محاسبه ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش NE-2571 با استفاده از نظریه حفره

پیمان رضاییان[۱]، مهتاب نعمتی[۲]، آنتیا عالیپور[۱]

۱- سازمان انرژی اتمی ایران ، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ، پژوهشکده کاربرد پرتوها

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز ، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده :

ضریب کالیبراسیون اتاقک‌های یونش به صورت تجربی در یک میدان پرتویی کالیبره با انرژی مشخص تعیین می‌شود. با داشتن مقدار این ضریب برای میدان‌های پرتویی با انرژی‌های متفاوت، می‌توان مقدار دز جذبی در این میدان‌ها را با صحت بیشتری تعیین کرد. در این مقاله با بهره‌گیری از نظریه حفره ضریب کالیبرا سیون اتاقک یونش NE-2751 محاسبه شده است. تفاوت نسبی میان مقدار محاسبه شده ضریب کالیبراسیون برای این اتاقک در میدان پرتویی کبالت -۶۰ در هوا با مقدار تجربی حدود ۱۱٪ است. این سازگاری صحت محاسبات انجام شده را نشان می‌دهد. با توجه به سرعت و صحت این روش، می‌توان از آن برای تعیین ضریب کالیبراسیون در سایر انرژی‌ها استفاده کرد.

کلمات کلیدی: *ضریب کالیبراسیون، اتاقک یونش NE-2571، نظریه حفره*

مقدمه :

پرتوهای یونساز به طور گسترده در زمینه های مختلف صنعتی و پزشکی مورد استفاده قرار می گیرند. در زمینه درمانی برای ایجاد اثر موردنظر روی بافت مربوطه، میزان دز دریافتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بنابراین میزان دز جذبی یا آهنگ دز در میدان های پرتویی مورد استفاده باید به صورت دقیق اندازه گیری شود، که از اتاقک‌های یونش برای این منظور استفاده می‌شود. بر همکنش پرتوها با اتاقک یونش سبب ایجاد بار در حجم حساس اتاقک یونش می‌شود. بار تولید شده در اتاقک یونش با استفاده از ضریب کالیبراسیون به دز جذبی یا کرما تبدیل می‌شود. بر این اساس به منظور تعیین مقدار دز جذبی یا کرما در اختیار داشتن مقدار دقیق ضریب کالیبراسیون یک اتاقک یونش الزامی است. مقدار ضریب کالیبراسیون یک اتاقک یونش بستگی به جنس محیط، نوع و انرژی میدان پرتویی مورد نظر دارد. معمولا این ضریب توسط آزمایشگاه‌های استاندارد اولیه برای محیط‌های آب و هوا و در یک میدان پرتویی با انرژی مشخص تعیین می‌شود. علاوه بر این محققین مختلف تلاش کرده‌اند تا با استفاده از روش‌های مختلف تحلیلی، شبیه‌سازی و تجربی این ضریب را برای اتاقک‌های مختلف محاسبه نمایند. در سال ۲۰۱۰ ضریب کالیبراسیون برای اتاقک یونش استوانه ای گرافیتی

مورد استفاده در براکی تراپی برای چشمه ایریدیوم -۱۹۲ با استفاده از روش تحلیلی و شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه شد[۱]. همچنین در همین سال ضریب کالیبراسیون اتاقک های یونش مورد استفاده در پرتو درمانی در هوا و فانتوم آب برای میدان پرتویی کبالت -۶۰ به صورت تجربی تعیین شد[۲]. در سال ۲۰۱۱ نیز ضریب کالیبراسیون اتاقک‌های یونش مورد استفاده در سطوح پزشکی در میدان‌های مختلف پرتویی به صورت تجربی اندازه‌گیری شد[۳]. با توجه به وابستگی ضریب کالیبراسیون به انرژی پرتو فرودی و با در نظر گرفتن اینکه در روش تجربی امکان محاسبه ی ضریب کالیبراسیون در انرژی های مختلف وجود ندارد و همچنین زمانبر بودن محاسبات شبیه سازی بر پایه مونت کارلو ، در این مقاله با استفاده از روش تئوری حفره ، ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش NE-2571 در هوا و برای انرژی‌های مختلف محاسبه شده است. مقدار محاسبه شده برای میدان پرتویی کبالت-۶۰ با مقدار اندازه‌گیری شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی دارای اختلافی در حدود ۱۱٪ است. این همخوانی میان مقادیر تحلیلی و تجربی صحت محاسبات انجام شده را تائید می‌نماید.

روش کار :

اتاقک یونش NE-2571

اتاقک یونش NE-2571 از جمله اتاقک‌های یونش نوع فارمر می‌باشد. معمولا از این اتاقک برای دزیمتری فوتون و الکترون‌ها در سطوح پزشکی و درمانی استفاده می‌شود. ابعاد و جنس مواد بکار رفته در این آشکارساز در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱ ابعاد و جنس مواد بکار رفته در اتاقک یونش NE-2571

حجم حساس	۰/۶۹ سانتیمتر مکعب
طول حجم حساس	۲۴/۱ میلیمتر
جنس دیواره	گرافیت ۹۹/۹۹٪
شعاع داخلی دیواره	۶/۳ میلیمتر
ضخامت دیواره	۰/۳۶ میلیمتر
جنس کلاهک تعادل بار	پلی اکسی متیلن
ضخامت دیواره	۳/۸۷ میلیمتر
شعاع خارجی	۱۵/۱ میلیمتر
چگالی	۱/۴۲۵ گرم بر سانتیمتر مکعب
الکترود مرکزی	آلومینیوم ۹۹/۹۹٪
طول الکترود	۲۰/۶ میلیمتر
شعاع خارجی	۱ میلیمتر

تعیین ضریب کالیبراسیون با استفاده از تئوری حفره

ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش برای کرمای هوا در میدان پرتویی کبالت-۶۰ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$N_{k,air} = \frac{k_{air,60_{Co}}}{Q} \quad (۱)$$ در

این رابطه $k_{air,60_{Co}}$ کرمای هوا و Q بار جمع شده در اتاقک یونش است.

با استفاده از تئوری حفره نسبت میان دز جذبی در حفره $\overline{D_g}$ به دیواره حفره D_w به صورت زیر نوشته می‌شود[٤]:

$$\frac{\overline{D_g}}{D_w} = d_g \left(\frac{\bar{S}}{\rho}\right)_W^g + (1 - d_g)\left(\frac{\overline{\mu_{en}}}{\rho}\right)_w^g \quad (۲)$$

در این رابطه $\left(\frac{\bar{S}}{\rho}\right)_W^g$ نسبت توان توقف حفره به دیواره و $\left(\frac{\overline{\mu_{en}}}{\rho}\right)_W^g$ نسبت ضریب جذب جرمی انرژی حفره به دیواره است. همچنین پارامتر d_g به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$d_g = \frac{1-e^{-\beta L}}{\beta L} \quad (۳)$$

در این رابطه، L (طول متوسط وتر پیموده شده برای الکترون در حفره) بر حسب حجم حفره Vو مساحت آن S به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L = \frac{4V}{S} \quad (٤)$$

همچنین مقدار β به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$e^{-\beta t_{Max}} = 0.04 \quad (۵)$$

که t_{max} برد پرانرژی ترین الکترون ها است.

با استفاده از فرمول بندی (۲) تا (۵) می‌توان مقدار نسبت دز در حفره به دیواره را محاسبه کرد. در این مقاله با استفاده از نظریه حفره ضریب کالیبراسیون برای اتاقک یونش NE-2571 در هوا محاسبه می‌شود. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که این اتاقک از یک حجم حساس از جنس هوا، دیواره گرافیتی و کلاهک تعادل بار تشکیل شده و این مجموعه در هوا قرار می‌گیرد. با استفاده از قاعده زنجیره‌ای می‌توان مقدار نسبت دز جذبی در حجم حساس اتاقک یونش (D_c) به دز جذبی در محیط (D_m)را که با f نشان می‌دهیم به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$f = \frac{D_c}{D_m} = \frac{D_c}{D_w} \times \frac{D_w}{D_B} \times \frac{D_B}{D_m} \times A \quad (٦)$$ در

این رابطه D_w و D_B به ترتیب مقادر دز جذبی در دیواره و کلاهک تعادل بار است. در رابطه (٦) هریک از

نسبت‌های $\frac{D_c}{D_w}$، $\frac{D_w}{D_B}$ و $\frac{D_B}{D_m}$ را با در نظر گرفتن جنس و ابعاد دو محیط می‌توان با استفاده از فرمول بندی (۲) تا (٦) محاسبه کرد. همچنین مقدار A در رابطه‌ی (٦) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$A = e^{-(\frac{\mu_{en}}{\rho})_W \times (\rho_W t_W)} \times e^{-(\frac{\mu_{en}}{\rho})_B \times (\rho_B t_B)} \quad (۷)$$

در این رابطه $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_W$ و $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_B$ به ترتیب ضریب تضعیف جرمی دیواره (گرافیت) و کلاهک تعادل بار (پلی اکسی متیلن) می‌باشد. همچنین مقادیر $(\rho_W t_W)$ و $(\rho_B t_B)$ نیز مقادیر ضخامت جرمی دیواره و کلاهک تعادل بار هستند. رابطه‌ی (۷) نشان دهنده میزان تضعیف ناشی از کلاهک تعادل بار و دیواره اتاقک یونش می‌باشد. با استفاده از رابطه (٦) میزان دز جذبی حفره به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$D_m = \frac{1}{f} \times D_c \quad (۸)$$

با توجه به قرار گرفتن کلاهک تعادل بار و در نتیجه بر قراری شرط تعادل الکترونی می‌توان گفت شرط تعادل بار بر قرار است. بنابراین کمیتی که اتاقک یونش اندازه‌گیری می‌کند، کرمای هوا است. بر این اساس می‌توان رابطه‌ی (۸) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$k_{air} = \frac{1}{f} \times D_c \quad (۹)$$

همچنین مقدار دز جذبی در حجم حساس را می‌توان به صورت زیرنوشت:

$$D_c = \left(\frac{Q}{M_g}\right) \times \left(\frac{\bar{W}}{e}\right) \quad (۱۰)$$

در این رابطه Q، بار تولید شده در حجم حساس و M جرم هوای درون حجم حساس می‌باشد. همچنین $(\frac{\bar{W}}{e})$ انرژی لازم برای تولید زوج الکترون حفره در هوا می‌باشد. با ترکیب روابط (۹) و (۱۰) می‌توان نوشت:

$$\frac{k_{air}}{Q} = \left(\frac{1}{M_g}\right) \times \left(\frac{\bar{W}}{e}\right) \times \left(\frac{1}{f}\right) \quad (۱۱)$$

سمت چپ رابطه‌ی (۱۱)، برابر با مقدار ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش است. در سمت راست علاوه بر کمیت‌های جرم هوای درون اتاقک یونش و انرژی لازم برای تشکیل زوج الکترون، حفره در هوا کمیت f نیز وارد شده است. این کمیت با استفاده از رابطه (٦) قابل محاسبه است. بدین منظور ابتدا باید مقادیر نسبت میان دز جذبی در حجم حساس به دیواره، یواره به کلاهک تعادل بار و کلاهک تعادل بار به محیط با استفاده از نظریه‌ی حفره (روابط (۲) تا (۵)) محاسبه شود. سپس مقدار تضعیف پرتوها در دیواره و کلاهک تعادل بار با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد. با مشخص شدن مقدار نسب، میان دزهای جذبی و ضریب تضعیف با استفاده از رابطه‌ی (٦) مقدار f تعیین می‌شود.

برای استفاده از نظریه حفره نیاز به دانستن مقادیر توان توقف جرمی، ضریب تضعیف جرمی و برد الکترون ها در هوا و سایر ترکیبات مورد استفاده در اتاقک یونش داریم. این اطلاعات از کتابخانه NIST استخراج می‌شود. برای تعیین توان توقف الکترون‌ها، با توجه به اینکه در برهمکنش کامپتون با بینابی از الکترون‌ها سر وکار داریم، ابتدا با در نظر گرفتن این بیناب، متوسط انرژی الکترون‌های تولید شده در اثر برهمکنش کامپتون محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه امکان دارد الکترون‌ها در نقاط مختلف کلاهک تعادل بار، دیواره و حتی حجم حساس تولید شود، نصف مقدار انرژی متوسط الکترون‌های تولید شده در اثر برهکنش کامپتون (میانگین تعادلی انرژی الکترون‌ها) محاسبه می‌شود[٤] و مقادیر توان توقف متناظر با این انرژی از کتابخانه‌های مربوطه استخراج می‌گردد.

نتایج :

به منظور ارزیابی صحت محاسبات، ابتدا ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش NE-2571، برای میدان پرتویی کبالت -٦٠ محاسبه می‌شود. مقادیر محاسبه شده انرژی متوسط و میانگین تعادلی انرژی الکترون‌ها تولید شده در اثر برهمکنش کامپتون به همراه مقادیر β و d برای حجم حساس، دیواره و اتاقک تعادل بار درجدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲ مقادیر محاسبه شده میانگین انرژی الکترون‌ها، میانگین تعادل انرژی الکترون، β و d برای اتاقک یونش NE-2571 در میدان پرتویی کبالت-٦٠

انرژی پرتوی گامای فرودی (MeV)	۱/۲۵	
میانگین انرژی الکترون(MeV)	۰/٦	
میانگین تعادلی انرژی الکترون (MeV)	۰/۳	
کلاهک تعادل بار	**دیواره**	**حجم حساس**
۹/۲۸	۱۱/۱٦	۰/۰۰۷ β
۰/۲۷۱	۰/۸۲۳	۰/۹۹۸ D

لازم به ذکر است در تعیین مقدار β، در دیواره و کلاهک تعادل بار به جای طول متوسط وتر پیموده شده توسط فوتون از مقدار ضخامت این دو لایه استفاده شد. با استفاده از این مقادیر و با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) مقدار ضریب کالیبراسیون محاسبه شد. نتایج محاسبات در جدول ۳ نشان داده شده است:

جدول۳- مقدار محاسبه شده ضریب کالیبراسیون با استفاده از نظریه حفره و مقایسه آن با مقدار تجربی

$۸/۳۱\times۱۰^{-٦}$	**جرم هوای درون اتاقک یونش در شرایط استاندارد(kg)**
۳۳/۹۷	**انرژی لازم برای تشکیل زوج الکترون و حفره در هوا(J/C)**
٤٦/۳۱	**مقدار محاسبه شده ضریب کالیبراسیون(mGy/nC)**
٤۱/٥±۰/۳	**مقدار تجربی ضریب کالیبراسیون(mGy/nC)**
٪۱۱	**اختلاف نسبی محاسبه و اندازه‌گیری**

مقدار تجربی ضریب کالیبراسیون، مقداری می‌باشد که توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی و بر طبق مرجع [۵] اندازه گیری شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۳ مشاهده می‌شود که مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده با یکدیگر سازگار می‌باشند. این سازگاری به نوعی صحت محاسبات انجام شده را تائید می‌کند. بر این اساس مقدار ضریب کالیبراسیون برای سایر انرژی‌های محاسبه می‌شود. مقادیر محاسبه شده در جدول ٤ نمایش داده شده‌اند.

جدول٤ – مقدار محاسبه شده ضریب کالیبراسیون با استفاده از نظریه حفره

ضریب کالیبراسیون (mGy/nC)	انرژی (MeV)
٤٩/١٣	٠/١
٤٦/٦٤	٠/٣
٤٦/٦٣	٠/٤
٤٦/٤٨	٠/٦
٤٦/٤٥	١/٠
٤٦/٢١	١/٥
٤٥/٩٥	٢

بحث و نتیجه گیری :

در این مقاله با استفاده از نظریه حفره ضریب کالیبراسیون اتاقک یونش NE-2571 در میدان پرتویی کبالت-٦٠ محاسبه و با مقادیر تجربی مقایسه شده، که دارای سازگاری قابل قبولی می‌باشند. با توجه به این سازگاری، مقادیر ضریب کالیبراسیون برای این اتاقک در محدوده‌ی انرژی ٠/١ تا ٢ مگا الکترون ولت محاسبه شد. در این محدوده‌ی انرژی ضریب کالیبراسیون تغییرات حدود ٧٪ را نشان می‌دهد. این وابستگی به انرژی سبب می‌شود، دز جذبی در میدان‌هایی که دارای انرژی متقاوت با میدان پرتویی مورد استفاده برای تعیین ضریب کالیبراسیون هستند، با مقدار واقعی اختلاف داشته باشد. این اختلاف با در نظر گرفتن ضریب کالیبراسیون در دو میدان پرتویی (جدول ٤) می‌تواند جبران شود. با توجه به اینکه امکان تعیین تجربی ضریب کالیبراسیون در انرژی‌های مختلف به صورت تجربی وجود ندارد، و همچنین صحت و سرعت بالای روش تحلیلی بیان شده در این مقاله، می‌توان از نظریه حفره برای تعیین ضریب کالیبراسیون اتاقک‌های یونش استفاده کرد.

مراجع :

1. S. Kumar, P. Srinivasan, S.D. Sharma, Calibration coefficient of reference brachytherapy ionization chamber using analytical and Monte Carlo method, Applied radiation and isotopes, 68, 1108-1115, 2010.
2. A.Solmanian, M. Ghafoori, Standard calibration of ionization chamber used in radiation therapy dosimetry and evaluation uncertainties, Iran. J. Radiat. Res. 8, 3,195-199, 2010.

3. A. Elmahmoud, Calibration of working standard ionization chamber and dose standardization, M.Sc. thesis, 2011.
4. G. F. Knoll, Radiation detection and measurements, John Wiely & Sons, Inc., USA, 50-53, 1999.
5. International atomic energy agency, Calibration of dosimeter used in radiation therapy, Technical reports series No.374, Vienna, 1994.