

## تهیه و ارزیابی خواص نوری لایه نازک نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> با استفاده از روش الکترورسی به عنوان نیمه هادی نوع منفی

پرینان فردوسی و جواد مختاری\*

دانشگاه گیلان، گروه مهندسی نساجی، رشت، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۲/۰۴/۱۲، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۳/۰۵/۳۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۳/۰۶/۰۹

### چکیده

لایه‌های نازک نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> در نسبت‌های مختلف از نانوذرات TiO<sub>2</sub> (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰) به روش الکترورسی تهیه شدند. گونه‌شناسی و ساختار نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از طیف‌سنج پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل ساختار آناز نانوذرات TiO<sub>2</sub> در ماتریس پلیمری PVA و پوشش موفقیت‌آمیز نانوذرات مذکور توسط مولکول‌های پلی‌وینیل الکل را نشان می‌دهد. همچنین فعالیت نوری و ب‌ها نیز با دستگاه اندازه‌گیری طیف بازتاب پخشی (DRS) بررسی شد. نتایج نشان داد که لایه تهیه شده با حداکثر نسبت TiO<sub>2</sub> (۵۰:۵۰)، بدلیل فاز بلوری، شکاف انرژی مطلوب (۳/۳۱ eV) و انتقال نوری بالا جهت استفاده در سلول خورشیدی به عنوان نیمه هادی نوع n مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، الکترورسی، نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub>، خواص نوری.

### ۱- مقدمه

اخیرا توجه زیادی را با توجه به اثر نانو تکنولوژی به خود جلب کرده است [۴]. نانوکامپوزیت‌ها دارای مزایای بی‌شماری از جمله پایداری حرارتی، استحکام و هدایت الکتریکی بسیار بالایی می‌باشند [۵]. در نانوکامپوزیت‌ها، نانوذرات بر روی پلیمری پوشش داده شده و خواص نوری، الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی و حرارتی را تغییر می‌دهند. دی‌اکسید تیتانیوم یکی از مهمترین نیمه هادی‌هایی می‌باشد که بطور گسترده در بسیاری از زمینه‌ها از جمله فعالیت‌های الکتروشیمیایی [۶]، کاتالیزور نوری [۷،۸]، سلول‌های خورشیدی [۹،۱۰]، دکتورهای UV، حسگرهای فراصوتی و غیره کاربرد دارد.

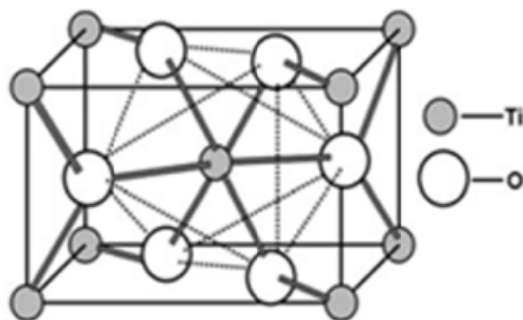
در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تهیه و ارزیابی نانوکامپوزیت‌های متشکل از ترکیب مواد آلی با غیرآلی صورت گرفته است. نانوکامپوزیت‌های آلی/غیرآلی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله تجهیزات الکترونیکی و نانو الکترونیکی کاربرد دارند [۱-۳]. امروزه مواد مرکب با توجه به خواص الکترونیکی منحصربفرد خود جایگاه ویژه‌ای را در علم مواد به خود اختصاص داده‌اند. کامپوزیت ساختاری مرکب از دو یا چند ماده مجزا می‌باشد و کارایی بهتری را نسبت به هر یک از اجزا از خود نشان می‌دهد و

\*عهده‌دار مکاتبات: جواد مختاری

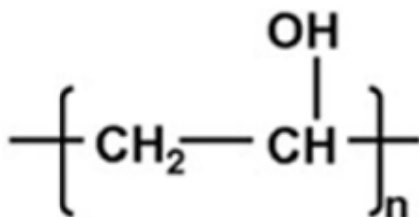
نشانی: رشت، دانشگاه گیلان، گروه مهندسی نساجی

تلفن: ۰۲۲۷-۶۶۹۰۱۳۱، دورنگار: ۰۲۷۱-۶۶۹۰۱۳۱، پست الکترونیکی: J.mokhtari@guilan.ac.ir

نیمه رسانا نیز در مقیاس نانو خواص مناسب و منحصر بفردی را نشان می‌دهند و در سلول‌های خورشیدی بسیار کاربرد دارند، یکی از روش‌های تهیه لایه نازک  $\text{TiO}_2$  در بستر پلیمری پلی‌وینیل الکل و بهبود خواص نوری آن، روش الکترورسی می‌باشد. الکترورسی محلول پلیمری شامل کاتالیزور نوری، از جمله روش‌های مناسب و اقتصادی جهت تولید نانوکامپوزیت‌ها می‌باشد، بطوریکه در طی آن کاتالیزور نوری بر روی نانوالیاف پوشش داده می‌شود و بدین ترتیب نانوالیافی تولید می‌شود که شامل نانوذرات می‌باشد. بنابراین بدلیل نسبت سطح به حجم بالا، نانوذرات بیشتر در سطح قرار می‌گیرند و به عبارتی بیشتر در دسترس هستند که در نتیجه آن انتظار می‌رود هدایت افزایش یابد [۲۱-۲۳] و جهت کاربرد در سلول خورشیدی به عنوان نیمه هادی نوع n مناسب باشد. در این پژوهش لایه‌های نازک  $\text{PVA/TiO}_2$  در نسبت‌های مختلف  $\text{TiO}_2$  (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰) به روش الکترورسی در مدت زمان کوتاه و بدون نیاز به تنظیم pH تهیه شدند و جهت کاربرد در سلول خورشیدی به عنوان نیمه هادی نوع n با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنج پراش پرتو ایکس و دستگاه اندازه‌گیری طیف بازتاب پخشی مورد ارزیابی قرار گرفتند.



(الف)

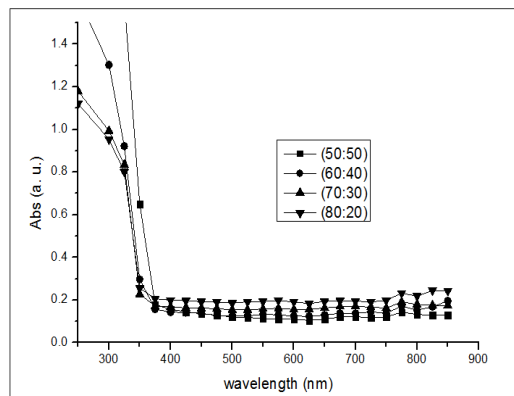


(ب)

شکل ۱: (الف) ساختار چهار گوشه‌ای  $\text{TiO}_2$  و (ب) پلیمر PVA [۹].

زیست سازگاری، غیرسمی بودن و مقرون به صرفه بودن از جمله مزایای  $\text{TiO}_2$  می‌باشد [۱۱]. در میان اکسیدهای فلزی، نانوذرات  $\text{TiO}_2$  بدلیل پایداری شیمیایی، فعالیت و نسبت سطح به حجم بالا و همچنین در دسترس بودن از لحاظ تجاری، به عنوان فتوکاتالیست بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و یکی از رایج‌ترین نیمه رساناهای نوع n می‌باشد [۱۲]. پلی‌وینیل الکل (PVA) نیز پلیمری هادی، زیست سازگار، غیرسمی و محلول در آب می‌باشد و از پایداری شیمیایی و حرارتی بالایی برخوردار است. PVA با توجه به خاصیت امولسیون کنندگی، قابلیت تشکیل لایه نازک و چسبندگی مناسب و همچنین قابلیت انتقال نور و واکنش پذیری آسان، به عنوان ماتریس پلیمری برای تهیه نانوکامپوزیت‌ها بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲، ۱۱، ۱۳] و در بسیاری از زمینه‌ها از جمله سلول‌های الکتروشیمیایی [۱۴]، کنترل رهایش دارو [۱۵]، پزشکی و بیوشیمی کاربرد دارد [۱۶]. در میان پلیمرهای هادی، پلی‌وینیل الکل بدلیل داشتن گروه‌های فعال هیدروکسیل در زنجیر پلیمری خود، از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۱]. ساختار چهار گوشه‌ای دی‌اکسید تیتانیوم و PVA در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزودن نانوذرات  $\text{TiO}_2$  به پلیمر PVA، دمای تبدیل شیشه‌ای ( $T_g$ ) و کریستالینیتی PVA کاهش می‌یابد، از طرفی فاز آمورف ماتریس پلیمری و همچنین هدایت یونی افزایش می‌یابد [۱۷]. نانوکامپوزیت  $\text{PVA/TiO}_2$  خواص منحصر بفردی از جمله جذب بالا در محدوده فرابنفش و انتقال بالا در محدوده مرئی را نشان داده است و در کل نانوکامپوزیت‌های آلی/غیرآلی دارای کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های نوری می‌باشند. تاکنون تحقیقات بسیاری در رابطه با تهیه نانوکامپوزیت  $\text{PVA/TiO}_2$  به روش‌های گوناگون گزارش شده است [۱۱-۲۰] بطوریکه اکثر آنها سایز و شکل ذرات اکسید شده، درجه پراکندگی و برهمکنش بین فاز آلی و غیرآلی را مورد بحث قرار داده‌اند و نتایج حاصل وابسته به تنظیم pH و دما می‌باشد. با توجه به این نکته که با کاهش قطر الیاف پلیمری از ابعاد میکرومتر به نانومتر خواص مناسبی از جمله نسبت سطح به حجم بالا، انعطاف بالا در عامل‌دار کردن سطوح و بهبود خواص مکانیکی برای الیاف مشاهده می‌شود و از طرفی

فرابنفش-مرئی نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت‌های مختلف (۵۰:۵۰، ۶۰:۴۰، ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰) و ارتباط خواص نوری با اندازه نانوذرات نیمه هادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: منحنی جذب نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub>.

در این منحنی، انتقال لبه جذب نمونه‌ها به طول موج‌های کمتر نسبت به توده TiO<sub>2</sub> ( $\lambda=388$  nm,  $E_g=3/2$  eV) مشاهده می‌شود بطوریکه با کاهش نسبت TiO<sub>2</sub> در نانوکامپوزیت‌ها این انتقال بیشتر می‌باشد و این امر بدلیل اثر اندازه نانوذرات است [۲۴]. نقاط کوانتومی، بلورهای نیمه هادی در ابعاد نانو می‌باشند. اثر حدی کوانتومی در نقاط کوانتومی منجر به خواص الکتریکی و نوری منحصر بفردی در این ترکیبات می‌گردد. این اثر زمانی بروز می‌کند که اندازه نقطه کوانتومی از یک حد بحرانی که به آن شعاع اکسایتون بور (Exciton Bohr Radius) گفته می‌شود کمتر و یا قابل مقایسه باشد. در این حالت خواص نوری و الکتریکی نانوذره با خواص آن در حالت توده‌ای شکل متفاوت است [۲۵]. نقاط کوانتومی با اندازه‌های مختلف شکاف انرژی متفاوتی دارند. هر چه اندازه نقاط کوانتومی کوچکتر شود شکاف انرژی آنها بزرگتر می‌گردد. در نتیجه برای برانگیخته کردن اندازه‌های کوچکتر به انرژی بیشتری (نور با طول موج کوتاه‌تر) نیاز است. بنابراین حضور ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در مقیاس نانو سبب جذب در طول موج‌های کمتر از جذب توده دی‌اکسید تیتانیوم می‌شود. همانگونه که در شکل مشخص است، نمونه ۵۰:۵۰ انتقال کمتری به طول موج‌های کمتر را نشان می‌دهد که با توجه به افزایش اندازه ذرات بلوری

## ۲- فعالیت‌های تجربی

### ۲-۱- مواد و تجهیزات

نانوذرات TiO<sub>2</sub> (۱۵ nm, Anatase) و پلیمر پلی‌وینیل الکل با وزن مولکولی متوسط وزنی ۷۲۰۰۰ گرم بر مول از شرکت مرک خریداری شدند.

به منظور تهیه محلول‌ها از همزن مغناطیسی و دستگاه سانیکیتور مدل Bandline HD 3100 استفاده شد. الکتروسی محلول‌های PVA/TiO<sub>2</sub> با استفاده از دستگاه الکتروسی مدل NE-1000، در سرعت، فاصله و ولتاژ معین صورت گرفت. به منظور گونه‌شناسی وب‌های تولید شده و شناسایی حضور نانوذرات بر روی ماتریس پلیمری از دستگاه طیف‌سنج پراش پرتو ایکس مدل Philips PW1840 و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل XL30I استفاده شد. همچنین فعالیت نوری نمونه‌ها نیز با دستگاه اندازه‌گیری طیف بازتاب پخششی مدل Shimadzu UV-Vis 2100 مورد بررسی قرار گرفت.

### ۲-۲- روش کار

به منظور تهیه نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub>، ابتدا محلول دی‌اکسید تیتانیوم ۱۰٪ در آب دی‌یونیزه شده توسط دستگاه تراسونیک در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه و توان ۴۰٪ تهیه شد، سپس محلول پلی‌وینیل الکل ۱۰٪ در دمای ۸۰ °C آماده گردید. جهت تهیه محلول ۱۰٪ PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت‌های (۵۰:۵۰، ۶۰:۴۰، ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰)، محلول دی‌اکسید تیتانیوم تهیه شده به محلول PVA آماده شده اضافه و توسط همزن مغناطیسی به شدت همزده شد. تولید نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> از محلول‌های تهیه شده با نسبت‌های مختلف با استفاده از روش الکتروسی صورت گرفت. الکتروسی محلول‌های مذکور با استفاده از دستگاه الکتروسی، تحت شرایطی به قرار سرعت ۰/۸ ml/h، ولتاژ ۱۲ kV و فاصله ۱۲/۵ cm انجام شد.

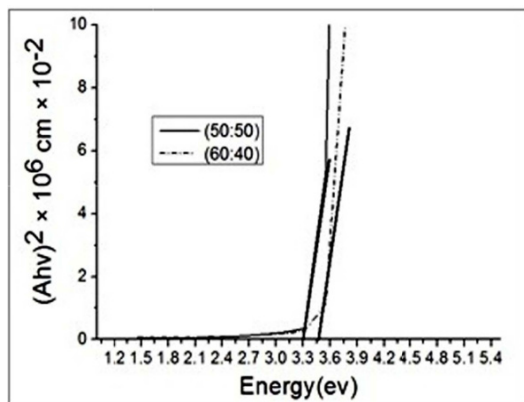
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- طیف جذبی فرابنفش-مرئی

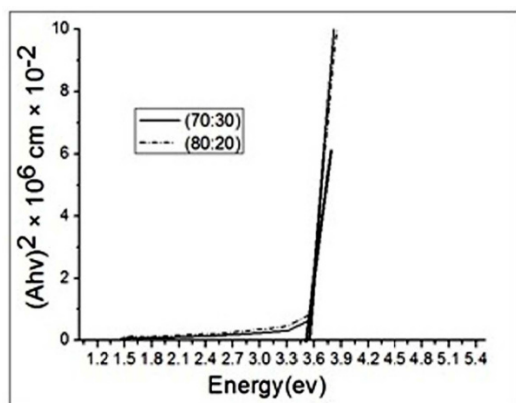
فعالیت نوری وب‌های تولید شده با استفاده از دستگاه DRS مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲، طیف جذبی

### ۳-۳- شکاف انرژی نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub>

شکل ۴، شکاف انرژی و ب‌های تولید شده در نسبت‌های مختلف را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۴: منحنی شکاف انرژی نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت‌های، الف) ۵۰:۵۰ و ۶۰:۴۰ و ب) ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰.

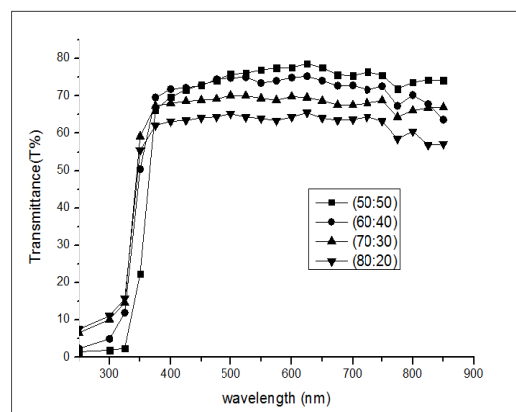
شکاف انرژی نیمه هادی‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۲۶]. در این رابطه، A جذب، K مقدار ثابت و m برای انتقال مستقیم برابر با ۱ می‌باشد [۱۱]. با رسم نمودار  $(Ahv)^2 - hv$  و برون‌یابی نقاط موجود در محور صفر  $(Ahv)^2 = hv$  مقادیر شکاف انرژی و ب‌های مذکور با نسبت‌های مختلف را می‌توان بدست آورد، داده‌های حاصل در جدول ۱ نمایش داده شده است.

$$A = \frac{K(hv - E_g)^{m/2}}{hv} \quad (1)$$

می‌باشد. انتقال به طول موج‌های کمتر می‌تواند با توجه به کاهش اندازه ذرات بلوری لایه نازک تهیه شده در اثر کاهش نسبت نانوذرات نیمه هادی باشد. تمامی نمونه‌ها دارای افزایش جذب با شیب تندی (شارپ) از لبه جذب خود می‌باشند و این بدلیل بلورینگی و ب‌ها بوده که با داده‌های حاصل از XRD مطابقت دارند و نمونه‌های ۵۰:۵۰ و ۶۰:۴۰ بلورینگی بیشتری را نشان می‌دهند.

### ۳-۲- درصد انتقال نوری

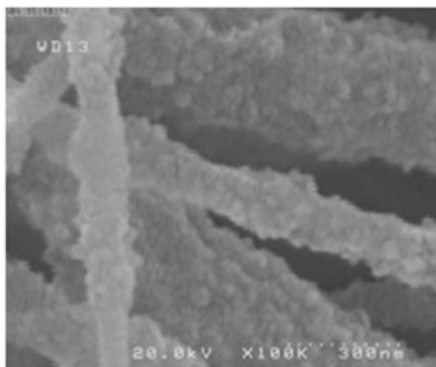
شکل ۳، درصد انتقال نوری و ب‌های PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت‌های مختلف را بر حسب طول موج نشان می‌دهد.



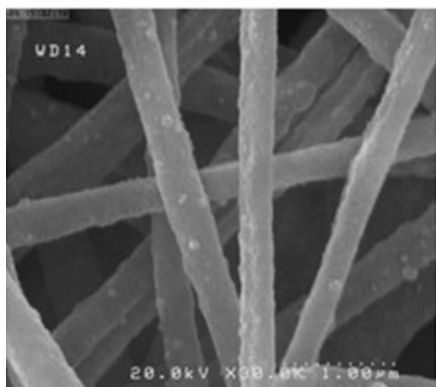
شکل ۳: منحنی انتقال نوری نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub>.

یکی از ویژگی‌های مهم نیمه هادی منفی، درصد انتقال نوری بالا در محدوده مرئی می‌باشد، زیرا بدین ترتیب به کل نور تابیده شده اجازه داده می‌شود که از لایه نیمه هادی منفی عبور کند و به لایه جاذب (نیمه هادی نوع مثبت) برسد و حداکثر جذب نور صورت گیرد. این ویژگی در سلول‌های خورشیدی لایه نازک بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۲۶]. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تمام نمونه‌ها در محدوده مرئی دارای انتقال بالایی می‌باشند اما نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت ۵۰:۵۰، در این محدوده انتقال بالاتری (۸۰٪) را از خود نشان می‌دهد. همچنین دارای کاهش درصد انتقال با شیب تندتری از لبه جذب خود می‌باشد که این امر نیز نشان دهنده بلورینگی بالای نمونه می‌باشد.

نسبت نیمه هادی (از ۲۰ به ۵۰) در نانوکامپوزیت‌ها قطر نانوالیاف PVA/TiO<sub>2</sub> کاهش می‌یابد (جدول ۲).



(الف)



(ب)

شکل ۵: SEM نانوالیاف PVA/TiO<sub>2</sub> (الف) ۵۰:۵۰ و (ب) ۸۰:۲۰.

جدول ۲: قطر نانوالیاف PVA/TiO<sub>2</sub>

نسبت PVA/TiO <sub>2</sub>	قطر نانوالیاف (nm)
۸۰:۲۰	۳۲۹
۷۰:۳۰	۲۶۹
۶۰:۴۰	۲۳۴
۵۰:۵۰	۱۶۲

شکل ۶، طیف‌های پراش پرتو ایکس نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> را نشان می‌دهد. در تمام نمونه‌ها نوارهایی در محدوده ۲۵/۴۷ و ۳۸/۲، ۴۸/۱، ۵۴/۷، ۶۳/۰۶، مشاهده می‌شود که نشان دهنده ساختار بلوری آاناتاز نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌باشد و به ترتیب مطابق با آرایش (۱۰۱)، (۰۰۴)، (۲۰۰)، (۱۰۵) و (۱۱۸) ساختار چهار گوشه‌ای نانوذرات مذکور است [۲۲، ۲۷، ۲۸].

جدول ۱: شکاف انرژی و جابجایی شکاف انرژی.

نسبت PVA/TiO <sub>2</sub>	شکاف انرژی (eV)	جابجایی شکاف انرژی (eV)
۸۰:۲۰	۳/۵۱	۰/۳۱
۷۰:۳۰	۳/۴۹	۰/۲۹
۶۰:۴۰	۳/۴۶	۰/۲۶
۵۰:۵۰	۳/۳۱	۰/۱۱

همانگونه که مشاهده می‌شود با کاهش نسبت TiO<sub>2</sub> در نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> مقدار شکاف انرژی افزایش می‌یابد و نشان دهنده جذب در طول موج‌های کمتر (Blueshift) می‌باشد. در اجسام نیمه رسانا الکترون در نوار ظرفیت قادر خواهد بود با کسب مقدار معینی انرژی، باند ظرفیت را ترک نموده و با طی نمودن شکاف انرژی، خود را به تراز هدایت یا رسانش رسانده و به عنوان الکترون آزاد برای برقراری جریان الکتریکی موثر باشد. حال با افزایش شکاف انرژی، الکترون به انرژی بیشتری برای طی نمودن این مسیر نیاز دارد بطوریکه این عامل مهمی جهت تقویت نیمه هادی نوع منفی می‌باشد. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، شکاف انرژی تمام نمونه‌ها نسبت به توده دی‌اکسید تیتانیوم افزایش یافته است.

### ۳-۴- بررسی ساختار نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub>

شکل ۵، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود نانوذرات TiO<sub>2</sub> بطور موفقیت‌آمیز در ماتریس پلیمری PVA قرار گرفته‌اند و بطور یکنواخت در طول لیف پخش شده‌اند. همچنین با افزایش نسبت دی‌اکسید تیتانیوم، تراکم نانوذرات در ماتریس پلیمری پلی‌وینیل الکل افزایش می‌یابد و علت عدم انعقاد نانوذرات TiO<sub>2</sub> برهمکنش بین این نانوذرات با محلول PVA و میدان الکتریکی قوی در حین عملیات الکترورسی می‌باشد. برهمکنش نانوذرات TiO<sub>2</sub> و پلیمر PVA توسط پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل پلی‌وینیل الکل و گروه‌های اکسیژن دی‌اکسید تیتانیوم صورت می‌گیرد. میانگین قطر نانوالیاف تولید شده با استفاده از تصاویر SEM تخمین زده شد و مشاهده می‌شود با افزایش

نتایج حاصل ثابت می‌کند نانوذرات قرار گرفته در ماتریس پلیمری پلی‌وینیل الکل ساختار بلوری خود را حتی تحت میدان الکترواستاتیکی قوی در حین عملیات الکترورسی حفظ کرده‌اند. شدت نوارها در نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت ۵۰:۵۰ نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر می‌باشد و بلورینگی بالای این نمونه را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با کاهش نسبت TiO<sub>2</sub> از شدت نوارها کاسته می‌شود و این امر نشان دهنده کاهش ذرات بلوری TiO<sub>2</sub> می‌باشد [۲۷]. با استفاده از فرمول شرر (رابطه ۲) نیز اندازه ذرات بلوری در زاویه ۲۵/۴ درجه تخمین زده شد بطوریکه اعداد بدست آمده کمتر از ۱۵ نانومتر می‌باشند و با نتایج حاصل از طیف جذبی و شدت نوارها مطابقت دارند. چنین نتیجه می‌شود که با کاهش نسبت دی‌اکسید تیتانیوم در نانوکامپوزیت PVA/TiO<sub>2</sub> اندازه بلوری ذرات مذکور کاهش می‌یابد (جدول ۳) [۲۸-۳۰].

$$D = \frac{K\lambda}{\beta_{2\theta}\cos\theta} \quad (2)$$

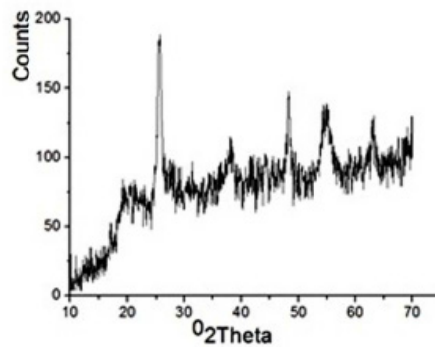
در رابطه بالا، K عدد ثابت و برابر ۰/۹، λ طول موج اشعه ایکس، β<sub>2θ</sub> پهنای نوار ماکزیمم در نصف ارتفاع آن، θ نصف زاویه براگ و D میانگین اندازه ذرات بلوری می‌باشد.

جدول ۳: اندازه ذرات TiO<sub>2</sub> با استفاده از نتایج XRD.

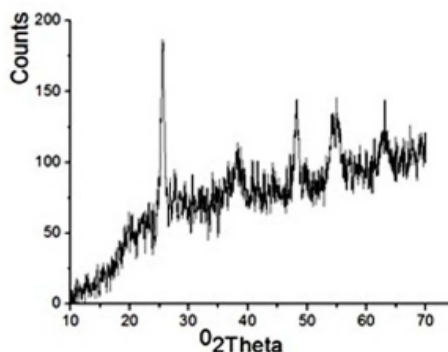
نسبت PVA/TiO <sub>2</sub>	اندازه ذرات (nm)
۸۰:۲۰	۹/۱۴
۷۰:۳۰	۱۰/۵۶
۶۰:۴۰	۱۲/۴۳
۵۰:۵۰	۱۳/۱۶

#### ۴- نتیجه‌گیری

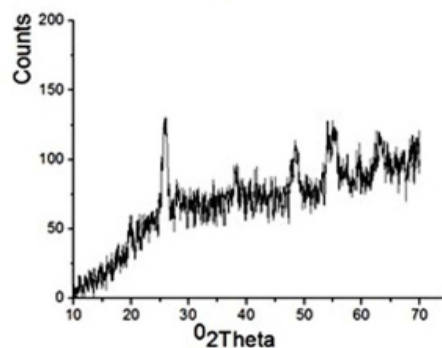
لایه‌های نازک از نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> در نسبت‌های (۵۰:۵۰، ۷۰:۳۰، ۶۰:۴۰ و ۸۰:۲۰) به روش الکترورسی تهیه شدند. تصاویر SEM نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> نشان داد که نانوذرات TiO<sub>2</sub> بطور موفقیت‌آمیز در ماتریس پلیمری PVA قرار گرفته‌اند و با



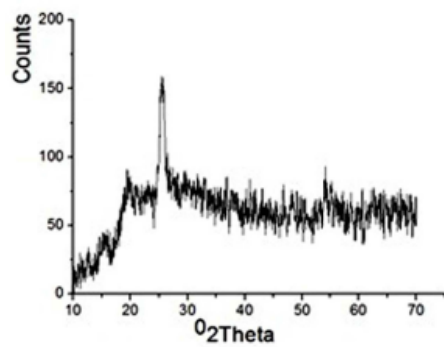
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۶: نمودار XRD نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO<sub>2</sub> با نسبت‌های،

(الف) ۵۰:۵۰، (ب) ۶۰:۴۰، (ج) ۷۰:۳۰ و (د) ۸۰:۲۰.

- [6] L. Sun, J. Cai, Q. Wu, P. Huang, Y. Su, C. Lin, *Electrochimica Acta*, **108**, 2013, 525.
- [7] S.Y. Lee, S.J. Park, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **19**, 2013, 1761.
- [8] Y. Liao, W. Que, Z. Tang, W. Wang, W. Zhao, *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, 2011, 1054.
- [9] A. Mashreghi, F. Davoudi, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **26**, 2014, 669.
- [10] B. Hu, Q. Tang, B. He, L. Lin, H. Chen, *Journal of Power Sources*, **267**, 2014, 445.
- [11] A. Maurya, P. Chauhan, *Polymer Bulletin*, **68**, 2012, 961.
- [12] J. Li, H. Qiao, Y. Du, C. Chen, X. Li, J. Cui, D. Kumar, Q. Wei, *The Scientific World Journal*, **2012**, 2012, 1.
- [13] B.Y. Kadem, *International Journal of Science and Technology*, **1**, 2011, 183.
- [14] P. Balaji-Bhargava, V. Madhu-Mohan, A.K. Sharma, V.V. Rao, *Current Applied Physics*, **9**, 2009, 165.
- [15] U.K. Parida, A.K. Nayak, B.K. Binhani, P.L. Nayak, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, **2**, 2011, 414.
- [16] L.M. Costa, G.M. de-Olyveira, B.M. Cherian, A.L. Leao, S.F. de-Souza, M. Ferreira, *Industrial Crops and Products*, **41**, 2013, 198.
- [17] C.C. Yang, S.J. Chiu, K.T. Lee, W.C. Chien, C.T. Lin, C.A. Huang, *Journal of Power Sources*, **184**, 2008, 44.
- [18] C.C. Yang, *Journal of Membrane Science*, **288**, 2007, 51.
- [19] M. Sairam, M.B. Patil, R.S. Veerapur, S.A. Patil, T.M. Aminabhavi, *Journal of Membrane Science*, **281**, 2006, 95.
- [20] Z. Wang, S. Yamada, M. Zhang, H. Kanzaki, K. Yoshinaga, *Colloid and Polymer Science*, **288**, 2010, 433.
- [21] C. Prahsarn, W. Klinsukhon, N. Roungpaisan, *Materials Letters*, **65**, 2011, 2498.
- [22] N.T. Linh, K.H. Lee, B.T. Lee, *Journal of Materials Science*, **46**, 2011, 5615.
- [23] P. Ferdowsi, J. Mokhtari, *Journal of Advanced Materials and Novel Coatings*, **6**, 2013, 386.
- [24] R. Vijayalakshmi, K.V. Rajendran, *The AZO Journal of Material Online*, **6**, 2010, 1.
- [25] M. Thambidurai, N. Muthukumarasamy, S. Agilan, N. Murugan, S. Vasantha, R. Balasundaraprabhu, T.S. Senthil, *Journal of Material Science*, **45**, 2010, 3254.
- [26] D. Saikia, P.K. Saikia, P.K. Gogoi, M.R. Das, P. Sengupta, M.V. Shelke, *Materials Chemistry and Physics*, **131**, 2011, 223.
- [27] K. Thamaphat, P. Limsuwan, B. Ngotawornchai, *Kasetsart Journal: Natural Science*, **42**, 2008, 357.
- [28] A. Abdel-Galil, H.E. Ali, A. Atta, M.R. Balboul, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, **7**, 2014, 36.
- [29] A.K. Singh, U.T. Nakate, *ISRN Nanotechnology*, **2014**, 2014, 1.
- [30] M. Alizadeh, A.A. Sabbagh-Alvani, A.A. Sarabi, R. Salimi, H. Sameie, *Journal of Advanced Materials and Novel Coatings*, **3**, 2012, 213.

افزایش نسبت نانوذرات مذکور تراکم آنها در بستر پلیمر افزایش می‌یابد. همچنین ساختار چهار گوشه‌ای آنتاز نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و بلورینگی نانوکامپوزیت‌های تولیدی با استفاده از نتایج حاصل از XRD نشان داده شد. انتقال لبه جذب در طول موج‌های کمتر در طیف جذبی حاصل از دستگاه DRS با توجه به اثر اندازه ذرات می‌باشد و اندازه ذرات بلوری  $\text{TiO}_2$  با استفاده از نتایج حاصل از XRD تخمین زده شد بطوریکه اعداد بدست آمده با طیف جذبی مطابقت دارند. لایه نازک نانوکامپوزیت  $\text{PVA/TiO}_2$  تولید شده با دارا بودن حداکثر نسبت دی‌اکسید تیتانیوم (۵۰:۵۰) بدلیل افزایش شکاف انرژی (۳/۳۱ eV)، انتقال نوری بالا و بلورینگی خوب جهت استفاده در سلول‌های خورشیدی به عنوان نیمه هادی نوع n مناسب می‌باشد.

## سپاسگزاری

این مقاله از طرح شماره ۹۱۰۰۴۲۵۸ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور استخراج شده و بدینوسیله نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اعلام می‌دارند.

## مراجع

- [1] Z. Wang, J. Xu, Y. Yao, L. Zhang, Y. Wen, H. Song, D. Zhu, *Sensors and Actuators B: Chemical*, **196**, 2014, 357.
- [2] E.P. Arlindo, J.A. Lucindo, C.M. Bastos, P.D. Emmel, *The Journal of Physical Chemistry C*, **116**, 2012, 12946.
- [3] D. Saikia, P.K. Saikia, P.K. Gogoi, P. Saika, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, **6**, 2011, 589.
- [4] Z. Han, J. Zhang, X. Yang, W. Coa, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **95**, 2011, 483.
- [5] M.B. Radoicic, Z.V. Saponjic, M.T. Marinovic-Cincovic, *Journal of the Serbian Chemical Society*, **76**, 2011, 1.