

آماده سازی یک باریکه نوترون از چشمه Am-Be جهت آنالیز نمونه های بیولوژیک به روش PGNAA

پرویز قربانی ، داریوش سرداری

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکیده

آنالیز مواد با استفاده از گاما های آبی حاصل از فعال سازی نوترونی* نیازمند آماده سازی یک هندسه مناسب می باشد. در آنالیز نمونه های بیولوژیک به این روش که ابعاد نمونه کوچک است، بایستی باریکه مناسبی از نوترون فراهم گردد. در این مقاله آب به عنوان حفاظ اصلی در نظر گرفته شده و اثر افزودن مقادیر مختلف اسید بوریک به آن در فرونشانی گامای پرنرژی هیدروژن [۱] و نیز تاثیر آن بر طیف نوترون خروجی از حفاظ چشمه Am-Be مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق علاوه بر دزیمترهای نوترون و گاما از آشکارسازهای BF₃ و NE-213 برای بررسی تابش نوترون کند و سریع و از آشکارساز BGO برای طیف نگاری گامای خروجی از حفاظ استفاده گردید. شبیه سازی مونت کارلو نیز با استفاده از کد MCNP صورت گرفت که تطابق خوبی با نتایج آزمایش ها نشان داد.

کلمات کلیدی: دز معادل محیطی، مواد بوردار، آشکارسازی نوترون، آنالیز PGNAA

مقدمه

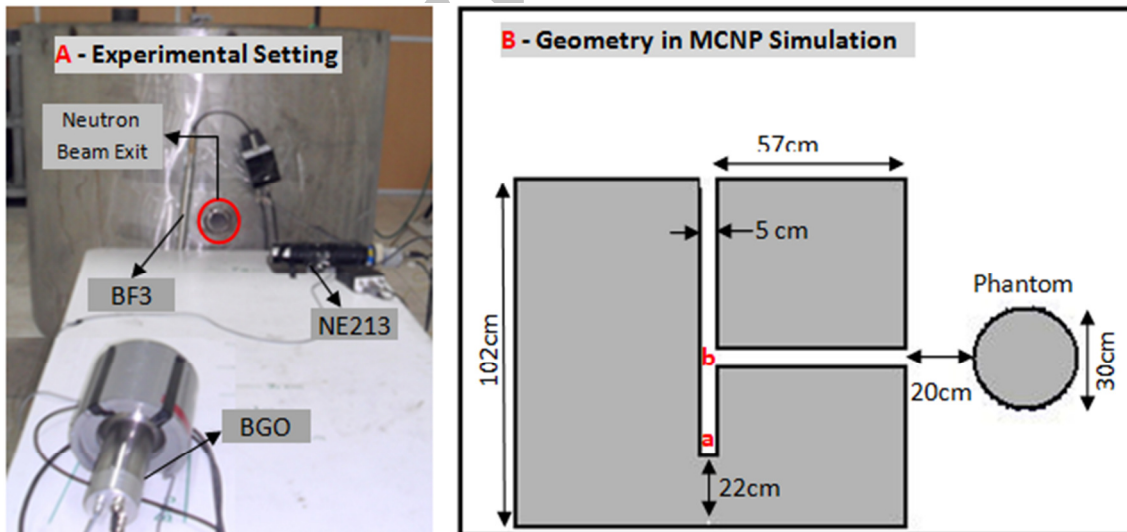
طیف نگاری گاما های آبی حاصل از فعال سازی نوترونی (PGNAA) به عنوان روشی شناخته شده برای آنالیز ایزوتوپی ماده هدف در مقادیر کم بکار می رود [۲]. استفاده از چشمه های نوترون رادیوایزوتوپی همچون Am-Be در PGNAA مستلزم طراحی حفاظ مناسب اطراف چشمه با هدف ایجاد یک باریکه تقریباً تک راستا می باشد. حفاظ طراحی شده باید بگونه ای باشد که بتواند؛ میزان دز پرتوی اپراتور را کم کند، گامای ناشی بیرون حفاظ را جهت افزایش دقت و سرعت آنالیز به حداقل ممکن برساند، و آسیب ناشی از تابش نوترون بر آشکارسازهای گامای مورد استفاده را تا حد امکان کاهش دهد. در این زمینه استفاده از مواد هیدروژنه مثل آب، پارافین، پلی اتیلن که حاوی مقادیری از ترکیبات افزودنی بوردار نظیر اسید بوریک (H₃BO₃) می باشد، بدلیل سطح مقطع نسبتاً بالای جذب نوترون حرارتی مربوط به ¹⁰B امری متداول است. همچنین پایین

* Prompt Gamma Neutron Activation Analysis

بودن انرژی فوتون آبی گسیلی از جذب نوترون حرارتی در ^{10}B باعث می شود با ضخامت کمتری از حفاظهایی مثل بتون یا سرب بتوان گاماها را مزاحم بیرون حفاظ هیدروژنه را حذف نمود [۱].

مواد و روشها

هندسۀ اولیه که به عنوان طرح پایه در اینجا مورد استفاده قرار گرفت، تانکی استوانه‌ای شکل به شعاع 57cm و ارتفاع 102cm می باشد (شکل ۱). حفره‌های قائم و افقی درون تانک به ترتیب برای قرار دادن چشمه و گرفتن باریکه نوترون جهت پرتودهی نمونه می‌باشد. حجم تقریبی تانک حدود 10.24 لیتر است. چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ با اکتیویته آلفای 20 Ci و میزان شار نوترون $4.4 \times 10^7\text{ n/s}$ می باشد. محاسبات شبیه سازی نرخ دز معادل نوترون و گاما در بیرون تانک با کد MCNP4C ، با بکارگیری کره معادل بافت ICRU به شعاع 15cm و استفاده از ضرایب تبدیل شار به دز معادل عمقی ICRP74 به همراه تالی $F4$ انجام گرفته است [۳، ۴، ۵، ۶]. کره یاد شده در فواصل 20cm و 100cm از سطح جانبی تانک، روبروی حفره افقی که در آن چشمه در وضعیت a واقع شده بود، قرار داشت (شکل ۱). میزان نرخ دز نوترون و گاما برای حالت آب خالص و سپس برای حالتی که در آنها مقادیر $7, 14, 28, 42, 56\text{Kg}$ اسید بوریک به آب داخل تانک افزوده می شود، مورد محاسبه قرار گرفت. تغییر چگالی ترکیب در محاسبات لحاظ شده است. محاسبات شبیه سازی در حالات فوق الذکر ابتدا بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی انجام گرفت و سپس با اعمال اثرات پراکندگی کف و دیوارها و نیز تابش گامای خود چشمه تصحیح گردید.



شکل ۱. نمایی از هندسه مورد بررسی. (سمت چپ) چیدمان آشکارسازها برای اندازه گیری تجربی. (سمت راست) هندسه شبیه سازی شده که چشمه در موقعیت a نگهداری شده و هنگام پرتودهی نمونه به موقعیت b منتقل می‌شود. حاصل محاسبات شبیه سازی فوق منجر به انتخاب مقدار بهینه 14Kg اسید بوریک برای فرونشانی گامای فعالسازی خروجی از تانک شد. جهت بررسی دقیق روند تغییرات شار و دز نوترون و گاما، این مقدار اسید

به صورت مقادیر 2Kg به آب داخل مخزن افزوده شده و در هر مرحله طیف گامای خروجی از تانک بوسیله آشکارساز BGO، نرخ شمارش نوترون سریع با آشکارساز سوسوزن NE213 و تکنیک جداسازی نوترون-گاما و شمارش نوترون حرارتی با استفاده از شمارنده BF3 و همچنین نرخ دز نوترون و گاما به ترتیب با استفاده از دزیتر LB6411 و GR-135 ثبت شدند.

در ادامه همچنین جهت تکمیل حفاظ بیولوژیک، با کمک محاسبات MCNP، اثر حفاظی از ترکیب بتن و سرب بر روی دیواره تانک (به استثنای یک مربع $15 \times 15 \text{ cm}^2$ به عنوان مکان باریکه خروجی) بررسی گردید.

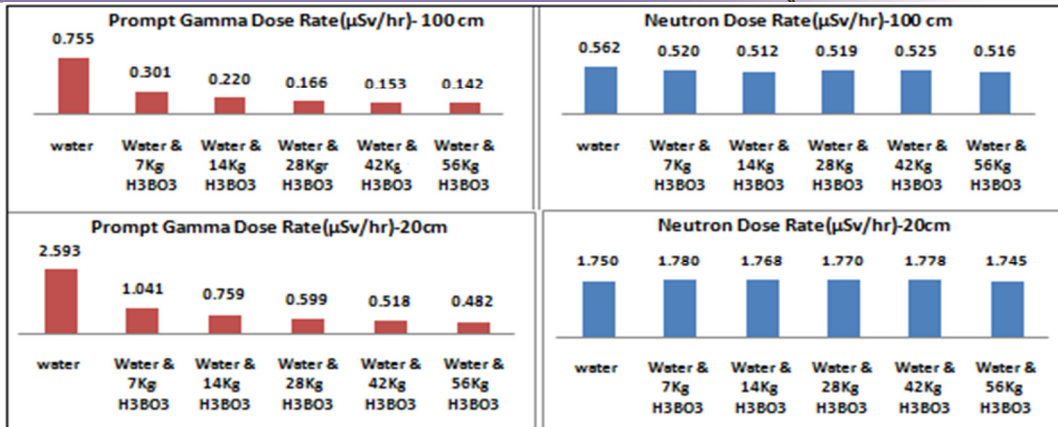
نتایج شبیه سازی و اندازه گیری تجربی

ابتدا دز نوترون و گاما در فواصل 20cm و 100cm از تانک محتوی آب خالص شبیه سازی و بطور تجربی نیز با استفاده از دزیتر اندازه گیری شد. شبیه سازی ابتدا بدون اثرات پراکندگی و نیز اثر گامای چشمه انجام گردید. جدول ۱ این نتایج را نشان می دهد. همچنانکه ملاحظه می گردد، نتایج اندازه گیری تجربی قبل از اعمال اثرات پراکندگی و گامای 4.483MeV چشمه Am-Be حدود دو برابر نتایج شبیه سازی با MCNP می باشد لیکن اختلاف بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری تجربی بعد از اعمال این اثرات در شبیه سازی حدود $\pm 20\%$ شده است.

جدول ۱. مقایسه نرخ دز نوترون و گاما در شبیه سازی MCNP و اندازه گیری با دزیتر

نرخ دز معادل تابش گامای ($\mu\text{Sv/h}$)			نرخ دز معادل تابش نوترون ($\mu\text{Sv/h}$)			
نتایج	نتایج شبیه سازی با MCNP		نتایج	نتایج شبیه سازی با MCNP		فاصله (cm)
	قبل از اعمال اثرات	بعد از اعمال اثرات		اندازه گیری با دزیتر	قبل از اعمال اثرات	
اندازه گیری با دزیتر	پراکندگی و گامای چشمه	پراکندگی و گامای چشمه	پراکندگی	پراکندگی	پراکندگی	20
5.9	$5.603 \pm 1.5\%$	$2.593 \pm 1.1\%$	3.3	$2.73 \pm 4.96\%$	$1.750 \pm 8.6\%$	20
1.4	$1.77 \pm 2.2\%$	$0.755 \pm 1.3\%$	1.1	$1.408 \pm 7.1\%$	$0.562 \pm 9\%$	100

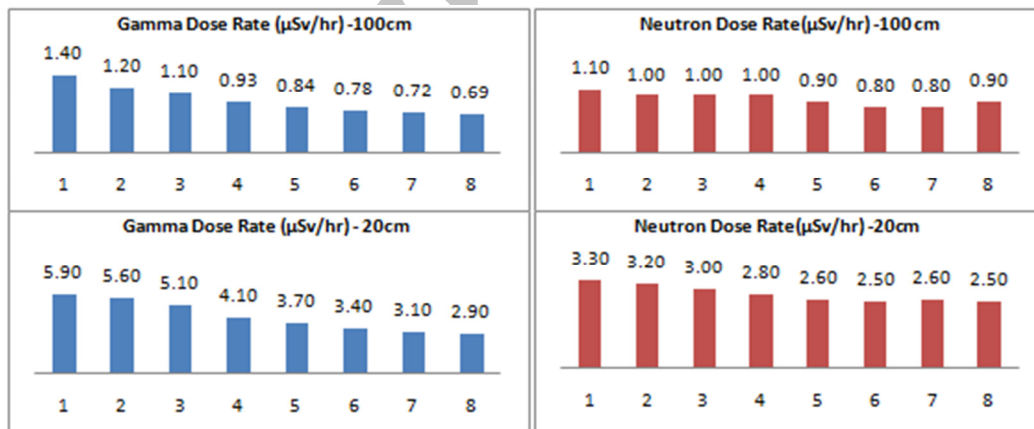
جهت تعیین میزان مناسب اسید بوریک و به منظور ساده سازی محاسبات، اثر پراکندگی نوترون و اثر گامای چشمه لحاظ نشد. شکل ۲ نتایج حاصل از شبیه سازی تغییرات نرخ دز معادل نوترون و گامای فعال سازی با افزایش میزان اسید بوریک در آب (بدون اثرات پراکندگی و اثر گامای چشمه نوترون) را نشان می دهد. مشاهده می گردد با افزایش میزان اسید، نرخ دز گامای آبی فعال سازی کاهش می یابد. درصد کاهش در حالت های "آب و ۱۴ کیلوگرم اسید" و "آب و ۵۶ کیلوگرم اسید" نسبت به حالت آب خالص به ترتیب ۷۱٪ و ۸۱٪ است. نرخ دز نوترون در فاصله 100cm بعد از یک کاهش جزئی در ابتدا تقریباً ثابت مانده و در 20cm تغییر خاصی مشاهده نمی گردد. همچنین شبیه سازی نشان می دهد که تغییر طیف نوترون تنها در قسمت حرارتی و با یک کاهش اولیه حدود ۷۵٪ همراه می باشد، بطوری که بعد از ترکیب حاوی 14kg اسید بوریک، طیف نوترون بدون تغییر می ماند.



شکل ۲. نتایج شبیه‌سازی تغییرات نرخ دز نوترون و گاما با افزایش اسید بوریک (بدون لحاظ اثرات پراکندگی و اثر گامای چشمه)

نمودارهای شکل ۳ تغییرات اندازه‌گیری شده نرخ دز معادل نوترون و گامای کل در بیرون از تانک در فواصل 100cm, 20cm از آن در موقعیت مشابه با شبیه سازی MCNP را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که نرخ دز گاما در حالت ۸ نسبت به حالت ۱ حدود ۵۰٪ کاهش یافته است. وضعیت های ۱ تا ۸ در این نمودارها بیانگر ترکیب‌های مختلف وزنی از اسید بوریک در آب داخل تانک براساس تقسیم‌بندی زیر است.

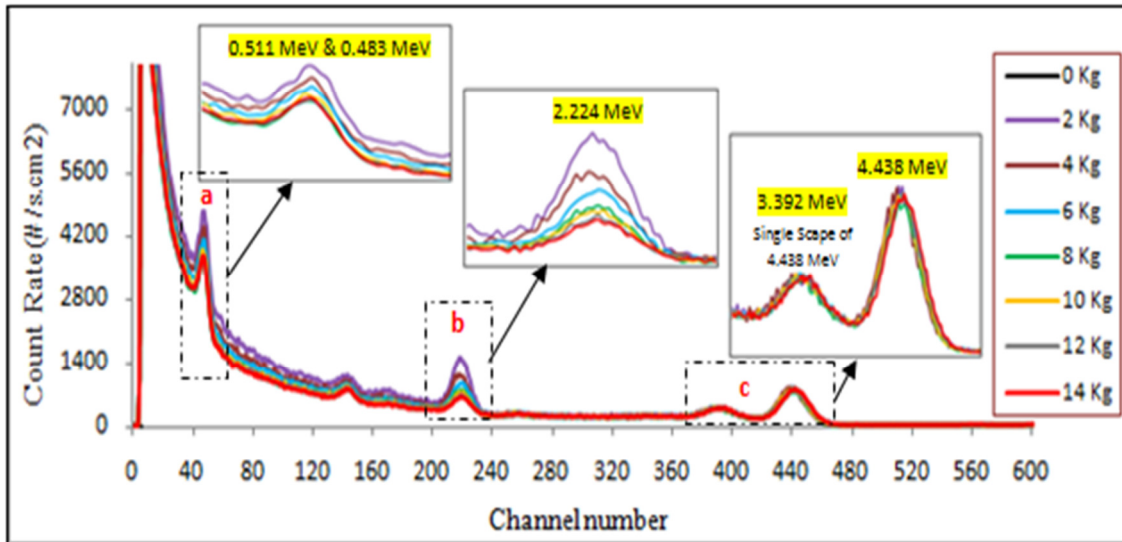
1	2	3	4	5	6	7	8	حالت
0	2	4	6	8	10	12	14	وزن اسید بوریک در آب درون تانک (Kg)



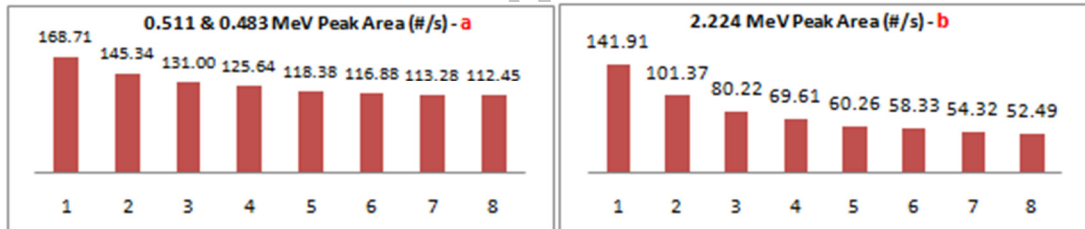
شکل ۳. نمودار تغییر نرخ دز گامای کل و نوترون در بیرون تانک با افزایش میزان اسید بوریک در آب

شکل ۴ نمودار تغییرات طیف گاما در بیرون تانک با افزایش اسید بوریک در آب داخل آن را نشان می‌دهد. در این شکل ناحیه b مربوط به گامای آنی فعالسازی 1H یعنی؛ $2.224 MeV$ و ناحیه a مربوط به گامای آنی مربوط به فعالسازی ^{10}B یعنی؛ $0.483 MeV$ و نیز گامای تک فراری $0.511 MeV$ است. ناحیه c بدون تغییر بوده و مربوط به گامای $4.438 MeV$ چشمه Am-Be می‌باشد. نمودارهای ستونی شکل ۵ نشان

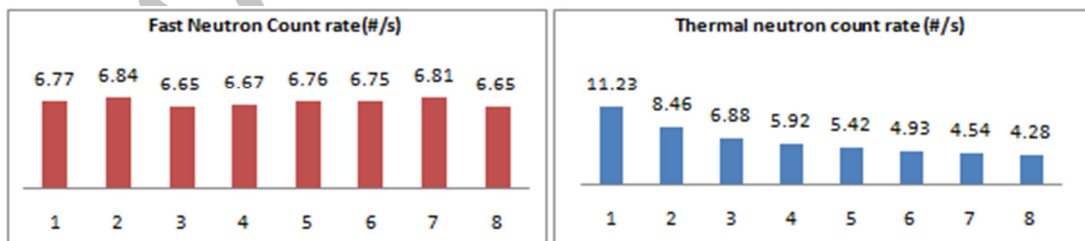
می دهند که ناحیه مربوط به هیدروژن (b) در حالت ۸ نسبت به حالت ۱ حدود ۶۳٪ و ناحیه مربوط به بور (a) حدود ۳۳٪ کاهش یافته است. شکل ۶ نشان می دهد که نرخ شمارش نوترون کند ۶۱٪ کاهش می یابد و نوترون سریع بدون تغییر است.



شکل (۴) تغییرات طیف گامای آشکارساز BGO با افزایش میزان اسید بوریک در آب داخل تانک



شکل (۵) آهنگ تغییرات سطح زیر قله گامای فعالسازی 1H (ناحیه b) و ^{10}B (ناحیه a) با افزایش میزان اسید



شکل (۶) آهنگ تغییر شار نوترون سریع و حرارتی در بیرون تانک با افزایش میزان اسید بوریک در آن

شبهه سازی نشان می دهد که استفاده از ۱۰ الی ۱۵cm سرب یا بتون بر روی دیواره تانک، منجر به کاهش حدود ۲۳ الی ۳۶ درصدی نوترون و ۴۰ تا حدود ۹۰ درصدی گاما خواهد شد

بحث و نتیجه گیری

کاهش نرخ دز گامای آنی فعالسازی در نتیجه افزایش میزان اسید بوریک در آب داخل تانک، به خاطر جایگزینی گیراندازی نوترون های حرارتی در ^{10}B به جای 1H می باشد، چرا که متوسط سطح مقطع جذب نوترون حرارتی ^{10}B بسیار بالاتر از 1H است. روند تغییرات طیف گاما ثبت شده به خوبی گویای این موضوع می باشد. کاهش اولیه نرخ دز و شار حرارتی نوترون نیز به دلیل افزایش احتمال گیراندازی نوترون حرارتی با افزایش اسید بوریک در آب با وجود ثابت ماندن تقریبی هیدروژن در آن می باشد.

نتایج شبیه سازی نرخ دز گاما و نوترون با نتایج دزیمتری محیطی حدود $\pm 20\%$ اختلاف دارد، این مقدار خطا برای دزیمتری قابل قبول است. محاسبات نشان داد که با افزودن 14 kg اسید بوریک خالص، گامای فعالسازی 71% کاهش خواهد یافت. نتایج طیف نگاری گاما نیز نشان داد که سطح زیر پیک مربوط به گامای با انرژی 2.224 MeV (گامای آنی ناشی از گیراندازی نوترون در 1H) به میزان 63% کاهش دارد که با توجه به اینکه خلوص اسید بوریک مورد استفاده حدود 87% است، به خوبی با میزان کاهش دز در محاسبات مطابقت دارد. تغییرات ناحیه انرژی 0.483 MeV (گامای ناشی از گیراندازی نوترون در ^{10}B) به دلیل تداخل با گامای 0.511 MeV چندان قابل استفاده نیست چرا که از سویی با افزایش بور حالت صعودی داشته و از سویی دیگر با کاهش گامای پر انرژی هیدروژن کم می شود به هر حال این ناحیه 33% کاهش یافته است که می توان گفت گامای حاصل از بور به علت انرژی کم، بر خلاف گامای هیدروژن، به شدت در درون تانک آب تضعیف می شود. در مجموع، با افزودن 14 kg اسید بوریک میزان نرخ دز گاما و نوترون به ترتیب حدود 50% و 20% کاهش پیدا کرد.

طبق نتایج شبیه سازی با ایجاد دیواره ای به ضخامت 15 cm مرکب از بتن و سرب در بیرون تانک، دز نوترون و گاما، تا حد قابل قبولی کاهش یافته و باریکه نوترون نسبتاً خوبی فراهم می شود.

مراجع

- 1- M. IGASHIRA, H. KITAZAWA and N. YAMAMURO , "A Heavy Shield For The Gamma-Ray Detector Used in Fast Neutron Experiments", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A245* (1986) 432-437
- 2- E. WitkowskaK, Szczepaniak, M. Biziuk, "Some applications of neutron activation analysis: A review", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 265, No. 1 (2005) 141.150 (2004)
- 3- K. G.Veinot and N.E.Hertel, "Effective Qualative Factors For Neutron Based on the Revised ICRP/ICRU Recomendations", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 115, No. 1-4, pp. 536-541(2005).
- 4- Briesmeister, J.F., editor, "MCNP-4C A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System", Los Alamos National lab. , LA-13709-M (2000).
- 5- ICRP Publication 74; "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation" Pergamon(1995)
- 6- IAEA Safety Reports Series No.16; "Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments", IAEA(2000).