

کاهش وابستگی جهت‌ی دزیترهای فردی نوترون با استفاده از دزیترهای مضاعف

فلامرز ترک زاده^{۱*}، فیروزه عبدلی^۱، منصور جعفری زاده^۲، محمدرضا کاردان^۲

۱- پژوهشگاه علوم هسته‌ای، پژوهشکده علوم هسته‌ای

۲- امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده:

تأثیر توزیع جهت‌ی پرتو نوترون روی پاسخ نوترون، مورد تحقیق واقع شده است. در این کار تحقیقی، یک راه حل تئوری و عملی نیز توصیه گردیده است. تفاوت بین پاسخ دزیترهایی که روی سینه (AP) پرتوکار، قرار گرفته در مقایسه با پشت (PA) پرتوکار، برای انرژی‌های نزدیک به طیف راکتور (500KeV) تا حدود ۵ برابر می‌باشد. در این تحقیق وابستگی کمیت $H_p(10)$ به توزیع جهت‌ی پرتو نوترون برای دزیترهای غیر فعال فردی نوترن، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی به وسیله هردو روش تئوری و عملی مورد بررسی قرار گرفت. وابستگی نتایج در مورد وابستگی جهت‌ی تا حد زیادی بوسیله استفاده از تعدادی دزیتر فعال در موقعیت جلو و عقب و پهلو به وسیله شبیه سازی حذف گردید. این تعداد از دزیترهای فعال در ارتباط با یک واحد پردازش گر مرکزی می‌تواند اطلاعات لازم برای یافتن دز حقیقی نوترون برای تمام موقعیت‌های دزیتر و جهت‌های پرتو را در اختیار بگذارد. بدین وسیله پاسخ‌های اندازه‌گیری شده دزیترها می‌توانند به صورت دوره‌ای ثبت شوند و مقدار بیشینه می‌تواند به عنوان یک مقدار دز حقیقی تلقی گردد. تأثیر تغییر جهت پرتوکار در میدان پرتو نیز به عنوان یک عامل کاهش وابستگی جهت‌ی تخمین زده شد.

کلید واژه: دزیتری نوترون، وابستگی جهت‌ی، دزیترهای فعال، موقعیت پرتوکار، پرتودهی

مقدمه:

برای دزیتری نوترون، وابستگی پاسخ دزیتر روی انرژی نوترون و جهت برخورد آن از اهمیت ویژه برای اندازه‌گیری $H_p(10)$ برخوردار است. در یک محیط با حضور طیف انرژی بین ۰.۰۲۵ eV و حدود ۱ MeV (برای مثال نزدیک راکتورهای قدرت) برای دزیتری پرتوکاران، آهنگ توزیع جهت‌ی شار نوترون در میدان پرتو محل کار و در بعضی از موارد در میدانهای کالیبراسیون از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. گاهی اوقات مسئله فوق از توزیع انرژی مهم‌تر است^(۱). نسبت بین پاسخ دزیترهای قرار گرفته روی قفسه سینه (AP) و پشت (PA) بالغ بر ۵ برابر است^(۲). بنابراین برای طراحی مناسب یک دزیتر که از خطاهای وابسته به انرژی و جهت اجتناب کند، این فاکتورها باید منظور گردد. قبل از هر چیز برای طراحی یک دزیتر نوترون که یک گستره وسیع طیف استفاده گردد، باید تخمینی از میانگین توزین شده انرژی زده شود. با انتخاب یک ضریب تبدیل مناسب با میانگین انرژی، اطلاعات مربوط به قرائت دزیترها می‌تواند به دز

واقعی تبدیل گردد^(۵,۴,۳). اما برای کاهش یا حذف وابستگی جهتی، می توان از آشکارسازهای مضاعف روی پهلو و پشت پرتوکاران استفاده نمود. در ضمن مجموعه دزیترهای فردی غیرفعال اطراف پرتوکار این مشکل را نمی تواند حل کند. اگر ماکزیمم مقادیر یا مجموع قرائت ها در بین دزیترهای غیر فعال در سه موقعیت مذکور انتخاب گردد، خطا همچنان باقی خواهد ماند. مقدار حقیقی دز بین این دو مقدار قرار دارد. علت این مشکل در زمان اندازه گیری نهفته است، زمان اندازه گیری بایستی کوتاهتر از زمانی انتخاب گردد که جهت گیری پرتو کار نسبت به پرتو تغییر می کند. برای غلبه کردن بر این مشکل دزیتر های اکتیو با سه عدد آشکارساز (قسمتی از دزیتر که به پرتو حساس است) برای نصب در جهت های جانبی و پشت و جلو می تواند مورد استفاده قرار گیرد. زمان اندازه گیری باید به فاصله های زمانی کوچک تقسیم شود. برای هر فاصله زمانی (به عنوان مثال در حدود mSec) قرائت بیشینه آشکارساز می تواند به عنوان مقدار واقعی دز در نظر گرفته شود. بنابراین یک سیستم اندازه گیری مجهز به یک مجموعه از ۲ یا ۳ آشکارساز مستقل از انرژی نوترون (توسط تخمین میانگین انرژی نوترون) برای موقعیتهای جانبی و پشت می تواند این مشکل را به صورت قابل ملاحظه ای حل نماید.

مواد و روشها :

تابش دزیترها در واحد قانونی ملی حفاظت در برابر اشعه NRPD در اتاق پرتودهی با ابعاد $3 \text{ m}^3 / 3 \times 5 \times 6 \text{ m}$ انجام پذیرفت. برای پرتودهی نوترون چشمه Am-Be و ^{252}Cf مورد استفاده قرار گرفت. دزیترهای غیر فعال که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته ترکیبی از TLD (کارت ۴ تایی ۶۷۷۶) دزیتر فردی آلبدو همراه با یک قطعه از پلی کربنات SSNTD و فیلم درون یک نگهدارنده پلاستیکی می با شد. فیلتر کادمیم با ضخامت $5/0 \text{ mm}$ درون پوشش نگهدارنده، یک جفت $700/600 \text{ TLD}$ را می پوشاند. در حالیکه جفت دیگر باقیمانده فاقد پوشش است. در همه تابش ها برای دزیترهای غیر فعال، در گروههای حداکثر ۴ تایی روی یک فانتوم آب با ابعاد $15 \text{ cm}^3 \times 30 \times 30$ پرتودهی می شوند. تابش جهتی بوسیله نوترون های تک انرژی و شبیه سازی توسط کدهای مونتو کارلو (MCNP4C) صورت گرفت. برای تبدیل کردن مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده برای $H_p(10)$ ، توزیع طیف نوترون و فلونس به دز معادل، از ضرایب تبدیل از مأخذ [۶] و [۷] اخذ شدند.

نتایج :

در شکل ۱، پاسخ انرژی نوترون محاسبه شده برای دزیتر به منظور اندازه گیری $H_p(\Omega, 10)$ برای زوایای بین ۰ و ۱۸۰ درجه نشان داده شده است. شبیه سازی برای دزیترهای نوترون با فاصله 60 cm و 1 m و $1/5 \text{ m}$ از چشمه انجام شدند. این پاسخ ها با پاسخ در جهت مرکزی بهنجار شده اند (عمود بر فانتوم). در این تست پاسخ جهتی دزیترها در یک هندسه با حذف اتاق پرتودهی که فقط چشمه نوترون و فانتوم به همراه دزیترهای روی آن وجود دارند پرتودهی شده اند. از شکل های مربوط به زوایای بین ۰ تا ۶۰ درجه

واضح است که پاسخ‌ها به تدریج کاهش می‌یابد. برای فاصله ۱ متری فانتوم از چشمه از ۱ تا حدود ۰/۸ برای انرژی نوترون‌های در حدود ۱ MeV کاهش می‌یابد. برای زوایای بین ۶۰ تا ۱۸۰ درجه کاهش پاسخ‌ها به سرعت رخ می‌دهد. با چرخش فانتوم آب در میدان نوترون در حالیکه چشمه ثابت است به علت هندسه‌ی ناهمگن رفتارهای متفاوت برای فواصل ۶۰ cm و ۱/۵ m چشمه و دزیتر رخ می‌دهد ولی تأثیر هندسه فانتوم با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. جهت مقایسه با یک وضعیت واقعی، همین پرتو دهی‌ها در یک هندسه اتاق کالیبراسیون نیز انجام گردید. برای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی فاصله ۱ متر بین چشمه و فانتوم انتخاب شد. در جدول ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده دز بوسیله (MCNP4C) برای چشمه ^{252}Cf و Am-Be ارائه گردیده است. برای نوترون‌های حرارتی فقط داده‌های شبیه‌سازی موجود است. همانطور که در جدول ۱ و شکل ۱ مشاهده می‌شود جهت تابش نوترون که بستگی به انرژی نوترون دارد تأثیر زیادی روی اندازه‌گیری دز نوترون می‌گذارد. وابستگی زاویه‌ای روی پاسخ دزیتر که از وضعیت قرار گرفتن دزیتر و چشمه نوترون‌های تابشی ناشی می‌شود، به نوع دزیتر نیز بستگی دارد. با این وجود اثر وابستگی جهتی از ناهمگنی تابش به سادگی قابل حذف نیست. از آنجایی که این مشکل به انرژی وابسته است، یک مجموعه از دزیترهای مستقل از انرژی در موقعیت‌های جانبی و پشت پرتوکار با امکان طیف‌سنجی می‌تواند وابستگی جهتی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. توضیح این راه حل در پاراگرافهای بعدی ارائه می‌گردد.

کاهش وابستگی جهتی :

از آنجایی که در یک میدان واقعی پرتو ناهمگن، بدن پرتوکار را جذب می‌کند در پرتو دهی PA دز اندازه‌گیری شده به صورت قابل ملاحظه‌ای و تا حدود ۵ برابر کمتر تخمین زده می‌شود. این اثر به انرژی نوترون بستگی دارد و برای انرژی در حدود ۱ MeV کاملاً بارز است. یک راه برای کاهش این اثر استفاده از دزیترهای مضاعف در موقعیت‌های جانبی و پشت بدن پرتوکار می‌باشد، درحالیکه یک مجموعه از دزیترهای غیر فعال نمی‌توانند این کار را انجام دهند. از آنجایی که دزیترهای غیر فعال دز مجموع را اندازه‌گیری می‌گیرند، برای یک زمان طولانی اندازه‌گیری، حرکت پرتوکار (بیشتر روبه روی چشمه پرتو) در دزیترها توزیعی را موجب می‌شود که از بین آنها دزیتری که در جلو قرار دارد معمولاً مقدار بیشتری را ثبت می‌کند. مقدار واقعی دز عددی است بین مجموع قرائت‌های سه دزیتر در موقعیت‌های جانبی، جلو و پشت و ماکزیمم پاسخ دزیترها. (بهترین روش برای بدست آوردن مقدار دز واقعی). راه حل بدین صورت است که زمان اندازه‌گیری را به بازه‌های کوچک تقسیم و در هر بازه زمانی مقدار بیشینه دز اندازه‌گیری شده را انتخاب و سپس مجموع تمام این مقادیر بیشینه برای هر بازه زمانی جمع گردد. بدین منظور یک دزیتر فعال با توانایی طیف‌نگاری نوترون می‌تواند استفاده شود که مجموعه‌ای از آشکارسازهایی است که روی یک کمر بند ثابت شده و به یک پردازش‌گر مرکزی متصل و با یک باتری مشترک کار می‌

کنند. برنامه‌ی نرم افزاری و محاسبات مربوط به کمیت های قرائت شده این دزیمترها خیلی پیچیده نمی باشد. هر آشکارساز با اندازه گیری پالسی را ایجاد می کند که می تواند در واحد پردازش گر مرکزی به $H_p(10)$ تبدیل و مقدار بیشینه به عنوان دز واقعی انتخاب شود.

الگوهای حرکتی پرتوکارها :

توزیع جهتی پرتوکارها در زمینه پرتودهی جهت گیری تصادفی نیست و پرتوکار معمولاً روبروی چشمه کار می کند. در شکل ۲ مقادیر محاسبه شده دز براساس شبیه سازی نشان داده شده که در آن تغییرات جهت گیری پرتوکار در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل دیده می شود، برای هر انرژی نوترون، دزهای بهنجار شده دیگر جهت گیری ها به نسبت تغییر جهت گیری AP به درصد نشان داده شده است. برای مثال وقتی پرتوکار ۶۰٪ از زمان را در AP و ۴۰٪ باقی مانده را در دیگر موقعیت ها قرار گیرد، دز اندازه گیری شده می تواند تا مقدار ۰/۸۵ در مقایسه با جهت گیری AP کمتر تخمین زده شود. به هر حال برای یک موقعیت غیر عادی (که در شکل ۳ ارائه شده است) زمانی که پرتوکار ۷۰٪ در موقعیت AP و ۳۰٪ در موقعیت PA قرار بگیرد، این تخمین می تواند تا حدود ۲۵٪ کمتر از مقدار واقعی دز باشد.

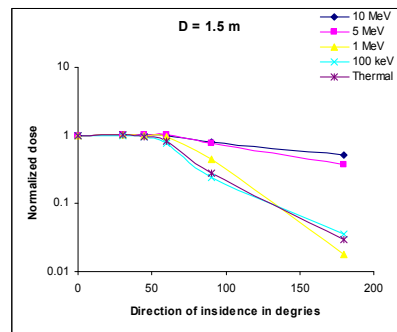
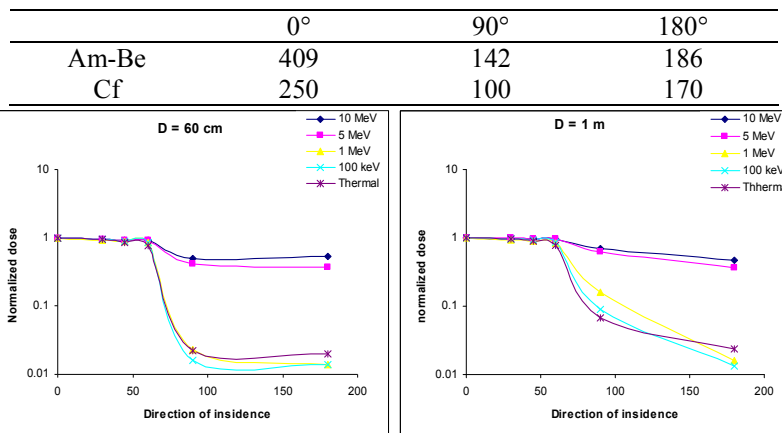
جدول ۱: مقدار دز قرائت شده با روش تجربی (M) [10^{-4} mSv] (* بوسیله دزیمترهای فردی TLD و

برای دو طیف استاندارد و دز شبیه سازی شده (S) برای زوایای برخورد متفاوت

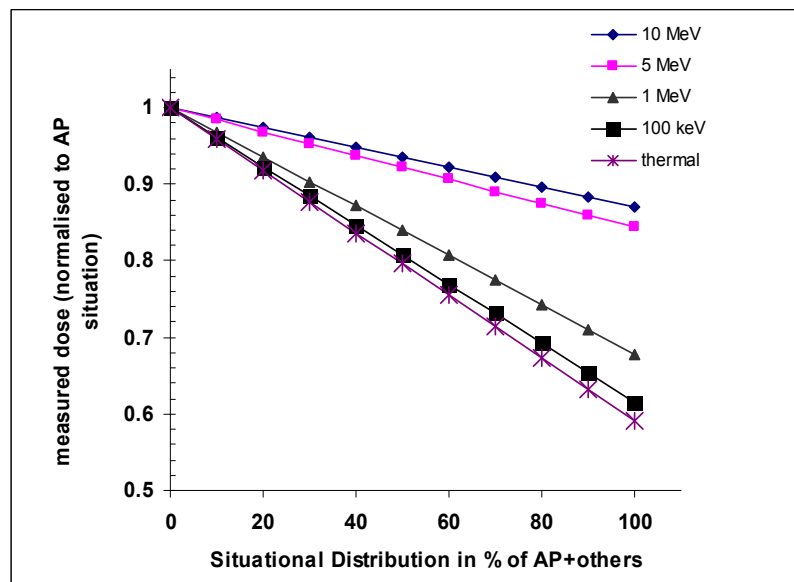
	0°		90°		180°	
	M	S	M	S	M	S
Am-Be	3	3.2	1.3	1.6	1.2	0.8
Cf	2.6	2.7	0.86	1.1	0.56	0.6
حرارتی	-	0.18	-	0.045	-	0.032

اثرات شمارش شده بر واحد سانتی متر مربع روی فیلم پلی کربنات بعد از

پرتو دهی نوترون با دز ۷ میلی سیورت بوسیله چشمه نوترون Am-Be



شکل ۱: وابستگی جهت‌ی پاسخ دزیترهای فردی برای انرژی‌های مختلف نوترون در فواصل مختلف دزیتر از چشمه



شکل ۲: مقدار دز محاسبه شده برای پرتوکار در حال چرخش که با موقعیت AP بهنجار شده است.

طیف سنجی :

ایده ی شرح داده شده در این تحقیق بر اساس استفاده از یک سری آشکارساز می باشد که دارای امکان تعیین میانگین انرژی نوترون^(۳,۴) در هر بازه زمانی (mSec) در حال حاضر چندین دزیتر فعال دارای این توانایی می باشند. برای مثال ^(3,4)saphydose-n یک آشکارساز نیمه هادی سیلیکون که در جلوی آن دو لایه پلی اتیلنی با ضخامت های متفاوت وجود دارند توانایی طیف سنجی را دارد این واقعیت که تفاوت بین پاسخ های این دو لایه اتیلنی به انرژی بستگی دارد برای تخمین انرژی نوترون استفاده می گردد. کالیبراسیون متناسب با این دزیتر می تواند بوسیله نوترون های تک انرژی انجام گردد. منحنی نتیجه شده و نتایج می تواند برای بدست آوردن ضرایب تبدیل مناسب دز استفاده گردد. این ساختار می تواند مبدل ('B) برای اندازه گیری نوترون های حرارتی تکمیل گردد. درحالیکه دو ناحیه یکی بوسیله مبدل ('B) و دیگری بدون مبدل ('B) در نظر گرفته می شود.

نتیجه گیری :

وابستگی جهتی بین قرائت دزیترهایی که روی قفسه سینه نصب شده اند در مقایسه با دزیترهایی که در پشت قرار گرفته اند می تواند به ۵ برابر اختلاف برای طیف انرژی موجود در اطراف راکتور قدرت برسد. این پدیده می تواند بوسیله آشکارسازی که در این تحقیق توصیف شده است تا حد زیادی کاهش یابد. یک دزیتر با یک تعداد از آشکارسازهای فعال با توانایی تخمین انرژی میانگین نوترون در جلو ، پهلو و در موقعیت پشت که روی کمر بند پرتوکار نصب شده اند و به یک پردازش گر مرکزی متصل اند می تواند تخمین پایین دز که به علت وابستگی جهتی است را تصحیح کند. از معایب چنین دزیتری با چند آشکارساز هزینه تولید بالای آن می باشد. در آینده با افزایش تقاضا برای ساخت راکتورهای قدرت و نیاز به دزیترهای مجهزتر قیمت دزیترهای فعال کنونی کاهش می یابد.

سپاسگذاری :

با تشکر از همکاران محترم در گروه TLD قسمت دزیتری در واحد حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران که ما را در این تحقیق یاری کرده اند.

منابع :

- [1] D. T. Bartlett, P. Drake, The importance of the direction distribution of neutron, and methods of determination, nuclear Inst. Meth. in phys. Reas. A 476 (2002), 386-394
- [2] Radiation protection 73, Technical recommendations, European commission, Report EUR 14852 EN
- [3] T. Lahaye, D. Cuturella et al, The first operational dosimeter for neutrons which complies with IEC standards 1323, Rad. Prot. Dos. Vol, 96, Nos 1-3, 241-244 (2001)
- [4] T. Lahaye, Q. Chau et al, Numerical and experimental results of the operational neutron dosimeter 'saphydose-n', Rad. Prot. Dos., Vol. 110, Nos. 1-4, pp. 201-206
- [5] T. Nakamura, M. Sasaki, et al, Characterization of a real-time personal neutron dosimeter with two silicon detectors
- [6] Technical reports series No. 403 (Supplement to technical reports series No 318), IAEA, Vienna, 2001
- [7] Safety Reports Series No. 16, Calibration of radiation protection monitoring instruments
- [8] Hankins, D.E., Response of albedo neutron dosimeters to low energy neutrons, personnel neutron dosimetry (proc. 5th ERDA Workshop), Battelle pacific Northwest Labs, Richland, WA, Rep. PNL-2449 UC-48 (1977)