

محاسبه بازدهی مجموعه آشکارساز PE/Al/CR-39 برای نوترون‌های سریع با استفاده از شبیه‌سازی کد MCNPX

حسین زکی^{۱*}، مجید شهریاری^۲، غلامرضا اطاعتی^۳

^۱دانشگاه امام حسین(ع) - دانشکده علوم و مهندسی - مرکز تحقیقات فیزیک کاربردی

^۲دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده مهندسی هسته‌ای

^۳دانشکده فیزیک و علوم هسته‌ای، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

نوترون‌های سریع عموماً در برخورد کشتان با هسته‌های سبک و بویژه هیدروژن انرژی خود را از دست می‌دهند. در آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد نظیر CR-39 رد ذرات باردار با استفاده از فرآیند سونش مشخص می‌شود. از آنجایی که نوترون‌های سریع اندرکنش قابل توجهی در لایه CR-39 ندارند، جهت افزایش بازدهی از یک لایه مبدل استفاده می‌شود. در این پژوهش ضخامت بهینه مبدل پلی‌اتیلن جهت افزایش بازدهی تعیین شده و با توجه به ضخامت‌های مختلف تبعیضگر آلومینیومی بازدهی آشکارساز برای طیف انرژی نوترون‌های چشمه Am-Be تعیین گردیده است. بدین منظور کد MCNPX که توانایی انجام محاسبات نوترون و ذرات باردار را دارد برای تعیین ضخامت بهینه لایه PE و همچنین بازدهی مجموعه PE/Al/CR-39 استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی‌های MCNPX با نتایج تجربی تطبیق مناسبی دارند.

واژه‌های کلیدی: کد MCNPX، آشکارساز CR-39، هسته پس زده، لایه مبدل، لایه تبعیضگر

۱- مقدمه

در یک تقسیم بندی کلی، آشکارسازهای نوترون سریع را می‌توان به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم بندی کرد. آشکارسازهای فعال شامل سوسوزن‌های آلی، معدنی و همچنین آشکارسازهای گازی می‌باشد. آشکارسازهای غیر فعال می‌توانند برای ثبت داده‌ها در مدت زمان طولانی مورد استفاده قرار گیرند. از سوی دیگر با توجه به عدم استفاده از مدارهای الکترونیکی مسئله اشباع آشکارساز پیش نمی‌آید. بنابراین می‌توانند در گستره

* Email: kpzaki@ihu.ac.ir

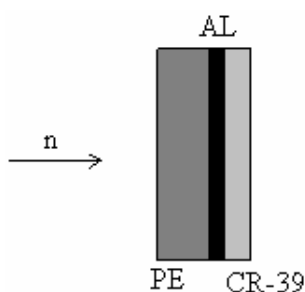
بزرگی از میدان‌های شار بالا و پایین استفاده شوند و این نکات از مزایای این آشکارسازها محسوب می‌گردد. از جمله آشکارسازهای غیر فعال، آشکارسازهای حالت جامد رد هسته‌ای مانند CR-39 می‌باشد. در این آشکارسازها نوترون‌های سریع بر اساس ثبت اطلاعات مربوط به هسته‌های پس زده آشکار می‌شوند.

تعیین تابع پاسخ آشکارساز مستلزم محاسبه توام فرآیندهای مربوط به نوترون و ذرات می‌باشد. با توجه به تفاوت فیزیک حاکم بر اندرکنش‌های نوترون و ذرات باردار و روابط حاکم بر آنها، محاسبات تابع پاسخ آشکارساز بسیار پیچیده است. متداولترین روش محاسبه تابع پاسخ آشکارساز، روش مونت کارلو است [۴-۱]. اغلب کدهای مونت کارلو ترابرد توام نوترون و ذرات باردار را انجام نمی‌دهند. در این صورت می‌توان ابتدا محاسبات نوترون را با استفاده از یک کد نوترونی MCNP به انجام رسانده و مشخصات هسته‌های پس زده را تعیین کرد. در مرحله بعد ترابرد هسته‌های پس زده با استفاده از کدهای ذرات باردار نظیر SRIM قابل انجام می‌باشد [۹]. در این پژوهش کد MCNPX برای محاسبه تابع پاسخ آشکارساز CR-39 جهت نوترون‌های سریع بکار رفته است.

۲- تئوری

نوترون‌های سریع قادر به ایجاد ردهای ذاتی در آشکارسازهای رد هسته‌ای پلاستیکی هستند که بیشتر در نتیجه واکنش‌های پراکندگی کشسان نوترون با هسته‌های عناصر تشکیل دهنده و از جمله آنها هیدروژن می‌باشد [۵ و ۶]. با توجه به ضخامت ناچیز لایه حساس آشکارساز، میزان اندرکنش نوترون‌های سریع در آن پایین است و برای افزایش بازدهی از یک لایه مبدل که حاوی مقادیر قابل توجهی هیدروژن (مانند پلی اتیلن) می‌باشد استفاده می‌گردد. این لایه مبدل جلوی آشکارساز قرار می‌گیرد تا پروتون‌های پس زده در این لایه در نتیجه واکنش‌های کشسان با نوترون با نفوذ در آشکارساز ثبت گردند.

با استفاده از یک لایه آلومینیومی می‌توان پروتون‌هایی را که انرژی آنها از یک حد آستانه کمتر است جذب



شکل ۱. ترتیب قرار گرفتن اجزای نمونه آشکارساز

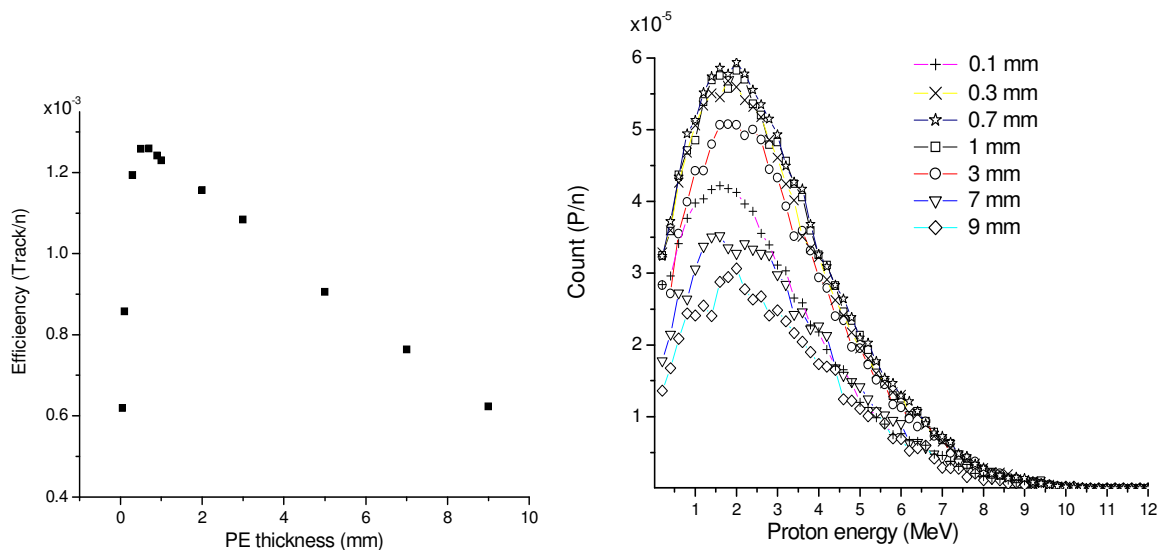
کرده و از ورود آنها به لایه آشکارساز جلوگیری کرد. به این ترتیب می‌توان علاوه بر شار نوترون، اطلاعاتی در ارتباط با چگونگی توزیع انرژی نوترون‌ها بدست آورد. لایه‌های پلی اتیلن، آلومینیوم و CR-39 بترتیب به عنوان مولد پروتون، تبعیضگر و آشکارساز بکار می‌روند (شکل ۱). پروتون‌های پس زده در داخل پلی اتیلن ضخامت باقی مانده لایه مبدل و لایه تبعیضگر را طی کرده و با نفوذ در آشکارساز ثبت می‌گردند. ضخامت بهینه لایه‌های مختلف جهت ثبت پروتون‌های پس زده حاصل از نوترون‌های

چشمه Am-Be در آشکارساز CR-39، برای بازه انرژی ۰/۸ - ۱۲ MeV با استفاده از محاسبات انتخاب شده است.

۳- روش محاسبات

کد MCNPX نسخه‌ای از کد MCNP است که ترابرد نوترون، فوتون و ذرات باردار را به روش مونت کارلو در هندسه سه بعدی و وابسته به انرژی، مکان و جهت انجام می‌دهد [۴]. در این پژوهش کد MCNPX جهت شبیه سازی اندرکنش‌های نوترون‌های چشمه Am-Be و پروتون‌های پس زده مورد استفاده قرار گرفته و میزان ثبت پروتون‌ها در لایه CR-39 محاسبه شد. با توجه اینکه در فرآیند سونش CR-39 حدود $6 \mu\text{m}$ از هر سطح آن خورده می‌شود [۶]، محاسبات مربوط به طیف انرژی و شار پروتون‌های پس زده شده به منظور ثبت در CR-39، سطح واقع در عمق $6 \mu\text{m}$ در نظر گرفته شد.

محاسبات به ازای ضخامت‌های مختلف لایه پلی اتیلن برای رسیدن به ضخامت بهینه و حداکثر بازدهی آشکارساز انجام گرفت. طیف انرژی و شار پروتون‌های پس زده برای ضخامت‌های مختلف لایه پلی اتیلن در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود افزایش ضخامت پلی اتیلن تا حدود یک میلیمتر موجب افزایش بازدهی و افزایش بیش از آن مقدار باعث کاهش بازدهی می‌گردد و در ضخامت ۰/۳ تا ۱ میلیمتر تغییرات بازدهی بسیار ناچیز است. بنابراین ضخامت بهینه لایه پلی اتیلن حدود ۰/۳ تا ۱ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۲. میزان ثبت پروتون‌های پس زده در آشکارساز برای ضخامت‌های مختلف لایه پلی اتیلن (سمت چپ) و توزیع انرژی پروتون‌های پس زده در سطح آشکارساز CR-39 (سمت راست).

پس از تعیین ضخامت بهینه لایه پلی اتیلن محاسبات در حضور لایه‌های آلومینیومی به عنوان تبعیض‌گر به انجام رسید و تاثیر آن بر پاسخ آشکارساز تعیین گردید که نتیجه آن در بخش ۵ آمده است.

۴- آزمایش

چشمه Am-Be با اکتیویته ۲۰ کوری جهت پرتودهی نمونه‌هایی از مجموعه PE/Al/CR-39 مورد استفاده قرار گرفت. شمای کلی مجموعه نمونه‌های فوق مطابق شکل ۱ انتخاب شد. لایه‌های آلومینیومی با ضخامت‌های ۰، ۲۰، ۵۵، ۹۰، ۱۲۵، ۲۱۰، ۳۲۰، ۴۴۰ میکرون به عنوان تبعیضگر انتخاب گردیده و پرتودهی به مدت ۴ ساعت به انجام رسید. نمونه‌ها به مدت ۱۱ ساعت در محلول NaOH با غلظت ۶ مولار در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد مورد سونش قرار گرفت و سپس چگالی ردهای تولید شده توسط میکروسکوپ نوری تعیین گردید.

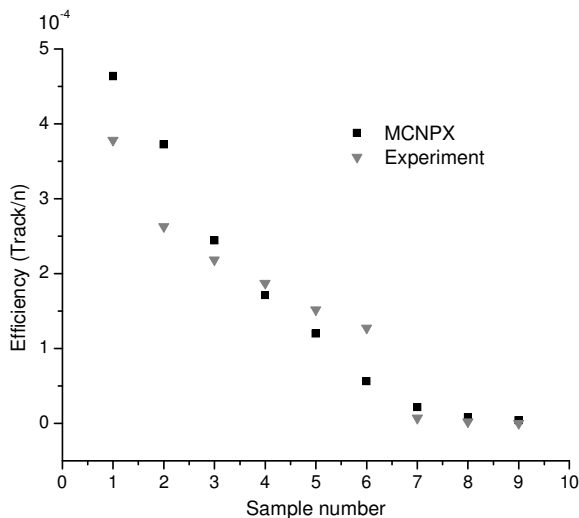
۵- نتایج

با توجه به بازه انرژی پروتون‌های پس زده و میزان برد آنها، ضخامت‌های مختلف لایه تبعیض‌گر آلومینیومی انتخاب شد و حداقل انرژی پروتون جهت عبور از این لایه و ثبت در آشکارساز CR-39 با استفاده از کد SRIM تعیین گردید. مقادیر بدست آمده برای نمونه‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ضخامت لایه‌های آلومینیوم و انرژی‌های آستانه برای ثبت در آشکارساز

Sample.No	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
$t_{Al}(\mu m)$	۰	۲۰	۵۵	۹۰	۱۲۵	۲۱۰	۳۲۰	۴۴۰	۵۲۰
$E_p(MeV)$	۰/۸	۲/۳	۳/۰	۳/۷	۴/۴	۵/۷	۷/۱	۸/۴	۹/۴

بدلیل اینکه اطلاعات و داده‌ها تجربی برای ضخامت ۴ میلیمتر لایه PE موجود بود، به منظور امکان مقایسه نتایج، محاسبات کد MCNPX برای ضخامت ۴ میلیمتر لایه PE و مشخصات مشابه در مرجع [۷ و ۹] و جدول ۱ تکرار گردید. همان طوری که از شکل ۲ مشاهده می‌گردد اختلاف بازدهی آشکارساز برای ضخامت پلی اتیلن ۴ میلیمتر و بازه ضخامت بهینه در حدود ۲۰ درصد بوده و انتخاب ضخامت پلی اتیلن ۴ میلیمتر فقط باعث کاهش بازدهی نمونه‌ها بطور یکسان می‌شود و در تعیین ضخامت لایه آلومینیومی تأثیری ندارد. شکل ۳ نتایج محاسبات بدست آمده از کد MCNPX را به همراه مقادیر تجربی نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقایسه بین بازده بدست آمده از محاسبات کد MCNPX (مربع) و آزمایش تجربی [۹ و ۷] (مثلث)

۶- بحث و نتیجه گیری

ضخامت بهینه لایه پلی اتیلن به منظور افزایش بازدهی آشکارساز با استفاده از محاسبات کد MCNPX برای طیف انرژی چشمه نوترونی Am-Be تعیین گردید سپس با استفاده از کد SRIM آستانه حذف انرژی پروتون‌ها بوسیله ضخامت‌های مختلف لایه‌های آلومینیومی (تبعیض‌گر) تعیین شد. در نهایت مجموعه کامل آشکارساز مانند شکل ۱ با کد MCNPX شبیه‌سازی و بازدهی آشکارسازها تعیین گردید.

نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی مرجع [۹ و ۷] مقایسه شد. با ملاحظه نتایج نشان داده شده در شکل ۳ مشاهده می‌شود که اختلاف بین مقادیر بدست آمده از روش شبیه‌سازی و تجربی برای بازدهی نمونه‌ها از محدوده یکسانی برخوردار نبوده و میزان اختلاف برای نمونه‌ها، بجز برای سه نمونه ۱، ۲ و ۶ قابل قبول است. بنابراین همانند روش بازیابی طیف انرژی توسط فعالسازی پولک این سه نمونه که درصد خطای نسبتاً بیشتری دارند را می‌توان حذف کرد. اختلاف موجود در نتایج بین ۹ تا ۲۵ درصد می‌باشد و با توجه به این که شمارش ردها زیر میکروسکوپ نوری بصورت دستی انجام گرفته است خطای موجود در نتایج نهایی قابل توجیه است.



۷- مراجع

- [1] Judith F. Briesmeister , MCNPTM-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code , Version 4C, LA-13709 M
- [2] J. F. Ziegler, J. P. Biersack, U. Littmark, The Stopping and Range of Ions in Solids, Newyork & Pergamon Press, 1985
- [3] W. Eckstein, Computer Simulation of Ion-Solid Interactions, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Press , 1991
- [4] UT-BATTELLE, LLC, MCNPXTM-Monte Carlo N-Particle Transport Code System for Multiparticle and High Energy Applications, Version 2.4.0, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY-CCC-715
- [5] Robert L. Fleischer, P. Buford Price, Robert M. Walker, Nuclear Track in Solids, University of Colifornia Press, 1975
- [6] S. A. Durrani, R. K. Bull ,Solid State Nuclear Track Detection Principles Methods and Applications, Pergamon Prss, 1987
- [7] H Zaki-Dizaji, M Shahriari and GR Etaati, Monte Carlo Calculation of CR-39 efficiency for fast neutron spectrum using the ability combining of MCNP and SRIM codes, 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Beijing (China), 11-15 September 2006
- [8] Wan, J. S., Zhu, G. N., Zhao, Y., Liu, N. N., Zhuang, Q. C., Zhang, L. X., Guo, Sh. L., 2003. Computer studies of detection efficiency of fast neutron spectrum based on PADC using the Monte Carlo method. Radiat. Meas. 36, 163-197
- [۹] مجید شهریاری، حسین زکی، غلامرضا اطاعتی، محاسبه مشخصات هسته‌های پس زده از واکنش پراکندگی الاستیک با نوترون با استفاده از کد مونت کارلوی MCNP4C، دهمین گردهمایی فیزیکدانان و متخصصین هسته‌ای کشور، دانشگاه اراک، ۱۳۸۲
- [۱۰] مجید شهریاری، حسین زکی، غلامرضا اطاعتی، محاسبه بازدهی آشکارسازهای رد هسته‌ای برای نوترون‌های سریع با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو و مقایسه آن با نتایج تجربی، دومین کنفرانس بین المللی علوم و فنون هسته‌ای در ایران، دانشگاه شیراز ۱۰-۷ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳