



اندازه‌گیری ^{90}Sr در خاکستر زغال سنگ و بررسی نتایج حاصل توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

مرتضی علی‌آبادی^{*}، جمشید عمیدی

امور حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۴۴۹۴-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده: اندازه‌گیری پرتوزایی ^{90}Sr در نمونه‌های زیست محیطی و مواد غذایی، همواره توأم با مشکلات و پیچیدگی‌های تجزیه و تحلیلی بوده است، و محققان برای طراحی روشهای اندازه‌گیری رادیوشیمیایی ساده و سریع، پیوسته کوشیده‌اند. در این مورد، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) دوره‌ای تحت عنوان "بررسی روشهای اندازه‌گیری ^{90}Sr در هرزه‌سنگ معدنی"^(۱) برای کشورهای داوطلب برگزار کرده است. امور حفاظت در برابر اشعه، به منظور ارتقای سطح تخصص کارشناسان خود اقدام به شرکت در این دوره نموده و در این رابطه، تعداد ۷ نمونه معدنی (خاکستر زغال‌سنگ)، یک نمونه محلول استاندارد و یک نمونه شاهد دریافت کرده است. روش رادیوشیمیایی به کار رفته برای اندازه‌گیری ^{90}Sr ، بر پایه جدا سازی ^{90}Y با "تری بوتیل فسفات (T.B.P)" و خالص سازی آن به وسیله رسوب‌گیری به صورت اکسالات بوده و برای اندازه‌گیری پرتوزایی ^{90}Y ، از روش "شمارش چرنکوف" با دستگاه شمارنده سنتیلاسیون مایع استفاده شده است. بازدهی شمارش چرنکوف $1 \pm 70\%$ درصد و کمترین مقدار قابل آشکارسازی، برای ۱۸۰ دقیقه شمارش با سطح اطمینان ۹۵ درصد، 0.0053 Bq بکرل بدست آمده است. بررسی نتایج اندازه‌گیری توسط AQCS^(۲) - IAEA انجام گرفته و پرتوزایی ^{90}Sr در نمونه‌های معدنی در محدوده $0.193 - 0.192 \text{ Bq}$ بکرل بوده است.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری استرنسیوم ^{90}Sr ، ایتربیوم ^{90}Y ، شمارش چرنکوف

Measurement of ^{90}Sr in Coal Fly Ash and Evaluation of Data by IAEA

M. Aliabadi*, J. Amidi

National Radiation Protection Department, AEOL, P.O.Box: 14155 - 4494, Tehran - Iran

Abstract: An improved method for measurement of ^{90}Sr was based on Tributylphosphate (TBP) extraction of the radio-Yttrium and oxalate precipitation to remove bulk Potassium. The Cerenkov radiation produced by the high energy beta emission of ^{90}Y was measured with 1220 Quantulus liquid scintillation spectrometer. The minimum detectable concentration (MDC) was 0.0053 Bq for 180 minute and 95% confidence level ^{90}Sr activity concentration in mineral samples was from 0.0192 to 0.193 Bq.

Keywords: ^{90}Sr measurement, Yttrium, cerenkov radiation

۱- مقدمه

^{90}Sr ($E_{\beta\text{max}} = 0.546 \text{ MeV}$)، یکی از سمی‌ترین رادیونوکلیدهای حاصل از انفجارها و بروز حوادث در رآکتور هسته‌ای است. از ۱۹۶۳ تا ۱۹۸۱، در اثر آزمایش‌های هسته‌ای مقدار ریزش ^{90}Sr بر سطح زمین حدود $5/7 \times 10^{13} \text{ Bq}$ برآورد شده است [۲]. پس از حادثه رآکتور هسته‌ای چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، این مقدار افزایش یافته است. ^{90}Sr یکی از عناصر شیمیایی قلبی‌خاکی بوده و به سهولت فرایند انتقال گیاه ← گاو، گوسفند ← شیر ← انسان را طی می‌کند. پس از ورود به بدن انسان بیشترین پرتوگیری را استخوان از ^{90}Sr و محصول واپاشی آن، ^{90}Y ($E_{\beta\text{max}} = 2/27 \text{ MeV}$)، دریافت می‌نماید. بنابراین اندازه‌گیری ^{90}Sr در گیاهان و مواد غذایی مورد مصرف انسان به لحاظ حفاظت رادیولوژیکی محیط زیست، از اهمیت زیادی برخوردار است.

روشهای رادیوشیمیایی اندازه‌گیری ^{90}Sr نسبت به روشهای کلاسیک سابق که بسیار طولانی و پرهزینه بوده‌اند به طوری که برای تجزیه و تحلیل یک نمونه خاک تا ۲۰ روز کاری وقت صرف می‌شده است، ساده‌تر و سریع‌ترند. این مورد مشکلات در بعضی از نمونه‌های زیست محیطی و مواد غذایی، با توجه به ساختار آنها بیشتر محسوس بوده است. از این رو شیمی‌دانان محقق همواره در جهت بهینه‌سازی روشهای رادیوشیمیایی کوشیده‌اند [۳].

یکی از جدیدترین روشهای رادیوشیمیایی برای اندازه‌گیری ^{90}Sr برپایه جداسازی ^{90}Y با تری بوتیل فسفات (TBP) نهاده شده است که بعد از جداسازی با TBP و خالص‌سازی آن، به صورت ترکیب اکسالات روی صافی رسوب داده می‌شود [۴]. آشکارسازی ^{90}Y را می‌توان با روش شمارش چرنکوف به وسیله دستگاه شمارنده سنتیلاسیون مایع انجام داد. امور حفاظت در برابر اشعه، به منظور کنترل کیفی روش رادیوشیمیایی و بررسی مهارتهای تخصصی، در یک پروژه مشترک با IAEA، تعداد ۹ نمونه تحت کد ۱۸۶C_۹ - ۱۸۶C_۱ دریافت و اقدام به تجزیه و تحلیل نمونه‌ها کرد. نتیجه اندازه‌گیری توسط IAEA بررسی شده است.

۲- فرایند رادیوشیمیایی اندازه‌گیری ^{90}Sr

۲-۱- آماده‌سازی نمونه

نمونه را پس از توزین، درون بوتله چینی کاملاً تمیز قرار داده و مدت ۶ ساعت در دمای 110°C در گرمخانه (آون) خشک کرده‌ایم و پس از سرد شدن توزین و درصد رطوبت آن را تعیین نموده‌ایم. سپس آن را مدت ۱۶ ساعت درون کوره در 600°C حرارت داده‌ایم تا مواد آلی و کربناتها تجزیه شوند. پس از سرد شدن، وزن خاکستر حاصل را تعیین کرده‌ایم.

۲-۲- انحلال نمونه

خاکستر حاصل را در بشر پیرکس ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر "حامل اتریم"^(۳) با غلظت $1 \text{ mg Y}^{3+}/\text{ml}$ به آن افزوده‌ایم و ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ نیز به آرامی اضافه کرده‌ایم. با قرار دادن یک شیشه ساعت روی بشر، آنرا روی گرمکن برقی مجهز به همزن مغناطیسی قرار داده و ضمن بهم‌خوردن، به مدت ۴ ساعت جوشانده‌ایم. سپس محلول سرد شده را روی کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و محلول زیر صافی را در یک بشر جمع‌آوری کرده‌ایم.

۲-۳- استخراج ایتريوم

در این مرحله ایتريوم به وسیله TBP که با اسید نیتریک ۶۵٪ متعادل شده است، از محلول اسیدی استخراج می‌گردد.

محلول زیرصافی پیش‌گفته را در قیف جداکننده ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و عمل استخراج را سه بار، و هر بار با ۱۰ میلی‌لیتر TBP به مدت ۳ دقیقه انجام داده‌ایم؛ زمان نخستین مرحله استخراج را یادداشت کرده‌ایم. فاز آلی TBP حاصل از سه مرحله استخراج را در یکی از قیفهای جداکننده ریخته و سه بار، هر بار با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت یک دقیقه به هم‌زده‌ایم، سپس فاز آلی را به لوله ۲۵۰ میلی‌لیتری سانتریفوژ منتقل کرده‌ایم.

۲-۴- جداسازی ایتريوم

۳۰ میلی‌لیتر اتانول ۴۶٪ را به محلول درون لوله سانتریفوژ افزوده و pH محتوی لوله را با محلول آمونیاک، بین ۹ و ۱۰ تنظیم کرده‌ایم. لوله را درون حمام آب گرم گذارده‌ایم و بعد

حدود ۴۰ میلی‌لیتر رسانیده و ۲۰۰ میلی‌گرم اسید اگزالیک به آن افزوده‌ایم و لوله سانتریفوژ را در حمام آب‌گرم قرار داده‌ایم تا اسید اگزالیک کاملاً حل شود. pH محلول را با آمونیاک در محدوده ۲/۳ الی ۲/۶ به دقت تنظیم کرده‌ایم؛ در این مرحله رسوب سفید رنگ ایتريوم اکسالات تشکیل می‌شود؛ کلسیوم و آهن و عناصر قلیایی رسوب نمی‌کنند.

۲-۷- تعیین بازده شیمیایی

بازده شیمیایی به روش وزن‌سنجی تعیین شده است. برای این منظور، یک برگ کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ را وزن کرده و روی آن رسوب اکسالات ایتريوم $[Y_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O]$ را گرفته‌ایم. پس از خشک شدن این رسوب، وزن خالص آن (W) را تعیین کرده‌ایم. مقدار درصد بازده شیمیایی آن (R_{ch}) از رابطه^{*} (۱) حساب شده است:

$$R_{ch} = \frac{W(mg)}{33/96} \times 100 \quad (1)$$

۳۳/۹۶ mg، وزن رسوب اکسالات ایتريوم با ۹ ملکول آب، معادل ۱۰ mg حامل ایتريوم (^{90}Y) است.

۲-۸- شمارش نمونه‌ها

الف- تهیه نمونه برای شمارش: رسوب اکسالات ایتريوم را به یک ویال ۲۰ میلی‌لیتری از جنس تفلون - مس انتقال داده و آن را در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۶ مولار حل کرده و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده به نمونه افزوده‌ایم و یکنواخت کرده‌ایم.

ب- تهیه نمونه^{*} شاهد: ترکیب شیمیایی نمونه شاهد مانند نمونه‌های اندازه‌گیری شده است. برای تهیه آن ۱۰ میلی‌لیتر "حامل ایتريوم" و ۲۰۰ میلی‌گرم اسید اگزالیک را به لوله سانتریفوژ ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال و لوله را در حمام آب گرم قرار داده‌ایم تا اسید اگزالیک حل شود؛ سپس با محلول آمونیاک غلیظ،

از ۲۰ دقیقه آنرا سرد نموده و ۱۰ دقیقه هم با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ کرده‌ایم؛ سپس محلول روی رسوب را تخلیه و رسوب را که حاوی هیدروکسید آهن و ایتريوم است در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۸ N به کمک حرارت دادن حل کرده‌ایم.

۲-۵- جداسازی ^{232}Th

نمونه‌های خاک ممکن است حاوی ^{232}Th باشد که با ساطع کردن ذره بتا، به ^{232}Pa تبدیل می‌شود. چون انرژی ذره بتا در این فرایند ۲/۳ MeV و نزدیک به انرژی ذره بتای ^{90}Y ($E_{\beta_{max}} = 2/27$ MeV) است که در شمارش نمونه تداخل می‌کند، لازم است Th از نمونه جداسازی شود. این عمل به وسیله رزین آنیونی از نوع $(1 \times 8) \text{ and } (200 \text{ Mesh}) \text{ CI}^-$ Dowex انجام می‌گیرد:

الف- ستون شیرداری به قطر داخلی تقریباً ۱ سانتیمتر را تا ارتفاع ۱۵ سانتیمتر از این رزین تبادل یونی پر کرده‌ایم (ابتدا و انتهای ستون، پشم شیشه قرار داده می‌شود).

ب- ۸۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۸ مولار را با سرعت یک تا دو میلی‌لیتر در دقیقه از ستون عبور داده‌ایم تا رزین به فرم نترات تبدیل شود (محلول زیر ستون دور ریخته می‌شود).

ج- محلول نمونه^{*} ۲-۴ را با همین سرعت از ستون عبور داده و در یک بشر تمیز ۲۵۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری کرده‌ایم؛ توریوم به صورت کمپلکس $[Th(NO_3)_6]^{-2}$ جذب رزین می‌شود و ایتريوم و آهن از ستون خارج می‌گردد. سپس ستون را با ۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۸ مولار شستشو داده و محلول زیر ستون را به ملایمت تبخیر کرده‌ایم تا خشک شود.

۲-۶- خالص سازی ^{90}Y

رسوب خشک شده را در کمترین مقدار ممکن اسید نیتریک ۶ مولار (۵ تا ۱۰ میلی‌لیتر) حل کرده و آنرا درون یک لوله سانتریفوژ ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته‌ایم و بشر را با مقداری آب دوبار تقطیر شده شستشو داده و به محلول درون لوله سانتریفوژ اضافه کرده‌ایم. حجم این محلول را با آب مقطر به

* تعداد آب تبلور همراه رسوب اکسالات از قاعده آمیزه‌شناختی (استوی کیومتری) مشخص پیروی نکرده و بین ۷ تا ۹ ملکول آب گزارش گردیده است و این موضوع از نقایص عمده تعیین بازده شیمیایی به روش وزن‌سنجی است.



شمارش که از رابطه (۳) حساب می شود [۵] (از خطای توزین به سبب ناچیز بودن صرف نظر شده است).

$$U_c(\%) = \frac{\sqrt{\frac{I_G + I_{Blank}}{T_G} + \frac{I_{Blank}}{T_{Blank}}}}{I_G - I_{Blank}} \times 100 \quad (3)$$

درصد خطای بازدهی دستگاه L.S.C: $U_{eff}(\%) = \sqrt{U_s^2 + U_c^2}$

درصد خطای شمارش $U_c(\%)$:

I_G : شمارش کل نمونه بر حسب CPM

I : شمارش مربوط به نمونه شاهد بر حسب CPM

$U_s(\%)$: درصد خطای محلول استاندارد:

T_G : مدت شمارش نمونه بر حسب دقیقه:

T_B : مدت شمارش شاهد بر حسب دقیقه:

۳- نتایج اندازه گیری ^{87}Sr در نمونه ها و مقایسه آن با

مقادیر مورد قبول IAEA

تعداد ۹ نمونه با کد $^{187}\text{C}_1 - ^{187}\text{C}_9$ ، توسط IAEA برای امور حفاظت در برابر اشعه ارسال شد که سه نمونه $^{187}\text{C}_1 - ^{187}\text{C}_3$ با پرتوزایی پایین، سه نمونه $^{187}\text{C}_4 - ^{187}\text{C}_6$ با پرتوزایی متوسط، نمونه $^{187}\text{C}_7$ با پرتوزایی بالا، نمونه $^{187}\text{C}_8$ به عنوان شاهد (Blank) و نمونه $^{187}\text{C}_9$ یک آمپول حاوی محلول استاندارد ^{87}Sr ، به عنوان محلول استاندارد بوده است. جدول ۱ مقایسه نتایج اندازه گیری در بخش رادیواکولوژی محیط زیست - امور حفاظت در برابر اشعه و مقادیر پذیرفته شده توسط IAEA را نشان می دهد.

۳-۱- چگونگی بررسی نتایج توسط IAEA

واحد کنترل کیفی روشهای تحلیلی AQCS (Analytical Quality Control Service) آژانس بین المللی انرژی اتمی، نتایج اندازه گیری ^{87}Sr در این نمونه ها را مورد بررسی قرار داده است. از دیدگاه این واحد، هنگامی نتیجه یک اندازه گیری پذیرفته می شود که صحت و دقت اندازه گیری شرایط لازم را داشته باشند. برای بررسی صحت و دقت اندازه گیری ها فرمولهای زیر توسط AQCS اعمال شده اند: - صحت اندازه گیری به شرطی مورد قبول است که:

$$\left| \text{Value}_{IAEA} - \text{Value}_{Analyst} \right| \leq 3.29 \times \sqrt{\text{unc}_{IAEA}^2 + \text{unc}_{Analyst}^2}$$

pH محلول را در محدوده ۹ تا ۱۰ تنظیم کرده ایم.

محلول حاوی رسوب اکسالات ایتريوم را با کاغذ صافی واتمن نمره ۴۲ صاف کرده و رسوب و کاغذ صافی را درون یک ویال ۲۰ میلی لیتری از نوع تفلون - مس ریخته و پس از انحلال رسوب در ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۶ مولار، ۱۰ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده به آن افزوده و یکنواخت کرده ایم.

ج- تعیین بازده شمارش چرنکوف: دستگاه شمارنده

سنتیلاسیون مایع مورد استفاده از نوع Quantulus ultra low level، ۱۲۲۰ بوده است.

برای تعیین بازده شمارش چرنکوف با این دستگاه، یک چشمه استاندارد $^{87}\text{Sr} / ^{87}\text{Y}$ بکار رفته است و چون بازده شمارش چرنکوف برای ^{87}Sr با انرژی

$E_{\beta \text{ max}} = 546 \text{ KeV}$ حدود ۰/۶٪ است، نیازی به جداسازی شیمیایی ^{87}Sr از این چشمه استاندارد نیست.

مقدار معینی از محلول استاندارد ($^{87}\text{Sr} / ^{87}\text{Y}$) را که پرتوزایی آن مشخص است، به درون ویال حاوی ۱۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار وارد و آنرا یکنواخت کرده ایم. نمونه شاهد همراه سایر نمونه ها شمارش گردیده است. بدین ترتیب، بازده شمارش چرنکوف برای ^{87}Y ، از رابطه (۲) حساب می شود:

$$E_{ff} = \frac{(I_G - I_{blank})/60}{a_0} \times 100 \quad (2)$$

که در آن:

I_G : (تعداد شمارش نمونه در دقیقه) CPM

I_{blank} : (تعداد شمارش نمونه شاهد در دقیقه) CPM

a_0 : پرتوزایی محلول استاندارد $^{87}\text{Sr} / ^{87}\text{Y}$ بر حسب Bq
از این رابطه بازده شمارش چرنکوف $1 \pm 70\%$ درصد بدست آمده است.

برای محاسبه خطای تعیین بازده شمارش چرنکوف، لازم است عوامل ایجادکننده خطا شناسایی و سهم خطای آنها تعیین شود. در این مورد، خطاها عبارتند از: خطای محلول استاندارد که طبق گواهینامه مربوط، ۲/۴٪ است؛ خطای

جدول ۱ - نتایج اندازه‌گیری ^{90}Sr و مقایسه آنها با نتایج مورد قبول IAEA

کد نمونه	تراز نسبی پرتوزایی ^{90}Sr	واحد پرتوزایی	داده‌های IAEA پرتوزایی	خطا	نتایج اندازه‌گیری شده توسط NRPD		خطای نسبی %
					پرتوزایی	خطا	
۱۸۱C _۱	Low activity	Bq/Sample	۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۵۷	۱/۵۶
۱۸۱C _۲	Low activity	Bq/Sample	۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۶۱	-۲۱/۸۷
۱۸۱C _۳	Low activity	Bq/Sample	۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۶۸	-۱۲/۵۰
۱۸۱C _۴	Medium activity	Bq/Sample	۰/۰۹۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۸۳۶	۰/۰۰۹۴	-۱۳/۸۱
۱۸۱C _۵	Medium activity	Bq/Sample	۰/۱۴۴	۰/۰۰۱۹	۰/۱۰۳۴	۰/۰۰۹۰	-۲۸/۱۹
۱۸۱C _۶	Medium activity	Bq/Sample	۰/۱۹۳	۰/۰۰۲۶	۰/۱۸۹۲	۰/۰۰۹۳	-۱/۹۷
۱۸۱C _۷	High activity	Bq/Sample	۴/۸۰	۰/۰۲۳	۴/۵۶۱	۰/۱۱۵۰	-۴/۹۸
۱۸۱C _۸	Blank Sample	-	-	-	۰/۰۶۳۳	۰/۰۱۷	-
۱۸۱C _۹	Standard Solution	Bq/gr	۱۹/۴۶	۰/۲۶	۱۹/۴۶	۰/۴۶۸۱	۰

* نتایج اندازه‌گیری در بخش رادیواکولوژی محیط زیست - امور حفاظت در برابر اشعه

مورد قبول آژانس بین‌المللی انرژی اتمی است که به لحاظ صحت و دقت شرایط لازم تدوین شده را داشته باشند. نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهند که دو نمونه ۱۸۱C_۲ و ۱۸۱C_۳، گرچه از نظر صحت پذیرفته شده‌اند ولی چون دقت لازم را (بیشتر از ۳۰٪ برای نمونه‌های با پرتوزایی کم) نداشته‌اند نتیجه اندازه‌گیری، مردود شناخته شده است. دقت اندازه‌گیری بستگی زیادی به ابزار و دستگاه‌های مورد استفاده و چگونگی بکاربردن آنها دارد؛ بررسی نتایج نشان می‌دهد که در مورد نمونه‌هایی با پرتوزایی پایین، قسمت عمده خطاها، از سنج‌بندی (کالیبراسیون) دستگاه اندازه‌گیری و مدت شمارش نمونه نشأت می‌گیرد. چنانچه مدت شمارش نمونه‌ها مناسب انتخاب شود، می‌توان به دقت مطلوب دست یافت. بنابراین، بهتر این است که دستگاه‌های شمارش مجهز به نرم‌افزاری باشند که شمارش نمونه‌ها را تا رسیدن به کمترین خطای پذیرفتنی ادامه دهد و یا تحلیلگر، زمان شمارش نمونه را متناسب با دقت مورد نیاز محاسبه نماید.

$$\frac{|Value_{IAEA} - Value_{Analyst}|}{\sqrt{unc_{IAEA}^2 + unc_{Analyst}^2}} \leq 3.29 \quad \text{یا:}$$

- دقت اندازه‌گیری که به سطح پرتوزایی ^{90}Sr در نمونه بستگی دارد به شرطی پذیرفته می‌شود که مقدار

$$\sqrt{\left(\frac{unc_{IAEA}}{Value_{IAEA}}\right)^2 + \left(\frac{unc_{Analyst}}{Value_{Analyst}}\right)^2} \times 100 \%$$

برای نمونه‌هایی با سطح پرتوزایی پایین (نمونه‌های ۱۸۱C_۱-۱۸۱C_۳) کمتر یا مساوی ۳۰٪، برای نمونه‌هایی با سطح پرتوزایی متوسط (نمونه‌های ۱۸۱C_۴-۱۸۱C_۶) کمتر یا مساوی ۲۰٪، برای نمونه‌هایی با سطح پرتوزایی بالا (نمونه‌های ۱۸۱C_۷-۱۸۱C_۹) کمتر یا مساوی ۱۰٪ باشد.

با بکاربردن این فرمول‌بندی‌ها، حاصل بررسی نتایج اندازه‌گیری‌ها توسط AQCS، در جدول ۲ درج شده است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این کار تحقیقی نشان می‌دهد که اندازه‌گیری پرتوزایی عناصر پرتوزا در نمونه‌های زیست محیطی مورد نظر در صورتی

جدول ۲ - نتایج بررسی اندازه‌گیری ^{90}Sr توسط AQCS - IAEA

نتیجه نهایی	بررسی دقت اندازه‌گیری		بررسی صحت اندازه‌گیری			کد نمونه
	نتیجه	[%]	نتیجه	$3.29 \times \sqrt{unc.^2_{IAEA} + unc.^2_{Analyst}}$	$Value_{IAEA} - Value_{Analyst}$	
قبول	قبول	۲۹/۵	قبول	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۱۸۱C _۱
رد	رد	۴۰/۹	قبول	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۱۸۱C _۲
رد	رد	۴۰/۷	قبول	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۱۸۱C _۳
قبول	قبول	۱۱/۴	قبول	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۱۸۱C _۴
رد	قبول	۸/۸	رد	۰/۰۲۸	۰/۰۴۹	۱۸۱C _۵
قبول	قبول	۵/۱	قبول	۰/۰۲۹	۰/۰۱۹	۱۸۱C _۶
رد	قبول	۲/۸	رد	۰/۴۰۳	۰/۶۲۱	۱۸۱C _۷
-	-	-	-	-	-	۱۸۱C _۸
قبول	قبول	۲/۷	قبول	۱/۶۷۰	۱/۱۶۹	۱۸۱C _۹

بی‌نوشت‌ها:

- ۱ - evaluation of methods for ^{90}Sr measurement in a mineral matrix
 ۲ - analytical quality control service
 ۳ - Yttrium carrier

References:

1. B. Carmen, "The use of Cerenkov radiation for the assay of radiostrontium in aqueous solution," *Int. Appl. Radiat. Isot.* **30**, 97-100 (1979).
2. S. Zhu, A. Ghods, J. C. Veselsky, A. Mirna and R. Schelenz, "Interference of ^{91}Y with the rapid determination of ^{90}Sr originating from the Chernobyl fallout debris," *Radiochemical Acta* **51**, 195-198 (1990).
3. N. Vajda, A. Ghods, E. Cooper, P. R. Danesi, "Determination of radiostrontium in soil samples using a Crown Ether," *Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, Articles*, **162**, No.2 307-323 (1992).
4. J. J. Larosa, E. L. Cooper, A. Ghods, V. Jansta, M. Makarewicz, S. Shawky, N. Vajda, "Radiochemical methods used by the IAEA's laboratories at Seibersdorf for the determination of ^{90}Sr , ^{144}Ce and Pu radionuclides in environmental samples collected for the international Chernobyl project," *J. Environ. Radioactivity*, **17**, 183-209 (1992).
5. J. Kragten, "Calculating standard deviation and confidence intervals with a universally applicable spreadsheet technique," *Analyst*, **119**, 2161-2165 (1994).