

Research Paper

Investigation of Optical Properties of Silver Nanoparticle Contamination Effect on Titanium Dioxide Nanofibers¹

Abbas Mobasheri^{*2} and Rasoul Malekfar³

Received: 2021.01.22

Revised: 2021.05.15

Accepted: 2021.06.20

Abstract

Regarding the rapid development of optical communication, finding and preparing new materials with very fast and large optical responses are essential for making optical switches and processing equipment. Recently the use of materials smaller than micrometers and nanometers has been studied by researchers for a wide range of applications. The most important of these materials are nanofibers. Also, titanium dioxide is used as one of the most important materials in the field of optical communication. In this research, titanium dioxide nanoparticles with anatase phase were prepared using the sol-gel method and transformed into nanofibers using the electrospinning technique. To improve the performance of these nanofibers, they were also doped with silver nanoparticles. Raman spectroscopy was performed to ensure the purity of the particles of this material. It was found that the samples are all pure titanium dioxide (TiO₂) powder in nanoscale and there are no impurities in their structure. The particle distribution of these nanomaterials showed that their size is in the range of 10-20 nm. Conditions for nanofiber electrospinning are: 10 cm distance between the needle and the collector, the feed rate of 2 mL/h, and the maximum voltage used was 15.5 kV. Also, silver colloidal nanoparticles were prepared by Li and Masil experimental method. The structure of fibers was studied in terms of material type using Raman spectroscopy and morphology with an optical microscope and fiber conductivity by FT-IR spectroscopy by determining optical coefficients. Optical microscopy showed that the surface of the nanofibers was smooth and flat and without beads. The diameter distribution of nanofibers was also very narrow (155±5 nm). FT-IR spectroscopy showed that on the surface of nanofibers, there were hydroxyl functional groups that were formed during the preparation of nanofibers. Finally, Raman spectroscopy showed the presence of impurities of silver nanoparticles (15±2 nm).

Keywords: *Polyvinyl Pyrrolidone, Electric Spinning, Raman Spectroscopy, Silver Nanoparticles, FTIR Spectrum*

¹ DOI: 10.22051/ijap.2021.36067.1209

² M. Sc. in Physics, Department of Atomic and Molecular Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author). E-mail: mobasheri_11@yahoo.com

³ Professor, Department of Atomic and Molecular Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: malekfar@modares.ac.ir

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهرا
سال یازدهم، پیاپی ۲۴، بهار ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

بررسی خصوصیات نوری نانوساختارهای الیافی TiO_2/PVP تهیه شده به روش الکتروریسی و اثر آرایش آنها با نانوذرات نقره^۱

عباس مبشری*^۲ و رسول ملک فر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

چکیده

در پی توسعه سریع مکالمه نوری ضروری است که مواد جدید با پاسخهای نوری بسیار سریع و بزرگ برای ساخت کلیدهای نوری و تجهیزات پردازش یافته و تهیه شود. امروزه پژوهشگران بررسیهای گستردهای را در زمینه استفاده از مواد با اندازه کوچکتر از میکرومتر و نانومتر برای دامنه وسیعی از کاربردها انجام می دهند؛ مهم ترین این مواد نانوالیاف است. همچنین دی اکسید تیتانیم یکی از مواد بسیار مهمی است که از آن در مکالمه نوری استفاده می شود. در این تحقیق، نانوذرات دی اکسید

¹ DOI: 10.22051/ijap.2021.36067.1209

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسنول) Email: mobasheri_11@yahoo.com

^۳استاد، مرکز تحقیقات، گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. Email: malekfar@modares.ac.ir

تیتانیم با فاز آناتاز با استفاده از روش سل-ژل تهیه و با استفاده از تکنیک الکتروریسی به صورت نانوالیاف درآورده شد. همچنین نانوالیاف با نانوذرات نقره آلایده شد تا عملکرد بهتری پیدا کند. تجزیه و تحلیل طیف سنجی رامان نیز به منظور اطمینان از خلوص ذرات این ماده انجام شد. مشخص گردید که تمام نمونه‌ها پودر خالص دی‌اکسید تیتانیم (TiO₂) در اندازه نانو است و هیچ گونه ناخالصی در ساختار آنها وجود ندارد. توزیع ذرات این نانومواد نشان داد که اندازه آنها در محدوده ۲۰-۱۰ نانومتر است. الکتروریسی نانوالیاف در شرایطی انجام شد که فاصله بین سوزن و جمع کننده ۱۰ سانتی متر، سرعت تغذیه ۲ میلی لیتر بر ساعت و ولتاژ حداکثر ۱۵/۵ کیلوولت بود. همچنین نانوذرات کلوئیدی نقره نیز به روش آزمایشگاهی لی و مسیل آماده شد. ساختار الیاف از نظر نوع مواد با دستگاه طیف سنجی رامان، ریخت شناسی با دستگاه میکروسکوپ اپتیکی و قابلیت رسانندگی الیاف به کمک طیف سنجی FT-IR با تعیین ضرایب اپتیکی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. میکروسکوپ اپتیکی نشان داد که سطح نانوالیاف هموار، مسطح و بدون مهره است. توزیع قطر نانوالیاف نیز بسیار باریک (۱۵۵±۵ نانومتر) بود. طیف سنجی FT-IR نشان دهنده حضور گروه‌های عاملی هیدروکسیلی بر روی سطح نانوالیاف بود که در طول تهیه نانوالیاف به وجود آمده بود. در نهایت طیف سنجی رامان وجود ناخالصی نانوذرات نقره (۱۵±۲ نانومتر) را نشان داد.

واژگان کلیدی: پلی (وینیل پیرولیدون)، الکتروریسی، طیف سنجی رامان، نانوذرات نقره، طیف FT-IR

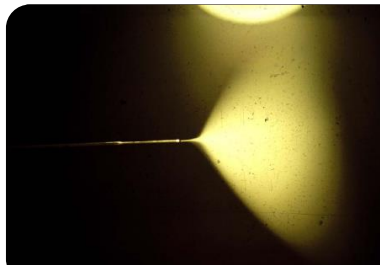
۱. مقدمه

امروزه استفاده بهینه از مواد، در اندازه زیر میکرون و نانومتر از نظر استفاده صنعتی، پزشکی و سایر علوم مرتبط مورد توجه ویژه دانشمندان و پژوهشگران قرار دارد. در این راستا مواد بسیار زیادی با روش‌های شناخته شده به صورت الیاف تهیه شده است؛ در این زمینه می‌توان به روش الیاف‌ریسی در میدان الکتریکی اشاره کرد. واژه الکتروریسی از رسیدن در میدان الکترواستاتیک گرفته شده است و عمر این روش تقریباً به ۶۰ سال پیش برمی‌گردد. از اولین گزارش‌ها می‌توان به محلول پلیمری استات سلولز در میدان الکتریکی اشاره کرد که برای تولید لیف مورد استفاده قرار گرفت [۴-۱]. الکتروریسی روشی آسان برای تولید الیاف پلیمری بلند با قطرهایی در محدوده ۴۰ - ۲۰۰۰ نانومتر است. کوچک‌ترین لیف پلیمری فقط از یک مولکول پلیمری تشکیل می‌شود. پلیمر معمولی

دارای قطری کمتر از چند ده نانومتر است و کوچکترین لیف شناخته شده‌ای که ادعا می‌شود تولید شده است، احتمالاً زنجیره‌ای از اتم‌های کربن است [۵-۸].

۲. ساز و کار تهیه الیاف

الکتروروسی برای سیالات یا مذاب‌های پلیمری باردار به کار برده می‌شود و در اصل توانایی تشکیل یک جت (جریان سریع) پیوسته و پایدار در حضور میدان الکتریکی در مقابل جدایش به قطرات است که در طول رسیدن، تنش سطحی ناپایداری را بین مولکول‌های محلول ایجاد می‌کند؛ این تنش موجب شکستن جریان شارش به قطرات می‌شود و در نتیجه جت پایدار تشکیل می‌شود. این ناپایداری هنگامی که قطر جت کوچک‌تر می‌شود، اهمیت بسیاری می‌یابد. شتاب در جهت میدان الکتریکی به جت باردار وارد می‌شود؛ جت در امتداد محورهای میدان آن قدر کشیده می‌شود تا این که بارهای سطحی با ایجاد نیروی دافعه موجب خمش جت و کشش عمود بر میدان الکتریکی می‌شود. وقتی میدان الکتریکی بین اتم‌های موئینه سوزن و جمع‌کننده به کار برده شود، بار سطحی وارد شده بر مایع پلیمری، شکل قطره‌های معلق کروی را تغییر می‌دهد و به شکل کله قند درمی‌آورد (مخروط تیلور). هنگامی که میدان الکتریکی به مقداری بحرانی برسد - یعنی به مقداری برسد که نیروی الکترواستاتیک بار سطحی بر تنش سطحی غلبه کند - مایع باردار از رأس مخروط فوران می‌کند؛ در این حالت، چگالی جریان الکتریکی روی دهانه خروجی با میدان داخلی برای ایجاد عدم پایداری مقابله می‌کند. خمش مواد خروجی در این حالت الیاف پلیمری کشیده شده‌ای را تولید می‌کند که حلال آن هم‌زمان تبخیر می‌شود. در شکل ۱ مخروط تیلور نشان داده شده است که در آن، محلول به سمت میدان خمش پیدا کرده است. البته تشکیل جت و در نهایت الیاف تولید شده، به عامل‌ها و پارامترهای مختلفی همچون وزن مولکولی پلیمر، پتانسیل به کار برده شده، سرعت شارش محلول از سوزن، سرعت چرخش جمع‌کننده و ... وابسته است [۹].



شکل ۱. نمایی از شارش محلول در میدان الکتریکی

تیلور مقدار بحرانی ولتاژ را برای محلول‌های پلیمری با کشش سطحی کم به صورت زیر به دست آورد [۵]:

$$V_c^2 = \frac{4H^2}{L^2} \left(\ln \frac{2L}{R} - \frac{3}{2} \right) \times 0.117\pi R\gamma$$

در این معادله VC ولتاژ بحرانی برای شکل‌گیری جت است؛ البته وقتی ولتاژ به اندازه کافی باشد، بر تنش سطحی غلبه می‌کند و جتی باردار، مستقیم و نیمه‌پایدار از دهانه سرنگ خارج می‌شود. هدف اصلی ما تولید این نوع از الیاف به صورت تک یا دسته الیاف پیوسته و هم جهت است که کاربردهای زیادی خواهد داشت. البته چون مسیر حرکت جت پلیمری در سه بعد بسیار پیچیده و شلاقی است و باعث پیچش ناپایداری نسبت به خط مستقیم می‌شود، دستیابی به این هدف برای تهیه الیافی که از فرایند الکتروریسی تولید می‌شود، دشوار است.

۱-۲ دی‌اکسید تیتانیم

تیتانیم با عدد اتمی ۲۲، یکی از عناصر شیمیایی گروه چهار جدول تناوبی است. این فلز سفیدرنگ از نظر استحکام مانند فولاد است و پایداری خوبی در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی دارد. سنگ معدن تیتانیم از طبیعت استخراج می‌شود. برای تولید الیاف نانویی دی‌اکسید تیتانیم لازم است که ابتدا پودر این ماده جهت ترکیب با پلیمر مورد نظر و به دست آوردن محلول تهیه شود. روش سل-ژل به علت ساده و کم‌هزینه بودن، روشی متداول برای ساخت پودرهای نانویی دی‌اکسید تیتانیم (TiO₂) است. در این روش از محلول‌های مایع به عنوان مواد اولیه و از ماده‌ای دیگری به عنوان پیش‌برنده (کاتالیزور) استفاده می‌شود. آب موجود در محلول در واکنش‌های غیر گرماده با حرارت دادن در بازه زمانی معین تبخیر می‌شود و در نتیجه ماده ژله‌ای شفاف بر جای می‌ماند؛ این ژل پس از خشک کردن در مدت زمانی مشخص به پودری با ابعاد نانویی تبدیل می‌شود. در شکل ۲ نمونه پودرهای دی‌اکسید تیتانیم را درون قایقک می‌بینید که قرار است درون کوره گذاشته شود تا پس از حرارت دیدن به فاز آناناز برسد.

مطالعه ساختارها و انتقال فازهای مختلف دی‌اکسید تیتانیم، همواره از نقطه نظر مطالعات علمی، کاربردهای فناوری و زیست‌محیطی مورد توجه بوده است. سه ساختار در این ماده وجود دارد که روتیل با ساختار تراگونال تنها فاز پایدار است و انتقال دو فاز

نیمه پایدار آاناتاز و بروکیت به روتیل با حرارت دادن انجام می‌شود [۱۰]. علاوه بر سه ساختار بالا، یک حالت دیگر که ساختار بلوری اورتورومبیک (α -PbO) دارد، نیز مشاهده شده است. این ساختار، به نام سریلانکیت یا $\text{TiO}_2\text{-II}$ ، در طبیعت مشاهده نشده است، اما آزمایش‌های گوناگون نشان داده است که این ساختار می‌تواند از هر سه حالت بلوری دی‌اکسید تیتانیم در فشارهای بالا بدست بیاید [۱۱]. این ساختار در فرایند آسیاب کاری آاناتاز به روتیل به صورت یک فاز میانی نیز مشاهده شده است.



شکل ۲- نمونه پودرهای دی‌اکسید تیتانیم درون قایقک، جهت قرار دادن درون کوره حرارتی

۲-۲ تهیه محلول پلیمری

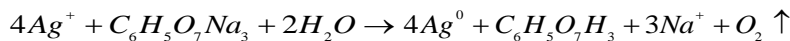
ابتدا آب و اتانول به دلیل پرهیز از الکتروپاشش با نسبت‌های مشخص در چند مرحله به پلیمر اضافه شد و محلول با همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد تا پلیمر داخل حلال حل شود و محلولی یکنواخت و شفاف بدست بیاید. چون اتانول موجود در محلول سرعت تبخیر بالایی دارد، دما تا ۴۰ درجه سانتیگراد بالا برده شد. برای این کار از محلول پلیمری پلی (وینیل پیرولیدون) (PVP) با غلظت ۳۰ درصد وزنی، ۸ gr پلیمر، ۶ ml اتانول و ۱۲ ml آب دوبار تقطیر استفاده شد. محلول به دست آمده جهت تسریع فرایند، جلوگیری از به هم چسبیدن مواد پلیمری و به دست آوردن محلولی یکنواخت و شفاف، به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی هم زده شد. برای آن که TiO_2 بهتر با محلول به دست آمده ترکیب شود، ۱/۲ gr پودر نانویی TiO_2 (آاناتاز، تهیه شده به روش سل-ژل در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد) با ۱۲ ml اتانول مخلوط و به مدت ۱ ساعت در دستگاه مافوق صوت گذاشته شد تا ذرات در اتانول به طور یکنواخت پخش شود. سپس ۵ gr از محلول پلیمری با ۳ gr TiO_2 پخش شده در اتانول مخلوط و به مدت نیم ساعت با همزن مغناطیسی هم زده شد تا محلول یکنواختی به دست بیاید. در شکل ۳ محلول‌های تهیه شده برای این کار پژوهشی نشان داده شده است.



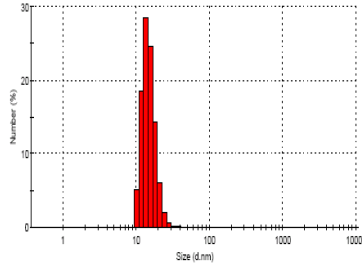
شکل ۳- نمونه محلول‌های ساخته شده برای تهیه نانوالیاف (چپ: محلول پلیمری خالص، ۳۰ درصد وزنی، وسط: محلول پلیمری دارای ۳ gT نانوذرات نقره و راست: کلئوئید ۱/۲ gT نانوذرات نقره پراکنده شده در حلال).

۳-۲ روش تهیه نانوذرات کلئوئید نقره

برای تهیه نانوذرات نقره به صورت کلئوئید سیتراتی و بوروهیدراتی از روش لی و مسیل استفاده شد. به این منظور ابتدا ۹۰ میلی گرم نیترات نقره (AgNO₃) در ۵۰۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده حل شد و محلول حاصل تا نقطه جوش گرم شد. سپس ۷ میلی لیتر محلول آبی تری سدیم سیترات ۱٪ تحت هم زدن شدید، یک باره به محلول در حال جوش اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۸ دقیقه دیگر حرارت داده شد. در نهایت، کلئوئید نقره به رنگ سبز مایل به خاکستری به دست آمد. کلئوئید حاصله به مدت چند هفته پایدار است [۱۲ و ۱۳]. این محلول را کلئوئید نقره سیتراتی می نامیم. سازوکار شیمیایی واکنش به صورت زیر است:



برای بررسی توزیع اندازه ذرات کلئوئید نقره سیتراتی از روش پراکندگی پویای نوری (DLS) یا طیف سنجی همبستگی فوتون (PCS) و از دستگاه Zetasizer Nano- (Malvern) انگلستان برای تعیین توزیع اندازه ذرات استفاده شد. شکل ۴ توزیع اندازه ذرات را برای کلئوئید نقره سیتراتی رقیق شده نشان می دهد. محور افقی به صورت لگاریتمی رسم شده است که تأثیری بر روی تفسیر داده های توزیع اندازه ذره ندارد.



شکل ۴. توزیع اندازه ذرات کلویید نقره رقیق شده سیتراتی. اندازه اغلب ذرات بین ۱۰ تا ۲۰ نانومتر است

در نهایت برای ترکیب با محلول پلیمری، غلظت ۰/۵ مولار از نانوذرات نقره انتخاب گردید و با ترکیب وزنی مشخص ۳۰ درصد وزنی پلیمر و دی اکسید تیتانیم به مدت یک ساعت به کمک دستگاه مافوق صوت در محلول پخش شد. غلظت در این مرحله، به دلیل ترکیب مواد مختلف با یکدیگر، در حد قابل توجهی افزایش می یابد. غلظت محلول پلیمری موثرترین متغیر در کنترل شکل الیاف است و موجب تولید الیاف مرتب می شود، اما قطر الیاف طبق گزارش ها بیشتر می شود. عامل های تأثیر گذار در تهیه نانوالیاف به صورت فاصله ۱۰ سانتی متری بین سوزن و جمع کننده، سرعت تغذیه ۲ میلی لیتر بر ساعت و ولتاژ حداکثر ۱۵/۵ کیلوولت تنظیم شد. فرایند ریسندگی برای محلول پلیمری با رعایت شرایط فوق، به خوبی انجام شد و نانوالیاف یکنواخت به صورت لایه ای نازک و سفید روی ورقه آلومینیم جمع کننده دوار (استوانه ای) جمع آوری شد (شکل ۵). از دستگاه الکترورسی ساخته شده در دانشگاه تربیت مدرس برای تهیه الیاف استفاده شد. شیوه متداول جمع آوری نانوالیاف معمولاً به شکل ایستا انجام می شود، در آن اجازه استراحت کامل به زنجیره های مولکولی داده نمی شود و آرایش الیاف نانویی حفظ نمی شود؛ اما در پژوهش حاضر از یک جمع کننده چرخنده لوله ای استفاده شد، در نتیجه آرایش مولکولی اولیه نانوالیاف که حین انجام آزمایش به دست آمد، حفظ شد.



(ب)

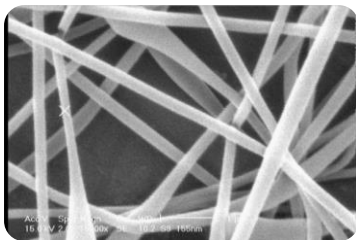


(الف)

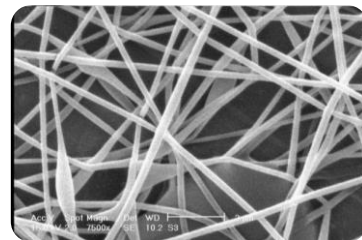
شکل ۵- (الف) انجام فرایند ریسندگی با استفاده از جمع کننده دوار و (ب) نانوالیاف نهایی کلئید نقره سیراتی و محلول PVP/TiO₂ رسیده شده روی ورقه آلومینیم

۳. بررسی خواص اپتیکی نانوالیاف

بررسی خواص اپتیکی ساختارهای نانویی اطلاعات بسیاری را درباره این ذرات به دست داده است؛ از جمله پژوهش های مهمی که در این زمینه انجام شده است، می توان به روش های گزارش شده متعدد مانند مطالعه فوتون های ارتعاشی و ساختار الکترونی با طیف سنجی رامان و FT-IR (Nicolet Magna IR 550, U.S.A.) اشاره کرد [۱۴ و ۱۵]. در این تحقیق نیز مشخصه یابی عناصر و لایه های نازک الیاف بر طیف سنجی آنها با روش های فوق استوار است. در شکل ۶ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوالیاف تهیه شده در این کار پژوهشی نشان داده شده است. تصویرهای شکل ۶ نشان می دهد که بیشتر کردن ولتاژ (۱۵/۵ کیلوولت) نیروی دافعه روی جت را افزایش می دهد و در نتیجه با توجه به درصد پایین ماده کامپوزیتی، الیافی با قطر تقریبی 150 ± 5 نانومتر به صورت یکنواخت و بدون گره به دست می آید. برای تهیه تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی از دستگاه Hitachi S-4160, Japan استفاده شد.



(ب)

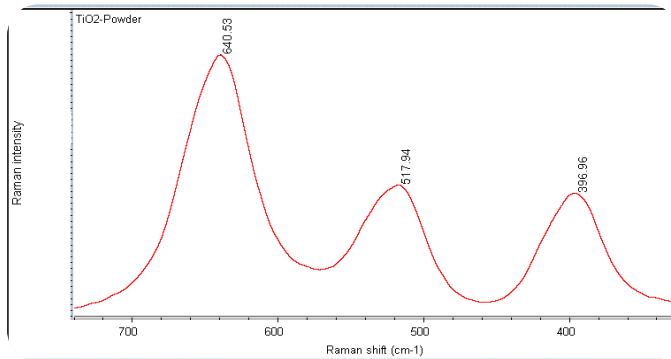


(الف)

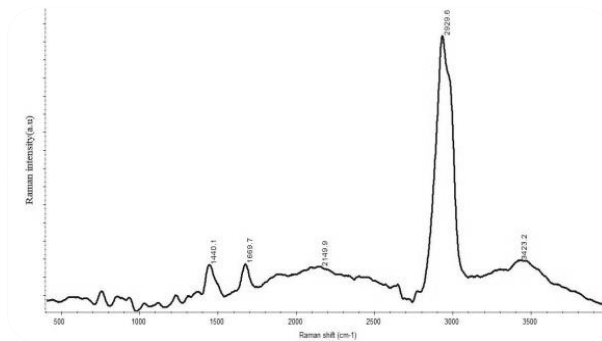
شکل ۶: تصویرهای SEM نانوالیاف کامپوزیتی (الف) بدون نانوذرات نقره سیراتی (ب) با نانوذرات

۱-۳ بررسی طیف‌های رامان

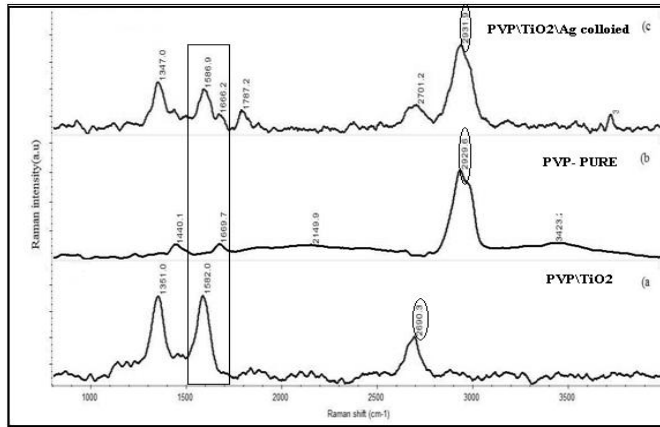
در شکل الف-۷، نانو ذرات TiO_2 در فاز آاناتاز دارای سه قله (مد اصلی) $396/96 \text{ cm}^{-1}$ ، $517/94 \text{ cm}^{-1}$ و $640/53 \text{ cm}^{-1}$ است. در اینجا با توجه به قله‌ای که در 2929 cm^{-1} دیده می‌شود، پیوند CH — ناشی از ارتعاشات کششی شناسایی می‌شود. همچنین در شکل ۷-ب قله در 1669 cm^{-1} نشان دهنده پیوند C-O در ترکیب است که دو قله مهم را در این ترکیب نشان می‌دهد. همچنین قله‌ای که در 2911 cm^{-1} دیده می‌شود، بیانگر پیوند CH — ناشی از ارتعاشات کششی است؛ قله 3388 cm^{-1} وجود عامل OH — را در ترکیب نشان می‌دهد. در طیف ۷-ج در محل قله‌های دی‌اکسید تیتانیم خالص، قله‌هایی با شدت کم در نانوالیاف وجود دارد. این قله‌ها نشان دهنده وجود ناخالصی داخل الیاف است و علت کم بودن شدت آن درصد ناچیز موجود در الیاف به دلیل بالا رفتن غلظت محلول است [۱۴ و ۱۵].



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷- الف) طیف رامان پودر تیتانیوم دی اکسید خالص با فاز آاناتاز (ب) طیف رامان و قله پودر پلیمری پلی (وینیل-پیرولیدون) (ج) طیف های رامان مقایسه ای

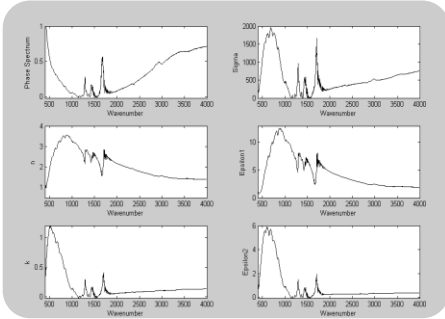
۲-۳ بررسی خواص به کمک طیف سنجی FT-IR

طیف سنجی FT-IR، یکی از روش های خوب و متداولی است که از سال ها پیش برای تجزیه و شناسایی پلیمرها و بعضی افزودنی های آنها مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس تشعش الکترومغناطیس در ناحیه IR مطابق با فرکانس ارتعاش طبیعی اتم های یک پیوند است؛ چنانچه مولکول امواج این ناحیه را جذب کند، مجموعه ای از حرکت های ارتعاشی در آن ایجاد می شود که مبنای این نوع طیف سنجی را تشکیل می دهد. در 442 cm^{-1} قله ای وجود دارد که به ارتعاش نامتقارن کششی پیوند Ti-O ارتباط داده می شود. همچنین قله موجود در ناحیه 3465 مربوط به ارتعاش پیوند O-H است که حضور گروه عاملی هیدروکسیلی را تأیید می کند؛ البته این قله را می توان به آب موجود در نانوذره نیز ارتباط داد که درصد آن کم است. با توجه به هدف ما از این طیف سنجی که تعیین ضرایب حقیقی و موهومی مربوط به نانوالیاف و تعیین ضریب رسانندگی و الکتریکی آنها است، با داشتن طیف بازتابی نمونه ها می توانیم ضرایب اپتیکی را با استفاده از روابط کرامرز-کرونینگ بدست بیاوریم و با توجه به داده ها، میزان ضریب رسانندگی نمونه ها را از روی تغییرات ضرایب حقیقی و موهومی تعیین کنیم. روابط کرامرز-کرونینگ به صورت زیر است:

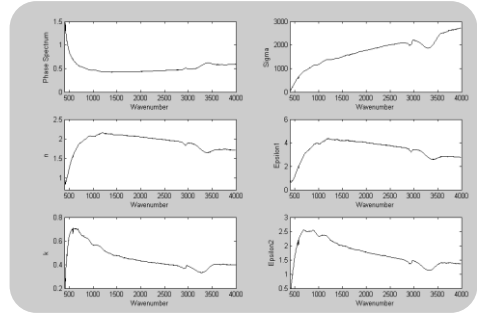
$$\chi(\omega) = \chi_1(\omega) + i\chi_2(\omega)$$

$$\chi_1(\omega) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\chi_2(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega'$$

$$\chi_2(\omega) = -\frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\chi_1(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega'$$



(ب)



(الف)

شکل ۸ (الف) ضرایب اپتیکی و نمودار ضریب رسانندگی نانوالیاف (الف) بدون نانوذرات نقره سیتراتی (ب) با نانوذرات

طیف بازتابی حاصل از نانوفیبرهای کامپوزیتی نمونه‌های مختلف در شکل ۸ قابل مشاهده است. در این جا نیز پیوندهای با شدت کم در طیف رامان مشخص است. از مقایسه طیف بازتابی نانوفیبرهای پلیمری پلی وینیل پیرولیدون با نانوفیبرهای کامپوزیتی حاوی TiO_2 متوجه می‌شویم، آرایش محلول اولیه با نانوذرات نقره و اکسیدنئودیموم موجب تغییراتی در ضرایب اپتیکی و بهبود خاصیت رسانندگی آنها شده است که در شکل ۸ قابل مشاهده است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

واضح است که ورود مواد نانو کامپوزیت به نانوالیاف دی‌اکسید تیتانیم موجب تغییر ضرایب اپتیکی می‌شود. به طوری که در نانوالیاف پلیمری دی‌اکسید تیتانیم ضرایب اپتیکی در بیشتر نقاط یکنواخت و ثابت ماند، اما در حالت کامپوزیتی تغییراتی در طیف بازتابی و ضرایب اپتیکی در طول موج‌های مختلف ایجاد شد. این تغییرات ضریب رسانندگی نانوالیاف کامپوزیتی را افزایش داد و موجب تشکیل لیاف نانویی رسانا شد. رسانایی یکی از خواص کاربردی این لیاف است که می‌توان از آنها در مواد رسانا و نیمه‌رسانا برای هدایت جریان الکتریکی استفاده کرد. تولید نانوالیاف پلیمری با انواع

پلیمرها به دلیل وجود داشتن زنجیره مولکولی درون آنها به کمک روش الکترورسی امکان پذیر است.

۵. تقدیر و تشکر

در پایان لازم می دانم از استادان محترم بخش فیزیک دانشگاه تربیت مدرس، کارکنان و مسئولان بخش و آقای مهندس اله آبادی تشکر و قدردانی نمایم.

منابع

- [1] Huang Z.M., Zhang Y.Z., Kotaki M., Ramakrishna S., A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63 (2003) 223-2253.
- [2] Ludwig T., Bohr C., Queraltó A., Frohnhoven R., Fischer T., Mathur S., Inorganic nanofibers by electrospinning techniques and their application in energy conversion and storage systems, *Semiconductors and Semimetals*, 98 (2018) 1-70.
- [3] Gualandi C., Celli A., Zucchelli A., Focarete M.L., Nanohybrid materials by electrospinning, *Advance Polymer Sciences*, 267 (2015) 87-142.
- [4] Hittini W., Greish Y.E., N.Qamhieh N., Alnaqbi M.A., Zeze D., Mahmoud S.T., Ultrasensitive and low temperature gas sensor based on electrospun organic-inorganic nanofibers, *Organic Electronics*, 81, (2020) 105659.
- [5] Reneker D.H., Chun I., Nanometer diameter fibres of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology*, 7 (1996) 216-223.
- [6] Aryal S., Kim C.K., Kim K.-W., Khil M.S., Kim H.Y., Multi-walled carbon nanotubes/TiO₂ composite nanofiber by electrospinning, *Materials Science and Engineering: C*, 28[1] (2008) 75-79.
- [7] Liu S., Zhang X., Shao H., Xu J., Chen F., Feng Y., Preparation of MoS₂ nanofibers by electrospinning, *Materials Letters*, 73 (2012) 223-225.
- [8] Wessel C., Ostermann R., Dersch R., Smarsly B.M., Formation of inorganic nanofibers from preformed TiO₂ nanoparticles via electrospinning, *Journal of Physical Chemistry C*, 115[2] (2011) 362-372.
- [9] Boland E.D., Coleman B.D., Barnes C.P., Simpson D.G., Wnek G.E., Bowlin G.L., Electrospinning polydioxanone for biomedical applications, *Acta Biomaterialia*, 1 (2005) 115-123.
- [10] Mori K., Surface finishing R&D center central research laboratories Nihon Parkerizing Co., Ltd Photo-Functionalized Materials Using Nanoparticles: Photocatalysis: KONA No. 23 (2005).
- [11] Begin-Colin S., Le Caer G., Mocellin A., Zandona M., Polymorphic transformation of Titania induced by ball milling, *Philosophical Magazine Letters*, 69 (1994) 1-7.
- [12] Wang Z., Zhang Y., Liu S., Zhang T., Preparation of Ag nanoparticles-SnO₂ nanoparticles-reduced graphene oxide hybrids and their application for detection of NO₂ at room temperature, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 222 (2016) 893-903.
- [13] Liu X., Liu Z., Lu J., Wu X., Xu B., Chu W., Electrodeposition preparation of Ag nanoparticles loaded TiO₂ nanotube arrays with enhanced photocatalytic performance, *Applied Surface Science*, 288 (2014) 513-517.

- [14] Smitha S.L., Nissamudeen K.M., Philip D., Gopchandran K.G., Studies on surface plasmon resonance and photoluminescence of silver nanoparticles, *Spectrochimica Acta Part A*, 71 (2008) 186-190.
- [15] Majles Ara M.H., Naderi H., Mobasheri A., Rajabi M.H., Malekfar R., Koushki E., Characterization and nonlinear optical properties of PVP/TiO₂ nano-fibers doping with Ag colloid nano-particles, *Physica E* 48 (2013) 124–127.