



جداسازی یون کلراید از محلول اورانیوم‌دار (لیچ لیکور)^(۱) و تأثیر آن بر استخراج و اندازه‌گیری اورانیوم

کاظم فاطمی*، منوچهر مددی

مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

چکیده: در این کار پژوهشی آنیونهای کلراید و سولفات در محلولهای اورانیوم‌داری که در محیط اسید سولفوریک با آب دریا تهیه شده بودند، به وسیله نیترات سرب تجارتي و اسید هیدروفلوئوریک ۴۰٪، با شیوه‌های مختلف رسوب‌گیری کاهش داده شدند. با کم‌شدن غلظت یون کلراید در این محلولها، از رقابت نسبی میان اورانیوم و عناصر دیگر در اشغال ظرفیت‌های حلال آلی کاسته شد. در نتیجه در محیط نیترا ته، مقدار اورانیوم بیشتری به حلال آلی تری‌بوتیل فسفات (TBP) نرمال منتقل شد که پس از بازگشت به محیط آبی با ایجاد کمپلکس فروسیانور اورانیل به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. در جریان این مطالعه، مزاحمت یون فلئوراید مدّ نظر قرار گرفت و در کار جداگانه تأثیر مقادیر مختلف NaF بر غلظتهای ثابت نیترات اورانیل خالص به وسیله این کمپلکس به روش رنگ‌سنجی بررسی شد. مقایسه نتایج نشان دادند که در روش رسوب‌گیری مرحله به مرحله یون کلراید، پدیده مزاحمتی از ناحیه یون فلئوراید در استخراج اورانیوم مشاهده نمی‌شود، اما در روش یک مرحله‌ای، اورانیوم با درصد کمتری نسبت به قبل از جداسازی کامل کلراید، به روش ICP^(۲) بدست آمد.

مشاهده آثار مثبت در بررسیهای تجزیه و تحلیلی، بستر مناسبی را برای بررسی تولید کیک زرد (با درجه خلوص بالا) فراهم آورد. این روش با ویژگیهای ساختاری گندهای نمکی معادن اورانیوم در بندرعباس مناسبیت دارد و استفاده از آن در اینگونه موارد توصیه می‌شود. در این کار، جداسازی موفقیت‌آمیز عنصر مولیبدنوم^(۳) از اورانیوم نیز مورد توجه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: کیک زرد، فروشویی (لیچینگ ستونی)، محلول اورانیوم‌دار (لیچ لیکور)، رنگ‌سنجی، گندهای نمکی، کلرزدائی

Separation of Chloride Ion from Leach Liquor and Its Effect on Uranium Analysis Followed by Solvent Extraction

K. Fatemi*, M. Madadi

Nuclear Research Center, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran - Iran

Abstract: In this research work the chloride and sulfate ions have been decreased in the leach liquors using Hydrofluoric acid 40% and commercial lead nitrate prepared by sea water in sulfuric Acid media. As the result of chloride ion deduction in leach liquor the relative competition of uranium with other elements to transfer to normal TBP structure as solvent extractant of

*- e-mail: fhashemi@seai.neda.net.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۱/۱/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۱/۴/۱۲



uranium will be also reduced.

It is investigated that in nitrated media of leach solution more uranium will transfer to TBP phase. Then reextraction and analysis were done by colorimetric method of developing uranylferrocyanide complex in 540nm as the fixed wavelength.

In this study the interfering effect of fluoride ion is also considered and evaluated by the above mentioned complex. Comparing the results of uranium analysis obtained by ICP technique show that the effect of fluoride as an interfering ion is more serious in single stage than multistage of chloride precipitation process.

Promising signs of analytical results have led us to be familiar with the high purity yellow cake production Know-How as well. This separation procedure is well organized and well suited to apply on the uranium resources called salted arches shaped. Besides, in this study the successful quantitative Separation of better than 99% of molybdenum from uranium is also considered.

Keywords: yellow cake, leaching, leach liquor, colorimetry, dechlorinating

۱- مقدمه

استحصال اورانیوم از سنگ معدن و پالایش آن به ترتیب با روشهای سنگ شویی^(۴)، استخراج به وسیله حلال و رزین‌های مبادله یونی صورت می‌گیرد. نوع سنگ معدن، امکانات قابل دسترسی، غلظت اورانیوم، عناصر مزاحم همراه، عوامل عمده‌ای هستند که روش استحصال و استخراج به آنها بستگی دارد. بررسیهای آزمایشگاهی نشان داده‌اند که آنیونهای مانند کلراید، سولفات، فلوئوراید، نیترات در محلول اورانیوم‌دار (لیچ لیکور)، رقابت نسبی میان عناصر محیط در انتقال به فاز آلی و اشغال ظرفیتهای حلال آلی به صورت ترکیباتشان به وجود می‌آورند [۱]. در عمل استخراج، بیشترین مزاحمت را آنیونی ایجاد می‌کند که با یون اورانیل کمپلکس تشکیل می‌دهد و با تشکیل این کمپلکس، از استخراج کامل اورانیوم جلوگیری می‌کند. حدود مزاحمت این آنیونها معمولاً به غلظت آنها بستگی دارند و نسبت به غلظت و شرایط عمل نیز متفاوتند. آنیونهای همچون کلراید، سولفات و فلوئوراید، استخراج اورانیوم را به وسیله TBP از ناخالصیهای محلول اورانیوم‌دار دشوار می‌سازند [۱]. در صورت وجود کلراید فراوان در محلول اورانیوم‌دار، تخلیص اورانیوم عملاً ناممکن می‌شود [۲]. برای تخلیص اورانیوم در چنین محلولی باید از روشهای ویژه استفاده کرد. مولیدن، آهن و ... عناصری هستند که در محیط حاوی کلراید

با درصد بالایی از محلول استخراج می‌شوند. غلظت یون کلراید نیز بر تعادل استخراج اورانیوم مؤثر است [۳]. در حضور آنیونهای مانند $\text{Cl}^- > \text{ClO}_4^- > \text{SO}_4^{2-}$ ، سیلیس موجود در محلول اورانیوم‌دار ایجاد امولسیون پایدار می‌کند که مرحله استخراج اورانیوم را با مشکل مواجه می‌سازد و مدت جداسدن فازها طولانی‌تر می‌شود.

در بررسیهای تجزیه و تحلیلی، از جمله استفاده از روشهای رنگ‌سنجی، چون آنیونهای مانند Cl^- ، SO_4^{2-} ، F^- به غلظت مشخص، با یون اورانیل به صورت کمپلکس درمی‌آیند و از شدت رنگ کمپلکس رنگی اورانیل کاسته می‌شود در نتیجه، اندازه‌گیری اورانیوم استخراج شده در مواردی تا ۹۵٪ با خطا مواجه می‌گردد. حضور یون فلوئوراید در نمونه حاوی اورانیوم، بیش از نسبت مولی ۳:۱ بر شدت رنگ کمپلکس فروسیانور اورانیل تأثیر منفی دارد. یون سولفات نیز به نسبت مولی ۱:۱۰۰ بر شدت رنگ این کمپلکس تأثیر دارد [۱].

ابتکار در الگوی ارائه شده در این کار تحقیقی، حذف کلراید مزاحم از محلول حاوی اورانیوم است که بر اصول و نظریه تشکیل رسوب نامحلول PbClF استوار بوده و از آن در روش اندازه‌گیری یون فلوئوراید استفاده می‌شود، در این روش، آنیونهای F^- و Cl^- در مجاورت کاتیون فراوان Pb^{+2} در حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر، رسوب PbClF را به طور کامل

اورانیوم موجود در محلول اورانیوم دار با قابلیت استحصال در مقیاس بزرگتر است. برای این منظور نمونه شماره ۴ با کیفیت مندرج در جدول ۲ که نمایانگر خواص چند نوع سنگ معدن می باشد، و در شرایط مختلف بدست آمده اند تهیه شد. پس از اینکه غلظت کلراید در آن (بر طبق فرایند شکل ۵) کاهش یافت و پارامترهای بهینه فرایند بدست آمد، برای تهیه کیک زرد مورد آزمایش قرار گرفت تا قابلیت تکرار روش در سطح وسیعتر ارزیابی شود.

مراحل کار در این بررسی مشتمل بر: رسوب گیری کلراید و سولفات، استخراج و اندازه گیری اورانیوم، تعیین دامنه تأثیر آنیون F^- بر یون اورانیل است. قبل از انجام هر آزمایش، تجزیه و تحلیل دقیقی از ترکیب این محلولهای اورانیوم دار بویژه به لحاظ مقدار سولفات (به روش گرانی سنجی^(۵)) کلراید (به روش عیارسنجی^(۶)) با نیترا ت نقره)، اورانیوم با دستگاههای FIA^(۷) و ICP انجام گرفت.

۲-۱- رسوب گیری کلراید به روش یک مرحله ای

به ۲۵ میلی لیتر از محلول نمونه شماره ۱ مقادیر مختلف نیترا ت سرب و اسید هیدروفلوئوریک اضافه شد. پس از ته نشین شدن رسوبها، از محلول روی آنها نمونه هایی برای تجزیه و تحلیل اورانیوم به وسیله ICP، همچنین آنالیز یونهای کلراید و سولفات برداشته شد. نتیجه این بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

تشکیل می دهند و ترکیب $PbCl_2$ به صورت محلول باقی می ماند [۵]. اما در این پژوهش، عملیات رسوب گیری در محیط اسیدی محلول اورانیوم دار صورت گرفته و محلول رقیق نمی شود. در نتیجه بیشترین مقدار کلراید به صورت $PbCl_2$ همراه تمام سولفات رسوب می کند. کلراید باقی مانده در محلول، نتیجه انحلال این رسوب در محیط دارای pH اسیدی است که مرحله دوم رسوب گیری را ایجاب می نماید. نتایج آزمایشهای اولیه در این تحقیق ما را به اصول یکی از شیوه های بررسی امکان دستیابی به قابلیت حصول اورانیوم از گنبد های نمکی گچین بندرعباس، بدون نیاز به آب شیرین در سطح تحقیقات آزمایشگاهی هدایت کرد. به احتمال زیاد پی گیری این تحقیق با مقیاسی بزرگتر در سطح صنعت نیز قابل بررسی است.

۲- مواد و روشها

برای بررسی تحلیلی، سه نمونه محلول اورانیوم دار با کیفیت مندرج در جدول ۱ تهیه شد که حاصل شستشوی یک نوع سنگ معدن اورانیوم با روش فروشویی در محیط اسید سولفوریک در شرایط متفاوت بود. عمل رسوب گیری کلراید در نمونه ۱ به روش یک مرحله ای و در نمونه های ۲ و ۳ به روش دو مرحله ای انجام گرفت و پارامترهای بهینه برای هر نمونه، متناسب با غلظت یونهای سولفات و کلراید در محلول بدست آمد. آنچه که بر اهمیت این بررسی می افزاید، دستیابی به

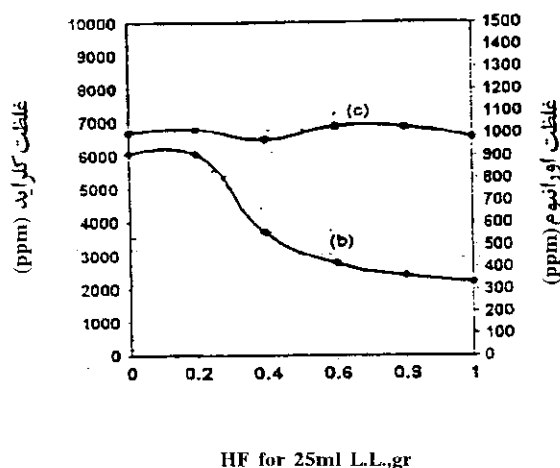
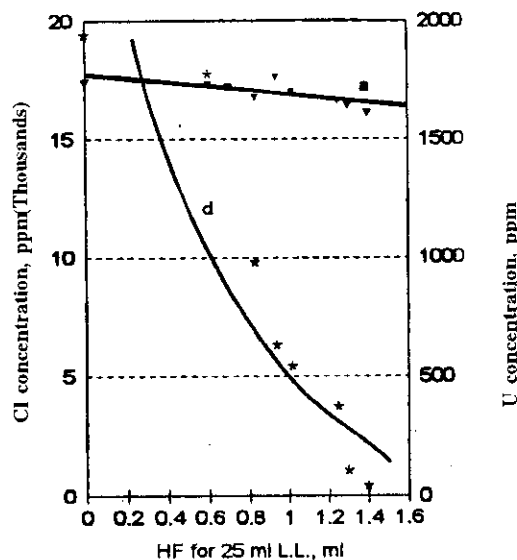
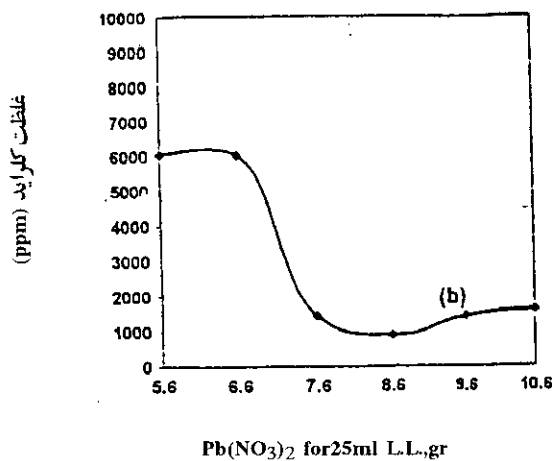
جدول ۱- کیفیت محلولهای اورانیوم دار حاصل از یک نوع سنگ معدن در شرایط متفاوت به روش فروشویی

غلظت اورانیوم (ppm)	غلظت سولفات (gr/l)	غلظت کلراید (ppm)	محلولهای مورد آزمایش
۱۷۴۰ (ICP)	۴۰/۲	۱۹۳۹۱	نمونه شماره ۱* نمونه شماره ۲*
۱۰۵۰ (FIA)	۳۵/۹۲	۱۹۳۲۸	نمونه شماره ۳

* نمونه های ۱ و ۲ دارای کیفیت یکسان هستند

جدول ۲- کیفیت محلول اورانیوم دار از چند نوع سنگ معدن در شرایط متفاوت به روش فروشویی

محلول مورد آزمایش	کلراید (ppm)	سولفات (ppm)	U (ppm)	Mo (ppm)	Al (ppm)
نمونه شماره ۴	۱۱۱۸۲	۳۵/۶	۲۲۷۰ (FIA)	۸۹۵ (ICP)	۸۹۰ (ICP)



شکل ۱- تغییرات غلظت کلراید (d) و اورانیوم لیج لیکور (a) متأثر از مقادیر مختلف HF ۲۰٪ در سوب‌گیری یک مرحله‌ای

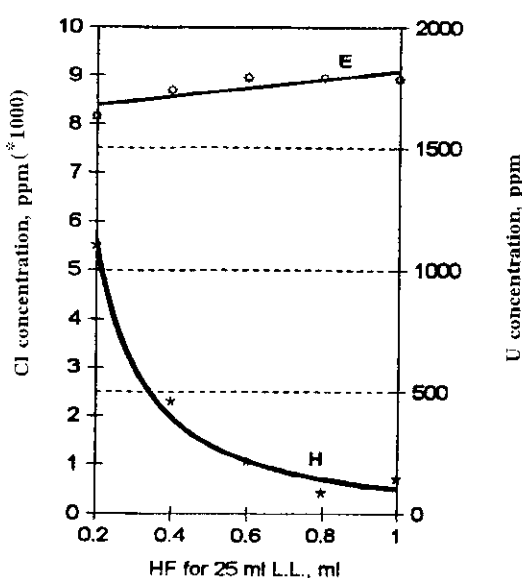
۲-۲- رسوب‌گیری کلراید به روش دو مرحله‌ای
الف) تعیین مقدار نیترات سرب

به ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه‌های شماره ۲ و ۳ مقادیر بیش از حد لازم نیترات سرب تجارتمی اضافه کرده و مخلوط را تا انحلال کامل به هم زده‌ایم. پس از ته‌نشین شدن رسوبها، از محلول روی آنها نمونه‌هایی برای تجزیه و تحلیل غلظت کلراید و اورانیوم و سولفات برداشته‌ایم. با توجه به نمودار کاهش کلراید در شکل ۲، نقطه‌ای از نمودار که در آن غلظت کلراید کمترین مقدار را داشت پارامتر بهینه انتخاب شد، سپس برای ادامه کار ۳۰۰ میلی‌لیتر از این محلول تهیه گردید.

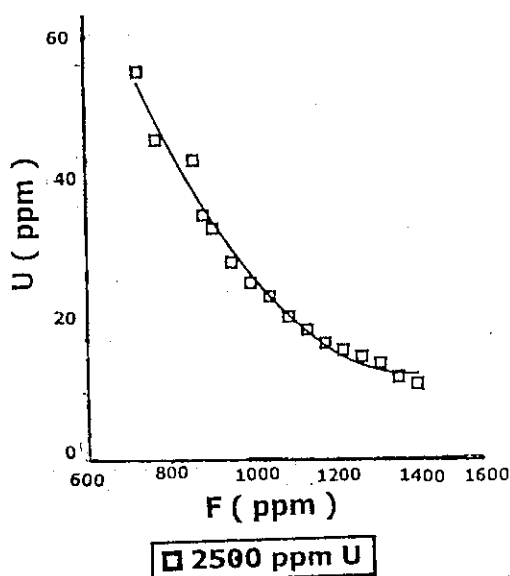
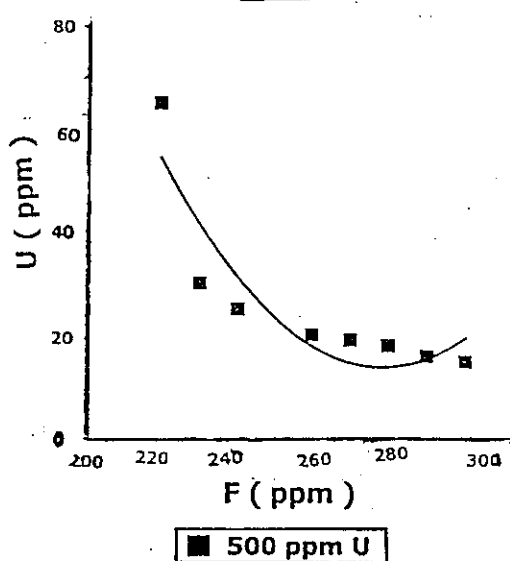
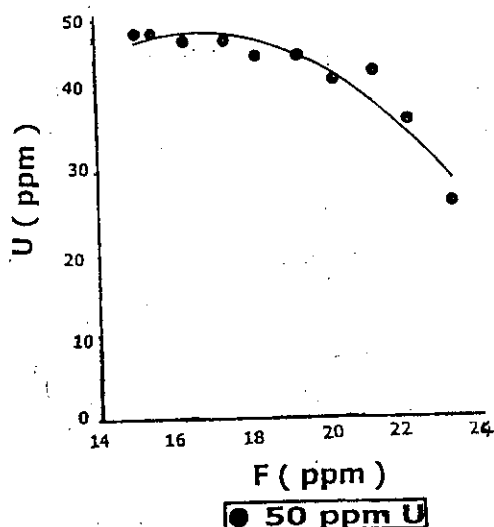
شکل ۲- تغییرات غلظت کلراید (b) و اورانیوم لیج لیکور (c) متأثر از مقادیر مختلف HF ۲۰٪ و نیترات اضافی در سوب‌گیری دو مرحله‌ای

ب) تعیین مقدار اسید هیدروفلوئوریک (دومین مرحله رسوب‌گیری)

برای این منظور، به ۲۵ میلی‌لیتر محلول تهیه شده مقادیر مختلف اسید هیدروفلوئوریک ۴۰٪ اضافه شد. پس از ته‌نشین شدن کامل رسوبها، نمونه‌هایی از محلول روی آنها برای تجزیه و تحلیل اورانیوم و کلراید و عناصر دیگر برداشته شد. یکی از نمونه‌ها که حداقل غلظت کلراید را نشان می‌داد (شکل‌های ۲ و ۳)، پارامتر بهینه انتخاب شد و سرب موجود در آن با اضافه کردن اسید سولفوریک به صورت $PbSO_4$ رسوب داده شد. محلول شفاف‌ی که در این مرحله بدست آمد، برای عملیات رسوب‌گیری و استخراج اورانیوم انتخاب شد.



شکل ۳- تغییرات غلظت اورانیوم استخراج شده به وسیله TBP، نمودار (E) براساس غلظت کلراید محلول اورانیوم دار، نمودار (H) در رسوب‌گیری دو مرحله‌ای



شکل ۴- ارزیابی تغییرات غلظت اورانیوم متأثر از غلظت فلونوراید به وسیله کمپلکس فروسیانور اورانیل به روش رنگ سنجی

۲-۳- روش استخراج اورانیوم با تسری بوتیل فسفات (TBP)

۲۰ میلی لیتر از محلول نمونه شماره ۲ (حاصل از مرحله دوم رسوب گیری) به یک قیف جدا کننده (دکانتور) منتقل و ۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۱۲N به منظور تثبیت محیط نیترا نه (۳-۵ مولار) به آن افزوده شد. سپس ۲۵ میلی لیتر مخلوط ۲۰٪ TBP/kerosene روی آن ریخته و مدت یک دقیقه به آرامی تکان داده شد. این عمل دو بار انجام گرفت، سپس مجموع فازهای آلی به یک دکانتور ۱۰۰ میلی لیتری منتقل و طی دو مرحله و هر مرحله با ۱۰۰cc آب مقطر عمل برون کشی عناصر انجام گرفت زمان هر مرحله برون کشی دو دقیقه بود. pH محلول حاصل در ۳/۴ تنظیم گردید، سپس در یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری با آب مقطر به حجم مطلوب رسانده شد.

۲-۴- اندازه گیری اورانیوم به روش رنگ سنجی

این اندازه گیری با دستگاه PYE UNICAM 15 با فیلتر سبز رنگ ۵۴۰nm انجام گرفت [۶]: به ۱۰ میلی لیتر محلول آبی اورانیوم خالص، حاصل مرحله استخراج با TBP (۳/۴-۲ pH)، ۲ میلی لیتر از محلول ۰/۰۲ مولار فروسیانور پتاسیوم اضافه شد؛ ضمن تنظیم دستگاه اندازه گیری با استانداردهای ۵۰ و ۱۰۰ ppm اورانیوم، پس از ۱۰ دقیقه غلظت اورانیوم نمونه با توجه به فاکتور رقیق سازی تعیین گردید. نتایج این اندازه گیری با نمودارهای شکل ۳ نشان داده شده اند.

۲-۵- تعیین دامنه تأثیر یون فلونوراید بر یون اورانیل

مقادیر معینی از NaF خالص را در سه دسته بندی مختلف در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر حل کرده و به ۵ میلی لیتر از هر یک از این محلولهای مختلف مقدار ۵ میلی لیتر از محلولهای استاندارد اورانیوم ۲۵۰۰ و ۵۰۰ و ۵۰ ppm بسته به طریقه دسته بندی آنها افزوده ایم. سپس به هر یک از آنها ۲ میلی لیتر از محلول ۰/۰۲ مولار فروسیانور پتاسیوم نیز افزوده و غلظت اورانیوم را سنجیده ایم (شکل ۴).



۲-۶- ارزیابی فرایند رسوب‌گیری و تأثیر آن بر غلظت اورانیوم

اورانیوم

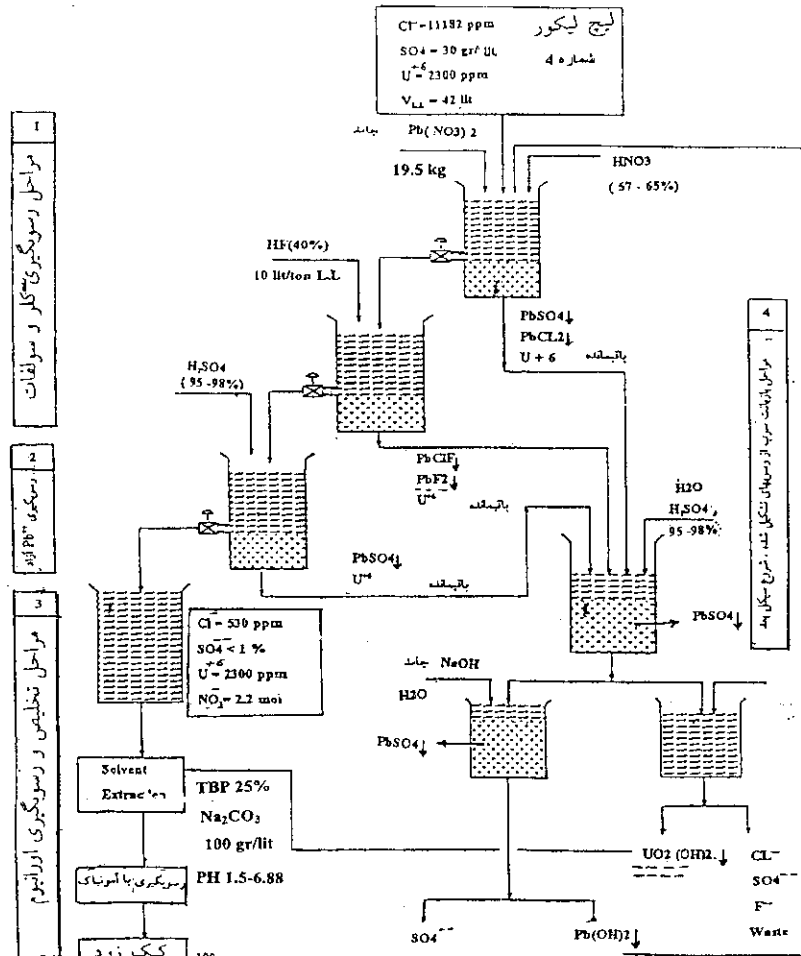
در مراحل رسوب‌گیری، علاوه بر ضریب حلالیت رسوبها، غلظت آنیونها و کاتیونهای محلول، عمدتاً Pb^{+2} از عوامل مؤثر در تشکیل رسوبها هستند. با رسوب دادن آنیونهای کلراید و سولفات، اثرهای خوردگی ناشی از وجود آنها نیز کاهش می‌یابد. در این روش، حدود ۷۰٪ یون کلراید به وسیله $PbCl_2$ و تمام یون سولفات در محیط اسیدی محلول اورانیوم دار جدا می‌شوند. باقی مانده کلراید محلول، ناشی از طبیعت انحلال این رسوب است، که اسیدیته محیط در انحلال بیشتر آن مؤثر و غیر قابل اجتناب است. چنانچه محلول اورانیوم دار اولیه به مقدار کافی رقیق شود، رسوب $PbCl_2$ به صورت محلول باقی می‌ماند. در این صورت کلراید موجود تنها با یک مرحله رسوب‌گیری، به وسیله کمپلکس $PbClF$ خارج می‌شود. اما این امر هم مصرف اسید هیدروفلوئوریک (معادل کلراید) را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد و هم نیازمند تأمین منابع آب کافی با کیفیت مطلوب است. از طرف دیگر رسوب‌گیری به روش یک مرحله‌ای (شکل ۱) نیز نشان می‌دهد که مصرف اسید هیدروفلوئوریک در مقایسه با رسوب‌گیری دومرحله‌ای اندکی بیشتر است. و این موضوع ممکن است بروز برخی از ناهنجاریهای احتمالی مراحل استخراج و اندازه‌گیری اورانیوم را در پی داشته باشد. نتایج تجزیه و تحلیل اورانیوم در این محلول به وسیله ICP تا حدودی مؤید این پیامد است. همانگونه که در شکل ۱ پیداست نمودار اورانیوم توأم با افزایش عوامل کاهنده، مانند Hf و Pb^{+2} کاهش جزئی نشان می‌دهد. مطالعه تغییرات غلظت اورانیوم به وسیله FIA نشان داد که غلظت اورانیوم در مدت چرخه رسوب‌گیری در محلولهای اورانیوم دار، همواره ثابت بوده، و تفاوت قابل ملاحظه‌ای پیش از جداسازی کلراید و پس از آن مشاهده نشده است. عدم وجود تغییرات در روند این نمودارها بیانگر این است که رسوبهای تشکیل شده تمایل به جذب اورانیوم ندارند. نتایج این بررسی نشان داد که هیچگونه عوامل مزاحمی در اندازه‌گیری غلظت اورانیوم به وسیله FIA در کاربرد این دو روش، به ویژه در اثر وجود F^- پدیدار نشده است و اندازه‌گیری غلظت اورانیوم در محلول با

این روشها نیاز به جداسازی یون کلراید ندارد.

در عمل تجزیه و تحلیل اورانیوم به روش رنگ‌سنجی، تشکیل کمپلکس فروسیانور اورانیل توصیه شده است. pH مناسب در تشکیل این کمپلکس و تکمیل آن حائز اهمیت است. غلظت این کمپلکس محدوده خطی مشخصی دارد که به وسیله کارهای تجربی و متناسب با طول موجی که جذب کمپلکس می‌شود بدست خواهد آمد. با این روش، محدوده خطی نمودار کمپلکس در بازه ۱۰-۱۳ ppm بدست آمد. نتیجه این پژوهش بر روی نمونه شماره ۲، پس از انجام فرایند رسوب‌گیری و استخراج اورانیوم با تری‌بوتیل فسفات بدست آمد و نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد که با کاهش تدریجی غلظت کلراید، غلظت اورانیوم استخراج شده افزایش یافته و با روشهای دیگر آنالیز اورانیوم قابل مقایسه است. بدنبال نتیجه موفق این تجربه، زمینه اجرای کار در سطحی وسیعتر، روی ۱۷ و ۲۵ لیتر محلول نمونه شماره ۴ براساس فرایند نشان داده شده در شکل ۵ انجام گرفت و رسوب ADU^(۸) تهیه شد. سپس این رسوب با آب مقطر شسته و خشک شد و با روشهای FIA، ICP، AAS براساس مشخصات جدول ۳ برای بررسی میزان خلوص و ناخالصی‌های همراه آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

در رسوب‌گیری کلراید به شیوه دومرحله‌ای، مقدار مواد مصرفی لازم قابل کنترل بوده و با توجه به اینکه هر محلول اورانیوم دار ترکیب خاصی دارد مقادیر بهینه این مواد از روی نمودار بدست می‌آید. در این کار پژوهشی نشان داده شد که با کاهش یافتن غلظت کلراید در محلول اورانیوم دار، درصد اورانیوم قابل استخراج افزون‌تر می‌شود و دستیابی به محصول نهایی با خلوص مناسب امکان بیشتری می‌یابد. نتایج مندرج در جدول ۳ نشان می‌دهد که بالاترین درصد ناخالصی در این محصول نهایی متعلق به سدیم است که در مرحله شستشوی رسوب باقی مانده است. نکته قابل توجه در این بررسی این است که، مولیدن موجود در محلول اورانیوم بیش از ۹۹٪ از اورانیوم جدا شده است. بنابراین، روش بکار رفته، قابلیت جداسازی مولیدن از اورانیوم را دارد، و به عنوان یک روش



شکل ۵- فرایند حذف کلراید، بازیافت سرب مصرف شده، تهیه کیک زرد

جدول ۳ مشخصات محصول نهایی اورانیوم حاصل از تغلیظ اورانیوم موجود در کانیهای اورانیوم حاوی کلراید با استفاده از دستگاههای AAS, ICP, FIA

مقدار درصد ناخالصیهای دیگر در ترکیبات اورانیوم حاصل										درصد اورانیوم		نوع محصول تغلیظ شده (نزدیکترین فرمول شیمیایی)
Mo	Ca	Pb	K	Na	Mn	Al	Fe	SO	Cl	عملی	نظری	
<0/19	<0/19	<0/19	<0/19	3/85	<0/19	<0/19	<0/19	<1	None	78/4	76/2	(NH ₄) ₂ U ₂ O ₇ U ₄ O ₈
<0/19	<0/19	<0/19	<0/19	3/85	<0/19	<0/19	<0/19	<1	None	79/2	84/8	(NH ₄) ₂ U ₂ O ₇ U ₄ O ₈

در فرایند رسوبگیری به دلیل مصرف اسید هیدروفلوئوریک، ضرورت داشت تا حضور آنیون F⁻ در محلول نهایی جداگانه بررسی شود و دامنه تأثیر این آنیون بر غلظتهای ثابت یون اورانیل خالص تعیین گردد. نتایج این بررسی، که در شکل ۴ نشان داده شده مؤید آن است که

کارآمد، با سازوکار قابل تکرار در سطح بررسی های تجزیه و تحلیلی، در حد ۲۵ میلی لیتر تا ۲۵ لیتر، نتایج مطلوبی در بردارد. در این روش، سرب مصرف شده بازیافت می شود به طوری که در چرخه بعدی رسوبگیری، مورد استفاده قرار می گیرد و این خود بر اهمیت روش می افزاید.



اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. چنانچه دستگاههای پیشرفته آنالیز در اختیار نباشند، این روش با دستگاه ساده رنگ‌سنجی نتایج مطلوب و قابل تکرار ارائه می‌دهد. در روش رسوب‌گیری به شیوه مرحله به مرحله، از مصرف اسید هیدروفلوئوریک کاسته می‌شود، و مزاحمت‌های زمینه‌ای، برای مراحل استخراج و آنالیز اورانیوم به حداقل می‌رسد.

پی‌نوشت‌ها:

- ۱- leach liquor
- ۲- inductively coupled plasma
- ۳- molybdenum
- ۴- leaching
- ۵- gravimetry
- ۶- titration
- ۷- flow injection analyzer
- ۸- amanium diuranate $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$

References

1. J. Korkish, F. Hecht, Hand Buch der Analytischen Chemie, "Quantitative bestimmungs und trennungs methoden for uranium, dritterteil," (1972).
۲. ۱. قریب، "امکان‌سنجی و بررسی‌های فنی، اقتصادی هپ لیچینگ بندرعباس"، (آذرماه ۱۳۷۰).
3. G.M. Ritcey and A. W. Ashbrook, "Solvent Extraction, Principles and Applications," metallurgy part (II) (1979).
4. K.A. Allen, W.J. MC Dowell, "Emulsion stabilization by silicic Acid," August (1959).
5. W.F. Hillebrand, G.E.F. Lundeli, "Applied inorganic analysis," Second edition pp: 744-746, August (1955).
۶. م. مددی، "گزارش فنی روش‌های آنالیز اورانیوم و عناصر همراه در فرایند تولید کیک زرد از سنگ معدن"، گروه آنالیز واحد سوخت سازمان انرژی اتمی ایران، (بهمن ماه ۱۳۶۴).

افزایش یون فلئوراید بر اندازه‌گیری یون اورانیل تاثیر منفی دارد: شکل ۴ نشان می‌دهد که برای آنالیز غلظت ۵۰ ppm اورانیوم حضور مقدار ۱۴ ppm یون فلئوراید تاثیر منفی نشان نداده است. اما افزایش یون فلئوراید اضافه بر ۱۴ ppm باعث می‌شود تا ۵۰٪ اورانیوم محیط عمل در تشکیل کمپلکس فروسیانور اورانیل شرکت نکند. در مورد غلظت‌های زیاد اورانیوم، این تاثیر با فعالیت بیشتر قابل مشاهده است و همواره با افزایش مقدار یون فلئوراید فعالیت این یون، با خاصیت الکترون‌گاتیویته قوی افزایش می‌یابد، در نتیجه شیب کمتری در منحنی دیده می‌شود و نتایج حاصل از کاربرد روش‌های ICP و FIA در این محلول اورانیوم‌دار و محلول نمونه شماره ۴، مؤید آن است که به محلول‌های نهایی اورانیوم یون‌های فلئوراید قابل توجهی وارد نشده‌اند. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که غلظت یون فلئوراید در این محلول‌ها کمتر از ۱۴ ppm است. زیرا چنانچه غلظت یون فلئوراید در این محلول بیشتر از این مقدار می‌شد، و یا در محلول نهایی حاصل از نمونه شماره ۴ نیز قابل توجه بود، در این صورت محیط واکنش‌های اورانیوم در عملیات بعد تحت تاثیر مزاحمت‌های زمینه‌ای به شکل‌های متفاوت قرار می‌گرفت. مثلاً، کیفیت محصول بدست آمده از محلول نمونه شماره ۴ در جدول ۳، خلوص پایین تری را نشان می‌داد و در محلول نهایی نمونه شماره ۲ نیز تشکیل کمپلکس فروسیانور اورانیل و توسعه آن به علت فعالیت این آنیون و کاتیون‌های مزاحم همراهش، تحت تاثیر قرار می‌گرفت. در نتیجه نمودار استخراج اورانیوم در شکل ۳، طبق سازوکار واکنش‌ها در شکل ۴ کاهش نشان می‌داد. بنابراین، به دلایل عرضه شده و نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته، نه تنها چنین مزاحمتی در اثر کاربرد HF بر پایه مقایسه‌ها، تأیید نشده است بلکه به حذف کلراید و بهبود عمل استخراج اورانیوم نیز کمک شده است.

بنابراین، روش ارائه شده در رفع مزاحمت‌ها و ایجاد شرایط انتخابی برای استخراج اورانیوم با تری‌بوتیل فسفات توان قابل توجهی دارد. با این روش استحصال اورانیوم از سنگ معدن مناطق خاص، در سطح نتایج آزمایشگاهی امکان‌پذیر است و با استفاده از آب دریا در عملیات فروشویی سنگ معدن،