

بررسی تغییرات تابع پاسخ آشکارسازهای نوع پیش‌زمینه پایین NaI(Tl) و تعیین شرایط کار بهینه در حالت‌های مختلف اندازه‌گیری

یاسمن، رضایی‌مقدم*؛ سید هاشم، میری حکیم‌آباد؛ رفعت، متولی لاله

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

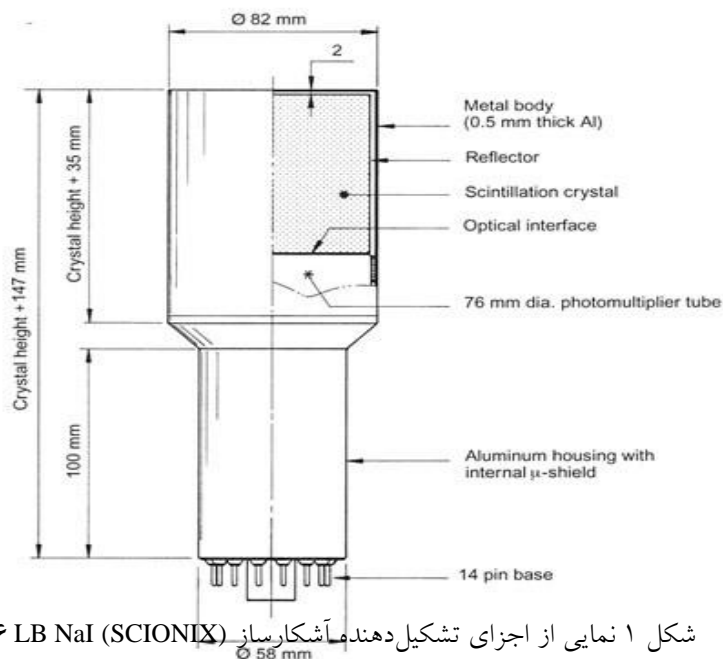
با توجه به لزوم به‌کارگیری آشکارسازهای نوع پیش‌زمینه پایین NaI(Tl) در اندازه‌گیری‌هایی که از حساسیت و دقت بالایی برخوردارند، بررسی تغییرات تابع پاسخ این نوع آشکارسازها در شرایط مختلف اندازه‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه به بررسی پاسخ آشکارساز NaI (SCIONIX) ۷۶ LB ۷۶ B در شرایط مختلف زمانی، دمایی و ولتاژ کار پرداخته و با توجه به ایجاد اثر جابجایی کانال در تشکیل طیف که تاثیر مستقیم بر تخریب رزولوشن دارد، بهترین شرایط اندازه‌گیری در استفاده از این نوع آشکارسازها پیشنهاد شده است.

کلیدواژه: تابع پاسخ، آشکارساز نوع پیش‌زمینه پایین، جابجایی کانال، رزولوشن

مقدمه:

آشکارسازهای NaI، به دلیل قیمت مناسب و در دسترس بودن، مهمترین و پرکاربردترین آشکارسازها در اندازه‌گیری نمونه‌های فعال هستند. بازده بالای این دستگاهها استفاده از آنها را برای آشکارسازی و تشخیص چشمه‌های گامای ضعیف، در مواردی که رزولوشن انرژی اهمیت کمتری دارد، مناسب می‌کند [۱]. استفاده از NaI حتی در مواردی که رزولوشن انرژی اهمیت بالایی دارد هم محدود نشده است بلکه در عوض سعی گردیده با انجام روشهایی مشکل رزولوشن پایین این نوع آشکارسازها حل شود. یکی از روش‌ها برای جبران نقص پایین بودن رزولوشن انرژی، استفاده از نوع پیش‌زمینه پایین این نوع آشکارسازهاست. در آشکارسازهای سوسوزن معمول، اصلی‌ترین هسته‌ها در منابع پیش‌زمینه، ^{40}K در فوتومولتی‌پلایر و مقادیر کمی اورانیوم و توریم در مواد غلاف آشکارساز است. در چیدمان آشکارساز پیش‌زمینه پایین، مواد با محتوای پایین پتاسیم و سایر فلزات انتخاب می‌شوند. بنابراین در این نوع آشکارسازها پلاستیک به دلیل دارا بودن محتوای پتاسیم و آلومینیوم به دلیل دارا بودن محتوای بالای اورانیوم-توریم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. همچنین برای کاهش پیش‌زمینه‌های داخلی یک لایه کوارتز و یا NaI غیر تزریقی (بدون تالیم) بین کریستال و فوتومولتی‌پلایر برای جذب تابشهای β حاصل از ^{40}K گنجانده می‌شود [۲]. این نوع آشکارسازها عموماً در مواردی که میزان شمارش چشمه‌های پرتوزا کم است مثل اندازه‌گیری‌های زیست محیطی، و یا در اندازه‌گیری‌های فعالیت پولک‌هایی

که در آنها میزان فعال شدن نمونه پایین است، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه شرایط بهینه کار با این مدل آشکارساز که دارای دقت و حساسیت مناسب می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱ نمای از اجزای تشکیل دهنده آشکارساز (SCIONIX) ۷۶ B ۷۶ LB NaI

روش کار:

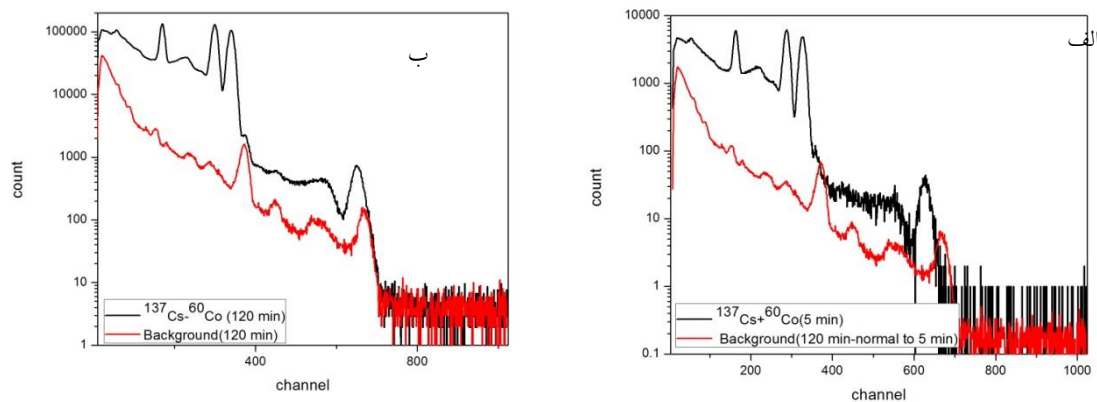
آشکارساز مورد استفاده در این مطالعه (SCIONIX type ۷۶ B ۷۶ / ۳) ۷۶ x ۷۶ mm NaI(Tl) detector است که از نوع پیش‌زمینه پایین با بازده عالی و رزولوشن انرژی مناسب است. جزئیات مشخصات این نوع آشکارساز در شکل ۱ آمده است.

نکته مهم در کاربرد این نوع آشکارسازها تغییرات پاسخ و حساسیت آنها در تغییرات شرایط اندازه‌گیری (شامل تغییرات دمایی، ولتاژ کار و زمان اندازه‌گیری) است. بطوریکه این تغییرات باعث جابجایی کانال در تشکیل طیف و در نتیجه کاهش رزولوشن انرژی می‌شود.

نتایج:

در مقایسه طیف اندازه‌گیری شده سزیم-کبالت و نیز طیف پیش‌زمینه، با توجه به شمارش بالای سزیم-کبالت، طیف به خوبی در مدت زمان کم جمع شده و زمان اندازه‌گیری این طیف بسیار کمتر از پیش‌زمینه خواهد بود. در این حالت مشاهده می‌شود که قله‌ها در طیف پیش‌زمینه در مواردی از طیف اصلی بالاتر است (شکل ۲). این مسئله که به وضوح حکایت از جابجایی کانال در تشکیل طیف پیش‌زمینه نسبت به طیف اصلی دارد، باعث

منفی شدن مقادیر شمارش برخی کانالها به هنگام کسر پیش‌زمینه می‌شود (شکل ۲ الف). این درحالی است که اگر دو طیف مورد نظر در شرایط یکسان از نظر زمان اندازه‌گیری ذخیره شوند، چنین مشکلی دیده نمی‌شود. (شکل ۲ ب) مشاهده جابجایی در تشکیل کانال طیف، نه تنها با تغییر شرایط زمان اندازه‌گیری دو طیف ایجاد می‌شود بلکه با تغییرات عوامل دیگری از قبیل دمای محیط و ولتاژ کار نیز به چشم می‌خورد. بنابراین برای حصول به یک اندازه‌گیری دقیق و صحیح باید سعی شود در شرایط دمایی اندازه‌گیری، ولتاژ کار و زمان اندازه‌گیری به نحوی تعیین گردد که بهترین رزولوشن در دسترس بوده و در چنین حالتی میزان جابجایی کانالی طیف‌های اندازه‌گیری شده لحاظ گردد.



شکل ۲ مقایسه طیف سزیم-کبالت و پیش‌زمینه متناظر در دو حالت زمان‌های اندازه‌گیری الف) غیریکسان ب) یکسان

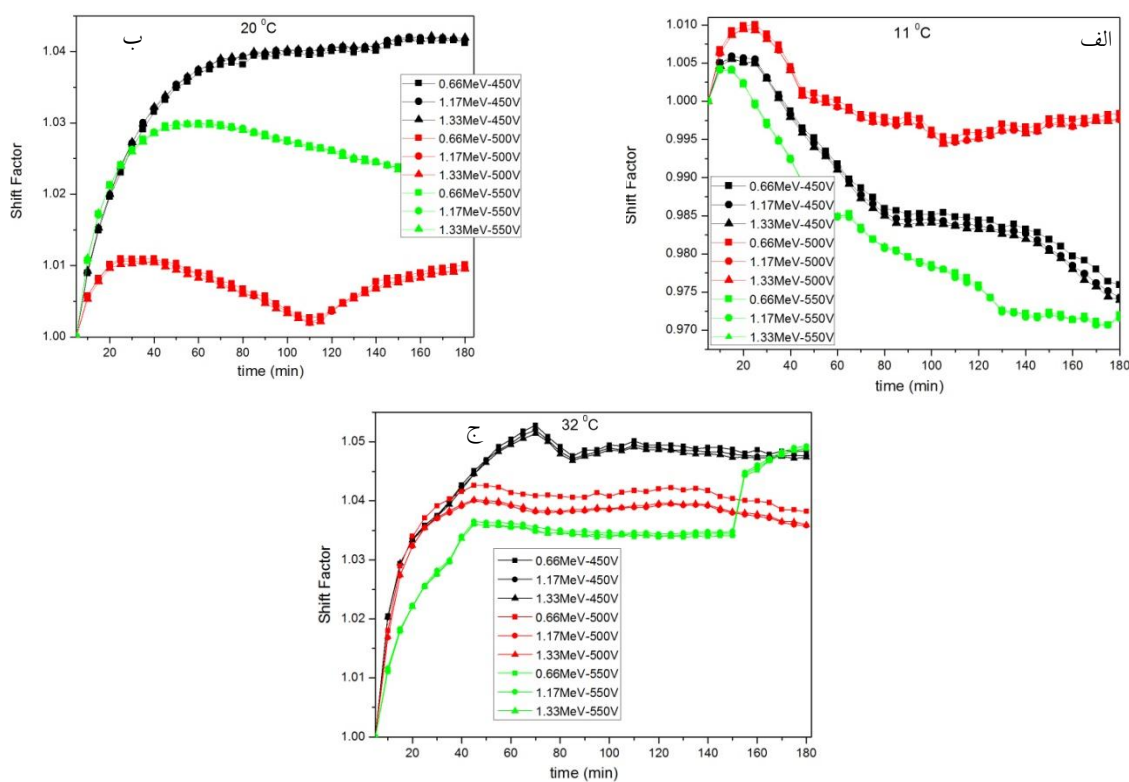
اندازه‌گیری‌ها برای چشمه سزیم-کبالت، برای سه حالت دمایی مختلف ۱۱، ۲۰ و ۳۲ درجه سانتیگراد و ولتاژهای کار ۴۵۰، ۵۰۰ و ۵۵۰ ولت به مدت ۲ ساعت (در بازه‌های ۵ دقیقه‌ای) انجام شد. هر اندازه‌گیری در شرایط یکسان انجام شده و مجموعه آشکارساز شامل کریستال، فوتومولتی پلایر و بیس در هر روز تنها برای یک سری اندازه‌گیری روشن نگه داشته شده و پس از آن تا اندازه‌گیری روز بعد این مجموعه خاموش نگه داشته می‌شد.

بحث و نتیجه‌گیری:

جابجایی کانال در تشکیل طیف باعث بروز مشکلاتی از جمله تخریب رزولوشن و کالیبراسیون ناصحیح می‌شود. تصور کنید که یک پرتو با انرژی مشخص در ابتدای اندازه‌گیری در کانال معینی ثبت شده و به تدریج با ادامه یافتن اندازه‌گیری در کانال‌های بعدی ثبت شود. این موضوع به وضوح در افزایش نیم‌بهنای قله‌های طیف و در نتیجه تخریب رزولوشن نقش مستقیم خواهد داشت. برای بررسی دقیق و مقایسه تغییرات شیف کانال قله‌ها در شرایط مختلف اندازه‌گیری، پس از رسم منحنی طیف‌ها، با انجام فیت گاوسی بر هر کدام از قله‌های طیف، نسبت مرکز منحنی گاوسی برازش شده در هر اندازه‌گیری، به مرکز قله متناظر در اندازه‌گیری ۵ دقیقه اولیه محاسبه شده و به عنوان فاکتور شیفت معرفی شده است (Shift Factor). همچنین با تقسیم نیم

پهنای منحنی گاوسی برازش شده بر مرکز آن برای هر طیف می‌توان تخمین خوبی از تغییرات رزولوشن داشت (w/x_c).

شکل‌های ۳ (الف-ب-ج) به ترتیب میزان جابجایی در تشکیل قله‌های طیف را در دماهای ۲۰، ۱۱ و ۳۲ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. این جابجایی برای هریک از سه قله طیف شامل قله 0.66 MeV ، 1.17 MeV و 1.33 MeV کبالت، در حالت‌های مختلف ولتاژکار 450 V ، 500 V و 550 V محاسبه شده است. هر کدام از داده‌ها در منحنی‌های زیر نمایانگر اطلاعات مربوط به طیفی است که در ۵ دقیقه منتهی به آن زمان اندازه‌گیری شده است. به عنوان مثال داده‌ای که بر روی منحنی فاکتور شیف در دقیقه ۶۰ ثبت گردیده، اطلاعات شیف مربوط به طیفی است که از دقیقه ۵۵ پس از روشن کردن مجموعه آشکارسازی تا دقیقه ۶۰ ذخیره شده است.

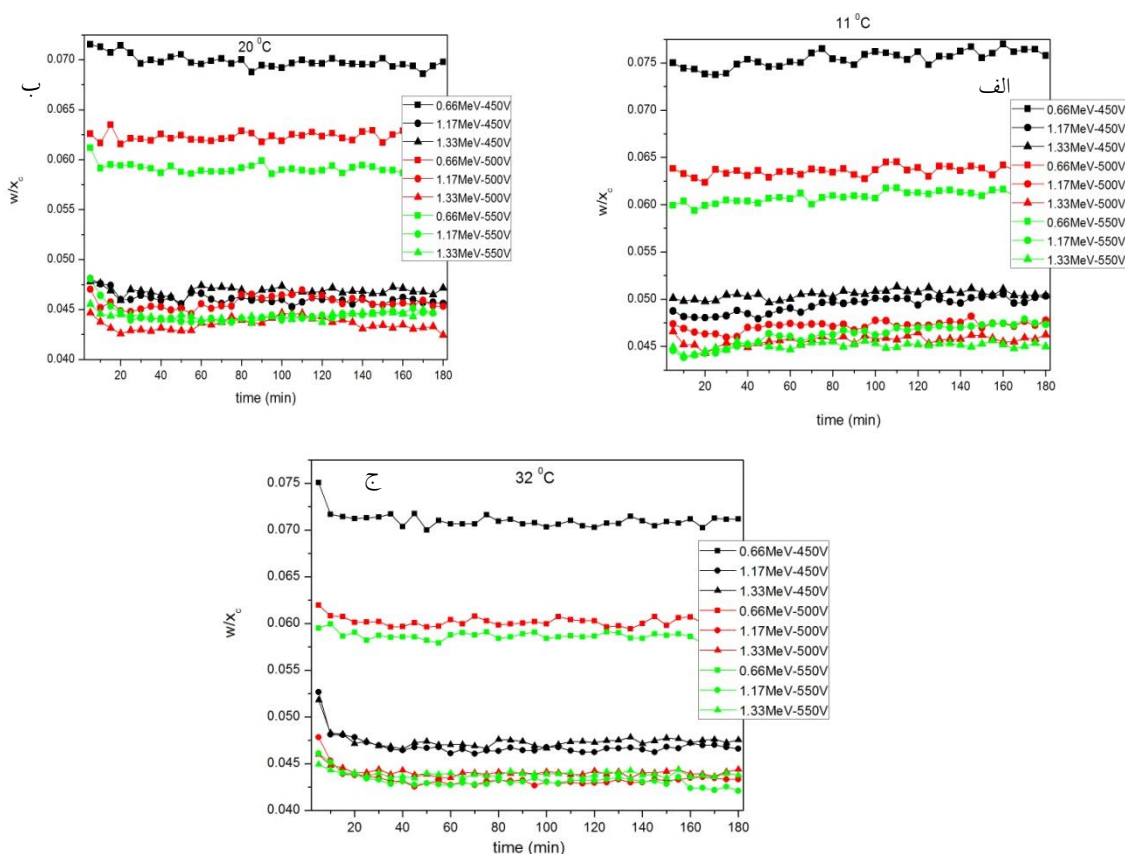


شکل ۳ تغییرات فاکتور شیف با تغییر انرژی و ولتاژکار برای دمای اندازه‌گیری (الف) ۱۱، (ب) ۲۰ و (ج) ۳۲ سانتیگراد

چنانچه در شکل ۳ قابل مشاهده است با گذشت زمان، جابجایی کانال در دمای ۱۱ درجه عمدتاً به سمت عقب و در دمای ۲۰ و ۳۲ درجه به طور غالب رو به جلو می‌باشد. در دمای ۲۰ و ۳۲ درجه حداکثر جابجایی کانال با گذشت زمان ۵٪ بوده و در هر مورد پس از گذر مدت زمان مشخصی میزان جابجایی حدوداً ثابت باقی می‌ماند. ثابت ماندن فاکتور شیف به معنی عدم بروز جابجایی در مجموعه بازه‌های زمانی پس از آن می‌باشد. میزان جابجایی کانال در تشکیل طیف کاملاً مرتبط با گذشت زمان نسبت به زمان اولیه روشن نمودن مجموعه آشکارسازی است. بدیهی است که در صورت کوچک بودن طول زمان اندازه‌گیری (اندازه‌گیری در فواصل ۵ دقیقه‌ای) میزان این جابجایی قابل توجه نخواهد بود. بنابراین انتظار می‌رود در اندازه‌گیری‌های کوتاه، با توجه



به ناپیچ بودن جابجایی کانال، تغییرات رزولوشن هم اندک باشد. این موضوع به خوبی در شکل ۴ قابل مشاهده است. در این شکل (۴-الف، ب، ج) که تغییرات رزولوشن را به ترتیب در دمای ۱۱، ۲۰ و ۳۲ درجه سانتیگراد نمایش می دهد، نیم پهنای از ولتاژها و انرژی های مختلف با گذشت زمان نسبت به زمان اولیه روشن نمودن مجموعه آشکارسازی تغییرات فاحشی ندارد.



شکل ۴ تغییرات رزولوشن با تغییر انرژی و ولتاژکار برای دماهای اندازه گیری الف(۱۱، ب)۲۰ و ج)۳۲ سانتیگراد

بنابراین در اندازه گیری های کوتاه عملاً هیچ ترجیحی در انتخاب بازه زمانی اندازه گیری نسبت به ابتدای روشن شدن مجموعه وجود ندارد. اهمیت این مطلب در اندازه گیری های کوتاه در صورتی است که کاربر درصدد مقایسه چندین طیف کوتاه مدت اندازه گیری شده در یک نوبت کاری باشد. در این صورت برای مقایسه این طیف ها با دقت خوب توصیه می شود شروع اندازه گیری ها در محدوده ای باشد که فاکتور شیفیت در آن به حالت ثابت رسیده باشد.

در اندازه گیری های بلند مدت در حالت شمارش پایین به دلیل افزایش مدت زمان اندازه گیری به هر حال میزان مشخصی از جابجایی کانال در تشکیل طیف وجود دارد که باعث کاهش رزولوشن می شود. در این گونه موارد تنها می توان بازه زمانی را که در آن کمترین شیفیت و در نتیجه کمترین تخریب در رزولوشن به وجود می آید انتخاب کرد. در اندازه گیری انواع طیف با استفاده از آشکارسازهای $NaI-LB$ ، ۲ حالت در نظر گرفته می شود:

۱. طیف‌های با شمارش بالا که در زمان کوتاهتری خطای آماری آنها پایین آمده و طیف تشکیل می‌شود.

۲. طیف‌های با شمارش پایین که برای تشکیل طیف و کاهش خطای آماری باید زمان اندازه‌گیری را بالا برد.

با توجه به توضیحات مندرج در این مطالعه، در مورد اول با توجه به ناچیز بودن میزان جابجایی کانال در بازه‌های کوتاه، ترجیحی در انتخاب بازه زمانی برای اندازه‌گیری وجود ندارد. اما در مورد دوم، باید از مدت زمانی که فاکتور شیفیت به طور مداوم در حال تغییر است، گذر کرد. بنابراین برای دسترسی به بهترین رزولوشن، در حالتی که ولتاژ کار به مجموعه آشکارسازی اعمال شده، این مجموعه به مدت معین روشن گذاشته و پس از سپری شدن این زمان معین (زمان انتظار)، اندازه‌گیری شروع شود. در جمع‌بندی شکل‌های ۴-الف، ب، ج، بهترین شرایط کار در حالت‌های دمایی و ولتاژ کار مختلف در حالتی که فاکتور شیفیت با گذشت زمان به مقدار ثابتی رسیده باشد در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ تخمین زمان انتظار در اندازه‌گیری با آشکارساز برای شرایط مختلف اندازه‌گیری

دما (سانتیگراد)	ولتاژ (ولت)	زمان انتظار آشکارساز (دقیقه)
۱۱	۴۵۰	۸۰
	۵۰۰	۵۵
	۵۵۰	۸۰
۲۰	۴۵۰	۶۰
	۵۰۰	۲۵
	۵۵۰	۵۰
۳۲	۴۵۰	۶۰
	۵۰۰	۵۰
	۵۵۰	۵۵

با توجه به شکل ۳ مدت زمانی که پس از آن فاکتور شیفیت به مقدار ثابتی می‌رسد، به عنوان زمان انتظار مطرح می‌شود. در دماهای ۲۰ و ۳۲ درجه فاکتور شیفیت پس از گذشت زمان معین حدوداً به مقدار ثابت میل می‌کند در حالیکه در دمای ۱۱ درجه تغییرات فاکتور شیفیت همچنان ادامه دارد. بنابراین زمان انتظار گزارش شده برای دمای ۱۱ درجه مربوط به حالتی است که فاکتور شیفیت کمترین تغییرات را دارد.

مراجع:

[۱] Cester, D., "Innovative techniques for detection of radioactive and nuclear materials", MSc thesis, Anno Accademico, P.۱۱, ۲۰۱۱.

[۲] SCIONIX Catalogues and Considerations. Available at: www.scionix.nl/configurations.htm