



## تعیین و مقایسه پارامترهای سینتیک دزیمتر $\text{LiF:Mg;Ti}$ (TLD-100) در پرتودهی گاما و آلفا

صادقی، بهاره<sup>(۱)</sup> - صادقی، احسان<sup>(۱)</sup> و<sup>(۲)</sup> - زاهدی فر، مصطفی<sup>(۱)</sup> و<sup>(۲)</sup> - هارونی، سمیه<sup>(۱)</sup>

(۱) دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

(۲) دانشگاه کاشان، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، گروه نانو فیزیک

### چکیده:

خواص دزیمتری ترمولومینسانس تراشه‌های  $\text{LiF:Mg;Ti}$  (TLD-100) در پرتوهای گاما و آلفا بررسی شدند. پرتودهی گاما با استفاده از چشمه‌ی  $^{60}\text{Co}$  و آلفا با چشمه‌ی  $^{241}\text{Am}$  انجام شد. منحنی‌های تابش ترمولومینسانس با استفاده از پرتودهی‌های مختلف گاما و آلفا رسم شد و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. روش افت همدم و تندی‌های متعدد دمایی در تعیین تغییرات پارامترهای سینتیک انرژی فعال سازی، مرتبه‌ی سینتیک و فاکتور فرکانس به کار گرفته شد. پارامترهای سینتیک قله‌ی پنجم (قله اصلی دزیمتری) این ماده ترمولومینسانس در پرتودهی گاما و آلفا با یکدیگر مقایسه شدند.

کلمات کلیدی: دزیمتر ترمولومینسانس، TLD-100، روش افت همدم، روش تندی‌های متعدد دمایی، گاما، آلفا.

## Determination and comparison of kinetic parameters of $\text{LiF:Mg,Ti}$ (TLD-100) dosimeter in gamma and alpha irradiation.

Sadeghi, Bahareh<sup>(1)</sup> - Sadeghi, Ehsan<sup>(1), (2)</sup> - Zahedifar, Mostafa<sup>(1), (2)</sup> - Harooni, Somayeh<sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Department of physics, University of kashan, kashan

<sup>2</sup> Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan

### Abstract

The TL properties of  $\text{LiF:Mg,Ti}$  (TLD-100) dosimeter in gamma and alpha irradiation were studied. The irradiation of gamma and alpha was done using  $^{60}\text{Co}$  and  $^{241}\text{Am}$ , respectively. Thermoluminescence glow curves of TLD-100 were compared in different gamma and alpha irradiations. The isothermal decay and variable heating rate methods were applied in determining of kinetic parameters activation energy, order kinetics and frequency factor. The kinetics parameters of fifth peak (the main dosimetry peak) this TL material in gamma and alpha irradiation were compared with each other.

**Keyword:** Thermoluminescence dosimeter, TLD-100, Isothermal decay method, Variable heating rate method, Gamma, Alpha.

مقدمه :



حضور ناخالصی‌ها و نواقص در شبکه سبب تشکیل سطوح انرژی در باند ممنوعه می‌گردد. سطوح انرژی که به باند هدایت نزدیک ترند احتمال بیشتری برای گیراندازی الکترون دارند و سطوحی که به باند ظرفیت نزدیک تر هستند حفره‌ها را به راحتی به دام می‌اندازند. انرژی مورد نیاز جهت گیراندازی الکترون و حفره از طریق اشعه یون‌ساز تأمین می‌شود. بنابراین ترمولومینسانس عبارت است از آزاد شدن الکترون‌ها از مراکز گیراندازی و بازترکیب آن‌ها با حفره‌ها در مراکز گیراندازی حفره در اثر حرارت که در این فرآیند نور تولید می‌گردد. هر چقدر تابش یون‌ساز بیشتری به بلور انتقال یابد در پی آن نور بیشتری تولید می‌گردد که از طریق ارتباط نور حاصل شده با دز، می‌توان دز جمع‌آوری شده بدست آورد [۱].

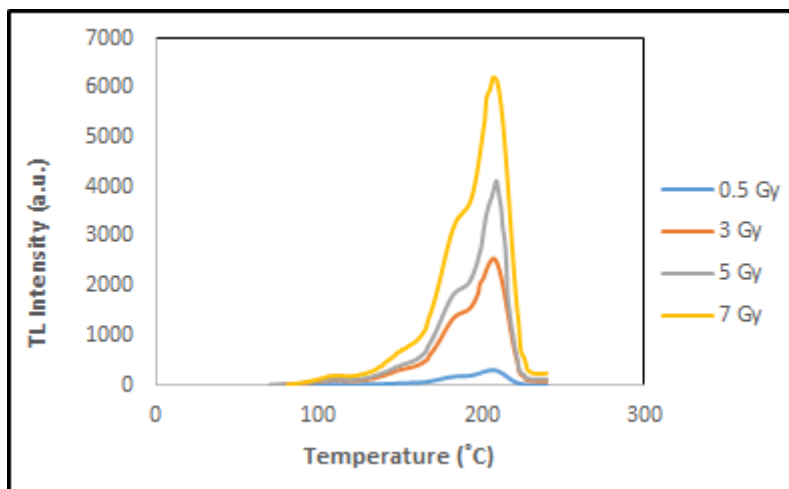
پدیده‌ی ترمولومینسانس دارای کاربردهای متنوعی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان دزیمتری را ذکر کرد [۲]. هدف اصلی دزیمتری، اندازه‌گیری مقدار دز جذب شده در یک نقطه از طریق پرتوهای یون‌ساز می‌باشد [۳]. از آنجایی که میزان دز جذب شده در ماده به عدد اتمی مؤثر آن بستگی دارد و دزیمتر TLD-100 از این نظر بسیار نزدیک به بافت بدن می‌باشد، این دزیمتر بیشترین کاربرد را برای دزیمتری فردی در سطح بین‌المللی دارد [۴]. پارامترهای سینتیک، طبیعت سینتیکی هر قله را مشخص می‌کند، در واقع خطی یا غیر خطی بودن پاسخ TL نسبت به مقدار دز دریافتی یا بستگی مقدار دز دریافتی به آهنگ دریافت دز و یا رفتار سینتیک مرتبه اول، دوم یا هر نوع دیگر سینتیک در موقع آشکارسازی ترمولومینسانس با مطالعه این پارامترها ارتباط دارند. از طرف دیگر دانستن این کمیت‌ها هنگام مطالعه پایداری قله‌های مختلف در درجه حرارت معین به ویژه در درجه حرارت‌های بالا حائز اهمیت خواهد بود [۵]. عمده‌ترین روش‌های تعیین پارامترهای سینتیک عبارتند از روش تندی‌های متعدد دما، روش صعود اولیه، روش افت همدمما و روش انطباق منحنی که در این پژوهش از روش افت همدمما و تندی‌های متعدد دمایی جهت تعیین پارامترهای سینتیک دزیمتر ترمولومینسانس TLD-100 در پرتوهای گاما و آلفا استفاده شدند.

### روش کار :

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها، تراشه‌های ترمولومینسانس TLD-100 تحت رژیم حرارتی در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت و در پی آن دمای  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. پرتوهای گاما و آلفای نمونه‌ها به ترتیب با چشمه‌ی  $^{60}\text{Co}$  و  $^{241}\text{Am}$  انجام شد. پس از پرتودهی برای قرائت نمونه‌ها از دستگاه TLD-reader مدل Harshow 4500 استفاده شد. نمونه‌ها در بازه‌ی  $240-50^{\circ}\text{C}$  و با آهنگ‌های ۱، ۲، ۳، ۵ و  $7^{\circ}\text{C/s}$  قرائت شدند.

### نتایج

منحنی درخشش ترمولومینسانس TLD-100 در پرتوهای چشمه‌ی گاما در دزهای مختلف در شکل (۱) مشاهده می‌شود.



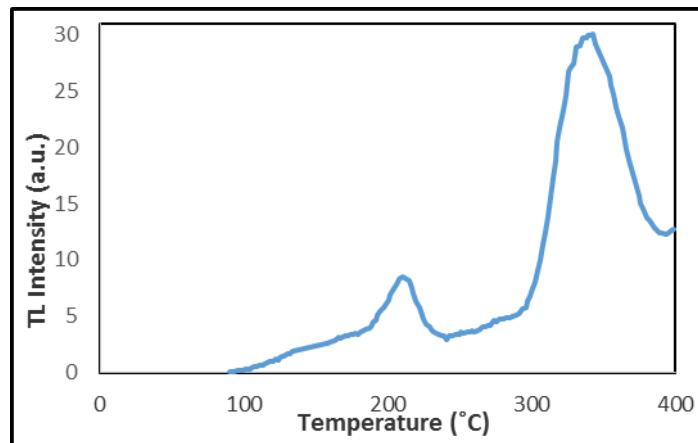
شکل (۱): منحنی درخشش ترمولومینسانس TLD-100 در پرتودهی با چشمه‌ی  $^{60}\text{Co}$  به میزان دزهای مختلف ۰/۵، ۳، ۵، ۷ گری.

قله‌های کم دمای TLD ناپایدار هستند و محوشدگی در آن‌ها قابل مشاهده است. لذا در دزیمتری فردی و محیطی که مدت طولانی دزیمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و احتمال افت قله‌های کم‌دما وجود دارد، در هر قرائت دزیمتر به نحوی سعی در حذف این نوع قله‌ها می‌گردد. از قله‌ی شماره‌ی (۱) منحنی درخشش ترمولومینسانس در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما به دلیل محوشدگی زیاد و نیمه عمر کوتاه صرف نظر شده است.

پارامترهای سینتیک قله ۵ در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما و آلفا بررسی شدند. شدت ترمولومینسانس مطابق با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$I = -\frac{dn}{dt} = S'n^b \exp(-E/kT) \quad (1)$$

که در آن  $S'$  فاکتور فرکانس،  $n_0$  تعداد الکترونی که در مرکز گیراندازی به دام می‌افتد،  $b$  مرتبه‌ی سینتیک،  $E$  انرژی فعال‌سازی،  $k$  ثابت بولتزمن و  $T$  دما بر حسب کلوین می‌باشند. شکل (۲) منحنی درخشش دزیمتر ترمولومینسانس TLD-100 در پرتودهی با چشمه آلفا به میزان ۷۲ ساعت را نشان می‌دهد.



شکل (۲) منحنی درخشش ترمولومینسانس TLD-100 در پرتودهی با چشمه‌ی آلفا به میزان ۷۲ ساعت.

منحنی‌های افت هم‌دما با اعمال یک تندی ثابت افزایش دما ثبت می‌شوند. این فرایند، روشی کاملاً عمومی و مؤثر برای تعیین پارامترهای گیراندازی ترمولومینسانس است. مراحل آزمایشی در این روش شامل گرم کردن سریع ماده تا یک دمای معین و نگه داشتن آن در این دمای ثابت و ثبت منحنی افت هم‌دما است. این دمای ثابت باید در گستره دمایی مربوط به قله معینی قرار داشته باشد.

چنانچه معادله (۱) را برای دمای ثابت در نظر بگیریم (افت هم‌دما) تنها متغیر در آن خواهد بود. با انتگرال گیری از معادله (۱) از  $t=0$  تا زمان دلخواه  $t$  به نتیجه زیر می‌رسیم:

$$\int_{n_0}^n -\frac{dn}{n^b} = \int_0^t S' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dt$$

$$n = [n_0^{b-1} - (b-1)S' \exp(-E/kT)t]^{1/1-b} = (A+Bt)^{1/1-b}$$

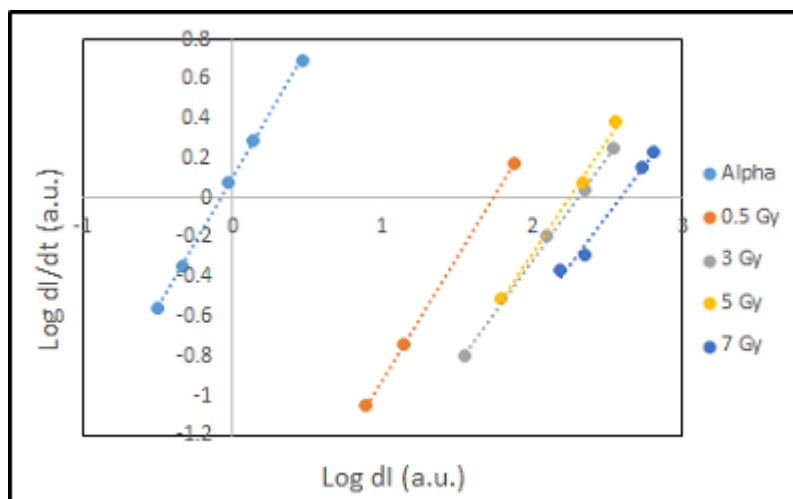
در رابطه فوق  $A=n_0^{1-b}$  و  $B=(b-1)S' \exp(-E/kT)$ . با قرار دادن  $n$  در طرف دوم رابطه (۱) به نتیجه زیر برای شدت افت هم‌دما می‌رسیم:

$$I^{(1/b)-1} = a + bt \quad (2)$$

چنانچه از طرفین معادله (۲) نسبت به زمان مشتق بگیریم و سپس از رابطه بدست آمده لگاریتم بگیریم، نتیجه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Log } dI/dt = \log \frac{b}{\frac{1}{b}-1} + (2-1/b) \log I \quad (3)$$

و نمودار  $\text{Log}(dI/dt)$  را بر حسب  $\text{Log}(I)$  رسم کنیم خط راستی با شیب  $2-(1/b)$  را می‌دهد که مرتبه‌ی سینتیک (b) بدست می‌آید [۷، ۶]. این نمودار برای قله‌ی پنجم TLD-100 در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما در دزهای مختلف و چشمه‌ی آلفا در شکل (۳) رسم شده است.



شکل (۳) منحنی  $\text{Log } dI/dt$  بر حسب  $\text{Log } dI$  برای قله‌ی پنجم TLD-100 در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما در دزهای مختلف (۰/۵، ۳، ۵، ۷ گری) و چشمه‌ی آلفا.

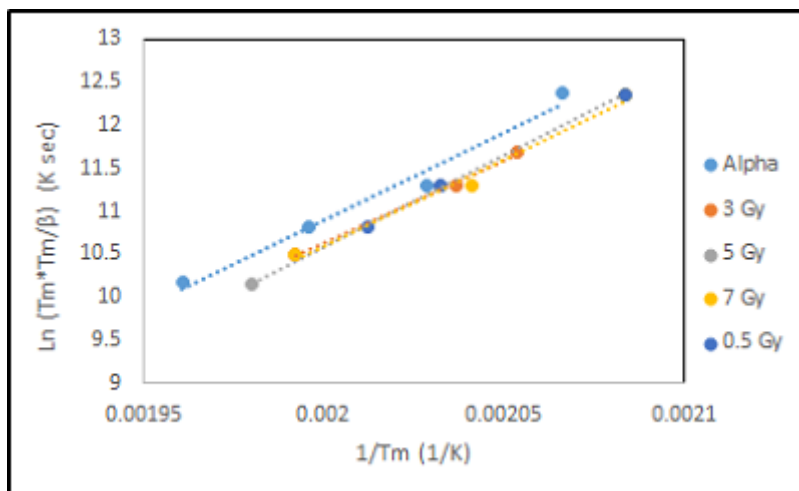
با استفاده از منحنی شکل (۳) مقادیر مرتبه‌ی سینتیک b برای قله‌ی پنجم TLD-100 در پرتودهی های گاما و آلفا در جدول (۱) گزارش شده است. انرژی فعال‌سازی (E) و فاکتور فرکانس (S) نیز به روش تندی‌های متعدد دمایی محاسبه گردید. با حل معادله (۱) شدت هر نقطه از قله بر حسب دمای T طبق رابطه‌ی زیر مشخص می‌شود.

$$I(T) = n_0 S \exp(-E/kT) \exp \left[ -S/\beta \int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{E}{kT'} \right) dT' \right] \quad (4)$$

در نقطه‌ی بیشینه مشتق رابطه فوق نسبت به T صفر خواهد بود. پس در این نقطه خواهیم داشت:

$$\text{Ln}(T_m^2/\beta) = \text{Ln}(E/kS) + E/kT_m \quad (5)$$

با تغییر آهنگ گرمادهی ( $\beta$ ) نمودار  $\text{Ln}(T_m^2/\beta)$  بر حسب  $1/T_m$  که خط راستی با شیب  $E/k$  و تقاطع آن با محور عمود مقدار  $\text{Ln}(E/kS)$  را می‌دهد [۷ و ۶]. در شکل (۴) این نمودار برای قله‌ی پنجم این دزیتر در پرتودهی های گاما و آلفا رسم شده است.



شکل (۴) منحنی  $\ln(T_m^2/\beta)$  برحسب  $1/T_m$  برای قله‌ی پنجم TLD-100 در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما در دزهای مختلف (۰/۵، ۳، ۵، ۷ گری) و چشمه‌ی آلفا.

با استفاده از منحنی‌های تندی متعدد دمایی مقادیر انرژی فعال سازی (E) و فاکتور فرکانس (S) برای قله‌ی پنجم این دزیمتر در پرتودهی های گاما و آلفا در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول (۱) مقادیر پارامترهای سینتیک TLD-100 در پرتودهی با استفاده از چشمه‌ی گاما در دزهای مختلف و چشمه‌ی آلفا.

نوع پرتودهی	گاما ۰/۵ Gy	گاما ۳ Gy	گاما ۵ Gy	گاما ۷ Gy	آلفا ۷۲ ساعت
	$E=2/1$ (eV)	$E=1/96$	$E=1/84$	$E=1/75$	$E=1/76$
قله پنجم	$S=9/25 \times 10^{20}$ (sec <sup>-1</sup> )	$S=3/07 \times 10^{19}$	$S=1/64 \times 10^{18}$	$S=1/83 \times 10^{17}$	$S=2/35 \times 10^{17}$
	$b=1/39$	$b=1/19$	$b=1/17$	$b=1/03$	$b=1/32$

### نتیجه گیری:

با مقایسه‌ی مقادیر انرژی فعال سازی و فاکتور فرکانس قله‌ی پنجم در پرتودهی گاما و آلفا (جدول (۱)) به خوبی قابل مشاهده است که مقادیر پارامترهای سینتیک در پرتودهی با چشمه‌ی آلفا از مقادیر این پارامترها در ۰/۵ Gy پرتودهی گاما (که نزدیک‌ترین دز به میزان دز آلفای استفاده شده است) کمتر بوده است. هم‌چنین سطح زیر منحنی تابش این نمونه در پرتودهی گاما به میزان ۰/۵ Gy (شکل (۱)) از سطح زیر منحنی تابش در پرتودهی آلفا (شکل (۲)) حدود ۶ برابر بیشتر است. همانطور که در منحنی‌های تابش



ترمولومینسانس TLD-100 در پرتو دهی آلفا دیده می‌شود (شکل (۲)) در این پرتو دهی برخلاف پرتو دهی گاما در ابتدا قله‌های عمیق پر شده و بعد قله‌های دزیمتری شروع به پر شدن می‌کنند که می‌توان عامل این رفتارها را به خاصیت یونیزاسیون بالای ذرات آلفا نسبت داد.

ذرات آلفا خاصیت یونیزاسیون بالا در یک حجم بسیار کوچک را دارند، این ذرات باعث می‌شوند که مراکز گیراندازی عمیق زودتر پر شوند. ذرات آلفا مانند پرتو گاما که تقریباً مقدار دز را به صورت یکنواخت در تمام حجم توزیع می‌کند نمی‌باشند. در اقع این ذرات در فاصله‌ی چند میکرومتر متوقف می‌شوند و به خاطر بار زیاد و سنگینی خود مقدار زیادی یونش در حجم خیلی کوچک ایجاد می‌کنند. این باعث می‌شود که یک حالت تقریباً اشباع در مراکز گیراندازی ایجاد شود و این پرشدگی برای مراکز عمیق شدیدتر باشد.

#### مراجع:

- [1] Chen, R. Horowitz, Y. S. Thermoluminescent and thermoluminescent dosimetry, vol.1. CRC. Press, Boca Raton, F1 81(1984).
- [2] S. W.S. McKeever, Thermoluminescence of Solids, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [3] Attix, F.H. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry, Wiley- VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 200, (1986).
- [4] A. J. J. Bos, Theory of thermoluminescence, Radiation Measurements, 41, 45-56, 2006.
- [5] Chen, R. McKeever, S. W. S. Theory of thermoluminescence and related phenomena, World Scientific, Singapore, (1997).
- [6] M. Sohrabi, M. Jafarizadeh, M. Zahedifar, Analysis of kinetics and trapping parameters of LiF ; Mg, Ti thermoluminescent dosimeters by general order model, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 416, 446-451, 1998.
- [7] S. P. Kathuria, C. M. Sunta, Order of kinetics for thermoluminescence in TLD-100, Journal of physics, 15, 497-505, 1982.

[۸] بهاره صادقی، مصطفی زاهدی فر، احسان صادقی، تعیین پارامترهای سینتیک دزیمتر LiF:Mg;Ti به ازای دزهای مختلف با استفاده از روش‌های افت همدم و تندی‌های متعدد دمایی، کنفرانس فیزیک ایران، ۴۱،

۳۷۷-۳۷۴، ۱۳۹۶.