Archive of SID

مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 96, No. 3, 2021

طراحی، ساخت و کنترل کیفی چشمه‌ی استاندارد کالیبراسیون سیستم طیف‌سنجی گاما با ماتریس فیلتر

حسن رنجبر، علی یوسفی*

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران

*Email: alyousefi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۶/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۸/۶

چکیده

شناسایی و اندازه‌گیری میزان پرتوزایی ذرات معلق در هوا یک امر ضروری و بسیار مهم برای شناخت و تخمین اثر آلودگی‌های پرتوزا بر سلامت افراد و محیط زیست است. طیف‌سنجی گاما یکی از مفیدترین روش‌های آنالیز کمّی و کیفی نمونه‌ها از جمله فیلترهای هوا است. یکی از اقدامات اولیه و ضروری در انجام آنالیز نمونه‌ها توسط طیف‌سنجی گاما، کالیبره کردن این تجهیز است که نیازمند چشمه‌های استاندارد مناسب می‌باشد. هدف از این پژوهش طراحی و ساخت یک چشمه استاندارد مناسب با هندسه فیلتر و سپس کنترل کیفی و صحه‌گذاری آن است. به این منظور از فیلتر هوای هپای دایره‌ای شکل با قطر ۶۰ mm استفاده گردید. سیستم طیف‌سنجی HPGe با استفاده از چشمه استاندارد ساخته شده کالیبره گردید. نتایج شمارش چشمه ساخته شده و کنترل کیفی آن صحت روش ساخت چشمه را نشان داد. صحه‌گذاری روش ساخت چشمه به وسیله روش اسپایک، خطای قابل‌قبول ۸٪ را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: چشمه استاندارد، طیف‌سنجی گاما، کالیبراسیون بازده، فیلتر هوا

Design, manufacture, and quality control of a calibration standard source of gamma-ray spectrometry system with filter matrix

H. Ranjbar, A. Yousefi*

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran

Research Article

Received 22.8.2020, Accepted 27.10.2020

Abstract

Identifying and measuring the radioactivity of airborne particles are necessary and very important to recognizing and estimating the effect of radioactive contamination on human health and the environment. Gamma-ray spectrometry is one of the most useful methods for quantitative and qualitative analysis of samples, like air filters. The first and necessary step in performing sample analysis by Gamma-ray spectrometer is to calibrate this equipment which requires appropriate standard sources. The purpose of this research is to design and manufacture a suitable standard source considering filter geometry and its quality control and validation. For this purpose, a circular HEPA air filter with a diameter of 60 mm was used. Gamma-ray spectrometry system (HPGe) was calibrated by mentioned standard source. The results of counting and quality control of the manufactured source showed the accuracy of source manufacturing method. The validation of manufacturing method by Spike method showed an acceptable error of 8%.

Keywords: Standard source, Gamma-ray spectrometry, Efficiency calibration, Air filter

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

یکی از نگرانی‌های عمده گسترش صنایع، از جمله صنعت هسته‌ای، انتشار آلاینده‌های تولیدی آن‌ها از جمله آلودگی هوا است. در سرتاسر صنعت هسته‌ای، از اکتشاف و معدن‌کاری تا بازفراوری و پسمانداری، انتشار مواد پرتوزا به محیط پیرامون از جمله هوای اطراف بسیار محتمل است [۱]. مواد پرتوزا[1]ی منتشر شده از صنایع هسته‌ای، به‌ویژه راکتورهای هسته‌ای، هسته‌های پرتوزا[2] با منشأ کیهانی (مانند برلیوم-۷) و هسته‌های پرتوزا با منشأ زمینی (مانند رادون و دخترهایش در معادن و ...) پس از برخورد با ذرات جامد و مایع معلق در هوا (آیروسل‌ها)، بر روی آن‌ها نشسته و سبب آلودگی و فعال‌سازی آن‌ها می‌شود [۲]. این ذرات از راه استنشاق وارد بدن شده و باعث بروز مشکلاتی از جمله سرطان خواهند شد؛ پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، ارتباط بین حضور ذرات پرتوزا در هوا و بروز سرطان ریه را نشان می‌دهد [۳].

به‌منظور برآورد و بررسی اثر ذرات پرتوزای هوا بر سلامت افراد، کسب اطلاعات درباره مشخصات و ویژگی‌های این ذرات ضروری است؛ یکی از این مشخصات، ویژگی هسته‌ای آن‌ها است. اولین گام، مشخصه‌یابی هسته‌ای ذرات پرتوزای هوا، یعنی تشخیص نوع هسته پرتوزا و اندازه‌گیری میزان غلظت پرتوزایی آن‌ها است. روش اسپکترومتری گاما یکی از مفیدترین و رایج‌ترین روش‌های تشخیص و اندازه‌گیری هسته‌های گامازا در نمونه‌ها می‌باشد. در این روش با استفاده از طیف پرتو گامای گسیل شده از عناصر پرتوزای موجود در نمونه‌ها و تحلیل آن، می‌توان به مشخصات کیفی و مقادیر کمی هسته‌های پرتوزا موجود در نمونه پی برد [۴].

مشخصه‌یابی و اندازه‌گیری هسته‌های پرتوزای موجود در نمونه‌های فیلتر هوا می‌تواند به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام شود؛ یعنی یا خود فیلتر هوا را می‌توان مستقیماً مورد شمارش و آنالیز قرار داد و یا فیلتر به روش شیمیایی با اسید هضم شده، به‌صورت محلول درآمده و این نمونه محلول مورد شمارش و آنالیز قرار می‌گیرد [۵].

از اقدامات اولیه و بسیار ضروری هر آنالیز هسته‌ای (از جمله آنالیز فیلتر هوا به روش مستقیم یا غیرمستقیم) کالیبراسیون تجهیزات سیستم اسپکترومتری گاما می‌باشد [۶-۸]. در روش اسپکترومتری گاما، کالیبراسیون به سه بخش کالیبراسیون انرژی، عرض قله و بازده تقسیم می‌شود که بخش اول برای آنالیز کیفی نمونه‌ها و بخش دوم جهت تعیین قدرت تفکیک قله‌ها به کار می‌روند. اهمیت کالیبراسیون بازده به‌دلیل دست‌یابی به آنالیز کمّی نمونه‌ها است. سیستم طیف‌سنجی گاما باید با استفاده از چشمه‌های استاندارد کالیبره شود. این چشمه‌ها از نظر نوع ماتریس، هندسه و چگالی باید با نمونه‌های مورد آزمایش (تا حد امکان) یکسان باشد و طیف انرژی، آن تمام طیف انرژی موجود در نمونه را پوشش دهد. به همین دلیل چشمه استاندارد با مشخصات مناسب جهت کالیبراسیون دقیق و صحیح سیستم آشکارسازی به‌منظور آنالیز کمّی هسته‌های پرتوزای موجود در نمونه‌های تحت آنالیز لازم و ضروری است [۹-۱۱]. چشمه استاندارد محلول که از ترکیب آب و مخلوطی از هسته‌های پرتوزای تهیه می‌شود، به‌راحتی قابل ساخت و حصول بوده و در مورد آنالیز فیلترهای هوا با روش غیرمستقیم قابل استفاده است. چنان‌چه چشمه استاندارد با ماتریس و هندسه فیلتر برای کالیبراسیون بازده سیستم طیف‌سنج گاما وجود داشته باشد، دیگر نیازی انجام به پروسه نمونه‌سازی برای هر نمونه فیلتر، مانند روش غیرمستقیم، وجود ندارد. با این کار نه تنها در وقت و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد بلکه در مواقع اضطراری و حوادث هسته‌ای بسیار سریع‌تر می‌توان بحران مربوط به آلاینده‌های پرتوزای هوا را مورد ارزیابی و مدیریت قرار داد.

بنابراین هدف از این پژوهش، ساخت یک چشمه استاندارد با ماتریس فیلتر است که بتوان با آن سیستم طیف‌سنج گاما را کالیبره کرد. برای این کار، ابتدا به طراحی، ساخت و سپس کنترل کیفی چشمه استاندارد ساخته شده پرداخته می‌شود و در نهایت صحت آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. مواد و روش

جهت ساخت چشمه استاندارد کالیبراسیون، از ماتریس فیلتر و یک محلول پرتوزا که شامل مخلوطی از هسته‌های پرتوزا با غلظت مشخص، به‌نحوی که مجموعه انرژی‌های آن‌ها طیف انرژی را به خوبی پوشش دهد و هم‌چنین از تجهیزاتی مانند میکروپیپت از نوع Eppendorf (با دقت ۰٫۰۱ µl) استفاده گردید. محلول پرتوزا استاندارد که در ساخت فیلترها مورد استفاده قرار گرفت از نوع ماده مرجع گواهی‌شده (CRM) ساخت شرکت پل‌اتم لهستان است که مخلوطی از هسته پرتوزاهای ^{241}Am، ^{109}Cd، ^{57}Co، ^{137}Cs، ^{54}Mn، ^{65}Zn و ^{60}Co می‌باشند که گسیل‌کننده پرتو گاما با انرژی‌های مندرج در جدول ۱ هستند. آشکارساز مورد استفاده در این تحقیق آشکارساز ژرمانیم فوق خالص (HPGe) ساخت شرکت Eurisys Mesures با بازده نسبی ۸۰٪ و ولتاژ بایاس ۵ کیلوولت است.

1. Radioactive
2. Radionuclide

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به این‌که چشمه‌های استاندارد کالیبراسیون باید بیش‌ترین شباهت را از لحاظ ابعاد و مشخصات هندسی با نمونه‌های مورد آزمون داشته باشند، برای آماده‌سازی چشمه استاندارد فیلتر از نمونه فیلترهای مرسوم هِپا، که در سیستم‌های پایش محیطی راکتور کاربرد فراوان دارند، استفاده شد. جنس این فیلترها از جنس فایبرگلاس است و دارای هندسه دایره‌ای شکل با قطر ۶۰ mm هستند.

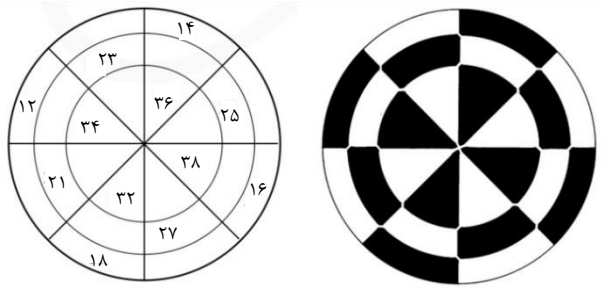
از آن‌جاکه یکنواختی و همگنی چشمه استاندارد از اهمیت بالایی برخوردار است، برای دست‌یابی به یکنواختی قابل قبول، چشمه استاندارد به جای یک‌پارچه بودن به‌صورت چندتکه‌ای طراحی شد (شکل ۱)، به این صورت که مقطع دایره‌ای فیلتر به ۸ قسمت پای- شکل مساوی و سپس به سه حلقه هم‌مرکز تقسیم شده تا در مجموع ۲۴ قطعه ایجاد گردد. مطابق شکل ۱ از هر حلقه که شامل هشت قسمت مساوی است، چهار قطعه انتخاب و بریده می‌شود تا این‌که این قسمت‌ها به ماده پرتوزا آغشته شوند (این قسمت‌ها با رنگ سیاه در شکل مشخص شده‌اند). با استفاده از میکروپیپت، بر روی هر کدام از قطعه‌های سیاه‌رنگ بریده شده به مقدار ۱۰ µL از محلول میکس پرتوزا، تهیه شده از شرکت پلاتم (Polatom Mix Source)، ریخته می‌شود. اکتیویته ویژه محلول ۱۹۰۳۸ Bq/g است. قبل از برش فیلتر، یک طلق شفاف نازک به زیر آن چسبانده می‌شود تا از عبور مایع پرتوزا از بافت فیلتر و آلوده شدن بج نگه‌دارنده آن جلوگیری شود.

پس از آن قطعات به مدت یک شبانه‌روز در محل مناسب قرار داده شد تا به‌طور کامل خشک شوند. سپس این قطعات بر روی الگوی طراحی شده که روی مقوای نازک کشیده شده است چسبانده می‌شود (شکل ۲). پیش از این‌که این قطعات برای ساخت چشمه روی الگو چسبانده شوند، برای اطمینان از یکنواختی اکتیویته قطعات، با شرایط یکسانی آن‌ها شمارش می‌شوند. در نهایت چشمه ساخته شده به مدت دو ساعت شمارش می‌گردد.

به منظور کنترل کیفی چشمه و این‌که منحنی کالیبراسیونی که توسط آن برای آنالیز کمی رسم می‌شود مورد تأیید قرار گیرد از روش اسپایک کردن استفاده می‌شود در این روش یک ماده پرتوزا که مقدار آن معین و مشخص است به نمونه مجهول اضافه می‌شود و سپس با روش روتین که همه نمونه‌ها آنالیز می‌شوند مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد و با مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده با مقدار اکتیویته‌ای که نمونه مجهول اسپایک شده است، دقت اندازه‌گیری (یا خطای اندازه‌گیری) به دست می‌آید. در این روش از هر ماده پرتوزا می‌توان استفاده نمود ولی حتماً باید اکتیویته ویژه آن مشخص باشد. در این تحقیق از ماده مرجع معتبر ^{152}Eu که دارای فوتوقله‌های با گستره انرژی ۱۲۰ تا ۱۴۰۰ است استفاده می‌شود.

۳. یافته‌ها و بحث

جدول ۱ نتایج حاصل از شمارش قطعات الگو برای قله‌های موجود در چشمه به‌طور مجزا را نشان می‌دهد. شماره قطعات به این صورت درنظر گرفته شده که عدد سمت چپ مربوط به شماره حلقه و عدد سمت راست مربوط به قطاع هشت‌تایی هر حلقه است. با شمارش جداگانه هر بخش، از مساوی بودن مقدار اکتیویته روی هر قطعه اطمینان حاصل گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از شمارش با یک‌دیگر سازگارند.



شکل ۱. نمایی از طرح پیاده شده بر روی فیلتر هپا (شکل سمت راست)، محلول استاندارد با اکتیویته معلوم بر روی قسمت‌های مشکی رنگ نشانده شده است. شماره قطعات مشکی رنگ بریده شده در شکل سمت چپ مشخص شده است.

شکل ۲. نمونه فیلتر ساخته شده به عنوان چشمه استاندارد کالیبراسیون.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مقادیر شمارش به دست آمده برحسب cps در انرژی‌های مختلف از قطعات بریده شده از الگو

	۶۰ keV	۸۸ keV	۱۲۲ keV	۶۶۲ keV	۸۳۵ keV	۱۱۱۶ keV	۱۱۷۳ keV	۱۳۳۲ keV
قطعه ۱۲	۰٫۶۵۸۴	۰٫۲۷۹۵	۰٫۱۹۱۵	۳٫۶۷۱۸	۰٫۵۲۶۲	۰٫۲۱۲۶	۲٫۰۳۸۷	۱٫۸۲۶۳
قطعه ۱۴	۰٫۶۵۱۰	۰٫۲۶۰۸	۰٫۱۹۱۴	۳٫۵۸۷۷	۰٫۴۹۷۱	۰٫۲۰۰۶	۱٫۹۶۴۷	۱٫۸۰۲۲
قطعه ۱۶	۰٫۶۵۷۰	۰٫۲۵۸۳	۰٫۱۸۶۵	۳٫۵۷۹۱	۰٫۴۹۵۵	۰٫۲۰۰۱	۱٫۹۸۴۸	۱٫۷۸۱۹
قطعه ۱۸	۰٫۶۴۵۳	۰٫۲۶۳۷	۰٫۱۸۲۴	۳٫۵۱۴۵	۰٫۴۸۵۳	۰٫۲۰۴۷	۱٫۹۴۹۱	۱٫۷۸۹۵
قطعه ۲۱	۰٫۶۶۳۱	۰٫۲۷۰۴	۰٫۱۹۶۴	۳٫۶۷۲۱	۰٫۵۱۸۲	۰٫۲۱۱۳	۲٫۰۳۲۴	۱٫۸۷۸۹
قطعه ۲۳	۰٫۶۵۰۰	۰٫۲۶۹۰	۰٫۱۷۱۷	۳٫۵۹۷۵	۰٫۴۸۳۲	۰٫۲۰۶۲	۱٫۹۸۲۷	۱٫۷۷۹۹
قطعه ۲۵	۰٫۶۵۷۵	۰٫۲۵۶۹	۰٫۱۹۹۹	۳٫۶۲۹۸	۰٫۵۱۳۰	۰٫۲۰۶۴	۲٫۰۳۰۸	۱٫۸۲۴۹
قطعه ۲۷	۰٫۶۴۱۱	۰٫۲۶۷۰	۰٫۱۸۵۱	۳٫۷۱۲۸	۰٫۵۱۶۹	۰٫۲۱۷۹	۲٫۰۵۷۲	۱٫۸۶۹۹
قطعه ۳۲	۰٫۶۳۶۷	۰٫۲۶۰۵	۰٫۱۷۵۶	۳٫۶۲۳۶	۰٫۵۰۵۷	۰٫۲۰۴۲	۱٫۹۴۸۵	۱٫۷۵۹۰
قطعه ۳۴	۰٫۶۴۵۲	۰٫۲۶۳۷	۰٫۱۸۲۵	۳٫۶۴۴۹	۰٫۵۰۷۰	۰٫۲۱۹۳	۲٫۰۱۳۸	۱٫۸۳۴۸
قطعه ۳۶	۰٫۶۳۹۲	۰٫۲۶۳۸	۰٫۱۸۹۶	۳٫۶۳۷۱	۰٫۵۰۴۸	۰٫۲۱۱۳	۲٫۰۳۹۱	۱٫۷۷۹۵
قطعه ۳۸	۰٫۶۴۶۱	۰٫۲۶۲۱	۰٫۱۸۲۰	۳٫۶۱۳۶	۰٫۵۰۰۸	۰٫۱۹۹۱	۱٫۹۹۹۹	۱٫۷۸۱۱
میانگین	۰٫۶۴۹۲	۰٫۲۶۴۶	۰٫۱۸۶۲	۳٫۶۲۳۷	۰٫۵۰۴۵	۰٫۲۰۷۸	۲٫۰۰۳۴	۱٫۸۰۹۰
RSD (%)	۰٫۸	۰٫۵۹	۰٫۷۸	۴٫۹۴	۱٫۲۵	۰٫۶۴	۳٫۵۸	۳٫۶۵

شکل ۳ طیف گامای مربوط به فیلتر ساخته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، سه قله اول مربوط به قله‌های با انرژی ۶۰ کیلواکترون ولت امرسیوم-۲۴۱، ۸۸ کیلواکترون ولت کادمیم-۱۰۹ و ۱۲۲ کیلواکترون‌ولت کبالت-۵۷ می باشد علاوه بر این قله‌ها، قله‌های ۳۲۰ کیلواکترون‌ولت کروم-۵۱ و ۵۱۴ کیلواکترون‌ولت استرانسیم-۸۵ وجود دارند که با توجه به اکتیویته پایین آن‌ها نسبت به سایر قله‌های موجود، در شکل طیف به خوبی قابل مشاهده نیستند ولی وجود دارند و با بزرگ‌نمایی روی ناحیه مورد نظر در نرم‌افزار سیستم، قله‌ها کاملاً مشخص می‌گردند. هم‌چنین انرژی‌های ۶۶۲، ۸۳۵، ۱۱۱۵ به ترتیب مربوط به هسته پرتوزاهای سزیم-۱۳۷، منگنز-۵۴ و روی-۶۵ می‌باشند. دو قله انتهایی مشخص شده در طیف نیز مربوط به کبالت-۶۰ است.

کالیبراسیون بازده سیستم طیف‌سنجی گاما با استفاده از طیف چشمه استاندارد مناسب طبق رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{C}{A \times \gamma} \qquad (۱)$$

که در آن ε بازده مربوط به انرژی معین i، C آهنگ شمارش مربوط به قله انرژی برحسب شمارش در ثانیه، A اکتیویته چشمه استاندارد برحسب واپاشی در ثانیه و γ شدت یا احتمال تابش گامای i هستند. با توجه به این‌که اکتیویته کل نشانده شده بر روی فیلتر معادل ۲۲۸۴٫۵۶ Bq می‌باشد، بازده مربوط به قله‌های شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است.

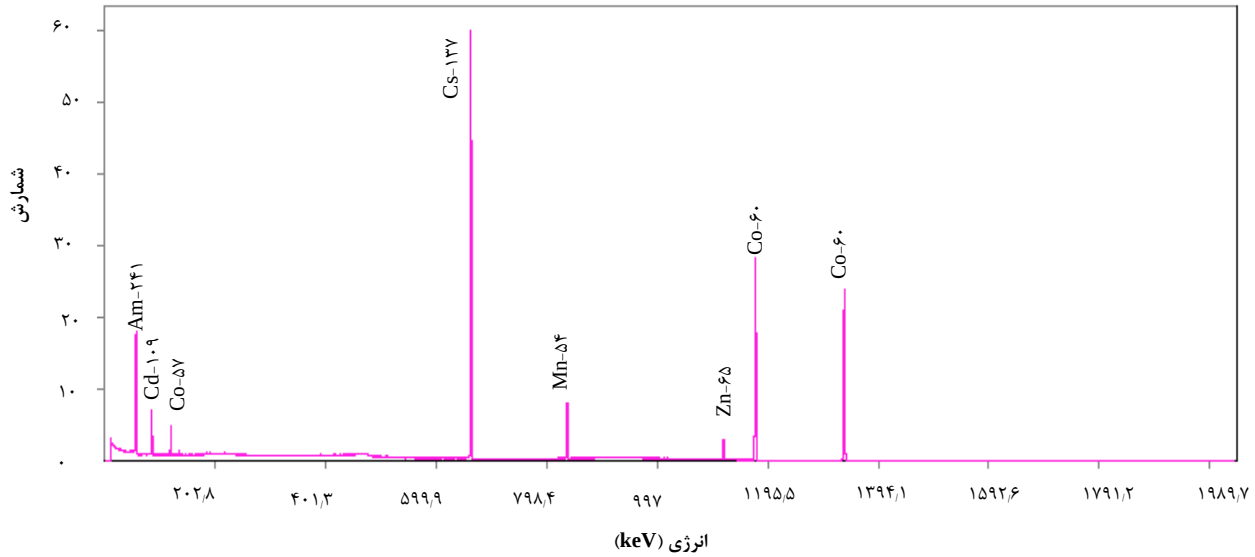
بازده محاسبه شده برای فیلتر ساخته شده در انرژی‌های مورد بحث برحسب انرژی ترسیم شده و به‌عنوان منحنی بازده در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بازه انرژی ۴۵ تا ۱۹۰۰ keV به‌دلیل فرایندهای جذب و تضعیف، دو ناحیه با رفتارهای متفاوت وجود دارد. در ناحیه پایین به‌دلیل کاهش سریع در تضعیف خود نمونه، درپوش آشکارساز و لایه مرده، شاهد افزایش سریع در بازده هستیم. بیشینه منحنی به ویژگی‌های آشکارساز و چشمه بستگی دارد و پس از آن در ناحیه بالاتر از چندصد الکترون ولت بازده با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. در انرژی‌های پایین روش به کار گرفته شده در محاسبه سطح خالص زیر قله می‌تواند رفتار منحنی کالیبراسیون را تحت تأثیر قرار دهد. در این قسمت تغییرات قابل‌توجهی در شمارش پس‌زمینه در سمت چپ و راست قله مشاهده می‌شود.

جهت اطمینان از صحت چشمه کالیبراسیون ساخته‌شده و برای کنترل کیفی آن از روش spike استفاده شد. در این روش یک فیلتر هوای هپا با هسته پرتوزای ^{152}Eu که به‌صورت محلول پرتوزا با اکتیویته ۲۷۰ Bq است، آلوده شد. سپس این فیلتر به‌عنوان یک فیلتر مجهول با سیستم طیف‌سنجی HPGe، که به‌وسیله چشمه استاندارد ساخته شده کالیبره شده بود، مورد شمارش و آنالیز قرار گرفت و بر این اساس میزان اکتیویته فیلتر مجهول ۲۹۲ Bq برآورد شد. درصد اختلاف بین

www.SID.ir

Archive of SID

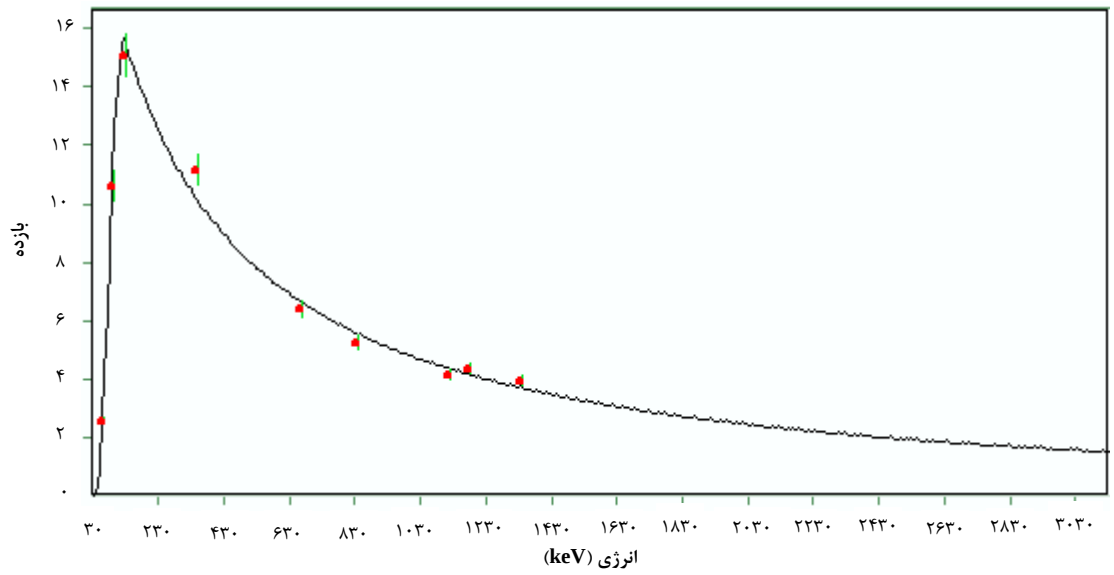
میزان اکتیویته محاسبه شده با اکتیویته استفاده شده در جدول ۳ گزارش شده است. با توجه به این‌که اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد می‌باشد، صحت کار قابل‌قبول است.



شکل ۳. طیف گامای فیلتر ساخته شده که با طیف‌سنج HPGe شمارش شده است.

جدول ۲. نتایج به دست آمده از شمارش چشمه کالیبراسیون فیلتر ساخته شده

انرژی (keV)	شدت (٪)	شمارش (cps)	بازده (٪)
۶۰	۳۵٫۷۸	۵٫۷۱۱۹	۲٫۵۹۳۲
۸۸	۳٫۶۳	۲٫۱۳۹۹	۱۰٫۵۹۱۹
۱۲۲	۸۵٫۵۱	۱٫۴۳۵۰	۱۵٫۰۳۸۲
۶۶۲	۸۴٫۹۹	۲۷٫۱۲۸۰	۶٫۳۷۸۷
۸۳۵	۹۹٫۹۷	۳٫۷۵۷۹	۵٫۲۲۰۹
۱۱۱۶	۵۰٫۲۲	۱٫۵۰۱۴	۴٫۱۵۲۴
۱۱۷۳	۹۹٫۸۵	۱۶٫۴۳۶۸	۳٫۶۳۸۷
۱۳۳۲	۹۹٫۹۸	۱۴٫۸۵۴۶	۳٫۲۸۴۱



شکل ۴. منحنی کالیبراسیون بازده برای چشمه کالیبراسیون فیلتر ساخته شده.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسه بین میزان اکتیویته محاسبه شده و اکتیویته استفاده شده

اکتیویته یوروپیوم-۱۵۲ استفاده شده (Bq)	اکتیویته یوروپیوم-۱۵۲ محاسبه شده (Bq)	درصد اختلاف
۲۷۰	۲۹۲	اختلاف $= \frac{\lvert ۲۹۲ - ۲۷۰ \rvert}{۲۷۰} \times ۱۰۰ = ۸٪$

با توجه به این‌که اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد است و طبق سند IAEA-CU-۲۰۰۹-۰۴ [۱۲] اختلاف زیر ۲۰ درصد مورد تأیید است بنابراین صحت کار قابل قبول است. از علت‌های اختلاف بین این نتایج می‌تواند به عدم قطعیت در مقدار اکتیویته برداشته‌شده با میکروپیپت، عدم قطعیت برازش منحنی کالیبراسیون (Curve fitting)، عدم قطعیت شمارش دستگاه که بیش‌ترین سهم را دارد و عدم قطعیت در میزان اکتیویته گزارش‌شده از ماده مرجع‌های استفاده‌شده اشاره کرد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شد چشمه استاندارد مناسب آنالیز فیلترهای هوا که برای شناسایی و مشخصه‌یابی ذرات معلق در هوا به کار می‌روند، ساخته شود تا بتوان سیستم طیف‌سنجی گاما، که ابزاری دقیق برای اندازه‌گیری کمّی و کیفی هسته‌های پرتوزا است، را با آن کالیبره کرد. نمونه چشمه استانداردی با فیلتر هوا طراحی، ساخته و کنترل کیفی شد و پس از کالیبره کردن سیستم طیف‌سنج HPGe با آن، به آنالیز یک فیلتر هوای مجهول پرداخته شد. نتایج نشان داد اختلاف بین مقادیر محاسبه شده از آنالیز فیلتر مجهول و مقدار اکتیویته واقعی آن مقدار کوچکی است که نشان دهنده صحت قابل‌قبول روش کار می‌باشد. با توجه به فرایند انجام شده و نتایج مطلوب به‌دست آمده، امکان ساخت چشمه‌های کالیبراسیون بازده برای رفع نیاز آزمایشگاه طیف‌سنجی هسته‌ای به چشمه‌های کالیبراسیون وجود خواهد داشت.

مراجع

1. A.C. Chamberlain, *Radioactive aerosols.* Cambridge University Press; **3** (2004).
2. A. Mohamed, *Activity size distributions of some naturally occurring radionuclides 7Be, 40K and 212Pb in indoor and outdoor environments.* Applied Radiation and Isotopes. **62(5)**,751-757 (2005).
3. C. Papastefanou, *Radioactive aerosols.* Radioactivity in the Environment. **12**, 11-58 (2008).
4. L. Done, M.R. Ioan, *Minimum Detectable Activity in gamma spectrometry and its use in low level activity measurements.* Applied Radiation and Isotopes. **114**, 28-32 (2016).
5. H. Bem, et al, *Determination of radioactivity in air filters by alpha and gamma spectrometry*. Nukleonika. **47(2)**,87-91 (2002).
6. B.L. Yang, et al, *Performances of different efficiency calibration methods of high-purity-germanium gamma-ray spectrometry in an inter-comparison exercise*. Nuclear Science and Techniques. **30(3),** 37 (2019).
7. G. Xhixha, et al, *Calibration of HPGe detectors using certified reference materials of natural origin*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. **307(2)**, 1507-1517 (2016).
8. A.M. Ababneh, M.M. Eyadeh, *Coincidence summing corrections in HPGe gamma-ray spectrometry for Marinelli-beakers geometry using peak to total (P/T) calibration.* Journal of Radiation Research and Applied Sciences. **8(3)**, 323-327 (2015).
9. A. Listkowska, et al, *Preparation method and quality control of multigamma volume sources with different matrices.* Applied Radiation and Isotopes. **134,** 126-130 (2018).
10. C. Bailat, et al, *Development, design and validation of solid reference samples.* Applied Radiation and Isotopes. **87**, 480-484 (2014).
11. F. Tzika, et al, *60Co in cast steel matrix: A European interlaboratory comparison for the characterisation of new activity standards for calibration of gamma-ray spectrometers in metallurgy.* Applied Radiation and Isotopes. **114,** 167-172 (2016).

استناد به این مقاله

حسن رنجبر، علی یوسفی (۱۴۰۰)، طراحی، ساخت و کنترل کیفی چشمه‌ی استاندارد کالیبراسیون سیستم طیف‌سنجی گاما با ماتریس فیلتر، ۹۶، ۳۶-۴۱

DOI: 10.24200/nst.2021.1198
Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1198.html

www.SID.ir