مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ٦، شمارهٔ ٥، پاییز ١٣٩٧

ساخت چشمه‌های گامای ^{60}Co و ^{65}Zn به‌منظور سنجه‌بندی انرژی و بهره سیستم‌های طیف‌سنجی گاما

علی‌اصغر فتحی‌وند، صدیقه کاشیان* و سیدمهدی بطحایی

پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

*تهران، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کدپستی: ١٤٣٩٩-٥١١١٣

پست الکترونیکی: skashian@aeoi.org.ir

چکیده

سنجه‌بندی دقیق انرژی و بهره سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما برای شرایط هندسی گوناگون بسیار مهم می‌باشد. در اکثر مواقع تهیه‌ی این نوع از چشمه‌ها برای مراکز آموزشی و پژوهشی به دلایل گوناگون نظیر هزینه بالا و عدم دسترسی به راکتور با مشکلاتی همراه است. در این مقاله روش ساخت چشمه‌های سنجه‌بندی ^{60}Co و ^{65}Zn با استفاده از روش فعال‌سازی نوترونی دستگاهی بررسی شده است. چشمه‌های روی با پرتوزایی ٣/٨٣ ، ٩/٣٨ میکروکوری و چشمه‌های کبالت با پرتوزایی ٣/٦٥ و ٣/٨٥ میکروکوری ساخته شده است. کنترل کیفی چشمه‌های ساخته شده نشان دهنده کیفیت بالای چشمه‌های ساخته شده جهت سنجه‌بندی سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما می‌باشد.

کلیدواژگان: چشمه‌های سنجه‌بندی، طیف‌سنجی گاما، فعال‌سازی نوترونی دستگاهی، ^{60}Co، ^{65}Zn.

١. مقدمه

اندازه‌گیری پرتوزایی طبیعی و مصنوعی در نمونه‌های گوناگون محیطی (آب، خاک، گیاه و هوا)، مواد غذایی و صنعتی با توجه به گسترش مراکز هسته‌ای از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما از جمله سیستم‌های متداول در اندازه‌گیری پرتوزایی می‌باشد [١-٣]. سنجه‌بندی دقیق انرژی و بهره سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما برای شرایط هندسی گوناگون، جهت ارتقاء دقت و صحت در اندازه‌گیری‌ها بسیار مهم می‌باشد. بدین منظور جهت سنجه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری عمدتاً از چشمه‌های سنجه‌بندی که در آزمایشگاه‌های استاندارد، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و یا شرکت‌های معتبر ساخته شده، استفاده می‌شود. پرتوزایی چشمه‌های سنجه‌بندی آزمایشگاهی در حدود میکروکوری بوده و در اکثر مواقع تهیه‌ی این نوع از چشمه‌ها برای مراکز آموزشی، پژوهشی و تحقیقاتی به دلایل گوناگون نظیر هزینه بالا و عدم دسترسی به راکتور با مشکلاتی همراه است.

هدف از نگارش این مقاله ارائه طرز ساخت چشمه‌های سنجه‌بندی ^{60}Co و ^{65}Zn در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی با استفاده از راکتور تحقیقاتی تهران می‌باشد. آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی پژوهشکده کاربرد پرتوها که مجهز به سیستم انتقال سریع نمونه[1] به راکتور تحقیقاتی تهران می‌باشد، بر آن شد تا تعدادی از چشمه‌های استاندارد را تهیه نماید. کنترل کیفی پرتوزایی چشمه‌های سنجه‌بندی ساخته شده، توسط مقایسه بین آزمایشگاهی صورت پذیرفته است. بدین منظور پس از تعیین پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی، چشمه‌ها جهت تعیین میزان پرتوزایی به آزمایشگاه امور حفاظت در برابر اشعه کشور که در این خصوص مرجع صلاحیت‌دار کشور می‌باشد، ارسال شده است. مقایسه نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در این آزمایشگاه با نتایج میزان پرتوزایی گزارش شده توسط آزمایشگاه مرجع برای همین چشمه‌ها، با استفاده از معیارهای مورد قبول آژانس بین المللی انرژی اتمی صورت گرفته [٤-٥] و نتایج مقایسه‌های صورت گرفته، نشان‌دهنده صحت و دقت بالای اندازه‌گیری‌های انجام شده برای کلیه چشمه‌های ساخته شده است.

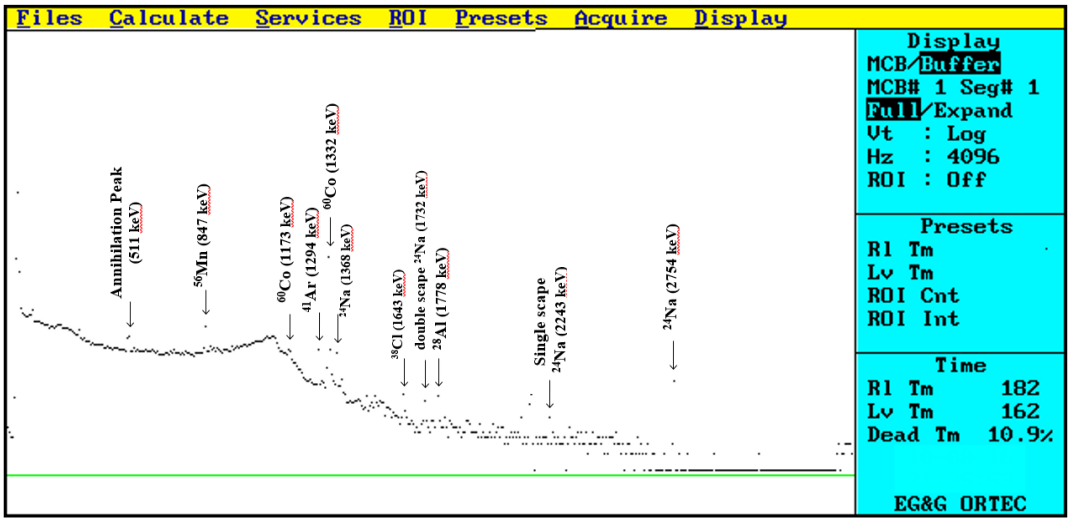
۲. روش کار

برای ساخت چشمه‌های سنجه‌بندی از محلول‌های استاندارد روی و کبالت با غلظت ppm ۱۰۰۰ از شرکت مرک آلمان استفاده شد. در ابتدا به‌منظور برآورد مقادیر مورد نیاز از عناصر روی و کبالت، حجم‌های مختلفی از محلول کبالت و روی بر روی فیلترهای واتمن[2] تزریق شده (µl۲۰۰۰-۱۰۰) و سپس نمونه‌ها در دمای اتاق خشک شدند. با بررسی نتایج پرتوزایی نمونه‌ها پس از پرتودهی(۲۰دقیقه تا ۲ ساعت در قدرت ٤ مگاوات) در راکتور تحقیقاتی تهران، پرتوزایی ^{60}Co در نمونه‌ها جهت ساخت چشمه مناسب بوده ولی به‌دلیل پایین بودن سطح مقطع جذب نوترون حرارتی عنصر روی و به‌منظور افزایش غلظت این عنصر در نمونه‌ها، از محلول روی رسوب‌گیری شده و به میزان ۲۸۹ و ٤۳۵ میلی‌گرم از رسوب به‌دست آمده بر روی فیلتر واتمن قرار داده شده و از آن‌ها جهت ساخت چشمه استفاده شد. سپس نمونه‌های فیلتر ساخته شده برای عنصر روی و عنصر کبالت (حاوی µl۱۵۰۰ از محلول استاندارد ppm۱۰۰۰ کبالت) توسط دستگاه پرس به شکل قرص در آمده و در کپسول پلی‌اتیلنی قرار داده شدند.

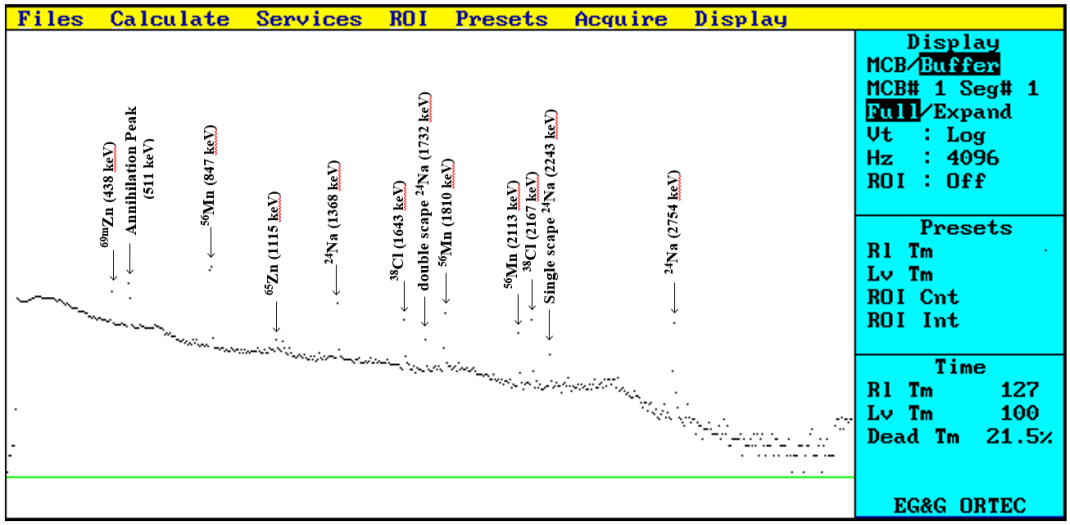
به‌منظور پرتودهی نوترونی، ظروف پلی‌اتیلنی در ظرف پلی‌اتیلنی مخصوص سیستم انتقال نمونه سریع قرار داده شده و با استفاده از سیستم انتقال سریع نمونه به راکتور تحقیقاتی تهران ارسال شدند. شمارش نمونه‌ها توسط سیستم طیف‌سنجی گاما با آشکارساز فوق خالص ژرمانیوم (HPGe) انجام شد. بازدهی نسبی این آشکارساز ۱۰٪ و قدرت تفکیک انرژی این آشکارساز در انرژی keV ۱۳۳۲ از چشمه ^{60}Co برابر با keV ۲ می‌باشد. به‌منظور کاهش اثرات پرتوهای زمینه، آشکارساز در حفاظ سربی به ضخامت cm ۵ قرار گرفت. به منظور تعیین پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده، در ابتدا سیستم طیف‌سنجی پرتوهای گاما در آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی توسط چشمه‌های استاندارد از آژانس بین‌المللی انرژی اتمی سنجه‌بندی شده است.

طیف چشمه‌های سنجه‌بندی ساخته شده کبالت و روی بلافاصله بعد از پرتودهی با استفاده از نرم‌افزار MAESTRO جمع‌آوری شده و در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

[1] Rabbit Transfer System
[2] Whatman Filter



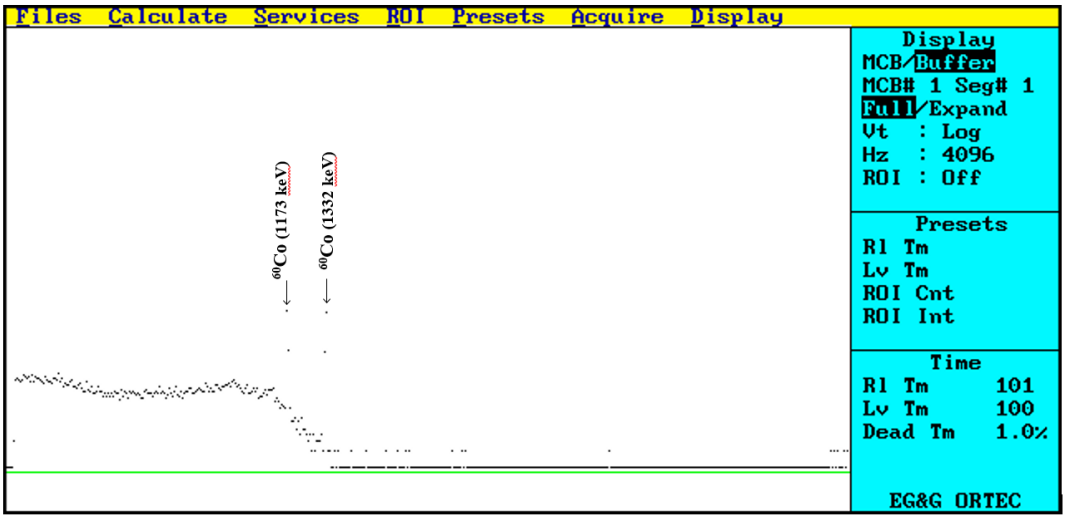
شکل (۱): طیف گامای نمونه‌ی چشمه‌ی ^{60}Co، بلافاصله پس از پرتودهی.



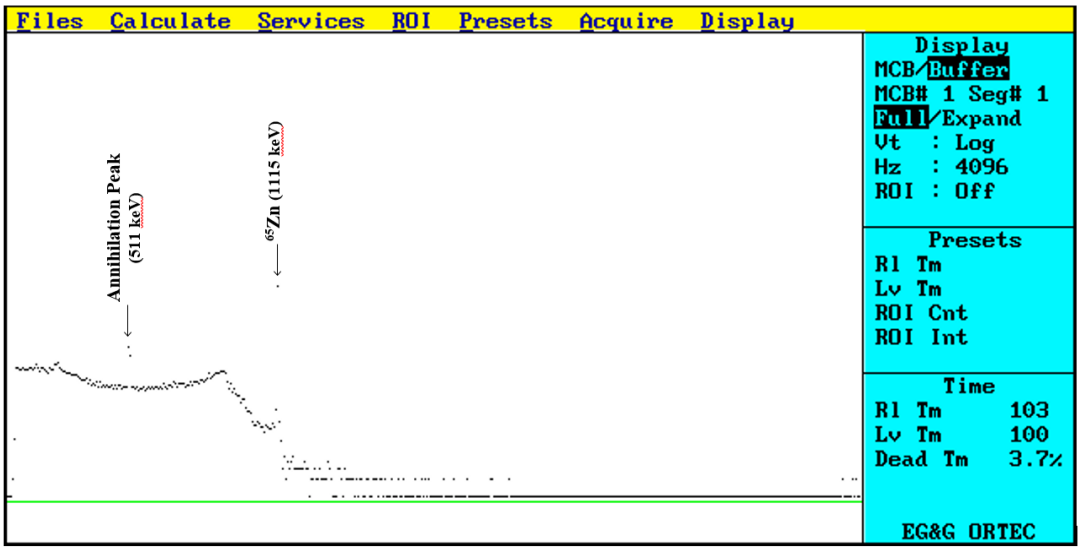
شکل (۲): طیف گامای نمونه‌ی چشمه‌ی ^{65}Zn، بلافاصله پس از پرتودهی.

مجموعه چشمه‌های سنجه‌بندی ساخته شده در شکل ۳ مشاهده می‌شود. همچنین طیف چشمه‌های سنجه‌بندی (کبالت و روی) ساخته‌شده پس از چهارده روز مجدداً توسط سیستم طیف‌سنجی پرتوهای گاما جمع‌آوری شده است. شکل‌های ٤ و ٥ نشان‌دهنده طیف مربوط به چشمه‌های ساخته شده ^{60}Co و ^{65}Zn می‌باشند.

شکل (۳): چشمه‌های سنجه‌بندی ^{60}Co و ^{65}Zn ساخته‌شده.



شکل (٤): طیف ^{60}Co چهارده روز پس از پرتودهی نوترونی.



شکل (٥): طیف ^{65}Zn چهارده روز پس از پرتودهی نوترونی.

چشمه‌های سنجه‌بندی ساخته شده جهت تعیین پرتوزایی ^{60}Co و ^{65}Zn به آزمایشگاه مرجع امور حفاظت در برابر اشعه که دارای استاندارد بین المللی ۱۷۰۲۵ می‌باشد، ارسال شد. کنترل کیفی چشمه‌های ساخته شده با استفاده از معیارهای آژانس بین المللی انرژی اتمی، توسط مقایسه پرتوزایی محاسبه شده در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی و پرتوزایی گزارش شده برای چشمه‌ها توسط آزمایشگاه مرجع صورت پذیرفت. بر این اساس صحت اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی در صورتی پذیرفته است که رابطه ۱ به صورت زیر برقرار باشد [٦]:

$$\left|value_{RL} - value_{Analyst}\right| \le 2.58 \times (unc_{RL}^2 + unc_{Analyst}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

که در این رابطه $value_{RL}$ پرتوزایی اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه مرجع، $value_{Analyst}$ پرتوزایی اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی، unc_{RL} عدم قطعیت اندازه‌گیری پرتوزایی در آزمایشگاه مرجع و

$unc_{Analyst}$ عدم قطعیت اندازه‌گیری پرتوزایی در آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی می‌باشد. همچنین دقت اندازه‌گیری‌ها در صورتی پذیرفته است که رابطه ۲ به صورت زیر برقرار باشد:

$$\sqrt{\left(\frac{unc_{RL}}{Value_{RL}}\right)^2+\left(\frac{unc_{Analyst}}{Value_{Analyst}}\right)^2}\times 100\% \le 10\% \qquad (۲)$$

۳. بحث و نتایج

همانطور که از شکل‌های ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود، اگرچه از محلول‌های با درجه خلوص بالای شرکت مرک آلمان برای ساخت چشمه‌های سنجه‌بندی استفاده شده است، اما ناخالصی‌های متعددی در چشمه‌های سنجه‌بندی ساخته شده مشاهده می‌شود. این ناخالصی‌ها عمدتاً مربوط به عناصر پرتوزای ^{24}Na و ^{28}Al، قله‌های تک فراری و دو فراری می‌باشند. نیمه‌عمر ناخالصی‌های موجود در هر دو چشمه روی و کبالت نسبت به نیمه‌عمر روی و کبالت بسیار کوتاه است. بنابراین در نظر گرفتن زمان استراحت ۱۴ روزه برای این دو چشمه موجب کاهش شدید پرتوزایی کلیه ناخالصی‌ها در هر دو چشمه شده و در نهایت بعد از گذشت این زمان چشمه‌های روی و کبالت با درجه خلوص بسیار بالا به‌دست می‌آید. پس از گذشت زمان موردنظر طیف شکل‌های ۱ و ۲ به صورت طیف شکل‌های ٤ و ۵ تغییر می‌یابد. نتایج پرتوزایی‌های اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه مرجع به همراه نتایج پرتوزایی اندازه‌گیری شده برای چشمه‌های ساخته شده در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی در جدول ۱ آورده شده‌اند.

با استفاده از نتایج ارائه شده در جدول ۱، کیفیت اندازه‌گیری میزان پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در مقایسه با گزارش پرتوزایی همان چشمه‌ها از طرف آزمایشگاه مرجع در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج تعیین پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده توسط آزمایشگاه مرجع و آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی.

ردیف	کد چشمه	پرتوزایی اندازه‌گیری شده (µCi) ± عدم قطعیت (٪)	پرتوزایی اندازه‌گیری شده (µCi) توسط آزمایشگاه مرجع ± عدم قطعیت (٪)
۱	Zn435	۳/۸۳ ± ۲/۰۸	۳/۸٤ ± ۲/۸۰
۲	Co1500f	۳/٦٥ ± ۲/٤۱	۳/٦۷ ± ۲/۵۰
۳	Co1500	۳/۸۵ ± ۲/٤۰	۳/۵۸ ± ۲/۵۰
٤	Zn289	۹/۳۸ ± ۲/٤۱	۹/۱۱ ± ۲/٤۰

جدول (۲): مقایسه صحت و دقت نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی با میزان پرتوزایی گزارش شده توسط آزمایشگاه مرجع.

ردیف	کد چشمه کالیبراسیون	صحت در اندازه‌گیری‌ها			دقت در اندازه‌گیری‌ها		وضعیت صحت و دقت در اندازه‌گیری
		$2.58\times(unc^2_{RL}+unc^2_{Analyst})^{1/2}$	$\lvert Value_{RL}-Value_{Analyst}\rvert$	وضعیت	%	وضعیت	
۱	Zn435	۰/۳۵	۰/۰۱	قبول	۳/٤۹	قبول	قبول
۲	Co1500f	۰/۳۳	۰/۰۲	قبول	۳/٤۷	قبول	قبول
۳	Co1500	۰/۳۳	۰/۲۷	قبول	۳/٤۷	قبول	قبول
٤	Zn289	۰/۸۱	۰/۲۷	قبول	۳/٤۰	قبول	قبول

همانطور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود، دقت اندازه‌گیری‌های انجام شده کم‌تر از ۱۰٪ بوده بنابراین نتایج اندازه‌گیری‌های میزان پرتوزایی کلیه چشمه‌های ساخته شده در آزمایشگاه فعال‌سازی نوترونی با نتایج اندازه‌گیری میزان پرتوزایی همان چشمه‌ها در آزمایشگاه مرجع همخوانی داشته و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به لحاظ صحت و دقت قابل قبول می‌باشند.

٤. نتیجه‌گیری

از جمله کمبودهای مهم در آزمایشگاه‌های آنالیز هسته‌ای مرتبط با اندازه‌گیری کیفی و کمی عناصر پرتوزا در نمونه‌های محیطی، صنعتی و بیولوژیکی، عدم دسترسی به چشمه‌های سنجه‌بندی به‌منظور سنجه‌بندی انرژی و بهره سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما می‌باشد. به‌علاوه حتی در صورت دسترسی به این چشمه‌ها، به‌دلیل واپاشی عناصر پرتوزا پس از مدتی بسیاری از این چشمه‌ها غیرقابل استفاده می‌شوند. با در نظر گرفتن امکانات موجود در سازمان انرژی اتمی (راکتور هسته‌ای و سیستم‌های آزمایشگاهی)، آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی در پژوهشکده کاربرد پرتوها اقدام به ساخت دو نوع از چشمه‌های سنجه‌بندی (^{60}Co و ^{65}Zn) نموده است. این دو چشمه دارای نیمه عمر مناسب (۱۹۲۵/۵ روز برای چشمه کبالت و ۲٤۳/۹ روز برای چشمه روی) بوده و عنصر پرتوزای ^{60}Co ساطع‌کننده پرتوهای گاما در انرژی‌های ۱۱۷۲ keV و ۱۳۳۲ keV و همچنین عنصر پرتوزای روی ساطع‌کننده پرتو گاما در انرژی ۱۱۱۵ keV می‌باشند. پرتوزایی عناصر پرتوزای ^{60}Co و ^{65}Zn در چشمه‌های ساخته شده در محدوده μCi بوده که در ساخت اینگونه از چشمه‌های کالیبراسیون در نظر گرفته می‌شود. به لحاظ هندسی، چشمه‌های ساخته شده در شکل دایره با قطر تقریبی ۱ cm بوده و طراحی چشمه‌های سنجه‌بندی به‌نحوی است که تا حد امکان در مقابل ضربه و سقوط از ارتفاع مقاوم باشند. از این نوع چشمه‌های سنجه‌بندی می‌توان به منظور سنجه‌بندی انرژی و بهره سیستم‌های طیف‌سنجی پرتوهای گاما استفاده نمود.

پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده با استفاده از سیستم طیف‌سنجی پرتوهای گامای آزمایشگاه آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی تعیین شد. کنترل کیفی و صحه‌گذاری نتایج میزان پرتوزایی محاسبه شده برای چشمه‌های ساخته شده توسط آزمایشگاه مرجع امور حفاظت در برابر اشعه که دارای گواهی استاندارد بین المللی ۱۷۰۲۵ می‌باشد، صورت گرفت. میزان پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در آزمایشگاه مرجع تعیین و سپس نتایج به این آزمایشگاه گزارش شد. مقایسه نتایج اندازه‌گیری پرتوزایی چشمه‌های ساخته شده در این آزمایشگاه با نتایج میزان پرتوزایی گزارش شده توسط آزمایشگاه مرجع برای همین چشمه‌ها، با استفاده از معیارهای قابل قبول آژانس بین‌المللی انرژی اتمی صورت گرفته است. نتایج مقایسه‌های صورت گرفته، نشان‌دهنده صحت و دقت بالای اندازه‌گیری‌های انجام شده برای چشمه‌های ساخته شده است.

۵. مراجع

[1] G.Shanthi, J. ThampiThankaKumaran, G. Allan Gnana Raj and C.G. Manijan. Natural radionuclides in the south Indian foods and their annual dose. Nuclear Instruments in Physics Research A. 619(1-3) (2010) 436–440.

[2] A. KolapoAdemola, A. Kazeem Bello and A. Caleb Adejumobi. Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, south-western, Nigeria, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 7(3) (2014) 249–255.

[3] A. Altikulac, S. Turhan and H. Gümüs, The natural and artificial radionuclides in drinking water samples and consequent population doses, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8(4) (2015) 578–582.

[4] ASTM: C1402-04, Standard guide for high resolution gamma ray spectrometry of soil samples, (2004).

[5]ASTM: D 4375-96, Standard practice for basic statistics in committee d19 on water, (2006).

[6] EURACHEM/CITAC Guide, Quantifying uncertainty in analytical measurement, (2000).