

## بررسی و تحلیل منحنی‌های پاسخ پودر فلورید لیتیوم (LiF:Mg,Ti) در مش‌های مختلف برای پرتو گاما به منظور استفاده در دزیمتری ترمولومینسانس

فرهاد منوچهری<sup>۱</sup> و مهدی قوتی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> امور حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

\* تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، دانشکده علوم پایه، کدپستی: ۱۴۶۷۶-۸۶۸۳۱

پست الکترونیکی: mahdi.ghovvati@yahoo.com

### چکیده

در این تحقیق، پودر استاندارد LiF:Mg,Ti (TLD-100) ساخت شرکت هارشاو، بعد از انجام مراحل ذوب و سرد کردن، طی فرایندهایی به دانه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شود تا بتوان مش‌های مختلفی را از آن به دست آورد. پودر مورد مطالعه در این تحقیق، دانه‌هایی با اندازه مش‌های ۸۰ تا ۱۰۰، ۱۲۰ تا ۱۴۰ و ۱۷۰ تا ۲۰۰ می‌باشند که تغییرات حاصل در رفتارها و فاکتورهای دزیمتری آن‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین نتایج به دست آمده می‌توان به روند تغییرات در فاکتورهای مهم دزیمتری از جمله منحنی درخشندگی، منحنی پاسخ دز، محوشدگی، تکرارپذیری، در اثر ذوب شدن اشاره کرد.

**کلید واژگان:** دزیمتری، ترمولومینسانس، دزیمتر گرمالیان، TLD-100، لیتیوم فلوراید.

### ۱. مقدمه

انجام شده است، لیتیوم فلوراید با ناخالصی منیزیوم و تیتانیوم (LiF:Mg,Ti) است. پیچیدگی‌های زیادی در درک تئوری نتایج آزمایش‌ها روی این مواد وجود دارد. به هر حال، فرایند ترمولومینسانس در LiF:Mg,Ti پیچیده است و به شدت به چندین عامل بستگی دارد. این عوامل عبارت‌اند از: مقدار و نوع ناخالصی موجود در ماده، مقدار و نوع ناخالصی‌های عملدی موجود در ماده، روش و شکل شیمیایی وارد کردن ناخالصی‌ها به درون شبکه و عملیات شیمیایی، نوری و مکانیکی روی فسفر در حین تولید و کاربری آن‌ها. هرچه درجه حرارت شبکه بالاتر برود، تعداد نقص‌های ذاتی بیشتر می‌شود. باید هنگام عملیات حرارتی بلور ترمولومینسانس به این نکته مهم توجه کرد که اگر بلور به سرعت سرد شود، ممکن است نسبت به حالت دمای بالا تعداد حفره‌های شبکه

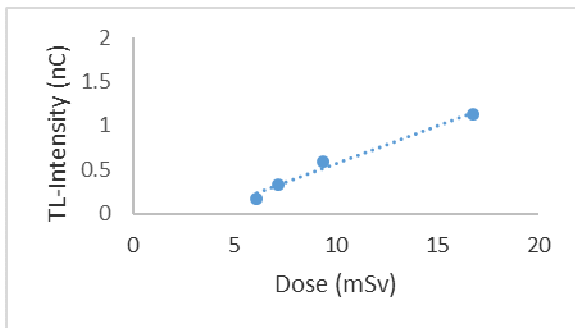
دزیمتری ترمولومینسانس یکی از روش‌های رایج دزیمتری است. ترمولومینسانس (گسیل نور القایی بعد از حذف برانگیختگی به واسطه حرارت دادن پدیده‌ای شایع و گسترده است. از چند هزار مواد معدنی شناخته شده، بیش از دو سوم آن‌ها از خود خاصیت ترمولومینسانس (TL) نشان می‌دهند. در واقع، برخی از مواد معدنی طبیعی از جمله کارآمدترین و موثرترین مواد TL شناخته شده تا به امروزند [۱ و ۴]. از آنجایی که می‌توان دزیمترهای به شکل پودر را طی فرایندهای مختلف، به دانه‌های کوچک‌تر تبدیل کرد، امکان استفاده از آن‌ها در میکرو دزیمتری و سپس، دزیمتری سلول به شکل مستقل از سلول‌های دیگر فراهم می‌شود. فسفر ترمولومینسانسی که بیشترین و گسترده‌ترین تحقیقات روی آن

اثر ذوب شدن و حرارت دیدن پودر، نقایص شبکه بلور به هم خورده و در شبکه بلور لیتیوم فلوراید، بی‌نظمی پدید می‌آید. در این پروژه، فاکتورهای مهم دزیمتری ترمولومینسانس نظیر منحنی درخشندگی، منحنی پاسخ - دز، محوشدگی، تکرارپذیری و اثر دانه‌بندی مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج نمونه پودر استاندارد مقایسه می‌شوند.

### ۳. نتایج

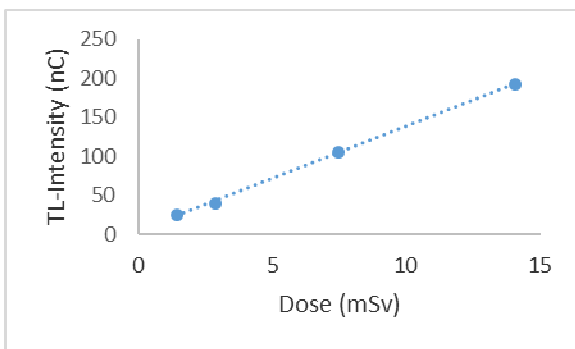
#### ۱.۳. منحنی پاسخ دز

منحنی پاسخ دز برای نمونه مورد مطالعه، بعد از ۴ مرحله پرتودهی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: منحنی پاسخ - دز پودر ذوب‌شده مش ۸۰

در شکل (۲) منحنی پاسخ - دز برای نمونه پودر استاندارد رسم شده است.



شکل ۲: منحنی پاسخ - دز پودر استاندارد

از برازش نتایج به‌دست‌آمده و بررسی آن‌ها می‌توان چنین متوجه شد که منحنی‌های پاسخ - دز در محدوده مورد مطالعه خطی می‌باشند. پس می‌توان نتیجه گرفت که ذوب شدن پودر تأثیری بر روند نتایج این فاکتور دزیمتری ندارد.

#### ۲.۳. منحنی‌های درخشندگی

در شکل (۳)، منحنی درخشندگی برای پودر استاندارد و پودر

کمتر شود. در هر دمایی هرچه انرژی تشکیل حفره‌ها کمتر باشد، احتمال تشکیل آن‌ها بیشتر است. حفره‌های ساده دارای انرژی مطلوب‌تری نسبت به حفره‌های بزرگ و پیچیده‌اند [۴].

### ۲. روش کار

این تحقیق روی پودر (LiF:Mg,Ti (TLD-100 ساخته شرکت هارشاو انجام شده که شامل مش‌های شماره ۸۰ تا ۲۰۰ است. مناسب‌ترین مش‌ها برای دزیمتری‌اند [۲ و ۳].

ابتدا مقداری پودر برای ذوب کردن وزن کرده و آن را در دمای  $848^{\circ}\text{C}$  ذوب کرده و صبر می‌کنیم تا به آرامی سرد شود. بعد از این مرحله، با ساییدن و ضربه‌زدن، پودر به دانه‌هایی با اندازه‌های کوچک‌تر تبدیل شده و به‌وسیله غربال‌های آزمایشگاهی در مش‌های مختلف جدا می‌شوند.

پودرها را با اوزان یکسان درون ظرف‌های (تشتک) آلومینیومی کوچک ریخته تا کف ظرف پوشیده شود، به‌نحوی که پودرها روی هم انباشت نشوند (به‌دلیل جلوگیری از بروز پدیده خودجذبی در هنگام قرائت بعد از پرتودهی) تا بتوان مراحل پخت (Anneal) را انجام داد. مراحل آنیل نمونه‌ها به‌صورت ۱ ساعت در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  درجه‌سانتی‌گراد و ۲ ساعت در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  درجه‌سانتی‌گراد انجام می‌شود. بعد از مراحل پخت، نمونه‌ها در کیسول‌هایی بسته‌بندی می‌شوند تا برای پرتودهی آماده شوند. دلیل استفاده از کیسول این است که میزان هدر رفتن پودر حین جابه‌جایی و حمل و نقل جهت پرتودهی کاهش یابد.

نمونه‌ها به‌ترتیب با دزهای  $2/28$ ،  $4/56$ ،  $9/12$  و  $18/24$  میلی‌گری (mGy) پرتودهی می‌شوند. چشمه مورد استفاده در این پروژه  $^{137}\text{Cs}$  است. قرائت نمونه‌ها توسط دستگاه قرائتگر هارشاو مدل ۴۵۰۰ انجام می‌شود. عمل قرائت ۲۴ ساعت بعد از برداشتن نمونه‌ها از جلوی چشمه انجام می‌شود. قبل از قرائت، نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه، در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  درجه‌سانتی‌گراد پیش گرمادهی می‌شوند. این عمل جهت به‌حداقل رساندن سهم قله‌های دمای پایین بر منحنی درخشندگی انجام می‌شود.

هدف از انجام این پروژه، بررسی روند تغییرات ایجاد شده در فاکتورهای دزیمتری در اثر ذوب شدن پودر است؛ زیرا در

جدول ۱: اعداد به‌دست‌آمده برای محوشدگی پودر ذوب‌شده

Time (h)	۲۴	۴۸	۱۹۲	۲۸۸
TL-Intensity (nC)	۵/۱۵۹	۴/۰۱۸	۳/۹۲۵	۳/۳۰۷
Fading		۲۲/٪	۲۳/٪	۳۵/٪

جدول ۲: اعداد به‌دست‌آمده برای محوشدگی پودر استاندارد

Time (h)	۲۴	۴۸	۱۹۲	۲۸۸
TL-Intensity (nC)	۳۲/۵۹	۳۱/۱۴	۲۹/۷۸	۲۷/۴۴
Fading		۴/۴٪	۸/۶٪	۱۵/۸٪

از بررسی روند نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت میزان محوشدگی برای پودر ذوب‌شده نسبت به آنچه انتظار می‌رود، بیشتر است. دلیل افزایش این فاکتور نسبت به حالت استاندارد را می‌توان به تغییرات ایجادشده در نقص‌های شبکه‌ای بلور مرتبط دانست.

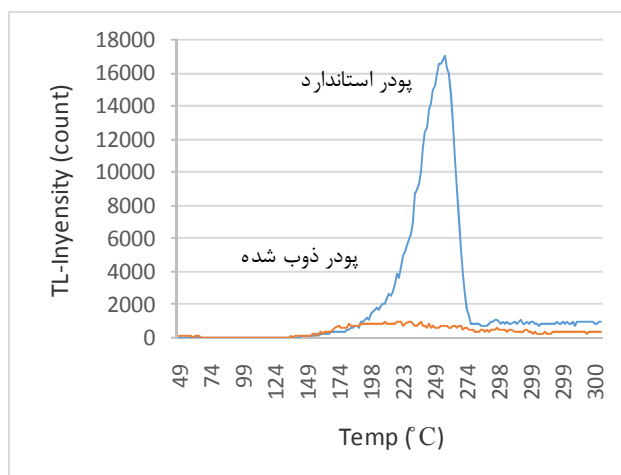
### ۴.۳. تکرارپذیری

برای بررسی فاکتور تکرارپذیری، پودر ذوب‌شده را در وضعیت یکسان، چهار مرتبه مورد پرتودهی قرار داده و قرائت می‌کنیم. نتایج به‌دست‌آمده برای پودر ذوب‌شده در جدول (۳) ذکر شده و به‌صورت نمودار در شکل (۵) نشان داده شده است. در جدول (۴) و نمودار شکل (۶) نیز نتایج به‌دست‌آمده برای پودر استاندارد بیان شده است. همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌کنیم انحراف معیار به‌دست‌آمده برای هر مرتبه قرائت نسبت به حالت مشابه در پودر ذوب‌شده (جدول ۳) مقادیر بیشتری را نمایش می‌دهد. همچنین، از برازش نقاط به‌دست‌آمده در شکل‌ها می‌توان متوجه شد نقاطی که برای پودر ذوب‌شده به‌دست آمده و برازش شده است، نسبت به پودر استاندارد تقریباً در یک راستا قرار دارند و قابل اعتمادترند؛ البته از روی اعداد به‌دست‌آمده برای انحراف معیار هر دو نمونه نیز می‌توان چنین نتیجه‌ای گرفت.

جدول ۳: نتایج تکرارپذیری برای پودر ذوب‌شده

مرتبه قرائت	۱	۲	۳	۴
Average TL-Intensity (nC)	۵/۰۳	۵/۳۹	۵/۳۶	۴/۹۱
انحراف معیار	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۵۸

ذوب شده (مش ۸۰) رسم شده است.

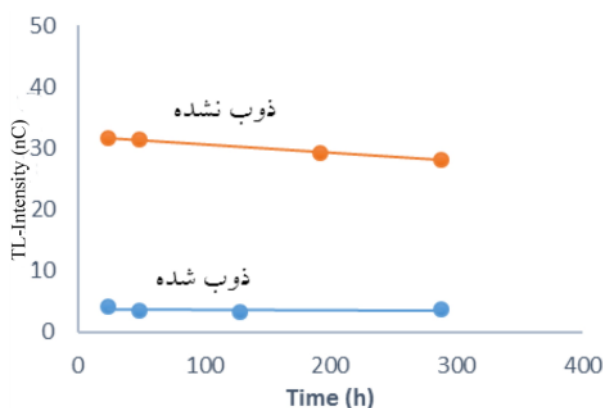


شکل ۳: منحنی درخشندگی پودر ذوب‌شده و پودر ذوب‌نشده

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، اختلاف زیادی بین ارتفاع قله‌ها می‌باشد؛ البته نسبت مقداری قله به زمینه تقریباً بین ۳ و ۴، برای مورد ذکر شده است. دلیل اصلی این اختلاف، ذوب شدن پودر و تغییراتی است که در اثر این فرایند (ذوب کردن) در نظم شبکه بلوری به‌وجود آمده. همچنین، می‌توان برای توجیه خطای اندازه‌گیری در این فاکتور، به انجام مکرر آزمایش نیز اشاره کرد.

### ۳.۳. محوشدگی

نمونه‌های پودر مورد مطالعه را به میزان ۳/۴۲ میلی‌گری در معرض پرتودهی قرار داده و سپس در زمان‌های مشخص شروع به قرائت نمونه‌ها کرده و فاکتور محوشدگی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۴) و جداول (۱) و (۲) گزارش شده است.



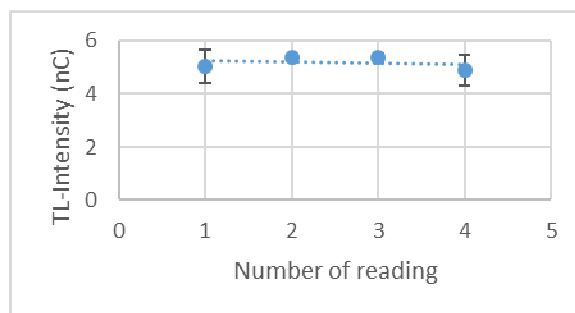
شکل ۴: منحنی محوشدگی پودر ذوب‌شده و استاندارد (ذوب‌نشده)

#### ۴. نتیجه گیری

از بررسی نتایج فاکتورهای دزیمتری مورد بررسی برای پودر استاندارد و پودر ذوب شده، می توان به این نتیجه رسید که نتایجی که برای منحنی محوشدگی، منحنی درخشندگی و پاسخ های قرائت شده از دستگاه قرائتگر به دست آمده، اختلاف زیادی دارند. اصلی ترین دلیل این اختلاف به فرایند ذوب کردن پودر و به دنبال آن، تغییراتی است که در اثر این فرایند در نقص های شبکه ای بلور به وجود می آید. در کریستال های بلور لیتیوم فلوراید نقص های شاتکی و فرنکل نسبت به حرارت حساسیت زیادی داشته و در اثر ذوب شدن بیشترین تغییرات در این نوع نقص ها در شبکه بلوری ایجاد می شود که به دنبال آن، باعث ایجاد اختلاف در پاسخ های به دست آمده برای پودر ذوب شده و استاندارد می شود.

با اعمال تغییرات در برخی فاکتورها مانند دمای و زمان آنیل کردن، دما و زمان پیش گرمادهی و اعمال تغییرات در آهنگ گرمادهی دستگاه قرائتگر می توان باعث بهبود روند نتایج شد. چون پودر مورد آزمایش از حالت استاندارد خارج شده، شرایط آزمایشگاهی آن (دمای و زمان آنیل، دما و زمان پیش گرمادهی) نیز نسبت به حالت استاندارد متفاوت است.

در مجموع، از مهم ترین دستاورد این پروژه می توان به این مطلب اشاره کرد که در اثر فرایند ذوب کردن پودر فاکتورهای دزیمتری تغییراتی می کنند. برخی از این تغییرات، در جهت بهبود روند نتایج می باشند و برخی نیز مفید نیست. از جمله تغییرات مفیدی که این فرایند در فاکتورهای دزیمتری انجام می دهد، می توان به بهبود روند نتایج در فاکتور تکرارپذیری و محوشدگی اشاره کرد.

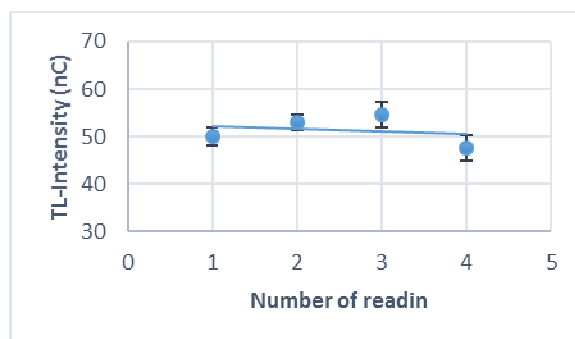


شکل ۵: منحنی تکرار پذیری برای پودر ذوب شده

همانطور که از شکل (۵) مشخص است، فاکتور تکرارپذیری برای پودر مورد مطالعه قابل قبول است؛ زیرا نتایج به دست آمده از دستگاه قرائتگر برای هر مرتبه، به هم نزدیک اند و روی یک خط راست قرار دارند (حالت خطی دارند).

جدول ۴: نتایج تکرارپذیری برای پودر استاندارد

مرتبه قرائت	۱	۲	۳	۴
Average TL-Intensity (nC)	۵۰	۵۳/۰۵	۵۴/۷۲	۴۷/۷
انحراف معیار	۱/۹	۱/۶۳	۲/۶۹	۲/۶۸



شکل ۶: منحنی تکرارپذیری برای پودر استاندارد

از بررسی دو شکل (۵) و (۶) می توان چنین نتیجه گرفت که فاکتور تکرارپذیری برای پودر ذوب شده قابل قبول تر است.

#### ۵. مراجع

- [1] Horowitz Y.s.; Thermoluminescence and thermoluminescent dosimetry; Voll, 1ed, Y.S. Horowitz (CRC Press), (1984) 2.
- [2] McKeever S.w.s, Moscovith. M, Townsend. P.d.; Thermoluminescence dosimetry materials: properties and uses, 1ed. Nuclear Technology Publishing Ashford. (1995) 45-50.
- [3] Furetta C. Handbook of Thermoluminescence, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, (1937) 207.
- [4] آقایی امیرخیزی، ن؛ شاه حسینی. الف (مترجم)؛ دزیمتری ترمولومینسانس، انتشارات سایه نیما. (۱۳۹۰) ۱۶-۲۵.