نشریه تابش و فناوری هسته ای، دوره ٤، شماره ٢، تابستان ١٣٩٦

دزسنجی یک چشمه رادیوایزوتوپی نوترون توسط دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD-600/700)

سپیده غلامی*[1]، علیرضا صدرممتاز[2]، پیوند طاهرپرور[3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

[2] دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

[3] استادیار، ، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ١٣٩٦/٠٢/٢٨ - تاریخ پذیرش مقاله: ١٣٩٦/٠٣/٢١)

چکیده

نوترون‌ها کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف مانند صنعت و پزشکی دارند. در تاسیسات هسته ای و به ویژه در تولید برق نیز با این گونه پرتوها مواجهیم. به همین دلیل دزسنجی نوترون برای حفظ سلامتی کارکنان و بیماران در معرض این پرتو، مسئله‌ی بسیار مهم و حیاتی است. چشمه‌های رادیوایزوتوپی نوترون علاوه بر نوترون، پرتو گاما نیز تولید می‌کنند و میدان‌های نوترونی اطراف این چشمه ها، میدان‌های مختلط نوترون-گاما هستند. از روش‌های دزیمتری میدان نوترونی می‌توان به روش فعال‌سازی فویل طلا و روش استفاده از یک زوج دزیمتر ترمولومینسانس اشاره کرد. یکی از راه‌های موثر دزیمتری نوترون، استفاده از زوج دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600/700 است. TLD-600 به علت غنی بودن از ^{6}Li (که دارای سطح مقطع جذب نوترون حرارتی بالایی است) به نوترون حرارتی حساس است اما TLD-700 در شارهای پایین حساسیتی به نوترون حرارتی ندارد. در این مقاله به منظور اندازه‌گیری میزان دز نوترونی حاصل از چشمه‌ی نوترونی Ra-Be موجود در آزمایشگاه هسته‌ای دانشکده‌ی علوم‌پایه دانشگاه گیلان، از ٦ زوج دزیمتر TLD-600/700 در سه فاصله‌ی ٧، ١٤ و ٢٠ سانتی متری از چشمه استفاده شد. سرانجام با محاسبه ی دز نوترونی به کمک شار چشمه و برآورد ضریب کالیبراسیون، میزان دز اندازه گیری شده توسط TLDها تعیین و با مقدار دز محاسبه شده مقایسه شد.

واژه‌های کلیدی: چشمه نوترونی، دزیمتر ترمولومینسانس، دزیمتری نوترون، میدان آمیخته نوترون-گاما

۱ . مقدمه

تخمین دز جذبی روی بدن انسان در حفاظت تابشی، برای کارکنان در معرض تابش در مکان‌هایی مانند بیمارستان‌ها، مراکز پزشکی، تجهیزات صنعتی و تاسیسات هسته‌ای یک چالش بسیار مهم است. از این‌رو استفاده از دزیمتری که می تواند تابش گاما و پرتوی ایکس را اندازه‌گیری کند یک الزام در بسیاری از کشورهاست. اما علاوه براین، نوترون‌های فرودی، گاماها و ذرات ثانویه که از پراکندگی و برهمکنش‌های آن‌ها حاصل می‌شوند نیز دز تابشی اضافی را به جسم انسان منتقل می‌کنند. بنابراین آشکارسازی همه‌ی این نوع تابش‌ها و بدست آوردن یک تخمین خوب از دزهای ناشی از آن‌ها یک مسئله‌ی بسیار مهم است. امروزه انواع مختلفی از آشکارساز-های نوترون وجود دارند و پیدا کردن سیستم‌هایی با مزیت‌ها و اشکالات قابل توجه، بستگی به زمینه‌های کاربردی دارد. از نظر تئوری، اندازه‌گیری دز جذب شده ناشی از نوترون‌های فرودی و پراکنده شده و تاثیرشان روی جسم انسان به شدت پیچیده است. دزیمترهای نوترون می‌توانند برای اندازه‌گیری دزهای نوترون جذبی استفاده شوند. بسیاری از دزیمترهای نوترون با هدف آشکارسازی نوترون‌های حرارتی و نیمه حرارتی طراحی می‌شوند. بعلاوه، یک دزیمتر نوترون ایده‌آل باید به اندازه‌ی نوترون، به گاما نیز حساس باشد. اصول کار دزیمتری نوترون بر پایه یک فرآیند دومرحله‌ای استوار است: مرحله‌ی اول اندازه‌گیری شار نوترون و مرحله‌ی بعد تعیین ضریب تبدیل مناسب برای بدست آوردن دز معادل تخمینی است. دزیمترهای ترمولومینسانس به دلیل ویژگی‌هایی مانند وابستگی انرژی، خطی بودن، وابستگی زاویه‌ای، پاسخ دز، پایداری و در دست بودن در زمینه‌ی آشکارسازی تابشی از گذشته تاکنون مورد توجه بوده‌اند. از رایج‌ترین روش‌های دزیمتری میدان نوترونی توسط دزیمترهای ترمولومینسانس، استفاده از زوج دزیمتر TLD-600/700 است. از آنجایی که ایزوتوپ ^{6}Li سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی بسیار بالایی (۹۶۰ بارن) دارد؛ TLD-600 به دلیلی غنی بودن از ^{6}Li به نوترون‌های حرارتی و گاما حساس است در حالی‌که TLD-700 فقط حساس به گاماست (از حساسیت نوترونی TLD-700 در شارهای پایین می‌توان چشم‌پوشی کرد) [۱]. درصد-های نسبی ^{6}Li و ^{7}Li در این دو دزیمتر در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. درصدهای نسبی TLD-600 و TLD-700[۲]

نوع فسفر	^{6}Li (%)	^{7}Li (%)
TLD-100	۷/۵	۹۲/۵
TLD-600	۹۵/٦	٤/٤
TLD-700	۰/۰۱	۹۹/۹۹

برای محاسبه‌ی دز جذبی نوترون توسط زوج دزیمترهای TLD-600/700، باید اختلاف پاسخ این دزیمترها در ضریب کالیبراسیون ضرب شود، به طوری که مقدار دز می‌تواند از رابطه‌ی (۱) بدست آید [۳]:

$$D = \Delta R \times K \qquad (۱)$$

که D دز جذبی، ΔR اختلاف پاسخ زوج دزیمتر و k ضریب کالیبراسیون است. برای تعیین ضریب کالیبراسیون، باید نمودار دز داده شده به دزیمترها برحسب اختلاف پاسخ اندازه‌گیری شده از آن‌ها رسم و شیب این نمودار محاسبه شود. با توجه به شار مشخص چشمه‌ی نوترونی مورد استفاده، آهنگ دز جذبی داده شده به دزیمترها از رابطه‌ی (۲) تعیین می‌شود [٤]:

$$\dot{D} = \varphi \sum_i n_i \sum_{ij} \sigma_{ij} < \Delta E_{ij} > /M \quad (۲)$$

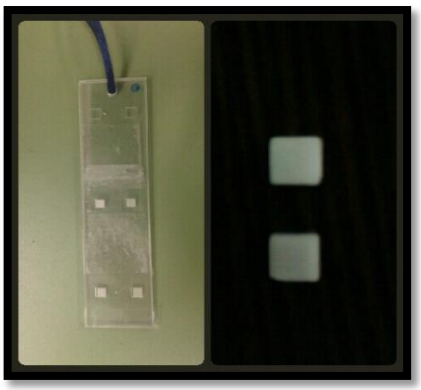
که φ شار نوترون، n تعداد هسته‌های هدف iامین جزء ماده، σ_{ij} سطح مقطع iامین هسته برای jامین فرآیند پراکندگی، ΔE_{ij} انرژی از دست رفته توسط نوترون در آن رویداد و M جرم ماده جاذب است شد. از آنجایی که سهم ایزوتوپ‌های ^{6}Li و ^{7}Li در TLD-600 به ترتیب ٪۹۵/۵ و ٪٤/۵ است بنابراین رابطه‌ی دز جذبی نوترون حرارتی به شکل رابطه‌ی (۳) نوشته می‌شود:

$$\dot{D} = \frac{\varphi}{M}(0.95\%\left(n \times \sigma_{^{6}Li} \times \Delta E_{^{6}Li}\right) + 4.5\%\ \left(n \times \sigma_{^{7}Li} \times \Delta E_{^{7}Li}\right) \quad (۳)$$

۲. روش کار:

اندازه‌گیری میزان دز نوترونی حاصل از چشمه‌ی نوترونی در آزمایشگاه هسته‌ای دانشکده علوم‌پایه دانشگاه گیلان انجام پذیرفت. به منظور برآورد میزان دز نوترون در این آزمایشگاه، چشمه نوترونی Ra-Be و زوج دزیمترهای TLD-600/700 مورد استفاده قرار گرفتند. چشمه‌ی حفاظت شده‌ی نوترون‌ها شامل یک چشمه رادیوم- بریلیوم با ۳ میلی گرم رادیوم در نظر گرفته شد. اکتیویته ابتدایی این چشمه ۳ mCi است. این چشمه به دلیل تابش گاما و نوترون‌های سریعی که باید تبدیل به نوترون‌های حرارتی شوند، توسط سرب، پارافین و یک حفاظ فاصله محافظت می شود تا در طول آزمایش آسیبی به اساتید و دانشجویان نرسد (آهنگ دز گاما در بیرون از حفاظ mrem/h ۰/٦ است). درون پارافین اطراف چشمه هفت کانال با طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر در سه فاصله‌ی ۷، ١٤و۲۰ سانتی-متری از چشمه برای تابش‌دهی دزیمترها ایجاد شده است. این چشمه ساخت شرکت LEYBOLD-HERAEUS و کشور آلمان است و اولین بار برای مدارسی در جمهوری فدرال آلمان مورد بهره برداری قرار گرفت [۵]. شکل (۱) شکل ظاهری چشمه نوترون حفاظدار را نشان می‌دهد. همچنین در این کار از ٦ زوج دزیمتر TLD-600/700 (۲ زوج دزیمتر در هر کدام از فاصله‌های ۷، ١٤ و ۲۰ سانتی‌متری از چشمه نوترونی) استفاده شد. نمونه‌ای از این دزیمترها که دارای ابعاد mm^3 ۳/۱×۳/۱×۰/۸ هستند و نیز محفظه‌هایی که برای آن‌ها طراحی شد و مورد استفاده قرار گرفت، در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل۱. شکل ظاهری چشمه نوترون حفاظدار



شکل ۲. نمونه‌ای از زوج TLDها و محفظه‌ی طراحی شده برای جایگزینی آن‌ها

مراحل انجام کار به این صورت بود که زوج دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600/700 به مدت ۲٤ ساعت در حفره-های اطراف چشمه‌ی نوترونی تحت تابش‌دهی قرار گرفتند، سپس اطلاعات آن‌ها توسط قرائتگر مدل ۳۵۰۰ هارشا و نرم-افزار WinREMS قرائت [٦] و سرانجام به کمک ضریب کالیبراسیون به دز جذبی تبدیل شدند.

۳. نتایج

همانطور که در بخش قبل بدان اشاره شد سنجش میزان دز جذبی ناشی از نوترون‌های چشمه‌ی Ra-Be موجود در آزمایشگاه هسته‌ای دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه گیلان توسط زوج دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600/700 در طی ۲٤ ساعت پرتودهی، انجام شد. ابتدا پاسخ‌ها و منحنی‌های درخشش مربوط به دزیمترهای بکار برده شده ارائه و اختلاف پاسخ هر زوج محاسبه می‌شود.

۳. ۱. پاسخ و منحنی درخشش دزیمترهای مورد استفاده

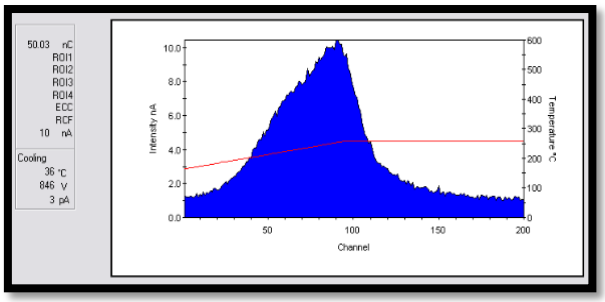
بعد از تابش‌دهی دزیمترها، مقدار بار ذخیره شده در دزیمترها و منحنی درخشش آن‌ها با استفاده از قرائتگر مدل ۳۵۰۰ هارشا و نرم افزار WinREMS تعیین شد. در این بخش پاسخ‌ها و منحنی‌های درخشش مربوط به دزیمترهای بکار برده شده ارائه و اختلاف پاسخ هر زوج محاسبه می‌شود.

۳. ۱. ۱. اطلاعات مربوط به دزیمترهای تابش‌دهی شده در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متری از چشمه

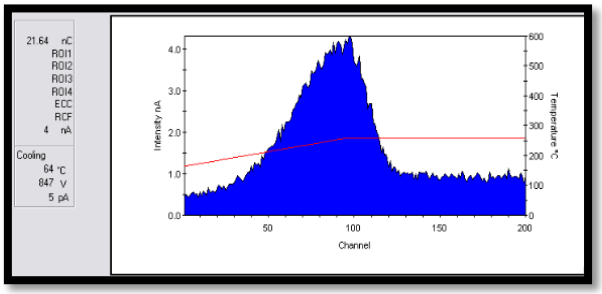
در حفره اول که در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متری از چشمه قرار دارد دو زوج دزیمتر تحت تابش‌دهی قرار گرفت که مقدار بار انباشته شده و منحنی درخشش این TLDها به صورت زیر است:

زوج اول:

همانطور که در شکل‌های (۳.الف) و (۳.ب) مشاهده می‌شود در اولین زوج دزیمتر بکار برده شده در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متری از چشمه، مقدار بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب ۵۰/۰۳ و ۲۱/٦٤ نانوکولن است و اختلاف پاسخ آنها ۲۸/۳۹ نانوکولن محاسبه می‌شود:



شکل ۳.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۷ سانتی-متری از چشمه



شکل ۳.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۷ سانتی-متری از چشمه

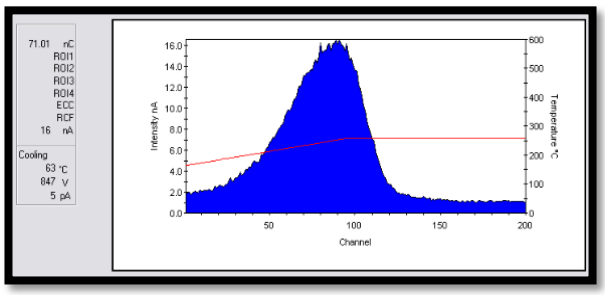
محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

برای بدست آوردن پاسخ مربوط به نوترون‌ها، باید اختلاف پاسخ دو دزیمتر محاسبه شود:

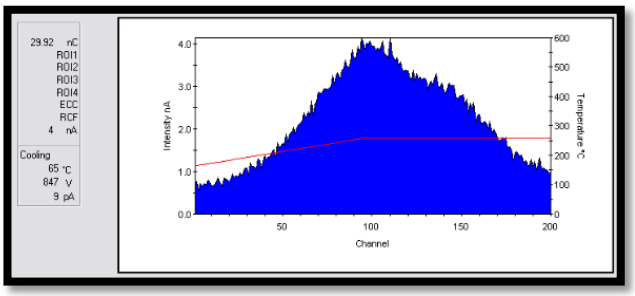
$$\Delta R_{1,1} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 50.03\ nC - 21.64\ nC = 28.39\ nC \quad (٤)$$

زوج دوم:

در دومین زوج دزیمتر بکار برده شده در فاصله‌ی ۷ سانتی متری از چشمه، همانطور که از شکل‌های (٤.الف) و (٤.ب) پیداست مقدار بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب ۷۱/۰۱ و ۲۹/۹۲ نانوکولن و اختلاف پاسخ آن‌ها ٤۱/۰۹ نانوکولن است:



شکل ٤.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۷ سانتی-متری از چشمه



شکل ٤.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۷ سانتی-متری از چشمه

محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

$$\Delta R_{1,2} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 71.01\ nC - 29.92\ nC = 41.09\ nC \quad (٥)$$

بعد از تعیین اختلاف پاسخ دو زوج دزیمتر، میانگین اختلاف پاسخ زوج دزیمترها در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متری از چشمه محاسبه می‌شود:

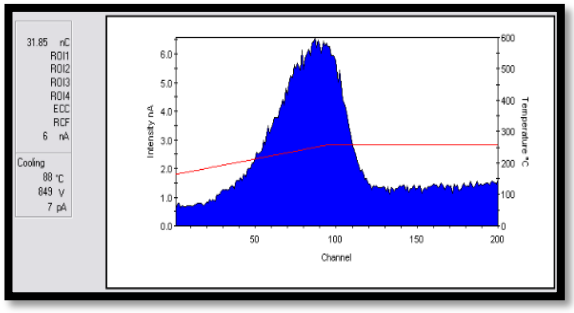
$$\overline{\Delta R_1} = \frac{28.39\ nC + 41.09\ nC}{2} = 34.74\ nC \quad (٦)$$

۳. ۱. ۲. اطلاعات مربوط به دزیمترهای تابش‌دهی شده در فاصله‌ی ١٤ سانتی‌متری از چشمه

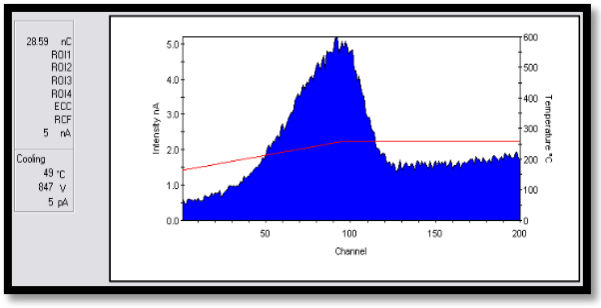
مانند بخش (۳. ۱. ۱) در فاصله‌ی ١٤ سانتی‌متری از چشمه Ra-Be نیز دو زوج دزیمتر تحت تابش‌دهی قرار گرفت که مقدار بار ذخیره شده و منحنی درخشش این دزیمترها به صورت زیر است:

زوج اول:

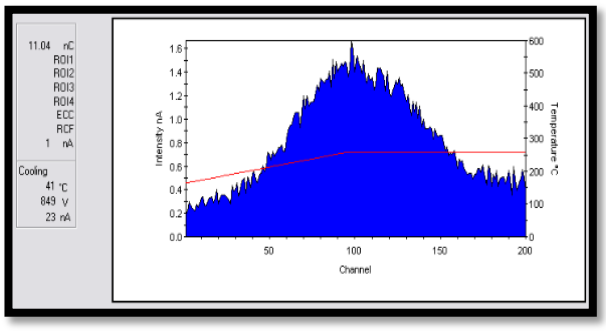
در شکل‌های (٥.الف) و (٥.ب) نشان داده شده است که در اولین زوج استفاده شده در فاصله‌ی ١٤ سانتی متری از چشمه نوترونی، مقدار بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب برابر ۳۱/۸٥ و ۱۱/۰٤ نانوکولن و اختلاف پاسخ آن‌ها ۲۰/۸۱ نانوکولن است:



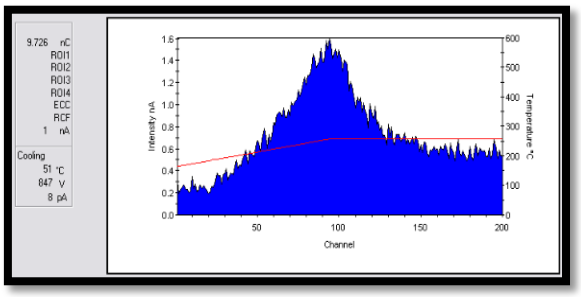
شکل ۵.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۱٤ سانتی‌متری از چشمه



شکل ٦.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۱٤ سانتی‌متری از چشمه



شکل ۵.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۱٤ سانتی‌متری از چشمه



شکل ٦.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۱٤ سانتی‌متری از چشمه

محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

$$\Delta R_{2,1} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 31.85\ nC - 11.04\ nC = 20.81\ nC \quad (۷)$$

زوج دوم:

در دومین زوج دزیمتر بکار برده شده در فاصله‌ی ۱٤ سانتی متری از چشمه، همانطور که در شکل‌های (٦.الف) و (٦.ب) مشاهده می‌شود مقدار بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب ۲۸/۵۹ و ۹/۷۳ نانوکولن و اختلاف پاسخ آن‌ها ۱۸/۸٦ نانوکولن است:

محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

$$\Delta R_{2,2} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 28.59\ nC - 9.73\ nC = 18.86\ nC \quad (۸)$$

مانند بخش قبل میانگین اختلاف پاسخ دو زوج دزیمتر در فاصله‌ی ۱٤ سانتی‌متری از چشمه به صورت رابطه‌ی (۹) محاسبه خواهد شد:

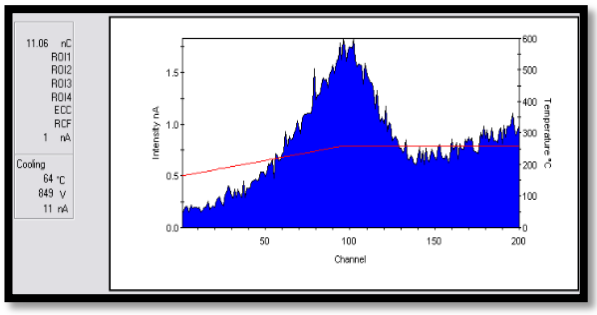
$$\overline{\Delta R_2} = \frac{20.81\ nC + 18.86\ nC}{2} = 19.84\ nC \quad (۹)$$

۳. ۱. ۱. اطلاعات مربوط به دزیمترهای تابش‌دهی شده در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه

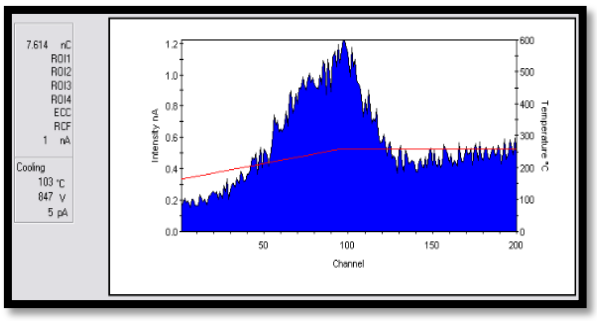
مانند دو بخش (۱,۱,۳) و (۲,۱,۳)، در فاصله ۲۰ سانتی متری از چشمه نیز دو زوج دزیمتر تحت تابش‌دهی قرار گرفت که بار انباشته شده و منحنی درخشش مربوط به این دزیمترها به صورت زیر تعیین می‌شود:

زوج اول:

شکل‌های (۷.الف) و (۷.ب) نشان می‌دهند که در اولین زوج دزیمتر بکاربرده شده در فاصله‌ی ۲۰ سانتی متری از چشمه نوترونی، بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب ۱۱/۰۶ و ۷/۶۱ نانو کولن است و اختلاف پاسخ آن‌ها ۳/۴۵ نانو کولن محاسبه می‌شود:



شکل ۷.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه



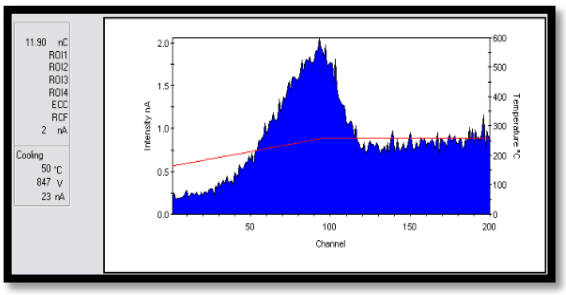
شکل ۷.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه

محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

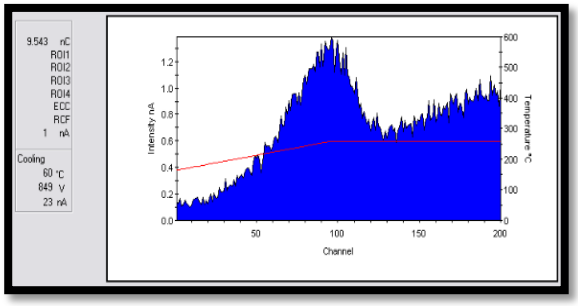
$$\Delta R_{3,1} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 11.06\ nC - 7.61\ nC = 3.45\ nC \quad (۱۰)$$

زوج دوم:

در دومین زوج دزیمتر بکار برده شده در فاصله‌ی ۲۰ سانتی متری از چشمه، همانطور که از شکل‌های (۸.الف) و (۸.ب) پیداست مقدار بار ذخیره شده در دزیمترهای TLD-600 و TLD-700 به ترتیب ۱۱/۹۰ و ۹/۵۴ نانوکولن و اختلاف پاسخ آن‌ها ۲/۳۶ نانوکولن است:



شکل ۸.الف. پاسخ و منحنی درخشش TLD-600 در فاصله ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه



شکل ۸.ب. پاسخ و منحنی درخشش TLD-700 در فاصله ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه

محاسبه‌ی اختلاف پاسخ:

$$\Delta R_{3,2} = R_{TLD\text{-}600} - R_{TLD\text{-}700} = 11.90\ nC - 9.54\ nC = 2.36\ nC \quad (11)$$

در این بخش نیز میانگین اختلاف پاسخ دو زوج دزیمتر را در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه محاسبه می‌کنیم:

$$\overline{\Delta R_3} = \frac{3.45\ nC + 2.36\ nC}{2} = 2.91\ nC \quad (12)$$

با توجه به این اطلاعات و محاسبات، میانگین اختلاف پاسخ محاسبه شده‌ی زوج دزیمترها در سه فاصله‌ی مختلف از چشمه در جدول (۲) نشان داده شده است. دلیل تفاوت در اختلاف پاسخ زوج دزیمترهای بکاربرده شده در هر فاصله را می‌توان ناشی از تفاوت‌های ذاتی و جرمی دزیمترها دانست.

جدول۲. میانگین اختلاف پاسخ زوج دزیمترهای TLD-600/700 در فواصل مختلف از چشمه

فاصله از چشمه (cm)	متوسط اختلاف پاسخ (nC)
۷	۳٤/۷٤
۱٤	۱۹/۸٤
۲۰	۲/۹۱

۳. ۲. محاسبه‌ی دز جذبی با استفاده از شار نوترون مشخص در هر فاصله

مقادیر شار نوترونی ۳۰ سال قبل سه فاصله‌ی مذکور از چشمه‌ی Ra-Be در کاتالوگ این چشمه موجود است و در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. مقدار شار نوترون چشمه‌ی Ra-Be در فواصل مختلف [۵]

فاصله از چشمه (cm)	شار نوترون ($n/cm^2.s$)
۷	۱۰۰
۱٤	۵۰
۲۰	۲۵

با توجه به اینکه به مقدار کنونی شار نوترون نیازمندیم به کمک رابطه‌ی ریاضی (۱۳) این مقادیر را محاسبه می‌کنیم:

$$\varphi = \varphi_0\, e^{-\lambda t} \quad (13)$$

که ϕ_0 مقدار شار اولیه نوترون، λ ثابت واپاشی و t بیانگر گذشت زمان است.

برای فاصله‌ی ۷ سانتی‌متر:

$$\varphi = 100 \times e^{\frac{-ln2}{1602}\times 30} = 98.71\ n/cm^2 s \quad (14)$$

برای فاصله‌ی ۱٤ سانتی‌متر:

$$\varphi = 50 \times e^{\frac{-ln2}{1602}\times 30} = 48.97\ n/cm^2 s \quad (15)$$

برای فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر:

$$\varphi = 25 \times e^{\frac{-ln2}{1602}\times 30} = 24.67\ n/cm^2s \qquad (١٦)$$

قبل از تعیین دز جذبی ناشی از نوترون چشمه Ra-Be، باید به این نکته اشاره شود که در شارهای نوترونی پایین، از حساسیت TLD-700 به نوترون‌ها صرف نظر می‌شود و اختلاف پاسخ زوج دزیمتر TLD-600/700 معادل پاسخ TLD-600 به نوترون‌هاست. بنابراین برای تعیین ضریب کالیبراسیون، فقط محاسبه‌ی دز جذبی نوترون TLD-600 کافی است و دز جذبی ناشی از نوترون TLD-700 نادیده گرفته می‌شود. به عبارتی دیگر می‌توان گفت در چشمه‌های نوترونی دارای شار پایین، دز جذب شده توسط TLD-700 فقط ناشی از پرتوهای گاماست و این نوع TLD به نوترون‌های حرارتی حساسیتی ندارد.

از آنجایی که سهم ایزوتوپ‌های ^{6}Li و ^{7}Li در TLD-600 به ترتیب ٪۹۵/۵ و ٪٤/۵ است بنابراین برای تعیین دز جذبی نوترون حرارتی رابطه ی (۲) به شکل رابطه‌ی (۱۷) نوشته می‌شود:

$$\dot{D} = \frac{\varphi}{M}\left(95.5\%\left(n \times \sigma_{^6Li} \times \Delta E_{^6Li}\right) + 4.5\%\left(n \times \sigma_{^7Li} \times \Delta E_{^7Li}\right)\right) \qquad (١٧)$$

همانطور که در رابطه‌ی (۱۷) مشاهده می‌شود تنها مقادیر متفاوت این دو ایزوتوپ، سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی و انرژی از دست رفته‌ی آن است که این مقادیر در جدول (٤) نشان داده شده‌اند.

جدول ٤. مقادیر سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی و انرژی آزاد شده دو ایزوتوپ ^{6}Li و ^{7}Li [۷]

واکنش هسته‌ای	انرژی (MeV)	سطح مقطع گیراندازی (b)
^{6}Li(n,α)^{3}H	E(^{3}H)= ۲/۷۲	۹٦۰
	E(α)=۲/۰٦	۳٦×۱۰$^{-۳}$
^{7}Li(n,γ)^{8}Li	E(γ)=۲/۰٦	

گام بعدی تعیین پارامترهای باقیمانده است. تعداد هسته‌های هدف از رابطه‌ی (۱۸) تعیین می‌شود:

$$n = \frac{v\times\rho}{A} \times 6.03 \times 10^{23} \qquad (١٨)$$

که در اینجا v حجم، ρ چگالی و A جرم اتمی لیتیوم فلوراید است. بنابراین:

$$n = \frac{3.1\times3.1\times8\times10^{-4}\times2.64\times6.03\times10^{23}}{26} = 47.07 \times 10^{19} \qquad (١٩)$$

جرم دزیمترهای لیتیوم فلوراید مورد استفاده نیز از رابطه‌ی (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$M= \rho v = 2.64\times3.1\times3.1\times0.8\times10^{-3}\times10^{-3} = 20.3\times10^{-6}\ kg \qquad (٢٠)$$

با توجه به اینکه مقادیر شار در سه فاصله‌ی ۷، ١٤ و ۲۰ سانتی‌متری از چشمه، با هم متفاوت است مقادیر آهنگ دز جذبی ناشی از نوترون نیز در این فواصل با هم فرق خواهند داشت و از طریق روابط (۲۱) تا (۲۲) بدست می‌آیند:

محاسبه‌ی آهنگ دز جذبی در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متر:

$$\dot{D} = \frac{98.71\times47.07\times10^{19}\times1.602\times10^{-19}}{20.3\times10^{-6}}\left(95.5\%(960\times 10^{-24}\times 4.78\times10^{6}) + 4.5\%(36\times10^{-27}\times2.06\times 10^{6})\right) = 1.61\times10^{-6}\ \frac{Gy}{s} \quad (۲۱)$$

محاسبه‌ی آهنگ دز جذبی در فاصله‌ی ۱۴ سانتی‌متر:

$$\dot{D} = \frac{48.97\times47.07\times10^{19}\times1.602\times10^{-19}}{20.3\times10^{-6}}\left(95.5\%(960\times 10^{-24}\times 4.78\times10^{6}) + 4.5\%(36\times10^{-27}\times2.06\times 10^{6})\right) = 7.97\times10^{-7}\ \frac{Gy}{s} \quad (۲۲)$$

محاسبه‌ی آهنگ دز جذبی در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر:

$$\dot{D} = \frac{24.67\times47.07\times10^{19}\times1.602\times10^{-19}}{20.3\times10^{-6}}\left(95.5\%(960\times 10^{-24}\times 4.78\times10^{6}) + 4.5\%(36\times10^{-27}\times2.06\times 10^{6})\right) = 4.02\times10^{-7}\ \frac{Gy}{s} \quad (۲۳)$$

گام بعدی تعیین دز جذبی در مدت ۲۴ ساعت (۸۶۴۰۰ ثانیه) است:

محاسبه‌ی دز جذبی در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متر:

$$D = 1.61\times10^{-6}\times86400 = 0.14\ Gy \quad (۲۴)$$

محاسبه‌ی دز جذبی در فاصله‌ی ۱۴ سانتی‌متر:

$$D = 7.97\times10^{-7}\times86400 = 0.07\ Gy \quad (۲۵)$$

محاسبه‌ی دز جذبی در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر:

$$D = 4.02\times10^{-7}\times86400 = 0.03\ Gy \quad (۲۶)$$

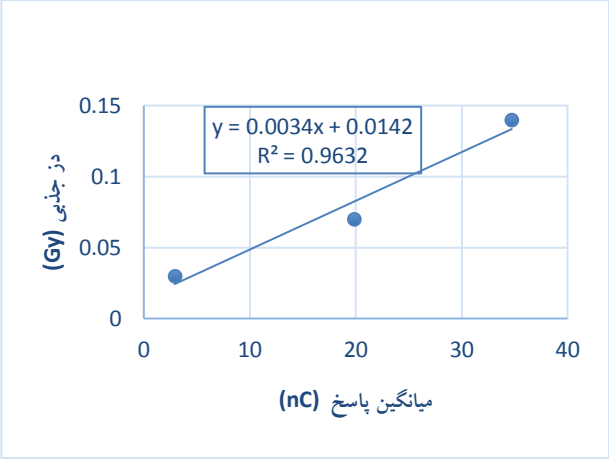
مقادیر دز جذبی محاسبه شده در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵. مقدار دز جذبی ناشی از نوترون در فواصل مختلف

فاصله از چشمه (cm)	دز جذبی (Gy)
۷	۰/۱۴
۱۴	۰/۰۷
۲۰	۰/۰۳

۳. ۳. محاسبه‌ی ضریب کالیبراسیون

برای محاسبه‌ی ضریب کالیبراسیون، باید نمودار دز جذبی بر حسب میانگین پاسخ دزیمترها رسم و شیب خط آن محاسبه شود:



شکل ۹. نمودار دز جذبی بر حسب میانگین پاسخ دزیمترها

بنابراین همانطور که از شکل (۹) پیداست ضریب کالیبراسیون برابر ۰/۰۰۳۴ Gy/nC است.

۳. ٤. تعیین دز جذبی اندازه‌گیری شده توسط زوج دزیمترها

برای تعیین دز جذبی ناشی از پاسخ نوترون اندازه‌گیری شده توسط زوج دزیمترها، باید میانگین اختلاف پاسخ آن‌ها در هر فاصله را در ضریب کالیبراسیون ضرب کنیم:

مقدار دز جذبی در فاصله‌ی ۷ سانتی‌متر:

$$D_{TLD-600/700} = 34.74\times0.0034 = 0.12\ (Gy) \quad (٢٤)$$

مقدار دز جذبی در فاصله‌ی ١٤ سانتی‌متر:

$$D_{TLD-600/700} = 19.84\times0.0034 = 0.07\ (Gy) \quad (٢٥)$$

مقدار دز جذبی در فاصله‌ی ٢٠ سانتی‌متر:

$$D_{TLD-600/700} = 3.03\times0.0034 = 0.01\ (Gy) \quad (٢٦)$$

٤. بحث و نتیجه گیری

همانطور که در ابتدا بیان شد، هدف این مقاله تعیین دز نوترونی چشمه Ra-Be در سه فاصله‌ی ۷، ١٤ و ٢٠ سانتی‌متری از آن توسط زوج دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600/700 بود که جزئیات مربوط به محاسبات آن در بخش۳ به طور کامل توضیح داده شد. از آنجایی‌که عدد اتمی موثر این نوع دزیمترها ۸/۲ است؛ می‌توان آن‌ها را هم‌ارز با بافت بدن درنظر گرفت. پس دز جذبی محاسبه شده در بخش (۳. ٤) می‌تواند تخمینی از دز نوترونی جذب شده‌ی بدن انسان در فاصله‌های مذکور از چشمه Ra-Be باشد.

با توجه به کارهای پیشین انجام شده در زمینه‌ی تعیین دز نوترونی توسط زوج دزیمترهای TLD-600/700 می‌توان با اطمینان گفت که این روش، می‌تواند روش مناسبی برای تعیین دز نوترونی چشمه‌ی دارای شار کم باشد. به علاوه، با مقایسه‌ی مقادیر بدست آمده در بخش (۳. ٤) با مقادیر محاسبه شده در معادلات (٢٤)، (٢٥) و (٢٦) می‌توان نتیجه گرفت که علی رقم تکرار کم انجام آزمایش از کار انجام شده در این مقاله نتیجه‌ی نسبتا خوبی بدست آمده است. اما منابع اصلی عدم قطعیت کل در تخمین دز جذبی می‌تواند ناشی از دو مولفه باشد: خطاهای تصادفی و خطاهای سیستماتیک. به دلیل تعداد پایین شمارش-ها، خطاهای تصادفی بالا می‌مانند و از طرفی دیگر چون خطاهای سیستماتیک به شرایط آزمایشگاهی بستگی دارد می تواند در نتیجه ی کل تاثیر گذار باشد.

مراجع

[1] Ayadogan. I, Yilmazer. A, "Usage of Lif-TLD100 Detector and B_4C Filter in Neutron Dosimetry", 24th International Conference Nuclear Energy for New Europe, Slovenia, 1-8, 2015.

[2] Oberhofer. M, Scharmann. A, "Applied Thermoluminescence Dosimetry", Adam Hilger, 83-120, 1979.

[3]] MuKherjee. B, Lambert. J, Hentschel. R, Negodin. E, Farr. J, "An Ultra Sensitive Fast Neutron Area Monitor Using Gadolinium Covered Aluminium Oxide Dosimeter (TLD-500) Chips", Radiation Measurements 46, pp.1698-1700, 2011.

[4]] Sarkar. R, Mondal. P. K, Chatterjee. B. K, "An Alternative Method for The Measurement of Neutron of Neutron flux", Journal of Physics, Vol. 85, No. 4, 685-690, 2015.

[5] LEYBOLD-HERAEUS GMBH, "Catalogue on Shielded Source of Neutrons", Germany, LEYBOLD-HERAEUS, 1987.

[6] S.Gobain, "Catalogue on Harshaw Model 3500 TLD Reader and WinReMs Saint-Gobain, Ohio, Us, 2002.

[7] Manouchehri. F, Torkzadeh. F, Mirzajani. N, Jalilian. Sh, "Thermal Neutron Fluence Measurement Using Thermoluminescence Dosimeter TLD-600", Jornal of Nuclear Sci. and Tech, No. 42, 1-6, 2008.

Journal of Radiation and Nuclear Technology

JRNT
Journal of Radiation and Nuclear Technology

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol..04/ No.02/ Summer 2017

Dosimetry of a radioisotope source of neutron by thermoluminescence dosimeters (TLD-600/700)

S. Gholami [1*], A. Sadremomtaz [2], P.Taherparvar [3]

[1] MSc. Student, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran
[2] *Associate professor, Department of physics*, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran
[3] *Assistant professor, Department of physics*, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran

** Corresponding author's E-mail:* gholamisepideh6@gmail.com

(Received: 2017/05/18 - Accepted: 2017/06/11)

ABSTRACT

Neutrons have many applications in various fields, such as industry and medicine. In nuclear facilities, and especially in electricity production, we are faced with such radiation. Because of this, determination of neutron dose is critical for the health of workers and patients exposed to this beam. The neutron radioisotope sources produce gamma rays in addition to the neutron, and the neutron fields around these sources are mixed-field neutron-gamma fields. Different methods of dosimetry of the neutron field include the method of gold foil activation and the method of using a thermoluminescence dosimeter pair. One of the effective ways of neutron dosimetry is the use of the TLD-600/700 thermoluminescence dosimeter pair. The TLD-600 is sensitive to thermal neutrons due to the richness of ^{6}Li (which has a high thermal neutron absorption cross section) but the TLD-700 does not have thermal neutron sensitivity in low fluxes. In this paper, to measure the neutron dose from the Ra-Be neutron source in the core laboratory of the Faculty of Science of the University of Guilan, six TLD-600/700 dosimeters were used in three intervals of 7, 14 and 20 cm from the source. Finally, by calculating the neutron dose through the source flux and estimating the calibration coefficient, the dose rate measured by the TLDs was determined and compared with the calculated dose rate.

Key words: neutron source, thermoluminescence dosimeter, neutron dosimetry, neutron-gamma mixed field