

تولید نانوذرات مس بر روی پارچه پلی استر در حین چاپ جوهر افشان

نسیم ذوقی^۱، لاله ملک نیا^{۲*}، محمد ابراهیم علیا^۳

چکیده

چاپ جوهر افشان نانوذرات فلزی یک روش جالب برای ایجاد خطوط رسانا به دلیل هزینه کم، ضایعات کم و فرآیند تقریباً ساده است. در این پژوهش ذرات مس به روش درجا بر روی زیرآیند پلی استر چاپ شد. نمونه‌ها در دماهای (۱۰۰°C و ۱۵۰°C) پخت شد. بهینه اندازه ذرات بین ۴۰ تا ۶۰ نانومتر بود و ظاهر تصویر پرنیت شده با FE-SEM مشاهده شد. خواص الکتریکی و آنتی باکتریال نمونه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. چاپ جوهر افشان الگوهای مس ظاهر فلز مانند ارائه داد و به میزان زیادی دمای پخت بر روی رسانایی تاثیر داشت و در نهایت مقاومت ویژه $10 \text{ M}\Omega/\text{SQ}$ بدست آمد. واژه‌های کلیدی: چاپ جوهر افشان، نانومس، جوهر پارچه، تولید درجا، پارچه پلی استر.

مقدمه

در این مقاله، ما جوهر نانوذرات مس را به روش درجا تولید کردیم. زیرآیند موردنظر پارچه پلی استر تافته می‌باشد. نانوذرات مس در داخل جوهر به روش درجا سنتز شد و جوهر بر روی سطح پارچه تثبیت شد و خواص مختلف جوهرهای سنتزی و پارچه‌های چاپ شده بررسی شد.

محیط هوشمند مهم‌ترین استراتژی دهه اخیر برای پیشبرد صنایع الکترونیک و رایانه بوده که در آن محیط اطراف انسان باید به گونه‌ای هوشمند و در دسترس باشد. فناوری چاپ به عنوان یکی از روش‌های بسیار مناسب برای افزودن خواص الکتریکی به اجزای سازنده منسوجات مطرح می‌باشد که روش چاپ جوهر افشانی به دلیل مزیت‌هایی چون ارزانی، در دسترس بودن و انعطاف پذیر بودن و ... مورد توجه قرار گرفته است. انواع عملیات چاپ شامل استریولیتوگرافی [۱]، لیزر زینترینگ انتخابی [۲]، laminated object manufacture [۳]، چاپ سه بعدی [۴-۶] و چاپ جوهر افشان [۷-۱۰] می‌باشد. فناوری چاپ جوهر افشان با استفاده از با استفاده از جوهرهای هادی الکتریسیته قادر به تولید منسوجات هادی الکتریسیته همراه با قابلیت انعطاف پذیری و هدایت الکتریکی بالا است [۱۱] و [۱۲].

۲- آزمایشات

۲-۱- مواد

ستیل تری متیل آمونیوم برمید (CTAB)، سولفات مس ۵ آب، دی اتیلن گلیکول، تری سدیم سیترات، هیدرازین، پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰، ایزوپروپیل الکل، مونو پیرولیدون ۲۵ و پلی وینیل پیرولیدون (PVP) از شرکت مرک آلمان تهیه شده است.

۲-۲- تهیه جوهر

تهیه جوهر در یک فرآیند دو مرحله‌ای انجام گرفته است:

محلول اول: مقادیر مختلف CTAB (۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۳ گرم) را به همراه مقادیر مختلف سولفات مس (۰٫۲۵، ۰٫۵، ۰٫۷۵ گرم) و ۱۰ میلی لیتر دی اتیلن گلیکول مخلوط کرده و روی همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت قرار داده تا کاملاً یکنواخت شود.

محلول دوم: ۵ میلی لیتر آب دی یونیزه را با مقادیر مختلف تری سدیم سیترات (۰٫۷۵، ۱٫۲۵ و ۱٫۷۵ گرم) مخلوط می‌کنیم.

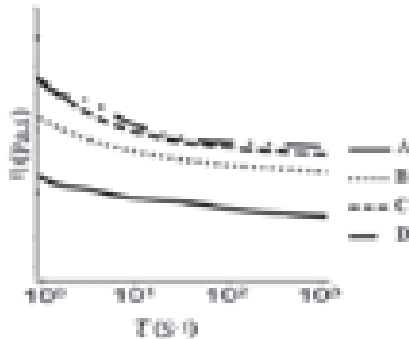
سپس محلول دوم را به محلول اول اضافه می‌کنیم و محلول حاصل را روی همزن مغناطیسی و دمای ۸۰°C قرار می‌دهیم و ۱۰ میلی لیتر هیدرازین را قطره قطره به محلول اضافه کرده تا pH در محدوده ۷٫۵ تا ۸ قرار گیرد. سپس سیترات مس تولید شده را با ۲٫۵ میلی لیتر پلی اتیلن گلیکول و ۱٫۵ میلی لیتر ایزوپروپیل الکل و ۱ میلی لیتر پیرولیدون مخلوط کرده و میزان ۱۰٪ PVP اضافه کرده و با آب دی یونیزه به حجم ۵۰ میلی لیتر می‌رسانیم و به مدت دو

مرکب‌های رسانا نسل جدیدی از مرکب‌ها می‌باشند که کاربردهای فراوانی در سلول‌های خورشیدی، دیویدهای ساطع کننده نور آلی، آنتن‌های شناساگر با فرکانس‌های رادیویی و مدارهای الکترونیکی خواهند داشت. مرکب‌های رسانای جوهر افشان می‌توانند ویژگی الکتریکی را روی زیرایندهای مختلف ایجاد کنند و در طیف گسترده‌ای از کاربردهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرند.

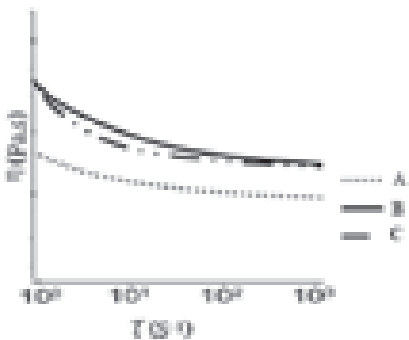
در میان نانو ذرات فلزی، نانو ذرات مس به دلیل قیمت پایین و در دسترس بودن آسان و دارا بودن خواص مشابه به نانوذرات فلزی دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر نانوذرات مس در زمینه‌های مختلف مانند پوشش بر روی سطوح غیرفلزی جهت شبیه کردن سطوح آن‌ها به سطوح فلزی، پوشش‌های ممانعت کننده در برابر سایش و خوردگی، کاتالیست‌ها و همچنین در مواد رسانا مانند کاربردهای الکترونیکی به خصوص به عنوان مواد اصلی در بردهای الکترونیکی چاپ شده، خازن‌های سرامیکی چندلایه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. [۱۳]



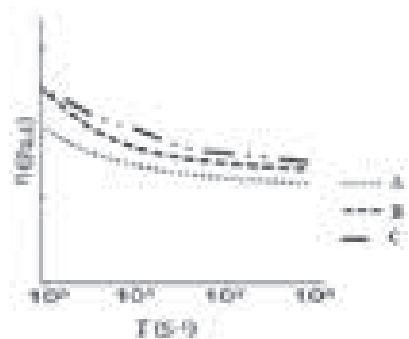
با افزایش سطح فعال ویسکوزیته افزایش پیدا کرده است اما با توجه به اینکه در بین نمونه‌های حاوی ۲ گرم سطح فعال و ۳ گرم سطح فعال تفاوت چندانی وجود ندارد، میزان ۲ گرم سطح فعال به عنوان بهینه در نظر گرفت شده است. در مرحله بعد میزان تری‌سدیم سیترات متغیر در نظر گرفته شده است و مشاهده شده است که میزان ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات بهینه می باشد (شکل ۲) و در نهایت با ثابت نگه داشتن سطح فعال و تری‌سدیم سیترات و تغییر مس میزان بهینه مس ۰/۷۵ گرم حاصل شده است (شکل ۳).



شکل ۱: (A) ۱/۰ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات (B) ۱ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات (C) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات (D) ۳ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات



شکل ۲: (A) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات (B) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات (C) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات



شکل ۳: (A) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۲۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات (B) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات (C) ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات

ساعت بر روی همزن مغناطیسی قرار می‌دهیم تا یکنواخت شود و سپس جوهر ساخته شده را با توان ۱۰۰ وات به مدت ۲۰ دقیقه اولترا سونیک می‌کنیم.

۳-۲- چاپ جوهر بهینه بر روی زیرآیند

پیش از فرآیند چاپ، فرآیند آماده‌سازی زیرآیند انجام گرفت. بدین صورت که پارچه پلی‌استر در داخل آب مقطر و مقداری سود در دمای ۸۰ درجه به مدت یک ساعت قرار گرفته و سپس شستشو داده شد و در داخل آن خشک گردید. چاپ جوهر بهینه، از طریق شبیه‌سازی نازل چاپگر توسط سرنگ ۵ میلی‌متری انجام شد. بعد از چاپ جوهرهای بهینه بر روی زیرآیند پارچه پلی‌استر، نمونه‌های موردنظر در داخل آن با دمای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه به منظور تثبیت قرار گرفتند.

۴-۲- خصوصیات

نانولوله‌های عاملدار و دیسپرس شده با پراش اشعه ایکس /SEIFERT/ PTS 3003 با استفاده از یک کامپیوتر قرار گرفته است. در پرتو تولیدی از دستگاه XRD (مدل X'PERT PRO، شرکت PANALYTICAL) در ۴۰ kV (k = 0.1542 nm) و ۳۰ mA استفاده شده است. محدوده زاویه اندازه‌گیری شده از ۴ تا ۹۰° است و سرعت اسکن ۱°/min است. ترکیبات شیمیایی پارچه توسط طیف‌سنج FTIR مدل [Bomem MB] مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار رئولوژیکی جوهرهای مختلف بوسیله رئومتر AR2000EX در دمای اتاق بررسی شده است. توزیع اندازه SWCNTها بوسیله تکنولوژی پراکندگی دینامیکی نور (DLS) با آنالیزور Malvern Instruments Ltd انجام شد. مورفولوژی جوهرها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM XL30, Philips) بررسی شده است. مورفولوژی سطح نانوالیاف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مدل Sigma شرکت سازنده Zeiss آلمان مطالعه شده است. رسانایی الکتریکی سطح پارچه بر طبق استاندارد AATCC 76 اندازه‌گیری شد.

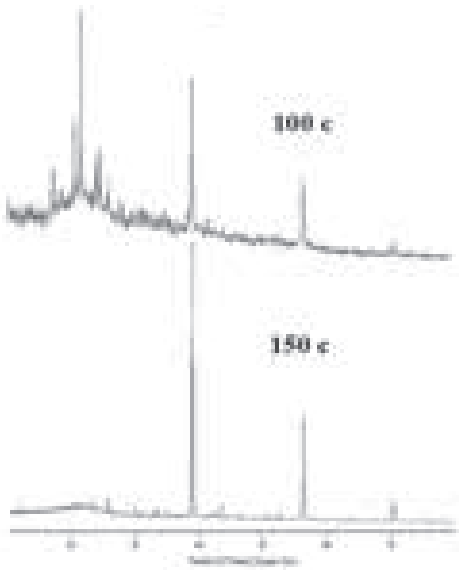
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی رئولوژیکی محلول‌ها

ویسکوزیته جوهر یکی از پارامترهای موثر در استفاده آنها در نازل چاپگر می باشد. یک جوهر با ویسکوزیته بالا می‌تواند یک جت مناسب را ایجاد کند و برعکس ویسکوزیته پایین باعث می‌شود قطره جوهر به شکل هلالی درآمده و در نتیجه سرعت جوهرافشان را کاهش دهد. بدین منظور ویسکوزیته جوهرهای مختلف به منظور بدست آوردن میزان بهینه مواد مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا به منظور بهینه کردن سطح فعال ویسکوزیته ۴ جوهر با مقادیر مختلف سطح فعال مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۱ مشخص است



گرفت دمای بهینه برای تثبیت نانوذرات بر روی سطح ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند باشد.



شکل ۶- طیف سنجی XRD

۳-۴- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)

طیف سنجی FTIR یک ابزار مفید برای شناسایی گروه‌های عاملی در یک مولکول است، بدلیل اینکه هر پیوند شیمیایی اغلب یک باند جذبی خاص را دارا می‌باشد. شکل ۷ طیف FTIR پارچه عمل شده با ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۱/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات را که در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد پخت شده است را نشان می‌دهد. نوار در ۲۹۲۱،۱۷ و 3321.82 cm^{-1} بترتیب متعلق به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن پیوند OH است. حضور باندهای 628.63 cm^{-1} و 1121.78 cm^{-1} حالت‌های مختلف ارتعاش خمشی باند Cu-O را نشان می‌دهد. حضور پیک در 1605.28 cm^{-1} ارتعاش کششی پیوند Cu-O را نشان می‌دهد.

۳-۵- آنالیز SEM جوهر

SEM یکی از بهترین روش‌های مطالعه مورفولوژی نانوذرات می‌باشد. شکل ۸ تصویر SEM جوهر حاوی ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۱/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات را نشان می‌دهد. لایه‌های ذرات مس یک ساختار نازک در حدود ۷۰ نانومتر را دارا می‌باشند. نتایج SEM نشان می‌دهد که ذرات مس دارای مورفولوژی کروی با توزیع ناهمگون هستند.

۳-۶- مورفولوژی زیرآیند چاپ شده

تصاویر FESEM از پارچه‌های پلی‌استر پوشش داده شده و پوشش داده نشده در شکل ۹ ارائه شده است. در مقایسه شکل ۹ مشخص است که سطح پارچه پلی‌استر بعد از پوشش‌دهی به طور قابل توجهی تغییر

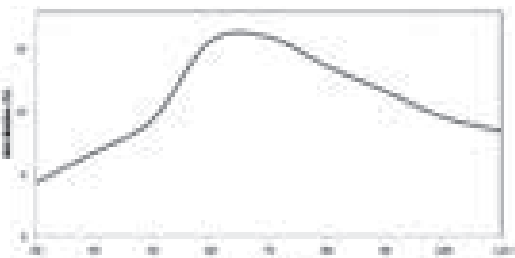
۳-۲- تعیین توزیع اندازه ذرات (DLS)

شکل ۴ اندازه و توزیع نانوذرات را برای دو نمونه از جوهرهای سنتزی براساس داده‌های DLS نشان می‌دهد. از نمودار A مشخص است که بیشترین توزیع اندازه نانوذرات بین ۵۰-۷۰ نانومتر است و واضح است با افزایش میزان تریسدیم سیترات بیشتر توزیع اندازه نانوذرات به محدوده ۶۰-۴۰ نانومتر منتقل شده است که بیانگر این می‌باشد که با افزایش تری‌سدیم سیترات اندازه نانوذرات کوچکتر می‌شود.



شکل ۴: (A) جوهر حاوی ۲ گرم CTAB و ۰/۲۵ گرم مس و ۰/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات، (B) جوهر حاوی ۲ گرم CTAB و ۰/۲۵ گرم مس و ۱/۷۵ گرم تری‌سدیم سیترات

شکل ۵ نمودار توزیع اندازه ذره نمونه بهینه که از آنالیز رئومتریک بدست آمده است را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار توزیع اندازه ذره این نمونه در محدوده ۶۰-۷۰ می‌باشد که با نتایج ارائه شده در شکل ۴ مطابقت دارد و نشان می‌دهد افزایش مس تأثیری بر اندازه سایز ذره ندارد.



شکل ۵: جوهر حاوی ۲ گرم CTAB و ۰/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات

۳-۳- طیف سنجی XRD

شکل ۶ پراش اشعه ایکس برای پارچه عمل شده (۲ گرم سطح فعال، ۱/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری‌سدیم سیترات) و پخت شده در دمای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. نمونه پخت شده در ۱۰۰ درجه سانتیگراد پیک‌هایی در $20=21.48^\circ, 49.02^\circ, 52.22^\circ$ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده $d(111)$ ، $d(200)$ ، $d(200)$ بازتاب ناشی از مس را نشان می‌دهد و پیک‌ها در $20=38.88^\circ, 56.13^\circ$ به فاز اکسید مس اختصاص دارد. با توجه به شکل با افزایش دما به ۱۵۰ درجه سانتیگراد پیک‌های مربوط به مس حذف و شدت پیک‌های اکسید مس در ۳۸/۸۸ و ۵۶/۱۳ افزایش یافته، علاوه بر اینکه پیک‌های اکسید مس جدید در ۳۵/۰۶ و ۷۰/۱۴ نیز بوجود آمده است که بیانگر این می‌باشد که افزایش دما مس اکسید شده و می‌توان نتیجه



شکل ۷- طیف FTIR جوهر ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری سدیم سیترات

۳-۸- خصوصیت آنتی باکتریال زیرآیند

در این مقاله جهت بررسی خواص ضد میکروبی زیرآیند، از روش کشت میکروبی در محیط بلاداگار استفاده شد. مس تحت تابش با طول موجهای مختلف نور ماوراء بنفش، خواص اکسیدکنندگی قوی را از خود بروز می دهد و قادر است ترکیبات ارگانیک متعددی را به دی اکسید کربن، آب و اجزاء غیر ارگانیک، تبدیل نماید. از آنجا که برای اکسید شدن باکتری ها، حضور رادیکال های OH ضروری می باشد، باکتری های مذکور به صورت محلول آبی، روی قرار گرفتند. نتایج این بخش از مطالعه نشان می دهد که با میزان ۰/۷۵ گرم مس، تعداد باکتری های گرم مثبت و گرم منفی بسیار کم شده و بیش از ۹۹٪ خاصیت آنتی باکتریالی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد مشاهده شده است. بنابر نتایج مس توانایی چسبیدن به میکروارگانیسم ها را دارد. آنها می توانند در حذف طیف مختلفی از آلاینده های بیولوژیکی از جمله

کرده است. پارچه های پلی استر بصورت یکنواخت پوشش یافته اند و ذرات مس به خوبی بر روی سطح پارچه پراکنده شده اند. آنالیز EDX پارچه پلی استر پوشش داده شده در شکل ۱۰ ارائه شده است. این نشان می دهد که سنتز نانو ذرات مس بر روی پارچه پلی استری با موفقیت انجام شده است.

۳-۷- خواص الکتریکی

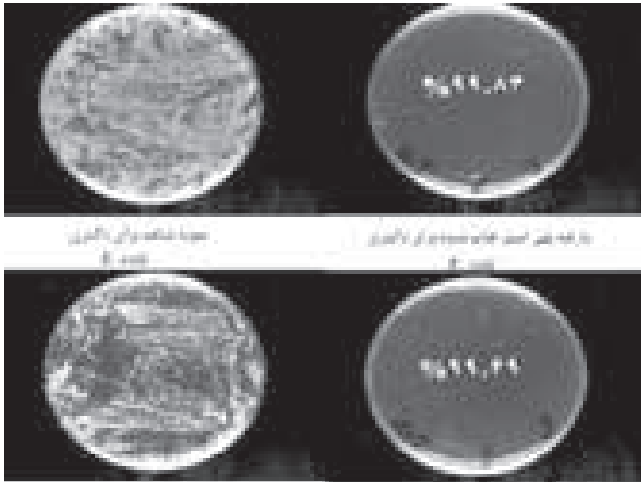
با توجه به اینکه مقاومت الکتریکی با رسانایی نسبت عکس دارد، در نتیجه نمونه ای که دارای کمترین مقاومت است بیشترین رسانایی را به همراه دارد. با توجه به نتایج نمونه ترتیتون پایین ترین مقاومت و در نتیجه بالاترین رسانایی را نشان می دهد.



شکل ۹: (A) پارچه پلی استر پوشش داده نشده (B) پارچه پلی استر پوشش داده شده



شکل ۸: تصویر SEM جوهر حاوی ۲ گرم سطح فعال CTAB، ۰/۷۵ گرم مس و ۱/۲۵ گرم تری سدیم سیترات

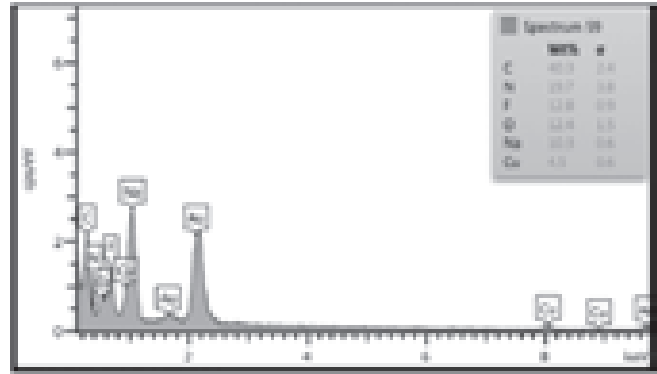


شکل ۱۱: تصاویر آزمون آنتی باکتریال نمونه پارچه پلی استر خام و پارچه پلی استر چاپ شده

۳- دپارتمان محیط زیست، موسسه علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران

۵- مراجع

1. Griffith ML, Halloran JW. Freeform fabrication of ceramics via stereo-lithography. *J Am Ceram Soc* 1996;79:2601-8.
2. Subraminian PK, Marcus HL. Selective laser sintering of alumina using aluminum binder. *Mater Manuf Processes* 1995;10(4):689-718.
3. Klosterman D, Chartoff R, Pak SS. Affordable rapid composite tooling via laminated object manufacturing. In: *Proceedings of the 43rd Int SAMPE Symp Exhibit*, March, 24-28, vol. 41(1). 1996. p. 220-9.
4. Grau J, Cima M, Sachs E. Fabrication alumina molds for slip casting and 3-D printing. *Ceram Int* 1996;146(7):22-7.
5. Sachs E, Cima M, Williams P, Brancazio D, Comie J. Three dimensional printing, rapid tooling prototypes direct from a CAD model. *J Eng Ind ASME* 1992;114(4):481-8.
6. Yoo J, Cima M, Sachs E, Suresh S. Fabrication and microstructural control of advanced ceramics components by three dimensional printing. *Ceram Eng Sci Proc* 1995;16(5):755-62.
7. Soleimani-Gorgani A, Bakhshandeh E, Najafi F. Effect of dispersant agents on morphology and optical-electrical properties of nano indium tin oxide ink-jet ink. *J Eur Ceram Soc* 2014;34:2959-68.
8. Seerden KAM, Reis N, Evans JRG, Grant PS, Halloran JW, Derby B. Ink-jet printing of wax-based alumina suspensions. *J Am Ceram Soc* 2001;84:2514-20.
9. Zhao XL, Evens JRG, Edirsinghe MJ. Direct ink jet printing of vertical walls. *J Am Ceram Soc* 2002;85:2113-5.
10. Hosseini Zori M, Soleimani-Gorgani A. Ink-jet printing of micro-emulsion TiO₂ nano-particles ink on the surface of glass. *J Eur Ceram Soc* 2012;32:4271-7.
11. S. M. Bidoki, Using Nanotechnology in the Chemical Deposition of Conductive Patterns on Textiles and Flexible Substrates, Ph.D. Thesis, University of Leeds, Oct. 2006.
12. S. M. Bidoki, D. McGorman, D. M. Lewis, M. Clark, G. Horler, and R. E. Miles, "Ink-jet printing of conductive patterns on textiles fabrics," *University of Leeds, AATCC Review*, vol. 5, no. 6, pp. 11-13, Jun. 2005.
13. Amir Rezvani Moghadam, Marziyeh Khatibzadeh. Different Synthesis Methods of Copper Nanoparticles Used in Conductive Inks: Effective Parameters on the Synthesis. *Journal of Studies in Color World*, Vol.4, No. 4 (2015) 49-62



شکل ۱۰: آنالیز EDX پارچه پلی استر پوشش داده شده

باکتری، ویروس و مواد آلی طبیعی استفاده شوند. این بدلیل ترکیبات آنتی باکتریالی مس است که به سطح سلول باکتری حمله می کنند و مسیرهای متابولیکی واقع در سلول را تخریب می کنند. متعاقباً، محتویات داخلی بدلیل شکستگی سلول توسط تنش اکسید، خارج می شود.

جدول ۱: تعیین میزان مقاومت الکتریکی (A) ۲ گرم CTAB، ۰/۲۵ گرم مس، ۱/۷۵ گرم تری سدیم سیترات در دمای ۱۰۰°C،

(B) ۲ گرم CTAB، ۰/۲۵ گرم مس، ۱/۷۵ گرم تری سدیم سیترات در دمای ۱۵۰°C، (C) ۲ گرم CTAB، ۰/۷۵ گرم مس، ۱/۲۵ گرم تری سدیم سیترات در دمای ۱۰۰°C، (D) ۲ گرم CTAB، ۰/۷۵ گرم مس، ۱/۲۵ گرم تری سدیم سیترات در دمای ۱۵۰°C

	Wt(%)	Dens(g)	Q ₁₀ (Hz)	R _s (MΩ/cm ²)
A	7.8	1	7.4	77
B	7.8	1	8	79
C	7.8	1	8	80
D	7.8	1	7.9	78

۴- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش سنتز درجا نانوذرات مس بر روی زیرآیند بود که با موفقیت صورت گرفت. نتایج آنالیز رئومتریک نشان می دهد بهترین ویسکوزیته مرکب مربوط به جوهر حاوی ۲ گرم دیسپرس کننده، ۱/۲۵ گرم تری سدیم سیترات و ۰/۷۵ گرم سولفات مس می باشد. سپس آنالیزهای مختلف به منظور بررسی خصوصیات مرکب و پارچه های چاپ شده انجام گرفته است. آزمون DLS نشان داد که هر چه غلظت نمک تری سدیم سیترات بیشتر شود اندازه نانوذرات کوچکتر می شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می دهد که لایه های ذرات مس یک ساختار نازک در حدود ۷۰ نانومتر را دارا می باشند و داری مرفولوژی کروی با توزیع ناهمگون هستند. با توجه به نتایج تست الکتریکی و سایر آنالیزها جوهر حاوی ۲ گرم CTAB، ۰/۷۵ گرم مس و ۰/۲۵ گرم تری سدیم سیترات جوهر بهینه می باشد.

پی نوشت:

- ۱- دپارتمان پلیمر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- دپارتمان نساجی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران