



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۱۶۹۳

چاپ اول

ISIRI

11693

1st.edition

اندازه‌گیری پرتوزایی مواد جامد جهت بازیافت،
استفاده مجدد یا دور ریزی آنها به عنوان
پسمان‌های غیر پرتوزا

**Activity measurements of solid materials
considered for recycling, reuse, or disposal as
non-radioactive waste**

ICS:13.030.10 ; 13.280

به نام خدا

آشنایی با موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه 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 موسسه* صاحب نظران مراکز و موسسات 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 فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها 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 موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که براساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که موسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 نماید. موسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، موسسه استاندارد این گونه سازمان‌ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این موسسه است.

* موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

- 1- International Organization for Standardization
- 2- International Electrotechnical Commission
- 3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metologie Legal)
- 4- Contact point
- 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
"اندازه‌گیری پرتو زایی مواد جامد جهت بازیافت،
استفاده مجدد یا دور ریزی آنها به عنوان پسمان های
غیر پرتو زا"

رئیس:

اشراقی، احمد

(فوق لیسانس بهداشت حرفه ای)

سمت و / یا نمایندگی:

رئیس گروه بازرسی و نظارت بر حمل و نقل و حسابرسی مواد

پرتوزا

سازمان انرژی اتمی ایران

دبیران:

بافته چی، لادن

(فوق لیسانس زیست شناسی، علوم گیاهی)

عضو هیئت علمی

پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

بنائی، اقدس

(فوق لیسانس فیزیک)

عضو هیئت علمی

پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

اعضاء:

پارسافر، ناهید

(فوق لیسانس فیزیک)

عضو هیئت علمی

پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

صبور، عباس

(لیسانس مکانیک)

کارشناس تدوین

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

طاهری، مهران

(فوق لیسانس دزیمتری)

مسئول گروه دزیمتری نوترون

سازمان انرژی اتمی ایران

ظهور رحمتی، لاله

(فوق لیسانس بهداشت)

رئیس گروه مهندسی پزشکی

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

عطاری لر، علی

(لیسانس شمارش و اسپکترومتري)

مسئول گروه شمارش و اسپکترومتري محیط

سازمان انرژی اتمی ایران

فتح آبادی، نسرین

(فوق لیسانس شیمی)

رئیس بخش حفاظت رادیولوژیکی محیط

سازمان انرژی اتمی ایران

فلاح، عباس

(لیسانس زمین شناسی)

کارشناس

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

هاتفی، راحله

(فوق لیسانس زمین شناسی)

عضو هیئت علمی

پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی	ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	د
پیش گفتار	ز
مقدمه	ح
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ الزامات اندازه گیری پرتو زایی در ارتباط با رهاسازی نامحدود	۴
۱-۴ کلیات	۴
۲-۴ اندازه گیری آلودگی سطحی	۵
۱-۲-۴ رادیونوکلیدهای با اهمیت	۵
۲-۲-۴ روش های تعیین آلودگی سطحی	۶
۳-۴ اندازه گیری پرتوزایی ویژه	۹
۱-۳-۴ کلیات	۹
۲-۳-۴ فنون اندازه گیری	۱۰
۴-۴ راهبرد نمونه برداری	۱۲
پیوست الف (الزامی) شکل های مربوط به اندازه گیری های آلودگی سطحی بتا	۱۴
پیوست ب (الزامی) اندازه گیری مقادیر کم پرتوزایی ^{63}Ni و ^{55}Fe	۱۷
پیوست پ (اطلاعاتی) کتابنامه	۲۵

پیش‌گفتار

استاندارد "اندازه‌گیری پرتوزایی مواد جامد جهت بازیافت، استفاده مجدد یا دور ریزی آنها به عنوان پسمان‌های غیر پرتو زا" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی تهیه و تدوین شده و در دویست و بیست و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبعی که برای تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 11932: 1996(E), Activity measurements of solid materials considered for recycling, re-use, or disposal as non-radioactive waste.

مقدمه

امروزه نیاز به استاندارد‌ی که مستقیماً در ارتباط با زمینه انرژی هسته‌ای و بخصوص مشکل بازیافت، استفاده مجدد یا دورریزی مواد حاصل از پیاده کردن ماشین آلات و ابزار حاصل از تاسیسات هسته‌ای به عنوان مواد غیرفعال هستند ضروری است. ابتدا به ساکن بخش اعظم این مواد از تاسیسات و ابزار هسته‌ای که جهت تولید الکتریسیته استفاده می‌شوند بدست می‌آید و میزان کمتری از آنها از ابزار و تاسیساتی چون شتاب دهنده‌های ذرات و دستگاه‌های عمل‌آوری که بیش از سی سال از عمرشان گذشته و در نتیجه به پایان دوره فعالیت خود رسیده‌اند بدست می‌آیند. تخمین زده شده که در فاصله سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۵، پنجاه و یک نیروگاه برق در کشورهای OECD بکار خود پایان داده‌اند و ۲۳۷ نیروگاه باقیمانده نیز باید ظرف مدت پانزده سال تعطیل شوند ([۱] در پیوست پ).

محاسبات انجام شده ([۲] در پیوست پ) نشان می‌دهند که از بین فلزات آلوده و پرتوزا که در پی از رده خارج سازی این سیستم‌ها تولید می‌شوند، فولاد ترکیب عمده‌ای را تشکیل می‌دهد به عنوان مثال حدود ۴۸۰۰ تن فولاد از راکتور آب فشرده شده (PWR) 100 MW_e تولید می‌شود که فعالیت ویژه این مواد 1 Bq/gr یا کمتر از آن است. این حد پرتوزایی ویژه، حد ممکن برای بازیافت نامحدود ضایعات فولاد است که در CEC پیشنهاد شده است.

پرتوزایی بتا / گاما

- حد پرتوزایی ویژه 1 Bq.g^{-1} ، برای مواردی که متوسط بیشترین جرم آنها بیشتر از یک تن است و هیچ بخشی از آن‌ها پرتوزایی بیشتر از 10 Bq.g^{-1} نداشته باشد.

- حد پرتوزایی سطحی برای آلودگی متحرک روی سطوح قابل دسترسی 0.4 Bq.cm^{-2} ، برای سطوحی است که به طور متوسط بیش از 30 cm^2 هستند یا برای سطوحی که کل سطح آن‌ها کمتر از 30 cm^2 باشند.

- برای آلودگی‌های ثابت، حد پرتوزایی ویژه به صورت فرضی در نظر گرفته شده است.

گسیلنده های آلفا

- حد پرتوزایی سطحی برای سطوحی که متوسط سطح آنها بیش از 30 cm^2 است، 0.4 Bq.cm^{-2} . سایر مثالها در [۳] و [۴] در پیوست پ آمده است. در کل معیارهای رها سازی مواد گاهی براساس پرتوزایی کل عنوان می‌شود.

این استاندارد ملی در ارتباط با اندازه‌گیری پرتوزایی در مواد است، این اندازه‌گیری‌ها جهت تطبیق دادن با معیارهای رها سازی ذکر شده در بالا یا مقیاس‌های مشابه هستند که توسط واحدهای قانونی بین‌المللی یا ملی تعریف شده اند. خلاصه ای از تجارب به دست آمده در این زمینه در [۵] در پیوست پ آمده است.

اندازه گیری پرتوزایی مواد جامد جهت بازیافت، استفاده مجدد یا دور ریزی آنها به عنوان پسمان های غیر پرتو زا

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش ها و راهنمائی های پایه به منظور اندازه گیری پرتو زایی موادی است که برای بازیافت، استفاده مجدد یا دور ریزی به عنوان پسمان غیر پرتو زا رها می شوند و در راستای تطابق با معیار های تعیین شده برای رها سازی نامحدود اینگونه مواد می باشند. این استاندارد موادی که ضمن بهره برداری از تاسیسات هسته ای و برچیده شدن آنها بوجود می آیند را شامل می شود و برای پسمان های پرتو زای معمولی کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1- ISO 4037:1979, X and γ reference radiations for calibrating dosimeters and doseratemeters and for determining their response as a function of photon energy.

2-2- ISO 6980:1984, Reference beta radiations for calibrating dosimeters and doseratemeters and determining their response for beta radiation energy.

2-3- ISO 7503-1:1988, Evaluation of surface contamination – Part 1: Beta emitters (maximum beta energy greater than 0.15 MeV) and alpha –emitters.

2-4- ISO 7503-2:1988, Evaluation of surface contamination – Part 2 : Tritium surface contamination.

2-5- ISO 7503-3:1996, Evaluation of surface contamination – Part 3: Isomeric transition and electron capture emitters, low energy beta emitters (maximum beta energy less than 0.15 MeV).

2-6- ISO 8769:1988, Reference sources for the calibration of surface contamination monitors – Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0.15 NeV) and alpha emitters.

2-7- ISO 11929-1:1996, Determination of the lower limits of detection and decision for ionizing radiation measurements – Part 1: Fundamentals and applications to counting measurements without the influence of sample treatment.

2-8- ISO 11929-2:⁻¹⁾, Determination of the lower limits of detection and decision for ionizing radiation measurements – Part 2: Fundamentals and applications to counting measurements with the influence of sample treatment.

2-9- ISO 11929-3:⁻¹⁾, Determination of the lower limits of detection and decision for ionizing radiation measurements – Part 3: Fundamentals and applications to counting measurements by high-resolution gamma spectrometry without the influence of sample treatment.

2-10- IEC 325:1981, Alpha, beta and alpha-beta contamination meters and monitors.

2-11- IEC 846:1989, Beta, X and gamma radiation dose equivalent and dose equivalent rate meters for use in radiation protection.

2-12- IEC 1017-1:1991, Portable, transportable or installed X or gamma radiation ratemeters for environmental monitoring – Part 1: Ratemeters.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می رود.

۱-۳

پسمان پرتوزا (radioactive waste)

موادی به هر شکل فیزیکی که در اثر فعالیت پرتوی یا مداخله بدون استفاده خاص باقی بمانند، مشروط بر اینکه اولاً حاوی مواد پرتوزا یا آلوده به مواد پرتوزا باشند به طوری که پرتوزایی یا غلظت پرتوزایی آنها بیشتر از مقادیر تعیین شده توسط واحد قانونی باشد، ثانیاً پرتوگیری ناشی از این مواد براساس بند ۲-۷ خارج از شمول این استاندارد نباشد

۲-۳

پرتوزایی (مقداری از رادیونوکلید در یک حالت انرژی خاص و یک زمان معین)

مقدار چشمداشتی تعداد گذارهای هسته ای خود به خود، dN از یک حالت انرژی و بازه زمانی dt. نام مخصوص یکای SI پرتوزایی، بکرل (Bq) است ($1\text{Bq}=1\text{s}^{-1}$).

۳-۳

پرتوزایی ویژه

پرتوزایی یک ماده مشخص تقسیم بر جرم آن است و معمولاً با واحد بکرل بر گرم ($\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$) بیان می شود.

یادآوری - اصطلاح " غلظت پرتو زایی جرمی " گاهی در سایر نسخه ها به کار رفته است (به [۲] در پیوست پ مراجعه شود) اما واژه شناسی ISO بر مبنای این استاندارد است.

۴-۳

آلودگی سطحی

آلودگی سطوح به مواد پرتو زا می باشد.

۵-۳

پرتو زایی سطحی

نسبت بین پرتو زایی رادیونوکلئیدهای موجود در سطح به مساحت آن سطح که با واحد بکرل بر سانتی متر مربع (Bq.cm^{-2}) بیان می شود.

۶-۳

آلودگی سطحی قابل اندازه گیری مستقیم

کسری از آلودگی سطحی موجود که برای اندازه گیری مستقیم در دسترس است

۷-۳

آلودگی سطحی قابل برداشت

کسری از آلودگی سطحی است که در شرایط معمول کار قابل برداشت یا قابل انتقال است.

۸-۳

ارزیابی غیرمستقیم آلودگی سطحی قابل برداشت

ارزیابی پرتو زایی قابل برداشت بر سطح با استفاده از اسمیر^۱ است.

۹-۳

آزمون اسمیر

نمونه برداری از پرتو زایی قابل برداشت به وسیله سایش ماده خشک یا مرطوب به سطح و ارزیابی بعدی پرتو زایی انتقال یافته به آن ماده می باشد.

۱۰-۳

فاکتور برداشت، F

نسبت پرتو زایی برداشته شده از سطح به وسیله یک نمونه اسمیر به پرتو زایی قابل برداشت از همان سطح قبل از نمونه گیری می باشد.

۱۱-۳

بازده دستگاه، ϵ

نسبت قرائت خالص دستگاه (شمارش در واحد زمان) به آهنگ گسیل سطحی چشمه (ذرات یا فوتون های خارج شده در واحد زمان) در یک هندسه مشخص مربوط به چشمه می باشد.

1-smear sample

یاد آوری - بازده دستگاه بستگی به انرژی تابش گسیل شده از چشمه دارد.

۱۲-۳

بازده چشمه آلودگی، ϵ_s

نسبت آهنگ گسیل به تعداد ذرات یا فوتون‌های تولید شده یا آزاد شده از همان نوع درون منبع در واحد زمان است.

یاد آوری - براساس این تعریف، از آنجائی که گسیل تنها از سطح رویی منبع صورت می گیرد، انتظار می رود بازده آن کمتر از ۰/۵ باشد. به هر حال سهم ذرات پس پراکنده^۱ نیز این مقدار را می تواند افزایش دهد.

۱۳-۳

آهنگ گسیل از سطح چشمه

تعداد ذرات یا فوتون‌های خارج شده از یک نوع معین و بالاتر از یک انرژی مشخص که از وجه جلویی چشمه یا پنجره جلویی چشمه در واحد زمان گسیل می شوند.

۴ الزامات اندازه گیری های پرتو زایی مرتبط با رها سازی نامحدود.

۱-۴ کلیات

در این استاندارد اندازه گیری پرتو زایی مرتبط با رها سازی نامحدود مواد جامد با توجه به محورهای زیر بررسی می شود:

- اندازه گیری آلودگی سطحی
- اندازه گیری پرتو زایی ویژه
- اندازه گیری آهنگ دز
- برآورد پرتو زایی کل

به عنوان مثال معیارهای رها سازی می توانند به صورت زیر باشند:

آلودگی سطحی: برای گسیلنده های گاما، بتا از 0.4 Bq.cm^{-2} تا 4 Bq.cm^{-2} یا برای گسیلنده های آلفا از 0.4 Bq.cm^{-2} تا 0.4 Bq.cm^{-2} (میانگین گیری بر روی سطوحی به مساحت 100 cm^2 ، 1 m^2 انجام می گیرد).

پرتو زایی ویژه: از 0.1 Bq.g^{-1} تا 10^2 Bq.g^{-1} (مقادیر این حدود بر اساس موضع و مقادیر میانگین تنظیم می شوند).

آهنگ دز: از $0.5 \mu\text{Gy.h}^{-1}$ تا $1 \mu\text{Gy.h}^{-1}$ (بالای دز زمینه موضع، آهنگ دز نزدیک سطح) معیار های استفاده نامحدود از مواد جامد رها شده جهت بازیافت، استفاده مجدد یا دور ریزی و قوانین مناسب در مورد عملی بودن آنها توسط واحد قانونی (سازمان انرژی اتمی ایران) تنظیم می شود.

۲-۴ اندازه‌گیری آلودگی سطحی

۱-۲-۴ رادیونوکلیدهای با اهمیت

رادیونوکلیدهای مورد نظر که طی بهره برداری و از رده خارج سازی تاسیسات هسته ای با آن روبرو می شویم کاملاً به نوع تاسیسات هسته‌ای (مانند راکتور قدرت، کارخانه غنی سازی، شتاب دهنده، کارخانه تولید سوخت) وابسته بوده و از نوعی به نوع دیگر متفاوت است. از آنجا که پاسخ دستگاه های اندازه گیری محیطی^۱ به ترکیب^۲ رادیونوکلیدها وابسته است، قبل از شروع برنامه پایش آلودگی سطحی در مقیاس وسیع، باید ترکیب این رادیونوکلیدها برای هر نوع از تاسیسات هسته ای، مشخص شود. بنابراین برای هر قسمت از کارخانه باید ترکیب رادیونوکلیدهای آلاینده تعیین گردد مگر اینکه، آن تاسیسات فقط با یک نوع آلوده کننده شناخته شده مانند (اکسید اورانیوم طبیعی (UO₂)) سرو کار داشته باشند. چنین اندازه گیری های آزمایشگاهی پیش نیاز ضروری برای تهیه اطلاعات الگوی خاص^۳ در اندازه گیری های میدانی است.

۱-۱-۲-۴

ساختار ترکیب رادیونوکلیدها می تواند بوسیله یک یا هر دو روش زیر تعیین شود:

طیف سنجی گاما و پرتو X با قدرت تفکیک بالا

به عنوان مثال، آشکارسازهای Ge(Li) یا ژرمانیوم با خلوص بالا برای تابش های گاما و آشکارسازهای Si(Li) یا ژرمانیوم مسطح^۴ با خلوص بالا برای تابش های X و گامای کم انرژی در گستره انرژی بین ۵ keV تا ۵۰ keV استفاده می شوند.

رادیو آنالیز برای نمونه هایی با پرتو زایی کم

روش هایی چون تثبیت بر روی حاملین^۵، جداسازی رادیو شیمیایی، به ویژه برای رادیونوکلیدهایی که با طیف سنجی گاما قابل اندازه گیری نیستند، به کار می رود (به پیوست ب مراجعه کنید). ممکن است از محاسبات برای تکمیل اندازه گیری ها استفاده شود اما این عمل تنها زمانی صورت می گیرد که دقت محاسبات توسط اندازه گیری نقطه ای تایید شود و نیز در شرایطی که پرتو زایی ناشی از توده ای حجیم بر پرتو زایی موجود غلبه کند. زمانیکه آلودگی اهمیت دارد از این روش ها نمی توان استفاده کرد.

1-survey

2-radionuclide mixture

1-Finger print

2- High-purity planar germanium detector

3-carriers

۲-۲-۴ روش‌های تعیین آلودگی سطحی

۱-۲-۲-۴ کلیات

آلودگی سطحی می‌تواند با اندازه‌گیری‌های مستقیم یا غیرمستقیم تعیین شود (به استانداردهای ISO7503-1, ISO7503-2, ISO7503-3 رجوع شود). اندازه‌گیری‌های مستقیم بوسیله سنجشگرها^۱ و پایشگرهای آلودگی انجام می‌گیرد. این آشکارسازها، آلودگی ثابت و قابل برداشت^۲ را اندازه‌گیری می‌کنند. اندازه‌گیری غیرمستقیم با استفاده از آزمون اسمیر صورت گرفته و تنها آلودگی سطحی قابل برداشت را تعیین می‌کند.

در برخی موارد امکان دارد اندازه‌گیری مستقیم، مشکل یا غیر ممکن باشد به ویژه اگر رسوبات جامد یا مایع غیرپرتو زا روی سطح را گرفته باشند یا در صورتی که اندازه‌گیری‌ها تحت تاثیر میزان بالای تابش زمینه ای قرار گیرد که مثلاً ناشی از پرتو زایی خود جسم مورد بررسی است و یا اگر سطح مورد بازبینی در دسترس دستگاه نباشد.

روش غیرمستقیم (آزمون اسمیر) تنها جهت تعیین میزان آلودگی غیر ثابت^۳ با در نظر گرفتن عدم قطعیت در کسر برداشت آلودگی به کار می‌رود. پیشنهادات مشخصی برای معیار معاف سازی^۴ در [۲] در پیوست پ آمده است، اگرچه حدود پاکسازی^۵ برای آلودگی‌های غیر ثابت فقط برای سطوح قابل دسترس است. در چنین موردی نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم بیش از مقدار واقعی خواهد بود و در نتیجه آزمون اسمیر مناسب‌تر است. در بیشتر موارد تلفیق دو روش منجر به حصول قابل اطمینان ترین نتیجه می‌شود. آزمون اسمیر معمولاً برای تعیین و سنجش تریتیوم مفید نیست (به بند ۲-۲-۴-۵ مراجعه شود).

۲-۲-۲-۴ اندازه‌گیری مستقیم آلودگی سطحی

۱-۲-۲-۲-۴ دستگاه‌های اندازه‌گیری

خصوصیات و کارایی دستگاه‌های اندازه‌گیری باید منطبق با استاندارد IEC 325:1981 باشد. این دستگاه‌ها باید قادر به آشکار سازی پرتو زایی در زیر معیارهای حدود رها سازی آلودگی سطحی، که توسط مقررات ملی یا بین‌المللی تعیین گردیده اند باشند. مقادیر راهنما در مورد حد آشکارسازی می‌تواند از استانداردهای ISO11929-1, ISO11929-2, ISO11929-3 استخراج گردد.

۲-۲-۲-۲-۴ روش آشکارسازی

آشکارساز در نزدیک ترین جای ممکن بالای سطح به حرکت در می‌آید. زمانی که سطح آلوده ای آشکار شد، آشکارساز باید بالای آن سطح به مدت لازم جهت تایید میزان آلودگی اندازه‌گیری شده ثابت نگه داشته شود. سرعت حرکت باید متناسب با حد آلودگی و کارایی آشکارساز باشد.

4-contamination meters

5-fixed and removable surface contamination

1-non-fixed contamination

2-exemption criteria

3-clearance levels

۴-۲-۲-۲-۳ روش اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری، دستورالعمل‌های کاری مربوط به دستگاه‌های اندازه‌گیری باید با الزامات زیر منطبق باشند.

الف- آهنگ شمارش زمینه باید در نقطه‌ای تعیین شود که شاخص سطح مورد بررسی است.

ب- آهنگ شمارش زمینه باید بطور منظم بررسی شود.

پ- عملکرد صحیح دستگاه باید با استفاده از چشمه آزمون^۱ مناسب تایید شود (به صورت روزانه برای دستگاه‌هایی که مکرراً استفاده می‌شوند). برای انحرافات بیشتر از ۲۵٪ از مقدار قابل قبول باید کالیبراسیون مجدد دستگاه انجام گیرد.

ت- برای کاهش فاصله بین آشکار ساز و سطح تا حد ممکن، در صورت لزوم می‌توان از فاصله دهنده‌های متحرک^۲ استفاده کرد.

ث- آشکار ساز برای حداقل سه برابر مدت زمان پاسخ دستگاه، باید در محل قرار گیرد (با اطمینان ۹۵٪).

ج- بازده دستگاه برای رادیونوکلیدهای مورد اندازه‌گیری باید با در نظر گرفتن محدوده شرایط مورد انتظار محیطی مشخص شود.

چ- در مواردی که سطح مورد نظر تخت نباشد، باید تاثیر شکل سطح مورد بررسی در بازده دستگاه، ارزیابی شود، (مثالهایی از این مورد در [۶] پیوست پ وجود دارد).

ح- در مواردی که لایه‌های قابل مشاهده‌ای از کثیفی و/یا اکسیداسیون روی سطوح مورد بررسی وجود داشته و قابل زدودن نباشند، باید اثر این لایه‌ها بر روی بازده منبع آلودگی، ϵ_s ، در نظر گرفته شود. ضرایب تصحیح برای رادیونوکلیدهای مختلف در پیوست الف آمده است، این ضرایب تابعی از چگالی سطحی لایه جاذب می‌باشند.

براساس استاندارد ISO 7503-1، پرتو زایی سطح A_s با آلودگی‌های ثابت و غیر ثابت، به آلفا یا بتا؛ برحسب $Bq.cm^{-2}$ طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$A_s = \frac{(n - n_B)}{\epsilon_i \times \epsilon_s \times w} \quad (1)$$

که در آن

n آهنگ شمارش کل، با یکای عکس ثانیه

n_B آهنگ شمارش زمینه، با یکای عکس ثانیه

ϵ_i بازده دستگاه برای تابش‌های آلفا یا بتا

w مساحت پنجره آشکار ساز، با یکای سانتیمتر مربع

ϵ_s بازده منبع آلودگی

4-Check source

5-Removable spacers

در صورتی که مقادیر مشخصی وجود نداشته باشد، ε_s را می توان به صورت های زیر در نظر گرفت.

$$\varepsilon_s = 0.5 [E_{\beta} \geq 0.4 \text{ MeV}] \text{ گسیلنده های بتا}$$

$$\varepsilon_s = 0.25 [0.15 \text{ MeV} < E_{\beta} < 0.4 \text{ MeV}] \text{ گسیلنده های آلفا و}$$

که در آن E_{β} بیشینه انرژی ذره بتا است

امکان کمتر از حد برآورد کردن آلودگی آلفا در استاندارد ISO7503-1 بررسی شده است.

۴-۲-۲-۳ اندازه گیری غیرمستقیم آلودگی سطح

۴-۲-۲-۳-۱ دستگاه های اندازه گیری

نمونه های آلوده ترجیحاً باید با دستگاه های شمارنده ثابتی که بخوبی حفاظ سازی شده اند مانند شمارنده های تناسبی آلفا/بتا، سیستم های طیف سنجی گاما و سیستم های شمارنده سوسوزن مایع اندازه گیری شوند. در صورتیکه از دستگاه های قابل حمل سنجشگر و پایشگر آلودگی استفاده گردد باید مطابق با استاندارد IEC 325:1981 باشند. این دستگاهها باید قادر به تعیین پرتوزایی برداشته شده تا زیر حد پاکسازی برای آلودگی پرتوزای سطحی که توسط مقررات ملی و بین المللی تعیین می گردد باشند.

یادآوری - اکثر دستگاهها قادر به تشخیص آلودگی های آلفا کمتر از 0.4 Bq و آلودگی های بتا کمتر از 4 Bq هستند. این نشان می دهد که به عنوان مثال در یک اسمیر آلوده با سطحی معادل 100 cm^2 و با فرض ضریب برداشتی معادل $F=0.1$ می توان آلودگی های غیر ثابت کمتر از 0.4 Bq.cm^{-2} را برای گسیلنده های آلفا و نیز کمتر از 0.4 Bq.cm^{-2} را برای گسیلنده های بتا اندازه گیری کرد. این مقادیر، حدود پاکسازی پیشنهادی CEC برای آلودگی های پرتوزای سطحی است.

۴-۲-۲-۳-۲ روش اندازه گیری

پس از برداشت یک نمونه اسمیر مطابق با راهنمایی های ارائه شده در استاندارد ملی شماره ۷۵۰۳-۱: سال ۱۹۸۸، برای سطحی معادل 100 cm^2 ، و در صورتی که مقررات اجازه اسمیر گیری از سطح بزرگتری می دهد (به عنوان مثال طبق پیشنهاد CEC، 300 cm^2)، پرتوزایی سطح، A_s به صورت رابطه (۲) تعیین می گردد.

$$A_s = \frac{(n - n_B)}{\varepsilon_i \times \varepsilon_s \times F \times S} \quad (2)$$

که در آن

n آهنگ شمارش کل، با یکای عکس ثانیه

n_B آهنگ شمارش زمینه، با یکای عکس ثانیه

ε_i بازده دستگاه برای تابش های آلفا یا بتا

F ضریب برداشت

S سطح اسمیر گیری، با یکای سانتی متر مربع

ε_s بازده منبع آلودگی

مقدار F باید به صورت تجربی برای انواع سطوحی که در فرایند از رده خارج سازی تاسیسات با آنها روبرو می شویم تعیین گردد. در غیر اینصورت باید از مقدار $F=0.1$ استفاده شود.

۴-۲-۲-۴ کالیبراسیون بازده دستگاه

تمام دستگاه‌هایی که در اندازه‌گیری‌های مربوط به آلودگی به کار می‌روند باید با استفاده از چشمه‌های مرجع مطابق استانداردهای ISO 6980, ISO 8769 و نیز روش‌های ارائه شده در استاندارد ISO 7503-1 کالیبره شوند.

۴-۲-۲-۵ آلودگی سطحی با تریتیوم

آلودگی تریتیوم هنگام از رده خارج سازی تاسیسات هسته‌ای معمولاً اهمیت چندانی ندارد و علاوه بر این سمیت پرتویی کمی دارد. آن ممکن است به عنوان مثال در بتن‌های مسلح پرتوزا شده در راکتورهای قدرت یا در تاسیسات گداخت هسته‌ای دیده شود. در مواردی که آلودگی تریتیوم حائز اهمیت می‌باشد باید براساس روش‌های کاری مشخص شده در استاندارد ISO 7503-2 ارزیابی شود.

۴-۲-۲-۶ مستند سازی نتایج اندازه‌گیری آلودگی

به منظور رها سازی بدون محدودیت مواد در مرحله از رده خارج سازی تاسیسات هسته‌ای، اندازه‌گیری‌های آلودگی باید به صورت زیر گزارش گردند:

الف- تاریخ؛

ب- معیارهای در نظر گرفته شده برای رها سازی؛

پ- محل و جزئیات آن؛

ت- نوع و سطح برای روش غیرمستقیم؛

ث- نوع اسمیر (خشک یا تر)؛

ج- ماده مرطوب کننده؛

چ- ضریب برداشت برای ارزیابی غیرمستقیم (از طریق اندازه‌گیری یا فرض شده)

ح- دستگاه مورد استفاده

۴-۳-۴ اندازه‌گیری پرتو زایی ویژه

۴-۳-۴-۱ کلیات

اندازه‌گیری پرتو زایی ویژه نیاز به اطلاعاتی در خصوص ترکیب هسته‌های پرتو زا در نمونه دارد که معمولاً با روش‌های طیف سنجی و تجزیه رادیو شیمیایی مشخص می‌شوند. این نکته بسیار مهم است که نسبت رادیونوکلیدهایی که اندازه‌گیری آنها به روش طیف سنجی مشکل یا غیر ممکن می‌باشد، مانند ^{55}Fe ، ^{63}Ni و ^{241}Pu ، به رادیونوکلیدهایی مانند ^{137}Cs یا ^{60}Co که به راحتی اندازه‌گیری می‌شوند تعیین گردد. نسبت رادیونوکلیدها باید برای هر گروه از موادی که به منظور بازیافت، استفاده مجدد یا دور ریزی بدون محدودیت رها می‌شوند، تعیین گردد. چنین

اندازه‌گیری‌هایی باید پس از رفع آلودگی (در صورت امکان) و قبل از خروج مواد از محل تاسیسات هسته‌ای صورت گیرند.

۴-۳-۲ فنون اندازه‌گیری

۴-۳-۲-۱ اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

ساختار ترکیب رادیونوکلییدها باید برای هر واحد مورد بررسی با برداشتن نمونه‌هایی از مرکز آلودگی و سپس شناسایی آنها به روش‌های رادیوشیمیایی یا طیف‌سنجی انجام گردد. روش آشکارسازی انتخاب شده باید به گونه‌ای باشد که بتوان تمام رادیونوکلییدهای مورد نظر را شناسایی نمود.

برای نمونه‌هایی که معیار رها سازی آن برای پرتو زایی ویژه توسط قوانین بین‌المللی و ملی تعیین شده (برای مثال 1Bq.g^{-1} برای رها سازی نامحدود ضایعات فولادی مطابق CEC)، مقدار نمونه برداشته شده باید به اندازه کافی زیاد باشد تا بتوان تجزیه کمی را با سطح اطمینان ۹۵٪ برای کل پرتوزایی نمونه انجام داد. تصحیحات لازم باید برای جذب خودبخود در نمونه در نظر گرفته شوند. ترجیحاً نمونه‌ها باید به گونه‌ای آماده شوند که اندازه‌گیری آنها در توزیع هندسی و فضایی پرتوزایی متناظر برای چشمه‌های کالیبراسیون انجام شود.

طی نمونه برداری باید دقت شود تا تغییری در ترکیب رادیونوکلییدها و پرتو زایی آنها رخ ندهد (به عنوان مثال تبخیر از سطح در هنگام عبور از شعله^۱). برای آلودگی سطحی، نمونه‌ها باید از جایی برداشته شوند که پرتو زایی به درون ماده نفوذ کرده باشد (مانند نقاط جوشکاری).

حدود آشکار سازی برای روش‌های طیف‌سنجی در استانداردهای ISO 11929-1, ISO 11929-2, ISO 11929-3 ذکر شده است. روش‌ها و آشکارسازهای مورد استفاده برای طیف‌سنجی گاما و آلفا نیز در همین استانداردها بیان شده است. روش‌های رادیو شیمیایی برای تعیین رادیونوکلییدهای رایج نظیر ^{55}Fe و ^{63}Ni در پسمان‌های انباشته شده در پیوست ب آمده است.

۴-۳-۲-۲ اندازه‌گیری‌های میدانی

اندازه‌گیری‌های میدانی یا در محل^۲، معمولاً بوسیله دستگاه‌های سنجش آهنگ دز و/یا آهنگ شمارش انجام می‌گیرند. باید دستگاه‌های قابل حمل اندازه‌گیری آهنگ دز پرتوهای گاما و x که بتوانند محدوده 10nGy/h تا $10\text{ }\mu\text{Gy/h}$ را پوشش دهند، مورد استفاده قرار گیرند. دستگاه‌های شمارنده باید حداقل محدوده‌های مربوط به گسیلنده‌های آلفا و بتا/گاما را که در بند ۴-۱ داده شده است را پوشش دهند و الزامات استانداردهای IEC 846:1989 و IEC 1017-1:1991 را برآورده کنند.

آهنگ دز (یا آهنگ شمارش)، پس از تفریق سهم زمینه نشان داده شده توسط دستگاهی که برای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گرفته باید آنگونه که در زیر بند ۴-۳-۲-۱ ذکر شده به پرتوزایی ویژه اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری ارتباط داده شوند. برای تعداد نقاط اندازه‌گیری زیاد

1-flame cutting
2-in situ

باید از ضریب تبدیل که نسبت بین آهنگ دز خالص (یا میزان شمارش) به پرتو زایی ویژه است جهت نشان دادن تطابق با معیار های رها سازی استفاده شود (به بند ۴-۴ مربوط به راهبرد نمونه برداری رجوع کنید).

جدا از معیار های رها سازی پرتو زایی ویژه، معیارهای دیگری نیز برای حدود آهنگ دز در یک فاصله مشخص مورد نظر است. اگر اندازه مجموعه آشکار سازی در مقایسه با فاصله مشخص شده برای معیار رها سازی کوچک باشد، این اندازه گیری ها را می توان با همان دستگاهی که برای اندازه گیری پرتو زایی ویژه مورد استفاده قرار گرفته است انجام داد.

۴-۳-۲-۳ اندازه گیری پرتو زایی گامای کل

سیستمهای اندازه گیری مخصوص، که شمارنده های سوسوزن پلاستیک یا مایع با سطح بزرگ در آنها به کار رفته است، به عنوان مثال دارای هندسه 4π ، می توانند حجم زیادی از مواد را در فواصل زمانی کوتاه اندازه گیری نمایند. در چنین مواردی آنچه تعیین می گردد، پرتو زایی گامای کل می باشد. این سیستم ها باید بتوانند پرتوهای گامای گسیل شده از مواد مورد اندازه گیری را با احتمال آشکار سازی مناسب تعیین نمایند.

شکل هندسی مواد مورد بررسی، نحوه قرارگیری آن در حجم اندازه گیری، و همچنین اثر خود جذبی نمونه می تواند در نتایج اندازه گیری تاثیر گذار باشد. بنابراین مواد باید بر اساس شکل آنها دسته بندی گردند (به عنوان مثال مواد با ضخامت دیواره یکسان در یک دسته قرار می گیرند)، چنین دسته هایی با هندسه و خصوصیات خود جذبی مشابه، باید در کالیبراسیون دستگاه نیز در نظر گرفته شوند. زمانی که پرتو زایی گامای کل از طریق اندازه گیری تعیین شد، می توان پرتو زایی ویژه را پس از اندازه گیری وزن آن دسته تعیین نمود.

هشدار - اثر حفاظ ناشی از وجود دسته مواد در موقعیت اندازه گیری می تواند آهنگ شمارش زمینه را کاهش دهد. برای تعیین این اثر می توان از دسته های مواد غیر پرتو زای مشابه استفاده نمود. تفسیر نتایج حاصله باید با احتیاط صورت گیرد، چراکه تغییرات کوچک در مواد مورد اندازه گیری و موقعیت آلودگی، بویژه وقتی که گسیلنده های کم انرژی مورد نظر باشند، اثر زیادی بر روی ارزیابی تابش اندازه گیری شده دارد.

۴-۳-۲-۴ الزامات مربوط به زمینه

تمام اندازه گیری هایی که برای تعیین معیارهای رها سازی در نظر گرفته شده اند، باید در محیطی انجام شوند که تابش زمینه به کمترین مقدار خود برسند یا حداقل پرتو زایی ویژه قابل آشکار سازی آنها پایین تر از معیارهای رها سازی با اطمینان ۹۵٪ باشد. چنانچه امکان پذیر باشد، برای اندازه گیری های در محل، به عنوان مثال، سازه های بتنی، آهنگ دز زمینه را باید قبل از بهره برداری تعیین نمود یا در غیر این صورت، مقدار آهنگ دز قبل از بهره برداری از اندازه گیری ها در محلی با سازه های مشابه ولی غیر آلوده از آن تاسیسات تعیین می شود. مواد قابل حمل باید به محلی با حفاظ مناسب که آهنگ دز زمینه ی آن بیشتر از 100 nGy/h نباشد، انتقال داده شوند.

روابط ریاضی بین زمان شمارش، آستانه و زمینه در استانداردهای ISO 11929-1, ISO11929-2, ISO11929-3 ذکر شده است.

۴-۳-۵ کالیبراسیون دستگاه ها

اندازه گیری های میدانی باید با سنجشگرهای قابل حمل آهنگ دز که در برابر تابش مرجع ایکس و گاما مطابق استاندارد ISO 4037 کالیبره شده اند انجام شود. سیستم های اندازه گیری خاص، مطابق بند ۴-۳-۴ باید به طور جداگانه برای هر دسته از مواد با استفاده از دسته اندازه گیری مرجع و چشمه مرجع گاما کالیبره شوند. ممکن است دسته مرجع متشکل از یک دسته مواد غیرپرتوزا از ماده مورد نظر یا فانتوم کالیبراسیون باشد. عملکرد صحیح دستگاه ها باید با استفاده از چشمه آزمون مناسب به طور منظم کنترل شود (در صورت استفاده مکرر بررسی روزانه انجام گیرد).

۴-۳-۶ مستندسازی نتایج اندازه گیری پرتو زایی ویژه

به منظور رها سازی نامحدود مواد در مرحله از رده خارج سازی تاسیسات هسته ای، نتایج اندازه گیری پرتو زایی ویژه باید به صورت زیر گزارش گردد:

الف- تاریخ؛

ب- معیار های در نظر گرفته شده برای رها سازی؛

پ- محل و جزئیات آن؛

ت- نوع مواد مورد بررسی؛

ث- دستگاه مورد استفاده؛

ج- حد آشکار سازی؛

چ- تاریخ کالیبراسیون و چشمه مرجع مورد استفاده؛

ح- قرائت زمینه (آهنگ دز یا آهنگ شمارش)؛

خ- آهنگ دز کل (آهنگ شمارش) اندازه گیری شده ؛

د- ضریب تبدیل مورد استفاده برای آهنگ دز (آهنگ شمارش) بر حسب پرتو زایی ویژه؛

ذ- پرتو زایی ویژه (شامل ساختار ترکیب رادیونوکلئیدها)؛

ر- در صورتیکه پرتو زایی ویژه از معیار رها سازی مورد نظر بیشتر باشد، اعلام زمان و تاریخی که پرتو زایی ویژه به کمتر از حد رها سازی خواهد رسید؛

ز- نام و امضای شخص اندازه گیر؛

۴-۴ راهبرد نمونه برداری

نمونه هایی که برای آنالیز رادیونوکلئیدها جمع آوری می شوند باید شاخصی از کل مواد مورد نظر برای رها سازی باشند. اجسام کوچک مانند لوله ها و غیره باید به طور کامل از نظر پرتو زایی و آلودگی سطحی در هر دو سطح داخلی و خارجی آن بررسی شوند. برای اجسام بزرگ مانند سطوح

داخلی ساختمان نظیر کف، دیوار و سقف، باید نقاط اندازه گیری از نظر آماری به گونه ای تعیین گردند که با کمترین تعداد نمونه برداری بتوان به ضریب اطمینان ۹۵٪ دست یافت. این استاندارد از روش نمونه برداری تصادفی که در [۷] در پیوست پ آمده است استفاده می کند، در این حالت حداقل تعداد قابل قبول نمونه از نظر آماری، n ، به صورت رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$n \geq 45 \frac{s^2}{\bar{X}} \quad (3)$$

که در آن

s انحراف معیار نمونه

$\bar{X}$ میانگین پارامتر انتخاب شده از n نمونه

درخصوص کف، دیوار و سقف های داخل ساختمان، باید سطوح متناسب با مساحت متوسط مکان مورد نظر شبکه بندی شده و شماره گذاری شوند. حداقل سی نمونه تصادفی از هر شبکه به همراه اندازه گیری آهنگ دز گاما در فاصله یک متری بالای مرکز شبکه جمع آوری گردد. در سطح هر بلوک تحت بررسی تعدادی اندازه گیری های مماس با سطح برای تعیین پرتو زایی ویژه سطحی آلفا، آهنگ دز بتا گاما و نیز آهنگ های دز گاما در نقاط خاصی به صورت یکنواخت در بلوک های مورد نظر انجام می شود. تعداد اندازه گیری های مماس بستگی به ابعاد آشکار ساز در مقایسه با اندازه شبکه و تغییرات پرتو زایی در آن بلوک دارد.

پس از اتمام آنالیز نمونه، میانگین $\bar{X}$ و انحراف معیار s برای هر پارامتر مرتبط با نمونه ها محاسبه می شود، تعداد نمونه ها، n ، لازم برای به دست آوردن یک تخمین دقیق از میانگین طبق معادله زیر محاسبه می شود

$$n = 45 \frac{s^2}{\bar{X}} \quad (4)$$

اگر مقدار محاسبه شده n بیشتر از ۳۰ عدد باشد (تعداد نمونه های اولیه در نظر گرفته شده)، لازم است نمونه های بیشتری جمع آوری شود.

زمانیکه تعداد نمونه های کافی طبق معادله (۴) جمع آوری شد، میانگین $\bar{X}$ و خطای معیار $\bar{s}$ به صورت زیر تعریف می شوند.

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

و برای هر پارامتر دلخواه محاسبه می شوند. اگر مقادیر پارامتر محاسبه شده به صورت $\bar{X} + 2\bar{s}$ زیر حدود تعیین شده باشند، تطابق با حدود رها سازی نامحدود با سطح اطمینان ۹۵٪ حاصل شده است. اگر فرایند رفع آلودگی مواد پرتوزا به شکل یکنواختی انجام گیرد، باید از روش مشابهی برای اشیاء حجیم فلزی استفاده کرد.

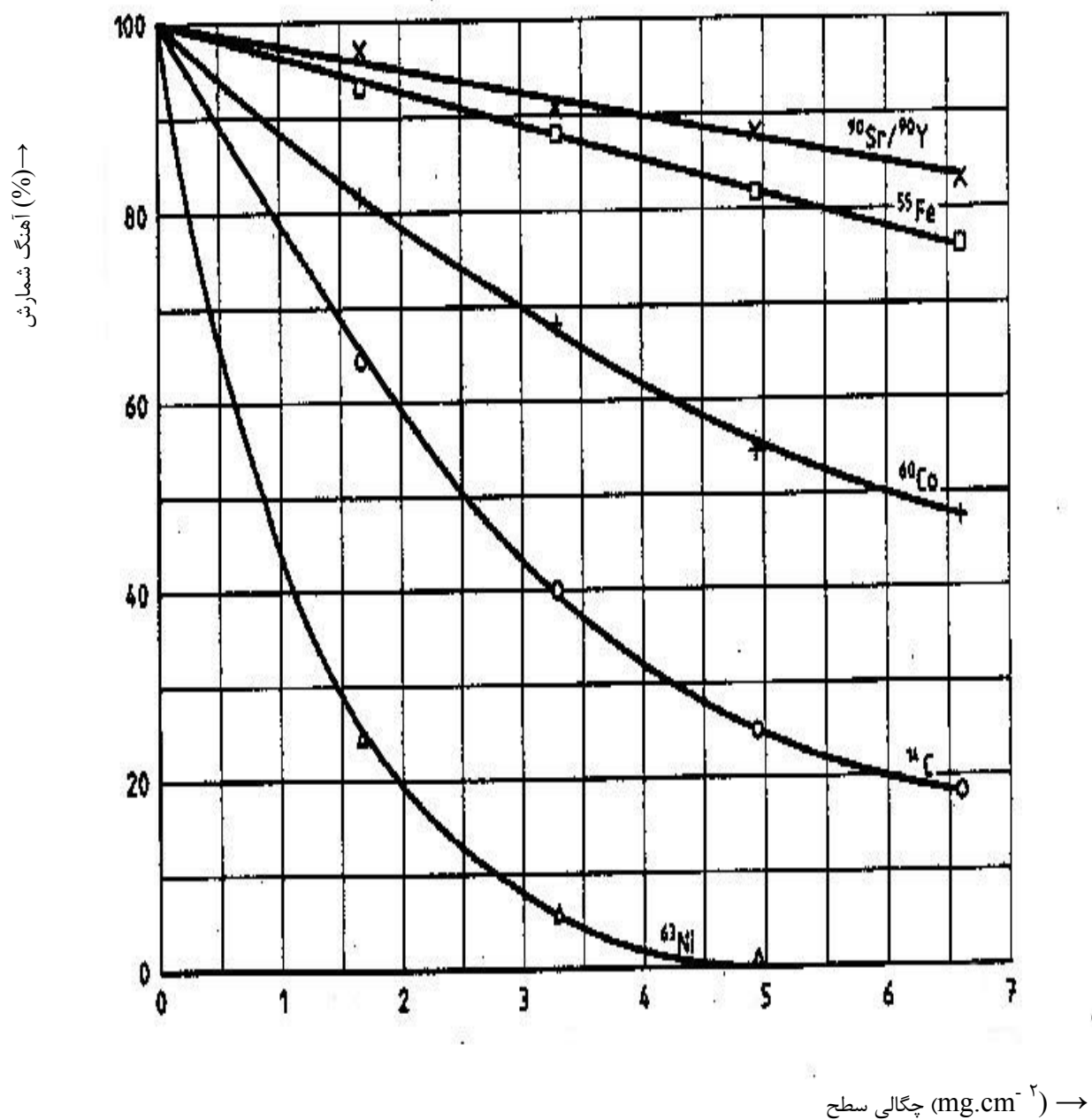
پیوست الف

(الزامی)

شکل های مربوط به اندازه گیری های آلودگی سطحی بتا

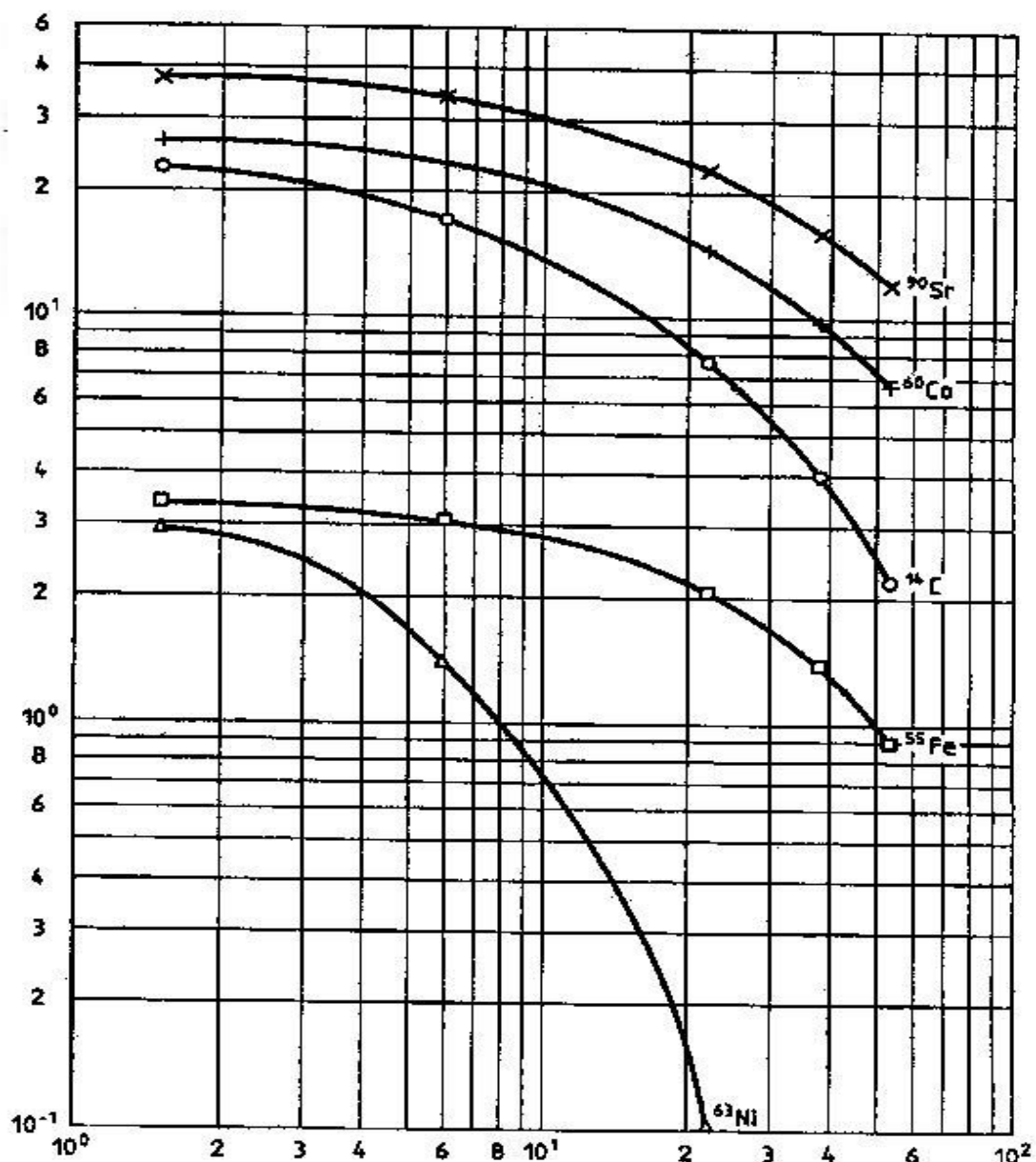
در این پیوست اثر لایه های جاذب روی سطح جسم، فاصله بین آشکارساز و سطح مورد بررسی و شکل اجسامی که باید بررسی شوند در شکل های الف- ۱ و الف- ۲ به تفصیل آمده است. آهنگ شمارش بهنجار شده^۱ یک شمارنده تناسبی Ar/CH_4 (آرگن-متان) با لایه سطحی 0.9 mg.cm^{-2} و مساحتی معادل 112 cm^2 که در معرض منبع آلودگی سطحی نازکی به مساحت 100 cm^2 قرار گرفته به عنوان تابعی از چگالی سطح لایه جاذب در شکل الف- ۱ آمده است. ضخامت زبری سطح فلز پرداخت نشده^۲ حدوداً نصف اندازه متوسط ذرات است یعنی بیشینه مقدار تقریبی آن $50 \mu\text{m}$ است. سطوح پرداخت شده دارای ضخامت زبری کمی در حد چند میکرومتری هستند. با فرض اینکه چگالی سطحی لایه های روغن (گریس) یا گرد و غبار برابر 0.5 mg.cm^{-2} باشد لایه جاذب این مواد به ترتیب برابر 2.5 mg.cm^{-2} و 0.7 mg.cm^{-2} می شود. همانطور که در شکل الف- ۱ می توان مشاهده نمود، آهنگ شمارش به میزان ۲۵٪ برای ^{63}Ni با چگالی سطحی 2.5 mg.cm^{-2} لایه جاذب کاهش می یابد. آهنگ شمارش بر حسب فاصله بین منبع و سطح آشکارساز برای شمارنده تناسبی گازی در شکل الف- ۲ نشان داده شده است.

1-normalized
2- unpolished metal



شکل الف ۱- آهنگ شمارش بهنجار شده بر حسب چگالی سطحی لایه جاذب

→ آهنگ شمارش $(s^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot cm^2)$



→ (mm) فاصله بین چشمه و آشکار ساز

چشمه کالیبراسیون سطحی $۱۲/۵ cm \times ۸ cm$

سطح آشکار ساز $۱۶/۶ cm \times ۹/۴ cm$

فویل آشکار ساز $۰/۳ mg \cdot cm^{-۲}$

گاز $Ar / CH_۴$

شکل الف ۲- آهنگ شمارش بر حسب فاصله بین چشمه و سطح آشکار ساز

پیوست ب

(الزامی)

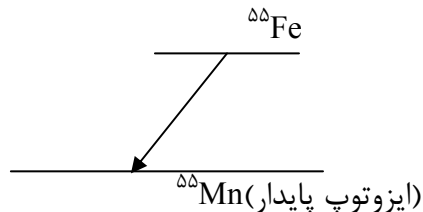
اندازه گیری مقادیر کم پرتوزایی ^{63}Ni و ^{55}Fe

ب- ۱ مقدمه

این ضمیمه در رابطه با دو رادیونوکلیدی است که در فهرست هسته های کلیدی قرار دارند و در صورت الزام واحد قانونی باید پرتوزایی آنها اندازه گیری شود. آهن-۵۵ گسیلنده پرتو ایکس کم انرژی است (5.9 keV) و نیکل-۶۳ گسیلنده خالص پرتو بتا است. زمانیکه این دو عنصر مخلوط با سایر رادیونوکلیدها باشند به صورت مستقیم قابل اندازه گیری نیستند. بنابراین برای دستیابی به دقت بیشتر باید از روش استخراج شیمیایی یا جداسازی استفاده نمود. روش های ارائه شده امکان اندازه گیری مقادیر کم پرتوزایی مربوط به شکلهای مختلف پسمان پرتوزای جامد را خواهد داد. روش های یکسان که در آزمایشگاه های مختلف استفاده می شوند امکان مقایسه و بهبود صحت نتایج را فراهم می کنند.

ب- ۲ تعیین آهن-۵۵

آهن در تمام اجزای راکتورهای هسته ای که از فولاد ضد زنگ ساخته شده اند وجود دارد و بوسیله نوترون ها پرتوزا می شود. بنابراین آهن-۵۵ معمولاً در پسمان راکتور هسته ای و قراضه های مرتبط وجود دارد. آهن-۵۵ نیم عمر طولانی دارد ($T_{1/2} = 2.7 \text{ سال}$). شمای واپاشی آن با گیراندازی الکترون همراه است ($E = 232 \text{ keV}$). که منجر به تابش پرتو ایکس نرم می شود ($E = 5.9 \text{ keV}$).



از این پرتو x نرم برای تعیین کمی پرتوزایی این رادیونوکلید استفاده می شود.

ب-۲-۱ معرف ها

ب-۲-۱-۱ محلول غلیظ (10 g.l^{-1}) از Cs, Ag, Co, Ni

ب-۲-۱-۲ محلول آهن، به عنوان حامل پشتیبان

ب-۲-۱-۳ آمونیاک غلیظ و اسیدهای معدنی به عنوان مثال اسیدسولفوریک، اسیدنیتریک

اسیدپرکلریک و غیره

ب-۲-۱-۴ اسیدنیتریک، 1 mol.l^{-1}

ب-۲-۱-۵ اسیدهیدروکلریک، $5/0 \text{ mol.l}^{-1}$ و $0/5 \text{ mol.l}^{-1}$

ب-۲-۱-۶ تعویض کننده های آنیونی آلی، آمونیوم چهار ظرفیتی نوع ۱، ۴٪ DVB، با مش ۱۰۰

تا ۲۰۰

ب-۲-۲ تجهیزات جانبی

ب-۲-۲-۱ ظروف شیشه‌ای آزمایشگاهی، بشر، بورت، پی‌پت‌ها و غیره

ب-۲-۲-۲ pH متر

ب-۲-۲-۳ دستگاه سانتریفوژ و/یا سیستم‌های فیلتراسیون آزمایشگاهی

ب-۲-۲-۴ اسپکترومتر جذب اتمی یا اسپکترومتر ICP^۱

ب-۲-۲-۵ اسپکترومتر پرتو x یا شمارنده سوسوزن مایع

ب-۲-۲-۶ اسپکترومتر پرتو گاما

ب-۲-۳ اندازه گیری آهن-۵۵

با توجه به خواص هسته‌ای این ماده، آهن-۵۵ حداقل با دو روش که مستلزم جداسازی شیمیایی هستند به صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود.

۱- اسپکترومتری پرتو X

این روش اکثراً برای نمونه‌هایی که رنگی هستند و یا مواردی که پرتوزایی کافی دارند، یعنی بیشتر از 100 Bq.l^{-1} ، به کار می‌رود (روش کاهشی)

۲- شمارنده سوسوزن مایع

پرتو X یا الکترون اوژه همراه با گسیل فوتون به عنوان گسیلنده بتای ضعیف در سوسوزن مایع عمل می‌نمایند. این روش برای نمونه‌هایی با پرتو زایی آهن بین 1 Bq.l^{-1} تا 100 Bq.l^{-1} و نیز برای گسیلنده‌هایی با عدد اتمی بیشتر از اورانیوم^۲ که باید جدا سازی شوند، استفاده می‌شود (روش عمومی). این روش همیشه برای نمونه‌هایی که دارای عناصر کبالت، نیکل، نقره، یا تریتیوم هستند به کار می‌رود.

1--Inductively Coupled Plasma spectrometer
2-transuranium

ب-۲-۳-۱ روش کاهشی

دستورالعمل این روش در شکل ب-۱ آمده است.

نمونه‌های جامد بر اساس خواصی که دارند، حل می‌شوند. در کل، حجم قابل ملاحظه‌ای از اسیدهای معدنی غلیظ (بند ب-۲-۱-۳) مصرف می‌شود.

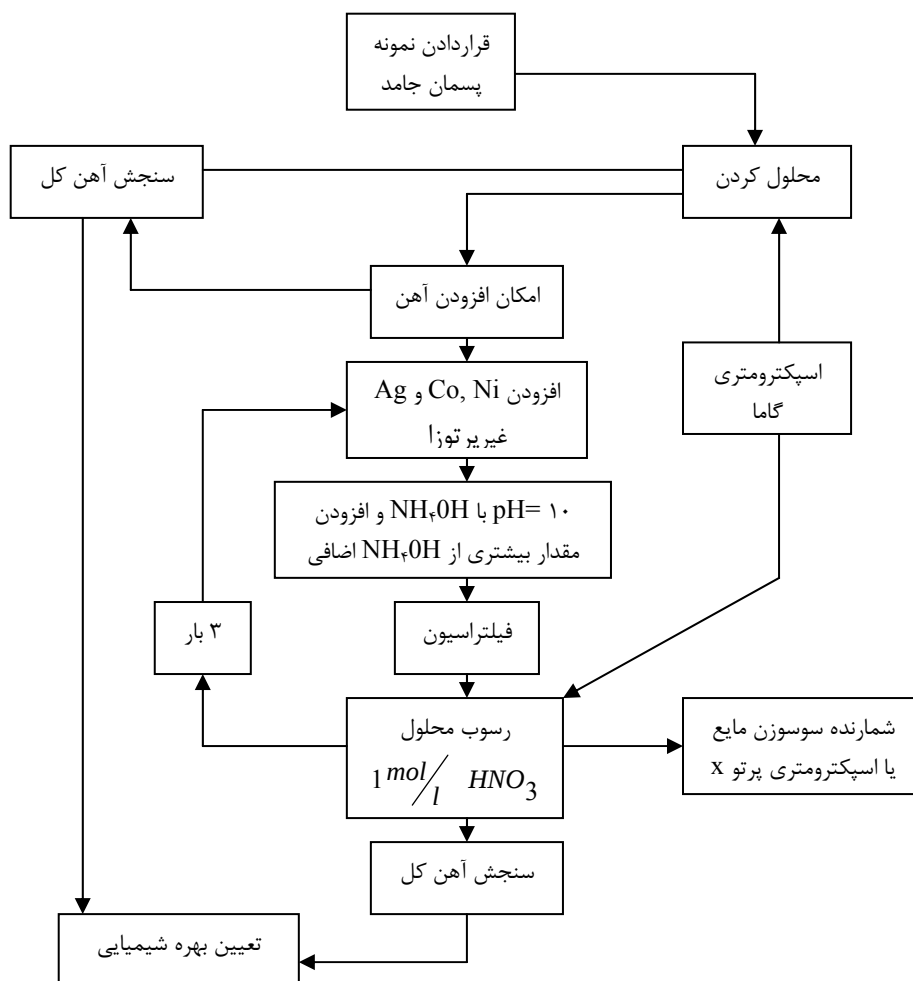
غلظت کلی آهن با دستگاه جذب اتمی یا اسپکترومتر ICP اندازه‌گیری می‌شود (بند ب-۲-۲-۴). غلظت آهن محلول باید حدود 25 mg.l^{-1} باشد. در صورتیکه غلظت آن کمتر از این میزان باشد مقدار مشخصی از آن باید ساخته شود.

آهنگ جداسازی آهن-۵۵ از طریق اندازه‌گیری آهن قبل و بعد از جداسازی تعیین می‌شود. وجود احتمالی ناخالصیهای پرتوی که در جریان جداسازی ^{55}Fe هنوز هستند توسط اسپکترومتر پرتوگاما بررسی می‌شوند (بند ب-۲-۲-۶)

افزودن نیکل، کبالت و نقره که در $\text{pH}=10$ با آمونیاک رسوب نمی‌کنند، باعث بهبود ضریب رفع آلودگی این عناصر می‌شود. افزودن این عناصر باید تارسیدن به حد 20 mg.l^{-1} و قبل از رسوب آنها ادامه یابد.

زمانیکه دو ماده اول اضافه می‌شوند، جدا کردن رسوبات با دستگاه سانتریفوژ انجام می‌گیرد و برای ماده سوم فیلتراسیون و سانتریفوژ توأم صورت می‌گیرد.

سپس اسیدنیتریک (بند ب-۲-۱-۴) برای حل کردن رسوب هیدروکسید آهن III مصرف می‌شود. در انتها از محلول اسیدنیتریک برای تعیین بهره شیمیایی ($> 95\%$) و نیز برای تعیین پرتوزایی ویژه ^{55}Fe توسط اسپکترومتری پرتو X استفاده می‌شود.



شکل ب-۱- روش کاهش برای جداسازی ^{55}Fe ویژه

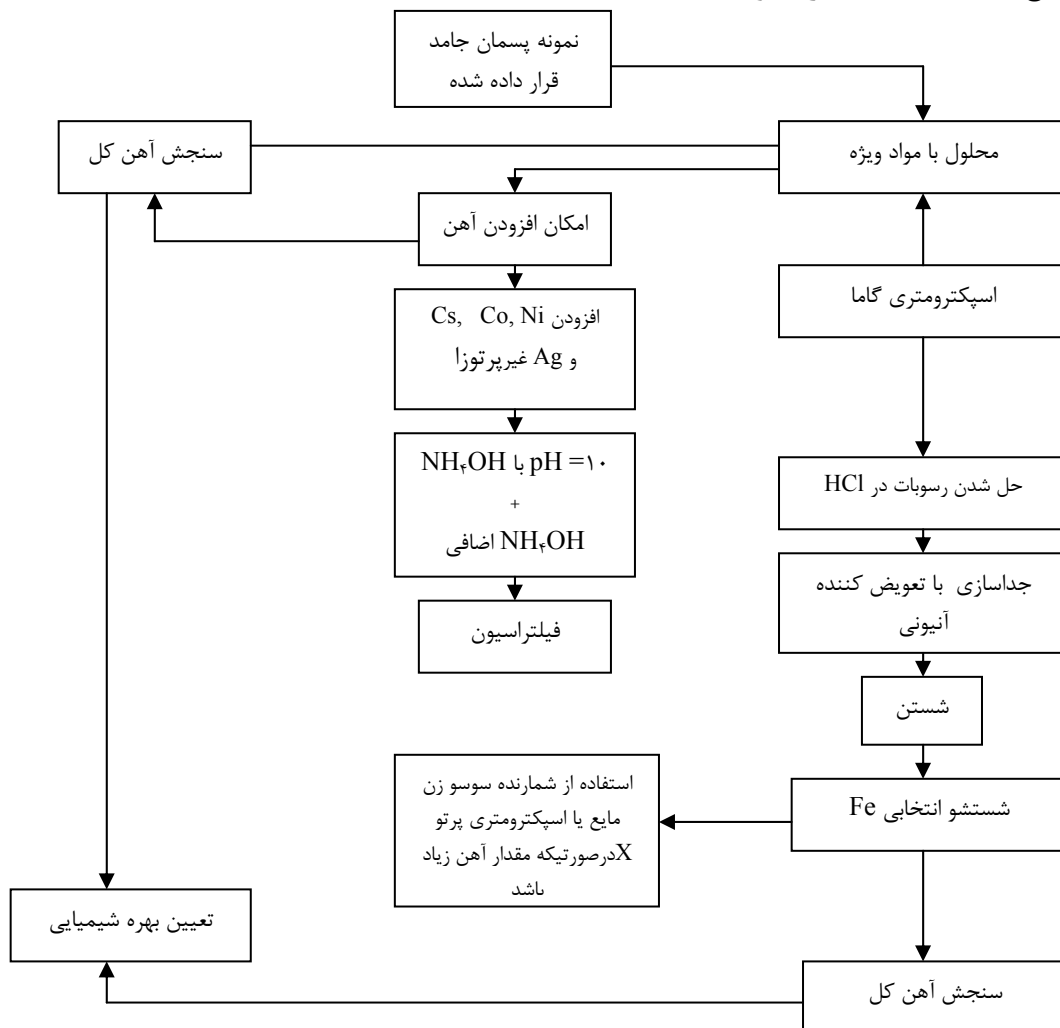
ب-۲-۳-۲ روش عمومی

دستورالعمل این روش در شکل ب-۲ آمده است.

شروع این روش مشابه روش کاهشی است. سومین رسوب به جای اسیدنیتریک (بند ب-۲-۱-۴) در 5 ml.l^{-1} اسیدهیدروکلریک (بند ب-۲-۱-۵) حل می شود و به این ترتیب کمپلکس آنیونی FeCl_4^- تولید می شود.

این محلول از رزین تعویض کننده آنیونی عبور داده می شود و سپس رزینی آنیونی با اسیدهیدروکلریک 5 ml.l^{-1} شستشو داده می شود.

آهن با اسیدهیدروکلریک 0.5 ml.l^{-1} از رزین شسته می شود (بند ب-۲-۱-۵) محلول تا حد خشک شدن تبخیر می شود و اسیدنیتریک (بند ب-۲-۱-۴) برای حل کردن باقیمانده مواد مصرف می شود. بهره جداسازی آهن محلول اندازه گیری می شود ($> 95\%$) و سپس اسپکترومتری پرتو X (بند ب-۲-۲-۵) یا شمارش سوسوزن مایع مورد استفاده قرار می گیرد. در روش شمارش سوسوزن مایع دستگاه باید کالیبره شود.

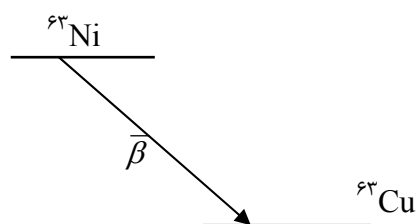


شکل ب-۲- روش عمومی برای جداسازی ^{55}Fe ویژه

ب-۳ تعیین نیکل ۶۳

نیکل یکی از ترکیبات اصلی آلیاژ Inconel^۱ است ($> 50\%$) و به میزان کمتر در استیل ($\approx 10\%$) وجود دارد. هر دوی این آلیاژها در شار بالای نوترون حرارتی استفاده می‌شوند. بنابراین ممکن است Ni در کلیه پسمان‌های هسته‌ای یافت شود. نیکل ۶۳ نیمه عمر طولانی دارد (سال $T_{1/2} = 100$).

^{63}Ni گسیلنده خالص بتای نرم است ($E_{\beta} = 67 \text{ keV}$) و این پرتو بتا برای تعیین کمی این عنصر مصرف می‌شود.



ب-۳-۱ معرف‌ها

ب-۳-۱-۱ محلول نیکل - به عنوان حامل پشتیبان (10 g.l^{-1})

ب-۳-۱-۲ دی متیل گلی اکسیم

ب-۳-۱-۳ محلول سیترات آمونیم (20 g.l^{-1})

ب-۳-۱-۴ کلروفرم

ب-۳-۱-۵ اسید نیتریک، غلیظ و رقیق

ب-۳-۲ تجهیزات جانبی

ب-۳-۲-۱ ظروف شیشه‌ای آزمایشگاهی، بشر، بورت، پی‌پت و غیره

ب-۳-۲-۲ آب مقطرگیر و فلاسک‌های تقطیر

ب-۳-۲-۳ pH متر

ب-۳-۲-۴ دستگاه جذب اتمی

ب-۳-۲-۵ دستگاه شمارش پرتو β ، سوسوزن مایع

ب-۳-۲-۶ اسپکترومتر پرتو گاما

ب-۳-۳ اندازه‌گیری نیکل-۶۳

روش اندازه‌گیری در شکل ب-۳-آمده و شامل مراحل زیر است:

^۱ - Inconel آلیاژی است که در تولید پره‌های توربین گازی به کار می‌رود.

مرحله اول

نمونه های جامد بر اساس ماهیتشان حل می شوند

مرحله دوم

اندازه گیری جذب اتمی محلول نیکل غلیظ انجام می شود و در صورت نیاز مقادیر بیشتری از نیکل اضافه می شود تا غلظت آن به حدود (10 mg.l^{-1}) برسد. از آنجا که این ماده رنگ شده است لذا از بکار بردن غلظت های زیاد آن باید اجتناب ورزید. رنگ شدن محلول اثر مخربی بر فرونشانی^۱ شمارش سوسوزن مایع دارد.

مرحله سوم

استخراج شیمیایی نیکل با دی متیل گلی اکسیم (بند ب-۱-۲) پس از تنظیم pH و افزودن سیترات (بند ب-۱-۳) انجام می شود. عمل استخراج به منظور افزایش کارایی بیش از ۹۵٪، چهار بار تکرار شود.

مرحله چهارم

جداسازی کلروفرم با قیف جداکننده انجام شده و چهار استخراج آن در یک فلاسک تقطیر جمع آوری می شوند.

مرحله پنجم

حذف کلروفرم به وسیله تقطیر انجام می شود تا زمانی که یک استخراج خشک نیکل دی متیل گلی اکسیمات^۲ به دست آید. این مرحله ضروری است چرا که کلروفرم تاثیر منفی بر فرونشانی دستگاه کالبراسیون دارد.

مرحله ششم

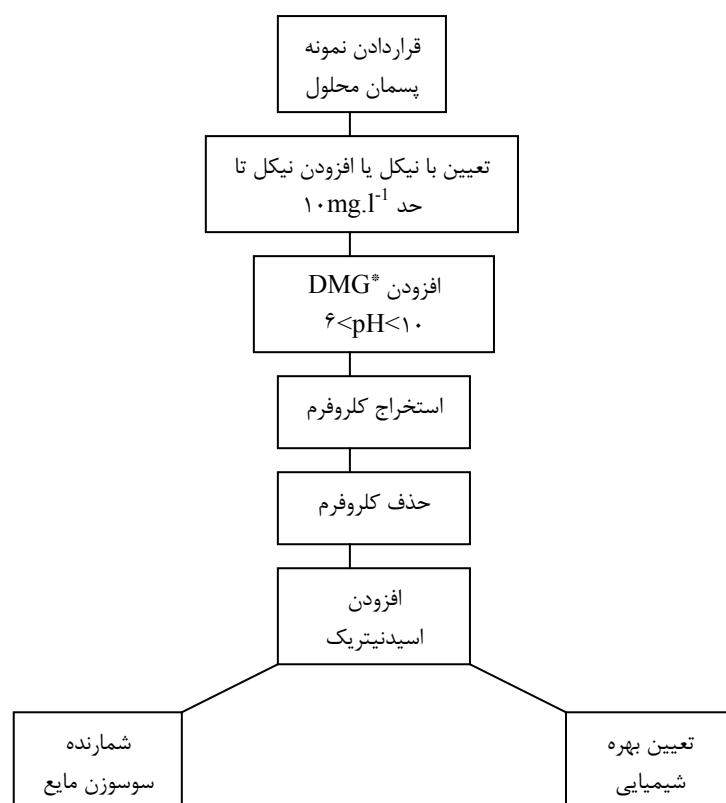
افزودن اسیدنیتریک غلیظ (بند ب-۱-۵) باعث حلالیت مجدد نیکل و تخریب کمپلکس Ni DMG می شود. فلاسک تقطیر باید با اسیدنیتریک رقیق (بند ب-۱-۵) شستشو داده شده و حجم نهایی مطابق نیاز تنظیم شود.

مرحله هفتم

اولین قسمت محلول برای محاسبه بهره شیمیایی توسط دستگاه اندازه گیری جذب اتمی استفاده می شود.

دومین قسمت محلول برای سنجش با دستگاه شمارنده سوسوزن مایع به کار می رود. پیش از اندازه گیری فرونشانی دستگاه باید انجام شود.

1-quenching
2-Ni DMG



* DMG = دی متیل گلی اکسیم

شکل ب ۳- روش جداسازی ^{63}Ni ویژه

پیوست پ
(اطلاعاتی)
کتابنامه

- [1] Factors.. relevant to the recycling or re-use of components arising from the decommissioning and refurbishment of nuclear facilities, IAEA Technical reports series No. 293, Vienna(1988).
- [2] Radiological protection criteria for the recycling of materials from the dismantling of nuclear installations. Recommendations from the group of experts set up under the terms of Article 31 of the Euratom Treaty, Radiation Protection No.43, Commission of the European Communities, Luxembourg (1988).
- [3] Application of exemption principles to the recycling and reuse of materials from nuclear facilities, IAEA Safety No.111-P-1.1, Vienna(1993).
- [4] International standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, IAEA/FAV/ILO/NEA/PAHO/WHO: Basic safety standards, IAEA, Vienna(1994).
- [5] HULOT M., et al., State of the art review on technology for measuring and controlling very low -level radioactivity in relation to the decommissioning of nuclear power plants, EUR 10643 EN, (1986).
- [6] HOFFMAN R., and LEIDENBERGER B., Optimization of measurement techniques for very low level radioactive waste material, EC Research Contract F/ 1D-0048D(B).
- [7] Monitoring Programmes for Unrestricted Release Related to Decommissioning of Nuclear Facilities, IAEA Technical Reports Series No. 334, Vienna(1992).

۸- استاندارد ملی ایران شماره ۷۵۵۱ : سال ۱۳۸۴، حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی
منابع پرتو استانداردهای پایه