

مطالعه شکل شناسی پلی پیروول تهیه شده به روش الکتروشیمیایی و شیمیایی و کامپوزیت پلی پیروول - پلی آکرلیک اسید

Study on Morphology of Polypyrroles Prepared Electrochemically and Chemically and Polypyrrole-Polyacrylic Acid Composite

آذرمیدخت حسین نیا

پژوهشگاه مواد و انرژی

دریافت: ۷/۱۰/۹۳، پذیرش: ۱۵/۱۲/۹۳

چکیده

رسانندگی الکتریکی پلیمرهای رسانا بستگی به روش سنتز آنها دارد. در این پژوهش پلی پیروول با دو روش الکتروشیمیایی و شیمیایی و همچنین کامپوزیت پلی پیروول - پلی آکرلیک اسید تهیه شده و سپس شکل شناسی آنها با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

در روش الکتروشیمیایی، پلیمر شدن پیروول در محلول آبی و با دو الکترود مس و نیشه دارای پوشش انیدیم - فلج اکسید (ITO) انجام می‌شود. معمولاً واسطه الکترولیت سدیم فنول سولفونات است و پلیمر ظاهراً به صورت فیلم سیاهی روی آند ایجاد می‌گردد. از مطالعات SEM معلوم می‌شود که این فیلم در واقع ذرات زیر میکرونی پلیمر است که ساختاری شبیه گل کلم دارد. فشردگی و کم بودن میزان تخلخل سبب افزایش رسانندگی الکتریکی ($> 100 \text{ S/cm}$) می‌شود.

در روش اکسایش شیمیایی، پلیمر شدن در محیط آب و اکسندۀ پتاسیم پرسولفات انجام می‌گیرد که پلیمر به صورت پودر بسیار ریزدانه ($\approx 200 \text{ nm}$) و با رسانندگی الکتریکی 56 S/cm حاصل می‌شود. مطالعه این نمونه‌ها با SEM نشان می‌دهد که علی‌رغم فشردگی پودر، تخلخل بین ذرات نسبتاً زیاد است و علت کاهش رسانندگی الکتریکی نیز همین است. در نمونه‌های کامپوزیت نیز به علت وجود پلی آکرلیک اسید در بین ذرات پلی پیروول، رسانندگی الکتریکی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پلی پیروول، پلیمرهای رسانا، شکل شناسی، رسانندگی، کامپوزیت پلی پیروول - پلی آکرلیک اسید

Key Words: polypyrrole, conductive polymers, morphology, conductivity, polypyrrole-polyacrylic acid composite

مقدمه

[۱، ۲]. خواص فیزیکی و ظاهری پلیمر بستگی به انتخاب روش پلیمر شدن دارد. پلی پیروول تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی به صورت پودر ریز و به روش الکتروشیمیایی به شکل فیلم به دست می‌آید، به همین دلیل پلیمر حاصل از واکنش الکتروشیمیایی دارای رسانندگی الکتریکی بالاتری است [۳].

در سال ۱۹۸۱ دیاز در آزمایشگاه تحقیقاتی IBM در آمریکا توانست پلی پیروول را از طریق اکسایش الکتروشیمیایی در حلال استونیتریل و در مجاورت یک نمک آمین نوع چهارم

در بین پلیمرهای رسانا، پلی پیروول به علت زیست‌سازگاری، آسانی پلیمر شدن و پایداری شیمیایی بیشتر در مقایسه با پلی استیلن مورد توجه قرار گرفته است [۴-۱]. پلیمر شدن پیروول به دو روش الکترواکسایش و اکسایش شیمیایی امکان پذیر است. در هر دو صورت ابتدا یک الکترون از پیروول جدا می‌شود و کاتیون - رادیکال پیروول ایجاد می‌گردد و بار رادیکال کاملاً در سطح حلقه انتشار می‌یابد. محاسبات اوربیتال مولکولی نشان می‌دهد که چگالی اسپین در موقعیت α در کاتیون - رادیکال پیروول از سایر موقعیت‌های بیشتر است، بنابراین پلیمر شدن از این ناحیه انتشار می‌یابد

مواد

مواد شیمیایی مصرفی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند و از خلوص لازم برای ستر بر خوردار بودند. پیرول قبل از مصرف در فشار حدود 50 mmHg و دمای 70°C تقطیر شد. آکرلیک اسید نیز به علت داشتن پایدارکننده ابتدا تقطیر شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت.

سدیم فنول سولفونات، واسطه الکترولیت، به روش زیر تهیه شد: مقدار $9/5$ گرم ($0/01$ مول) فنول به یک بالن 500 cc منتقل شد و 23 گرم ($12/5$ میلی‌لیتر) سولفوریک اسید غلیظ قطره قطره به آن اضافه شد. بعد از هم‌زدن مخلوط، محلول حاصل به مدت 30 دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت تا واکنش کامل گردد. فنول سولفونیک اسید به صورت شربت غلیظی به دست آمد. پس از افزودن نمک طعام و سدیم بی‌کربنات، اسید حاصل به نمک سدیم تبدیل شد. بعد از صاف کردن، نمک سفید سدیم فنول سولفونات با کمی آب و سپس الکل شستشو داده شد و در دمای 100°C خشک گردید. نمک سدیم فنول سولفونات دوباره با کمی آب متبلور شد. با توجه به طیف IR نمونه نمک معلوم شد که در این واکنش مخلوطی از پارا و اورتو سدیم فنول سولفونات به دست آمده است.

دستگاهها

میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد استفاده از شرکت لیکا کمبریج مدل استریو اسکن 360 است. تصویر نمونه‌ها پس از پوشش دهی با طلا (ضخامت 5 nm) در بزرگ‌نماییهای مختلف گرفته شدند.

روشها

تهیه پلی‌پیرول به روش الکتروپلیمر شدن

مقدار 2 گرم سدیم فنول سولفونات در 100 cc آب مقطر حل شد و پس از افزودن $0/7 \text{ Vcc}$ ($0/01$ مول) پیرول تقطیر شده به آن، مخلوط خوب هم‌زده شد. pH محلول حاصل $3-4$ بود. آن‌گاه، دو الکترود درون محلول قرار گرفت. یک الکترود شیشه‌ای با پوشش انیدیم - قلع اکسید (ITO) با سطح تقریبی $7/5 \text{ cm}^2$ که به قطب مثبت (آند) و یک ورقه مسی با همان سطح که به قطب منفی (کاتد) یک منبع انرژی (برق) متصل شد. با اعمال پتانسیل یک ولت پلیمر شدن صورت گرفت و پلیمر سیاه رنگ به صورت ورقه‌ای نازک در سطح آند نشست. بعد از 5 ساعت الکترودها از محلول خارج و با آب مقطر شستشو داده شد. رسانندگی الکتریکی این پلیمر 100 S/cm است.

تهیه پلی‌پیرول به روش پلیمر شدن شیمیایی

مقدار $2/38$ گرم ($0/01$ مول) پتاسیم پرسولفات در 150 cc آب

$(\text{Bi}^+ \text{N}^+ \text{X}^- / \text{CH}_3\text{CN})$ به دست آورد [4,5]. در این واکنش تشکیل یک واسطه کاتیون - رادیکال فعال به پلیمر شدن در سطح آند منجر می‌شود. به اعتقاد وی رسانندگی فیلم پلی‌پیرول به دست آمده در آند به ماهیت آنیون نمک آمین نوع چهارم (X^-) بستگی دارد و دیاز با این روش توانست به رسانندگی 200 S/cm دست یابد. اهمیت آنیون (X^-) در نمک آمین نوع چهارم به این دلیل است که آنیون نقش دوپه‌کننده را در پلیمر حاصل بازی می‌کند [6].

واکنش پلیمر شدن اکسایش پیرول در مجاورت آهن (III) کلرید در محلول اتر نیز توسط میرز انجام شده [7] که به ادعای وی رسانندگی پودر محصول (فشرده به صورت قرص) 10^2 S/cm بوده است.

برای بهبود خواص مکانیکی پلیمرهای رسانا روشهایی جهت تهیه انواع کامپوزیت پلی پیرول پیشنهاد شده است. مثلاً، کامپوزیتی از پلی‌پیرول و پلی‌یورتان با مقاومت مکانیکی نسبتاً خوب و رسانندگی الکتریکی $0/2 \text{ S/cm}$ تهیه شده و شکل‌شناسی آن مورد بررسی قرار گرفته است [3]. گروه دیگری از پژوهشگران ژاپنی [8] فیلمهای نازک کامپوزیت پلی متیل متاکریلات و پلی پیرول را در مجاورت پتاسیم پرسولفات به عنوان اکسنده تهیه کرده‌اند. پلیمرهای حاصل از لحاظ میزان عبور نور، سختی و رسانایی مورد بررسی قرار گرفته است.

در پژوهش دیگری نیز رسانندگی الکتریکی و شکل‌شناسی لایه متخلخل پلی‌پیرول، که به روش الکتروشیمیایی در محلول استونیتریل و در مجاورت پیریدینیوم کلروکرومات تهیه شده، مورد مطالعه قرار گرفته است [9]. در این پژوهش رسانندگی الکتریکی لایه فشرده پلی‌پیرول در محدوده 1 تا 10 S/cm^{-1} گزارش شده است، در حالی که رسانندگی الکتریکی پلی‌پیرولی که به روش مشابه ولی در غیاب اکسنده تهیه شده ده برابر بیشتر است. در تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی ساختار پلی‌پیرول گل کلمی (cauli flower like) مشاهده می‌شود که وجود اکسنده موجب متخلخل شدن ساختار آن شده است.

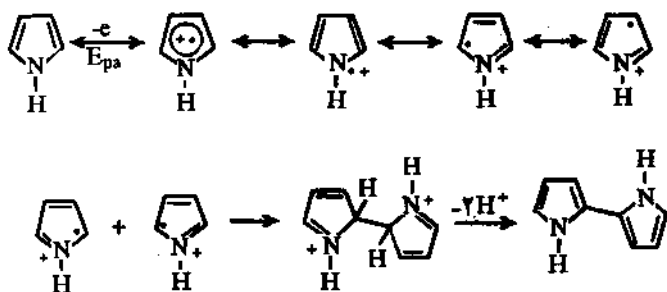
در این مقاله شکل‌شناسی سه نوع پلی‌پیرول زیر به وسیله میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- 1- پلی‌پیرول تهیه شده به روش الکتروشیمیایی،
- 2- پلی‌پیرول به دست آمده به روش اکسایش شیمیایی،
- 3- کامپوزیت پلی‌پیرول-پلی‌آکرلیک اسید.

تجربی

در این بخش مواد، دستگاهها و روشهای تهیه و تعیین خواص پلی‌پیرول و کامپوزیت آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

می‌شود [۱،۲]:



دی‌مر دوباره یک الکترون به آند می‌دهد و به کاتیون - رادیکال تبدیل می‌شود و پلیمر شدن ادامه می‌یابد. سدیم فنول سولفونات در محلول یاد شده علاوه بر ایفای نقش واسطه الکترولیت، که باعث انحلال پیرول می‌شود، عامل دوپه کننده نیز می‌باشد. بار منفی $\text{HO-C}_6\text{H}_4\text{-SO}_3^-$ سبب می‌شود که این آنیون به طرف آند کشیده شود و درون پلیمر جایگیری کند [۱۰، ۱۱]. بدین ترتیب، فنول سولفونات یک دهنده الکترون محسوب می‌شود و قادر است رسانندگی الکتریکی معادل 100 S/cm را در پلیمر ایجاد کند. فیلم سیاه ایجاد شده روی آند ظاهراً یکنواخت و همگن است، ولی مطالعه نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان می‌دهد که توده‌های پلیمری تشکیل شده، به صورت تقریباً کروی، ابتدا یک لایه نازک در سطح آند ایجاد می‌کنند. این توده‌ها فشرده و متراکم هستند و توده‌های پلیمری بعدی روی لایه قبلی قرار می‌گیرند. در شکل ۱ قسمتی از فیلم تشکیل شده در سطح آند نشان داده شده است. در این شکل توده‌های ۵ میکرونی پلیمرهای تشکیل شده که در کنار یکدیگر به طور فشرده قرار دارند مشاهده می‌شود. هر یک از این توده‌های متراکم ۵ میکرونی خود از ذرات پلیمری ریزتری تشکیل یافته است که اغلب اندازه آنها کمتر از ۱ میکرون است. در این میان عامل دوپه کننده (فنول سولفونات) در بین زنجیرهای پلیمری جای گرفته است.

ضخامت فیلم تشکیل شده را می‌توان حدود $10 \text{ }\mu\text{m}$ تخمین زد. در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده به روش پلیمر شدن الکتروشیمیایی (نمونه EP) با دو بزرگ‌نمایی مختلف دیده می‌شود. در تصویر ۱ الف می‌توان چگونگی تشکیل لایه را روی آند به خوبی مشاهده کرد و در تصویر ۱ ب همان قسمت از پلیمر با بزرگ‌نمایی بیشتر نشان داده شده است. از این شکل پیداست که پلیمر به صورت گل کلم رشد کرده و به علت ریزدانه بودن ذرات تشکیل دهنده، تخلخل در سطح هر لایه به حداقل کاهش یافته است به طوری که در حالت ماکروسکوپی پلیمر تشکیل شده در سطح آند به صورت فیلم دیده می‌شود.

مقطر حل شد. سپس در دمای معمولی مقدار 0.7 cc (0.1 mol) پیرول تقطیر شده قطره قطره به این محلول اضافه شد. pH محلول قبل از افزایش پیرول $4/5$ و پس از تشکیل پلیمر، که دارای جلای فلزی است، به ۱ کاهش یافت. وزن پلیمر تشکیل شده پس از صاف و خشک شدن در دمای 60°C برابر 0.5 گرم، رسانندگی الکتریکی قرص فشرده آن $3/5 \text{ S/cm}$ و چگالی آن $1/14 \text{ g/cm}^3$ است.

تهیه کامپوزیت پلی‌پیرول و پلی‌آکرلیک اسید

مقدار 0.7 cc (0.1 mol) پیرول تقطیر شده و 0.6 cc (0.1 mol) آکرلیک اسید مخلوط شد. در دمای معمولی قطره قطره به 100 cc محلول حاوی $2/38$ گرم پتاسیم پرسولفات اضافه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت رسوب قهوه‌ای تیره حاصل صاف و در دمای 60°C خشک گردید که رسانندگی قرص فشرده آن برابر 10^{-5} S/cm اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری رسانندگی الکتریکی

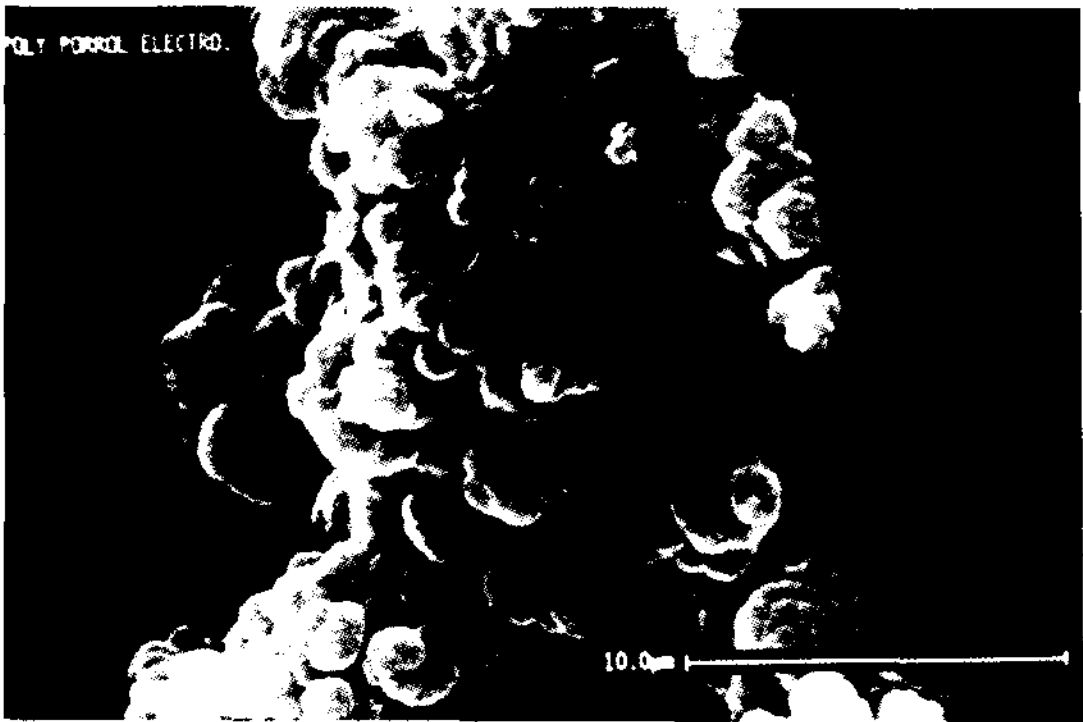
پلیمر تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی و کامپوزیت پلی‌پیرول - پلی‌آکرلیک اسید به وسیله دستگاه پرس با فشار 10 ton/cm^2 به صورت قرص با قطر $1/1 \text{ cm}$ و ضخامت 1 mm درآمدند. رسانندگی الکتریکی این نمونه‌ها با روش کاونده چهار مکانی (four point probe) معین شد. اندازه‌گیری رسانندگی الکتریکی پلیمر تهیه شده به روش الکتروپلیمر شدن، که به صورت فیلم روی شیشه تهیه شده بود، نیز با این روش صورت گرفت.

نتایج و بحث

در این بخش با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوشی (SEM) پلی‌پیرول تهیه شده به روش الکتروشیمیایی و شیمیایی و کامپوزیت آکرلیک اسید آن، شکل‌شناسی این مواد تشریح می‌شود.

پلیمر شدن به روش الکتروشیمیایی

در واکنش‌های پلیمر شدن الکتروشیمیایی (EP)، مولکولهای پیرول به علت غنی بودن بار الکتریکی حلقه آنها به سطح آند نزدیک می‌شوند و یک الکترون از هر مولکول پیرول کنده شده، یک کاتیون - رادیکال فعال ایجاد می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، مقدار ولتاژ لازم برای جدا ساختن این الکترون تقریباً یک ولت است. در این کاتیون - رادیکال بار کاملاً در سطح حلقه نامستقر می‌شود، ولی چگالی بار مثبت در موقعیت α پیرول بیشتر از مکانهای دیگر است. به همین دلیل با نزدیک شدن یک مولکول دیگر پیرول به آند به آسانی یک دی‌مر تشکیل



(الف)

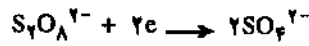


(ب)

شکل ۱- تصویر SEM پلی‌پیرول تهیه شده به روش الکتروشیمیایی: (الف) بزرگ‌نمایی $4/18 \times 10^3$ و (ب) بزرگ‌نمایی $8/87 \times 10^3$.

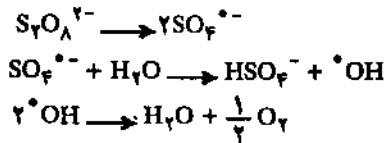
پلیمر شدن اکسایشی به روش شیمیایی

پتاسیم پرسولفات بلور سفید و بی‌بویی است که به تدریج تجزیه می‌شود و اکسیژن آزاد می‌کند، در آب محیط را اسیدی می‌سازد و اکسندهای قوی محسوب می‌شود. دو مکانیسم برای اکسایش مواد با پتاسیم پرسولفات در محیط آبی وجود دارد. یکی کاهش معمولی پرسولفات که طبق رابطه زیر صورت می‌گیرد:



که پتانسیل کاهش و اکسایش بالا ۲/۰۱ ولت است، در حالی که پتانسیل اکسایش پیرول ۰/۸ ولت است. بدین ترتیب پتاسیم پرسولفات می‌تواند عمل اکسایش پیرول را انجام دهد.

مسئله دیگر اینکه پتاسیم پرسولفات پس از تفکیک به عنوان آغازگر در پلیمر شدن شیمیایی (ChP) عمل می‌کند:



تصور می‌شود که یون-رادیکال تشکیل شده، پلیمر شدن پیرول را از طریق مکانیسم رادیکالی آغاز می‌کند، ضمن آنکه در پلیمر نقش انتقال دهنده بار (دوپه کننده) را نیز دارد [۷].

همان‌طور که اشاره شد، پیرول در مقابل این اکسنده که محلولی اسیدی با pH حدود ۴ ایجاد می‌کند، سریعاً پلیمر می‌شود. پلیمر حاصل به صورت پودر سیاه رنگ است و کمی جلای فلزی دارد (نمونه ChP). رسانندگی الکتریکی نمونه ChP (پس از فشردن) $3/5 \text{ S/cm}^2$ و چگالی آن $1/14 \text{ g/cm}^3$ است و ذرات به علت اندازه زیر میکرونی، مثل دوده به آسانی پراکنده می‌شوند. تصویر میکروسکوپ الکترونی این نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه ذرات پلیمر تشکیل شده کمتر از میکرون و یکنواخت است. شکل ۲ الف با بزرگ‌نمایی تقریباً ۹۰۰۰ برابر، مجموعه‌ای از ذرات یکنواخت کروی پلیمر را نشان می‌دهد و شکل ۲ ب هر کدام از ذرات کروی شکل را با بزرگ‌نمایی ۶۰،۰۰۰ برابر نمایان می‌سازد. در این شکل اندازه ذرات به خوبی قابل تشخیص است و به طوری که ملاحظه می‌شود اکثر ذرات بزرگتر خود از ذرات کوچکتر، حدود ۲۰۰ nm، تشکیل یافته‌اند.

پلیمر تهیه شده به روش شیمیایی گرچه در حلالهای آلی انحلال‌پذیر نیست، ولی به علت دارا بودن ذرات زیر میکرونی می‌تواند به خوبی در محیطهای مختلف پراکنده شود و در سطوح موردنظر پوششهای نیم رسانا ایجاد کند.

علوم تکنولوژی

سال هشتم، شماره اول، اردیبهشت ۱۳۷۴

از مقایسه تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های EP و ChP، یعنی نمونه‌های تهیه شده به روش الکتروشیمیایی و شیمیایی، می‌توان به دو نکته اساسی پی برد. اول آنکه پلیمر تهیه شده به روش الکتروشیمیایی دارای ذرات فشرده‌تری نسبت به روش دیگر است. دوم آنکه توده‌های پلیمری نمونه EP کاملاً فشرده و در کنار هم چیده شده‌اند و الکترونها بدون هیچ‌گونه فاصله‌ای از یک توده به توده دیگر انتقال می‌یابند. به همین دلیل پلیمرهای تهیه شده به روش الکتروشیمیایی از رسانندگی الکتریکی بالاتری برخوردارند.

شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی یک نمونه پلی‌پیرول فشرده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پلیمر تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی علی‌رغم فشرده شدن به صورت قرص بسیار متخلخل است. در این مورد می‌توان گفت که حدود ۵۰٪ فضای خالی در این قرص وجود دارد و این فضای خالی است که رسانندگی الکتریکی را حدود ۱۰۰ مرتبه کاهش می‌دهد.

کامپوزیت پلی‌آکریلیک-اسید-پلی‌پیرول

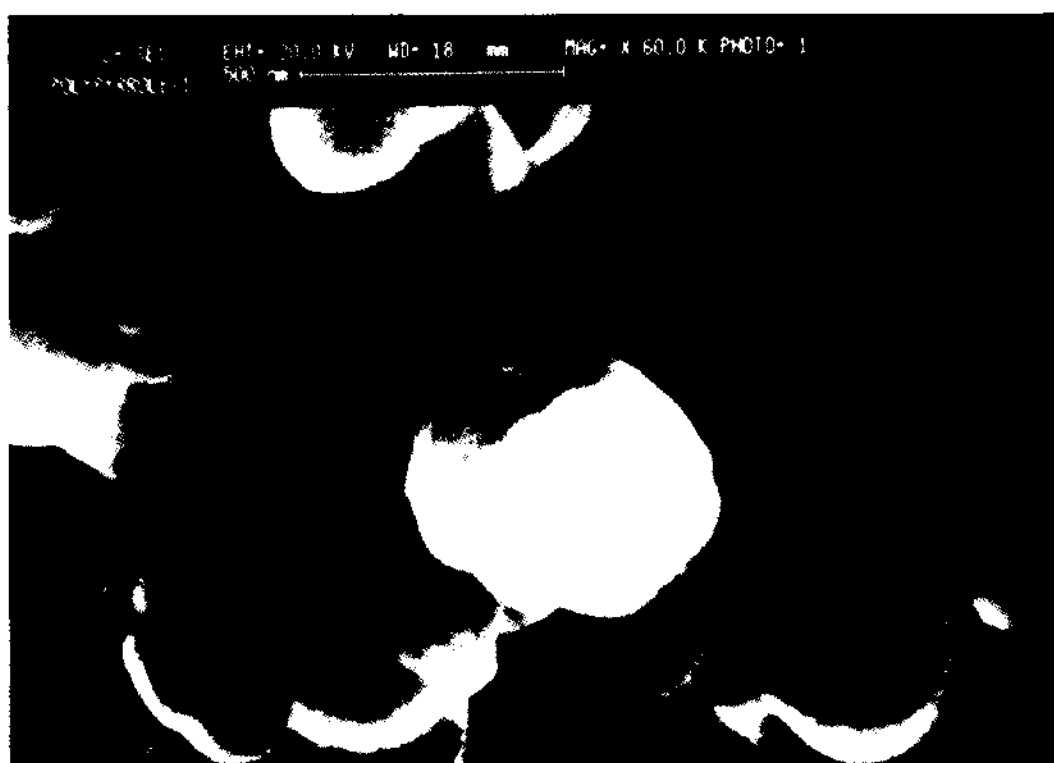
با افزایش محلول پتاسیم پرسولفات به محلول آکریلیک اسید و پیرول، دو پلیمر پلی‌آکریلیک اسید و پلی‌پیرول همزمان رسوب می‌کنند و رنگ این کامپوزیت، برخلاف پلی‌پیرول که سیاه رنگ است، قهوه‌ای است. رسانندگی قرص فشرده آن حدود 10^{-5} S/cm است. در شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشی این نمونه دیده می‌شود. وجود پلی‌آکریلیک اسید در تصویر میکروسکوپی به صورت یک لایه مشخص است، در حالی که فاز پلی‌آکریلیک اسید با چشم غیر مسلح از فاز پلی‌پیرول قابل تشخیص نیست. کاهش رسانندگی الکتریکی در این کامپوزیت به علت وجود پلی‌آکریلیک اسید در بین ذرات پلی‌پیرول است که انتقال بار از یک توده پلیمر به توده دیگر را مشکل ساخته است. برای بهبود رسانندگی الکتریکی در کامپوزیت باید اطمینان یافت که ارتباط ذرات پلیمر رسانا در کل ماده حفظ شده است. در غیر این صورت، بدیهی است که وجود پلیمر نارسا در کامپوزیت احتمال انتقال بار را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با بررسی تصاویر میکروسکوپی می‌توان شکل‌شناسی پلی‌پیرول تهیه شده به روش الکتروشیمیایی را چنین تشریح کرد: لایه‌های ایجاد شده روی آند، که ظاهراً به صورت فیلم دیده می‌شوند، از ذرات میکرونی کروی شکل تشکیل یافته‌اند. این ذرات به‌طور منظم تمام سطح آند را گرفته‌اند و با چشم غیر مسلح به صورت فیلم مشاهده می‌شوند. به هم پیوستگی ذرات به گونه‌ای است که تخلخل در پلیمر تشکیل شده به حداقل می‌رسد. در حالی که پلی‌پیرول تهیه شده به روش شیمیایی

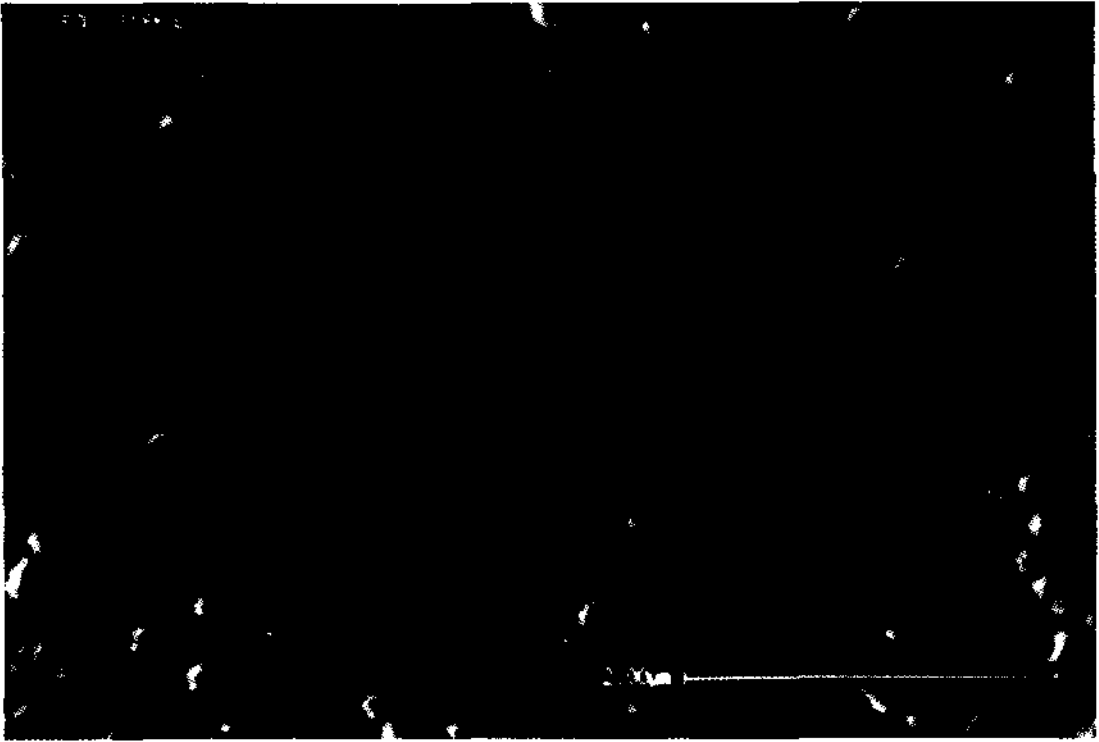


(الف)

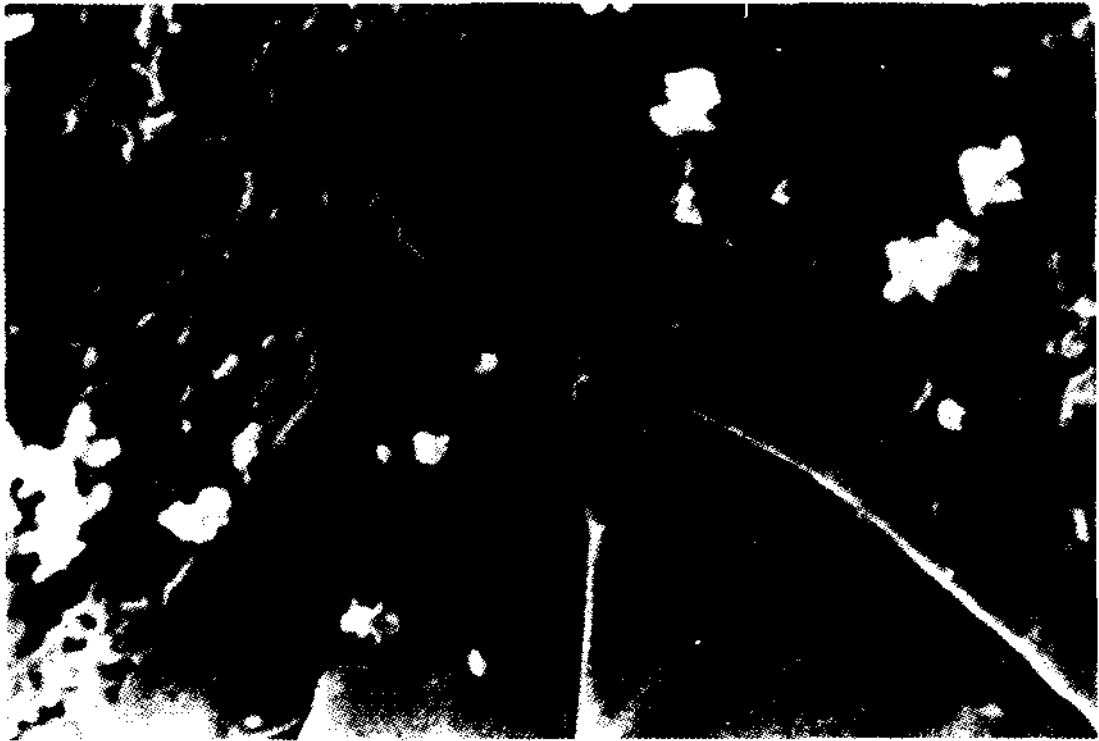


(ب)

شکل ۲- تصویر SEM پلی‌پیرول تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی: (الف) بزرگ‌نمایی $9/62 \times 10^3$ و (ب) بزرگ‌نمایی 60×10^3 .



شکل ۳- تصویر SEM پلی‌پیرول تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی.



شکل ۴- تصویر SEM کامپوزیت پلی‌آکرلیک اسید- پلی‌پیرول.

- 5 Diaz A.F, Castillo J., Kanazawa K.K., Logan J.A., Salmon M. and Fajardo O.; *J. Electroanal. Chem.*; **133**; 233; 1982.
- 6 Kanazawa K.K., Diaz A.F., Geiss R.H., Gill W.D., Kwak J.F., Logan J.A., Rabolt J.F. and Street G.B.; *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*; 854-855; 1979.
- 7 Myers R.E., *J. Electrochem. Mater.*, **15**, 2, 61-64, 1986.
- 8 Morita M., Hashida I. and Nishimura M., *J. Appl. Polym. Sci.*, **36**, 1639-1650, 1988.
- 9 Baluch S.K., Annus J., Omastova M. and Kvisin J.; *J. Mater. Sci.*; **29**; 3403-3407; 1994.
- 10 Kuwabatat S., Nokamuva J. and Honeyama H.; *J. Electrochem. Soc.*; **137**; 7; 2147-2150; 1990.
- 11 Amemia J., Hashimoto K., Fujisnima A. and Ltoh K.; *J. Electrochem. Soc.*; **138**; 10; 2845-2848; 1991.
- 12 Miller J.S., *Adv. Mater.*, **5**, 718, 587-589, 1993.

دارای ذرات کروی تقریباً جدا از هم است که علی‌رغم فشرده شدن، تخلخل نسبتاً بالایی در قرص مشاهده می‌شود. ریزدانه بودن پلی‌پیرول تهیه شده به روش اکسایش شیمیایی (متوسط اندازه ذرات ۲۰۰ nm) نشان می‌دهد که این دسته از پلیمرها می‌توانند در فتون پوشش‌دهی به روش پراکنده‌سازی بسیار مفید واقع شوند [۱۲]. در پلیمر شدن و تشکیل کامپوزیت با آکرلیک اسید نه تنها رسانندگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، بلکه از نظر مکانیکی نیز بهبودی در کیفیت پلیمر حاصل نمی‌شود.

مراجع

- 1 Waltman R.J., *Tetrahedron*, **40**, 20, 3963-3970, 1984.
- 2 Waltman R.J. and Bargon J., *Can. J. Chem.*, **64**, 76-95, 1986.
- 3 Ruckenstein E. and Chen J.H., *Polym.*, **32**, 7, 1230-1735, 1991.
- 4 Diaz A.F., *chem. Scripta*, **17**, 145-148, 1981.