

## ساخت دزیمتر EPR نانوبلور استرانسیوم سولفات آلاینده با دیسپرسیوم و بررسی خواص دزیمتری آن

حمید عباسی، خدیجه رضایی ابراهیم سرایی\* و ایرج جباری

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

\*اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۷۳۴۴۱-۷۳۴۴۶

پست الکترونیکی: kh.rezaee@ast.ui.ac.ir

### چکیده

خواص دزیمتری نواقص بلوری القا شده در دزیمترهای میله‌ای نانوبلور استرانسیوم سولفات خالص و آلاینده با دیسپرسیوم به مقدار ۰/۲ درصد مولی برای تابش گاما با استفاده از روش تشدید پارامغناطیسی الکترون (EPR) در محدوده‌ی دزهای بالا در بازه‌ی ۱۰ تا ۱۵۰۰۰ گری بررسی شد. مهم‌ترین سیگنال‌های EPR با فاکتور تمایز دهنده‌ی طیف‌سنجی (g-value)  $g=2/0.036$ ،  $g=2/0.090$ ،  $g=2/0.160$ ، مشاهده شدند که به ترتیب مربوط به قله‌های  $SO_3^-$ ،  $SO_4^-$  و  $O_3^-$  ایجاد شده توسط تابش گاما در این دزیمترهای میله‌ای بودند. شدت سیگنال‌های EPR با افزایش دز جذبی تا دز ۱۰۰۰۰ گری به صورت خطی افزایش یافتند.

در این تحقیق با استفاده از روش هم‌رسوبی پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات و آلاینده با دیسپرسیوم و تربیوم ساخته شده و با استفاده از مواد نگه‌دارنده‌ی پارافین‌وکس و EVA که در طیف‌سنجی EPR نویز وارد نمی‌کنند به صورت دزیمتر میله‌ای درآمدند. با مقایسه‌ای که بین طیف EPR حاصل از آلاینده‌ی متفاوت و غلظت آلاینش متفاوت انجام شد. بیشترین شدت را قله‌ی استرانسیوم سولفات آلاینده با ۰/۲ درصد مولی دیسپرسیوم داشت، لذا برای مقایسه‌ی اصلی با استرانسیوم سولفات خالص انتخاب شد. در ادامه شدت قله‌های  $SO_3^-$ ،  $SO_4^-$  و  $O_3^-$  در بازه‌ی دزیمتری ۱۰ تا ۱۵۰۰۰ گری برای دو نوع دزیمتر میله‌ای نانوبلور استرانسیوم سولفات خالص و استرانسیوم سولفات آلاینده با ۰/۲ درصد مولی دیسپرسیوم بررسی شد که طبق نتایج این بررسی آلاینده‌ی استرانسیوم سولفات با ۰/۲ درصد مولی دیسپرسیوم علاوه بر افزایش حدود سه برابری حساسیت آن، بازه‌ی دزیمتری آن را بیش از ده برابر بهتر می‌کند.

کلیدواژگان: دزیمتر EPR، نانوبلور، استرانسیوم سولفات آلاینده با دیسپرسیوم و تربیوم

### ۱. مقدمه

مراکز پارامغناطیسی (مانند رادیکال‌های آزاد) هستند و باعث شکل‌گرفتن سیگنال‌های EPR می‌شوند. شدت سیگنال این گونه‌ها با شدت اسپین متناسب است و بنابراین به دز تابش داده شده وابسته است. پس دز جذب شده می‌تواند با توجه به

تابش‌های یونیزان الکترون-حفره‌هایی را در بعضی از مواد آلی و غیرآلی می‌سازند که باعث تولید شدن رادیکال‌ها یا نواقص بلوری در مواد می‌شود. مراکز الکترون و حفره‌ی به دام افتاده

## ۲. مواد آزمایشگاهی

برای ساخت پودر استرانسیوم سولفات خالص و آلییده با دیسپرسیوم و تربیوم از نیترات استرانسیوم با خلوص ۹۹/۹ درصد، سولفات آمونیوم با خلوص بیش از ۹۹/۹۹ درصد، نیترات دیسپرسیوم با خلوص بیش از ۹۹/۹ درصد، تربیوم کلرید با خلوص بیش تر از ۹۹/۹ درصد و اتانول مطلق و آب دیونیزه برای سنتز و آب مقطر برای شستشوی رسوب استفاده شد. تمامی مواد مورد استفاده به جز آب مقطر و دیونیزه از محصولات شیمیایی شرکت مرک می باشد. برای تهیه دزیمترهای میله‌ای از پارافین وکس و چسب حرارتی EVA استفاده گردید. در این تحقیق از مواد با خلوص بالا استفاده شد تا اثر ناشی از آلاینده‌های دیسپرسیوم و تربیوم به خوبی و با اطمینان مشخص گردد.

## ۳. روش ساخت پودر

برای تهیهی مقداری بین ۱/۶ تا ۱/۹ گرم پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات ابتدا درون یک ارلن یک لیتری، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه ریخته همراه با مگنتی روی همزن با دور تند قرار می‌دهیم (گرم‌کن همزن در حالت خاموش است تا تمامی مراحل آزمایش در دمای اتاق انجام شود). سپس مقدار ۲/۳ گرم نیترات استرانسیوم را وزن نموده و درون ارلن می‌ریزیم تا به خوبی در آب حل شود، سپس با استفاده از استوانه‌ی مدرج مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر اتانول مطلق درون آن ریخته و به این مخلوط در حال چرخش نیم‌ساعت فرصت می‌دهیم تا به خوبی همگن شود. درون یک بشر ۲۰۰ میلی‌لیتری [۱۲]، نیز مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه ریخته و درون آن سنیز مگنت کوچکی انداخته و روی استیرر با دور تند قرار می‌دهیم، سپس مقدار ۱/۴۷ گرم آمونیوم سولفات را وزن نموده و درون بشر ریخته تا به خوبی در آن حل شود. سپس محلول

شدت سیگنال رادیکال‌های پارامغناطیسی یا ناکاملی‌های شبکه به وجود آمده توسط تابش‌های یونیزان، تعیین شود [۱].

تنوع زیادی در گونه‌های پارامغناطیسی به وجود آمده توسط تابش مانند رادیکال‌های آزاد آلانین  $\text{CH}_3\text{C}^*-\text{HCOO}$  [۲ و ۳]، رادیکال‌های آزاد در شکر [۴]،  $\text{CO}_2^-$  در تارتارات [۵] یا اکسالات [۶]، رادیکال‌های سولفاکسی در باریوم سولفات [۷]، یون فلزی رادیکال لاکتات [۸]، و مراکز ناکاملی در کوارتز [۹] گزارش شده است که می‌تواند به عنوان دزیمترهای EPR برای پردازش تابش، کاربرد داشته باشد.

سولفات‌های غیرآلی که در دزیمتری EPR استفاده شده‌اند منیزیم سولفات [۱۰]، کلسیم سولفات [۱۱] و باریوم سولفات [۷] هستند که می‌توان آن‌ها را از مطالعات قبلی استنتاج کرد. طیف EPR استرانسیوم سولفات تابش دیده از مراکز حفره و الکترونی تشکیل شده است که احتمالاً مربوط به رادیکال‌های آزاد  $\text{SO}_2^-$ ،  $\text{SO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^-$ ،  $\text{O}_3^-$ ،  $\text{O}^-$  و  $\text{O}^0$  می‌باشد [۱]. از دیگر ویژگی‌های استرانسیوم سولفات، حالیت کم آن در آب است که باعث کاهش حساسیت آن به رطوبت در زمان پرتودهی می‌شود.

به علاوه سیگنال‌های EPR از استرانسیوم سولفات شدیداً وابسته به پرتوگیری است که آن را مناسب برای ماده‌ی دزیمتری در EPR کرده است [۱]. هدف اصلی این تحقیق مطالعه‌ی مراکز پارامغناطیسی القا شده در استرانسیوم سولفات آلییده شده با عناصر خاکی کمیاب دیسپرسیوم و تربیوم با استفاده از طیف‌سنج EPR و بررسی امکان استفاده از پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات آلییده شده با دیسپرسیوم و تربیوم به شکل دزیمتر میله‌ای (به ارتفاع ۲ سانتی‌متر و قطر ۰/۴ سانتی‌متر) در سیستم‌های دزیمتری تابش‌های گاما است.

دوباره درون هاون ریخته و کاملاً پودر شود تا در مراحل بعدی کار مورد استفاده قرار گیرد [۱۲-۱۵].

برای تهیهی مقداری بین ۱/۶ تا ۱/۹ گرم پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات آلاییده با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد مولی دیسپرسیوم یا تربیوم و ۰/۱ تربیوم و دیسپرسیوم (مجموع ۰/۲) همراه با هم روال کار کاملاً مشابه با ساخت استرانسیوم سولفات خالص است، تنها تفاوت در اضافه کردن ۴، ۸ و ۲۰ میلی‌گرم نیترات دیسپرسیوم یا تربیوم به محلول نیترات استرانسیوم در هنگام سنتز است.

#### ۴. ساخت دزیمترهای میله‌ای

در دزیمترهای میله‌ای از چسب حرارتی اتیلن ونیل استات (EVA) و پارافین‌وکس با خلوص بالا به‌عنوان نگه‌دارنده و شکل‌دهنده استفاده شد چون این مواد در طیف EPR نوین نمی‌اندازند [۱۴ و ۱۵]. در دستگاه‌های EPR محدودیت ساخت ابعاد نمونه هست، چون نمونه‌ها باید دورن لوله‌هایی با قطر داخلی ۴ میلی‌متر قرار گیرند. بنابراین نمونه‌ها به صورت میله‌هایی با حداکثر قطر ۴ میلی‌متر و ارتفاع یک تا ۴ سانتی‌متر ساخته می‌شوند. برای ساخت دزیمترهای میله‌ای ابتدا مقدار ۱/۵ گرم پارافین‌وکس و همچنین ۱/۵ گرم چسب حرارتی اتیلن ونیل استات (EVA) و ۱/۵ گرم پودر مورد نظر استفاده شد. مخلوطی از پارافین‌وکس و EVA با مقدار وزنی برابر در یک بشر تمیز در دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه‌ی سلسیوس (در حمام آب) ذوب گردید و با استفاده از هم‌زن مکانیکی به‌خوبی با پارافین‌وکس مخلوط شد. در مرحله‌ی بعد ۱/۵ گرم پودر مور نظر به این مخلوط داغ که توسط هم‌زن در حال چرخیدن بود، کم‌کم اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه در همان دما برای به دست آمدن یک مخلوط همگن به چرخیدن ادامه داد. سپس این مخلوط داغ با استفاده از سرنگ مکیده شد و به درون

آمونیوم سولفات درون بشر را در بورت ریخته تا محلول آمونیوم سولفات درون آن قطره قطره و به آرامی درون محلول اتانول و نیترات استرانسیوم که داخل ارلن و روی استیرر درحال چرخش است، بریزد و محلول سفیدرنگ در حال چرخشی درون ارلن به‌وجود آید. این محلول به‌وجود آمده استرانسیوم سولفات، آب، اتانول و آمونیوم نیترات می‌باشد که نانوبلور استرانسیوم سولفات به صورت رسوبی سفید درون آن قرار دارد. در مرحله بعد این محلول را سانتریفیوژ می‌کنیم تا رسوب را از بقیه مواد جدا کنیم (تنظیمات سانتریفیوژ روی ۶۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۵ دقیقه و دمای اتاق قرار دارد)، عمل سانتریفیوژ کردن را برای هر لوله حداقل پنج بار تکرار کرده تا رسوب به‌خوبی شسته شود. بعد از شست‌شو و رسوب‌گیری، رسوب را با حداقل آب ممکن درون آن قرار می‌دهیم. تنظیمات دمای آن روی دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار دارد تا رسوب کاملاً خشک شود، سپس دمای آن را روی ۱۱۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱ ساعت قرار داده تا دیگر اثری از آب در رسوب نماند. در این‌جا رسوب استرانسیوم سولفات به‌شکل لایه‌ای سفیدرنگ، ترد، شکننده و براق ته ظرف در می‌آید. سپس رسوب خشک شده به صورت پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات به‌دست می‌آید. این پودر بسیاری از خواص نانوبلور استرانسیوم سولفات را دارد، اما برای بهتر شدن خواص آن و تثبیت ساختار و شکل بلوری آن، این پودر را در مرحله بعد با قراردادن درون کوره با جو آرگون گرمادهی شد به این صورت که کوره روی حالت روشن قرارداده شده طوری که در طول ۵ ساعت از دمای محیط به دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس برسد و یک ساعت در دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس بماند و در طول ۵ ساعت (بدون شوک حرارتی) نیز از دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس به دمای محیط بازگردد [۱۲]. سپس پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات گرمادهی شده را

تحت تنظیمات بالا اندازه‌گیری شد. تمام اندازه‌گیری‌های EPR در دمای اتاق انجام شد. ارتفاع قله تا قله‌ی سیگنال‌های EPR، که ناشی از تابش بود برای هر گروه از نمونه‌ها از روی تصویر خروجی چاپ شده‌ی دستگاه EPR با استفاده از نرم‌افزار Origin اندازه‌گیری شد. منحنی پاسخ-دز براساس میانگین ارتفاع قله تا قله‌ی پاسخ دزیمترها تقسیم بر وزن دزیمتر یا پودر مربوطه (پاسخ‌های نرمال شده به جرم) رسم شد.

#### ۷. نتایج و بحث

با توجه به این‌که روش ساخت پودر با تحقیق [۱۲] یکسان بود، لذا جهت مقایسه‌ی نانوساختارها فقط آزمون XRD تکرار گردید که نتیجه‌ی آن یکسان بودن ساختارها را تایید می‌کرد. تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی SEM (شکل ۱) نشان می‌دهد که پودر استرانسیوم سولفات آلاییده با ۰/۲ درصد مولی دیسپرسیوم از ذراتی در ابعاد نانومتر و دارای دانه‌های بلوری همگنی با سطوح صاف تشکیل شده‌اند.

پودر استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده با Dy و Tb با EDX بررسی شد و نمودار شدت بر حسب انرژی فوتون ایکس گسیلی از عناصر سازنده‌ی پودر نانوبلور استرانسیوم سولفات آلاییده با دیسپرسیوم در شکل (۲) آورده شده است. قله‌ها در این شکل نشان می‌دهد که این نمونه از عناصر استرانسیوم، گوگرد، اکسیژن و دیسپرسیوم ساخته شده است. در این نمودار قله‌های مشخصه‌ی طلا نیز حضور دارند که به دلیل روکش‌دهی نمونه‌ی مورد آزمایش با طلا برای انجام آزمایش‌های SEM و EDX می‌باشد.

تصویربرداری SEM معمولاً برای تعیین شکل ذرات مناسب است، زیرا با این‌که تصاویر SEM اندازه‌ی ذرات را در محدوده‌ی نانومتری مشخص می‌کنند اما این نانوذرات

لوله‌های پلی‌پروپیلن با قطر داخلی ۴ میلی‌متر تزریق شده و با سرد شدن به شکل جامد درآمد، سپس به‌مدت ۲۴ ساعت درون لوله‌ها ماند تا استحکام آن بهتر شود. در مرحله بعد دزیمترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات با بریدن و برداشتن لوله‌های پلی‌پروپیلن به‌صورت استوانه‌هایی با قطر ۴ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ میلی‌متر به‌دست آمدند. میانگین وزن دزیمترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات  $280 \pm 10$  میلی‌گرم به‌دست آمد.

#### ۵. فرآیند پرتودهی با تابش گاما

پرتودهی دزیمترهای میله‌ای با استفاده از تابش گامای ناشی از چشمه‌ی کبالت-۶۰ و در مرکز سامانه پرتودهی (سامانه پرتودهی انرژی اتمی تهران) انجام شد. سامانه‌ی پرتودهی به‌کار گرفته شده در این تحقیق Gamma Cell, GC-220 با چشمه‌ی کبالت-۶۰ که اکتیویته‌ی آن ۹۴۶۷ کوری و آهنگ دز آن ۲/۲۵ گری بر ثانیه است.

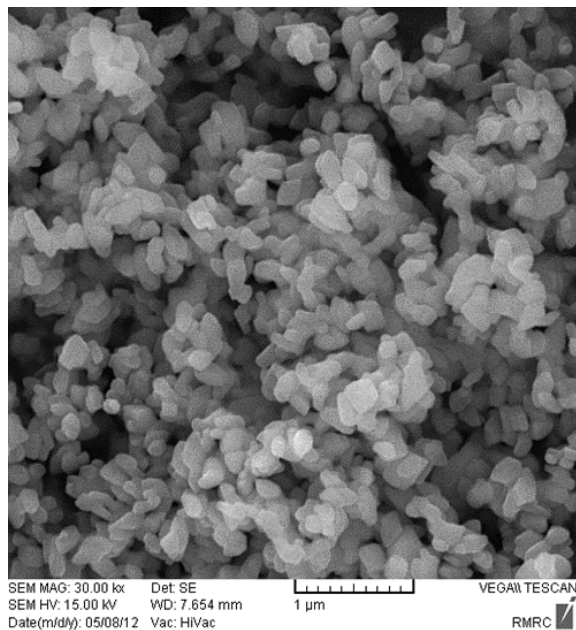
#### ۶. اندازه‌گیری‌های طیف EPR

طیف EPR دزیمترهای میله‌ای با استفاده از دستگاه طیف‌سنج EMS spectrometer (X-band) پژوهشکده انرژی اتمی یزد (ایران مرکزی) اندازه‌گیری شد. پارامترهای دستگاه EPR برای اندازه‌گیری‌های طیف استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده به‌صورت: توان ریزموج  $3/96 =$  میلی‌وات، دامنه‌ی مدولاسیون  $4/02 =$  گاوس، پهنای میدان دید  $150 =$  گاوس، فرکانس ریزموج  $9/779804 =$  گیگاهرتز، زمان ثابت  $81/92 =$  میلی‌ثانیه و پهنای زمان  $20/97 =$  ثانیه تنظیم شد. پارامترهای EPR باید با دقت انتخاب شود تا همه‌ی جزئیات در طیف EPR نمونه‌های پرتودهی شده قابل دیدن باشد.

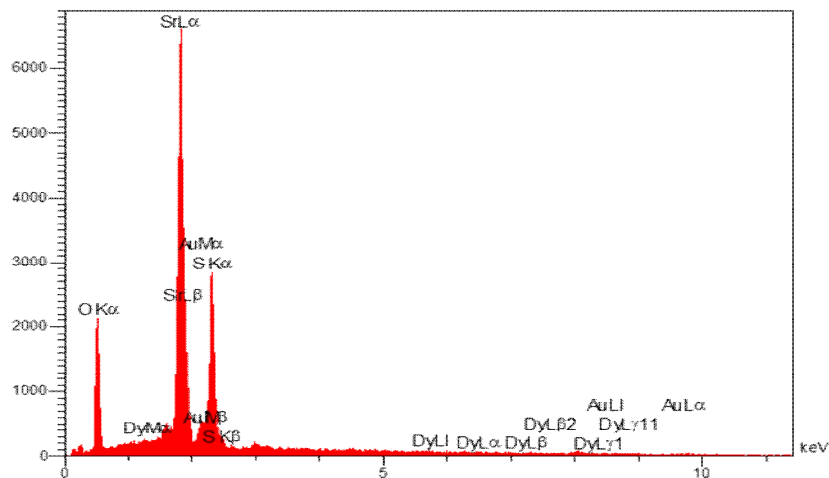
نمونه‌ها به‌صورت پودر یا به‌شکل دزیمتر میله‌ای درون لوله‌های EPR (با قطر داخلی ۴ میلی‌متر) قرار داده شده و

شدند. با استفاده از تصویر XRD اندازه‌ی نانوبلورهای استرانسیوم سولفات خالص و آلییده، در بازه‌ی ۴۲-۵۴ نانومتر به دست آمد.

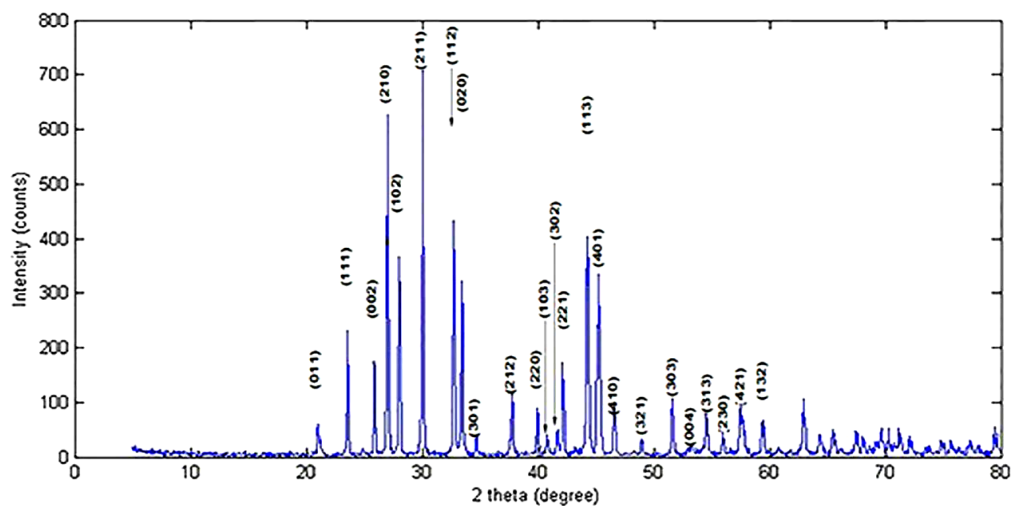
می‌توانند خود از نانوبلورهای کوچک‌تر تشکیل شده باشند. لذا برای تعیین اندازه‌ی نانوبلورها از آزمون XRD استفاده شد که نتایج این آزمون در (شکل ۳) نشان داده شده است. با استفاده از رابطه‌ی دبای-شرر متوسط اندازه‌ی این نانوبلورها محاسبه



شکل (۱): تصویر نانوذرات استرانسیوم سولفات آلییده با دیسپرسیوم، گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی [۱۲].

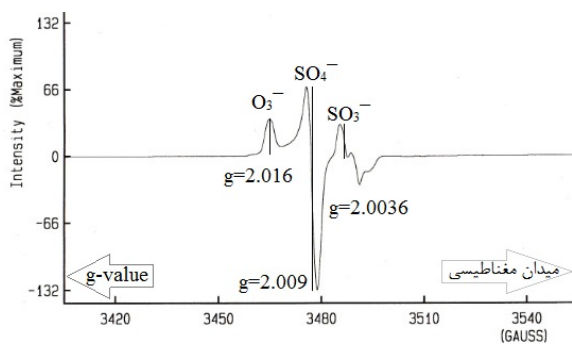


شکل (۲): تصویر EDX عناصر سازنده‌ی نانوبلورهای استرانسیوم سولفات آلییده با دیسپرسیوم [۱۲].



شکل (۳): تصویر آنالیز XRD نانوبلورهای استرانسیوم سولفات آلاینده با دیسپرسیوم.

ناچیز است و حتی بیش تر سولفات‌ها طیفی مشابه دارند. طیف EPR به دست آمده شامل چندین مرکز تشدید با  $g$ -value متفاوت است که بهترین آن‌ها با توجه به تحقیقات قبلی [۱، ۷، ۱۴-۲۲]، قله مربوط به  $O_3^-$  در  $g=2.016$ ، قله مربوط به  $SO_4^-$  در  $g=2.009$  و قله مربوط به  $SO_3^-$  در  $g=2.0036$  است (شکل ۲).



شکل (۴): شکل طیف EPR استرانسیوم سولفات آلاینده با دیسپرسیوم و مراکز تشدید آن.

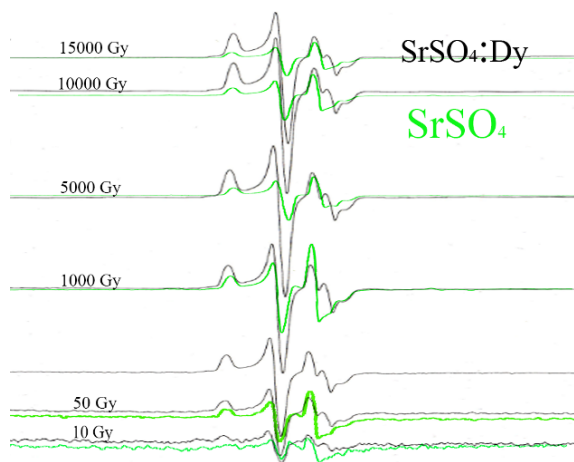
نمودارها بر حسب میانگین قله تا قله شدت هر مرکز تشدید تقسیم بر وزن نمونه در محور عمودی و دز پرتوهی مربوط به آن با واحد گری در محور افقی با مقیاس لگاریتمی-لگاریتمی ترسیم گردید.

خروجی دستگاه EPR نمودار شدت بر حسب میدان مغناطیسی اعمال شده یا بر حسب  $g$ -value (قابل تبدیل به هم) می‌باشد. با توجه به ماده‌ی مورد بررسی شکل کلی خروجی دستگاه قابل پیش‌بینی است و با توجه به تحقیقات قبلی در مورد نوع ماده می‌توان مقادیر حدودی  $g$ -value را که در آن‌ها قله شدت اتفاق می‌افتد، پیش‌بینی کرده و تشخیص داد که هر قله متعلق به کدام رادیکال آزاد می‌باشد. با توجه به این حدود مقادیر بهینه‌ی تنظیمات دستگاه نیز از روی تنظیمات دستگاه برای تحقیقات مشابه مشخص است. حتی از روی شکل طیف خروجی در صورت وجود قله‌های ناآشنا می‌توان به خطاهای رخ داده پی برد.

طیف خروجی دستگاه EPR چندین قله را در اختیار می‌گذارد که خواص دزیتمتری هر کدام با دیگری متفاوت است، لذا چندین انتخاب برای دزیتمتری با همان ماده وجود دارد و می‌توان به تناسب نیاز، بهترین آن‌ها را انتخاب کرد.

طیف EPR استرانسیوم سولفات و آلاینده‌هایش بسیار مشابه هم بوده و فقط در شدت قله‌ها متفاوت هستند. هرچند وجود ناخالصی آلاینده باعث تغییر در خواص شبکه و در نتیجه تغییر مقدار  $g$ -value می‌شود اما این تغییرات بسیار

شکل ۵ نمودار به دست آمده از EPR برای چند دز متفاوت در کنار هم آورده شده است.



شکل (۵): پاسخ EPR مربوط به نمونه خالص و ناخالص به ازای دزهای متفاوت.

۹. شدت طیف‌های به دست آمده برای مرکز تشدید

### پارامغناطیسی $SO_4^-$

در مرکز پارامغناطیسی  $g=2/0.90$  قله بلندتری داریم که با توجه به منبع [۱۸]، مربوط به رادیکال  $SO_4^-$  می‌باشد. در بعضی مواد تابش یونیزان، یون  $SO_4^{2-}$  را به یون  $SO_4^-$  و الکترون  $e^-$  می‌شکند. بعضی از این الکترون‌ها می‌توانند داخل بلور حرکت کنند و انرژی کافی را دارند که پیوند کوالانسی  $SO_4^{2-}$  را بشکنند و  $SO_3^-$  با  $O^-$  را تولید کنند [۱۹ و ۲۰].

شکل (۶) مقادیر برازش خطی را برای نمودار، شدت قله  $SO_4^-$  بر حسب دز برای هر دو دزیتر میله‌ای استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده با دیسپرسیوم به مقدار ۰/۲ درصد مولی را نشان می‌دهد. با توجه به خروجی این شکل، دزیتری با قله  $SO_4^-$  برای استرانسیوم سولفات خالص برازش خطی برای بازه‌ی دزیتری ۱۰ تا ۱۰۰۰ گری به دست آمد. همچنین با توجه به نمودار (شکل ۶) حساسیت دزیتری استرانسیوم سولفات آلاییده حدود ۳ برابر نمونه خالص آن می‌باشد. با

در جدول (۱) شدت‌های به دست آمده از طیف‌های استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده با درصد‌های متفاوت ارائه شده است. با توجه به شدت قله‌ها استرانسیوم سولفات آلاییده با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی برای مقایسه با استرانسیوم سولفات خالص انتخاب شد.

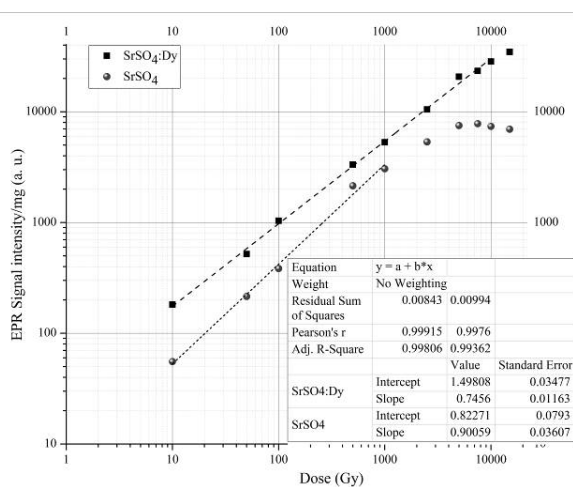
جدول (۱): نتایج شدت قله‌های مشاهده شده بر حسب نوع ماده و مراکز تشدید پارامغناطیسی.

نوع ماده	ارتفاع قله تا قله $SO_4^-$	ارتفاع قله تا قله $SO_3^-$	ارتفاع قله تا قله $O_3^-$
SrSO <sub>4</sub> :Dy 0.5 mol%	۲۱۵۶۴	۱۰۹۰۷	۳۸۸۳
SrSO <sub>4</sub> :Dy 0.2 mol%	۴۲۶۷۳	۷۹۷۱	۷۸۹۷
SrSO <sub>4</sub> :Tb 0.5 mol%	۱۷۸۸۷	۱۴۶۰۲	۳۱۹۲
SrSO <sub>4</sub> :Tb 0.2 mol%	۱۶۳۶۴	۱۸۸۵۴	۳۰۶۹
SrSO <sub>4</sub>	۱۱۱۳۰	۷۰۵۸	۲۰۶۰
SrSO <sub>4</sub> :Dy&Tb 0.1&0.1 mol%	۱۱۴۴۴	۲۴۲۰۱	۲۱۳۶

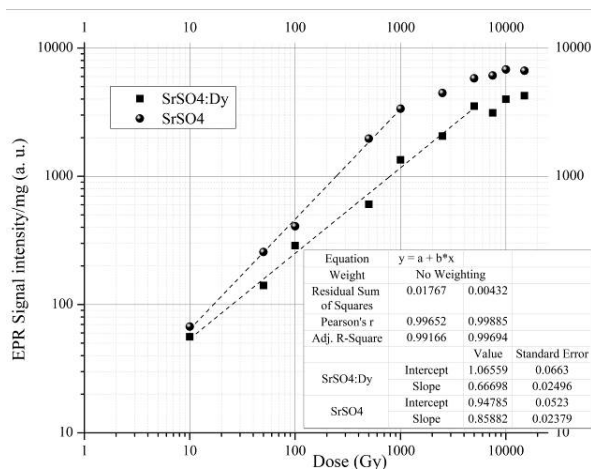
۸. مقایسه‌ی نتایج دزیتری با روش EPR برای دزیترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی

دزیترهای میله‌ای با استفاده از پودرهای استرانسیوم سولفات خالص و آلاییده‌اش با دیسپرسیوم به مقدار ۰/۲ درصد مولی ساخته شد و از هر کدام به تعداد ۳۳ نمونه وزن شد و درون میکروتیوب قرار داده شد و میکروتیوب‌ها شماره‌گذاری شدند. دزهای پرتودهی ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰، ۷۵۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ گری بودند که برای هر دز از هر نوع ماده، تعداد ۳ نمونه پرتودهی شده و سه نمونه هم برای تعیین زمینه در کنار آن‌ها با دستگاه EPR طیف‌سنجی شدند. در

رادیکال آزاد  $O_3^-$  می‌باشد [۱۷-۲۲]. با استفاده از شکل طیف به‌دست آمده برای دزهای مختلف پرتودهی، میانگین شدت طیف در این مرکز پارامغناطیسی تقسیم بر جرم نمونه پرتودهی شده را بر حسب دز مربوطه در نموداری با مقیاس لگاریتمی رسم می‌کنیم. سپس بهترین برازش‌ها را برای این نقاط به‌دست آورده می‌شود.



شکل (۶): نمودار مقایسه‌ای بهترین برازش خطی میانگین شدت‌های EPR به‌دست آمده‌ی قله  $SO_4^-$  بر حسب دز جذبی برای دزیمترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات و آلاییده‌اش با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی.



شکل (۷): نمودار مقایسه‌ای بهترین برازش خطی میانگین شدت‌های EPR به‌دست آمده‌ی قله  $SO_3^-$  بر حسب دز جذبی برای دزیمترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات و آلاییده‌اش با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی.

اضافه شدن ناخالصی دزیمتر دیرتر به ناحیه‌ی اشباع می‌رسد چون ناخالصی به صورت یک دام برای حفره‌ها عمل می‌کند. در نتیجه بازترکیب الکترون - حفره‌ی ایجاد شده در اثر تابش در ماده‌ی میزبان را کمتر می‌کند که این به نوبه‌ی خود باعث می‌شود دزیمتر دیرتر به حالت اشباع برسد. پس با آلاینده استرانسیوم سولفات، با دیسپرسیوم به مقدار ۰/۲ درصد مولی دزیمتری ۳ برابر حساس‌تر با طول بازه‌ی خطی بیش‌تر از ۱۰ برابر نسبت به نمونه خالص آن به‌دست آمد.

## ۱۰. شدت طیف‌های به‌دست آمده برای مرکز

### تشدید پارامغناطیسی $SO_3^-$

قله دیگری با شدتی متوسط  $g=2/0.36$  داریم که مربوط به رادیکال  $SO_3^-$  می‌باشد [۲۱]. در شکل (۷) نتایج برازش خطی برای این قله آمده است که با توجه به این نتایج استرانسیوم سولفات آلاییده با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی در بازه‌ی دزیمتری ۱۰ تا ۵۰۰۰ گری بهترین برازش خطی را داشت درحالی‌که این بازه برای نمونه‌ی خالص استرانسیوم سولفات ۱۰ تا ۱۰۰۰ گری بود. همچنین بهترین برازش غیرخطی در کل بازه‌ی مورد بررسی این تحقیق، ۱۰ تا ۱۵۰۰۰ گری، برازش درجه سوم برای نمونه‌ی خالص استرانسیوم سولفات است. با توجه به شکل (۷) شدت قله  $SO_3^-$  نمونه‌ی خالص از نمونه‌ی متناظر آلاییده‌ی استرانسیوم سولفات کمی بیشتر شده است. اما بازه‌ی برازش خطی برای نمونه‌ی آلاییده حدود پنج برابر بهتر شده است.

## ۱۱. شدت طیف‌های به‌دست آمده برای مرکز

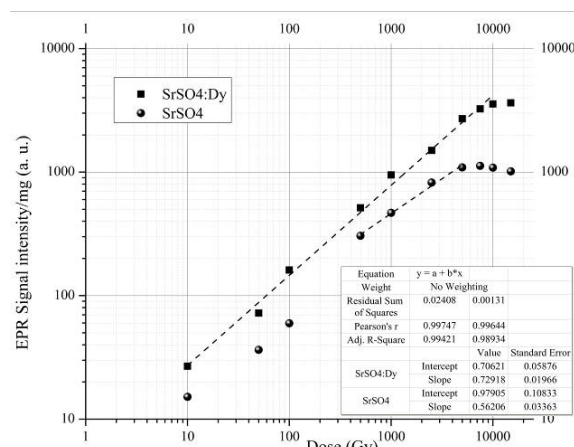
### تشدید پارامغناطیسی $O_3^-$

در این قسمت به بررسی قله‌های مربوط به مرکز پارامغناطیسی  $g=2/0.16$  می‌پردازیم که با توجه به تحقیقات قبلی مربوط به



استرانسیوم سولفات با فلزات حاکی کمیاب تفاوت قابل توجهی در شدت قله‌های طیف EPR آن حاصل می‌کرد، آلاییدن با تریبوم شدت قله  $\text{SO}_3^-$  را افزایش می‌داد، اما از شدت قله  $\text{SO}_4^-$  می‌کاست، رفتار دیسپرسیوم برعکس و شدیدتر بود. وقتی هم این دو نوع آلایش در کنار هم در نمونه‌ی استرانسیوم سولفات آلاییده با تریبوم و دیسپرسیوم قرار گرفتند از شدت هر دو قله به‌خصوص  $\text{SO}_4^-$  کاستند اما بازه‌ی خطی بودن را افزایش دادند. این اثرات با مقدار آلاییدن رابطه‌ی عکس داشتند، لذا با توجه به این عوامل آلاییدن با دیسپرسیوم به میزان ۰/۲ درصد بهتر بود. در ادامه با توجه به این‌که شدت سه قله  $\text{SO}_4^-$ ،  $\text{SO}_3^-$  و  $\text{O}_3^-$  بالا بود برای دزیمتری مورد بررسی قرار گرفت، با مقایسه‌ای که بین نمونه‌های خالص استرانسیوم سولفات و آلاییده با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی داشتیم و با توجه به معیارهای مورد بررسی ما (شدت و بازه‌ی خطی بودن پاسخ دزیمتر از معیارهای دزیمتری)، استفاده از نانوبلور استرانسیوم سولفات آلاییده با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی به‌عنوان دزیمتر EPR و قله  $\text{SO}_4^-$  به‌عنوان پاسخ آن در بازه‌ی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ گری بهتر از نمونه‌ی خالص آن می‌باشد.

با توجه به شکل (۸) نمونه‌ی آلاییده‌ی استرانسیوم سولفات در قله  $\text{O}_3^-$  شدت بهتری داشته و در بازه‌ی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ گری رفتاری خطی دارد. درحالی‌که نمونه‌ی خالص آن فقط در بازه‌ی ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ گری خطی می‌باشد.



شکل (۸): نمودار مقایسه‌ای بهترین برازش خطی میانگین شدت‌های EPR به‌دست آمده‌ی قله  $\text{O}_3^-$  برحسب دز جذبی برای دزیمترهای میله‌ای استرانسیوم سولفات و آلاییده‌اش با دیسپرسیوم ۰/۲ درصد مولی.

## ۱.۲ نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر آلاییدن بر روی نمونه‌ی نانوبلور استرانسیوم سولفات بود، آلاییدن نمونه‌ی نانوبلور

## ۱.۳ مراجع

- [1] M. Ikeya, New Applications of Electron Spin Resonance: ESR Dating, Dosimetry, and Microscopy. World Scientific, Singapore, (2002).
- [2] P. Koell, F. Kuntz, A. Strasser, P. Meyer, N. Dehaynin, G. Noël. Electron paramagnetic resonance dosimetry with alanine pellets for radiation therapy applications: calibration methods. Phys. Med. 29 (2013) 45-51.
- [3] E. Malinen, M.Z. Heydari, E. Sagstuen, E.O. Hole. Alanine radicals, Part 3: properties of the components contributing to the EPR spectrum of X-irradiated alanine dosimeters. Radiat. Res. 159 (2003) 23–32.
- [4] M. Mikou, N. Ghosne, Z. Zirari, P. Bischoff, F. Kuntz, M. Bougteb. Analysis by EPR of the dosimetric properties of table sugar irradiated by X-rays, gamma rays and neutrons. Phys. Med. 29 (2013) 111-115.
- [5] S.K. Olsson, E. Lund, A. Lund. Development of ammonium tartrate as an ESR dosimeter material for clinical purposes. Appl. Radiat. Isot. 52 (2000) 35–41.
- [6] T.S. Sudheer, S. Murali, M.K. Bhide, A.G. Pushparaja. A new EPR dosimeter based on 2:1 mixture of  $\text{Li}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  for gamma and neutron dosimetry. Radiat. Phys. Chem. 79 (2010) 1215–1219.
- [7] M. A. Sharaf, G. M. Hassan, Radiation induced radical in barium sulphate for ESR dosimetry: a preliminary study. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 225 (2004) 521–527.
- [8] Y.S. Soliman, A.A. Abdel-Fattah. Magnesium lactate mixed with EVA polymer/ paraffin binder as an EPR dosimeter for radiation processing application. Radiat. Phys. Chem. 81 (2012) 1910–1916.

- [9] K. Moritani, Y. Teraoka, I. Takagi, H. Moriyama. Electron spin resonance measurement of irradiation defects produced in quartz crystal. Nucl. Instrum. Methods, 232 (2005) 317-321.
- [10] J.R. Morton, F.J. Ahlers, C.C.J. Schneider. ESR dosimetry with magnesium sulphate. Radiat. Prot. Dosim. 263 (1993) 261-266.
- [11] S. Murali, V. Natarajan, R. Venkataramani, Pushparaja, Sastry. ESR dosimetry using inorganic materials: a case study of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$ : Dy as prospective dosimeters. Appl. Radiat. Isot. 55 (2001) 253-258.
- [۱۲] آقای خاریکی، امین. بررسی ویژگی‌های گرمالیانی نانو ذرات استرانسیوم سولفات و باریوم سولفات آلاینده شده با عناصر خاکی کمیاب، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان (۱۳۹۱).
- [13] Kh. Rezaee Ebrahim Saraee, A. Aghay Kharikey, M. Erfani, Synthesis, characterization and TL properties of  $\text{SrSO}_4$ : Dy, Tb nanocrystalline phosphor, Journal of Rare Earths, 32 (2014) 1003-1007.
- [14] M.A.H. Rushdi, A.A. Abdel-Fattah, M.M. Sherif, Y.S. Soliman, A. Mansour, Strontium sulfate as an EPR dosimeter for radiation technology application, Radiation Physics and Chemistry, 106 (2015) 130-135.
- [15] E. Aboelezz, G.M. Hassan, M.A. Sharaf, A. El-Khodary, EPR dosimetric properties of nano-barium sulfate, Radiation Physics and Chemistry, 106 (2015) 385-393.
- [16] B. Sanyal, V. Natarajan, S.P. Chawla, A. Sharma, TL and EPR studies of  $\text{CaSO}_4$ : Dy phosphor to investigate its efficacy in measurement of food irradiation dose at sub-ambient temperatures, Radiation Measurements, 45 (2010) 899-905.
- [17] A.K. Bakshi, B. Sanyal, V.J. Joshi, M.K. Bhide, V. Natarajan, A. Sharma, EPR-TL correlation studies on Bi co-doped  $\text{CaSO}_4$ : Dy phosphor, Applied Radiation and Isotopes, 69 (2011) 254-260.
- [18] N.M. Gupta, J.M. Luthra, J. Shankar, Trapping and emission centres in thermoluminescent barium sulphate. Radiat. Eff, 21 (1974) 743-749.
- [19] L.R. Bernstein, Coloring mechanism in celstite. Am. Mineral. 64 (1979) 953-958.
- [20] B.C. Bhatt, B. Dhabekar, R. Kumar, T.K. Rao, A.R. Lakshmanan, Defect centres and thermoluminescence in  $\text{CaSO}_4$ : Dy, Ag phosphor. Radiat. Prot. Dosim. 119, (2006) 1021-1026.
- [21] V. Natarajan, A.G.I. Dalvi, M.D. Sastry, Trap level spectroscopy of actinide doped alkaline-earth sulphates: II.  $\text{CaSO}_4$ :<sup>241</sup>Am. Solid State Phys, 21 (1988) 29-33.
- [22] C.L.P. Mauricio, E. Bortolin, S. Onori, ESR study of  $\text{CaSO}_4$ :Dy TLD. Radiat. Meas. 26 (1996) 45-51.