

اندازه گیری بیناب نوترون های حاصل از بمباران هدف تالیوم در شتابدهنده ی سیکلوترون

فاطمه بلوری نوین^{*۱} - محمد میرزایی^۱ - محمد لامعی^۲ - غلامرضا اصلانی^۱ - ناهید حاجیلو^۱ - نامی شادانپور^۱

۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی و پزشکی و صنعتی

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

چکیده

در این طرح پژوهشی ابتدا مطالعاتی پیرامون روش های مختلف بیناب سنجی نوترون انجام گرفت و بعد از انتخاب روش مناسب، ادوات (بین های) مورد خریداری گردید. سپس چیدمان بین های خریداری شده طراحی و با چشمه ی نوترون آمرسیوم برلیوم عملکرد آنها آزمایش شد. در آخر بیناب نوترون های حاصل از بمباران هدف تالیوم اندازه گیری و با استفاده از نرم افزار $N3U$ بازیافت گردید. نرم افزار $N3U$ نرم افزار بازیافت بیناب نوترون است که پاسخ آشکارساز را بر اساس سیستم شبکه عصبی شبیه سازی و سپس بیناب نوترون را بازیافت می کند. برای اطمینان از صحت نتایج آزمایش و بازیافت آن، بیناب چشمه آمرسیوم برلیوم نیز اندازه گیری و بیناب آن بازیافت گردید و با بیناب استاندارد این چشمه مقایسه شد و برای اطمینان بیشتر چشمه آمرسیوم برلیوم را درون حفاظ ۲ سانتیمتری پلی اتیلنی قرار داده و مجدداً بیناب چشمه اندازه گیری و بازیافت گردید و نتیجه، با محاسبات حاصل از کد $MCNP$ در شرایطی که ۲ سانتیمتر پلی اتیلن مقابل چشمه قرار گرفته باشد مقایسه شد. که بر این اساس کلیه نتایج تطابق خوبی داشتند.

کلید واژه: بیناب سنجی ، نوترون ، بازیافت بیناب نوترون

مقدمه

نوترون یکی از اجزای هسته، که فاقد بار الکتریکی می باشد. بنابراین نمی توان آنرا مستقیماً (مانند اشعه آلفا و بتا و یا ذرات باردار دیگر) آشکارسازی نمود و معمولاً از اثرات ثانویه برخورد نوترون با مواد برای آشکارسازی آن استفاده می کنند. با بررسی که بر روی انواع آشکار سازها آشکارساز سوسوزن مایع برای این منظور انتخاب شد. این آشکارسازها انواع مختلف بلوری، مایع و جامد دارند و از ترکیبات مواد آلی می باشند. با برخورد نوترون به آنها یک فوتون حاصل می شود که با تبدیل فوتون به یک علامت الکتریکی و پردازش علامت الکتریکی طیف نوترون بدست می آید.

از خصوصیات این آشکارسازها می توان گفت این آشکارسازها دارای بازده بالا قدرت تفکیک انرژی خوب و حساسیت کم نسبت به گاما دارند و با افزایش اندازه آنها می توان بازده آنها را افزایش داد که با افزایش بازده قدرت تفکیک کاهش می یابد. سوسوزن های بلوری نسبت به راستای فرود نوترون پاسخ متفاوتی دارند. ولی آشکارسازهای سوسوزن مایع این چنین نمی باشند و در هر راستایی که نوترون ها به آن برخورد کنند پاسخ یکسانی می دهند. با آشکارسازهای جامد (پلاستیک) سوسوزن هم می توان طیف نوترون را بدست آورد ولی طیف گاما از آن قابل تفکیک نمی باشد. بنابراین برای بدست آوردن طیف نوترون آشکارسازهای مایع از بقیه انواع مناسب تر است.

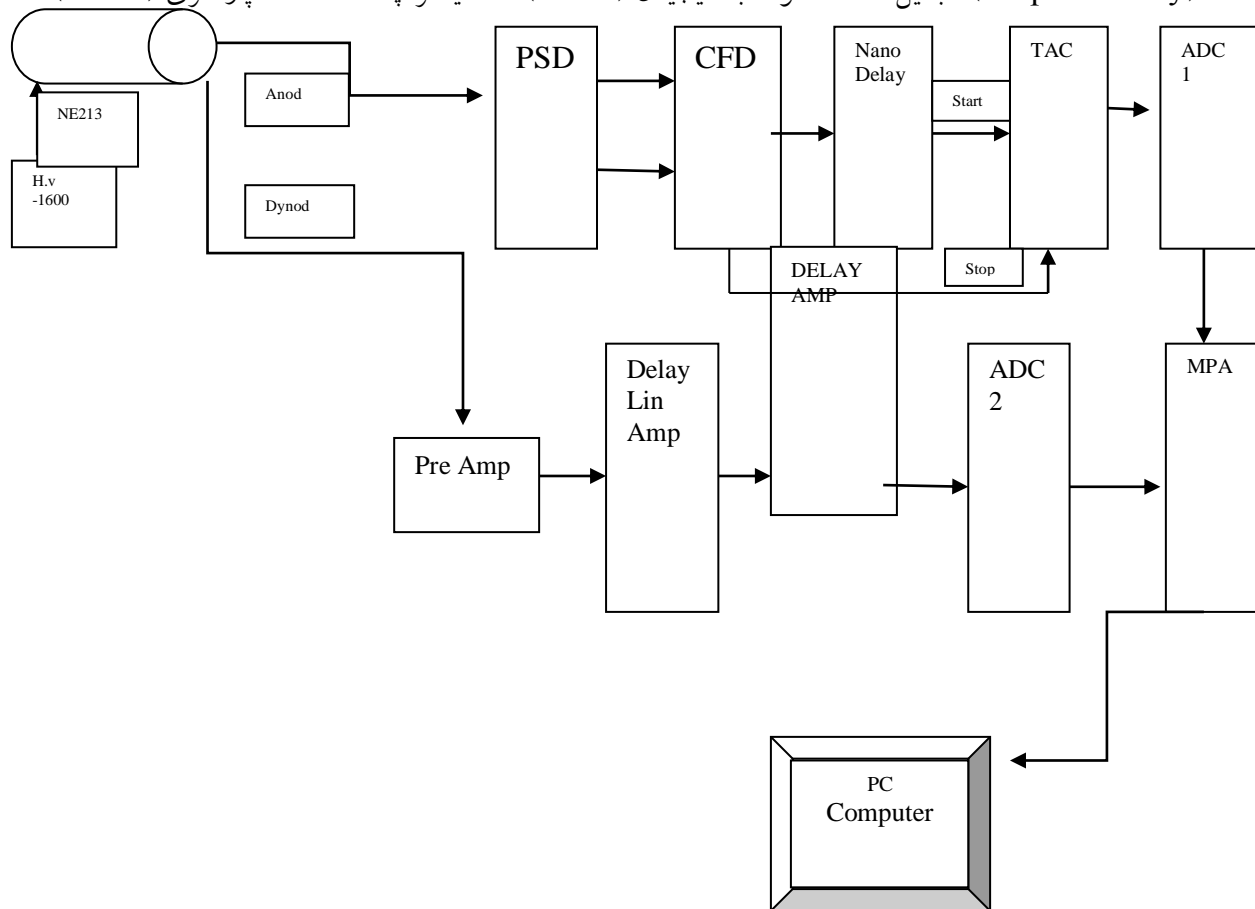
برای بدست آوردن طیف نوترون، پاسخ آشکارساز را به یک لامپ تکثیر کننده فوتونی (فتو مولتی پلایر) می دهند تا علامت نوری را به سیگنال الکتریکی تبدیل کند سپس با مدارهای دیگر طیف گاما را از نوترون حذف کرده و با کدهای کامپیوتری خاص عمل بازیافت که همانا بدست آوردن طیف نوترون می باشد را انجام می دهند. این

آشکارسازها را می توان برای نوترون های از انرژی 10KeV تا 200MeV بکار برد. البته این آشکارسازها به صورت های مختلف ساخته می شوند از فرم های مایع و جامد تا نوع فیبر نوری آن که برای مسافت های طولانی مورد استفاده قرار می گیرند.

برای جدا سازی نوترون و گاما در این تحقیق از روش گذر از صفر استفاده کرده ایم و برای بدست آوردن پاسخ آشکار ساز از سیستم شبکه عصبی که همراه کد بازیافت نوترون در یک پکیج جمع آوری شده اند استفاده کرده ایم. روش کار

با توجه به نتایج بدست آمده از محاسبات در مراجع (۳و۲) می دانستیم با میدان مخلوط گاما و نوترون مواجه هستیم و به همین دلیل باید از آشکارساز نوترون و گاما یعنی سوسوزن مایع استفاده کنیم برای این منظور از آشکارساز مایع $NE213$ استفاده کردیم و برای جداسازی نوترون و گاما از روش گذر از صفر در چیدمان ماژول ها استفاده کردیم ماژول های مورد استفاده به شرح زیر می باشد :

آشکارساز $NE213$ ، پیش تقویت کننده مدل ۳۰۰۱، جدا کننده شکل پالس PSD، CFD، تبدیل کننده زمان به دامنه TAC، تقویت کننده خطی، تاخیر دهنده زمانی (Delay Secound Nano)، تاخیر دهنده خطی (Amp lin Delay)، تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال (ADC)، تحلیلگر چند کاناله سه پارامتری (MPA)



شکل شماره ۱: چیدمان نهایی ماژول های ذکر شده

در محیط اتاقک هدف علاوه بر نوترون، پرتوهای گامای حاصل از واکنش‌های هسته‌ای مختلفی در محفظه هدف و اتاقک هدف ایجاد می‌شوند، همزمان با تولید نوترون (ویا پس از آن) وجود می‌آیند. آشکارساز سنتیلاتور مایع NE-213 علاوه بر نوترون به پرتوهای گاما نیز حساس است بنابراین همزمان، طیف انرژی گاما، هم (علاوه بر طیف انرژی نوترون) تعیین می‌شود. در این تحقیق از آشکارساز استوانه‌ای به قطر ۵ و ارتفاع ۵ سانتیمتر استفاده می‌شود که بدنه آن، آلومینیومی می‌باشد. مدار الکترونیکی هسته‌ای که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش گذر از صفر (Zero Crossing Method) می‌باشد.

نمودار بلوکی این روش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این روش بجای استفاده از لبه نزولی پالس برای زمانگیری، یک تپ دو قطبی تولید می‌کنیم و چون زمان فرو افت پالس‌های نوترون و گاما با هم متفاوت است و پالس مربوط به گاما سریعتر افت می‌کند، در نتیجه نقطه گذر از صفر آنها متفاوت است. در این روش به دلیل سریع بودن پالس‌های آنود، سیگنال زمان را از آنود می‌گیریم و بعد آن را به یک جداکننده شکل پالس (PSD) برای تقویت و شکل‌دهی مناسب می‌دهیم سپس خروجی PSD را به CFD (Constant Fraction Disc) برای اندازه‌گیری دقیق زمان می‌دهیم. خروجی CFD یک پالس منطقی منفی است به ورودی تاخیردهنده‌ی زمانی وصل می‌کنیم سپس خروجی آن را به عنوان start TAC استفاده می‌کنیم.

سیگنال انرژی را از یکی از داینودهای لامپ فتومولتی‌پلایر گرفته و آن را به یک پیش‌تقویت‌کننده برای تقویت اولیه و تطبیق امپدانس می‌دهیم. خروجی پیش‌تقویت‌کننده را برای تقویت بیشتر به یک DLA (Delay Line Amplifier) می‌دهیم. در این مدول خروجی تک قطبی تاخیر داشته، بعد از معکوس کردن با پالس اولیه جمع می‌شود و به این ترتیب یک پالس دو قطبی تولید می‌گردد و چون زمان فرو افت پالس‌های نوترون و گاما متفاوت هستند، نقطه گذر از صفر آنها متفاوت خواهد بود. از خروجی دو قطبی این مدول می‌توان به یک تقویت‌کننده و تاخیردهنده داد و سپس خروجی آن را به stop مدول TAC می‌دهیم. حال اگر خروجی TAC را به ADC1 و خروجی تک‌قطبی DLA را به ADC2 بدهیم و پارامترهای ۱ و ۲ را برحسب شمارش مشاهده کنیم یک نمودار سه بعدی خواهیم داشت که در آن دو قله نوترون و گاما از هم جدا شده‌اند. برای این منظور می‌بایست از یک تحلیل‌گر چند پارامتری (Multi channel Analyzer) استفاده نمود.

اطلاعات بدست آمده از مدار الکترونیکی فوق نمی‌تواند مستقیماً طیف انرژی نوترون را بدست دهد. لذا جهت پردازش و تعیین طیف انرژی نوترون و گاما از کدهای محاسباتی SCINFUL, FERDOR, FORIST, RESPMG, O5S استفاده می‌شود. داده‌های ورودی این کدها اطلاعات بدست آمده از مدار الکترونیکی فوق‌الذکر است. (این کدها به تنهایی در دسترس نبودند و از پکیج آماده که از همه این نرم‌افزارها استفاده کرده است استفاده شد.

در این تحقیق هدف تالیوم به ضخامت حدود ۷۰ میکرون که بر روی زیر لایه مسی به ضخامت ۱۰۰۰ میکرون نشانده شده است تحت بمباران ذرات پروتون با شدت جریان تا ۱۱۰۰ آمپر و انرژی ۲۸/۵ MeV قرار می‌گیرد.

19 th Iranian's Nuclear Conference

به منظور آزمون مدار الکترونیکی و سیستم آشکارسازی سنتیلاتور مایع ابتدا بیناب انرژی نوترون چشمه معلوم Am-Be با قدرت ۵ میلی کوری مورد اندازه گیری قرار می گیرد. تنظیمات این ماژول ها با هم با توجه به طول سیم های رابط و شرایط و فاصله آشکارساز متفاوت است و ولتاژ ثابت کار آشکارساز ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ ولت در بایاس منفی می باشد. برای اطمینان از صحت کار ماژول ها بعد از اضافه کردن هر ماژول خروجی را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کرده ایم/ بعد از اینکه همزمانی ورودی ADC ۱ و ۲ بر روی اسیلوسکوپ مشاهده شد. مدار برای کار آماده می باشد.

۲- پیدا کردن کانال مربوط به انرژی MeV ۱ با استفاده از چشمه استاندارد کبالت ۶۰ در حالی که چیدمان مدار کامل است چشمه کبالت ۶۰ را نزدیک آشکارساز قرار می دهیم و اجازه می دهیم مدتی شمارش و داده توسط MPA جمع آوری شود سپس تصاویر داده ها بر محور X ها را بدست آورده و محل انرژی ۱ میلیون الکترون ولت در وسط لبه کامپتون کانال مورد نظر برای کالیبره پاسخ آشکارساز می باشد. (شکل ۲)

۲- استفاده از چشمه استاندارد نوترون Am-Be

مجددا بدون اینکه به تنظیمات مدار دست بزنیم چشمه استاندارد نوترون Am-Be را در مقابل آشکارساز قرار می دهیم و برای مدتی شمارش و داده برداری می کنیم که شکل سه بعدی بدست آمده به شکل شماره ۴ می باشد

باز یافت بیناب چشمه استاندارد AM_Be نوترون

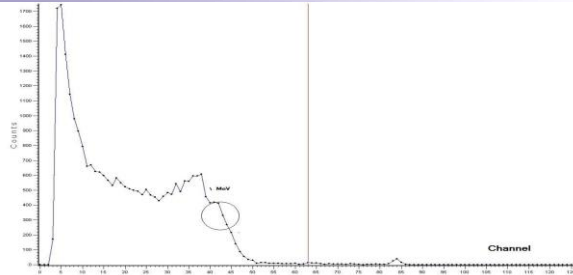
برای این منظور خروجی بدست آمده در شکل ۴ را که بر روی محور X ها تصویر شده است را به عنوان ورودی به نرم افزار می دهیم که بعد از باز یافت به شکل زیر در آمده است. محل انرژی MeV ۱ کانال ۴۵-۴۳ بوده است خروجی بدست آمده از کد در شکل ۲۳ بدست آمده است.

۲-۳- اندازه گیری بیناب هدف تالیوم در زمان بمباران

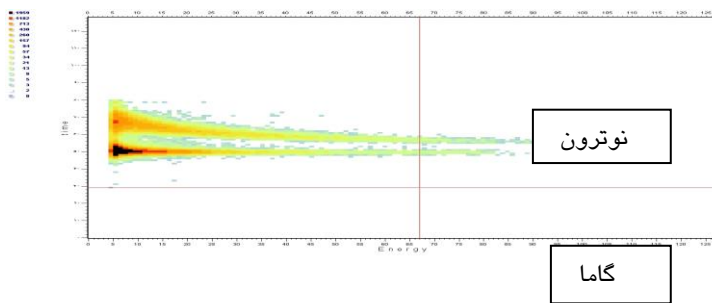
برای این منظور آشکارساز در اتاقک بمباران در محلی مناسب قرار داده شده است همزمان با بمباران هدف تالیوم توسط شتاب دهنده سیکلوترون داده های تولید شده نیز جمع آوری شده اند که شکل های زیر خروجی های بدست آمده را نشان می دهند. (شکل ۷ خروجی تالیوم با جریان ۰,۶ میکرو آمپر و شکل ۸ خروجی با جریان ۱۴۰ میکرو آمپر)

۳-۲- باز یافت بیناب چشمه تالیوم

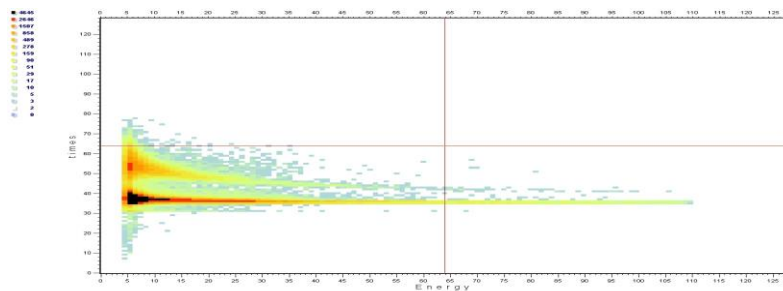
خروجی شکل ۱۱ را نیز به عنوان ورودی به نرم افزار می دهیم که بعد از اجرا به شکل ۲۴ و ۲۵ بیناب نوترون ها بدست آمده است.



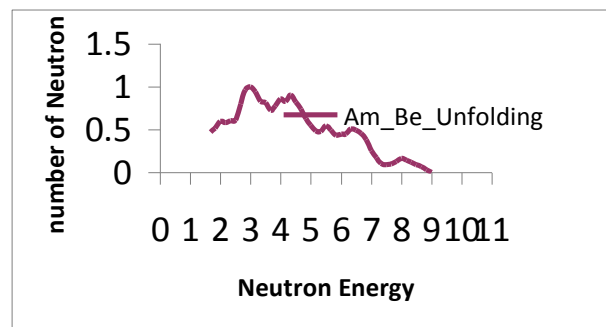
شکل ۲: تصویر یک بعدی انرژی چشمه کبالت ۶۰ (محور افقی محور کانال و انرژی و محور عمودی شمارش در هر کانال انرژی می‌باشد)



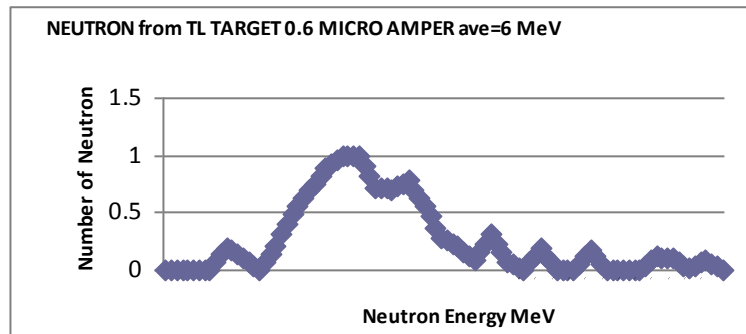
شکل ۳: خروجی چشمه آمرسیوم بریلیوم در سه بعد (محور افقی مربوط به انرژی و محور عمودی مربوط به زمان می‌باشد و رنگها بعد سوم تعداد را در آن ناحیه نشان می‌دهند)



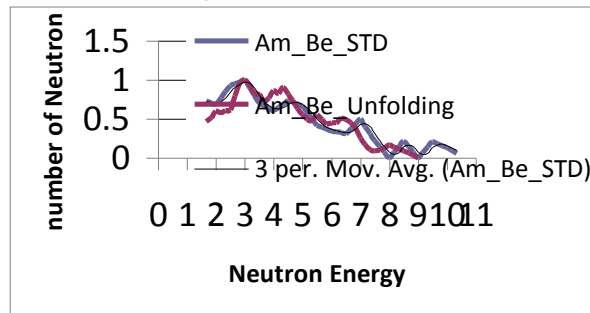
شکل شماره ۴: خروجی چشمه تالیوم با جریان ۰,۶ تالیوم (محور افقی مربوط به انرژی و محور عمودی مربوط به زمان می‌باشد و رنگها بعد سوم تعداد را در آن ناحیه نشان می‌دهند)



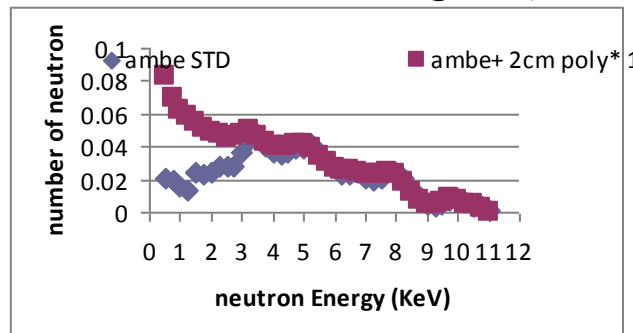
شکل ۵: بیناب بدست آمده از چشمه آمرسیوم بریلیوم بعد از باز یافت توسط نرم افزار N3U



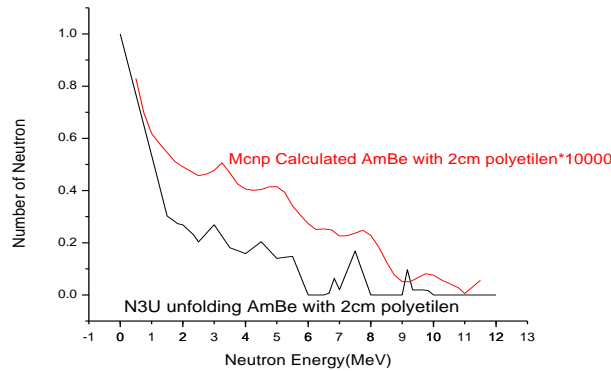
شکل ۶- بیناب بدست آمده از هدف تالیوم که با نوترن های با انرژی ۲۸،۵ میلیون الکترون ولت و جریان ۰،۶ میکروآمپر بعد از بازیافت میانگین انرژی نوترون ها حدود ۶ میلیون الکترون ولت جهت صحنه سنجی نتایج بدست آمده از کد N3U، بیناب بدست آمده از چشمه آمرسیوم بریلیوم را مورد ارزیابی مجدد قرار دادیم و نتایج آن را با نمونه بیناب های استاندارد^{۱۶} مورد مقایسه قرار دادیم که نتایج در شکل ۲۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود نتایج به خوبی تطابق دارند.



شکل ۷-مقایسه نتایج بدست آمده از چشمه آمرسیوم بریلیوم که بوسیله کد N3U بازیافت شده است با نمونه بیناب بدست آمده استاندارد آمرسیوم بریلیوم
۲- و بار دیگر بیناب چشمه را در حالتی که ۲ سانتی متر پلی اتیلن در مقابل آن قرار داده شده بود بدست آورده و با استفاده از کد N3U بازیافت آن را بدست آوردیم و نتایج آن را با شبیه سازی که کد محاسباتی MCNP مقایسه کرده ایم. برای این منظور بیناب چشمه استاندارد آمرسیوم-بریلیوم را به صورت ورودی به کد MCNP داده ایم و بیناب نوترون ها را در حالتی که ۲ سانتی متر پلی اتیلن مقابل آن قرار دارد بدست آورده ایم این نتایج در شکل ۲۶ و ۲۷ نمایش داده شده است.



شکل ۸- بیناب چشمه استاندارد آمرسیوم بریلیوم و بیناب محاسبه شده توسط کد محاسباتی MCNP از همان چشمه وقتی که ۲ سانتیمتر پلی اتیلن در مقابل آن قرار گرفته باشد.



شکل ۹- بیناب چشمه آمرسیوم بریلیوم موجود که در آزمایشگاه AMIRS اندازه‌گیری شده است (بین چشمه و آشکارساز ۲ سانتیمتر لایه پلی اتیلن قرار داده شده‌است) و توسط کد N3U بازیافت شده‌است. و مقایسه آن با بیناب محاسبه شده توسط کد محاسباتی MCNP

نتیجه‌گیری:

با توجه به بیناب بدست آمده از بمباران هدف تالیوم توسط پروتون‌های $2.8/5 \text{ MeV}$ و اندازه‌گیری میانگین انرژی که حدود 6 MeV بدست آمده است و مقایسه‌ی آن با مقادیر مورد انتظار که از کد محاسباتی آلیس بدست آمده بود (حدود $2.8/7 \text{ MeV}$) مشاهده شد مقدار بدست آمده بیشتر از مقدار مورد انتظار کد محاسباتی آلیس می‌باشد بنابراین می‌بایستی در روش‌های محاسباتی کد آلیس برای بیناب نوترون بیشتر تحقیق کرد. همچنین با توجه به نتایج می‌توان کاربرد مناسبی برای این نوترون‌ها در نظر گرفت و برای مقاصد مختلف از آنها استفاده کرد. این پژوهشکده آمادگی اندازه‌گیری بیناب نوترون برای چشمه‌های نوترونی که بوسیله سیکلوترون تولید می‌شوند را دارد و می‌تواند در این زمینه در طرح‌های دانشجویی همکاری داشته باشد

سپاسگزاری

مجری علاوه بر تشکر از گروه پژوهشی پزشکی هسته‌ای از همکاری شرکت کنترل فرایند پاسارگارد کمال تشکر را دارد.