

تهیه و مشخصه یابی نانو ذرات سوسوزن $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ و بررسی آن به عنوان یک آشکارساز در شمارشگر ذرات بتا

ولی علی زاده^۱، پرویز حسین خانی^۲، مصطفی نجفی^{۳*}، مسعود عبدالله زاده^۴، جواد افشار^۵

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استادیار، ۳- استاد، ۴- دانشیار، ۵- کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶)

چکیده

در این کار، نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}$ با و بدون دوپ شدن با Eu^{2+} توسط یک روش سنتز احتراقی جدید، ساده با سوخت ترکیبی اوره و گلاسیسین بدون استفاده از اتمسفر احیاکننده تهیه شدند. ریخت شناسی، ساختار، خلوص فاز و ویژگی های نورتابی نانو ذرات به ترتیب با میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM)، الگوی پراش اشعه (XRD) و فتولومینسانس (PL) بررسی شد. اثر سوخت اوره به تنهایی و در ترکیب با گلاسیسین در احیای Eu^{3+} به Eu^{2+} مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج مورفولوژی و پراش اشعه ایکس بیانگر ساختاری میله ای باریک شبیه به دانه برنج در ابعاد تقریباً ۴۵ تا ۶۵ نانومتر با خلوص تقریباً بالا را نشان می دهد. در نمونه دوپ شده با اروپیم و سنتز شده با سوخت ترکیبی اوره و گلاسیسین، طیف گسیل فتولومینسانس در محدوده طول موج های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر با مرکزیت ۴۴۷ نانومتر مشاهده شد. پاسخ سوسوزنی نمونه ها به تابش چشمه های ^{90}Sr و ^{241}Am به عنوان چشمه های گسیلنده ذرات باردار و گاما و قابلیت جداسازی تابش بتا و گاما در چشمه $^{90}Sr / ^{90}Y$ بررسی شد. نتایج نشان داد که نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}$ دوپ شده با Eu^{2+} به ذرات بتا حساسیت خوبی نشان می دهند و می توانند گزینه مناسبی برای کاربردهای آشکارسازی ذرات بتا باشد.

کلیدواژه ها: سنتز احتراقی، نانو ذرات نورتاب، فتولومینسانس، سوسوزن، ذرات بتا، اروپیم

Synthesis and Characterization of the $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ Scintillator Nanoparticles and its Investigation as Beta Detector

V. Alizadeh, P. Hosseinkhani, M. Najafi*, M. Abdollahzadeh, J. Afshar

* Department of Chemistry, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

(Received: 25/11/2020; Accepted: 14/02/2021)

Abstract

In this research, doped and undoped $BaMgAl_{10}O_{17}$ nanoparticles were synthesized using a new simple combustion synthetic method. A hybrid fuel consisting of urea and glycine was utilized in absence of reductive atmosphere. The morphology, structure, purity of sample phases and the features of nanoparticles light-glowing were investigated using field emission scanning electron microscope (FE-SEM), X-Ray Diffraction (XRD) pattern, and Photoluminescence (PL). The effect of urea fuel was studied either solely or mixed with glycine for the dopant reduction. The results of morphology and X-ray diffraction imply narrow-bar-structured rice with an approximated dimension of 45 - 65 nm with roughly high purity. In the synthesized doped europium with urea hybrid fuel and glycine, the photoluminescence emission spectrum is observed within the wavelength range of 400-500 nm centered at 447 nm. The scintillation responses of the samples to the ^{90}Sr beta and ^{241}Am gamma radiation sources and the discrimination capability of beta and gamma emissions in the $^{90}Sr/^{90}Y$ sources are investigated. The results showed that the activated nanoparticles having doped Eu^{2+} have a good sensitivity to beta particles and can be an appropriated alternative for detection applications of beta particles in the spaces combined with gamma photons and beta particles.

Keywords: Beta particles; Combustion synthesis; Light-glowing nanoparticles; Photoluminescence; Scintillator; Europium

³ Corresponding Author E-mail: mnajafi@ihu.ac.ir

۱- مقدمه

است. یکی از روش‌هایی که معمولاً برای سنتز نانو ذرات استفاده می‌شود روش سنتز احتراقی است. سنتز احتراقی، واکنشی گرمازا مابین نیترات فلزات به عنوان اکسیدکننده و سوخت‌های آلی مانند اوره، گلیسین و هیدرازین است. در این نوع سنتز، حرارت لازم برای احیاء توسط سوخت مناسب استفاده شده تأمین می‌شود؛ بنابراین، فرایند سنتز ساده، سریع و کم هزینه است [۱۶-۱۸].

بررسی منابع کتابخانه‌ای نشان می‌دهد تحقیق خاصی در حوزه برهمکنش تابش‌های یونیزان با ترکیب معدنی $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ انجام نشده و تنها خصوصیات ترمولومینسانسی آن بدون استفاده از چشمه‌های یونیزان بررسی شده است [۱۲، ۱۹ و ۲۰].

در این پژوهش ابتدا با یک روش ابتکاری، نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ به روش سنتز احتراقی، با سوخت ترکیبی اوره به اضافه گلیسین و بدون نیاز به اتمسفر گاز بی‌اثر سنتز شد. در ادامه نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ برای اولین بار به عنوان یک ترکیب معدنی با خاصیت سوسوزنی خوب برای آشکارسازی تابش‌های یونیزان بررسی شد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- تهیه نانو ذرات

نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}$ با و بدون دوپ کننده Eu^{2+} با یک روش جدید، ساده احتراقی روی شعله چراغ بنزن با سوخت ترکیبی گلیسین و اوره بدون اتمسفر احیاکننده (هیدروژن) و در هوای آزاد تهیه شد. مواد استفاده شده برای سنتز، نیترات آلومینیم $[Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O]$ با درجه خلوص بالای ۹۸/۵٪، نیترات باریم $[Ba(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ با درجه خلوص بالای ۹۹/۰٪، نیترات منیزیم $[Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ با درجه خلوص ۹۹/۰٪، نیترات اروپیموم (حاصل انحلال اکسید اروپیموم $[Eu_2O_3]$ در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک) بودند. همه مواد اولیه مورد استفاده ساخت شرکت مرک آلمان بود و محلول‌ها مطابق جدول (۱) تهیه شدند.

جدول ۱. مقادیر مواد اولیه در سنتز نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ و $BaMgAl_{10}O_{17}$

$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O(g)$	$Ba(NO_3)_2 \cdot 6H_2O(g)$	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O(g)$	$Eu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O(g)$
۲/۶۲	۰/۱۷۳	۰/۱۷۹	۰/۰۱۳
۲/۶۲	۰/۱۸۳	۰/۱۷۹	۰

مواد اولیه بعد از توزین در ۳۰ میلی‌لیتر آب دی یونیزه با نسبت استوکیومتری به همراه اوره و گلیسین (به‌عنوان سوخت احتراقی) مخلوط شده، سپس روی گرمکن با همزن مغناطیسی تحت دمای $80^\circ C$ به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شدند تا تغلیظ صورت گیرد. محلول تغلیظ شده به بوتله سرامیکی انتقال یافت و به مدت چهار تا شش دقیقه در محیط باز با شعله چراغ بنزن

یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تشخیص و آشکارسازی پرتوهای یونیزان استفاده از مواد سوسوزن است که در اثر فرایند برهمکنش پرتوهای یونیزان با آن‌ها نور سوسوزنی ایجاد می‌گردد. سوسوزن، یک قطعه عایق به شکل مایع، گاز و جامد است، که در اثر برخورد پرتوهای یونیزان (پرتو α ، β ، γ و ...)، خواص سوسوزنی نشان می‌دهد و انرژی پرتوهای یونیزان را به فوتون‌هایی در ناحیه مرئی و یا نزدیک ناحیه مرئی تبدیل می‌کند.

سوسوزن‌ها به دو دسته؛ سوسوزن‌های آلی و معدنی تقسیم می‌شوند. اغلب سوسوزن‌های معدنی ترکیبی از یک شبکه میزبان با یک سهم جزئی از یون‌های فلزات واسطه به عنوان فعال ساز می‌باشند. از سوسوزن‌های معدنی معروف می‌توان به $CsI(Tl)$ ، $PbWO_4$ ، $LiI(Eu)$ ، $Bi_4Ge_3O_{12}$ ، $NaI(Tl)$ ، اشاره کرد. در چند سال اخیر، محققان از فناوری نانو جهت ساخت این نوع سوسوزن‌ها استفاده کرده‌اند [۱ و ۲]. تولید آسان و ارزان نانو پودر سوسوزن‌ها با بازدهی لومینسانسی بالا و پایداری حرارتی بهتر نسبت به رشد تک کریستال، امکان تهیه ترکیباتی مانند $ZnS:Ag$ را که تولید آن‌ها به روش رشد تک کریستال قابل انجام نیست، فراهم می‌آورد [۳-۶].

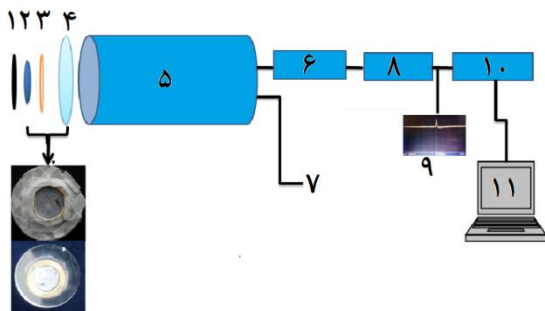
فسفرهای معدنی ترکیباتی از یک شبکه میزبان با درصد مولی بسیار کم یون‌های قلیایی خاکی و یا فلزات واسطه به عنوان فعال ساز هستند [۷]. این ترکیبات به سبب بازدهی کوانتومی خوب و پایداری شیمیایی بالا، دارای کاربردهای فراوانی از قبیل پنل‌های نمایشگر پلاسمایی [۸ و ۹]، صنعت روشنایی [۱۰]، لنزهای لیزر، لامپ‌های LED و پرده‌های رادیوگرافی اشعه ایکس می‌باشند. ترکیب معدنی $BaMgAl_{10}O_{17}$ (BAM) یک فسفر اکسید آلومیناتی تجاری است، که به عنوان شبکه میزبان بسته به اینکه آن از چه فعال‌سازی استفاده شود ناحیه‌های گسیل متفاوتی دارد [۱۱-۱۳]. این ترکیب به عنوان گسیلنده نور آبی به همراه گسیلنده‌های سبز و قرمز در تولید نور سفید در WLEDs و سیستم‌های نوری مدرن با طول موج تحریک ماورای بنفش (UV) و یا نزدیک به آن کاربرد دارد [۱۰]. همچنین $BaMgAl_{10}O_{17}$ کاندید مناسبی برای تولید نور سفید در پنل‌های نمایشگر پلاسما است [۸].

ایراد عمده ترکیب‌های اکسید آلومیناتی نیاز به دمای بالا (معمولاً بالای ۱۳۰۰ درجه سلسیوس) با اتمسفر N_2/H_2 برای احیا دوپنت است. روش‌های زیادی برای سنتز این ترکیبات از قبیل سل-ژل [۱۱]، هم رسوبی [۱۴] و رسوب شیمیایی از فاز بخار (CVD) [۱۵] به کار گرفته شده‌اند با این وجود همان‌گونه که اشاره شد عیب اصلی اکثر این روش‌ها احتیاج داشتن به عملیات حرارتی تحت اتمسفر احیایی و زمان‌بر بودن فرایند سنتز

۲-۳- طیف نگاری بتا و گاما

طیف نگاری از نمونه‌های تهیه شده جهت مطالعه حساسیت شمارشی نانو ذرات در بازه زمانی ۳۰۰ ثانیه با حداقل ۴ مرتبه تکرار انجام شد. آزمون‌ها با کدهای A00 تا A15 مشخص شده و جزئیات آزمون‌ها در جدول (۲) ثبت شده است. چشمه استفاده شده ^{90}Sr ^{90}Y با تاریخ تولید ۱۱ آگوست ۲۰۱۲ با فعالیت 0.214 میکرو کوری است. چشمه استرانسیوم ۹۰، یک چشمه گسیل کننده بتای منفی با نیمه عمر $28/74$ سال است که به هسته دختر ایتیریم ۹۰ تبدیل می‌شود. ایتیریم ۹۰ ساطع کننده گاما و بتا به ترتیب با نیمه عمرهای $3/19$ و $64/1$ ساعت است که در نهایت به زیرکونیوم ۹۰ که یک هسته پایدار است تبدیل می‌شود [۲۱]. از چشمه گامازای آمرسیوم (^{241}Am)، و کبالت (^{60}Co)، برای بررسی برهم کنش تابش گاما استفاده شد.

چیدمان آزمایشگاهی شامل لامپ تکثیرکننده فوتون مدل $R329-02$ ساخت شرکت Hamamatsu، ژاپن، و به ترتیب پیش تقویت کننده و تقویت کننده طیف نگاری مدل 3001 و 3600 ساخت انستیتو فیزیک کاربردی (IPA) ایران است (شکل ۳).



شکل ۳. چیدمان آزمایشگاهی ارزیابی خاصیت سوسوزنی نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ به تابش یونیزان. (۱) - چشمه (۲) - نمونه سوسوزن (۳) - واشر فلزی (۴) اپوکسی گلاس (۵) تکثیرکننده فوتون (۶) - پیش تقویت کننده (۷) - منبع تغذیه ولتاژ بالا (۸) - تقویت کننده (۹) - اسیلوسکوپ (۱۰) - تحلیلگر چندکاناله (۱۱) - رایانه.

۳- بررسی و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی مشخصات ساختاری

ریخت شناسی یا مورفولوژی نمونه‌ها در دو بزرگنمایی مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود نانو ذرات BAM به شکل میله‌ای و شبیه دانه برنج در ابعادی با قطر تقریبی ۴۵ الی ۶۵ نانومتر ایجاد شده‌اند.

بررسی و مقایسه پیک‌های شاخص ظاهر شده در الگوی پرتو ایکس پراش نمونه‌های BAM و $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ (شکل ۵) نشان

حرارت داده شد. در این فرایند ابتدا محلول داخل بوته جوشید و کف نمود. این کف با سوخت‌های اوره و گلیسین به یک باره شعله‌ور شد که در نتیجه آن ترکیب سفید پفکی ظاهر گردید (شکل ۱). با روش مشابه و بدون افزودن نیترات اروپیوم نانو ذرات $BaMgAl_{10}O_{17}$ ساخته شد. محصول نهایی آسیاب شده و به صورت پودر برای مشخصه یابی و ساخت نمونه استفاده شدند.

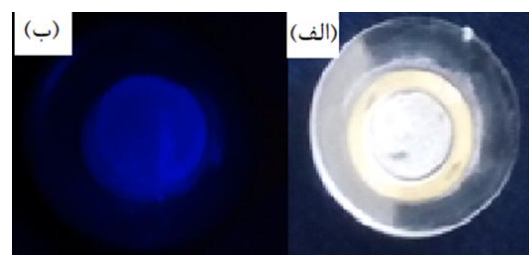


شکل ۱. شکل ظاهری ترکیب $BaMgAl_{10}O_{17}$ بعد از فرایند سنتز احتراقی

۲-۲- مشخصه یابی نانو ذرات

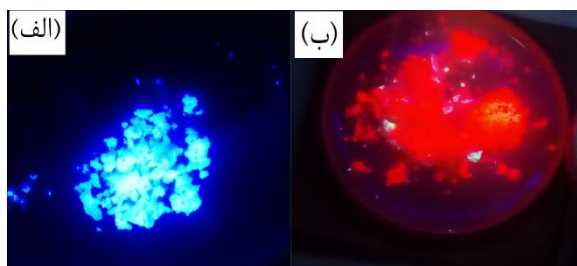
روش‌های، تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM)، Hitachi مدل S4160، فتولومینسانس (PL) با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل LS55 شرکت Perkin Elmer و الگوی پراش ایکس (XRD)، با دستگاه $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$; 40 KV; 40 Philips Xpert Pro diffractometer; mA; scanning rate [2Th] 0.0200 انجام شد.

به منظور بررسی خواص رادیولومینسانسی نانو ذرات، ۶ میلی گرم از پودرهای BAM و $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ به صورت جداگانه به کمک حمام اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه در ۴ میلی لیتر اتانول هم زده شد تا به صورت یکنواخت در حلال اتانول پخش شود. ۴ تا پنج قطره از مخلوط حاصل روی یک قطعه پلیمر از جنس پلی متیل متا اکریلات ریخته شد و در آن با دمای $60^\circ C$ خشک گردید. برای آزمایش‌های طیف نگاری، جهت تماس نداشتن چشمه پرتوزا با پودر رسوب داده شده یک واسط حلقه فلزی به قطر داخلی $2/2$ سانتی متر و ارتفاع تقریباً ۳ میلی متر روی قطعه پلیمری با چسب کاغذی چسبانده شد تصویر نمونه تهیه شده از $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ زیر نور آزمایشگاه و تحت تابش لامپ UV با طول موج ۳۶۵ نانومتر به ترتیب در شکل (۲- الف و ب) نشان داده شده است. مشاهده نشر نور آبی به خوبی بیانگر دوپ Eu^{2+} در ساختار پودر کریستالی BAM می‌باشد.



شکل ۲. الف) تصویر نمونه $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ در محیط آزاد، ب) در اتاقک UV با تحریک ۳۶۵ نانومتر

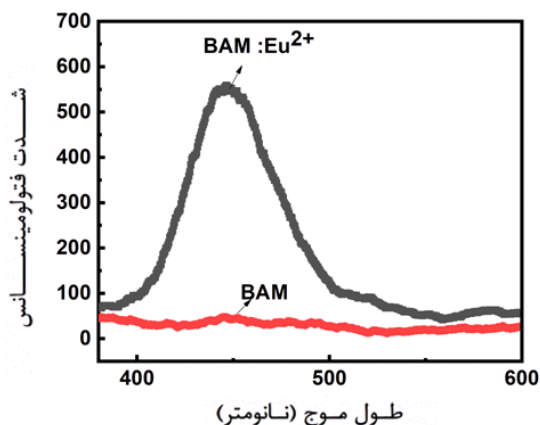
BaMgAl₁₀O₁₇:Eu می‌شود، اما سوخت اوره در حین احتراق مقدار زیادی گاز مانند NH₃، NO و H₂O تولید می‌کند. که این امر سبب تشکیل Eu³⁺ و نشر قرمز رنگ در نمونه سنتز شده با سوخت اوره استوکيومتری می‌شود که مربوط به گذارهای سوخت اوره استوکيومتری می‌شود. در روش‌های تولید صنعتی این ماده، انجام عملیات حرارتی در اتمسفر مخلوط N₂ و H₂ برای احیای Eu²⁺ به Eu³⁺ انجام می‌شود. روش دیگر استفاده از سوخت ترکیبی گلاسیسین و اوره است، گلاسیسین موجود باعث کاهش گازهای اکسیدکننده می‌شود. نشر در یون‌های قلیایی خاکی به دلیل انتقال‌های الکترونی در ترازهای 4fⁿ 5d و 4fⁿ⁻¹ 5d است. اگر Eu²⁺ به Eu³⁺ احیا شود تراز 4f⁽ⁿ⁻¹⁾ 5d در حال پر شدن خواهد بود و امکان انتقال الکترون از 4f⁽ⁿ⁻¹⁾ 5d به 4fⁿ امکان‌پذیر خواهد بود که منجر به نشر در ناحیه مرئی می‌شود.



شکل ۶. نانو ذرات اکسید آلومینیوم منیزیم با دوپ اروپیم با طول موج تحریک ۳۶۵ نانومتر (الف) سنتز با سوخت ترکیبی اوره و گلاسیسین (ب) سنتز با سوخت اوره

۳-۲- بررسی اپتیکی

بررسی فتولومینسانس (PL) نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل LS55 شرکت Perkin Elmer نشان داد که ترکیب BaMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ که با طول موج ۳۶۵ nm تحریک شده دارای بازه گسیل ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر با مرکزیت قله ۴۴۷ nm نانومتر است که مربوط به گذار 4f⁷→4f⁶5d یون فعل‌ساز Eu²⁺ است، و در مقابل نانو ذرات بدون دوپ دارای شدت تقریباً ناچیز و قابل صرف نظر کردن است (شکل ۷).

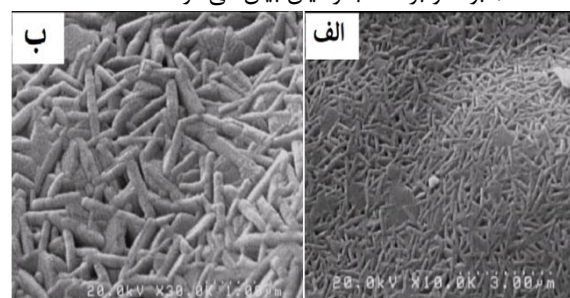


شکل ۷. طیف فتولومینسانس نانو ذرات اکسید آلومینیوم منیزیم با دوپ اروپیم با و بدون دوپ اروپیم با مرکزیت پیک در ۴۴۷ نانومتر.

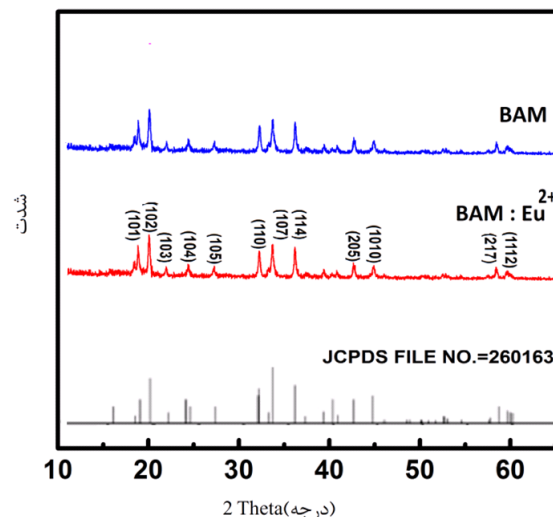
می‌دهد همخوانی خوبی بین آن‌ها و پیک‌های شماره کارت استاندارد (۰۱۶۳-۰۲۶-۰۰) که مشخصه اکسید آلومینیوم منیزیم باریم به فرمول BaMgAl₁₀O₁₇ است وجود دارد. در ضمن سهم ناچیز دوپنت تأثیری در الگوی پراش پرتو ایکس نداشته است. اندازه بلورک‌ها مربوط به قله اصلی (صفحه ۱۰۷) با استفاده از فرمول شرر (معادله ۱) ۷۷ نانومتر تخمین زده شد که تطابق خوبی با مشاهدات SEM دارد.

$$D = K \cdot \lambda / \beta \cos \theta \quad (1)$$

در اینجا K ثابت شرر و مقدار آن ۰/۹ است. طول موج پرتو X بر حسب آنگستروم ۱/۵۴۰۶، تمام پهنا در نیم بیشینه ارتفاع (FWHM) بوده و بر حسب رادیان بیان می‌شود.



شکل ۴. مورفولوژی نانو ذرات در بزرگنمایی‌های (الف) ده هزار برابر (ب) سی هزار برابر



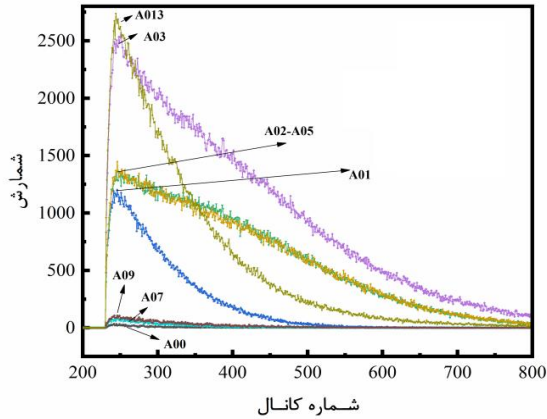
شکل ۵. الگوی XRD، پیک‌ها تطابق خوبی با کارت استاندارد نشان می‌دهد.

شکل (۶)، تصاویر گسیل نور مرئی نانو ذرات تهیه شده به روش سنتز احتراقی محلول (الف) با سوخت ترکیبی اوره و گلاسیسین و (ب) با سوخت اوره تنها در اتاقک UV تحت طول موج تحریک ۳۶۵nm را نشان می‌دهد.

وجود گلاسیسین در مقادیر زیاد سبب به جا ماندن ترکیبات کربنی در ساختار ماده سنتز شده می‌شود لذا برانگیختگی و نشر در محدوده مرئی با سوخت گلاسیسین تنها دیده نمی‌شود، از طرفی سوخت اوره باعث احتراق و تشکیل ساختار

۳-۳- بررسی خواص سوسوزنی

پنجره تکثیرکننده فوتون مابین چشمه و نانو ذرات $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ قرار داده شد، نتیجه حاکی از حساسیت نمونه (کد آزمایش A03) به تابش‌های گامای هسته دختر ^{90}Y است (شکل ۹).



شکل ۹: مقایسه طیف های بتای نانو ذرات BAM با دوپ اروپیم ^{90}Sr و بدون دوپ به چشمه ^{90}Y در بازه زمانی ۳۰۰ ثانیه (A03)

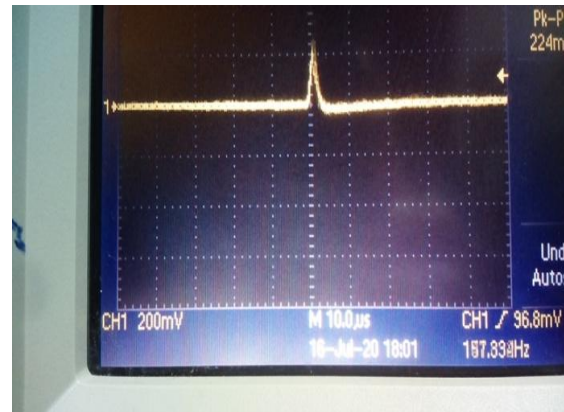
علاوه بر این نانو ذرات با و بدون دوپ BAM با چشمه گاما ^{241}Am با فعالیت ۱ میکروکوری مورد تحقیق قرار گرفت با توجه به این که نمونه‌ها در ضخامت‌های چند ده میکرومتر هستند باز نتایج نشان داد که نانو ذرات $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ به تابش گامای چشمه آمرسیوم حساس می‌باشند موردهای (A06)، (A08) و (A11).

جدول ۲: مقایسه تعداد شمارش‌های ثبت شده توسط همه نمونه‌های $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ و BAM به چشمه ^{90}Sr / ^{90}Y

کد آزمایش	نمونه / آزمایش	چشمه	تعداد کل شمارش در ۳۰۰ ثانیه با خطای استاندارد
A00	PMT	-	۸۷۲±۹
A01	شاهد*	^{90}Sr ^{90}Y	۳۳۱۴۶۲±۳۰۴۶
A02	BAM	^{90}Sr ^{90}Y	۳۳۸۴۶۸±۲۰۹۴
A03	$\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$	^{90}Sr ^{90}Y	۵۷۵۰۳۵±۳۵۱۴
A04	$\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$	-	۱۳۴۰۱±۲۳۱
A05	PMT	^{90}Sr ^{90}Y	۳۳۴۴۳۷±۲۷۳۹
A06	PMT	^{241}Am	۹۳۹±۷/۵
A07	PMT + Al	^{90}Sr ^{90}Y	۶۴۰۹±۴۶
A08	$\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$	^{241}Am	۲۶۶۳±۵۶
A09	$\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}+\text{Al}$	^{90}Sr ^{90}Y	۱۰۲۵۲±۲۳۳
A10	PMT+ BAM	-	۹۲۵±۱۳
A11	BAM	^{241}Am	۹۷۶±۲۷
A12	** $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}+\text{Al}$	^{241}Am	۱۲۳۱۱±۲۵۱۳
A13	شاهد $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$	^{90}Sr ^{90}Y	۳۲۰۸۵۲±۴۷۰۱
A14	**PMT + Al	^{241}Am	۳۱۳۸±۱۵۹
A15	** $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}+\text{Al}$	^{60}Co	۲۸۵۴±۷۲

* قطعه پلی مری تنها xx برای بازه زمانی ۶۰۰ ثانیه

شکل (۸) پاسخ زمانی گرفته شده از خروجی داینود PMT روی اسیلوسکوپ (Model TDS 2012) شرکت تکنوترونیکس را نشان می‌دهد. زمان واپاشی (decay time) نانو ذرات با دوپ اروپیم تقریباً ۱/۱ میکروثانیه محاسبه شد که در محدوده پاسخ تعدادی از آشکارسازهای تجاری از قبیل $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ با زمان واپاشی ۰/۹۴ میکروثانیه و $\text{LiI}(\text{Eu})$ با زمان واپاشی ۱/۴ میکروثانیه است [۲۳].



شکل ۸: پاسخ سوسوزنی نانو ذرات $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ به چشمه ^{90}Sr / ^{90}Y بعد از پیش تقویت کننده

حساسیت آشکارسازی نانو ذرات BAM و $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ به چشمه رادیواکتیو با چشمه بتازای ^{90}Sr و هسته دخترش ^{90}Y بررسی شد، مطابق جدول (۲)، ابتدا نشتی لامپ تکثیرکننده فوتون بدون چشمه و ماده سوسوزن بررسی شد (کد آزمایش A00). مرحله بعد طیف شاهد (قطعه پلیمر بدون ماده سوسوزن) با چشمه با شرایط الکترونیک و تنظیمات یکسان با مرحله اول امتحان شد (کد آزمایش A01). نانو ذرات BAM کد آزمایش A02، نمونه شاهد کد آزمایش A01 و تکثیرکننده تک فوتون کد آزمایش A05 در مقابل چشمه یونیزان ^{90}Sr / ^{90}Y (گسیل کننده بتا و گاما) تقریباً یکسان عمل می‌کند و با توجه به نتایج آزمایش A10، نتایج نشان می‌دهند که میزبان $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ بدون دوپ خاصیت سوسوزنی ندارد و شمارش انجام شده در کد آزمایش A01 و A02 مربوط به گاماها چشمه ایتیریم - ۹۰ در برخورد با پنجره لامپ تکثیرکننده فوتون است. ولی نانو ذرات $\text{BAM}:\text{Eu}^{2+}$ کد A03 حساسیت تقریباً دو برابری به چشمه ^{90}Sr / ^{90}Y نشان می‌دهد. برای اطمینان از عدم وجود نویز در پاسخها، در تمامی آزمایش‌ها لامپ تکثیرکننده فوتون (PMT) با نمونه‌ها و چشمه در محفظه با درپوش آلومینیومی در داخل یک جعبه سیاه کاملاً ایزوله از نور محیط قرار داشت و نویز دستگاه با تنظیم LLD تحلیلگر چندکاناله تقریباً حذف شده بود. برای جداسازی سهم بتا و گاما از یک ورقه آلومینیومی به ضخامت ۱/۶ mm و به شعاع

احیای Eu^{3+} به Eu^{2+} بسیار مؤثر است. مشخصه‌یابی‌ها ریخت‌شناسی دانه برنجی به طول تقریبی ۳۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و قطر ۴۵ الی ۶۵ نانومتر را نشان دادند. طول موج گسیل ۴۴۷ نانومتر که در محدوده حساسیت تکثیرکننده‌های فوتونی تجاری است. بررسی برهمکنش پرتوهای هسته‌ای (بتا و گاما) با ترکیب BAM:Eu^{2+} برای اولین بار در این کار تحقیقاتی انجام گرفته است. پاسخ زمانی به‌دست آمده برای نانو ذرات ۱/۱ میکروثانیه اندازه‌گیری شد که در محدوده آشکارسازهای کند قرار می‌گیرد. نتایج طیف نگاری نانو ذرات BAM:Eu^{2+} نشان داد که این ترکیب به ذرات بتا و پرتو گاما حساسیت شمارشی خوبی دارد.

با توجه به مزیت‌های ترکیب BAM:Eu^{2+} شامل روش تهیه آسان، پایداری حرارتی و شیمیایی، سمی نبودن و تجزیه‌پذیر بودن و همچنین حساسیت شمارشی مناسب می‌تواند به عنوان ترکیبی با قابلیت کاربرد در حوزه فیزیک هسته‌ای و آشکارسازی و تصویربرداری پزشکی به عنوان یک گزینه مطرح باشد.

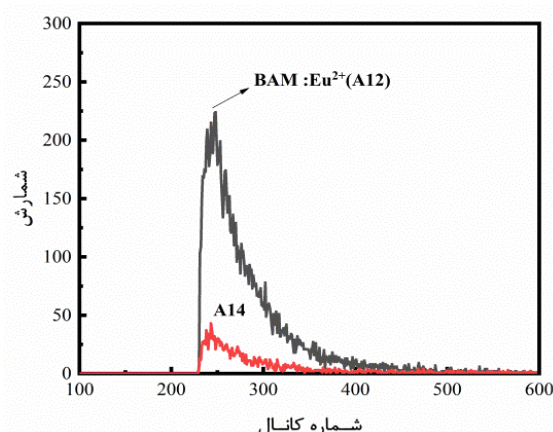
سپاسگزاری

از بخش مرکز علم و فناوری فیزیک دانشگاه جامع امام حسین(ع) به خاطر همکاری در این پژوهش تقدیر و تشکر می‌گردد.

۵- مرجع‌ها

- [1] Mohammadi, H.; Abdi, M. R.; Habibi, M. H. "Synthesis, and Scintillation Properties of Cerium – Doped Gd_2SiO_5 Nanopowders Under Alpha Radiation and the Importance of Selecting the Appropriate Calcination Temperature"; *J. Lumin.* 2020, 219, 116849.
- [2] Van Eijk, C. W. E. "Inorganic Scintillators in Medical Imaging Detectors"; *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 2003, 509, 17-25.
- [3] Kamenev, A.; Chen, F.; Zhan, Y.; Majewski, R. L.; Cai, W. "Scintillating Nanoparticles as Energy Mediators for Enhanced Photodynamic Therapy"; *ACS Nano* 2016, 10, 3918-3935.
- [4] Mazhdi, M.; Tafreshi, M. J. "The Investigation of Scintillation Properties of Gadolinium Doped Zinc Oxide Nanoparticles for Nuclear Radiation Detection"; *Phys. Res. A* 2020, 959, 1-6.
- [5] Lecoq, P.; Schneegans, M., "Progress and Prospects in the Development of New Scintillators for Future High Energy Physics Experiments"; *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 1992, 315, 337-343.
- [6] Rahimi, M.; Zahedifar, M.; Azimirad, R.; Faeghina, A. "Luminescence, and Scintillation Properties of Eu^{2+} Doped CaF_2 Glass Ceramics for Radiation Spectroscopy"; *J. Lumin.*, 2020, 11704,1-27.
- [7] Liu, R. S. "Phosphors, Up conversion Nanoparticles, Quantum Dots, and Their Applications"; Vol. 1, Springer-Verlag Berlin, 2017, ISBN 978-3-662-52769-6 (eBook)

برای اطمینان از حساسیت نانو ذرات BAM:Eu^{2+} به تابش گاما، آزمون دیگری انجام گرفت. در آزمون آخر یک صفحه آلومینیومی به ضخامت ۱/۶ میلی‌متر و به شعاع پنجره تکثیرکننده فوتون، مابین چشمه آمرسیوم گامازا و نانو ذرات BAM:Eu^{2+} قرار داده شد (A12) و برای بازه زمانی ۶۰۰ ثانیه با تنظیمات قبلی شمارش با تکرار ۴ مرتبه ثبت شد، همین آزمون برای حالت بدون BAM:Eu^{2+} نیز تکرار شد. نتایج بیانگر این موضوع است که نانو ذرات BAM:Eu^{2+} به گاماها کمی انرژی در وضعیت ضخامت میکرومتری حساس است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: طیف گامای نانو ذرات BAM:Eu^{2+} در بازه زمانی ۶۰۰ ثانیه برای چشمه گاما ^{241}Am با فعالیت میکروکوری.

نتایج حاکی از آن است که نانو ذرات سنتز شده دارای خاصیت تشخیص انرژی ذرات بتا و تابش گاما نیستند به نظر شاید مربوط به غیر یکنواختی لایه رسوب داده شده روی بستر پلیمر پلی متیل متا اکریلات باشد که احتیاج به بررسی دارد. ولی حساسیت شمارشی خوبی به ذرات باردار بتا نشان می‌دهند. در کل با توجه تولید نانو ذرات با حذف عملیات حرارتی در اتمسفر احیایی، سنتز سریع و کاهش هزینه‌ها در مقایسه با سنتزهای دیگر از قبیل هم رسوبی، سل-ژل، و بازدهی لومینسانسی عالی و پایداری حرارتی خوب این ترکیبات، کاربردهای خوبی در صنعت روشنایی و نمایشگرهای پلاسمایی به وجود آورده است. با توجه به نتایج تحقیقی حاضر احتمالاً به‌عنوان یک آشکارساز در شمارشگر ذرات بتا و تابش گاما برای کاربردهای حسگری و تصویربرداری که نیازی به دانستن انرژی و زمان پاسخ سریع نیست، گزینه مناسبی باشند.

۴- نتیجه‌گیری

نانو ذرات BAM و BAM:Eu^{2+} به روش سنتز احتراقی در محلول برای اولین بار با سوخت ترکیبی اوره و گلیسین در اتمسفر هوای آزاد و بدون عملیات حرارتی ثانویه تحت اتمسفر هیدروژن ساخته شد. نتایج نشان دادند که حضور گلیسین به همراه اوره در

- Grown with SiO_2 Using Atomic Layer Deposition”; *Appl. Phys.*, 2009, 9, 249-251.
- [16] Varma, A.; Mukasyan, A. S.; Rogachev, A. S.; Manukyan, K. V. “Solution Combustion Synthesis of Nanoscale Materials”; *Chem. Rev.*, 2016, 116, 14493-14586.
- [17] Singh, V.; Singh, N.; Pathak, M. S.; Watanabe, S.; Gundu Rao, T. K.; Jadhav, N.; Kwon, Y. W. “PL and ESR Study on the UVB-Emitting Gadolinium-Doped $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ Hexagonal Phase Obtained by Combustion Synthesis”; *J. Electron. Mater.* 2018, 47, 7365-7371.
- [18] Pradal, N.; Chadeyron, G.; Therians, S.; Potdevin, A.; Santilli, C. V.; Mahiou, R. “Investigation on Combustion Derived $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Phosphor Powder and its Corresponding PVP/ $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Nanocomposite”; *Dalton Trans.* 2014, 43, 1072-1081.
- [19] Zambare, A. P.; Prasad, A. S. S.; Natrajan, V.; Nageswara Rao, B.; and Murthy, K. V. R. “Thermoluminescence Studies of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ Doped with Eu Phosphors”; *J. Pure Appl. Phys.*, 2009, 47, 453-455.
- [20] Tanno, H.; Zhang, Sh.; Shinoda, T.; Kajiyama, H. “Characteristics of Photoluminescence, Thermoluminescence, and Thermal degradation in Eu-doped $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ and $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ ”; *J. Lumin.* 2010, 130, 82-86.
- [21] NuChart; Version 4.0.0; Canberra, July, 1998.
- [22] Hwang, K.S.; Hwangbo, S.; Kim, J.T. “Chemical Solution- derived $\text{SrMg}_2(\text{PO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ Bluephosphor for ultraviolet emitting diodes”, *Optica Applicata*, Vol. XL, 2010, 4
- [23] Knoll, F. G. “Radiation Detection and Measurement”; 4th ed., John Wiley & Sons, New York, 2010, 235-270.
- [8] Yokota, K.; Zhang, S. X.; Kimura, K.; Sakamoto, A. “ Eu^{2+} - Activated Barium Magnesium Aluminate Phosphor for Plasma Display Phase Relation and Mechanism of Thermal Degradation”; *J. Lumin.* 2001, 92(3), 223-227.
- [9] Shukla, R. S. V. K.; Mishra, P.; Pandey, Sh. K.; Kumar, K.; Baranwal, V.; Kumar, M.; Pandey, A. C. “Enhanced Blue Luminescence in $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}$, Er, Nd Nanophosphor for PDPs and Mercury-free Fluorescent Lamps”; *J. Alloys Comp.*, 2013, 547, 1-4.
- [10] Shivani, P.; Gupta, M.; Jaiswal, V.; Ravinder, G.; Serrlatha, C. J.; Hussain, K. A.; Vijaya Prakash, G.; Haranath, D. “Unusual Red-Shift and Enhanced Photoluminescence of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Phosphor under Ultraviolet an Excitation for Modern Lighting Systems”; *J. Nanosci. and Nanotech.* 2020, 20, 3854-3858.
- [11] Bitao, L.; Yuhua, W.; Feng, Z.; Zhaofeng, W. “The Reduction of Eu^{3+} to Eu^{2+} in $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}$ and the Photoluminescence Properties of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Phosphor”; *J. Appl. Phys.*, 2009, 106, 053102.
- [12] Justel, T.; Lade, H.; Mayr, W.; Meijerink, A.; Wiechert, D. U. “Thermoluminescence Spectroscopy of Eu^{2+} and Mn^{2+} Doped $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ ”; *J. Lumin.* 2003, 101, 195-210.
- [13] Kumar, M.; Rajput, P.; Singh, P. K.; Yadav, A. C.; Pradhan, S. L.; Baranwal, V.; Singh, U. B.; Jha, S. N.; Singh, F. “Luminescence Properties of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Mn}^{2+}$ Nanophosphors”; *J. Alloys Compd.* 2019, 799, 556-562.
- [14] Zhang, Z.; Feng, J.; Huang, Z. “Synthesis and Characterization of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Phosphor Prepared by Homogeneous Precipitation”; *J. Particuology*, 2010, 8, 473- 476.
- [15] Jeong, Y. K.; Kin, H. J.; Choi, H. “Luminescent Properties of $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ Blue Phosphor