نشریه تابش و فناوری هسته ای، سال اول، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳

محاسبه و ساخت کندکننده چند منظوره با چشمه نوترونی Am- Be

رضا پورایمانی[1*] ، سعید حمیدی[2]، خاتون عباس نژاد[3]

[1] استادیار فیزیک هسته ای، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک

[2] دانشیار فیزیک هسته ای، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک

[3] کارشناس ارشد فیزیک هسته ای، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱/۲۸ – تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۵/۱۷)

چکیده

دراین تحقیق یک کند کننده چند منظوره وهم خط ساز نوترون وحفاظ لازم برای چشمه Am-Be طراحی و ساخته شده است. بااستفاده از کد محاسباتی مونت کارلو MCNP4X بهترین شرایط برای حصول بیشترین شارنوترون حرارتی از کند کننده و هم خط ساز برای مواد مختلف تعیین گردید. از بین مواد کند کننده مختلف بررسی شده پارافین جامد با فرمول شیمیایی $C_{25}H_{52}$ با کمترین مقدار فاکتور حرارتی(TF) cm^{2} ۹/۶×۱۰^{۱۰} به عنوان ماده کند کنند انتخاب شده است. با استفاده از هم خط سازطراحی شده در این طرح ،بیشترین شار نرمالیزه نوترون حرارتی $(\frac{n}{cm^{2}.s})$ ۲/۲۹×۱۰$^{-۵}$ *با ضریب هم خط سازی موثر۴/۴ به دست آمده است.شار نوترون و فوتون برای کانال های مختلف تعبیه شده در کند کننده محاسبه گردید. دُز مجموع معادل گاما و نوترون با استفاده از حفاظ گذاری بهینه که با کد MCNP4X برای مواد مختلف محاسبه شده است به طور چشمگیری کاهش پیدا کرد .مقدار اندازه گیری شده دُز نوترون و گاما به ترتیب ۲۳٪ و ۲۵٪ بیشتر از مقدار محاسبه شده با استفاده از کد MCNP4X است که در توافق خوبی با مقدار تجربی است.*

واژه‌های کلیدی: کند کننده، هم خط ساز، MCNP4X ، پارافین جامد، شار نوترون.

* مؤلف مسؤل: دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، صندوق پستی: ۸۳۴۹-۳۸۱۵۶

پست الکترونیکی: r-pourimani@araku.ac.ir

۱. مقدمه

وجود نوترون‌های حرارتی برای انجام واکنش‌های هسته ای بسیار حائز اهمیت است. سطح مقطع جذب نوترون‌ها تابع انرژی انها بوده و با کاهش انرژی نوترون افزایش می‌یابد. چشمه‌های نوترون معمولا کسر زیادی از نوترون‌های با انرژی بالا تولید می‌کنند که برای تولید نوترون‌های حرارتی الزاما باید از کند کننده استفاده کرد. راکتورهای هسته ای منبع بزرگی برای تولید نوترون‌های حرارتی با شار بالا هستند که می‌توان برای انجام واکنش های متفاوت از آن استفاده کرد. با این وجود این کار مستلزم صرفه هزینه‌های بسیار بالاو تکنولوژی پیچیده و عدم امکان حمل و نقل آن می‌باشد. بنابراین از یک سری شتابدهنده‌ها و چشمه‌های رادیوایزوتوپی نظیر Am-Be به عنوان چشمه نوترونی می‌توان استفاده نمود. به علت استفاده‌های گوناگون از این سیستم برای واکنش های متفاوت، این سیستم باید طوری طراحی شود که کوچک، سبک، کم هزینه و قابل حمل ونقل باشد. هدف اصلی در این تحقیق تعیین پارامترهای بهینه نظیر ابعاد کند کننده،نوع ماده کند کننده، ضخامت حفاظ وفاصله چشمه تا ته کانال هم خط ساز که بیشترین شار نوترون حرارتی و کمترین مقدار دُز مجموع جذبی فوتون و نوترون را داشته باشد و درنهایت ساخت آن را در بر می‌گیرد.

محاسبات نهایی برای چشمه نوترونی Am-Be با بازده ۲/۲×۱۰^{۶}n/s در این کار انجام شده است. در این طرح به منظور شبیه سازی و محاسبات مربوطه از کد MCNP4X و کتابخانه سطح مقطع ENDF 60 استفاده گردید. MCNP[۲] یک کد محاسباتی چند منظوره برای محاسبه انتقال ذرات با انرژی پیوسته و هندسه عمومی است که ترابرد سه نوع ذره نوترون، فوتون و الکترون را دنبال می‌کند [۱].

۲. طراحی کند کننده

۲. ۱. ویژگی های عمومی کند کننده

چشمه Am-Be نوترونهایی با انرژی (۰–۱۴ MeV) گسیل می‌کند. این چشمه دارای نوترونهایی با انرژی بالا می‌باشد. نوترون‌های سریع دارای سطح مقطع جذب پایینی در انجام واکنش ها هستند بنابراین برای دستیابی به بازدهی بهتر برای انجام واکنش های هسته ای بایدانرژی آنها را توسط کند کننده تقلیل داد و به نوترون‌های حرارتی تبدیل کرد. نوترون‌های حرارتی دارای سطح مقطع جذب بالایی در انجام واکنش‌ها هستند. حرارتی کردن نوترون‌ها توسط مواد کند کننده صورت می‌گیرد. یک کند کننده خوب باید دارای میانگین کاهش لگاریتمی انرژی (ξ) بالایی باشد. که بصورت رابطه (۱) تعریف می گردد.

$$\xi = 1 - \frac{(A-1)^2}{2A} \ln\left(\frac{A+1}{A-1}\right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه A عدد جرمی ماده کند کننده است[۲] .این ماده همچنین باید دارای سطح مقطع ماکروسکوپی پراکندگی بالا (Σ_s) و سطح مقطع ماکروسکوپی جذب($\sum_a$) پایینی باشد. در غیر اینصورت اگر سطح مقطع جذب بالا باشد بیشتر نوترون‌ها جذب می‌گردند. البته همه مواد این ویژگی‌ها را ندارند. حاصل ضرب میانگین کاهش لگاریتمی انرژی در سطح مقطع پراکندگی ماکروسکوپی برای نوترون‌های حرارتی را قدرت کند کنندگی ماکروسکوپیMSDP [۳] می گویند که طبق رابطه (۲) بیان میگردد.

$$MSDP = \xi \sum s \qquad (۲)$$

که در آن $\sum_s$ سطح مقطع ماکروسکوپی پراکندگی ماده کند کننده است [۲]. با لحاظ کردن $\sum_a$ سطح مقطع ماکروسکوپی جذب نوترون توسط ماده کند کننده نسبت کند کنندگی (MR[۴])

1- Monte Carlo N- Particle transport code
2- Macroscopic Slowing Down Power
3- Moderating Ratio

به صورت رابطه (۳) تعریف می‌گردد [۲] :

$$MR = \xi \sum_s \sum_a^{-1} \quad (۳)$$

بنابراین یک کندکننده خوب باید دارای نسبت کندکنندگی زیاد و قدرت کندکنندگی ماکروسکوپی بزرگ باشد. نتایج محاسبات این پارامتر ها برای چند ماده کند کننده درجدول ۳ داده شده است[۳].

جدول۱. ویژگی برخی از مواد کند کننده[۳]

نام ماده	فرمول شیمیایی	چگالی	ξ	MSDP	MR
آب سبک	H_2O	۱/۰	۰/۹۲۰	۱/۳۵	۷۱
آب سنگین	D_2O	۱/۱	۰/۵۰۹	۰/۱۷۹	۵۶۷۰
بریلیوم	Be	۱/۸۵	۰/۲۰۹	۰/۱۵۸	۱۴۳
گرافیت	C	۱/۶۰	۰/۱۵۸	۰/۰۶۰	۱۹۲
پارافین	$C_{25}H_{52}$	۰/۸۹	۰/۹۱۷	۱/۶۹	۶۴
اکسید بریلیوم	BeO	۳/۰۲۵	۰/۱۷۳	۰/۱۳۱	۱۸۱

۲. ۲. فاکتور حرارتی

وقتی که از چشمه های رادیوایزوتوپی به عنوان چشمه نوترونی برای تولید نوترون‌ها حرارتی استفاده می‌شود الزاما باید ماده ای را به عنوان کند کننده انتخاب کرد که هنگامی چشمه نوترونی درون آن قرار می‌گیرد بیشترین بازدهی شار نوترون حرارتی خروجی از هم خط ساز را داشته باشد. بنابراین فاکتور حرارتی[۱] (TF),نقش بسیار مهمی در انتخاب ماده کند کننده دارد که طبق رابطه (۴) تعریف می گردد [۴]:

$$\mathrm{TF(cm^2)} = \frac{fast\ neutron\ yield(n/s)}{fluxt\ hermalneutron(\frac{n}{cm^2.s})} \quad (۴)$$

یک کند کننده خوب باید دارای کوچکترین مقدار(TF (cm^2) برای حرارتی کردن نوترون‌ها باشد [۵]. مقدارTF برای تعدادی از کند کننده های رایج به صورت مکعب با اضلاع ۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰ و۶۰ سانتیمتر محاسبه شده و معمولا ماده ای را که دارای کمترین مقدارTF بوده به عنوان ماده کندکننده انتخاب می‌گردد. در این تحقیق با توجه به محاسبات انجام شده برای مواد مختلف کند کننده و پارامتر های ان ها که در جدول ۱ درج شده است از پارافین جامد به عنوان کندکننده بهینه استفاده شد و بعد از محاسبات لازم با استفاده از این کد، ابعادی که دارای پیک شارنوترون حرارتی بالایی و دُز مجموع کمتری باشد به عنوان ابعاد بهینه برای کند کننده انتخاب گردید. در جدول۲ نتایج محاسبات TF ، شار نرمالیزه نوترون و دُز مجموع برای مواد مختلف کند کننده با ابعاد cm^3 ۵۰×۵۰×۵۰ درج شده است.

۲. ۳. طراحی هم خط ساز

برای استفاده‌های متفاوت از نوترون‌های حرارتی حاصل از چشمه نوترونی که درکند کننده قرار دارد باید یک کانال هم خط ساز را که دارای ماکزیمم شارنوترون حرارتی باشد درون کند کننده طراحی کرد. برای تعیین فاصله بهینه چشمه از ته کانال

1- Thermalization Factor

فاصله های متفاوتی مورد بررسی قرار گرفت و فاصله ۳ سانتیمتر که دارای شار نوترون حرارتی بالایی است به عنوان فاصله بهینه انتخاب گردید.

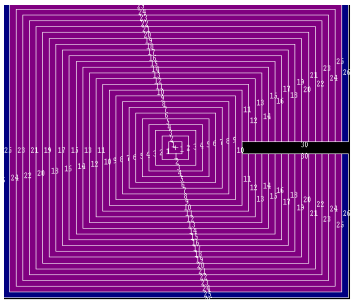
در شکل ۱ هندسه طراحی شده همخط ساز و کند کننده در کد MCNP4X نشان داده شده است. برای طراحی هم خط ساز باید طول کانال همخط ساز (L) و قطر خروجی کانال هم خط ساز(D) را طوری انتخاب کرد که بیشترین شار نوترون حرارتی در دهانه خروجی را دارا باشد. نرخ هم خط سازی در همخط ساز به صورت $\frac{L}{D}$ تعریف می‌گردد. هر چقدر مقدار ضریب هم خط سازی کمتر باشد آن پارامتر بهترین اندازه مناسب برای طراحی هم خط ساز را بدست می‌دهد [۶]. برای چندین پارامتر مختلف طول و قطر کانال هم خط ساز این محاسبات انجام شده وبعضی از نتایج مربوطه برای کند کننده پارافین جامد در جدول ۳ درج شده است. با مراجعه به این جدول مشاهده میشود که اندازه های L=۲۲cm ،D=۵cm و L/D=۴/۴ بیشترین شار نرمالیزه نوترون حرارتی را دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر چه نرخ هم خط سازی کلیماتور کمتر وقطر خروجی آن بیشتر باشد آنگاه بیشترین شار نوترون حرارتی حاصل می‌شود.

جدول ۲. محاسبات مربوط به مواد کند کننده برای مکعب به ضلع ۵۰ سانتیمتر

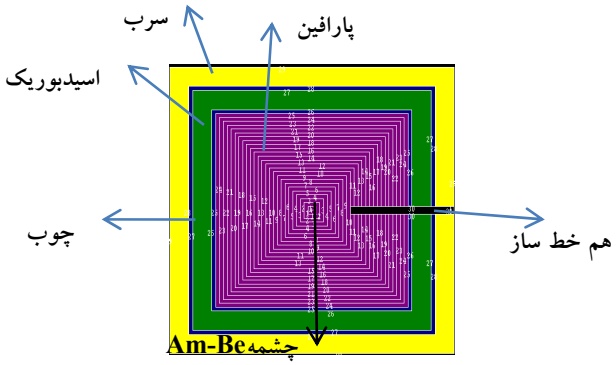
ماده کند کننده	$TF(cm2)\times10^{10}$	$\varphi th\ (\frac{n}{cm^2.s})\times10^{-6}$	دُز مجموع(μSv/h)
C	۱۲۲	۱/۸۰	۰/۱۰۶
D_2O	۱۷/۷	۱۲/۴	۰/۰۲۶
H_2o	۱۲/۳	۱۷/۸	۰/۰۱۹
$C_{25}H_{52}$	۹/۶	۲۲/۹	۰/۰۰۹
BeO	۷/۵	۲۹/۰	۰/۰۱۸
Be	۵/۶	۳۹/۰	۰/۰۱۹

جدول ۳. نتایج بعضی از محاسبات مربوط به هم خط ساز برای یک مکعب به ضلع ۵۰ سانتیمتر

L (cm)	۱۸				۲۰				۲۲			
D(cm)	۲	۳	۴	۵	۲	۳	۴	۵	۲	۳	۴	۵
$\Phi\times(10^{-6})n/cm^2.s$	۲/۸۶	۵/۱۳	۹/۴۲	۱۴/۲	۳/۱۶	۴/۳۱	۱۱/۶	۱۷/۳	۳/۱۹	۷/۵	۱۳/۹	۲۳
L/D	۹	۶	۴/۵	۳/۶	۱۰	۶/۶	۵	۴	۱۱	۷/۲	۵/۵	۴/۴



شکل ۱. شماتیکی از کند کننده و هم خط ساز شبیه سازی‌شده



شکل ۲. شماتیکی از کند کننده شبیه سازی شده با حفاظ

۲. ۴. طراحی حفاظ

از میان موادی که از بهترین کارایی برای حفاظت در مقابل نوترون وگاما برخوردار می‌باشند موادی مانند اسید بوریک، کادمیوم، استیل، سرب و مس برای شبیه سازی انتخاب گردید[۵] . این مواد برای حفاظت در برابر نوترون‌ها و گاما احتیاج به ضخامت کمی دارند و در برابر گرما دارای مقاومت بالایی هستند به این دلیل استفاده از آنها برای حفاظ مقرون به صرفه است. در شکل ۲ هندسه طراحی شده حفاظ برای این کند کننده نشان داده شده است. بعد از محاسبات انجام شده با استفاده از کدMCNP4X برای ضخامت‌های متفاوت مواد حفاظ ضخامتی که دارای مجموع دُز نوترون و گاما پایینی باشد به عنوان ضخامت بهینه انتخاب گردید. نتایج این محاسبات در جداول ۴ و ۵ درج شده شده است.

جدول ۴. محاسبات مربوط به حفاظ گاما برای کند کننده پارافین cm^3 (۵۰×۵۰×۵۰)

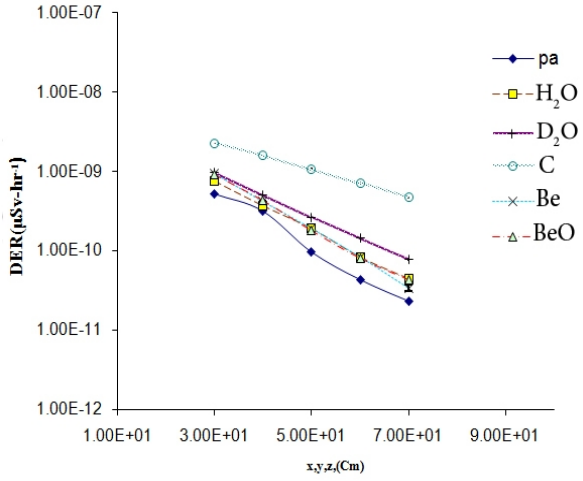
حفاظ	سرب			استیل			مس		
ضخامت(cm)	۲/۵	۵	۷/۵	۲/۵	۵	۷/۵	۲/۵	۵	۷/۵
دُز نوترون(µSv/h)	۲۴/۳۲	۲۰/۸۱	۱۹/۲۴	۲۲/۳۲	۲۱/۲۵	۱۹/۷۱	۲۳/۱۱	۲۲/۰۵	۱۹/۲۸
دُزگاما(µSv/h)	۰/۸۳۶	۰/۶۳۵	۰/۳۳۶	۳/۶۳	۱/۸۸	۰/۹۵۲	۳/۸۷	۲/۱۸	۱/۲۳
دُزمجموع(µSv/h)	۲۵/۱۵	۲۱/۴۴	۱۹/۵۷	۲۵/۹۵	۲۳/۱۳	۲۰/۶۶	۲۶/۹۸	۲۴/۲۳	۲۰/۵۱

جدول ۵. محاسبات مربوط به حفاظ نوترون برای کند کننده پارافین cm^3 (۵۰×۵۰×۵۰)

نوع حفاظ	اسید بوریک(ضخامت برحسب cm)				کادمیوم (ضخامت برحسب mm)			
ضخامت حفاظ	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰
دُز نوترون(µSv/h)	۲۶/۸۴	۲۰/۸۱	۱۵/۲۳	۱۳/۸۶	۲۷/۲۴	۲۲/۱۱	۱۷/۲۴	۱۳/۸۶
دُز گاما(µSv/h)	۰/۹۲	۰/۷۰	۰/۵۴	۰/۳۲	۱/۰۳	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۲۱
دُز مجموع(µSv/h)	۲۷/۷۶	۲۱/۵۱	۱۵/۷۷	۹/۷۶	۲۸/۲۷	۲۲/۸۶	۱۷/۶۶	۱۴/۰۷

۳. بحث ونتایج اولیه محاسبات

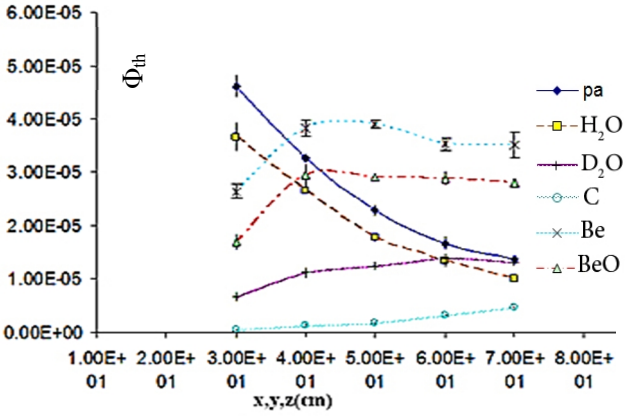
همان طورکه در شکل۳ دیده می‌شود شارنوترون حرارتی نرمالیز شده(Φ_{th}) برای پارافین درابعاد کوچک بیشتر از دیگر مواد است. هر چه ابعاد کندکننده افزایش می یابد شارنوترون حرارتی کاهش پیدا می‌کند. شار نوترون حرارتی برای Be و BeO بزرگتر ازD_2O و C است. همانطور که از شکل ۳ پیداست که شار نوترون حرارتی برای پارافین درابعاد cm^3 (۳۰×۳۰×۳۰) بیشترین مقدار را دارد ولی برای ابعاد بزرگتر شار نوترون حرارتی کمتر است. اما از طرفی با توجه به شکل ۴ برای ابعاد بزرگتر کند کننده مقدار دُز ناشی از گاما ونوترون در کند کننده بدون حفاظ کاهش میابد. بعد از پارافین بهترین ماده کند کننده بریلیوم واکسید بریلیوم است. همانطور یکه در شکل های۳ و ۴ مشاهده می‌شود. در این دو کند کننده برای ابعاد کوچکتر شار نوترون حرارتی کاهش یافته وبرای ابعاد بزرگتر شار افزایش می‌یابد. اما از طرفی در ابعاد بزرگتر مقدار دُز جذبی ناشی از



شکل۳. نمودار شار نوترون حرارتی برای ابعاد مختلف در کند کننده های متفاوت

این دو کند کننده افزایش یافته وبیشتر از مقدار مجاز تعیین شده توسط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP[1]) است. بنابراین کاهش این دُز مستلزم حفاظ گذاری با مقدار ضخامت بیشتری می‌باشد.

برای مواد کند کننده دیگر به استثناء پارافین نیزعملکرد کند کننده ها به همین صورت است. با عنایت به محاسبات انجام شده برای کند کننده های مختلف با ابعاد cm^3 (۵۰×۵۰×۵۰) (جدول۲) پیداست که بلوک پارافین بعد از بریلیوم و اکسید بریلیوم دارای بیشترین شار نوترون حرارتی وکمترین مقدار دُز جذبی می‌باشد. نوع ماده حفاظ و ضخامت آن باید طوری انتخاب شود که مقدار دُز جذبی ناشی از کند کننده در سطح مجاز استانداردهای بین المللی تعیین شده توسط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر اشعه(ICRP) باشد. نتیجه محاسبات نرخ دُز معادل (DER[2]) برای مقادیر متفاوت ضخامت حفاظ و نوع ماده آن در جداول ۴ و ۵ درج شده است.



شکل ۴. نمودار دُز مجموع برای ابعاد مختلف کند کنندهای متفاوت

1- International Committee Radiation Protection
2- Dose Equivalent Rate

لازم به ذکر است که میزان دُز جذبی مجازبرای پرتوکاران در حال حاضر ۲۵ μSv/h تعیین گردیده است[۷]. با توجه به محاسبات انجام شده پارافین جامد به عنوان کندکننده انتخاب گردید. و برای محاسبه حفاظ نوترون از اسیدبوریک با فرمول شمیایی H_3BO_3 به عنوان جذب کننده نوترون در ضخامت های مختلف استفاده شده است. مواد سنگین از جمله آهن، سرب، استیل، مس باعث تضعیف پرتوهای گاما می‌گردند. میزان کاهش دُز نوترون برای این مواد در ضخامت های مختلف محاسبه گردید که بعضی از نتایج آن در جداول ۴ و ۵ درج شده است. از جداول مذکور میتوان دریافت که کمترین دُز نوترون وگاما برای سرب–اسیدبوریک وبیشترین دُز برای مس– کادمیوم می-باشد. بنابراین از مواد سرب–اسیدبوریک با کمترین ضخامت برای حفاظ در این کند کننده وهم خط ساز استفاده شده است.

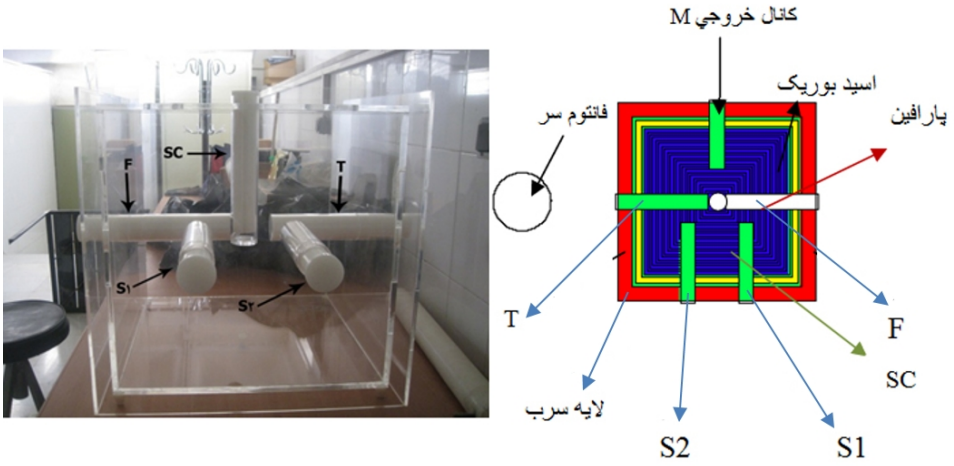
۴. ساخت کند کننده و همخط ساز

با توجه به محاسبات انجام شده و مواد قابل دسترس در کشور کند کننده و هم خط ساز برای ساخت نهایی طراحی گردید. این کند کننده وهم خط ساز به شکل یک مکعب از جنس دیواره‌های جداکننده پلگسی گلاس به ابعاد داخلی cm^3 (۵۰×۵۰×۵۰)،از پارافین به عنوان ماده کند کننده، ازسرب–اسیدبوریک به عنوان ماده حفاظ به ترتیب در ضخامت های ۵cm و ۲/۵ cm، طول و قطر هم خط سازبه ترتیب ۲۲cm و ۵cm ساخته شد.در این طراحی یک کانال برای نوترون‌های سریع که با حرف F مشخص شده است تعبیه گردید، ۲ کانال مشابه و قرینه نسبت به محل چشمه نوترون بنام های کانال S_1 و S_2 برای تعیین مقدار عناصر کم مقدار با در اختیار داشتن نمونه معین و مجهول در نظر گرفته شده است.کانال T برای استفاده از نوترون‌های حرارتی طراحی شد و کانال M در غیر همسطح به عنوان کانال مانیتورینگ به طور هم ارز برای مدت پرتو دهی نوترون ساخته شد. در این کانال در طول آزمایش یک آشکار ساز نوترون قرار میگیرد که سیگنال‌های شمارش شده توسط سیستم آشکار سازی نوترون برای نمونه مختلف مورد مطالعه در کند کننده میتواند معادل زمان منظور گردد. کانال SC از بالا بطور عمودی تا مرکز کند کننده ادامه داشته و محل قرار گرفتن چشمه نوترون Am-Be است بطوریکه چشمه دقیقا در مرکز مکعب کند کننده قرار میگیرد.شکل و تصویر ۵ وضعیت قرار گرفتن کانال ها را نشان میدهد. در طول بهره برداری، کانال های غیر ضروری با لوله های پلی اتیلن مسدود میگردند.هسته اصلی کند کننده از پارافین ($C_{25}H_{52}$)، صفحات جداکننده از پلگسی گلاس، حفاظ نوترون از اسید بوریک (H_3BO_3) و حفاظ گاما از سرب ودر قسمت تحتانی کانکریت حاوی اسید بوریک ساخته شده است. به منظور به حد اقل رساندن پرتو گیری افراد حاضر در آزمایشگاه همخط ساز و کندکننده بر روی یک سازه ریلی قرار گرفته است که در زمان های غیر ضروری به اتاقک سیمانی با دیوار هایی به ضخامت ۴۵ cm هدایت میگردد ، کل کند کننده وحفاظ بر روی یک پایه گردان ۳۶۰ درجه نصب شده است که استفاده از هرکدام از کانال ها را به راحتی امکان پذیر میسازد. این مدراتور طوری طراحی شده است که ارتفاع ان از سطح زمین به راحتی قابل تنظیم است و بستگی به نوع نمونه و سیستم اشکارسازی میتواند در ارتفاع دلخواه باریکه نوترون را روی نمونه متمرکز کند. برای مدراتور ساخته شده شار نوترون و گاما در دهانه خروجی کانال‌های S_1، S_2، Tو F با استفاده از ابعاد واقعی و مواد بکار رفته توسط کدMCNP4X محاسبه گردید . شکل‌های۶ و ۷ به ترتیب طیف انرژی فوتون های خروجی و طیف انرژی نوترون را در دهانه خروجی کانال های T, S1, S2, F را نمایش می دهند.

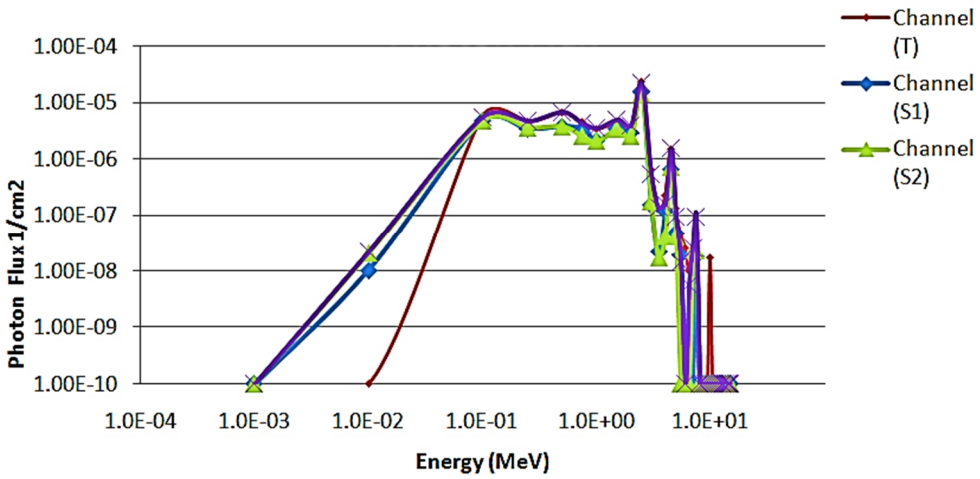
به منظور بررسی میزان دُز فوتون و نوترون برای افرادی که در مجاورت سیستم کند کننده کار میکنند محاسبات لازم در

فانتوم سر در مجاورت سیستم کند کننده در فاصله ۵۰ سانتیمتری مقابل کانال Tصورت گرفت. در شکل ۵ محل قرار گرفتن فانتوم سر در شبیه سازی مشخص شده است. در صورتیکه از چشمه نوترونAm-Be با میزان فعالیت 10 Ci که بازده ان معادل $3.7x10^{7}\ ns^{-1}$ است استفاده شود. در این صورت طبق محاسبات انجام شده دُز نوترون و فوتون در فانتوم سر به ترتیب برابر 8.32E-5 Sv/h و 2.18E-6 Sv/h بدست آمده است. به منظور تبدیل شار نوترون و فوتون به دُز از ضرایب تبدیل بر اساس مرجع ICRP-21 استفاده شده است [۸].

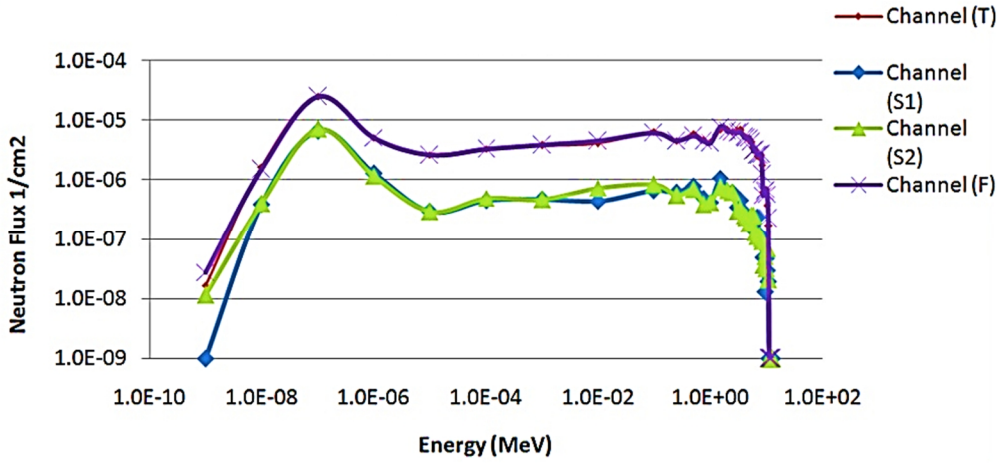
مقادیر دُز نوترون و گاما در محل فانتو با حضور چشمه Am-Be با فعالیت ۱۰Ci اندازه گردید که به ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد بیشتر از مقادیر محاسبه شده است دلیل این وجود فوتون و نوترون‌های پراکنده شده در محیط میباشد که باعث افزایش ضریب انباشت میگردد. این مدراتور میتواند برای مطالعه واکنش های هسته ای و طیف گامای حاصل از آن با استفاده از نوترون‌های سریع و حرارتی و هم برای فعال سازی نوترونی مورد استفاده قرار بگیرد.



شکل ۵. شماتیک دستگاه و عکس دستگاه ساخته شده قبل از شارژ پارافین و اسید بوریک ونصب حفاظ بر روی سیستم متحرک



شکل ۶. طیف انرژی فوتون های خروجی در کانال های مختلف



شکل ۷. طیف انرژی نوترون خروجی در کانال های مختلف

۶. تشکر و قدردانی

این طرح توسط معاونت پژوهشی دانشگاه اراک و سازمان انرژی اتمی کشور تامین مالی شده است لذا نویسندگان از بخش های مذکور کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] J. F. Briesmeister, MCNP, A General Monte Carlo N-Particle transport Code, Version 4B, Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory; LA-12625-M, 1997.

[2] A. R. Foster, R. L. Wright, Basic Nuclear Engineering, Third edition, Allyn and Bacon, 1977.

[3] J. J. Duderstadt and, L.J. Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sone, New York, 1976.

[4] A. X. de Silva, V. R. Crispim, Moderator - collimator-shielding design for neutron radiography systems using 252Cf, *Appl Radiat Iso*, 54, 217–225, 2001.

[5] J.P. Barton, Developments in use of californium-252for neutron radiography, *Nuclear Technology*, 15, 56–67, 1972.

[6] M. R. Hawkesworth, Neutron radiography equipment and methods, *At Energy Rev*, 15 (2), 169-218, 1977.

[7] K. Hattori and et al., Optimum arrangement for neutron shielding by KRAFTON series and SUS_3O_4, In: Topical Meeting on Radiation Protection & Shielding Advancements and Applications in Radiation Protection and Shielding, MA, USA, 1996.

[8] ICRP Publication 21, Data for Protection Against Ionizing from External Sources, Supplement to ICRP Publication, 15, 1974.

Journal of Radiation and Nuclear Technology

JRNT
Journal of Radiation and Nuclear Technology

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 1 / No. 1 / summer 2014

Design and construction of multipurpose moderator with Am-Be neutron source

S R. Pourimani[1*], S. Hamidi[2], K. H. Abasnejad[3]

1. Assistant professor, Department of physics, Faculty of science, Arak University, Arak
2. Associate Professor, Department of physics, Faculty of science, Arak University, Arak
3. M.Sc, Department of physics, Faculty of science, Arak University, Arak

** Corresponding author's E-mail: r-pourimani@araku.ac.ir*

(Received: 17/4/2014- Accepted: 8/8/2014)

ABSTRACT

In this paper, design and construction of multipurpose neutron moderator, collimator and shielding were studied for Am-Be neutron source. Monte Carlo Code MCNP4X was used to obtain the maximum neutron flux in the collimator outlet for various moderator materials. Between of moderator material such H_2O, D_2O, C, Be, BeO and paraffin, the solidparaffin with molecular formula $C_{25}H_{52}$ has been chosen which has optimum efficient and minimum Thermalization Factor (TF) as 9.6×10^{10} cm2. Using a collimator design assembly it was possible to obtain a normalized thermal neutron flux, equals $2.29\times10^{-5}(\frac{\mathbf{n}}{\mathbf{cm^2.s}})$ at an effective collimator ratio of 4.4. For various channel outlet of designed neutron moderator, neutron and photon flux calculated. The shielding optimization process significantly reduced total dose equivalent rates. Neutron and gamma dose measured that are in good agreement with MCNP4X code calculation.

Keywords: *moderator, collimator, MCNP4X, Paraffin Wax, neutron flux*