# سنتز سرامیک وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به روش سنتز احتراقی به‌عنوان ماده تبدیل‌کننده کاهشی برای کاربردهای سلول خورشیدی

امیر حسین نصوحی[۱]، سید مهدی رفیعائی[۱]، مرضیه ابراهیمی[۲*] و احمد کرمانپور[۲]

۱- گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان، کد پستی ۸۷۷۱۷-۶۷۴۹۸

۲- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، کد پستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲)

**چکیده:** استفاده از مواد تبدیل‌کننده کاهشی به‌عنوان مواد کاهنده طول موج فوتون‌های ورودی به سیستم‌های فتوولتائیک به‌عنوان یک راهکار برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها معرفی شده است. بر همین اساس، هدف از پژوهش حاضر، سنتز ماده تبدیل‌کننده کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم ($YVO_4:Eu^{3+}$) و بررسی خواص فوتولومینسانس آن پس از لایه‌نشانی روی سلول‌های خورشیدی سیلکونی بود. بدین منظور، از روش سنتز احتراقی برای تولید پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم استفاده شد. پودر حاصل دارای اندازه ذراتی در حدود ۸۰ نانومتر بود. طیف‌سنجی فوتولومینسانس، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز و آزمون جذب در ناحیه فرابنفش- مرئی به‌منظور بررسی خواص پودر سنتز شده، قابلیت لایه‌نشانی آن روی سلول‌های خورشیدی و تأثیر آن بر عملکرد سلول انجام شد. نتایج نشان داد وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی از طریق جذب نور فرابنفش و تبدیل آن به نور مرئی می‌تواند به‌عنوان یک ماده تبدیل‌کننده کاهشی مؤثر عمل کند. از این‌رو، پیشنهاد می‌گردد که لایه‌نشانی ماده وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم روی سلول خورشیدی سیلیکونی، می‌تواند یک روش امیدبخش و مؤثر برای بهبود عملکرد سلول خورشیدی سیلیکونی از نظر بازده تبدیل توان و پایداری بلندمدت باشد.

**واژه‌های کلیدی:** وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم، ماده تبدیل‌کننده کاهشی، سنتز احتراقی، خواص فوتولومینسانس.

# Synthesis of $YVO_4$ Ceramic Doped with Europium using Combustion Synthesis Method as a Down-Shifting Material for Solar Cell Applications

**A. H. Nosohi[1], S. M. Rafiaei[1], M. Ebrahimi[2] and A. Kermanpur[2]**

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Marzieebrahimi360@gmail.com

[1] Materials Engineering Group, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan, 87717-67498, Iran
[2] Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111

**ABSTRACT**

Recently, luminescent down-shifting materials, as promising materials, have attracted much interest to improve the performance of photovoltaic systems. Accordingly, the aim of this study was to synthesize the $YVO_4:Eu^{3+}$ powder by combustion method and characterize their photo luminescent properties as a layer deposited on silicon solar cell. The results of the study revealed that the $YVO_4:Eu^{3+}$ powder with an average particle size of about 80 nm was successfully synthesized. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), ultraviolet-visible spectroscopy, and photoluminescence spectroscopy (PL) were used to investigate the properties of the synthesized powder, their deposition ability on the silicon solar cell, and their effects on the cell performance. The results indicated that the synthesized powder as a luminescent down-shifting material can absorb the ultraviolet light and convert it to visible light. The findings revealed that the deposition of $YVO_4:Eu^{3+}$ on the silicon solar cells can be considered as a promising and effective method to improve the performance of silicon solar cells in terms of power conversion efficiency and long term stability.

**Keywords**: $YVO_4:Eu^{3+}$, luminescent down-shifting materials, combustion synthesis, photoluminescence properties.

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، سنتز مواد تبدیل‌کننده کاهشی[1] که قابلیت جذب انرژی فوتون با طول موج کم و بازنشر فوتون دیگر با انرژی پایین‌تر و طول موج بیشتر را دارند، به موضوعی جذاب برای محققین بدل گشته است. نتایج مطلوب، استفاده هدفمند از این مواد در صنایع مختلف از جمله صنایع مرتبط با سلول‌های خورشیدی، بلورهای لیزری و ردیاب‌های بیولوژیکی را به دنبال داشته است. در همین زمینه، گزارش شده است که لایه‌نشانی مواد تبدیل‌کننده کاهشی روی سلول‌های خورشیدی نه تنها امکان افزایش جذب پرتو در محدوده نور فرابنفش[2] و تبدیل آن به نور مرئی را فراهم کرده، بلکه میزان بازتاب نور از سطح سلول را نیز کاهش داده که در نهایت سبب بهبود عملکرد سلول خورشیدی شده است (۳-۱).

ایتریم وانادات به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد از جمله خصوصیات الکتریکی و نوری عالی، بازده لومینسانس بالا و پایداری حرارتی مطلوب گزینه مناسبی برای استفاده به‌عنوان ماده تبدیل‌کننده کاهشی در سلول‌های خورشیدی است (۵-۴). در همین راستا، اثبات شده است که استفاده از مواد افزودنی نظیر یون بیسموت ($Bi^{3+}$) و یون یوروپیم ($Eu^{3+}$) می‌تواند سبب کاهش گاف انرژی وانادات ایتریم و در نتیجه، افزایش میزان نشر نور در محدوده مرئی برای این ماده شود. در گروه افزودنی‌ها، یوروپیم (Eu) به‌عنوان یک عنصر نادر خاکی، نقش یک فعال‌کننده قوی نشر نور قرمز را برای زمینه‌های اکسیدی ایفا می‌کند که می‌تواند اثرات مفید و چشم‌گیری را در جهت بهبود عملکرد مواد تبدیل‌کننده کاهشی به دنبال داشته باشد (۶). از آنجایی که وانادات ایتریم نیز به‌عنوان یک میزبان عالی برای عناصر نادر خاکی شناخته می‌شود، وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به‌عنوان گزینه‌ای کارآمد برای بهبود عملکرد سیستم-های فتوولتائیک[3] مطرح شده است (۷). در این زمینه، چاندر و همکارانش گزارش کردند که لایه‌نشانی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به روش پاشش روی سلول‌های خورشیدی سیلیکونی سبب بهبود عملکرد سلول خورشیدی در محدوده طول موج ۴۵۰-۳۰۰ نانومتر شده است (۸). آن‌ها دلیل این بهبود عملکرد را انتقال فوتون‌های پر انرژی فرابنفش به ناحیه مرئی ناشی از حضور نانوذرات فسفر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم ذکر کردند.

اثربخشی مواد تبدیل‌کننده کاهشی به پارامترهای متعددی بستگی دارد. روش تولید یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان اثربخشی این گروه از مواد به‌شمار می‌آید. در کل، برای حصول بهترین دستاورد از مواد تبدیل‌کننده کاهشی، لازم است این مواد دارای ذرات ریز، خلوص بالا و توزیع همگن باشند (۹). بر همین اساس، در سال‌های اخیر، سنتز ماده وانادات

ایتریم آلائیده شده با یون‌های نادر خاکی با هدف کنترل مورفولوژی و توزیع اندازه ذرات همراه با بازدهی لومینسانس بالا، هدف بسیاری از مطالعات بوده است. تاکنون روش‌های بسیاری نظیر سنتز احتراقی، هیدروترمال، رسوب‌گذاری و سل- ژل به‌منظور سنتز این ماده اپتیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۴، ۵ و ۷). در بین روش‌های سنتز وانادات ایتریم ، روش سنتز احتراقی به دلیل قابلیت تولید سریع، دستیابی به خلوص و همگنی بالا به‌طور گسترده رواج پیدا کرده است (۷ و ۹). در روش سنتز احتراقی، دمای بالای حاصل از واکنش‌های بسیار گرمازای اکسایش- کاهش بین سوخت و اکسیدکننده، شرایط را برای تولید محصولاتی با خلوص و بلورینگی مناسب فراهم می‌کند. اثبات شده است که نوع سوخت مصرفی نقش زیادی در تعیین مورفولوژی و اندازه ذرات پودر نهایی ایفا می‌کند. در همین زمینه، تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که افزایش میزان گرمای احتراق ناشی از قدرت سوخت سبب افزایش بلورینگی محصول پودری شکل و کاهش فازهای آلی می‌شود (۴ و ۵).

بدیهی است که سلول‌های خورشیدی در محدوده نور مرئی بهترین عملکرد را از خود نشان داده و نور فرابنفش به‌عنوان یکی از طیف‌های اصلی نور خورشید، یکی از عوامل اصلی تخریب آن‌ها است. مطالب بالا همگی مؤید آن است که مواد تبدیل‌کننده کاهشی می‌توانند امواج فرابنفش را جذب و امواجی در محدوده نور مرئی بازنشر دهند. از این‌رو، می‌توان انتظار داشت که استفاده از مواد تبدیل‌کننده کاهشی در سلول‌های خورشیدی می‌تواند راهکاری مفید و مؤثر برای بهبود عملکرد آن‌ها باشد. بر همین اساس، هدف از مطالعه حاضر، سنتز ماده تبدیل‌کننده کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به روش سنتز احتراقی و بررسی خواص فوتولومینسانس آن با هدف استفاده به‌عنوان پوشش روی سلول‌های خورشیدی سیلیکونی به‌منظور بهبود عملکرد این سلول‌ها بود. نتایج بیانگر سنتز موفقیت‌آمیز پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم با اندازه ذراتی در حدود ۸۰ نانومتر بود. بررسی خواص پودر سنتز شده نشان از قابلیت آن در جذب نور فرابنفش و بازنشر آن در محدوده مرئی داشت. با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان پیشنهاد کرد که لایه‌نشانی نانوپودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی گزینه‌ای مؤثر برای بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی سیلیکونی است.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- مواد

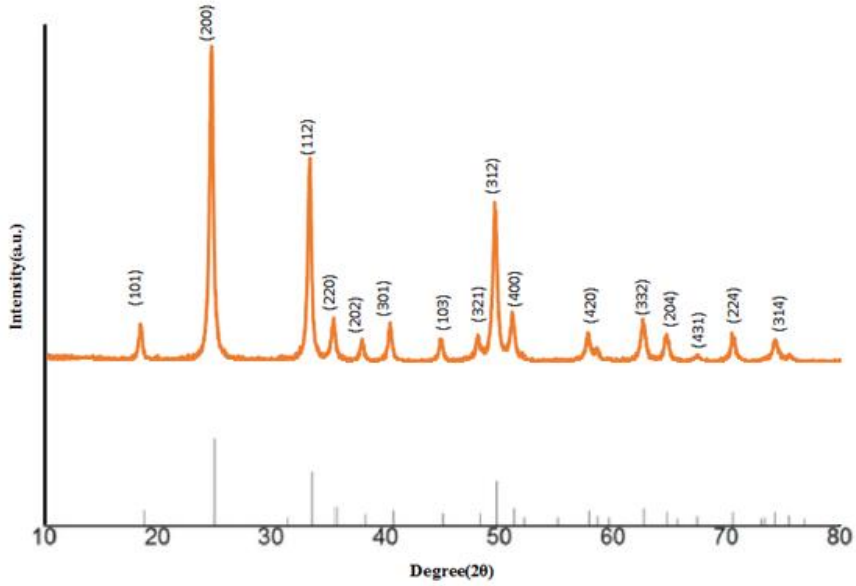
در این پژوهش، ایتریم نیترات (۹۹/۸ درصد)، یوروپیم نیترات (۹۹/۹ درصد)، سدیم سیترات (۹۹ درصد)، متاوانادات آمونیوم (۹۹ درصد) و اوره (۹۹/۵ درصد) به‌عنوان مواد اولیه استفاده شدند. تمامی مواد از کمپانی سیگا آلدریچ تهیه شد.

### ۲-۲- سنتز وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به روش سنتز احتراقی

در این روش، ابتدا ۴ گرم ایتریم نیترات، ۱/۲۳۶ گرم آمونیوم متاوانادات و ۰/۰۴ گرم یوریوپیم نیترات در آب دیونیزه شده حل و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق در یک بوته آلومینایی هم زده شدند. در ادامه، اوره به‌عنوان سوخت فرایند سنتز احتراقی، درحالی که محلول به‌شدت در حال هم زده شدن است (تلاطم شدید)، به آن افزوده شد. محلول حاصل در یک کوره الکتریکی به مدت ۱۰ دقیقه تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت‌دهی شده تا فرایند سنتز احتراقی تکمیل شود. با انجام مراحل بالا، فرایند تبخیر شروع شده و فرایند احتراق خود به خود، منجر به تولید پودری فوم شکل و با تراکم پایین در بوته شد. به‌منظور حذف مواد آلی باقیمانده و ایجاد بلورینگی مطلوب، پودرها به مدت دو ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شدند.

### ۲-۳- پوشش‌دهی پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی

به‌منظور تهیه محلول اولیه برای فرایند لایه‌نشانی چرخشی، پودر حاصل با اتانول مخلوط و هم زده شد تا اختلاط کامل صورت گیرد.




**شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس پودر، وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم تولید شده به روش سنتز احتراقی.**

سپس مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول برداشته و با استفاده از فرایند چرخشی روی سلول خورشیدی لایه‌نشانی شد. در همین حین، محلول باقیمانده روی همزن مغناطیسی با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت هم زده شده و دوباره ۵ میلی‌لیتر از آن روی لایه قبلی با فرایند چرخشی لایه‌نشانی شد. فرایند لایه‌نشانی چرخشی در تمامی مراحل لایه‌نشانی با دور ۴۵۰ دور بر دقیقه و به مدت زمان ۲۰ ثانیه انجام گرفت.

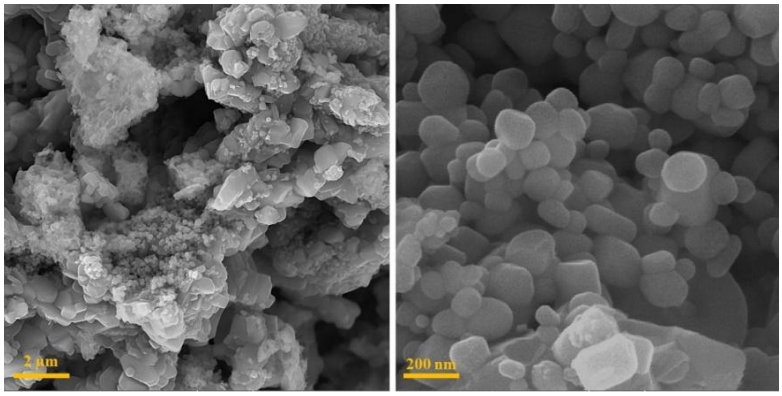
### ۲-۴- مشخصه‌یابی پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی

در ابتدا، مشخصه‌های ساختاری نانوپودرها از طریق الگوی پراش پرتو ایکس[۴] با استفاده از (Asenware AW/XDM 300) مطالعه شد. سپس میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی[۵] (Quanta 450 FEG) به‌منظور مشاهده مورفولوژی و اندازه ذرات پودر سنتز شده استفاده شد. در ادامه، به‌منظور بررسی رفتار برانگیختگی و نشر فوتولومینسانس ماده، آنالیز طیف‌سنجی فوتولومینسانس[۶] با استفاده از طیف‌سنج تحریک و انتشار اپتیکی (Agilent G9800A,USA) انجام شد. به‌منظور بررسی قابلیت لایه‌نشانی پودر سنتز شده روی زیرلایه سیلیکونی با استفاده از طیف‌سنج Jasco 680-Plus، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز[۷] در محدوده ۴۰۰۰-۵۰۰ سانتی‌متر معکوس ثبت شد. همچنین، از طیف‌سنج نوری در ناحیه فرابنفش-مرئی[۸] به‌منظور بررسی میزان جذب لایه تبدیل‌کننده کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم در ناحیه طول موج ۲۰۰-۸۰۰ نانومتر استفاده شد.

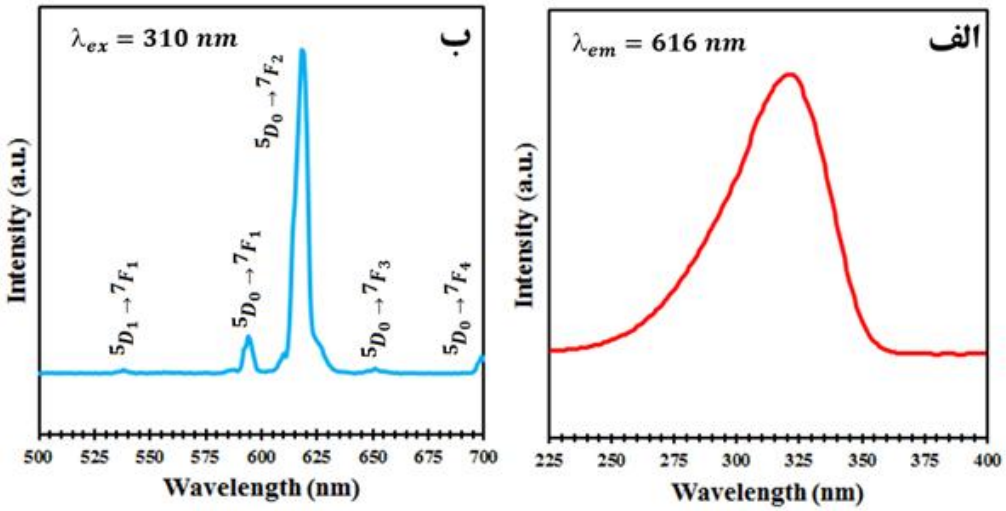
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- مشخصه‌یابی پودر پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی

الگوی پراش پرتو ایکس و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی حاصل از وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم تولیدی به روش سنتز احتراقی به‌ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱)، پودر تولیدی به روش سنتز احتراقی دارای ساختار بلوری تتراگونال بوده و پیک‌های ظاهر شده به‌خوبی با استاندارد JCPDS 72-0861 مطابقت دارند. پیک‌های (۱۰۱)، (۲۰۰)، (۱۱۲)، (۳۰۱)، (۳۱۲)، (۴۲۰)، (۳۳۲) و (۳۱۴) به‌عنوان پیک‌های شاخص از الگوی استاندارد کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم




**شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم در دو بزرگنمایی مختلف.**




**شکل ۳- الف) طیف برانگیختگی و ب) طیف نشر پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم کلسینه شده حاصل از سنتز احتراقی.**

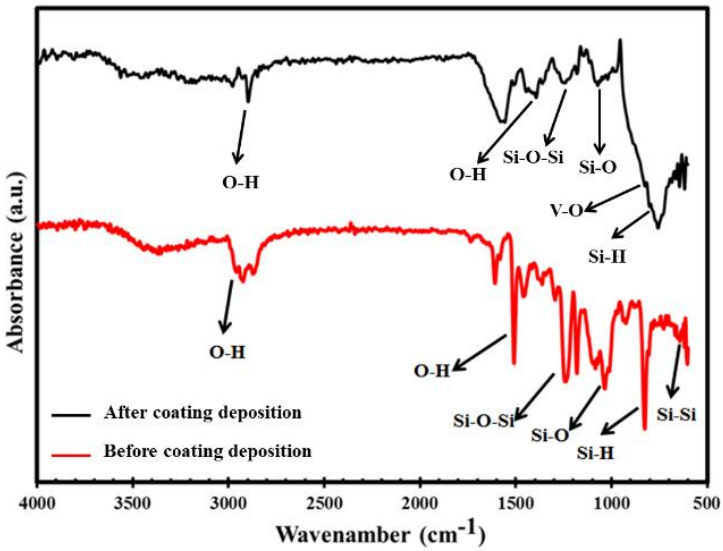
ظاهر شده‌اند که بیانگر موفقیت‌آمیز بودن روش سنتز احتراقی در تولید ماده نانوساختار کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم بود. با توجه به عدم وجود هرگونه پیک اضافی در الگوی پراش پرتو ایکس پودر سنتز شده، می‌توان ادعا کرد که پودر تولیدی از نظر خلوص نیز قابل‌قبول است. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی حاصل از پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم (شکل ۲) نیز تأییدی بر موفقیت‌آمیز بودن روش سنتز احتراقی در دستیابی به نانوپودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم با میانگین اندازه ذره در حدود ۸۰ نانومتر بود.

از آنجایی که ماده وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم با هدف یک ماده تبدیل‌کننده کاهشی مورد ارزیابی قرار گرفته است، بررسی خواص فوتولومینسانس آن نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. در شکل (۳) به‌ترتیب (الف) طیف برانگیختگی و (ب) طیف نشر پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم حاصل از فرایند سنتز احتراقی پس از کلسینه شدن نشان داده شده است. با توجه به طیف برانگیختگی (شکل ۳- الف))، یک پیک پهن و مشخص در محدوده طول موج ۳۵۵-۲۳۵ نانومتر مشاهده می‌شود به‌گونه‌ای که حداکثر شدت در طول موج حدوداً ۳۱۸ نانومتر رخ داده است. گزارش شده است که باند مشخص موجود در طیف برانگیختگی ناشی از انتقال بار $V^{5+}$- $O^{2-}$ در وانادات است. در واقع، این پیک مشخص می‌تواند به انتقال انرژی بین ترازهای $^1A_1$-$^1T_1$ (۳۲۷ نانومتر) و $^1A_1$-$^1T_2$ (۲۹۷ نانومتر) ماده وانادات مربوط باشد. در واقع، چنین باند

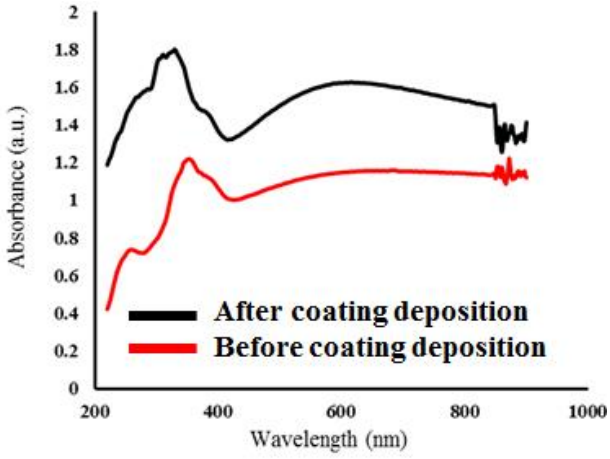
برانگیختگی قوی (پیک مشخص ظاهر شده در طیف برانگیختگی شکل (۳-الف)) می‌تواند نشانی از یک انتقال بار مؤثر و قوی بین ترازهای انرژی باشد. این انتقال بار قوی حین برانگیختگی در نهایت می‌تواند منجر به نشر قوی نور با طول موج‌های متفاوت (ظاهر شدن پیک‌های قوی در طیف نشر ماده) شود که نشان‌دهنده خصوصیات فوتولومینسانس مطلوب ماده وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم است. در همین راستا، مطالعات نشان داد که مواد لومینسانسی که وانادات در آن‌ها به‌عنوان زمینه عمل می‌کند، از شدت لومینسانس بالاتری برخوردار هستند (۴ و ۵). در حقیقت، در ساختارهایی که وانادات نقش زمینه را دارد، بعد از تابش نور و برانگیختگی الکترون، انرژی حاصل از این برانگیختگی سبب تحریک الکترون‌های موجود در نوار رسانش عنصر آلائیده شده در وانادات، می‌شود که متعاقباً نشر قوی نور در محدوده مرئی با طول موج‌های متفاوت را به‌دنبال خواهد داشت. سازگار با این حقیقت، در طیف نشر پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم حاصل از فرایند سنتز احتراقی (شکل ۳-ب)، در طول-موج‌های حدوداً برابر با ۵۳۸، ۵۹۴، ۶۱۸، ۶۵۲ و ۶۹۷ نانومتر پیک‌هایی ظاهر شده است. می‌توان بیان کرد که که قوی‌ترین پیک نشر، مربوط به انتقال دوقطبی الکتریکی $^5D_0$-$^7F_2$ بوده و در طول موج ۶۱۸ نانومتر تحت برانگیختگی ۳۱۰ نانومتر رخ داده است. پیک نسبتاً ضعیف ظاهر شده در طول موج ۵۳۸ نانومتر متعلق به انتقال $^5D_1$-$^7F_1$ بوده و پیک‌های دیگر که به‌ترتیب در طول موج‌های ۵۹۴، ۶۵۲ و ۶۹۷ نانومتر ظاهر شده‌اند، به انتشار خطوط $^5D_0$-$^7F_x$ (x= 1, 3, 4) مربوط هستند (۱۰ و ۱۱). نسبت شدت پیک مربوط به انتقال $^5D_0$-$^7F_2$ به‌شدت پیک مربوط به انتقال $^5D_0$-$^7F_1$ می‌تواند معیاری برای تعیین تقارن مکانی از زمینه باشد که توسط یون‌های یوروپیم جایگزین می‌شود. این معیار، عموماً با R نشان داده می‌شود. مقایسه شدت پیک‌های مربوط به $^5D_0$-$^7F_1$ و $^5D_0$-$^7F_2$ نشان داد که مقدار R در پودر حاصل از سنتز احتراقی برابر با ۶/۷۵ است. بیان شده است که هر چه مقدار R بیشتر باشد، تقارن مکان‌های یون یوروپیم کمتر بوده و در نتیجه خلوص نور حاصل بالاتر است. ظاهر شدن پیک‌های متعلق به انتقال‌های مختلف که به‌عنوان مشخصه‌های تقسیم میدان بلوری یون یوروپیم شناخته می‌شوند، می‌تواند نشانی از سنتز موفقیت‌آمیز ماده تولیدی باشد. شایان ذکر است که اگرچه طول عمر نشر به نواقص، تعداد مکان‌های لومینسانس و ناخالصی‌های ماده میزبان وابسته است، لیکن مطالعات نشان داد که طول عمر انتقال بار $^5D_0$-$^7F_2$ مربوط به یون یوروپیم در ساختار بلوری وانادات ایتریم حدوداً ۰/۷۹ میلی ثانیه است که عددی قابل‌قبول برای استفاده از این ماده به‌عنوان یک ماده تبدیل‌کننده کاهشی است (۷).

### ۳-۲- مشخصه‌یابی پوشش وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم لایه‌نشانی شده روی سلول خورشیدی سیلیکونی

همان‌گونه که بیان شد، به‌منظور حصول اطمینان از حضور مؤثر لایه تبدیل‌کننده کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم بر زیرلایه سیلیکونی، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز نمونه‌ها قبل و پس از لایه‌نشانی لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش احتراقی ثبت شد (شکل ۴). مطابق انتظار، پیوندهای مربوط به لایه سیلیکون شامل پیوندهای Si-Si، Si-O-Si و Si-H به‌ترتیب در طول موج‌های حدوداً ۶۵۰، ۱۲۵۰ و ۸۰۰ بر سانتی‌متر مشاهده شدند. همچنین باید ذکر کرد که پیوندهای O-H موجود در طیف تبدیل فوریه مادون قرمز نمونه نیز می‌تواند ناشی از حضور اجتناب ناپذیر آلودگی-های اندک روی سطح نمونه باشد. همچنین، می‌توان مشاهده کرد که در طیف تبدیل فوریه مادون قرمز زیرلایه پس از لایه-نشانی، پیوندهای V-O در طول موج ۸۳۴ برسانتی متر ظاهر شده‌اند که می‌تواند نشان از حضور لایه‌ای از وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم روی سطح سلول باشد که موفقیت‌آمیز بودن لایه‌نشانی این ماده بر زیرلایه سیلیکونی را تأیید می‌کند. مطالعات نشان داد که پیوندهای مشخصه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم یعنی V-O و Y(Eu)-O به‌ترتیب در طول موج‌های حدوداً ۸۴۰ و ۴۵۰ برسانتی متر ظاهر می‌شوند. لازم به ذکر




**شکل ۴- طیف‌های حاصل از آزمون طیف تبدیل فوریه مادون قرمز قبل و پس از پوشش‌دهی سلول با لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم.**




**شکل ۵- الف) مقایسه طیف جذب سلول با و بدون حضور لایه لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم.**

است که مشاهده شدن پیوندهای مشخصه مربوط به زیرلایه در طیف تبدیل فوریه مادون قرمز زیرلایه پس از لایه‌نشانی می‌تواند ناشی از نازک بودن پوشش و عمق اثر طیف تبدیل فوریه مادون قرمز باشد (عمق اثر طیف تبدیل فوریه مادون قرمز بسته به عوامل متعدد حدوداً ۱/۵- ۰/۸ میکرومتر است) (۷ و ۱۲).

از آنجایی که هدف استفاده از ماده تبدیل‌کننده کاهشی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم افزایش عملکرد سلول خورشیدی سیلیکونی از طریق تبدیل نور فرابنفش به‌عنوان عامل مضر در کارکرد سلول‌های خورشیدی به پرتو نور مرئی مفید بود، آزمون جذب در ناحیه فرابنفش- مرئی روی زیرلایه سیلیکونی در دو حالت با/بدون لایه سطحی وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم حاصل از پودر سنتز احتراقی شده، انجام شد تا میزان جذب لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم مورد ارزیابی قرار گیرد. طیف جذب نمونه‌ها قبل و پس از پوشش‌دهی در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۵) می‌توان پی برد که لایه‌نشانی ماده وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم روی زیرلایه سیلیکونی سبب جذب بیشتر نور مضر فرابنفش در مقایسه با سلول بدون پوشش شده است. از سویی دیگر، میزان جذب نور در ناحیه مرئی نیز افزایش یافته است که می‌تواند هم از بازنشر نور مرئی حاصل از تبدیل نور فرابنفش به مرئی توسط وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم و هم از قابلیت این ماده در جذب بیشتر نور مرئی نشأت گرفته باشد. از این‌رو، با توجه به افزایش میزان جذب نور مرئی در حضور لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم و همچنین، کارکرد بهینه لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم در تبدیل نور فرابنفش جذب شده به نور مرئی می‌توان انتظار داشت که این لایه بهبود عملکرد سلول خورشیدی را به دنبال خواهد داشت.

## ۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با هدف تولید یک ماده تبدیل‌کننده کاهشی، پودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم به روش سنتز احتراقی با متوسط اندازه ذرات ۸۰ نانومتر سنتز شد. ارزیابی خواص فوتولومینسانس نشان از موفقیت‌آمیز بودن روش سنتز احتراقی در تولید نانوپودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم با خاصیت تبدیل‌کننده کاهشی داشت. از آنجایی که این گروه از مواد گزینه‌ای جذاب برای بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی هستند، پودر سنتز شده روی سلول خورشیدی سیلیکونی لایه‌نشانی شد. ظاهر شدن پیک‌های مربوط به پیوندهای V-O و Y(Eu)-O در طیف تبدیل فوریه مادون قرمز سلول لایه‌نشانی شده با نانوپودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم نشان از قابلیت لایه‌نشانی موفق پودر سنتز شده روی سطح سلول داشت. همچنین، آزمون جذب در ناحیه فرابنفش- مرئی مؤید آن بود که در حضور لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم میزان جذب نور فرابنفش به‌عنوان یک عامل مضر برای عملکرد سلول‌های خورشیدی بیشتر شده؛ در نتیجه، این لایه توانسته است از رسیدن نور فرابنفش به سلول خورشیدی ممانعت به عمل آورد. همچنین، میزان جذب نور مرئی نیز به واسطه حضور لایه وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم و قابلیت آن در تبدیل نور فرابنفش به نور مرئی افزایش یافته است که می‌تواند بهبود عملکرد سلول را به دنبال داشته باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که لایه‌نشانی نانوپودر وانادات ایتریم آلائیده شده با یوروپیم سنتز شده به روش سنتز احتراقی می‌تواند گزینه مؤثر و امیدبخش برای بهبود عملکردهای سلول های خورشیدی سیلیکونی باشد.

## واژه‌نامه

1. Luminescent down-shifting materials
2. Ultraviolet (UV)
3. Photovoltaic systems
4. X-ray diffraction (XRD)
5. Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM)
6. Photoluminescence spectroscopy (PL)
7. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)
8. UV–visible spectrophotometry

## مراجع

1. Klampaftis E, Ross D, McIntosh KR, Richards BS. Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum: A review. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2009 Aug 1;93(8):1182-94.
2. Rothemund R, Kreuzer S, Umundum T, Meinhardt G, Fromherz T, Jantsch W. External quantum efficiency analysis of Si solar cells with II-VI nanocrystal luminescent down-shifting layers. Energy Procedia. 2011 Jan 1;10:83-7.
3. González-Pérez S, Sanchiz J, Rodríguez VD, Cañadillas-Ramallo D, González-Platas J, Borchert D, González-Díaz B, Hernández-Rodríguez C, Guerrero-Lemus R. Highly luminescent film as enhancer of photovoltaic devices. Journal of Luminescence. 2018 Sep 1;201:148-55.
4. Rafiaei SM, Ashrafi F, Sayyadi-Shahraki A, Karimzadeh E. Enhanced luminescence properties of phosphors coated by silica nano-layers: Study of reflection and emission. Ceramics International. 2019 Feb 1;45(2):1670-5.
5. Rafiaei SM, Shokouhimehr M. Impact of process parameters on luminescence properties and nanostructure of YVO4: Eu phosphor. Materials Chemistry and Physics. 2019 May 1;229:431-6.
6. Huang CK, Chen YC, Hung WB, Chen TM, Sun KW, Chang WL. Enhanced light harvesting of Si solar cells via luminescent down-shifting using YVO4: Bi3+, Eu3+ nanophosphors. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2013 Nov;21(7):1507-13.
7. Rafiaei SM, Shokouhimehr M. Synthesis and luminescence properties of transparent YVO4: Eu3+ phosphors. Materials Research Express. 2018 Sep 12;5(11):116208.
8. Chander N, Sardana SK, Parashar PK, Khan AF, Chawla S, Komarala VK. Improving the short-wavelength spectral response of silicon solar cells by spray deposition of YVO 4: Eu 3+ downshifting phosphor nanoparticles. IEEE Journal of Photovoltaics. 2015 Jun 10;5(5):1373-9.
9. Pawade VB, Swart HC, Dhoble SJ. Review of rare earth activated blue emission phosphors prepared by combustion synthesis. Renewable and Sustainable

Energy Reviews. 2015 Dec 1;52:596-612.
10. Lee Y, Park C, Balaji N, Lee YJ, Dao VA. High-efficiency silicon solar cells: A review. Israel Journal of Chemistry. 2015 Oct;55(10):1050-63.
11. Liu J, Yao Y, Xiao S, Gu X. Review of status developments of high-efficiency crystalline silicon solar cells. Journal of Physics D: Applied Physics. 2018 Feb 20;51(12):123001.
12. Liang Y, Ouyang J, Wang H, Wang W, Chui P, Sun K. Synthesis and characterization of core–shell structured SiO2@ YVO4: Yb3+, Er3+ microspheres. Applied surface science. 2012 Feb 1;258(8):3689-94.