مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شمارهٔ ٤، ویژه‌نامه پرتوهای یون‌ساز، ۱۳۹۹، صفحه ۱٤۱-۱٤٦
پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰٦/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

طراحی و ساخت آشکارساز اتاقک یونش استوانه‌ای جهت دزیمتری در حفاظت پرتویی

حامد ایمانی شیروانه‌ده[۱]، آنیتا عالی‌پور[۲] ، کورش اربابی[۲] ، ارژنگ شاهور[۲] و جمشید سلطانی نبی‌پور[۳*]

[۱]گروه مهندسی هسته‌ای، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران.
[۲]پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی، کرج، البرز، ایران.
[۳]گروه فیزیک، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران.
[*]تهران، شهرجدید پرند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، دانشکده علوم زیستی، گروه فیزیک، کدپستی: ۳۷٦۱۳۹٦۳٦۱
پست‌الکترونیکی: j.soltani@yahoo.com

چکیده

طبق توصیه‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی(IAEA)، کالیبراسیون اتاقک‌های یونیزاسیونی که برای دزیمتری رادیوتراپی استفاده می‌شود، به دنبال روش جایگزینی است که نیاز به استفاده از یک اتاق یونیزاسیون مرجع دارد. طرح پیش رو، به موضوع طراحی و ساخت آشکارساز اتاقک یونش استوانه‌ای جهت استفاده به عنوان یک دُزیمتر مرجع در آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد می‌باشد. نتایج آزمایش‌های کنترل کیفی که در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه(SSDL) سازمان انرژی اتمی براساس استانداردها و محدودیت‌های تعیین شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی انجام شد، دلیلی بر صحت این ادعاست که این اتاقک می تواند به عنوان یک دُزیمتر مرجع در آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد مورد استفاده قرار گیرد. جریان نشتی و اثر پلاریته پایین، بازده جمع‌آوری یونی و پایداری بالا، پاسخ خطی آشکارساز نسبت به دز و نرخ کرمای هوا از ویژگی‌های بارز این آشکارساز نسبت به نمونه های مشابه ساخته شده می‌باشد، که عموماً ناشی از طراحی بهینه ی الکترود محافظ و جمع‌کننده و هم‌چنین انتخاب مواد مناسب در ساخت می‌باشد.

کلیدواژگان: اتاقک یونش استوانه‌ای، دُزیمتری، حفاظت پرتویی، الکترود جمع‌کننده، الکترود محافظ، تست‌های کنترل کیفی.

۱. مقدمه

امروزه به طور گسترده از دزیمترها برای اندازه‌گیری دز جذب شده ناشی از پرتوهای یون‌ساز استفاده می‌شود[۱]. که روش‌های مختلفی مانند سوسوزنی، واکنش شیمیایی پرتو با ماده و یونیزاسیون گازی برای دزیمتری پرتوها به کار می‌رود[۲] که یونیزاسیون گازی به علت سادگی و قابلیت اطمینان بالا، سرعت و دقت مطلوب در اندازه‌گیری گستره وسیعی از نرخ دز جذب شده، نسبت به بقیه روش‌ها ارجحیت داشته و به همین دلیل به عنوان یک سیستم دزیمتری رایج

مدنظر است[۳]. همچنین اتاقک‌های یونش در طول عمر خود بدون اندکی تغییر در حساسیت‌شان قابل استفاده مجدد هستند. در حالی که آشکارسازهای نیمه‌هادی به تدریج حساسیتشان کم شده و همین‌طور برخی دزیمترها مانند فیلم و ژل‌ها قابل استفاده مجدد نیز نمی‌باشند[٤].

در این طرح به دنبال ساخت یک نوع اتاقک یونش استوانه‌ای با طراحی بهینه هستیم تا عملکردی مناسب و مطابق با استانداردهای جهانی داشته باشد. جهت بررسی عملکرد این آشکارساز و مقایسه کارایی آن با استاندارد IEC، آزمایش‌های کنترل کیفی، مطابق با استانداردهای آژانس بین المللی انرژی اتمی، در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه سازمان انرژی اتمی ایران- کرج انجام شد که در ادامه به نتایج آن آشاره خواهد شد.

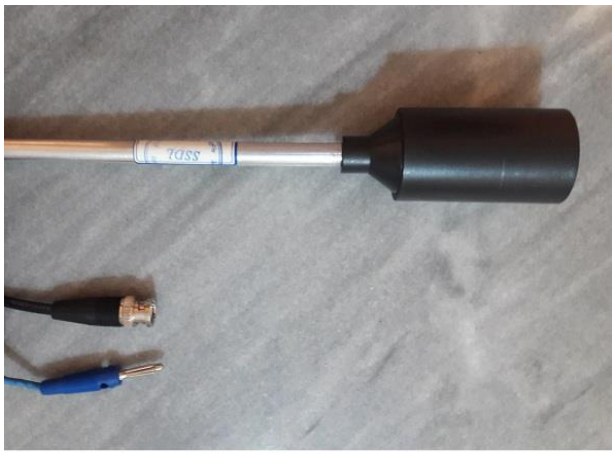
۲. طراحی و مواد ساخت

گاز موجود در حجم حساس آشکارساز اتاقک یونش ساخته شده هوا می‌باشد که با منفذ موجود در بدنه می‌تواند با هوای بیرون رد و بدل شود. دیواره اتاقک یونش نیز که به عنوان پنجره ورودی آشکارساز محل ورود پرتوهای یونیزان می‌باشد از جنس گرافیت خالص و با ضخامت مناسب انتخاب شده است تا برای انرژی‌های حدود چند ده کیلو الکترون ولت تا چند صد کیلوالکترون ولت(^{137}Cs) تعادل الکترونی برقرار گردد. جهت برقراری تعادل الکترونی برای انرژی‌های بالاتر مانند گاماهای حاصل از ^{60}Co دیواره دومی از جنس پلکسی گلاس در نظر گرفته شده است که بر روی دیواره اولی قرار می‌گیرد. در اتاقک‌های یونشی که برای دزیمتری ساخته می‌شوند، یکی از نکات مهمی که باید توجه ویژه به آن داشت طراحی بهینه الکترود جمع‌کننده و الکترود محافظ می‌باشد که تاثیر چشمگیری در کاهش جریان نشتی و سایر خطاهای به وجود آمده در اندازه‌گیری‌ها دارند. در اتاقک حاضر، الکترود جمع کننده همانند پنجره ورودی از جنس گرافیت و الکترود محافظ از جنس آلومینیوم می‌باشد. برخی از اطلاعات فنی اتاقک یونش ساخته شده در جدول(۱) مشخص شده است. لازم به ذکر است پایه‌ی اصلی آشکارساز که الکترودها بر روی آن تعبیه شده‌اند، از جنسی پلکسی‌گلاس می‌باشد.

جدول(۱): اطلاعات فنی آشکارساز اتاقک یونش ساخته شده.

مشخصه	مقدار
حجم حساس(cm^3)	۳۰/۱
ضخامت پنجره‌ی ورودی(mm)	۰/۹۵
قطر داخلی پنجره‌ی ورودی(mm)	۳۰/۹۵
قطر بیرونی الکترود جمع کننده(mm)	۱٤/۱
ضخامت دیواره دوم(mm)	۲,۹۵
طول ساقه(cm)	۲۰
قطر ساقه(mm)	۱۰

جهت اتصال اتاقک یونش به الکترومتر از کابل تری‌اکسال، فیش BNC و فیش موزی استفاده شده است. در شکل(۱) نمایی از اتاقک یونش ساخته شده همراه با نمایش اجزای آن نشان داده شده است.



شکل (۱): نمایی از آشکارساز اتاقک یونش ساخته شده.

۳. آزمایش‌های کنترل کیفی

جهت بررسی نحوه عملکرد آشکارساز اتاقک یونش ساخته شده، آزمایش‌های کنترل کیفی ازجمله منحنی اشباع، اثر پلاریته، بازده جمع‌آوری یونی، جریان نشتی، پایداری، خطی بودن پاسخ نسبت به دز جذبی و نرخ کرمای هوا روی آن انجام شده است. برای اعمال ولتاژ به الکترودها و مشاهده میزان بار جمع آوری شده ناشی از یونیزاسیون در داخل حجم حساس اتاقک یونش از الکترومتر استاندارد سوپرمکس استفاده شده است. لازم به ذکر است که کلیه این آزمایش‌ها در شرایط استاندارد تعیین شده از سوی آژانس بین المللی انرژی اتمی انجام شده که در ادامه شرح داده خواهد شد.

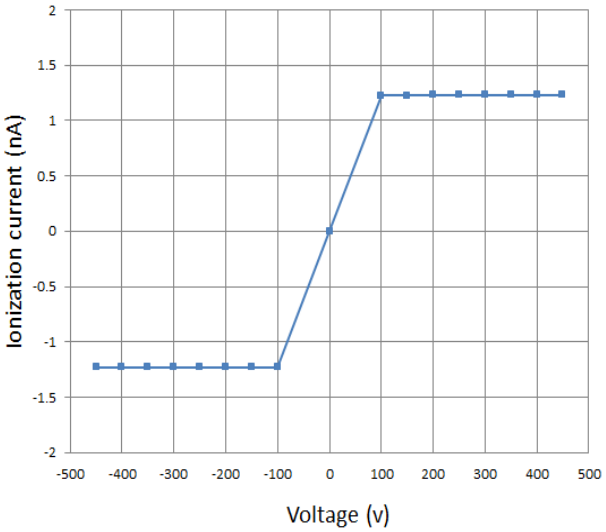
۱،۳. منحنی اشباع

در این آزمایش اتاقک یونش را در فاصله ثابت از دستگاه پرتودرمانی ^{60}Co picker v9، تحت تابش پرتوهای یونیزان قرار داده و به وسیله الکترومتر ولتاژهای کاری مختلف از ۴۵۰V- تا ۴۵۰V+ با گام‌های ۵۰V اعمال می‌کنیم و جریان حاصل از یونیزاسون که به وسیله الکترومتر خوانده می‌شود را ثبت می‌کنیم. براساس استاندارد باید تاثیر عوامل محیطی مانند فشار و دما را بر جریان اندازه گیری شده اعمال کنیم تا جریان یونیزاسیون مطابق رابطه(۱) بدست آید[۴].

$$I_{ionization} = K_{TP}.I_{read} \quad (۱)$$

$$K_{TP} = (273.16 + T/293.16) \times (1013.25/P) \quad (۲)$$

در رابطه فوق T و P به ترتیب دما و فشار اطراف اتاق یونش می‌باشد. مطابق شکل(۲) در تمامی ولتاژهای اعمالی، اتاقک یونش ساخته شده پاسخ تقریبا یکسانی داشته و با توجه به پایداری خوب اتاقک در ولتاژ ۴۰۰ ولت، این ولتاژ به عنوان ولتاژ کاری انتخاب می‌شود..



شکل (۲): منحنی اشباع اتاقک یونش ساخته‌شده

۲،۳. اثر پلاریته

اتاقک‌های یونشی که در معرض باریکه‌ای از پرتوهای یونیزان با شدت ثابت قرار می‌گیرند، ممکن است با عکس نمودن پلاریته‌ی ولتاژ اعمالی به الکترودها، دامنه بار و یا جریان به‌دست‌آمده از اتاقک تغییرکند. جهت محاسبه اثر پلاریته بر روی میزان بار جمع‌آوری‌شده، می‌بایست اختلاف میانگین بارهای حاصل از یونیزاسیون در ولتاژهای کاری قرینه را

محاسبه نمود. برای محاسبه اثر پلاریته از رابطه(۳) استفاده می‌شود[۵].

$$k_{pol} = \frac{|M_+| - |M_-|}{2M} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی فوق M_+، M_- و M به ترتیب مقدار بار جمع‌آوری شده در پلاریته مثبت، پلاریته منفی و ولتاژ کاری معمول اتاقک یونش(چه مثبت چه منفی)می‌باشد. مطابق استاندرد،اثر پلاریته بر مقدار بارجمع‌آوری شده در یک اتاقک یونیزاسیون، نباید از ٪ ۱ بیشتر باشد[٦]. در اتاقک یونش ساخته‌شده این مقدار در بیشترین حالت، برای نسبت بار جمع‌آوری‌شده در ولتاژهای کاری ۱۰۰V±، حدوداً ٪ ۰/۰۷ بدست آمد.

۳،۳. بازده جمع‌آوری یونی

در صورتی که به اتاقک یونش ولتاژ کاری مناسبی اعمال نشود، ممکن است زوج‌یون‌های تولید شده در حجم حساس قبل از اینکه توسط الکترودها جمع شوند، مجددا بازترکیب شوند. بازده جمع‌آوری یون، برای یک اتاقک‌یونیزاسیون تحت تابش بیم پیوسته دستگاه پرتودرمانی ^{60}Co picker v9 از رابطه(٤) محاسبه می‌شود[۵].

$$\frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \frac{M_1}{M_2}} \qquad (٤)$$

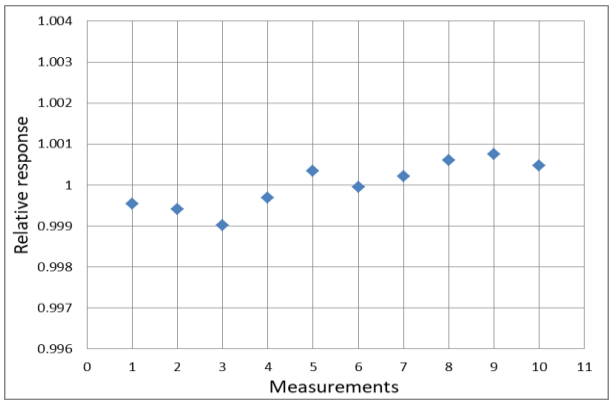
در رابطه فوق مقادیر M_1 و M_2 به ترتیب بار جمع‌آوری شده حاصل از یونش توسط اتاقک یونش در ولتاژهای V_1 و V_2 می‌باشند. به طور کلی از نسبت بارهای جمع‌آوری شده در هر زوج ولتاژی که مقدار کسر V_1/V_2 برابر ۲ باشد، می‌توان استفاده نمود. مطابق استاندارد پیشنهادی بازده جمع‌آوری یون باید از ٪ ۹۹ بیشتر باشد[٦]. در اتاقک یونش ساخته‌شده در بدترین حالت ٪ ۹۹/۹۲ می‌باشد.

۴،۳. جریان نشتی

در شرایط ایده‌آل باید زمانی که عمل پرتودهی به آشکارساز قطع می‌شود، الکترومتر جریانی نشان ندهد اما معمولا وقتی به آشکارساز ولتاژاعمال می‌شود از سطح داخلی عایق‌های موجود بین الکترودها جریانی نشت می‌یابد که موجب ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.مطابق استاندارد، اگر جریان نشتی پس از قطع پرتودهی در مدت زمان ۵ ثانیه به کمتر از ۱٪ جریان اصلی برسد می‌توان از آن صرف‌نظر کرد[٦]. در اتاقک یونش ساخته شده پس از قطع پرتودهی در مدت زمان حدود ۲ ثانیه، این جریان به کمتر از ٪ ۱ جریان اصلی می‌رسد. در چندبار تکرار این آزمایش همین نتیجه حاصل شد که نشان دهنده‌ی ناچیز بودن جریان نشتی این اتاقک یونش می‌باشد.

۵،۳. آزمایش پایداری

برای بررسی نتایج حاصل از آزمایش پایداری، اتاقک یونش را که ولتاژ ٤۰۰V به آن اعمال شده، ۱۰ مرتبه تحت تابش دستگاه پرتو درمانی ^{60}Co picker v9 قرار می‌دهیم که برای حصول نتیجه‌ی بهتر، هر مرحله اندازه گیری بار ۵ مرتبه تکرار می‌شود. **سپس** میانگین بارهای جمع آوری شده ی حاصل از یونش در هر مرحله محاسبه شده و در نهایت مقدار حاصل در هر مرحله، به میانگین کل بارها در تمامی مراحل تقسیم می‌شود و نتیجه در نموداری تحت عنوان نمودار پایداری مطابف شکل(۳) نشان داده می‌شود.

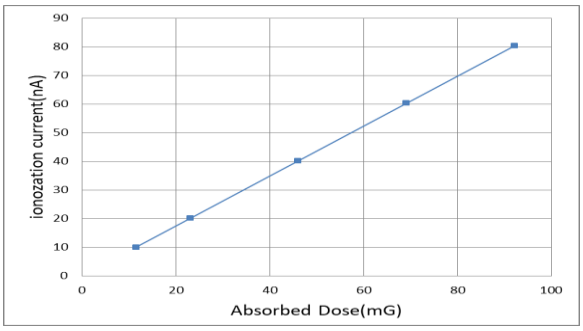


شکل (۳): نتیجه‌ی پایداری اتاقک یونش ساخته.

مطابق استاندارد، ماکزیمم خطای پایداری برای یک اتاقک یونیزاسیون نباید از ٪ ۰/۳± بیشتر باشد[٦]. بر اساس آن چه که در شکل (۳) نشان داده شده است، ماکزیمم انحراف معیار از میانگین کل بار های اندازه گیری شده در اتاقک یونش ساخته شده، کمتر از ٪ ۰/۱ می‌باشد.

۶،۳. خطی بودن پاسخ نسبت به دز جذبی

در این آزمایش اتاقک یونش ساخته شده تحت تابش بیم دستگاه پرتو درمانی ^{60}Co picker v9 در فاصله‌ی ثابت قرار گرفته و در ۵ حالت مختلف دز جذب شده، مقدار بار ثبت شده ی حاصل از یونیزاسیون توسط اتاقک یونش ساخته شده، اندازه گیری می‌شود. انتظار می‌رود مقدار بار اندازهگیری شده بر حسب دز جذب شده دارای یک رابطه خطی باشد.

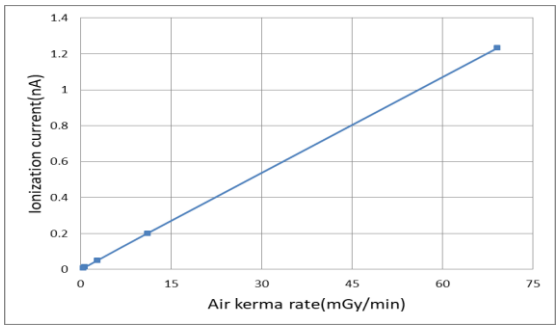


شکل (۴): نتیجه‌ی خطی بودن پاسخ برحسب دز جذبی.

شکل (٤) رابطه ی بار جمع آوری شده ی حاصل از یونش بر حسب دز جذب شده را نشان می دهد. مطابق این شکل، اتاقک یونش ساخته شده دارای یک رابطه ی خطی نسبت به دز جذب شده، با ضریب همبستگی ۱/۰۰۰ می باشد.

۷،۳. خطی بودن پاسخ نسبت به نرخ کرمای هوا

در این آزمایش اتاقک یونش را در فواصل مختلف از دستگاه پرتودرمانی بین ۰/۸m تا ۱۰m قرار داده و جریان خوانده شده به وسیله الکترومتر را ثبت می کنیم. سپس با استفاده رابطه(۱) جریان ناشی از یونیزاسون بدست می‌آید. در ادامه نمودار حاصل از جریان یونیزاسیون بر حسب نرخ دز کرمای هوا مطابق شکل(۵) رسم می‌شود.



شکل (۵): نتیجه‌ی خطی بودن پاسخ برحسب نرخ کرمای هوا.

مطابق شکل(۵) رابطه‌ی بین جریان یونیزاسیون و نرخ کرمای هوا در فواصل مختلف به صورت خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۹ می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

تغییرات به کار رفته در طرح حاضر نسبت به نمونه های مشابه، ازجمله تغییر در جنس الکترود جمع کننده و پنجره‌ی ورودی آشکارساز، طراحی بهینه الکترود محافظ، بکارگیری ایده های جدید و مناسب در نحوه‌ی اتصالات الکترودها و طراحی خاص ساختمان داخلی اتاقک یونش و نحوه قرار

گرفتن الکترود جمع کننده و محافظ و عایق های به کـار رفتـه سبب بهبود چشمگیر عملکرد اتاقک یـونش در میـدان پرتـو و کاهش حداکثری خطاهای نمونه‌های مشابه گردیـد. کـه نتـایج آزمایش‌هـای کنتـرل کیفـی در آزمایشـگاه دزیمتـری اسـتاندار ثانویه(SSDL) سازمان انرژی اتمی گواه این امر می باشد.

۵. قدردانی

ازکارکنان محترم آزمایشـگاه دزیمتـری اسـتاندارد ثانویـه سازمان انرژی اتمی در راستای انجام آزمایش‌های کنترل کیفـی و هم‌چنین از بخش تراشکاری دانشگاه صـنعتی شـریف بـرای صرف زمان و دقت بالا جهت تراشـکاری قطعـات مـورد نیـاز اتاقک یونش ساخته شده صمیمانه تشکر می‌شود..

۵. مراجع

[1] F.M. Khan. Physics of Radiation Therapy. University of Minnesota Medical schoo, Minnesota, (2003).
[2] F.H. Attix. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. WILEY VCH Verlag GmbH & Co, KgaA, (2004).
[3] A.P. Perini, L.P. Neves, J.M. Fernandez, H.J. Khoury, L.V.E. Caldas. New Parallel-Plate Graphite Ionization Chamber as a Co(60) Gamma Radiation Reference Instrument. Radiation Physics and Chemistry. 95 (2014) 106–108.
[4] IAEA. Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice, Technical Reports Series no.457, Vienna, (2007).
[5] IAEA. The use of plane-parallel ionization chambers in high-energy electron and photon beams: an international code of practice for dosimetry, Technical Reports Series no.381, Vienna, (1997).
[6] IEC. Medical electrical equipment dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy, Standard IEC 60731, Geneva, (2007).