

## سنتز نانو بلورهای استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) با فاز پایروکلر به روش گرمایی و مشخصه‌یابی ساختاری و اپتیکی آنها

قاسم صداقتی جمال آباد، محمد مهدی باقری محقق \*

گروه فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان

(دریافت مقاله: ۹۹/۹/۵، نسخه نهایی: ۹۹/۱۱/۲۵)

**چکیده:** در این پژوهش، نانوساختار پایروکلر استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) بعنوان یک ترکیب مهم یخ اسپینی به روش گرمایی تهیه شد و ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی آن بررسی گردید. در سنتز این ترکیب، از محلول ۰/۱ مول اکسید قلع ۵ آبه ( $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) و عامل نیترات دیسپرسیوم (III) ( $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) با نسبت‌های مولی  $\text{Dy}/\text{Sn}$  برابر با ۱، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۳،  $\frac{\text{Dy}}{\text{Sn}} = ۰/۱$  استفاده شد. اثر عامل دیسپرسیوم ( $\text{Dy}$ ) با درصدهای مختلف، بر تشکیل ترکیب استانات دیسپرسیوم با بازپخت در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد در محیط عادی بررسی گردید. پراش پرتوی ایکس (XRD) نمونه‌ای بازپخت شده در دمای ۱۱۰۰ °C تشکیل نانوبلورهای ساختار پایروکلر استانات دیسپرسیوم را به ازای  $\frac{\text{Dy}}{\text{Sn}} = ۱$  نشان داد. در نمونه‌های بازپخت شده در دماهای کمتر از ۱۱۰۰ °C حضور فاز دی اکسید قلع و فازهای ناپایدار دیگر نیز دیده شد. نتایج طیف‌سنجی مرئی - فرا بنفش (UV-Vis) نشان داد که با افزایش عامل دیسپرسیوم، گاف انرژی در گستره ۲/۵۰ تا ۳/۹۵ eV تغییر می‌کند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) تشکیل نانوبلورهای استانات دیسپرسیوم با ساختار پایروکلر را تایید کرد.

**واژه‌های کلیدی:** فاز اکسید پایروکلر؛ استانات دیسپرسیوم؛ ویژگی‌های ساختاری؛ روش گرمایی.

### مقدمه

قطبی مغناطیسی ذراتی مشابه ذرات با بارالکتریکی است. همان طور که ذرات باردار الکتریکی منبع تولید میدان الکتریکی هستند، تک قطبی مغناطیسی نیز منبع تولید میدان مغناطیسی است. در صورت وجود ذرات تک قطبی مغناطیسی در شرایط ویژه، آنها باید به عنوان ذرات اصلی بنیادی در نظر گرفته شوند. به تازگی، فیزیکدانان ماده چگال موفق به ایجاد نسخه‌های مصنوعی از این ذرات عجیب در بلورهای اکسیدهای خاکی نادر با نام یخ اسپینی شده‌اند [۲]. دکتر لودویک جاورب و پروفیسور نیک شادن رهبر گروه نظریه واحد کوانتومی ماده در موسسه علم و فناوری اکیناوا، به همراه پروفیسور رودریک موینر از موسسه ماکس پلانک در سدن موفق به توضیح پیرامون مشاهده ساختار دولایه از یک تک قطبی مغناطیسی در اسپین‌های یخ زده شدند. فیزیکدان‌ها الکترون‌هایی در

امروزه یکی از اهداف اصلی فیزیکدانان نظری به دست آوردن قانون اتحاد بین نیروها و اثبات وجود یک خاستگاه مشترک برای همه نیروهای موجود در طبیعت است؛ با نظریه اتحاد نیروها، قوانین هستی به صورت جامع و زیباتر توصیف می‌شوند. یک قدم برای نزدیک شدن به این نظریه بزرگ پژوهش پیرامون تک قطبی مغناطیسی است [۱]. تک‌قطبی مغناطیسی موضوعی مهم در سال‌های اخیر بوده و هر بار با دیدگاه جدیدی بررسی شده است. جذابیت کنونی تک قطبی‌های مغناطیسی بر تصور تقارن و دوگانگی معادله‌های الکترومغناطیس متمرکز است. دیراک در سال ۱۹۳۱ وجود ذراتی را پیشنهاد کرد که به طور ذاتی منبع تولید میدان مغناطیسی هستند و از این رو نام آنها را تک قطبی مغناطیسی گذاشت [۲، ۱]. منظور از تک

توجه قرار گرفته‌اند [۹]. کاتیون  $A^{+}$  اغلب از عناصر خاکی نادر و یون  $B^{+}$  از عناصر واسط هستند [۱۰]. در ساختار پائروکلر، هر کاتیون  $A^{+}$  توسط هشت آنیون اکسیژن  $O^{-}$  احاطه شده است. با توجه به گستردگی ترکیبات، تنوع بسیاری از ویژگی‌ها در این ترکیب‌ها وجود دارد. در دمای پایین، یخ‌های اسپینی ویژگی‌های جالبی دارند [۱۱]. این مواد در دمای پایین دارای آن‌تروپی پسماند بوده که مانند یخ-آب بلوری هستند [۱۲]. در این گروه، استانات لانتانیدها که از اکسیدهای پائروکلر هستند، دارای ویژگی‌های جالب و قابل توجهی از جمله درخشندگی، ابرسانایی، خاصیت فرومغناطیسی، کاتالیزوری در دماهای بالا و حسگری گازی هستند [۱۳].

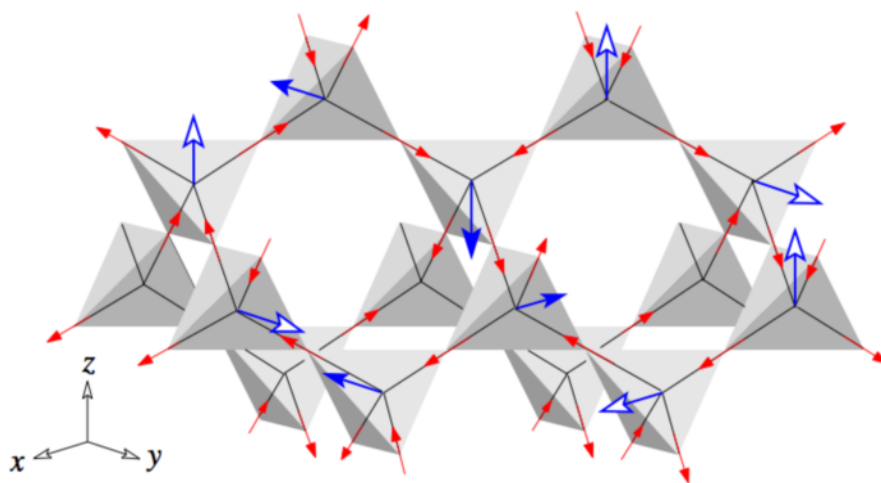
در میان اکسیدهای پائروکلر، استانات دیسپرسیوم  $Dy_2Sn_2O_7$  [۱۴]، ترکیبی با کاربردهای گسترده به عنوان رسانایی یونی/الکتریکی، کاتالیزوری، باتری‌های یون لیتیومی و مقاوم در برابر تابش مخرب هسته‌ای است [۱۵]. در سال‌های اخیر، چند روش برای سنتز استانات لانتانیدها پیشنهاد شده است [۱۶]. از جمله این روش‌ها سل-ژل، سنتز آبی و احتراقی، ائروسول، پیرولیز (تفکافت) و گرمایی هستند که با آنها می‌توان نانوذرات و نانوبلورک‌های ماده را در دماهای متوسط سنتز نمود [۱۷].

در این پژوهش، از روش گرمایی برای سنتز ساختار پائروکلر استانات دیسپرسیوم با ریختار مکعبی استفاده شد. در مقایسه با روش‌های دیگر، این روش ساده، عملی و مقرون به صرفه‌تر است. با این روش، توزیع اندازه دانه‌ها همگن‌تر و اندازه متوسط ذرات کوچکتر و تناسب عنصری کاملتر است.

اسپین‌های یخ‌زده یافته‌اند که در دمای نزدیک صفر مطلق به صورت دسته جمعی مانند تک قطبی‌های مغناطیسی رفتار می‌کنند. این یافته از مهمترین کشفیات در ۱۵ سال اخیر است [۳]. یک تک قطبی مغناطیسی زمانی تولید می‌شود که اختلالی در جهت‌گیری اسپین بوجود آید؛ هر گروه اسپینی با اشتراک‌گذاری یک چاروچه‌ی با چاروچه‌ی همسایه باعث ایجاد یک تک قطبی مغناطیسی می‌شود که می‌توان آنها را پیرامون بلورها شبیه حرکت موجی طرفداران یک تیم در استادیوم در نظر گرفت که تک قطبی‌هایی از شارمغناطیسی مخالف را بوجود می‌آورند [۴]. این تک قطبی‌های مغناطیسی ذرات واقعی شبیه الکترون‌ها و پروتون‌ها نیستند، اما به صورت شبه ذرات معرفی می‌شوند، زیرا به نظر می‌رسد که با یک رفتار جمعی پیرامون اتم‌ها و الکترون‌ها به طور موثر با هم در تعامل هستند.

یخ اسپینی دسته‌ای از مواد بلوری با ساختارهای پیچیده چندوجهی هستند که یون‌های مثبت فلزی و یون منفی اکسیژن در چهارطرف شبکه هرمی شکل در قفسه‌هایی با ساختار چاروچه‌ی قرار دارند. یخ اسپینی چند حالت کمینه انرژی دارد [۵]. چیدمان چاروچه‌ی‌ها در ساختار بلوری به فاز پائروکلر منجر می‌شود [۶]. با توجه به شکل ۱، هر یک از چهار اتم در راس هرم چاروچه‌ی مغناطش کوچک داخلی را با خود حمل می‌کنند که یخ اسپینی نامیده شده [۷] و راستای آن اغلب با یک پیکان به سمت شمال یا جنوب نشان داده می‌شود [۸].

از میان ساختارهای یخ اسپینی، اکسیدهای پائروکلر مغناطیسی با فرمول شیمیایی عمومی  $A_2B_2O_6O$  بیشتر مورد



شکل ۱ جهت‌گیری اسپین‌ها در شبکه پائروکلر هرمی شکل ساختار یخ‌های اسپینی [۳].

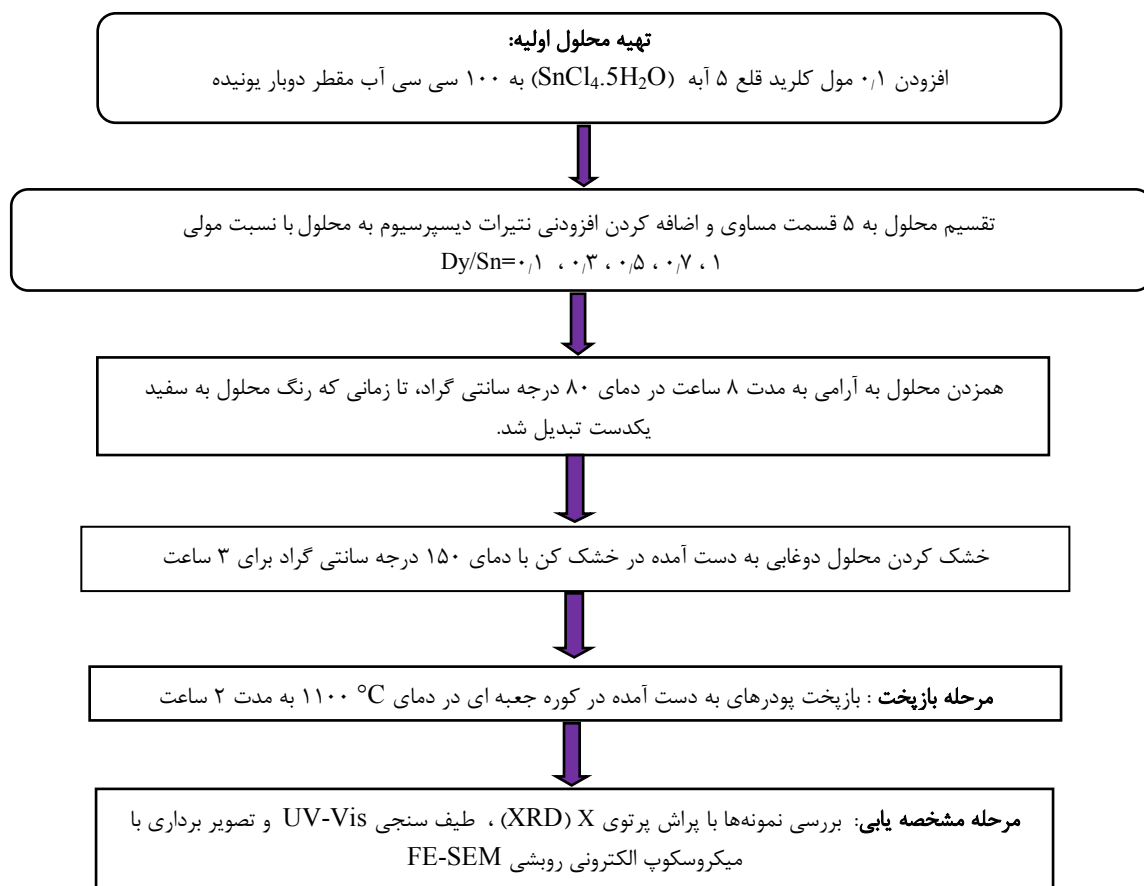
## مواد و روش‌ها

تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی اثر میدان (FE-SEM) بررسی شد. ساختار نانو بلورک‌های تهیه شده با پراش‌سنج پرتوی ایکس Bruker D8 با تابش تکفام  $\text{CuK}\alpha$  با طول موج  $\lambda = 0.15405 \text{ nm}$  فارسی بررسی گردید. ریختار و اندازه دانه‌ها بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی TF-SCAN MIRA3 بررسی شد. طیف جذب و عبور نوری نمونه‌ها در دمای اتاق با طیف‌سنج UV-Vis مدل Shimadzu UV-1700 در گستره طول موجی ۱۹۰-۱۱۰۰ نانومتر ثبت گردید.

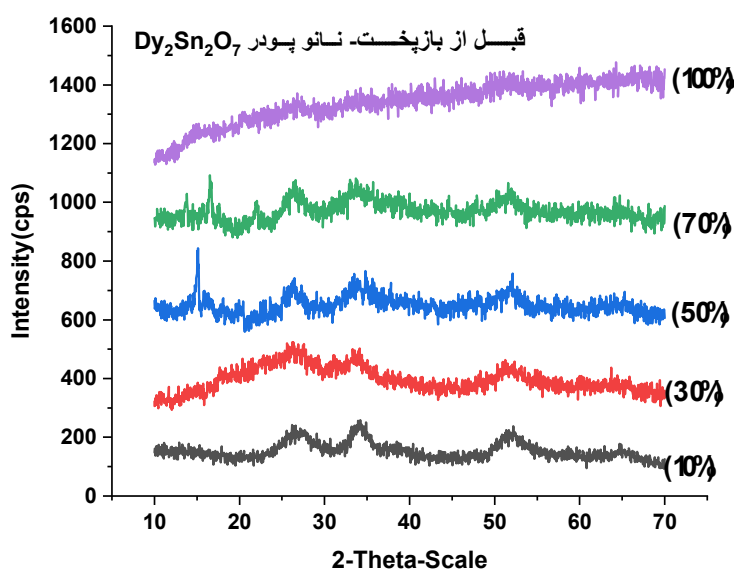
## نتایج و بحث

در شکل ۳، الگوهای XRD نانوپودرهای با تراکم عامل دیسپرسیوم ۱۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ پیش از بازپخت آورده شده است. تحلیل الگوها با نرم افزار X'PERT نشان می‌دهد که ترکیب‌های به دست آمده بلورینگی ضعیفی دارند. این نتیجه با گزارش‌های بین المللی منتشر شده همخوانی دارد [۱۸].

چنان که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای تهیه محلول اولیه، نخست ۰/۱ مول از اکسید قلع ۵ آبه ( $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) در ۱۰۰ سی سی آب دوبار یونیده حل شد. همزدن را تا شفافیت محلول ادامه دادیم. سپس، محلول به ۵ قسمت مساوی تقسیم شده و در هر قسمت، مقدار معینی از عامل نیترات دیسپرسیوم III با نسبت‌های مولی مختلف (۱، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۳، ۰/۱) اضافه شد. پس از افزودن دیسپرسیوم، محلول به مدت ۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به آرامی هم زده شد تا رنگ محلول به سفید یکدست تبدیل گردید. سپس، محلول دوغابی به دست آمده برای ۳ ساعت در خشک کن با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سرانجام، پودرهای بدست آمده در کوره ۶۰۰ درجه سانتی گراد و سپس ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت بازپخت شدند. ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی نمونه‌ها پس از هر مرحله از بازپخت با پراش پرتوی ایکس (XRD)، طیف‌سنجی UV-Vis و



شکل ۲. مراحل سنتز نانو پودر ترکیب استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ).

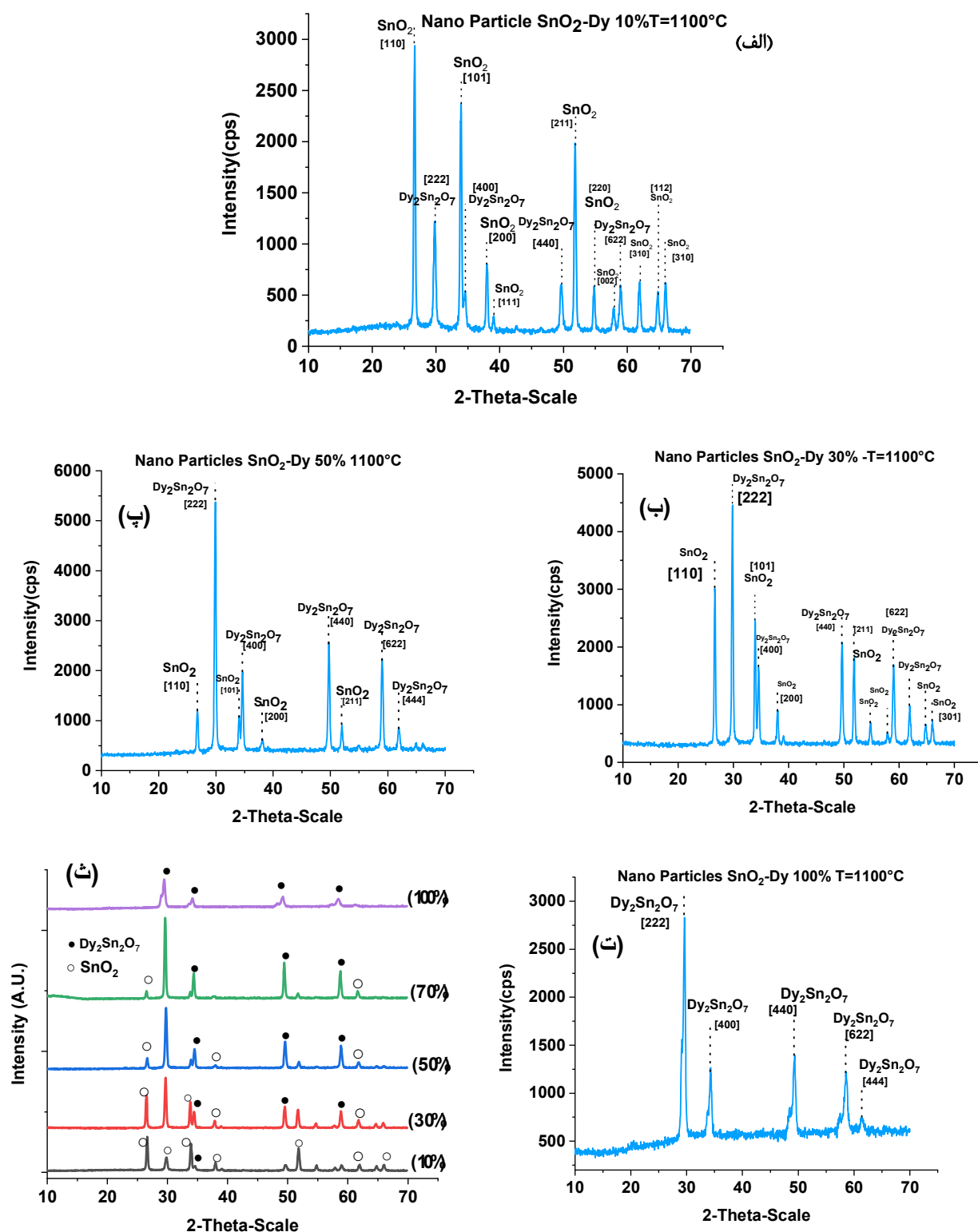


شکل ۳ الگوهای پراش پرتوی X (XRD) نمونه‌ها پیش از بازپخت.

( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) بیشتر می‌شود. در جدول ۱، یافته‌های ساختاری شامل فاصله صفحات بلوری (d)، پهنای قله‌ها در نیم شدت بیشنه (FWHM) و اندازه بلورک‌ها (D) محاسبه شده بر پایه رابطه شرر آمده است. با افزایش غلظت دیسپرسیوم، روند افزایشی اندازه بلورک‌ها با توجه به راستای ارجح [۲۲۲] دیده می‌شود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش تراکم دیسپرسیوم احتمال جانشینی یون  $\text{Dy}^{3+}$  در جایگاه‌های شبکه‌ای اکسید قلع افزایش می‌یابد.

در شکل ۵، تصاویر میکروسکوپ الکترونی-رویشی از ریختار سطحی نمونه‌های با تراکم‌های عامل دیسپرسیوم ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد پیش و پس از بازپخت در دمای  $1100^\circ\text{C}$  نشان داده شده است. دیده می‌شود که ریختار سطحی ذرات پس از بازپخت به صورت نانوبلورهای چندوجهی بوده و اندازه بلورک‌ها با بازپخت بزرگتر شده است. با توجه به ویژگی‌های سطحی و مقدار انرژی شیمیایی بالا در اکسیدهای پایروکلر، ترکیب این مواد در حالت کمینه انرژی است. از این رو، لکه‌های تیره در تصاویر نمونه‌ها پیش از بازپخت قابل مشاهده است و پس از بازپخت دانه‌های بلوری رشد کرده‌اند.

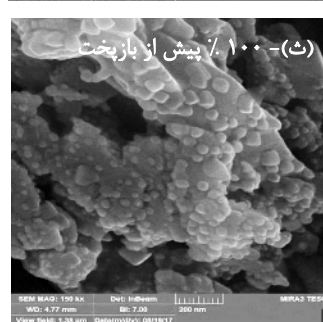
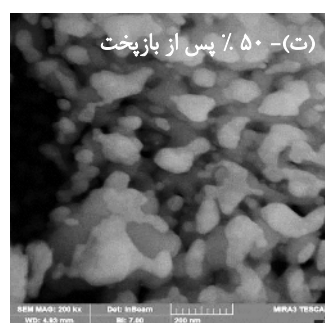
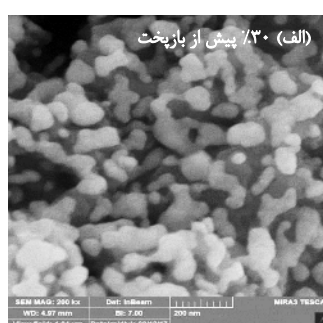
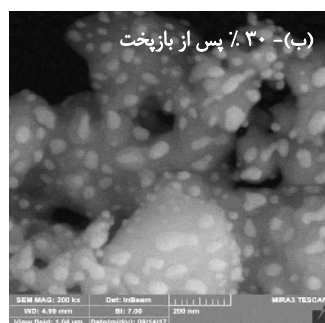
نمونه‌های با درصدهای مختلف عامل دیسپرسیوم به مدت ۲ ساعت در دمای  $1100^\circ\text{C}$  در یک کوره جعبه‌ای بازپخت شدند. شکل ۴ الگوهای پراش پرتوی X نمونه‌های با درصد دیسپرسیوم ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد. در این دما، تجزیه‌ی کامل فازهای آلی انجام شده است و فازهای معدنی  $\text{SnO}_2$  و  $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  تشکیل شده‌اند. در الگوهای پراش همه نمونه‌ها، قله‌های مربوط به ترکیب استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) البته با شدت‌های متفاوت ظاهر شده‌اند. برای نمونه با ۱۰٪ عامل دیسپرسیوم (Dy)، فاز غالب اکسید قلع ( $\text{SnO}_2$ ) است (شکل ۴ الف) و با افزایش Dy، بتدریج فاز غالب استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) می‌شود. چهار راستای بلوری شناسایی شده در نمونه‌ها با شاخص‌های میلر [۲۲۲]، [۴۰۰]، [۴۴۰] و [۶۲۲] مربوط به ساختار مکعبی فاز استانات-دیسپرسیوم است. نمونه با عامل دیسپرسیوم ۱۰۰ درصد از ساختار تک فاز استانات دیسپرسیوم تشکیل شده است. الگوی پراش همه نمونه‌ها برای مقایسه با فاز استانات دیسپرسیوم در شکل ۴ ث آمده است. چنان که دیده می‌شود، با افزایش تراکم دیسپرسیوم، شدت قله متناظر با ساختار استانات دیسپرسیوم



شکل ۴ الگوهای پراش پرتوی X (XRD) نمونه‌های با درصد عامل دیسپرسیوم (الف) ۱۰٪، (ب) ۳۰٪، (پ) ۵۰٪ و (ت) ۱۰۰٪ پس از بازیخت در دمای  $1100^\circ\text{C}$  به مدت ۲ ساعت و (ث) نمودار مقایسه‌ای همه نمونه‌ها.

جدول ۱ مشخصه ساختاری در نمونه‌های با درصد‌های مختلف Dy پس از بازپخت.

hkl	$2\theta$ (°)	فاصله صفحات (Å)	شدت نسبی قله در ترکیب	پهنای قله ( $2\theta$ )	متوسط اندازه بلورک (nm)
SnO <sub>2</sub> -Dy ۱۰%-۱۱۰۰					
۱۱۰	۲۶.۵۹	۳.۳۴	۱۰۰	۰.۲۷۰	۳۶.۳
۲۲۲	۲۹.۷۷	۲.۹۹	۳۷.۹۴	۰.۳۶۹	۲۵.۴
۱۰۱	۳۳.۸۷	۲.۶۴	۸۱.۶۸	۰.۲۸۶	۳۴.۵
SnO <sub>2</sub> -Dy ۳۰%-۱۱۰۰					
۱۱۰	۲۶.۶۲	۳.۳۴	۶۷.۱۱	۰.۲۴۸	۴۰.۲
۲۲۲	۲۹.۸۰	۲.۹۹	۱۰۰	۰.۲۷۲	۳۶.۲
۱۰۱	۳۳.۹۱	۲.۶۴	۵۲.۹۷	۰.۲۵۳	۳۹.۹
SnO <sub>2</sub> -Dy ۵۰%-۱۱۰۰					
۱۱۰	۲۶.۷۴	۳.۳۳	۱۶.۱۳	۰.۲۹۷	۳۲.۴
۲۲۲	۲۹.۸۷	۲.۹۸	۱۰۰	۰.۲۹۳	۳۳.۲
۱۰۱	۳۴.۰۳	۲.۶۳	۱۳.۵۰	۰.۲۶	۳۸.۶
SnO <sub>2</sub> -Dy ۷۰%-۱۱۰۰					
۱۱۰	۲۶.۶۳	۳.۳۴	۸.۴۶	۰.۲۵	۳۹.۸
۲۲۲	۲۹.۷۴	۳.۰۰	۱۰۰	۰.۲۴۶	۴۰.۹
۱۰۱	۳۳.۹۱	۲.۶۴	۶.۸۱	۰.۲۴	۴۲.۶
SnO <sub>2</sub> -Dy ۱۰۰%-۱۱۰۰					
۲۲۲	۲۹.۵۳	۳.۰۲	۱۰۰	۰.۴۱۶	۲۲.۱
۴۰۰	۳۴.۳۲	۲.۶۱	۱۴.۸۲	۰.۴۶	۲۰.۰
۴۴۰	۴۹.۳۶	۱.۸۴	۱۷.۰۹	۰.۴۹	۱۹.۶



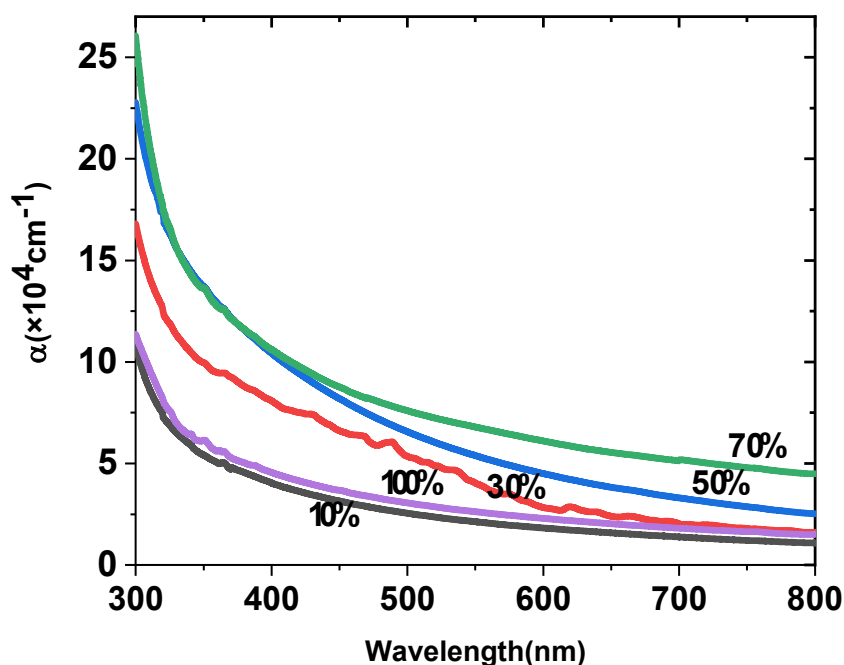
شکل ۵ تصاویر FE-SEM از ریختار سطحی نانوبلورهای نمونه‌های با تراکم‌های مختلف عامل Dy ۳۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪، پیش و پس از بازپخت در دمای ۱۱۰۰ °C.

نمونه‌های با تراکم Dy مختلف در گستره ۲/۵۰ تا ۳/۸۵ eV است. از عوامل موثر بر تغییر گاف انرژی، تغییر ساختار و نواقص بلوری در اثر تغییر اندازه دانه‌ها با بازپخت نمونه‌هاست. از طرف دیگر، با توجه به تغییر غلظت دیسپرسیوم و اثر دمای بازپخت بر تشکیل نانوبلورهای استانات دیسپرسیوم، تغییر گاف انرژی مربوط به کامل شدن ساختار ترکیب استانات دیسپرسیوم بدون نقایص بلوری در اثر اکسیدشدن ترکیب طی بازپخت در کوره و رسیدن به تناسب عنصری کامل ساختاری است.

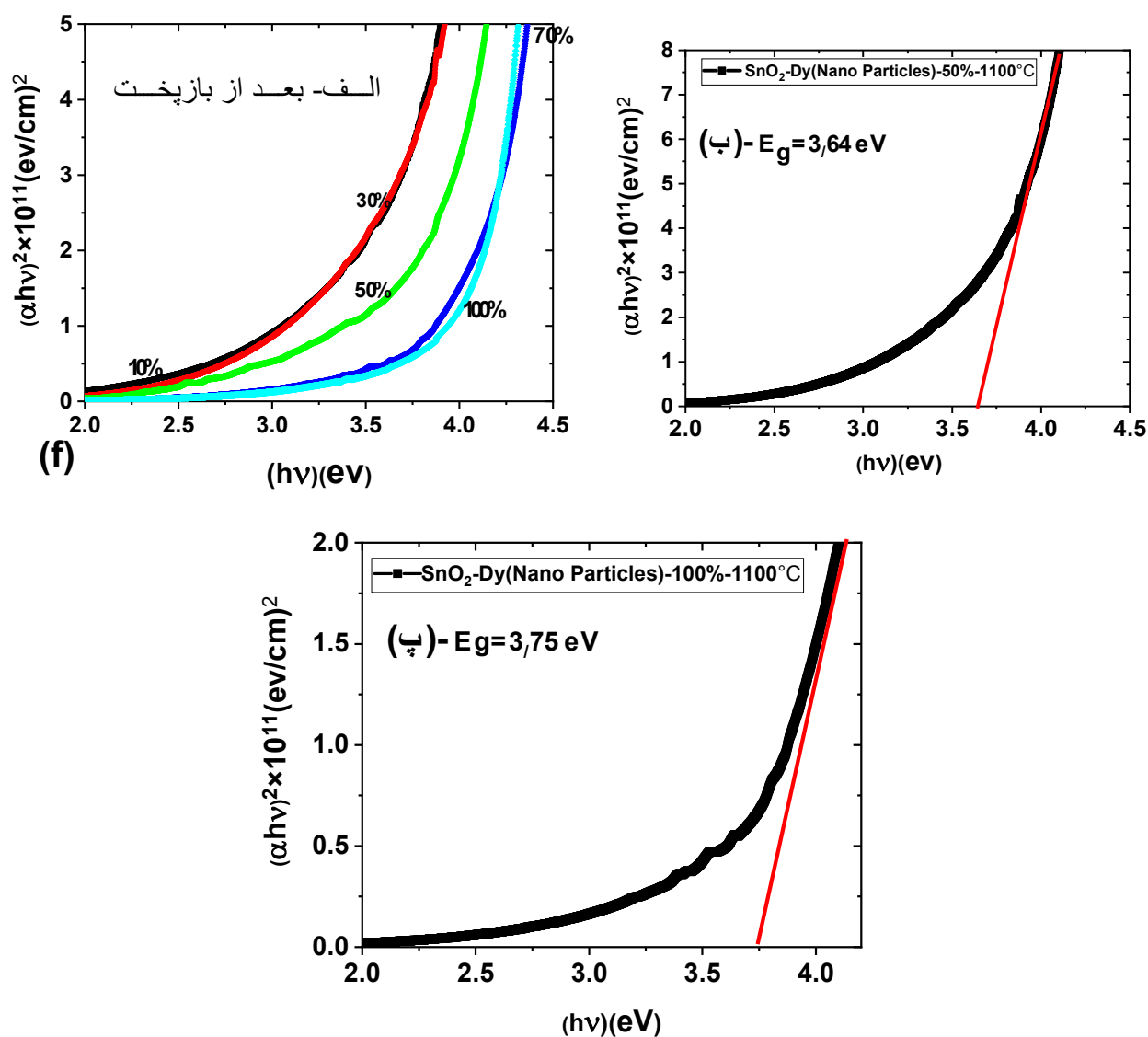
مقدار گاف انرژی نمونه‌های با ۵۰ و ۱۰۰ درصد Dy پس از بازپخت در جدول ۲ آمده است. دیده می‌شود که پس از بازپخت، گاف انرژی افزایش می‌یابد که می‌توان آن را به افزایش میزان اکسیدشدگی و رسیدن به حالت عایق کامل فاز استانات دیسپرسیوم نسبت داد. نتایج بررسی‌های اپتیکی از سوی دیگران نیز گزارش شده است [۲۰، ۱۹].

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ترکیب استانات دیسپرسیوم می‌تواند برای ساخت آشکارسازها، دیودها، فوتوکاتالیزورها و لیزرهای نیم‌رسانا استفاده شود.

برای بررسی ویژگی‌های اپتیکی، بر اساس یافته‌های XRD و تصاویر FE-SEM دو نمونه با تراکم عامل دیسپرسیوم ۵۰ و ۱۰۰ درصد انتخاب شده و عبور و جذب نور UV-Vis در گستره طول موجی ۱۹۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر از آنها در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. شکل ۶ طیف‌های جذب نمونه‌های با تراکم Dy ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد پس از بازپخت در دمای  $1100^\circ\text{C}$  را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که جذب نمونه‌ها با افزایش عامل Dy بتدریج افزایش و سپس در نمونه ۱۰۰ درصد کاهش می‌یابد. نمونه‌های ۵۰ و ۷۰ درصد پس از بازپخت جذب بیشتری دارند. در نمونه ۱۰۰٪ پس از بازپخت، بدلیل تشکیل کامل ساختار بلوری استانات دیسپرسیوم ( $\text{Dy}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ) شفافیت نوری افزایش و در نتیجه جذب کاهش می‌یابد. براساس قانون بیر-لامبرت، جذب و شفافیت عکس هم هستند. مقدار گاف انرژی همه نمونه‌ها براساس داده‌های طیف‌سنجی UV-Vis تعیین شد که نمودارهای تاوک آنها در شکل ۷ نشان داده است. در شکل ۷ الف، دیده می‌شود که مقدار گاف انرژی



شکل ۶ نمودارهای جذب نوری نانو بلورها با تراکم عامل دیسپرسیوم ۱۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ پس از بازپخت در دمای  $1100^\circ\text{C}$ .



شکل ۷. نمودارهای تاوک برای تعیین گاف انرژی (الف) همه نمونه‌ها، (ب) نمونه با تراکم عامل دیسپرسیوم ۵۰٪ و (پ) نمونه با دیسپرسیوم ۱۰۰٪ پس از بازپخت در دمای ۱۱۰۰ °C.

جدول ۲. اندازه گاف انرژی نمونه‌های با درصد تراکم عامل دیسپرسیوم ۵۰٪ و ۱۰۰٪ پیش و پس از بازپخت در دمای ۱۱۰۰ °C.

نمونه	گاف انرژی پیش از بازپخت (eV)	گاف انرژی پس از بازپخت (eV)
Dy ۵۰٪ عامل	۲٫۳۴	۳٫۶۴
Dy ۱۰۰٪ عامل	۲٫۱۵	۳٫۷۵

#### برداشت

است. با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM) نمونه‌های پس از بازپخت، اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده از طیف‌سنجی UV-Vis، نمونه با تراکم عامل دیسپرسیوم ۳۰٪ دارای کمترین مقدار گاف انرژی و

بر اساس الگوهای پراش پرتوی X خالص‌ترین حالت ترکیب استانات دیسپرسیوم ( $Dy_2Sn_2O_7$ ) مربوط به نمونه با تراکم عامل دیسپرسیوم ۱۰۰٪ پس از بازپخت در دمای ۱۱۰۰ °C



- [8] Reimers J. N., Greedan J. E., Sato M., “*the crystal structure of the spin-glass pyrochlore*”,  $\text{Y}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ , *J. Solid State Chem.* 72 (1988) 390–4.
- [9] Mizoguchi H., Eng H.W., Woodward P. M., “*probing the electronic structure of ternary perovskite and pyrochlore oxides containing  $\text{Sn}^{4+}$  and  $\text{Sb}^{5+}$* ”, *Inorg. Chem.* 43 (2004) 1667–80.
- [10] Park S., Hwang H. J., Moon J., “*Catalytic combustion of methane over rare earth stannate pyrochlore*”, *Catal. Lett.* 87 219–23
- [11] Li K. W., Wang H., Yan H., “*Hydrothermal preparation and photocatalytic properties of  $\text{Y}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  nanocrystals*”, *J. Mol. Catal. A*, 249 (2006) 65–70
- [12] Subramanian M. A., Aravamudan G., Rao G. V. S., “*Oxide pyrochlores—a review Prog*”, *Solid State Chem.* 15 (1983) 55–143.
- [13] Matsuhira K., Hinatsu Y., Tenya K., Amitsuka H., Sakakibara T., “*Low-temperature magnetic properties of pyrochlore stannates*”, *J. Phys. Soc. Japan*, 71 (2002) 1576–82.
- [14] Pavlov R., Blasco V., Cordoncillo E., Escribano P., Carda J. B., “*Synthesis of new red coloured ceramic pigments by Pechini method*”, *Bol. Soc. Espanola Ceram. Vidrio*, (2000) 39609–15.
- [15] Pavlov R. S., Castello J. B. C., Marza V. B., Hohembergerger J. M., “*New red-shade ceramic pigments based on  $\text{Y}_2\text{Sn}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_{7-x}$  pyrochlore solid solutions*”, *J. Am. Ceram. Soc.* 85 (2002) 1197–202.
- [16] Sickafus K. E., Minervini L., Grimes R. W., Valdez J. A., Ishimaru M., Li F., McClellan K. J., Hartmann T., “*Radiation tolerance of complex oxides*”, *Science*, 289 (2002) 748–51.
- [17] Matteucci F., Cruciani G., Dondi M., Baldi G., Barzanti A., “*Crystal structural and optical properties of Cr-doped  $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  and  $\text{Y}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  pyrochlores*”, *Acta Mater.* 55 (2007) 2229–38.
- [18] Chen Z.J., Zu X.T., Wang X.Q., “*Advanced Materials Research*”, Vols 26-28 (2007) pp 933-936  
Online: 2007-10-02,  
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.26-28.933

نمونه با ۷۰٪ دیسپرسیوم دارای بالاترین مقدار جذب در این محدوده دمایی است. بنابراین نمونه با تراکم Dy کمتر (۱۰٪) به دلیل تشکیل ترازهای ناخالصی در گاف انرژی، مناسب کاربست در زمینه نیمرساناهای نوری، فوتو کاتالیزوری و نمونه با تراکم Dy ۱۰۰ درصد شامل بلورهای استانات دیسپرسیوم، مناسب برای کاربردهای اسپین یخ زده و جذب تابش‌های هسته‌ای در آشکارسازهای هسته‌ای هستند.

### مراجع

- [1] Pavlov R., Blasco V., Cordoncillo E., “*Escrubano P and Carda J B*”, Synthesis of new red coloured ceramic pigments by Pechini method *Bol. Soc. Espanola Ceram. Vidrio* (2000) 39609–15.
- [2] Li K W., Wang H., Yan H., “*Hydrothermal preparation and photocatalytic properties of  $\text{Y}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  nanocrystals* *J. Mol. Catal. A* 249 (2006) 65–70.
- [3] Subramanian M. A., Aravamudan G., Rao G. V. S., “*Oxide Pyrochlores—a review*”, *Prog. Solid State Chem.* 15 (1983) 55–143
- [4] Mizoguchi H., Eng H. W., Woodward P. M., “*Probing the Electronic structure of ternary perovskite and pyrochlore Oxides containing  $\text{Sn}^{4+}$  and  $\text{Sb}^{5+}$* ”, *Inorg. Chem.* 43 (2004) 1667–80
- [5] Teraoka Y., Torigoshi K. I., Yamaguchi H., Ikeda T., Kagawa S., “*Direct decomposition of nitric oxide over Stannate pyrochlore oxides: relationship between solid-state Chemistry and catalytic activity*”, *J. Mol. Catal. A* 155(2000) 73–80.
- [6] Siddharthan R., Shastry B. S., Ramirez A. P., Hayashi A., Cava R. J., Rosenkranz S., *Physical Review Letters*, 83, 1854 (1999).
- [7] Jaubert L. D. C., Moessner R., “*Multiferroicity in spin ice: Towards magnetic crystallography of  $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  in a field*”, *Physical Review B: Condensed matter and materials physics*, American Physical Society, 2015, 91 pp.214422

photocatalyst for the degradation of organic pollutants under visible irradiation, Sahar Zinatloo-Ajabshira, M. S. Morassaeib, O. Amiric, M. Salavati-Niasarib, *Ceramic International*, Vol. 46, 5, 2020, pp. 6095-6107.

[19] Harris X.Q., Bramwell S. T., McMorow D. F., Zeiske T., Godfrey K. W., *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 79, p. 2554 (1997).

[20] Green synthesis of dysprosium stannate nanoparticles using *Ficus carica* extract as