

بررسی تجربی تأثیر ضخامت طلا و غلظت محلول الکترولیت در کامپوزیت‌های پلیمری یونی- فلزی*

مهران رزاقی قلعه^(۱) بهمن میرزاخانی^(۲) مهدی رئوفی^(۳)

چکیده

کامپوزیت‌های پلیمر یونی- فلزی از جمله مواد هوشمند هستند که اخیراً در صنایع مختلف کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند. این دسته از کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌های لایه‌ای فلزی پلیمری بوده که ساخت آنها از تکنولوژی پیچیده‌ای برخوردار است. این کامپوزیت‌ها نسل جدیدی از مواد هوشمند هستند که در محرک‌ها استفاده می‌شوند. هدف از تحقیق حاضر ساخت یک کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی با استفاده از لایه نشانی و بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر خواص و ساختار آن است. بدین منظور پس از تهیه ورق پلیمر پلی وینیلیدین فلورید متخلخل، پوششی از طلا با ضخامت نانومتری بر روی ورقه نازک آن به روش کندوپاش ایجاد گردید. در ادامه به کمک روش الکتروپلئینگ با استفاده از محلول پروپیلن کربنات، پیروول و نمک تری فلئورومتان سولفونیمید لیتیوم، در شرایط کاملاً کنترل شده پلی پیروول بر روی طلا نشانده شد. میکروسکوپ الکترونی جهت بررسی کیفیت پوشش و آنالیز طیف سنجی مادون قرمز برای بررسی ساختار و شناسایی ترکیبات پلیمر استفاده گردید. پارامترهای موثر بر لایه نشانی پلی پیروول نظیر غلظت محلول و ضخامت پوشش طلا، مورد بررسی واقع شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت پوشش طلا، ضخامت پوشش پلی پیروول بیشتر شده و کیفیت سطحی آن بهتر می‌گردد. همچنین شرایط بهینه الکتروپلئینگ برای مقدار غلظت محلول الکترولیت ۰/۱ مولار در دمای کاری ۲۵- درجه سلسیوس بدست آمد.

واژه‌های کلیدی پلیمرهای الکترواکتیو؛ کامپوزیت‌های پلیمری یونی- فلزی؛ لایه نشانی.

Experimental Study on the Effect of Gold Thickness and Concentration of the Electrolyte Solution of Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC)

M. Razaghi

B. Mirzakhani

M. Raufi

Abstract

Ionic polymer metal composites have recently been extensively used in various industries. These are a new generation of smart materials for fabrication of actuators. IPMC is a layered polymer-metal composite processed using advanced technology. The objective of this project is the production and processing of polypyrrole-gold-polyvinylidene fluoride (PVDF) composite. The porous PVDF membranes were first sputtered with gold as a conductive layer. The solution of propylene carbonate, pyrrole and lithium trifluoromethane sulfonamide salt was employed as an electrolyte for electroplating of poly pyrrole on the gold layer under controlled conditions. The composite layers along with the influence of temperature, current and time of electroplating, electrolyte concentration and thickness of the gold layer on the characteristics of the IPMC were investigated using SEM and FTIR techniques. The results indicated that the thickness of poly pyrrole layer increased with an increase in the thickness of the gold layer and electroplating duration. Meanwhile, the optimum condition of electroplating was obtained in the sample containing 0.1 molar of pyrrole and lithium trifluoromethane sulfonamide salt temperature of -25 °C.

Key Words Electro active polymers; Ionic polymer-metal composite (IPMC); Polyvinylidene fluoride (PVDF); gold coating; Polypyrrole

* نسخه‌ی نخست مقاله در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۰ و نسخه‌ی پایانی آن در تاریخ ۹۳/۱۰/۱۴ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

(۲) استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

(۳) استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

مقدمه

با پیشرفت سریع علم مواد در علوم و صنایع مختلف، مواد هوشمند مختلفی به سرعت توسعه یافته‌اند که در بسیاری از تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد هوشمند اصطلاحاً به موادی گفته می‌شود که می‌توانند با درک محیط و شرایط اطراف خود نسبت به آن واکنش مناسب نشان دهند. پلیمرها نیز از این قضایه مستثناء نمی‌باشند و می‌توانند در برابر محرک‌های مختلف نظیر دما، میدان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی، عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان دهند [1]. پلیمرهای اکتیو، پلیمرهای هوشمندی هستند که در پاسخ به محرک‌های خارجی مانند میدان الکتریکی، pH، میدان مغناطیسی و نور عکس‌العمل نشان داده و تغییر شکل یا اندازه می‌دهند [2].

پلیمرهای الکترواکتیو (electro active polymer (EAP))، موادی می‌باشند که با جریان الکتریکی تحریک می‌شوند [2,3]. این مواد با توجه به مکانیزم تحریک، به دو نوع پلیمرهای الکترواکتیو الکترونی و پلیمرهای الکترواکتیو یونی طبقه‌بندی می‌شوند. بطور خلاصه می‌توان گفت که پلیمرهای الکترواکتیو الکترونی توسط میدان الکتریکی و نیروهای کولن تحریک می‌شوند و پلیمرهای الکترواکتیو یونی با حرکت و انتشار یون و مواد مزدوج خود تغییر شکل پیدا می‌کنند [4].

پلیمرهای الکترواکتیو در مقایسه با آلیاژهای حافظه دار، سرعت پاسخ بالاتر، چگالی کمتر و حالت ارتجاعی بیشتری داشته و همچنین نسبت به سرامیک‌های الکترواکتیو، دارای چگالی و ولتاژ تحریک کمتری می‌باشند [3].

پلیمرهای الکترواکتیو یونی شامل دو الکتروود و یک الکتروولت در داخل خود هستند. بزرگترین مزیت این مواد این است که آنها به ولتاژهای پایین حدود ۱ ولت نیز پاسخ می‌دهند. پلیمری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته، از نوع الکترواکتیو یونی می‌باشد و به کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی (ionic

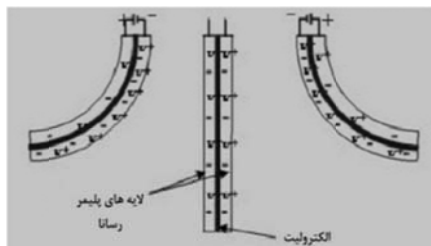
(IPMC) (polymer-metal composite) مشهور

می‌باشند.

کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی در برش مقطع عرضی شبیه به یک ساندویچ با لایه‌های الکتروود در خارج و ماتریس پلیمری در مرکز می‌باشند. همچنین، در این روش انعطاف‌پذیری بیشتری در انتخاب مواد الکتروود مانند فلزات پلاتین، پالادیوم، نقره، طلا، کربن و گرافیت وجود دارد.

پلیمرهای الکترواکتیو پلیمرهای رسانای چند لایه می‌باشند که در ساخت آنها از پلی وینیلیدین فلورید (PVDF) و پلی پیرول (PPY) استفاده شده و با ولتاژی در حدود کمتر از ۲ ولت جابجایی پیدا می‌کنند [5].

پلیمرهای الکترواکتیو، پلیمرهای رسانای چند لایه می‌باشند که با ولتاژی در حدود ۱ ولت دچار جابجایی می‌شوند. پلیمرهای رسانا، مواد آلی با قابلیت هدایت الکتریکی می‌باشند. ساختار اساسی محرک‌های پلیمر رسانا، مشابه یک ساندویچ متشکل از دو نوار پلیمر با الکتروولت بین آنها می‌باشد. نوارهای پلیمر همانند الکتروودهای سلول‌های الکتروشیمیایی عمل می‌کنند. هنگامی که پتانسیلی به الکتروودها اعمال شود، اکسایش در آند و احیا در کاتد رخ می‌دهد. برای حفظ تعادل بارهای الکتریکی، یونها به داخل و خارج از پلیمر و الکتروولت منتقل می‌شوند. تورم و انقباض زمانی اتفاق می‌افتد که یون‌های اضافی وجود داشته باشد و انقباض زمانی روی می‌دهد که یونها حذف شده باشند. خم شدن پلیمر ساندویچی هنگامی که الکتروود متورم و منقبض می‌شود در شکل (۱) نشان داده شده است [3,6].



شکل ۱ نمایش شماتیک از سه حالت پلیمرهای چند لایه

میلی پور با قطر منافذ $0.45/\mu\text{m}$ میکرون و ضخامت $100\ \mu\text{m}$ میکرون، پروپیلن کربونات (PC) از شرکت مرک، نمک تری فلئورومتان سولفونیمید لیتیوم (LiTFSI) از شرکت سیگما-آلدریچ و پیرول (Pyrrole) از شرکت مرک تهیه شده‌اند.

کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر شامل یک لایه پلیمر متخلخل به ضخامت $100\ \mu\text{m}$ میکرون در وسط است که دو طرف آن به روش کندوپاش پوشش طلا داده شده است. عمل پوشش دهی توسط یک دستگاه کندوپاش به نام Desk sputtering coater مدل DSR1 صورت گرفت. کندوپاشی تحت فشار خلاء اولیه $100\ \text{torr}$ و جریان $25\ \text{mA}$ میلی‌آمپر و طی مدت زمان‌های متفاوت انجام گرفت.

لایه پلی پیرول نشان داده شده در شکل (۲) از طریق یک محلول الکترولیت به روش الکتروپلیتینگ روی پوشش طلای ایجاد شده می‌نشیند. ترکیب محلول مورد استفاده به عنوان الکترولیت شامل پروپیلن کربنات، نمک تری فلئورومتان سولفونیمید لیتیوم، پیرول و آب است [7,8]. برای دستیابی به حالت بهینه در لایه نشینی، غلظت‌های متفاوتی از نمک و پیرول در نظر گرفته شد.

در تحقیق حاضر، غلظت‌های $0.1\ \text{M}$ مولار و $0.05\ \text{M}$ مولار به عنوان یکی از متغیرهای لایه نشانی پلی پیرول در نظر گرفته شد. بدین منظور، درصد ترکیبات مورد نیاز از محلول الکترولیت حاوی نمک تری فلئورومتان سولفونیمید لیتیوم، پیرول و پروپیلن کربنات برای هر نمونه محاسبه و برای انجام آزمایش آماده شده است.

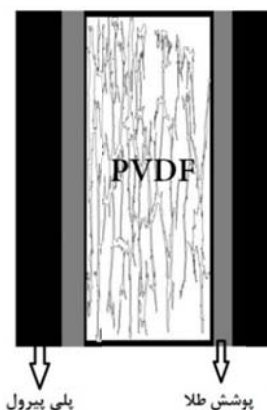
برای لایه نشانی پلی پیرول از روش الکتروشیمیایی الکتروپلیتینگ استفاده گردید. در این روش، لایه نشینی مواد به کمک جریان الکتریکی انجام می‌گیرد. در این روش با استفاده از عبور جریان الکتریکی از محلول الکترولیت و الکترودهای آند و

کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی برای دامنه وسیعی از کاربردهای مختلف از جمله بکارگیری در نیروی محرکه هیدرودینامیک، شناورسازی و باله‌های پرواز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از کاربردهای مهم این مواد در صنعت مکاترونیک می‌توان به ساخت گیربهای رباتیکی، کاهنده‌های اختلال، لباس‌های مخصوص فضانوردی و غواصی، عملگرهای تجهیزات نجومی، آنتن‌ها و رادارهای با قابلیت انبساط و حسگرهای بویایی اشاره کرد [6].

هدف از این پژوهش، ساخت و بررسی ساختار یک کامپوزیت پلیمر یونی-فلزی است. بدین ترتیب که پوشش پلیمر یونی ایجاد شده بروی یک فلز از نظر فصل مشترک و ساختار میکروسکوپی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین، بررسی پارامترهای موثر و شرایط بهینه ساخت کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی مورد تحقیق قرار می‌گیرد.

روش آزمایش

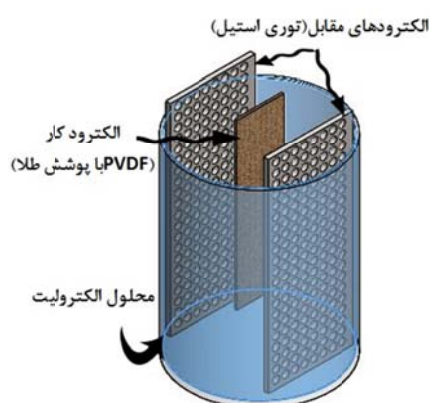
کامپوزیت ساخته شده چند لایه بوده که در شکل (۲) تصویری از آن نمایش داده شده است.



شکل ۲ شماتیکی از ساختمان کامپوزیت پلیمری فلزی - یونی

مواد آزمایشگاهی مورد استفاده

ورق نازک متخلخل پلی وینیلیدین فلورید از شرکت



شکل ۳ ظرف بشر حاوی محلول الکترولیت و الکتروود کار و الکتروود ناظر

فرآیند لایه نشانی ۳ نمونه، به روش الکتروپلیتینگ به مدت زمان ۴ ساعت انجام گرفت. سایر شرایط الکتروپلیتینگ در جدول (۱) آورده شده است. سپس، این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته تا شرایط بهینه برای ساخت نمونه کامپوزیت فلزی - یونی بدست آید.

بعد از پایان لایه نشانی، نمونه با استون شسته شده و در داخل محلول ۰/۱ مولار پروپیلن کربنات و نمک تری فلئورومتان سولفونیمید لیتیوم قرار داده شده تا نمک به داخل آن نفوذ کرده و جذب آن شود. پس از آنکه کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی طبق شرایط ارائه شده در جدول (۱) ساخته شدند، بوسیله آزمایش‌های FTIR و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

کاتد، رسوب شیمیایی اتفاق می‌افتد که به این روش گالوانواستات گفته می‌شود [9,10].

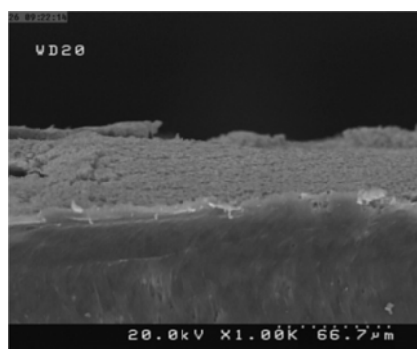
مطابق شکل (۳)، بعد از آماده کردن محلول الکترولیت، آن را داخل یک محفظه یونولیتی قرار داده و با استفاده از یخ خشک که در اطراف ظرف محلول ریخته شده بود، دمای محلول به دمای ۲۵- درجه سانتیگراد تنظیم می‌گردید. لازم به ذکر است که در طول آزمایش، دما توسط یک دماسنج دیجیتالی تحت کنترل بود. به قطعات پلی وینیلیدین فلورید برش زده شده و با طلا پوشش داده شده، الکتروود کار گفته می‌شود و الکتروود ناظر دو توری فلزی از جنس فولاد ضدزنگ انتخاب گردید. به الکتروود کار قطب مثبت و الکتروود ناظر قطب منفی متصل گردید. بعد از آن که دمای محلول به دمای مورد نظر رسید، متبع جریان وصل می‌گردید. فرآیند اکسایش و احیاء در اثر برقراری جریان آغاز می‌شود. در این صورت، یون‌های پیروول موجود در الکترولیت تحریک شده و از سمت الکتروود آند به سمت الکتروود کاتد یا الکتروود کار حرکت می‌کنند. طی فرآیند پلیمرایزاسیون، پیوند یون‌های پیروول شکسته شده و یون‌های لایه ظرفیت پیروول آزاد شده و با حرکت به سمت پلی وینیلیدین فلورید با پوشش طلا، بر روی لایه طلا نشسته و انباشته می‌شوند. میزان و شکل انباشتگی ذرات به میزان غلظت، دمای کاری، فاصله الکترودها، ضخامت طلای پوشش داده شده، زمان الکتروانباشت و چگالی جریان بستگی دارد.

جدول ۱ نمونه‌های لایه نشینی شده با شرایط آزمایش شده

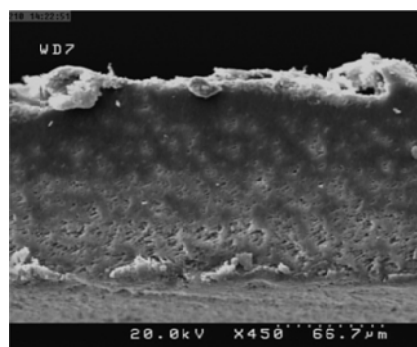
نمونه	زمان اسپاترینگ طلا (دقیقه)	غلظت محلول الکترولیت (مولار)	دمای لایه نشانی (°C)	زمان لایه نشانی (hr)
۱	۳/۵	۰/۱	۲۰- تا ۲۵-	۴
۲	۴/۵	۰/۱	۲۰- تا ۲۵-	۴
۳	۳/۵	۰/۰۵	۲۰- تا ۲۵-	۴

نتایج و بحث

پوشش‌دهی طلا. پوشش طلا بر روی پلی وینیلیدین فلورید توسط دستگاه کندوپاش و برای دو نمونه به مدت زمان‌های ۳/۵ و ۴/۵ دقیقه انجام گرفت. اندازه ذرات طلا در حد نانومتر و ضخامت طلای پوشش داده شده در حد میکرون است. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی عرضی از نمونه‌های پوشش داده شده برای مدت زمان‌های ۳/۵ دقیقه و ۴/۵ دقیقه در شکل (۴) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی عرضی از نمونه‌های (الف) ۳/۵ و (ب) ۴/۵ دقیقه با مقیاس ۶۶۷ میکرون

با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع و عرض نمونه‌های (آ) و (ب)، ضخامت پوشش طلا برای نمونه (آ) حدود ۴ میکرون و برای نمونه (ب) حدود ۶ میکرون است. این تفاوت در ضخامت پوشش بدلیل تفاوت در زمان کندوپاش در دو نمونه است. به نظر می‌رسد که ضخامت فلز پوشش داده شده روی دو طرف ورق پلی وینیلیدین فلورید

متخلخل، هم بر خواص پوشش نهایی و هم بر ویژگی‌های کامپوزیت پلیمری فلزی یونی ساخته شده تأثیر بگذارد. با افزایش ضخامت پوشش طلا، مقاومت الکتریکی کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل افزایش می‌یابد و این سبب می‌شود که چگالی جریان کاهش یابد؛ و در نهایت باعث کاهش ناهم‌واری‌های سطحی شده و سطح یکنواخت تر می‌شود [۱۱].

بررسی پوشش پلی پیروول

پوشش‌دهی پلی پیروول به روش الکتروپلیتینگ روی پوشش طلای پلی وینیلیدین فلورید از طریق فرآیند اکسایش - احیا صورت گرفته است. در جدول (۲) مقایسه پلی پیروول سیگما آلدریچ و پلی پیروول مرجع [۹] نشان داده شده است. در این مقاله دو عامل موثر در لایه نشانی پلی پیروول یعنی غلظت محلول و ضخامت پوشش طلا مورد بررسی قرار گرفت.

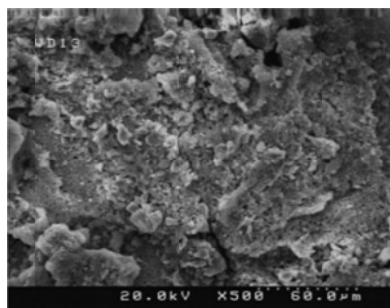
جدول ۲ مقایسه پلی پیروول مرجع و پلی پیروول سیگما

گمارش (Assignment) (پلی پیروول سیگما آلدریچ	پلی پیروول مرجع
C=C کششی	۱۴۵۸ و ۱۵۴۴	۱۴۵۸ و ۱۵۴۲
C-N کششی	۱۳۱۳	۱۳۱۱
C-N کششی	۱۱۷۴	۱۱۶۶
N-H خمشی	۱۰۴۰	۱۰۴۱
C-H خمشی	۹۰۷	۹۰۸

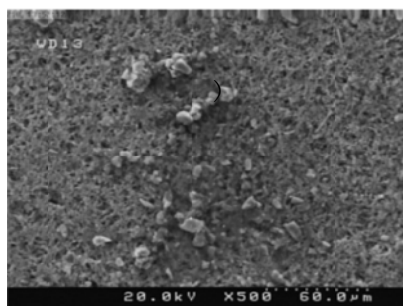
تأثیر غلظت محلول

غلظت نمک و پیروول در محلول الکترولیت یکی از عوامل موثر در لایه نشانی به روش الکتروپلیتینگ می‌باشد. برای لایه نشانی پلی پیروول، دو غلظت متفاوت ۰/۱ و ۰/۰۵ مولار نمک و پیروول در محلول الکترولیت مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر می‌باشد که مقدار غلظت‌های انتخاب شده در این تحقیق براساس فعالیت‌های انجام شده در مقالات می‌باشد.

دارند که نشان دهنده وجود گمارش $C=C$ کششی می باشد. نمونه ۱ دارای طیف ۱۳۱۳ بوده که نشان دهنده گمارش $C-N$ کششی است. در حالی که نمونه ۳ در عدد موجی ۱۰۴۰ که گمارش $N-H$ خمشی می باشد دارای پیک می باشد. نمونه ۱ عدد موجی مشابهی با پلی پیرول مرجع در ۸۹۶ داشته و دارای گمارش $C-H$ خمشی می باشد. از مقایسه طیف های نمونه های ۱ و ۳ با طیف های پلی پیرول مرجع می توان دریافت که هر دو نمونه دارای طیف های مشابهی هستند و این نشان دهنده آن است که پوشش پلی پیرول بر روی نمونه ها و تحت هر دو غلظت تشکیل شده است. به نظر می رسد تفاوت این نمونه ها به ضخامت لایه پوشش و مورفولوژی ساخت آنها مربوط شود. به همین جهت تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه های ۱ و ۳ تهیه شده که در شکل (۶) و شکل (۷) نشان داده شده است. تصاویر به ترتیب ابتدا از سطح و سپس از برش عرضی نمونه ها تهیه گردید.



(الف)



(ب)

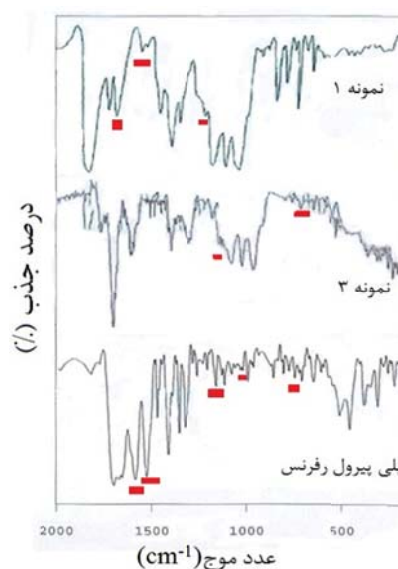
شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) نمونه او

(ب) نمونه ۳

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، نمونه های ۱ و ۳ در تمامی پارامترها، بجز غلظت محلول، شرایط یکسانی دارند. برای مقایسه نمونه ها نیز از روش های طیف سنجی و تصاویر میکروسکوپی استفاده گردید. در جدول (۳) عدد موجی های نمونه های ۱ و ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که منظور از علامت (-) نداشتن آن عدد موجی نمی باشد، بلکه منظور آن است که در آن عدد موجی، قدرت جذب کمتر بوده و ضعیف می باشد. همچنین، در شکل (۵) طیف FTIR (که واحد آن cm^{-1} بوده) برای نمونه های ۱ و ۳ مقایسه شده است.

جدول ۳ مقایسه عدد موجی های نمونه های ۱ و ۳

ردیف	پلی پیرول	نمونه ۱	نمونه ۳	گمارش
۱	۱۵۴۲	۱۵۴۴	۱۵۴۴	$C=C$ کششی
۲	۱۴۵۸	۱۴۵۸	۱۴۵۸	$C=C$ کششی
۳	۱۳۱۱	۱۳۱۳	-	$C-N$ کششی
۴	۱۰۴۰	-	۱۰۴۰	$N-H$ خمشی
۵	۹۰۸	۸۹۶	-	$C-H$ خمشی

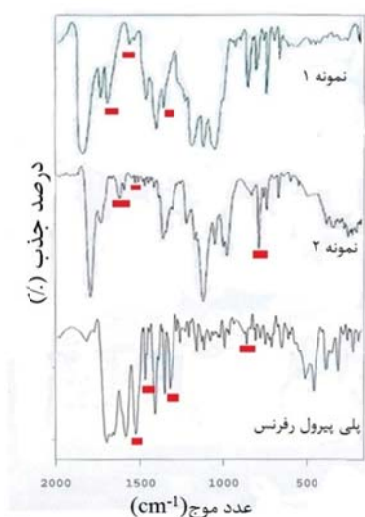


شکل ۵ طیف FTIR برای نمونه های ۱، ۳ و پلی پیرول

طبق جدول (۳)، نمونه ۱ و نمونه ۳ در عدد موجی ۱۵۴۴ و ۱۴۵۸ طیف های مشابهی با پلی پیرول مرجع

می‌تواند بر ساختار سطح مشترک الکتروود-الکترولیت نیز اثر بگذارد [11].

شکل (۸) تصویر عدد موجی FTIR نمونه‌های ۱ و ۲ را نشان داده و در جدول (۴) عدد موجی‌های قوی این نمونه‌ها آورده شده است.

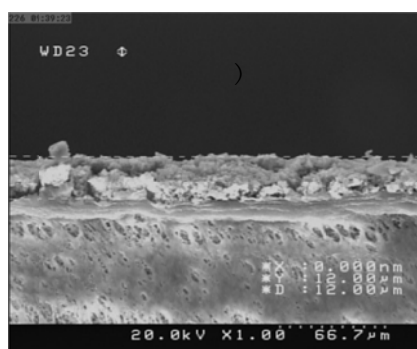


شکل ۸ مقایسه طیف FTIR برای نمونه‌های ۱ و ۲

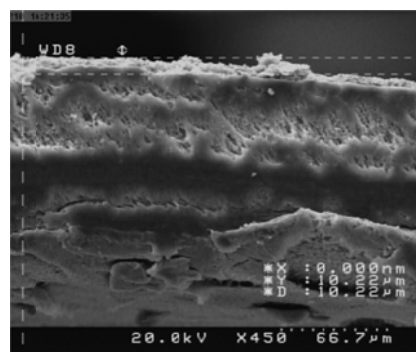
جدول ۴ مقایسه عدد موجی نمونه‌های ۱ و ۲

ردیف	پلی پیرویل	نمونه ۱	نمونه ۲	گمارش
۱	۱۵۴۲	۱۵۴۴	-	C=C کششی
۲	۱۴۵۸	۱۴۵۸	-	C=C کششی
۳	۱۳۱۱	۱۳۱۳	-	C-N کششی
۴	۱۰۴۱	-	۱۰۴۰	N-H خمشی
۵	۹۰۸	۸۹۶	۸۹۶	C-H خمشی

طبق جدول (۴)، نمونه ۱ در عدد موجی‌های ۱۵۴۲ و ۱۴۵۸ دارای گمارش C=C کششی می‌باشد. نمونه ۱ عدد موجی ۱۳۱۱ گمارش C-N کششی داشته در صورتی که نمونه ۲ در عدد موجی ۱۰۴۰ دارای گمارش N-H خمشی است. هر دو نمونه دارای فرکانسی مشابه با پلی پیرویل در عدد موجی ۸۹۶ با گمارش C-H خمشی می‌باشند. بنابراین، در هر دو نمونه ۱ و ۲ لایه پلی پیرویل تشکیل گردیده است.



(الف)



(ب)

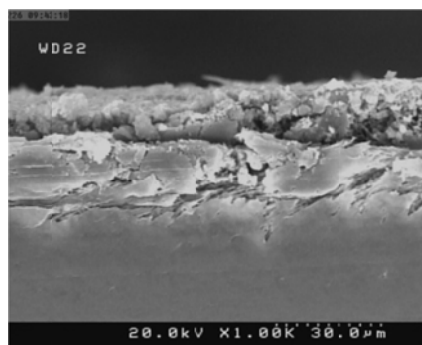
شکل ۷ تصویر برش عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۳

با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۶) و شکل (۷)، می‌توان لایه پلی پیرویل تشکیل شده بر روی پلی وینیلیدین فلورید پوشش داده شده با طلا را مشاهده نمود. لایه پلی پیرویل نمونه ۱ نسبت به نمونه ۳ متراکم تر است زیرا غلظت محلول الکترولیت برای نمونه ۳ کمتر بوده و لذا تخلخل بیشتری در ساختار این نمونه دیده می‌شود. همچنین، از تصویر شکل (۷) ضخامت پوشش برای نمونه ۱، حدود ۱۲ میکرومتر و برای نمونه ۳، حدود ۱۰ میکرومتر است. بنابراین با افزایش غلظت پیرویل و نمک در محلول الکترولیت، تراکم و ضخامت پوشش پلی پیرویل بیشتر می‌شود.

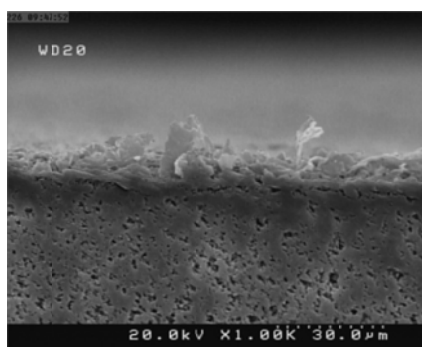
تأثیر ضخامت طلا بر لایه نشانی پلی پیرویل

زیرلایه‌های با جنس و سطح مختلف، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی ایجاد می‌کنند و همچنین زیرلایه

و پلی پیرول تحقیق شد. با توجه به نتایج بدست آمده متغیرهای موثر در ساخت یک کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی شناسایی و تأثیرات آنها بررسی شده است و نتایج کلی زیر حاصل گردید.



(الف)



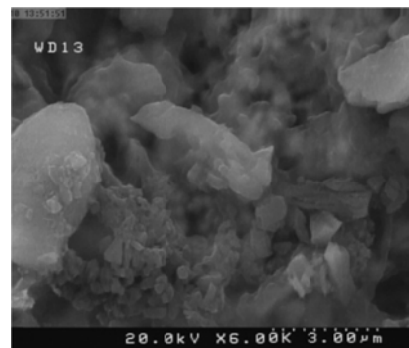
(ب)

شکل ۱۰ تصویر برش عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۲

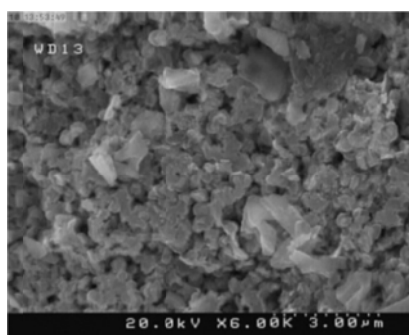
۱. غلظت محلول الکترولیت از عوامل مهم در لایه نشانی در ساخت کامپوزیت می‌باشد. افزایش غلظت تا مقدار لازم تأثیر بسزایی در لایه نشانی دارد. علت آن هم این است که با افزایش غلظت محلول الکترولیت، درصد ترکیبات پیرول و نمک افزایش یافته و در نتیجه پوشش یکنواخت‌تر و حفره کمتر بوجود می‌آید.

۲. با توجه به مقایسه طیف‌های FTIR نمونه‌ها و همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده از نمونه‌ها، نتیجه می‌شود که غلظت ۰/۱ مولار تأثیر بیشتری در ساختار پلی پیرول و پوشش-دهی آن دارد.

در شکل (۹)، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح و شکل (۱۰) تصویر مقطع عرضی از نمونه‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۲

با توجه به شکل (۹) و شکل (۱۰) با مقایسه ساختار پلی پیرول در دو نمونه، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح نمونه ۱، ساختار درشت تری را نسبت به نمونه ۲ نشان می‌دهد. این تفاوت بیانگر تأثیر زیرلایه بر لایه نشینی می‌باشد. با افزایش ضخامت پوشش طلا، مقاومت الکتریکی کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل افزایش می‌یابد و این سبب می‌شود که چگالی جریان کاهش یابد؛ و در نهایت باعث کاهش ناهمواری‌های سطحی شده و سطح یکنواخت‌تر می‌شود [9-11].

نتیجه گیری

در این پژوهش بر روی کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی چند لایه متشکل از پلیمر پلی وینیلیدین فلورید

و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ذرات پلی پیرول، بهترین مدت زمان در این آزمایشات ۴/۵ دقیقه بود که بیشترین ضخامت پوشش طلا را داشته است.

۳. با افزایش ضخامت زیرلایه طلا مقاومت الکتریکی کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل افزایش یافته و باعث یکنواختی سطح پوشش شده و کاهش حفره‌های آن می‌شود.

۴. با توجه به ضخامت طلا در فعالیت‌های پیشین و بررسی تأثیر طلا در ساختار پلی پیرول نشانده شده

مراجع

1. Goldak J., Chakravarti A., Bibby, M., "A new finite element model for welding heat sources", *Metallurgical Transactions B*, Vol. 15, pp. 229-305, (1984).
2. Tzou H.S., Lee H.J., "Smart materials, precision sensor/actuators, Smart structures, and structronic systems", *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, Vol. 11, pp. 367-393, (2004).
3. Bar-Cohen Y., "Biomimetic actuators using electroactive polymers (EAP) as artificial muscles", CRC Press, California, USA, (2000).
4. Bar-Cohen Y., "Electroactive polymer (EAP) actuators as artificial muscles-reality, Potential and challenges", SPIE Press, Vol. PM98, (2001).
5. Bar-Cohen Y., "Biomimetics biologically inspired technologies", CRC Press, California, USA, (2006).
6. Shahinpoor M., Kim K., "Ionic polymer-metal composites: IV. industrial and medical applications", *Smart Materials and Structures*, Vol. 14, pp. 197-214, (2005).
7. Han G., Conducting G.S., "Polymer electrochemical actuator made of high-strength three-layered composite films of polythiophene and polypyrrole", *Sensors and Actuators B*, Vol. 99, pp. 525-531, (2004).
8. Wu Y., Alici G., Spinks G.M., Wallace G.G., "Fast three layer polypyrrole bending Actuators for high speed applications", *Synthetic Metals*, Vol. 156, pp. 1017-1022, (2006).
9. Alici G., Huynh N.N., "Performance quantification of conducting polymer actuators for real applications: a micro gripping system", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 12, No. 1, (2007).
10. Eisazadeh H., "Studying the characteristics of polypyrrole and its composites", *World Journal of Chemistry*, Vol. 2.2, pp. 67-74, (2007).
11. Gaihera B., Alici G., Geoffrey M., Cairney M., "Synthesis and performance evaluation of thin film PPY-PVDF multilayer electroactive polymer actuators", *Sensors and Actuators A*, Vol. 165, pp. 321-328, (2011).
12. Yao Q., Alici G., Spinks G.M., "Feedback control of tri-layer polymer actuators to improve their positioning ability and speed of response", *Sensors and Actuators A*, Vol. 144, pp. 176-184, (2008).