



## طراحی، ساخت و سنج‌بندی دزیمتر نوین فردی

مرتضی ذوالقدر<sup>۱</sup>، سید محمد مهدی ابطی<sup>۱\*</sup>، کامران سپانلو<sup>۲</sup>، احسان ظریفی<sup>۲</sup>  
۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، کد پستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸، قزوین - ایران  
۲. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۱۳۳۹، تهران - ایران

\*Email: sm.abtahi@sci.ikiu.ac.ir

### مقاله فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۵/۲۶

### چکیده

هدف از پژوهش حاضر ساخت نوعی دزیمتر فردی است که بتواند با قابلیت اتصال به ادوات الکترونیکی، داده‌های مربوط به آهنگ دز و همچنین دز تجمعی را به صورت برخط منتقل نماید. به این منظور یک برد الکترونیکی طراحی شد. برد به وسیله نرم‌افزار Altium Designer شبیه‌سازی شد. سپس به وسیله نرم‌افزار Code Vision برنامه‌نویسی میکروکنترلر صورت گرفت. صحت عملکرد مدار به وسیله نرم‌افزار Proteus Design Suite بررسی شد. در مرحله بعدی، آزمون و عیب‌یابی مدار به صورت تجربی انجام شد. ضریب سنج‌بندی و ضریب تبدیل شمارش به دز با استفاده از یک اتاقک یونش در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه ایران به دست آمد. توزیع دز برحسب فاصله از چشمه با نتایج توزیع دز حاصل از اتاقک یونش کالیبره شده مورد مقایسه قرار گرفت. به این منظور از چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بدون حفاظ، با حفاظ سربی به ضخامت ۲۲ mm و همچنین دو حفاظ سربی به ضخامت‌های ۱۸ mm و ۲۲ mm استفاده شد. با توجه به نتایج، برای دزیمتر ساخته شده، ضریب سنج‌بندی  $0.99 \pm 0.02$  به دست آمد. نتایج سنج‌بندی نشان داد این دستگاه تمامی الزامات ISO/IEC ۱۷۰۲۵:۲۰۰۵ را برآورده کرده است. همچنین نتایج در هر سه حالت توزیع دز مربوط به چشمه بدون حفاظ، با حفاظ تک سرب و با حفاظ دو سرب اختلاف کم‌تر از ۰.۰۱٪ را بین دزیمتر ساخته شده و دزیمتر مرجع نشان داد. نتایج حاصل نشان داد دزیمتر ساخته شده می‌تواند به عنوان یک دزیمتر مرجع و استاندارد در مراکز آزمایشگاه، برای مانیتورینگ و دزیمتری پرتوهای فوتون یونیزان مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: دزیمتر فردی، دزیمتری، گایگرمولر، سنج‌بندی

## Design, fabricating, and calibration of a new personal dosimeter

M. Zolghadr<sup>1</sup>, S.M.M. Abtahi<sup>1\*</sup>, K. Sepanloo<sup>2</sup>, E. Zarifie<sup>2</sup>

1. Physics Department, Basic Science Faculty, Imam Khomeini International University, P.O. Box: 3414896818, Qazvin, Iran  
2. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 14155-1339, Tehran - Iran

### Technical Paper

Received 12.4.2020, Accepted 16.8.2020

### Abstract

This study aimed to produce a personal dosimeter to connect the electronic devices to transfer the dosimetry data online including dose rate data and integral dose. At first, an electronic board was designed. Afterwards, the board was simulated using Altium Designer software. Then, the microcontroller programming was performed using Code Vision software. The performance of the elements was tested using Proteus Design Suite software and the circuit diagnosis and testing were practically implemented. Afterwards, the calibration factor and the count-to-dose conversion coefficient were obtained using an ionization chamber in the Secondary Standard Dosimetry Laboratory of Iran. Furthermore, dose distribution as a function of distance to the source, was obtained using the produced dosimeter and was compared using a calibrated ionization chamber. To this purpose, an unmitigated Cs-137 source, a Cs-137 source with a 22 mm Pb shield, and a Cs-137 source with a 22 mm plus 18 mm shield were used. The results showed a calibration factor of  $0.99 \pm 0.02$  for the designed dosimeter. Calibration results showed that the produced dosimeter passed the ISO/IEC 17025:2005 criteria. Furthermore, the dose distribution results demonstrated negligible differences of less than 0.01% between the produced dosimeter and the reference ionization chamber. It was concluded that the produced dosimeter could be used as a reference and standard dosimeter in laboratories, for monitoring and dosimetry of ionizing photon radiations.

**Keywords:** Personal dosimeter, Dosimetry, Geiger Muller, Calibration



## ۱. مقدمه

اگر چه کاربردهای پرتوهای یون‌ساز در امور مختلف بسیار مفید و منحصر به فرد است، اما عدم رعایت نکات ایمنی به هنگام کار با پرتوهای یونیزان می‌تواند خطرات جدی برای کارکنان، مردم، محیط زیست و حتی نسل‌های آینده به همراه داشته باشد [۱].

در ۱۲۰ سال گذشته تلاش‌های مستمری در جهت توسعه‌ی ابزارهایی برای آشکارسازی انواع پرتوهای مختلف در گستره‌های انرژی و زوایای برخوردی صورت گرفته است و به‌طور موازی کمیسیون بین‌المللی اندازه‌گیری و یکه‌های پرتو<sup>۱</sup> اصول کمیت‌های کاربردی مختلفی مانند دز معادل محیطی، دز معادل فردی و غیره را توسعه و گسترش داده است. هم‌چنین کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی<sup>۲</sup> تلاش‌های زیادی برای تعریف کمیت‌هایی چون دز معادل، دز مؤثر و غیره داشته است [۲].

با توجه به حضور پرتوها در زندگی روزانه بشر، دسترسی به دزسنجی اهمیت فراوانی پیدا می‌کند [۳]. برای تعیین دز جذبی، سیستم‌های دزیمری فعال مانند اتاقک یونش و دزسنج‌های پالسی و تجمعی مانند فیلم پرتونگاری، فیلم گف کرومیک<sup>۳</sup>، روش‌های لومینسانس و دزیمرهای ردپای هسته‌ای حالت جامد مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند [۴]. یکی از رایج‌ترین دزیمرهای مورد استفاده در بسیاری از کاربردهای صنعتی، تیوب گایگرمولر است. این آشکارساز یکی از قدیمی‌ترین و نیز ساده‌ترین آشکارسازهای پرتو به‌شمار می‌رود. شمارنده‌های گایگرمولر به‌دلیل مقاومت بالا در محیط‌های سخت، هزینه‌ی پایین، الکترونیک به نسبت ساده، ساختار ساده و سیگنال‌های خروجی بزرگ مرسوم‌ترین ابزار در زمینه حفاظت پرتوی هستند [۵].

عملکرد این آشکارساز مبتنی بر یونش تولید شده از پرتو در هنگام عبور پرتوها از گاز است. این دستگاه متشکل از یک مولد ولتاژ<sup>۷</sup>، مقاومت خیلی زیاد  $R$  و دو الکتروود هم‌محور است که به‌طور کامل نسبت به هم عایق‌بندی شده‌اند. فضای بین الکتروودها از یک گاز پر شده است. در حقیقت ناحیه حساس یک تیوب گایگرمولر، یک خازن استوانه‌ای را شکل می‌دهد. پرتو یونیزان با عبور از فضای بین الکتروودها، تمام یا بخشی از

انرژی خود را با تولید زوج‌های الکترون-یون از دست می‌دهد. این الکترون‌ها و یون‌ها حامل‌های باری هستند که تحت تأثیر میدان الکتریکی حرکت می‌کنند. جمع‌آوری آن‌ها جریانی در الکتروودها ایجاد می‌کند و با استفاده از الکترونیک مناسب می‌توان بار تولید شده از پرتو را به یک تپ سیگنال تبدیل نمود که در این صورت تک تک ذرات شمرده می‌شوند. یک آشکارساز گایگرمولر، همان‌طور که از نامش پیداست، در ناحیه گایگرمولر در منحنی ولتاژ-بار کار می‌کند. نواحی منحنی ولتاژ-بار به ترتیب عبارتند از ناحیه بازترکیب، ناحیه یونش، ناحیه تناسبی، ناحیه گایگرمولر و ناحیه شکست. خواننده علاقه‌مند در زمینه نواحی عملکرد آشکارسازها به مرجع شماره [۶] ارجاع داده می‌شود. پاسخ این آشکارساز مستقل از نوع و انرژی ذره است که مهم‌ترین ایراد آن به‌شمار می‌آید. بنابراین فقط اطلاعاتی پیرامون تعداد ذرات به‌دست می‌دهند. ایراد دیگر آن بازدهی ذاتی پایین (حدود ۰.۱٪) برای گاما در گستره‌ی وسیعی از انرژی‌های فوتونی است. هم‌چنین زمان مرگ آن نیز بزرگ است [۷، ۸].

هدف از این مطالعه طراحی و ساخت یک دزیمر با به‌کارگیری شمارنده گایگرمولر با استفاده از فن‌آوری‌های به‌روز برای بهبود و توسعه دزیمری است. در این کار، با استفاده از فن‌آوری‌های نوین در صنایع الکترونیک، دزیمری فردی با حساسیت قابل توجه در پاسخگویی سریع به تغییرات کوچک میزان تشعشع ساخته شده است. این دزیمر قادر به نمایش دز فردی، آهنگ دز و دز در بازه زمانی مشخص است و قابلیت اتصال به رایانه و سایر ابزارهای الکترونیکی را جهت انتقال و ذخیره اطلاعات به‌صورت بی‌سیم و باسیم را دارد.

## ۲. مواد و روش‌ها

## ۲.۲ تیوب آشکارساز

در این مطالعه از شمارنده گایگر مولر ۷۱۳ LND (OCEANSIDE, NEW YORK, USA) استفاده شد. تصویری از تیوب گایگرمولر استفاده شده در شکل ۱ نمایش داده شده است. این آشکارساز دارای طول و قطر مؤثر به ترتیب برابر با ۲۷/۹ و ۷/۷۷ mm می‌باشد. گازهای پر شده آن نئون و نوعی هالوژن (نوع آن به‌طور دقیق توسط شرکت سازنده مشخص نشده است) است. کمینه زمان مرگ آن ۴۵  $\mu$ s و گستره ولتاژ کاری آن ۴۵۰ V تا ۶۵۰ V می‌باشد.

1. International Commission on Radiation Units and Measurements
2. International Commission on Radiological Protection
3. Gafchromic Film



عملی، آزمون صحت عملکرد مدار در این مرحله به وسیله نرم افزار پروتئوس انجام شد. سپس میکروکنترلر برنامه ریزی شد و مدار مورد نظر روی برد بسته شد. در مرحله بعد آزمون و عیب یابی مدار به صورت تجربی با وصل منبع تغذیه و تیوب آشکارساز به مدار انجام شد. پالس قیاسی در میکروکنترلر به پالس رقومی تبدیل شده و در نهایت شمارش ها در میکرو به دز تبدیل می شوند. در عین حال، محاسبات انجام شده به وسیله میکروکنترلر بر روی صفحه نمایشگر نشان داده می شود. نمایی از مدار بسته شده و تکمیل دزیتر ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

جهت تبدیل تعداد ذرات آشکار شده به دز جذبی از رابطه ۱ استفاده شد. این رابطه با استفاده از مقایسه پاسخ دزیتر ساخته شده با دز جذبی حاصل از اتاقک یونش در آزمایشگاه استاندارد ثانویه<sup>۵</sup> (کرج، ایران) در پرتو دهی به وسیله چشمه  $^{137}\text{Cs}$  حاصل شد.

$$D = ce^{((ac)/(1-bc))} \quad (1)$$

که در آن  $D$  نماینده مقدار دز جذبی بر حسب  $\mu\text{Sv}$ ، نشان دهنده تعداد شمارش در آشکارساز،  $a$  یک مقدار ثابت برابر با  $10^{-5} \times (0.2 \pm 0.42)$  و  $b$  یک ثابت با مقدار  $10^{-4} \times (0.0 \pm 0.10)$  می باشد. در مدارها با تغییر در ورودی ها و خروجی ها، ولتاژ- بالا تغییر می کند حال اگر مدار توان و بازخورد<sup>۶</sup> درستی هم نداشته باشد، ولتاژ دائما نوسان خواهد داشت. اما در مدار فوق، میکروپالس یک مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ایجاد می کند که این مدولاسیون پهنای پالس به یک ترانس داده می شود. پالس تولید شده به وسیله یک ترانس، یکسو و چند برابر می شود. پالس تقویت شده به شمارنده گایگرمولر داده می شود. خروجی شمارنده گایگرمولر به عنوان ورودی به میکروکنترلر داده می شود. میکرو مدام پالس ورودی را تقویت می کند تا به ولتاژ مدنظر برسد. در این مرحله پالس به وسیله میکروکنترلر ثابت نگاه داشته می شود و در نتیجه خروجی هم ثابت می ماند.

برای به دست آوردن شیب مسطح تیوب آشکارساز، از یک چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با فعالیت  $1.85 \text{ MBq}$  در فاصله یک سانتی متری از آشکارساز استفاده شد.



شکل ۱. شمارنده گایگرمولر LND ۷۱۳.

## ۲.۲ برد الکترونیک

### ۱.۲.۲ میکروکنترلر

در این پژوهش از یک میکروکنترلر (ATMEL, AVR Atmega ۴۸) استفاده شد.

### ۲.۲.۲ نرم افزارهای به کار گرفته شده

از نرم افزار آلتیوم دیزاینر<sup>۱</sup> برای پیاده سازی طرحواره، طراحی برد الکترونیکی و آنالیز مدارها استفاده شد. این نرم افزار توانایی طراحی چند لایه ای بردهای الکترونیکی<sup>۲</sup> در محیط دوبعدی و هم چنین سه بعدی را دارد.

از نرم افزار پروتئوس<sup>۳</sup> به منظور شبیه سازی مدارهای الکترونیکی استفاده شد.

نرم افزار کامپایلر کدویژن<sup>۴</sup> برای برنامه ریزی و عیب یابی میکروکنترلر مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳.۲.۲ منبع تغذیه

در این کار از باتری قابل شارژ با ترکیب شیمیایی لیتیم-یون  $18650$  (Li-ion) استفاده شده که از باتری های قابل شارژ از گروه های سلول های الکتروشیمیایی ذخیره کننده انرژی الکترونیکی هستند.

### ۳.۲ روش انجام کار

بر اساس هدف پژوهش حاضر نوع و مقدار هر یک از المان های سخت افزار (ورودی، پردازشگرهای سیگنال، خروجی) مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله بعد برد به وسیله نرم افزار آلتیوم دیزاینر طراحی و شبیه سازی شد. سپس برنامه نویسی میکرو به وسیله نرم افزار کدویژن صورت گرفت. قبل از پیاده سازی

1. Altium Designer, Ver. 18.0.12
2. Printed Circuit Board
3. Proteos, Ver. 8.8
4. CodeVisionAVR, Ver. 3.28

5. Secondary Standard Dosimetry Lab  
6. Feedback



است و تعداد شمارش بر ثانیه<sup>۳</sup> آن ثبت شد. جهت اعتبارسنجی پاسخ دزیمر ساخته شده، از روشی که توسط آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمری پیشنهاد شد، استفاده گردید. یک‌بار یک حفاظ سربی با ضخامت ۲۲ mm بین چشمه <sup>۱۳۷</sup>Cs و دزیمر قرار داده شد. به این چیدمان در اصلاح حالت یک‌سرب گفته می‌شود. برای حالت یک‌سرب توزیع دز جذبی در فواصل مختلف چشمه به‌وسیله دزیمر ساخته شده بررسی شد و با نتایج حاصل از اتافک یونش مرجع با چیدمان یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. سپس یک لایه سربی دیگر به ضخامت ۱۸ mm به حفاظ حالت یک‌سرب اضافه شد و توزیع دز توسط دزیمر ساخته شده مجدد بررسی شده و با نتایج اتافک یونش مرجع در چیدمان مشابه مورد مقایسه قرار گرفت. به چیدمان دوم در اصلاح حالت دو سرب گفته می‌شود. این ضخامت‌ها براساس توصیه آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمری به‌عنوان یک روش مرسوم برای اعتبارسنجی دزیمرها انتخاب شدند. علاوه بر دو مورد فوق، دزیمر ساخته شده در فواصل مختلف از چشمه <sup>۱۳۷</sup>Cs در آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمری قرار داده شد تا توزیع دز برحسب فاصله، برای حالتی که حفاظی بین چشمه و دزیمر قرار ندارد، نیز بررسی شود. نتایج چیدمان اخیر نیز با نتایج حاصل از اتافک یونش کالیبره شده در چیدمان پرتودهی یکسان مورد مقایسه قرار گرفت.

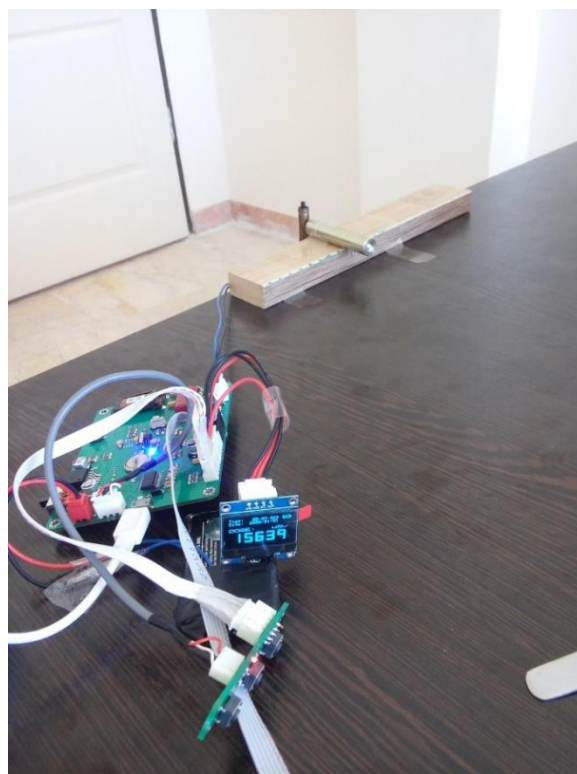
### ۳. نتایج

#### ۱.۳ شیب مسطح

برای به‌دست آوردن شیب ناحیه مسطح آشکارساز، سیستم طراحی شده در مد شمارش تنظیم شد و در مجاورت چشمه <sup>۱۳۷</sup>Cs قرار داده شد. به‌ازای ولتاژهای اعمالی در بازه ۳۰۰ تا ۷۵۰ V، برای هر ولتاژ حداقل ۱۰ بار شمارش و هر شمارش به مدت ۱ دقیقه انجام شد. میانگین شمارش‌های صورت گرفته به‌دست آمد و منحنی شمارش برحسب ولتاژ ترسیم شد (شکل ۳). درصد نسبی تغییرات در ناحیه مسطح با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{شیب} = \frac{(c_2 - c_1)}{c_1} \times 100 \quad (2)$$

$C_2$  آخرین شمارش و  $C_1$  اولین شمارش در ناحیه مسطح است.  $V_2$  نشان‌دهنده آخرین ولتاژ اعمالی و  $V_1$  اولین ولتاژ اعمالی در ناحیه پلات است.



شکل ۲. نمایی از برد تکمیل شده و در حال کار دزیمر ساخته شده.

در نهایت بعد از بررسی مدار و اطمینان صحت عملکرد دزیمر به‌منظور سنج‌بندی و محاسبه‌ی ضریب سنج‌بندی<sup>۱</sup> و هم‌چنین به‌دست آوردن ضریب تبدیل<sup>۲</sup> شمارش به دز، دزیمر طراحی شده به آزمایشگاه دزیمری استاندارد ثانویه فرستاده شد.

سنج‌بندی دزیمرها در میدان‌های پرتویی گوناگون بر طبق گزارش ایمنی شماره ۱۶ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی [۹] صورت گرفت. شرایط محیطی آزمایشگاه سنج‌بندی در دما  $25^{\circ}\text{C}$ ، فشار ۸۵۱ mBar، رطوبت نسبی ۴۰٪ و آهنگ دز زمینه  $0.14 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  بود. یک اتافک یونش (PTW LS-۰۱) به‌عنوان دزیمر مرجع، با شماره گواهی‌نامه IRN/۲۰۱۷/۱، که آخرین بار حدود یک سال قبل از انجام آزمایش‌ها سنج‌بندی شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. سنج‌بندی با استفاده از یک چشمه استاندارد <sup>۱۳۷</sup>Cs (تولید شده در آلمان، مدل OV85) با اکتیویته ۲۰ Ci و انرژی ۶۶۲ keV انجام پذیرفت. بدین‌ترتیب از قبل در میدان پرتو در یک سری نقاط آزمون آزمایشگاه دزیمر مرجع قرار گرفت و دزهای اندازه‌گیری شده به‌وسیله دزیمر مرجع ثبت شد. برای سنج‌بندی، دزیمر طراحی شده در همان میدان پرتو و نقاط آزمون قرار گرفته

1. Calibration Factor
2. Conversion Factor



## ۲.۳ سنجه‌بندی

نتایج آزمون سنجه‌بندی برای سه پرتو دهی دوسرب، یکسرب و بدون حفاظ در جدول‌های ۱ تا ۳ گزارش شده است. فاصله‌های بررسی شده در حالت‌های یک سرب، دوسرب، و بدون سرب براساس پیشنهاد آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمتری بر اساس شیوه‌نامه موجود در آن آزمایشگاه انتخاب شدند. ضریب تبدیل شمارش به دز از تقسیم پاسخ دز مرجع (به‌دست آمده توسط اتاقک یونش در آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمتری) بر شمارش دزیمتر ساخته شده به‌دست آمد. ضریب تبدیل نهایی به ازای هر واحد شمارش در ثانیه میانگین‌گیری ضریب‌های تبدیل محاسبه شده است که مقدار  $1,373 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  حاصل شد که در پاسخ‌های دزیمتر (CPS) ضرب شده و آن‌ها را به دز تبدیل کرده است. با استفاده از روش انتشار خطا [۱۰]، خطای ضریب‌های تبدیل، خطای ضریب تبدیل نهایی و خطای دز اندازه‌گیری شده به‌وسیله دزیمتر ساخته شده محاسبه شد.

جدول ۱. نتایج سنجه‌بندی در شرایط دو سرب

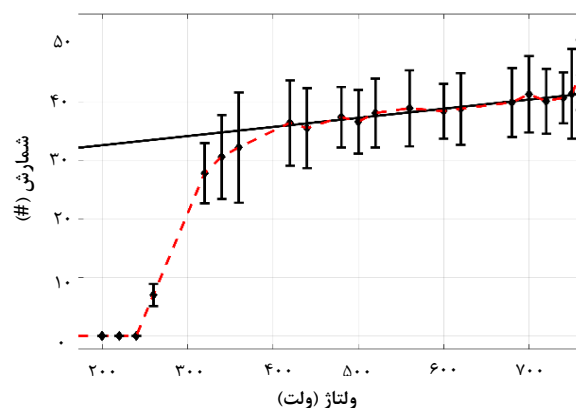
فاصله (m)	دز مرجع ( $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ )	شمارش در ثانیه (#)	خطای استاندارد
۶	۱۲,۷۷	۸,۵۹	۰,۴۱
۵	۱۸,۵۶	۱۴,۷۸	۰,۵۴
۴	۲۸,۴۸	۲۱,۷۲	۰,۵۱
۳	۵۲,۶۵	۳۸,۱۱	۱,۲۰

جدول ۲. نتایج سنجه‌بندی در شرایط یکسرب

فاصله (m)	دز مرجع ( $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ )	شمارش در ثانیه (#)	خطای استاندارد
۶	۱۰۰,۰۴	۷۱,۹۳	۱,۰۲
۵	۱۴۵,۰۰	۱۰۶,۶۹	۳,۴۰
۴	۲۲۸,۸۸	۱۶۷,۵۶	۳,۹۴
۳	۴۱۰,۱۳	۲۹۳,۴۰	۲,۴۷
۲,۵	۵۸۴,۱۱	۴۲۱,۷۷	۳,۱۰
۲	۶۵۳,۶۰	۶۵۳,۶۰	۱۴,۱۰

جدول ۳. نتایج سنجه‌بندی بدون حضور هیچ حفاظی

فاصله (m)	دز مرجع ( $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ )	شمارش در ثانیه (#)	خطای استاندارد
۶	۱۳۶۲,۱۵	۹۳۲,۸۸	۶,۳۴
۵	۱۹۳۷,۷۴	۱۳۰۷,۶۰	۱۹,۵۴
۴	۳۱۱۵,۲۲	۱۹۴۷,۶۰	۲۵,۷۰
۳	۵۵۵۵,۸۷	۳۰۶۷,۸۰	۲۶,۷۰
۲,۵	۷۹۲۲,۰۴	۴۱۲۸,۶۰	۵,۹۰
۲	۱۲۲۸۹,۵۰	۵۱۷۹,۱۰	۴۸,۵۶
۱,۵	۲۱۸۰۵,۷۰	۶۶۰۱,۲۰	۴۴,۸۸
۱,۲۵	۳۱۳۴۰,۳۰	۷۲۹۰,۲۰	۱۰۱,۵



شکل ۳. نمودار شمارش برحسب ولتاژ شمارنده گایگرمولر ۷۱۳ LND. خط چین که به کل داده‌ها برازش شده برای راهنمایی چشم می‌باشد. در ناحیه مسطح برازش خطی صورت گرفته است.

یک خط به ناحیه مسطح برازش شد. مقادیر  $R^2$  و  $Adjusted R^2$  به‌عنوان پارامترهای خوبی برازش برای معادله خط در ناحیه مسطح به‌ترتیب ۰,۹۶ و ۰,۹۷ به‌دست آمد. درصد تغییرات در ناحیه مسطح ۲٪ به‌دست آمد که این مقدار براساس داده‌های کاتالوگ آشکارساز باید کمتر از ۸٪ باشد. ولتاژ کار برای یک شمارنده گایگرمولر با اضافه کردن حدود یک‌سوم تا یک‌دوم بازه ولتاژ در گستره مسطح (در نمودار شمارش برحسب ولتاژ) به ولتاژ شروع ناحیه مسطح (زانوی منحنی) به‌دست می‌آید. نتایج شکل ۳ زانوی منحنی را در ولتاژی در حدود  $420 V$  نمایش می‌دهد. گستره مسطح در ناحیه  $420 V$  تا  $720 V$  است (در ولتاژ بالاتر تیوب به ناحیه شکست می‌رود که بررسی نشد). بنابراین ولتاژ کاری مناسب بین  $520 V$  تا  $570 V$  قرار داشت. بازه مسطح در کاتالوگ تیوب گایگر بین  $450 V$  تا  $650 V$  است.

در ولتاژهای پایین عملاً ذره‌ای شمارش نمی‌شود ولی با افزایش ولتاژ تا ولتاژ آستانه، آهنگ شمارش ناگهان رشد می‌کند تا آستانه ناحیه مسطح که در آن نسبت به تغییرات ولتاژ حساسیت اندکی نشان می‌دهد. این محدوده بهترین محدوده ولتاژ برای کار با شمارنده است. با افزایش بیشتر ولتاژ ورود به ناحیه تخلیه الکتریکی، آهنگ شمارش رشد دوباره‌ای پیدا می‌کند. اما در دزیمتر کنونی علاوه بر اعمال ولتاژ در ناحیه مسطح آن به‌گونه‌ای تعریف و تنظیم شده است که همواره ثابت و بدون نوسان است تا بتوان به بیشینه دقت ممکن در پاسخ دزیمتر دست پیدا کرد.





جدول ۴. دز محاسبه شده دزیمر و خطای آن در دوسرب

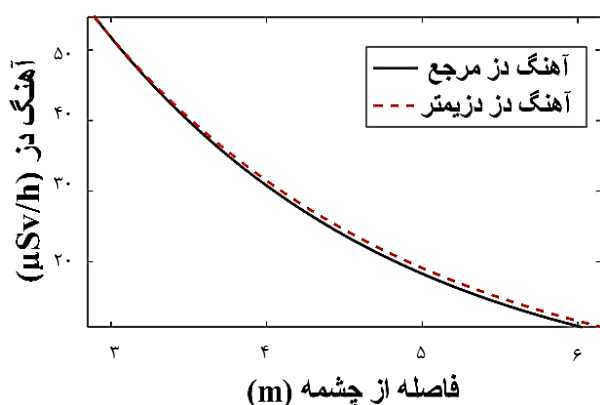
فاصله (m)	دز دزیمر ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	خطای دز ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )
۶	۱۱٫۸۱	۰٫۵۷
۵	۲۰٫۲۸	۰٫۷۵
۴	۲۹٫۷۹	۰٫۷۲
۳	۵۲٫۳۱	۱٫۷۰

جدول ۵. دز محاسبه شده‌ی دزیمر و خطای آن در یک‌سرب

فاصله (m)	دز دزیمر ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	خطای دز ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )
۶	۹۸٫۵۶	۱٫۵۱
۵	۱۴۶٫۴۹	۴٫۷۵
۴	۲۳۰٫۰۶	۵٫۶۰
۳	۴۰۲٫۸۴	۴٫۱۴
۲٫۵	۵۷۹٫۰۹	۵٫۴۵
۲	۸۹۷٫۴۰	۲۰٫۰۶

جدول ۶. دز محاسبه شده‌ی دزیمر و خطای آن بدون حضور حفاظ

فاصله (m)	دز دزیمر ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	خطای دز ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )
۶	۱۲۸۰٫۸۴	۱۱٫۵۰
۵	۱۷۹۵٫۳۳	۲۸٫۸۰
۴	۲۶۷۴٫۰۵	۳۸٫۶۰
۳	۴۲۱۲٫۰۹	۴۴٫۲۲
۲٫۵	۵۶۶۸٫۵۷	۳۴٫۲۶
۲	۷۱۱۰٫۹۰	۷۸٫۶۶
۱٫۵	۹۰۶۳٫۴۵	۷۱٫۴۰
۱٫۲۵	۱۰۰۰۹٫۴۴	۱۵۱٫۲۵



شکل ۴. نمودار پاسخ دزیمر ساخته شده و دزیمر مرجع در شرایط دوسرب.

برای پاسخ در ناحیه خطی (ناحیه‌ای که دز به صورت خطی با شمارش تغییر می‌کند) ضریب تبدیل شمارش به دز به صورت رابطه ۳ نوشته می‌شود:

$$CF = \frac{\bar{D}}{cps} \quad (3)$$

که در آن  $\bar{D}$  میانگین آهنگ دز مرجع در تکرار آزمایش با چیدمان یکسان و  $cps$  شمارش بر ثانیه می‌باشد. از آنجا که مقدار مطلق دز گزارش شده توسط آزمایشگاه استاندارد ثانویه دزیمری به عنوان استاندارد جهت کالیبره کردن ابزارهای دزیمری به کار برده می‌شود و این آزمایشگاه نیز مقادیر دز را با خطای بسیار ناچیز گزارش می‌کند، می‌توان از خطای دز مرجع گزارش شده توسط آزمایشگاه استاندارد ثانویه در قیاس با خطای  $cps$  چشم‌پوشی کرد. این چشم‌پوشی بدون ایجاد انحراف قابل توجه در خطای ضریب تبدیل، محاسبات جبری را بسیار ساده‌تر می‌کند. از رابطه ۴ برای محاسبه خطای ضریب تبدیل در هر اندازه‌گیری استفاده شد:

$$\frac{\sigma_{CF}}{CF} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cps}}{cps}\right)^2} \quad (4)$$

که در آن  $\sigma_{CF}$  و  $CF$  به ترتیب نشان‌دهنده خطای ضریب تبدیل و ضریب تبدیل می‌باشند.  $\sigma_{cps}$  خطای آهنگ شمارش می‌باشد که همان انحراف معیار در تکرار شمارش در نظر گرفته شد. خطای ضریب تبدیل نهایی که از میانگین‌گیری ضریب‌های تبدیل در ۱۸ نقطه آزمون به دست آمده است، با رابطه ۵ محاسبه شده است:

$$\sigma_{CF}^{\text{نهایی}} = \frac{1}{18} \sqrt{(\sigma_{CF})_1^2 + (\sigma_{CF})_2^2 + \dots + (\sigma_{CF})_{18}^2} \quad (5)$$

و در نهایت خطای دز دزیمر ساخته شده که از حاصل ضرب ضریب تبدیل نهایی در شمارش به دست می‌آید، با رابطه ۶ محاسبه شده است:

$$\sigma_{\text{دز}} = \sqrt{(cps)^2 (\sigma_{CF})^2 + (CF_{\text{نهایی}})^2 (\sigma_{cps})^2} \quad (6)$$

با ضرب ضریب تبدیل در شمارش دز دزیمر ساخته شده محاسبه شد نتایج در جدول‌های ۴ تا ۶ آورده شده است. مقایسه دزیمر ساخته شده و اتاقت یونش مرجع در سه پرتو دهی سنج‌بندی دوسرب، یک‌سرب و بدون حفاظ به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ نمایش داده شده‌اند.

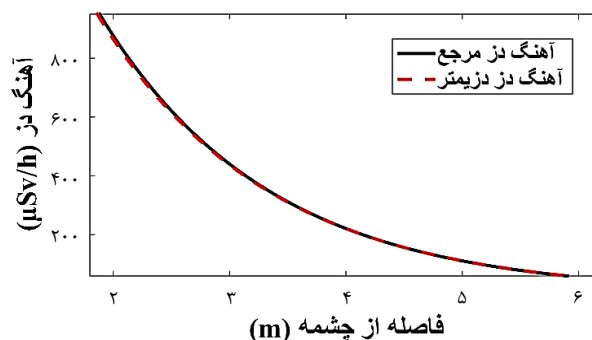


نزدیکی مقدار انتظاری اندازه‌گیری به مقدار واقعی دز است، برای دزیتر ساخته شده  $\pm 5/8\%$  است که طبق استاندارد مذکور این مقدار باید کم‌تر از  $\pm 20\%$  باشد. همچنین خطای تکرارپذیری برای آن  $5/6\%$  است که طبق استاندارد، این مقدار باید کم‌تر از  $\pm 10\%$  باشد. خطای خطی بودن پاسخ دزیتر  $3/3\%$  می‌باشد که استاندارد مذکور خطای کم‌تر از  $\pm 20\%$  را مورد قبول می‌داند. گستره دز قابل اندازه‌گیری برای دزیتر تحت مطالعه ۰ تا  $1000 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  گزارش شده است. عدم قطعیت گسترده بر اساس روش GUM با سطح اطمینان  $95\%$  و ضریب پوششی  $k=2$ ، مقدار  $1/8\%$  برآورده شده است.

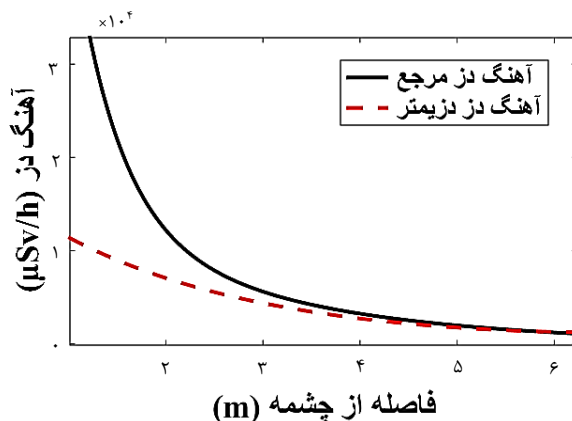
۳.۲ مقایسه دزیتر ساخته شده با دزیترهای رایج دیگر مقایسه بین دزیترهای پرتویی مختلف رایج در جدول ۷ گزارش شده است [۱۲].

#### ۴. نتیجه‌گیری

استفاده از دزیتری براساس گایگرمولر به دلیل سادگی طراحی، اقتصادی بودن و پاسخ مناسب، یکی از کاربردی‌ترین تجهیزات در دزیتری پرتوهای یون‌ساز در گستره انرژی‌های مختلف می‌باشد. دزیتر ساخته شده قادر است که مقادیر دز را در زمان واقعی نشان دهد. از ظرفیت ذخیره اطلاعات بالایی برخوردار است. چندین کمیت مختلف دزیتری به وسیله پردازشگر مرکزی آن محاسبه می‌شود که برای کاربر در هر زمان قابل دسترسی است. دستگاه مذکور قادر است از طریق درگاه‌های ورودی چون کابل USB، اینترنت و Wi-Fi به پایگاه اطلاعات متصل شود. تمامی اطلاعات تحت هر شرایطی در آن ذخیره می‌شوند مگر این‌که به وسیله کاربر یا نوع برنامه نوشته شده حذف شوند. سیستم به منظور اهداف عمومی ساخته شده است و دارای تکنولوژی متن‌باز<sup>۱</sup> است به این معنا که در هر زمان هم از لحاظ نرم‌افزاری و هم سخت‌افزاری می‌توان آن را ارتقا داد. در استفاده و نصب بسیار راحت است، با زدن دکمه روشن دستگاه به صورت خودکار شروع به شمارش ذرات هسته‌ای می‌کند و نتایج بر روی سیستم ذخیره می‌شوند. در پژوهش حاضر صحت عملکرد دزیتر ساخته شده و مدارهای طراحی شده مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. بررسی وابستگی دزیتر ساخته شده به پارامترهای خارجی شامل انرژی پرتو فرودی، جهت پرتو فرودی، دمای محیط و رطوبت محیط جهت پژوهش‌های آتی توصیه می‌شود. بر اساس ویژگی‌های سیستم ساخته شده در مقایسه با سایر سیستم‌ها دارای هزینه‌ی کم‌تری است و نتایج حاصل از سنج‌بندی که به‌طور مفصل به آن‌ها اشاره شد، مشخص می‌کند که این دزیتر می‌تواند به‌عنوان یک دزیتر مرجع و استاندارد در مراکز آزمایشگاه، برای پایش و دزیتری پرتوهای یون‌ساز قرار گیرد.



شکل ۵. نمودار پاسخ دزیتر ساخته شده و دزیتر مرجع در شرایط یک‌سرب.



شکل ۶. نمودار پاسخ دزیتر ساخته شده و دزیتر مرجع بدون حضور حفاظ در مقابل چشمه.

با توجه به داده‌های به‌دست آمده و نمودارهای ترسیم شده، پاسخ‌های دزیتر ساخته شده و دزیتر مرجع با هم سازگار می‌باشند. اما در حالتی که هیچ‌گونه حفاظی در جلوی چشمه سنج‌بندی وجود ندارد، از فاصله ۴ متری، هر چه نقاط آزمون به چشمه نزدیک‌تر می‌شوند، دو دزیتر پاسخ‌های متفاوتی از خود ثبت می‌کنند. به این دلیل که آشکارساز گایگرمولر در این نواحی با توجه به این‌که بدون حفاظ شدت فوتون افزایش یافته، اشباع شده است و پاسخ درستی نخواهد داشت. یکی از راه‌کارهای حل این مشکل انتخاب گایگر با حجم حساس کوچک‌تر می‌باشد. کارکرد دزیتر ساخته شده، فردی است نه محیطی؛ به همین دلیل این دزیتر برای مکان‌هایی با این شدت فوتون استفاده نمی‌شود.

سنج‌بندی این دستگاه تمامی الزامات ISO/IEC ۱۷۰۲۵:۲۰۰۵ [۱۱] را برآورده کرده است و کلیه دزیترها در مقایسه با اتاقک یونش استاندارد کالیبره شده در آزمایشگاه دزیتری آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و بر اساس استاندارد مرجع سنج‌بندی IAEA SRS ۱۶-۲۰۰۰ [۹] کالیبره شده‌اند. ضریب سنج‌بندی نسبت مقدار نشان داده شده کمیت فیزیکی یا دزیتری به مقدار واقعی متناظر آن در میدان مرجع می‌باشد که مقدار آن برای دزیتر مطالعه کنونی  $0.99 \pm 0.02$  به‌دست آمده است. خطای صحت، که میزان

1. Open-Source



جدول ۷. مقایسه بین دزیمترهای رایج و دزیمتر ساخته شده

دزیمتر	زمان واقعی	استفاده مجدد	هزینه	قابلیت	قابلیت ذخیره برخط	قابل اعتماد	متن‌باز
				اتصال به اینترنت	داده‌ها در یک پایگاه اطلاعاتی		
TLD	خیر	بله	پایین	خیر	خیر	بله	خیر
فیلم‌بج	خیر	خیر	-	خیر	خیر	بله	خیر
OSL	خیر	بله	-	خیر	خیر	بله	خیر
دزیمتر جیبی	بله	بله	پایین	خیر	خیر	خیر	خیر
اتاقک یونش	بله	بله	بالا	خیر	-	بله	خیر
گایگرمولر	بله	بله	بالا	خیر	بله	بله	خیر
جرقه‌زن	بله	بله	بالا	خیر	بله	بله	خیر
نیمه‌هادی	بله	بله	-	خیر	-	بله	خیر
دزیمتر ساخته شده	بله	بله	پایین	بله	بله	بله	خیر

## تشکر و قدردانی

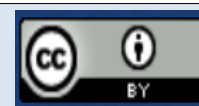
پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی با اعتبار پژوهشی (گرنه) به شماره ۱۰۳۷۲-ikiu به انجام رسیده است. از همکاری پرسنل سازمان انرژی اتمی ایران بخش SSDL کرج کمال قدردانی به عمل می‌آید.

## مراجع

- S. Ceklic, et al., *Performance of radiation survey meters in X- and gamma-radiation field*, *Radiat Protec Dosim*, **162**, 139-143 (2014).
- G.E. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*. 4nd ed. (John Wiley & Sons, New York, (2010)).
- H.W. Patterson, R.H. Thomas, *Chapter 5-the Measurement of Radiation Fields – Radiation Detectors*, in *Accelerator Health Physics*, H.W. Patterson and R.H. Thomas, Editors. 1973, Academic Press. 199-328 (1973).
- S.N. Ahmed, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, 2<sup>nd</sup> ed. (Elsevier (2015)).
- Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*. 2000, Vienna: International Atomic Energy Agency, Safety Reports Series No. 16 (2000).
- N. Tsoulfanidis, *Measurement and detection of radiation – 4<sup>th</sup> ed.* (CRS Press, (2015)).
- F.J. Camino-Sanchez, et al., *UNE-EN ISO/IEC 17025:2005-accredited method for the determination of pesticide residues in fruit and vegetable samples by LC-MS/MS Part A Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment*. *Food additives & contaminants*. **27(11)**, (2010).
- A.-J. Garcia-Sanchez, et al., *Ionizing Radiation Measurement Solution in a Hospital Environment*, *Sensors*, **18**, 510 (2018).
- G. Satta, et al., *Occupational exposure to ionizing radiation and risk of lymphoma subtypes: results of the Epilymph European case-control study*, *Environ Health*, **19**, 43 (2020).
- W. Rühm, et al., *The European radiation dosimetry group-Review of recent scientific achievements*, *Radiat Phys Chem*, **168**, 108514 (2020).
- M. Hosseini Pooya, *Fundamental of External Dosimetry*, 1nd ed. (Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, 2015), In Persian.
- H.I. Shirvanedeh, H.S. Douk, B. Farhood, *Improving and optimizing the structure of a cylindrical ionization chamber for radiation protection dosimetry: Guard electrode and chamber wall*, *Radiat Phys Chem*, **163**, 45-51 (2019).

## COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



## استناد به این مقاله

مرتضی ذوالقدر، سید محمد مهدی ابطحی، کامران سپانلو، احسان ظریفی (۱۴۰۰)، طراحی، ساخت و سنج‌بندی دزیمتر نوین فردی، ۹۵، ۱۲۳-۱۳۰

DOI: 10.24200/nst.2021.1193

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1193.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1193.html)

