

بررسی پتانسیل استرانسیم سولفات آلاییده شده با سامریم در آشکارسازی تابش فرابنفش

پریسا امین پور، خدیجه رضایی ابراهیم سراهی*، کوروش بازاری جامخانه

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱، اصفهان - ایران

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۳/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۳۰

چکیده

این پژوهش به بررسی قابلیت‌های یک ماده گرمالیان مناسب برای کاربردهای دزیمتری تابش‌های فرابنفش می‌پردازد. ویژگی‌های لیانی و دزیمتری نانوپودرهای بلورین $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ و $\text{SrSO}_4:\text{Sm,Tb}$ که در معرض تابش فرابنفش قرار گرفتند، بررسی و مطالعه شده است. منحنی تابان نمونه‌ها مطالعه شد که دارای یک پیک لیانی در دمای حدود 220°C است. داشتن منحنی لیانی ساده و پیک در این دما از مزیت‌های این نانوپودر برای اهداف دزیمتری است. نتایج نشان داد که تغییر غلظت ناخالصی‌های سامریم، در شدت لیانی منحنی تابان تأثیرگذار است. نانوپودر فعال شده با سامریم $0.15 \text{ mol}\%$ بیش‌ترین شدت لیانی را از خود نشان داد. ویژگی‌هایی مانند پاسخ دز در زمان‌های مختلف از ۱۰ تا ۹۰ دقیقه و محوشدگی این نمونه بررسی شدند. تأثیر آهنگ خوانش روی منحنی گرمالیان نیز مطالعه شد. به منظور بررسی گذارهای مجاز انرژی در ساختار نانو بلور SrSO_4 (سامریم با $0.15 \text{ mol}\%$) نانوپودرها با طول موج 320 nm برانگیخته شدند و طیف گسیلی آن‌ها رسم شد. طول موج‌های گسیلی 690 nm و 725 nm مشاهده شدند که به گذارهای ${}^4\text{G}_{5/2}-{}^6\text{H}_{11/2}$ و ${}^4\text{G}_{5/2}-{}^6\text{H}_{13/2}$ سامریم مربوط هستند. نتایج نشان داد که نانوپودر این پژوهش می‌تواند انتخاب مناسبی برای اهداف دزیمتری تابش‌های فرابنفش باشد.

کلیدواژه‌ها: تابش فرابنفش، گرمالیان، استرانسیم سولفات (SrSO_4)

Investigation of nanophosphor of SrSO_4 activated by Sm and Tb as a potential UV detector

P. Aminpoor, Kh. Rezaee Ebrahim Saraee*, K. Bazari Jamkhaneh

Department of Nuclear Engineering, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, P.O.Box: 81746-73441, Isfahan – Iran

Research Article

Received 5.6.2019, Accepted 21.7.2019

Abstract

In this research, nanocrystalline powder of $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ was prepared by chemical co-precipitation method at room temperature. The $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ nanocrystalline powder was characterized using X-ray diffraction (XRD) and energy-dispersive x-ray spectroscopy (EDX), thermoluminescence (TL) and photoluminescence (PL). Under UV irradiation, all samples had a main peak at 220°C . The advantage of this nanocrystalline powder is a simple TL glow peak in the temperature above 200°C for UV radiation dosimetric. The results showed that changing Sm concentration affected the TL glow curve intensity and the maximum intensity of the TL glow curve of $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ was obtained for Sm with $0.15 \text{ mol}\%$. The TL response of the $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ irradiated with different UV irradiation time showed a linear behavior from 10-90 minutes. The fading of this nanocrystalline powder was less than 16% for 4 weeks. Moreover, the emission spectra of the $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$ nanocrystalline powder under excitation wavelength 320 nm showed peaks in the 690 and 725 nm wavelengths which were related to ${}^4\text{G}_{5/2}-{}^6\text{H}_{11/2}$ and ${}^4\text{G}_{5/2}-{}^6\text{H}_{13/2}$, respectively.

Keywords: Ultraviolet radiation, Thermoluminescence, Strontium sulfate (SrSO_4)

*Email: kh.rezaee@ast.ui.ac.ir

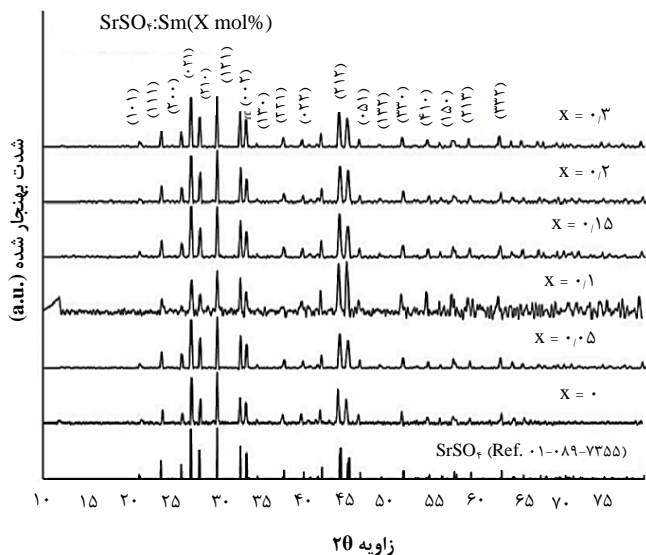
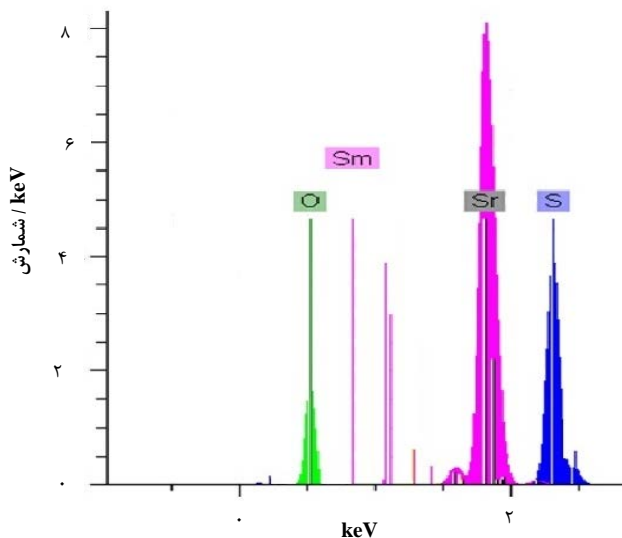
۱. مقدمه

بالتر از میانگین جهانی است. بنابراین آموزش، وسایل حفاظتی، کنترل‌های فنی و اقدامات قانونی از اصول حفاظت در برابر تابش فرابنفش است [۲، ۳]. در این میان، یک ابزار اندازه‌گیری مناسب و ارزان‌قیمت و دقیق اهمیت دارد. ابزاری که بتوان آن را در نقاط مختلف یک منطقه با خطرپذیری بالا قرار داد و توزیع شدت تابش‌های فرابنفش را اندازه گرفت. دزیمتر گرمالیان یکی از این ابزارهاست و باید دارای تمام ویژگی‌های مورد نیاز مانند حساسیت نسبت به تابش فرابنفش، ساختار منحنی تابش ساده، پاسخ دز خطی، محو‌شدگی ناچیز پس از ثبت تابش نمونه در دمای اتاق، و متأثر از رطوبت و نور محیطی، روش آماده‌سازی آسان و پایداری شیمیایی بالا باشد. هیچ کدام از گرمالیان‌های موجود، تمام این خصوصیات را به صورت ایده‌آل ندارند. بنابراین همیشه تلاش شده است که دزیمترهای گرمالیان جدید با ویژگی‌های مطلوب‌تر تولید شوند. ویژگی‌های مطلوب و مورد نیاز روزافزون به این ابزارها منجر به مطالعات بیشتری بر روی آن‌ها شده تا نمونه‌های متنوع با خواص بهتر و کارآمدی بیشتر نسبت به نمونه‌های قبلی تولید شوند. بنابراین هدف این تحقیق بررسی خواص گرمالیان نانوفسفر استرانسیم سولفات آلائیده با سامریم و امکان‌سنجی آن به عنوان یک ماده دزیمتری برای تابش فرابنفش است. این اولین باری است که از استرانسیم سولفات برای آشکارسازی و اندازه‌گیری تابش‌های UV استفاده می‌شود.

۲. مواد و روش آزمایش

روش‌های مختلفی برای سنتز نانو ذرات استرانسیم سولفات استفاده شده است که در میان آن‌ها روش هم‌رسوبی به عنوان یک روش ساده و در دسترس معرفی شده است. مواد اولیه برای سنتز نانو ذرات استرانسیم سولفات شامل استرانسیم نیترات، آمونیم سولفات، سامریم نیترات پنج آبه، تربیوم کلرید شش آبه، اتانول و آب مقطر یون‌سازی شده می‌باشد. مواد اولیه بدون فرایند خالص‌سازی استفاده شدند. برای تمامی نمونه‌ها، آمونیم سولفات در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۰.۵ h و همچنین با آن استرانسیم نیترات و ناخالصی مورد نظر در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و به همراه ۳۰۰ میلی‌لیتر اتانول به صورت جداگانه در بشر توسط هم‌زن مغناطیسی حل و مخلوط شدند.

در سال‌های اخیر ویژگی‌های گرمالیانی استرانسیم و باریوم سولفات فعال شده با برخی از عناصر خاکی کمیاب مانند Tb، Dy و Eu مطالعه شده است. گرمالیان در واقع فرایند گسیل نور از یک ماده جامد معدنی است که وقتی پیش‌تر تحت تابش قرار گرفته است با گرمادهی ماده، گسیل نور اتفاق می‌افتد. در ماده گرمالیان انرژی تابش فرودی جذب شده و زوج الکترون حفره ایجاد می‌شود. الکترون‌ها و حفره‌ها در فرایند پرتودهی در دام‌های ممکن تسخیر شده و می‌توانند تقریباً برای مدت طولانی در این حالت باقی بمانند. وقتی این مواد گرم می‌شوند و یا از طریق نور تحریک می‌شوند، الکترون‌ها و حفره‌های به دام افتاده آزاد شده و با یکدیگر بازترکیب می‌شوند و نور گسیل می‌کنند [۱]. مواد لیانی برای ارزیابی دز جذب شده تابش کاربرد دارند و معمولاً با فلزات یا عناصر خاکی کمیاب به عنوان مراکز دام فعال می‌شوند. مواد لیانی باید حساسیت بالا، مقاومت شیمیایی بالا و پاسخ خطی در بازه وسیعی از دز جذب شدهی تابش را داشته باشند. قیمت این مواد نیز باید از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد تا در صورت بررسی کلی و بهینه شدن بسیاری از پارامترهای دزیمتری، بتوانند به مرحله تجاری برسند. هدف اصلی دزیمتری، اندازه‌گیری و ارزیابی مقدار انرژی جذب شده در مواد مختلف و بافت‌های متفاوت بدن تحت تابش است. در این پژوهش ویژگی گرمالیان جدیدی که با عنصر خاکی کمیاب سامریم فعال شده و در برابر تابش فرابنفش قرار گرفته، بررسی شده است. بخشی از پرتوهای الکترومغناطیسی که انرژی آن‌ها برای یونیزاسیون ماده کافی نیست، پرتوهای غیریون‌ساز نامیده می‌شوند. انواع پرتوهای غیریون‌ساز عبارت‌اند از پرتوهای فرابنفش، نور مرئی، فرسرخ و امواج رادیویی. پرتو فرابنفش که جزو پرتوهای غیریون‌ساز است، پرتوهای الکترومغناطیس با طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر است. اهمیت تابش فرابنفش از آنجایی است که علاوه بر منبع طبیعی آن (خورشید)، در سال‌های اخیر از آن در مصارف علمی، صنعتی، پزشکی و حتی خانگی استفاده می‌شود. لذا کنترل و حفاظت در برابر این پرتوها بیش‌تر از قبل ضروری است. پرتوگیری بیش از حد تابش فرابنفش نه تنها روی انسان‌ها بلکه روی گیاهان، جانداران و در نهایت زنجیره غذایی تأثیرگذار است. به‌طور مثال، پیری پوست زودرس در کشور،

شکل ۱. XRD نانوکریستال‌های $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$.شکل ۲. EDX نانوکریستال‌های $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$.

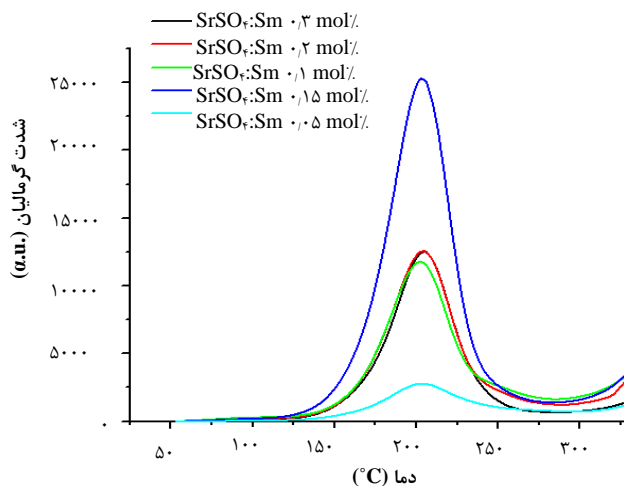
تصویر FE-SEM پودرهای نانوکریستالی $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.7\text{mol}\%}$ در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، پودرهای نانوکریستالی ظاهری چند ضلعی دارند که کلوخه شده‌اند. بیشینه و کمینه اندازه ذرات به ترتیب 100 nm و 300 nm با مقدار میانگین 250 nm به دست آمد.

محلول آمونیم سولفات به‌دست آمده به صورت قطره قطره به محلول استرانسیم نیترات اضافه شد. رسوب به‌دست آمده با استفاده از سانتریفیوژ جداسازی شد. فرایند شست و شو برای خارج شدن آمونیم و نیترات‌ها از رسوبات با اضافه کردن آب مقطر به رسوب، برای پنج دفعه انجام شد. ترکیب به‌دست آمده به مدت 24 h در دمای 100°C درون خشک‌کن، خشک شد. پس از پودر شدن، نمونه درون ظروف سرامیکی ریخته و درون کوره با جو گاز آرگون به مدت 2 h و دمای 85°C قرار گرفت. پس از رسیدن به این دما نمونه به مدت 2 h در این دما باقی ماند و سپس در دمای اتاق خنک شد. برای اثبات تشکیل استرانسیم سولفات از آنالیز پراش‌سنج ایکس^۱ (XRD) مدل فیلیپس با هدف مسی و طول موج 0.15406 nm (model Pw 3040 MDP) و برای اثبات حضور ناخالصی از طیف EDX^۲ ثبت شده، استفاده شد (مدل FE-SEM (Samx). برای بررسی ریخت‌شناسی پودرها از تصاویر FE-SEM (Class II) استفاده شد. هود لامینار فلو (مدل نانو راد طب نوین Class II) که شامل یک لامپ germicidal است و تابش UV-C را تولید می‌کند، برای تابش‌دهی نمونه‌ها استفاده شد. نور فرابنفش UV-C در محدوده طول موج 100 nm – 280 nm است و از دیگر طول موج‌های فرابنفش کوتاه‌تر است. برای خوانش نمونه‌ها از دستگاه قرائت‌گر ساخت شرکت ایمن‌گستر کیش با فیلتر IS171 استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

طیف پراش پرتو ایکس نمونه، در شکل ۱ مشاهده می‌شود که با طیف مرجع با شماره کارت $01-089-7355$ مطابقت دارد و تشکیل بلور SrSO_4 با ساختار لوزی وجهی را تأیید می‌کند. اندازه نانوکریستال‌ها با استفاده از رابطه‌ی دبای شرر به دست آمد [۴]. نتایج نشان داد که فسفر سنتز شده دارای اندازه میانگین 36 nm است. طیف EDX حضور تمام عناصر ترکیب را در نمونه اثبات کرد. حضور کربن در طیف EDX به علت نوار کربنی است که در حین آنالیز پودرها روی آن ریخته شده‌اند (شکل ۲ را ببینید).

1. X-Ray Diffraction (XRD)
2. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)

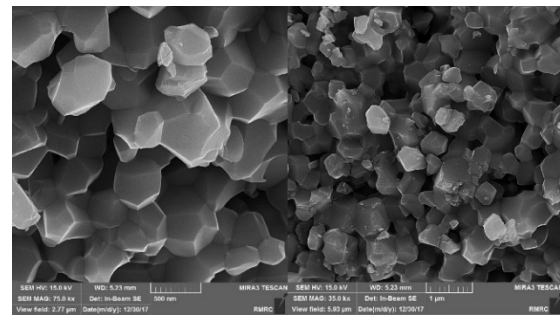


شکل ۴. منحنی تابان نانوبلور استرانسیم سولفات آلیبد با Sm تحت تابش UV.

به منظور بررسی تأثیر فعال‌سازهای Tb و Sm به طور هم‌زمان روی شدت منحنی تابان، نمونه $\text{Sm}_{0.05}\text{mol}\%$ ، $\text{SrSO}_4:\text{Tb}_{0.05}\text{mol}\%$ در شرایط یکسان با دیگر نمونه‌های ساخته‌شده تحت تابش منبع UV قرار گرفت و با کم‌ترین شدت پیک منحنی تابان، که مربوط به نمونه $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.05}\text{mol}\%$ بود، مقایسه شد (شکل ۵). نتایج نشان داد که افزودن یون $\text{Tb}_{0.05}\text{mol}\%$ باعث کاهش شدت پیک در مقایسه با $\text{Sm}_{0.05}\text{mol}\%$ شد. این واقعیت ممکن است به علت آن باشد که ابتدا دام‌های بیش‌تری با افزودن ناخالصی Tb وجود می‌آید ولیکن برهم‌کنش بین دام‌ها به علت کاهش فاصله‌هایی که در ترازهای بالاتر Tb به وجود آمده است، منجر به کاهش شدت لیانی شده است.

۲.۳ پاسخ گرمالیان

به منظور بررسی اثر زمان تابش‌دهی UV بر روی فسفر استرانسیم سولفات فعال شده با Sm، نمونه تحت تابش‌دهی UV به ترتیب در زمان‌های ۱۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه قرار گرفت و با آهنگ خوانش $6^\circ\text{C}/\text{s}$ توسط دستگاه قرائت‌گر گرمالیان خوانش شد. برای بررسی دقیق، شدت گرمالیان خوانده شده به جرم بهنجار شده است. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۳. FE-SEM نانوکریستال‌های $\text{SrSO}_4:\text{Sm}$.

۱.۳ ویژگی‌های گرمالیانی

ویژگی‌های مواد گرمالیان تنها مربوط به ماده میزبان نیست، بلکه به مواد ناخالصی اضافه شده به ماده میزبان نیز بستگی دارد. بنابراین برای بررسی تأثیر مقدار غلظت فعال‌ساز بر شدت گرمالیانی نانوپودرهای $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.3}\text{mol}\%$ ، $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.2}\text{mol}\%$ ، $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.1}\text{mol}\%$ و $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.05}\text{mol}\%$ به مدت ۲۰ min در فاصله یکسان از منبع تابش UV قرار گرفتند و بلافاصله پس از تابش دهی با آهنگ $6^\circ\text{C}/\text{s}$ با دستگاه قرائت‌گر گرمالیان خوانش شدند. جرم تمام نمونه‌ها نزدیک به ۰.۲ g انتخاب شد و در نهایت شدت گرمالیان به جرم هر نمونه بهنجار شد. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که شدت منحنی تابان گرمالیان وابسته به درصد غلظت ناخالصی Sm در نانوپودر SrSO_4 است. به طوری که کم‌ترین شدت گرمالیان مربوط به $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.05}\text{mol}\%$ است و با افزایش غلظت Sm تا مقدار $0.15 \text{ mol}\%$ افزایش و بعد از آن کاهش یافته است. هرچه شدت پیک بیش‌تر باشد، سطح زیر منحنی که نشان‌دهنده میزان دز جذب شده است بیش‌تر خواهد بود و برای دز یکسان نمونه‌ای که دارای سطح زیر منحنی بیش‌تر است، حساسیت بیش‌تری دارد. طبق نتایج به دست آمده در شکل ۴، $\text{Sm}_{0.15}\text{mol}\%$ در ماده میزبان SrSO_4 به عنوان حساس‌ترین ماده گرمالیان معرفی می‌شود. با افزایش غلظت عنصر خاکی Sm، مراکز لومینسانس بیش‌تری می‌تواند در ماده ایجاد شود و بنابراین شدت ترمولومینسانس افزایش می‌یابد. اگرچه نمی‌توان انتظار داشت که افزایش شدت منحنی تابان نامحدود باشد، زیرا میزان تشکیل مراکز لیانی فعالی که حفره‌ها را در طول تابش‌دهی به دام می‌اندازند، در مدت زمان کوتاهی محوشدگی برای آن‌ها اتفاق می‌افتد و فرونشانی غلظت رخ می‌دهد.

است که در آن a فاکتور مقیاس، D دز تابشی و k عدد ثابت است. هنگامی که با مقیاس $\log\text{-}\log$ شدت ترمولومینسانس به عنوان تابع دز تابشی رسم شود، معادله یک خط مستقیم با شیب k را نشان می‌دهد که شرایط زیرخطی، فوق خطی و خطی با مقدار k مشخص می‌شود. مقدار $k < 1$ بیان‌گر زیرخطی، مقدار $k > 1$ بالای خطی بودن و مقدار $k = 1$ خطی بودن پاسخ دز است [۴].

$$I = aD^k \quad (1)$$

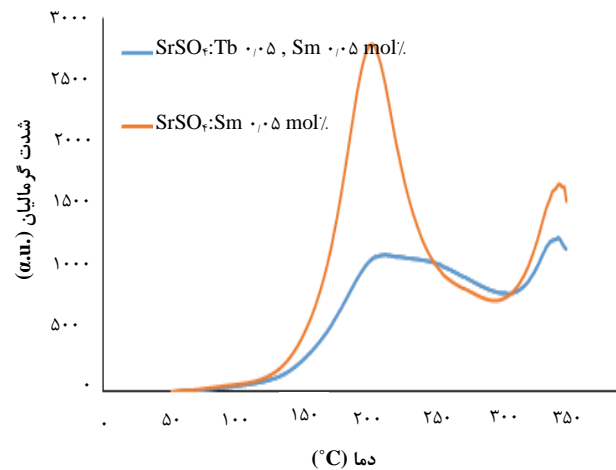
به همین منظور برای بررسی ویژگی خطی بودن، پودر لیانی $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{.7}\text{mol}\%$ به مدت زمان 20 min تحت تابش‌دهی UV قرار گرفت و بلافاصله بعد از تابش‌دهی خوانده شد.

شکل ۷ منحنی پاسخ دز نمونه را در مقیاس $\log\text{-}\log$ نشان می‌دهد.

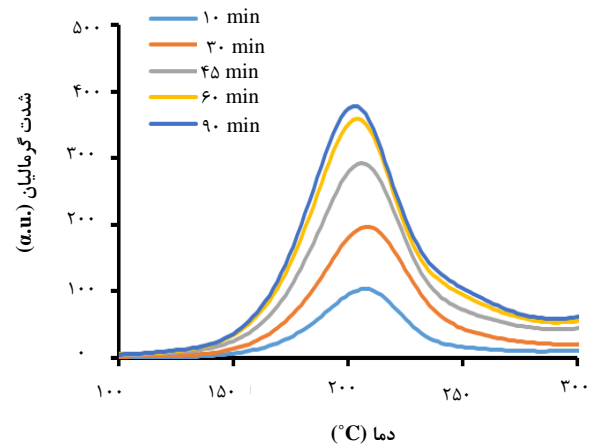
شیب منحنی $k = 0.77$ و کم‌تر از یک است. از مقدار k واضح است که شدت گرمالیان نمونه وابستگی زیرخطی به دز جذبی دارد.

۳.۳ تأثیر آهنگ خوانش بر منحنی‌های گرمالیان

آهنگ خوانش پارامتری مهم برای پدیده‌های گرمالیان است. زمان برای ثبت شدت منحنی‌های گرمالیان با افزایش نرخ حرارتی بر شکل و شدت منحنی‌های تابان تأثیر می‌گذارد. یکی از اصولی که یک دزیومتر باید بتواند آن را برآورده کند، نمایش ندادن فرونشانی حرارتی است که توسط پاسخ گرمالیان با افزایش نرخ حرارتی می‌تواند، بررسی شود. اگر در یک دز ثابت، پاسخ منحنی تابان مستقل از نرخ حرارتی باشد فرونشانی حرارتی وجود ندارد. در اثر حرارت‌دهی نانوفسفر، الکترون‌ها و حفره‌ها از دام‌ها آزاد می‌شوند و در اثر بازترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نور گسیل می‌شود و منحنی تابان با خوانش توسط قرائت‌گر گرمالیان ثبت می‌شود. در صورتی که در اثر بازترکیب، نوری گسیل نشود، در واقع فرونشانی حرارتی رخ داده است و منحنی تابان در خروجی قرائت‌گر مشاهده نمی‌شود. با فرض



شکل ۵. منحنی تابان نانوبلور استرانسیم سولفات آلیبده با تربیوم و سامریم.



شکل ۶. منحنی تابان نمونه $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{.7}\text{mol}$ تحت تابش UV در زمان‌های مختلف با آهنگ خوانش 6°C/s .

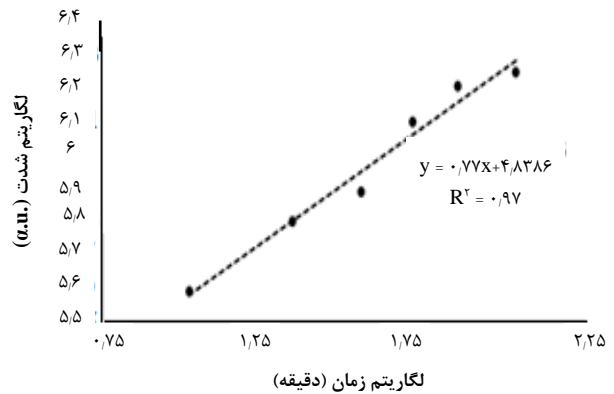
شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش زمان تابش‌دهی نمونه، شدت پیک منحنی تابان افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش زمان تابش‌دهی، نمونه دز بیشتری دریافت کرده است. پاسخ دز خطی یک ویژگی مهم برای هر ماده گرمالیان است که منجر به استفاده آن در دزیمتری فردی و محیطی می‌شود. منحنی تابان ماده گرمالیان می‌تواند علاوه بر پاسخ دز خطی، پاسخ دز زیرخطی یا بالای خطی نیز داشته باشد. رفتار خطی و غیرخطی بودن منحنی پاسخ دز بستگی به نوع دزیومتر و مشخصه‌های فیزیکی آن دارد. مقدار R^2 میزان مناسب بودن ویژگی خطی منحنی پاسخ دز ماده را نشان می‌دهد. معادله (۱) معادله مناسبی برای بررسی شدت گرمالیان ثبت شده

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نرخ حرارتی، از شدت لیانی کاسته شده و مکان پیک‌ها با تغییر نرخ حرارتی تغییر کرده است. هنگامی که نرخ حرارتی کم است ماده گرمالین برای مدت طولانی‌تری در یک دمای مشخص باقی می‌ماند، بنابراین بخشی از الکترون در دام‌ها در دمای پایین‌تری آزاد می‌شوند و باعث می‌شود که منحنی تابان در دماهای پایین پیک داشته باشد، و زمانی که نرخ حرارتی بالا است، ماده گرمالین برای مدت کوتاه‌تری در هر دما می‌ماند و بنابراین الکترون در دام‌ها در دماهای بالاتری آزاد می‌شوند و در نتیجه پیک منحنی تابان به سمت دماهای بالاتر می‌رود. با افزایش بیش‌تر نرخ حرارتی (بالاتر از 10°C/s)، پیک گرمالین به سمت دماهای پایین‌تر می‌رود. به این دلیل است که نگه‌دارنده نمونه دستگاه سریع‌تر از خود پودر نانوکریستال گرم شده است، بنابراین چون به اندازه دستگاه گرم نشده است الکترون‌های به دام افتاده‌اش در دماهای پایین‌تر آزاد می‌شوند.

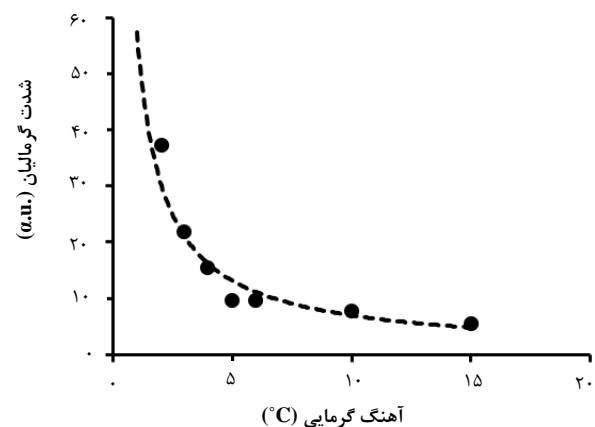
۴.۳ محوشدگی

دز جذبی نانوفسفرها پس از تابش‌دهی، با گذشت زمان به دو علت گرما و نور ممکن است تخلیه شوند که اصطلاحاً محوشدگی نامیده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم یک نانوفسفر برای آن‌که به عنوان یک دزیومتر به ویژه دزیومتر محیطی استفاده شود، آهنگ محوشدگی کم است. شدت محوشدگی پیک به صورت تابع نمایی $I = I_0 \exp(-pt)$ است که در آن I_0 شدت اولیه، t مدت زمان گذشته از تابش‌دهی و p احتمال برانگیزش حرارتی است [۶]. در این تحقیق برای بررسی ویژگی میزان محوشدگی $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.7}\text{mol}\%$ با منبع UV تابش‌دهی شده و در همان روز و سپس بعد از گذشت ۳، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز از تابش‌دهی خوانش شدند. شکل ۹ منحنی تابان شدت گرمالین در زمان‌های خوانش متفاوت را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که کاهش شدت پیک قابل ملاحظه‌ای که تغییرات زیادی را نشان دهد، وجود ندارد. محل پیک نشان‌دهنده عمق دام‌ها است و هرچه پیک در دمای کم‌تری اتفاق بیافتد، در واقع عمق دام کم‌تر است و دام‌های سطحی آزاد می‌شوند. طبق شکل محل پیک از روز اول تا روز هفتم ثابت بوده است و در روزهای پانزدهم و سی‌ام به سمت دماهای کم‌تر تغییر کرده است که نشان می‌دهد با گذشت زمان بعد از دو هفته محوشدگی رخ داده است و دام‌های سطحی‌تر از بار ذخیره شده آزاد شده‌اند. علت این محوشدگی و تخلیه بار، از گرما و یا نور محیطی که نمونه در آن قرار داشته است، می‌تواند باشد. شکل ۱۰ شدت‌های پیک در زمان‌های مختلف خوانش را نشان می‌دهد.

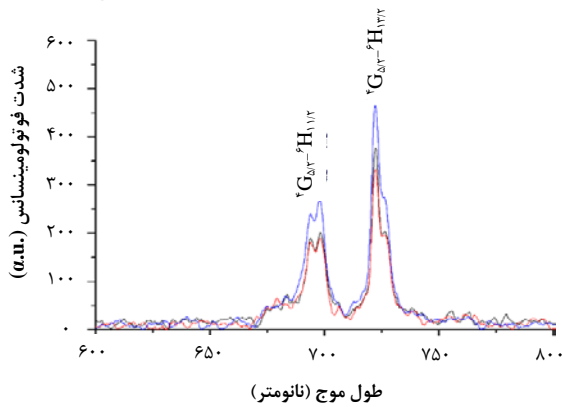
عدم فرونشانی برای یک منحنی تابان در دز ثابت، نور مشاهده شده توسط تکثیرکننده فوتونی ثابت می‌ماند و به مساحت زیر منحنی تابان برمی‌گردد. گزارش‌های زیادی حاکی از آن است که در دز ثابت، ارتفاع پیک منحنی تابان با افزایش آهنگ خوانش در حضور فرونشانی حرارتی کاهش می‌یابد. البته فرونشانی حرارتی تنها علت کاهش ارتفاع پیک نیست، و باید پارامترهای سینتیکی دیگری نیز مورد بررسی قرار بگیرد [۵]. به منظور مطالعه اثر آهنگ خوانش، نانوفسفر $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.7}\text{mol}\%$ تحت تابش‌دهی UV قرار گرفت و با نرخ‌های حرارتی 2°C/s ، 3°C/s ، 4°C/s ، 5°C/s ، 10°C/s و 15°C/s توسط قرائت‌گر گرمالین خوانش شد. شکل ۸ تغییرات ارتفاع پیک را برحسب نرخ‌های حرارتی مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۷. شدت منحنی تابان برحسب دز جذب شده $\text{SrSO}_4:\text{Sm}_{0.7}\text{mol}\%$ با آهنگ خوانش 6°C/s .



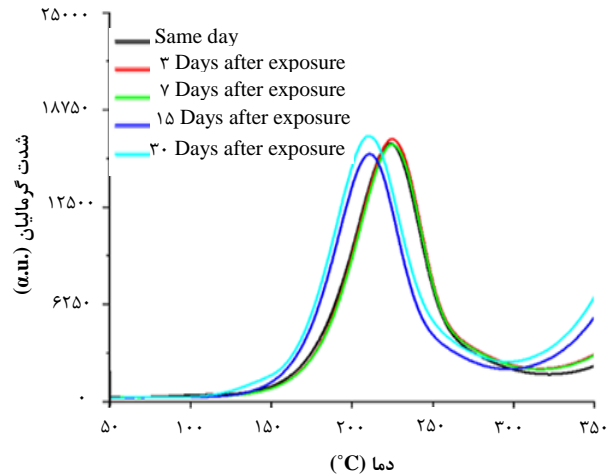
شکل ۸. ارتفاع پیک منحنی تابان برحسب نرخ‌های حرارتی مختلف.



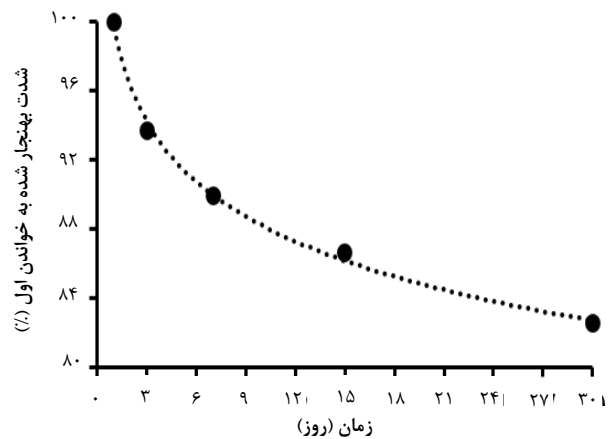
شکل ۱۱. طیف گسیل نانوکریستال SrSO_4 با درصد ناخالصی‌های $\text{Sm}_{0.3}\text{mol}\%$ در بازه $600\text{--}800\text{ nm}$.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که استرانسیم سولفات آلیپده شده با سامریم نسبت به تابش فرابنفش حساس است و می‌تواند برای دزیتری این نوع تابش استفاده شود. غلظت‌های متفاوت سامریم به عنوان فعال‌ساز از $0.1\text{ mol}\%$ تا $0.3\text{ mol}\%$ انتخاب شدند و تأثیر غلظت آن‌ها بر روی منحنی تابان استرانسیم سولفات بررسی شد. نتایج نشان داد که حضور ناخالصی سامریم شدت منحنی تابان را تغییر می‌دهد، به طوری که بیش‌ترین حساسیت مربوط به نمونه فعال شده با سامریم با غلظت $0.15\text{ mol}\%$ به دست آمد. اضافه کردن تریوم به عنوان ناخالصی دوم باعث کاهش شدت لیانی شد. نمونه استرانسیم سولفات آلیپده با $0.2\text{ mol}\%$ سامریم برای ارزیابی خواص دزیتری انتخاب شد. این نانوپودر در بازه زمانی بین 10 تا 90 min پرتوگیری نشان داد که نانوپودر در این بازه زمانی دارای پاسخ زیرخطی است. در این بازه زمانی دارای پاسخ زیر خطی است. محوشدگی نمونه‌ها در بازه زمانی یک ماه 16% به دست آمد که تغییرات کمی را نشان داد و از ویژگی‌های مطلوب این دزیتر است. تأثیر آهنگ خوانش از $2\mu\text{s}$ تا $15\mu\text{s}$ بررسی شد و نتایج نشان داد که آهنگ خوانش بر شکل و شدت منحنی تابان مؤثر است. نمونه با طول موج 320 nm برانگیخته و طیف گسیل آن گذارهای سامریم را نشان داد.



شکل ۹. منحنی تابان نانوفسفر $\text{SrSO}_4\text{Sm}_{0.3}\text{mol}\%$ در زمان‌های ۱، ۳، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز.



شکل ۱۰. میزان محوشدگی نانوفسفر در زمان‌های ۱، ۳، ۷، ۱۵ و ۳۰ روز.

شکل ۸ روند میزان محوشدگی پیک را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌ها، محوشدگی نانوفسفر $\text{SrSO}_4\text{Sm}_{0.3}\text{mol}\%$ در مدت زمان یک ماه 16% است. یک فسفر با نرخ محوشدگی کم‌تر از 20% در دمای محیط تا 50°C برای کاربردهای دزیتری مناسب است [۷].

۵.۳ فوتولومینسانس

شکل ۱۱ طیف گسیل فوتولومینسانس SrSO_4 ، برای غلظت ناخالصی $0.2\text{ mol}\%$ مول درصد سامریم، که در دمای اتاق با طول موج برانگیختگی 320 nm ثبت شده است را نشان می‌دهد. طیف گسیلی، باند گسیلی قرمز رنگ را در طول موج‌های نزدیک به 690 nm مربوط به گذار $4G_{5/2}-6H_{11/2}$ نشان می‌دهد. طول موج‌هایی در محدوده 725 nm نیز در طیف گسیلی مشاهده می‌شود که مربوط به گذار $4G_{5/2}-6H_{13/2}$ است.

مراجع

1. G.F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, 4th Ed, (John Wiley & Sons, 2010).
2. *Comprehensive guide and guidelines for radiation health (non-ionization radiation)*, (Institute of Environmental Science, Medical University Tehran, 1391).
3. M.R. Abdi, A.R. Alizadeh, *Introduction on UV and its effect on environment*, (University of Isfahan, 1388).
4. P. Gupta, et al, Thermoluminescence and glow curves analysis of γ -exposed Eu^{3+} doped $\text{K}_3\text{Y}(\text{PO}_4)_2$ nanophosphors, *Mater. Res.* **73**, 111 (2016).
5. M. Kumar, et al, Dependence of peak height of glow curves on heating rate in thermoluminescence, *J. Lumin.* **130** (7), 1216 (2010).
6. A.H. Wako, M. Chithambo, A. Finch, Thermoluminescence of $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$: Kinetic analysis of a composite-peak, *Radiat. Meas.* **97**, 1 (2016).
7. S. Jayasudha, et al, Structural characterization, thermoluminescence studies and kinetic parameters of $\text{SrSO}_4:\text{Eu}$ nanophosphors under X-ray and gamma excitations, *Spectrochim Acta A*, **155**, 21 (2016).