

## تعیین پارامترهای فروکشی دمایی دزیمتر ترمولومینسانس (LiF:Mg,Ti (TLD-100)

سمیه هارونی<sup>۱\*</sup>، مصطفی زاهدی<sup>۲</sup> و زینب احمدیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

<sup>۲</sup>پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

\*اصفهان، کاشان، کیلومتر ۶ بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، کدپستی: ۸۷۳۱۷-۵۳۱۵۳

پست الکترونیکی: harooni@kashanu.ac.ir

### چکیده

فروکشی دمایی اثر مهم و شناخته شده‌ای است که باید در بررسی پدیده‌ی ترمولومینسانس (TL) مورد توجه قرار گیرد. در اثر این پدیده احتمال بازترکیب غیرتابشی با افزایش دما زیاد می‌شود. در این کار با بررسی نحوه‌ی تغییرات منحنی‌های تابش TL دزیمتر (LiF:Mg,Ti (TLD-100) به ازای مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی، مشاهده شد که قله‌ی پنجم این بلور تحت تأثیر فروکشی دمایی قرار دارد. چون با افزایش آهنگ گرمادهی، ضمن جابه‌جایی قله‌ی منحنی به سمت دماهای بالاتر، شدت بیشینه نیز کاهش می‌یابد. همچنین از طریق برازش داده‌های تجربی با رابطه‌ی تئوری مربوط به این اثر، پارامترهای فروکشی دمایی TLD-100 به صورت  $W = 1/66 \text{ eV}$  و  $C = 3/965 \times 10^{17}$  به دست آمد.

کلیدواژگان: ترمولومینسانس، دزیمتری، فروکشی دمایی، آهنگ گرمادهی، TLD-100.

### ۱. مقدمه

در دماهای بالاتر نسبت داده می‌شود [۲]. بنابراین اگر یک منحنی TL شامل چند قله باشد، قله‌های واقع در دماهای پایین‌تر کمتر تحت تأثیر فروکشی دمایی خواهند بود. با بررسی منحنی‌های تابش TL به ازای مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی<sup>۲</sup> ( $\beta$ )، مشاهده می‌شود که با افزایش  $\beta$  قله‌ها به دمای بالاتری جابه‌جا می‌شوند [۲-۴]. چون با افزایش آهنگ

فروکشی دمایی<sup>۱</sup> به این معناست که با افزایش دما، شدت TL دچار افت می‌شود و در نتیجه نقاطی از یک منحنی که در دمای بالاتری نسبت به قله قرار دارند بیشتر در معرض فروکشی دمایی قرار خواهند داشت. در این صورت، اثر فروکشی دمایی نیز می‌تواند باعث نامتقارن‌تر شدن منحنی تابش TL شود [۱]. این اثر به وجود بازترکیب‌های غیرتابشی

<sup>2</sup> Heating rate

<sup>1</sup> Thermal quenching

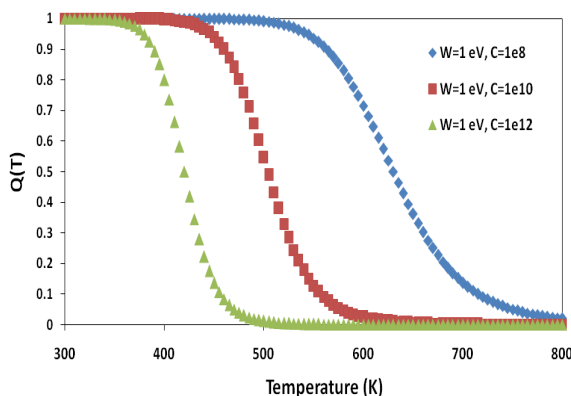
## ۲. بررسی های تئوری

ضریبی که برای در نظر گرفتن اثر فروکشی دمایی باید در روابط تئوری وارد شود، تحت عنوان مدل مُت سایتز<sup>۱</sup> و به صورت زیر است:

$$Q(T) = \frac{1}{1 + C \exp(-W/kT)} \quad (1)$$

که در آن  $C$  و  $W$  (eV) پارامترهای فروکشی دمایی،  $k$  ثابت بولتزمن و  $T$  دما برحسب کلوین است [۳]. با رسم نمودار  $Q(T)$  برحسب  $T$  به ازای مقادیر مختلف برای پارامترهای  $C$  و  $W$  می توان نحوه ی تغییر شکل نمودار به ازای تغییر این پارامترها را مشاهده کرد.

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با تغییر  $C$  از  $10^8$  به  $10^{12}$  به ازای  $W$  ثابت، نمودار به سمت دماهای پایین تر جابه جا می شود.



شکل (۱): بررسی نحوه ی تغییرات منحنی  $Q(T)$  برحسب  $T$  با افزایش  $C$  به ازای  $W$  ثابت.

بررسی تغییر  $W$  از ۱ تا  $1/4$  eV به ازای  $C$  ثابت در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود، با افزایش  $W$  نمودار به سمت دماهای بالاتر جابه جا می شود.

گرمادهی، مدت زمان توقف روی یک دمای خاص کوتاه تر شده و در نتیجه فرصت برای خروج الکترون ها از مراکز گیراندازی کاهش می یابد و بنابراین امکان خروج الکترون ها از مراکزگیراندازی در دماهای بالاتر فراهم می شود. در این صورت قله هایی که با افزایش  $\beta$  به دماهای بالاتر منتقل می شوند، بیشتر تحت تأثیر فروکشی دمایی خواهند بود.

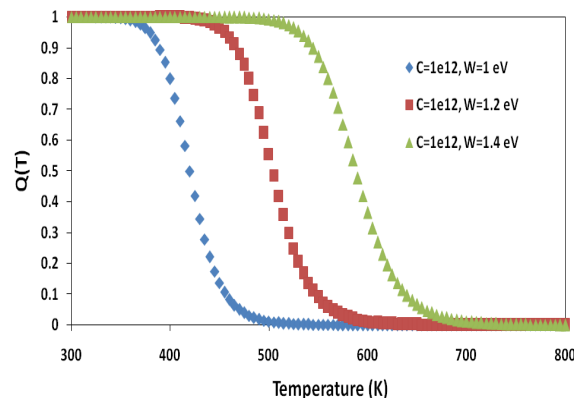
همچنین با بررسی منحنی های تابش TL به ازای مقادیر مختلف  $\beta$ ، مشاهده می شود که با افزایش آهنگ گرمادهی ضمن جابه جایی نقطه ی بیشینه منحنی به سمت دماهای بالاتر، سطح زیر منحنی نیز کاهش می یابد و این اثر در مورد ترکیباتی مثل  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200)،  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  (TLD-300) و  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  (TLD-400) نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

از جمله ترکیباتی که اثر فروکشی دمایی در آن مشاهده شده و مورد بررسی قرار گرفته است،  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  با نام تجاری TLD-500 است [۳، ۵، ۶]. پارامترهای فروکشی دمایی به دست آمده برای این ترکیب به صورت  $W$  برابر با  $1/0.8$  eV و  $C$  برابر با  $3/6 \times 10^{12}$  است [۳]. بررسی های انجام شده بر روی منحنی های تابش ترمولومینسانس TLD-500 نشان می دهد که پارامترهای فروکشی دمایی اندازه گیری شده به روش تغییر آهنگ گرمادهی، به میزان پرشدگی مراکز عمیق بستگی ندارد [۳].

در این کار و با توجه به مشاهده ی اثر فروکشی دمایی در مورد قله ی پنجم TLD-100، از طریق برازش داده های تجربی با رابطه ی تئوری مربوطه، پارامترهای فروکشی دمایی این بلور تعیین شده است.

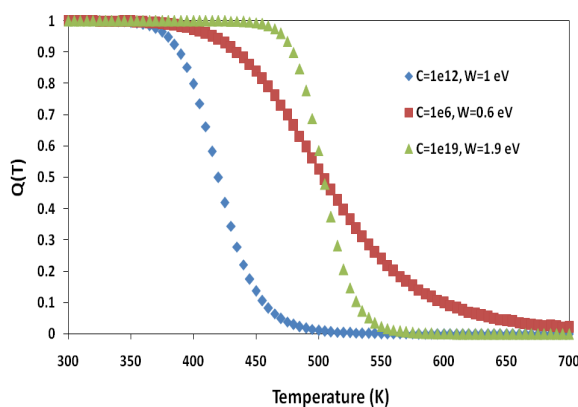
<sup>1</sup> Mott-Seitz

شدن دزهای باقیمانده از قبل، قرار گرفته و سپس در معرض تابش رادیواکتیو قرار گیرند. در این تحقیق از نمونه‌های بلوری با نام تجاری TLD-100 استفاده شد. رژیم گرمایی استاندارد برای این بلور به این صورت است که ابتدا نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد از سرد شدن سریع مجدداً به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند تا برای استفاده‌ی مجدد آماده شوند [۷]. بعد از این مرحله نمونه‌ها تحت پرتودهی گاما به میزان ۱ گری قرار گرفتند. به‌منظور قرائت نمونه‌ها از یک دستگاه TLD-Reader مدل ۴۵۰۰ ساخت شرکت هارشاو<sup>۱</sup> واقع در دانشگاه کاشان استفاده شد. مقادیر آهنگ گرمادهی که با استفاده از این دستگاه می‌توان برای قرائت نمونه‌ها اعمال نمود، محدود به مقادیر صحیح بین ۱ تا ۳۰ است. منحنی تابش ترمولومینسانس TLD-100 دارای پنج قله است که پنجمین قله، قله‌ی دزیمری است و به‌همین علت سعی شده است که ابتدا به روش حذف گرمایی قله‌های تا قبل از قله‌ی پنجم حذف و سپس قله‌ی پنجم به ازای آهنگ گرمادهی مشخصی قرائت شود. برای حذف قله‌های قبل از قله‌ی پنجم برای همه‌ی نمونه‌ها ابتدا قرائت از دمای ۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به ازای آهنگ گرمادهی ۱ درجه سانتی‌گراد در واحد زمان انجام شد و سپس هر نمونه به ازای یک آهنگ گرمادهی مشخص به‌منظور ظاهر شدن قله‌ی پنجم مجدداً قرائت شد. مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی ۱، ۲، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه اعمال شدند. بازه‌های دمایی در نظر گرفته شده برای قرائت مجدد هر نمونه با آهنگ‌های گرمادهی ۱ تا ۸ بین ۱۱۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و آهنگ‌های گرمادهی ۱۶ تا ۳۰ بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است. منحنی‌های تابش TL به‌دست آمده از این طریق در شکل ۴(a,b) نشان داده شده است.



شکل (۲): بررسی نحوه‌ی تغییرات منحنی  $Q(T)$  بر حسب  $T$  با افزایش  $W$  به ازای  $C$  ثابت.

بررسی دیگری که می‌توان انجام داد، چگونگی تغییر شکل نمودار به ازای افزایش یا کاهش هر دو پارامتر  $C$  و  $W$  است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با کاهش هر دو پارامتر شیب نمودار کندتر و با افزایش هر دو پارامتر شیب نمودار تندتر می‌شود. این در حالی است که در شکل‌های ۱ و ۲ تغییر محسوسی در شیب نمودار دیده نمی‌شود.

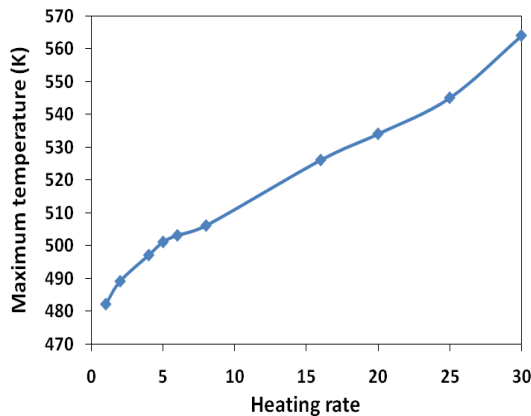


شکل (۳): بررسی نحوه‌ی تغییرات منحنی  $Q(T)$  بر حسب  $T$  با افزایش یا کاهش هر دو پارامتر  $C$  و  $W$ .

### ۳. روش کار

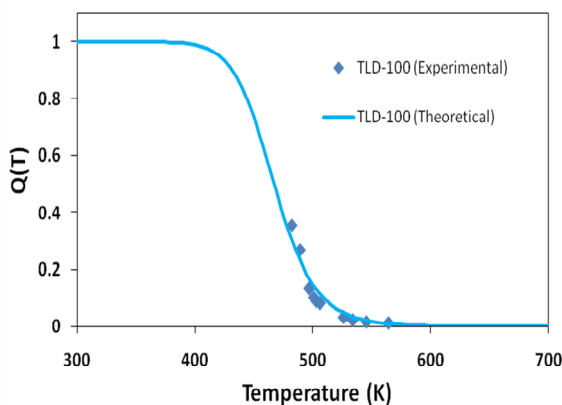
برای پیدا کردن پارامترهای ناشی از اثر فروکشی دمایی، در مرحله‌ی اول باید منحنی‌های تابش TL به ازای مقادیر مختلف  $\beta$  به دست آید. برای این منظور ابتدا باید نمونه‌های مورد بررسی تحت رژیم گرمایی استاندارد، به‌منظور خالی

<sup>1</sup> Harshaw



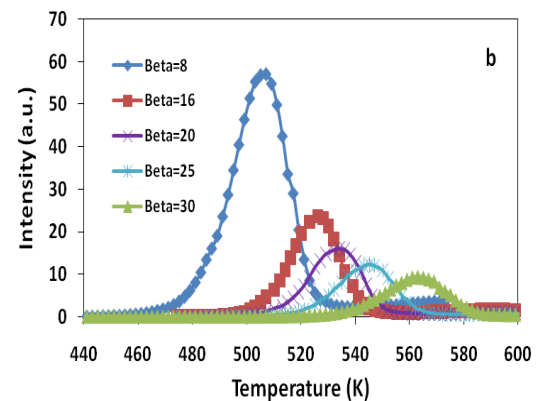
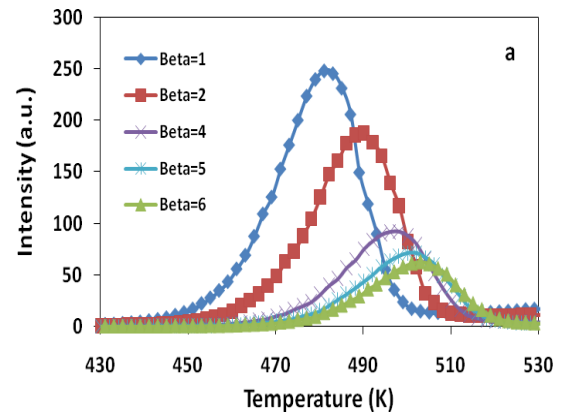
شکل (۶): نحوه‌ی تغییرات دمای بیشینه قله به ازای مقادیر مختلف  $\beta$ .

با رسم نمودار شدت نقطه‌ی بیشینه برحسب دمای نقطه‌ی بیشینه، به ازای مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی، نمودار تجربی به دست می‌آید که می‌توان آن را با تابع تئوری طبق رابطه‌ی ۱ برازش کرده و مقادیر  $C$  و  $W$  را به دست آورد. این نمودار تجربی به همراه نمودار تئوری برازش شده با آن در شکل ۷ نشان داده شده است.



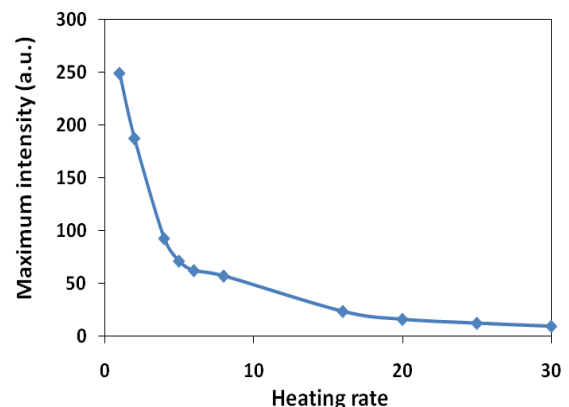
شکل (۷): نحوه‌ی تغییرات شدت بیشینه بر حسب دمای بیشینه قله به ازای مقادیر مختلف  $\beta$  به همراه منحنی تئوری برازش شده با داده‌های تجربی.

برازش داده‌های تجربی با رابطه‌ی تئوری  $Q(T)$  با استفاده از یک برنامه‌ی کامپیوتری که بر اساس الگوریتم لونیبرگ-



شکل (۸): شکل‌های **a** و **b** نحوه‌ی تغییرات منحنی تابش TL به ازای مقادیر مختلف  $\beta$ .

همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش  $\beta$  ضمن افزایش دمای نقطه‌ی بیشینه، شدت بیشینه کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان نحوه‌ی تغییرات دما و شدت در نقطه‌ی بیشینه به ازای مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی را در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده کرد.



شکل (۹): نحوه‌ی تغییرات شدت بیشینه به ازای مقادیر مختلف  $\beta$ .

ترمولومینسانس TLD-100 نیز وجود دارد. چون با افزایش آهنگ گرمادهی دمای بیشینه قله‌ی پنجم افزایش و شدت آن نیز کاهش می‌یابد.

همچنین با برازش داده‌های به‌دست آمده از نمودارهای تجربی با رابطه‌ی تئوری مربوطه، پارامترهای فروکشی دمایی مربوط به این بلور به‌صورت  $W$  برابر با  $1/66$  eV و  $C$  برابر با  $3/965 \times 10^{17}$  به‌دست آمده است.

در برازش منحنی‌های تابش TL یک کریستال با رابطه‌ی شدت TL تئوری، در صورتی که فاکتور  $Q(T)$  در رابطه‌ی شدت ضرب شود، می‌توان اطمینان بیشتری داشت که پارامترهای حاصل به واقعیت نزدیک‌تر هستند. چون در رابطه‌ی تئوری واقعیت فیزیکی دیگری که همان اثر فروکشی دمایی است در نظر گرفته نشده است.

بنابراین با معلوم بودن پارامترهای فروکشی دمایی TLD-100 به‌راحتی می‌توان  $Q(T)$  مربوط به آن را در رابطه‌ی شدت تئوری ضرب کرده و یک رابطه‌ی شدت TL جدید به‌صورت تابعی از  $T$  به‌دست آورد و برای برازش منحنی‌های تابش TL بلور TLD-100 مورد استفاده قرار داد.

مارگارت<sup>۱</sup> کار می‌کند، انجام شده است. معیار بهترین انطباق نیز رابطه‌ی FOM است که به‌صورت زیر مطرح می‌شود:

$$FOM = \frac{\sum |y_i - f_i|}{\sum y_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $y_i$  مربوط به داده‌های تجربی و  $f_i$  بهترین مقداری است که از طریق برازش به دست می‌آید [۸]. مقادیر FOM کمتر از ۲/۵ درصد به معنای انجام یک برازش خوب بین داده‌های تجربی با رابطه‌ی تئوری است. مقدار FOM به دست آمده در این کار ۲/۲ درصد به‌دست آمده است. پارامترهای فروکشی دمایی به‌صورت  $W$  برابر با  $1/66$  eV و  $C$  برابر با  $3/965 \times 10^{17}$  حاصل شدند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی اثر فروکشی دمایی در مورد بلور TLD-100 پرداخته شده است. با بررسی منحنی‌های تابش TL به ازای مقادیر مختلف آهنگ گرمادهی برای قرائت یک نمونه، نشان داده شد که این اثر در مورد منحنی‌های تابش

<sup>1</sup> Levenberg-Marquart

#### ۵. مراجع

- [1] S.G. Gorbics, A.E. Nash, F.H. Attix. Thermal quenching of luminescence in six thermoluminescent dosimetry phosphors II Quenching of Thermoluminescence, International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 20, (1969), 843-852.
- [2] V.E. Kafadar. Thermal quenching of thermoluminescence in TLD-200, TLD-300 and TLD-400 after  $\beta$ -irradiation, Physica B, 406, (2011), 537-540.
- [3] M.S. Akselrod, N.A. Larsen, V. Whitley, S.W.S. McKeever. Thermal quenching of F-center luminescence in  $Al_2O_3:C$ , Journal of applied physics, 84, (1998), 3364-3373.
- [4] A. Kadari, D. Kadri. New numerical model for thermal quenching mechanism in quartz based on two-stage thermal stimulation of thermoluminescence model, Arabian Journal of chemistry, 8, (2015), 798-802.
- [5] V.S. Kortov, I.I. Milman, V.I. Kirpa, J. Lesz. Thermal quenching of TL in  $\alpha-Al_2O_3$  dosimetric crystals, Radiation Protection Dosimetry, 65, (1996), 255-258.
- [6] M.S. Akselrod, N.A. Larsen, V. Whitley, S.W.S. McKeever. Thermal quenching of F-center luminescence in  $Al_2O_3:C$ , Radiation Protection Dosimetry, 84, (1999), 39-42.
- [7] 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 A, 416, (1998), 446-451.

- [8] H.G. Balian, N.W. Eddy. Figure of merit (FOM), and improved criterion over the normalized chi-squared test for assessing goodness of fit of gamma ray spectra peaks, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 145, (1977), 389-395.