

ساخت نانوالیاف هسته-پوسته اکسیدی به روش الکتروریسی یک مرحله ای

حجت رفیعی پور*^۱، محمد رضا واعظی^۲، اصغر کاظم زاده^۳

۱- دانشجوی دکتری، پژوهشکده فناوری نانو و مواد پیشرفته، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

۲- دانشیار، پژوهشکده فناوری نانو و مواد پیشرفته، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

۳- دانشیار، پژوهشکده نیمه هادی ها، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

*Rafieipour2000@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۳)

چکیده

در این مقاله برای سنتز نانو الیاف هسته - پوسته (دی اکسید قلع - اکسید روی)، از روش الکتروریسی یک مرحله ای استفاده شد. برای نیل به این هدف سوزن هم محور ساخته شده و پیش ماده های اکسیدی (کلرید قلع و استات روی) در محلول آبی پلی وینیل الکل (PVA) حل شده و توسط یک پمپ سرنگ دوتایی تزریق شدند. عملیات کلسینه کردن، بر روی نانو الیاف هسته - پوسته سنتز شده صورت گرفت. مورفولوژی و ریز ساختار نانو الیاف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و طیف سنجی انرژی اشعه ایکس (EDS) و پراش پرتو ایکس (XRD) شناسایی شدند. ساختار نهایی، شامل هسته SnO_2 و پوسته ZnO میباشد. قطر هسته نانو لیف ۴۵ نانومتر و ضخامت پوسته ۲۵ نانومتر می باشد. قطر متوسط نانو الیاف هسته - پوسته کلسینه نشده و کلسینه شده به ترتیب ۱۷۵ و ۷۹ نانومتر می باشد.

واژه های کلیدی:

الکتروریسی، نانوالیاف هسته - پوسته، دی اکسید قلع، اکسید روی.

۱- مقدمه

موثر برای ساخت نانو الیاف پلیمری می باشد، انتخاب شده است. هر سیستم الکتروریسی معمولی شامل سرنگ، سوزن متصل به سرنگ، جمع کننده و منبع تغذیه ولتاژ بالا می باشد [۱۴-۱۳، ۶]. در این فرآیند سوزن نازل به عنوان کاتد و صفحه جمع کننده نقش آند را بر عهده دارد. ولتاژ بالا سبب باردار شدن سیال پلیمری می شود. افزایش نیروی میدان الکتریکی سبب تشکیل مخروط تیلور^۳ شده و نیروی بارهای الکتریکی در سطح سیال بر نیروی کشش سطحی غلبه نموده و محلول از

نانوالیاف، دسته ای از مواد هستند که دو بعد شان کمتر از ۱۰۰ نانومتر، و بعد سوم آن ها چندین برابر قطر شان بوده و نسبت سطح به حجم آن بسیار زیاد می باشد، و لذا آن ها را جزء گروه مواد با ساختار تک بعدی^۱ غیر همگن محسوب مینمایند [۸-۱]. البته به دلیل خواص جالب الیاف تا قطر ۵۰۰ نانومتر، آن ها را نیز جزء نانو الیاف محسوب مینمایند [۹-۱۱]. محاسبه قطر متوسط الیاف با بهره گیری از روشها و نرم افزارهایی از جمله Image J و آنالیز تصویری^۲ انجام می شود [۱۲]. در این تحقیق به دلیل اینکه الکتروریسی یک روش تقریباً ساده، تکرار پذیر، ارزان و

لایه نشانی اتمی^{۱۵} به نانو الیاف با قطر متوسط ۱۵۰ نانومتر [۱۵]، W. Li و همکارانش در دو مرحله الکتروریسی و آبی حرارتی^{۱۶} به نانوالیاف با قطر متوسط ۳۷۰ نانومتر [۲۳]، و K. Y. Pan و همکارانش نیز با استفاده از روش تبخیر حرارتی و ۲۰۰ سیکل لایه نشانی اتمی به نانوسیمهایی با قطر متوسط ۱۵۰ نانومتر دست یافتند [۲۴]. روشهای دو مرحله‌ای دارای محدودیتهایی می‌باشد که مستلزم صرف وقت و هزینه‌های اضافی خواهد شد. بنابراین اگر نانو الیاف مذکور در یک مرحله ساخته شود، موجب صرفه جویی در زمان و هزینه خواهد شد، و لذا هدف اول ما ساخت نانو الیاف در یک مرحله می‌باشد. مزایای روش یک مرحله‌ای نسبت به روش دو مرحله‌ای عبارتند از: ۱- عدم نیاز به راکتور، اتوکلاو و تجهیزات جانبی، ۲- عدم نیاز به سیکل عملیات حرارتی جداگانه برای پوسته و ۳- سرعت سنتز بالاتر نانو الیاف. در این تحقیق برای سنتز نانوالیاف هسته-پوسته اکسیدی از روش "یک مرحله‌ای" برای اولین بار استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد اولیه: مواد ذیل بعنوان پیش ماده استفاده شدند.

۱- پلی وینیل الکل (Art, No. 821038 Merck) با وزن مولکولی ۷۲۰۰۰ گرم بر مول

۲- استات روی دو آب $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (Art, No. A769302639)

۳- کلرید قلع پنج آب $(SnCl_4 \cdot 5H_2O)$ (Sigma Aldrich, 14550)

۴- آب دوبار تقطیر شده (Deionized water) به عنوان حلال پلی وینیل الکل

۲-۲- روش آزمایش

۲-۲-۱- آماده سازی محلول هسته ۶٪ PVA

برای تهیه این محلول، ۰/۶ گرم پلی وینیل الکل را در ۹/۴ میلی لیتر آب دوبار تقطیر ریخته و به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد، با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه هم زده و سپس مقدار ۱ گرم کلرید قلع پنج آب را در محلول فوق ریخته و به مدت ۱ ساعت در دمای محیط هم زده و آن را داخل سرنگ ۱۰

طرف سوزن به سمت هدف (جمع کننده) جریان یافته و بر روی آن تجمع می‌نماید [۲۰-۱۵].

امروزه الکتروریسی پیشرفت های زیادی کرده است. به عنوان مثال سنتز نانو الیاف تو خالی^{۱۷}، الیاف پیوسته سلسله^{۱۸}، و نانو الیاف هسته-پوسته^{۱۹} را می توان بیان نمود [۲۱، ۲۲]. اخیراً پژوهشگران به روش ساخت نانو الیاف هسته - پوسته تو خالی نیز دست یافته اند [۲۳]. غلظت محلول، فاکتور اصلی در تعیین نتایج می باشد، و با استفاده از رابطه مارک - هونیک^{۲۰} تعیین می شود [۶]. نانوالیاف هسته - پوسته کاربردهای فراوانی در صنایع نفت و گاز، پتروشیمی، تشخیص بیماری ها، مهندسی بافت^{۲۱}، دارو رسانی^{۲۲}، کاتالیست ها^{۲۳}، حسگر ها^{۲۴} و غیره دارند [۲۷-۲۴]. در برخی حسگر ها از نانو الیاف پلیمری اکسیدی استفاده می نمایند، که بایستی برای رسیدن به پلی کریستال اکسیدی آنها را پس از سنتز، کلسینه^{۲۵} نمود [۲۹، ۴]. مجموعه الکتروریسی هم محور^{۲۶} با انجام تغییرات اصلاحی در الکتروریسی پایه صورت گرفته است [۶]. در این فرایند تجمع بار الکتریکی در سطح محلول پوسته، سبب خروج آن از سوزن بیرونی خواهد شد. تنش بوجود آمده در فصل مشترک بین محلول هسته و پوسته مخروط الکتروریسی ساده را به "مخروط مرکب تیلور"^{۲۷} تبدیل می نماید (شکل ۱). سپس یک جت هم محور از محلولها در نوک مخروط، بوجود آمده و به سمت کلکتور کشیده خواهد شد [۱۴].



شکل (۱): شماتیک تشکیل مخروط مرکب تیلور [۱۴]

نانوالیاف هسته-پوسته اکسیدی با روشهای متعددی ساخته شده است، که همه آنها دو مرحله ای بوده اند. محققانی از جمله J. Y. Park و همکارانش با استفاده از الکتروریسی و ۴۰۰ سیکل

میلی لیتری ریخته و آماده تزریق می شود.

در این پژوهش برای ایجاد میدان الکتریکی از یک دستگاه منبع تغذیه ولتاژ بالا مدل FC60P2 ساخت شرکت Glassman امریکا استفاده شده است. قطب منفی دستگاه به یک صفحه آلومینیومی به ابعاد $10 \times 10 \times 1/5$ میلی متر مکعب، و قطب مثبت به سوزن هم محور (که طراحی و ساخته شد)، متصل می شود. دستگاه الکتروریسی عمودی رو به بالا تنظیم شده و نانو الیاف بر روی فویل آلومینیم جمع آوری خواهد شد. برای سنتز نانو الیاف شرایط متفاوتی آزمایش شد، که عیوبی از قبیل، قطع شدگی، شلاق زنی، چند شاخه شدن و غیره ایجاد شده و در نهایت نانو الیاف هسته-پوسته با شرایط طبق جدول (۱) سنتز شد.

۲-۲-۲- آماده سازی محلول پوسته ۹٪ PVA

۰/۹ گرم پلی وینیل الکل را در ۹/۱ میلی لیتر آب دو بار تقطیر ریخته و مانند قسمت ۲-۲-۱ ادامه داده، سپس به جای کلرید قلع، ۱ گرم استات روی آبدار را داخل محلول فوق ریخته و بمدت ۱ ساعت در دمای محیط هم زده و آنرا داخل سرنگ ۱۰ میلی لیتری ریخته و آماده تزریق می شود.

۳-۲-۲- الکتروریسی

الکتروریسی الیاف ها توسط پمپ سرنگ دوتایی^{۱۷} مدل SP1000HSM ساخت شرکت فناوران نانو مقیاس انجام گردید.

جدول(۱): شرایط سنتز هسته-پوسته از نظر محلولی و دستگاهی

فاصله سوزن (سانیمتر)	نرخ تزریق (میلی لیتر بر ساعت)	ولتاژ (کیلوولت)	کلرید قلع آبدار (گرم)	استات روی (گرم)	غلظت پلیمر (درصد وزنی)	
					هسته	پوسته
۱۲	۰/۰۵	۱۲	۱	۱	۹٪	۶٪

$Cu K_{\alpha}$ ، نانومتر $\lambda=0.1540$ شناسایی شدند. برای بررسی بیشتر ریز ساختار نانو الیاف از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) با مشخصات: ولتاژ شتاب دهی ۸۰ کیلوولت، مدل دستگاه EM10C، ساخت شرکت Zeiss آلمان، استفاده شد. برای تصویربرداری TEM از گرید formvar carbon coated grid Cu Mesh 300 استفاده شده است. با استفاده از نرم افزارهای Image J و Origin pro 8، نحوه توزیع و انحراف معیار نانو الیاف رسیده شده تعیین گردیدند.

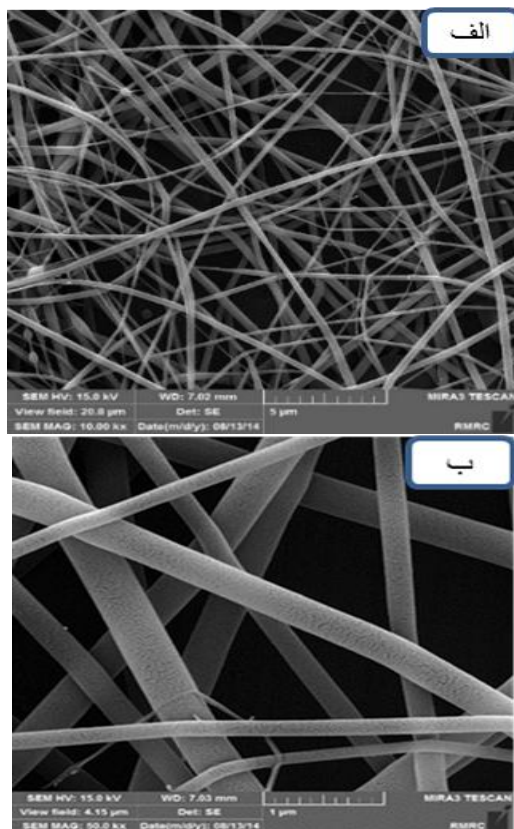
۳- نتایج و بحث

ساختار فازی و کریستالی نانو الیاف کلسینه شده توسط پراش پرتو ایکس (XRD)، با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۵ میلی آمپر مشخص شد. نمونه در محدوده ۷۵-۲۰ درجه با گام ۰/۰۲ درجه و زمان توقف در هر گام ۰/۵ ثانیه مورد آنالیز قرار گرفت. الگوی پراش شکل (۲) نشان می دهد که SnO_2 دارای ساختار

سپس نانو الیاف ساخته شده را تا دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد با نرخ گرمایش ۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه حرارت داده و بمدت ۲ ساعت در دمای فوق در یک کوره مافلی^{۱۸} نگه داشته تا کلسینه شود. در فرآیند کلسیناسیون، باقیمانده حلال و آب در دماهای ۱۷۰ تا ۲۴۰ درجه سانتیگراد تبخیر شده و در دماهای ۵۳۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد زنجیرهای پلیمری پلی وینیل الکل، استات روی و کلرید قلع تجزیه می شود، و استحاله فازی تشکیل کریستالهای اکسید روی و دی اکسید قلع از فاز آمرف در همین محدوده دمایی انجام خواهد شد [۴].

۴-۲-۲- مشخصه یابی: نانو الیاف کلسینه شده SnO_2/ZnO توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) مدل Mira3-XMU، تصویر برداری شده و توسط طیفسنجی انرژی پرتو ایکس (EDS) آنالیز ترکیب شیمیایی و همچنین فازهای SnO_2 و ZnO با دستگاه (XRD, Philips, PW 3710)، طیف

توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) با بزرگنمایی های متفاوت در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است. این تصاویر سطوح صاف و یکنواخت نانو الیاف هسته-پوسته سنتز شده با روش یک مرحله‌ای را نشان می‌دهند. از نظر مقایسه با روش دومرحله‌ای، برای مثال الکتروریسی و سپس لایه نشانی اتمی، بدلیل اینکه کلسینه کردن اضافی و چندین بار لایه نشانی (۴۰۰-۵۰ بار) و پاکسازی‌های متوالی توسط گازهای مختلف در بین هر لایه را دارد، فرایندی طولانی و پرهزینه بوده که در پژوهش حاضر این هزینه‌ها حذف و نانو الیاف هسته-پوسته در زمان کوتاهتری سنتز شده است.



شکل (۳): تصاویر FE-SEM نمونه کلسینه نشده با بزرگنمایی متفاوت: (الف): الیاف متراکم سنتز شده و (ب): الیاف با سطوح صاف و یکنواخت

بلوری اورتورومبیک با صفحات (۰۰۲)، (۰۴۱) و ZnO هگزاگونال با صفحات (۱۰۱)، (۱۰۰) و (۰۰۲) می‌باشد. پیک دیگری که مشاهده می‌شود مربوط به فویل آلومینیم جمع کننده الیاف می‌باشد، و نشان می‌دهد که ساختار نهایی ZnO و SnO₂ بوده و ناخالصی دیگری وجود ندارد. با استفاده از داده های XRD اندازه کریستالی را میتوان از رابطه دبی-شرر، معادله (۱)، بدست آورد.

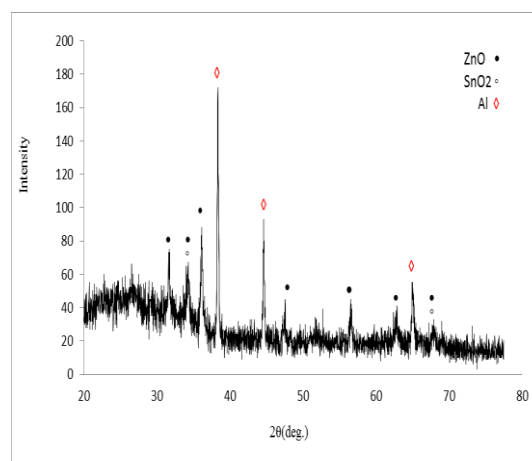
$$\beta D = \frac{k \lambda}{\cos \theta} \quad (1)$$

پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه، D اندازه کریستال، λ طول موج پرتو ایکس، k ثابت شرر تقریباً برابر ۰/۹ و θ زاویه روی محور افقی می‌باشند. براساس این رابطه اندازه کریستال برابر ۴۲/۴ نانومتر بدست آمده است.

ضمناً موقعیت پیک به زاویه 2θ کمتر (از ۳۴/۳۸۲ درجه به ۳۴/۲۸۰ درجه) جابجا شده است، که با توجه به رابطه براگ،

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2)$$

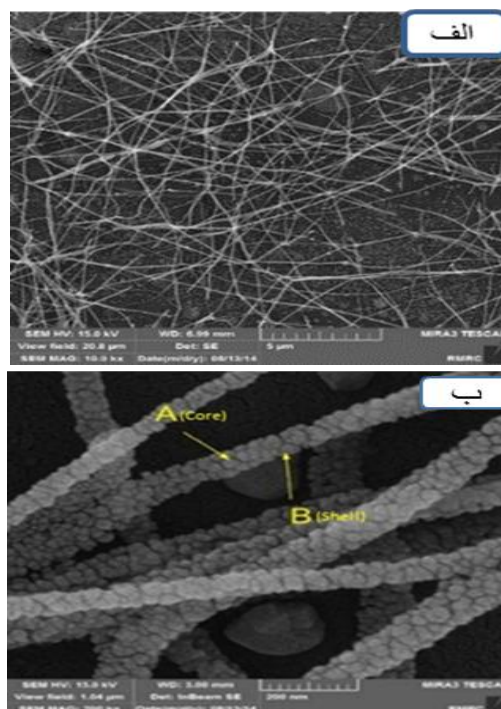
بایستی مقدار d صفحات افزایش یافته باشد. که این مطلب با توجه افزایش d از ۲/۶۰۶ به ۲/۶۱۵ آنگسترم تایید می‌شود.



شکل (۲): پراش پرتو X نانو الیاف هسته-پوسته ZnO - SnO₂

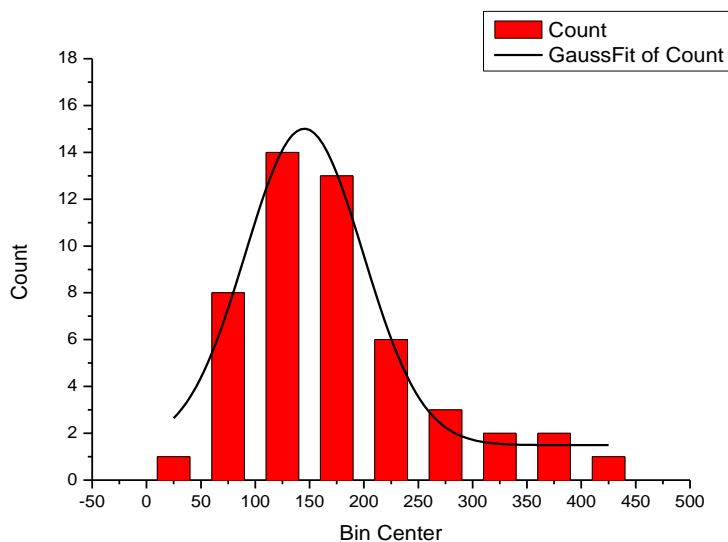
مورفولوژی نانو الیاف در دو حالت کلسینه شده و کلسینه نشده

آماری در شکل (۵) و جدول (۲) آورده شده است. نتایج نشان می دهند که الیاف دارای توزیع نرمال بوده و با توجه به دو ستون وسط نمودار میله ای شکل (۵) قطر ۵۵٪ الیاف کلسینه نشده، بین ۱۲۵ تا ۱۷۵ نانومتر می باشد. و لذا الیاف توزیع نسبتاً خوبی داشته و متوسط قطر الیاف کلسینه نشده و کلسینه شده به ترتیب ۱۷۵ و ۷۹ نانومتر بدست آمده است و با یک محاسبه ساده میتوان فهمید که به علت کلسینه شدن قطر الیاف بطور متوسط ۹۶ نانومتر کاهش داشته است. در مقایسه با کارهای سایر محققین، H. A. Khorami و همکارانش نشان دادند که، ضخامت نانوالیاف کامپوزیتی از ۱۴۷ نانومتر به ۷۵ نانومتر رسیده و ۷۲ نانومتر کاهش داشته [۴]، E. Nikan و همکارانش نیز نشان دادند که، ضخامت نانوالیاف کامپوزیتی از ۶۳۷ نانومتر به ۴۱۰ نانومتر رسیده و ۲۲۷ نانومتر کاهش داشته [۲۹]، W. Li و همکارانش نیز فقط به ذکر کاهش قطر بر اثر کلسینه کردن بسنده کرده و مقدار خاصی را ارائه ننموده اند [۲۳].



شکل (۴): تصاویر FE-SEM نمونه کلسینه شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد با بزرگنمایی متفاوت: (الف): تراکم الیاف کاهش یافته و (ب): الیاف با تخلخل سطحی

در ادامه هیستوگرام توزیع الیاف رسم شده و به کمک معادله گوسی، نحوه توزیع الیاف مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج

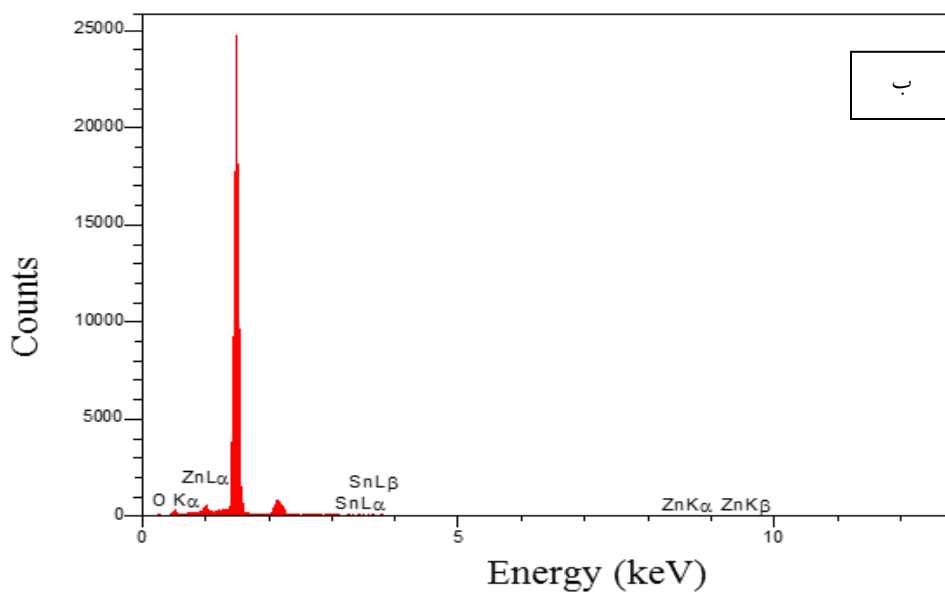
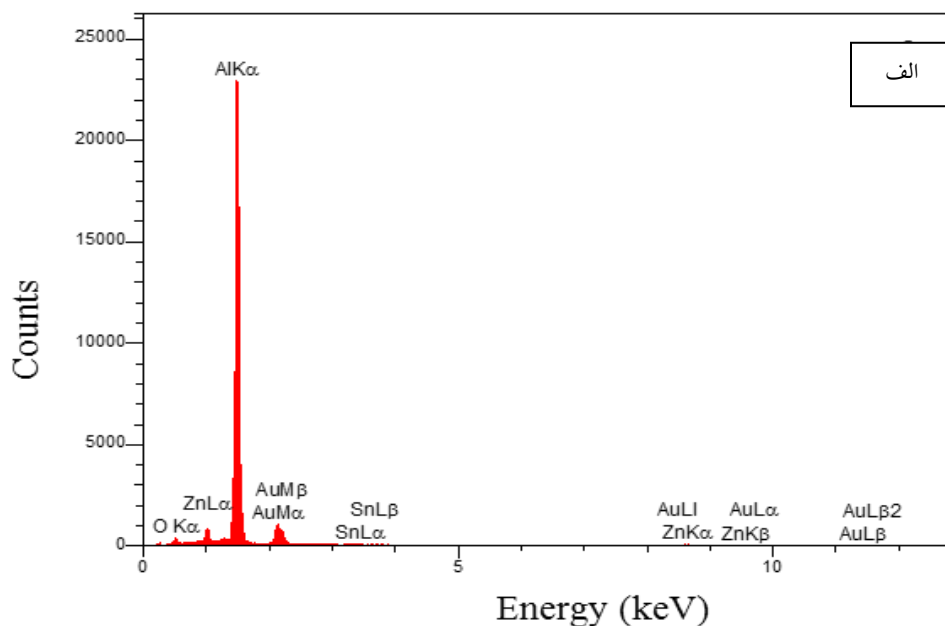


شکل (۵): هیستوگرام و نمودار گوسی الیاف کلسینه شده

در شکل (۴-ب)، آنالیز (EDS) گرفته شد، که نتایج آن در

از نقاط الف و ب یکی از الیاف (هسته و پوسته)، نشان داده شده

جدول (۳) و شکل (۶) آورده شده است.



شکل (۶): آنالیز (EDS) نقاط الف و ب (هسته و پوسته) نشان داده شده در شکل (۴-ب)

جدول (۲): قطر بیشینه، کمینه و متوسط نانو الیاف کلسینه نشده و کلسینه شده

انحراف استاندارد	قطر متوسط (نانومتر)	قطر کمینه (نانومتر)	قطر بیشینه (نانومتر)	وضعیت الیاف
۸/۷۷	۱۷۵/۵	۲۷	۴۰۸	کلسینه نشده
۳/۸۵	۷۹	۲۵	۱۶۵	کلسینه شده

جدول (۳): ترکیب درصد وزنی نقاط A و B نشان داده شده در شکل (۴.ب)

عنصر	O	Al	Zn	Sn	Au	مجموع
درصد وزنی هسته	۴/۴۲	۷۴/۳۳	۰/۹۹	۰/۲۸	۱۹/۹۸	۱۰۰/۰۰
درصد وزنی پوسته	۶/۰۲	۷۰/۴۸	۳/۳۶	۰/۱۷	۱۹/۹۵	۹۹/۹۸

نتیجه دیگر EDS این است که، نسبت درصد وزنی Zn به Sn در پوسته لیف بیشتر از هسته بوده، $\left(\frac{wt.\%Zn}{wt.\%Sn}\right)_{Shell} > \left(\frac{wt.\%Zn}{wt.\%Sn}\right)_{Core}$ و همچنین درصد وزنی Sn، در هسته بیش از پوسته می باشد $(wt.\%Sn)_{Core} > (wt.\%Sn)_{Shell}$ ، که میتواند دلیل دیگری بر سنتز هسته-پوسته، علاوه بر تصویر شکل (۷) باشد.

H. T. Zhuo و همکارانش نشان دادند که هنگام استفاده از پلیمرها بدون پیش ماده اکسیدی فصل مشترک صاف و یکنواخت بوده [۲۱]، ولی در تحقیق حاضر با توجه به شکل (۷)، بدلیل استفاده از پیش ماده های اکسیدی در هسته و پوسته فصل مشترک غیر یکنواخت و ناصاف شده است.

نانو الیاف هسته-پوسته سنتز شده میتواند در سلولهای خورشیدی، صنایع تصفیه، حسگری و غیره مورد استفاده قرار گیرد که هدف از این پژوهش در گام اول سنتز نانوالیاف هسته-پوسته در یک مرحله و گام دوم استفاده از آن در حسگری گازهای الکلی خواهد بود، که بعداً ارائه خواهد شد.

۴- نتیجه گیری

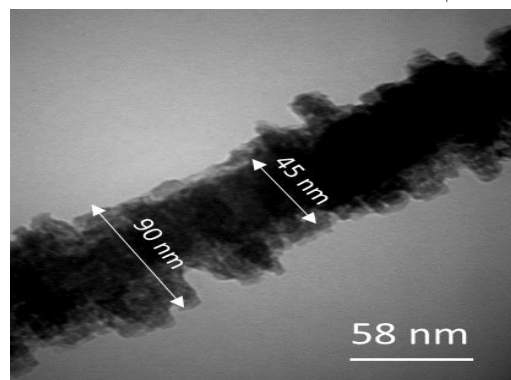
در این پژوهش با استفاده از پلیمر پلی وینیل الکل و پیش ماده های $(SnCl_4 \cdot 5H_2O)$ و $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ نانو الیاف هسته-پوسته $PVA(SnO_2)/PVA(ZnO)$ سنتز شد. با استفاده از داده های XRD اندازه بلورک برابر $42/4$ نانومتر بدست آمده است. موقعیت پیک به زاویه 2θ کمتر شیفیت پیدا کرده، و در نتیجه مقدار d صفحات از $2/606$ به $2/615$ آنگسترم افزایش یافته است.

توسط تصویر FE-SEM قطر متوسط نانو الیاف $175/5$ نانومتر بدست آمده است. بر اثر کلسینه کردن نانو الیاف هسته-پوسته اکسیدی SnO_2/ZnO بدست آمده که قطر متوسط آن 79

مقادیر مربوط Al و Au بدلیل وجود فویل آلومینیم (برای جمع آوری الیاف که قبلاً نیز بیان شد) و پوشش طلا برای SEM می باشد.

بر طبق جدول (۳)، نتایج EDS نشان میدهند که، متوسط نسبت وزنی Zn به Sn برابر $1:9/67$ بدست می آید، که بیانگر بیشتر بودن مقدار Zn و ضخامت بالای پوسته نسبت به هسته می-باشد (ضخامت پوسته 25 نانومتر و ضخامت هسته 45 نانومتر). ولی بر عکس در مرجع [۲۳]، نسبت اتمی Sn به Zn که نانو الیاف بصورت دو مرحله ای تهیه شده است، برابر $3/16$ میباشد که در صورت تبدیل به نسبت وزنی برابر $5/81$ خواهد شد. این نسبت بیانگر کم بودن مقدار Zn و به تبع آن نازک بودن پوسته و ضخیم بودن هسته میباشد، (ضخامت پوسته 12 نانومتر و ضخامت هسته 345 نانومتر). برای تغییر این نسبت بایستی شرایط الکتروریسی و هیدروترمال را تغییر داد، که نسبتاً مشکل و غیر قابل کنترل است. ولی تغییر این نسبت در روش یک مرحله ای با تغییر قطر سوزنهای داخلی و خارجی، و همچنین تغییر نرخ تزریق محلولهای هسته و پوسته انجام می شود.

بمنظور بررسی دقیق تر نانو ساختار، مشاهده مرز هسته و پوسته و ضخامت آنها، تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری انجام شد (شکل ۷).



شکل (۷): تصویر TEM نانو الیاف هسته-پوسته سنتز شده

- [7] J. Y. Park, S. W. Choi, J. W. Lee, Chongmu Lee, & S. S. Kim, "Synthesis and Gas Sensing Properties of TiO₂-ZnO Core-Shell Nanofibers", *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 92, No. 11, pp. 2551-2554, 2009.
- [8] J. Huang & Q. Wan, "Gas Sensors Based on Semiconducting Metal Oxide One-Dimensional Nanostructures", Vol. 9, pp. 9903-9924, 2009.
- [9] A. L. Andrady, "Science and Technology of Polymer Nanofibers", John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [10] P. J. Brown & K. Stevens, "Nanofibers and nanotechnology in textiles", Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2007.
- [11] S. Ramakrishna, K. Fujihara, W. E. Teo, T. C. Lim & Z. Ma, "An Introduction to Electrospinning and Nanofibers", World Scientific, Singapore, 2005.
- [12] Y. Ganjkanlou, A. B. Moghaddam, S. Hosseini, T. Nazari, A. Gazmeh & J. Badraghi, "Application of Image Analysis in the Characterization of Electrospun Nanofibers", *Iran. J. Chemical and Chemical Eng.*, Vol. 33, pp. 37-45, 2014.
- [13] R. J. Wade & J. A. Burdick, "Advances in nanofibrous scaffolds for biomedical applications: From electrospinning to self-assembly", *Nano today*, Vol. 9, pp. 722-742, 2014.
- [14] A. K. Moghe & B. S. Gupta, "Co-axial Electrospinning for Nanofiber Structures: Preparation and Applications", Taylor & Francis Group, LLC *Polymer Reviews*, Vol. 48, pp. 353-377, 2008.
- [15] J. Y. Park, S. W. Choi, S. S. Kim. "A model for the enhancement of gas sensing properties in SnO₂-ZnO core-shell nanofibres", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44, pp. 1-4, 2011.
- [16] K. Asokan, J. Y. Park, S. W. Choi & S. S. Kim, "Nanocomposite ZnO-SnO₂ Nanofibers Synthesized by Electrospinning Method", *Nanoscale Res Lett*, Vol. 5, pp. 747-752, 2010.
- [17] N. Bhardwaj & S. C. Kundu, "Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique", *Biotechnology Advances*, Vol. 28, pp. 325-347, 2010.
- [18] S. W. Choi, J. Y. Park & S. S. Kim, "Synthesis of SnO₂-ZnO core-shell nanofibers via a novel two-
- نانومتر و درصد کاهش قطر نانو الیاف تقریباً ۵۴٪ بدست آمده است. توسط تصویر TEM قطر هسته (SnO₂)، ۴۵ نانومتر و قطر هسته - پوسته (SnO₂/ZnO)، تقریباً ۹۰ نانومتر بدست می‌آید. نسبت وزنی و یا اتمی Sn به Zn را میتوان بعنوان معیاری برای تخمین قطر نسبی هسته و پوسته مورد استفاده قرار داد که می‌توان با تغییر پارامترهای دستگاهی مانند قطر سوزنهای هم محور و نرخ تزریق، به این مهم دست یافت. در روش بکار گرفته شده، به دلیل کاهش مراحل سنتز، از هزینه ها کاسته شده و نانو الیاف با سرعت بیشتری سنتز شده است. ضمناً سنتز نانو الیاف با ضخامت های متفاوت هسته و پوسته به سادگی امکان پذیر میباشد، و در نهایت نتایج توسط TEM و FE-SEM تایید شدند.

۵- مراجع

- [1] F. Barzegar, A. Bello, M. Fabiane, S. Khamlich, D. Momodu, F. Taghizadeh, J. Dangbegnon & N. Manyala, "Preparation and characterization of poly(vinyl alcohol)/graphene nanofibers synthesized by electrospinning", *J. Physics and Chemistry of Solids*, Vol.77, pp. 139-145, 2015.
- [2] R. A. Kadir, Z. Li, A. Z. Sadek, R. A. Rani, A. S. Zoolfakar, M. R. Field, J. Z. Ou, A. F. Chrimes & K. Kalantarzadeh, "Electrospun Granular Hollow SnO₂ Nanofibers Hydrogen Gas Sensors Operating at Low Temperatures", *The J. Physical Chemistry C*, pp. 3129-3139, 2014.
- [3] H. Wu, W. Pan, D. Lin & H. Li, "Electrospinning of ceramic nanofibers: Fabrication, assembly and applications", *Advanced Ceramics*, Vol. 1, No. 1, pp. 2-23, 2012.
- [4] H. A. Khorami, M. Keyanpour-Rad & M. R. Vaezi "Synthesis of SnO₂/ZnO composite nanofibers by electrospinning method and study of its ethanol sensing properties", *Applied Surface Science*, Vol. 257, pp. 7988-7992, 2011.
- [5] I. S. Hwang, S. J. Kim, J. K. Choi, J. Choi, H. Ji, G. T. Kim, G. Cao & J. H. Lee, "Synthesis and gas sensing characteristics of highly crystalline ZnO-SnO₂ core-shell nanowires", *Sensors and Actuators*, Vol. 148B, pp. 595-600, 2010.
- [6] A. Kumar, "Nanofibers", Chapter 22, Intech, Olajnica 19/2, 32000 Vukovar, Croatia, published in India, 2010.

- Nanowires and Their Optoelectronic Properties”, *Nanomaterials*, 1-6, 2012.
- [25] D. H. Reneker & A.L. Yarin, “Electrospinning jets and polymer nanofibers”, *Polymer*, Vol. 49, pp. 2387-2425, 2008.
- [۲۶] ت. احمدی، ا. منشی، و. مرتضوی، م. ح. فتحی و ب. هاشمی، “ساخت و مشخصه یابی غشای پلی کاپرولاکتون فومارات-ژلاتین الکتروریسی شده برای کاربرد بازسازی هدایت شده ی بافت پرپودنتال” فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال نهم، پاییز ۱۳۹۴.
- [27] Y. Q. Wan, Q. Guo & Ning Pan, “Thermo-electro-hydrodynamic model for electrospinning process”, *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, Vol. 5, No. 1, pp. 5-8, 2004.
- [۲۸] ا. نکوبین و م. خدیوی، “بررسی و مطالعه عملکرد سنسور گازی ساخته شده از پوشش نانواکسید روی” فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال هفتم، پاییز ۱۳۹۲.
- [29] E. Nikan, A. A. Khodadadi & Y. Mortazavi, “Highly enhanced response and selectivity of electrospun ZnO-doped SnO₂ sensors to ethanol and CO in presence of CH₄”, *Sensors and Actuators*, Vol. 184B, pp. 196-204, 2013.
- step process and their gas sensing properties”, *Nanotechnology*, Vol. 20, pp. 1-6, 2009.
- [19] J. Y. Park & S. S. Kim, “Growth of Nanograins in Electrospun ZnO Nanofibers”, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 92, No. 8, pp. 1691-1694, 2009.
- [20] A. Frenot & I. S. Chronakis, “Polymer nanofibers assembled by electrospinning”, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 8, pp. 64-75, 2003.
- [21] H. T. Zhuo, J. L. Hu & S. J. Chen, “Coaxial electrospun polyurethane core-shell nanofibers for shape memory and antibacterial nanomaterials”, *eXPRESS Polymer Letters*, Vol. 5, pp. 182-187, 2011.
- [22] B. S. Lee, S. B. Son, K. M. Park, J. H. Seo, S. H. Lee, In-Suk Choi, K. H. Oh & W. R. Yu, “Fabrication of Si core/C shell nanofibers and their electrochemical performances as lithium-ion battery anode” *Journal of Power a Sources*, Vol. 206, pp. 267-273, 2012.
- [23] W. Li, S. Ma, Y. Li, G. Yang, Y. Mao, J. Luo, D. Gengzang, X. Xu & S. Yan, “Enhanced ethanol sensing performance of hollow ZnO-SnO₂ core-shell nanofibers”, *Sensors and Actuators*, Vol. 211B, pp. 392-402, 2015.
- [24] K. Y. Pan, Y. H. Lin, P. S. Lee, J. M. Wu & H. C. Shih, “Synthesis of SnO₂-ZnO Core-Shell

۶- پی نوشت

- [1] One-dimensional
- [2] Image analysis
- [3] Taylor cone
- [4] Hollow
- [5] Hierarchical
- [6] Core-Shell
- [7] Mark-Houwink
- [8] Tissue engineering
- [9] Drug delivery
- [10] Catalysis
- [11] Sensors
- [12] Calcination
- [13] Co-axial electro spinning
- [14] Compound Taylor cone
- [15] Atomic layer deposition
- [16] Hydrothermal method
- [17] Double syringe pump
- [18] Muffle furnace