

کاهش خطا حاصل از تغییر دز نوترونهاي حرارتي در دزيمتری آلبدو- ترمولومينسانس با تغيير محل فیلتر و الگوریتم

امین امیدي^۱- فلامرز ترکزاده^{۲*}- سعید حمیدی^۱- مصطفی حسن زاده^۳- الهام شاه حسینی^۲

۱- دانشگاه اراک، دانشکده علوم، گروه فیزیک

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

۳- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده راکتور

چکیده

با افزایش سهم نوترونهاي حرارتي در میدان مختلط نوترون گاما، خطای قابل ملاحظه محاسبه دز با تغییر محل فیلتر کادمیوم در محاسبه دز نوترونهاي حرارتي تصحیح شد و خطای موجود در بجهای معمول تا حدود زیادی رفع گردید. به موجب آن خطای محاسبه دز نوترونهاي سریع بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافت. میزان این خطا به سهم نوترونهاي حرارتي در میدان بستگی دارد. الگوریتم محاسبه دز نیز با تغییر محل فیلتر با استفاده از فاکتور آلبدو ۰/۴۲ برای نوترونهاي حرارتي در هندسه بیج نیز در این تحقیق ارائه شد.

کلید واژه : ترمولومینسانس، نوترون آلبدو، فیلتر کادمیوم، فانتوم

مقدمه

دزیمتر ترمولومینسانس (Thermoluminescent Dosimeter) TLD یکی از ابزار جهت دزیمتری محیطی و فردی می باشد. از بین مواد ترمولومینسانس جهت دزیمتری، استفاده از لیتیوم فلوراید (LiF) به نسبت دیگر ترکیبات، بدلیل داشتن عدد اتمی موثر تقریباً معادل بافت بدن (عدد اتمی موثر لیتیوم فلوراید ۸/۲ و بافت بدن ۷/۴ است) بیشتر است [۱]. ${}^7\text{LiF}$ با نام تجاری TLD-700 فقط به گاما حساس است و ${}^6\text{LiF}$ با نام تجاری TLD-600 نسبت به تابش نوترون و گاما حساس است. با کسر دز گاما از نتیجه دز نوترون و گاما در TLD-600 می توان دز حاصل از نوترون ها را جداگانه محاسبه کرد [۲]. مشکل اصلی در دزیمتری نوترون با TLD-600 این است که این نوع دزیمترها به طور مستقیم فقط با نوترونهاي حرارتي و نیمه حرارتي واکنش می دهند، و با نوترونهاي سریع واکنش قابل ملاحظه ای ندارند. برای رفع این مشکل از روش دزیمتری نوترونهاي آلبدو استفاده می شود [۳ و ۴]. نوترونهاي سریع در اثر برخورد با اتمهای سبک مانند هیدروژن موجود در بدن کند شده و در جهات مختلف پراکنده می شوند. برخی از نوترونها در خلاف جهت نوترونهاي سریع اولیه پراکنده و از بدن خارج می شوند. با اندازه گیری این نوترونها "اصطلاحاً نوترون های

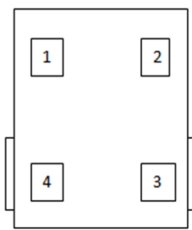
آلبدو" میتوان نوترونهاى سریع و دز آنها را بدست آورد. یکی از مشکلات دزیمتری نوترون به روش نوترونهاى آلبدو و با TLD این است که سهم دز نوترونهاى بازگشتی آلبدو نسبت به نوترونهاى فرودى در پرتو کم است. میزان این برگشت با فاکتور آلبدو سنجیده میشود و با انرژی نوترون بصورت نمایی کاهش میابد. از آنجا که اثرات بیولوژیک نوترونهاى سریع علیرغم پاسخ کم آنها زیاد میباشد، بنابراین دزیمتر باید طوری طراحی شود که اول اینکه سهم نوترونهاى آلبدو (که سریع بوده اند) را از نوترونهاىی که در پرتو فرودى، از ابتدا حرارتی بوده اند، جدا کند و دوم اینکه مانع از جذب و محاسبه دوباره نوترونهاى حرارتی فرودى بعنوان نوترونهاى سریع شود. بچ های معمول در دزیمتری نوترونهاى آلبدو معمولاً شرط اول را بر آورده میکنند ولی طوری طراحی شده اند که قسمتی از نوترونهاى حرارتی بعد از برخورد با بدن و جذب در TLD-600 دوباره در محاسبه دز وارد میشوند. این نوع بچ ها قادر نیستند بین نوترونهاى سریع و حرارتی برگشتی فرق بگذارند. خطایی که از این ناحیه در محاسبه وارد میشود به بزرگی سهم نوترونهاى حرارتی در پرتو ورودی بستگی دارد. هر چه قدر سهم نوترونهاى حرارتی بیشتر شود میزان این خطا نیز افزایش میابد. آزمایش با نوترونهاى خالص حرارتی نشان میدهد [۵] در حدود ۴۲٪ از این نوترونها میتوانند بعد از برخورد با بدن دوباره در دزیمتر پشت فیلتر کادمیوم جذب شوند. هدف از این تحقیق یافتن هندسه مناسبی برای قرار دادن فیلتر کادمیوم برای حذف این خطا و الگوریتم مناسب آن میباشد. برای جدا کردن سهم انواع نوترون (حرارتی و سریع)، از فیلترهای جاذب نوترون حرارتی استفاده می شود. فیلتر کادمیوم به دو حالت مختلف در بچ می تواند قرار گیرد که در این دو حالت، ترتیب قرارگرفتن کارت TLD و فیلتر به صورت زیر می باشد.

فیلتر عقب = فانتوم + فیلتر کادمیوم + کارت TLD + چشمه نوترون (شکل ۳).

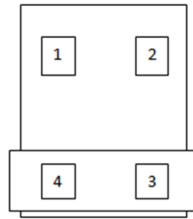
فیلتر جلو = فانتوم + کارت TLD + فیلتر کادمیوم + چشمه نوترون (شکل ۲).

چیپ ۱ از نوع TLD-600 و حساس به نوترون های حرارتی و گاما است. و به این صورت عمل می کند که نوترون های حرارتی ای که در جهت راستای انتشار طیف نوترون به سمت فانتوم هستند و نوترون های حرارتی شده (نوترون آلبدو سریع) توسط برخورد با فانتوم و برگشت یافته و هم نوترونهاى آلبدو حرارتی را اندازه گیری می کند. چیپ ۲ از نوع TLD-700 است و گاما را اندازه گیری می کند. چیپ ۳ مانند چیپ ۲ از نوع TLD-700 است، و تفاوت آن با چیپ ۲ این است که علاوه بر گامای موجود در طیف، گاماهاى حاصل از برهمکنش نوترونهاى حرارتی با کادمیوم را نیز اندازه گیری میکند. چیپ ۴ هم مانند چیپ ۱ از نوع TLD-600 است، اما با فیلتر کادمیوم پوشیده شده است. در حالت فیلتر جلو (شکل ۲) چیپ شماره ۴ نوترونهاى فرودى حرارتی را دریافت نمیکند و نوترونهاى آلبدو سریع و آلبدو حرارتی را اندازه گیری می کند. نوترونهاى آلبدو حرارتی موجب میشوند دز نوترونهاى سریع بیشتر از واقع اندازه گرفته شوند. در حالت

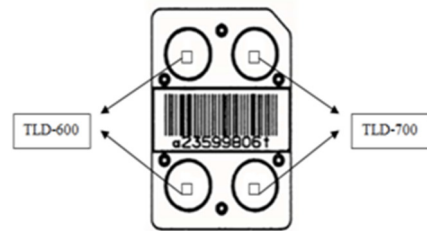
فیلتر عقب (شکل ۳) بین چیپ شماره ۴ و بدن، فیلتر کادمیوم قرار میگیرد و گاما و نوترونهای فرودی در این چیپ جذب میشوند، همه نوترونهای برگشتی از طرف بدن بعلت وجود فیلتر کادمیوم حذف میشوند و اندازه واقعی نوترونهای حرارتی فرودی اندازه گرفته میشود. در این حالت نیز نوترونهای حرارتی برگشتی در چیپ ۱ جذب میشوند ولی با اندازه گیری نوترونهای حرارتی فرودی و ضریب آلبدو میتوان سهم نوترونهای حرارتی را از مقدار اندازه گیری شده چیپ ۱ مطابق رابطه ۲ کسر نمود.



شکل ۳: حالت فیلتر عقب



شکل ۲: حالت فیلتر جلو



شکل ۱: کارت TLD ۶۷۷۶

الگوریتمهای پیشنهادی محاسبه دز در هر دو حالت فیلتر جلو و فیلتر عقب به صورت زیر می باشند.

$$H_f(10) = [(TL_{c4n} - 0.42(TI_{c1} - TI_{c4}))] \times K_f \quad (1) \quad \text{دز نوترون های سریع در حالت فیلتر جلو}$$

$$H_f(10) = [(TL_{c1n} - TL_{c4n}) - 0.42TL_{c4n}] \times K_f \quad (2) \quad \text{دز نوترون های سریع در حالت فیلتر عقب}$$

TL_{cin} قرائت چیپهای شماره ۱, ۴ بعد از کسر مقدار نظیر چیپهای ۳ و ۲ مربوط به گاما میباشند:

$$TL_{cin(1,4)} = TL_{ci(1,4)} - TL_{cig(1,4)} \quad (3)$$

K_f و $A_f = 0.32$ بترتیب ضریب کالیبراسیون نوترونهای سریع و فاکتور آلبدو نوترونهای حرارتی در این آزمایش میباشد. در محاسبات دزیمتری، کمیت Fading (محوشدگی) نیز در محاسبات وارد میشود که در اینجا بعلت زمانهای کوتاه بکار گرفته شده قابل صرف نظر است.

ابزارها و روش

بعد از صفر کردن دزیمرها (آنیل کردن) در قرائتگر، کارتها در داخل بچ مطابق شکل ۴ بر روی فانتوم آب با ابعاد $15 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ نصب و در میدان نوترون حاصل از چشمه Am-Be، در دو حالت فیلتر جلو و فیلتر عقب، با دزهای مختلف پرتودهی شدند.

برای قرائت دزیمرها از TLD Reader 4500 ساخت شرکت هارشاو استفاده شد. در هر قرائت، چهار عدد حساسیت نوری یعنی RL_1 و RL_2 توسط PMT شماره ۱ و RL_3 و RL_4 با PMT شماره ۲ اندازه گیری می شوند. بر روی مقادیر اندازه گیری شده TL_i ، ۳ تصحیح BG, ECC, RL بترتیب حساسیت نوری، حساسیت فردی دزیمر و قرائت زمینه طبق رابطه (۴) انجام گرفت.

$$TL_{ci} = [TL_i \times \frac{RL_0}{RL_i} \times ECC_i - TL_{iBG} \times \frac{RL_0}{RL_i} \times ECC_{iBG}] \quad (4)$$

RL_0 مقدار میانگین RL_i ها در زمان محاسبه ضرایب ECC می باشد. BG میزان شمارش کارت زمینه میباشد.

نتایج قرائت هر چیپ از کارتهای TLD را با TL_i نمایش می دهیم، و واحد آنها نانو کولن می باشد. تفاوت های ذاتی و جرمی ای که در چیپ ها وجود دارد باعث می شوند که تفاوت هایی تا حدود ۳۰٪ در پاسخ چیپ های هم نوع وجود داشته باشد. برای آنکه مطمئن شویم که چیپ ها به پرتوهای تابش شده یکسان، پاسخ یکسانی می دهند ضریب تصحیح فردی (ECC) را برای هر چیپ محاسبه می نماییم [۶].

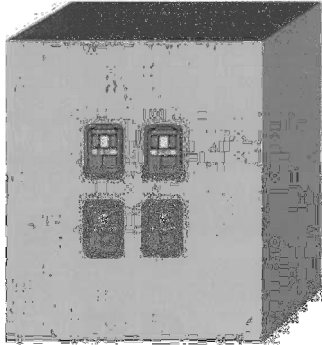
در هر مرحله قرائت، پاسخ TL در بازه دمایی ۵۰ تا ۳۰۰°C و با آهنگ دمایی ۲۵°C/s قرائت شد [۷].

نتایج

بعد از پایان پرتودهی ها، قرائت کارتها و تصحیح نتایج قرائت شده، میزان قرائت مربوط به نوترون های سریع را برای هر دو حالت فیلتر جلو و فیلتر عقب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه نمودیم، و سپس برای هر یک از حالات منحنی کالیبراسیون را رسم و فاکتور کالیبراسیون را محاسبه نمودیم.

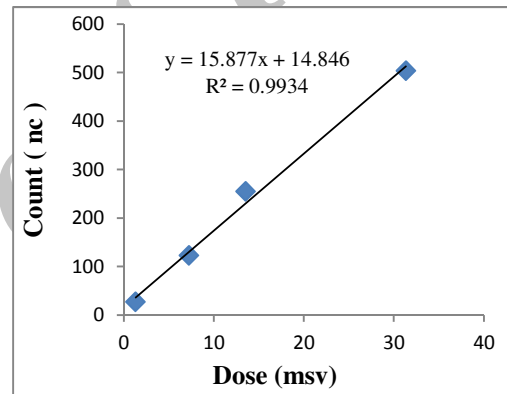
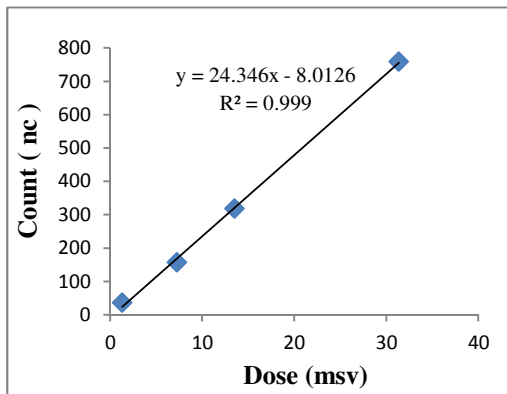
نتایج حاصل از قرائت کارتها در دو حالت فیلتر جلو و فیلتر عقب، بعد از تصحیح و میانگین گیری از ۴ کارت پرتودهی شده برای هر حالت و دز، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج پرتودهی ها، بعد از تصحیح (BG,ECC,RL)



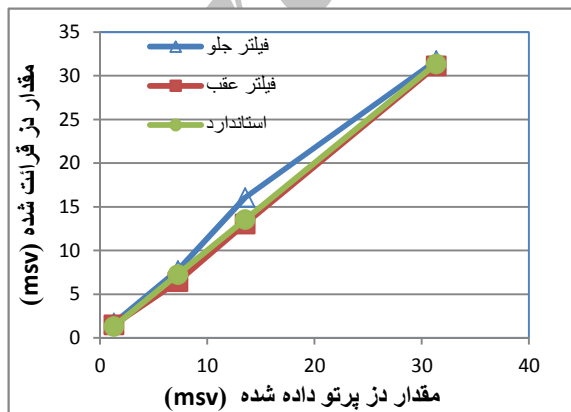
میزان پرتو دهی (msv)	حالت فیلتر	TL ₁ (nq)	TL ₂ (nq)	TL ₃ (nq)	TL ₄ (nq)
1.32	جلو	73.59	6.73	5.68	44.70
	عقب	71.42	7.17	8.83	28.75
7.26	جلو	330.04	28.08	22.27	199.63
	عقب	335.49	28.38	35.99	141.94
13.53	جلو	668.51	56.09	40.59	405.81
	عقب	688.72	56.10	67.28	288.94
31.35	جلو	1443.54	120.38	86.24	842.50
	عقب	1471.52	119.64	145.70	563.16

شکل ۴: ترتیب نصب دزیمترها بر روی فانتوم



شکل ۵: منحنی کالیبراسیون با نوترون سریع، حالت فیلتر جلو. شکل ۶: منحنی کالیبراسیون با نوترون سریع، حالت فیلتر عقب

جدول ۲: نتایج الگوریتمها پیشنهادی در دزهای مختلف



میزان دز پرتودهی شده (msv)	فیلتر جلو		فیلتر عقب	
	میزان دز قرائت شده (nc)	میزان دز قرائت شده (msv)	میزان دز قرائت شده (nc)	میزان دز قرائت شده (msv)
1.32	26.88	1.69	35.96	1.47
7.26	122.58	7.72	156.60	6.42
13.53	254.88	16.06	317.86	13.03
31.35	503.82	31.74	759.08	31.12

شکل ۷: مقایسه دز قرائت شده در دو حالت فیلتر جلو و عقب.

بعد از کالیبراسیون و محاسبه فاکتور کالیبراسیون، مقادیر محاسبه شده به ازای هر یک از دزهای پرتو دهی شده، در دو حالت فیلتر جلو و فیلتر عقب به صورت جدول ۲ بدست آمد. از مقایسه نتایج محاسبه دزهای بدست آمده در هر یک از دو حالت، همان طور که در شکل ۷ ملاحظه می شود، خطی بودن نتایج حاصل از فیلتر عقب به نسبت فیلتر جلو کاملاً مشهود است.

نتیجه گیری

الگوریتمهای تعریف شده برای هر دو حالت فیلتر جلو و عقب در حالتی که با چشمه Am-Be پرتو دهی و کالیبره میشوند مناسب می باشند، ولی با تغییر طیف و افزایش نوترونهای حرارتی در طیف، حالت فیلتر عقب به حالت فیلتر جلو ترجیح دارد، و به موجب آن خطای محاسبه دز نوترونهای سریع بطور قابل ملاحظه ای (حدود ۳۰٪) کاهش یافت. این کار با قرار دادن چشمه در یک محیط کند کننده مانند آب انجام می شود.

مراجع

- [۱] S. W. S. Mckeever, M. Moscovitch, P. D. Townsend, "Thermoluminescenc Dosimetry Materials Properties and use", Nuclear Technology Publishing, 1995.
- [۲] M. Luszik-Bhadra, W. G. Alberts, E. Dietz and S. Guldbakkr "Aspect of combing Albedo Etched Track Techniques for use in Individual neutron Monitoring". Radiation Protection Dosimetry, Vol.46, No.1, PP.31-36, 1993.
- [۳] E. Pissch, "Albedo Neutron Dosimetry". Int. J. App. Radiat. Isoty. Vol. 33, pp. 1061 to 1076, 1982.
- [۴] E. Pissch, B. Burgkhardt; "Albedo Neutron Dosimetry "Radiation Protection Dosimetry, Vol. 10, No. 1-4, PP. 175-188, 1985.
- [۵] F. Torkzadeh, M Taheri, Improvement and calibration of a SSNT personal dosimeter and study of importance of albedo factor for dose calculation, Rad. Prot. Dos.,No 1-4, pp 224-228, 2006.
- [۶] Saint-Gobain Crystals & Detectors, Operator's Manual, Model 4500 Manual TLD Reader with WinREMS, Publication No. 4500-W-O-0602-004, 2002.
- [۷] Harshaw Standrd TTP Recommendations Technical Notice, Publication No. DOSM-0-N-1202-001, 2002.