



## اندازه‌گیری $^{90}\text{Sr}$ در خاکستر زغال سنگ و بررسی نتایج حاصل توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی

مرتضی علی آبادی\*، جمشید عمیدی

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

**چکیده:** اندازه‌گیری پرتوزایی  $^{90}\text{Sr}$  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 کوشیده اند. در این مورد، آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA) دوره‌ای تحت عنوان "بررسی روشهای اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  در هرزه‌سنگ معدنی"<sup>(۱)</sup> 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  $^{90}\text{Sr}$ ، بر پایه جدا سازی  $^{90}\text{Y}$  با "تری بوتیل فسفات (T.B.P)" و خالص‌سازی آن به وسیله رسوبگیری به صورت اکسالات بوده و برای اندازه‌گیری پرتوزایی  $^{90}\text{Y}$  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،  $0.0053$  بکرل بدست آمده است. بررسی نتایج اندازه‌گیری توسط AQCS<sup>(۲)</sup> - IAEA انجام گرفته و پرتوزایی  $^{90}\text{Sr}$  در نمونه‌های معدنی در محدوده  $0.0192 - 0.193$  بکرل بوده است.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری استرنسیوم ۹۰، ایتريوم ۹۰، شمارش چرنکوف

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

M. Aliabadi\*, J. Amidi

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

**Abstract:** An improved method for measurement of  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Y}$  was measured with 1220 Quantulus liquid scintillation spectrometer. The minimum detectable concentration (MDC) was 0.0053 Bq for 180 minute and 95% confidence level  $^{90}\text{Sr}$  activity concentration in mineral samples was from 0.0192 to 0.193 Bq.

**Keywords:**  $^{90}\text{Sr}$  measurement, Yttrium, cerenkov radiation



دریافت و اقدام به تجزیه و نمونه‌ها کرد. نتیجه اندازه‌گیری توسط IAEA بررسی شده است.

## ۱- مقدمه

$^{90}\text{Sr}$  ( $E_{\beta\text{max}} = 0.546 \text{ MeV}$ ) یکی از سمی‌ترین رادیونوکلیدهای حاصل از انفجارها و بروز حوادث در رآکتور هسته‌ای است. از ۱۹۶۳ تا ۱۹۸۱، در اثر آزمایش‌های هسته‌ای مقدار ریزش  $^{90}\text{Sr}$  بر سطح زمین حدود  $10^7 \times 0.7 \text{ Bq}$  برآورد شده است [۲]. پس از حادثه رآکتور هسته‌ای چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، این مقدار افزایش یافته است.  $^{90}\text{Sr}$  یکی از عناصر شیمیایی قلیایی خاکی 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  $^{90}\text{Sr}$  و محصول واپاشی آن،  $^{90}\text{Y}$  ( $2.27 \text{ MeV}$ )  $E_{\beta\text{max}}$  دریافت می‌نماید. بنابراین اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  در گیاهان و مواد غذایی مورد مصرف انسان به لحاظ حفاظت رادیولوژیکی محیط زیست، از اهمیت زیادی برخوردار است.

روشهای رادیوشیمیایی اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  برپایه جداسازی  $^{90}\text{Y}$  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  $^{90}\text{Y}$  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 ۱۸۱C<sub>۹</sub> - ۱۸۱C<sub>۱</sub>

## ۲- فرایند رادیوشیمیایی اندازه

### گیری $^{90}\text{Sr}$

#### ۲-۱- آماده سازی نمونه

نمونه را پس از توزین، درون بوتله چینی کاملاً تمیز قرار داده

و مدت ۶ ساعت در دمای  $110^\circ\text{C}$  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  $600^\circ\text{C}$  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"<sup>(۲)</sup> با غلظت  $1 \text{ mg Y}^{2+}/\text{ml}$  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 بهم خوردن، 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 جمع آوری 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.

#### ۴-۲-۴- 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



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

#### ۴-۵-۲- جداسازی $^{232}\text{Th}$

نمونه‌های خاک ممکن است حاوی  $^{232}\text{Th}$  باشد که با ساطع کردن ذره بتا، به  $^{232}\text{Pa}$  تبدیل می‌شود. چون انرژی ذره بتا در این فرایند  $2/3 \text{ MeV}$  و نزدیک به انرژی ذره بتای  $^{90}\text{Y}$  ( $E_{\beta} = 2/27 \text{ MeV}$ ) است که در شمارش نمونه تداخل می‌کند، لازم است Th از نمونه جداسازی شود. این عمل به وسیله رسوب آنیونی از نوع  $\text{Cl}^-$  (۲۰۰ Mesh) - ۱۰۰ و ۱×۸ Dowex انجام می‌گیرد:

الف- ستون شیرداری به قطر داخلی تقریباً ۱ سانتیمتر را تا ارتفاع ۱۵ سانتیمتر از این رسوب 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 رسوب به فرم

نیترات 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  $[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]$  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.

#### ۲-۲-۶- خالص سازی $^{90}\text{Y}$

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 میلی‌لیتر 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

۳

آب مقطر به

مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۲۷، ۱۳۸۲

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

انحلال رسوب در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۶ مولار، ۱۰ میلی‌لیتر 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  $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$  بکار رفته است و چون بازده شمارش چرنکوف برای  $^{90}\text{Sr}$  با انرژی  $E_{\beta^- \text{max}} = 546 \text{ KeV}$  حدود ۶٪ است، نیازی به جداسازی شیمیایی  $^{90}\text{Sr}$  از این چشمه استاندارد نیست.

مقدار معینی از محلول استاندارد ( $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$ ) را که پرتوزایی آن مشخص است، به درون ویال حاوی ۱۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار وارد و آنرا یکنواخت کرده ایم. نمونه شاهد همراه سایر نمونه‌ها شمارش گردیده است. بدین ترتیب، بازده شمارش چرنکوف برای  $^{90}\text{Y}$ ، از رابطه (۲) حساب می‌شود:

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

که در آن:

(تعداد شمارش نمونه در دقیقه) CPM

$I_G$ : (تعداد شمارش نمونه شاهد در دقیقه) CPM

$I_{\text{blank}}$ : پرتوزایی محلول استاندارد  $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$  بر حسب  $a_0$  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

شماره ۴۲ را وزن کرده و روی آن رسوب اکسالات ایتریوم  $[Y_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O]$  را گرفته ایم. پس از خشک شدن این رسوب، وزن خالص آن (W) را تعیین کرده ایم. مقدار درصد بازده شیمیایی آن ( $R_{\text{ch}}$ ) از رابطه (۱) حساب شده است:

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

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

## ۲-۱- شمارش نمونه‌ها

الف- تهیه نمونه برای شمارش: رسوب اکسالات ایتریوم 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 افزوده ایم و یکنواخت کرده ایم.

ب- تهیه نمونه شاهد: ترکیب شیمیایی نمونه شاهد مانند نمونه‌های اندازه‌گیری شده است. برای تهیه آن ۱۰ میلی‌لیتر "حامل ایتریوم" و ۲۰۰ میلی‌گرم اسید اگزالیک را به لوله سانتریفوژ ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال و لوله را در حمام آب گرم قرار داده ایم تا اسید اگزالیک حل شود؛ سپس با محلول آمونیاک غلیظ، اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  در خاکسترزغال سنگ و بررسی...

pH محلول را در محدوده ۹ تا ۱۰ تنظیم کرده ایم. محلول حاوی رسوب اکسالات ایتریوم را با کاغذ صافی واتمن نمره ۴۲ صاف کرده و رسوب و کاغذ صافی را درون یک ویال ۲۰ میلی‌لیتری از نوع تفلون - مس ریخته و پس از

\*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.

شناسایی و سهم خطای آنها تعیین شود. در این مورد، خطاها عبارتند از: خطای محلول استاندارد که طبق گواهینامه مربوط، ۲/۴٪ است؛ خطای

شمارش که از رابطه (۳) حساب می‌شود [۵] (از خطای توزین به سبب ناچیز بودن صرفنظر شده است).

(۳)

پایین، سه نمونه باپرتوزایی متوسط،  $^{186}\text{C}_7$  -  $^{186}\text{C}_8$  -  $^{186}\text{C}_9$  باپرتوزایی بالا، نمونه  $^{186}\text{C}_8$  به عنوان شاهد (Blank) و نمونه  $^{186}\text{C}_9$  یک آمپول حاوی محلول استاندارد  $^{90}\text{Sr}$ ، به عنوان محلول استاندارد بوده است. جدول ۱ مقایسه نتایج اندازه‌گیری در بخش رادیواکولوژی محیط زیست - امور حفاظت در برابر اشعه و مقادیر پذیرفته شده توسط IAEA را نشان می‌دهد.

**نگی بررسی نتایج توسط IAEA**  
کنترل روشهای  
فنی  
تحلیلی

**AQCS (Analytical Quality Control Service)**  
آژانس بین المللی انرژی اتمی، نتایج اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  در این نمونه‌ها را مورد بررسی قرار داده است. از دیدگاه این واحد، هنگامی نتیجه یک اندازه‌گیری پذیرفته می‌شود که صحت و دقت اندازه‌گیری شرایط لازم را داشته باشند. برای بررسی صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها

فرمولهای زیر توسط AQCS اعمال  
$$|Value_{IAEA} - Value_{Analyst}| \leq 3.29 \times \sqrt{unc_{IAEA} + unc_{Analyst}}$$
  
- صحت اندازه‌گیری به شرطی مورد قبول است که:

درصد خطای بازدهی  $U_{BR}(\%) = \sqrt{U_s^2 + U_c^2}$   
درصد خطای شمارش  $U_c(\%)$ :

شمارش کل نمونه بر حسب CPM  
 $I_G$ :

شمارش مربوط به نمونه شاهد بر حسب CPM  
 $I$ :

درصد خطای محلول استاندارد:  
 $U_s(\%)$

مدت شمارش نمونه بر حسب دقیقه:  
 $T_G$

مدت شمارش شاهد بر حسب دقیقه:  
 $T_B$

۳- نتایج اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  در نمونه‌ها و مقایسه آن با مقادیر مورد قبول IAEA  
تعداد ۹ نمونه با کد  $^{186}\text{C}_9$ -

۴

$^{186}\text{C}_1$ ، توسط IAEA برای امور حفاظت در برابر اشعه ارسال شد که سه نمونه

$^{186}\text{C}_1$  -  $^{186}\text{C}_3$  با پرتوزایی جدول ۱ - نتایج اندازه‌گیری  $^{90}\text{Sr}$  و مقایسه آنها با نتایج مورد قبول IAEA

مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۲۷، ۱۳۸۲



خطای نسبی %	*نتایج اندازه گیری شده توسط NRPD		خطا	داده های IAEA پرتوزایی	واحد پرتوزایی	تراز نسبی پرتوزایی <sup>90</sup> Sr	کد نمونه
	خطا	پرتوزایی					
۱/۵۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۹۲	Bq/Sample	Low activity	۱۸۱C <sub>۱</sub>
-۲۱/۸۷	۰/۰۰۶۱	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۹۲	Bq/Sample	Low activity	۱۸۱C <sub>۲</sub>
-۱۲/۵۰	۰/۰۰۶۸	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۱۹۲	Bq/Sample	Low activity	۱۸۱C <sub>۳</sub>
-۱۳/۸۱	۰/۰۰۹۴	۰/۰۸۳۶	۰/۰۰۱۳	۰/۰۹۷	Bq/Sample	Medium activity	۱۸۱C <sub>۴</sub>
-۲۸/۱۹	۰/۰۰۹۰	۰/۱۰۳۴	۰/۰۰۱۹	۰/۱۴۴	Bq/Sample	Medium activity	۱۸۱C <sub>۵</sub>
-۱/۹۷	۰/۰۰۹۳	۰/۱۸۹۲	۰/۰۰۲۶	۰/۱۹۳	Bq/Sample	Medium activity	۱۸۱C <sub>۶</sub>
-۴/۹۸	۰/۱۱۵۰	۴/۵۶۱	۰/۰۶۳	۴/۸۰	Bq/Sample	High activity	۱۸۱C <sub>۷</sub>
-	۰/۰۱۷	۰/۰۶۳۳	-	-	-	Blank Sample	۱۸۱C <sub>۸</sub>
۰	۰/۴۶۸۱	۱۹/۴۶	۰/۲۶	۱۹/۴۶	Bq/gr	Standard Solution	۱۸۱C <sub>۹</sub>

\* نتایج اندازه گیری در بخش رادیواکولوژی محیط زیست - امور حفاظت در برابر اشعه

عناصر پرتوزا در نمونه های زیست محیطی مورد نظر در صورتی مورد قبول آژانس بین المللی انرژی اتمی است که به لحاظ صحت و دقت شرایط لازم تدوین شده را داشته باشند. نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می دهند که دو نمونه ۱۸۱C<sub>۲</sub> و ۱۸۱C<sub>۳</sub>، گرچه از نظر صحت پذیرفته شده اند ولی چون دقت لازم را (بیشتر از ۳۰٪ برای نمونه های با پرتوزایی کم) نداشته اند نتیجه اندازه گیری، مردود شناخته شده است. دقت اندازه گیری بستگی زیادی به ابزار و دستگاه های مورد استفاده و چگونگی بکاربردن آنها دارد؛ بررسی نتایج نشان می دهد که در مورد نمونه هایی با پرتوزایی پایین، قسمت عمده خطاها، از سنجه بندی (کالیبراسیون) دستگاه اندازه گیری و مدت شمارش نمونه نشأت می گیرد. چنانچه مدت شمارش نمونه ها مناسب انتخاب شود، می توان به دقت مطلوب دست یافت. بنابراین، بهتر این است که دستگاه های شمارش مجهز به نرم افزاری باشند که شمارش نمونه ها را تا رسیدن به کمترین خطای پذیرفتنی ادامه دهد و یا تحلیلگر، زمان شمارش نمونه را

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

- دقت اندازه گیری که به سطح پرتوزایی <sup>90</sup>Sr در نمونه بستگی دارد به شرطی

$$\sqrt{\left(\frac{unc_{IAEA}}{Value_{IAEA}}\right)^2 + \left(\frac{unc_{Analyst}}{Value_{Analyst}}\right)^2} \times 100 \leq 3.29$$

برای نمونه هایی با سطح پرتوزایی پایین (نمونه های ۱۸۱C<sub>۱</sub>-۱۸۱C<sub>۳</sub>) کمتر یا مساوی ۳۰٪، برای نمونه هایی با سطح پرتوزایی متوسط (نمونه های ۱۸۱C<sub>۴</sub>-۱۸۱C<sub>۶</sub>) کمتر یا مساوی ۲۰٪، برای نمونه هایی با سطح پرتوزایی بالا (نمونه های ۱۸۱C<sub>۷</sub>-۱۸۱C<sub>۹</sub>) کمتر یا مساوی ۱۰٪ باشد. با بکاربردن این فرمول بندی ها، حاصل بررسی نتایج اندازه گیری ها توسط AQCS، در جدول ۲ درج شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج این کار تحقیقی نشان می دهد که اندازه گیری پرتوزایی



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

نتیجه نهایی	بررسی دقت اندازه‌گیری		بررسی سخت اندازه‌گیری			کد نمونه
	نتیجه	[ % ]	نتیجه			
قبول	قبول	۲۹/۵	قبول	$3.29 \times \sqrt{unc.^2_{IAEA} + unc.^2_{Analyst}}$	$\left  \frac{Valu_{IAEA} - Valu_{Analyst}}{Valu_{IAEA}} \right $	۱۸۱C <sub>۱</sub>
رد	رد	۴۰/۹	قبول	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۱۸۱C <sub>۲</sub>
رد	رد	۴۰/۷	قبول	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۱۸۱C <sub>۳</sub>
قبول	قبول	۱۱/۴	قبول	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۱۸۱C <sub>۴</sub>
رد	قبول	۸/۸	رد	۰/۰۲۸	۰/۰۴۹	۱۸۱C <sub>۵</sub>
قبول	قبول	۵/۱	قبول	۰/۰۲۹	۰/۰۱۹	۱۸۱C <sub>۶</sub>
رد	قبول	۲/۸	رد	۰/۴۰۳	۰/۶۲۱	۱۸۱C <sub>۷</sub>
-	-	-	-	-	-	۱۸۱C <sub>۸</sub>
قبول	قبول	۲/۷	قبول	۱/۶۷۰	۱/۱۶۹	۱۸۱C <sub>۹</sub>

### پی‌نوشت‌ها :

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

### References :

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



