصل نشان داد که بهره جداسازی با کاهش pH از ۳/۵ تا ۱/۵، افزایش و با کاهش بیشتر pH کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که این رفتار به علت تأثیر حضور قسمتی از کبالت-۵۷ به صورت هیدروکسیدهای $[Co(OH)]^{+1}$ و $(Co(OH)_2)$ در pH‌های بالاتر و عدم تشکیل کمپلکس تیوسیانات کبالت در محیطهای اسیدی قوی می‌باشد.

۳-۲-۴ تأثیر حجم فاز آبی در شستشوی فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج

فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج، حاوی کبالت-۵۷ و مقدار کمی نیکل است. به منظور حذف نیکل موجود در فاز آلی، این فاز با محلول آبی تیوسیانات آمونیوم شستشو داده شد. تأثیر حجم فاز آبی با شستشوی حجمهای ۳ میلی‌لیتری فاز آلی با حجمهای مختلف از فاز آبی بررسی شد. شرایط انجام دادن آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدول ۵ مندرج است. نتایج نشان می‌دهند که افزایش حجم فاز آبی، نیکل موجود در فاز آلی را در یک مرحله شستشو به طور کامل حذف نکرده است.

جدول ۳- تأثیر نسبت حجم فازهای آبی و آلی بر توزیع جزء‌های کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ و گزینش پذیری استخراج آنها.

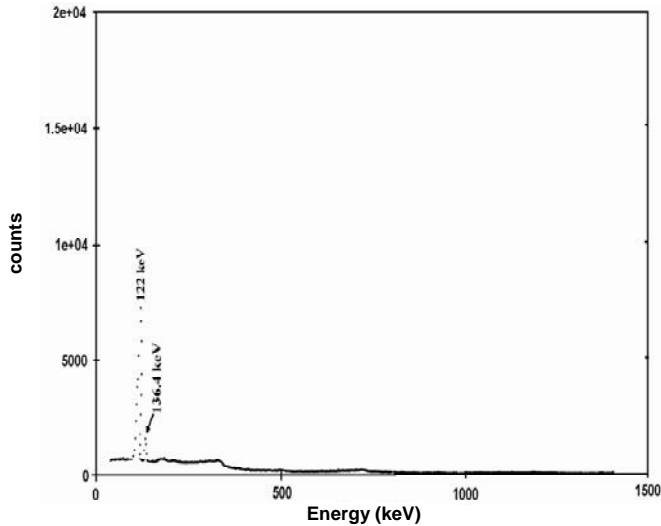
گزینش پذیری استخراج کبالت-۵۷ به فاز آلی	گزینش پذیری استخراج نیکل-۵۷ به فاز آلی	توزیع در فاز آلی (%)		توزیع در فاز آبی (%)		حجم فاز آبی حجم فاز آبی قبل از استخراج
		کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	
۹۹/۵	۸/۰۳	۹۱/۳±۰/۲۲	۸/۷±۰/۸۶	۰/۴۱±۰/۹۳	۹۹/۵۹±۰/۱۱	۰/۲
۹۹/۸	۱۲/۸	۸۴/۳۵±۰/۲۳	۱۴/۶۵±۰/۸۲	۰/۱۸±۱	۹۹/۸۲±۰/۱	۰/۴
۹۹/۰۷	۱۷/۴	۷۹/۰۹±۰/۲۸	۲۰/۹۱±۰/۷۹	۰/۷۴±۰/۸۷	۹۹/۲۶±۰/۱۱	۰/۶
۹۹/۴۷	۳۲/۰۶	۵۲/۹۴±۰/۳۴	۴۷/۰۶±۰/۵۶	۰/۲۸±۰/۹۸	۹۹/۷۲±۰/۰۹	۱
۹۹/۷۶	۲۹/۲۶	۵۸/۶۸±۰/۴۱	۴۱/۳۲±۰/۶۴	۰/۱۴±۱	۹۹/۸۶±۰/۱	۱/۶
۹۹/۳۳	۲۸/۶۵	۵۹/۹۹±۰/۴۲	۴۰/۰۱±۰/۶۱	۰/۴۰±۰/۸۷	۹۹/۶۰±۰/۱	۲

مقدار مخلوط آکتیویته کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ قبل از استخراج: ۵۰۰ μCi ، فاز آبی: محلول تیوسیانات آمونیوم (W/V) ۰.۶٪ و وزن کلرید نیکل اضافه شده به فاز آبی: ۵۰۰ mg

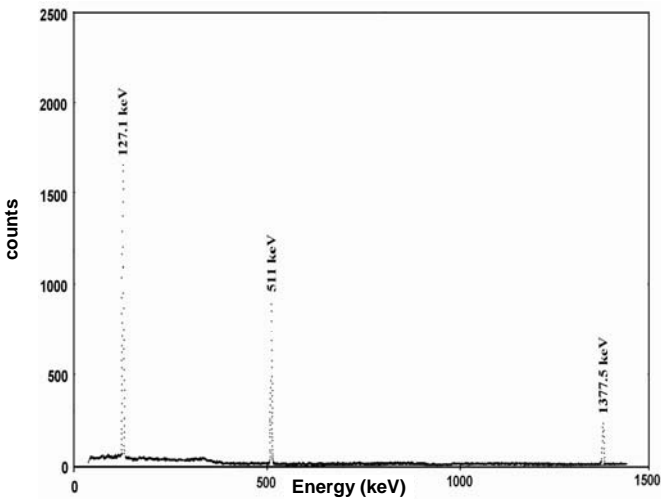
جدول ۴- تأثیر اسیدیته فاز آبی بر توزیع نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ در فازهای آبی و آلی.

گزینش پذیری استخراج کبالت-۵۷ به فاز آبی	گزینش پذیری استخراج نیکل-۵۷ به فاز آبی	توزیع در فاز آلی (%)		توزیع در فاز آبی (%)		pH فاز آبی قبل از استخراج
		کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	
۹۹/۲	۱۸/۲۵	۷۷/۸۰±۰/۳۷	۲۲/۲۰±۰/۵۲	۰/۶۲±۱/۲	۹۹/۳۸±۰/۱۳	۳/۵
۹۸/۹۵	۱۴/۶۹	۸۲/۹۳±۰/۲۸	۱۷/۰۷±۰/۵۸	۰/۸۸±۱/۱	۹۹/۱۲±۰/۱۱	۲
۹۹/۴۲	۵/۹۲	۹۳/۷۴±۰/۲۱	۶/۲۶±۰/۶۸	۰/۵۴±۱/۱	۹۹/۴۶±۰/۱۱	۱/۵
۹۹/۴۴	۷/۶۴	۹۱/۷۲±۰/۲۱	۸/۲۸±۰/۶۹	۰/۵۱±۱/۱	۹۹/۴۹±۰/۱۲	۱/۳
۹۶/۵۴	۱۶/۵	۸۰/۸۰±۰/۲۳	۱۹/۲۰±۰/۵۸	۲/۸۹±۱	۹۷/۱۱±۰/۱۴	۰/۵

حجم فاز آبی: ۳ ml، حجم فاز آبی: ۳ ml، مقدار مخلوط آکتیویته کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ قبل از استخراج: ۵۰۰ μCi و وزن کلرید نیکل اضافه شده به فاز آبی: ۵۰۰ mg



شکل ۳- طیف گامای کبالت-۵۷ استخراج شده به فاز آلی.



شکل ۴- طیف گامای نیکل-۵۷ باقی مانده در فاز آبی.

۲-۴ تأثیر تعداد دفعات شستشوی فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج

تأثیر تعداد دفعات شستشوی فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج برای حذف نیکل از فاز آلی، با شستشوی متناوب فاز آلی با حجمهای مساوی از محلول تیوسانات آمونیوم با غلظت ۶٪ وزنی- حجمی در سه مرحله بررسی شد. شرایط انجام آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدول ۶ مندرج است. نتایج نشان می‌دهد که شستشوی فاز آلی با فاز آبی در سه مرحله باعث حذف نیکل شده است. شکل ۳ طیف گامای کبالت-۵۷ استخراج شده و شکل ۴ طیف گامای نیکل-۵۷ باقی مانده در فاز آبی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- تأثیر حجم فاز آبی بر توزیع نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ در فازهای آبی و آلی در شستشوی فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج.

حجم فاز آبی (ml)	توزیع در فاز آبی (%)		توزیع در فاز آلی (%)		قبل از شستشو
	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	
۱	۱۰۰±۰/۰۸	۰±۰/۹۹	۶۵/۹	۱۳/۸۰±۰/۸۲	۳۴/۱
۲	۱۰۰±۰/۰۶	۰±۱	۵/۷۳±۰/۸۷	۸۶/۲۰±۰/۲۷	۹۴/۲۷±۰/۲۱
۳	۱۰۰±۰/۰۵	۰±۱/۱	۲/۲۰±۰/۹۱	۹۷/۸۰±۰/۱۶	۹۹/۱۹±۰/۱۱
۵	۱۰۰±۰/۰۵	۰±۱/۱	۰/۸۱±۰/۹۶	۹۹/۱۹±۰/۱۱	۹۹/۷۳±۰/۰۸
۱۰	۱۰۰±۰/۰۶	۰±۱	۰/۲۷±۰/۹۶	۹۹/۷۳±۰/۰۸	

حجم فاز آلی: ۳ ml، فاز آبی: محلول تیوسانات آمونیوم (W/V) ۶٪ و مجموع اکتیویته کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ در فاز آلی: ۲/۱ mCi

جدول ۶- تأثیر تعداد دفعات شستشوی فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج بر توزیع نیکل-۵۷ و کبالت-۵۷ در فازهای آبی و آلی.

تعداد دفعات	توزیع در فاز آبی (%)		توزیع در فاز آلی (%)		قبل از شستشو
	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	نیکل-۵۷	کبالت-۵۷	
۱	۱۰۰±۰/۰۷	۰±۱/۱	۶۲/۶۷	۸۷/۹۳±۰/۱۸	۳۷/۳۳
۲	۱۰۰±۰/۰۵	۰±۱/۱	۰/۲۶±۰/۹۱	۹۹/۷۴±۰/۱۲	
۳	۱۰۰±۰/۰۵	۰±۱	۰±۰/۹۸	۱۰۰±۰/۰۸	

حجم فاز آلی: ۳ ml، حجم فاز آبی: ۳ ml و مجموع اکتیویته کبالت-۵۷ و نیکل-۵۷ در فاز آلی: ۲ mCi

۲-۳ استخراج برگشتی کبالت-۵۷
فاز آلی بدست آمده از مراحل استخراج حاوی کبالت-۵۷ می‌باشد. کبالت-۵۷ موجود در فاز آلی طی فرآیند استخراج برگشتی و در اثر شستشو با محلول اسید کلریدریک به فاز آبی منتقل گردید. تأثیر غلظت اسید و حجم آن و همچنین تعداد دفعات شستشو بر بهره استخراج برگشتی بررسی گردید. بهره استخراج برگشتی با استفاده از فرمول ۳ حساب شد.

بهره استخراج برگشتی = (مجموع اکتیویته کبالت-۵۷ منتقل شده به فاز آبی در دفعات شستشو ÷ اکتیویته کل کبالت-۵۷) × ۱۰۰
(۳)



۱-۲-۳ تأثیر غلظت و حجم اسید کلریدریک

جدول ۹- تأثیر تعداد دفعات شستشو با اسید بر بهره استخراج برگشتی.

دفعات شستشو	بهره استخراج برگشتی (%)
۱	۸۷/۸۹±۰/۲۸
۲	۹۶/۹۹±۰/۱۱
۳	۹۹/۱۸±۰/۱
۴	۹۹/۴۷±۰/۰۹
۵	۹۹/۵۷±۰/۰۸

شرایط آزمایش: حجم فاز آلی: ۳ ml، غلظت اسید: ۵ مولار،
حجم اسید: ۵ml و مقدار آکتیویته کبالت-۵۷: ۲/۲ mCi

۲-۲-۳ تأثیر تعداد دفعات شستشو با اسید کلریدریک

تأثیر تعداد دفعات شستشوی فاز آلی با اسید کلریدریک بر بهره استخراج برگشتی با شستشوی متناوب فاز آلی با حجمهای مساوی از اسید کلریدریک ۵ مولار بررسی شد. شرایط آزمایش و نتایج بدست آمده در جدول ۹ مندرج است. نتایج نشان داد که با ۵ مرتبه شستشو، ۹۷/۵۷٪ از کبالت-۵۷ به فاز آبی اسیدی انتقال یافته است.

۴- نتیجه گیری

از این روش می‌توان برای جداسازی رادیوشیمیایی رادیوایزوتوپهای کبالت از هدفهای نیکلی استفاده کرد. این پژوهش نشان داد که مناسبترین غلظت تیوسیانات آمونیوم برای دستیابی به بالاترین بهره جداسازی کبالت-۵۷، ۴٪ وزنی-حجمی می‌باشد. همچنین برای رسیدن به نتایج مناسبتر تا حد امکان باید نسبت حجم‌های فاز آلی به آبی کوچکتر باشد. در این روش شستشوی یک مرحله‌ای فاز آلی بدست آمده از اولین مرحله استخراج که محتوی کبالت-۵۷ و نیکل است، حتی با حجمهای حدود ۱۰ میلی‌لیتر، تمامی نیکل را حذف نمی‌کند. در حالیکه شستشوی چند مرحله‌ای، تقریباً تمامی نیکل را حذف می‌نماید. نتایج نشان داد که در استخراج برگشتی می‌توان طی ۵ مرحله شستشوی فاز آلی با اسید کلریدریک ۵ نرمال قسمت عمده کبالت-۵۷ را به فاز آبی منتقل نمود. همچنین افزایش حجم اسید باعث بهبود بهره استخراج برگشتی می‌شود.

مقایسه نتایج بدست آمده از این روش با روشهای ارائه شده در متون علمی، کارآیی مشابهی را برای این روش نشان می‌دهد. به هر حال، این روش به علت امکان استفاده مستقیم از کبالت-۵۷ استخراج شده به حلال ایزوفرون برای ساخت چشمه‌های رادیوآکتیو این رادیوایزوتوپ مناسبتر می‌باشد.

استخراج برگشتی کبالت-۵۷ با بکارگیری غلظتها و حجمهای متفاوت از محلولهای اسید کلریدریک انجام شد. شرایط انجام آزمایشها و نتایج بدست آمده در جدولهای ۷ و ۸ مندرج است. مقدار کل آکتیویته کبالت-۵۷ در هر آزمایش ۲/۲ mCi بود. نتایج نشان داد که بهره استخراج برگشتی با افزایش غلظت اسید افزایش یافته است. به هر حال در غلظتهای ۶ مولار و بالاتر از آن، فاز آلی در فاز آبی حل می‌گردد و جداسازی فازها به خوبی انجام نمی‌شود. به همین دلیل اسید کلریدریک با غلظت ۵ مولار مناسبترین فاز آبی برای استخراج برگشتی می‌باشد. همچنین بهره استخراج برگشتی کبالت-۵۷ با افزایش حجم اسید افزایش یافته است. به هر حال حجمهای بالاتر از ۸ ml بهره استخراج را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش نداده است. به همین دلیل برای اجتناب از افزایش حجم کل، مناسبترین حجم اسید برای شستشو ۵-۸ ml بوده است.

جدول ۷- تأثیر غلظت اسید کلریدریک بر بهره استخراج برگشتی در یک مرحله شستشو.

غلظت اسید (مولار)	بهره استخراج برگشتی (%)
۱	۳۱/۶±۰/۶۳
۲	۵۶/۵±۰/۵۱
۴	۸۰/۳±۰/۴۳
۵	۸۹/۴±۰/۲۸
۶	۹۳/۷±۰/۱۹

شرایط آزمایش: حجم فاز آلی: ۳ ml، حجم اسید: ۵ml و
مقدار آکتیویته کبالت-۵۷: ۲/۲ mCi

جدول ۸- تأثیر حجم اسید بر بهره استخراج برگشتی در یک مرحله شستشو.

حجم اسید (ml)	بهره استخراج برگشتی (%)
۳	۸۰/۴۳±۰/۲۹
۴	۸۲/۷۵±۰/۲۸
۵	۹۰/۲۱±۰/۲۴
۶	۹۲/۵۵±۰/۲۲
۸	۹۴/۶۳±۰/۲
۱۰	۹۴/۶۴±۰/۱۸
۱۲	۹۴/۹۵±۰/۱۷

شرایط آزمایش: حجم فاز آلی: ۳ ml، غلظت اسید: ۵ مولار و مقدار آکتیویته کبالت-۵۷: ۲/۲ mCi



پی‌نوشت‌ها:

۱- Pyridine Thiocyanate

۲- (1-(2-Thiazolylazo)-2-Naphtol)

۳- (N-Phenyl-N'-(2-Butylthiophenyl)Thiourea)

۴-(N,N'-Bis(2-Pyridylmethylidene)-1,2-Diiminoethane)

۵- (1-Phenyl-3-Methyl-4-Capryl-Pyrazolone-5)

۶- Isopherone

۷- Hot Cell

References:

1. J.H.W. Forsythe, R.J. Magee, C.L. Wilson, "The analytical chemistry of the pyridine thiocyanates—I: The separation of cobalt and nickel by solvent extraction," *Talanta*, **1**, 249-251 (1958).
2. J.S. Preston, A.C. du-Preez, "Separation of nickel and calcium by solvent extraction using mixtures of carboxylic acids and alkylpyridines," *Hydrometallurgy*, **58**, 239-250 (2000).
3. B.K. Tait, "Cobalt-nickel separation: the extraction of cobalt (II) and nickel (II) by Cyanex 301, Cyanex 302 and Cyanex 272," *Hydrometallurgy*, **32**, 365-372 (1993).
4. K. Yoshizuka, Y. Sakamoto, Y. Baba, K. Inoue, "Distribution equilibria in the adsorption of cobalt(II) and nickel(II) on Leventrel resin containing Cyanex 272," *Hydrometallurgy*, **32**, 309-318 (1990).
5. E. Lindell, E. Jääskeläinen, E. Paatero, B. Nyman, "Effect of reversed micelles in Co/Ni separation by Cyanex 272," *Hydrometallurgy*, **56**, 337-357 (2000).
6. N.V. Thakur, "Extraction studies of base metals (Mn, Cu, Co and Ni) using the extractant 2-ethylhexyl 2-ethylhexyl phosphonic acid, PC 88A," *Hydrometallurgy*, **48**, 125-131 (1998).
7. K. Sarangi, B.R. Reddy, R.P. Das, "Separation of Co(II)/Ni(II) by the sodium salts of D2EHPA, PC88A and Cyanex 272 and their mixtures," *Hydrometallurgy*, **52**, 253-265 (1999).
8. Z. Longao, "Impurity removal and cobalt-nickel separation from sulphate solution by solvent extraction with B312," *Hydrometallurgy*, **24**, 167-177 (1990).
9. B. Gupta, A. Deep, V. Singh, S.N. Tandon, "Recovery of cobalt, nickel, and copper from sea nodules by their extraction with alkylphosphines," *Hydrometallurgy*, **70**, 121-129 (2003).
10. N.B. Devi, K.C. Nathsarma, V. Chakravorty, "Separation and recovery of cobalt(II) and nickel(II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC 88A and Cyanex 272," *Hydrometallurgy*, **49**, 47-61 (1998).
11. P.E. Tsakiridis, S.L. Agatzini, "Simultaneous solvent extraction of cobalt and nickel in the presence of manganese and magnesium from sulfate solutions by Cyanex 301," *Hydrometallurgy*, **72**, 269-278 (2004).
12. D.B. Dreisinger, W.C. Cooper, "The solvent extraction separation of cobalt and nickel using 2-ethylhexyl phosphonic acid mono-2-ethylhexyl ester," *Hydrometallurgy*, **12**, 1-20 (1984).
13. P. Zhang, T. Yokoyama, T.M. Suzuki, K. Inoue, "The synergistic extraction of nickel and cobalt with a mixture of di (2-ethylhexyl) phosphoric acid and 5-dodecylsalicylaldoxime," *Hydrometallurgy*, **61**, 223-227 (2001).
14. R. Grimm, Z. Kolaik, "Extraction of Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Cd(II) by Di(2-ethylhexyl) phosphoric acid," *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, **36**, 189-192 (1974).
15. J.E. Barnes, J.H. Setchfield, G.O.R. Williams, "Solvent extraction with di(2-ethylhexyl)phosphoric acid; A correlation between selectivity and the structure of the complex," *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **38**, 1065-1067 (1976).



16. P.E. Tsakiridis, S.L. Agatzini, "Process for the recovery of cobalt and nickel in the presence of magnesium and calcium from sulphate solutions by Versatic 10 and Cyanex 272," *Miner. Eng.*, **17**, 535-543 (2004).
17. P.E. Tsakiridis, S.L. Agatzini, "Process for the recovery of cobalt and nickel in the presence of magnesium from sulphate solutions by Cyanex 272 and Cyanex 302," *Miner. Eng.*, **17**, 913-923 (2004).
18. M.N. Gandhi, N.V. Deorkar, S.M. Khopkar, "Solvent extraction separation of cobalt (II) from nickel and other metals with cyanex 272," *Talanta*, **40**, 1535-1539 (1993).
19. A. Cerpa, F.J. Alguacil, "separation of cobalt and nickel from acidic sulfate solutions using mixtures of di (2-ethylhexyl) phosphoric acid and hydroxyoxime," *J. Chem. Biotechnol.*, **79**, 455-460 (2004).
20. D.V. Koladkar, P.M. Dhadke, "cobalt – nickel separation: the extraction of cobalt (II) and nickel (II) with bis (2-ethylhexyl) phosphonic acid (PIA-8) in toluene," *Solvent Extr. Ion Exch.*, **19**, 1059-1071 (2001).
21. B. Gupta, A. Deep, P. Malik, S.N. Tandon, "Extraction and separation of some 3d transition metal ions using CYANEX 923," *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **20**, 81-96 (2002).
22. N.M. Rice, M. Nedved, "The extraction of nickel from ammoniacal media and its separation from copper, cobalt and zinc using hydroxyoxime extractants I. SME-529," *Hydrometallurgy*, **3**, 35-54 (1978).
23. J. Chen, K.C. Teo, "Determination of cobalt and nickel in water samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction," *Anal. Chim. Acta*, **434**, 325-330 (2001).
24. S. Ide, M. Takagi, "Liquid-Liquid Extraction of Transition Metal Ions with N-Phenyl-N'-(2-butylthiophenyl) thiourea," *Anal. Sci.*, **6**, 599-603 (1990).
25. S. Oshima, N. Hirayama, K. Kubono, H. Kokusen, T. Honjo, "Ion-pair extraction behavior of divalent transition metal cations as charged complexes with N,N'-bis(2-pyridylmethylidene)-1,2-diiminoethane and its analogues," *Anal. Chim. Acta*, **441**, 157-164 (2001).
26. M. Sonck, A. Hermanne, F. Szeleceenyi, S. Takacs, F. Tarkanyi, "Study of the ^{nat}Ni (P,X) ^{57}Ni process up to 44 MeV for monitor purposes," *Appl. Radiat. Isot.*, **49**, 1533-1536 (1998).
27. Y.G. Sevasianov, "Method of radioisotope isolation from cyclotron targets," *J. Radioanal. Chem.*, **21**, 247-257 (1974).
28. S. Spellerberg, P. Reimer, G. Blessing, H.H. Coenen, S.M. Qaim, "Production of ^{55}Co via proton induced reaction on highly enriched ^{58}Ni ," *Appl. Radiat. Isot.*, **49**, 1519-1522 (1998).
29. S. Tanaka, M. Furukawa, M. Chiba, "Nuclear reactions of nickel with protons up to 56 MeV," *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **34**, 2419-2426 (1972).
30. S. Kaufman, "Reaction of protons with Ni^{58} and Ni^{60} ," *Phys. Rev.*, **117**, 1532-1538 (1960).
31. P.C. Johnson, M.C. Lagunas-solar, M.J. Avila, "The indirect production of no-carrier-added ^{57}Co via the $^{59}\text{Co}(p,3n)^{57}\text{Ni} \rightarrow ^{57}\text{Co}$ reaction," *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **35**, 371-376 (1984).
32. R.D. Neirincky, "Cyclotron production of Ni-57 and Co-55 and synthesis of their blomycin complexes," *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **28**, 561-562, (1977).
33. A. Musil, G. Weidmann, "The separation of nickel and cobalt by extraction using TBP," *Mikrochim. Acta*, **3**, 476, (1959).
34. H. Irving, D.N. Edgington, "The extraction of some metal chloride into tri-n-butyl phosphate," *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **10**, 306-318, (1959).
35. D.F.C. Morris, C.F. Bell, "The extraction of cobalt (II) at tracer concentration from hydrochloric acid solution into tri-n-butyl phosphate," *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **10**, 337-339 (1959).
36. M.Y. Mirza, "The use of 1-phenyl-3-methyl-4-capryl-pyrazolone-5 in liquid-liquid extraction method for the carrier-free production of Mn^{54} , Co^{58} , Fe^{59} ," *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **18**, 849-856 (1967).
37. R.B. Firestone, "Table of isotope CD ROM edition," version **1**, (1996).