

## بررسی منحنی پاسخ به دز و محو شدگی دزیمتر $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ و تأثیر میزان ناخالصی در آنها

علی رضا معینی<sup>۱\*</sup>، مهدی غلامپور<sup>۱</sup>، جعفر قیصری<sup>۱</sup>، غضنفر میرجلیلی<sup>۱،۳</sup>،  
لیلا شکاری<sup>۳</sup>، جعفر اسماعیلی<sup>۴</sup>

دانشگاه یزد<sup>۱</sup>، مرکز تحقیقات پرتو فرایند یزد<sup>۲</sup>، دانشگاه تربیت مدرس<sup>۳</sup>، دانشگاه صنعتی اصفهان<sup>۴</sup>

### چکیده

اطلاع از منحنی پاسخ به دز  $TLD$ ، برای کالیبراسیون آن بسیار اساسی است. از اینرو یکی از اولین خواصی که در مورد هر نوع  $TLD$  مورد توجه قرار می‌گیرد پاسخ به دز آن است. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم یک دزیمتر  $TL$ ، محو شدگی<sup>۱</sup> یا کم نور شدگی آن است. برای دزیمتریهای بلند مدت و فواصل زمانی زیاد بین دزیمتری و قرائت  $TLD$ ، کم نور شدن، دقت دزیمتری را کاهش می‌دهد. در این تحقیق به بررسی پاسخ به دز  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  ساخته شده بروش شیمیایی، در دزهای کم تر از  $4\text{Gy}$  و کم نور شدگی آن برای مدت زمان ۱۲ روز و تأثیر میزان ناخالصی در این خواص پرداخته شده است.

کلید واژه: ترمولومینسانس، دزیمتری، دزیمتری محیط،  $TLD-900$ ،  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$

### مقدمه

برای دزیمتری محیط  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ، یکی از کاربردی ترین دزیمترها است [1]. حساسیت بسیار بالا، این دزیمتر را حتی برای اندازه گیری تابش زمینه<sup>۲</sup> محیط مناسب می‌سازد. این دزهای بسیار کم پرتو، ناشی از تابش عناصر رادیواکتیو در اعماق زمین و منابع پرتوزای روی سطح زمین می‌باشد. برای استفاده دقیق از یک دزیمتر ترمولومینسانس<sup>۳</sup> ( $TLD$ ) باید میزان و تغییرات پاسخ آن دزیمتر را در بازه دز مورد اندازه گیری، داشته باشیم. به نمودار تغییرات پاسخ دزیمتر با تغییر دز دریافتی، منحنی پاسخ به دز گفته می‌شود. انتخاب یک دزیمتر  $TL$  با پاسخی خطی در بازه دز مورد نظرو آگاهی از پاسخ به دز آن برای دزهای خاص در دزیمتری ترمولومینسانس بسیار مهم است نیز برای اندازه گیری دزهای بالا اطلاع از رفتار این دزیمتر و دز اشباع آن اهمیت کلیدی دارد. در اینجا هدف بدست آوردن منحنی پاسخ به دز در دزهای پایین می‌باشد، چرا که در دزیمتری محیط آنجایی که کاربرد  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  اهمیت ویژه پیدا می‌کند [2]، اطلاع از منحنی پاسخ دز در دزهای کم مهم است. در این تحقیق برای دزهای کم تر از  $4\text{Gy}$  منحنی پاسخ دز بدست آمده است.

\*E-mail Address: [armoini58@gmail.com](mailto:armoini58@gmail.com)

1-Fading

2-background radiation

3-Thermoluminescent Dosimeter

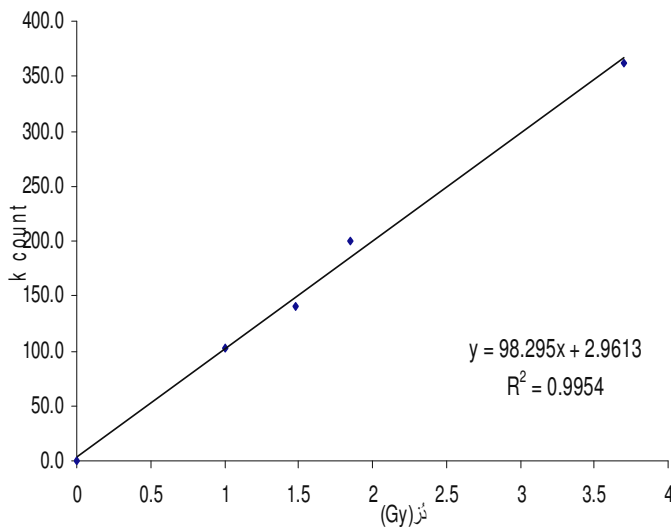
نمودار محو شدگی بر حسب زمان اطلاعات مهمی برای اصلاح نتایج حاصل از دزیمتری طولانی مدت، بدست می‌دهد. به همین خاطر در برخی کاربردهای دزیمتر نوردهی گرمایی مثل دزیمتری شخصی و دزیمتری محیط آگاهی از میزان محو شدگی بسیار مهم است. در اینجا مدت زمان حداکثری ۱۲ روز برای بررسی میزان محو شدگی در نظر گرفته شد.

## روش کار

قرص‌های مورد استفاده دارای قطر ۵mm و ضخامت ۰/۷ mm و وزن ۵۴mg می‌باشند. این دزیمتر بروش شیمیایی از ترکیب پودر  $\text{CaSO}_4$  و  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  در اسید سولفوریک داغ ( $300^\circ\text{C}$ ) و حرارت دادن محلول تا خشک شدن کامل و سپس فشرده کردن پودر قهوه‌ای رنگ  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  حاصل شده است. چشمه گاما مورد استفاده  $^{60}\text{Co}$  مدل  $\text{PikerV9}$  با آهنگ دز  $\frac{0.37 \text{ Gy}}{\text{min}}$  و کوره مورد استفاده برای بازپخت قرص‌ها، دو لیتری المنتی با دقت  $3^\circ\text{C}$ ، ساخت ایران است و قرصها در قرائت‌گر TLD ساخت مجارستان (۱۹۸۶) قرائت شده‌اند. بازپخت قرصها با دستورالعمل یک ساعت در دمای  $400^\circ\text{C}$  صورت گرفته است. پاسخ به دز قرص‌های  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  با سه میزان ناخالصی ۰/۱۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ مول دیسپروسیم درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای بدست آوردن منحنی پاسخ دز از هر نمونه قرص با ناخالصی مشخص سه قرص تقریباً یکسان از نظر حساسیت و شکل منحنی درخشندگی و با Ecc نزدیک به ۱ انتخاب شده است و نقاط منحنی میانگین اندازه‌گیری‌های سه قرص است. محو شدگی قرصهای  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  ساخته شده نیز برای مدت زمان حداکثر ۱۲ روز مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای محاسبه محو شدگی، قرصها پس از پرتو دهی بمدت ۸ دقیقه در دمای  $70^\circ\text{C}$  گرما داده شدند. به این مرحله پخت پس از پرتو دهی<sup>۱</sup> گفته می‌شود که برای از بین بردن قله دمای پایین انجام می‌شود چراکه قله دما پایین دارای محو شدگی بسیار زیادی است و برای بالا بردن دقت در دزیمتری با این ماده باید این قله را حذف کرد. دمایی که برای پخت پس از پرتو دهی انتخاب می‌شود بسته به دمای قله‌های درخشندگی می‌تواند متفاوت باشد. دمای  $70^\circ\text{C}$  طبق آزمایش‌هایی که نتایج آن آورده شده است بطور تجربی برای پخت پس از پرتو دهی در مورد قرصهای ساخته شده در این تحقیق مناسب‌ترین دما شناخته شد. برای محاسبه محو شدگی قرصها پس از پرتو دهی و پخت پس از پرتو دهی برای مدت زمان مورد نظر، در دمای محیط قرار داده شدند و سپس قرائت شدند. با استفاده از این نمودار می‌توان از چگونگی از دست دادن انرژی ذخیره شده در این TLD بر حسب زمان اطلاع پیدا کرد. لازم به ذکر است که برای دزیمتری‌های آنی (وقتی زمان پرتوگیری کوتاه باشد یا فاصله زمانی بین پرتوگیری و قرائت TLD کم باشد) اطلاع از نمودار محوشدگی لزومی ندارد.

## نتایج

نمودار پاسخ دز برای نمونه‌ها با مقادیر مختلف ناخالصی با یکدیگر تفاوت نداشت که البته قابل پیش بینی بود، زیرا میزان ناخالصی Dy تغییر می‌کند که در منحنی پاسخ دز ایجاد می‌کند، در دزهای زیاد است [3]. در اینجا برای پرهیز از تکرار تنها یک نمونه نمودار پاسخ دز  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  تا دز ۴ Gy آورده شده است (شکل ۱).



همانگونه که از شکل پیداست منحنی پاسخ به دز  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  در این بازه دز، با حداکثر خطای ۷/۶٪ در دز ۱/۸۵ Gy (فرمول ۱)، تقریباً خطی است.

$$\Delta = \frac{(200.0 - 184.8)}{200} \times 100 = 7.6\% \quad (1)$$

طبق اطلاعات موجود در نشریات منحنی پاسخ دز  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  تا ۱۰ Gy خطی، تا ۵ kGy فوق خطی و از ۵ kGy به بعد زیر خطی است [3].

شکل ۱: منحنی پاسخ به دز  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  تا دز ۴ Gy پرتو

گاما از چشمه  $^{60}\text{Co}$

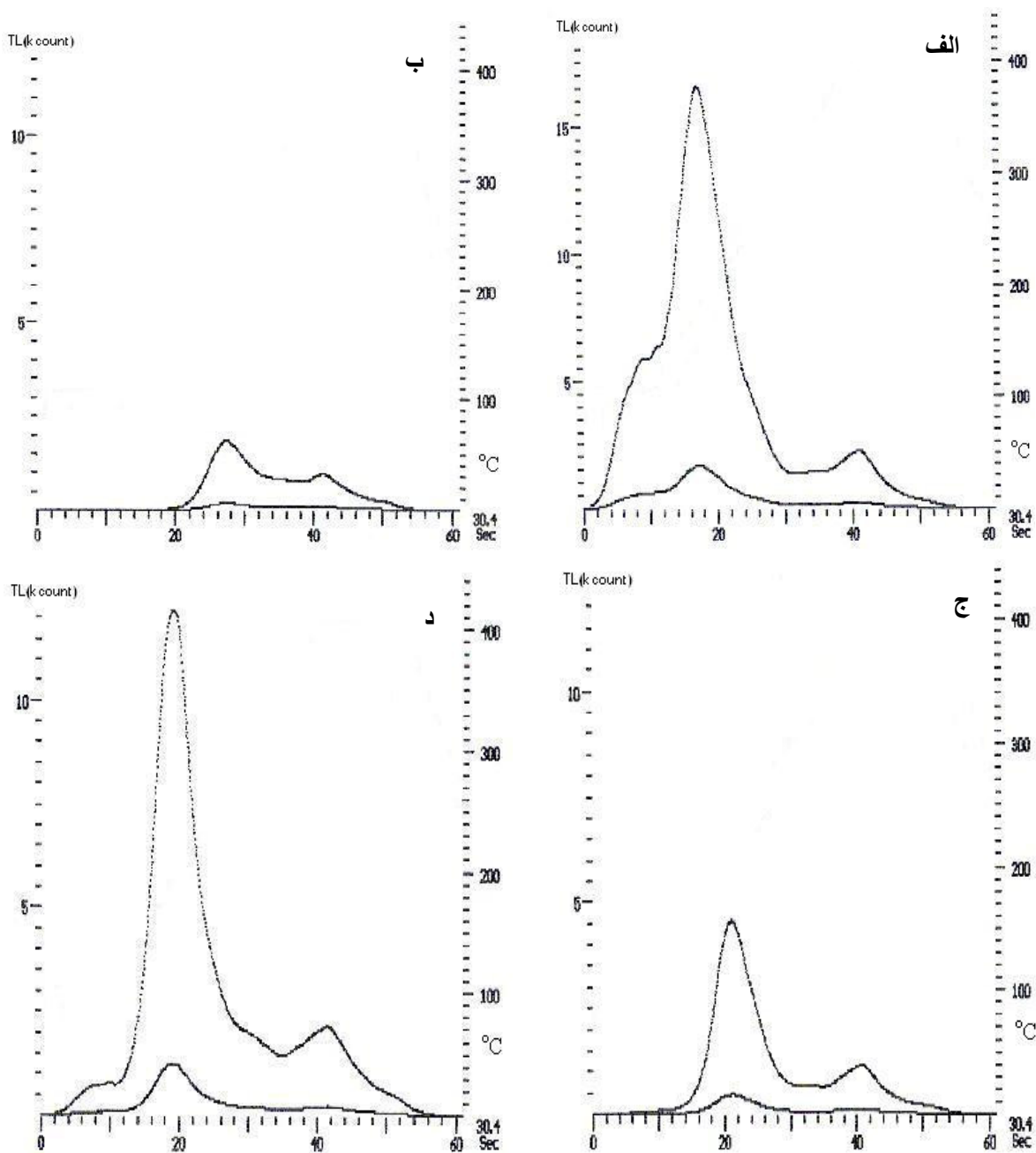
محو شدگی این ماده در نمونه‌های ساخت Harshaw، در مورد قله  $220^\circ\text{C}$  قرصهای

$\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  که در دمای  $110^\circ\text{C}$  بمدت ۱۰ دقیقه پخت پس از پرتو دهی داشته اند ۵٪ برای مدت ۶ ماه، ذکر شده است [3]. در مورد دزیتر ساخت ما با قله اصلی  $167^\circ\text{C}$  محو شدگی زیادی مورد انتظار است زیرا محو شدگی طبق فرمول زیر به دمای قله اصلی وابسته است:

$$p(T) = s(T) \exp(-E/kT) \quad (2)$$

که  $p(T)$  احتمال آزاد شدن انرژی ذخیره شده در TLD،  $s(T)$  عبارتی وابسته به زمان با عنوان فرکانس فاکتور،  $k$  ثابت بولتزمن و  $T$  دمای ماده می باشد.  $E$  انرژی گاف ترازهای نیمه پایدار است (محل گیر اندازی الکترون بعد از پرتو دهی). بنابر فرمول ۲ احتمال آزاد شدن انرژی یعنی تخلیه TLD به دمای قله اصلی ارتباط پیدا می کند زیرا دمای قله دزیتری معیاری از انرژی گاف است و هرچه اختلاف این دما با دمای محیط کم باشد احتمال خالی شدن TLD از انرژی ذخیره شده، زیاد می شود. انتخاب دمای پخت پس از پرتو دهی مناسب (بسته به قله اصلی درخشندگی) به نحوی که برای کاهش محو شدگی، قله اصلی را از بین بردن نبرد،

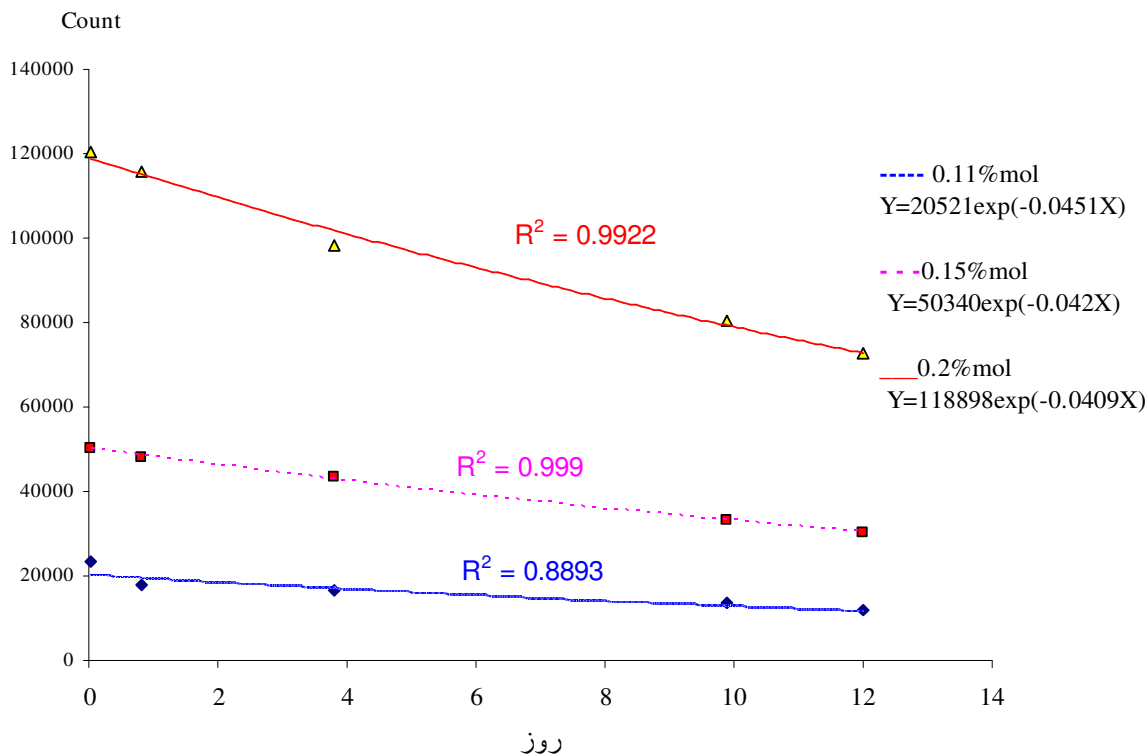
نیز مهم است. دستورالعمل  $110^{\circ}\text{C}$  بمدت ۱۰ دقیقه در مورد قرص های ساخته شده در این تحقیق مناسب نیست و بخش اعظم انرژی ذخیره شده در TLD را از بین می برد.



شکل ۲: الف)  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  بدون پخت پس از پرتودهی. ب)  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  با پخت پس از پرتودهی در دمای  $110^{\circ}\text{C}$  بمدت ۱۰ دقیقه. ج)  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  با پخت پس از پرتودهی در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  بمدت ۸ دقیقه. د)  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  با پخت پس از پرتودهی در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  بمدت ۸ دقیقه

شکل ۲ نمونه ای هابی از منحنی درخشندگی  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  ساخته شده را نشان می دهد . همانطور که مشاهده می شود، ارتفاع قله اصلی برای نمونه بدون پخت پس از پرتو دهی  $16/5\text{kcount}$  است (شکل ۲ الف). این ارتفاع برای نمونه ای که طبق دستورالعمل  $110^\circ\text{C}$  بمدت ۱۰ دقیقه پخت پس از پرتو دهی به  $1/\text{kcount}$  کاهش یافته (شکل ۲ ب) که قابل چشمپوشی نیست. شکل های ۲ ج و د به ترتیب نمونه های با پخت پس از پرتو دهی  $90^\circ\text{C}$  و  $70^\circ\text{C}$  بمدت ۸ دقیقه است. با مقایسه ارتفاع قله اصلی برای محاسبه محو شدگی دستورالعمل  $70^\circ\text{C}$  بمدت ۸ دقیقه انتخاب شده است.

منحنی های محو شدگی  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  برای مقادیر مختلف ناخالصی دیسپروسیم،  $0/2\% \text{mol}$ ،  $0/15$  و  $0/11$  در شکل ۳ آورده شده است. منحنی، نمایی مرتبه اول است. نکته قابل توجه این است که با کاهش میزان ناخالصی منحنی سریع تر افت می کند بنحوی که محو شدگی بعد از یک روز برای مقادیر مختلف ناخالصی  $0/11$ ،  $0/15$  و  $0/2$  به ترتیب  $4/4$ ،  $4/1$  و  $4$  در صدو بعد از ۱۰ روز  $36$ ،  $34$  و  $33$  درصد است. یعنی با افزایش ناخالصی، محو شدگی کاهش می یابد.



شکل ۳: منحنی محو شدگی بر حسب روز برای  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  با مقادیر مختلف ناخالصی. دز  $1/5\text{Gy}$  از چشمه گاما  $^{60}\text{Co}$

## بحث و نتیجه گیری

منحنی پاسخ دز قرص های  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  ساخته شده، مطابق با انتظار تا  $4\text{Gy}$  خطی است و میزان ناخالصی Dy در خطی بودن منحنی تأثیری ندارد. محو شدگی این دزیمتر بدلیل پایین بودن دمای قله دزیمتری آن زیاد است (در حدود ۳۴% در مدت ۱۰ روز در حالی که محو شدگی برای قرص های  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  ساخت Harshaw با یک پخت پس از پرتودهی در دمای  $110^\circ\text{C}$  بمدت ۱۰ دقیقه، ۵% در شش ماه است.

## سپاسگزاری

در پایان از همکاری آقایان شغائی از دانشگاه یزد، زارع شاهی، پارسائیان، صالحی از مرکز تحقیقات پرتو فرایند یزد، شاهور، غفوری از مرکز تحقیقات پزشکی هسته ای کرج و دکتر منوچهری از سازمان انرژی اتمی ایران، که مرا در انجام این تحقیق یاری دادند تشکر می کنم.

## مراجع

- [1]H. H. Fayeze, " Measurements of environmental terrestrial gamma radiation dose rate in three mountainous locations in the western region of Saudi Arabia", Environmental Research, 98, 160–166 (2005).
- [2]Abdullah M. Noha, Yusoff M. Amina, Rosli H. Mahata, D.A. Bradley, "Investigation of some commercial TLD chips/discs as UV dosimeters " Radiation Physics and Chemistry 61, 497–499 (2001).
- [3]S. W. S. McKeever, M. Moscovitch, P. D. Townsend," Thermoluminescence Dosimetry Materials ", Nuclear Technology Publ., Ashford, Kent (1995)192.