



سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

☎ ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

☎ ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۵۴۴۲-۳

چاپ اول

۱۳۹۷

INSO

15442-3

2018

1st Edition

Identical with
ISO 13165-3:
2016

کیفیت آب — رادیم-۲۲۶ — قسمت ۳:
روش آزمون با استفاده از هم‌رسوبی و
طیف‌سنجی پرتو-گاما

Water quality — Radium-226 —
Part 3:
Test method using coprecipitation and
gamma-spectrometry

ICS: 13.060.60; 17.240

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۵۴۴۲ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« کیفیت آب — رادیم-۲۲۶ — قسمت ۳: روش آزمون با استفاده از هم‌رسوبی و طیف‌سنجی

پرتو-گاما»

رئیس:

مقدم، نیما

(کارشناسی مهندسی شیمی)

سمت و/یا محل اشتغال:

شرکت آب و فاضلاب استان تهران

دبیر:

سیف‌آبادی، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)

سازمان انرژی اتمی ایران

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آملی دیوا، میترا

(دکتری شیمی تجزیه)

آزمایشگاه کاربردی طیف‌سنجی دانشگاه شریف

احمدی‌نو، جعفر

(کارشناسی ارشد شیمی)

سازمان انرژی اتمی ایران

بهراد فر، مصطفی

(کارشناسی ارشد فیزیک)

مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور

جهانی بهنمیری، اصغر

(کارشناسی ارشد آب و فاضلاب)

وزارت نیرو — شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب

خیری، اقدس

(کارشناسی مهندسی بهداشت محیط)

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی — مرکز سلامت محیط
کار

دهقان، مرتضی

(کارشناسی ارشد فیزیک)

نیروگاه اتمی بوشهر

سمیع‌پور، فرهاد

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

شعبانی، آرمان

(کارشناسی مهندسی شیمی)

شرکت پالاب صنعت پارس

عربلو، رضا

(کارشناسی فیزیک)

پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

عین قلائی، محمد رضا

(کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)

ملک سیاه چشم، زهرا

(کارشناسی ارشد علوم آزمایشگاهی)

هاشمی کیا، ابراهیم

(کارشناسی ارشد فیزیک)

ویراستار:

بابازاده، فرشته

(کارشناسی ارشد شیمی)

سمت و/یا محل اشتغال:

سازمان حفاظت محیط زیست - معاونت محیط زیست انسانی

سازمان حفاظت محیط زیست - دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست

سازمان انرژی اتمی ایران

کارشناس استاندارد

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ط	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ نمادها
۵	۵ اصول اندازه‌گیری
۵	۶ واکنش‌گرها و تجهیزات
۵	۱-۶ واکنش‌گرها
۶	۲-۶ تجهیزات
۶	۷ نمونه‌برداری
۷	۱-۷ جمع‌آوری نمونه
۷	۲-۷ حمل و نقل و انبارش نمونه
۷	۸ روش‌های اجرایی
۷	۱-۸ آماده‌سازی نمونه شاهد
۸	۲-۸ آماده‌سازی نمونه
۸	۳-۸ روش شمارش
۹	۹ برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت
۹	۱-۹ کلیات
۹	۲-۹ کمیت‌های مؤثر
۹	۳-۹ تصدیق تجهیزات
۱۰	۴-۹ تصدیق روش
۱۰	۵-۹ اثبات توانمندی فرد آنالیز کننده
۱۰	۱۰ گزارش آزمون
۱۰	۱-۱۰ کلیات
۱۰	۲-۱۰ غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ محلول در آب
۱۱	۳-۱۰ عدم قطعیت استاندارد غلظت پرتوزائی
۱۱	۴-۱۰ آستانه تصمیم
۱۱	۵-۱۰ حد آشکارسازی

صفحه	عنوان
۱۲	۱۰-۶ حدود بازه اطمینان
۱۲	۱۰-۷ تصحیحات برای سهم‌های ناشی از سایر هسته‌های پرتوزا و [تابش] زمینه
۱۲	۱۰-۷-۱ کلیات
۱۳	۱۰-۷-۲ سهم ناشی از سایر هسته‌های پرتوزا
۱۴	۱۰-۷-۳ سهم ناشی از تابش زمینه
۱۴	۱۱ گزارش آزمون
۱۶	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) اورانیم و زنجیره واپاشی آن
۱۸	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «کیفیت آب- رادیم-۲۲۶ - قسمت ۳: روش آزمون با استفاده از هم‌رسوبی و طیف‌سنجی پرتو-گاما» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در دومین کمیته ملی استاندارد آب و آبفا مورخ ۱۳۹۷/۰۴/۲۷ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 13165-3: 2016, Water quality— Radium-226— Part 3: Test method using coprecipitation and gamma-spectrometry.

مقدمه

پرتوزایی موجود در محیط زیست، ناشی از چندین رُخداد طبیعی و همچنین منابع مصنوعی می باشد. بنابراین منابع آبی (مانند آب های سطحی، آب های زیرزمینی و آب دریا) هم می توانند حاوی هسته های پرتوزای^۱ طبیعی، مصنوعی و یا هردو باشند:

- هسته های پرتوزای طبیعی شامل پتاسیم-۴۰ و آن هایی که از زنجیره واپاشی توریم و اورانیوم نشأت می گیرند، به ویژه رادیم-۲۲۶، رادیم-۲۲۸، اورانیوم-۲۳۴، اورانیوم-۲۳۸ و سرب-۲۱۰ می توانند در اثر عوامل طبیعی (به عنوان مثال: جذب از خاک و یا شسته شدن به وسیله آب باران) و یا رهاسازی مواد پرتوزا ناشی از فرآیندهای تکنولوژیکی (مانند معدن کاری و فرآوری شن های معدنی و یا تولید و مصرف کودهای فسفاته) که در آن ها مواد پرتوزای طبیعی وجود دارد.

- هسته های پرتوزای ساخت انسان مانند عناصر با عدد اتمی بیشتر از اورانیوم (آمرسیم، پلوتونیم، نپتونیم، کوریم)، تریتمیم، کربن-۱۴، استرانسیم-۹۰ و برخی هسته های پرتوزای گسیل کننده گاما، به دلیل رهاسازی های مجاز رایج به محیط زیست در مقادیر کم در پساب های رها شده از تأسیسات چرخه سوخت هسته ای، می توانند در آب های طبیعی یافت شوند. همچنین این عناصر به دلیل استفاده به شکل باز^۲ در کاربردهای پزشکی یا صنعتی به محیط رها می شوند. این عناصر در نتیجه ریزش های جوی ناشی از انفجارات هسته ای و یا سوانحی مانند آن چه که در چرنوبیل یا فوکوشیما روی داد، نیز یافت می شوند.

بنابراین ممکن است آب آشامیدنی حاوی غلظت پرتوزایی از هسته های پرتوزا باشد که می تواند خطری برای سلامتی انسان باشد. به منظور ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی (شامل آب های معدنی و آب چشمه ها) برحسب مقدار هسته های پرتوزا و تهیه راهنمایی جهت کاهش ریسک سلامتی از طریق به کارگیری اقداماتی جهت کاهش غلظت های پرتوزایی هسته های پرتوزا، مقدار پرتوزایی منابع آبی و آب های آشامیدنی با توجه به توصیه های سازمان بهداشت جهانی (WHO)^۳ پایش می شود.

برای تعیین غلظت های پرتوزایی رادیم-۲۲۶ در نمونه های آب به وسیله آزمایشگاه هایی که چنین اندازه گیری هایی را برای مراجع قانونی و ذی صلاح کشور^۴ انجام می دهند، نیاز به روش های آزمون استاندارد است. به منظور اندازه گیری هسته های پرتوزا در نمونه های آب آشامیدنی، ممکن است آزمایشگاه ها مجبور به دریافت برخی اعتبارنامه های خاص باشند.

1- Radionuclides

2- Unsealed form

3- World Health Organization

۴- مراجع قانونی و ذی صلاح در خصوص اندازه گیری پرتوزایی در آب، در حال حاضر، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، سازمان انرژی اتمی ایران و وزارت نیرو، است.

غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ می تواند به طور گسترده ای بر اساس ویژگی های زمین شناختی و آب و هوایی و در گستره از 0.001 Bq/l در آب های سطحی تا 50 Bq/l در آب های زیرزمینی طبیعی تغییر کند. حد توصیه شده^۱ برای رادیم-۲۲۶ در آب آشامیدنی توسط WHO، 1 Bq/l است (به منبع [۱۳] کتابنامه مراجعه شود).

یادآوری - حد توصیه شده، غلظتی از پرتوزائی رادیم-۲۲۶ (گرد شده به نزدیک ترین مرتبه بزرگی) با جذب ۲ لیتر بر روز آب آشامیدنی برای مدت زمان یک سال است، به طوری که دز 0.1 میلی سیورت بر سال برای عموم مردم را ایجاد می کند، این میزان دز مؤثر که سطح بسیار پایینی از خطر را ایجاد می کند، قادر نخواهد بود، اثرات مخربی بر روی سلامتی انسان بر جای گذارد.

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی شماره ۱۵۴۴۲ است که برای اندازه گیری غلظت پرتوزایی رادیم-۲۲۶ در نمونه های آب، تدوین شده است.

سایر قسمت های این استاندارد به شرح زیر است:

- Part 1: Test method using liquid scintillation counting
- Part 2: Test method using emanometry

کیفیت آب—رادیم-۲۲۶—قسمت ۳: روش آزمون با استفاده از هم‌رسوبی و طیف‌سنجی پرتو-گاما

هشدار—کاربران این استاندارد، باید با فعالیت‌های معمول آزمایشگاهی آشنایی داشته باشند. این استاندارد دربرگیرنده کلیه موارد ایمنی نمی‌باشد. مسئولیت برقراری موارد ایمنی، رعایت اصول بهداشتی و در نظر گرفتن محدودیت‌های قانونی، قبل از استفاده از این استاندارد، برعهده کاربر می‌باشد.

مهم—کاملاً ضروری است که آزمون‌های صورت گرفته بر طبق این استاندارد، به‌وسیله کارکنان صلاحیت‌دار انجام پذیرد.

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ (^{226}Ra) در تمامی انواع آب به‌وسیله هم‌رسوبی و به دنبال آن طیف‌سنجی گاما می‌باشد (به منبع [۸] کتاب‌نامه مراجعه شود).

این استاندارد برای تعیین غلظت پرتوزائی محلول رادیم-۲۲۶ بیشتر از 0.02 Bq/l با استفاده از نمونه‌هایی با حجم ۱ l تا ۱۰۰ l از هر نوع آب، کاربرد دارد.

برای نمونه‌های آب با حجم کمتر از ۱ l، می‌توان مستقیماً از طیف‌سنجی گاما براساس استاندارد ISO 10703 با حد آشکارسازی بالاتر استفاده کرد.

یادآوری— با استفاده از این استاندارد، سایر ایزوتوپ‌های رادیم، از قبیل رادیم-۲۲۳، رادیم-۲۲۴ و رادیم-۲۲۸ نیز تعیین می‌شوند.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 5667-3, Water quality – Sampling –Part3: Preservation and handling of water samples

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۸۶: سال ۱۳۸۶، آب - حفاظت و جابه‌جایی نمونه‌های آب - آیین کار، با استفاده از استاندارد ISO 5667-3: 2003 تدوین شده است.

2-2 ISO 10703, Water quality – Determination of the activity concentration of radionuclides – Method by high resolution gamma-ray spectrometry

2-3 ISO 11929, Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing adiation-fundamentals and application

یادآوری - مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۱۲۸۵ با استفاده از استانداردهای ISO 11929 تدوین شده‌اند.

2-4 ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، با استفاده از استاندارد ISO/IEC 17025: 2005 تدوین شده است.

2-5 ISO 80000-10, Quantities and units – Part 10: Atomic and Nuclear physics

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 80000-10، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۱-۳

پرتوزائی

activity

تعداد فروپاشی‌های خودبه‌خودی هسته در مقدار مشخصی از یک ماده که در طی یک بازه زمانی نسبتاً کوتاه روی می‌دهد، تقسیم بر این بازه زمانی.

[منبع: بند 23 استاندارد ISO 921: 1997 [2]]

۲-۳

استاندارد مرجع

reference standard

به‌طور کلی، این استاندارد بالاترین کیفیت اندازه‌شناختی را در یک مکان یا سازمان دارد که اندازه‌گیری‌های انجام شده در آن‌جا از آن حاصل می‌شوند.

۳-۳

استاندارد کاری

working standard

این استاندارد معمولاً با استفاده از یک استاندارد مرجع (به زیربند ۳-۲ مراجعه شود) کالیبره می‌شود و به‌طور متداول برای کالیبره کردن یا بررسی واحد اندازه‌گیری مواد، دستگاه‌های اندازه‌گیری یا مواد مرجع استفاده می‌شوند. این استاندارد را می‌توان به عنوان یک محلول با غلظت پرتوزائی (به زیربند ۳-۱ مراجعه شود) معلوم با رقیق‌سازی دقیق یا محلولی از یک استاندارد مرجع استفاده کرد.

۴ نمادها

در این استاندارد علاوه بر نمادهای تعریف شده در استانداردهای ISO 11929 و ISO 80000-10، نمادهای زیر نیز به کار می‌رود:

جدول ۱- فهرست نمادها

نماد	تعریف
V	حجم نمونه آزمون بر حسب لیتر (l)
A	پرتوزائی هر هسته پرتوزا در چشمه کالیبراسیون، در زمان کالیبراسیون، بر حسب بکرل (Bq)
C_A, C_{Ac}	غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶، بدون و با تصحیح، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)
M_{sulfate}	جرم باریوم سولفات، بر حسب گرم (g)
M_{nitrate}	جرم باریوم نیترات، بر حسب گرم (g)
$M_{\text{carbonate}}$	جرم باریوم کربنات، بر حسب گرم (g)
t_g	زمان شمارش طیف نمونه، بر حسب ثانیه (s)
t_0	زمان شمارش طیف زمینه، بر حسب ثانیه (s)
t_s	زمان شمارش طیف کالیبراسیون، بر حسب ثانیه (s)
n_N, n_{N0}, n_{Ns}	تعداد شمارش خالص در سطح زیر قله ^۱ ، در انرژی E ، به ترتیب در طیف نمونه، طیف زمینه و طیف کالیبراسیون
n_g, n_{g0}, n_{gs}	تعداد شمارش کل در سطح زیر قله ^۲ ، در انرژی E ، به ترتیب در طیف نمونه، طیف زمینه و طیف کالیبراسیون
n_b, n_{b0}, n_{bs}	تعداد شمارش زمینه در سطح زیر قله، در انرژی E ، به ترتیب در طیف نمونه، طیف زمینه و طیف کالیبراسیون
ε	بازده آشکارساز در انرژی E ، در هندسه اندازه‌گیری واقعی
R_C	بازده شیمیایی
P	شدت احتمال گسیل پرتو گاما با انرژی E ، از هر هسته پرتوزا در هر واپاشی، یعنی نسبت شاخه‌ای یا تعداد کوتناهای گاما در هر واپاشی
$u(C_A)$	عدم قطعیت استاندارد غلظت پرتوزائی، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)
$u(x)$	عدم قطعیت استاندارد اندازه‌ده x
$u_{\text{rel}}(x)$	عدم قطعیت نسبی: $u(x)/x$
U	عدم قطعیت بسط‌یافته، که با فرمول $U = k u(C_A)$ محاسبه می‌شود که معمولاً k مساوی با ۲ است، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)
C_A^*	آستانه تصمیم، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)
$C_A^\#$	حد آشکارسازی، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)
$C_A^{\triangleleft}, C_A^{\triangleright}$	حدود پایین و بالای بازه اطمینان ^۳ هر هسته پرتوزا، بر حسب بکرل بر لیتر (Bq/l)

¹ Number of counts in the net area of the peak

² Number of counts in the gross area of the peak

³ Confidence interval

۵ اصول اندازه‌گیری

اندازه‌گیری غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ در آب در دو مرحله مجزا انجام می‌شود: مرحله آماده‌سازی نمونه و مرحله بعدی اندازه‌گیری به کمک طیف‌سنجی گاما (به منابع [۱۳]، [۱۴] و [۱۵] کتاب‌نامه مراجعه شود).

آماده‌سازی نمونه شامل صاف کردن نمونه آب می‌باشد (به استاندارد ISO 5667-3 مراجعه شود)، که به‌منظور حصول اطمینان از اندازه‌گیری غلظت پرتوزائی محلول انجام می‌شود. پس از صاف کردن، تغلیظ اولیه، هم‌رسوبی و جمع‌آوری محصولات واپاشی رادیم-۲۲۶ انجام می‌شود.

پس از صاف کردن و اسیدی کردن نمونه، رادیم-۲۲۶ با استفاده از یک حامل مانند باریم نیترات یا باریم کربنات به صورت سولفات هم‌رسوبی می‌شود. سپس باریم سولفات و رادیم سولفات شسته شده، خشک شده و توزین می‌شوند. بازده شیمیایی با وزن‌سنجی به‌دست می‌آید.

برای نمونه‌های آبی که حاوی غلظت‌هایی از باریم محلول می‌باشند، به‌منظور اجتناب از بازده شیمیایی بالاتر از ۱۰۰٪ بهتر است از ردیاب^۱ دیگری استفاده شود.

چنان‌چه از یک ردیاب پرتوزا همانند باریم-۱۳۳ به‌عنوان یک استاندارد داخلی برای ارزیابی بازده شیمیایی استفاده شود، این بازده شیمیایی به‌جای R_c در فرمول‌های (۲) و (۴) به‌کار می‌رود.

غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ ناشی از رسوب، به‌وسیله طیف‌سنجی گاما با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیم فوق خالص با تابش زمینه پایین اندازه‌گیری می‌شود.

حضور گسیلنده‌های گامای دیگر، مانند اورانیم-۲۳۵ موجود در رسوب، می‌تواند در اندازه‌گیری پرتوزائی رادیم-۲۲۶، ایجاد مزاحمت کند.

برآورد غلظت پرتوزائی محلول حاوی رادیم-۲۲۶ از طریق اندازه‌گیری محصولات واپاشی آن، سرب-۲۱۴ و بیسموت-۲۱۴، در حالت تعادل که چهار هفته پس از آخرین مرحله هم‌رسوبی حاصل می‌شود، انجام می‌پذیرد.

۶ واکنش‌گرها و تجهیزات

۱-۶ واکنش‌گرها

فقط از واکنش‌گرهای آزمایشگاهی با درجه آنالیزی شناخته شده و آب مقطر یا دمین^۲ یا آب با خلوص معادل و عاری از هر گونه پرتوزائی نامطلوب استفاده کنید، مگر این‌که در این استاندارد به‌ترتیب دیگری بیان شده باشد.

1- Tracer

2- Demineralized water

۶-۱-۱-۱ محلول نیتریک اسید تغلیظ شده (HNO_3)، % ۶۵ یا % ۶۹.

۶-۱-۲ محلول نیتریک اسید (HNO_3)، رقیق شده تا % ۲٫۲۸.

۶-۱-۳ محلول نیتریک اسید (HNO_3)، رقیق شده تا % ۱۸.

۶-۱-۴ محلول حامل، 1070 g/l Ba^{2+} .

باریم نترات ($1970 \text{ g Ba(NO}_3)_2$) یا باریم کربنات (143 g BaCO_3) را به آرامی در یک لیتر از محلول نیتریک اسید (به زیربند ۶-۱-۲ مراجعه شود) حل کنید. جرم نمک باید به طور دقیق (بهتر از % ۱) توزین و ثبت شود.

پیشنهاد می شود که از واکنش گر $\text{Ba(NO}_3)_2$ یا BaCO_3 با غلظت پرتوزائی پایین رادیم-۲۲۶ استفاده شود. وجود رادیم-۲۲۶ در واکنش گر باید با استفاده از یک نمونه شاهد که با آب مقطر یا دمین تهیه شده، کنترل شود.

۶-۱-۵ محلول سولفوریک اسید تغلیظ شده (H_2SO_4)، % ۹۸.

۶-۱-۶ فیلتر استر سلولزی متخلخل، $0.45 \mu\text{m}$.

۶-۲ تجهیزات

تجهیزات متداول آزمایشگاهی و تجهیزات خاص زیر:

۶-۲-۱ پمپ پرستالتیک یا غشایی.

۶-۲-۲ همزن میله‌ای مغناطیسی.

۶-۲-۳ دستگاه سانتریفیوژ و لوله‌های مربوط به آن.

۶-۲-۴ ترازوی دقیق.

۶-۲-۵ آون خشک‌کن.

۶-۲-۶ ظرف گازبندی شده.

۶-۲-۷ دستگاه طیف‌سنج گاما، با زمینه پایین.

۷ نمونه برداری

این روش برای نمونه‌های آب، با حجم حداکثر تا ۱۰۰ I استفاده می‌شود.

۱-۷ جمع‌آوری نمونه

شرایط نمونه‌برداری باید مطابق با استاندارد ISO 5667-3 باشد.

اگر لازم باشد، صاف کردن در طی نمونه‌برداری یا بلافاصله پس از جمع‌آوری نمونه و قبل از اسیدی کردن انجام می‌شود، در غیر این صورت، ماده پرتوزایی که قبلاً به وسیله ذرات معلق به طور سطحی جذب شده‌اند، می‌توانند به درون نمونه جذب شوند.

پیشنهاد می‌شود که برای جمع‌آوری نمونه از ظروف یک‌بار مصرف پلاستیکی استفاده شود.

حجم نمونه آبی که برای اندازه‌گیری جمع‌آوری می‌شود، به حدود آشکارسازی مورد نیاز مشتری بستگی دارد.

۲-۷ حمل و نقل و انبارش نمونه

نمونه آب باید مطابق با استاندارد ISO 5667-3 حمل و نقل و انبارش شود.

زمانی که پیش تغلیظ‌سازی نیاز است، به کمک نیتریک اسید، pH نمونه را در محدوده ۱ تا ۳ تنظیم کنید. اسیدی کردن نمونه آب، هدر رفتن ماده پرتوزا از محلول نمونه به وسیله جذب سطحی را به حداقل می‌رساند. آزمون باید تا حد ممکن سریع انجام بگیرد.

۸ روش اجرایی

۱-۸ آماده‌سازی نمونه شاهد

یک نمونه شاهد با آب مقطر یا دمین را با انجام مراحل (الف) تا (خ) زیربند ۸-۲ تهیه کنید.

۲-۸ آماده‌سازی نمونه

الف- برای جلوگیری از اثرات جذب سطحی و تکثیر جلبک، نمونه آب را با نیتریک اسید در pH ۱ اسیدی کنید (به زیربند ۶-۱-۱ مراجعه شود). حجم نمونه آب می‌تواند از ۱ l تا ۱۰۰ l باشد. هنگامی که باریم سولفات در نمونه به صورت جزئی محلول است، اسیدی کردن آن نباید توسط هیدروکلریک اسید انجام شود.

ب- دقیقاً ۵۰ ml از محلول حامل (به زیربند ۶-۱-۴ مراجعه شود) را به صورت قطره قطره به درون ظرف حاوی نمونه ریخته و به شدت به هم بزنید. در مواردی که آب طبیعی، مانند آب دریا، سرشار از یون‌های سولفات است قبل از هم‌رسوبی سولفات، باریم و رادیم باید مخلوط شده باشند.

پ- ۲۰ ml سولفوریک اسید تغلیظ‌شده (به زیربند ۶-۱-۵ مراجعه شود) برای هم‌رسوبی سولفات اضافه کنید.

- ت- هم‌زدن را متوقف کنید.
- ث- رسوب باریوم رادیوم سولفات، $Ba(Ra)SO_4$ ، را برای مدت زمان ۲۴ ساعت رها کنید تا ته‌نشین شود.
- ج- بخش عمده فاز مایع^۱ را، برای مثال با استفاده از پمپ، جدا کنید و باقی‌مانده محلول را با ۲۰۰۰ rpm برای مدت زمان ۵ دقیقه سانتریفیوژ یا فیلتر کنید تا رسوب جمع‌آوری شود.
- چ- ظروف سانتریفیوژ حاوی رسوب را با نیتریک اسید شسته (به زیربند ۶-۱-۳ مراجعه شود)، تکان داده و مجدداً سانتریفیوژ کنید. مراحل (ج) و (چ) را دوباره تکرار کنید.
- ح- فاز مایع را دور بریزید.
- خ- رسوب را با آب بشوئید (هر دفعه هم زده و سانتریفیوژ کنید).
- د- رسوب را در یک آون در دمای $105^{\circ}C$ برای حداقل ۲۴ ساعت خشک کنید.
- ذ- یک ظرف گازبندی شده را وزن کنید.
- ر- رسوب را در ظرف گازبندی شده با وزن معلوم ریخته و برای جلوگیری از خروج رادون، ظرف را درزبندی کنید (به منبع [۸] کتاب‌نامه مراجعه شود).
- ز- ظرف را وزن کنید.

۳-۸ روش شمارش

پرتوزائی رادیوم-۲۲۶ به کمک طیف‌سنجی گاما با استفاده از آشکارسازی گسیل سرب-۲۱۴ و/یا بیسموت-۲۱۴ پس از یک دوره رشد تقریباً چهار هفته‌ای که در طی آن رادون-۲۲۲ با رادیوم-۲۲۶ به تعادل دیرپا می‌رسد، ارزیابی می‌شود (به منبع [۸] کتاب‌نامه مراجعه شود).

برای شمارش رسوب نمونه، هندسه استفاده شده برای کالیبراسیون باید با هندسه استفاده شده برای شمارش نمونه یکسان باشد.

چنانچه قبل از حصول تعادل (کمتر از ۴ هفته) شمارش انجام شود، تصحیح مربوط به تعادل نهایی محصولات واپاشی باید اعمال گردد.

غلظت پرتوزائی رادیوم-۲۲۶ می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق گسیل انرژی 186 keV رادیوم، بدون نیاز به رشد محصولات واپاشی تعیین شود. از معایب این روش می‌توان به پایین‌بودن احتمال گسیل قله 186 keV (۳/۲۸٪) و بنابراین تداخل قله گامای اصلی اورانیوم-۲۳۵ در 185.7 keV با احتمال بالای گسیل ۵۷/۲۴٪ اشاره کرد. با فرض تعادل بین رادیوم-۲۲۶ و بیسموت-۲۱۴، حد آشکارسازی نظری

رادیم-۲۲۶ می تواند با استفاده از خط انرژی بیسموت-۲۱۴ در 60.9 keV به منظور اندازه گیری پرتوزائی رادیم-۲۲۶ بهبود یابد.

۹ برنامه تضمین کیفیت و کنترل کیفیت

۹-۱ کلیات

عملیات مربوط به کنترل کیفیت باید مطابق با الزامات ارائه شده در استانداردهای ISO/IEC 17025 و ISO 10703 باشد.

۹-۲ کمیت های مؤثر

برای به حداقل رساندن کمیت هایی که می توانند نتایج اندازه گیری را تحت تأثیر قرار دهند، باید ملاحظات خاصی انجام شود:

- هدر رفتن رادون-۲۲۲ از ظرف حاوی نمونه، اندازه گیری شود؛
- وجود رادیم-۲۲۶ در واکنش گر $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ یا BaCO_3 . وجود رادیم-۲۲۶ در واکنش گر باید به وسیله اندازه گیری نمونه شاهد ارزیابی شود؛
- تغییرات آبی و گسترده در غلظت پرتوزائی رادون-۲۲۲ در فضای آزمایشگاه می تواند مشاهده شود. با توجه به این که حتی در اتاق هایی که دارای سیستم تهویه مناسب هستند، تغییرات قابل ملاحظه ای در شرایط هوایی امکان پذیر است، پیشنهاد می شود غلظت پرتوزائی رادون-۲۲۲ در آزمایشگاه با استفاده از ابزار اندازه گیری رادون، به صورت پیوسته پایش شود (به منابع [۶] و [۷] کتابنامه مراجعه شود)؛
- برای ثابت ماندن دما و رطوبت نسبی، توصیه می شود هوا به طور پیوسته به وسیله یک سیستم تهویه مناسب تازه شود. به منظور محدود کردن انتشار گاز رادون از دیوارهای آزمایشگاه، توصیه می شود دیوارها با یک ماده مناسب مانند رنگ اپوکسی، رنگ آمیزی شوند (به منبع [۱۲] کتابنامه مراجعه شود).

برای جلوگیری از هرگونه انباشتگی رادون در مجاورت آشکارساز، می توان اطراف آن یک محفظه پُر شده با گاز عاری از رادون (برای مثال N_2 ، هوای عبور داده شده از یک فیلتر ذغال فعال) قرار داد.

۹-۳ تصدیق دستگاه

پارامترهای اصلی دستگاه اندازه گیری (کالیبراسیون انرژی، کالیبراسیون بازده به صورت تابعی از انرژی، و طیف زمینه) باید به صورت دوره ای و بر اساس یک برنامه تضمین کیفیت استقرار یافته به وسیله آزمایشگاه و مطابق دستورالعمل سازنده دستگاه، کنترل و بازبینی شود (به استاندارد ISO 10703 مراجعه شود).

۴-۹ تصدیق روش

باید به طور دوره‌ای، درستی روش تصدیق شود. این کار می‌تواند به روش‌های زیر انجام گردد:

- شرکت در آزمون‌های بین آزمایشگاهی^۱؛

- اندازه‌گیری مواد مرجع.

تکرارپذیری روش نیز باید بررسی شود، برای مثال با تکرار کردن اندازه‌گیری‌ها.

حدود پذیرش^۲ آزمون‌ها که قبلاً اشاره شد، باید تعیین شود.

۵-۹ اثبات توانمندی فرد آنالیز کننده

چنانچه شخص آنالیزکننده، این روش اجرایی را قبلاً انجام نداده باشد، باید با اندازه‌گیری تکراری یک ماده مرجع یا نمونه اسپایک شده^۳ آزمون دقت و آریبی انجام شود. حدود پذیرش باید به وسیله آزمایشگاه تعیین شده باشد.

با استفاده از این روش اجرایی و با یک دوره زمانی تعریف شده به وسیله آزمایشگاه، باید یک آزمون مشابه به وسیله آنالیزکننده‌ها به صورت روزمره انجام شود. حدود پذیرش باید [به وسیله آزمایشگاه] تعیین شده باشد.

۱۰ بیان نتایج

۱-۱۰ کلیات

به استثنای بازده شیمیایی، R_C ، محاسبات مربوط به غلظت پرتوزائی در استاندارد ISO 10703 آورده شده و در این بند تنها به فرمول‌های نهایی اشاره شده است.

۲-۱۰ غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ محلول در آب

غلظت پرتوزائی اندازه‌گیری شده با طیف‌سنجی گاما برحسب بکرل بر لیتر (Bq/l) بیان شده و باید برای باریم سولفات یا تعیین بازده هم‌رسوبی (R_C) تصحیح شود.

بازده برابر با نسبت جرم باریم سولفات جدا شده به جرم باریم نیترات یا باریم کربنات اضافه شده به نمونه است:

$$R_C = \frac{M_{sulfate}}{M_{nitrate}} \times 0.893 \quad \text{یا} \quad R_C = \frac{M_{sulfate}}{M_{carbonate}} \times 1.18 \quad (1)$$

که در آن ۰٫۸۹۳ و ۱٫۱۸ نسبت‌های جرم مولی هستند.

1- Intercomparison exercises
2- Acceptance limits
3- Spiked material

بنابراین، برای یک قله بدون مزاحم^۱ در انرژی، E ، غلظت پرتوزائی اندازه‌گیری شده با طیفسنجی گاما برحسب بکرل بر لیتر (Bq/l) با فرمول (۲) بیان می‌شود:

$$C_A = \frac{n_g - n_b}{P \cdot \varepsilon \cdot V \cdot R_C \cdot t_g} = (n_g - n_b) \cdot w / t_g \quad \text{با} \quad w = \frac{1}{P \cdot \varepsilon \cdot V \cdot R_C} \quad (۲)$$

که در آن ε به‌وسیله منحنی کالیبراسیون در تنظیمات مربوط به اندازه‌گیری تعیین می‌شود (به استاندارد ISO 10703 مراجعه شود).

در این استاندارد بهتر است فاکتور تصحیح، f_E ، که در استاندارد ISO 10703 شرح داده شده، برابر ۱ فرض شود و بازده پرتوشیمیایی، R_C ، نیز باید در محاسبات آورده شود.

۳-۱۰ عدم قطعیت استاندارد غلظت پرتوزائی

- مطابق با استاندارد GUM، عدم قطعیت مرکب C_A توسط فرمول (۳) محاسبه می‌شود (به منبع [۹] کتابنامه مراجعه شود):

$$u(C_A) = \sqrt{\left(\frac{w}{t_g}\right)^2 \cdot [u^2(n_g) + u^2(n_b)] + (C_A)^2 u_{rel}^2(w)} \quad (۳)$$

که در آن از عدم قطعیت استاندارد زمان شمارش چشم‌پوشی شده است، و عدم قطعیت استاندارد نسبی w با فرمول (۴) محاسبه می‌شود:

$$u_{rel}^2(w) = u_{rel}^2(P) + u_{rel}^2(V) + u_{rel}^2(\varepsilon) + u_{rel}^2(R_C) \quad (۴)$$

جزئیات مربوط به محاسبه $u_{rel}^2(\varepsilon)$ در استاندارد ISO 10703 آورده شده است.

۴-۱۰ آستانه تصمیم

بر طبق استاندارد ISO 11929، آستانه تصمیم، C_A^* ، برای $\bar{c}_A = 0$ از فرمول (۳) به‌دست می‌آید. که فرمول (۵) را نتیجه می‌دهد:

$$C_A^* = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{2} \cdot u(n_b) / t_g \quad (۵)$$

که در آن، اغلب به‌صورت پیش‌فرض $\alpha = 0.05$ و در نتیجه $k_{1-\alpha} = 1.65$ است.

۵-۱۰ حد آشکارسازی

همان‌طور که در استاندارد ISO 11929 مشخص شده است، حد آشکارسازی، $C_A^\#$ ، با فرمول (۶) به‌دست می‌آید:

$$c_A^\# = c_A^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{w^2 \left[(c_A^\# / w + n_b / t_g) / t_g + u^2(n_b) / t_g^2 \right] + c_A^{\#2} \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (۶)$$

که در آن، اغلب به صورت پیش فرض $\beta = 0.05$ و در نتیجه $k_{1-\beta} = 1.65$ است.

حد آشکارسازی می‌تواند با حل کردن فرمول (۶) برای $c_A^\#$ یا، به طور ساده‌تر، به وسیله روش تکرار با استفاده از یک تقریب اولیه، $c_A^\# = 2 \cdot c_A^*$ ، محاسبه شود.

با قرار دادن $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ و با حل فرمول (۶)، فرمول (۷) به دست می‌آید:

$$c_A^\# = \frac{2c_A^* + (k^2 \cdot w) / t_g}{1 - k^2 u_{rel}^2(w)} \quad (۷)$$

۱۰-۶ حدود بازه اطمینان

حدود بازه اطمینان پایین، C_A^\triangleleft ، و بالا، C_A^\triangleright ، با استفاده از فرمول‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود (به استاندارد ISO 11929 مراجعه شود):

$$C_A^\triangleleft = C_A - k_p \cdot u(C_A). \quad p = \omega(1 - \gamma/2) \quad (۸)$$

$$C_A^\triangleright = C_A + k_q \cdot u(C_A). \quad q = 1 - \omega \cdot \gamma/2 \quad (۹)$$

که در آن:

$$\omega = \Phi[y/u(y)]$$

که Φ ، تابع توزیع توزیع نرمال استاندارد است؛

$$\omega = 1 \text{ می‌تواند در نظر گرفته شود، اگر } C_A \geq 4 \times u(C_A)$$

در این صورت داریم:

$$C_A^{\triangleleft\triangleright} = C_A \pm k_{1-\gamma/2} \cdot u(C_A)$$

که در آن، اغلب به صورت پیش فرض $\gamma = 0.05$ و در نتیجه $k_{1-\gamma/2} = 1.96$ است.

۱۰-۷ تصحیحات برای سهم‌های ناشی از سایر هسته‌های پرتوزا و تابش زمینه

۱۰-۷-۱ کلیات

چنانچه غلظت پرتوزائی رادیوم-۲۲۶ محلول به طور مستقیم از طریق گسیل پرتو گاما رادیوم-۲۲۶ تعیین شود، سایر گسیل کننده‌های گاما مانند اورانیوم-۲۳۵ می‌توانند مزاحمت ایجاد کنند. در این صورت، سهم هسته پرتوزای مزاحم با در نظر گرفتن نسبت‌های شاخه‌ای^۱ (احتمال گذار) هر دو هسته پرتوزا، می‌تواند تخمین و تصحیح شود.

چنانچه اندازه‌گیری غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ با اندازه‌گیری محصولات واپاشی آن مانند سرب-۲۱۴ و بیسموت-۲۱۴ در شرایط تعادل، چهار هفته پس از مرحله هم‌رسوبی، تخمین زده شود، بهتر است سهم قله‌های ناشی از تابش زمینه در طیف نیز در محاسبات منظور شود. با اندازه‌گیری طیف زمینه بدون حضور نمونه برای مدت زمان شمارش، t_0 ، و با در نظر گرفتن زمان‌های شمارش متفاوت دو طیف، سهم ناشی از تابش زمینه می‌تواند تصحیح شود.

برای هر دو مورد، غلظت پرتوزائی می‌تواند با استفاده از یک مدل بر طبق فرمول (۱۰) محاسبه شود:

$$c_{AC} = (n_N/t_g - x \cdot n_{N0}/t_0) \cdot w \quad (10)$$

این مدل، برای هر دو مورد (تصحیح تابش زمینه و تصحیح سایر رادیونوکلئیدهای مزاحم موجود در طیف) تصحیحات لازم را که در استاندارد ISO 10703 تشریح شده است، ارائه می‌دهد.

۱۰-۷-۲ سهم ناشی از سایر هسته‌های پرتوزا

خط گامای تصحیح شده در انرژی، E_1 ، در سطح خالص زیر قله دارای شمارش $n_{N.E_1}$ است. زمانی که بیش از یک خط گاما در انرژی گاما، E_1 ، وجود داشته باشد، سهم ناشی از سایر هسته‌های پرتوزا به‌وسیله نسبت احتمال گسیل آن‌ها و خط گاما، E_2 (مربوط به رادیونوکلئید مزاحم)، محاسبه می‌شود. با استفاده از فرمول (۱۰) و قرار دادن $x = P_{E_1}/P_{E_2}$ و $t_0 = t_g$ ، فرمول (۱۱) به‌دست می‌آید:

$$c_{AC} = (n_{N.E_1} - x \cdot n_{N.E_2}) \cdot w/t_g \quad (11)$$

با چشم‌پوشی از عدم قطعیت استاندارد x ، عدم قطعیت استاندارد c_{AC} به‌وسیله فرمول (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$u^2(c_{AC}) = (w/t_g)^2 \{ n_{g.E_1} + u^2(n_{b.E_1}) + x^2 [n_{g.E_2} + u^2(n_{b.E_2})] \} + c_{AC}^2 \cdot u_{rel}^2(w) \quad (12)$$

آستانه تصمیم، c_{AC}^* ، با فرمول (۱۳) به‌دست می‌آید:

$$c_{AC}^* = k_{1-\alpha} \cdot (w/t_g) \cdot \sqrt{n_{b.E_1} + u^2(n_{b.E_1}) + x(n_{g.E_2} - n_{b.E_2}) + x^2 [n_{g.E_2} + u^2(n_{b.E_2})]} \quad (13)$$

و حد آشکارسازی، $c_{AC}^\#$ ، به وسیله فرمول (۱۴) به‌دست می‌آید:

$$c_{AC}^\# = c_{AC}^* + k_{1-\beta} \sqrt{(w/t_g)^2 \{ c_{AC}^\# t_g/w + n_{b.E_1} + u^2(n_{b.E_1}) + x(n_{g.E_2} - n_{b.E_2}) + x^2 [n_{g.E_2} + u^2(n_{b.E_2})] \} + c_{AC}^{\#2} u_{rel}^2(w)} \quad (14)$$

با حل کردن فرمول (۱۴) برای $c_{AC}^\#$ ، به‌طور ساده‌تر، با الگوریتم تکرار با تقریب اولیه $c_{AC}^\# = 2 \cdot c_{AC}^*$ حد آشکارسازی می‌تواند محاسبه شود.

هنگامی که $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ در نظر گرفته شود، با حل فرمول (۱۴) فرمول (۱۵) به‌دست می‌آید:

$$c_{AC}^\# = \frac{2 \cdot c_{AC}^* + (k^2 \cdot w)/t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (15)$$

۳-۷-۱۰ سهم ناشی از تابش زمینه

در این مورد، فرمول (۱۰) برای تصحیح با $x = 1$ و $u(x) = 0$ استفاده می‌شود. n_{N0} سطح خالص زیر قله خط گاما در طیف زمینه و t_0 زمان شمارش طیف زمینه است. بنابراین:

$$c_{Ac} = (n_N/t_g - n_{N0}/t_0) \cdot w \quad (۱۶)$$

عدم قطعیت استاندارد c_{Ac} به وسیله فرمول (۱۷) بیان می‌شود:

$$u^2(c_{Ac}) = w^2(n_g/t_g^2 + n_{g0}/t_0^2 + u^2(n_b)/t_g^2 + u^2(n_{b0})/t_0^2) + c_{Ac}^2 \cdot u_{rel}^2(w) \quad (۱۷)$$

آستانه تصمیم، c_{Ac}^* ، به وسیله فرمول (۱۸) به دست می‌آید:

$$c_{Ac}^* = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{[n_b + u^2(n_b)]/t_g^2 + [n_{g0} + u^2(n_{b0})]/t_0^2 + (n_{g0} - n_{b0})/t_0 t_g} \quad (۱۸)$$

و حد آشکارسازی، $c_{Ac}^\#$ ، به وسیله فرمول (۱۹) به دست می‌آید:

$$c_{Ac}^\# = c_{Ac}^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{w^2 \left\{ \frac{c_{Ac}^*}{t_g w} + [n_b + u^2(n_b)]/t_g^2 + [n_{g0} + u^2(n_{b0})]/t_0^2 + (n_{g0} - n_{b0})/t_0 t_g \right\} + c_{Ac}^*{}^2 u_{rel}^2(w)} \quad (۱۹)$$

با حل کردن فرمول (۱۹) برای $c_{Ac}^\#$ ، به طور ساده‌تر، با الگوریتم تکرار با تقریب اولیه $c_{Ac}^\# = 2 \cdot c_{Ac}^*$ حد آشکارسازی می‌تواند محاسبه شود.

هنگامی که $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ در نظر گرفته شود، با حل فرمول (۱۹) فرمول (۲۰) به دست می‌آید.

$$c_{Ac}^\# = \frac{2 \cdot c_{Ac}^* + (k^2 \cdot w)/t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (۲۰)$$

حدود بازه اطمینان بر طبق فرمول‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند.

۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید برطبق الزامات استاندارد ISO/IEC 17025 بوده و باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

- الف- روش آزمون به کار رفته، همراه با ارجاع به این استاندارد؛
- ب- ارجاع به روش اجرایی اندازه‌گیری و ارزیابی انجام شده؛
- پ- شناسه نمونه؛
- ت- تاریخ و زمان اندازه‌گیری؛
- ث- یک‌گانه‌ی که نتایج بر حسب آن‌ها بیان می‌شوند؛
- ج- نتیجه آزمون، $C_A \pm U$ یا $C_A \pm U$ ، با مقدار k مربوط و تاریخ مرجع؛

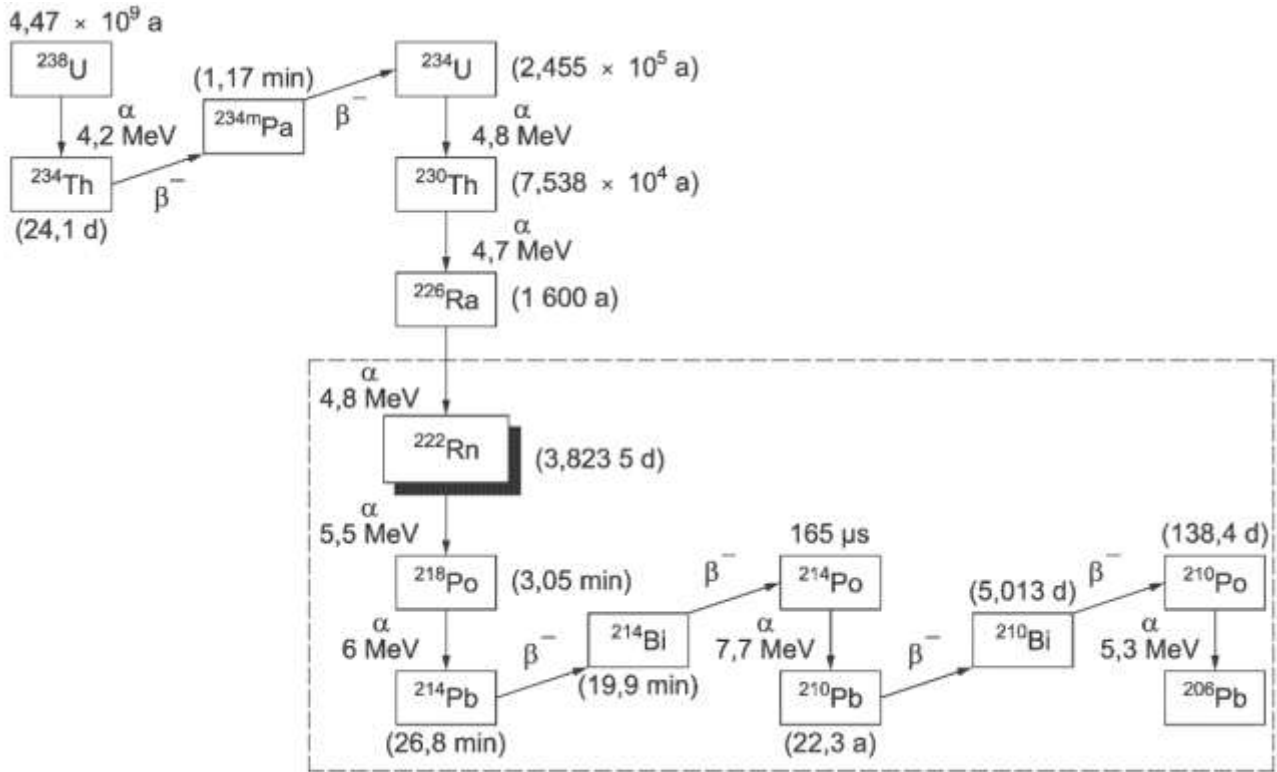
اطلاعات تکمیلی مانند موارد زیر می‌تواند آورده شود:

- احتمالات: β, α و $(1-\gamma)$ ؛
 - آستانه تصمیم و حد آشکارسازی؛ بسته به درخواست مشتری روش‌های مختلفی برای ارائه نتایج وجود دارد:
 - هنگامی که غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ از مرتبه آستانه تصمیم است (به استاندارد ISO 11929 مراجعه شود)، چنانچه نتیجه اندازه‌گیری کمتر از آستانه تصمیم باشد نتیجه باید به صورت $c_A^* \leq$ بیان شود.
 - هنگامی که غلظت پرتوزائی رادیم-۲۲۶ از مرتبه حد آشکارسازی باشد، نتیجه اندازه‌گیری می‌تواند همانند حالتی که زیر حد آشکارسازی است، بیان شود. اگر حد آشکارسازی از مقدار توصیه‌شده^۱ برای روش آزمون بیشتر باشد، در گزارش آزمون باید مکتوب شود که روش به کار رفته برای اندازه‌گیری روش مناسبی نیست.
 - بیان هر گونه اطلاعات مرتبطی که می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد.
- گزارش آزمون می‌تواند با هر گونه اطلاعات مفید بر طبق استاندارد ISO/IEC 17025 تکمیل شود.

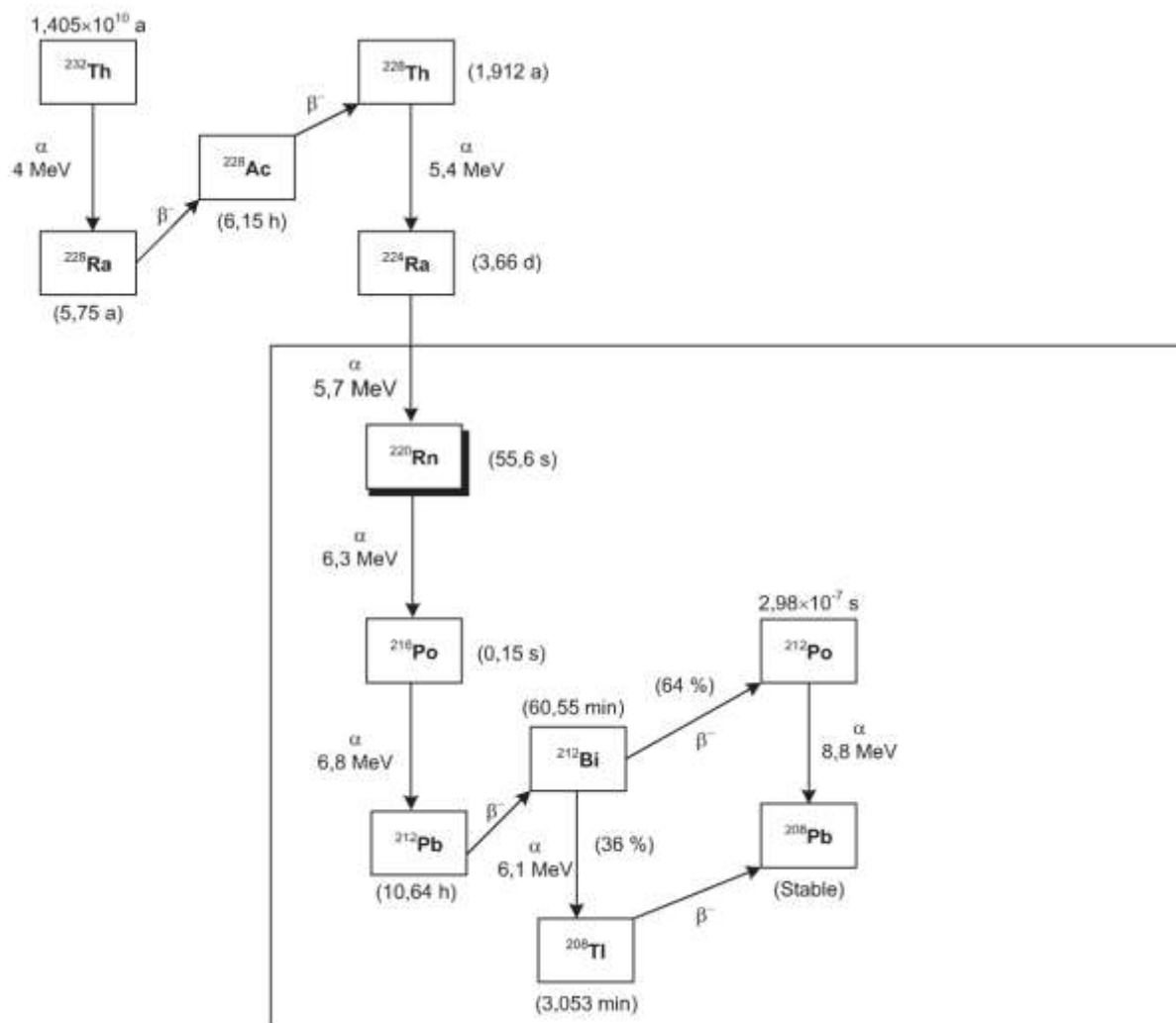
پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

اورانیم و زنجیره واپاشی آن



شکل الف-۱- اورانیم و زنجیره واپاشی آن (به منبع [۱۶] کتاب‌نامه مراجعه شود)



شکل الف-۲- توریم-۲۳۲ و زنجیره واپاشی آن (به منبع [۱۶] کتابنامه مراجعه شود)

کتابنامه

- [1] ISO 31-9, Quantities and units — Part 9: Atomic and nuclear physics
یادآوری - این استاندارد منسوخ شده و استاندارد ISO 80000-10 جایگزین آن شده است.
- [2] ISO 921: 1997¹, Nuclear energy — Vocabulary
یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۸۴۶۹: سال ۱۳۸۴، انرژی هسته‌ای - واژه‌ها و اصطلاحات، با استفاده از استاندارد ISO 921:1997، تدوین شده است.
- [3] ISO 3696, Water for analytical laboratory use — Specification and test methods
- [4] ISO 5667-1, Water quality — Sampling — Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques
یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۶۱۱: سال ۱۳۸۷، کیفیت آب - نمونه‌برداری - راهنمای طراحی برنامه‌های نمونه‌برداری، با استفاده از استاندارد ISO 5667-1: 1980، تدوین شده است.
- [5] ISO 6107-2, Water quality — Vocabulary — Part 2
- [6] ISO 11665-1, Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 — Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods
- [7] ISO 11665-5, Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 — Part 5: Continuous measurement method of the activity concentration
- [8] ISO 18589-3, Measurement of radioactivity in the environment — Soil — Part 3: Test method of gamma-emitting radionuclides using gamma-ray spectrometry
یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۷۰۰-۳: سال ۱۳۹۶، اندازه‌گیری پرتوزائی در محیط زیست - خاک - قسمت ۳: روش آزمون رادیونوکلئیدهای گسیل‌کننده گاما با استفاده از طیف‌سنجی پرتو گاما، با استفاده از استاندارد ISO 18589-3: 2015، تدوین شده است.
- [9] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [10] European cooperation for accreditation of laboratories. Traceability of Measuring and Test Equipment to National Standards. EAL-G12, 1995
- [11] Quanlu G., & Hengde W. Sources and protection measures for indoor radon. Radiat. Prot. Dosimetry. 1998, 76 pp. 261-266
- [12] WHO. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition. Geneva: World Health Organization. 2011. 541 p. Available (viewed 2012-12-10) at: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_chapters/en/index.html

۱- این استاندارد منسوخ شده است.

- [13] IAEA. Analytical Methodology for the Determination of Radium Isotopes in Environmental Samples. No. IAEA/AQ/19, Vienna, 2010
- [14] Schmidt S., & Reyss J-L. Radium as internal tracer of Mediterranean Outflow Water. J. Geophys. Res. 1996 February 15, 101 (C2) pp. 3589–3596
- [15] Reyss J-L., Schmidt S., Legeleux F., Bonte P. Large, low background welltype detectors for measurements of environmental radioactivity. Nucl. Inst. Meth. A. 1995, 357 pp. 391–397
- [16] Nuclear Data Base issued from the Decay Data Evaluation Project. http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm