

تحلیل عملکردی یک خوانشگر خودکار نسل جدید برای تراشه‌های دزسنجی TLD

سجاد بتیار^{۱*}، سید مهدی حسینی پویا^۲

۱- شرکت خصوصی پرتو نگار شهاب (رادونیک)، تهران، ایران. sbetyar76@gmail.com

۲- شرکت خصوصی پرتو نگار شهاب (رادونیک)، تهران، ایران. smhpooya@gmail.com

خلاصه

خوانشگر TLD مدل TR5500 به‌طور خاص در ایران طراحی و توسعه یافته است تا امکان خوانش خودکار و کارآمد تراشه‌ها و قرص‌های ترمولومینسانس (TL) را فراهم سازد. بر اساس الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) برای آزمایشگاه‌های دزسنجی، استقرار یک سیستم مدیریت کیفیت جامع (QMS) برای تضمین انطباق با معیارهای استاندارد، امری ضروری است. هدف از این مطالعه، ارزیابی ویژگی‌های عملکردی کلیدی این دستگاه، شامل غیرخطی بودن پاسخ، ضرایب تغییرات (COV)، پایداری خوانش در گذر زمان و تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها بوده است. در این راستا، دزسنج‌های ترمولومینسانس نوع LiF:Mg,Cu,P در معرض میدان استاندارد تابش فوتونی قرار گرفتند و سپس با استفاده از خوانشگر TR5500 اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های عملکردی به‌دست‌آمده با معیارهای مشخص‌شده در استانداردهای بین‌المللی IEC و ASTM مقایسه گردید. نتایج نشان داد که دستگاه نه تنها با الزامات حیاتی این استانداردها مطابقت کامل دارد، بلکه در برخی موارد، از آن‌ها فراتر نیز عمل کرده است. این خوانشگر از پایداری و تکرارپذیری بسیار خوبی برخوردار است و قابلیت اطمینان بالای آن، استفاده بلندمدت و روزمره در آزمایشگاه‌های معتبر دزسنجی را کاملاً توجیه‌پذیر می‌سازد.

کلمات کلیدی: TLD، دزسنجی، خوانشگر، آزمون عملکرد، کنترل کیفیت

۱. مقدمه

یکی از مزایای کلیدی خوانشگرهای مبتنی بر تراشه یا قرص TLD، انعطاف‌پذیری بالای آن‌ها در انتخاب، تعویض، پیش‌گرمایش و بازپخت (annealing) دزسنج‌ها در کوره است. این ویژگی به کاربران اجازه می‌دهد تا بسته به نوع کاربرد سیستم دزسنجی، پیکربندی دلخواه خود را اعمال کنند. با این حال، خوانشگرهای تمام‌خودکار که توانایی خوانش متوالی و پیوسته تعداد زیادی از تراشه‌ها یا قرص‌های TLD را داشته باشند، تاکنون تنها به‌صورت محدود توسعه یافته و تجاری‌سازی شده‌اند.

بر اساس الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) برای آزمایشگاه‌های دزسنجی، پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت کیفیت (QMS) به‌منظور تضمین انطباق با معیارهای استاندارد، الزامی است [۱]. در همین راستا، مطالعات متعددی شامل برنامه‌های آزمون نوعی (type-testing) برای ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف خوانشگر TLD توسط پژوهشگران انجام شده است [۲-۸].

در این پژوهش، چندین ویژگی عملکردی یک خوانشگر خودکار ساخت داخل برای تراشه‌های TLD مورد ارزیابی قرار گرفته است.

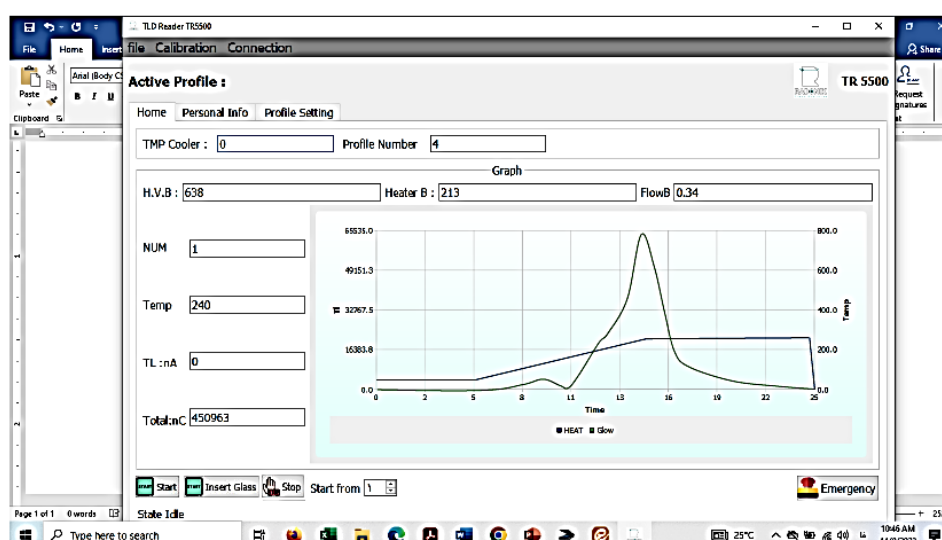
۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه با استفاده از خوانشگر TLD مدل TR-5500 ساخت شرکت Radonik (ایران) انجام شد (شکل ۱-الف). در این سیستم، تعداد ۲۷ عدد تراشه یا قرص TLD به صورت خطی در یک خشاب شماره‌گذاری شده چیده شده‌اند. در حین عملکرد دستگاه، خشاب به صورت پی‌درپی حرکت کرده و هر دزسنج را در موقعیت زیر لوله فوتومولتی‌پلایر (PMT) قرار می‌دهد. در طی فرآیند خوانش، یک پروفایل دمایی-زمانی (TTP) از پیش تعیین شده توسط کاربر، از طریق جریان هوای داغ و خشک به دزسنج اعمال می‌شود. به طور هم‌زمان، هوای خنک به دزسنج‌های مجاور هدایت می‌گردد تا از تداخل حرارتی در اندازه‌گیری‌های بعدی جلوگیری شود. این خوانشگر به منبع نوری LED مرجع (RL) با پایداری بالا مجهز است تا امکان پایش پایداری پاسخ سیستم در هر چرخه خوانش فراهم شود. داده‌های عددی و منحنی‌های تابشی (Glow Curves) نیز از طریق یک رابط نرم‌افزاری اختصاصی که از طریق شبکه LAN متصل است، دریافت شده و در قالب فایل Excel ذخیره می‌گردد.

(الف)



(ب)



شکل ۱ – (الف) سیستم قرائت‌گر خودکار چیب TLD مدل TR-5500 مجهز به خشاب بارگذاری دوزیمتر،
(ب) یک نمونه منحنی تابشی (Glow Curve) مربوط به دوزیمتر Gr-200.

۱.۲. دزسنج‌ها و فرآیند بازپخت حرارتی

در این مطالعه، از دزسنج‌های LiF:Mg,Cu,P نوع GR-200 ساخت کشور چین استفاده شد. فرآیند بازپخت در دمای 240°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت و پس از آن، پیش‌گرمایش در دمای 100°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ثانیه صورت پذیرفت. پارامترهای خوانش شامل موارد زیر بودند:

- حداکثر دما: 240°C درجه سانتی‌گراد

- زمان خوانش: ۴۰ ثانیه

- نرخ افزایش دما: 10°C درجه سانتی‌گراد بر ثانیه

تمامی دزسنج‌ها در آزمایشگاه دزسنجی استاندارد ثانویه (SSDL) ایران، تحت تابش منبع کبالت-۶۰ (^{60}Co) قرار گرفتند. آزمایش‌ها در شرایط محیطی استاندارد آزمایشگاهی انجام شدند که شامل:

- دمای محیط: 23°C درجه سانتی‌گراد

- شدت نور محیط: ۱۵۰ لوکس

۲.۲. غیرخطی بودن پاسخ و محاسبه ضریب تغییرات (COV) بر اساس استاندارد IEC 62387

به‌منظور ارزیابی غیرخطی بودن دستگاه قرائت‌گر، ده گروه از دوزیمترها با استفاده از منبع مرجع کبالت-۶۰ (^{60}Co) در بازه دوزی بین ۰٫۱ تا ۱۰۰۰ میلی‌سیورت پرتودهی شدند. در هفت سطح دوز انتخاب‌شده، چهار بار اندازه‌گیری تکراری انجام گرفت [۹]. همچنین ضریب تغییرات (COV) به‌عنوان نسبت انحراف معیار (SD) به میانگین اندازه‌گیری‌های تکراری و بر حسب درصد محاسبه شد.

۳.۲. آزمون بازتولیدپذیری (بر اساس استاندارد ASTM)

مطابق با استانداردهای ASTM، بازتولیدپذیری دوزیمترهای قابل استفاده مجدد به روش زیر ارزیابی شد:

۱. پرتودهی و قرائت یک دوزیمتر TLD به‌صورت مکرر در 30°C نوبت.

۲. محاسبه میانگین و انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری‌شده [۹].

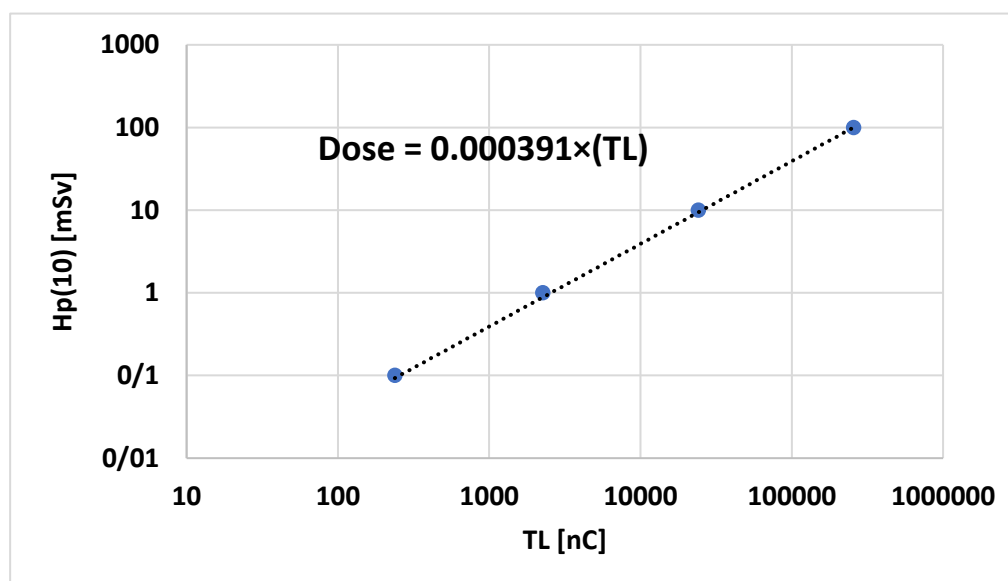
۴.۲. پایداری نور مرجع در لوله فوتومولتی‌پلایر (PMT)

برای پایش پایداری سیستم، تغییرات مقدار نور مرجع PMT در فواصل زمانی مشخص ثبت و بررسی شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. پایداری نور مرجع در لوله فوتومولتی پلایر (PMT)

شکل ۱-ب منحنی تابشی مربوط به یک قرص دوزیمتر GR-200 را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار اختصاصی دستگاه قرائت‌گر به‌دست آمده است. این منحنی شامل تمامی قله‌های مشخصه شامل قله دمای پایین، قله دزیمتری و قله دمای بالا بوده که با الگوی مشاهده‌شده در قرائت‌گرهای تجاری مطابقت دارد. این شباهت بیانگر توانایی سیستم در تفکیک صحیح سیگنال ترمولومینسانس است. منحنی کالیبراسیون برای دزهای Hp (۱۰) در بازه ۰.۱ تا ۱۰۰ میلی‌سیورت در شکل ۲ ارائه شده است. قرائت‌گر در این بازه دزی، پاسخ خطی بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰.۹۹۹۵۵ به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که این سامانه قرائت‌گر در بازه دزی مورد بررسی، پاسخ کاملاً خطی دارد.



شکل ۲ - منحنی کالیبراسیون اولیه با استفاده از قرائت‌گر TLD مدل TR-5500.

۱.۳. غیرخطی بودن پاسخ و ضریب تغییرات

جدول ۱ نتایج کامل به‌دست‌آمده برای بررسی غیرخطی بودن پاسخ سیستم و همچنین مقادیر COV متناظر را نشان می‌دهد. مقادیر محاسبه‌شده مربوط به نابرابری (inequality) به شرح زیر است:

$$0.91 - U_{C,com} \leq \left(\frac{\bar{G}_l}{\bar{G}_{r,0}} \pm U_{com} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_r} \leq 1.11 + U_{C,com} \quad (1)$$

در این ارزیابی، نمادها به صورت روبرو تعریف شده اند: $C_{r,0}$ مقدار مرجع متعارف دز معادل تحویلی تحت شرایط مرجع، $U_{C,com}$ مقدار مرجع متعارف تنها برای دز معادل مرجع، U_{com} عدم قطعیت گسترش یافته برای یک کمیت ترکیبی، عدم قطعیت گسترش یافته برای کمیت ترکیبی از مقادیر مرجع متعارف. این روابط برای تمامی ده سطح دز اعمال شدند. بنابراین، الزامات مربوط به غیرخطی بودن پاسخ مطابق با معیارهای استاندارد IEC برای این ویژگی برآورده شده است.

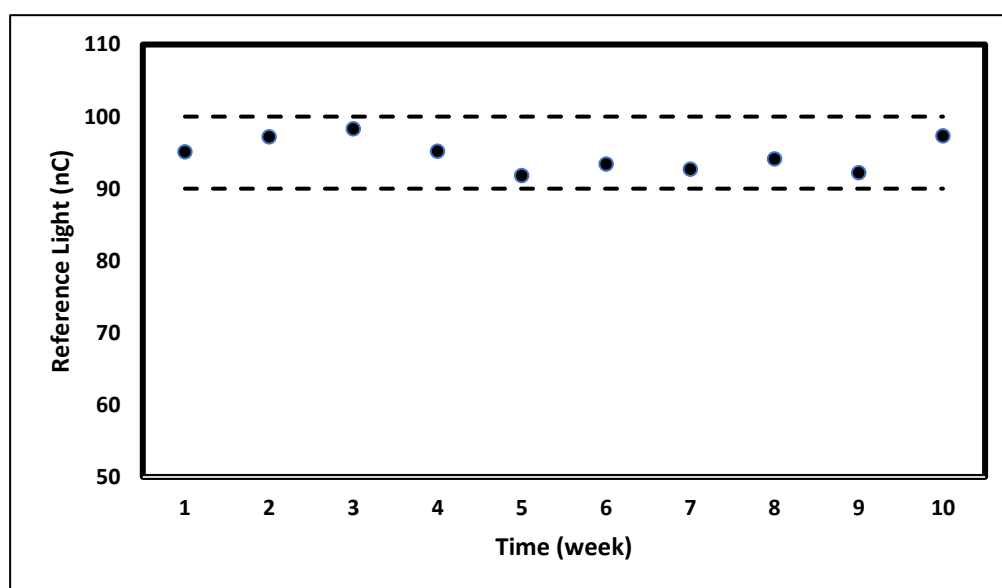
مطابق با استاندارد IEC 62387، ضریب تغییرات باید با شرایط زیر همخوانی داشته باشد:

- برای دزهای $H < 0.1$ میلی سیورت، مقدار COV باید کمتر از ۱۵٪ باشد،
- برای دزهای $0.1 \leq H < 1.1$ میلی سیورت، مقدار COV باید کمتر از $(16 - H/0.1 \text{ mSv})\%$ باشد،
- و برای دزهای $H \geq 1.1$ میلی سیورت، COV باید کمتر از ۵٪ باشد.

مقادیر به دست آمده برای COV در این مطالعه، در تمامی موارد کمتر از مقادیر حدی تعیین شده در جدول ۸ استاندارد IEC 62387 بوده اند.

۲.۳. پایداری لوله فوتومولتی پلایر (PMT)

شکل ۳ مقادیر نور مرجع (RL) لوله های PM را در بازه های زمانی دوماهه نشان می دهد. اگرچه معیار مشخصی برای ارزیابی مقادیر PMT تعریف نشده است، اما حداکثر تغییرات $\pm 3.6\%$ در مقادیر RL قابل قبول بوده و با مقادیر گزارش شده برای سایر مدل های تجاری قرائت گر TLD مطابقت دارد. [۱۰]



شکل ۳ - پایداری لوله های فوتومولتی پلایر (PMT) در قرائت گر TLD مدل TR-5500.

۲.۳. تکرارپذیری

برای آزمون تکرارپذیری، یک منحنی به روش کمترین مربعات بر داده‌های مربوط به پاسخ در برابر تعداد چرخه یک منحنی بر داده‌ها منطبق شد. میزان تکرارپذیری از طریق انحراف معیار میانگین نقاط داده نسبت به منحنی برازش شده محاسبه گردید. نسبت این انحراف معیار به مقدار میانگین پاسخ برابر با ۱۰۸٪ به دست آمد که با معیار استاندارد ASTM [۹] (کمتر از ۵۰٪) مطابقت دارد.

۴. نتیجه گیری

معیارهای عملکرد نمونه اولیه قرائت‌گر TLD مدل TR-5500 ساخت داخل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این دستگاه در بسیاری از موارد الزامات استانداردهای بین‌المللی را به خوبی برآورده کرده و حتی در برخی شاخص‌ها، فراتر از حد انتظار ظاهر شده است. این قرائت‌گر پایداری و تکرارپذیری بسیار مناسبی در خوانش‌ها از خود نشان داد که کارایی و قابلیت اعتماد آن را برای استفاده در یک آزمایشگاه دزسنجی معتبر تأیید می‌کند.

۵. مراجع

1. IAEA GSG-7, (2018). Occupational Radiation Protection
2. Alves, R. Montezuma J. G., Margo O., Santos L. (2004), "Study on quality control parameters of a TLD system for individual monitoring," *Radiat. Prot. Dosim.* **111**, no. 1, pp. 21-25,
3. Velbeck K. J., Luo L.Z., Streetz K.L. (2006), "Type testing the model 6600 plus automatic TLD reader," *Radiat. Prot. Dosim.*, **120**, no.1-4, pp. 303-306
4. Rizk C., Vanhavere F. (2016), "A study on the uncertainty for the routine dosimetry service at the Lebanese Atomic Energy Commission using Harshaw8814 doseimeters," *Radiat. Prot. Dosim.*, **170**, no. 1-4, pp. 168-172
5. Malek Mohammadi M. and Hosseini Pooya S. M. (2017), "Type testing of model 7200 automatic TLD reader", *Radiat. Prot. Dosim.*, **174**, No.1, pp. 68-73.
6. Malek Mohammadi M., Hosseini Pooya S. M., Firoozi B., Nabipour Chakoli A. (2016), "Performance characteristics of a home-made TLD reader; preliminary results", *Radiat. & Appl.*, Doi: 10.21175/RadJ.2016.03.043, **1**, Issue 3, pp. 233 – 235.
7. Hosseini Pooya S. M., Rezaeian P., Edalatkhah E. (2021), "Study on type-testing of a manual TLD-reader for dosimetry programs", *Journal of Nucl. Res. and App.*, Doi: 10.24200/jon.2022.1013.
8. IEC 62387, (2020). Radiation protection instrumentation – Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation.

9. ASTM E668-10, (2000), "Standard Practice for Application of Thermoluminescence-Dosimetry (TLD) Systems for Determining Absorbed Dose in Radiation-Hardness Testing of Electronic Devices References."
10. Weinstein M., Shemesh Y., Abraham A., German U. (2007), "Use of statistical checks as maintenance tools for TLD readers", *Radiat. Prot. Dosim.*, **125** (1-4), pp. 109-112.