

طراحی مفهومی دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی

رحمانی، فائزه^۱ - شرقی ایدو، امین^۲

۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

۲ شرکت کنترل فرایند پاسارگاد

چکیده:

به عنوان یکی از استانداردهای مواد غذایی، مقدار اکتیویته سزیوم ۱۳۷ موجود در مواد غذایی است که می‌تواند از طریق آب یا خاک منتقل شود. در این مقاله به طراحی مفهومی دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی پرداخته شده است. دستگاه طراحی شده شامل آشکارساز یدور سدیم با قطر و ارتفاع ۴ سانتیمتر در یک محفظه سربی با حجم مؤثر ۵۰۰ میلی لیتر است. یک پوشش مسی ۲ میلیمتری نیز روی سرب برای کاهش ایکس مشخصه سرب استفاده شده است. کمترین اکتیویته قابل اندازه‌گیری با این دستگاه در حجم مذکور در مدت زمان ۲ دقیقه با احتمال ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب برابر ۰/۳۴۹ و ۰/۵۶۲ nCi/liter است.

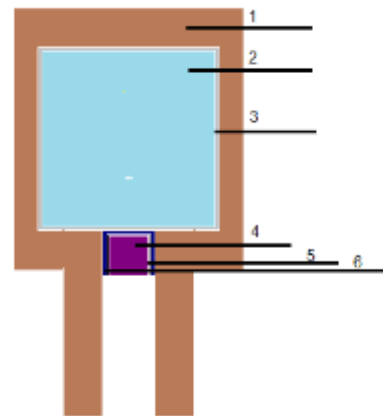
کلمات کلیدی: اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی، سزیوم ۱۳۷، یدور سدیم، کمترین اکتیویته قابل اندازه‌گیری

مقدمه:

یکی از ابزارهای مورد نیاز در استانداردسازی مواد غذایی، دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی است. در این اندازه‌گیری عمدتاً سزیوم ۱۳۷ اندازه‌گیری می‌شود که از محصولات شکافت بلندمدت راکتورهاست و به‌عنوان آلودگی راکتورهای هسته‌ای شناخته می‌شود. سزیوم ۱۳۷ می‌تواند از طریق خاک یا آب آلوده به مواد غذایی منتقل شود. این اندازه‌گیری به‌خصوص بعد از حادثه چرنوبیل به صورت جدی‌تری مطرح شد. یک دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته شامل یک آشکارساز متصل به ظرف اندازه‌گیری است. ماده غذایی مورد نظر در داخل ظرف ریخته شده و اکتیویته آن اندازه‌گیری می‌شود. آنچه مهم است کمترین اکتیویته قابل تشخیص توسط دستگاه است. چند دستگاه در دنیا به این منظور برای اندازه‌گیری به‌صورت تجاری ساخته شده‌اند [۱-۲]. با وجود اهمیت این موضوع هنوز در ایران به ساخت این دستگاه اندازه‌گیری پرداخته نشده است. در این مقاله به طراحی مفهومی دستگاه شامل تعیین نوع آشکارساز، اندازه آن، نوع ظرف و حجم مفید ظرف اندازه‌گیری پرداخته شده و در مواردی بهینه‌سازی انجام شده است. علاوه بر آن حداقل اکتیویته قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه مورد بررسی و با نمونه‌های مشابه مقایسه شده است.

روش کار:

همانطور که بیان شد، یک دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته شامل یک آشکارساز است که در یک محفظه بسته قرار می‌گیرد (شکل ۱). ماده غذایی مورد نظر در داخل ظرف ریخته شده و سپس در مدت زمان مشخصی طیف نمونه جمع‌آوری می‌شود. معمولاً از نمونه به صورت مایع با چگالی نزدیک به آب استفاده می‌شود تا اثرات خودجذبی نمونه بر اندازه‌گیری قابل صرف‌نظر باشد. بر اساس اندازه‌گیری سطح زیر قله‌های مشخص شده در طیف گامای جمع‌آوری شده توسط آشکارساز و یا بر اساس شمارش کل در پنجره انرژی، اکتیویته اندازه‌گیری شده و گزارش می‌شود.



شکل ۲. شبیه‌سازی اولیه دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته ماده غذایی ۱: سرب دور مجموعه نمونه و آشکارساز، ۲: نمونه مورد شمارش، ۳: بشر مارینلی پلی اتیلنی، ۴: سوسوزن، ۵: اپوکسی، ۶: آلومینیوم

شکل ۱: نمونه یک دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی تجاری (LB200)

یدور سدیم به دلیل متداول‌ترین آشکارساز با بازدهی مناسب، قدرت تفکیک متوسط، دسترسی آسان و قیمت مناسب، به‌عنوان آشکارساز انتخاب شد (انتخاب اولیه آشکارساز ۱ اینچ در طرح اولیه). ظرف نمونه از سرب انتخاب شد تا علاوه بر استحکام، مانع از ورود پرتوهای گاما از بیرون به داخل آشکارساز شود و آشکارساز تنها گاماهای نمونه داخل ظرف را شمارش کند. ضخامت سرب $1/5 \text{ cm}$ در نظر گرفته شد (شعاع داخلی 12 cm) که برای حفاظ‌سازی پرتوهای گامای طبیعی محیط خارج کافی است. یک بشر پلی‌اتیلنی به ضخامت 3 mm برای قرار دادن نمونه، داخل ظرف سربی در نظر گرفته شد تا از تماس مستقیم نمونه با سرب و آشکارساز ممانعت شود. حجم ظرف بین 400 تا 800 mlitr تغییر داده شد (تغییرات شعاع و ارتفاع). از سمت بالای دستگاه نیز $2/5 \text{ cm}$ بین بیشترین ارتفاع نمونه و درب سربی فاصله وجود دارد. پنجره آشکارساز از زیر ظرف با سطح داخلی بشر در ارتباط خواهد بود. ضخامت سرب درب ظرف نیز $2/5 \text{ cm}$ در نظر گرفته شد. هر چه به حجم نمونه کمتری نیاز باشد، مطلوب‌تر است (ارتفاع و شعاع ظرف) اما باید

مقدار نمونه قدری باشد تا در مدت زمان منطقی، شمارش مطلوب در آشکارساز ایجاد شود. نحوه قرارگیری آشکارساز نسبت به ظرف می‌تواند متفاوت باشد، لذا موقعیت آن بر اساس میزان قرارگیری ارتفاع آن در ظرف تغییر داده شد تا بهترین موقعیت براساس بهترین شمارش تعیین شود. قرارگیری آشکارساز در ظرف شمارش، به منزله کاهش حجم ظرف است (با ثابت در نظر گرفتن ابعاد بیرونی ظرف در همه حالات) اما از طرفی می‌تواند بازدهی حجمی نمونه را افزایش دهد.

اگر اکتیویته ماده غذایی براساس شمارش کل ایجاد شده در آشکارساز باشد، در آن صورت ایکس مشخصه فراری سرب نیز در آشکارساز به‌عنوان شمارش ثبت شده و خطا در اکتیویته ایجاد خواهد شد. لذا در بهینه‌سازی طرح، لایه‌های مختلف مس و کادمیوم بر روی سرب به منظور جذب ایکس مشخصه سرب در نظر گرفته شدند. ضخامت‌های مختلف با توجه به برد پرتو ایکس بررسی و سپس بهترین ضخامت تعیین شد. شکل ۲ نمونه‌ای از طرحواره‌ی یک سیستم اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی است. تمام مراحل ذکر شده در طراحی با استفاده از کد MCNPx2.6 شبیه‌سازی شدند.

در گام اول برای تعیین بازدهی آشکارساز یدور سدیم در ابعاد مختلف استفاده شده، بازدهی در سه قله ناشی از چشمه‌های نقطه‌ای سزیوم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ بر اساس طیف ثبت شده در آزمایشگاه در داخل ظرف نمونه سربی (بدون حضور نمونه) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از اطلاعات FWHM تجربی، ثوابت a, b, c برای کارت GEB به منظور ثبت طیف با پهن شدگی گاوسی محاسبه شدند. با توجه به همخوانی طیف ثبت شده چشمه نقطه‌ای در شبیه‌سازی با طیف تجربی، برای چشمه حجمی می‌توان منحنی بازدهی را بر اساس شبیه‌سازی محاسبه کرد، به عبارتی از انطباق تابع پاسخ شبیه‌سازی و تجربی آشکارساز برای صحت‌سنجی سایر نتایج استفاده شد. منحنی بازدهی مربوط به نمونه حجمی در هر طرح به صورت جداگانه محاسبه شده است که به دلیل کمبود فضای نگارش مقاله از آوردن آنها در مقاله صرف‌نظر شده است. با توجه به شمارش زیر قله ۶۶۲ keV (به اندازه ۲ برابر FWHM حول این انرژی) در مدت زمان t (C)، بازدهی آشکارساز (E) و نسبت شاخه‌ای سزیوم ۱۳۷ در واپاشی ($\theta = 0.85$)، اکتیویته (A) مربوط به حجم نمونه مشخص خواهد شد ($A = \frac{C}{It\theta\varepsilon}$).

با توجه به طرح پیشنهادی برای دستگاه، کمترین اکتیویته قابل شناسایی (MDA) قابل شناسایی توسط دستگاه براساس شمارش در مدت زمان جمع‌آوری طیف تعیین شد. بر اساس شمارش سطح زیر قله سزیوم بدون حضور نمونه (شمارش قابل تشخیص N_D ، شمارش زمینه در کانال‌های انرژی مربوط به سزیوم بدون حضور نمونه، N_B)، MDA برای دو حالت با ۹۵ درصد (رابطه ۱) و ۹۹/۵ درصد اطمینان (رابطه ۲) بر اساس رابطه کوری محاسبه شد [۳].

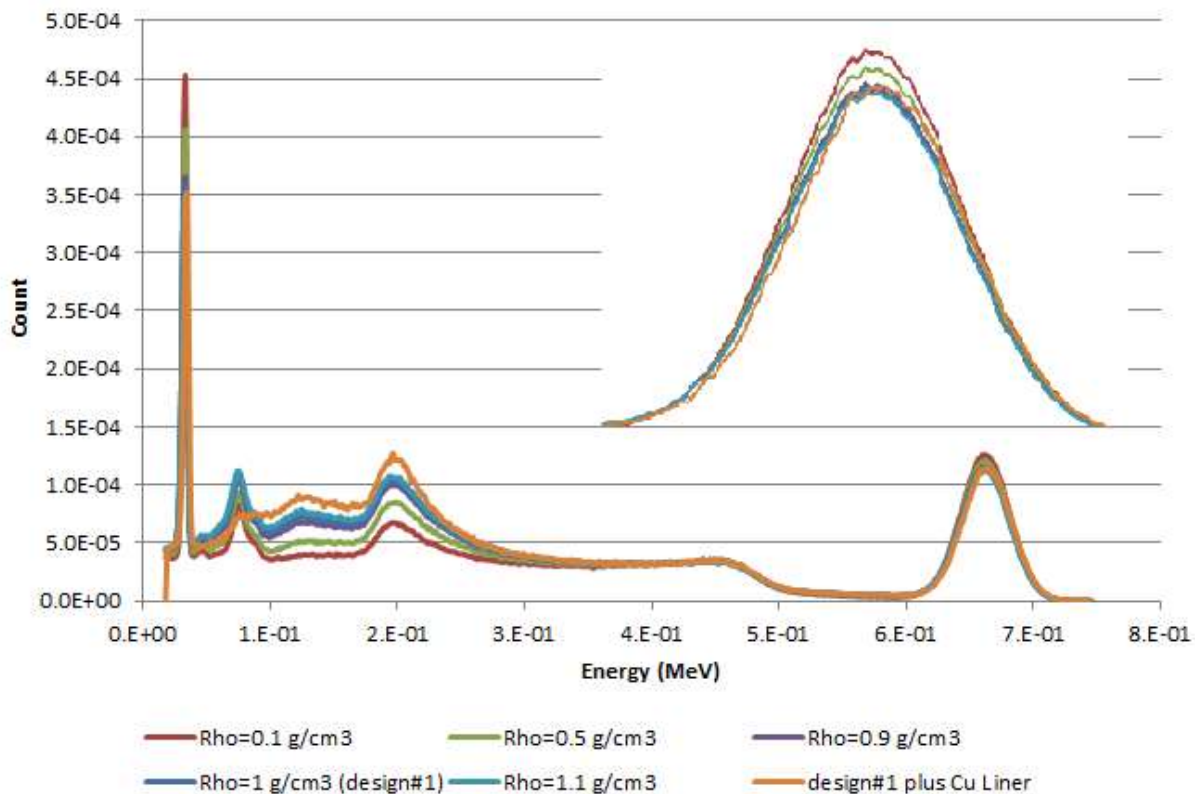
$$N_D = 4.653\sigma_{N_B} + 2.706 \quad (1)$$

$$N_D = 7.297\sigma_{N_B} + 6.656 \quad (2)$$

برای حالت‌های مختلف MDA اندازه‌گیری شد. مدت زمان طیف نگاری، دو دقیقه انتخاب شد تا قابلیت مقایسه سیستم با دستگاه‌های اندازه‌گیری نظیر آن امکان‌پذیر باشد.

نتایج :

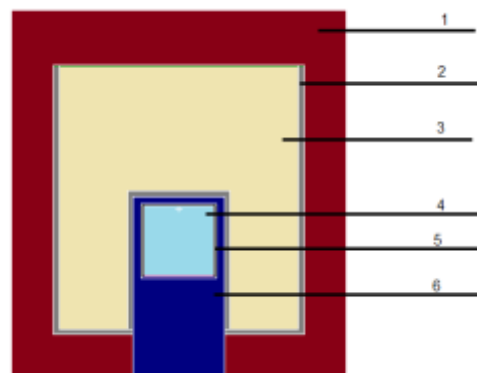
تمامی محاسبات برای اکتیویته حجمی 2 Bq/litr گزارش شده‌اند. شکل ۳ طیف ناشی از نمونه حجمی برای نمونه اولیه دستگاه (توضیحات در قسمت قبل) نشان می‌دهد. علاوه بر فتوپیک سزیوم، قله پس پراکندگی (حدود انرژی keV ۲۰) و قله فراری ایکس مشخصه سرب (32 keV) نیز در طیف دیده می‌شود. همچنین لایه مسی با ضخامت‌های مختلف بر روی سرب اضافه شد تا ایکس فراری به حداقل برسد. در شکل ۳ طیف مربوط به افزودن لایه مسی که منجر به حذف ایکس فراری از سرب شده است نیز نشان داده شده است.



شکل ۳. مقایسه طیف با حضور مس و بدون آن بر روی لایه داخلی ظرف سربی و نیز تغییرات طیف با چگالی‌های مختلف مواد با افزودن لایه مس به ضخامت ۲ میلی‌متر، پرتو ایکس مشخصه فراری سرب، در طیف آشکارساز حذف می‌شود.

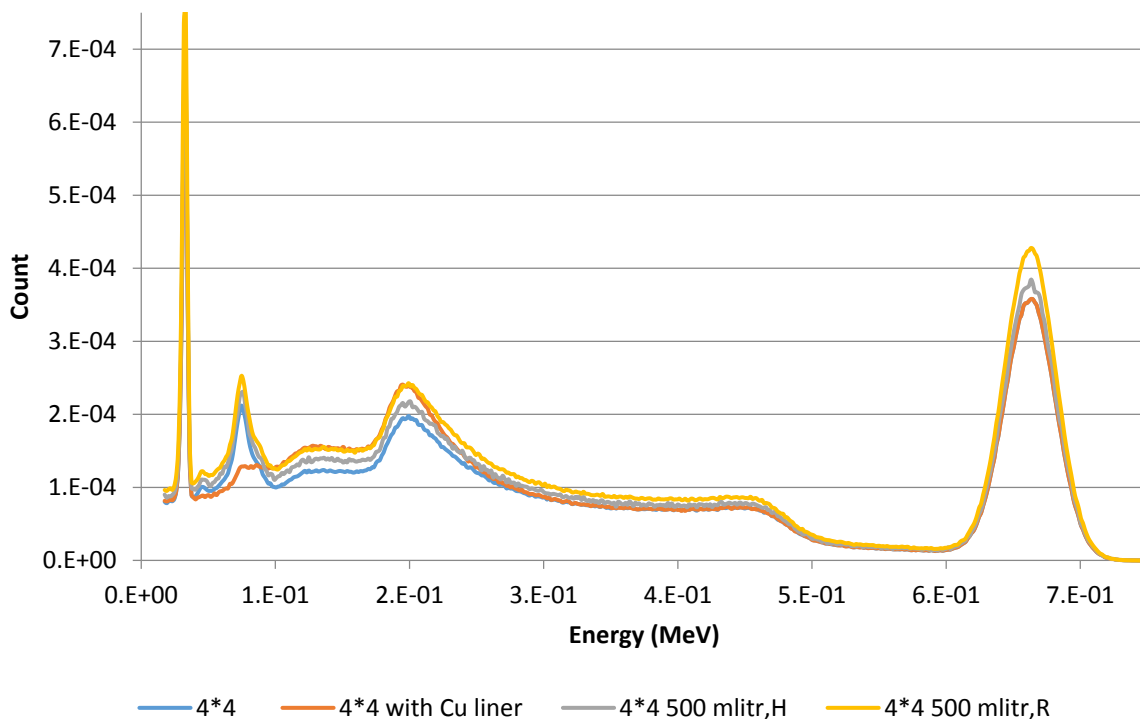
همانطور که بیان شد باید چگالی نمونه در حدود چگالی آب باشد لذا تغییرات چگالی نمونه بر ارتفاع فتوپیک و اندازه‌گیری اکتیویته بررسی شدند. با توجه به تأثیر نمونه در طیف چگالی از ۰/۱ تا ۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب بررسی شد تا اثر رقیق شدن نمونه بر طیف بررسی شود (شکل ۳). چنانچه دیده می‌شود تغییر چگالی می‌تواند در تفسیر مقدار اکتیویته براساس فتوپیک اشکال ایجاد کند، چنانچه تغییر چگالی از ۰/۱ تا ۱ باعث اختلاف در تعیین اکتیویته تا ۲۰ درصد خواهد شد که باید در تفسیر اکتیویته با توجه به نوع نمونه مورد نظر قرار گیرد..

محاسبات برای طرح بهینه و افزایش بازدهی شمارش انجام شد. در این طراحی قسمت فعال آشکارساز یعنی سوسوزن داخل حجم ظرف نمونه تعریف شد تا بازدهی افزایش یابد، لذا حجم مؤثر داخل ظرف به ۴۰۰ mlitr کاهش یافت. همینطور به جای آشکارساز ۱ اینچی از آشکارساز سوسوزن با قطر و ارتفاع ۴ cm استفاده شد. سپس حجم بشر مارینلی نیز با افزایش ارتفاع ظرف (۱/۵ سانتیمتر) به ۵۰۰ mlitr افزایش داده شد.



شکل ۴. طرح جدید برای دستگاه شمارنده اکتیویته ۱: حفاظ سربی به ضخامت ۱/۵ سانتیمتر، ۲: ظرف مارینلی پلی اتیلنی به ضخامت ۲ میلیمتر، ۳: نمونه، ۴: سوسوزن به ابعاد ۲/۵ سانتیمتر، ۵: اپوکسی ۱ میلیمتر، ۶: آلومینیوم روی آشکارساز و نیز مدار

معادل PMT



شکل ۵. طیف چشمه حجمی سزیوم با آشکارساز با ابعاد 4×4 سانتیمتر مربع (با لایه مسی و بدون آن) و نیز افزایش حجم به ۵۰۰ میلی‌لیتر با افزودن شعاع و یکبار افزودن ارتفاع ظرف سربی

به دلیل افزایش حجم آشکارساز و ورود آن به ظرف نمونه، شمارش زیر قله حدود $3/15$ برابر افزایش یافته است. با توجه به افزایش ۴ برابری حجم آشکارساز و نیز افزایش سطح حدود $2/5$ برابر، چنین افزایشی منطقی به نظر می‌رسد.

در شکل ۵ با افزایش ۹۰ میلی‌لیتر حجم نمونه (اکتیویته حجمی 2 Bq/litr) تنها ۷ درصد به شمارش فتوییک اضافه می‌شود. همچنین برای افزایش حجم به جای تغییر ارتفاع، شعاع به اندازه $0/3$ سانتیمتر افزایش داده شد (شکل ۵). ملاحظه می‌شود که شمارش نسبت به طراحی اولیه، حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد که این ابعاد مطلوب تر است.

در گام بعد، لایه داخلی حفاظ آشکارساز سیستم اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی را به صورت زیر تغییر می‌دهیم. ترتیب لایه‌ها از بیرون حفاظ به سمت داخل عبارتند از: آلومینیوم ($0/635$ سانتیمتر)، سرب ($1/27$ سانتیمتر)، قلع ($0/1$ سانتیمتر)، مس ($0/15$ سانتیمتر) و البته با توجه به اینکه قرار است داخل حفاظ ماده غذایی مایع قرار گیرد یا لایه پلی اتیلن ($0/2$ سانتیمتر) به عنوان حفاظ نهایی و یا ظرف اندازه‌گیری در نظر گرفته شده است. این پیکربندی بر اساس طرح حفاظ ارائه شده KOLGA مدل A310-TT است [۴]. لایه‌بندی حفاظ در مقایسه با قرار دادن مس به تنهایی برای

جذب سرب، عملکرد بهتری خواهد داشت، اما در مجموع در شمارش نهایی و تعیین اکتیویته سهم بسزایی ندارد. لذا در طرح نهایی برای لایه بندی داخلی حفاظ، می‌توان از مس به تنهایی به عنوان جاذب ایکس مشخصه سرب استفاده کرد. همچنین براساس اندازه‌گیری زمینه در آشکارساز با قطر و ارتفاع 4 cm ، در مدت دو دقیقه ۵ شمارش را نشان داد. لذا MDA برای بازه اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹٫۵ درصد بر اساس رابطه کوری $0/349$ و $0/562\text{ nCi/litr}$ محاسبه شد. این مقدار با مقادیر نشان داده شده در سیستم‌های تجاری نظیر برتولد ($0/5\text{ nCi/litr}$ برای ۹۵ درصد) همخوانی دارد [۱].

بحث و نتیجه گیری :

در این مقاله به طراحی دستگاه اندازه‌گیری اکتیویته مواد غذایی بصورت مایع پرداخته شد. مشخصات این دستگاه عبارت است از: آشکارساز با ابعاد 4×4 سانتیمتر، در حفاظ سربی به ضخامت $1/5$ سانتیمتر و لایه مسی با حجم مؤثر ۵۰۰ میلی لیتر که منجر به MDA برابر $0/349\text{ nCi/litr}$ می‌شود. زمانی می‌توان از عملکرد سیستم اطمینان داشت که: (الف) حجم $0/5$ لیتری پر باشد، (ب) چگالی مایع به چگالی آب یعنی 1 g/litr نزدیک باشد، (ج) حتما سزیوم 137 داخل نمونه باشد. در صورت عدم احراز شرایط بالا باید تصحیحات برای اندازه‌گیری اکتیویته صورت گیرد. در صورتی‌که دستگاه دارای قابلیت ثبت طیف نباشد و بر اساس شمارش کل آشکارساز کار کند، وجود هر ماده پرتوزایی جز سزیوم به دلیل عدم وجود پنجره انرژی، اکتیویته سزیوم محسوب می‌شود لذا با توجه به مقادیر موجود در مواد غذایی به صورت متداول، مثلا حضور پتاسیم 40 ، باید اکتیویته اینگونه رادیوایزوتوپها در تصحیح مقدار نهایی وارد شود.

مراجع :

- [1] Becquerel Monitor, LB 200, Berthold Technologies
- [2] Gamma Spectrometer LB2045, Berthold Technologies
- [3] Radiation Detection and measurement, G.F. Knoll.
- [4] KOLGA-A310-TT, Lightweight Top Opening Low Background Lead Shield, Quality Radiation Shielding Products.