

اثر زمان رسوب‌گذاری و غلظت پیش‌ماده بر لایه نشانی نانو ذرات نقره روی پارچه پلی‌استر با

جت پلاسمایی

مهدی شریعت

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

چکیده

چاپ پلاسمایی به عنوان یک روش نوین برای رسوب‌گذاری نانو مواد کاربردی، روی زیر لایه‌های مختلف در حال توسعه است. در این کار، از یک جت پلاسمای غیر حرارتی که در فشار اتمسفری کار می‌کند برای رسوب‌گذاری نانو ذرات نقره روی زیر لایه‌های انعطاف‌پذیر پارچه پلی‌استر استفاده شد. قطرات میکرومتری، از محلول نیترات نقره در معرض پلازما قرار گرفته و به نانو ذرات نقره احیا می‌شود. این نانو ذرات به کمک پلازما روی سطح زیرلایه به طور کنترل شده رسوب‌گذاری می‌شود. نتایج پراش پرتوی ایکس نشان داد که نانو مواد نقره با ساختار بلوری مکعبی مرکز سطحی روی زیرلایه پارچه پلی‌استر چاپ شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی تأیید کرد که نانو ذرات نقره تقریباً کروی شکل روی سطح زیرلایه، لایه نشانی شده است. اثر پراکندگی رامان ارتقاء یافته سطحی (SERS) پارچه‌های لایه نشانی شده با پلازما توسط مولکول نشانگر رودامین بی مورد بررسی قرار گرفت. اثر SERS پارچه‌های رسوب‌گذاری شده در غلظت‌های مختلف پیش ماده نقره و زمان‌های مختلف لایه نشانی مورد مطالعه قرار گرفت. بیشترین اثر SERS برای پارچه چاپ شده در غلظت نیترات نقره ۲۴mM و طی زمان رسوب‌گذاری ۵ دقیقه حاصل شد. همچنین، از پارچه چاپ شده نقره برای شناسایی باقی‌مانده سولفایت در کشمش دودی شده با SO₂ استفاده شد، که این نشان دهنده پتانسیل بالا این زیر لایه‌های SERS برای ردیابی سموم در صنایع غذایی است.

واژه‌های کلیدی: جت پلاسمای غیر حرارتی، نانوذرات نقره، پراکندگی رامان ارتقاء یافته سطحی، پارچه.

ایمیل نویسنده مسئول: m.shariat@vru.ac.ir

۱- مقدمه

نانو ذرات نقره به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد الکتریکی، زیستی و شیمیایی به شدت مورد توجه می‌باشند. از این نانو ذرات به طور گسترده در اتصالات الکتریکی، مواد ضد باکتری و زیر لایه‌های پراکندگی رامان ارتقاء یافته سطحی (SERS) مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۳]. SERS به دلیل، حساسیت فوق‌العاده، سرعت بالا و غیر مخرب بودن، یک فن قدرتمند برای کاربرد در حوزه‌ای مختلف از جمله امنیت غذایی، شناسایی آلاینده‌های محیطی و تجزیه و تحلیل پزشکی می‌باشد [۴-۶]. در اثر SERS، نانو ذرات فلزی مانند نقره قادرند تشدید پلاسمون سطحی ایجاد کنند که سیگنال رامان مربوط به ماده آنالیز شونده، نزدیک این نانوذرات را به طور

چشمگیری تقویت کند [۷]. عملکرد SERS ناشی از نانوذرات فلزی، به شدت متأثر از دو عامل مهم، یکی ویژگی‌های زیر لایه و دیگری، روش رسوب‌گذاری است. در بین انواع مختلف زیر لایه‌های انعطاف‌پذیر SERS، پارچه به دلیل دارا بودن استحکام مکانیکی بالا، ساختار متخلخل، نرم، سبکی و نفوذپذیری بالا بیشتر مورد توجه است [۸]. لیو و همکارانش نشان دادند که پارچه‌های پلی‌استر و نایلون لایه نشانی شده با نانو ساختارهای نقره در بین انواع پارچه‌های کتان، ابریشم، نایلون، پشمی و پلی‌استر دارای بیشترین اثر SERS می‌باشند [۹]. روش‌های متنوعی از جمله کندو پاش، غوطه‌وری و چاپ برای رسوب‌گذاری نانو ساختارهای نقره روی پارچه مطرح شده است [۱۰-۱۳]. این روش‌ها معمولاً نیاز به صرف زمان و هزینه بالایی دارند و بعضاً در تولید آن‌ها از عوامل احیاکننده و

روی زیر لایه کاغذ برای شناسایی کوکابین استفاده کردند [۲۱].

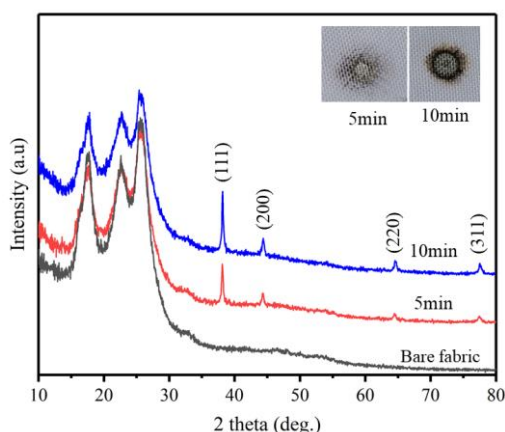
در این کار، نانو ذرات نقره توسط جت پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفری روی پارچه پلی استر چاپ می شود. این روش امکان تولید و رسوب گذاری لایه ای از نانو ذرات نقره را به طور مستقیم از محلول پیش ماده نیترات نقره، بدون نیاز به مواد اضافی برای احیا و تثبیت نانو ذرات فراهم می آورد؛ و دیگر به تهیه جداگانه نانو ذرات برای تهیه جوهر نیازی نیست. از رودامین بی به عنوان مولکول نشانگر به منظور بررسی خواص SERS لایه های ایجاد شده استفاده می شود. از این زیر لایه های SERS برای شناسایی آلودگی اکسید گوگرد در کشمش خشک شده استفاده می شود.

۲- بخش تجربی

نیترات نقره (AgNO_3)، اتانول، متانول، سدیم هیدروکسید (NaOH) و رودامین بی (RhB) از شرکت مرک خریداری و بدون خالص سازی بیشتر استفاده شد. پارچه پلی استر بافت تافته خریداری شده و در اندازه های $3 \times 3 \text{ cm}$ به عنوان زیر لایه استفاده شد. همچنین کشمش بخور داده شده با SO_2 (800 gh/m^3) طی فرایندهای مطرح شده در مطالعات گذشته، تهیه شد [۲۲]. از یک جت پلاسمای غیر حرارتی برای چاپ نانو ذرات نقره روی سطح پارچه پلی استر استفاده شد. عکس و طرحواره این جت در شکل ۱ مشاهده می شود که شامل دو الکتروود و یک لوله کوآرتز با قطر داخلی 4 mm و قطر خارجی 8 mm است. در مرکز لوله کوآرتز یک لوله استیل به قطر خارجی 2 mm و قطر داخلی 1 mm به عنوان الکتروود اصلی قرار می گیرد. الکتروود زمین یک نوار مسی با عرض 7 mm می باشد که لوله کوآرتز را احاطه می کند. برای تولید پلاسمای این دو الکتروود به یک منبع تغذیه سینوسی با ولتاژ کاری 7 kV و فرکانس 18 kHz متصل می شوند. از گاز آرگون برای تولید پلاسمای انتقال آئروسول پیش ماده استفاده می شود. گاز پلاسمای با نرخ شار 2 SLPM در اطراف الکتروود اصلی به لوله کوآرتز شارش می یابد و با عبور از بین دو الکتروود پلاسمای می شود. از طرف دیگر، گاز حامل با نرخ شار 0.5 SLPM به نبولایزر التراسونیک (OMRON NE-780)، حاوی محلول پیش ماده وارد می شود و با عبور از این نبولایزر،

تثبیت کننده شیمیایی استفاده می شود که ممکن است باقی مانده آن ها بر عملکرد SERS غلظت های پایین آنالیز شونده ها تأثیر نامطلوبی داشته باشد. روش های جایگزین که می تواند پیچیدگی، هزینه و زمان رسوب گذاری نانو ذرات نقره، روی پارچه را کاهش دهد بسیار مطلوب است. یک روش رسوب گذاری کارآمد که طی دهه اخیر مطرح شده چاپگر جت پلاسمایی است. پلاسمای این جت ها یک منبع غنی از گونه های فعال به ویژه الکترون های پرانرژی است [۱۴]. در برهم کنش پلاسمای با سطح مایع، الکترون های پرانرژی در سطح مایع نفوذ می کنند و الکترون های حل شده را تشکیل می دهند [۱۵]. رومباچ و همکارانش تخمین زدند که این الکترون های حل شده در سطح مایع تا عمق $2/5 \text{ nm}$ نفوذ می کنند و غلظت آن ها در سطح مایع را حدوداً 1 mM برآورد کردند [۱۶]. حال اگر قطرات میکرومتری از مایع در معرض پلاسمای قرار گیرد الکترون های بیشتری در سطح قطرات حل می شوند. یون های فلزی محلول در این قطرات معلق در پلاسمای به صورت آنی توسط الکترون های حل شده احیا می شوند و نانو ذرات فلزی را تشکیل می دهند [۱۴]. مگویر و همکارانش قطراتی با قطر تقریباً $15 \mu\text{m}$ میکرومتری از محلول HAuCl_4 را طی زمان $100 \mu\text{s}$ در معرض پلاسمای قرار دادند و توانستند نانو ذرات طلا در این قطرات معلق در پلاسمای را تولید نمایند. آن ها به نانو ذراتی با قطر متوسط حدوداً 4 nm دست یافتند [۱۷]. این نانو ذرات همچنین می توانند روی زیر لایه مورد نظر رسوب گذاری شوند. در مطالعات اخیر، نانو ساختارهای متنوعی از جمله نانولوله های کربنی، نانوسیم های نقره، نانو ساختارهای اکسید مس، اکسید گرافن و اکسید تیتانیوم با چاپگر جت پلاسمایی رسوب گذاری شده است [۱۸-۲۰]. در این مطالعات، معمولاً از جوهری استفاده می شود که شامل نانو ساختار مورد نظر می باشد و با جت پلاسمایی، لایه نشانی و پخت آن ها انجام گرفته است. هونگ و همکارانش با استفاده از جت پلاسمایی، نانو ذرات طلا را به طور مستقیم از محلول HAuCl_4 تولید و چاپ نمودند. آن ها نانو ذرات طلا را روی زیر لایه های مختلف کاغذ، آلومینیوم و سیلیکون چاپ کردند. آن ها نشان دادند که این نانو ذرات طلا چاپ شده با پلاسمای دارای اثر SERS خوبی است و از این نانو ذرات چاپ شده

و آب دی یونیزه با نسبت حجمی برابر مخلوط شده و توسط کاغذ صافی محلول شفافی حاصل شد. ۱۰ μl از این محلول روی سطح پارچه خام و پارچه چاپ شده نقره چکانده می‌شود بعد از خشک شدن از آن‌ها طیف رامان گرفته می‌شود. برای طیف‌سنجی رامان از دستگاه مدل تکرار در طول موج ۵۳۲nm با توان ۲۰mW و زمان طیف‌گیری ۱۰s استفاده شد.

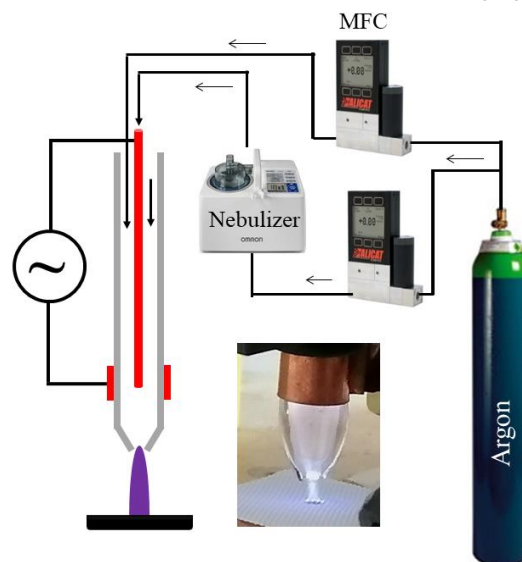


شکل ۲: نمودار پراش پرتو ایکس و تصاویر از پارچه‌های پلی‌استر لایه‌نشانی شده در زمان‌های مختلف

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

با عبور گاز آرگون از نبولایزر حاوی محلول پیش ماده نقره، آنروسلی از پیش ماده برای مدت زمان کوتاهی در معرض پلاسما قرار می‌گیرد. الکترون‌های پلاسما می‌توانند به سطح قطرات نفوذ کنند و یون‌های نقره (Ag^+) را به اتم‌های نقره (Ag^0) احیا کنند و در نتیجه ذرات نقره را تشکیل دهند. این ذرات توسط پلاسما روی سطح زیر لایه پارچه رسوب‌گذاری می‌شود. شکل ۲، نمودار پراش پرتوی ایکس از پارچه خام و پارچه رسوب‌گذاری شده طی مدت زمان ۵ و ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد. الگوی XRD پارچه خام هیچ قله مشخصه ساختار نقره را نشان نمی‌دهد. اما پارچه چاپ شده دارای قله‌هایی در زوایای 2θ ، ۳۸/۱، ۴۴/۳، ۶۴/۶ و ۷۷/۴° معرف صفحات بلوری (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) ساختار نقره است (JCPDS: 04-0783). این صفحات نشان از تشکیل ساختار بلوری مکعبی مرکز سطحی در نانو ساختارهای نقره رسوب شده، دارد. این نمودارها، تشکیل نانو ذرات نقره با خلوص بالا، روی سطح پارچه پلی‌استر را تأیید می‌کند. می‌توان اندازه

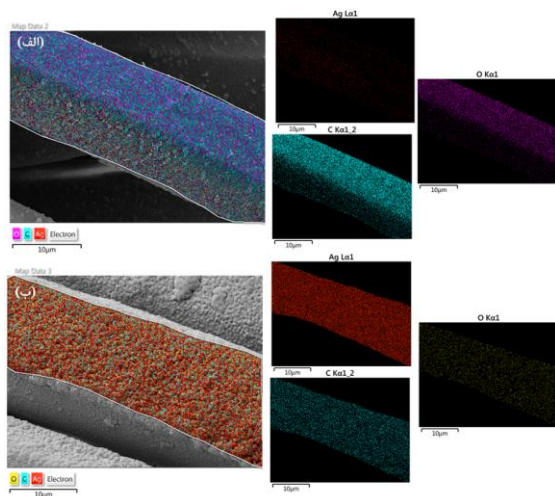
آنروسلی از قطرات محلول پیش ماده نقره از داخل لوله استیل به پلاسما تزریق می‌شود و با گونه‌های فعال پلاسما برهمکنش می‌کند و در نهایت نانو ذرات نقره روی سطح زیر لایه پارچه به فاصله ۳mm از نازل جت پلاسمایی، رسوب‌گذاری می‌شود. پیش ماده نقره شامل مقدار مشخصی از نمک $AgNO_3$ در محلول اتانول و آب دی یونیزه با نسبت حجمی ۱:۱ حل شد تا محلولی با غلظت‌های مختلف (۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸mM) حاصل شود. قبل از فرایند رسوب‌گذاری، همه زیر لایه‌های پارچه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای $80^\circ C$ درون محلول NaOH، ۱۰۰ mM قرار گرفته و سپس به خوبی توسط آب دو بار تقطیر شستشو شده و در آن با دمای $70^\circ C$ خشک شدند.



شکل ۱: طرح‌واره سامانه چاپگر جت پلاسمایی

برای آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD) از دستگاه 'X' Pert Pro، شرکت Panalytical بهره گرفته شد. به منظور تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) از دستگاه مدل Sigma VP شرکت ZEISS (آلمان) استفاده شد. از محلول رودامین بی در اتانول با غلظت $10^{-5} M$ به عنوان مولکول نشانگر برای بررسی عملکرد پراکندگی رامان ارتقاء یافته سطحی نانو ذرات نقره چاپ شده روی پارچه پلی‌استر استفاده شد. نمونه‌های رسوب‌گذاری شده در شرایط مختلف در محلول RhB با غلظت $10^{-5} M$ غوطه‌ور می‌شود. بعد از خشک شدن نمونه‌ها، از آن‌ها طیف رامان تهیه می‌شود. ۱۰ gr کشمش دودی شده با اکسید گوگرد، آسیاب شد و با ۴۰ ml متانول

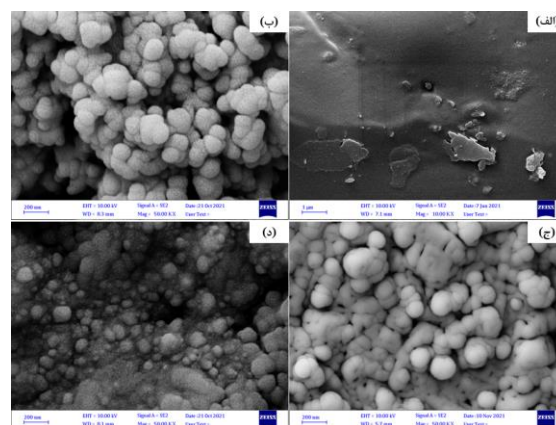
پوشیده شده است (شکل ۳ب). با توجه به شکل ۳ اندازه متوسط نانو ذرات نقره رسوب شده برای غلظت پیش ماده ۱۲، ۲۴ و ۳۶mM به ترتیب در حدود ۱۴۱، ۱۴۶ و ۱۵۰nm تخمین زده می‌شود. بنابراین با افزایش غلظت یون‌ها نقره در قطرات اندازه ذرات تغییر چندانی نمی‌کند، بلکه با افزایش غلظت پیش ماده نقره، تعداد نانوذرات بیشتری در قطرات تولید می‌شوند که این باعث انباشته شدن آن‌ها به یکدیگر و رسوب‌گذاری توده‌های بزرگ‌تر روی زیر لایه می‌شود. این رفتار ممکنه به این دلیل باشد که با افزایش غلظت نیترات نقره در محلول پیش ماده (و در نتیجه افزایش جمعیت یون‌های نقره در هر قطره) تعداد هسته‌های اولیه تشکیل دهنده نانو ذرات افزایش می‌یابد و این هسته‌های اولیه رشد کرده و نانو ذرات را شکل می‌دهند که این ذرات به یکدیگر می‌چسبند و توده‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند.



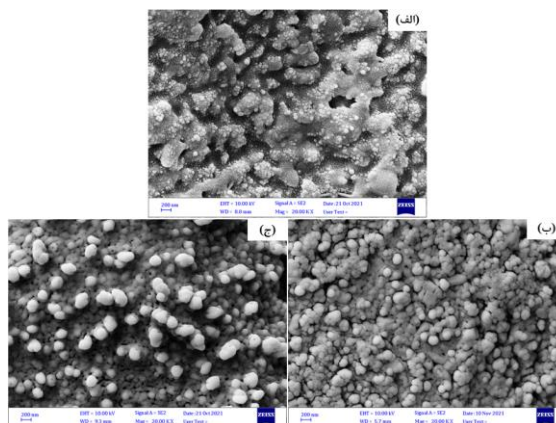
شکل ۵: تصاویر نقشه‌برداری عنصری از الیاف پارچه لایه نشانی شده طی زمان ۱ و ۵ دقیقه

شکل ۴، تصاویر FESEM از نانو ذرات رسوب شده روی الیاف پارچه پلی‌استر با غلظت نیترات نقره ۲۴mM طی مدت زمان ۳، ۵ و ۱۰min را نشان می‌دهد. از این تصاویر اندازه متوسط نانو ذرات برای رسوب‌گذاری در مدت زمان ۳، ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب در حدود ۱۰۰، ۱۴۶ و ۱۵۳nm برآورد می‌شود. این تصاویر نشان می‌دهد که با افزایش زمان تا ۵ دقیقه اندازه نانو ذرات نقره افزایش می‌یابد، ولی با افزایش بیشتر زمان رسوب‌گذاری، اندازه نانو ذرات تغییر چندانی

متوسط نانو بلورک‌ها نقره را با استفاده از رابطه شرر به دست آورد. اندازه بلورک‌ها برای زمان لایه نشانی ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب حدوداً ۳۸ و ۴۲nm به دست می‌آید. در شکل ۲ همچنین، تصاویر پارچه چاپ شده طی مدت زمان‌های مختلف مشاهده می‌شود. این تصاویر به خوبی ناحیه چاپ شده توسط جت پلاسمایی روی سطح پارچه را نشان می‌دهد.

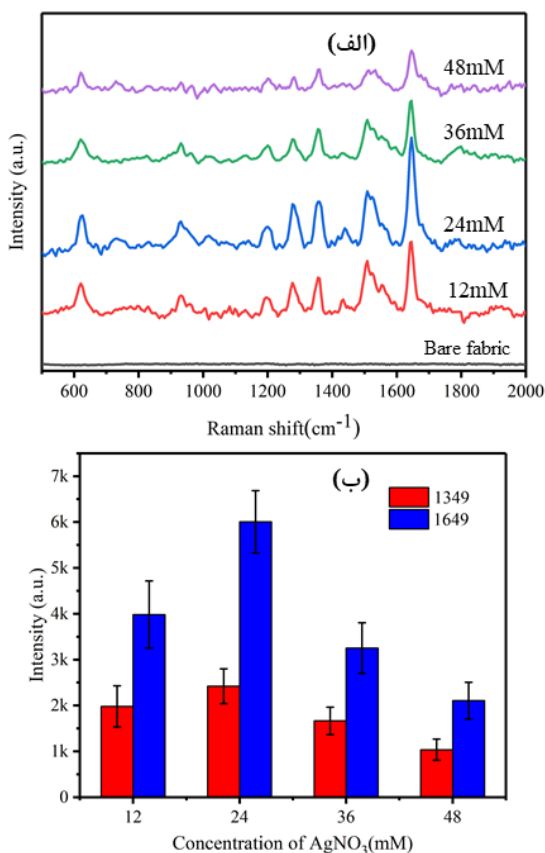


شکل ۳: تصاویر FESEM از سطح الیاف پارچه خام و چاپ شده با غلظت‌های مختلف پیش ماده AgNO_3



شکل ۴: تصاویر FESEM از سطح الیاف پارچه چاپ شده طی زمان‌های مختلف رسوب‌گذاری

در شکل ۳، تصاویر FESEM سطوح پارچه خام و لایه نشانی شده طی زمان ۵min با غلظت‌های مختلف ۱۲، ۲۴ و ۳۶mM از نیترات نقره مشاهده می‌شود. در سطح الیاف پارچه خام هیچ‌گونه نانو ساختاری مشاهده نمی‌شود (شکل ۳الف). اما سطح الیاف پارچه پلی‌استر رسوب‌گذاری شده به وسیله چاپگر جت پلاسمایی با نانو ذرات کروی شکل نقره

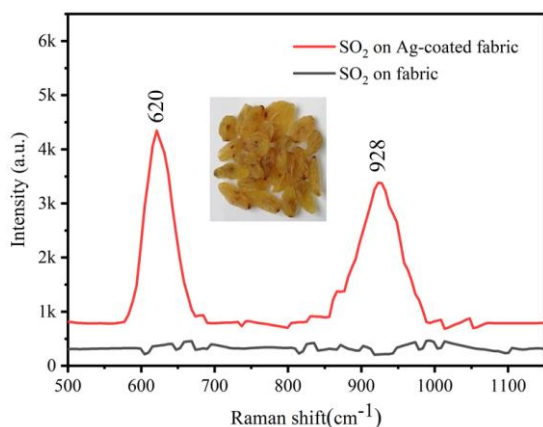


شکل ۶: طیف رامان RhB روی پارچه‌های لایه نشانی شده با غلظت‌های مختلف نیترات نقره در پیش ماده

شکل ۶، طیف رامان رودامین بی روی پارچه پلی‌استر خام و پارچه لایه نشانی شده طی مدت ۱۰ دقیقه و با غلظت‌های مختلف ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ mM از AgNO_3 را نشان می‌دهد. در طیف رامان پارچه پلی‌استر خام هیچ قله مشخصه رامان RhB مشاهده نمی‌شود. طیف پارچه‌های چاپ شده با پلاسما دارای قله‌های واضح در ۱۱۹۴، ۱۲۷۶، ۱۳۵۹، ۱۵۰۸، ۱۵۲۹ و 1659cm^{-1} است. این قله‌ها منطبق بر طیف رامان مولکول رودامین بی است [۲۳]. این طیف‌ها به خوبی اثر SERS نانو ذرات نقره چاپ شده روی پارچه پلی‌استر به وسیله پلاسما را تأیید می‌کند. همچنین از این نمودارها دریافت می‌شود با افزایش غلظت پیش ماده نقره تا ۲۴ mM شدت طیف رامان به‌ویژه قله 1649cm^{-1} افزایش می‌یابد اما با افزایش بیشتر غلظت نیترات نقره شدت این طیف کاهش می‌یابد. این می‌تواند مربوط به این باشد که با افزایش غلظت پیش ماده نقره در قطرات محلول، نانو ذرات نقره بیشتری روی سطح پارچه رسوب می‌کند و این

ندارد. این ممکن به خاطر این باشد که در زمان‌های پایین رسوب‌گذاری و پخت به طور مطلوب انجام نمی‌شود، ولی با افزایش زمان اندازه ذرات از آنجا که غلظت پیش ماده AgNO_3 ، انرژی الکترون‌ها و چگالی آن‌ها (ولتاژ پلاسما ثابت) یکسان است اندازه نانو ذرات تقریباً ثابت باقی می‌ماند و فقط ضخامت لایه ایجاد شده افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود نانو ذرات کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و نانو ساختارهای بزرگتری را تشکیل می‌دهند. نقشه‌برداری عنصری از نقره لایه نشانی شده در غلظت پیش ماده ۲۴ mM طی زمان‌ها مختلف ۱ و ۵ دقیقه در شکل ۵ مشاهده می‌شود. در این شکل عناصر نقره، کربن و اکسیژن مشاهده می‌شوند. عنصر نقره مربوط به نانو ذرات نقره و عناصر کربن و اکسیژن مربوط به ساختار الیاف پارچه پلی‌استر می‌باشد. همان‌طور که از این شکل‌ها مشهود است نانو ذرات نقره به طور یکنواخت سطح نخ‌های پارچه را پوشانده است. نانو ذرات کمی در سطح الیاف پارچه‌ای که طی زمان یک دقیقه لایه نشانی شده مشاهده می‌شود (شکل ۵الف) و یک لایه ضخیم از نانو ذرات نقره سطح الیاف پارچه رسوب‌گذاری شده طی زمان ۵ min را پوشانده‌اند (شکل ۵ب).

مواد غذایی به ویژه میوه‌های خشک شده استفاده می‌شود. SO_2 همچنین، دارای خواص ضد میکروبی است و می‌تواند از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کند [۲۲]. باقی‌مانده سولفیت‌ها در مواد غذایی می‌تواند باعث تحریک اسپاسم برونش، کهیر و تنگی برونشیت در افراد حساس شود [۲۴]. بنابراین، اثر SERS می‌تواند به عنوان یک روش به نسبت ساده و حساس برای مشخص کردن باقی‌مانده این آلودگی در مواد غذایی مفید باشد. هر دو پارچه خام و پارچه چاپ شده نقره (در شرایط بهینه) به عصاره گرفته شده از کشمش دودی آغشته شد، و طیف رامان تهیه شده از آن‌ها در شکل ۸ مشاهده می‌شود. نمودار پارچه خام هیچ قله مشخصه SO_2 را نشان نمی‌دهد در حالی که پارچه نقره دو قله در 620 cm^{-1} و 928 cm^{-1} که مشخصه SO_2 می‌باشد را نشان می‌دهد [۲۵]. این نشان می‌دهد از این پارچه‌های به عنوان حسگرهایی بر پایه SERS به راحتی می‌تواند برای شناسایی SO_2 باقی‌مانده در مواد غذایی استفاده نمود. در شکل ۸، تصویر کشمش طلایی مورد استفاده مشاهده می‌شود.

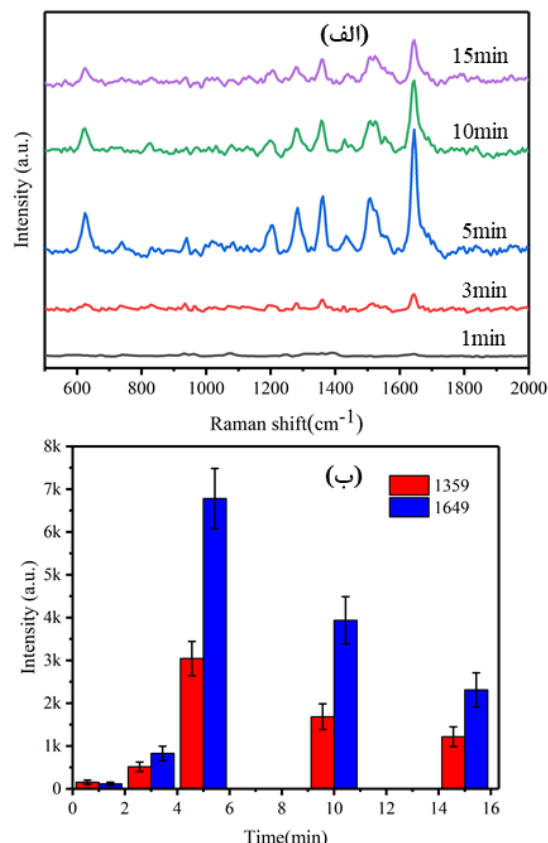


شکل ۸: طیف رامان عصاره کشمش دودی روی پارچه با و بدون پوشش نقره

۴. نتیجه گیری

نانو ذرات نقره به طور مستقیم و طی یک مرحله توسط جت پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفری بر روی سطح پارچه پلی‌استر چاپ شد. نتایج XRD، رسوب‌گذاری نانو ساختارها نقره روی پارچه را تأیید کرد. تصاویر FESEM نشان داد نانو ذرات کروی شکل نقره سطوح الیاف

موجب افزایش لکه‌های داغ (hot spots) تقویت کننده میدان الکترومغناطیسی می‌شود. البته با افزایش بیشتر غلظت نقره همان‌طور که در تصاویر FESEM مشاهده شد نانو ذرات انباشته شده و توده‌ای بزرگی را تشکیل می‌دهند که این باعث کاهش تعداد لکه‌های داغ می‌شود و بنابراین، شدت SERS آن‌ها کاهش می‌یابد. شکل ۷ اثر SERS نانو ذرات نقره رسوب‌گذاری شده طی مدت زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. غلظت پیش ماده نقره در تمام این نمونه‌ها یکسان و برابر 24 mM می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر SERS پارچه پلی‌استر چاپ شده با افزایش مدت رسوب‌گذاری تا 5 min افزایش چشمگیری دارد اما با افزایش بیشتر مدت رسوب‌گذاری اثر SERS تغییرات کمی دارد که این مطلب با روند تغییرات اندازه نانو ذرات در نتایج FESEM همخوانی دارد.



شکل ۷: طیف رامان RhB روی پارچه‌های چاپ شده نقره طی زمان‌های مختلف

برای نشان دادن کارایی پارچه‌های چاپ شده نقره در زندگی واقعی از آن‌ها برای شناسایی باقی‌مانده SO_2 در کشمش دودی شده استفاده می‌شود. از اکسید گوگرد برای افزایش ماندگاری رنگ و طعم

Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2022. doi:

10.1021/acs.jafc.2c00089.

[7]. Schatz GC, Young MA, Van Duyne RP. Electromagnetic Mechanism of SERS. Surface-enhanced Raman scattering: physics and applications. 1032006. p. 19-45.

[8]. Gao W, Xu J, Cheng C, Qiu S, Jiang S. Rapid and highly sensitive SERS detection of fungicide based on flexible "wash free" metallic textile. Applied Surface Science. 2020;512:144693. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.144693.

[9]. Liu A, Zhang S, Guang S, Ge F, Wang J. Ag-coated nylon fabrics as flexible substrates for surface-enhanced Raman scattering swabbing applications. Journal of Materials Research. 2020;35(10):1271-8. doi: 10.1557/jmr.2020.103

[10]. Bian X, Xu J, Pu Y, Yang J, Chiu K-l, Jiang S. Ag-coated cotton fabric as ultrasensitive and flexible SERS substrate. Journal of Industrial Textiles. 2022;51(1_suppl):712S-27S. doi: 10.1177/152808372110277.

[11]. Chen Y, Ge F, Guang S, Cai Z. Low-cost and large-scale flexible SERS-cotton fabric as a wipe substrate for surface trace analysis. Applied Surface Science. 2018;436:111-6. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.11.288.

[12]. Dai P, Li H, Huang X, Wang N, Zhu L. Highly Sensitive and Stable Copper-Based SERS Chips Prepared by a Chemical Reduction Method. Nanomaterials. 2021;11(10):2770. doi: 10.3390/nano11102770.

[13]. Chen S, Liu B, Zhang X, Mo Y, Chen F, Shi H, et al. Electrochemical fabrication of pyramid-shape silver microstructure as effective and reusable SERS substrate. Electrochimica Acta. 2018;274:242-9. doi: 10.1016/j.electacta.2018.04.120.

[14]. Hong J, Yick S, Chow E, Murdock A, Fang J, Seo DH, et al. Direct plasma printing of nano-gold from an inorganic

پارچه را پوشانده است. دریافت شد که از نانو ذرات نقره رسوب شده بر پارچه می‌توان به عنوان حسگرهای مولکولی بر پایه SERS استفاده نمود. عملکرد SERS نانو ذرات نقره چاپ شده روی پارچه با زمان رسوب‌گذاری و غلظت پیش ماده نقره کنترل می‌شود. علاوه بر این دریافت شد که پارچه پلی‌استر لایه نشانی شده با نقره به راحتی می‌تواند برای شناسایی آلودگی‌های SO_2 باقی‌مانده در مواد غذایی مانند کشمش استفاده شود.

۵. منابع

[1]. Zhang W, Guo D, Li Z, Shen L, Li R, Zhang M, et al. A new strategy to accelerate co-deposition of plant polyphenol and amine for fabrication of antibacterial nanofiltration membranes by in-situ grown Ag nanoparticles. Separation and Purification Technology. 2022;280:119866. doi: 10.1016/j.seppur.2021.119866.

[2]. Yan J. A review of sintering-bonding technology using Ag nanoparticles for electronic packaging. Nanomaterials. 2021;11(4):927. doi: 10.3390/nano11040927.

[3]. Hassan MM, Zareef M, Jiao T, Liu S, Xu Y, Viswadevarayalu A, et al. Signal optimized rough silver nanoparticle for rapid SERS sensing of pesticide residues in tea. Food chemistry. 2021;338:127796. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127796.

[4]. Eremina OE, Kapitanova OO, Ferree MV, Lemesh IA, Eremin DB, Goodilin EA, et al. Ultrasensitive and multiplex SERS determination of anthropogenic phenols in oil fuel and environmental samples. Environmental Science: Nano. 2022;9(3):964-74. doi: 10.1039/D1EN01017D.

[5]. Liu H, Gao X, Xu C, Liu D. SERS Tags for Biomedical Detection and Bioimaging. Theranostics. 2022;12(4):1870. doi: 10.7150/thno.66859.

[6]. Nilghaz A, Mahdi Mousavi S, Amiri A, Tian J, Cao R, Wang X. Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Substrates for Food Safety and Quality Analysis.

- dioxide suppresses population growth of Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hubner)(Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2022;25(1):101877. doi: 10.1016/j.aspen.2022.101877.
- [23]. Liu M, Xiang R, Lee Y, Otsuka K, Ho Y-L, Inoue T, et al. Fabrication, characterization, and high temperature surface enhanced Raman spectroscopic performance of SiO₂ coated silver particles. *Nanoscale*. 2018;10(12):5449-56. doi: 10.1039/C7NR08631H.
- [24]. Gastaminza G, Quirce S, Torres M, Tabar A, Echechipía S, Munoz D, et al. Pickled onion-induced asthma: a model of sulfite-sensitive asthma? *Clinical & Experimental Allergy*. 1995;25(8):698-703. doi: 10.1111/j.1365-2222.1995.tb00006.x.
- [25]. Mandrile L, Cagnasso I, Berta L, Giovannozzi AM, Petrozziello M, Pellegrino F, et al. Direct quantification of sulfur dioxide in wine by Surface Enhanced Raman Spectroscopy. *Food chemistry*. 2020;326:127009. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127009.
- precursor. *Journal of Materials Chemistry C*. 2019;7(21):6369-74. doi: 10.1039/C9TC01808E.
- [15]. Shariat M, Karimipour M, Molaei M. Influence of ambient gas on the optical properties of CdS quantum dots prepared by plasma-liquid interactions. *Journal of Luminescence*. 2019;207:282-7. doi: 10.1016/j.jlumin.2018.11.031.
- [16]. Rumbach P, Bartels DM, Sankaran RM, Go DB. The solvation of electrons by an atmospheric-pressure plasma. *Nature communications*. 2015;6(1):1-7. doi: 10.1038/ncomms8248.
- [17]. Maguire P, Rutherford D, Macias-Montero M, Mahony C, Kelsey C, Tweedie M, et al. Continuous in-flight synthesis for on-demand delivery of ligand-free colloidal gold nanoparticles. *Nano letters*. 2017;17(3):1336-43. doi: 10.1021/acs.nanolett.6b03440.
- [18]. Gandhiraman RP, Jayan V, Han J-W, Chen B, Koehne JE, Meyyappan M. Plasma jet printing of electronic materials on flexible and nonconformal objects. *ACS applied materials & interfaces*. 2014;6(23):20860-7. doi: 10.1021/am505325y.
- [19]. Dey A, Krishnamurthy S, Bowen J, Nordlund D, Meyyappan M, Gandhiraman RP. Plasma jet printing and in situ reduction of highly acidic graphene oxide. *ACS nano*. 2018;12(6):5473-81. doi: 10.1021/acsnano.8b00903.
- [20]. Ramamurti R, Gandhiraman RP, Lopez A, Doshi P, Nordlund D, Kim B, et al. Atmospheric Pressure Plasma Printing of Nanomaterials for IoT Applications. *IEEE Open Journal of Nanotechnology*. 2020;1:47-56. doi: 10.1109/OJNANO.2020.3009882.
- [21]. Alder R, Hong J, Chow E, Fang J, Isa F, Ashford B, et al. Application of plasma-printed paper-based SERS substrate for cocaine detection. *Sensors*. 2021;21(3):810. doi: 10.3390/s21030810.
- [22]. Rezanejad S, Fazel MM, Kavusi A, Michaud J. Curing raisins with sulfur

Influence of deposition time and precursor concentration on Ag-coated polyester fabric fabricated by plasma jet

Mahdi Shariat

Department of Physics, Faculty of Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

Abstract: Plasma printing techniques are being developed as a modern approach for depositing different functional materials. In this work, a nonthermal plasma jet working in atmospheric pressure was employed to print silver nanoparticles on flexible polyester fabric substrates. Atomized droplets of silver nitrate solution were exposed to plasma reducing them to silver nanoparticles, which were printed on the substrates in a controlled condition. X-ray diffraction results confirmed the deposition of face-center cubic nanoparticles on the substrates. Field-enhanced electron scanning microscopy images demonstrated that these nanoparticles have an almost spherical shape. Surface-enhanced Raman scattering (SERS) responses of the coated substrates were investigated using a Raman marker of Rhodamine B. SERS performance for coated fabrics printed in various precursor

Keywords: Plasma jet, silver nanoparticles, surface-enhanced Raman scattering, fabric.