J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 40, pp. 47-52, 2007
Archive of SID
مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ٤٠، صفحات ٥٢-٤٧، ١٣٨٦

Sci. and Tech. note
یادداشت علمی و فنی

تخمین عیار اورانیوم کانسار خشومی با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی و داده‌های XRF

محمدرضا قادری، محمدتقی طهماسب‌نظامی*، داوود جمالی‌اسفهلان
دفتر اکتشاف و استخراج، شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده: برای ارزیابی کمی عیار اورانیوم گمانه‌های حفاری شده در کانسار خشومی، از داده‌های چاه‌پیمایی و آزمایشگاهی XRF نمونه‌های مغزه استفاده می‌شود. بنابراین برای تعیین رابطهٔ این دو نوع داده، با تقسیم محدوده مغزه‌های گمانه‌ها به فواصل ۳/۰۵ متری معادل فواصل بین پلاک‌های حفاری، عملیات یکسان‌سازی و آنالیز داده‌های چاه‌پیمایی در ۱۱۵ محدوده انجام پذیرفت و از میان آنها، ۵۵ محدوده که دارای ضریب بازیابی مغزه بیش از ۹۰ درصد بودند انتخاب شدند. در این محدوده‌ها نحوه ارتباط عیارهای آنالیز شده به وسیلهٔ دستگاه XRF اورانیوم و توریوم بررسی و کمیت پرتوزایی ناشی از توریوم مشخص شد. سپس با دو روش بررسی رابطه پرتوزایی مطلق با عیار اورانیوم و پرتوزایی ممیز شدهٔ اثر توریوم با عیار اورانیوم، معادلات رگرسیون آنها بدست آمد. در معادله پرتوزایی مطلق با عیار اورانیوم، میزان میانگین خطای تخمین در حد صفر است، ولی با توجه به بالا بودن نسبی واریانس، خطای تخمین برای حصول سطح اطمینان مناسب برای طراحی معدنی، به اطلاعات تکمیلی نیاز است.

واژه‌های کلیدی: چاه‌پیمایی، ضریب K، بازیابی مغزه، یکسان‌سازی، پرتوزایی، عیار اورانیوم

Grade Estimation of the Khoshomi Uranium Prospect by Applying Logging Data and XRF Analytic Results

M.R. Ghaderi, M.T. Tahmaseb Nezami*, D. Jamali Esfahlan
1- Deputy of Exploration, Exploration and Preparation of Raw Material of the Nuclear Industry Company, AEOI, P.O. Box: 14155-1339, Tehran – Iran

Abstract: The quantitative evaluation of uranium content in the Khoshomi boreholes has been mainly carried out based on logging and XRF laboratory data. In order to determine the correlation between aforesaid data, composition and chemical analysis has been accomplished at 115 zones by considering 3.05 meter intervals that is equal to the length of each drilling rod. In this relation, 55 parts with the core recovery coefficient more than 90% were selected and the correlation between their uranium and thorium contents were studied to determine the amount of radiation resulted from thorium. In the next stage, the regression equation was obtained using two methods, i.e. correlation between the total count and the uranium content, and the thorium depleted radiation and the uranium content. Using the first method, the average estimation error is approximately zero. But, as the estimated error variance is relatively high, complementary information is required for a favorable mining design.

Keywords: ***Logging, K-Factor, Core Recovery, Composite, Radiation, Uranium Assay***

*email: mtahmaseb@aeoi.org.ir
تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۶/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۱۰/۱۳

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

برای ارزیابی کمیت عیار اورانیوم در طول دیواره گمانه‌های حفاری، دو پارامتر حائز اهمیت است:

- میزان عیار اورانیوم حساب شده در آزمایشهای آنالیز نمونه‌های گرفته شده از مغزه‌های حفاری
- میزان پرتوزایی ثبت شده حاصل از عملیات چاه‌پیمایی

اطلاعات این دو پارامتر، مکمل یکدیگرند و بمنظور انجام عملیات ارزیابی ذخیره معدنی بکار گرفته می‌شوند. مزیت اطلاعات بدست آمده از نمونه‌برداری مغزه‌ها، دسترسی مستقیم به داده موردنظر است. ولی عیب آن احتمال وجود خطا در نمونه‌برداری و عدم صحت نتایج بدست آمده در محدوده‌هایی است که میزان بازیابی مغزه[1] کمتر از میزان معیار می‌باشد [۱].

در روش برآورد اطلاعات از ثبت پرتوزایی دیواره گمانه در چاه‌پیمایی، اگر چه از طریق کمیت تشعشعات ثبت شده، با استفاده از کالیبره کردن دستگاه چاه‌پیمایی (ضریب K)، بطور غیرمستقیم به داده‌های موردنظر دسترسی می‌یابند ولی مزیت آن، دقت برداشت داده‌ها در طول دیواره گمانه و تخمین دقیق میزان پرتوزایی بصورت هالهٔ استوانه‌ای شکل از کل دیواره گمانه است.

در این مقاله سعی شده است، با تلفیق اطلاعات چاه‌پیمایی و اطلاعات آنالیز، روابط ریاضی مناسبی میان عیار اورانیوم حساب شدهٔ آزمایشگاهی و مقدار تشعشعات ثبت شده رادیوآکتیو در طول دیوارهٔ گمانه‌های منطقه اکتشافی خشومی بدست آید. در صورت موفقیت این روش، می‌توان با توجه به سرعت مناسب دسترسی به نمودارهای چاه‌پیمایی، مقدار تخمینی عیار اورانیوم در طول دیواره گمانه- در گمانه‌هایی که نتایج آنالیز نمونه‌های مغزه آنها آماده نیست، همچنین در گمانه‌هایی که در حین حفاری دارای محدوده‌هایی با درصد بازیابی مغزه نسبتاً کم هستند، نمونه‌های مغزه نمی‌توانند نماینده خوبی برای آن محدوده‌ها باشند.

۲- جمع‌آوری داده‌ها

۲-۱ داده‌های چاه‌پیمایی

داده‌های چاه‌پیمایی از نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی دیواره گمانه به وسیلهٔ داخل کردن سوندهای ویژه‌ای حاصل می‌شوند. این داده‌ها اغلب بصورت نمودارهایی هستند که نحوه تغییرات معیار مورد اندازه‌گیری را برحسب تغییر طول حفاری گمانه نشان می‌دهند. با توجه به خاصیت ساطع کردن تشعشعات رادیوآکتیو خودزا توسط عنصر اورانیوم، یکی از مهمترین این نمودارها، نمودار پرتو گاما می‌باشد، که در این مقاله از این نوع نمودار برای تحلیل روابط بکار رفته استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزارهای معدنی موجود، این نمودارها بصورت رقومی تعریف شده‌اند، بطوریکه میزان تشعشعات ثبت شده از شکل نمودارها در طول دیواره گمانه‌ها بدست آمده‌اند. نحوه تبدیل با برداشت‌های صحرایی چاه‌پیمایی دقیقاً منطبق با فواصل برداشت سونداژ از دیواره گمانه بوده و حدود ۵ سانتی‌متر است.

۲-۲ داده‌های آزمایشگاهی به روش XRF

در روش آزمایشگاهی XRF بر اساس اندازه‌گیری کمی طیف فلورسانس بازتابیده ناشی از تاباندن اشعه X بر نمونه‌های آماده شده، به عیار عنصر موردنظر پی می‌برند. این داده‌ها از آنالیز XRF دو عنصر اورانیوم و توریوم از نمونه‌های مغزه‌های حفاری شدهٔ گمانه‌های کانسار خشومی بدست آمده است. با توجه به بالا بودن هزینه‌های آنالیز و طولانی بودن مدت حصول نتایج آن، پیش از عملیات صحرایی نمونه‌برداری، محدوده‌هایی با پرتوزایی بالاتر از ۱۰۰۰cps از روی نمودارهای چاه‌پیمایی مشخص شدند. نحوهٔ نمونه‌برداری با در نظر گرفتن فواصل دو پلاک مشخص شده طی عملیات حفاری و امکان مناسب تطبیق آن با محدوده‌های پرتوزایی احتمالی، طراحی شد. فواصل برداشت نمونه از مغزه با توجه به تحلیل تغییر نما (واریوگرافی) صورت گرفته، ۰/۵ متر در نظر گرفته شد [۲].

۲-۳ داده‌های بازیابی مغزه

این داده‌ها، نمایانگر میزان سالم ماندن مغزه در فواصل بین دو پلاک حفاری (به اندازه پیشروی یک لوله حفاری ۳/۰۵ متری) است. علت انتخاب این طول، قطعیت و دقت و کنترل متراژ حفاری در سر هر پلاک است. این داده‌ها مشخص می‌کنند که آیا فاصله بین دو پلاک حفاری با توجه به میزان بازیابی مغزه آن ممکن است بعنوان نماینده واقعی دیواره گمانه در این فاصله تلقی شود یا نه؟ برای این پژوهش، محدوده‌های ۳/۰۵ متری که در آنها ضریب بازیابی مغزه بیش از ۹۰ درصد بوده است، جهت تعیین روابط بین نتایج آنالیز و نتایج چاه‌پیمایی مورد استفاده قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- یکسان‌سازی

۳-۱ یکسان‌سازی داده‌ها

عملیات یکسان‌سازی[۲] داده‌ها، از عملیات مهم پردازشی است که با انجام آن می‌توان به مقایسه داده‌های دلخواه در فواصل تعیین شده پرداخت [۳]. برای مقایسهٔ نتایج کمی چاه‌پیمایی و آنالیز، عملیات یکسان‌سازی بطوری طراحی شد، تا مقدار برداشت‌های پرتوزایی و مقدار عیارهای اورانیوم اندازه‌گیری شده و آنالیز، در فواصل برداشت بازیابی مغزه‌ها در ۳/۰۵ متری متوسط‌گیری شوند، تا بتوان این دسته از داده‌ها را در کنار ممیزی بازیابی مغزه‌ها قرار داد و محدوده‌های ۳/۰۵ متری را بطور مناسبی جدا کرد. برای این یکسان‌سازی، نیاز به محاسبات ریاضی میان‌یابی است، تا عملیات متوسط‌گیری با دقت در فواصل بین پلاک‌ها صورت پذیرد. برای تحقق این خواسته، با توجه به حجم وسیع اطلاعات بویژه اطلاعات چاه‌پیمایی، برنامه Visual Basic یکسان‌سازی دلخواه در محیط نرم‌افزارهای موردنظر نوشته شد [۴].

۳-۲ اهمیت پالایش اطلاعات یکسان‌شده

همانطور که عنوان شد، ممیزی بازیابی مغزه به منظور جداسازی محدوده‌های منتخب برای پژوهش، دارای اهمیت فراوانی است. برای درک اهمیت موضوع، از ۱۲ گمانه در منطقه اکتشافی خشومی، ۱۱۵ محدوده که نتایج آنالیز آنها بوسیله دستگاه XRF انجام گرفت و کمیت اشعه گامای چاه‌پیمایی آنها معلوم بود، انتخاب شدند. متوسط ضریب همبستگی نتایج آنالیز و چاه‌پیمایی در فواصل ۳/۰۵ متری، بر اساس حد جدایش بازیابی کمترین مغزه آورده شده است. بطوری که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار ممیزی مغزه، میزان اعتماد به وجود روابط معقول میان نتایج آنالیز و چاه‌پیمایی افزایش می‌یابد.

جدول ۱- تغییرات ضریب همبستگی نتایج آنالیز و چاه‌پیمایی با در نظر گرفتن ممیزی بازیابی مغزه.

ضریب همبستگی	حداقل درصد بازیابی مغزه
۰/۹۱	۹۱
۰/۸۰	۸۰
۰/۷۳	۶۰
۰/۶۴	کل محدوده‌ها

۴- نحوه ارتباط نتایج آنالیز و چاه‌پیمایی

۴-۱ نحوه همبستگی بین عیارهای اورانیوم و توریوم

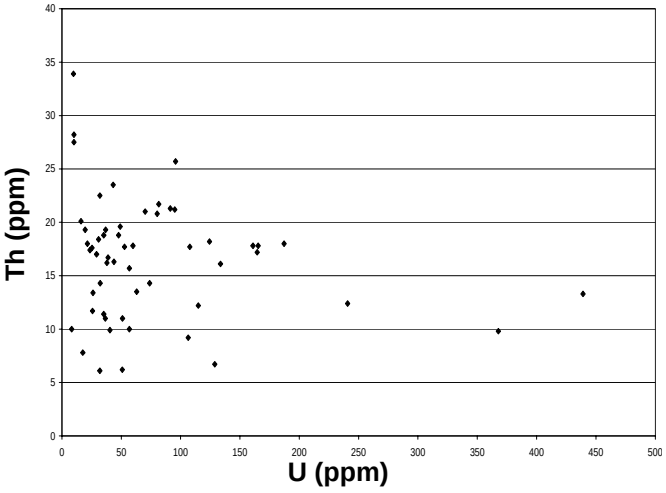
در ۵۵ محدوده انتخاب شده، مقدار همبستگی میان عیارهای اورانیوم و توریوم بر طبق نتایج آنالیز ۲٪- است. نحوه ارتباط این دو عنصر در شکل ۱ نشان داده شده است. گرچه بنظر می‌رسد که هیچ ارتباطی بین عیار این دو عنصر وجود ندارد، ولی می‌توان استنباط کرد که با افزایش عیار اورانیوم، مقدار عیار توریوم اندکی کاهش می‌یابد. ارتباط میان U/Th و U در شکل ۲ این مطلب را بهتر به اثبات می‌رساند. در این حالت ضریب همبستگی دو کمیت ذکر شده، ۹۳/۸٪ است و بخوبی نشان می‌دهد که با افزایش عیار اورانیوم، کمیت U/Th تقریباً بصورت خطی افزایش می‌یابد. با رگرسیون انجام گرفته، می‌توان رابطه میان عیار اورانیوم و توریوم را در منطقه اکتشافی خشومی بر طبق رابطهٔ ۱ تخمین زد:

$$Q_u/Q_{Th}=.0814(Qu) - 0.701 \qquad (۱)$$

که در آن Qu عیار اورانیوم و Q_{Th} عیار توریوم است. بطوری که مشاهده می‌شود رابطه بین این دو کمیت خطی نیست.

۴-۲ ممیزی پرتوزایی ناشی از اورانیوم و توریوم از پرتوزایی کلی

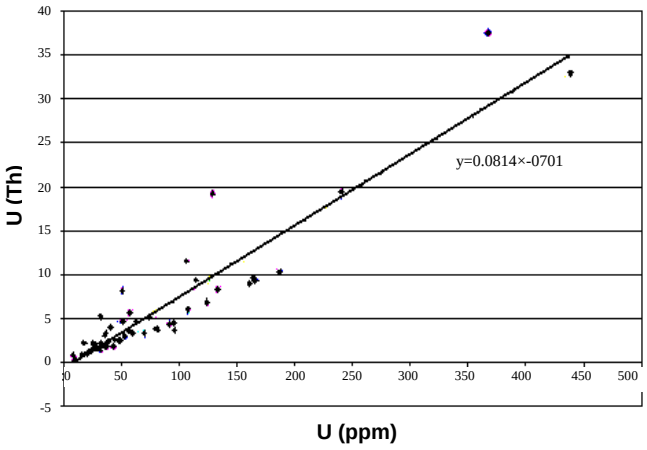
بر طبق تعریف، مقدار کمی تشعشع ۱ppm توریوم معادل ۰/۴۵ مقدار تشعشع ۱ppm اورانیوم است [۵]. با فرض حذف اثر



شکل ۱- نحوه ارتباط میان عیارهای اورانیوم و توریوم حاصل از نتایج آنالیز در ۵۵ محدوده منتخب منطقه اکتشافی خشومی.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نحوه ارتباط عیار اورانیوم به نسبت اورانیوم به توریوم در ۵۵ محدوده منتخب منطقه اکتشافی خشومی.

پرتوزایی عنصر پتاسیوم، می‌توان پرتوزایی کلی را طبق رابطه ۲ تعریف کرد:

$$T_c=T_u+T_{Th} \qquad (۲)$$

که در آن T_c مقدار پرتوزایی کلی برحسب CPS، T_u مقدار پرتوزایی ناشی از اورانیوم و T_{Th} مقدار پرتوزایی ناشی از توریوم است. با توجه به تعریف، ارتباط تشعشعات حاصل از اورانیوم و توریوم را می‌توان از رابطه ۳ بدست آورد:

$$T_u=\frac{Q_u}{Q_u+0.45Q_{Th}}.T_c \qquad (۳)$$

بنابراین، با داشتن مقدار عیارهای اورانیوم و توریوم، می‌توان پرتوزایی حاصل از هر یک از این دو عنصر را تخمین زد.

۴-۳ تصحیح ضریب K

نمودارگیری پرتوزایی مجموع عناصر رادیوآکتیو عبارتست از:

$$G_YT=KA \qquad (۴)$$

علامت A، معرف سطح تصحیح شده منحنی نمودار گاما برحسب میزان تشعشع در طول مشخص T و G_Y، عبارت از میانگین معادل عیار اورانیوم در منطقه کانی‌سازی در یک متر، است. بنابر این تعریف، ضریب K بر اساس مدلهای استاندارد دستگاه چاه‌پیمایی دیجیتال مولتی سوند Auslog Dls4 معین می‌شود [۶]. اگر ما متوسط عیار اورانیوم و اشعه گاما را در طول T داشته باشیم، رابطهٔ زیر بدست خواهد آمد:

$$T_C=K(Q_U+0.45Q_{Th}) \qquad (۵)$$

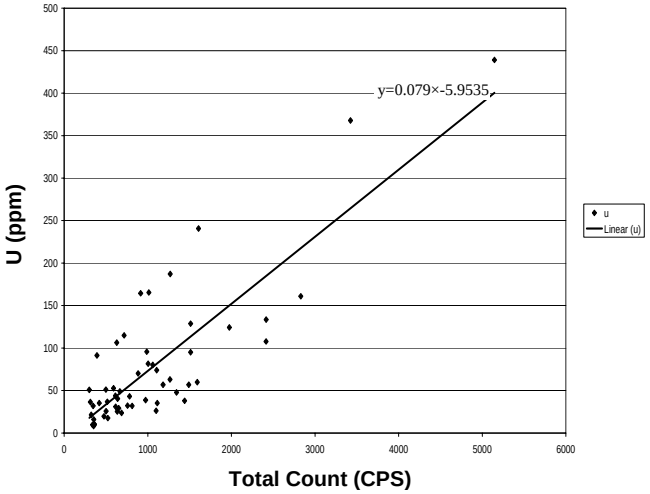
با توجه به توضیحات مذکور، اگر در کانسار خشومی از میزان عیار توریوم صرفنظر شده و کل پرتوزایی به عناصر دختر همراه اورانیوم نسبت داده شود، با توجه به شکل ۳ رابطهٔ پرتوزایی حاصل از چاه‌پیمایی و آنالیز بشرح زیر است:

$$Q_U=0.079T_C-5.6 \qquad (۶)$$

با توجه به وجود عیار توریوم در این ۵۵ محدوده منتخب، چنانچه بر طبق رابطه ۳، تأثیر پرتوزایی توریوم را حذف کنیم، در اینصورت رابطه پرتوزایی ممیز شده با عیار اورانیوم بر اساس شکل ۴ و رگرسیون انجام شده مطابق رابطه ۷ خواهد شد:

$$Q_U=0.0841T_U+0.569 \qquad (۷)$$

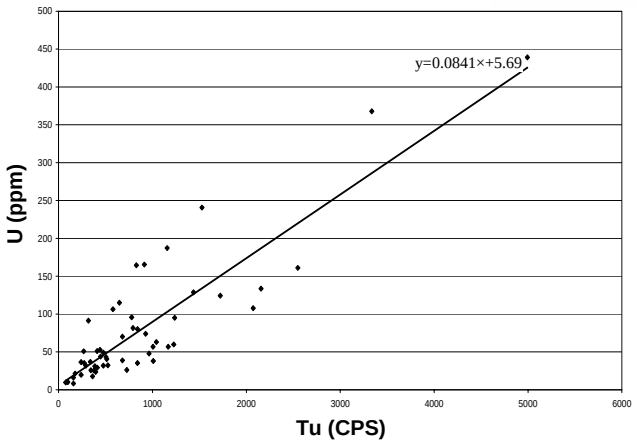
این رابطه به معنای افزایش ضریب K با حذف اثر توریوم از ۰/۰۷۹ به ۰/۰۸۴ در منطقه اکتشافی خشومی است. عدد بدست آمده با ضریب K، محاسبه شده توسط گروه چاه‌پیمایی برای دستگاه مورد نظر که ۰/۰۸۶ بدست آمده است تقریباً منطبق است.



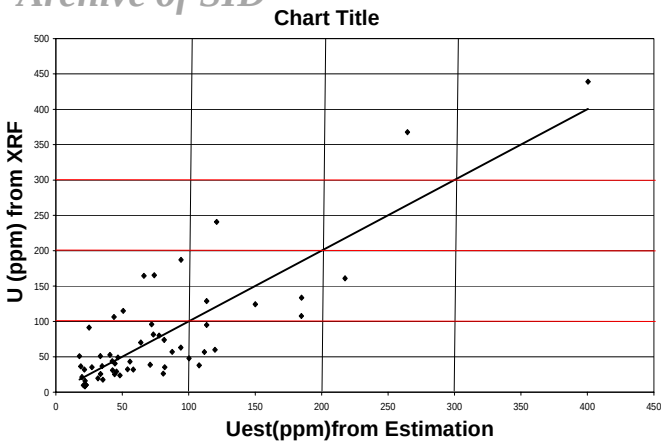
شکل ۳- نحوه ارتباط پرتوزایی کل با عیار اورانیوم در ۵۵ محدوده منتخب منطقه اکتشافی خشومی.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نحوه رابطه بین پرتوزایی ممیز شده و عیار اورانیوم در ۵۵ محدوده منتخب منطقه اکتشافی خشومی.



شکل ۵- نحوه ارتباط عیار تخمینی از چاه‌پیمایی و عیار حساب شدهٔ آزمایشگاهی و خط رگرسیون آن.

۴-۴ *بررسی صحت روابط*

جهت بررسی صحت رابطه‌های ۴ و ۵ برای تخمین عیار اورانیوم، دو روش مورد استفاده قرار گرفت:

- تخمین عیار اورانیوم با استفاده از رابطه ۶ و مقایسه آن با میزان عیار بدست آمده از آنالیز در ۵۵ محدوده منتخب.
- تخمین عیار اورانیوم با ممیزی پرتوزایی ناشی از توریوم مطابق رابطهٔ (۳) و استفاده از رابطهٔ (۷) در هر ۵۵ محدوده منتخب.

برای تخمین ضریب خطای آماری در هر دو روش از رابطه (۸) استفاده شد:

$$E = \sum \frac{(U_i - Uest_i)}{N} * 100 \qquad (۸)$$

که در آن U_i عیار اورانیوم اندازه‌گیری شده از آنالیز، U_{est} عیار اورانیوم تخمین‌زده شده، E میزان درصد میانگین خطای اندازه‌گیری شده است و N تعداد محدوده‌های منتخب برابر ۵۵ می‌باشد. با توجه به رابطه ۸، میانگین خطای تخمین روش اول تقریباً صفر است که از نکات مثبت تخمین عیار اورانیوم با استفاده از معادله (۶) است و نااریب بودن این روش تخمین را نشان می‌دهد. ولی با ممیزی پرتوزایی توریوم، خطای تخمین به ۱۳/۸٪ افزایش می‌یابد. چنین به نظر می‌رسد که برای تخمین عیار اورانیوم، رابطه (۶) و حذف اثر عیار توریوم بهتر نتیجه می‌دهد (شکل ۵). اما با توجه به بالا بودن نسبی واریانس خطای تخمین[۳]، در صورت نیاز به بالا بردن ضریب اطمینان، به تکمیل داده‌های نمونه‌برداری از مغزهٔ حفاری‌هایی با لوله نمونه‌گیر سه جداره[۴] برای افزایش درصد بازیابی مغزه، نیاز می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

- بمنظور اطمینان از معرف بودن نمونه‌های مغزه دیوارهای گمانه، استفاده از نتایج آنالیز نمونه‌برداری در محدوده‌های با درصد بازیابی مغزه بالای ۹۰ درصد دقت بیشتری خواهد داشت.
- نتایج چاه‌پیمایی را در محدوده‌هایی که درصد بازیابی مغزه آنها کمتر از ۹۰ درصد باشد؛ می‌توان مورد استفاده قرار داد.
- بکار بردن تخمین عیار با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی به روش حذف اثر توریوم و ضریب K معادل ۰/۰۷۹، دارای میانگین خطای مطلوب در حد صفر است ولی با توجه به واریانس خطای تخمین، جهت بالا بردن سطح اطمینان، نیاز به داده‌های مکمل است که جهت تأمین آن می‌توان نمونه‌برداری از مغزه در محدوده‌های کانی‌سازی و انجام حفاری‌های مجدد با لوله نمونه‌گیر سه جداره را پیشنهاد کرد، تا از این طریق سطح اطمینان اطلاعات تکمیلی برای طراحی معدنی در حد مطلوب باشد.
- در صورت استفاده از ضریب K در روشهای کالیبراسیون سونداژ حفاری با توجه به اینکه این روشها بر اساس نمونه‌های صرفاً اورانیوم‌دار انجام گرفته است، باید اثر توریوم نیز در نظر گرفته شود. بنابراین ضریب K به سبب وجود توریوم، طبق محاسبات انجام شده در این گزارش، برای محاسبه اورانیوم از ۰/۰۸۶ به ۰/۰۷۹ کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها:

۱- Core Recovery
۲- Composite
۳- Estimation Limits
۴- Triple Core Barrel

References:

1. L. Yadrong, H. Nhijun, Ch. Baoshu, Wang Lin-(Chinese Group)-"Final report estimation for ore zone no 1 & 2 in Saghand-AEOI,"June (1992).

2. ن.ع. نوروزی، م.ت. طهماسب‌نظامی، د. جمالی، "ارزیابی نمونه‌برداری از گمانه منطقه اکتشافی اورانیوم خشومی به روش زمین آماری،" مجله علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی (۱۳۸۳).

3. D. Michel, "Geostatistics ore reserve estimation," Elsevier Scientific Publishing Co (1982).

4. م.ر. قادری، م.ت. طهماسب‌نظامی، د. جمالی، "تهیه برنامه‌های کامپیوتری به زبان Visual Basic، با کاربرد معدنی،" گزارش پژوهشی شماره ۰۰۹-۸۴، تابستان (۱۳۸۴).

5. ب. سامانی، ع. سمساریلر، م. مشایخی، م.ر. احمدی، م.ج. شجاعی، ف. یگانی، م. قره‌خانی، "کاربرد تلفیق داده‌ها در اکتشاف منابع اورانیوم و روشهای استخراج و بهره‌برداری از معادن اورانیوم،" گزارش داخلی ۳۲۲، دفتر اکتشاف و استخراج، (اسفند ۱۳۷۱).

6. ب. سامانی، ع. سمساریلر، م. مشایخی، م.ر. احمدی، م.ج. شجاعی، ف. یگانی، م. قره‌خانی، "کاربرد تلفیق داده‌ها در اکتشاف منابع اورانیوم و روشهای استخراج و بهره‌برداری از معادن اورانیوم،" گزارش داخلی ۳۲۲، دفتر اکتشاف و استخراج، (اسفند ۱۳۷۱).

7. IAEA, "Borehole-Logging for Uranium Exploration," (1982).

8. E.H. Issaaks, R.M. Srivastava, "An introduction to applied Geostatistics," Oxford University (1987).

9. م.ر. قادری، م.ت. طهماسب‌نظامی، د. جمالی، ح. نوروزی‌انارکی، ی. قنبری، ش. نوریان، "تخمین ذخیره بلوک یک ناریگان،" گزارش داخلی شماره: ۰۰۸-۸۲، دفتر اکتشاف و استخراج (تابستان ۱۳۸۲).

10. ع.ا. حسنی‌پاک، م. شرف‌الدین، "تحلیل داده‌های اکتشافی،" دانشگاه تهران (زمستان ۱۳۸۰).

www.SID.ir