



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

مهرافروز مدنژاد، علی حسین علاقیند\*، ناصر نوذری  
مرکز کانه آرایي و سوخت، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۲۳۹-۱۴۱۰۰، ایران- تهران

**چکیده:** روش فروشویی تپه‌ای<sup>(۱)</sup> 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 شوینده، 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 "تابش‌سنجی دسته‌بندی"<sup>(۲)</sup> با عیارهای آستانه‌ای ۱۰۰ و ۳۰۰ ppm تغلیظ شده بود.  
در این آزمایشها پارامترهای زمان، مقدار اسید (Kg/t), (l/t) L/S، مقدار اکسیدان EMF, PH, (Kg/t) بررسی شدند. نتیجه آزمایشها قابلیت نفوذ خوب همه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مقایسه سه نمونه متفاوت از کانسار ۲ مشخص نمود که اورانیوم طوریکه بازده استحصال اورانیوم در مدت کمتر از سه هفته، بیش از ۹۰٪ و مصرف اسید برای هر تن نمونه ۵۰ 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 تابش‌سنجی تغلیظ شده بود، بیشتر از ۸۰٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: فروشویی تپه‌ای، فروشویی ستونی، تابش‌سنجی 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



## ۱- مقدمه

مطالعات اکتشافی چند ساله بر روی مناطق مختلف کشور نشان داده اند 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 بهره برداری از آن تنها در کانسارهای ۱ و ۲ وجود دارد. این دو کانسار به لحاظ نوع کانیها مشابه اند، 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 فروشویی متداول در کانسارهای ۱ و ۲ ساغند شده بود [۱].

بررسی بیشتر به منظور کاهش هزینه ها ایجاب می کرد که این طرح با هدف بررسی امکان استفاده از روش فروشویی تپه ای در ساغند مطرح و آزمایشهایی در این زمینه انجام شود. در طی اجرای این طرح، برای دسترسی به پارامترهای مناسب، در مدتی کوتاه، آزمونه های آزمایشگاهی با ستونهایی به ظرفیت ۲ کیلوگرم روی نمونه هایی 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 فروشویی متداول است، علاوه بر این، برخی از مراحل پرهزینه و مشکلات فنی، از جمله مرحله جداسازی، نیز حذف می شود. اما تعیین دقیق پارامترهای مورد نیاز برای طراحی تپه صنعتی، انجام

آزمایشهای نیمه صنعتی را ایجاب می کند.

چنانچه احداث کارخانه ای با هدف انتقال فناوری مطرح شود، میتوان روش فروشویی تپه ای را در مورد کانسنگهای سطحی کم عیار و پسمانهای تابش سنجی کارخانه مورد استفاده قرار داد.

## ۲- فروشویی

روش فروشویی با بستر ثابت (فروشویی تپه ای) به علت حذف

مراحل پرهزینه، (از جمله حمل و نقل، خردکردن 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 می گیرد. در مرحله محاسبه، کاستن هزینه های اپراتوری تا ۳۰٪، مراحل خردکردن و انتقال تا ۶۰٪ و مصرف آب و مواد شیمیایی تا ۳۰٪ پیشبینی می شود. همچنین به دلیل انجام گرفتن چرخه بسته، حجم آب مصرفی و پسمان آب نیز تقلیل می یابد که به لحاظ اقتصادی و حفاظت محیط زیست دارای اهمیت ویژه است.

## ۲-۱- فروشویی ستونی

قبل از طراحی صنعتی یک تپه، برای بررسی امکان کاربرد روش



پسمان جامد، تجزیه و تحلیل سرندي انجام می‌گیرد و نتایج حاصل با ماده معدني اوليه مقایسه می‌شود.

## 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 بهره‌برداری این منطقه را تشکیل می‌دهند. در جریان مطالعات تفصیلی، بررسیهای زیادی انجام گرفته و اطلاعات جامعی درباره کانیشناسی، عیار متوسط کانی‌ها، 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 [۳].

## ۲-۳- نمونه‌های بکار رفته

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

جدول ۱- درصد ترکیبهای شیمیایی ماده معدني اورانیوم کانسار ساغند

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

۲- نمونه جدید معرف کانسار ۲ که پس از انجام حفاریهای اکتشافی با توجه به نتایج چاه‌پیمایی ژئوفیزیکی، ... تهیه شد: RS2B

۳- نمونه انتخابی از توده معدني اصلی در کانسار ۲ برای شناخت رفتار توده معدني: SS2

(Selective Sample of Saghand 2)

۴- نمونه معرف نسبی کانسار ۱: RS1A

۵- نمونه سطحی کانسار ۱ تغلیظ شده به روش تابش‌سنجی با عیار حداقل ppm ۱۰۰: S100S1

۶- نمونه سطحی کانسار ۱ تغلیظ شده به روش تابش‌سنجی

فروشویی 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 "فروشویی ستونی" انجام گیرد.

دلایل انجام آزمایشهای فروشویی 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 فروشویی، 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 فروشویی ستونی بر مبنای شرایط بهینه

روش متداول تعیین می‌گردد. پس از تکمیل عملیات فروشویی سنگ معدن در ستون و بررسی نتایج حاصل از تغییر دادن پارامترها،

ترکیب	دامنه مقدار درصد	درصد متوسط
Si <sub>۲</sub> O <sub>۲</sub>	۱۷/۴۵ - ۵/۶۱	۱۱/۵۳
Al <sub>۲</sub> O <sub>۲</sub>	۲/۳۸ - ۰/۸	۱/۵۹
MgO	۱۶/۸۹ - ۴/۰۴	۹/۵۶
FeO	۵۳/۰۰ - ۴۰/۲۲	۴۸/۰۲
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۲</sub>	۲۶/۰۰ - ۱۳/۴۷	۲۱/۱۴
Fe		۷۱/۶۸
V	۱/۲۵ - ۰/۲۶	
Co	۰/۰۶ - ۰/۰۱	
Th		ppm ۱۱۳۷/۰۰

پسمان جامد حاصل خشک و پودر می‌گردد و بازده بازیافت آن از راه تجزیه و تحلیل حساب می‌شود. برای تعیین درصد پراکندگی اورانیوم و نحوه توزیع آن در



جدول ۲- مواد معدنی اصلی کانسار ساغند (نابهنجاری شماره ۲)

مواد معدنی	مقدار درصد
Uraninite	۰/۰۵
Uranothorianite	اندک
Ferrouroanthorite	"
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

دسته‌بندی " با عیار حداقل  
: ۳۰۰ppm  
S300S1

### 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

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 تپه‌ای 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

ه سانتیمتر است که در قسمت انتهایی به یک صفحه مشبک (پلکسی گلاس) و خروجی کیفی 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 نافه 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

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

یکنواخت درون ستون می‌ریزیم و در سطح بالایی آن نیز لایه‌ای از ماسه

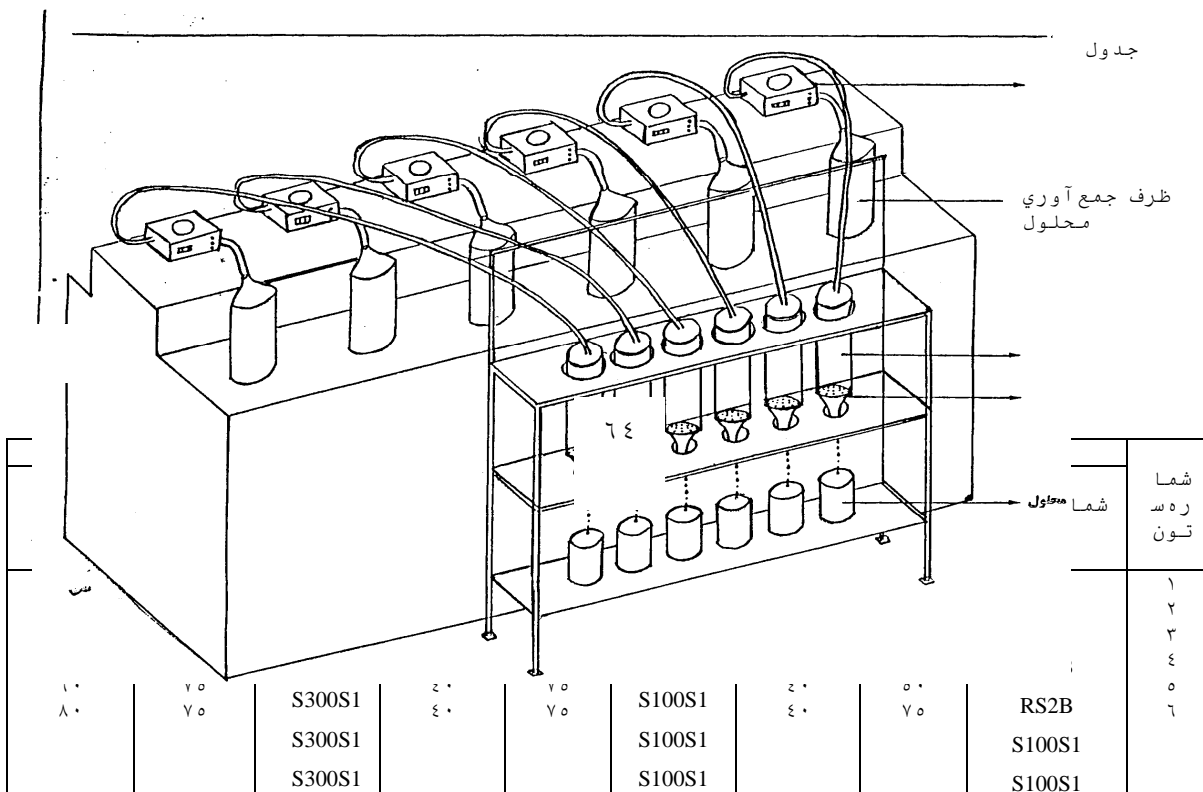


تا مدت کاهش مقدار اورانیوم در محل خروجی روزانه به کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر و یکنواخت شدن نسبی این غلظت، ادامه یافت. در پایان این عملیات، پسمان‌های جامد درون ستونها را به منظور بررسی چگونگی به انجام رسیدن فرایند، خشک کرده و پس از تجزیه و تحلیل سرندي (برای مقایسه و تعیین درصد توزیع در ماده معدنی اولیه و پسمان)، نمونه‌های مناسب برای تجزیه با XRF ارسال شد. نسبت مقادیر اورانیوم در خاک اولیه و پسمان را برای محاسبه بازده

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

MO	U	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	V	Th	پمپ قابل تنظیم RS2A
۳۲۰	۴۶۰	۱۰۰	<۱۰	۸۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۳۷	/۲۰ ۴۶	/۳۲۴ ۰	۴۰	
۴۸۳	۴۲۱	۱۰/۵	۵۳۵	۳/۵	۵	۴۶۴	/۵ ۲۵۱	۳۹/۱	/۴۱۱ ۰	-	ظرف حاوی محلول عدد
۳۰۴/۵	۶۱۳/۵	۷/۵	۷/۵	۶	۶	۲۷۷	۲۵۹	/۰۱ ۴۴	/۶۲۱ ۰	-	
۲۱۰۰	۴۲۰	۸۰	<۱۰	۷۹	<۵۰	۳۰۰	۱۸۹	۲۷/۴	/۱۷۹ ۰	۳۹	RS1A
۴۲	۴۳۷/۵	۴۶/۵	۷۳۸	۳۸/۵	۱۱۷	/۵ ۷۲۶	/۵ ۱۴۱	/۴۵ ۲۱	/۲۲۳ ۰	-	ستون طراحی صفحه
-	/۲۵ ۷۴۱	-	-	-	-	-	/۲۵ ۳۱۰	/۲۰ ۲۶	/۳۳۵ ۰	۶۵	

نهایی استحصال اورانیوم بکار



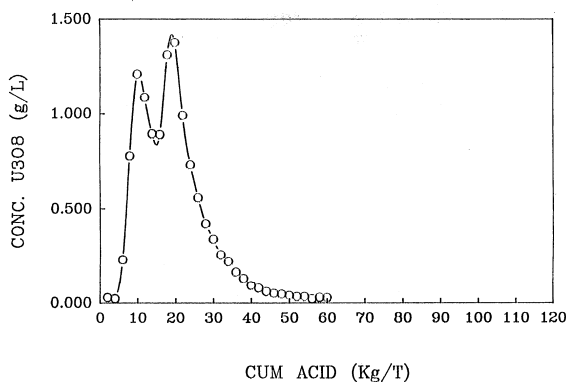


جدول ۴- نمونه‌ها و شرایط آزمایش در سه مرحله عملیات فروشویی ستونی هر پارامتر، روزانه محاسبه و ثبت می‌شد.

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<sup>۱</sup> 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 معرّف قابلیت نفوذ خیلی خوب نمونه (SS2) است (شکل ۲).

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



### ۳-۱- شرایط آزمایش و تغییر آنها

وزن نمونه ۲ کیلوگرم  
ابعاد ۱۰ میلی‌متر نسبت مایع به جامد  
L/S = ۱ و ۱/۵ غلظت محلول شوینده (اسیدسولفوریک)  
۸۰،۶۰،۴۰ گرم در لیتر  
غلظت اکسیدکننده (سدیوم کلرات) ۵ گرم در لیتر (پس از چرخه هشتم)  
میزان شوینده 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 شوینده از تمام ستونها با دبی تنظیم شده به آسانی و بدون اشکال عبور

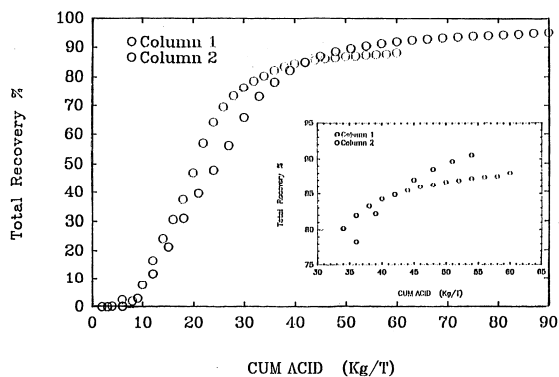
می‌کرد ابتدا مدت لازم برای خروج اولین قطره<sup>۲</sup> محلول شوینده از هر ستون اندازه‌گیری شد. یکسان بودن این زمانها مبین تراکم یکنواخت کانسنگ در ستون، پخش یکنواخت محلول شوینده بر روی نمونه و قابلیت نفوذ مناسب کانسنگ است. به این ترتیب، از نتایج روزانه و نهایی ثبت شده<sup>۳</sup> این سری آزمایشها، اطلاعات 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.

### 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



ولی با پیشرفت عملیات، به علت نفوذ کامل محلول در سنگ معدن،



شکل ۳- مقایسه بازیابی اورانیوم برای نمونه انتخابی ساغند (SS2) در دو میزان ۵۰ و ۷۰ کیلوگرم برتن در روز

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 با پیشرفت 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.

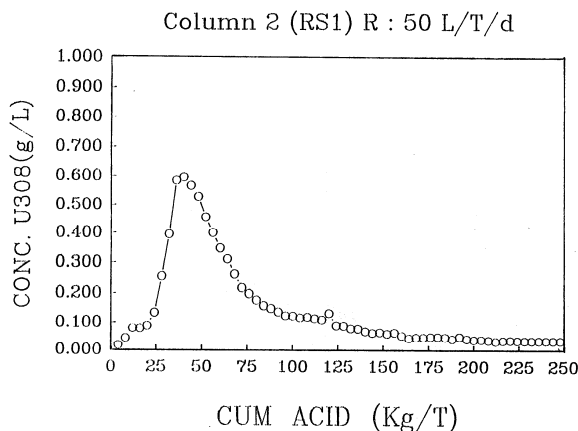
شکل ۲- نمودار تغییرات غلظت اورانیوم بر حسب مقدار اسید مصرف شده ستون ۱، نمونه SS2، میزان اسید ۵۰ کیلوگرم برتن در روز

۶۶

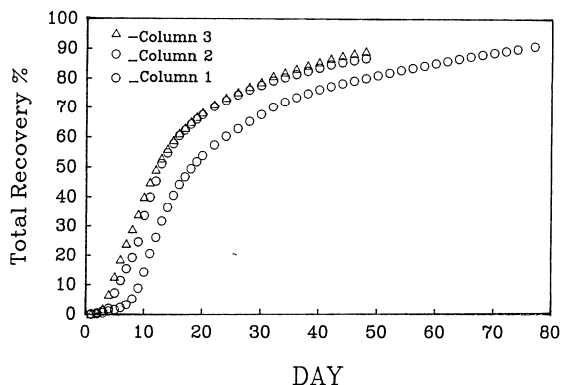
بازده استحصال اورانیوم در طول دوره عملیات، با تعیین نسبت غلظت اورانیوم بدست آمده در شوینده‌های روزانه و عیار اولیه خاک حساب شده است. در پایان عملیات نیز با آنالیز XRF پسمان جامد و تعیین عیار اورانیوم در پسمان و در خاک اولیه، بازده نهایی تعیین گردیده است. مقایسه نتایج در جریان عملیات و محاسبات نهایی با 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 (ماکزیم 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

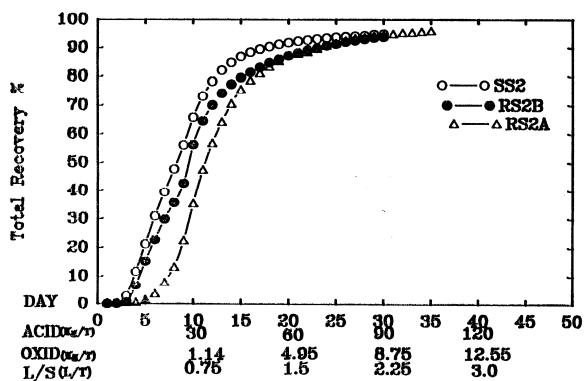


شکل ۵- نمودار تغییرات غلظت اورانیوم بر حسب مقدار اسید مصرف شده



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

در مورد کانسار ۱، نمونه معرف آن (RS1A) که مخلوطی از مغزه، گمانه‌های اکتشافی، کانسنگ‌های انفجاری و درون‌شیرها 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

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).

### پي‌نوشت‌ها :

- ۱ -heap leaching
- 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 mineraligical study," Beijing Research Institute of chemcial Engineering and Metallurgy, CNNC, China (1992).
۳. 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. Recovery of uranium from low-grade sandstone ores and phosphate rock, by, R. H. Kennedy, Processing of low - grade uranuim ores (1979).
6. "Uranium extraction technology," I.A.E.A, R.Series, NO.359, Vienna (1993).
7. Heap leaching test report on Bandar- Abbas uranium ores, chen – xiangbiao, 3 hong-pingru, wang Desheng (1991).
8. The extractive mettallurgy of uranium by R.C. Merit, Colorado School of Mines Institute (1971).