



بررسی پارامترهای مؤثر در "فروشویی ستونی" و امکان استفاده از آنها در روش "فروشویی تپه‌ای کانیهای اورانیوم ساغند"

مهرافروز مدنژاد، علی حسین علاقبنده، ناصر نوذری

مرکز کانه آرای و سوخت، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران- ایران

چکیده: روش فروشویی تپه‌ای^(۱) سنگ معدن اورانیوم دار به سبب داشتن هزینه‌های کمتر و مزایای دیگر مورد توجه تعدادی از کشورهای جهان قرار گرفته و در بسیاری از موارد جایگزین روش فروشویی متداول شده است. برای طراحی و برپایی تپه‌هایی از سنگ معدن و اجرای فرایند با شرایط مطلوب، پارامترهای مؤثری از جمله نوع و غلظت محلول شونده، قابلیت نفوذ و دبی محلول، مدت عملیات فروشویی، اندازه سنگ معدن، نسبت محلول به جامد (L/S) در فرایند مورد نیازند. این پارامترها ابتدا در مقیاس کوچکتر، طی آزمایشهایی با عنوان فروشویی ستونی بدست آمده‌اند. در این طرح، سه نوع نمونه (از هر یک دو ستون) برای انجام آزمایش فروشویی ستونی در نظر گرفته شده است:

۱- مخلوطی از توده معدنی اصلی در کانسار ۲

۲- نمونه‌های معرف از کانسارهای ۱ و ۲ در طی پیشرفت عملیات اکتشافی

۳- نمونه سطحی کانسار ۱ که به روش "تابش سنجی دسته‌بندی"^(۲) با عبارهای آستانه‌ای ۱۰۰ و ۳۰۰ ppm تغلیظ شده بود.

در این آزمایشها پارامترهای زمان، مقدار اسید (Kg/t) L/S (l/t)، مقدار اکسیدان (Kg/t) PH, EMF، بررسی شدند. نتیجه آزمایشها قابلیت نفوذ خوب همه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مقایسه سه نمونه متفاوت از کانسار ۲ مشخص نمود که اورانیوم هر سه نمونه به سهولت، و با شرایط مطلوب، کاملاً قابل بازیابی است، به طوری که بازده استحصال اورانیوم در مدت کمتر از سه هفته، بیش از ۹۰٪ و مصرف اسید برای هر تن نمونه ۵۵ کیلوگرم می‌باشد (در مقایسه با مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اسید مورد نیاز در روش متداول) و در صورت ادامه عملیات، به ۹۸٪ هم می‌رسد. نمونه معرف کانسار ۱ نیز به آسانی فروشویی شده است اما نتایج حاصل مصرف مقدار بیشتری اسید (مشابه آزمایشهای فروشویی متداول) نشان داده‌اند. بازدهی استحصال اورانیوم از نمونه سطحی کانسار ۱ که با روش تابش سنجی تغلیظ شده بود، بیشتر از ۸۰٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: فروشویی تپه‌ای، فروشویی ستونی، تابش سنجی دسته‌بندی

Application of Laboratory Column Leaching tests in Heap Leaching Technique

M. Madnejad, A. Alaghband*, N. Nozari

Fuel and ore Processing Center, AEOI, P.O.Box:14155-13339, Tehran - Iran

Abstract: The most important aspects of heap leaching is its potential to produce uranium at lower costs, if it is applied to a suitable ore deposit. Prior to set up a heap at industrial scale, it is necessary to collect data on leaching behavior of the ore by laboratory column leaching tests. This paper discusses the research work performed to determine permeability of the ore, the consumption of chemicals, the composition of leach solution and influence of effective parameters on uranium recovery. A laboratory system was developed for simultaneous column leaching test on 6 column with 6 different samples coming from different points of ore body at the same time. Tests were carried out on 3 samples (2 column of each),

1- Main ore body

2- Representative sample from ores

3- Radiometric concentrate of surface sample

Dependence of the recovery with the treatment condition, time (d), L/S (l/t), acid (kg/t) oxidant (kg/t), PH, EMF were studied. As a result the recovery of U was more than 90% for a period of 3 weeks and (98% in 4 weeks) while the consumption of acid was 55kg/t.

Keywords: heap leaching, column leaching, radiometric sorting

* email: A11370@Hotmail.com

۱- مقدمه

مراحل پرهزینه، از جمله حمل و نقل، خرد کردن و جداسازی جامد و مایع، همچنین سهولت عمل، کاهش پرسنل و انرژی، از نظر اقتصادی مورد توجه بوده و کاربرد آن سریعاً روبه افزایش است. این روش برای استخراج ذخایر کم عیار یا ذخیره اندک ولی پرعیار در مناطق دور افتاده، یا کم عیار اطراف توده معدنی اصلی قابل استفاده است، به شرط اینکه نوع سنگ معدن به لحاظ نفوذپذیری مناسب این روش باشد [۵].

در اجرای این روش، سرمایه گذاری خیلی کمتر از روشهای دیگر، و مدت فراهم آوردن دستگاههای مورد نیاز فرایند نیز کوتاهتر است. در نتیجه، دستیابی به محصول و برگشت سرمایه سریعتر انجام می‌گیرد. در مرحله محاسبه، کاستن هزینه‌های اپراتوری تا ۳۰٪، مراحل خرد کردن و انتقال تا ۶۰٪ و مصرف آب و مواد شیمیایی تا ۳۰٪ پیش‌بینی می‌شود. همچنین به دلیل انجام گرفتن چرخه بسته، حجم آب مصرفی و پسمان آب نیز تقلیل می‌یابد که به لحاظ اقتصادی و حفاظت محیط زیست دارای اهمیت ویژه است.

۲-۱- فروشوی ستونی

قبل از طراحی صنعتی یک تپه، برای بررسی امکان کاربرد روش فروشوی در کانسار مورد نظر و تعیین برخی از پارامترهای مورد نیاز طراحی، ایجاب می‌کند که پس از مطالعات دقیق کانی‌شناختی، یک رشته آزمایشهای مقدماتی "شویندگی تراوشی"^(۳) با عنوان "فروشوی ستونی" انجام گیرد.

دلایل انجام آزمایشهای فروشوی ستونی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- تعیین قابلیت نفوذ و امکانات شستشوی سنگ معدن به وسیله محلول مورد نظر
- تعیین اثر دانه‌بندی و اندازه سنگ معدن بر دبی محلول شوینده و مدت شویندگی
- تعیین شرایط بهینه فروشوی، از جمله: نوع و غلظت محلول شوینده، چگونگی پخش محلول، سرعت عمل
- شویندگی، تعداد چرخه‌ها، شرایط زمانی، اندازه سنگ معدن، نسبت محلول به جامد ...

شرایط اولیه آزمایشهای فروشوی ستونی بر مبنای شرایط بهینه

مطالعات اکتشافی چند ساله بر روی مناطق مختلف کشور نشان داده‌اند که منطقه ساغند، در ناحیه ایران مرکزی، ذخائر اورانیوم بیشتری دارد و تا به حال هشت کانسار در این منطقه شناسایی شده است. نتیجه عملیات اکتشافی و حفاریها مشخص کرده است که ذخیره قابل توجه و امکان بهره‌برداری از آن تنها در کانسارهای ۱ و ۲ وجود دارد. این دو کانسار به لحاظ نوع کانیها مشابه‌اند، اما نسبت اجزای متشکله کانیهای آنها متفاوت است.

در طی سالهای گذشته مطالعاتی به منظور بررسی امکانات و ارائه فرایند مناسب برای استخراج اورانیوم از این کانسارها انجام گرفت که منجر به تعیین روش فروشوی متداول در کانسارهای ۱ و ۲ ساغند شده بود [۱].

بررسی بیشتر به منظور کاهش هزینه‌ها ایجاب می‌کند که این طرح با هدف بررسی امکان استفاده از روش فروشوی تپه‌ای در ساغند مطرح و آزمایشهایی در این زمینه انجام شود. در طی اجرای این طرح، برای دسترسی به پارامترهای مناسب، در مدتی کوتاه، آزمونهای آزمایشگاهی با ستونهایی به ظرفیت ۲ کیلوگرم روی نمونه‌هایی از کانسارهای ۱ و ۲ ساغند انجام گرفت. شرح این آزمونها، نتایج بدست آمده و نمودارها، گویای نتیجه مثبت آزمایشها و دستیابی به بازده استحصال اورانیوم به مقدار بیش از ۹۰٪ است و حال آنکه مواد شیمیایی مصرف شده در این روش کمتر از نصف مواد مورد نیاز در روش فروشوی متداول است، علاوه بر این، برخی از مراحل پرهزینه و مشکلات فنی، از جمله مرحله جداسازی، نیز حذف می‌شود. اما تعیین دقیق پارامترهای مورد نیاز برای طراحی تپه صنعتی، انجام آزمایشهای نیمه‌صنعتی را ایجاب می‌کند.

چنانچه احداث کارخانه‌ای با هدف انتقال فناوری مطرح شود، می‌توان روش فروشوی تپه‌ای را در مورد کانسنگ‌های سطحی کم عیار و پسمان‌های تابش‌سنجی کارخانه مورد استفاده قرار داد.

۲- فروشوی

روش فروشوی با بستر ثابت (فروشوی تپه‌ای) به علت حذف

RS2A [۴] نمونه برداری شده بود:
(Representative Sample of Saghand 2A).

۲- نمونه جدید معرف کانسار ۲ که پس از انجام حفاریهای اکتشافی با

RS2B توجه به نتایج چاه پیمایی ژئوفیزیکی، ... تهیه شد:

۳- نمونه انتخابی از توده معدنی اصلی در کانسار ۲ برای شناخت

SS2 رفتار توده معدنی:
(Selective Sample of Saghand 2)

RS1A ۴- نمونه معرف نسبی کانسار ۱:

۵- نمونه سطحی کانسار ۱ تغلیظ شده به روش تابش سنجی با

S100S1 عیار حداقل ۱۰۰ ppm:

۶- نمونه سطحی کانسار ۱ تغلیظ شده به روش "تابش سنجی

S300S1 دسته بندی "با عیار حداقل ۳۰۰ ppm:

۲-۴- دستگاه طراحی شده

دستگاه بکار رفته در این آزمایشها با رعایت امکانات تأمین

نکات مورد نظر طراحی و ساخته شده است. این دستگاه متشکل

از ۶ ستون پلکسی گلاس هر یک به قطر ۸ سانتیمتر و به ارتفاع

جدول ۲- مواد معدنی اصلی کانسار ساغند (تابش سنجی شماره ۲)

مواد معدنی	مقدار درصد
Uraninite	۰/۰۵
Uranothorianite	اندک
Ferrourothorite	"
Cleveite	"
Uranothorite	"
Magnetite (Coulsonite)	۶۲
Hematite	۱/۵
Pyrite	۵/۱
Chalcopyrite	اندک
Magnetic pyrite	۰/۴
Nichel pyrite	اندک
Ilmenite	۰/۲
Siderite	۰/۰۶
Serpentine, Talc	۲۷
Calcite, Dolomite	۱
Apatite	۰/۲۶
Chlorite	۰/۷
Olivine	۱/۷

روش متداول تعیین می گردد. پس از تکمیل عملیات
فروشویی سنگ معدن در ستون و بررسی نتایج حاصل از
تغییر دادن پارامترها، پسمان جامد حاصل خشک و پودر
می گردد و بازده بازیافت آن از راه تجزیه و تحلیل حساب
می شود. برای تعیین درصد پراکندگی اورانیوم و نحوه توزیع
آن در پسمان جامد، تجزیه و تحلیل سرنندی انجام می گیرد و
نتایج حاصل با ماده معدنی اولیه مقایسه می شود.

۲-۲- کانسار اورانیوم ساغند

منطقه ساغند در استان یزد واقع شده و طی عملیات اکتشافی
مقدماتی و تفصیلی گسترده، کانسارهای مختلفی در آن شناسایی
شده است. در طی مطالعات و بررسیهای متعدد مشخص گردیده
است که کانسارهای ۱ و ۲ ذخیره قابل بهره برداری این منطقه را
تشکیل می دهند. در جریان مطالعات تفصیلی، بررسیهای زیادی
انجام گرفته و اطلاعات جامعی درباره کانی شناسی، عیار متوسط
کانی ها، مقدار ذخیره آنها و روشهای معدنکاری مناسب این
کانسارها ارائه گردیده است. ترکیبهای شیمیایی و کانیهای اصلی
کانسار ساغند در جدولهای ۱ و ۲ مندرج است [۲ و ۳].

۳-۲- نمونه های بکار رفته

۱- نمونه معرف نسبی کانسار ۲، که در مرحله اکتشاف تفصیلی

جدول ۱- درصد ترکیبهای شیمیایی ماده معدنی اورانیوم کانسار ساغند

ترکیب	دامنه مقدار درصد	درصد متوسط
Si ₂ O ₇	۱۷/۴۵ - ۵/۶۱	۱۱/۵۳
Al ₂ O ₃	۲/۳۸ - ۰/۸	۱/۵۹
MgO	۱۶/۸۹ - ۴/۰۴	۹/۵۶
FeO	۵۳/۰۰ - ۴۰/۲۲	۴۸/۰۲
Fe ₂ O ₃	۲۶/۰۰ - ۱۳/۴۷	۲۱/۱۴
Fe	۲۶/۶۸	۲۱/۶۸
V	۱/۲۵ - ۰/۲۶	
Co	۰/۰۶ - ۰/۰۱	
Th		۱۱۳۷/۰۰ ppm



ثابت فروشویی شدند. به این ترتیب همگونی نتایج هر دو ستون از یک نمونه، ضمن تأیید آزمایشها، امکان بررسی اثر تغییر پارامترهای مقدار اسید و اکسیدکننده مصرفی، نسبت مایع به جامد (L/S) و میزان محلول شوینده را به طور همزمان بوجود خواهد آورد.

با این روش، بررسی شش نمونه مورد نظر به صورت ستونهای دوتایی در دوسری عملیات جداگانه انجام گرفت و در سری سوم اثر تغییر غلظت محلول شوینده برای کانسار ۱ بررسی شد.

شرایط آزمایش با توجه به نتایج آزمایشهای فروشویی متداول تعیین شد. فروشویی شش ستون در هر سری به طور همزمان و به صورت چرخه ۱۲ ساعته در روز، به وسیله محلول اسید سولفوریک ۴۰ گرم در لیتر آغاز شد. برای بررسی اثر مثبت وجود اکسیدکننده و تغییر دادن مقدار آن، از آغاز هفته دوم به منظور بررسی چگونگی پیشرفت کار و کنترل روزانه آن، محلول گردآوری شده در پایان هر چرخه روزانه، پس از کنترل حجم و pH و Emf، برای تجزیه و تحلیل مقادیر آهن، اورانیوم و سولفات به آزمایشگاه ارسال می‌شد. عملیات فروشویی هر ستون تا ۳۰ روز، یا تا مدت کاهش مقدار اورانیوم در محل خروجی روزانه به کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر و یکنواخت شدن نسبی این غلظت، ادامه یافت. در پایان این عملیات، پسمانهای جامد درون ستونها را به منظور بررسی چگونگی به انجام رسیدن فرایند، خشک کرده و پس از تجزیه و تحلیل سرنندی (برای مقایسه و تعیین درصد توزیع در ماده معدنی اولیه و پسمان)، نمونه‌های مناسب برای تجزیه با XRF ارسال شد. نسبت مقادیر اورانیوم در خاک اولیه و پسمان را برای محاسبه بازده نهایی استحصال اورانیوم بکار بردیم.

۵۰ سانتیمتر است که در قسمت انتهایی به یک صفحه مشبک (پلکسی گلاس) و خروجی قیفی شکل منتهی می‌شود، تا محلول شوینده پس از عبور از بستر سنگ به سهولت از ستون خارج گردد. برای ستونها پایه و محلی با مشخصات مورد نیاز ساخته شده و ظرفهای مناسبی برای محلول شوینده اولیه، در بالای ستونها، و گردآوری محلول خروجی، در زیر هر ستون، تعبیه گردیده است.

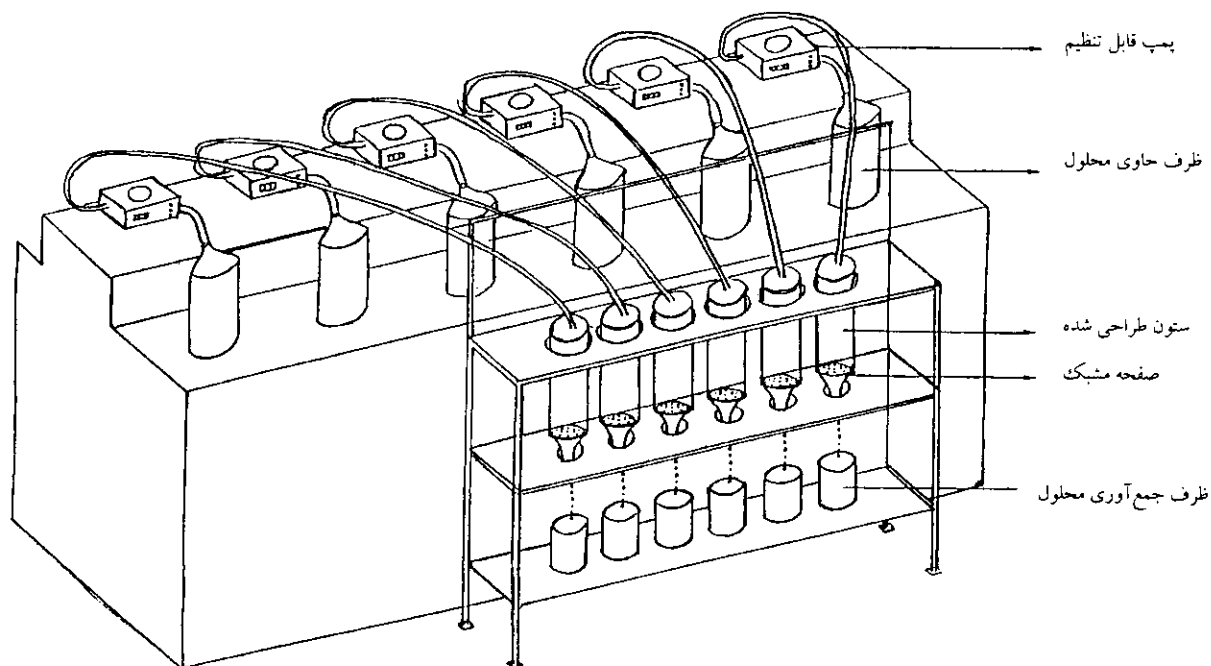
شش پمپ قابل تنظیم نیز برای انتقال یکنواخت محلول شوینده از ظرف‌های اولیه و ریختن آن بر روی نمونه داخل هر ستون به دستگاه اضافه شده است (شکل ۱). با این دستگاه می‌توان ۶ نمونه مختلف را به طور همزمان با شرایط یکنواخت فروشویی و نتایج حاصل را با هم مقایسه کرد و یا یک نمونه را در شش ستون با شرایط متفاوت، به منظور بررسی اثر تغییر پارامترهای مؤثر بر فرایند مورد آزمایش قرار داد. برای پرکردن ستونها ابتدا بر روی صفحه مشبک لایه‌ای از پشم شیشه و روی آن لایه‌ای از ماسه شسته و خشک شده به ضخامت ۲ سانتیمتر ریخته و بعد از آن نیز نمونه مرطوب شده را با احتیاط به طور یکنواخت درون ستون می‌ریزیم و در سطح بالایی آن نیز لایه‌ای از ماسه و یک کاغذ صافی برای جلوگیری از گرفتگی محلول و پخش یکنواخت آن قرار می‌دهیم.

۳- شرح آزمایشها و شرایط آنها

برای بررسی امکان استفاده از روش فروشویی ته‌ای در کانسارهای ساغند تعیین نفوذپذیری، همچنین تسریع در نتیجه‌گیری اولیه، از هر نمونه ۲ ستون مشابه به لحاظ وزن و دانه‌بندی آماده شد. این ستونها به طور همزمان با دو میزان (Rate) متفاوت (۵۰ و ۷۵ لیتر بر تن در روز) با محلول اولیه

جدول ۳- تجزیه و تحلیل نمونه‌های بکار رفته در آزمایشهای فروشویی ستونی (بر حسب ppm)

MO	U	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	V	Th	نمونه
۳۲۰	۴۶۰	۱۰۰	<۱۰	۸۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۳۷	۴۶/۲۰	۰/۳۲۴	۴۰	RS2A
۴۸۳	۴۲۱	۱۰/۵	۵۳۵	۳/۵	۵	۴۶۴	۲۵۱/۵	۳۹/۱	۰/۴۱۱	-	RS2B
۳۰۴/۵	۶۱۳/۵	۷/۵	۷/۵	۶	۶	۲۷۷	۲۵۹	۴۴/۰۶	۰/۶۲۱	-	SS2
۲۱۰۰	۴۲۰	۸۰	<۱۰	۷۹	<۵۰	۳۰۰	۱۸۹	۲۷/۴	۰/۱۷۹	۳۹	RS1A
۴۲	۴۳۷/۵	۴۶/۵	۷۳۸	۳۸/۵	۱۱۷	۷۲۶/۵	۱۴۱/۵	۲۱/۴۵	۰/۲۲۳	-	S100S1
-	۷۴۱/۲۵	-	-	-	-	-	۳۱۰/۲۵	۲۶/۲۰	۰/۳۳۵	۶۵	S300S1



شکل ۱- طرح دستگاه تهیه شده برای فروشویی ستونی

جدول ۴- نمونه‌ها و شرایط آزمایش در سه مرحله عملیات فروشویی ستونی

مرحله سوم		مرحله دوم			مرحله اول			شماره ستون	
غلظت اسید سولفوریک g/l	میزان اسید L/t/d	شماره نمونه	غلظت اسید سولفوریک g/l	میزان اسید L/t/d	شماره نمونه	غلظت اسید سولفوریک g/l	میزان اسید L/t/d		
۶۰	۷۵	RS1A	۴۰	۷۵	RS2A	۴۰	۵۰	SS2	۱
۸۰	۵۰	RS1A	۴۰	۵۰	RS1A	۴۰	۷۵	SS2	۲
۸۰	۷۵	RS1A	۴۰	۷۵	RS1A	۴۰	۵۰	RS2B	۳
۴۰	۷۵	S300S1	۴۰	۵۰	S100S1	۴۰	۷۵	RS2B	۴
۶۰	۷۵	S300S1	۴۰	۷۵	S100S1	۴۰	۵۰	S100S1	۵
۸۰	۷۵	S300S1	۴۰	۷۵	S100S1	۴۰	۷۵	S100S1	۶

می‌کرد ابتدا مدت لازم برای خروج اولین قطره محلول شونده از هر ستون اندازه‌گیری شد. یکسان بودن این زمانها مبین تراکم یکنواخت کانسنگ در ستون، پخش یکنواخت محلول شونده بر روی نمونه و قابلیت نفوذ مناسب کانسنگ است. به این ترتیب، از نتایج روزانه و نهایی ثبت شده این سری آزمایشها، اطلاعات قابل توجهی درباره نحوه رفتار کانسنگ و اثر تغییر پارامترهای اصلی، به طور همزمان بدست می‌آید که مقایسه و بررسی آنها (به علت یکسان بودن شرایط) امکان‌پذیر است و منجر به تعیین شرایط بهینه می‌شود.

۱-۳- شرایط آزمایش و تغییر آنها

وزن نمونه ۲ کیلوگرم
اندازه ابعاد ۱۰ میلی‌متر
نسبت مایع به جامد $L/S = 1/5$ و $1/1$
غلظت محلول شونده (اسیدسولفوریک) ۴۰، ۶۰ و ۸۰ گرم در لیتر
غلظت اکسیدکننده (سدیوم کلرات) ۵ گرم در لیتر (پس از چرخه هشتم)
میزان شونده ۵۰ یا ۷۵ لیتر بر تن در روز
برای دسترسی به نتایج مورد نظر، عملیات فروشویی با تغییر مطلوب پارامترها جمعاً در ۱۸ ستون انجام گرفت. محلول شونده از تمام ستونها با دبی تنظیم شده به آسانی و بدون اشکال عبور



۴- بررسی یافته‌ها و نتیجه‌گیری

برای مقایسه و بررسی پیشرفت روزانه عملیات در ستونها، برای هر ستون جدولی جداگانه تنظیم شد که نتایج اندازه‌گیریها و تغییر هر پارامتر، روزانه محاسبه و ثبت می‌شد.

به علت حجم زیاد جدولهای تنظیم شده و نمودارها برای ۱۸ ستون مورد آزمایش، فقط نمودارهای مربوط به ستونهای اول و دوم به منظور مقایسه و نتیجه‌گیری ارائه شده و در مورد بقیه، نتیجه‌گیری نهایی بیان می‌شود.

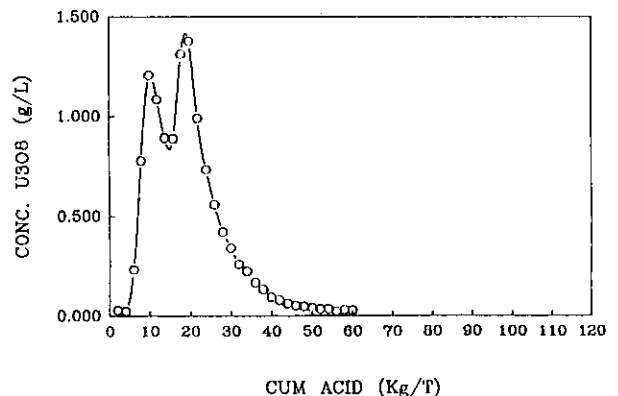
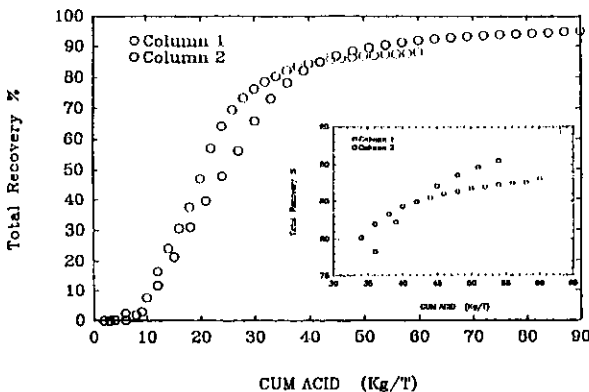
نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در نخستین روزهای فروشویی، به سبب وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای از مواد مصرف‌کننده اسید، تغییر pH محسوس است. با کاهش این مواد به مرور زمان، pH تثبیت می‌شود؛ مقادیر آهن و سولفات هم به وضع نسبتاً ثابتی درمی‌آیند. غلظت اورانیوم در محلول خارج‌شونده از ستون از روز دوم به سرعت افزایش و با گذشتن از یک حداکثر، کاهش یافته و پس از گذشت ۳۰ روز به کمتر از ۳۰ ppm می‌رسد و در نتیجه، عملیات ستونها متوقف می‌شود. در مورد سایر ستونها، عملیات فروشویی ۶ تا ۷ هفته، تا رسیدن به غلظت کمتر از ۳۰ ppm ادامه داشته است. نمودار تغییرات غلظت اورانیوم در محلول شستشوی روزانه بر حسب مقدار اسید مصرفی، با در پیک مشخص شده است و علت آن اثر مثبت حضور اکسیدکننده (از هفته دوم) در محلول شوینده می‌باشد. این نمودار پس از پیک دوم، کاهش سریع غلظت اورانیوم را تا رسیدن به حداقل نشان می‌دهد که معرف قابلیت نفوذ خیلی خوب نمونه (SS2) است (شکل ۲).

بازده استحصال اورانیوم در طول دوره عملیات، با تعیین نسبت غلظت اورانیوم بدست آمده در شوینده‌های روزانه و عیار اولیه خاک حساب شده است. در پایان عملیات نیز با آنالیز XRF پسمان جامد و تعیین عیار اورانیوم در پسمان و در خاک اولیه، بازده نهایی تعیین گردیده است. مقایسه نتایج در جریان عملیات و محاسبات نهایی با دو روش اندازه‌گیری (خشک و تر) نشان می‌دهد که دو روش با دقت خوبی پاسخگو بوده و تطابق قابل قبولی دارند.

نمودار تغییرات بازده استحصال اورانیوم نسبت به مقادیر روزانه پارامترهای مؤثر، از جمله زمان، اسید مصرفی، اکسیدان مصرفی و نسبت مایع به جامد، ابتدا برای هر ستون جداگانه ترسیم شده است سپس برای ستونهای متوالی پر شده از نمونه خاک یکسان که با میزانهای متفاوت اسید فروشویی می‌شدند نمودار مشترک تغییرات بازده نسبت به مقدار اسید برای مقایسه ترسیم گردیده است. بررسی مجموعه نمودارها نشان می‌دهد که نمونه SS2 انتخابی کانسار ۲ ساغند، که از توده معدنی اصلی بوده و با مواد زائد معدنکاری کمتری همراه است، بالاترین بازدهی استخراج (۹۸٪) را نشان می‌دهد. این کانسنگ تغییرات سریع غلظت اورانیوم در محلول شوینده (ماکزیمم نمودار مربوط) را با کمتر از ۳۰ Kg/t اسید در دو هفته گذرانده، سپس در هفته سوم به بازده استخراج ۹۰٪ و در یکماه به بیش از ۹۵٪ رسیده است.

مقایسه دو ستون ۱ و ۲ نشان می‌دهد که گرچه ابتدا در ستونی که میزان شوینده کمتری دارد سرعت بازیابی بیشتر است ولی با پیشرفت عملیات، به علت نفوذ کامل محلول در سنگ معدن،

Column 1, (SS2) R:50 L/T/d



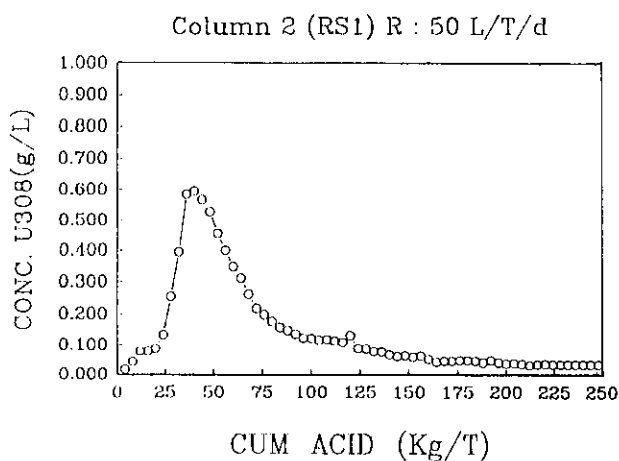
شکل ۳- مقایسه بازیابی اورانیوم برای نمونه انتخابی ساغند (SS2) در دو میزان ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم بر تن در روز

شکل ۲- نمودار تغییرات غلظت اورانیوم بر حسب مقدار اسید مصرف شده ستون ۱، نمونه SS2، میزان اسید ۵۰ کیلوگرم بر تن در روز

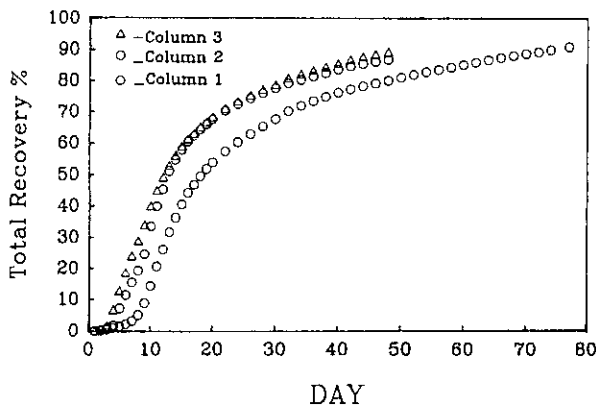


نمودارهای بدست آمده نشان می‌دهند که استحصال اورانیوم از این نمونه در مقایسه با کانسار ۲ با سرعت کمتری انجام می‌گیرد. نمودار شکل ۵، تغییرات غلظت اورانیوم در محلول شوینده نسبت به مقدار اسید را نشان می‌دهد. با افزودن مقدار اسید این غلظت ابتدا به حداکثر می‌رسد سپس به کندی کاهش می‌یابد.

بنابراین، شستشوی این نمونه، مقدار اسید بیشتر و زمان طولانی‌تری را ایجاب می‌کند. این نتایج با آزمایشهای فروشویی متداول کانسار ۱ مطابقت دارد. در مرحله سوم عملیات، این نمونه با اسید غلیظ‌تر و میزان اسید متفاوت شستشو داده شد و توانستیم به بازدهی ۹۰٪ دست یابیم (شکل ۶).



شکل ۵- نمودار تغییرات غلظت اورانیوم بر حسب مقدار اسید مصرف شده

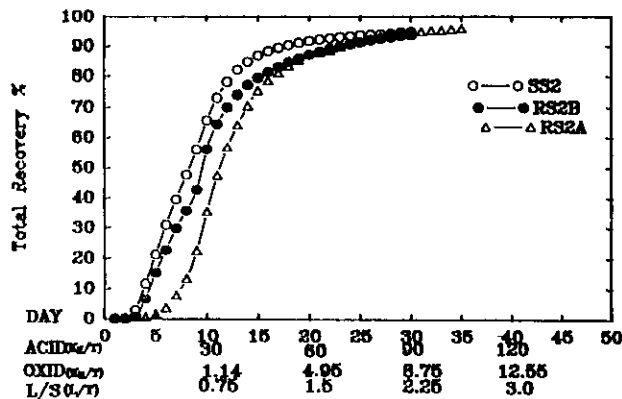


شکل ۶- نمودار بازیابی اورانیوم بر حسب زمان برای نمونه معرف ساغند یک (RS1A)، با تغییر غلظت و میزان اسید

ستونی که میزان شوینده بیشتری دارد بازیابی بیشتری می‌دهد. مقایسه نمودارهای مربوط به سه نمونه از کانسار ۲، یعنی توده معدنی اصلی و دو نمونه مشخص شده A و B، تطابق و تشابه قابل توجهی را در نتایج حاصل نشان می‌دهد که بیانگر رفتار یکسان این نمونه‌ها و مؤید شرایط مناسب و کنترل شده عملیات انجام شده و قابلیت تعمیم نتایج حاصل به کل کانسار ۲ است (شکل ۴).

بازده استخراج بایشرفت عملیات در ۲۰ روز اول نسبتاً به سرعت افزایش یافته و پس از آن کند شده است به طوری که در ادامه عملیات فقط چند درصد افزایش داشته است. این روند که در تمام نمودارها مشهود است نشان می‌دهد که مقدار درصد اصلی اورانیوم در بخش سریع استخراج، از فاز جامد به فاز مایع وارد می‌شود. با این مشخصات برپایی همزمان چند تپه برای شستشوی پی در پی، باعث استفاده مجدد از اسید و در نتیجه کاهش مقدار اسید مصرفی و کوتاه شدن مدت بازیابی می‌شود. برای تعیین کلیه شرایط و پارامترهای اصلی طراحی، انجام تست نیمه صنعتی لازم است.

در مورد کانسار ۱، نمونه معرف آن (RS1A) که مخلوطی از مغزه گمانه‌های اکتشافی، کانسنگ‌های انفجاری و درون شیارها است، در ۵ ستون با تغییر میزان اسید (۵۰ و ۷۵ کیلوگرم بر تن) و تغییر غلظت آن (۴۰، ۶۰ و ۸۰ گرم بر لیتر) شستشو شد. این عملیات بدون برخورد با مشکل، به لحاظ نفوذپذیری، با شرایط مطلوب و دبی تنظیم شده بطور یکنواخت انجام گرفت.



شکل ۴- مقایسه بازیابی اورانیوم در سه نمونه انتخابی: توده معدنی اصلی، معرف A و معرف B از کانسار ۲ ساغند با میزان اسید یکسان ۷۵ لیتر بر تن در روز



پی‌نوشت‌ها:

۱ -heap leaching

۲-percolation leaching

References:

1. Z. Changen, Z. changen, Z. Bllin, W. Shuhui, The final report on item 2.2.9 of contract NO.89RBAW-TOO2, CNNC, China (1992).
2. D. Linan, "the final report on process mineralogical study," Beijing Research Institute of chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, China (1992).
3. ب. سامانی، گزارش داخلی شماره ۲۲۰ واحد اکتشاف، "پدیده‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی اورانیوم در منطقه ساغند،" (۱۳۶۶).
4. W. Shuhui, "Final work report of sampling," (1990).
5. The extractive mettallurgy of uranium by R.C. Merit, Colorado School of Mines Institute (1971).
6. Recovery of uranium from low-grade sandstone ores and phosphate rock, by, R. H. Kennedy, Processing of low - grade uranuim ores (1979).
7. "Uranium extraction technology," I.A.E.A, R.Series, NO.359, Vienna (1993).
8. Heap leaching test report on Bandar- Abbas uranium ores, chen – xiangbiao, 3 hong-pingru, wang Dsheng (1991).