

چاپ خطوط و سطوح هادی روی زیرلایه‌های مختلف به روش چاپ جوهرافشانی

جواد نوری، سیدمنصور بیدکی و عباسعلی حیدری

بود. بدین منظور منسوجاتی با نام منسوجات هوشمند^۱ به‌عنوان محصولی مشترک از همکاری متخصصین نساجی و الکترونیک مطرح شده‌اند که مطابق تعریف منسوجاتی هستند که قادر به حس پارامترهای محیط اطراف خود و ارائه پاسخی متناسب با محرک دریافتی می‌باشند. اگرچه می‌توان قطعات و وسایل الکترونیکی را در قسمت‌های مختلف لباس جای داده و با آن حمل نمود ولی در صورتی می‌توان انعطاف و قابلیت‌های مناسب پوشاک را حفظ نمود که بتوان وسایل الکترونیکی را در حد میکرومتر کوچک نموده و یا آنکه اجزای مدارهای الکترونیکی را به‌صورتی کاملاً انعطاف‌پذیر و قابل شستشو در داخل ساختار پوشاک طراحی نمود. بدین منظور راه حل اصلی، افزودن مواد رسانا، نیمه‌رسانا و عایق به‌صورتی است که دارای انعطاف بوده و از راحتی و کارایی لباس نگاهند.

برای ایجاد قابلیت هدایت الکتریکی در منسوجات می‌توان از روش‌های مختلفی از جمله به‌کارگیری رشته‌های نازک فلزات رسانا در بافت منسوج، پوشش‌دادن منسوج به‌وسیله فلزات هادی یا نمک‌های فلزی و غیره استفاده کرد. این روش‌ها معمولاً برای ایجاد طرح‌های پیچیده مدارهای الکترونیکی مناسب نبوده و یا آن که هدایت الکتریکی لازم را به وجود نیاورده و یا در اثر شستشوی مکرر منسوج، خاصیت الکتریکی ایجاد نموده را از دست می‌دهند. چاپ مواد هادی و نیمه‌هادی و یا غیر هادی با استفاده از شابلون‌ها (توری‌های ظرفی) یکی از روش‌های موفق افزودن مواد به بسترهای مختلف است. در این روش‌ها، خمیری که حاوی چسب پلیمری با مواد هادی، نیمه‌هادی و یا عایق است با فشار یک تیغه انعطاف‌پذیر از روزه‌های باز یک شابلون (استنسیل^۲) طرحی بر سطح کالا ایجاد می‌نماید که می‌تواند کارایی الکتریکی لازم را روی آن ایجاد کند. محدودیت ظرافت طرح‌های چاپ‌شده و نیاز به طراحی شابلون برای هر طرح جدید از جمله مشکلات این روش چاپ برای افزودن خواص الکتریکی بر روی بسترهای مختلف خصوصاً منسوجات می‌باشد.

از این رو بر اساس روشی نوین، فن‌آوری چاپ جوهرافشان با استفاده از جوهرهای هادی الکترونیسته جهت ایجاد صفحات هادی پیشنهاد شده است. این شیوه قادر به تولید منسوجات هادی الکترونیسته همراه با قابلیت انعطاف‌پذیری و هدایت الکتریکی بالا است [۱] و [۲]. اصولاً جوهرافشانی یک فن‌آوری چاپ بوده که در آن جوهرهای سیال از طریق سامانه چاپ و نازل‌های چاپگر بر سطح بستر مورد چاپ پاشیده می‌شوند. این روش در عین سادگی به مهارت‌های متعددی در تولید فرمولاسیون‌های مناسب برای چاپ و همچنین ایجاد قطرات کوچک جوهر نیاز دارد. جوهرهای جوهرافشان باید دارای خصوصیات فیزیکی لازم جهت شکل‌گیری قطره بوده و قادر به تولید طرح‌های تیز، متراکم و پیوسته باشند. چاپگرهای جوهرافشان قابل دسترس، قادر به تولید قطراتی با حجم حدود ۴۰-۲

چکیده: فناوری چاپ به‌عنوان یکی از روش‌های بسیار مناسب برای افزودن خواص الکتریکی به اجزای سازنده منسوجات مطرح می‌باشد که روش چاپ جوهرافشانی به‌دلیل مزیت‌هایی چون ارزانی، در دسترس بودن، انعطاف‌پذیر بودن و ... مورد توجه ویژه قرار گرفته است. هدف از تحقیق حاضر به‌کارگیری روش نوین استفاده از جوهرهای واکنش‌دهنده با یکدیگر پس از پاشیده‌شدن بر سطح بستر برای تهیه المان‌های ساده مداری می‌باشد. در این روش، محلول رقیق نمک فلزی نقره و محلول یک ماده کاهنده که به‌طور متوالی بر روی یک زیرلایه چاپ می‌گردند، طی عمل اکسیداسیون و احیای شیمیایی سبب کاهیده‌شدن نیترات نقره شده و در این حالت نانوذرات فلز نقره ایجاد می‌شود و به این ترتیب طرح ایجادشده هادی الکتریکی خواهد بود. بهترین ماده کاهنده برای چاپ جوهرافشان فلز نقره، آسکوربیک اسید در pH نرمال می‌باشد. با این روش، خطوط و طرح‌های هادی بر سطح بسترهایی از جنس کاغذ، صفحات پلی‌استر و همچنین پارچه تولید شده و تأثیر عوامل مختلف بر روی رسانایی بررسی شده و تلاش شده است تا به روش‌های مختلف، هدایت الکتریکی این طرح‌ها به حداکثر مقدار ممکن افزایش یابد. آزمون‌های انجام‌شده نشان از قابلیت بالای فناوری چاپ جوهرافشانی برای ایجاد طرح‌هایی از نانوذرات نقره با هدایت حداکثر 5×10^5 s/m برای ساخت المان‌ها و مدارهای الکتریکی دارد.

کلید واژه: چاپ جوهرافشان، استحصال فلز، منسوج رسانا، الکترونیک چاپی، چاپ المان‌های الکتریکی.

۱- مقدمه

محیط هوشمند مهم‌ترین استراتژی دهه اخیر برای پیشبرد صنایع الکترونیک و رایانه بوده که در آن محیط اطراف انسان باید به‌گونه‌ای هوشمند و در دسترس باشد که کلیه امکانات رایانه‌ای و الکترونیکی و مخابراتی را به سرعت در هر زمان و در هر مکان در دسترس انسان قرار دهد. ایجاد قابلیت‌های الکتریکی در تمامی اجزای محیط اطراف انسان تنها راهی است که می‌توان با انجام آن در راه رسیدن به چنین محیطی گام برداشت. پوشاک انسان طبیعتاً نزدیک‌ترین و قابل دسترس‌ترین جزء محیط به بدن انسان می‌باشد. در صورتی که بتوان محصولات الکترونیکی را در ساختار لباس جای داده و یا در داخل آن ساخت، می‌توان از در دسترس بودن آن در تمامی مواقعی که انسان آن را به همراه دارد، مطمئن

این مقاله در تاریخ ۲۳ بهمن ماه ۱۳۸۸ دریافت و در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۰ بازنگری شد.

جواد نوری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد
(email: nouritex@yahoo.com)

سیدمنصور بیدکی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد
(email: smbidoki@yazduni.ac.ir)

عباسعلی حیدری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد
(email: aheidari@yazduni.ac.ir)

1. Smart Textiles

2. Stencil

کاهنده برای چاپ جوهرافشان فلز نقره، آسکوربیک اسید در pH نرمال می‌باشد. تولید طرح‌هایی ساخته‌شده از نانوذرات فلز نقره در ابعاد ۲۰ الی ۲۰۰ نانومتر برای ایجاد اشکال رسانا، به‌وسیله جوهرافشان استاندارد اداری حرارتی گزارش شده است. لایه فلز نقره ایجادشده در این حالت دارای قابلیت هدایت الکتریکی در حدود $1/89 \times 10^5$ s/m می‌باشد که این میزان هدایت الکتریکی برای استفاده در بسیاری از ابزارهای الکترونیکی مناسب است [۴].

تحقیق حاضر با هدف بهبود خواص هدایتی طرح‌های چاپ‌شده بر سطوح مختلف به روش جوهرافشانی به انجام رسیده است. پس از بیان روش و مواد مورد نیاز، نحوه اندازه‌گیری رسانایی طرح‌ها بیان شده و تأثیر پارامترها و یا عوامل مختلف بر روی رسانایی بررسی شده است. ایجاد طرح‌هایی با رسانایی لازم بر روی زیرلایه‌های مختلف و به‌ویژه پارچه، اولین قدم جهت ایجاد المان‌های مداری ساده بر روی پارچه می‌باشد. مثال ساده‌ای از این نوع مدارها، یک مدار LC روی پارچه یا لباس است که می‌تواند به همراه سیستم مربوطه، برای کنترل ورود و خروج و یا کنترل محل حضور پرسنل یک شرکت و یا کارخانه به کار رود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ محلول‌ها و زیرلایه‌های به‌کار رفته

برای انجام عملیات چاپ از یک ماده کاهنده و یک محلول نمک فلزی استفاده شده که در این تحقیق از نیترات نقره با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد (ساخت کمپانی MERCK آلمان) به‌عنوان محلول نمک فلزی استفاده شده است. ماده کاهنده مورد استفاده نیز آسکوربیک اسید با درصد خلوص ۹۹/۵٪ (تولید کمپانی MERCK) می‌باشد. برای انجام عملیات چاپ از چاپگر جوهرافشان مدل Apollo ۱۲۰۰ مجهز به کارت‌تریج رنگی hp۲۵ و مشکی hp۲۶ استفاده شده است.

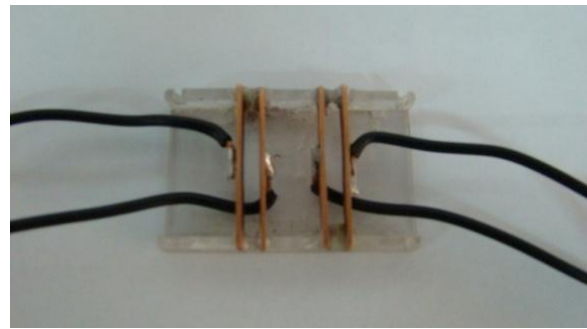
فرآیند چاپ بر روی زیرلایه‌هایی همچون کاغذ A۴ با وزن 80 gr/m^2 ، فیلم پلی‌استر ترانسپارنسی (PET) و پارچه با جنس‌های مختلف صورت گرفته است. مشخصات پارچه‌های به‌کار رفته در این تحقیق عبارتند از:

- ۱) پارچه ۱۰۰٪ پنبه با بافت ساده با وزن 190 gr/m^2 و تراکم تار و پود ۳۲ در سانتی‌متر.
- ۲) پارچه ۱۰۰٪ پلی‌استر با بافت ساده با وزن 170 gr/m^2 و تراکم تار و پود ۳۲ در سانتی‌متر.
- ۳) پارچه ۶۰٪ پنبه و ۴۰٪ پلی‌استر با بافت ساده با وزن 175 gr/m^2 و تراکم تار و پود ۳۲ در سانتی‌متر.
- ۴) پارچه ۱۰۰٪ ویسکوز با بافت ساده با وزن 186 gr/m^2 و تراکم تار و پود ۳۲ در سانتی‌متر.

این پارچه‌ها همگی بافت شرکت یزدباف می‌باشند.

۲-۲ پروب چهار الکترود تماسی

جهت اندازه‌گیری رسانایی طرح‌ها، ابزار یا پروب ویژه‌ای به نام پروب چهار الکترود تماسی^۲ طراحی و پس از ساخت مورد استفاده قرار گرفته است. پروب چهار الکترود تماسی که در شکل ۱ نشان داده شده است، شامل چهار الکترود مسی به ضخامت یک میلی‌متر و در ابعاد مساوی و یک صفحه از جنس پلکسی گلاس به‌عنوان نگهدارنده الکترودها می‌باشد. برای اندازه‌گیری رسانایی، پروب را طوری بر روی سطح مورد نظر که



شکل ۱: نمایی از پروب چهار الکترود تماسی.

پیکولتر بر اساس اندازه‌های نازل و نیروی رانش می‌باشند. جوهرهای جوهرافشان هادی شامل یک دیسپرسیون نانوذرات فلزی در محلول آبی یا آلی هستند و یا شامل محلولی از ترکیب‌های آلی فلزی بوده که پس از چاپ‌شدن و حرارت‌دیدن تجزیه شده و ایجاد یک طرح هادی می‌نمایند [۳]. چنین جوهرهایی با قیمت بالا عرضه شده و از طرفی پایداری تعلیق آنها نیز برای بیشتر مصارف جوهرافشانی مناسب نبوده و در روزنه‌های نازل ایجاد گرفتگی می‌نمایند.

در یک روش جدید به‌منظور ایجاد اجزای هادی بر سطح بسترهای مختلف، محلول‌های نمک فلز و ماده شیمیایی احیاکننده به‌صورت جداگانه بر سطح بستر چاپ شده و قطرات این دو جوهر پس از تماس با یکدیگر واکنش داده و نانوذرات فلز ایجاد می‌نمایند. علاوه بر این ممکن است چسب‌های گوناگون، عوامل افزایش‌دهنده ویسکوزیته و سایر افزودنی‌های طبیعی با توجه به موارد استعمال آن به جوهر اضافه گردد [۴] تا [۷]. در عمل، استفاده از جوهرافشان‌های پیژوالکتریک برای تولید مستقیم نسبت به جوهرافشان‌های حرارتی مناسب‌تر می‌باشند چرا که در جوهرافشان‌های حرارتی قطره از طریق تشکیل حباب‌ها در نقطه جوش حلال موجود در جوهر شکل گرفته و از این رو در درجه حرارت بالا امکان بروز مشکلات مختلفی به دلیل تجزیه زودهنگام یا بی‌موقع پیش ماده مصرفی در داخل چاپگر یا نازل وجود دارد [۸].

اگرچه گرفتگی نازل از جمله مشکلاتی است که ممکن است در چاپ جوهرافشان به وقوع بپیوندد اما از جمله مزایای این روش آن است که مواد واکنش‌دهنده در یک حلال با فراریت کم تهیه می‌شوند. از این رو توانایی این را خواهند داشت که از هر مکانیزم چاپی به راحتی عبور نموده و محصول واکنش نهایی نیز که به‌صورت جامد است در هنگام انتقال جوهر به بستر و در مسیر کانال‌های منتهی به نازل‌های جوهرافشان شکل نگرفته و لایه جامد فلزی تنها پس از رسیدن قطرات دو جوهر بر سطح بستر چاپ ایجاد می‌شود.

از طرف دیگر فناوری چاپ جوهرافشان این امکان را به‌وجود می‌آورد تا مواد مختلف که از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشند توسط این تکنیک استحصال شده و می‌توان شکل‌های مطلوب را بر روی زیرلایه‌ها به‌وجود آورد [۹] تا [۱۴]. ایجاد یک چاپ با مقاومت الکتریکی پایین برای یک ویسکوزیته خیلی پایین در طی فرآیند چاپ جوهرافشان امری ضروری به نظر می‌رسد. در این روش جدید، محلول رقیق نمک فلزی و محلول یک ماده کاهنده که به‌طور متوالی بر روی یک زیرلایه چاپ می‌گردند، طی عمل اکسیداسیون و احیای شیمیایی سبب می‌شوند تا یون‌های فلزی به ذرات ظریف فلزی (نانوذرات) تبدیل گردند. بهترین ماده



شکل ۳: طرح‌ها یا الکترودهای چاپ‌شده جهت بررسی رسانایی آنها.

غلظت بهینه محلول‌ها به دست آمده است به نحوی که طرح چاپ‌شده بیشترین رسانایی را داشته باشد.

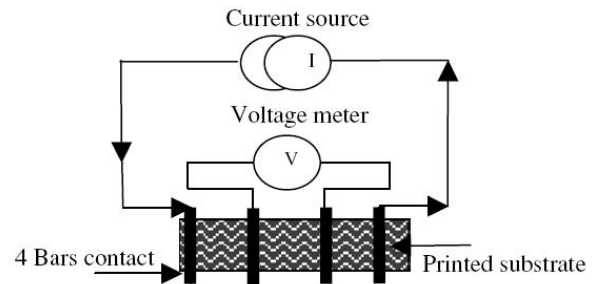
۳- افزایش رسانایی طرح‌های چاپ‌شده روی کاغذ

در ابتدا طرح‌هایی چاپ شد که پس از انجام تست رسانایی مشخص گردید که این طرح‌ها از رسانایی کمی برخوردار می‌باشند چرا که در چاپ این طرح‌ها پارامترهای مؤثر از جمله درصد محلول‌های به کار رفته (محلول آسکوربیک اسید و نیترات نقره) و تعداد دفعات چاپ به طور بهینه انتخاب نشده بودند. لذا سعی شد تا در آزمایش‌های جداگانه تأثیر پارامترهای فوق بر رسانایی طرح‌های استحصال‌یافته مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱ بررسی تأثیر غلظت محلول‌ها بر رسانایی طرح‌های چاپ‌شده

در این آزمایش سعی شده تا اثر غلظت محلول‌ها بر رسانایی طرح‌ها مورد بررسی قرار گیرد و بهترین غلظت محلول‌ها با توجه به رسانایی طرح‌ها به دست آید. از این رو محلول‌هایی از نیترات نقره و آسکوربیک اسید با درصدهای مختلف تهیه شده و با استفاده از این محلول‌ها طرح‌هایی چاپ شد. از هر درصد از غلظت محلول‌ها تعداد ۵ نمونه با طول و عرض یکسان تهیه شده و رسانایی طرح‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، این طرح‌ها خط‌هایی با پهنای مشخص می‌باشند. مشخصات این طرح‌ها و رسانایی به دست آمده در جدول ۱ گزارش شده است. البته باید توجه داشت که pH محلول آسکوربیک اسید در حدود ۵/۵ و pH محلول نیترات نقره در حدود ۳/۵ بوده است.

ضخامت چاپ‌های ایجادشده برای محاسبه رسانایی نیز به وسیله میکروسکوپ SEM و میکروسکوپ پروژکتیو اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود طرح‌هایی که با درصد غلظت محلول‌های آسکوربیک اسید ۳۰٪ و نیترات نقره ۵۰/۲۵٪ چاپ شده‌اند دارای بیشترین رسانایی می‌باشند. بنابراین در ادامه کار، این درصد غلظت محلول‌ها به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شده و طرح‌ها به وسیله محلول‌هایی با این غلظت‌ها چاپ شده‌اند. غلظت‌های انتخاب‌شده با داشتن بالاترین کمیت ممکن از دو ماده واکنش‌دهنده با یکدیگر توانایی تولید بالاترین تعداد نانوذرات نقره را پس از انجام مراحل متوالی جوهرافشانی داشته و لذا با ایجاد لایه‌ای فشرده از ذرات نقره هدایت الکتریکی مناسبی را بر سطح طرح تهیه‌شده به روش جوهرافشانی به وجود می‌آورند.



شکل ۴: نمای الکتریکی مدار به کار رفته برای اندازه‌گیری رسانایی طرح‌ها.

می‌خواهیم رسانایی آن را اندازه بگیریم قرار داده که چهار الکتروده آن در تمامی سطوح با سطح زیرین در تماس باشند و برای اطمینان از این که الکترودها به طور کامل با سطح مورد نظر در تماس هستند از یک وزنه ۵۰۰ گرمی برای اعمال فشار بر روی پروب استفاده می‌شود.

مدار به کار رفته برای اندازه‌گیری رسانایی طرح‌ها همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است شامل یک منبع تغذیه و دو مولتی‌متر به همراه پروب چهار الکتروده می‌باشد. در ابتدا ولتاژ منبع تغذیه به دو الکتروده خارجی اعمال شده و با استفاده از یک ولت‌متر، ولتاژ بین دو الکتروده میانی اندازه‌گیری شده و با اندازه‌گیری جریان عبوری، مقاومت بخشی از طرح که بین الکترودهای داخلی قرار دارد عبارت است از

$$R = \frac{V}{I} (\Omega) \quad (1)$$

به دلیل مقاومت نقطه اتصال، استفاده از اهم‌متر معمولی برای اندازه‌گیری این مقاومت‌ها باعث ایجاد خطا شده و به این دلیل از الکتروده چهارنقطه‌ای استفاده شده است. با معلوم بودن فاصله l بین دو الکتروده داخلی و پهنای طرح (w) و ضخامت چاپ (t)، مقاومت ویژه مسیر یا محیط ایجادشده به روش چاپ جوهرافشان از (۲) به دست می‌آید. رسانایی ویژه طرح نیز برابر با عکس مقاومت ویژه می‌باشد

$$\rho = R \frac{tw}{l} (\Omega m) \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} (s/m) \quad (3)$$

۳-۲ استفاده از چاپگر جوهرافشان

ابتدا باید کارتریج‌های چاپگر باز شده و پس از تخلیه جوهرهای داخل آن، داخل کارتریج با استفاده از آب به دقت شستشو شود. سپس این کارتریج‌ها با محلول‌هایی که قبلاً از آسکوربیک اسید و نیترات نقره تهیه شده است، به طور جداگانه پر می‌شوند. ابتدا کارتریج حاوی محلول آسکوربیک اسید را در داخل دستگاه قرار داده و طرح تهیه‌شده با استفاده از Microsoft Word ۲۰۰۳ را به وسیله محلول آسکوربیک اسید بر روی زیرلایه مورد نظر چاپ می‌نماییم. در ادامه کار و پس از اتمام تعداد دفعات چاپ آسکوربیک اسید، کارتریج حاوی نیترات نقره در داخل چاپگر قرار داده شده و نیترات نقره بر روی آسکوربیک اسید چاپ می‌شود. واکنشی که بین آسکوربیک اسید و نیترات نقره به وقوع می‌پیوندد، سبب کاهش شدن نیترات نقره شده و در این حالت نانوذرات فلز نقره ایجاد می‌شود و به این ترتیب طرح ایجادشده هادی الکتریکی می‌باشد. در این کار پژوهشی سعی شده تا استحصال فلز و افزایش رسانایی طرح‌های چاپ‌شده بر روی زیرلایه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. نمونه‌های زیادی با مشخصات مختلف چاپ شده و با اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی هر یک از طرح‌ها، بهترین روش چاپ و تعداد دفعات آن و

جدول ۱: بررسی تأثیر غلظت محلول‌ها بر رسانایی طرح‌ها.

شماره نمونه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	آسکوربیک اسید ۲۰٪ و نیترات نقره ۳۳٫۵٪			آسکوربیک اسید ۲۵٪ و نیترات نقره ۴۱٫۸۷٪			آسکوربیک اسید ۳۰٪ و نیترات نقره ۵۰٫۲۵٪		
			ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)
۱	۸	۱۱	۶٫۵	۶٫۷	۰٫۳۱۴	۷	۳٫۱۷	۰٫۶۲	۷	۱٫۲۷	۱٫۵۴
۲	۸	۱۱	۶٫۵	۶٫۸۱	۰٫۳۱۰	۷	۳٫۵	۰٫۴۸	۷	۰٫۹۷	۲٫۰۴
۳	۸	۱۱	۶٫۵	۵٫۰۷	۰٫۴۰	۷	۳٫۳	۰٫۵۸	۷	۰٫۸۷	۲٫۲۶
۴	۸	۱۱	۶٫۵	۵٫۵	۰٫۳۸	۷	۳٫۳۸	۰٫۵	۷	۰٫۹۷	۲٫۰۴
۵	۸	۱۱	۶٫۵	۴٫۷۱	۰٫۴۴	۷	۳٫۰۸	۰٫۶۱	۷	۱	۱٫۹۸

جدول ۲: بررسی تأثیر ترتیب و تعداد دفعات چاپ بر رسانایی طرح‌ها.

شماره نمونه	ترتیب و تعداد دفعات چاپ	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)
۱	AG	۵٫۸	۱۱	۵	۷۳۴٫۶۶	۰٫۰۳۴
۲	AAG	۸٫۵	۱۱	۵	۳۳۳	۰٫۷۶
۳	AAAG	۸٫۵	۱۱	۵٫۵	۱٫۸۹	۱٫۲۴
۴	AAAAAG	۸٫۵	۱۱	۶٫۵	۱٫۶۴	۱٫۲۰
۵	AAAAAAG	۸٫۵	۱۱	۶٫۵	۱٫۳۲	۱٫۵۰
۶	AGG	۸٫۵	۱۱	۵٫۵	۲۴۲٫۶	۰٫۰۹۶
۷	AAGG	۸٫۵	۱۱	۶	۲۴۱	۰٫۸۸
۸	AAAGG	۸٫۵	۱۱	۶	۱٫۵۲	۱٫۴۲
۹	AAAAGG	۸٫۵	۱۱	۷	۰٫۳۴	۵٫۵۴
۱۰	AAAAAGG	۸٫۵	۱۱	۷	۰٫۶۸	۲٫۷۲
۱۱	AGAG	۸٫۵	۱۱	۵٫۵	۳	۰٫۷۸
۱۲	AAGAG	۸٫۵	۱۱	۶	۱٫۵۴	۱٫۴۰
۱۳	AAGAAG	۸٫۵	۱۱	۶٫۵	۱٫۱۴	۱٫۲۸
۱۴	AAAGAG	۸٫۵	۱۱	۶٫۵	۰٫۸۹	۲٫۲۴
۱۵	AAAGAGA	۸٫۵	۱۱	۷٫۵	۰٫۵۹	۲٫۹۴
۱۶	AAAGAGAG	۸٫۵	۱۱	۷٫۵	۰٫۵	۳٫۴۸

ممکن رسیده و از طرفی ضخامت لایه نقره ایجاد شده به حدی افزایش یابد تا امکان انتقال الکتریسیته به حد کافی را به وجود آورد. چنین لایه مناسبی از نانوذرات پر هم انباشته شده در چاپ چندمرحله‌ای به دفعات متوالی ذکر شده در بالا ممکن خواهد بود.

۳-۳ بررسی اثر حرارت‌دهی طرح‌ها بر رسانایی آنها

یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر روی رسانایی طرح‌های حاصل از چاپ جوهرافشان، حرارت‌دهی آنها می‌باشد. لذا در این قسمت میزان تأثیر اعمال حرارت بر روی رسانایی طرح‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور تعداد پنج نمونه با طول و عرض ثابت تهیه شده و رسانایی آنها قبل از حرارت‌دهی به وسیله پروب چهار الکترود تماسی اندازه‌گیری شده است. سپس نمونه‌ها به وسیله یک اتوی پرسی با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در بازه‌های زمانی ۵ ثانیه حرارت داده می‌شوند. باید توجه شود که این حرارت‌دهی باید به صورت غیر مستقیم صورت گیرد و به همین دلیل طرح‌های حاصل از چاپ جوهرافشان بین دو لایه از جنس کاغذ قرار گرفته و به گونه‌ای زیر اتو قرار داده می‌شوند که صفحه داغ اتو به طور غیر مستقیم با پشت طرح‌ها تماس پیدا کند. بعد از اعمال حرارت در بازه زمانی ۵ ثانیه اول، نمونه‌ها از زیر اتو خارج شده و رسانایی آنها اندازه‌گیری می‌شود. مجدداً نمونه‌ها حرارت‌دهی شده و بعد از بازه زمانی ۵ ثانیه دوم، سوم و ... رسانایی آنها اندازه‌گیری می‌شود. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. اعمال حرارت از طرفی باعث واکنش بین مولکول‌های

۳-۲ تأثیر ترتیب و تعداد دفعات چاپ بر روی رسانایی طرح‌ها

پس از بررسی تأثیر درصد غلظت محلول‌ها، باید تأثیر تعداد دفعات چاپ آسکوربیک اسید و نیترات نقره بر رسانایی طرح‌ها مورد بررسی قرار گیرد. از این رو طرح‌های مختلفی با تعداد دفعات چاپ متفاوت و از هر کدام سه نمونه تهیه شده و رسانایی آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تست رسانایی در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول علامت A به معنای یک بار چاپ محلول آسکوربیک اسید و G به مفهوم یک بار چاپ محلول نیترات نقره در نمایش مراحل چاپ می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌های ارائه شده در جدول ۲ مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده از تعداد سه نمونه برای هر حالت می‌باشد.

با مشاهده جدول ۲ مشاهده می‌شود که طرح‌های ایجاد شده با تعداد دفعات چاپ AAAAGG یعنی چهار مرتبه چاپ متوالی آسکوربیک اسید و دو مرتبه چاپ متوالی نیترات نقره از بالاترین رسانایی برخوردار می‌باشند. از این رو این تعداد دفعات چاپ به عنوان تعداد دفعات چاپ بهینه در نظر گرفته شده و در ادامه کار، طرح‌ها بر اساس این تعداد دفعات چاپ ایجاد شده‌اند. از نظر فیزیکی بر هم انباشته شدن ذرات نقره تولید شده در حین واکنش میان ماده احیاکننده و نمک نقره باید به حدی باشد تا میزان مقاومت الکتریکی تونلی مابین ذرات به کمترین مقدار

جدول ۳: بررسی تأثیر حرارت بر رسانایی طرح‌ها و تعیین مدت زمان بهینه حرارت‌دهی.

شماره نمونه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	قبل از اعمال حرارت		بعد از اعمال حرارت	
			رسانایی (Ω) (×۱۰ ^{-۵} s/m)	مقاومت (Ω)	رسانایی (Ω) (×۱۰ ^{-۵} s/m)	مقاومت (Ω)
۱	۸	۱۱	۱٫۶۰	۰٫۹۵	۲٫۰۸	۰٫۷۲
۲	۸	۱۱	۰٫۹۰	۱٫۱۸	۱٫۶۶	۰٫۸۰
۳	۸	۱۱	۰٫۹۶	۰٫۹۴	۲٫۱۰	۰٫۸۰
۴	۸	۱۱	۱٫۴۶	۰٫۸۳	۲٫۳۸	۰٫۷۵
۵	۸	۱۱	۱٫۰۶	۱٫۰۵	۱٫۸۸	۰٫۶۸

جدول ۴: بررسی تأثیر شستشو بر رسانایی طرح‌ها.

شماره نمونه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	قبل از شستشو		بعد از شستشو	
			مقاومت (Ω)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	ضخامت (μm)
۱	۸	۱۱	۱٫۰۱	۷	۱٫۹۶	۱
۲	۸	۱۱	۰٫۹	۷	۲٫۱۸	۰٫۸۸
۳	۸	۱۱	۰٫۶۵	۷	۳٫۰۲	۰٫۶۱
۴	۸	۱۱	۱٫۳۶	۷	۱٫۴۴	۰٫۹۲
۵	۸	۱۱	۱٫۴۴	۷	۱٫۲۴	۰٫۸۶

نمی‌توان از پروب چهار الکترودی استفاده نمود. لذا مستقیماً از اهم‌تر به تنهایی استفاده شده به طوری که پروب اهم‌تر به دو انتهای طرح متصل شده و سپس آرام آرام شروع به خم کردن الکترودها نموده و مقدار مقاومت نشان داده شده توسط اهم‌تر قرائت می‌شود. یادآوری می‌نماید استفاده از پروب معمولی اهم‌تر به جای پروب چهار الکترودی به دلیل مقاومت بیشتر نقطه اتصال، مقاومت طرح را بیشتر نشان می‌دهد. اما این موضوع در اینجا مشکلی ایجاد نمی‌نماید زیرا هدف قرائت دقیق مقاومت نیست بلکه هدف مشاهده تغییر مقاومت با خم شدن باشد. مشاهدات نشان می‌دهند تمامی الکترودهای چاپ شده بر روی زیرلایه‌های مختلف، تا زاویه ۹۰ درجه خمش (با شعاع خمش حدود ۲ cm) همچنان خاصیت رسانایی اولیه خود (یعنی رسانایی قبل از خمش) را حفظ می‌کنند. الکترودهای چاپ شده بر روی زیرلایه‌هایی از جنس کاغذ و فیلم PET تا زاویه ۱۳۵ درجه نیز همچنان رسانایی اولیه خود را حفظ نموده اما الکترودهای چاپ شده بر روی پارچه تنها تا زاویه ۱۰۰ درجه می‌توانند رسانایی قبل از خمش خود را حفظ کنند و بعد از این زاویه، هدایت الکتریکی آنها نسبت به حالت اولیه کاهش می‌یابد.

آزمایش فوق نشان می‌دهد طرح‌های ایجاد شده با استفاده از روش چاپ جوهرافشانی از قابلیت انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار هستند. این موضوع یکی از ویژگی‌های مناسب روش چاپ در مقایسه با روش سنتی که مدار بر روی بسترهای سخت تهیه می‌شوند، است.

۴- بررسی رسانایی طرح‌های چاپ شده روی زیرلایه فیلم PET

در این قسمت سعی می‌شود تا روش چاپ جوهرافشانی برای ایجاد خطوط هادی، بر روی زیرلایه‌هایی از جنس فیلم PET نیز بررسی شود. برای چاپ طرح‌ها بر روی فیلم PET، در مرحله اول از یافته‌های قبلی در مورد چاپ بر روی کاغذ استفاده می‌نماییم. بنابراین محلول‌های آسکوربیک اسید با درصد وزنی ۳۰٪ (pH = ۵٫۵) و نیترات نقره با درصد وزنی ۵۰٫۲۵٪ (pH = ۳٫۵) تهیه شده و پس از چاپ طرح‌ها با مراحل AAAAGG و حرارت‌دهی همانند قبل، رسانایی طرح‌ها

آسکوربیک اسید و نیترات نقره‌ای که قبلاً واکنش نداده‌اند می‌شود و از طرف دیگر باعث از بین بردن فضای خالی بین نانوذرات می‌شود. لذا همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، حرارت‌دهی تأثیر مثبتی بر افزایش هدایت الکتریکی طرح‌های چاپ شده دارد. آزمایش‌ها نشان دادند حرارت‌دهی بیش از ۱۵ ثانیه، تأثیر چندانی در افزایش رسانایی ندارد. بنابراین فاصله زمانی ۱۵ ثانیه را به عنوان زمان مناسب جهت حرارت‌دهی طرح‌ها در نظر می‌گیریم.

۳-۴ بررسی تأثیر شستشو بر رسانایی طرح‌ها

در این آزمایش تأثیر شستشو بر رسانایی طرح‌های چاپ شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور تعداد ۵ نمونه از طرح‌هایی که قبلاً رسانایی آنها اندازه‌گیری شده بود انتخاب شده و با استفاده از آب مقطر مورد شستشو قرار می‌گیرند. برای جلوگیری از چین و چروک برداشتن طرح‌ها در حین فرآیند شستشو و خشک شدن، طرح‌ها بر روی تلیک‌های معمولی چسبانده شده‌اند. در هنگام شستشوی طرح‌های چاپ شده مشاهده می‌گردد که محلولی به رنگ زرد از روی طرح‌ها خارج می‌شود و طرح‌ها به رنگ روشن‌تری نسبت به حالت اولیه خود در می‌آیند. بعد از خشک شدن طرح‌ها در دمای معمولی، رسانایی آنها اندازه‌گیری می‌شود. نتایج مربوطه در جدول ۴ نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری رسانایی قبل و بعد از فرآیند شستشو نشان‌دهنده این مطلب است که انجام فرآیند شستشو به دلیل حذف درصد زیادی از ناخالصی‌های موجود در طرح چاپ شده و همچنین اتصال بهتر بین الکترودهای اندازه‌گیری، تأثیر مثبتی بر روی رسانایی طرح‌های چاپ شده به روش جوهرافشان داشته و سبب افزایش رسانایی آنها می‌شود.

۳-۵ بررسی قابلیت انعطاف‌پذیری طرح‌های چاپ شده به روش جوهرافشان

برای بررسی تأثیر خمش بر رسانایی طرح‌های چاپ شده با استفاده از روش چاپ جوهرافشانی، الکترودهای انتخاب و مقاومت آنها اندازه‌گیری شد. چون مقاومت طرح‌ها باید در حالت خم شده اندازه‌گیری شود بنابراین

جدول ۵: بررسی رسانایی طرح‌های چاپ شده بر فیلم PET.

شماره نمونه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	تعداد دفعات چاپ AAAAGG			تعداد دفعات چاپ AAAAGGAAAAGG		
			مقاومت (Ω)	ضخامت (μm)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)	مقاومت (Ω)	ضخامت (μm)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)
۱	۸	۱۱	۱۴	۶٫۵	۰٫۱۵۰	۰٫۷۹	۷٫۵	۲٫۳۲
۲	۸	۱۱	۱۳٫۸	۶٫۵	۰٫۱۵۲	۰٫۷۳	۷٫۵	۲٫۵۲
۳	۸	۱۱	۱۳٫۸	۶٫۵	۰٫۱۵۲	۱٫۰۴	۷٫۵	۱٫۷۶
۴	۸	۱۱	۱۳٫۶	۶٫۵	۰٫۱۵۴	۰٫۷۰	۷٫۵	۲٫۶۲
۵	۸	۱۱	۱۳٫۵	۶٫۵	۰٫۱۵۶	۰٫۶۳	۷٫۵	۲٫۹۴

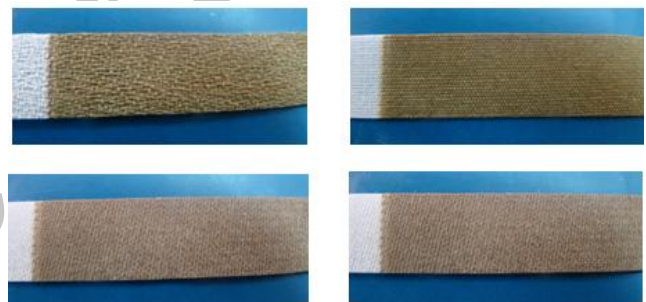
جدول ۶: بررسی رسانایی طرح‌های چاپ‌شده بر روی پارچه با جنس‌های مختلف.

جنس پارچه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی (×۱۰ ^{-۵} s/m)
پنبه	۸	۱۱	۹٫۵	۱۳٫۵۹	۰٫۱۰۶
	۸	۱۱	۹٫۵	۱۲٫۴۰	۰٫۱۱۶
ویسکوز	۸	۱۱	۸٫۵	۱۷	۰٫۰۹۴
	۸	۱۱	۸٫۵	۱۵٫۸۴	۰٫۱۰۲
پلی‌استر	۸	۱۱	۹	۹	۰٫۱۶۸
	۸	۱۱	۹	۸٫۵	۰٫۱۷۸
پنبه پلی‌استر	۸	۱۱	۹	۹٫۸۲	۰٫۱۵۴
	۸	۱۱	۹	۹	۰٫۱۶۸

شد طرح‌های چاپ‌شده بر روی پارچه‌ها با تعداد دفعات چاپ A۴G۲ از رسانایی بسیار کمی برخوردار می‌باشند. لذا طرح‌ها با تعداد دفعات چاپ A۴G۲A۴G۲ چاپ شد و نهایتاً تعداد دفعات چاپ به سه برابر حالت اولیه یعنی A۴G۲A۴G۲A۴G۲ افزایش داده شد تا رسانایی به مقدار قابل توجهی افزایش یابد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری رسانایی طرح‌های چاپ‌شده روی پارچه در جدول ۶ مشاهده می‌شود. در شکل ۴ تصویری از چاپ جوهرافشان روی انواع پارچه مشاهده می‌شود.

بایستی توجه داشت که در این آزمایش از چهار نمونه پارچه ظریف با جنس‌های متفاوت پنبه، پلی‌استر، پنبه-پلی‌استر و ویسکوز استفاده شده تا تأثیر جنس پارچه بر رسانایی طرح‌های ایجادشده بررسی شود و بهترین پارچه با توجه به میزان رسانایی حاصل جهت چاپ جوهرافشانی انتخاب شود. همچنین باید توجه داشت که تمامی این پارچه‌ها خام بوده و هیچ‌گونه عملیات تکمیلی بر روی آنها صورت نگرفته است. مشاهده جدول ۶ نشان می‌دهد که با تعداد دفعات چاپ ذکرشده، رسانایی طرح‌های استحصال‌یافته هنوز پایین است. از میان پارچه‌های مورد استفاده در این آزمایش پارچه‌هایی از جنس پلی‌استر و پنبه-پلی‌استر از رسانایی بیشتری نسبت به دو پارچه دیگر برخوردار می‌باشند. از این رو سعی شده تا در آزمایشات بعدی از این پارچه‌ها به‌عنوان بستر پارچه‌ای برای انجام عملیات چاپ استفاده شود.

در ادامه تلاش می‌شود تا با انجام فرآیند پوشش‌دهی پارچه‌ها، رسانایی طرح‌های چاپ‌شده روی آنها افزایش داده شود. از این رو از دو نمونه پارچه انتخاب‌شده در مرحله قبل (پارچه پلی‌استر و پنبه-پلی‌استر) استفاده شده و قبل از انجام عملیات چاپ روی آنها، عملیات پوشش‌دهی^۱ صورت گرفت. برای انجام عملیات پوشش‌دهی بر روی پارچه‌ها از محلول پلی وینیل الکل (PVA) با سه درصد وزنی متفاوت ۴٪، ۸٪ و ۱۲٪ استفاده شده تا علاوه بر بررسی تأثیر پوشش‌دهی، تأثیر درصد وزنی پوشش‌دهی



شکل ۴: تصویری از چاپ جوهرافشان بر روی پارچه.

اندازه‌گیری می‌شوند. مشاهده نتایج حاصل از تست رسانایی صورت گرفته بر روی نمونه‌های چاپ‌شده بر روی فیلم PET نشان می‌دهد که تعداد دفعات چاپ AAAAGG، تعداد دفعات چاپ بهینه‌ای برای چاپ طرح‌ها بر روی فیلم PET نبوده که این نکته را می‌توان از رسانایی پایین طرح‌ها و رنگ طرح‌ها (عدم نقره‌ای بودن رنگ طرح‌ها) دریافت. از این رو این تعداد دفعات چاپ را دو برابر کرده یعنی با همان شرایط قبلی، این بار چاپ با تعداد دفعات AAAAGGAAAAGG انجام شده و رسانایی طرح‌ها اندازه‌گیری می‌شود. این تعداد دفعات چاپ را به‌طور مختصر با A۴G۲A۴G۲ نشان می‌دهیم.

مشاهده جدول ۵ نشان می‌دهد که تعداد دفعات چاپ A۴G۲A۴G۲ تعداد دفعات چاپ مناسبی برای چاپ جوهرافشانی بر روی زیرلایه فیلم PET می‌باشد.

۵- بررسی رسانایی طرح‌های چاپ‌شده بر روی پارچه

در این سری از آزمایشات، انواع مختلفی از پارچه خام با جنس‌های مختلف تهیه شده و با استفاده از شرایط قبلی یعنی محلول آسکوربیک اسید با درصد وزنی ۳۰٪ و محلول نیترات نقره با درصد وزنی ۵۰/۲۵٪ و تعداد دفعات چاپ AAAAGG(A۴G۲) طرح‌هایی روی آنها چاپ شد و پس از حرارت‌دهی همانند قبل، رسانایی طرح‌ها اندازه‌گیری شد. مشاهده

جدول ۷: بررسی تأثیر پوشش دهی پارچه بر روی رسانایی طرح‌های ایجادشده.

درصد coating	جنس پارچه	عرض نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	ضخامت (μm)	مقاومت (Ω)	رسانایی ($\times 10^{-5}$ s/m)
۴ درصد	پلی استر	۸	۱۱	۹	۴,۱۸	۰,۳۶
	پنبه - پلی استر	۸	۱۱	۹	۴,۰۲	۰,۳۸
		۸	۱۱	۹	۵,۰۲	۰,۳۰
۸ درصد	پلی استر	۸	۱۱	۹	۴,۸۹	۰,۳۲
		۸	۱۱	۹	۲,۷۸	۰,۵۴
	پنبه - پلی استر	۸	۱۱	۹	۲,۶۰	۰,۵۸
		۸	۱۱	۹	۳	۰,۵۰
۱۲ درصد	پلی استر	۸	۱۱	۹	۲,۷۸	۰,۵۴
		۸	۱۱	۹	۱,۱۲	۱,۳۶
	پنبه - پلی استر	۸	۱۱	۹	۱	۱,۵۲
		۸	۱۱	۹	۱,۵	۱,۳۲
		۸	۱۱	۹	۱,۰۹	۱,۴۰

مراجع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] *Ink-Jet and Bubble-Jet Printers Technology*, Printers technology guide from Micromechanic. Available at <http://mimech.com/printers/inkjet-printer-technology.asp>
- [4] S. M. Bidoki, D. M. Lewis, M. Clark, A. Vakorov, P. A. Millner, and D. McGorman, "Ink-jet fabrication of electronic components," *J. of Micromechanics and Microengineering, (IOP)*, vol. 17, no. 5, pp. 967-974, May 2007.
- [5] L. Smith, *Development of Direct Write Ink-Jet for Deposition of Silver Contacts*, Department of Energy; Energy Research Undergraduate Laboratory Fellowship Program, University of California Santa Cruz National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, Jul. 2001.
- [6] G. Hideyuki, U. Masayuki, M. Yorishige, and H. Noriaki, *Method for Forming Circuit Pattern Utilizing Ink-Jet Printing Method*, Japanese Patent JP 20010125967, 2002.
- [7] L. Leenders and L. Oelbrandt, *Process for the Production of Printing Plate by Ink-Jet*, European Patent EP 0697282 B1, 1998.
- [8] R. D. Johnson and W. N. Damarel, *Deposition Solid Materials*, World Patent WO03049515, 2003.
- [9] J. S. Miller, *Ink-Jet Printing of Printed Circuit Boards*, United States Patent US4668533, May 2007.
- [10] V. D. B. Jan Guido, D. Leo, and L. O. Luc, *Process for the Production of a Printing Plate by Ink-Jet*, European Patent EP0697282, 1996.
- [11] K. Paulose, N. A. Lawrence, G. M. Stevens, and R. Driver, *Electroless Deposition of Metallic Coatings on Non-Conducting Substances*, Word Patent WO9721849, Jun. 1997.
- [12] M. Huske and J. Kikelhain, Miniaturization of Electronic Components: a New Manufacturing Process for 3D-MIDS, <http://www.ptbmagazine.com>, Oct. 2002.
- [13] B. Thomas, E. Lars, and M. Per, A Method and a Device for Deposition of a Metal Layer on a Non-Conducting Surface of a Substrate, World Patent WO2005087979, Sep. 2005.
- [14] E. Kunnari, J. Valkama, M. Keskinen, and P. Mansikkamaki, "Environmental evaluation of new technology: printed electronics case study," *J. of Cleaner Production*, vol. 17, no. 9, pp. 791-799, Jun. 2009.

جواد نوری تحصیلات خود را در رشته مهندسی نساجی در مقطع کارشناسی در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر و در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه یزد به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه نام‌برده عبارتند از: کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی نساجی و چاپ جوهر افشان.

نیز بر روی رسانایی طرح‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. عملیات پوشش دهی پارچه‌ها بدین صورت انجام می‌شود که ابتدا پارچه‌ها را روی میز چاپ پهن نموده و سطح آن را به محلول پلی ونیل الکل آغشته نموده و به کمک یک تیغه، محلول را به‌طور یکنواخت بر روی سطح پارچه پخش نموده و محلول اضافی را از سطح آن برداشت می‌نماییم. بعد از انجام عملیات پوشش دهی و خشک شدن پارچه‌ها، می‌توان عملیات چاپ را با تعداد دفعات $A4G2YA4G2YA4G2$ انجام داد. پس از چاپ و عملیات حرارت دهی، رسانایی طرح‌ها اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول ۷ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که عملیات پوشش دهی تأثیر مثبتی بر رسانایی طرح‌ها داشته و همچنین مشاهده می‌شود که درصد وزنی محلول پلی ونیل الکل نیز از پارامترهای تأثیرگذار بر رسانایی طرح‌ها بوده به طوری که پارچه‌هایی که با محلول پلی ونیل الکل با درصد وزنی ۱۲ درصد پوشش داده شده‌اند، بیشترین رسانایی را در مقایسه با دو درصد وزنی دیگر داشته‌اند.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله استحصال شیمیایی نانوذرات فلزی بر سطح بسترهای مختلف با استفاده از چاپگر جوهرافشان به‌عنوان روشی نوین و کارآمد برای ایجاد المان‌های الکتریکی معرفی شد. همچنین نشان داده شد با به‌کارگیری محلول‌های مناسب و کنترل پارامترهای دخیل در چاپ نظیر تعداد دفعات چاپ، غلظت محلول‌های چاپ‌شده، شستشوی طرح‌ها و اعمال حرارت می‌توان تا حدود زیادی هدایت الکتریکی طرح‌های استحصال یافته را افزایش داد و به خط و یا صفحه هادی انعطاف پذیر دست یافت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تکنیک چاپ جوهرافشان از قابلیت خوبی برای چاپ و استحصال شیمیایی فلز بر روی زیرلایه‌های مختلف نظیر کاغذ، فیلم و پارچه برخوردار است.

۷- سپاس‌گزاری

از کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشکده‌های مهندسی نساجی و مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه یزد به خاطر همکاری صمیمانه در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

عباسعلی حیدری تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی برق- الکترونیک در سال ۱۳۷۲ در دانشگاه شهید باهنر کرمان و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۱ در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده‌است. از سال ۱۳۸۱ همکاری خود را با دانشگاه یزد شروع نموده و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر این دانشگاه می‌باشد. نام‌برده از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ سرپرست دانشکده مهندسی برق دانشگاه یزد بوده و از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ نیز مسئولیت گروه آموزش‌های عالی آزاد و مجازی این دانشگاه را به عهده داشته‌است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از تحلیل و طراحی آنتن‌ها و بویژه آنتن‌های ریزنواری و شکافی موجبری، روش‌های عددی در الکترومغناطیس، مدارها و ادوات مایکروویوی.

سید منصور بیدکی متولد سال ۱۳۴۹ در شهرستان مهریز استان یزد می‌باشد. وی در سال ۱۳۷۱ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی شیمی نساجی از دانشگاه صنعتی اصفهان و در سال ۱۳۷۵ مدرک کارشناسی ارشد خود را نیز در همان رشته از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود. از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۸۱ به عنوان عضو هیئت علمی در دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه یزد مشغول به خدمت گردید. در سال ۱۳۸۱ برای ادامه تحصیل به دانشکده شیمی رنگ و پلیمر دانشگاه لیدز انگلستان وارد شده و در سال ۱۳۸۵ پایان نامه دکتری خود را با عنوان "به کارگیری روشهای نوین نانوتکنولوژی در ایجاد طرحهای دارای هدایت الکتریکی بر بسترهای انعطاف پذیر و منسوجات" به پایان رسانید. او هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه یزد بوده و در زمینه‌های مختلفی از جمله منسوجات الکترونیکی و هوشمند دارای انتشارات و تحقیقات مختلف است.

Archive of SID