

## ساخت نانوذرات کلسیم سولفات آلییده شده با ناخالصی ایتربیم به روش شیمیایی هم‌رسوبی و بررسی رفتار ترمولومینسانس آن در پرتودهی گاما

محسن محرابی<sup>۱\*</sup> و صادق کریمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

<sup>۲</sup>گروه شیمی، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

\*بوشهر، دانشگاه خلیج فارس، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، گروه فیزیک، کدپستی: ۷۵۱۶۹۱۳۸۱۷

پست الکترونیکی: m.mehrabi@pgu.ac.ir

### چکیده

در این تحقیق نانوذرات کلسیم سولفات آلییده شده با درصد‌های مختلفی از ناخالصی ایتربیم با استفاده از روش شیمیایی هم‌رسوبی ساخته شده‌اند. خصوصیات ساختاری و ظاهری نانوذرات به وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و الگوی پراش پرتوی ایکس مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش ویلیامسون-هال اندازه تقریبی ۳۶ نانومتر برای ذرات به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نانوذرات ساخته شده با حضور سرفکتانت ساختار همگن و تقریباً کروی شکل دارند. هم‌چنین منحنی تابش ترمولومینسانس نسبت به پرتوی گاما و طیف فوتولومینسانس نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در طیف گسیلی فوتولومینسانس نانوذرات یک قله مشخص در طول موج ۱۰۷۰ نانومتر دیده می‌شود که به خوبی برای یون‌های ایتربیم شناخته شده‌اند و مربوط به انتقال الکترونی از ترازهای  $2F_{5/2}$  به  $2F_{7/2}$  می‌باشد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که ذرات ساخته شده در این روش در دزهای بالا به پرتو گاما حساس می‌باشند و در بازه ۱۰ تا  $10^4$  گری از خود پاسخ خطی نشان می‌دهند. میزان محوشدگی نمونه‌ها در طی یک ماه ۱۰ درصد می‌باشد.

کلیدواژه‌گان: ترمولومینسانس، کلسیم سولفات، هم‌رسوبی، فوتولومینسانس، نانوذرات، پرتو گاما.

### ۱. مقدمه

با توجه به خصوصیات فیزیکی و باند ممنوعه وابسته به اندازه ذرات در مواد نانوساختار، خواص نوری آن‌ها کاملاً متفاوت از مواد توده‌ای می‌باشد. به همین دلیل تلاش برای ساخت این نانوساختارها به روش‌های جدید، ارزان و قابل دسترس، روزبه‌روز گسترش یافته است [۶-۷].

در سال‌های اخیر با توجه به ویژگی‌های جدید در ابعاد کوچک، نانومواد توجه بسیاری از تحقیقات را به خود جلب کرده است. از بین این ویژگی‌ها، خواص نوری نانوبلورها و نانوساختارهای نیمه‌رسانا به شدت مورد توجه قرار گرفته و کاربردهای صنعتی فراوانی یافته است [۱-۵].

یکی از روش‌های ساده و در دسترس برای ساخت نانوساختارها روش شیمیایی هم‌رسوبی می‌باشد که به چهار مرحله تقسیم می‌شود:

۱- تهیه محلول فوق اشباع،

۲- مرحله تشکیل هسته،

۳- مرحله رشد هسته،

۴- مرحله چسبیدن ذرات در کنار یکدیگر.

در این فرآیندها اندازه، شکل و خواص نانوذرات به دو مرحله آخر بستگی دارد [۸]. در صورتی که بتوان هم‌زدن و تلاطم کاملاً یکنواخت و همگنی در نقاط مختلف ظرف محتوی محلول به وجود آورد، توزیع اندازه ذرات یکنواخت‌تر خواهد بود. برای این منظور می‌توان از همزن مکانیکی، امواج اولتراسونیک، ماکروویو یا جریان گاز خنثی یا نیتروژن در محلول استفاده کرد [۹].

یکی از مواد نانوساختار زیست‌پذیر که امروزه در صنایع مختلف کاربرد دارد، کلسیم‌سولفات است که به‌عنوان جایگزین استخوان، تصفیه فاضلاب، فیلترها و ... کاربرد دارد [۱۰-۱۱]. با توجه به باند ممنوعه بزرگ ساختار کلسیم‌سولفات می‌توان از آن در ساخت قطعات نوری نیز استفاده نمود. کلسیم‌سولفات یکی از نیمه‌هادی‌های ترکیبی شناخته شده است که قابلیت میزبانی برای ناخالصی‌های فراوانی را دارد. با توجه به ویژگی‌های فوق، تمرکز در جهت ساخت نانوساختارهای کلسیم‌سولفات و کاربردهای آن روزبه‌روز گسترش یافته است. کلسیم‌سولفات یک فسفر فراوان محیطی هست که به‌دلیل حساسیت بالای آن به پرتوهای یونیزان برای دزیمتری مناسب است، هم‌چنین بلورهای کلسیم‌سولفات وقتی با ناخالصی آلاینده شوند، خواص ترمولومینسانس جالبی را از خود نشان می‌دهند، بنابراین ساختار بلوری آن می‌تواند برای مطالعه‌ی اثر

پرتوهای یونیزان روی بلورهای آلاینده شده مورد استفاده در پدیده ترمولومینسانس قرار گیرد. بدین جهت تاکنون مطالعات زیادی در مورد این فسفر انجام گرفته است. در واقع کلسیم‌سولفات توده‌ای و نانوساختار با ناخالصی‌های متفاوت از جمله منگنز، سریم، کبالت، دیسپرسیم و ... ساخته شده‌اند و خواص ترمولومینسانس و فوتولومینسانس آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲-۱۷].

در این مقاله نانوذرات کروی شکل کلسیم‌سولفات که با درصد‌های مختلفی از ایتربیم آلاینده شده‌اند، با روش شیمیایی هم‌رسوبی ساخته شده است و با کنترل عوامل مؤثر در فرآیند ساخت، اندازه دلخواه و همگن در نانوساختارها ایجاد شده است. خاصیت ترمولومینسانس نانوذرات ساخته شده با ناخالصی ایتربیم برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفته است و تاکنون گزارشی از خواص دزیمتری این نانوذرات ارائه نشده است.

## ۲. روش آزمایشگاهی

### ۱،۲. دستگاه‌ها و روش‌های آنالیز

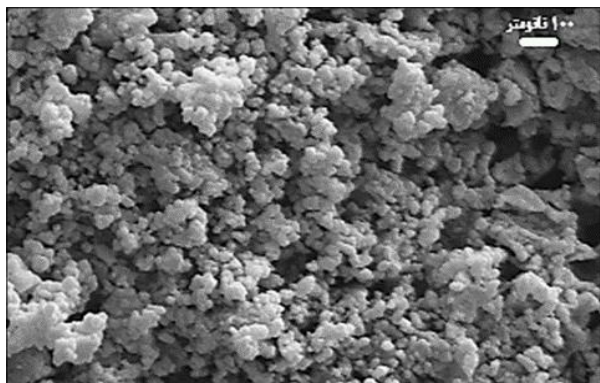
جهت بررسی ساختار و شکل نانوذرات تولید شده از دستگاه پراش پرتوی ایکس مدل Rigaku D-max CIII، پراش‌کننده پرتوی ایکس و فیلتر نیکل و تابش  $K\alpha$  مس و دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی بهره گرفته شده است.

طیف فوتولومینسانس نانوذرات به‌وسیله طیف‌سنج فوتولومینسانس مدل Perkinelmer LS و قوس زنون به‌عنوان منبع تحریک ثبت شده است.

منحنی تابش ترمولومینسانس نانوذرات به‌وسیله دستگاه ترمولومینسانس مدل 4500-Harshow و در دمای اتاق با نرخ ۱ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه ثبت شده است.

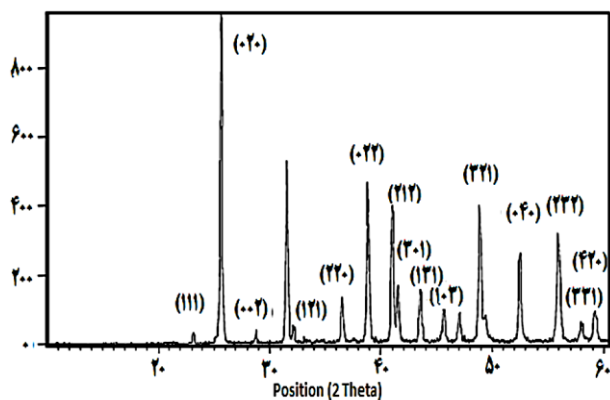
## ۲.۲. روش ساخت نانوذرات

بهینه می‌توان نانوذرات کلسیم سولفات آلائیده شده با ناخالصی ایتربیم را با اندازه و ساختار بلوری مناسب ساخت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی این نانوذرات در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل (۱): نانوذرات کلسیم سولفات آلائیده شده با ناخالصی ایتربیم ساخته شده به روش هم‌رسوبی شیمیایی.

ساختار نانوذرات ساخته شده با الگوی پراش پرتوی ایکس با دستگاه Rigaku D-III C max، پراش‌کننده اشعه ایکس با فیلتر نیکل و تابش  $K\alpha$  مس، مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، الگوی به‌دست آمده ساختار کلسیم سولفات را تأیید می‌کند که با ساختار بلوری کلسیم سولفات با شماره کارت مرجع ۰۶-۰۲۲۶ کاملاً هم‌خوانی دارد.



شکل (۲): الگوی پراش پرتوی ایکس نانوذرات کلسیم سولفات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

در این تحقیق از روش شیمیایی هم‌رسوبی و استفاده از سرفکننت جهت ساخت نانوذرات کلسیم سولفات آلائیده شده با ایتربیم بهره گرفته شد. مواد اولیه مورد استفاده همگی از شرکت Merck و با درجه خلوص بالا تهیه شده است. برای ساخت نانوذرات کلسیم سولفات، نخست ۰/۳۹ گرم استات کلسیم وزن و در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدایی شده حل شد (محلول ۱). سپس ۰/۳ گرم آمونیوم سولفات در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدایی شده و اتانول ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی در دمای اتاق قرار گرفت (محلول ۲). ۴/۵ گرم بریج ۳۵ در ۵۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدایی حل و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد (محلول ۳). محللول ۳ به آرامی به محللول ۱ اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از آن مقادیر کمی اسیدسولفوریک به آن اضافه شد تا pH محللول به ۴ برسد. سپس محللول شماره ۲ نیز به آن افزوده شد و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. رسوب به‌دست آمده به وسیله سانتریفیوژ با دور ۸۰۰۰ از محللول جدا شده و پس از شستشو با اتانول به مدت دو ساعت در آون در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و سپس به مدت یک ساعت در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. محصول نهایی پودر سفیدرنگ نانوذرات کلسیم سولفات می‌باشد. جهت اضافه کردن ناخالصی به ساختار نانوذرات کلسیم سولفات در حین انجام واکنش بالا مقادیر متفاوت از استات ایتربیم به محللول ۱ اضافه شد.

## ۳. نتایج آزمایشگاهی

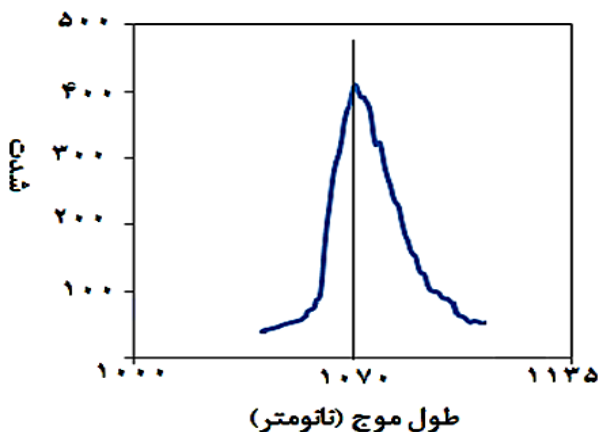
## ۳.۱. ساختار و شکل نانوذرات

با کنترل دقیق شرایط محیطی و واکنش و به‌کار بردن مقادیر

ارتعاشی قوی یا سطوح و فونون‌های استارک می‌شود که به‌عنوان انتقال‌های الکترونی در نظر گرفته می‌شوند.

از آن‌جا که در طیف فوتولومینسانس نمونه‌ها فقط یک قله مشخص وجود دارد، می‌توان نتیجه گرفت که اتصال الکترون-فونون در این نمونه‌ها قوی نیست. بنابراین هیچ قله قوی دیگری مشاهده نمی‌شود.

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، در طیف گسیلی فوتولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم به روش شیمیایی هم‌رسوبی یک قله مشخص در طول موج ۱۰۷۰ نانومتر دیده می‌شود که به‌خوبی برای یون‌های ایتربیم  ${}^2F_{7/2}$  شناخته شده‌اند و مربوط به انتقال الکترونی از ترازهای  ${}^2F_{5/2}$  به  ${}^2F_{7/2}$  می‌باشد [۱۹].



شکل (۴): طیف فوتولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

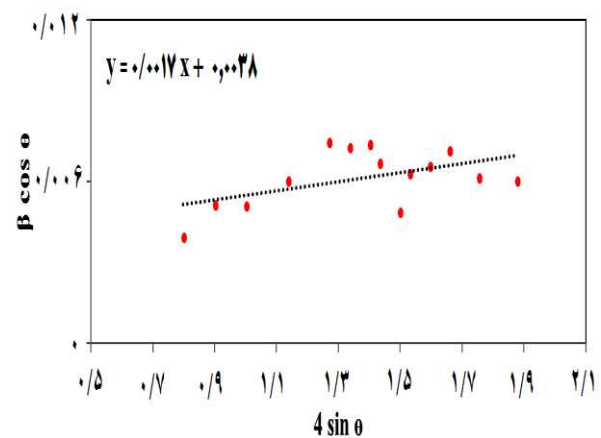
### ۳.۳. بررسی خواص ترمولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم

در شکل ۵ منحنی تابش ترمولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی و گرمادهی شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد که با پرتوی گاما (۱۰۰۰ گری) با استفاده از چشمه  $({}^{60}\text{Co})$  پرتودهی شده است نشان داده شده است.

برای تخمین اندازه ذرات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی می‌توان از روش ویلیامسون-هال، براساس معادله زیر استفاده نمود [۱۸].

$$\beta \cos \theta = (0.89\lambda) / d + 4\epsilon \sin \theta \quad (1)$$

که در آن  $\lambda$  طول موج،  $\beta$  پهناى نیمه قله بیشینه برحسب رادیان،  $\theta$  زاویه براگ،  $\epsilon$  کرنش شبکه و  $d$  میانگین اندازه بلورها است. با رسم نمودار  $\beta \cos \theta$  برحسب  $4\sin \theta$  و محاسبه عرض از مبدأ نمودار می‌توان اندازه بلورها را به دست آورد (شکل ۳).



شکل (۳): نمودار ویلیامسون-هال برای نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ناخالصی ایتربیم ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

بر این اساس اندازه بلوری در نانوذرات کلسیم سولفات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی ۳۶ نانومتر تخمین زده شد.

### ۲.۳. طیف فوتولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم

نتایج مطالعات پیشین صورت گرفته در مورد ترازهای انرژی یون‌های ایتربیم نشان می‌دهد که ساختار نواری آن بسیار ساده است و شامل ترازهای چندگانه در حالت‌های F پایه و برانگیخته می‌باشد. یون‌های ایتربیم تعاملات قوی با ارتعاشات شبکه بلوری دارند که باعث به‌وجود آمدن زیرترازهای

جدول (۱): پارامترهای گیراندازی نانوذرات کلسیم سولفات آلیپیده شده با ایتريم ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

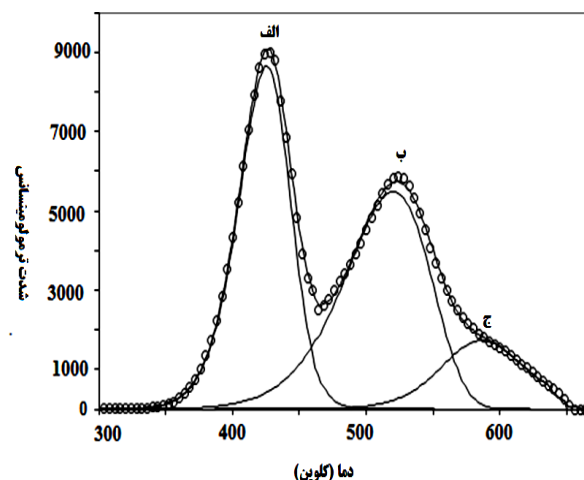
قله	ساخت	b	E(ev)	T <sub>m</sub> (k)	I <sub>m</sub> (a.u)
الف	هم‌رسوبی	۱/۳۳	۰/۹۹	۴۲۱	۸۸۰۰
ب	هم‌رسوبی	۱/۱۱	۰/۷۸	۵۱۵	۵۳۰۰
ج	هم‌رسوبی	۲	۱/۳۸	۵۹۲	۱۴۰۰

### ۴.۳. اثر تابکاری و غلظت ناخالصی بر حساسیت نانوذرات نسبت به پرتوی گاما

برای تخلیه ترازهای عمیق و نظم مناسب شبکه بلوری در بسیاری از موارد از تابکاری استفاده می‌شود. دما و زمان مناسب برای تابکاری برای هر ماده‌ی ترمولومینسانس از طریق تجربی به دست می‌آید. جهت انجام فرآیند تابکاری نمونه‌های ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی در دماهای مختلف به مدت ۱۵ دقیقه حرارت‌دهی شده‌اند و سپس روی صفحات آلومینیوم سرد شده‌اند.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش زمان حرارت‌دهی تغییری در رفتار نمونه‌ها حاصل نمی‌شود. علاوه بر این قله اصلی برای نمونه تابکاری نشده دما و شدت پایین دارد، در حالی که دمای قله اصلی برای نمونه تابکاری شده در دماهای ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و برای هر سه یکسان می‌باشد، بنابراین به دلیل این که در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد سطح زیر نمونه تابکاری شده بیشترین مقدار را دارد، دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای بهینه برای تابکاری انتخاب شده است.

شکل ۶ اثر میزان ناخالصی ایتريم را در میزان حساسیت نانوذرات کلسیم سولفات به پرتوهای گاما نشان می‌دهد. نانوذرات ساخته شده با مقادیر مختلف ناخالصی ایتريم (۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ مول درصد) ساخته شده و تابش ترمولومینسانس برای هر کدام قرائت شده است. با توجه به شکل و مقادیر مختلف برای سریم می‌توان دریافت که میزان



شکل (۵): منحنی تابش ترمولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلیپیده شده با ایتريم (۱/۱ مول درصد) ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

برای توصیف قله‌های ترمولومینسانس و ارائه تقریبی از پارامترهای سینتیک نانوذرات، از مدل سینتیک مرتبه عام استفاده شده است. در واقع مقادیر انرژی گیراندازی و معیار FOM (میزان انطباق قله‌های تجربی و تئوری ۰/۸) با استفاده از یک برنامه کامپیوتری که بر اساس مدل مرتبه عام و معادلات زیر نوشته شده به دست آمده است [۲۰].

$$I(T) = I_m b^{\frac{b}{b-1}} \exp\left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T-T_m}{T_m}\right) \times [(b-1)(1-\Delta) \frac{T^2}{T_m^2} \cdot \exp\left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T-T_m}{T_m}\right) + Z_m]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (2)$$

که در آن K ثابت بولتزمن و T دما می‌باشد و

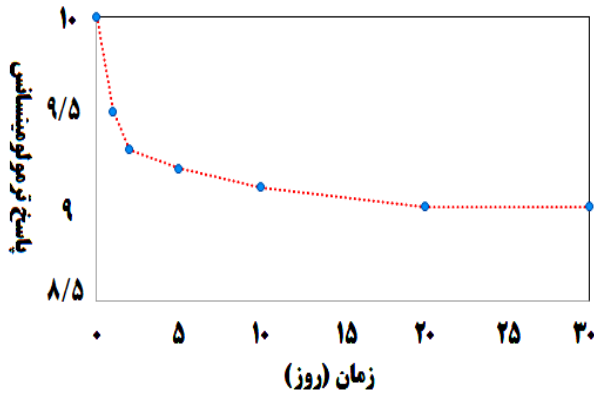
$$\Delta_m = 2kT_m / E \quad (3)$$

$$\Delta = 2kT / E \quad (4)$$

$$Z_m = 1 + (b-1)\Delta_m \quad (5)$$

منحنی برازش تابش ترمولومینسانس نانوذرات کلسیم سولفات آلیپیده شده با ایتريم در شکل ۵ و پارامترهای گیراندازی مربوط به آن‌ها نیز در جدول ۱ آورده شده است. منحنی برازش تابش نانوذرات کلسیم سولفات ساخته شده به این روش از سه قله در دماهای ۴۲۱، ۵۱۵ و ۵۹۲ کلون تشکیل شده است که هم‌پوشانی زیادی دارند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نانوذرات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی در طی یک دوره سی روزه محوشدگی کمی در حدود ده درصد دارند.



شکل (۸): نمودار منحنی محوشدگی نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

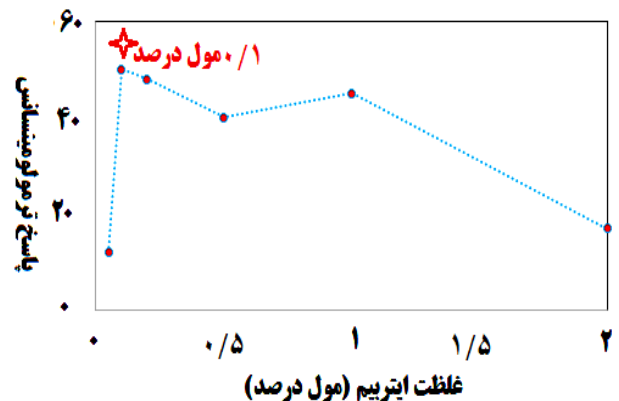
#### ۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم به روش شیمیایی هم‌رسوبی ساخته شده‌اند و خواص فوتولومینسانس و ترمولومینسانس آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که:

۱- ساختار تشکیل شده ساختار اورتورومبیک بلورهای کلسیم سولفات می‌باشد که به وسیله الگوی پراش پرتوی ایکس مورد تأیید قرار گرفته است. همان‌طور که تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی نشان می‌دهد، اندازه ذرات ساخته شده در حضور سرفکتانت بریج در حد نانومتر می‌باشد. همچنین شکل نانوذرات تشکیل شده کروی بوده و با استفاده از روش ویلیامسون- هال اندازه بلورها ۳۶ نانومتر به دست آمده است.

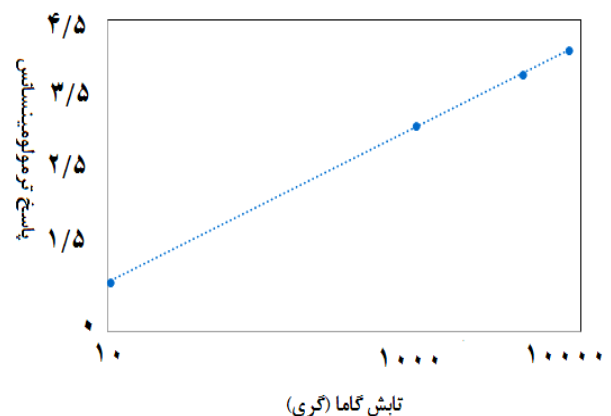
۲- طیف فوتولومینسانس ذرات ساخته شده تشکیل ساختار آلاینده شده کلسیم سولفات را تأیید می‌کند. در طیف گسیلی نانوذرات یک قله مشخص در طول موج ۱۰۷۰ نانومتر دیده می‌شود که به خوبی برای یون‌های ایتربیم شناخته شده‌اند و مربوط به انتقال الکترونی از ترازهای  ${}^2F_{5/2}$  به  ${}^2F_{7/2}$  می‌باشد.

۰/۱ مول درصد بهترین میزان ناخالصی برای افزایش حساسیت در نمونه‌های ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی می‌باشد.



شکل (۶): نمودار تأثیر میزان ناخالصی بر حساسیت نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم در برابر پرتو گاما (۱۰۰۰ گری).

نمونه‌های ساخته شده تحت تابش پرتوی گاما و با استفاده از منبع  ${}^{60}\text{Co}$  با دزهای مختلف از بازه ۱۰ Gy تا بازه ۱۰ KGy پرتو دهی شده‌اند. شکل ۷ نمودار پاسخ این نانوذرات را بر پایه لگاریتمی نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نانوذرات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی در دزهای بالا نسبت به پرتوی گاما حساسیت خوبی از خود نشان می‌دهند و در بازه ذکر شده از خود رفتار خطی نشان می‌دهند.



شکل (۷): نمودار پاسخ در برابر پرتو گاما برای نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم به روش شیمیایی هم‌رسوبی.

شکل ۸ نمودار محوشدگی نانوذرات ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی را در یک بازه سی روزه نشان می‌دهد.

۳- نانوذرات کلسیم سولفات آلاینده شده با ایتربیم ساخته شده به روش شیمیایی هم‌رسوبی حساسیت خوبی نسبت به پرتوهای گاما از خود نشان می‌دهند و در یک بازه وسیع از خود رفتار خطی نشان می‌دهند. هم‌چنین میزان محوشدگی نانوذرات تولید شده کاهش کمی

نسبت به روز اول پرتودهی از خود نشان می‌دهد. بنابراین حساسیت در دزهای بالا، پاسخ خطی در یک بازه وسیع از پرتودهی و محوشدگی کم برای نانوذرات ساخته شده آن‌ها را به‌عنوان یک دزیمتر مناسب جهت آشکارسازی پرتوهای گاما معرفی می‌کند.

## ۵. مراجع

- [1] Y. Takeda, N. Umeda, V.T. Gritsyna and N. Kishimoto. Optical transient resonance of copper nanoparticle composites synthesized by negative ion implantation, *Nucl.Instr. and Meth. B*, 175 (2001) 463–467.
- [2] H. Shang-Pan, W. Zhi-Qiang, Wu. Xiao-Juan and Shi Ji-Wen. Optical properties of Cr doped  $ZnAl_2O_4$  nanoparticles with Spinel structure synthesized by hydrothermal method, *Materials Research Express*, 7 (2020) 1-11.
- [3] D. Bhattacharya, S. Mukherjee, R. Kumar Mitra and Samit K Ray. Size dependent optical properties of  $MoS_2$  nanoparticles and their photo-catalytic applications, *Nanotechnology*, 31(14) (2020) 145701-145709.
- [4] B.L. Zhu, C.S. Xie, D.W. Zeng, W.L. Song and A.H. Wang. Investigation of gas sensitivity of Sb-doped ZnO nanoparticles, *Materials Chemistry and Physics*, 89 (2005) 148–153.
- [5] B. Ji, S. Koley, I. Slobodkin, S.Remennik and U. Banin. ZnSe/ZnS Core/Shell Quantum Dots with Superior Optical Properties through Thermodynamic Shell Growth, *Nano Lett*, 20 (2020) 2387–2395.
- [6] S. Abolaji Rasaki, B. Zhang, K. Anbalgam, T. Thomas and M.Yang. Synthesis and application of nano-structured metal nitrides and carbides: A review, *Progress in Solid State Chemistry*, 50 (2018) 1-15.
- [7] P. Vikram, B. Arpit, G. Rinki, Ja. Navin and P. Jitendra. Synthesis and Applications of Noble Metal Nanoparticles: A Review, *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 9 (2017) 527-544.
- [8] B. Schrick, J. L. Blough, A. Daniel Jones and Thomas E. Mallouk. Hydrodechlorination of Trichloroethylene to Hydrocarbons Using Bimetallic Nickel–Iron Nanoparticles, *Chem. Mater*, 14 (2002) 5140-5147.
- [9] S. Ramasamy, D. J. Smith, P. Thangadurai, K. Ravichandran, T. Prakash, K. Padmaprasad and V. Sabarinathan. Recent study of nanomaterials prepared by inert gas condensation using ultra high vacuum chamber, *pramana journal of physics*, 65 (5) (2005) 881- 891.
- [10] S. Gitelis, P. Piasecki, T. Turner, W. Haggard, J. Charters and R. Urban. Use of a calcium sulfate-based bone graft substitute for benign bone lesions, *Orthopedics*, 24 (2001) 162-166.
- [11] Y. Yang, Y.Q. Zhao, A.O. Babatunde, L. Wang, Y.X. Ren and Y. Han. Characteristics and mechanisms of phosphate adsorption on dewatered alum sludge, *Sep. Purif. Technol.*, 51 (2006) 193–200.
- [12] S. Lee, J. Kim and C.H. Lee. Analysis of  $CaSO_4$  scale formation mechanism in various nanofiltration modules, *J. Membr. Sci*, 163 (1999) 63-68.
- [13] K.S.V. Nambi, V.N. Bapat and A.K. Ganguly. Thermoluminescence of  $CaSO_4$  doped with rare earths. *J.Phys. C*, 7 (1974) 4403-4409.
- [14] M. Maghrabi, T. Karali, P.D. Townsend and A.R. Lakshmanan. Luminescence spectra of  $CaSO_4$  with Ce, Dy, Mn and Ag codopants, *J. Phys. D*, 33 (2000) 470-477.
- [15] N. Salah, N. D. Alharbi and M. A. Enani. Luminescence properties of pure and doped  $CaSO_4$  nanorods irradiated by 15 MeV e-beam, *Nucl Instrum Methods B*, 319 (2014) 107–111.
- [16] M. Zahedifar and M. Mehrabi. Thermoluminescence and photoluminescence of cerium doped  $CaSO_4$  nanosheets, *Nucl Instrum Methods*, 268 (2010) 3517–3522.
- [17] Nandkumar T. Mandlik, P. D. Sahare and S. D. Dhole. Effect of size variation and gamma irradiation on thermoluminescence and photoluminescence characteristics of  $CaSO_4:Eu$  micro- and nanophosphors, *Applied Radiation and Isotope*, 159 (2020) 109080-109088.
- [18] G. K. Williamson and W. H. Hall. X-ray Line Broadening from Filled Aluminium and Wolfram, *Acta Metall*, 1 (1953) 22-31.
- [19] Yashaswini, C. Pandurangappa and N. Dhananjaya. Photoluminescence studies of ytterbium doped calcium sulphate nanophosphors for display applications, *Mater. Res. Express*, 6 (2019) 095027-095033.
- [20] G. Kitis, J. M. Gomez-Ros and J. W. N. Tuyn. Thermoluminescence glow-curve deconvolution functions for first, second and general orders of kinetics, *J. Phys. D Appl. Phys*, 31 (1998) 2636-2340.