

## تهیه و بررسی خواص نانوکامپوزیت اکسید روی آلانید به عنصر گالیم

### جهت استفاده در آشکارسازهای نوری و مواد سوسوزن

ساناز علمداری<sup>1,2\*</sup>، مرتضی ساسانی قمصری<sup>2</sup>، مجید جعفر تفرشی<sup>1</sup>

<sup>1</sup> پردیس علوم، دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

<sup>2</sup> پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، سازمان انرژی اتمی، تهران

دریافت: 1397/07/06 ویرایش نهایی: 1397/10/18 پذیرش: 1397/11/24

#### چکیده

در این مقاله نانو کامپوزیت شفاف اکسید روی آلانید به عنصر گالیم با خواص تابناکی ویژه در دمای اتاق تهیه شد. نانوبلورهای اکسید روی آلانید به عنصر گالیم (GZO) به روش ساده سل ژل سنتز شدند. خواص اپتیکی، ساختاری و ریخت‌شناسی نمونه‌های تهیه شده توسط مشخصه‌یابی‌های مختلف از جمله طیف فوتولومینسانس (PL)، طیف جذبی-عبوری (UV-vis)، الگوی پراش پرتوی ایکس (XRD)، تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، طیف سنجی پراش انرژی پرتوی ایکس (EDAX)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و روبشی (TEM-FESEM) بررسی شد. بررسی XRD نشان داد نمونه‌ها دارای ساختار ورتزایت منطبق با تمام صفحات بلوری اکسید روی بدون هیچ قله اضافی یا فاز اکسیدی می‌باشند. دو نانوکامپوزیت حاوی نانوپودرهای بدون عملیات حرارتی و دیگری حاوی نانوپودرهای کلسینه شده، نیز تهیه شد. نانوکامپوزیت کلسینه شده خواص نوری مناسبی از جمله 70 درصد شفافیت نوری در ناحیه طول موج‌های مرئی همراه با تابناکی قوی سبز در دمای اتاق، از خود نشان داد. همچنین حضور گالیم و روی در ساختار توسط مشخصه‌یابی EDAX اثبات شد. بررسی‌ها نشان دادند کامپوزیت GZO دارای خاصیت تابناکی مناسب در ناحیه مرئی آبی تا سبز بوده که می‌تواند گزینه مناسبی برای کاربردهای آشکارسازی نوری و کاربردهای سوسوزنی با هزینه بسیار کم باشند.

**کلیدواژگان:** سل ژل، کامپوزیت، اکسید روی، سنتز، گالیم، خواص تابناکی

#### مقدمه

شبکه‌های نوری هستند که براساس مکانیزمی که به نورتابشی پاسخ می‌دهند به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. در مرحله اول برای ساخت یک آشکارساز نوری، به یک ماده تابناک سوسوزن با شفافیت مناسب و خواص نشری قوی با پهنا در نصف مقدار بیشینه کم در ناحیه طول موج‌های مرئی نیاز است. اولین سوسوزن‌ها شامل ترکیبات مختلفی از جمله  $\text{CaWO}_4$  بودند که اولین بار در کشف پرتوهای ایکس به کار گرفته شدند. تاکنون مواد سوسوزن مختلفی از جمله

وقتی یک ماده سوسوزن تحت تابش قرار می‌گیرد، انرژی پرتوی فرودی را جذب و انرژی جذب شده را به شکل فوتون دوباره گسیل می‌کند. مواد لومینسانس و سوسوزن تحت تأثیر تابش‌های یونساز، از خود نور با طول موج مشخص تابش می‌کنند. این مواد در آشکارسازهای نوری برای آشکارسازی پرتوهای یونساز و تصویربرداری‌های پزشکی بسیار مناسب می‌باشند. آشکارسازهای نوری یکی از اجزای ضروری

\* نویسنده مسئول: alamdari\_sanaz68@yahoo.com

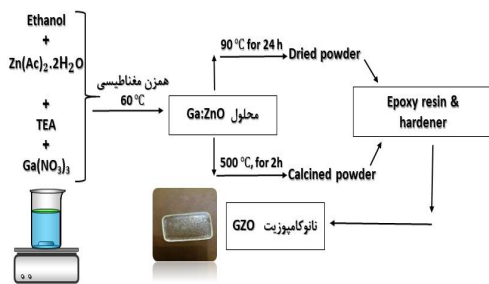
باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

تحقیقات دهه اخیر سوسوزن‌های بر پایه ZnO نیز خاصیت آشکارسازی مناسبی را از خود نشان دادند [8-6]. سرامیک‌های اکسید روی با آلایندگی‌های گالیم، کادمیوم و ایندیم برای آشکارسازی سوسوزنی در مقابل پرتوهای یونساز مورد مطالعه قرار گرفتند و مشاهده شد اکسید روی آلاییده با گالیم حساسیت بالا و سریعترین پاسخ زمانی (نانوثانیه) را از خود نشان داد [7 و 6]. همچنین مشاهده گردید با افزودن نانوذرات اکسید روی به یک پلیمر جامد مانند پلی استر به‌عنوان ماده سوسوزن پلاستیکی، پاسخ سوسوزنی بهبود یافت [9-7].

تا کنون تحقیقی بر پایه خواص سوسوزنی این نوع کامپوزیت بر پایه ماتریس اپوکسی ارائه نشده است اما کامپوزیت GZO مورد نظر خواص مناسبی در حوزه پوشش‌های عایق حرارتی و محافظتی پرتوهای فرابنفش از خود نشان داده است [15 و 9]. همان‌طور که اشاره گردید برای آشکارسازی نوری در درجه اول، ماده سوسوزنی مورد استفاده بسیار مهم است. ماده سوسوزنی تهیه شده باید دارای خواص تابناکی مناسب نظیر شدت نشری مناسب در ناحیه طول موج‌های مرئی (آبی تا سبز)، زمان تأخیر پایین و پهنای نیم‌بیشینه کم برای افزایش بهره نوری باشد. در این مقاله با روشی ساده نانوکامپوزیت شفاف GZO در پایه اپوکسی تهیه شد. غلظت بهینه ناخالصی گالیم نیز 1 درصد اتمی طبق آزمایشات قبلی صورت گرفته و بررسی خواص ساختاری انتخاب شد. همان‌طور که می‌دانیم استفاده از غلظت بهینه، کنترل اندازه مناسب ذرات و ضخامت ماده به شدت بر خواص نوری و در نتیجه سوسوزنی اثر گذار است. حداکثر مقدار غلظت یک یون ناخالصی در یک ساختار کریستالی ایده‌آل، با حد انحلال مشخص می‌شود. در ساختار بس بلور نیم‌هادی‌ها این مقدار متفاوت است چون در نتیجه افزایش غلظت، نقص‌ها و

مواد نیم‌رسانا با باند گاف پهن مانند GaN, CdS, ZnO و  $\text{CsPbCl}_3$  مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [1-3]. مواد سوسوزن پلیمری نیز اغلب به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فردشان از جمله ارزانی، سبکی، بهره نوری بالا، قابلیت ماشین کاری و سرعت پاسخ‌دهی سریع نوری، بسیار مورد توجه هستند. نانوذرات نیم‌رسانا سبب پیدایش خواص جدیدی در بستر انواع پلیمرها شده که خواص نوری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند و نهایتاً می‌توانند بهره نوری را بهبود بخشند. اکسید روی (ZnO) به‌عنوان یک ماده سریع سوسوزن، یکی از معروف‌ترین نانومواد اکسیدی نیم‌رسانای شفاف، با گاف نواری پهن (3.2 الکترون ولت) و مستقیم، انرژی اکسایشی بالا، چگالی خوب، بهره خروجی نوری مناسب، زمان تأخیری زیر نانو ثانیه با خاصیت تابناکی قوی در دمای اتاق بوده که بسیار مناسب برای کاربردهای نوری، الکتریکی و به‌خصوص آشکارسازی در صنایع مختلف می‌باشد [4-6]. از طرف دیگر حضور ناخالصی موجب پیدایش خواص قابل توجه و جدیدی در شبکه اکسید روی می‌گردد. عناصر گروه سوم توجه بیشتری به دلیل وارد کردن یک الکترون اضافی در شبکه به خود جلب کرده‌اند [5-9]. به‌عنوان مثال گالیم دارای جرم اتمی، شعاع یونی و طول پیوند کووالانسی بسیار نزدیک به اتم روی بوده که حتی در غلظت‌های بالای آلایش نیز ساختار بلوری مناسب، خواص الکتریکی، آشکارسازی و حسگری ویژه‌ای از خود در ساختار ZnO نشان می‌دهد. زیرا یون‌های اتم گالیم با ایجاد کمترین نقص تنها قادر به جای‌گزینی به جای Zn هستند، درحالی‌که یون‌های آلاینده‌های دیگر هم می‌توانند جایگزین Zn شوند و هم بین شبکه قرار گیرند و به‌عنوان نقص شبکه‌ای عمل کرده و عملکرد دستگاه‌ها را با مشکل ایجاد کنند.

4 گرم استات روی دو آب مرک آلمان با درجه خلوص 99/9 درصد به عنوان پیش ماده نمک فلزی، در 30 میلی لیتر اتانول مطلق مرک به عنوان حلال و تری اتیل آمین مرک (به عنوان پایدار کننده)، به مدت 30 دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند تا سل شفاف و پایدار 1 مولار اکسید روی حاصل شود. سپس گالیم نترات سیگما (1 درصد اتمی) به محلول اضافه شد و به مدت 20 دقیقه تحت همزدن قرار گرفت تا محلول های شفاف گالیم اکسید روی به دست آید. سپس از محلول های سنتز شده پودر تهیه گردید و به مدت 24 ساعت در آن الکتریکی و دمای 90 درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا خشک شدند و در انتها در دمای 500 درجه سانتی گراد بازپخت شدند. کامپوزیت شفاف اکسید روی آلاییده به گالیم به روش مخلوط سازی مستقیم در یک قالب پلاستیکی کوچک (با نسبت 0/05 گرم پودر به 5 میلی لیتر اپوکسی و 1/10 محلول هاردنر به اپوکسی) تهیه و در دمای 40 درجه سانتی گراد در آن الکتریکی به مدت 1 ساعت قرار گرفت. خلاصه مراحل آزمایشگاهی تهیه نانوکامپوزیت در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. طرحواره خلاصه مراحل ساخت نانوکامپوزیت.

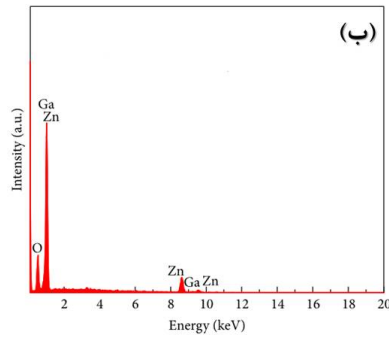
### بحث و نتیجه گیری

الگوی XRD پودرهای اکسید روی خالص و آلاییده (بازپخت شده در دمای 500 درجه سانتی گراد) در شکل 2 الف نشان داده شده است. بیشترین رشد در

مرزدهانه ها می توانند به عنوان محل های جانمایی عمل کنند. وقتی غلظت یون آلاینده از حد بهینه بیشتر شود، ممکن است جدایش یون های ناخالصی در مزر دانه ها رخ دهد و منجر به تشکیل حالات تله، خوشه و فازهای جدید در ساختار شود و عملکرد قطعات الکترونیکی و آشکارسازی را کاهش دهد. بیشتر آشکارسازهای سوسوزنی مطالعه شده، بر پایه مواد غیر آلی سوسوزنی مثل تالیم یدید و سزیم یدید بوده و بسیار به ندرت از مواد نیم رسانای اکسید روی آلاییده با گالیم در ساخت آشکار سازها استفاده شده است، همچنین بیشتر روش هایی که برای ساخت نانو مواد سوسوزن استفاده شده است، بسیار گران و نیازمند تجهیزات خاص بوده و محدودیت های زیادی (مثل نیاز به دماهای بالا، خلأ، فشار بالا و امکانات خاص) دارند.

در این پژوهش بررسی ها نشان دادند که نانوکامپوزیت GZO تهیه شده با توجه به شدت نشری قوی و FWHM بسیار کم، می تواند گزینه مناسب و مقرون به صرفه ای، با بهره سوسوزنی بالا برای کاربردهای آشکارسازی نوری و سوسوزنی در مقایسه با سایر مطالعات گزارش شده باشد. خواص اپتیکی، ساختاری و ریخت شناسی نمونه های تهیه شده توسط مشخصه یابی های مختلف از جمله طیف سنجی UV-Vis (Perkin-Elmer) و فوتولومینسانس (PL) Perkin-Elmer/LS-5/Fluorescence Spectrometer) پراش پرتوی ایکس-XRD (Panalytical /PW3050/60)، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR- Perkin Elmer RX-I)، میکروسکوپ الکترونی نوری (TEM-Philips CM120) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM-MIRA3TESCAN-XMU) بررسی شدند.

### کارهای آزمایشگاهی



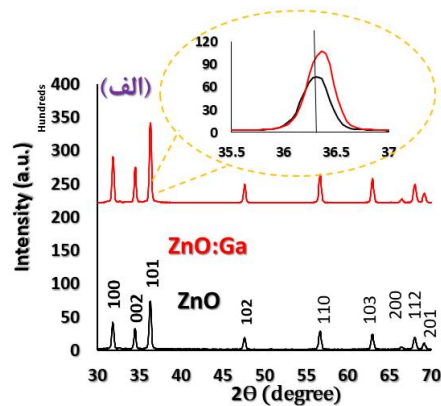
شکل 2. الف: طیف XRD و ب: طیف EDX نانوذرات اکسید روی و آلانید.

جدول 1. مشخصات پارامترهای XRD.

نام نمونه	صفحه (hkl)	a (Å)	c (Å)	FWHM (°)	D (nm)	فاصله صفحات d-spacing (Å)	تنش Stress (GPa)
ZnO	101	2/90	5/19	0/275	31	2/47	0.62
ZnO:Ga	101	2/09	5/18	0/214	30	2/46	1.16

تصاویر TEM و FESEM نمونه‌های تهیه شده در شکل 3 نشان داده شده‌اند. شکل 3 الف تصویر TEM نمونه اولیه و کلونیدی نانوذرات GZO را نمایش می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود ذرات کروی شکل، دارای اندازه متوسط حدود 7 نانومتر می‌باشند. شکل 3 ب نیز تصویر FESEM نانوپودرهای خشک شده و حاصل از کلونید مربوطه با توزیع یکنواخت و کروی شکل ذرات (همراه با اندازه قطر میانگین حدود 20 نانومتر) را نشان می‌دهد. شکل 3 پ نیز تصویر FESEM از سطح نانوکامپوزیت تهیه شده با استفاده از پودر خشک شده را نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد تعداد کمی ذرات در سطح ماتریس کلوخه شده‌اند. مطابق با شکل 3-ت تصویر TEM برای نمونه پودر کلسینه شده GZO، طی عملیات حرارتی، ریخت‌شناسی ذرات تغییر کرده و نانومیله‌هایی با طول 150 نانومتر و عرض 30 نانومتر در نمونه رشد کرده‌اند. علت این امر می‌تواند

جهت (101) صورت گرفته و تمامی قله‌های اصلی نمونه‌ها کاملاً منطبق بر صفحات ورتزایت اکسید روی می‌باشد [6 و 5]. ساختار بلوری در نمونه آلانید نیز بهبود یافت. هیچ قله اضافی مربوط به فازهای اکسیدی گالیم یا حضور ساختار و فازهای جدید در نمونه‌ها دیده نشد. با حضور گالیم در ساختار، در طیف پراش نمونه‌ها، جابه‌جایی به سمت زاویه‌های بزرگتر دیده می‌شود که به دلیل فرارگیری یون گالیم در شبکه و تنش وارد شده به ساختار می‌باشد. معمولاً جابه‌جایی به سمت زاویه‌های بزرگتر پراش، نشان دهنده جانمایی یون گالیم و کوچکتر بودن شعاع یونی گالیم نسبت به یون روی می‌باشد که ساختار را کمی دچار تنش کرده است [9]. اندازه دانه با استفاده از فرمول دباب شرر برای نمونه‌ها حدود 30 نانومتر محاسبه شد که نتایج آن همراه با سایر پارامترهای ساختاری از جمله فاصله صفحات (d)، تنش ( $\sigma$ ) و بردارهای شبکه (a,c) در جدول 1 گزارش شده‌اند [10]. حضور گالیم و روی در ساختار نیز توسط آنالیز EDX در 2-ب تأیید شد.



ضریب جذب نیز طبق رابطه 3 بیان می‌شود:

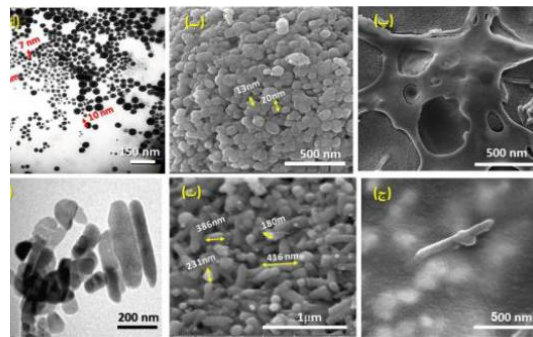
$$A = -\log = -\log I/I_0 \quad 3$$

همان‌طور که در شکل مشخص است، با افزایش ناخالصی شدت جذب نمونه‌های کلوئیدی در محدوده 280 نانومتری افزایش می‌یابد. قله جذبی در حوالی طول موج 280 نانومتر را می‌توان به‌گاف نواری اکسید روی و اثر محدودیت کوانتومی نسبت داد [12]. شکل 4 ب طیف عبوری و جذبی نانوکامپوزیت تهیه شده را نشان می‌دهد، نمونه دارای شفافیت نوری بالای 80 درصد در ناحیه طول موج‌های مرئی بوده و شرط اولیه برای خواص سوسوزنی را دارا است. مقدار ضریب جذب ( $\alpha$ ) در نانو کامپوزیت تهیه شده نیز طبق رابطه 4 به‌دست می‌آید که در این رابطه  $t$  ضخامت نانوکامپوزیت می‌باشد.

$$\alpha = 2.3026 A/t \quad 4$$

طیف جذبی کامپوزیت GZO نیز دارای یک لبه جذب قوی در ناحیه 365 نانومتر مربوط با گاف نواری اکسید روی می‌باشد و به‌عنوان یک جاذب پرتوهای فرابنفش در ناحیه UVA عمل می‌کند. اکسید روی دارای نقص‌های ذاتی شامل جای خالی روی، جای خالی اکسیژن، اکسیژن درون شبکه‌ای، اکسیژن پادجابه‌جایی، روی درون شبکه‌ای، روی پاد جابه‌جایی، و نقص‌های ترکیبی روی و اکسیژن می‌باشد. طیف‌های نشری اصلی این ماده نیز بیشتر در نواحی آبی، سبز و قرمز می‌باشند [12]. برای بررسی خواص تابناکی نانوذرات کلوئیدی و کامپوزیت تهیه شده از مشخصه‌یابی فوتولومینسانس به‌ترتیب با طول موج تحریک 325 و 200 نانومتر (توسط لامپ زنون) در دمای اتاق استفاده شد. طیف PL نانوذرات کلوئیدی GZO و همچنین اکسید روی خالص در شکل 5 الف نشان داده شده است. مطابق با شکل نمونه‌ها دارای یک گسیل قوی در ناحیه طول موج 380-480 می‌باشند که می‌توان آنرا به انتقالات

حذف گروه کربوکسیل ناشی از عامل پوششی ذرات در نمونه و ذوب شدن مرز دانه‌ها باشد. شکل 3 و ج نیز به‌ترتیب تصاویر FESEM پودر GZO بازپخت شده (حاوی نانومیله‌هایی با طول حدود 350 نانومتر و عرض 79 نانومتر) و سطح کامپوزیت حاوی نانوذرات کلسینه شده را نشان می‌دهد. عملیات حرارتی باعث تغییر شکل ذرات و افزایش اندازه آنها گردیده است.



شکل 3 الف: تصویر TEM نانوذرات GZO کلوئیدی، ب: تصویر FESEM نانوذرات GZO خشک شده در دمای 90 °C، پ: تصویر FESEM از سطح نانوکامپوزیت GZO تهیه شده از نانو پودر خشک شده، ت: تصویر TEM نانوپودر کلسینه شده حل شده در پروپانول، ث: تصویر FESEM پودر GZO کلسینه شده و ج: تصویر FESEM از سطح کامپوزیت GZO حاوی پودر کلسینه شده.

شکل 4 الف طیف جذبی نانوذرات کلوئیدی اکسید روی خالص و آلانئیده به‌عنصر گالیم را نشان می‌دهد. مطابق با قانون بیر-لامبرت در معادله 1، شدت جذب اشعه الکترومغناطیس (A) توسط یک ماده، به‌غلظت ماده و طول مسیر عبور اشعه از ماده بستگی دارد.

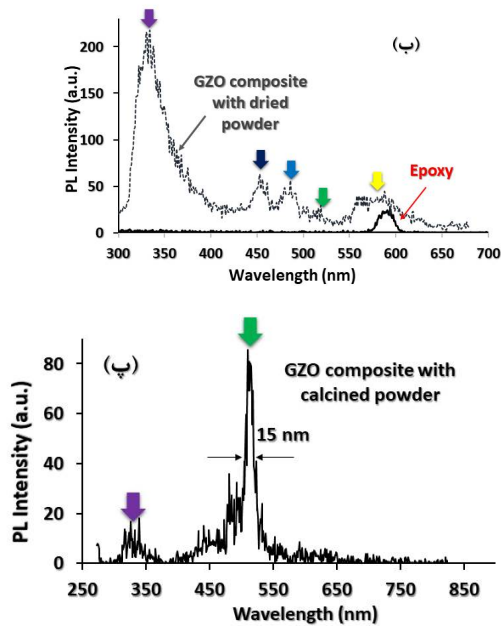
$$A = \epsilon bc \quad 1$$

در این رابطه  $\epsilon$  ثابت تناسب ضریب جذبی مولی،  $b$  طول مسیر عبور اشعه الکترومغناطیس و  $c$  غلظت ماده است. میزان عبور نیز از رابطه 2 به‌دست می‌آید که در آن  $I$  شدت نور خروجی و  $I_0$  شدت نور عبوری است.

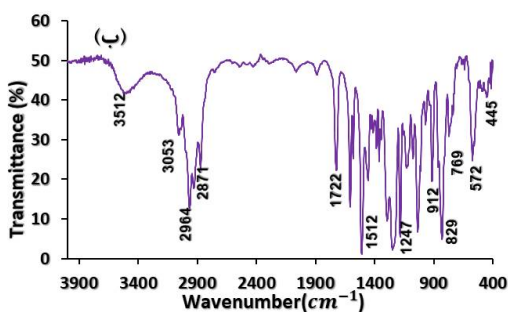
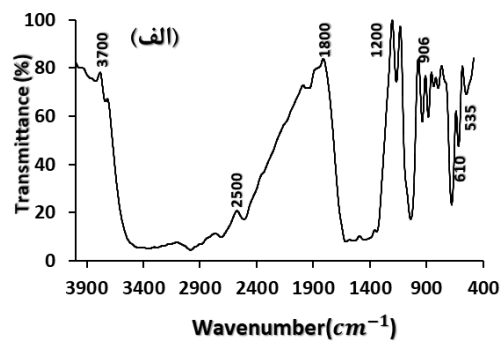
$$T = I/I_0 \quad 2$$

نانوذرات GZO حرارت دیده در دمای 500 درجه سانتی‌گراد رانشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود با حضور این نانوذرات، خواص نشری کامپوزیت بهبود یافته است. شدت نشر سبز با پهنای نصف مقدار بیشینه 15 نانومتر، افزایش یافته و سایر نشرها حذف شده‌اند، این امر می‌تواند به علت بهبود ساختار و کاهش حالات تله و نقص ایجاد شده در ساختار، طی عملیات حرارتی باشد، که می‌تواند در کاربردهای تکفام‌سازی نور و لیزرهای پزشکی نقش ویژه‌ای داشته باشد. هر چه ماده مورد نظر در طیف فوتولومینسانس داری نشر یگانه، FWHM کمتر و شدت نشر قوی‌تر در ناحیه مرئی آبی تا سبز باشد، خواص سوسوزنی بهتری برای کاربردهای آشکارسازی و لیزر خواهد داشت. در شکل 5 پ نشر دیگری با شدت کم مربوط به ناحیه فرابنفش نیز در طیف دیده می‌شود که مربوط به گاف انرژی اکسید روی می‌باشد. در واقع با حضور نانوذرات GZO در کامپوزیت، اکسیژن ناپایدار با کربن‌های موجود در اپوکسی پیوند برقرار کرده، و غلظت نقص‌های جای خالی اکسیژن در ساختار افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد انتقالات الکترونی روی درون شبکه‌ای به‌جای خالی اکسیژن افزایش یافته و شدت نشر سبز در طیف افزایش می‌یابد. نتایج PL حاکی از آن است که نمونه تهیه شده دارای خاصیت تابناکی مناسب با نشر قوی آبی-سبز در دمای اتاق، و پهنای نیم‌بیشینه بسیار کم حدود 15 نانومتر می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که نانوکامپوزیت GZO به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای مواد سوسوزنی در ساخت آشکارسازهای پلاستیکی، می‌تواند به‌کارگرفته شود. البته این امر نیاز به آزمایش‌های بیشتر و بهینه کردن پارامترهای آزمایش دارد که در مرحله‌های بعد به آن بیشتر خواهیم پرداخت. تاکنون نیز تلاش‌های بسیاری با انواع تجهیزات گران و خاص برای ایجاد این

الکترونی از تراز دهنده روی درون شبکه‌ای به‌تراز پذیرنده باند هدایت و انرژی گاف اکسید روی در این محدوده طول موج نسبت داد [14-6 و 4]. به‌طور معمول گسیل نور در ناحیه اول که از سایر گسیل‌ها قوی‌تر است، در ناحیه فرابنفش گسترده شده که مربوط به گاف انرژی اکسید روی بوده، اما سایر گسیل‌ها مربوط به نواحی آبی، نارنجی و قرمز می‌باشد که در اثر وجود نقص‌های ذاتی و سطحی، درون شبکه‌ای و جاهای خالی روی و اکسیژن می‌باشند. [14-16] همچنین گسیل‌های آبی محدوده طول موج 430-490 نانومتر را می‌توان ناشی از انتقالات الکترونی روی درون شبکه‌ای به محل‌های خالی روی دانست. با افزایش مقدار ناخالصی گالیم، از شدت نشری نمونه‌ها، مخصوصاً در ناحیه اول و لبه گاف نواری کاسته می‌شود ولی مکان قله‌ها تغییر خاصی نمی‌کند. نشر ناحیه بنفش-آبی نیز می‌تواند مربوط به حالات تله سطحی بین مرزخانه‌ها و انتقالات الکترونی بین این ترازها و تراز ظرفیت باشد. با افزایش غلظت ناخالصی گالیم، این یون، محل‌های روی شبکه را پر می‌کند و احتمال تشکیل اکسیژن و در نتیجه جاهای خالی اکسیژن کم می‌شود، در نتیجه با افزایش غلظت گالیم، شدت نشر بنفش-آبی کم می‌شود [16]. از نانوپودرهای GZO خشک شده در دمای 90 درجه سانتی‌گراد، کامپوزیت شفاف نیز تهیه گردید که طیف PL آن در شکل 5 ب نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل 5 ب دیده می‌شود در مقایسه با بستر اپوکسی بدون نانوذرات، کامپوزیت اپوکسی GZO دارای تابناکی‌های بنفش، آبی-نیلی، سبز و زرد به‌ترتیب در نواحی 332، 456، 486، 517 و 586 نانومتر طول موج‌های مرئی بوده که ناشی از انتقالات الکترونی بین ترازهای نقص و حالات تله ایجاد شده در گاف نواری اکسید روی می‌باشد. شکل 5 پ نیز طیف PL کامپوزیت اپوکسی حاوی



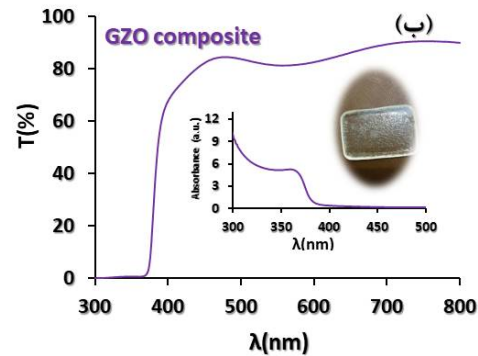
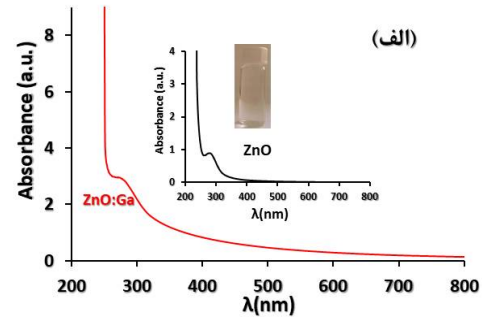
شکل 5. طی فوتولومینسانس نانوکامپوزیت GZO.



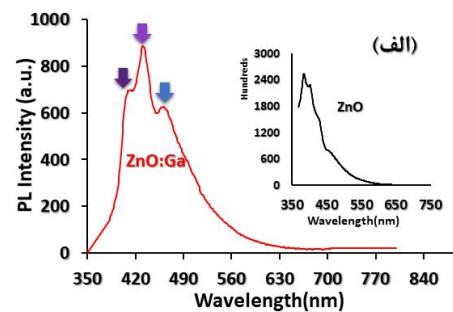
شکل 6. طیف FTIR نانوکامپوزیت GZO.

طیف FTIR نانوذرات اکسید روی خالص و نانو کامپوزیت GZO به ترتیب در شکل 6 الف و ب نشان

نورها حتی با شدت کم از نانوذرات مختلف انجام پذیرفته است، ولی در این پژوهش با روشی ساده و کم هزینه، در دمای اتاق این گسیلها مشاهده شد.



شکل 4. الف: طیف جذبی نمونه‌های کلنیدی ZnO و GZO و ب: طیف جذبی / عبوری نانوکامپوزیت GZO.



اندازه ذرات گردید. بررسی‌ها نشان دادند کامپوزیت GZO دارای خاصیت تابناکی مناسب در ناحیه مرئی آبی تا سبز بوده که می‌تواند گزینه مناسبی برای کاربردهای آشکارسازی و سوسوزنی با هزینه بسیار کم باشد. کامپوزیت تهیه شده در دمای اتاق مشخصه‌یابی شده است اما ممکن است از لحاظ پایداری ترازاها و دمایی در اثر آرایش نیز دستخوش تغییراتی شده باشد، به خصوص این که اگر از طریق گرما تحریک اکسایتونی انجام شود و مشخصه‌یابی گرمالیایی نیز بررسی گردد. بنابراین مناسب‌تر است که در تحقیقات آینده این موضوع نیز مطالعه شود.

### قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت صندوق رفاه و پژوهشگران کشور

(Iran National Science Foundation: INSF)

تشکر و قدردانی می‌کنند.

### مرجع‌ها

- [1] H. Nakamura, Y. Shirakawa, S. Takahashi, H. Shimizu, Evidence of deep-blue photon emission at high efficiency by common plastic, *Europhysics Letters Association*, **95** 2 (2011).
- [2] Mao et al, Layered semiconductor neutron detectors, US8604441B2 (2013).
- [3] M. Sasani Ghamsari, S. Alamdari, W. Han, H.H Park, Impact of nanostructured thin ZnO film in ultraviolet protection, *International Journal of Nanomedicine* **12** (2017) 207–216.
- [4] S. Alamdari, M. Jafar Tafreshi, M. Sasani Ghamsari, The effects of indium precursors on the structural, optical and electrical properties of nanostructured thin

داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود قله‌های محدوده  $600-740\text{ cm}^{-1}$ ، مشخصه اکسید روی و مربوط به پیوند بین Zn-O در هردو طیف به‌خوبی دیده می‌شود. با مقایسه دو شکل الف و ب مشاهده می‌شود که تعداد قله‌های محدوده  $1900-3000\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه کامپوزیت GZO در مقایسه با نمونه پودری اکسید روی خالص به دلیل حضور اپوکسی و پیوندهای مربوطه نیز افزایش یافته است. همچنین مقدار پیوندهای محدوده  $400-1900\text{ cm}^{-1}$  در کامپوزیت به دلیل پیوند با گروه‌های کربنی و هیدروژنی موجود در اپوکسی کاهش یافته است. قله‌های محدوده  $913$  و  $557$  نیز مربوط به ارتعاشات کششی C-C و C-O از حلقه‌های آروماتیک اپوکسی در نمونه کامپوزیت می‌باشد [16]. قله  $1089\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-N به دلیل حضور تری‌اتیل‌آمین و قله  $1512\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه کربونیل C=O می‌باشد. قله  $2964\text{ cm}^{-1}$  نیز را می‌توان به ارتعاشات کششی پیوند C-H و گروه آلکیل‌ها نسبت داد. قله‌های  $3400-3600\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی O-H و گروه هیدروکسیل که در اثر استفاده از حلال در هنگام تهیه محلول می‌باشند. همچنین به علت حضور استات روی دوآبه، وجود کمی آب را در ترکیب را نشان می‌دهند. سایر پیوندها نیز مربوط به ترکیبات موجود در اپوکسی می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

نانو کامپوزیت شفاف اکسید روی آلائیده به عنصرگالیم با خواص تابناکی ویژه در دمای اتاق تهیه شد. نانو کامپوزیت حاوی پودر عملیات حرارتی شده، خواص نوری مناسبی از جمله 70 درصد شفافیت نوری در ناحیه طول موج‌های مرئی همراه با تابناکی قوی سبز (در محدوده 540 نانومتری) در دمای اتاق، از خود نشان داد. عملیات حرارتی باعث تغییر شکل و افزایش



- [11] T. Prasada Rao, M.C. Santhosh Kumar, Effect of thickness on structural, optical and electrical properties of nanostructured ZnO thin films by spray pyrolysis *Applied Surface Science* **255** (2009) 4579–4584.
- [12] W. Hirschwald, P. Bonasewicz, L. Ernst, M. Grade, D. Hofmann, S. Krebs, R. Littbarski, G. Neumann, M. Grunze, D. Kolb, H.J. Schulz, Zinc Oxide: Properties and Behaviour of the Bulk, *the Solid/Vacuum, and Solid/Gas Interface*, **7** (1981).
- [13] A. Alkauskas, A. Pasquarello, Band-edge problem in the theoretical determination of defect energy levels: The O vacancy in ZnO as a benchmark case, *Physical Review B* **84** (2011) 125206.
- [14] M. Willander, O. Nur, J.R. Sadaf, M.I. Qadir, S. Zaman, A. Zainelabdin, N. Bano, I. Hussain, Luminescence from zinc oxide nanostructures and polymers and their hybrid devices, *Materials* **3** (2010) 2643-2667.
- [15] T. Prasada Rao, M.C. Santhosh Kumar, Physical properties of Ga-doped ZnO thin films by spray pyrolysis, *Journal of Alloys and Compounds* **506** (2010) 788–793.
- [16] S. Moussa, F. Namouchia, H. Guermazi, Elaboration, structural and optical investigations of ZnO/epoxy nanocomposites, *The European Physical Journal Plus* **130** (2015) 2-9.
- ZnO films, *Materials Letters* **197** (2017) 94–97.
- [5] S. Alamdari, M. Sasani Ghamsari, M.H. Majles Ara, B. Efafi, Highly concentrated IZO colloidal nanocrystals with blue/orange/red three-colors emission *Materials Letters* **158** (2015) 202–204.
- [6] H. Nanto et. all, Luminescence Properties of Impurity-Doped Zinc Oxide Phosphor for Novel Neutron Detection *Sensors and Materials* **28** (2016) 905-916.
- [7] R.M. Turtos et. all, Timing performance of ZnO: Ga nanopowder composite scintillators *Status Solidi RRL* **11** (2016) 843–847.
- [8] H. Buresova et. all, Preparation and luminescence properties of ZnO:Ga polystyrene composite scintillator *Optics Express* **24** (2016) 15289.
- [9] S.G. Mei, J.L. Wang, K.Y. Guang, G.L. Zhang and Y.Q. Li, Preparation and Characterization of Gallium Doped ZnO/Epoxy Composite as Thermal-Insulating Coating *Asian Journal of Chemistry* **24** (2012) 2210-2212.
- [10] B. Efafi, M. Sasani Ghamsari, M.A. Aberoumand, M.H. Majles Ara, A.H. Sasani Ghamsari, H. Hojati Rad, Aluminum doped ZnO sol-gel derived nanocrystals: Raman spectroscopy and solid solubility characterization *Physica Status Solidi A* **211** (2014) 1–5.