

ساخت و مشخصه‌یابی نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ آلاییده با عنصر خاکی نادر و کاربرد آن‌ها در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به عنوان ماده مبدل بسامدهای پایین

نفیسه شیروانی^۱، زهره چمن زاده^{۲*}، مصطفی زاهدی فر^۳

۱- پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲- دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۳- دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱/۲۵)

چکیده: در این پژوهش، نانوذرات خالص $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ و آلاییده با یون‌های Dy^{3+} و Gd^{3+} ، به عنوان آلاینده‌های جدید، به روش گرمایی با موفقیت ساخته شدند و اثر دمای بازپخت، نوع آلاینده و غلظت آن بر ویژگی‌های ساختاری و نوری آن‌ها بررسی شد. آنها برای نخستین بار به عنوان ماده مبدل بسامدهای پایین در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای استفاده شدند. نمونه‌ها با پراش‌سنجد پرتو X، میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی مجهز به سنجش‌گر پراکنده‌گی انرژی پرتو X، میکروسکوپ الکترونی عبوری، طیف سنج فرابنفش-مرئی و طیف سنجی نورتابی مشخصه‌یابی شدند. نتایج پراش پرتو X نشان داد که نانوذرات بس‌بلور بوده و دارای ساختار تک میل هستند. بررسی‌های نوری نشان داد که این نانوذرات می‌توانند نور فرابنفش را جذب و نور مرئی را در گستره‌ی طول موج‌های nm ۳۶۰ تا ۵۰۰ nm گسیل کنند. حضور یک لایه نازک از نانوذرات $\text{Dy}(\text{WO}_4)_3$ بر سلول خورشیدی رنگدانه‌ای موجب افزایش ۱۰۶ درصدی بازده گردید.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات؛ تنگستات لانتانیوم؛ روش گرمایی؛ ویژگی‌های نوری؛ مبدل بسامدهای پایین، سلول خورشیدی رنگدانه‌ای.

یک الکتروولیت مایع تشکیل شده‌اند [۱۴-۱۶]. از آنجا که طول عمر مفید یک سلول خورشیدی در تعیین هزینه‌های انرژی تولید شده به اندازه بازده تبدیل آن مهم است، به منظور استفاده عملی از آن‌ها، پایداری شیمیایی اهمیت حیاتی دارد. پایداری شیمیایی به بازگشت ناپذیر بودن فرایند الکتروشیمیایی و تخریب گرمایی اجزای رنگدانه، الکتروولیت و حامل‌های بار تولید شده توسط فوتون‌های با انرژی بالا چون تابش فرابنفش مربوط است که سبب کاهش نیم عمر و بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای می‌شود [۱۷، ۱۸]. یک راه موثر برای کاهش هدررفت انرژی، اصلاح طیف انرژی خورشیدی از طریق پدیده نورتابی به گستره‌ی طول موجی است که در آن سلول خورشیدی احتمال جذب بالاتری دارد [۱۹-۲۱]. این

مقدمه

در سال‌های اخیر، با افزایش گرمایش جهانی و گازهای گلخانه‌ای تلاش‌های قابل توجهی برای گسترش منابع انرژی تجدیدپذیر، پاک و کم هزینه انجام شده است [۱-۳]. نور خورشید یک منبع انرژی رایگان، پاک و نامحدود است که می‌تواند توسط سامانه‌های فوتولوکتیوی به انرژی الکتریسیته تبدیل شود [۴-۶]. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای یکی از فناوری‌های نویدبخش نسل سوم فوتولوکتیوی هستند [۷-۹]، که به علت بازدهی بالا، ساخت ساده و کم هزینه به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۰-۱۳]. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای رایج از یک لایه نیمرسانا با گاف انرژی پهن به عنوان فوتوآنده، مولکول‌های رنگدانه به عنوان حساس کننده، الکترود شمارنده و

*تویسندۀ مسئول: z.chamanzadeh@du.ac.ir، پست الکترونیکی:

با یون‌های Dy و Gd و کاربرد آن‌ها به عنوان ماده مبدل بسامد در سلول خورشیدی انجام نشده است.

در این پژوهش، نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ به روش گرمابی ساخته شده و اثر عوامل مختلف از جمله بازپخت، آلایش - عناصر خاکی نادر Dy و Gd و تغییر غلظت آلاینده بر ویژگی‌های ساختاری و نوری آنها بررسی شد. سرانجام، نانوذرات $\text{Dy La}_2(\text{WO}_4)_3$: به عنوان ماده مبدل بسامد در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای استفاده شده و موجب افزایش کارایی سلول خورشیدی گردیدند.

روش آزمایش

در این پژوهش، همه مواد شیمیایی با درجه خلوص بالا، بدون نیاز به خالص‌سازی استفاده شدند. برای ساخت نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ از روش گرمابی استفاده شد. در یک روش کلی، نخست 0.25 gr از تنگستات سدیم در 10 ml آب یون زدایی شده حل شد. سپس، 0.15 gr هیدرات استات لانتانیوم در 10 ml آب یون زدایی شده حل و با چرخش، قطره به قطره به محلول پیشین اضافه شد. پس از چرخش محلول پایانی به گرفت. اتوکلاو در دمای 180°C به مدت ۴ ساعت درون آون قرار داده شد و سپس در دمای اتاق به طور طبیعی سرد شد. سرانجام، رسوب سفید رنگ تولید شده با دستگاه فرامرز گریزی (سانتریفیوژ) جداسازی و برای حذف ناخالصی‌ها، چند بار با آب یون زدایی شده شستشو داده شد و در دمای 60°C خشک گردید.

به منظور ساخت نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ آلاییده $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3$: $\text{Dy}_x(\text{WO}_4)_3$ ؛ $\text{Gd}_x(\text{WO}_4)_3$: $\text{Dy}_{0.01}, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.11$ و $\text{Gd}_{0.02}, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10$ ، به ترتیب هیدرات نیترات دیسپرسیوم و هیدرات نیترات گادولونیوم به محلول‌های واکنش اضافه شدند.

در پایان، به منظور دستیابی به ساختار بلوری، فراورده‌ها در دماهای مختلف 500°C ، 600°C ، 700°C و 900°C درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت بازپخت شدند.

سرانجام، اثر لایه نازکی از نانوذرات $\text{Dy La}_2(\text{WO}_4)_3$ بر کارایی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به دو روش بررسی گردید. برای ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای از روش مرسوم الکتروفورز استفاده شد [۴۵]. در روش نخست، نانوذرات به عنوان ناخالصی به محلول الکتروفورز با درصدهای مولی مختلف

اصلاح می‌تواند از طریق تبدیل فوتون‌های با انرژی بالا به انرژی‌های پایین‌تر (Down Conversion: DC) و یا تبدیل فوتون‌های با انرژی کم به انرژی‌های بالاتر (Up Conversion: UP) انجام شود [۲۲]. از این‌رو، با استفاده از یک ماده نورتاب DC (مبدل بسامدهای پایین) می‌توان مانع از ورود پرتو فرابنفش به سلول خورشیدی رنگدانه‌ای شد و پایداری آن را افزایش داد. افزون بر این، تابش فرابنفش جذب شده توسط این ماده می‌تواند به نور مرئی تبدیل شده و باز توسط رنگدانه جذب شود [۲۳، ۲۴].

در دهه‌های گذشته، نانومواد به دلیل ویژگی‌های بی‌چون و امکان کاربرد در کاتالیزورها و دستگاه‌های اپتوکترونیکی به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۷-۲۵]. نانوبلورهای نورتاب آلاییده با عناصر خاکی نادر، به علت استفاده گسترده در زمینه‌های مختلف چون فسفرها [۲۸]، کاربردهای بیوپیزشکی [۲۹]، مواد میزبان لیزرها، فروکتریکها [۳۰] و لایه مبدل بسامد به منظور اصلاح طیف خورشیدی در سلول‌های خورشیدی [۱۹] توجه دانشمندان را بسیار به خود جلب کرده‌اند.

به تازگی، تنگستات‌های فلزی خاکی نادر ($A = \text{La, Yb, Sm, Dy, Gd, Tm}$) $\text{A}_2(\text{WO}_4)_3$ به علت ویژگی‌های الکترونیکی و نوری بی‌مانند خود، به عنوان انتخابی مناسب برای کابرددهای مختلف چون حسگرهای گازی، نورتابی، سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، ابرخازن‌ها و حسگرهای الکتروشیمیایی در نظر گرفته شده‌اند [۳۳-۳۱]. به طور کلی، تنگستات‌های خاکی نادر را می‌توان به انواع مختلفی چون $\text{A}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$, $\text{A}_2\text{W}_2\text{O}_9$, A_6WO_{12} , $\text{A}_2\text{W}_2\text{O}_{18}$ تقسیم کرد [۳۴]. روش‌های مختلفی برای ساخت تنگستات‌های فلزی خاکی نادر شامل فرایند سلیل، واکنش حالت جامد و فرایند گرمابی و غیره وجود دارد [۳۸-۳۵]. تنگستات لانتانیوم، $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ ، از مهم‌ترین اعضای خانواده تنگستات‌های خاکی نادر بوده و در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. نانوذرات تنگستات لانتانیوم یک ساختار تک میل با گروه فضایی $\text{C}2/\text{c}$ دارد و یک بلور دو محوری است [۴۱-۴۹]. پژوهش‌های پیشین، نانوذرات تنگستات لانتانیوم به همراه آلاینده‌هایی چون Cr, Tb, Er و Yb با روش‌های مختلفی از جمله رسوب شیمیایی، هم‌رسوبی به کمک ریزموج ساخته و بررسی شده‌اند [۴۴-۴۲]. به هر حال، تا جاییکه می‌دانیم، پژوهشی در مورد ساخت نانوبلورهای تنگستات لانتانیوم آلاییده

هیچ کارتی برای ساخت $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ همخوانی ندارد. به منظور دستیابی به ساختار بلوری، نمونه‌ها در دماهای مختلف بازپخت شدند و اثر آن با الگوی XRD بررسی گردید. شکل ۲ الگوی XRD نمونه‌های بازپخت شده در دماهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ °C را نشان می‌دهد. این الگوهای XRD نشان می‌دهند که نمونه‌ها بسیاری هستند و قله‌های اصلی آن‌ها در زوایای (۲۰) ۲۷، ۱۸، ۲۸، ۶۰، ۳۰، ۱۶ و ۴۵/۷۰ ° قرار دارند که به ترتیب مربوط به پراش از صفحه‌های بلوری (۲۲۱)، (۰۲۳)، (۰۴۰) و (۲۴۴) هستند. این الگوها بیانگر ساختار بلوری تک میل $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ با گروه فضایی $\text{C}2/\text{c}$ و ثابت‌های شبکه‌ی $a = 11.84 \text{ \AA}$ ، $b = 11.65 \text{ \AA}$ ، $c = 7.87 \text{ \AA}$ هستند که با کارت شماره ۲۰۶۸-۰۸۲-۱۰۰۰ همخوانی دارد. براساس این الگو، نانوذرات ساخته شده بلورینگی خوبی دارند و هیچ ناخالصی در نمونه وجود ندارد. چنانکه دیده می‌شود، با افزایش دمای باز پخت به ۷۰۰ °C، شدت قله‌های XRD افزایش یافته که نشان دهنده بهبود ساختار بلوری نانوذرات است [۴۶]. اندازه نانوبلورک‌ها با رابطه شریربرآورده شد [۴۷]:

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

که در آن D اندازه نانو بلورک، K ضریب شکل بلور، λ طول موج لامپ تولید کننده پرتوایکس، β پهنه‌ای پیک در نصف ارتفاع بیشینه و θ زاویه پراش می‌باشد. با استفاده از این معادله متوسط اندازه نانوبلورک‌ها حدود ۳۶-۳۰ نانومتر بدست آمد.

اضافه شده و در لایه‌های اولیه الکترود کار سلول قرار گرفت. در روش دوم، یک لایه نازک و یکنواخت از نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy با غلظت‌های $M_{\text{O}}/M_{\text{W}} = 0.1$ و $M_{\text{Dy}}/M_{\text{W}} = 0.3$ در حلال اتانول، با روش لایه‌نشانی چرخشی بر سطح خارجی سلول خورشیدی لایه‌نشانی شد.

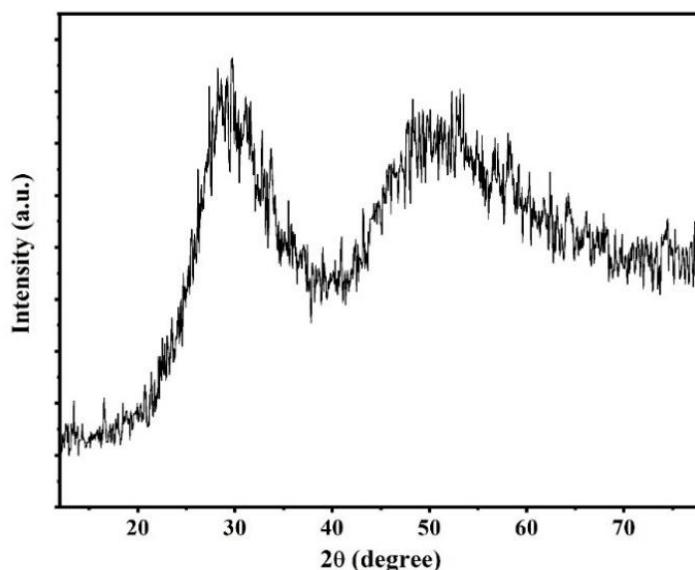
روش‌های مشخصه‌یابی

برای تعیین ساختار بلوری از پراش سنج پرتو X (XRD) فیلیپس مدل (pw1730) استفاده شد. برای بررسی ریختار سطح و تجزیه عنصری نمونه‌ها، میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی (FE-SEM) مجهر به سنجش گر پراکندگی ارزی پرتو X (ED) مدل MIRA3 TESCAN و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) زایس مدل EM10C در بکار گرفته شدند. به منظور بررسی ویژگی‌های نوری از طیف‌سنج فرابنفش-مرئی (UV Vis) مدل Shimadzu Perkin Elmer استفاده شد. سنج نورتابی (PL) مدل Luminescence Spectrometer (Luzchem) و پتانسیواستات (IVIUM) در خورشیدی (Luzchem) و پتانسیواستات (IVIUM) در روش‌نایابی $1.5 \text{ AM} / 100 \text{ mW cm}^{-2}$ انجام شد.

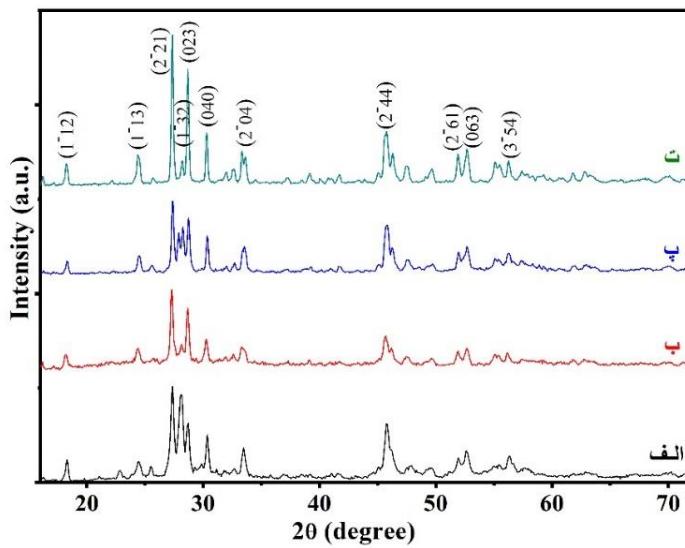
نتایج و بحث

ویژگی‌های ساختاری

شکل ۱ الگوی XRD نمونه بازپخت نشده را نشان می‌دهد. این الگوی XRD بیانگر ساختاری بی‌شکل برای نمونه است و با



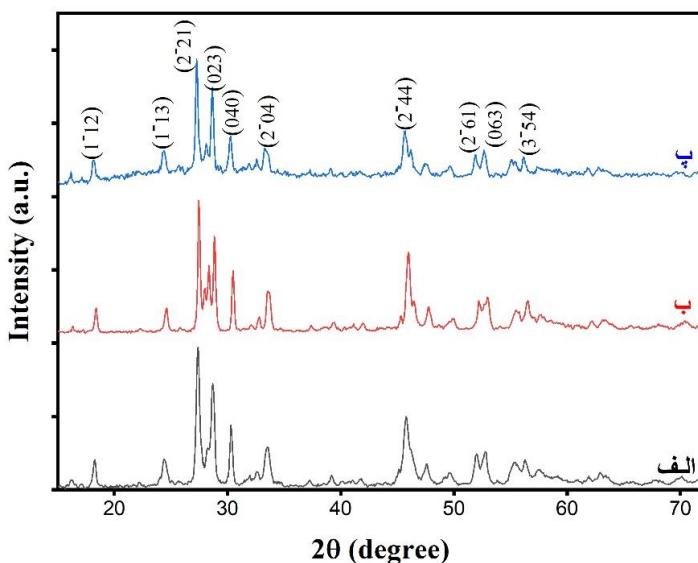
شکل ۱ الگوی XRD نمونه $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ بازپخت نشده.



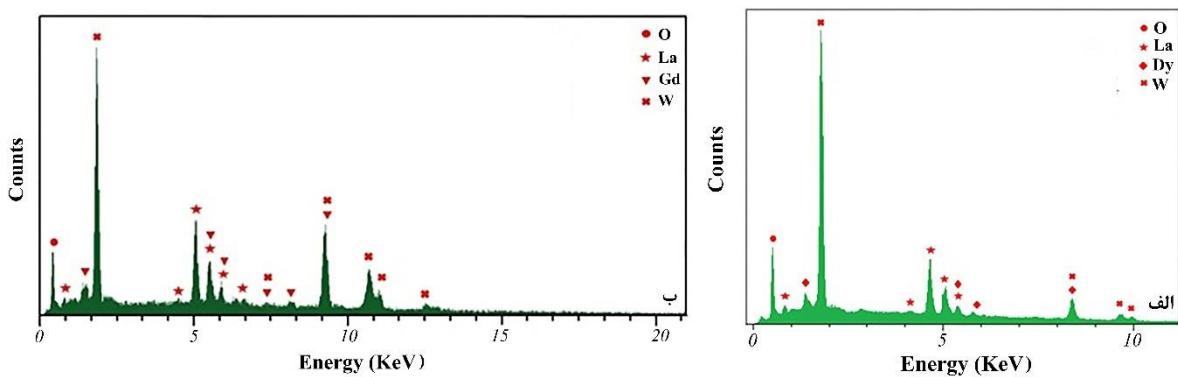
شکل ۲ الگوی XRD نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ بازپخت شده در دماهای: (الف) ۵۰۰، (ب) ۶۰۰، (پ) ۷۰۰ و (ت) ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد.

به علت مقادیر بسیار کم یون‌های Dy و Gd در نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ ، در الگوی XRD هیچ قله‌ای مربوط به حضور ناخالصی‌ها دیده نمی‌شود. بنابراین، به منظور تایید حضور آن‌ها در نمونه‌ها، بررسی‌های EDS انجام شد. شکل ۴ (الف و ب)، طیف EDS نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ آلاینده با یون‌های Dy^{3+} و Gd^{3+} را نشان می‌دهد که حضور یون‌های آلاینده را در نمونه‌ها تایید می‌کند. نسبت‌های اتمی عناصر La، O، W، Dy و Gd در شکل ۴ الف و عناصر La، O، W و Gd در شکل ۴ ب به ترتیب، ۱۱/۱۱، ۱۱/۱۱، ۱۵/۰۳، ۷۳/۲۱ و ۷۳/۴۷ و ۰/۶۵ درصد و ۱۰/۷۵ و ۱۴/۱۶ درصد است.

الگوهای XRD نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy و $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Gd در شکل ۳ نشان داده شده است. این الگوهای XRD با شماره کارت ۱۰۸۲-۲۰۶۸ باشد. بیانگر ساختار تک میل است، مطابقت دارد. چنانچه دیده می‌شود، نمونه‌ها از بلورینگی خوبی برخوردارند و با استفاده از رابطه شور اندازه متوسط نانوبلورک‌ها ۲۸ و ۳۷ نانومتر بدست آمد. بنابراین حضور یون‌های Dy و Gd در نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ تاثیر قابل توجهی در الگوی XRD نداشته است. به هر حال، حضور یون‌های آلاینده در نمونه‌ها، سبب افزایش شدت قله‌های XRD شده است، که نشان دهنده بهبود ساختار بلوری نانوذرات می‌باشد.



شکل ۳ الگوی XRD نانوذرات: (الف) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Gd، (ب) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy

شکل ۴ طیف EDS نانوذرات: (الف) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy، (ب) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Gd

گاف نواری نوری نانوذرات بر اساس طیف جذب UV-Vis آنها تعیین می‌شود. مقدار گاف نواری مستقیم نمونه با استفاده از رابطه تاک:

$$\alpha h\nu = \beta(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (2)$$

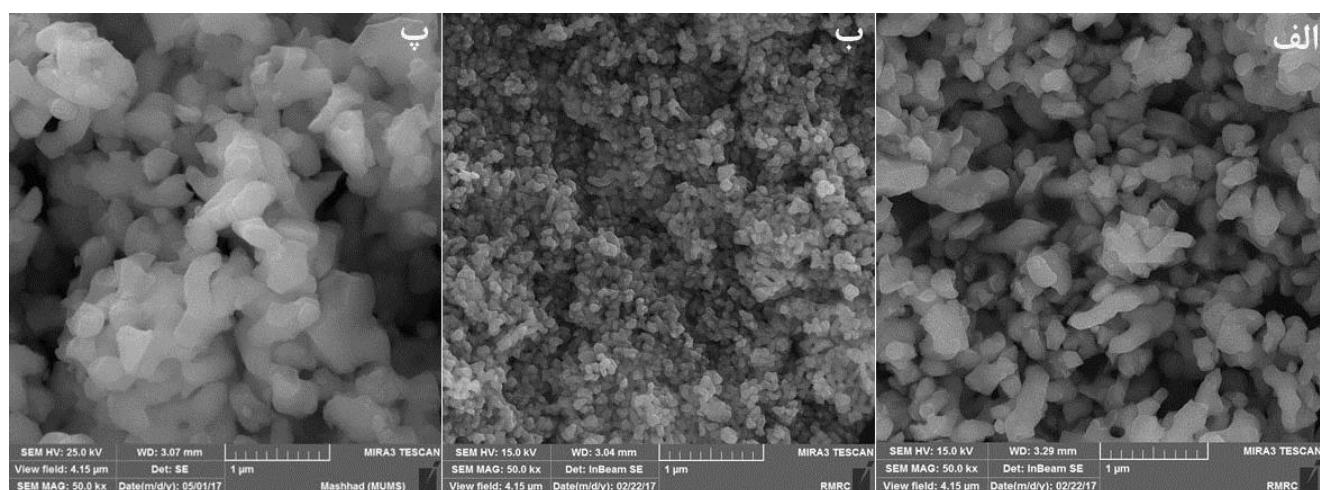
و رسم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ نسبت به $h\nu$ و محاسبه شیب نمودار بدست آمد [۵۱]. شکل ۷ ب نشان می‌دهد که مقدار گاف نواری برای نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ برابر با ۲/۷۵ eV است.

طیف‌سنجی نورتابی به منظور مشخصه‌یابی ویژگی‌های نوری اهمیت دارد. طیف PL یک ماده توانایی آن ماده را فوتون‌های گسیل شده نشان می‌دهد و به منظور بررسی فرایند DC استفاده می‌شود. تنگستات‌ها به عنوان مواد نورتاب خود فعال در نظر گرفته می‌شوند که در آن گروه شبکه‌ی $(\text{WO}_4)_2^{2-}$ به عنوان مرکز نورتابی عمل می‌کند [۵۲، ۵۳]. شکل ۸ طیف PL نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ بازپخت شده در دماهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه، تحریک شده با انرژی برانگیختگی با طول موج ۲۶۰ نانومتر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طیف نشر این نمونه‌ها در ناحیه‌ی گستره‌های بین ۳۶۰ تا ۴۹۰ نانومتر قرار گرفته است و بیشینه طول موج‌های ۴۱۸ و ۴۸۰ نانومتر است. این ویژگی گستردگی طیف نشری به دلیل انتقال بار اکسیژن به تنگستن در گروه $(\text{WO}_4)_2^{2-}$ است. ملاحظه می‌شود که تغییر در دمای بازپخت سبب تغییر در شدت تابشی گسیلی می‌شود و بهینه شدت تابش گسیلی در دمای بازپخت ۶۰۰ درجه می‌باشد، که به علت کوچک‌تر بودن اندازه بلورک‌ها و کم شدن مقایص بلوری در این دماس است.

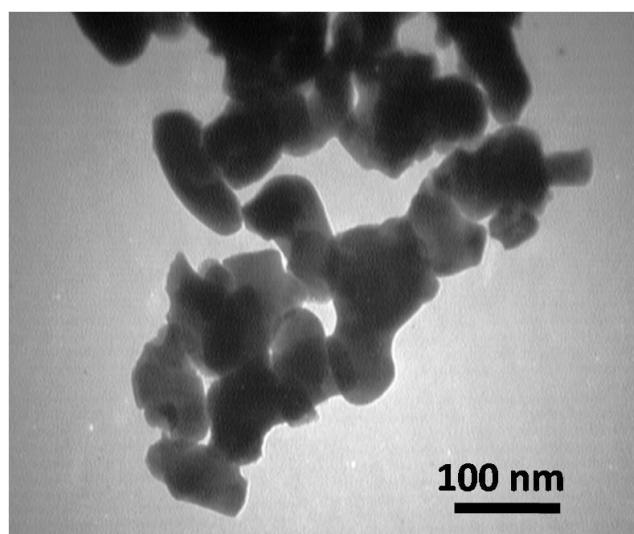
تصاویر FE-SEM نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Gd و $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy در شکل ۵ نشان داده شده است. مطالعه این تصاویر نشان می‌دهد که ریختار نمونه‌ها تقریباً یکسان و میله‌ای شکل و چسبیده به هم هستند. به هر حال، حضور یون‌های آلایینده سبب تغییر در اندازه ذرات و کلوخگی کمتر ذرات شده است، که این می‌تواند به علت کوچک‌تر بودن شعاع یونی Dy در مقایسه با یون‌های La باشد. چنانچه مشاهده می‌شود، یون‌های Gd سبب کلوخگی بیشتر ذرات شده است. شکل ۶، تصویر TEM نانوذرات Dy $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: نشان می‌دهد که میله‌ای شکل بودن نانوذرات با طول تقریبی ۱۰۰ نانومتر و قطر تقریبی ۴۰-۵۰ نانومتر را تایید می‌کند.

ویژگی‌های نوری

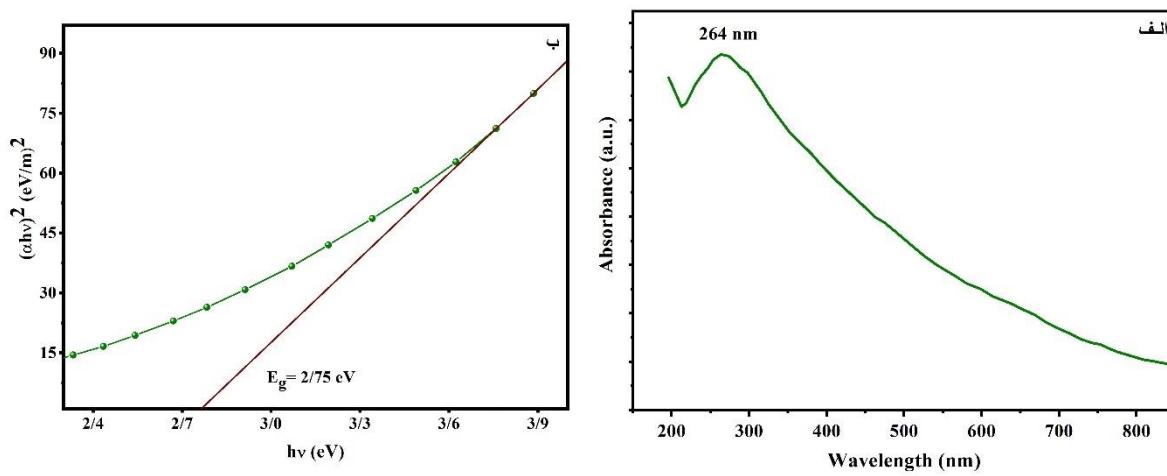
از آنجا که هدف ما در این مقاله، شناسایی نانوذراتی است که بتوانند نور فرابنفش را جذب کنند، بدین منظور به بررسی طیف جذبی نانوبلورهای $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ پردازیم. شکل ۷ الف طیف جذبی نمونه خالص را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ طیف جذب گستردگی در ناحیه فرابنفش دارد و بیشینه‌ی جذب در طول موج ۲۶۴ نانومتر قرار می‌گیرد که به گذار انتقال بار در $(\text{WO}_4)_2^{2-}$ مربوط می‌شود [۴۸، ۴۹]. هم‌چنین این طیف نشان می‌دهد که این نمونه در ناحیه مرئی جذب بسیار کمی دارد و هیچ قله‌ای مبنی بر جذب قوی در ناحیه مرئی مشاهده نمی‌شود. بنابراین، این ماده می‌تواند کزینه مناسبی به عنوان فیلتر نور فرابنفش باشد. از آنجا که جذب نور به شبکه میزبان مربوط می‌شود، این بررسی فقط برای نمونه خالص انجام شد [۵۰].



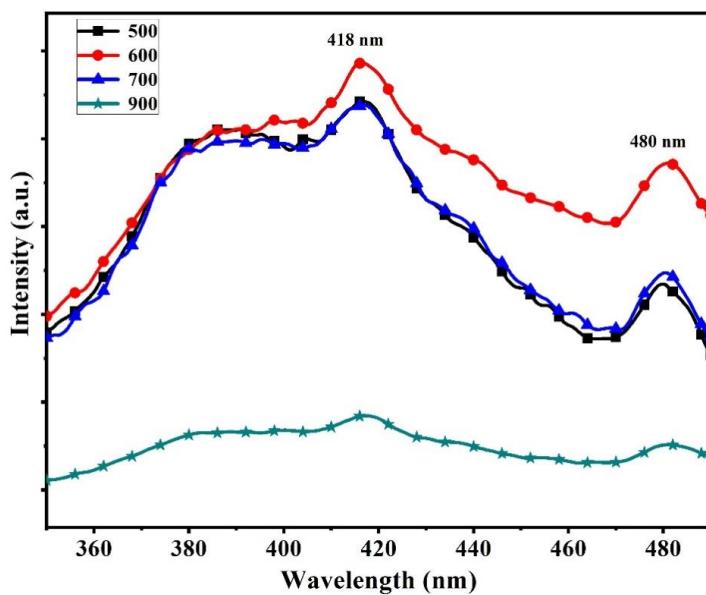
شکل ۵ تصاویر FE-SEM نانوذرات: (الف) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3: \text{Dy}$ (ب) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3: \text{Gd}$ (پ) $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$



شکل ۶ تصویر TEM نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3: \text{Dy}$



شکل ۷ (الف) طیف جذبی نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3: \text{Dy}$ (ب) نمودار $(\alpha h\nu)^2$ نسبت به $h\nu$

شکل ۸ طیف نورتابی نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ بازپخت شده در دماهای مختلف.

شدن مکان‌های نشر (quenching sites) می‌باشد [۴۶]. بنابراین، در یک غلظت خاص از هر آلایینده بهینه شدت نشر ایجاد خواهد شد.

کارائی فوتولوئاتی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به منظور بررسی تاثیر ماده DC بر سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، نانوذرات $\text{La}_{1.97}(\text{WO}_4)_3$: $\text{Dy}_{0.03}$ بازپخت شده در دمای ۶۰۰ درجه، به دو روش استفاده شد.

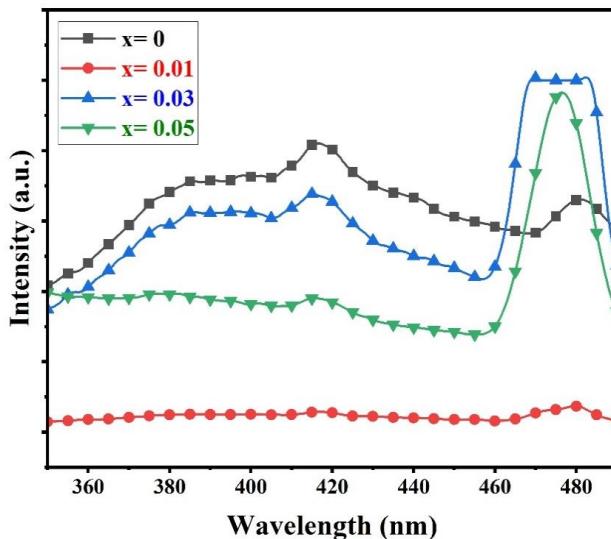
روش اول

در این روش، نانوذرات به عنوان ناخالصی در محلول الکتروفورز با درصدهای مولی مختلف اضافه شد و در لایه‌های اولیه الکترود کار سلول قرار گرفت. برای ساخت این نوع سلول‌ها دو محلول درست می‌شود، یک محلول حاوی الکتروولیت معمول TiO_2 و محلول دیگر هم شبیه به آن با این تفاوت که به میزان $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy مولی مورد نظر (جدول ۱)، نانوذرات $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3$: $\text{Dy}_{0.03}$ می‌شود و به نوعی یک ناخالصی به حساب جایگزین ذرات TiO_2 می‌شود. تأثیر این ماده در لایه اولیه سلول خورشیدی رنگدانه‌ای که به روش الکتروفورز ساخته شده است، ضخامت کم این لایه و نزدیکی آن به سطح است که باعث می‌شود جذب نور فرابنفش در این لایه به خوبی انجام گیرد و موجب افزایش طول عمر سلول گردد. از طرف دیگر، پس از جذب نور فرابنفش آن را به نور مرئی تبدیل می‌کنند. ماده DC احتمال فرار فوتون‌های تولیدشده از سطح

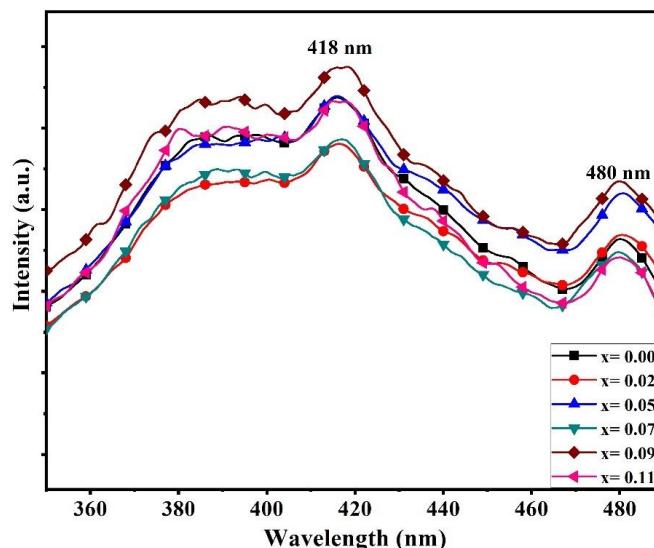
اثر حضور و تغییر غلظت یون‌های لانتانید Dy و Gd بر طیف نورتابی نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ بررسی شد. طیف PL نانوذرات $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3$: Dy_x ($x = 0, 0.03, 0.05, 0.1$) تحریک شده با طول موج ۲۶۰ نانومتر در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در حضور یون‌های Dy محل بیشینه‌ی نشر تغییر محسوسی ندارد و فقط بیشینه‌ی نشر دوم اندکی به طول موج ۴۷۵ نانومتر جابجا می‌شود، که این به علت خود فعال بودن تنگستات‌ها می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که حضور یون‌های Dy بر شدت طیف PL تاثیر می‌گذارد و سبب افزایش شدت نشر در محدوده طول موج‌های ۴۶۰-۵۰۰ نانومتر می‌شود و که این به علت افزایش گذارهای انتقال بار در ترازهای انرژی یون‌های Dy می‌باشد. بیشترین شدت نشر در این ناحیه در غلظت 0.03 mmol $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3$: Gd_x (شکل ۱۰) می‌باشد. تحریک شده با طول موج ۲۶۰ نانومتر را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مکان قله‌های گسیلی نسبت به نمونه خالص جابجا نشده است و وجود یون‌های Gd فقط سبب تغییر شدت نشر شده است و بهترین شدت نشر در غلظت 0.09 mmol اتفاق می‌افتد.

به هر حال، در مقادیر بسیار کم یون‌های آلایینده شدت نشر قابل توجه نیست، زیرا جانشینی یون‌های مهمان در شبکه میزبان به خوبی اتفاق نمی‌افتد. از سوی دیگر، در مقادیر زیاد آلایینده مجدداً شدت نشر کاهش می‌یابد که این نیز به علت پر

سلول را کاهش می‌دهد و این فوتون‌ها مجدداً جذب رنگدانه شده و تعداد حامل‌های انرژی افزایش یافته و در نتیجه انتظار می‌رود بازده سلول افزایش نسبی داشته باشد.



شکل ۹ طیف نورتابی نانوذرات $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3: \text{Dy}_x$ با غلظت‌های مختلف آلاینده (بر حسب میلی مول).



شکل ۱۰ طیف نورتابی نانوذرات $\text{La}_{2-x}(\text{WO}_4)_3: \text{Gd}_x$ با غلظت‌های مختلف Gd (بر حسب میلی مول).

جدول ۱ مشخصه‌های فتوولتایی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به همراه ماده DC درون سلول.

	DC غلظت ماده (درصد مولی)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (v)	FF	η (%)
نمونه استاندارد (S)	----	۹.۹	۰.۸	۰.۶۳	۴.۹۸
نمونه ۱	۰.۰۱	۵.۷	۰.۶۴	۰.۵۶	۲
نمونه ۲	۰.۰۳	۵.۶	۰.۸	۰.۷	۳.۱۳
نمونه ۳	۰.۰۵	۵.۴	۰.۸	۰.۶۹	۳
نمونه ۴	۰.۱	۴.۱	۰.۸	۰.۶۴	۲.۰۹

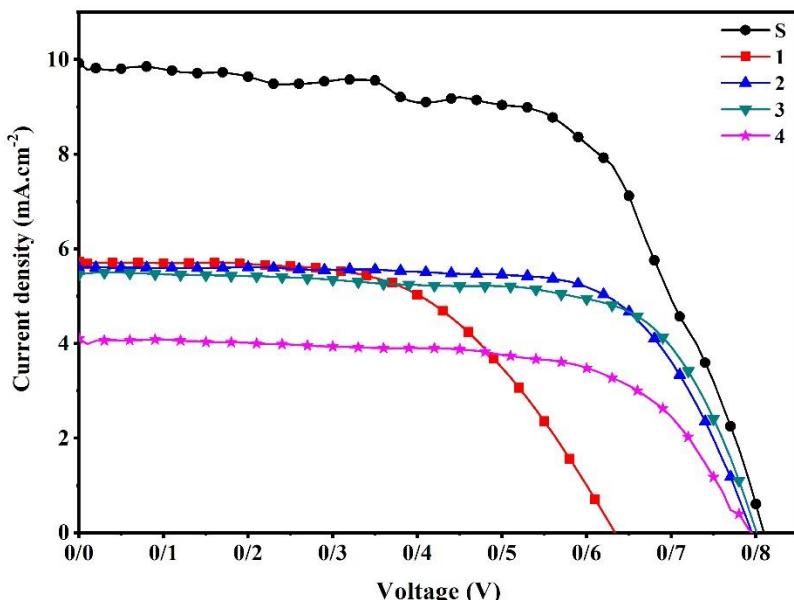
صورت تمام شار فوتون‌های فروودی از خورشید ابتدا به این ماده تابیده می‌شوند و سپس وارد سلول می‌شوند، که این موجب افزایش کارایی خواهد شد. به این منظور، محلولی از نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy با غلظت‌های 0.1 M و 0.3 M در اتانول تهیه شد و فیلمی نازک و یکنواخت با روش لایه‌نشانی چرخشی بر روی سطح خارجی سلول خورشیدی لایه‌نشانی شد. شکل ۱۲، منحنی چگالی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به همراه ماده DC با سطح خارجی سلول در مقایسه با سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای استاندارد را نشان می‌دهد.

نتایج رفتار فتوولتایی در جدول ۲ خلاصه شده است. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به همراه ماده DC با غلظت M 0.1 M دارای چگالی جریان مدار کوتاه 11.6 mA.cm^{-2} ، ولتاژ مدار باز 0.82 V ، فاکتور پرشدگی 0.58 و بازده انرژی 5.51 Jsc درصد است. همان طور که مشاهده می‌شود، حضور ماده DC درصد افزایش یافته، که این به علت نور مرئی گسیل شده از ماده DC و جذب مجدد توسط رنگدانه است. این افزایش در چگای جریان، سبب افزایش بازده به میزان 10.6 mA.cm^{-2} درصد شده است.

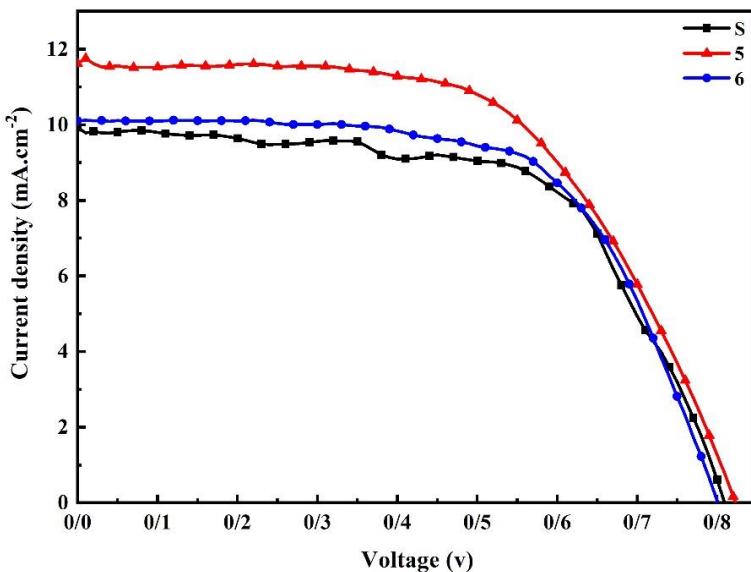
منحنی چگالی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به همراه ماده DC با غلظت‌های مختلف در مقایسه با سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای استاندارد در شکل ۱۱ نشان داده شده است و نتایج رفتار فتوولتایی در جدول ۱ خلاصه شده است. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای استاندارد چگالی V جریان مدار کوتاه (J_{sc}) 9.9 mA.cm^{-2} ، ولتاژ مدار باز (V_{oc}) 4.98 V ، فاکتور پرشدگی (FF) 0.63 و بازده انرژی (η) 6.1 Jsc درصد دارد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود استفاده از ماده DC در داخل سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای باعث کاهش کارایی فتوولتایی می‌شود. علت این کاهش بازده را می‌توان جایگزینی بیش از حد نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy به TiO_2 ذرات TiO_2 دانست، زیرا جرم مولی نانوذرات $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Dy TiO_2 زیاد بوده و حتی با توجه به استفاده از TiO_2 درصدهای مولی کم از این ماده، بیش از حد جایگزین شده است که در نتیجه باعث کاهش جذب رنگدانه و افزایش احتمال بازترکیب حامل‌های بار شده است. بنابراین این روش نتیجه‌ی مطلوبی در جهت افزایش بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ارائه نمی‌دهد.

روش دوم

متداول‌ترین راه کاربرد ماده DC در سلول خورشیدی، استفاده از آن بر سطح خارجی الکترود کار سلول است، که در این



شکل ۱۱ منحنی چگالی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به همراه ماده DC درون سلول.



شکل ۱۲ منحنی چگالی جریان- ولتاژ سلول های خورشیدی رنگدانه ای به همراه ماده DC در خارج سلول.

جدول ۲ مشخصه های فتوولتایی سلول های خورشیدی رنگدانه ای به همراه ماده DC در خارج سلول.

	DC غلظت ماده (مولار)	J_{sc} (mA/cm²)	V_{oc} (v)	FF	η (%)
نمونه استاندارد (S)	-----	۹.۹	۰.۸	۰.۶۳	۴.۹۸
نمونه ۵	۰.۰۱	۱۱.۶	۰.۸۲	۰.۵۸	۵.۵۱
نمونه ۶	۰.۰۳	۱۰.۱	۰.۸	۰.۶۴	۵.۱۷

فرابنفش را جذب و نور مرئی را گسیل کنند. نتایج PL نشان داد که یون های Dy و Gd سبب افزایش شدت طیف گسیلی می شوند. البته، یون های Dy، سبب افزایش با Gd، سبب افزایش بیشتر گسیل در طول موج ۴۶۰-۵۰۰ نانومتر می شوند، که در گستره جذب رنگدانه سلول خورشیدی رنگدانه ای قرار دارد و می تواند جذب سلول خورشیدی رنگدانه ای را افزایش دهد. سرانجام، $La_2(WO_4)_3$: Dy به عنوان ماده مبدل بسامد درون داخل و روی سطح سلول خورشیدی رنگدانه ای استفاده شد. نتایج فتوولتایی نشان داد که حضور لایه ای نازک از نانوذرات $La_2(WO_4)_3$: Dy بر روی سلول خورشیدی سبب افزایش ۱۷ درصدی چگالی جریان و ۱۰۶ درصدی بازده نسبت به نمونه استاندارد می شود.

قدرتانی

نویسنده ای از حمایت های مالی و امکانات آزمایشگاهی دانشگاه

بنابراین، استفاده از ماده DC بر سطح خارجی سلول، نه تنها اجازه ورود نور فرابنفش را به داخل سلول نمی دهد و موجب افزایش طول عمر سلول خواهد شد، بلکه سبب افزایش بازده می شود.

برداشت

به طور خلاصه، نانوذرات $La_2(WO_4)_3$ به صورت خالص و آلاییده با یون های لانتانید Dy و Gd با غلظت های مختلف، به روش گرمابی ساخته شده و در دماهای مختلف بازپخت شدن. در این پژوهش، ویژگی های ساختاری و نوری این نانوذرات بررسی شد. بررسی ریختار نمونه ها نشان داد که حضور یون های Dy سبب کوچکتر شدن اندازه و کلوخگی کمتر ذرات، در مقایسه با یون های Gd، می شود. نتایج طیف سنجی های UV-Vis و PL نشان داد که این نانوذرات می توانند به عنوان ماده مبدل بسامدهای پایین عمل کرده و نور

properties of metallic and natural dye based dye sensitized solar cells", Physica B: Condensed Matter, 602 (2021) 412567.

[10] Mallikarjun A., Siva Kumar J., Sreekanth T., Sangeetha M., Mettu M.R., Espenti C.S., Jaipal Reddy M., "Facile fabrication of NiO doped PVDF-co-HFP/Mg (ClO_4)₂ polymer composite membrane as a counter electrode in low-cost dye-sensitized solar cells", Polymer-Plastics Technology and Materials, 62 (2023) 145-161.

[11] Sen A., Putra M.H., Biswas A.K., Behera A.K., Groß A., "Insight on the choice of sensitizers/dyes for dye sensitized solar cells: A review", Dyes and Pigments, DOI (2023) 111087.

[12] Grobelny A., Shen Z., Eickemeyer F.T., Antariksa N.F., Zapotoczny S., Zakeeruddin S.M., Grätzel M., "A Molecularly Tailored Photosensitizer with an Efficiency of 13.2% for Dye-Sensitized Solar Cells", Advanced Materials, 35 (2023) 2207785.

[13] Mejica G.F.C., Unpaprom Y., Ramaraj R., "Fabrication and performance evaluation of dye-sensitized solar cell integrated with natural dye from *Strobilanthes cusia* under different counter-electrode materials", Applied Nanoscience, 13 (2023) 1073-1083.

[14] Yadav V., Chaudhary S., Negi C.M.S., Gupta S.K., "Textile dyes as photo-sensitizer in the dye sensitized solar cells", Optical Materials, 109 (2020) 110306.

[15] Oviedo A.M., Thi. H.T., Van Q.C., Nguyen H.H., "Physicochemical properties of Fe-doped TiO_2 and the application in Dye-sensitized solar cells", Optical Materials, 137 (2023) 113587.

[16] Chen X., Huang Y., Chen Z., "Potential evaluation of an annular thermoelectric cooler driven by a dye-sensitized solar cell", Solar Energy, 258 (2023) 351-360.

[17] de Haro J.C., Tatsi E., Fagiolari L., Bonomo M., Barolo C., Turri S., Bella F., Griffini G., "Lignin-based polymer electrolyte membranes for sustainable aqueous dye-sensitized solar cells", ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9 (2021) 8550-8560.

کاشان برای انجام این پژوهش و همچنین از داوران محترم و مسئولین مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران جهت هرچه بربارتر شدن مقاله، کمال تشرک را دارند.

مراجع

- [1] Shamoon A., Haleem A., Bahl S., Javaid S., Garg S.B., "Role of energy technologies in response to climate change", Materials Today: Proceedings, 62 (2022) 63-69.
- [2] Singh S., "Energy Crisis and Climate Change: Global Concerns and Their Solutions", Energy : Crises, Challenges and Solutions, DOI (2021) 1-17.
- [3] Kalair A., Abas N., Saleem M.S., Kalair A.R., Khan N., "Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables", Energy Storage, 3 (2021) e135.
- [4] Mukhopadhyay S., "Solar energy and gasification of MSW: two promising green energy options, Green Energy Systems", Elsevier, 2023, pp. 93-125.
- [5] Agrawal S., Soni R., "Renewable energy: Sources, importance and prospects for sustainable future", Energy: Crises, Challenges and Solutions, DOI (2021) 131-150.
- [6] Dixit R., "Solar technologies and their implementations: A review, Materials Today: Proceedings", 28 (2020) 2137-2148.
- [7] Mahalingam S., Manap A., Omar A., Low F.W., Afandi N., Chia C.H., Abd Rahim N., "Functionalized graphene quantum dots for dye-sensitized solar cell: Key challenges, recent developments and future prospects", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 144 (2021) 110999.
- [8] Devadiga D., Selvakumar M., Shetty P., Santosh M., "Recent progress in dye sensitized solar cell materials and photo-supercapacitors: A review", Journal of Power Sources, 493 (2021) 229698.
- [9] Faraz S.M., Mazhar M., Shah W., Noor H., Awan Z.H., Sayyad M.H., "Comparative study of impedance spectroscopy and photovoltaic

- photothermal catalysis", Nanoscale, 15 (2023) 2455-2469.*
- [27] E. N., F. M., C. Z., "Study of structural, optical, and sensory ethanol properties of tin oxide nanoparticles synthesized by microwave method", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 29 (2021) 677-688.
- [28] Singh S., Diwakar A.K., Kashyap P., Verma A., "Synthesis, Characterization & Luminescence Properties of Rare Earth Nano Phosphors Doped Eu &Gd", Journal of Optoelectronics Laser, 41 (2022) 238-242.
- [29] Natarajan D., Z. Ye, L. Wang, L. Ge, J.L. Pathak, "Rare earth smart nanomaterials for bone tissue engineering and implantology: Advances, challenges, and prospects", Bioengineering & Translational Medicine, 7 (2022) e10262.
- [30] Gao F., Wu G., Zhou H., Bao D., "Strong upconversion luminescence properties of Yb^{3+} and Er^{3+} codoped $Bi_4Ti_3O_{12}$ ferroelectric thin films", Journal of Applied Physics, 106 (2009).
- [31] Sundaresan P., Gnanaprakasam P., Chen S.-M., Mangalaraja R.V., Lei W., Hao Q., "Simple sonochemical synthesis of lanthanum tungstate ($La_2(WO_4)_3$) nanoparticles as an enhanced electrocatalyst for the selective electrochemical determination of anti-scald-inhibitor diphenylamine", Ultrasonics Sonochemistry, 58 (2019) 104647.
- [32] Mani S., Vedyappan V., Chen, S.-M. Madhu R., Pitchaimani V., Chang J.-Y., Liu S.-B., "Hydrothermal synthesis of $NiWO_4$ crystals for high performance non-enzymatic glucose biosensors", Scientific reports, 6 (2016) 24128.
- [33] Sobhani-Nasab A., Naderi H., Rahimi-Nasrabi M., Ganjali M.R., "Evaluation of supercapacitive behavior of samarium tungstate nanoparticles synthesized via sonochemical method", Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 28 (2017) 8588-8595.
- [34] Shi X., Wang Z., Takei T., Wang X., Zhu Q., Li X., Kim B.-N., Sun X., Li J.-G., "Selective crystallization of four tungstates ($La_2W_3O_{12}$, $La_2W_2O_9$, $La_{14}W_8O_{45}$, and $La_6W_2O_{15}$) via hydrothermal reaction and comparative study of
- [18] Kokkonen M., Talebi P., Zhou J., Asgari S., Soomro S.A., Elsehrawy S.A., Halme J., Ahmad S., Hagfeldt A., Hashmi S.G., "Advanced research trends in dye-sensitized solar cells", Journal of Materials Chemistry A, 9 (2021) 10527-10545.
- [19] Day J., Senthilarasu S., Mallick T.K., "Improving spectral modification for applications in solar cells: A review", Renewable Energy, 132 (2019) 186-205.
- [20] Strümpel C., McCann M., Beaucarne G., Arkhipov V., Slaoui A., Švrček V., Del Cañizo C., Tobias I., "Modifying the solar spectrum to enhance silicon solar cell efficiency—An overview of available materials", Solar energy materials and solar cells, 91 (2007) 238-249.
- [21] Chen C., Zheng S., Song H., "Photon management to reduce energy loss in perovskite solar cells", Chemical Society Reviews, 50 (2021) 7250-7329.
- [22] Rajeswari R., Islavath N., Raghavender M., Giribabu L., "Recent progress and emerging applications of rare earth doped phosphor materials for dye-sensitized and perovskite solar cells: a review", The Chemical Record, 20 (2020) 65-88.
- [23] Teymourinia H., Salavati-Niasari M., Amiri O., Farangi M., "Facile synthesis of graphene quantum dots from corn powder and their application as down conversion effect in quantum dot-dye-sensitized solar cell", Journal of Molecular Liquids, 251 (2018) 267-272.
- [24] Shen L., Chen B., Pun E., Lin H., "Sm-doped alkaline earth borate glasses as $UV \rightarrow$ visible photon conversion layer for solar cells", Journal of Luminescence, 160 (2015) 138-144.
- [25] Kim J., Lee J., Lee J.M., Facchetti A., Marks T.J., Park S.K., "Recent Advances in Low-Dimensional Nanomaterials for Photodetectors", Small Methods, DOI (2023) 2300246.
- [26] Qu J., Li S., Zhong B., Deng B., Shu Y., Cai Y., Hu J., Li C.M., "Two-dimensional nanomaterials: synthesis and applications in

- analysis of photoluminescence behavior", Journal of Luminescence, 254 (2023) 119510.)*
- [43] Karthikeyan D., Vijayakumar K., Suhasini P., Dhanusha A., Girisun T.S., "Third-order nonlinear optical responses of Cr^{3+} ions on $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ nanoparticles for optical limiting applications", *Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry, 436 (2023) 114377.*
- [44] Kuriakose S., Hitha H., Jose A., John M., Varghese T., "Studies on the effect of Tb doping on the structural and optical properties of $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ nanoparticles", *Materials Today: Proceedings, DOI(2023).*
- [45] Zahedifar M., Chamanzadeh Z., Madani M., Moradi M., Sharifpour N., "Synthesis and characterization of GdVO_4 : Dy^{3+} nanosheets as down converter: application in dye-sensitized solar cells", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 27 (2016) 4447-4456.*
- [46] Zahedifar M., Chamanzadeh Z., Mashkani S.H., "Synthesis of LaVO_4 : Dy^{3+} luminescent nanostructure and optimization of its performance as down-converter in dye-sensitized solar cells", *Journal of luminescence, 135 (2013) 66-73.*
- [47] Motevalizadeh L., Sepahvand F., "Investigation of the effect of annealing temperature on lattice micro strains of SnO_2 nano particles prepared by sol-gel method, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*", 24 (2016) 493-502.
- [48] Grobelna B., Szabelski M., Kledzik K., Klonkowski A.M., "Luminescent properties of $\text{Sm}^{(III)}$ ions in $\text{Ln}_2(\text{WO}_4)_3$ entrapped in silica xerogel", *Journal of non-crystalline solids, 353 (2007) 2861-2866.*
- [49] George T., Joseph S., Sunny A.T., Mathew S., "Fascinating morphologies of lead tungstate nanostructures by chimie douce approach", *Journal of Nanoparticle Research, 10 (2008) 567-575.*
- [50] Ronda C., "Phosphors for lamps and displays: an applicational view", *Journal of Alloys and Compounds, 225 (1995) 534-538.*
- Eu^{3+} luminescence", *Inorganic Chemistry, 57 (2018) 6632-6640.*
- [35] Demiaï A., Derbal M., Guerbous L., Rekik B., "Structure, optical and photoluminescence properties of $\text{LiGd}_{1-x}\text{Er}_x(\text{WO}_4)_2$ green luminescence phosphor", *Optical Materials, 65 (2017) 137-141.*
- [36] Kaczmarek A.M., Van Deun R., "Rare earth tungstate and molybdate compounds—from 0D to 3D architectures", *Chemical Society Reviews, 42 (2013) 8835-8848.*
- [37] Huang S., Zhang X., Wang L., Bai L., Xu J., Li C., Yang P., "Controllable synthesis and tunable luminescence properties of $\text{Y}_2(\text{WO}_4)_3$: Ln^{3+} ($\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Yb}/\text{Er}, \text{Yb}/\text{Tm}$ and Yb/Ho) 3D hierarchical architectures", *Dalton transactions, 41 (2012) 5634-5642.*
- [38] Schustereit T., Schleid T., Hartenbach I., "Syntheses and crystal structures of the rare-earth metal (III) bromide ortho-oxidotungstates (VI) with the formula $\text{REBr}[\text{WO}_4](\text{RE} = \text{Y, Gd-Yb})$ ", *Solid State Sciences, 48 (2015) 218-224.*
- [39] Burcham L.J., Wachs I.E., "Vibrational analysis of the two non-equivalent, tetrahedral tungstate (WO_4) units in $\text{Ce}_2(\text{WO}_4)_3$ and $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ ", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 54 (1998) 1355-1368.*
- [40] Rahimi-Nasrabadi M., Pourmortazavi S.M., Aghazadeh M., Ganjali M.R., Karimi M.S., Norouzi P., "Synthesis of nano-structured lanthanum tungstates photocatalysts", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 28 (2017) 7600-7608.*
- [41] Kuriakose S., Hitha H., Jose A., John M., Varghese T., "Structural and optical characterization of lanthanum tungstate nanoparticles synthesized by chemical precipitation route and their photocatalytic activity", *Optical Materials, 99 (2020) 109571.*
- [42] Baby B., Thomas S., Krishnapriya T., Jose J., Biju P., Joseph C., "Optimized microwave assisted synthesis of $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$: Tb^{3+} phosphors and

annihilation spectroscopic studies", RSC advances, 6 (2016) 3792-3805.

[53] Ding B., Han C., Zheng L., Zhang J., Wang R., Tang Z., "Tuning oxygen vacancy photoluminescence in monoclinic Y_2WO_6 by selectively occupying yttrium sites using lanthanum", Scientific Reports, 5 (2015) 9443.

[51] Ghaleghaf E., "Fabrication, characterization and investigation of gas sensing properties of MoO_3 thin films", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 27 (2019) 475-486.

[52] Gupta S.K., Sudarshan K., Ghosh P., Sanyal K., Srivastava A., Arya A., Pujari P., Kadam R., "Luminescence of undoped and Eu^{3+} doped nanocrystalline $SrWO_4$ scheelite: time resolved fluorescence complimented by DFT and positron