

۲ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹ منطقه هسته ای اصفهان



شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران ( فاتسا )

17<sub>th</sub>Iranian Nuclear Conference

# **آمادهسازی یک باریکه نوترون از چشمه Am-Be جهت آنالیز نمونههای بیولوژیک به** روش PGNAA

### پرویز قربانی ، دا*ر*یوش سردا*ر*ی

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکيده

آنالیز مواد با استفاده از گاماهای آئی حاصل از فعالسازی نوترونی<sup>\*</sup> نیازمند آمادهسازی یک هندسه مناسب میباشد. 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 پرانرژی هیدروژن[۱] و نیز تاثیر آن بر طیف نوترون خروجی از حفاظ چشمه BFA مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق علاوه بر دزیمترهای نوترون و گاما از آشکارسازهای BF3 و BF3 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 آزمایشها نشان داد.

#### مقدمه

طیفنگاری گاماهای آنی حاصل از فعالسازی نوترونی (PGNAA) به عنوان روشی شناخته شده برای آنالیز ایزوتوپی ماده هدف در مقادیر کم بکار میرود[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 نشتی 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 (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) می باشد، بدلیل سطح مقطع نسبتاً بالای جذب نوترون حرارتی مربوط به  $^{10}$  امری متداول است. همچنین پایین

<sup>\*</sup> Prompt Gamma Neutron Activation Analysis



بودن انرژی فوتون آنی گسیلی از جذب نوترون حرارتی در B<sup>00</sup> باعث می شود با ضخامت کمتری از حفاظهایی مثل بتون یا سرب بتوان گاماهای مزاحم بیرون حفاظ هیدروژنه را حذف نمود [۱].

مواد و روشها

هندسه اولیه که به عنوان طرح پایه در اینجا مورد استفاده قرار گرفت، تانکی استوانهای شکل به شعاع 57cm و ارتفاع 102cm می باشد (شکل۱). حفرههای قائم و افقی درون تانک به ترتیب برای قرار دادن چشمه و گرفتن باریکه نوترون جهت پرتودهی نمونه میباشد. حجم تقریبی تانک حدود ۱۰۲۴ لیتر است. چشمه <sup>241</sup>Am-Be با اکتیویته آلفای *Ci* و میزان شار نوترون 10<sup>7</sup>n/s × 4.4 می باشد.

محاسبات شبیه سازی نرخ دز معادل نوترون و گاما در بیرون تانک با کد MCNP4C با 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 حالاتی که در آنها مقادیر 56Kg, 42, 28, 14, 7 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



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 d منتقل می شود. 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



شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران ( فاتسا )

7th Iranian Nuclear Conference

نولید سوخت هسته ای ایران

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 دزیمتر 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 cm<sup>2</sup> × 15 به عنوان مکان باریکه خروجی) بررسی گر دید.

### نتايج شبيه سازي و اندازه گيري تجربي

ابتدا دز نوترون و گاما در فواصل 20cm و 100cm از تانک محتوی آب خالص شبیهسازی و بطور تجربی نیز با استفاده از دزیمتر اندازه گیری شد. شبیه سازی ابتدا بدون اثرات پراکندگی و نیز اثر گامای چشمه انجام گردید. جدول۱ این نتایج را نشان میدهد. 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 میباشد لیکن اختلاف بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری تجربی بعد از اعمال این اثرات در شبیهسازی حدود <u>#20%</u> شده است.

	ل تابش گامای (µSv/h)	نرخ دز معاد	نرخ دز معادل تابش نوترون (µSv/h)						
نتايج	ی با MCNP	نتايج شبيه سازې	نتايج	نتایج شبیه سازی با MCNP					
اندازه گیری	بعد از اعمال اثرات	قبل از اعمال اثرات	اندازه گیری با	بعد از اعمال اثرات	قبل از اعمال اثرات	فاصله (سم)			
با دزيمتر	پراکندگی وگامای چشمه	پراکندگی و گامای چشمه	دزيمتر	پراکندگی	پراکندگی	( <i>cm</i> )			
5.9	5.603±1.5%	2.593±1.1%	3.3	2.73±4.96%	1.750±8.6%	20			
1.4	1.77±2.2%	0.755±1.3%	1.1	1.408±7.1%	0.562±9%	100			

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

جهت تعیین میزان مناسب اسید بوریک و به منظور سادهسازی محاسبات، اثر پراکندگی نوترون و اثر گامای چشمه لحاظ نشد. شکل۲ نتایج حاصل از شبیه سازی تغییرات نرخ دز معادل نوترون و گامای فعالسازی 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 آنی فعالسازی کاهش مییابد. درصد کاهش در حالتهای "آب و ۱۴کیلوگرم 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 نمیگردد. همچنین شبیه سازی نشان میدهد 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 بوريک، طيف نوترون بدون تغيير ميماند.



۴ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹ منطقه هسته ای اصفهان

شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران ( فاتسا )

شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران



شکل۲. نتایج شبیهسازی تغییرات نرخ دز نوترون و گاما با افزایش اسید بوریک ( بدون لحاظ اثرات پراکندگی و اثر گامای چشمه)

نمودارهای شکل۳ تغییرات اندازه گیری شده نرخ دز معادل نوترون و گامای کل در بیرون از تانک در فواصل 20cm, 100cm از آن در موقعیت مشابه با شبیه سازی MCNP را نشان میدهد. ملاحظه می گردد 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 تقسیم بندی زیر است.





شکل۳. نمودار تغییر نرخ دز گامای کل و نوترون در بیرون تانک با افزایش میزان اسید بوریک در آب شکل۴ 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 H<sup>1</sup> یعنی؛ MeV 2.224 و ناحیه a مربوط به گامای آنی مربوط به فعالسازی B<sup>10</sup> یعنی؛ 0.483 MeV و نیز گامای تک فراری 0.511 MeV است. ناحیه c

بدون تغییر بوده و مربوط به گامای 4.438MeV چشمه Am-Be میباشد. نمودارهای ستونی شکل۵ نشان



میدهند که ناحیه مربوط به هیدروژن(b) در حالت ۸ نسبت به حالت ۱ حدود ۶۳٪ و ناحیه مربوط به بور (a) حدود ۳۳/۳٪ کاهش یافته است. شکل۶ نشان میدهد که نرخ شمارش نوترون کند ۶۱٪ کاهش مییابد و نوترون سریع بدون تغییر است.



## شکل(4) تغییرات طیف گامای آشکارساز BGO با افزایش میزان اسید بوریک در آب داخل تانک



a) با افزایش میزان اسید	b) و <sup>10</sup> B (ناحیه	ی $H^{I}($ ناحیه	له گامای فعالساز	تغييرات سطح زير قل	شکل(5) آهنگ

ſ	Fast Neutron Count rate(#/s)							Thermal neutron count rate (#/s)									
	6.77	6.84	6.65	6.67	6.76	6.75	6.81	6.65	11.23	8.46	6.88	5.92	5.42	4.93	4.54	4.28	

شکل(6) آهنگ تغییر شار نوترون سریع و حرارتی در بیرون تانک با افزایش میزان اسید بوریک در آن شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از 10 الی 15cm سرب یا بتون بر روی دیواره تانک، منجر به کاهش حدود ۲۳ الی۳۶ 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 <sup>10</sup><sup>10</sup> به جای H<sup>1</sup> می باشد، چرا که متوسط سطح مقطع جذب نوترون حرارتی B<sup>01</sup> بسیار بالاتر از H<sup>1</sup> 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 شبیهسازی نرخ دز گاما و نوترون با نتایج دزیمتری محیطی حدود 20% اختلاف دارد، این مقدار خطا برای دزیمتری قابل قبول است. محاسبات نشان داد که با افزودن kg 14 اسید بوریک خالص، گامای فعالسازی ۷۱٪ کاهش خواهد یافت. نتایج طیف نگاری گاما نیز نشان داد که سطح زیر پیک مربوط به گامای با انرژی MeV 2.24 ( گامای آنی ناشی از گیراندازی نوترون در H<sup>1</sup>) به میزان ۶۳٪ کاهش دارد که با توجه به اینکه خلوص اسید بوریک مورداستفاده حدود ۸۷٪ است، به خوبی با میزان کاهش دز در محاسبات مطابقت دارد. تغییرات ناحیه انرژی MeV 3.00 (گامای ناشی از گیراندازی نوترون در H<sup>1</sup>) به میزان ۶۳٪ کاهش دارد که با توجه با گامای 7.00 سید بوریک مورداستفاده حدود ۸۷٪ است، به خوبی با میزان کاهش دز در محاسبات مطابقت دارد. تغییرات ناحیه انرژی MeV 3.00 (گامای ناشی از گیراندازی نوترون در B<sup>10</sup>) به دلیل تداخل با گامای 0.511MeV چندان قابل استفاده نیست چرا که از سویی با افزایش بور حالت صعودی داشته و از می دیگر با کاهش گامای پر انرژی هیدروژن کم می شود به هر حال این ناحیه ۳۳٪ 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 اسید بوریک میزان نرخ دز گاما و نوترون به ترتیب حدود ۲۰۰٪ و ۲۰٪ کاهش پیدا کرد.

طبق نتایج شبیهسازی با ایجاد دیوارهای به ضخامت 15cm مرکب از بتن و سرب در بیرون تانک، دز نوترون و گاما، تا حد قابل قبولی کاهش یافته و باریکه نوترون نسبتاً خوبی فراهم میشود.

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 Recomindations", Radiation Protection Dosimetery, Vol. 115, No. 1–4, pp. 536–541(2005).

<sup>4-</sup> Briesmeister, J.F., editor, "MCNP-4C A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System", Los Alamos National lab., LA-13709-M (2000).

<sup>5-</sup> ICRP Publication 74; "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation" Pergamon(1995)

<sup>6-</sup> IAEA Safety Reports Series No.16; "Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments", IAEA(2000).