

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شماره ۴، ویژه‌نامه پرتوهای یون‌ساز، ۱۳۹۸، صفحه ۱-۶  
پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)  
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

## ساخت ذرات استرانسیوم تترابورات آلاییده شده با سرب به روش پخت حالت جامد و بررسی منحنی ترمولومینسانس آن در پرتودهی گاما

مجتبی کشاورزی<sup>۱</sup>، احسان صادقی<sup>۱\*</sup>، مصطفی زاهدی<sup>۱</sup> و منیجه رحیمی بالکانلو<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

<sup>۲</sup>دانشکده‌ی فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

\*اصفهان، کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای. کدپستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۵۳

پست الکترونیکی: [sdgh@kashanu.ac.ir](mailto:sdgh@kashanu.ac.ir)

### چکیده

ذرات استرانسیوم تترابورات آلاییده شده با سرب  $SrB_4O_7:Pb$  به روش پخت حالت جامد ساخته شدند. آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) به منظور اثبات تشکیل ساختار نمونه، تصویر SEM به منظور بررسی توزیع اندازه ذرات و آنالیز EDX برای تعیین نوع و مقدار عناصر موجود از نمونه به عمل آمد. منحنی تابش ترمولومینسانس نمونه پرتودهی شده توسط اشعه گاما جهت بررسی به عنوان یک دزیمتر ترمولومینسانس مورد بررسی قرار گرفت. این منحنی از دو قله هم پوش در دماهای تقریبی ۱۵۰ و ۲۲۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده است. دمای مناسب قله اصلی این منحنی، آن را برای استفاده در اهداف دزیمتری مناسب معرفی می کند.

**کلیدواژگان:** پخت حالت جامد، منحنی تابش ترمولومینسانس، اشعه گاما، دزیمتر ترمولومینسانس، دزیمتری.

### ۱. مقدمه

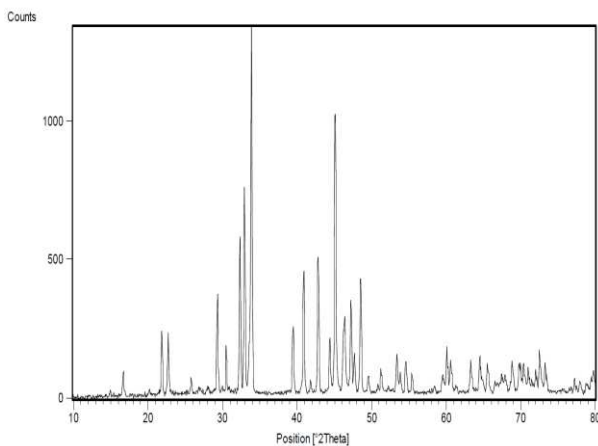
استفاده به عنوان یک دزیمتر ترمولومینسانس، بخصوص برای کاربرد در دزیمتری فردی است [۲،۳]. پدیده ترمولومینسانس به این شکل است که نمونه‌ای که از قبل با پرتو تحریک شده است به واسطه گرما به عنوان عامل تحریک ثانوی به حالت پایه برگشته و فوتون هایی در دماهای مختلف گسیل می کند که با آشکارسازی و اندازه گیری این فوتون ها و رسم شدت آنها برحسب دما منحنی ترمولومینسانس به دست می آید. این

استرانسیوم تترا بورات  $SrB_4O_7$  به صورت گسترده‌ای به عنوان یک ماده چندکاربره مورد مطالعه قرار گرفته است [۱]. یکی از مهم ترین کاربردهای آن به عنوان آشکارساز در دزیمتری ترمولومینسانس است. ترکیبات بلوری استرانسیوم تترا بورات به خاطر ویژگی هایی از قبیل عدد اتمی مؤثر نزدیک بافت، حساسیت بالا نسبت به تابش، ویژگی های مکانیکی عالی و عدم رطوبت پذیری کاندید مناسب و مورد علاقه‌ای جهت

### ۳. بحث و نتایج

#### ۱.۳. طرح الگوی پراش پرتو ایکس

ساختار نمونه ساخته شده به وسیله پراش پرتو ایکس با استفاده از دستگاه Philips x'pert pro MPP و با استفاده از طیف نگاری  $Cu K\alpha$  فیلتر شده با نیکل اندازه گیری شد که در شکل ۱ مشخص است. نمونه ساخته شده با کارت مرجع به شماره 71-2191 همخوانی دارد، که نشان دهنده تشکیل بلور  $SrB_4O_7:Pb$  با یک ساختار ارتورومبیک است.



شکل (۱): الگوی پراش پرتو ایکس ذرات  $SrB_4O_7:Pb$  ساخته شده به روش پخت حالت جامد.

از آن جایی که آنالیز XRD مقادیر بسیار کم از عناصر و ترکیبات موجود در نمونه را مشخص نمی کند، به منظور حصول اطمینان از حضور ناخالصی از طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX (Energy Dispersive X-ray) استفاده شد که در شکل ۲ نمودار آن مشاهده می شود. با توجه به این شکل عناصر موجود در نمونه نهایی Sr، O و Pb می باشند و هیچ گونه عنصر اضافی در آن وجود ندارد.

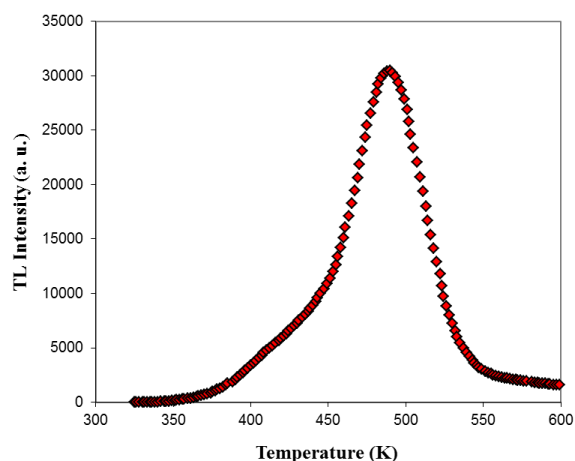
منحنی به عنوان داده اصلی در دزیمتری به روش ترمولومینسانس استفاده می شود. تا کنون مطالعات بسیاری با استفاده از این فسفر با ناخالصی های مختلف صورت پذیرفته است. از آنجایی که نوع ناخالصی یکی از عوامل مؤثر در چگونگی پاسخ ترمولومینسانس است. در سالهای اخیر مطالعه روی انواع جدید از دزیمترهای ترمولومینسانس در اندازه های توده ای و نانو ساختار صورت پذیرفته است که به کشف دزیمترهای جدید با خواص ترمولومینسانس ویژه انجامیده است [۱۰-۴]. در این پژوهش به بررسی نحوه ساخت  $SrB_4O_7:Pb$  به روش حالت جامد و منحنی تابش ترمولومینسانس آن پرداخته شده است.

#### ۲. بخش تجربی

ذرات استرانسیوم تتراپورات آلییده شده با سرب به روش پخت حالت جامد ساخته شد. برای ساخت این ذرات، استرانسیوم نیترات، اسید بوریک و سرب نیترات به عنوان مواد اولیه با درصد خلوص بالا استفاده شدند. مقادیر استوکیومتری از مواد فوق به ترتیب درون یک آسیاب ساییده شدند تا یک پودر کاملاً یکنواخت حاصل شود. پودر حاصل درون یک کوره قرار داده شد و در یک فرآیند دو مرحله ای ابتدا به مدت ۲ ساعت در دمای 400 درجه سانتی گراد و سپس به مدت ۸ ساعت در دمای ۸۴۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. در طی این فرآیند مواد با هم واکنش داده و مواد اضافی موجود تبخیر می شوند که منجر به یک مخلوط سفید رنگ می شود [۱۱]. نهایتاً به منظور کلسینه کردن، نمونه به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و به منظور همگن سازی، نمونه دوباره ساییده شد [۱۲].

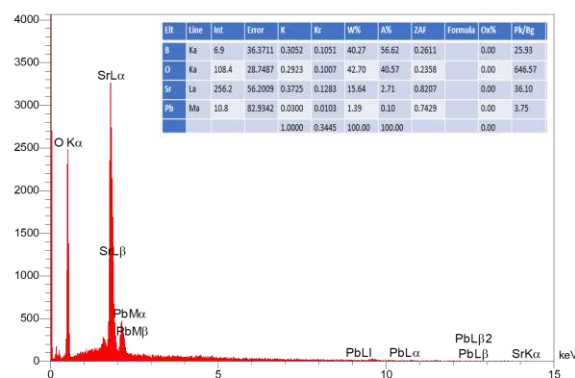
### ۳.۳. ویژگی های ترمولومینسانس

نمونه ساخته شده پس از اعمال رژیم گرمایی مناسب توسط چشمه پرتو دهی  $^{60}\text{Co}$  پرتو دهی شد. به منظور قرائت نمونه ها از دستگاه Harshaw TLD Reader 4500 استفاده شد. نمونه ها با آهنگ گرمادهی ۳ درجه سانتی گراد از دمای ۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد قرائت شدند. شکل ۴ منحنی به دست آمده را نشان می دهد.



شکل (۴): منحنی تابش ترمولومینسانس مربوط به  $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Pb}$ .

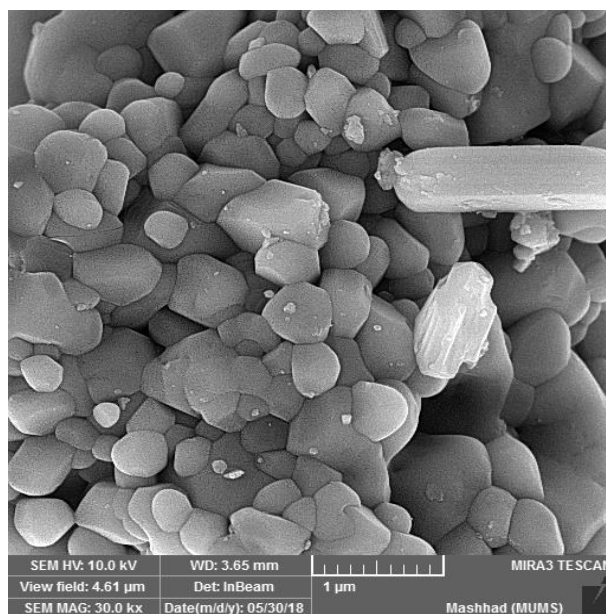
برای توصیف قله های ترمولومینسانس از مدل سینتیک مرتبه عام استفاده شد [۱۳]. برازش منحنی توسط برنامه کامپیوتری تولید شده در دانشگاه کاشان انجام شد. شکل ۵ منحنی تجربی و برازش شده توسط برنامه کامپیوتری را نشان می دهد. در این شکل کمیت FOM میزان خطا در انطباق داده های تجربی و تئوری را نشان می دهد و با توجه به اینکه مقادیر کمتر از ۲/۵ نشان دهنده یک انطباق مناسب و قابل قبول می باشند [۱۴]، و مقدار این کمیت ۱/۶۲ است، انطباق قابل قبولی بین نتایج تئوری و تجربی به دست آمده است.



شکل (۲): طیف EDX مربوط به نمونه ساخته شده  $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Pb}$ .

### ۲.۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

آنالیز SEM ذرات هم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل MIRA3 TESCAN SEM به منظور بررسی چگونگی توزیع ذرات ساخته شده از نمونه نیز به عمل آمد. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می شود ذرات از همگنی نسبتاً خوبی برخوردار هستند.



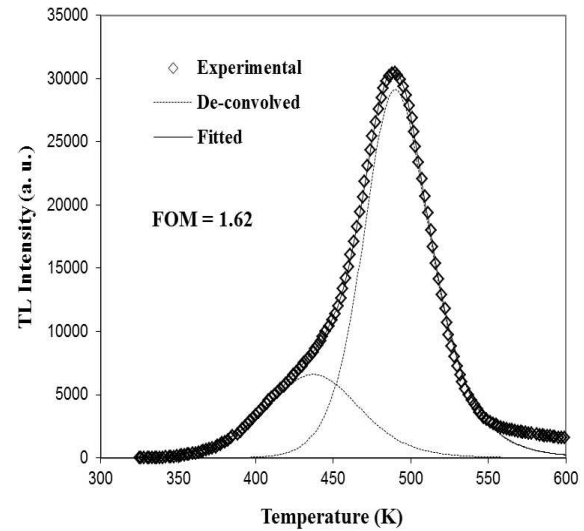
شکل (۳): تصویر SEM مربوط به نمونه ساخته شده  $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Pb}$ .

جدول (۱): پارامترهای گیراندازی ترمولومینسانس  $SrB_4O_7:Pb$ .

peak	b	E (eV)	$T_m$ (K)	$I_m$ (a.u)
1	1.54	0.65	437	6598
2	2.00	1.41	490	29157

#### ۴. نتیجه گیری

در این تحقیق، استرانسیوم تترابورات با ناخالصی سرب برای اولین بار به روش پخت حالت جامد ساخته شد. نتایج حاصل از آنالیزهای XRD و SEM تشکیل ذرات استرانسیوم تترابورات را تأیید می کند. پاسخ ترمولومینسانس این ماده نسبت به پرتوهای گاما شامل دو قله هم پوش در دماهای ۴۳۷ و ۴۹۰ کلوین است. پارامترهای سینتیک قله های همپوش نشان دهنده مرتبه سینتیک ۱،۵۴ برای قله اول و مرتبه سینتیک ۲ برای قله دوم می باشند. دمای بسیار مناسب قله دزیمتری اصلی این نمونه (واقع در دمای ۴۹۰ کلوین) این قله را از عواملی همچون محوشدگی و یا تأثیر از دام های عمیق مصون است. چنین خصوصیتی می تواند این فسفر را به عنوان یک دزیمتر مناسب معرفی نماید.



شکل (۵): منحنی درخشش ترمولومینسانس برازش شده ذرات ساخته شده.

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می شود، منحنی درخشش ترمولومینسانس نمونه ساخته شده از ۲ قله همپوش در دماهای ۴۳۷ و ۴۹۰ کلوین تشکیل شده است. پارامترهای گیراندازی مربوط به منحنی برازش شده شامل مرتبه سینتیک  $b$ ، انرژی فعالسازی  $E$ ، دمای بیشینه  $T_m$  و شدت بیشینه  $I_m$  مربوط نیز به دست آمدند که در جدول ۱ آورده شده است.

- [1] T.I. Korshikova, S.V. Parkhomenko, A.V. Tolmachev, V.A. Tsurikov, R.P. Yavetskiy. Features of Strontium Tetraborate Synthesis by Means of Borate Rearrangement. *Neorganicheskie Materialy*. 44.1487–1490 (2008).
- [2] J. Azorin. Preparation methods of thermoluminescent materials for dosimetric applications: An overview. *Applied radiation and isotopes*. 83, 187–191 (2014).
- [3] M. Santiago, A. Lavat, E. Caselli, M. Lester, L.J. Perisinotti, A.K. De Figueiredo, F. Spano and F. Ortega. Thermoluminescence of Strontium Tetraborate. *Physics Status Solids (A)*. 167 233-236 (1998).
- [4] M. Zahedifar, E. Sadeghi. Thermoluminescence dosimetry properties of new Cu doped  $\text{CaF}_2$  nanoparticles. *Radiat. Prot. Dosim.* 157 (3), 303–309 (2013).
- [5] M. Talebi, M. Zahedifar, E. Sadeghi. UVC dosimetry properties of Mn and Ce doped KCl thermoluminescent phosphor produced by coprecipitation method. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B*. 458, 97–104 (2019).
- [6] E. Sadeghi, M. Zahedifar, M. Khalifeh Shoushtari. Synthesis and dosimetry features of novel sensitive thermoluminescent phosphor of LiF doped with Mg and Dy impurities. *Applied Radiation and Isotopes* 136, 111–117 (2018).
- [7] M. Rahimi, M. Zahedifar, E. Sadeghi. Synthesis, optical properties and thermoluminescence dosimetry features of manganese doped  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  nanoparticles. *Radiation Protection Dosimetry*, 1–8 (2018).
- [8] M. Zahedifar, F. Almasifard, E. Sadeghi, S. harooni, M. Kashefi Biroon. Thermoluminescence dosimetry properties and kinetic analysis of  $\text{MgSO}_4:\text{Dy}$  microcrystalline prepared by solid state method. *Radiation Measurements* 103, 26-32 (2017).
- [9] M. Zahedifar, E. Sadeghi, M. Kashefi biroon, S. Harooni, F. Almasifard. Thermoluminescence dosimetry features of DY and Cu doped  $\text{SrF}_2$  nanoparticles under gamma irradiation. *Applied Radiation and Isotopes* 105, 176–181 (2015).
- [10] M. Kashefi iBiroon, M. Zahedifar, E. Sadeghi, F. Almasifard. Preparation, kinetic analysis and thermoluminescent dosimetry features of highly sensitive  $\text{SrF}_2:\text{Dy}$  phosphor. *Radiation Physics and Chemistry* 159, 1–5 (2019).
- [11] M. De Jong, A. Meijerink, Z. Barandiaran, L. Seijo. Structure and Hindered Vibration of  $\text{Bi}^{2+}$  in the Red-Orange Phosphor  $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Bi}$ . *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(31), 17932–17939 (2014).
- [12] S. Roberval, A. S. Maia, C. A. Kodaira, E.S. Ercules Teotonio, Maria, C.F.C. Felinto, H. F. Brito. *Optical Materials*. 29, 1852–1855 (2007).
- [13] A.J.J. Bos. Theory of thermoluminescence. *Radiat. Meas.* 41, 45–56 (2007).
- [14] H.G. Balian, N.W. Eddy. Figure of merit (FOM), an improved criterion over thenormalized chi squared test for assessing goodness-of-fi to fgamma- ra yspectr apeaks. *Nucl. Instrum. Methods*. 145, 389–393 (1977).

