



طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری فعالیت پرتوزایی رادیوایزوتوپ‌ها (دزسنج)

امیررضا سیمین‌فر*، محمدرضا حسن‌زاده، ارژنگ شاهور، حسین زمانی زینلی

مجمع پژوهشی البرز، پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۳۱۴۸۶۴۳۱۱۱، کرج - ایران

چکیده: دانستن مقدار دقیق فعالیت پرتوزایی رادیوایزوتوپ‌ها و رادیوایزوتوپ‌ها در کاربردهای تشخیصی یا درمانی امری ضروری است. برای این منظور، معمولاً دستگاه سنجش دز (کوری‌سنج) مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل پیچیدگی فناوری ساخت و تقاضای معهود، طراحی و ساخت این دستگاه تنها توسط چند شرکت آمریکایی و اروپایی انجام می‌شود و تهیه‌ی آن برای مراکز پزشکی و پژوهش‌های هسته‌ای با صرف هزینه‌ی بالا امکان‌پذیر است. در این مقاله نحوه‌ی طراحی و ساخت نمونه‌ای از این دستگاه ارائه شده و نتیجه‌های آزمایش‌های مختلف و نحوه‌ی مقیاس‌بندی آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. آشکارساز طراحی شده در این دستگاه اتاقک یونش استوانه‌ای از نوع چاهی است که با گاز آرگون پر می‌شود. قسمت الکترومتر دستگاه طوری طراحی و ساخته شده که قابلیت اندازه‌گیری جریان‌های الکتریکی خیلی پایین در حد چند فمتوآمپر (10^{-15} A) را دارد. نتیجه‌های آزمایش‌ها و گزارش کاربران نشان می‌دهد که این دستگاه با دقت بالا و در بازه‌ی وسیعی از فعالیت پرتوزایی، توانایی اندازه‌گیری فعالیت چشمه‌های گسیلنده‌ی پرتوهای γ و β را دارد. از مزیت‌های این دستگاه می‌توان به قابلیت اندازه‌گیری فعالیت‌های خیلی پایین، دقت بالای اندازه‌گیری، قیمت تمام شده‌ی پایین و سهولت کاربری اشاره کرد.

کلیدواژه‌ها: دزسنج، فعالیت پرتوزایی، مقیاس‌بندی

Design and construction of a dose calibrator for measuring activity of radioisotopes

A.R. Siminfar*, M.R. Hassanzadeh, A. Shahvar, H. Zamani Zeinali

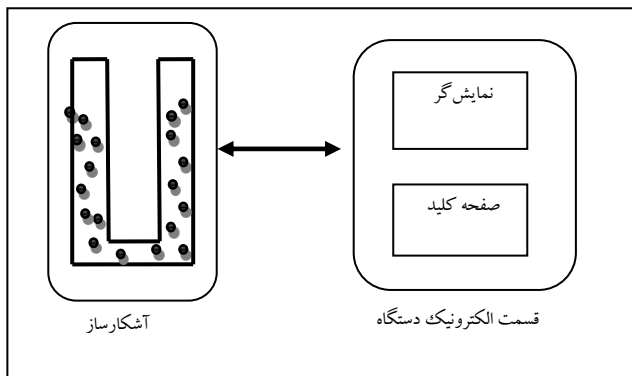
Alborz Research Centre, Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 3148643111, Karaj - Iran

Abstract: It is necessary to know the exact value of radioisotope activity in the field of radio-pharmaceutical therapy or diagnostic applications. Dose calibrators are usually utilized in the nuclear medical centers for this purpose. Because of the sophisticated technology used in dose calibrators and due to the limited demand, only a few American and European companies supply the dose calibrators, thereby, the very high prices, a dose calibrator makes it uneconomical for the medical centers to purchase. This paper introduces a brief description of the design and construction of a dose calibrator along with an assessment of a thorough experiment results. The detector of the dose calibrator is a chamber that works in the current mode. The ionization area of the chamber has two cylinder spaces filled with argon gas. The electrometer of this system has been designed in a way that it can measure very low currents of a few femtoamperes (10^{-15} A). The results of experiments and practitioners' reports showed that the device is able to measure the activity of γ and β sources with high accuracy in a wide range. Measuring low activities, having high accuracy, low cost, and being user friendly are some advantages of this device.

Keywords: Dose calibrator, Activity, Calibration

*email: asiminfar@nrcam.org

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۲/۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۳/۳



شکل ۱. طرح‌واره‌ی یک دستگاه دزسنج.

۲. شکل اتاقک یونش

یکی از شکل‌های ساده برای اتاقک یونش دستگاه فعالیت‌سنج، اتاقک استوانه‌ای است. این نوع آشکارساز دارای دو الکتروود استوانه‌ای هم‌محور است؛ فضای بین این دو استوانه ناحیه‌ی یونش و اختلاف پتانسیل اعمال شده به الکتروودها میدان الکتریکی لازم برای گردآوری بارهای حاصل از یونش را ایجاد می‌کند. این نوع آشکارساز به دلیل تقارن و به وجود آمدن ناحیه‌ی نسبتاً وسیع برای قرارگیری چشمه‌ی پرتوزا بسیار متداول است.

به منظور دست‌یابی به ساختار بهینه‌ی اتاقک یونش، چند نکته را باید مورد توجه قرار داد که از آن جمله می‌توان به انتخاب حجم ناحیه‌ی یونش، نوع و فشار گاز درون آن، موقعیت قرارگیری چشمه و اختلاف پتانسیل بین الکتروودها اشاره کرد.

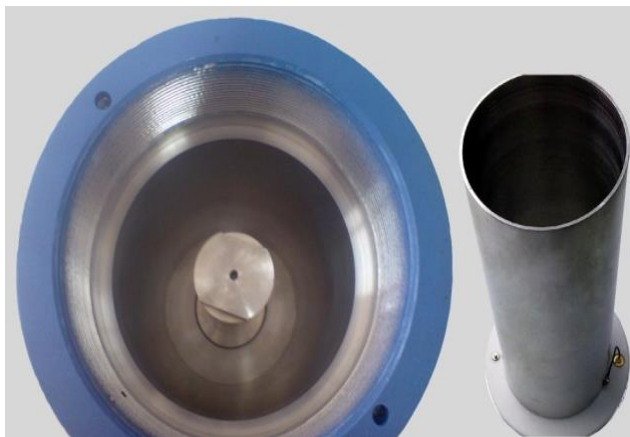
با افزایش حجم ناحیه‌ی یونش، بازده اتاقک بیش‌تر شده و مقدار بار تولید شده افزایش می‌یابد که منجر به ساده‌تر شدن طراحی مدارهای الکترونیک بعد از آشکارساز می‌شود. اما افزایش بیش از اندازه‌ی حجم اتاقک یونش، از طرفی باعث بزرگ‌تر شدن اندازه‌ی آشکارساز و از طرف دیگر به بیش‌تر شدن ولتاژ لازم برای گردآوری کامل بارهای الکتریکی حاصل از یونش می‌انجامد. در صورت افزایش تعداد الکتروودها و تقسیم ناحیه‌ی یونش به چندین ناحیه، ولتاژ لازم برای گردآوری کامل بارهای الکتریکی می‌تواند کاهش یابد. ولی هر چه تعداد ناحیه‌های یونش افزایش می‌یابد، فرایند ساخت آن با مشکلات بیش‌تری مواجه می‌شود. بنابراین در این طرح با توجه به نکته‌های پیش‌گفته و وجود محدودیت‌های ساخت در افزایش تعداد ناحیه‌ها و هم‌چنین دست‌یابی به حالت بهینه‌ی ممکن برای

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر، علوم و فنون هسته‌ای در زمینه‌ی پزشکی و در صنعت جای‌گاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. با به‌کارگیری این دانش در علوم پزشکی گام‌های مؤثری در زمینه‌ی درمان بافت‌های آسیب‌دیده و هم‌چنین تشخیص بسیاری از بیماری‌ها از قبیل تومورهای مغزی، مجاری گوارشی، کبد و طحال و دیگر موارد برداشته شده است. با پیشرفت روزافزون در این زمینه، تشخیص و پی‌گیری روند درمان بیماری‌ها امروزه با ضرب‌اطمینان بالاتری انجام می‌شود. در این زمینه از پزشکی برای بیماری‌های مختلف از رادیوداروهای متفاوت با فعالیت پرتوزایی مشخص استفاده می‌شود. به همین دلیل اندازه‌گیری دقیق مقدار فعالیت پرتوزایی رادیوداروها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دانش و فن‌آوری هسته‌ای علاوه بر پزشکی می‌تواند در بسیاری از بخش‌های صنایع تولیدی و خدماتی نیز کاربردهای مفیدی داشته باشد که از جمله‌ی آن می‌توان به اندازه‌گیری‌های صنعتی، کنترل کیفی محصول‌ها و تغییر ویژگی‌های محصول‌ها اشاره کرد. با توجه به موردهای پیش‌گفته بدیهی است که در زمینه‌های پزشکی و صنعتی نیاز به وجود دستگاهی است که بتواند مقدار دقیق فعالیت رادیویزوتوپ موردنظر را اندازه‌گیری نماید. این دستگاه که به کوری‌سنج یا دزسنج^(۱) معروف است که از کشورهای خارج و با صرف هزینه‌های کلان قابل تهیه است. با دست‌یابی به این دانش فنی، امکان ساخت و تولید این دستگاه در داخل کشور به وجود آمده است [۱].

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده یک دزسنج از دو قسمت عمده‌ی آشکارساز و الکترومتر تشکیل شده است. این دو قسمت معمولاً به وسیله‌ی یک کابل سه‌رشته‌ای هم‌محور به هم متصل می‌شود.

در آشکارساز عمل یونش و گردآوری بارهای الکتریکی حاصل از یونش انجام می‌شود. این بارهای تولید شده که در حد فمتوکلون یا پیکوکلون است از طریق کابل ارتباطی به قسمت الکترونیکی منتقل و در قسمت الکترونیکی با توجه به مقدار بار الکتریکی گردآوری شده فعالیت رادیویزوتوپ مشخص می‌شود [۲].



شکل ۲. شکل کلی و الکترودهای استوانه‌ای شکل اتاقک یونش؛ در سمت راست یکی از الکترودها دیده می‌شود که در درون الکتروده استوانه‌ای سمت چپ قرار می‌گیرد.

قطر چاهک آشکارساز باید به اندازه‌ای انتخاب شود که بتوان نمونه‌های مختلف را به راحتی در آن قرار داد. این اندازه با توجه به اندازه‌های طرف‌های مورد استفاده برای نگه‌داری رادیوداروها انتخاب می‌شود. ارتفاع این محفظه باید بسیار نزدیک به ارتفاع الکترودها باشد تا شعاعی بودن میدان الکتریکی حفظ شود و برای این که تضعیف کمی در پرتو ورودی ایجاد شود جنس این محفظه از آلومینیم و به ضخامت ۲ میلی‌متر انتخاب شد. هم‌چنین شایان ذکر است که جنس الکترودهای درونی نیز برای این که ذرات کم‌انرژی مانند بتا قابل آشکارسازی باشند از آلومینیم با ضخامت کم‌تر انتخاب شد.

۳. الکترومتر دستگاه

با توجه به آن که پایین‌ترین مقدار خروجی آشکارساز برای حداقل فعالیت پرتوزایی، در حد چند فمتوآمپر ($10^{-15}A$) است که متناسب با مقدار فعالیت رادیوایزوتوپ مورد اندازه‌گیری است، نیاز به یک واحد الکترونیکی بسیار دقیق و با حساسیت بالا است که بتواند مقدار فعالیت رادیوایزوتروپ اندازه‌گیری شونده را به دست آورده و نمایش دهد [۴].

عامل‌ها و مشکل‌های مختلف از جمله نوفه‌ی الکتریکی و مغناطیسی، جریان ناشی قطعه‌های الکترونیکی و الکتریکی، تغذیه‌ی آشکارساز با ولتاژ بالا و پایین بودن مقدار بار الکتریکی تولید شده در آشکارساز در فعالیت‌های پایین باعث شده است که طراحی و ساخت مدارهای الکترونیکی روند پیچیده‌ای به

طراحی و استفاده از نتیجه‌های شبیه‌سازی با کد MCNP، از دو ناحیه‌ی یونش که مشکل از سه استوانه‌ی هم‌محور با فاصله‌های ۲۰ میلی‌متر بود بهره گرفته شد (شکل ۲). انتخاب این مقادیر، حجمی برای ناحیه‌ی یونش تعیین کرد که خروجی آشکارساز با الکترونیک طراحی شده قابل اندازه‌گیری و اندازه‌ی آشکارساز در حد دستگاه‌های خارجی شود.

گاز مورد استفاده در اتاقک نباید در عمل یونش مشکل ایجاد کند؛ به همین دلیل از گازهایی نظیر اکسیژن که الکترون جذب می‌کنند، حتی به عنوان ناخالصی کم - مقدار نیز باید اجتناب نمود تا در روند تکثیر الکترون اختلال ایجاد نشود. بنابراین از گازهای نجیب مانند هلیم یا آرگون با درجه‌ی خلوص بالا استفاده می‌شود.

شبیه‌سازی‌های انجام شده به وسیله‌ی کدهای MCNP و آزمایش‌ها نشان داد که با انتخاب طول چاهک آشکارساز برابر با ۲۰ سانتی‌متر، بهترین موقعیت قرارگیری چشمه وسط چاهک آشکارساز است که در ناحیه‌ی نسبتاً بزرگی در دو طرف این موقعیت، خروجی آشکارساز تقریباً ثابت است.

از عامل‌های مؤثر در مقدار بازده آشکارساز، فشار گاز درون اتاقک است. شبیه‌سازی‌ها و آزمایش‌های انجام شده، نشان داد که با افزایش گاز درون اتاقک تا حد ۲۰ بار (با توجه به محدودیت در افزایش فشار گاز)، جریان خروجی تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد اما این افزایش منجر به کندتر شدن حرکت یون‌های مثبت و طولانی‌تر شدن مدت زمان رسیدن آن‌ها به الکترودهای منفی می‌شود؛ برای غلبه بر این امر لازم است ولتاژ اعمالی به الکترودها افزایش یابد. از طرف دیگر، هرچه فشار گاز درون اتاقک بیش‌تر شود، رفع نشستی گاز درون آشکارساز نیز متناسب با آن سخت‌تر شده و مشکل‌هایی در ساخت به وجود می‌آید. در طرح مورد بحث، فشار گاز درون اتاقک، به خاطر طراحی مدارهای الکتریکی حساس‌تر، ۵ بار انتخاب شد که نسبت به فشار گاز آشکارساز دستگاه‌های هم‌نوع خود که در حدود ۱۰ الی ۱۲ بار انتخاب می‌شوند به مراتب کم‌تر است [۳].

بعد از پیش تقویت کننده‌ی بار، یک تقویت کننده‌ی میانی در نظر گرفته شده است. این واحد علاوه بر تقویت خروجی پیش تقویت کننده، نقش بافر برای اعمال ولتاژ حاصل از بار جمع شده روی خازن، به مبدل قیاسی به رقمی را دارد. این تقویت کننده دارای بهره‌ی متغیر بوده و مقدار بهره‌ی آن با توجه به مقدار بهره‌ی لازم، توسط واحد کنترل، تنظیم می‌شود، به طوری که یک علامت با دامنه‌ی مناسب به مبدل قیاسی به رقمی تحویل داده می‌شود.

مبدل قیاسی به رقمی مورد استفاده برای تبدیل ولتاژ قیاسی به رقمی، یک مبدل قیاسی به رقمی دوازده بیتی خریداری شده از شرکت آنالوگ دیوایس^(۲) است که ولتاژ ورودی ۱۰- تا ۱۰ ولت را به داده‌های رقمی تبدیل نموده و در اختیار واحد کنترل قرار می‌دهد [۶].

واحد کنترل و پردازش، یک سامانه‌ی ریزکنترلی است که با اعمال صافی‌های مختلف نرم‌افزاری نوفه‌های اعمال شده از منبع تغذیه‌ی ولتاژ بالای برق شهر را حذف نموده و خطای حاصل از کوانتس را کاهش داده و به حد قابل قبول می‌رساند. واحد کنترل دستگاه با دریافت فرمان‌های کاربر با اندازه‌گیری مقدار افزایش ولتاژ خازن مدار پیش تقویت کننده در زمان مشخص و با اعمال ضریب‌های مقیاس‌بندی، مقدار فعالیت پرتوزایی رادیوایزوتوپ را محاسبه و در نمایش‌گر نشان می‌دهد.

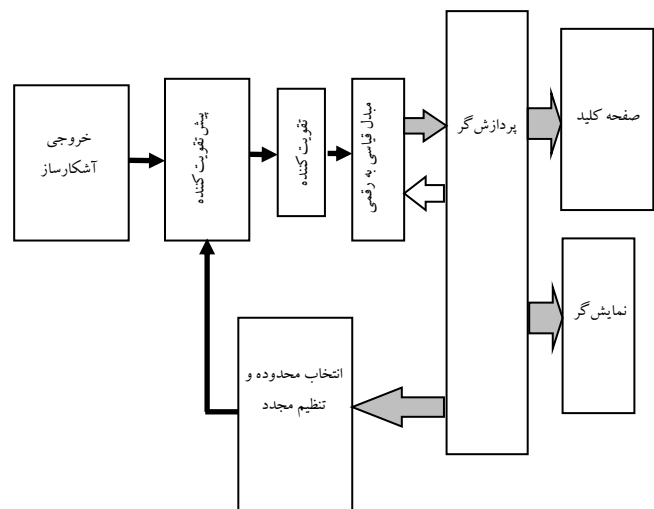
نمایش‌گر دستگاه، یک نمایش‌گر بلور مایع (LCD) از نوع گرافیکی ۶۴×۲۴۰ عنصر تصویر^(۳) است که برای نمایش اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات مربوط به چشمه‌ها از جمله نام و ضریب‌های مقیاس‌بندی آن‌ها در حافظه (EEPROM)^(۴) دستگاه به صورت یک فهرست پیوندی ذخیره می‌شود که امکان حذف یک رادیوایزوتوپ و یا اضافه شدن رادیوایزوتوپ دیگر را به راحتی امکان‌پذیر می‌سازد [۷].

نرم‌افزاری برای ریزکنترل دستگاه طراحی و نوشته شده است که تمام عملیات مربوط به اعمال صافی‌های نرم‌افزاری، پردازشی، محاسبه‌ی فعالیت و مدیریت پایگاه داده‌ای مربوط به رادیوایزوتوپ‌ها را انجام می‌دهد.

واحد تولید ولتاژ بالا، به روش قطع و وصل، از منبع تغذیه‌ی ۱۲ ولت موجود در مدار، ولتاژ ۴۰۰ ولت با مقدار جریان‌دهی حداقل ۱۰ میکروآمپر تولید می‌کند که برای پیش‌ولت آشکارساز در ناحیه‌ی اشباع مورد نیاز است. برای کارکرد صحیح آشکارساز، ولتاژ بالای تولید شده باید تغییرهای بسیار کم داشته باشد.

خود گرفته و به راحتی انجام نشود [۵]. نمودار جعبه‌ای قسمت الکترونیکی دستگاه (الکترومتر) در شکل ۳ نشان داده شده است. اولین و مهم‌ترین قسمت این نمودار، واحد پیش تقویت کننده‌ی حساس به بار است که در آن تپ بار آشکارساز به تپ ولتاژ تبدیل می‌شود. این قسمت از طریق کابل و اتصال‌های مخصوص به الکترودهای آشکارساز متصل می‌شود. انتقال جریان بسیار ضعیف آشکارساز با کابل حاوی ولتاژ بالا به مدار تقویت کننده‌ی بار باعث شده است فرایند حذف نوفه و ساخت دستگاه با پیچیدگی‌هایی روبه‌رو شود.

از آن‌جا که متوسط جریان حاصل از جمع بارهای ایجاد شده در فعالیت‌های پایین در حد چند فمتوآمپر است، مدارهای الکترونیکی این قسمت از جمله تقویت کننده باید جریان نشستی به مراتب کم‌تر از این مقدار را داشته باشند. خازن موجود در مدار این قسمت برای گردآوری بارهای الکتریکی حاصل از یونش قرار داده شده است که با اندازه‌گیری مقدار ولتاژ اضافه شده به خازن در مدت اندازه‌گیری توسط جریان حاصل از آشکارساز تعیین می‌شود. لازم است اختلاف پتانسیل خازن به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد تا خطای حاصل از تبدیل ولتاژ آن از مقدار قیاسی به رقمی زیاد نباشد. برای جریان‌های مختلف حاصل از فعالیت‌های متفاوت، خازن‌هایی با ظرفیت‌های متفاوت انتخاب می‌شود. برای این منظور، سه خازن با ظرفیت‌های مختلف برای پوشش سه محدوده‌ی فعالیت ضعیف، متوسط و قوی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از ایجاد نوفه‌های مغناطیسی اندازه‌گیری به کمک رله‌های خاص لچ‌دار انجام شد.



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای قسمت الکترومتر.

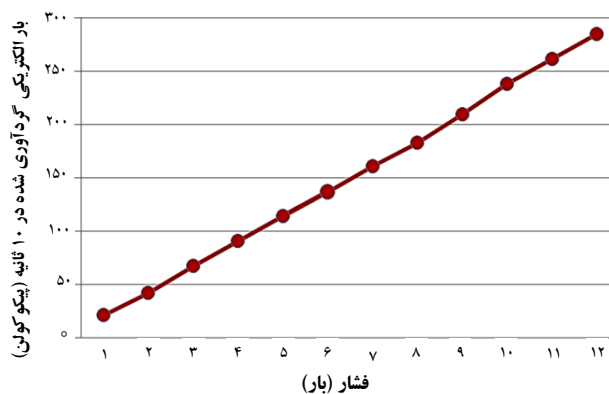


۴. نتیجه‌های آزمایش‌های دستگاه

بعد از طراحی و شبیه‌سازی دستگاه با نرم‌افزارهای MCNP و Garfield و هم‌چنین ساخت آن، یک رشته آزمایش بر روی دستگاه به منظور مقایسه‌ی نتیجه‌های حاصل از شبیه‌سازی و هم‌چنین آزمایش انجام شد از مهم‌ترین این آزمایش‌ها می‌توان به آزمایش وابستگی خروجی آشکارساز به فشار گاز، محل قرارگیری چشمه و وابستگی خروجی به مقدار ولتاژ بالا و آزمایش‌های مربوط به خطی بودن خروجی نسبت به مقدار فعالیت اشاره کرد.

ابتدا گاز آرگون با فشار ۱۲ بار به دستگاه تزریق و آزمایش‌هایی برای بررسی عدم نشتی گاز به انجام رسید. با فشارسنج کوچک تعبیه شده در دستگاه می‌توان به راحتی فشار گاز درون آشکارساز را اندازه گرفت و در صورت کم شدن فشار گاز برای رفع نشتی و جبران آن اقدام نمود [۱].

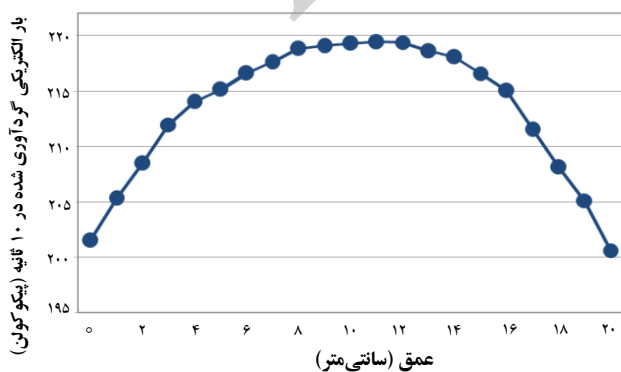
برای پی بردن به رابطه‌ی فشار گاز درون آشکارساز و جریان خروجی آن، آزمایش‌هایی، که در آن‌ها فشار گاز آشکارساز از ۱ تا ۱۲ بار افزایش داده شد، انجام و مقدار بار گردآوری شده در مدت زمان مشخص برای یک چشمه‌ی ثابت اندازه‌گیری شد. برای این منظور از چشمه‌های پرتوزای ^{137}Cs با فعالیت‌های پرتوزایی مختلف استفاده شد. نتیجه‌های آزمایش با فعالیت ۸۲۰ میکروکوری در شکل ۴ آمده است. اندازه‌گیری بار گردآوری شده، با استفاده از الکترومتر یونیدز^(۵) PTW که در سطح رده‌ی مرجع و دارای خطای کم‌تر از یک درصد بود، انجام شد [۳]. فشار گاز نیز به وسیله‌ی فشارسنج‌های حساس تعبیه شده روی آشکارساز که دارای خطای کم‌تر از ۲ درصد بودند، اندازه‌گیری شد.



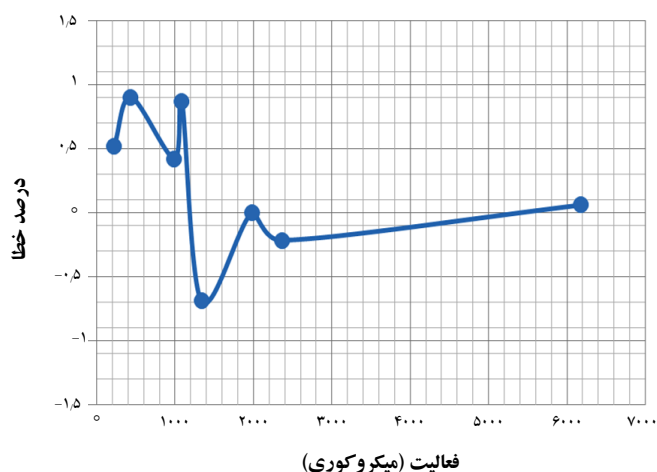
شکل ۴. رابطه‌ی بین خروجی آشکارساز و فشار داخل آن برای چشمه‌ی ^{137}Cs .

شکل ۴ نشان می‌دهد که خروجی آشکارساز متناسب با فشار و تقریباً خطی است؛ حداکثر انحراف از حالت خطی ۴ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که حتی با تغییر فشار گاز آشکارساز می‌توان با یک ضریب تصحیح، تغییر فشار را جبران کرد. نتیجه‌های به دست آمده نشان داد که فشار، عاملی مهم در مقدار جریان خروجی دستگاه در فعالیت مشخص است به طوری که با افت ۱۰ درصدی فشار، خروجی دستگاه نیز ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. لذا عدم افت فشار گاز با گذشت زمان یکی از عامل‌های ضروری برای عدم تغییر مقیاس‌بندی دستگاه است [۱].

زمانی که چشمه‌ی پرتوزا در داخل چاهک آشکارساز قرار می‌گیرد، در نقطه‌های متفاوت از چاهک، آشکارساز خروجی‌های متفاوتی دارد. منطقه‌هایی در این چاهک وجود دارد که در آن خروجی آشکارساز بیشینه است. برای تعیین این قسمت، چشمه‌ی پرتوزای ^{137}Cs با فعالیت ۸۲۰ میکروکوری در موقعیت‌های ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر عمق چاهک آشکارساز، قرار داده شده و مقدار بار گردآوری شده در مدت زمان مشخص برای هر موقعیت اندازه‌گیری شد. نتیجه‌های حاصل از این اندازه‌گیری در شکل ۵ نشان داده شده است. در این آزمایش موقعیت قرارگیری چشمه در چاهک با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد که خطا با احتساب خطای آزمایش‌گر می‌تواند ۵٪ در نظر گرفته شود. همان‌طور که انتظار می‌رفت این آزمایش نشان داد که در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری (تقریباً در وسط چاهک آشکارساز) بیش‌ترین خروجی از آشکارساز به دست می‌آید. نکته‌ی مهم این که در فاصله‌هایی به اندازه‌ی چند سانتی‌متر، اختلاف خوانش با مقدار خوانش در نقطه‌ی میانی کم‌تر از ۲٪ است که بیان‌گر آن است آشکارساز طراحی شده دارای ناحیه‌ی نسبتاً بزرگی برای قرارگیری چشمه‌ی پرتوزا در داخل چاهک است.



شکل ۵. خروجی آشکارساز به صورت تابعی از محل قرارگیری چشمه در چاهک آشکارساز.

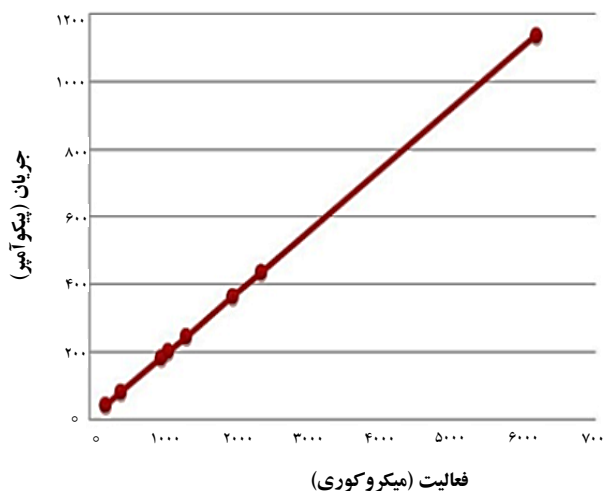


شکل ۷. درصد خطای ناشی از خطی‌سازی فعالیت پرتوزایی برای چشمه‌ی ^{67}Ga .

اتاقک برای آن که بتواند در محدوده‌ی ناحیه‌ی یونش به عنوان آشکارساز عمل کند، یک ولتاژ بالا برای ایجاد میدان لازم برای گردآوری بارهای الکتریکی حاصل از یونش مورد نیاز است. مقدار ولتاژ اعمال شده، بسته به نحوه‌ی طراحی اتاقک می‌تواند تا چند صد ولت انتخاب شود. این ولتاژ باید دارای پایداری مناسب بوده و قابلیت جریان‌دهی مناسب را در داخل اتاقک دارا باشد. برای تعیین ولتاژ مناسب، خروجی آشکارساز برای ولتاژهای ورودی از ۱۰ تا ۶۰۰ ولت برای چشمه پرتوزایی ^{137}Cs با فعالیت‌های ۳۲، ۷۱٫۵ و ۸۰ میکروکوری اندازه‌گیری شد. نتیجه‌های درصد خطای مقدارهای به دست آمده نسبت به مقدار نهایی آن در شکل ۸ آورده شده است. این اندازه‌گیری، با الکترومتر الکترواستاتیک مدل JCI ۱۴۰ شرکت جون کلوب انسترومانتاسیون^(۷)، که خطای آن در این اندازه‌گیری اهمیت زیادی ندارد، انجام شد. اندازه‌گیری خروجی آشکارساز نیز با الکترومتر طراحی شده انجام شد که به دلیل خوانش نسبی، خطای مطلق آن تأثیرگذار نبوده و خطای نسبی آن نیز بدون مقیاس‌بندی، کم‌تر از ۱٫۵٪ بود. همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، آشکارساز در فعالیت‌های پایین به ازای ولتاژهای زیر ۱۰۰ ولت، با درصد خطای پایین به مقدار نهایی خود می‌رسد و افزایش ولتاژ بعد از این مقدار در افزایش جریان خروجی تأثیری ندارد. اما هر چه فعالیت افزایش می‌یابد، برای پایدار شدن خروجی و عدم وابستگی آن به تغییر ولتاژ اعمالی، به اعمال ولتاژ بالاتری نیاز است. بنابراین برای این که این دستگاه بتواند فعالیت‌های بالا و در حد چند کوری را اندازه‌گیری نماید، مقدار

مهم‌ترین آزمایش انجام شده، آزمایش اندازه‌گیری جریان خروجی آشکارساز برای فعالیت‌های مختلف و تعیین درصد خطی بودن آشکارساز با تغییر فعالیت است. هر چند که در این دستگاه حالت غیرخطی را می‌توان در نرم‌افزار قسمت کنترل در نظر گرفته و خوانش دزنسج را تصحیح کرده و مقدار دقیق فعالیت را به دست آورد، ولی خطی بودن آشکارساز از مزیت‌های آن است که برای تعیین آن آزمایش‌هایی انجام شد. آزمایش‌ها با چشمه‌ی ^{67}Ga و با ۸ فعالیت متفاوت انجام شد که نتیجه‌های آن در شکل ۶ آمده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که خروجی آشکارساز با مقدار فعالیت دارای یک رابطه‌ی تقریباً خطی است و در صورت برازش یک خط راست به داده‌های به دست آمده، اختلاف با حالت خطی حدود ۱٪ است. نتیجه‌های این آزمایش حاکی از آن است که دستگاه می‌تواند برای هر نوع چشمه با فعالیت‌های متفاوت تنها یک ضریب مقیاس‌بندی داشته باشد.

با برازش یک خط راست به داده‌های شکل ۶، خطای ناشی از خطی‌سازی جریان با فعالیت چشمه‌ی ^{67}Ga در شکل ۷ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری فعالیت چشمه‌های مورد استفاده با استفاده از دستگاه کوری‌مانتور^(۶) ساخت شرکت PTW، که دارای رده‌ی مرجع با خطای کم‌تر از یک درصد بود، انجام شد [۳]. اندازه‌گیری جریان خروجی آشکارساز نیز با استفاده از الکترومتر یونیدز PTW به انجام رسید.



شکل ۸. رابطه‌ی بین جریان خروجی و فعالیت پرتوزایی چشمه‌ی ^{67}Ga .

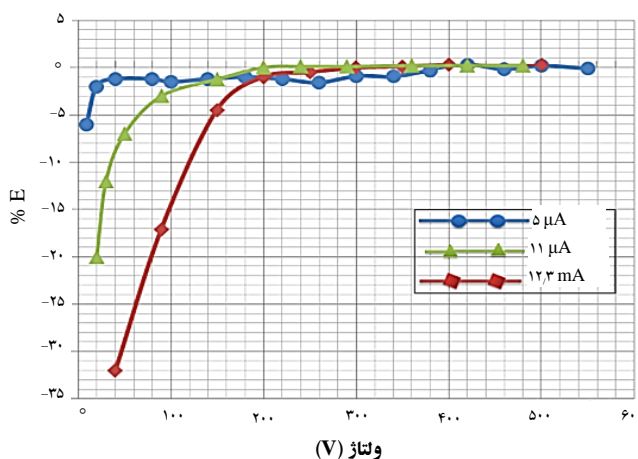


فعالیت رادیوایزوتوپها مورد استفاده قرار گیرد. پاسخ به چشمه های بتا از جمله ی مشخصه های مهم این دستگاه است که برای نمایش مقدار فعالیت اندازه گیری شده ی این چشمه ها بر روی نمایش گر، ضریب مقیاس بندی بزرگ تری نسبت به پرتوهای گاما به دست می آید. این امر باعث شده که حداقل فعالیت قابل اندازه گیری برای این چشمه ها در حدود ده برابر بزرگ تر از سایر چشمه ها باشد. در جدول ۱ ضریب های مقیاس بندی چند چشمه به همراه اسامی آنها آورده شده است.

آلومینیم استفاده شده در چاهک داخلی که ضخامت آن در حد ۲ میلی متر بود باعث شد حساسیت آشکارساز برای چشمه های با انرژی خیلی پایین، کم باشد. بنابراین، ضریب مقیاس بندی برای این چشمه ها بالا است. برای پرتوهای با انرژی خیلی بالا نیز به دلیل پایین بودن بازده یونش گاز داخلی آشکارساز، حساسیت دستگاه دوباره کم شد که منجر به بیش تر شدن ضریب مقیاس بندی برای چشمه های مذکور شد. برای چشمه های با پرتوهای مختلف، مقدار حساسیت آشکارساز به هر کدام از پرتوها متفاوت بوده و از این رو ضریب مقیاس بندی دستگاه به پارامترهای مختلف وابسته است و تنها با اندازه گیری یا شبیه سازی دقیق می توان ضریب مقیاس بندی هر کدام از چشمه ها را تعیین کرد.

جدول ۱. جدول ضریب های مقیاس بندی چشمه های مختلف

ردیف	نام چشمه	ضریب مقیاس بندی
۱	^{67}Ga	۹,۴۸
۲	^{201}Tl	۶,۰۴
۳	^{131}I	۷,۱۱
۴	^{99}Tc	۱۰,۶۵
۵	^{137}Cs	۵,۸۴
۶	^{133}Ba	۳,۶۳
۷	^{57}Co	۹,۲۳
۸	^{87}Sr	۸,۶۴
۹	^{51}Cr	۱۱۹,۲۹
۱۰	^{132}I	۸,۰
۱۱	^{125}I	۱۱,۳۹
۱۲	^{18}F	۳,۴۵
۱۳	^{59}Fe	۳,۳۹
۱۴	^{111}In	۵,۷۸
۱۵	^{152}Sm	۷,۴۲
۱۶	^{58}Co	۳,۸۵
۱۷	^{75}Se	۵,۷۲
۱۸	^{198}Au	۸,۰



شکل ۸. درصد خطای مقدارهای به دست آمده نسبت به مقدار نهایی به ازای مقدارهای مختلف ولتاژ برای چشمه ^{137}Ga .

ولتاژ بالا در حدود ۴۰۰ ولت انتخاب شد. آزمایش ها نشان داد که این انتخاب، برای اندازه گیری تا فعالیت پرتوزایی حدود ۴ کوری برای سزیم مناسب است.

۵. مقیاس بندی دستگاه

همان طور که در قسمت های پیشین توضیح داده شد پاسخ دستگاه نسبت به مقدار فعالیت کاملاً خطی است. بنابراین با داشتن یک ضریب مقیاس بندی برای هر چشمه می توان مقدار فعالیت را از مقدار جریان الکتریکی اندازه گیری شده به دست آورد. لازم به ذکر است که این ضریب برای تعدادی از چشمه ها در زمان ساخت دستگاه مشخص شده و قابلیت اضافه شدن چشمه های جدید نیز توسط کاربران پیش بینی شده است. هم چنین در صورت لزوم می توان ضریب های جدیدی را به فهرست ضریب های تعریف شده در زمان ساخت برای یک چشمه با فعالیت مشخص اضافه کرد. چون نهایتاً دستگاه برای اندازه گیری مقدار فعالیت باید مقیاس بندی شود، نیازی به مقیاس بندی جداگانه ی قسمت الکترومتر آن نبوده و تنها خطی بودن الکترومتر دستگاه دارای اهمیت است. در آزمایش های انجام شده، انحراف از حالت خطی برای چشمه های ^{137}Cs در فعالیت های ۱ تا ۸۰۰ میکروکوری در مقایسه با دستگاه کوری مانتر ۲ شرکت PTW کم تر از ۱/۵٪ بود.

نتیجه های آزمایش با رادیوایزوتوپ های مختلف بر روی این دستگاه نشان داد که این دستگاه به راحتی می تواند برای رادیوایزوتوپ های مختلف مقیاس بندی شده و برای اندازه گیری

جدول ۲. جدول پارامترهای عملکرد دستگاه در مقایسه با دستگاه

پارامتر	مقدار
درصد خطی	کم‌تر از ۱٫۵ درصد
درصد تکرارپذیری	کم‌تر از ۱ درصد
دقت	کم‌تر از ۲ درصد خطا
محدوده‌ی جریان الکتریکی	۱۰ fA تا ۰٫۵ μ A با تفکیک‌پذیری ۱۰ fA
شیوه‌های اندازه‌گیری	فعالیت و جریان
حداقل فعالیت قابل اندازه‌گیری	۰٫۱ μ Ci
حداکثر فعالیت قابل اندازه‌گیری	۱۰ Ci
تعداد رادیویزوتوپ قابل اندازه‌گیری	۲۰، قابل افزایش تا ۵۰
زمان پاسخ‌گویی	۲ الی ۲۰ ثانیه
زمان گرم شدن	۱۲۰ ثانیه



شکل ۹. نمونه‌ی دستگاه دزسنج ساخته شده.

پی‌نوشت‌ها

1. Dose calibrator
2. Analog Devices
3. Pixel
4. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
5. Unidose
6. Curiementor 3
7. Instrumentation

۶. تکرارپذیری

آزمایش‌های مختلف با دستگاه نشان داد که مقادیرهای خوانده شده برای یک چشمه در زمان‌های مختلف، اختلاف بیش‌تر از یک درصد با هم ندارند و در اندازه‌گیری‌های مداوم از یک چشمه یا با گذشت چند روز، اختلاف بیش‌تر از یک درصد مشاهده نمی‌شود. به خصوص اگر فعالیت چشمه از چند صد میکروکوری بیش‌تر باشد، درصد انحراف بسیار پایین خواهد بود. در فعالیت‌های کم‌تر از ۱۰ میکروکوری، به خاطر نوفه‌ی محیط و جریان‌های ناشی که تقریباً برای فعالیت‌های بالا و پایین یکسانند، این انحراف می‌تواند وجود داشته باشد ولی همواره در حد قابل قبول است (جدول ۲).

۷. بحث و نتیجه‌گیری

از مزیت‌ها و محاسن دستگاه طراحی و ساخته شده می‌توان به پایین بودن قیمت تمام شده اشاره کرد. سهولت کاربری، دقت اندازه‌گیری، سهولت مقیاس‌بندی، اندازه‌گیری فعالیت‌های پایین و قابلیت اندازه‌گیری چشمه‌های با پرتوزایی β و γ از دیگر مزیت‌های این دستگاه هستند.

طراحی این دستگاه به نحوی انجام شد که با ساخت نمونه‌ی اولیه و رفع کاستی‌های آن، این دستگاه به سرعت در فاز تولید و در اختیار کارشناسان مراکز پزشکی هسته‌ای ایران قرار داده شد که توانست رضایت کاربران را تأمین کند. با قاطعیت می‌توان گفت که با تولید این دستگاه که به سختی قابل تهیه است، دیگر نیازی به خرید آن از شرکت‌های اروپایی و آمریکایی با صرف هزینه‌های بسیار بالا نیست. در شکل ۹ یک نمونه‌ی این دستگاه نشان داده شده است.

تشکر و قدردانی

در این جا بر خود لازم می‌دانیم از کلیه‌ی همکاران گروه پژوهشی آشکارسازی و دزیمتری پرتوها، ریاست و معاونت محترم پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها و مجتمع پژوهشی البرز برای اجرای این پروژه تشکر و قدردانی نمایم.



- [1] A.R. Siminfar, A. Shahvar, M.R. Hasanzadeh, M. Saeidi, M. Alimoradi, M. Mahjouri, S.M. Mirbozorgi, M. Ghafouri, M. Shadfar, Design and fabrication of a radioisotope dose calibrator (Curie Meter), Scientific Report, Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine, Atomic Organization of Iran, NRCAM-89-6-194, (2010).
- [2] G.B. Saha, Physics and radiobiology of nuclear medicine, Springer, 3 Edition, (2006).
- [3] PTW company available online at: www.PTW.de.
- [4] G.F. Knoll, Radiation detection and measurement, John Willy & Sons Press, 4th Edition, (2010).
- [5] A.R. Siminfar, F. Shahidi, M.R. Hasanzadeh, A. Zeizalzadeh, A. Shahvar, M. Saeidi, Achieving the technology of design and construction of wrist dosimeter and dosicard prototype, Scientific Report, Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine, Atomic Organization of Iran, NRCAM-84-10-136, (2005).
- [6] Analog Devices available online at: www.analog.com.
- [7] A.M. Tenebaum, Y. Langsam, M.J. Augenstein, Data structures using C, Prentice-Hall Press, (2007).