

اندازه‌گیری فلوئنس نوترون حرارتی در قلب راکتور با استفاده از اکتیوسازی دزیمترهای

ترمولومینسانس

فلامرز ترک زاده^۱، فاطمه یوسفی نژاد^۲، سمانه برادران^۲

۱- پژوهشکده علوم هسته‌ای - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

۲- امور حفاظت در برابر اشعه - سازمان انرژی اتمی

چکیده:

فلوئنس نوترون‌های حرارتی در قلب راکتور تحقیقاتی تهران بین 10^{18} تا 10^{14} (با استفاده از روش اکتیوسازی دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600 و TLD-700 اندازه‌گیری شد. در این روش واکنش ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ در دزیمترها و ترمولومینسانس قرائت شده برای اندازه‌گیری فلوئنس نوترون مورد استفاده قرار گرفت. با صفر کردن دزیمتر بعد از پرتودهی و یک زمان نگهداری، با قرائت TL ثانویه ناشی از انرژی واپاشی تریتم بسیار شدید از جمله کاهش حساسیت دزیمترها، یک عملیات حرارتی و تصحیح فردی دزیمترها (ECC) ${}^3\text{H} \Rightarrow \text{He} + e + \nu$ فلوئنس نوترون حرارتی در راکتور اندازه‌گیری شد. برای حذف تغییرات ناشی از پرتودهی بسیار شدید از جمله کاهش حساسیت دزیمترها، یک عملیات حرارتی و تصحیح فردی دزیمترها (ECC) ${}^3\text{H} \Rightarrow \text{He} + e + \nu$ فلوئنس نوترون حرارتی در راکتور اندازه‌گیری شد. برای حذف تغییرات ناشی از پرتودهی بسیار شدید از جمله کاهش حساسیت دزیمترها، یک عملیات حرارتی و تصحیح فردی دزیمترها (ECC) ${}^3\text{H} \Rightarrow \text{He} + e + \nu$ فلوئنس نوترون حرارتی در راکتور اندازه‌گیری شد. هم‌آهنگی بین فلوئنس نوترون و ترمولومینسانس ناشی از خوداکتیوی دزیمتر TLD در این مقاله به عنوان روشی جدید برای اندازه‌گیری فلوئنس نوترون ارائه می‌گردد.

کلید واژه: فلوئنس نوترون حرارتی، ترمولومینسانس، واکنش ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ اکتیوسازی TLD

مقدمه:

یکی از روشهای معمول اندازه‌گیری فلوئنس نوترون، روش فعال سازی می باشد. از جمله موادی که در این روش برای نوترون بکار می رود طلا می باشد. برای استفاده از روش فعال سازی طلا برای اندازه‌گیری اکتیویته بتا باید به نیمه عمر کوتاه آن توجه نمود. در این تحقیق برای محاسبه فلوئنس از دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) استفاده شده است. مزیت استفاده از TLD نسبت به طلا این است که ${}^6\text{Li}$ در دزیمتر پس از واکنش با نوترون‌های حرارتی تولید تریتم با نیمه عمر طولانی تری می کند. به طور کلی برای اندازه‌گیری فلوئنس نوترون به وسیله TLD دو روش وجود دارد. روش اول بر مبنای پرتودهی دزیمتر با نوترون است که در این مورد اغلب گاما نیز حضور دارد و پاسخ گاما بوسیله یک دزیمتر مضاعف (غیر حساس به نوترون) از پاسخ کل کسر می شود. نقطه ضعف این روش علاوه بر لزوم اندازه‌گیری ناخواسته گاما، بروز پاسخ مافوق خطی و اشباع در نتیجه پرتودهی شدید می باشد. روش دوم مبتنی بر اکتیو سازی است که در آن به جای ذرات مثل آلفا و بتا، شدت ترمولومینسانس مورد اندازه‌گیری قرار می گیرد. در این روش برای اندازه‌گیری شدت TL مربوط به اکتیویته درونی TLD در ابتدا دزیمترها صفر می شوند (Annealing). در این مرحله TL مربوط به پرتودهی در راکتور پاک می شود. بعد از فرآیند Annealing و یک مرحله نگهداری، TL

ناشی از اکتیویته درونی که اصطلاحاً دز صفر یا TL خودزا نامیده می‌شود ایجاد می‌شود که قابل قرائت است. شدت این TL به فلوئنس نوترون و زمان نگهداری بستگی دارد. در محدوده خطی منحنی Dose-TL میزان قرائت دز صفر متناسب با تعداد واپاشی‌های اتم‌های تریتم درون TLD است، به همین دلیل این قرائت بایستی با فلوئنس جذب شده در TLD و در نهایت با فلوئنس نوترونهای حرارتی حاکم در رآکتور تناسب مستقیم داشته باشد (۳). برای استفاده از این تناسب باید به دو نکته توجه نمود. اول اینکه پاسخ و حساسیت دزیمترها پس از پرتودهی با دز بالا کاهش می‌یابد این کاهش از دزهای ۱ kGy برای گاما و فلوئنس 10^9 cm^{-2} برای نوترون‌های حرارتی شروع شده و با میزان دز افزایش می‌یابد. دوم اینکه زمان نگهداری برای شکل‌گیری TL خودزا متناسب با اکتیویته درونی TLD انتخاب گردد. زمان کوتاه منجر به قرائت کم شده و از نظر آماری چندان مطلوب نیست و زمان نگهداری بیش از حد نیز باعث پاسخ غیر خطی دزیمتر می‌شود. برای رفع مشکل اول لازم است بعد از تثبیت دزیمتر بوسیله عملیات گرمایی و اعمال ضریب تصحیح فردی، پاسخ کاهش یافته هر دزیمتر اصلاح شود. برای جلوگیری از بروز پاسخ مافوق خطی نیز کافی است زمان نگهداری را متناسب با اکتیویته درونی انتخاب نمود (۴). در این تحقیق از دزیمترهای TLD-700 برای اندازه‌گیری فلوئنس نوترون بین 10^{14} تا 10^{18} در قلب رآکتور مورد استفاده قرار گرفت. دزیمتر TLD-700 (^6LiF ، 99.997% ^7LiF) که غالباً در میدان‌های نوترون-گاما برای اندازه‌گیری مولفه گاما (۳-۵) مورد استفاده قرار می‌گیرد به خاطر مقدار ناچیز ^6Li برای اندازه‌گیری فلوئنس بالای نوترون مناسب است. در فلوئنس بالا واکنش $^3\text{H}(n,\alpha)^6\text{Li}$ با گرمایی بالا موجب تخریب دزیمتر می‌شود. TLD-600 در یک تحقیق پیش از این برای اندازه‌گیری فلوئنس پایین تر 10^{11} تا 10^{13} مورد استفاده قرار گرفته شده است (۲). کاهش پاسخ دزیمتر ناشی از پرتودهی بالا در دزگامای بالاتر از ۱ KGy و فلوئنس نوترون بالاتر از 10^9 n/cm^2 با میزان پرتودهی افزایش می‌یابد (۶). پاسخ دزیمتر با عملیات حرارتی تا حدودی قابل بازیافت است. بعد از حدود ۱۰۰۰h حرارت دهی (Annealing) در دمای 400°C می‌توان پاسخ دزیمتر را تا حدود ۰.۷ پاسخ اولیه باز یافت نمود (۶-۷). در این تحقیق یک روش جدید برای رهایی از این مشکل ارائه شده است.

بررسی ^3H در TLD - 700

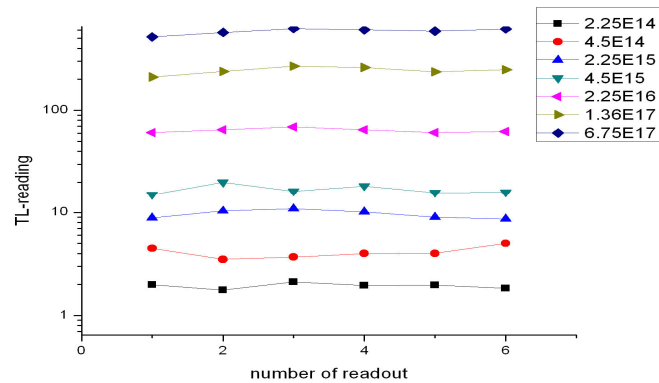
بین واکنش‌های نوترون‌های حرارتی با ^6Li (جدول ۱) واکنش $^3\text{H}(n,\alpha)^6\text{Li}$ با $\sigma_{th} = 960 \text{ b}$ مهم‌ترین واکنش می‌باشد. دیگر واکنش‌ها با سطح مقطع ناچیز و نیمه عمر کوتاه قابل چشم‌پوشی هستند. به عنوان مثال ^{20}F با $T_{1/2} = 11.03 \text{ s}$ و $\sigma = 9.6 \times 10^{-3} \text{ b}$ بعد از چند دقیقه واپاشی نموده و حذف می‌گردد.

روش ها و ابزارها:

در این تحقیق از بین دزیمترهای TLD-700 ساخت شرکت هارشا (Harshaw) به ابعاد 3.17 mm^3 یک گروه با حساسیت یکسان انتخاب شد. دزیمترها قبل از پرتودهی در یک سیکل حرارتی استاندارد یک ساعت در دمای 400°C و دو ساعت دمای 100°C قرار گرفتند. بعد از پرتودهی با نوترون، دزیمترها شش ساعت در دمای 400°C حرارت دهی و سپس با آهنگ حرارتی 20°C/h تا رسیدن به دمای آزمایشگاه سرد شدند. برای annealing یک کوره حرارتی مدل ۳۰۴۰۰ با دقت $\pm 1^\circ\text{C}$ مورد استفاده قرار گرفت. قبل از پرتودهی دزیمترها با نوترون، حساسیت دزیمترها نسبت به پرتوهای گاما Cs-۱۳۷ محاسبه شد. برای بدست آوردن میزان کاهش پاسخ، پس از پرتودهی با نوترون بار دیگر حساسیت دزیمترها مورد اندازه گیری قرار گرفت. برای این کار و برای حذف دز صفر دو بار اندازه گیری با زمان نگهداری یکسان انجام شد. قبل از اندازه گیری دوم دزیمترها با چشمه گاما پرتودهی شدند. با محاسبه اختلاف این دو اندازه گیری، میزان حساسیت دزیمترها پس از پرتودهی تعیین گردید. با تعیین نسبت ضریب تصحیح هر دزیمتر پس از پرتودهی به ضریب تصحیح آن قبل از پرتودهی، ضریب تصحیح نهایی هر دزیمتر به دست آمد که به عنوان یک فاکتور تصحیح در محاسبه فلوئنس نوترون در پرتودهی های بالا در نظر گرفته شد. دز دریافتی دزیمترها برای تعیین حساسیت و ضریب تصحیح برابر با ۵، ۵۰ و ۲۸۰ میلی سیورت با چشمه گامای Cs-۱۳۷ بود. سطح زیر منحنی درخشندگی در دمای بین ۱۰۰ تا 300°C درجه سانتی گراد و دستگاه قرائتگر مدل ۴۰۰۰ هارشا با گاز N_2 بود برای اندازه گیری، مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث:

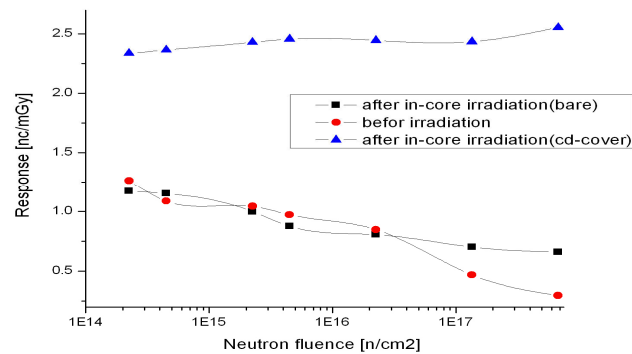
نتایج ارائه شده در این تحقیق از یک سری دزیمتر TLD-700 با ابعاد $3 \times 3 \times 0.9 \text{ mm}^3$ با پاسخ های نزدیک به هم برای نوترون های حرارتی به دست آمده است. این دزیمترها در قلب رآکتور تحقیقاتی تهران با تغییر دو عامل زمان پرتودهی و قدرت در رآکتور، تحت شارهای نوترون حرارتی بین 10^{14} تا 10^{18} n/cm^2 قرار گرفتند و به منظور کنترل پاسخ و ثبات آنها چندین بار قرائت گردیدند. شکل (۱) نمایشگر پاسخ دزیمترها در شارهای مختلف می باشد. انحراف از معیار پاسخ برای شارهای پایین در حدود ۱۲٪ می باشد. در حالی که برای شارهای بیش از 10^{14} این مقدار به مقدار کمتر ۷٪ کاهش می یابد. جدول (۲) انحراف معیار دزیمترها را برای هفت اندازه گیری با شارهای مختلف را نشان می دهد. قرائت دزیمترها برای شارهای مختلف تحت زمان نگهداری یکسان به همراه پاسخ اولیه دزیمترها شکل (۲) ارائه گردید.



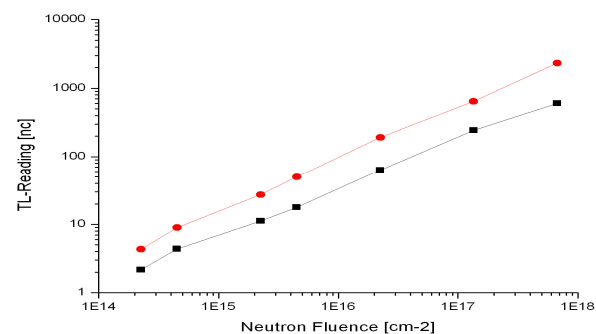
شکل (۱) پاسخ دزیمترها در شارهای مختلف بعد از شش قرائت متوالی هر یک بعد از ۳ روز زمان نگهداری

فلوئنس	2.25×10^{14}	4.5×10^{14}	2.25×10^{15}	4.5×10^{15}	2.25×10^{16}	1.35×10^{17}	6.75×10^{17}
$\sigma(\%)$	۶.۴	۱۳.۳	۹.۴	۱۱.۲	۴.۹	۸.۴	۶.۷

جدول (۲) انحراف معیار دزیمترها برای هفت اندازه گیری با شارهای مختلف



شکل ۲- مقایسه قرائت دزیمترها برای شارهای مختلف تحت زمان نگهداری یکسان و پاسخ اولیه دزیمترها



شکل ۳- روند قرائت دزیمترها با فلوئنس نوترون درون رآکتور با تصحیح پاسخ

در شکل ۲ روند قرائت دزیمترها با فلوننس نوترون درون رآکتور و در شکل ۳ کمیتهای قرائت شده بعد از اعمال ECC پاسخ دزیمترها به نمایش در آمده است. اثر پدیده تخریبی پرتودهی و بدنبال آن کاهش پاسخ هر دزیمتر در نتیجه دز بالا در رآکتور با تکنیک ECC حذف می گردد. همچنین غنای بیشتر ${}^6\text{Li}$ در دزیمتر منجر به پدیده خود مانعی Self-Shielding در لایه های رویی از دزیمتر و پاسخ مافوق خطی شود. برای TLD-700 مقدار عددی فاکتور Self-Shielding برابر واحد می باشد که علت آن مقدار ناچیز ${}^6\text{Li}$ است (۵). در جدول (۳) مقادیر عددی تشکیل شده TL دزیمترهای پوشیده با کادمیوم درج شده است.

قدرت رآکتور (MW)	فلوننس نوترون (n/cm^2)	پاسخ دزیمترهای بدون پوشش	مقادیر تصحیح شده با اعمال ضرایب تصحیح	پاسخ دزیمترهای پوشش داده شده با cd
۰.۱	2.25×10^{14}	۲.۱۶	۴.۳۶	۰.۸۳
۰.۱	4.5×10^{14}	۴.۳۶	۸.۹۶	۰.۴۴
۱	2.25×10^{15}	۱۱.۱۸	۲۷.۲۱	۲.۰۲
۱	4.5×10^{15}	۱۷.۸۴	۵۰.۰۴	۰.۶۱
۴	2.25×10^{16}	۶۳.۳۱	۱۹۲.۱۱	۱.۶۸
۴	1.35×10^{17}	۲۴۳.۶۳	۶۴۵.۵۲	۵.۷۲
۴	6.75×10^{17}	۶۰۰.۸۴	۲۳۲۷.۲۵	۱۴.۱۴

جدول (۳) مقادیر عددی تشکیل شده TL مربوط به دزیمترهای با پوشش و بدون پوشش کادمیوم

نتیجه گیری:

در این تحقیق یک روش جدید برای تعیین فلوننس نوترون های حرارتی با استفاده از اکتیواسیون TLD ارائه شده است. اکتیویته دزیمترهای TLD در نتیجه تولید تریتیوم های واکنش ${}^6\text{Li} (n,\alpha) {}^3\text{H}$ و ترمولومینسانس ناشی از آن، اندازه گیری و با استفاده از رابطه خطی آن با اکتیویته درونی دزیمتر، فلوننس نوترون حرارتی به دست آمد. اثر تخریبی دز شدید داخل قلب رآکتور بوسیله اعمال ضرایب تصحیح فردی ECC حذف گردید.. بیشترین عامل خطا در این روش بی ثباتی دزیمتر در قرائتها می باشد که میانگین آن حدود ۷٪ است.

منابع:

- [1] E. Piesch, B.Burgkhardt , D.Singh , in : Proceedings of 5th International conference on Luminescence Dosimetry , Sao Polo, 1977, P.94
[2] F.Torkzadeh ; F.Manouchehri; J.Radiol . Port. 26(2006)97.
[3] S.I.Tanaka, Y.Futura, Nucl. Instr. And Meth . 133(1976)485.
[4] F.Torkzadeh, Diplomarbeit , Atominstitu d.Osterro . Uni .,1994
[5] Y.S Horowitz, S.Freeman ,A.Dubi, Nucl .Imstr. and meth . (1979)313
[6] E.piesch, B. Burgkhardt , A.M . Sayed , Ncle. Instr. And Meth . 157(1978)179
[7] E.Piesch , B.Burgkhard, I Hofmann , Nucl Instr. And Meth 138(1979)157

Abstract:

Thermal neutron floucn measurement by TLD-activation method

F.Torkzadeh¹,F.Yoosefi nejad²,S.Baradaran²

1-Nuclear Science & Technology Research Institute (NSTRI), Nuclear Science Research School,

2-National Radiation Protection, Iranian Nuclear Regulatory Authority,

Thermal neutron floucn between 10^{14} and 10^{18} n/cm² in the Health Physics Research Reactor-Core of Tehran was measured conveniently by a TLD reader using the ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ reaction in TLD-700. The primarily induced thermoluminescence (TL) by irradiation was first cleared by annealing. The secondary TL of TLD-700 produced after a storage time by the absorbed energies of decayed tritons was used for the assessment of neutrons floucn. A thermal treatment stabilized the readings of dosimeters and reduced the radiation damage in TLD-700. The response reduction as a consequence of high-dose radiation was corrected by Elemental Correction Coefficients (ECC). The resulting correlation between neutron floucn and build-up TL of TLD-700 as a consequence of internal activity is presented.

Key words: Thermal neutron floucn, thermoluminescence, TLD-activation, ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ reaction