

سنتز نانوذرات  $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$  به روش محلول احتراقی و پوشش دهی با پلی اتیلن گلیکولمریم احمدی خوئی<sup>۱</sup>، ابراهیم شریفی<sup>۲\*</sup>، حسن شریفی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی مواد، شناسایی و انتخاب مواد، گروه مهندسی

مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

<sup>۲</sup> استادیار مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد<sup>۳</sup> دانشیار مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

نویسنده اول:

مهندس مریم احمدی

نویسنده مسئول:

دکتر ابراهیم شریفی

دانشگاه شهرکرد

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه‌های: ۳۹ تا ۴۷

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷-۳۰۷۸۳

زبان نشریه: فارسی

دسترس پذیر در نشانی:

www.JICERS.ir

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۴/۳۱

\* ib.shariff@gmail.com

DOR: 20.1001.1.17353351.1402.19.0.3.6

**چکیده:** نانوذرات به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد وابسته به اندازه، مزایای قابل توجهی در طیف وسیعی از زمینه‌ها به ارمغان آورده‌اند. در این پژوهش از روش محلول احتراقی برای ساخت نانوذرات  $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$  استفاده می‌شود. سپس نانوذرات با پلیمر پلی اتیلن گلیکول پوشانده می‌شوند. پلی اتیلن گلیکول به دلیل وجود زنجیره‌های مولکولی آب دوست و انعطاف پذیری بالا، یکی از ایده آل ترین عوامل پوشش دهنده برای افزایش پایداری کلوئیدی و زیست سازگاری نانوذرات LSMO است. با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، ساختار کریستالی، اندازه نانوذرات و ترکیب نانوذرات LSMO مورد بررسی قرار گرفت و ساختار هگزاگونال با اندازه بلوری ۱۸/۴ نانومتر مشاهده شد. میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) برای بررسی شکل و اندازه توزیع نانوذرات استفاده شد. تصاویر نشان داد که بیش تر دانه‌ها کروی با توزیع یکنواخت هستند و اندازه دانه در نمونه فرآوری شده بین ۲۰ تا ۶۰ نانومتر است. رفتار نانوذرات با استفاده از آنالیز مغناطیسی نمونه ارتعاشی (VSM) به صورت فرومغناطیسی برآورد شد و مقدار مغناطیس اشباع قبل و بعد از پوشش نانوذرات به ترتیب  $24/8$  (emu/g) و  $23/6$  (emu/g) است. طیف سنجی FTIR پیوند مؤثر بین نانوذرات LSMO را قبل و بعد از درمان با پلی اتیلن گلیکول نشان داد.

کلمات کلیدی: پلی اتیلن گلیکول، LSMO، سنتز احتراقی، نانوذرات.

## ۱- مقدمه

فناوری نانو به عنوان یک دانش یکی از مهم ترین زمینه‌های توسعه و تحقیق در میان علوم جدید شناخته شده است [۱]. نانوذرات به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی وابسته به اندازه خود، مزایای بسیاری را در زمینه‌های مختلف ایجاد کرده‌اند [۲]. در میان بسیاری از نانومواد شناخته شده، نانوذرات مغناطیسی به دلیل اندازه نسبتاً یکنواخت و دمای کوری بالاتر از دمای اتاق، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۳]. از بین نانوذرات مغناطیسی، نانوذرات  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  به دلیل ساختاری پایدار، پدیده‌های فیزیکی مانند مقاومت مغناطیسی عظیم (CMR)، ناهمسانگردی مغناطیسی توجه زیادی را در زمینه‌های مختلف زیست پزشکی به ویژه برای کاربردهای هایپرترمی به خود جلب کرده‌اند [۴، ۵]. نانوذرات  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  دارای ساختار پروسکایتی از نوع  $ABO_3$  است [۶]. ساختار  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  بسته به سطح، می‌تواند سه نوع شبکه مانند: رومبوهدرال، چهارضلعی ( $x=0/5$ )، و مکعب ( $x=0/7$ ) را



شامل شود [۷]. روش‌های سنتز نانوذرات، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای مختلف آن‌ها تاثیرگذار است [۸]. روش‌های مختلفی مانند: واکنش تجزیه حرارتی، هم‌رسوبی، تکنیک سل-ژل و روش محلول احتراقی برای سنتز نانوذرات LSMO وجود دارد [۹]. روش سنتز سل-ژل در دماهای پایین قابل انجام است و محصولی با خلوص بالا تولید می‌کند اما زمان واکنش بالا دارد [۱۰]. سنتز هیدروترمال یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تهیه نانومواد است. در سنتز هیدروترمال، تشکیل نانومواد می‌تواند در محدوده دمایی وسیعی از دمای اتاق تا دمای بسیار بالا اتفاق بیفتد. این روش سنتز هزینه بالایی در بر دارد و امکان مشاهده فرایند واکنش در آن‌ها وجود ندارد [۱۱]. سنتز محلول احتراقی مدت زمان کوتاه فرآیند و تشکیل گازهای مختلف در حین احتراق از رشد اندازه ذرات جلوگیری می‌کند و به سنتز پودرهای با اندازه نانو و سطح ویژه بالا کمک می‌کند [۱۲]. در این روش سنتز، از سوخت برای ایجاد دمای کافی برای ایجاد پیوند بین پیش‌سازها و گازهای مختلف تولید شده در طول فرآیند واکنش استفاده می‌شود و باعث کاهش اندازه ذرات شده است [۱۳]. یکی از رایج‌ترین راه‌کارها در جهت، بهبود زیست‌سازگاری، پایداری کلئیدی، اعمال یک لایه پوشش از پلیمرهایی مانند کیتوسان، پلی‌وینیل پیرولیدون و پلی‌اتیلن گلیکول روی سطح نانوذرات است [۱۴]. پلیمر پلی‌اتیلن گلیکول دارای زنجیره‌های مولکولی آب‌دوست است که همین منجر به پراکندگی خوب در محیط آبی می‌شود و به دلیل حلالیت حلال‌های قطبی و برخی از حلال‌های غیرقطبی، به طور گسترده به عنوان یک محصول دارویی استفاده می‌شود [۱۵]. از کاربردهای دیگر نانوذرات LSMO می‌توان به حافظه‌های مغناطیسی، هد مغناطیسی، پیل‌های سوختی، یخچال‌های مغناطیسی اشاره کرد [۱۶]. هدف از این مقاله سنتز نانوذرات LSMO به روش محلول احتراقی و بررسی اثر پوشش پلی‌اتیلن گلیکول بر نانوذرات LSMO است. نانوذرات تهیه شده توسط آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM)، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، خواص مغناطیسی (VSM)، مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- مواد اولیه

نیترات منگنز ( $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ) با درصد خلوص (۹۷ درصد)، نیترات لانتانیم ( $(La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O)$ ) با درصد خلوص (۹۸ درصد)، و نیترات استرانسیوم ( $Sr(NO_3)_2$ ) با درصد خلوص (۹۸ درصد)، گلاسیسین ( $C_2H_5NO_2$ )، پلی‌اتیلن گلیکول (PEG-۶۰۰۰)، پودر نیترات لانتانیم، پلی‌اتیلن گلیکول از برند سامچون، نیترات استرانسیوم، نیترات منگنز و گلاسیسین، از برند مرک استفاده شده است.

### ۲-۲- سنتز نانوذرات LSMO

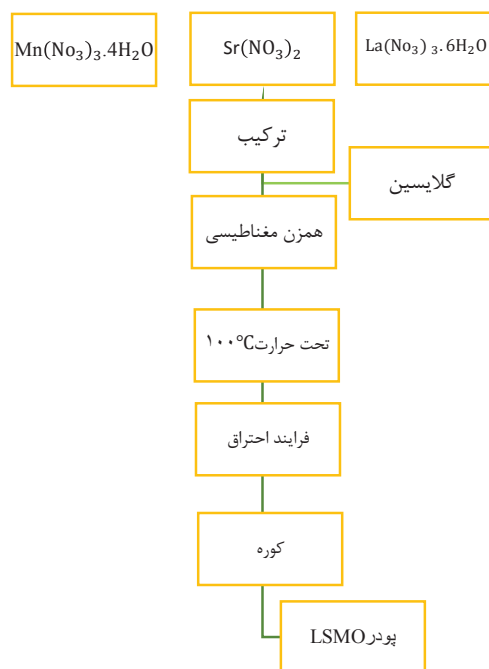
نانوذرات LSMO نوع پروسکایت به روش محلول احتراقی تهیه شدند که در آن گلاسیسین به عنوان سوخت استفاده شد [۱۷]. نیترات‌ها به عنوان مواد اولیه استفاده می‌شوند که در دماهای پایین‌تر تجزیه می‌شوند و هم‌چنین به عنوان اکسیدان در واکنش عمل می‌کنند [۱۲]. مقادیر استوکیومتری پیش‌سازهای نیترات ( $(La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O)$ ،  $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ )،  $(Sr(NO_3)_2)$  در آب مقطر دوپل حل کرده تا محلول ۰/۱ مولار تشکیل شود. محلول گلاسیسین با غلظت ۰/۱ مولار در آب مقطر تهیه شد. مخلوط اکسیدان (پیش‌سازهای نیترات) و سوخت گلاسیسین به مدت ۰/۵ ساعت تحت حرارت ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر روی یک همزن مغناطیسی قرار گرفت تا محلول همگن حاصل شود. سپس محلول به ژل مایل به زرد تبدیل شد و در معرض صفحه داغ که از قبل تا دمای ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گرم شده بود قرار گرفت. سپس احتراق انجام شد و دود سیاه رنگ که حاصل خروج، گازهای  $CO_2$ ،  $H_2O$  و  $N_2$  بوده به وجود آمد و پودر سیاه رنگ تولید شد. در نهایت پودر LSMO پس از حرارتی دهی به مدت ۵ ساعت تحت دما ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌شود.

### ۲-۳- پوشش نانوذرات LSMO با پلی‌اتیلن گلیکول

نانوذرات LSMO تهیه شده به روش سنتز محلول احتراقی توسط پلی‌اتیلن گلیکول پوشش داده شدند [۱۵]. ۰/۳ گرم پودر پلی‌اتیلن گلیکول (PEG-۶۰۰۰) در ۱۲ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل کرده و سپس به مدت ۰/۵ ساعت تحت همزن مغناطیسی با دور یکنواخت ۱۲۰۰ rpm قرار گرفت. محلول تهیه شده از ۰/۱ گرم از پودر نانوذرات مغناطیسی LSMO در ۱۲ میلی‌لیتر آب دیونیزه را کم‌کم به



ترکیب اول اضافه شد. محلول حاصله به مدت ۲۴ ساعت تحت همزن مغناطیسی با دور یکنواخت ۱۲۰۰ rpm قرار گرفت. در نهایت به منظور حذف پلیمر اضافی، ذرات پوشش داده شده با آهنربای قوی جدا کرده و سه بار توسط آب دیونیزه شستشو داده شد.



شکل ۱: شماتیک فرایند احتراق نانوذرات LSMO

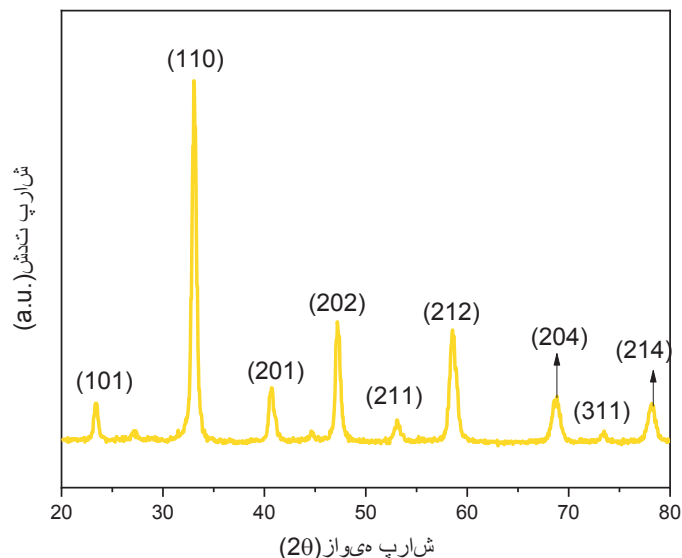
## ۲-۴- مشخصه‌یابی

الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD) برای مطالعه آنالیز ساختاری و فازی توسط پراش سنج PW1730 ساخت کشور فیلیپس با استفاده از تابش Cu-Kα در محدوده 2θ از ۲۰ تا ۸۰ درجه ثبت شد. برای مطالعه پیوند شیمیایی در مواد، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) مدل Thermo-Avatar در محدوده ۴۰۰ cm<sup>-1</sup> تا ۴۰۰۰ cm<sup>-1</sup> ثبت شد. مورفولوژی سطح و اندازه دانه توسط میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی تابشی میدانی (FE-SEM) مدل MIRA3TESCANXM مشاهده شده است. خواص مغناطیسی نانوذرات توسط آنالیز خواص مغناطیسی (VSM) مدل LBKFB شرکت مغناطیس کویر کاشان تعیین شد.

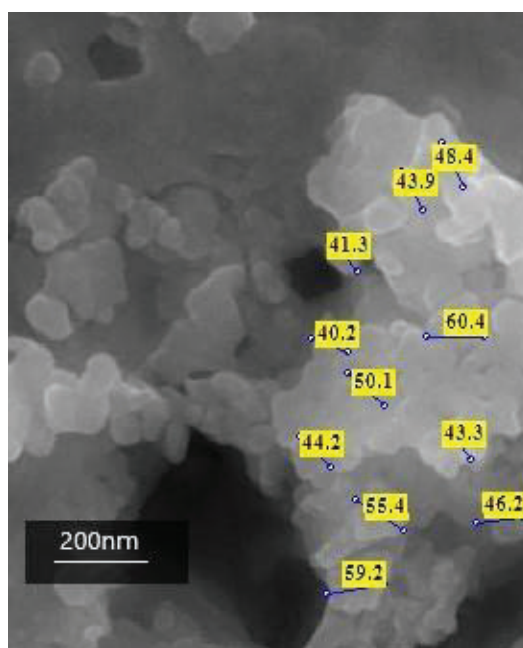
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- آنالیز ساختاری

شکل ۲ الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> آبل شده نشان می‌دهد. قله‌های به دست آمده به خوبی با ساختار هگزاگونال و گروه فضایی (۱۶۰) R3m با کارت JCPDS (کد مرجع: ۳۷۲۷-۱۵۳-۹۶) مطابقت دارند. پارامترهای شبکه برای نمونه برابر  $a = 5/48 \text{ \AA}$ ،  $c = 6/67 \text{ \AA}$  هستند. قله‌های مشاهده شده در زوایای ۲۳/۴۲، ۳۲/۸، ۴۰/۶۲، ۴۷/۳۲، ۵۳/۱۷، ۵۸/۶۸، ۶۸/۷۶، ۷۳/۵۹، ۷۸/۳۴ به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۱)، (۱۱۰)، (۲۰۱)، (۲۰۲)، (۲۱۱)، (۲۱۲)، (۲۰۴)، (۳۱۱)، (۲۱۴) می‌باشند. میانگین اندازه کریستالی نانوذرات قله (۱۱۰) با استفاده از رابطه دمای شرر محاسبه شد [۱۸] که در جدول ۱ نشان داده شده است. در شکل ۳ تصاویر FESEM از نمونه LSMO بعد از عملیات بازپخت نشان داده شده است. از تصویر می‌توان مشاهده کرد که بیش تر دانه‌ها کروی شکل با توزیع یکنواخت هستند. همچنین مشاهده می‌شود که اندازه دانه در نمونه تهیه شده در محدوده ۲۰-۶۰ نانومتر توزیع شده است.



شکل ۲: پراش پرتو ایکس نمونه  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  آنیل شده در دما ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد صفحات فارسی انگلیسی هستند برخی از پیک‌ها مشخص نشده‌اند.

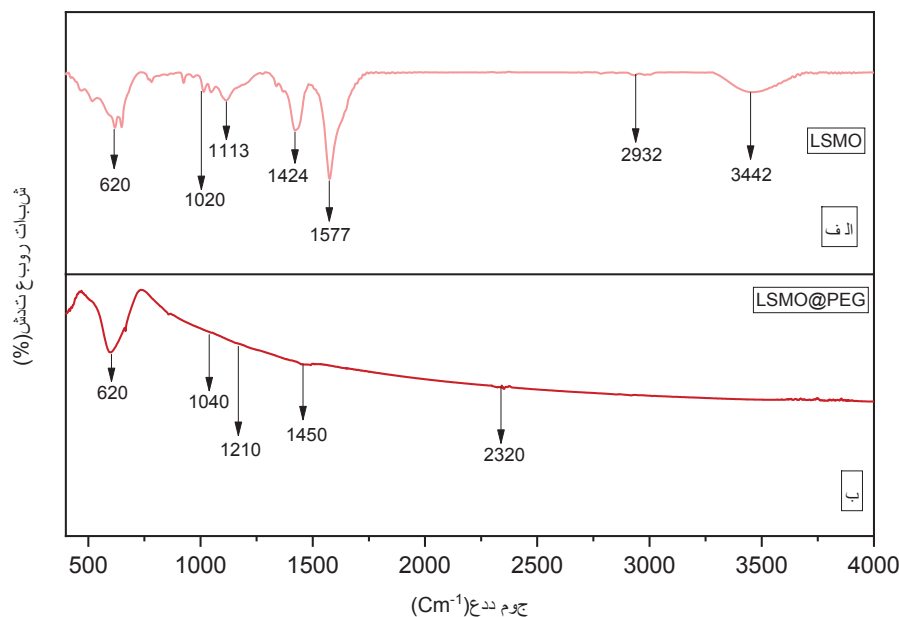


شکل ۳: تصاویر FE-SEM از نمونه  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  آنیل شده در دما ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد.

### ۳-۲- طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)

شکل ۴ طیف نمونه‌های آنیل شده LSMO که به ترتیب (الف) نمونه LSMO بدون پوشش و (ب) نمونه LSMO پوشش داده شده با PEG-6000 در محدوده  $400\text{ cm}^{-1}$  تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهد. پیک در حدود  $620\text{ cm}^{-1}$  مربوط به مربوط به Mn-O است. این نشان می‌دهد که نمونه‌ها به شدت حاوی پیوندهای فلز-اکسیژن هستند که به دلیل تغییر طول پیوند Mn-O-Mn به دلیل حرکت داخلی است که باعث حالت کشش می‌شود [۱۹]. در شکل ۴ برای نمونه LSMO بدون پوشش در  $1424\text{ cm}^{-1}$  به حضور کرنات‌ها اشاره دارد. طیف قوی در نمونه LSMO برابر  $1577\text{ cm}^{-1}$  به دلیل پیوند C-O-O آن است [۱۵]. ارتعاشات کششی O-H در سطح نمونه LSMO پیک حدود  $3442\text{ cm}^{-1}$  ایجاد کرده است [۱۹]. نوار مشخصه حدوداً در  $1040\text{ cm}^{-1}$  به دلیل ارتعاشات کششی

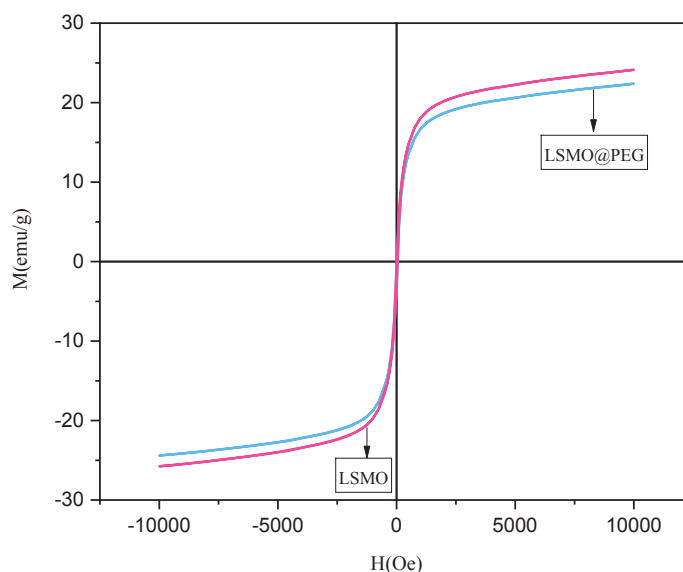
C-O-C واحدهای تکراری  $\text{CH}_2\text{CH}_2^-$  پلی اتیلن گلیکول، ظاهر می‌شوند. ظاهر باند در حدود  $1210\text{ cm}^{-1}$  از ویژگی‌های کشش C-H در پلی اتیلن گلیکول است. نانوذرات با پوشش پلی اتیلن گلیکول پیک جذب مشابه پلی اتیلن گلیکول کریستالی را نشان می‌دهند که تأیید می‌کند سطح نانوذرات با موفقیت با پلی اتیلن گلیکول پوشش داده شده است [۲۲].



شکل ۴: FTIR (الف) نمونه آنیل شده  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  و (ب) نمونه پوشش داده شده  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  با پلی اتیلن گلیکول

### ۳-۳- آنالیز خواص مغناطیسی

دستگاه مغناطیسی سنج نمونه ارتعاشی (VSM) بیش‌ترین کاربرد را برای تحلیل مواد مغناطیسی دارد. این دستگاه در شرایط متفاوت دمایی، میدان مغناطیسی و جهت‌گیری نمونه مغناطیس را با ابعاد مختلف اندازه‌گیری می‌کند. اساس کار آن مطابق قانون القای فارادی می‌باشد که با ارتعاش نمونه و اعمال میدان مغناطیسی به آن، باعث به وجود آمدن یک جریان القایی در سیم‌پیچ‌های تعبیه شده در دستگاه می‌شود که با مغناطش نمونه متناسب می‌باشد. حلقه هیستریزس اطلاعات در مورد نوع رفتار مغناطیسی، میدان پسماندزدا ( $H_c$ )، مغناطش پسماند ( $M_r$ ) و مغناطش اشباع ( $M_s$ ) را فراهم می‌کند [۲۳]. نانوذرات فرصت‌های بسیار خوبی را برای مطالعات بنیادی در مورد رابطه بین رفتار مغناطیسی و جفت‌های مغناطیسی در سطح اتمی فراهم می‌کنند [۲۴]. نانوذرات متناسب با سایز و اندازه ذرات می‌توانند گشتاور مغناطیسی ( $30-60\text{ emug}^{-1}$ ) و نیروی مغناطیس زا قابل توجهی در دمای اتاق و تحت میدان مغناطیسی  $300-400\text{ Oe}$  داشته باشند [۲۵]. فرومغناطیس مشاهده شده در LSMO به دلیل جایگزینی La با Sr ناشی می‌شود. جایگزینی لانتانیم با یک یون فلزی دو ظرفیتی ( $\text{Sr}^{2+}$ ) در مکان A، ظرفیت‌های مخلوط یون‌های منگنز  $\text{Mn}^{3+}-\text{Mn}^{4+}$  را در مکان B ایجاد می‌کند و به دلیل برهمکنش‌های تبادل دوگانه بین جفت یون‌های  $\text{Mn}^{3+}$  و  $\text{Mn}^{4+}$  از طریق اتم اکسیژن، رسانایی الکتریکی و مغناطیس شدن ترکیب را افزایش می‌دهد [۲۶]. در شکل ۵ منحنی مغناطیسی برای نمونه کلسینه شده LSMO بدون پوشش و نمونه پوشش داده شده توسط پلی اتیلن گلیکول نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است مقدار مغناطش اشباع برای نمونه LSMO بدون پوشش و پوشش داده شده به ترتیب برابر  $24/8\text{ (emug}^{-1}\text{)}$  و  $23/6\text{ (emug}^{-1}\text{)}$  خواهد بود. کاهش مقدار مغناطش اشباع برای سیستم پوشش داده شده ممکن است به دلیل وجود لایه پلیمری غیرمغناطیسی بر روی سطح نانوذرات باشد [۲۷]. یوان و همکاران نشان داده‌اند که کاهش فاز مغناطیسی مشاهده شده ممکن است به دلیل اختلال چرخش سطحی تحت تأثیر جذب پوشش‌ها و بار الکتریکی باشد [۲۸]. همچنین کاهش مغناطش ممکن است به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات پوشش داده شده باشد [۲۲]. در جدول ۱ پارامتر خواص مغناطیسی نانوذرات بیان شده است.



شکل ۵: منحنی M-H نانوذرات LSMO و LSMO@PEG

جدول ۱: پارامترهای از خواص مغناطیسی، اندازه کریستالیت از (XRD)، اندازه ذرات (FESEM)، در مقایسه با سایر روش‌های سنتز

نمونه	میدان وادارندگی (H <sub>c</sub> ) (Oe)	مغناطیسی اشباع (M <sub>s</sub> ) (emu/g)	پسماند مغناطیسی (M <sub>r</sub> ) (emu/g)	اندازه کریستالیت XRD (nm)	اندازه ذرات FE-SEM (nm)	روش سنتز	منابع
LSMO	۲۰/۷۵	۲۴/۸	۱/۴۳	۱۸/۴	۲۰-۶۰	محلول احتراقی	
LSMO@PEG	۱۹/۲۵	۲۳/۶	۱/۴۵	-	-		
LSMO	۱۲/۹۸	۵۴/۹۱	۵/۳۹	۲۰	۵۰-۶۰	محلول احتراقی	[12]
LSMO	۳۱/۸۹	۳۵	-	۳۰/۲	۴۷	تجزیه حرارتی	[29]
LSMO	-	۴	-	۱۷	۲۰	سل-ژل	[30]
LSMO	۳۱/۴	۱۶	۰/۸۵	۱۱	۱۰-۲۰	هیدروترمال	[31]

#### ۴- نتیجه‌گیری

نانوذرات LSMO از طریق روش محلول احتراقی سنتز شدند و توسط پلیمر PEG با ساختار زیست‌سازگار و زنجیره بلند پوشش داده شدند. در این روش سنتز، گلایسین به عنوان سوخت و عامل کمپلکس‌کننده عمل کرد. وجود پلیمر پلی‌اتیلن گلیکول بر سطح نانوذرات LSMO باعث شد که از کلوخه شدن آن‌ها جلوگیری و باعث پراکندگی بیش‌تر نانوذرات شود. نمونه‌های تهیه شده با آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فرورسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، خواص مغناطیسی نمونه‌ها توسط یک مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) بررسی شدند. بر اساس آنالیز پراش اشعه ایکس مشخص شد که نانوذرات دارای ساختار هگزاگونال و گروه فضایی R3m (۱۶۰) می‌باشند. میانگین اندازه کریستالی نانوذرات از رابطه دبای شرر برای پیک (۱۱۰) برابر ۱۸/۴ نانومتر به دست آمد. تعیین مورفولوژی و توزیع اندازه ذرات، توسط تصاویر FESEM انجام شد. از تصویر مشاهده شده که بیش‌تر دانه‌ها کروی شکل با توزیع یکنواخت هستند و همچنین اندازه دانه نانوذرات در محدوده ۲۰-۶۰ نانومتر تخمین زده شد. پیوند مؤثر بین پلیمرهای پلی‌اتیلن گلیکول با سطح نانوذرات LSMO توسط طیف FTIR به خوبی نمایش داده شده است. نانوذرات LSMO کلسینه شده در دمای ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و نانوذرات LSMO پوشش داده شده با پلی‌اتیلن گلیکول (LSMO @ PEG) توسط منحنی خواص مغناطیسی





(VSM) مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس این منحنی مشخص شد که نانوذرات دارای ماهیت فرومغناطیس‌اند و از نظر مقدار مغناطش اشباع نانوذرات LSMO قبل و بعد پوشش‌دهی توسط پلیمر پلی‌اتیلن گلیکول برابر  $24/8$  (emu/g) و  $23/6$  (emu/g) است که بر اساس نتایج به دست آمده مشخص است که پوشش نانوذرات باعث کاهش مقدار مغناطش اشباع آن‌ها خواهد شد که این ممکن است به دلیل به وجود لایه پلیمری غیرمغناطیسی روی سطح نانوذرات نسبت داده شود که باعث کاهش انرژی جفت تبدیلی شده که این به نوبه خود مغناطش را کاهش می‌دهد.

## منابع

- [1]. M. Usman, M. Farooq, A. Wakeel, A. Nawaz, S. A. Cheema, H. ur Rehman, I. Ashraf, M. Sanaullah, Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities, *Science of the Total Environment*. 721 (2020) 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.
- [2]. A. M. Ealias, M. P. Saravanakumar, A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 263 (2017). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>.
- [3]. K. Zhang, T. Holloway, J. Pradhan, M. Bahoura, R. Bah, R. R. Rakhimov, A. K. Pradhan, R. Prabakaran, G. T. Ramesh, Synthesis and magnetic characterizations of  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  nanoparticles for biomedical applications, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 10 (2010) 5520–5526. <https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2437>.
- [4]. R. A. Bohara, S. H. Pawar, Innovative Developments in Bacterial Detection with Magnetic Nanoparticles, *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 176 (2015) 1044–1058. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1628-9>.
- [5]. X. Liu, N. Fang, C. Li, X. Li, H. Liu, J. Wu, A free-standing magneto-fluorescent  $La_{1-x}Sr_xMnO_3 @ ZnO$  nanoparticle: Synthesis, properties and sharp Curie transition, *Journal of Alloys and Compounds*. 693 (2017) 518–526. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.09.212>.
- [6]. J. L. Ortiz-Quiñonez, L. García-González, F. E. Cancino-Gordillo, U. Pal, Particle dispersion and lattice distortion induced magnetic behavior of  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  perovskite nanoparticles grown by salt-assisted solid-state synthesis, *Materials Chemistry and Physics*. 246 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122834>.
- [7]. S. P. Jiang, Development of lanthanum strontium manganite perovskite cathode materials of solid oxide fuel cells: A review, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-2966-6>.
- [8]. E. Katz, Synthesis, properties and applications of magnetic nanoparticles and nanowires—a brief introduction, *Magnetochemistry*. 5 (2019). <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry5040061>.
- [9]. M. N. Subramaniam, P. S. Goh, W. J. Lau, B. C. Ng, A. F. Ismail, Development of nanomaterial-based photocatalytic membrane for organic pollutants removal, in: *Advanced Nanomaterials for Membrane Synthesis and Its Applications*, Elsevier Inc., 2018: pp. 45–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814503-6.00003-3>.
- [10]. A. V. Rane, K. Kanny, V. K. Abitha, S. Thomas, S. Thomas, *Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites*, Elsevier Ltd., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101975-7.00005-1>.
- [11]. Y. X. Gan, A. H. Jayatissa, Z. Yu, X. Chen, M. Li, Hydrothermal Synthesis of Nanomaterials, *Journal of Nanomaterials*. 2020 (2020). <https://doi.org/10.1155/2020/8917013>.
- [12]. N. D. Thorat, K. P. Shinde, S. H. Pawar, K. C. Barick, C. A. Betty, R. S. Ningthoujam, Polyvinyl alcohol: An efficient fuel for synthesis of superparamagnetic LSMO nanoparticles for biomedical application, *Dalton Transactions*. 41 (2012) 3060–3071. <https://doi.org/10.1039/c2dt11835a>.
- [13]. K. Navin, R. Kurchania, A comparative study of the structural, magnetic transport and electrochemical properties of  $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$  synthesized by different chemical routes, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 126 (2020) 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00339-019-3269-2>.
- [14]. D. S. Nikam, S. V. Jadhav, V. M. Khot, R. S. Ningthoujam, C. K. Hong, S. S. Mali, S. H. Pawar, Colloidal stability of polyethylene glycol functionalized  $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  nanoparticles: Effect of pH, sample and salt concentration for hyperthermia application, *RSC Advances*. 4 (2014) 12662–12671. <https://doi.org/10.1039/c3ra47319h>.
- [15]. A. S. Khan, N. Mehboob, M. F. Nasir, A. Hamayun, Magnetic and heating aptitudes of PEG coated  $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$  and  $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$  mediators towards hyperthermia methodology, *Physica B: Condensed Matter*. 564 (2019) 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.03.039>.
- [16]. K. P. Shinde, S. S. Pawar, S. H. Pawar, Influence of annealing temperature on morphological and magnetic properties of  $La_{0.9}Sr_{0.1}MnO_3$ , *Applied Surface Science*. 257 (2011) 9996–9999. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.06.126>.
- [17]. T. O. F. Contents, Structural and magnetic characterization of  $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$  nanoparticles obtained by the citrate-gel combustion method: Effect of fuel to oxidizer ratio, (2013) 1–11.
- [18]. M. S. Anwar, S. Kumar, F. Ahmed, G. W. Kim, B. H. Koo, Microwave Assisted Hydrothermal Synthesis and Magnetocaloric Properties of  $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$  Manganite, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 12



- (2012) 5523–5526. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6327>.
- [19]. Z. J. Razi, S. A. Sebt, A. Khajehnezhad, Magnetoresistance temperature dependence of LSMO and LBMO perovskite manganites, *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 12 (2018) 243–248. <https://doi.org/10.1007/s40094-018-0310-3>.
- [20]. Z. J. Razi, S. A. Sebt, A. Khajehnezhad, Magnetoresistance temperature dependence of LSMO and LBMO perovskite manganites, *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 12 (2018) 243–248. <https://doi.org/10.1007/s40094-018-0310-3>.
- [21]. K. P. Shinde, N. D. Thorat, S. S. Pawar, S. H. Pawar, Combustion synthesis and characterization of perovskite  $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ , *Materials Chemistry and Physics*. 134 (2012) 881–885. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.03.085>.
- [22]. S. V. Jadhav, D. S. Nikam, V. M. Khot, S. S. Mali, C. K. Hong, S. H. Pawar, PVA and PEG functionalised LSMO nanoparticles for magnetic fluid hyperthermia application, *Materials Characterization*. 102 (2015) 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.001>.
- [23]. D. Gherca, A. Pui, N. Cornei, A. Cojocariu, V. Nica, O. Caltun, Synthesis, characterization and magnetic properties of  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  (M= Co, Mg, Mn, Ni) nanoparticles using ricin oil as capping agent, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 324 (2012) 3906–3911. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.06.027>.
- [24]. I. Sharifi, H. Shokrollahi, M. M. Doroodmand, R. Safi, Magnetic and structural studies on  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles synthesized by co-precipitation, normal micelles and reverse micelles methods, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 324 (2012) 1854–1861. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.01.015>.
- [25]. N. D. Thorat, V. M. Khot, A. B. Salunkhe, A. I. Prasad, R. S. Ningthoujam, S. H. Pawar, Surface functionalized LSMO nanoparticles with improved colloidal stability for hyperthermia applications, *Journal of Physics D: Applied Physics*. 46 (2013). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/46/10/105003>.
- [26]. A. Urushibara, Y. Moritomo, T. Oresistance in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , *Physical Review B*. 51 (1995) 14103–14109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.51.14103>.
- [27]. A. B. Salunkhe, V. M. Khot, N. D. Thorat, M. R. Phadatare, C. I. Sathish, D. S. Dhawale, S. H. Pawar, Polyvinyl alcohol functionalized cobalt ferrite nanoparticles for biomedical applications, *Applied Surface Science*. 264 (2013) 598–604. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.10.073>.
- [28]. Y. Yuan, D. Rende, C. L. Altan, S. Bucak, R. Ozisik, D. A. Borca-Tasciuc, Effect of surface modification on magnetization of iron oxide nanoparticle colloids, *Langmuir*. 28 (2012) 13051–13059. <https://doi.org/10.1021/la3022479>.
- [29]. S. Malaysiana, T. L. Pertumbuhan, M. N. La, K. R. Terma, Synthesized via Thermal Treatment Method, 48 (2019) 369–375.
- [30]. S. Ravi, A. Karthikeyan, Effect of calcination temperature on  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  nanoparticles synthesized with modified sol-gel route, *Physics Procedia*. 54 (2014) 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.10.035>.
- [31]. M. S. Anwar, S. Kumar, F. Ahmed, G. W. Kim, B. H. Koo, Microwave assisted hydrothermal synthesis and magnetocaloric properties of  $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$  manganite, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 12 (2012) 5523–5526. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6327>.





# Synthesis of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ Nanoparticles by Combustion Solution Method and Coating with Polyethylene Glycol

Maryam Amadi<sup>1</sup>, Ibrahim Sharifi<sup>2\*</sup>, Hassan Sharifi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Master's student in materials engineering, Identification and selection of materials, Department of Materials Engineering, Shahrekord University

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Material Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Material Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord

\* ib.sharifi@gmail.com

**Abstract:** Nanoparticles have brought significant advantages in a wide range of fields due to their unique size-dependent physical and chemical properties. In this research, the combustion solution method is used to make  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  (LSMO) nanoparticles. Then the nanoparticles are covered with polyethylene glycol polymer. Due to the presence of hydrophilic molecular chains and high flexibility, polyethylene glycol is one of the most ideal coating agents to increase the colloidal stability and biocompatibility of LSMO nanoparticles. Using X-ray diffraction (XRD), the crystal structure, nanoparticle size and nanoparticle composition of LSMO were investigated, and a hexagonal structure with a crystal size of 18.4 nm was observed. Field emission electron microscopy (FESEM) was used to investigate the shape and size distribution of nanoparticles. The images showed that most of the grains are spherical with uniform distribution and the grain size in the processed sample is between 20 and 60 nm. The behavior of nanoparticles was estimated as ferromagnetic using Vibrating Sample Magnetic Analysis (VSM) and the saturation magnetization value before and after nanoparticle coating is 24.8 (emu/g) and 23.6 (emu/g), respectively. FTIR spectroscopy showed effective bonding between LSMO nanoparticles before and after treatment with polyethylene glycol.

**Keywords:** Polyethylene glycol, LSMO, Combustion solution synthesis, Nanoparticles.